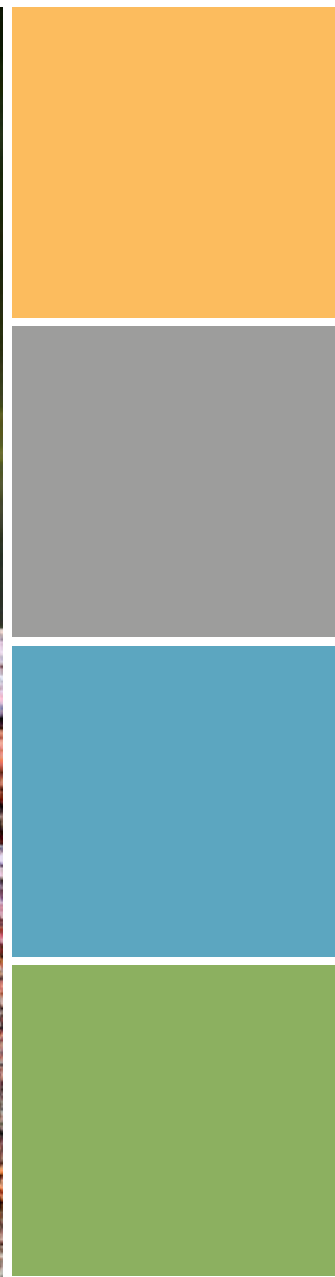


Resurs- och energieffektivisering av pappersindustrin

En syntesrapport

RAPPORT 2026:1154



Resurs- och energieffektivisering av pappersindustrin

En syntesrapport

Marie Kofod-Hansen, Andrea Bille Pettersson, Energiforsk

ISBN 978-91-89917-01-9 | © Energiforsk januari 2026
Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30
E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Innehållsförteckning

Förord	7
Elin leder forskning kring massabruk	8
Det här är Skogsindustriella programmet	11
ENERGIEFFEKTIVISERING	13
Från restprodukt till ren energi – kan pappersindustrin bli fossilfri	18
Nya nyckeltal kan göra pappersindustrin mera effektiv	20
Biobränsle i svenska och finska mesaugnar	22
Energieffektiv mesaugnsstyrning genom partikelstorleksmätning	24
Lyckad effektivisering av torkmaskiner	26
Lägre energianvändning i massa- och pappersindustri	28
Fosforhalten central för optimerad drift, energiåtgång och minskad damning	30
Så kan TES-teknik jämna ut energibehover i industrin	34
Energieffektiv raffinering – en ny väg mot strakare och mer hållbara fiberprodukter	36
Modern flisningsforskning kan stärka massa- och pappersindustrin	38
EFFEKTIV ANVÄNDNING OCH ÅRTVINNING AV KEMIKALIER	41
Maskininlärning ger massabruken ny kontroll över produktionen	44
Talloljans påverkan på inkrustering vid svartlutsindunstning	46
Metoder för att nå optimerad vitlutsproduktion	48
Bioolja som mesaugnsbränsle	50
NYTTIGGÖRANDE AV SIDOSTRÖMMAR OCH RESTVÄRME	53
Barken som kan göra pappers- och massabruk fossilfria	50
Så kan mer tallolja utvinnas ur svartlut	58
Små partiklar, stora problem – hur upphettning påverkar damm i mesaugnar	60
Restströmmar kan minska slamvolymen och spara pengar för massa och pappersbruk	62
Växande intresse för koldioxidinfångning	64
Bättre förutsättningar för restvärme vid kylning av blekeriavlopp	66

FÖRORD

Den här rapporten har tagits fram på uppdrag av styrgruppen i Skogsindustriella programmet. Målet med rapporten är att beskriva den breda verksamhet som pågår inom Skogsindustriella programmet och att sprida forskningsresultat. Innehållet i rapporten ska också ge underlag till kommande projekt och kartlägga var det kan finnas behov av ytterligare forskning.

Rapporten är uppdelad i tre kategorier:

- Energieffektivisering
- Effektiv användning och återvinning av kemikalier
- Nyttiggörande av sidoströmmar och restvärme

Till varje kategori finns en sammanfattande text som övergripande beskriver forskningsresultaten. Sedan följer korta artiklar om utvalda projekt med tydliga referenser till projektrapporter så att den som vill kan läsa mera.

Marie Kofod-Hansen
Programansvarig



Elin leder forskning kring massabruk

Elin Andersson, processingenjör på Billerud i Gävle, är ordförande i Energiforsks Skogsindustriella program. Nyckelfrågor inom forskningen handlar om energieffektivisering, färre fossila kemikalier i driften och hur man kan ta tillvara på biprodukter från papperstillverkningen.

Inom Skogsindustriella programmet forskar vi kring resurs- och energieffektivisering av processer inom svenska massa- och pappersbruk. Ofta handlar det om processtekniknära projekt med utgångspunkt i utmaningar som är gemensamma för flera bruk. Programmet fungerar som ett nätverk där svenska bruk kan testa sina idéer, byta erfarenheter och ta intryck av lösningar i andra branscher. Programmet lyfter den samlade konkurrenskraften för svensk skogsindustri och ökar möjligheten att nå fossilfrihet i närtid.

Elin Andersson jobbar som processingenjör på Gävle bruk som är en del i Billerudkoncernen. Billerud producerar papper- och förpackningsmaterial i nio länder - Sverige, Finland och USA. I Sverige finns fem produktionsanläggningar.

–Det är ett roligt och spännande uppdrag. Det är intressant att få vara med och påverka hur massabruken kan utvecklas med hjälp av forskning.

Energieffektivisering av bruken och att byta ut fossilbaserade kemikalier är viktigt för framtiden och här behövs mer forskning. Vi har också genomfört en del korta projekt inom Skogsindustriella programmet på senare tid. Det är resultat som vi har direkt nytta av i industrin. Ett sånt projekt handlade till exempel om vitlutsoptimering.

I jobbet som processingenjör jobbar Elin Andersson med energirelaterade projekt tillsammans med andra ingenjörer på bruket. Det handlar både om kortsiktiga projekt, men också långsiktiga studier av bruket.

– Det är väldigt givande att jobba inom energiintensiv industri, en liten förbättring som minskar energiförbrukningen, kan göra så stor skillnad, både vad det gäller miljöpåverkan och kostnadseffektiviteten på bruket.

Jobbet som processingenjör är intressant och lärorikt, berättar Elin Andersson som har jobbat på Gävle bruk i 5 år.

– Jag har lärt mig otroligt mycket om hur saker fungerar i praktiken – störningar, variationer och driftstopp. Det är spännande att se hur det som jag räknat på, fungerar i själva driften.

Varför valde du att bli ingenjör?

– Jag har alltid varit intresserad av matematik, naturvetenskap och problemlösning. Jag har en utbildning i kemiteknik med fysik. För mig passade den utbildningen perfekt. Sen har jag en master i hållbara energisystem med fokus på industriella energisystem och processindustri. Jag jobbar med det jag har studerat och som verkligen intresserar mig!

Vilken forskning tror du är viktigast för massabruken?

– Jag tror att det handlar mycket om hur vi kan använda bioråvaran på bästa sätt. En annan nyckelfråga är vad kan man göra med biprodukterna från oss. Man kan få ut så mycket mer från ett massabruk än pappersmassa som till exempel tallolja, el, fjärrvärme, lignin och koldioxid.

DET HÄR ÄR SKOGSINDUSTRIELLA PROGRAMMET

Det finns stora möjligheter för svenska massa- och pappersbruk att genomföra åtgärder för att resurs- och energieffektivisera befintliga processer. De teknisknära utmaningarna är i många fall gemensamma för flera anläggningar. Skogsindustriella programmet är en konkurrensneutral plattform där man kommer lösningarna av sina likartade frågeställningar närmare än vad varje organisation skulle göra på egen hand. Utöver att bedriva forskningsprojekt är programmet ett nätverk där svenska bruk kan testa sina idéer, lära av varandras erfarenheter och ta intryck av lösningar inom andra branscher.

Prioritet ligger på lösningar av processnära problem som förbättrar brukens energiprestanda. Detta innefattar även biprodukter och övergången till fossilfria anläggningar. Alla förekommande processer inom ett bruk är relevanta för programmet. Det kan handla om att nyttiggöra sidoströmmar och restvärme, att implementera resultat från forskningen genom försök- och pilotstudier samt digitaliseringens roll i operationsstöd och styrning.

Kemikalieanvändningen är en betydande kostnad för såväl mekaniska som kemiska massabruk och källa till miljöbelastning. För sulfatmassabruk är dessutom kemikalieåtervinning central för energibalansen.

Målet är att projektens resultat ska kunna implementeras inom en femårsperiod. Programmet handlar främst om effektivisering av material, produkter och tjänster som redan finns tillgängliga.

Programmet startade år 2020 som en direkt fortsättning av Resurs- och Klimateffektiv Skogsindustri 2016-2019 som i sin tur är en fortsättning av det Skogsindustriella programmet inom dåvarande Värmeforsk. Den här perioden sträcker sig till slutet av år 2028.

Engagemang och delad kunskap

Deltagarna i programmet beslutar gemensamt vilka projekt som ska genomföras och beslutar om användningen av forskningsprogrammets insamlade medel. Varje deltagande verksamhet har en ledamot i Programstyrelsen. För att vara med och påverka innehållet i Skogsindustriella programmet går varje deltagande bruk in med en avgift på för närvarande 75 kSEK/år. Konsultfirmor, leverantörer och andra aktörer med intresse av att medverka i programmet kan delta på samma villkor som bruken. Avgifterna läggs i en gemensam forskningspott. Programstyrelsen beslutar sedan vid möten vad om vilka projekt pengarna ska användas till. En av uppgifterna för programansvarig är att söka bidrag från ÅForsk för projektgenomförande. Beviljade medel från ÅForsk förs till den gemensamma forskningspotten. Projekt finansierade med

medel ur potten bör ha en projektbudget på 100 500 kSEK och ska i normalfallet ha en löptid på 6–12 mån. Annan finansiering söks där så anses möjligt. Naturinsatser är inte en oväsentlig del av programvolymen. Genom att delta får varje deltagare uppväxling av sin egen insats såväl kontant som av andras tid.

Inom programmet har deltagarna möjlighet att lyfta fram sina idéer och utmaningar och få dem belysta i projekt. Genom deltagande i referensgrupper erhålls tidig kunskap och möjlighet att följa projekten på nära håll. Programmet bygger vidare på tidigare forskning inom området och fyller på den kunskapsbas som redan finns. Under programperioden kommer utökad samverkan att eftersträvas med andra relevanta grupperingar som till exempel Askprogrammet.

Programstyrelsen tillsätter referensgrupper, följer upp projekten via lägesrapporter och godkänner även slutrapporterna. Referensgrupperna fungerar som stöd för projektutförarna och ska vid projektets slut ge rekommendation till programstyrelsen om godkännande.

Programansvarig

Energiforsk tillhandahåller en programansvarig som fungerar som en koordinator för programmet. I programledningen ingår att vara administrativt sammanhållande för programmet. Programansvarig är avtalstecknande part till alla medverkande parter i programmet och fungerar som sekreterare i styrgruppen.

Den programansvarige ansvarar för redovisning av programmets ekonomi. Programansvarig bidrar till ansökningar för samfinansiering, antingen aktivt själv eller genom samordning med utförare i projekten.

I uppgifterna ingår också att medverka i och att fram underlag till projekt i samarbete med deltagande företag. För att ge programstyrelsen bättre förutsättningar att ta ställning till projektförslag inbjuds de som skickat in förslag till möten i styrgruppen för att presentera sitt förslag.

Programansvarig ansvarar för koordinering av utlysningar, till exempel i form av utlysningar på Energiforsks webb. Programansvarig följer också beslut i projekt och säkerställer kvalitet via uppföljning i referensgrupper och styrgrupp. I ansvaret ingår också att se till att rapporter publiceras.

Forskningsresultatens spridning

Programansvarig koordinerar kommunikationsinsatser för att sprida och nyttiggöra resultat från programmet. Kommunikationsinsatserna kan bestå i att publicera nyheter på Energiforsks webb och i andra kanaler som kan vara av nytta för programmet, till exempel branschtidningar. Att göra nyhetsutskick och att anordna webinarier/seminarier och workshops ingår också i programansvariges uppgifter. I rollen ingår också att ansvara för presentationer av programmet vid förfrågningar från externa parter. Samtliga studier publiceras i Energiforsks rapportserie och blir publika.



Energieffektivisering

Det finns många möjligheter att minska energiförbrukningen i massa- och pappersbruk genom att resurs- och energieffektivisera befintliga processer.

Mesaugn

Mesaugnen är en central process i det kemiska massabruket, där ombränning sker av mesa till kalk. Processen är energikrävande och förbrukar stora mängder bränsle. Globalt används fortfarande fossilt bränsle i mesaugnar, men i Sverige är det ovanligt, här används numera främst biobränslen. I projektet Biofules in Lime Klins redovisas att det finns en del utmaningar med att använda biobränslen. Några exempel: Erosion kan uppstå i rörböjar och brännarmunstycken, ojämnt flöde av pulver kan uppstå på grund av densitetsvariationer. Det är viktigt med förebyggande underhåll för att säkerställa korrekt funktion av gnistdetektions- och brandsläckningssystem och för att förhindra luftläckage. Kapaciteten hos mesaugnen blir oftast lägre vid eldning av biobränslen. Läs mer i rapporten Biofules in Lime Klins.

Hur kan mesaugnar optimeras för en mer energieffektiv drift? För att minimera energiförbrukningen i mesaugnar är det viktigt att producera en ombränd kalk med hög och jämn reaktivitet. Kalktemperaturen har tydligast påverkan på nodulstorlek

och damning. Ugnens rotationsvarvtal och rökgastemperatur har liten inverkan på kalkens storleksfördelning medan deras påverkan på energiförbrukningen är stor. I projektet Energieffektiv mesaugnsstyrning genom partikelstorleksmätning, ger forskarna rekommendationen att rotationsvarvtalet ska minskas med 0,2 rpm för alla produktionshastigheter och att rökgastemperaturen ska hållas så låg som möjligt. Kalktemperaturen ska hållas stabil och så hög att damningen i ugnen minimeras. Partikelstorleksmätning i realtid med 3DPM har visat sig vara mycket robust över tid och tillräckligt tillförlitlig för att användas till styrning. Försöken har visat att nodulstorleken kan påverkas med kalktemperaturen.

För att optimera driften och energiåtgången i mesaugnar är fosforhalten viktig. Partikelstorleksmätning i realtid bekräftar att damning, andel finmaterial och energibehov minskar i takt med ökande fosforhalter, i förlängningen får man både miljömässiga och ekonomiska fördelar.

Viktiga slutsatser:

- Användning av köpkalk under stopp ökar dammhalten avsevärt.
- Kemisk sammansättning, särskilt fosfor och natriumhalt, påverkar damningen.
- Sintring och kalcinering sker vid olika temperaturer, vilket är viktigt att förstå och kontrollera

Läs mer i rapporten Energieffektiv och tillgänglighetsoptimerad styrning av mesaugnar genom barlaststyrning.

Torkmaskiner

Torkmaskiner är också en del i processen där energieffektivisering relativt enkelt kan genomföras. På torkmaskiner förbrukas ånga främst för avdunstning av vatten från massabanan i torkskåpet. Ångförbrukningen i torkskåpet påverkas mest av torrhalten på massabanan efter presspartiet. Torrhalten efter presspartiet påverkas i sin tur av maskinkonfiguration och avvattningssegenskaper hos massabanan. Avvattningssegenskaper är en kombination av många parametrar så som fiberegenskaper, massa-temperatur och pH. I torkskåpet påverkas ångförbrukning av fuktkvot i frånluften och luftbalans i torkskåpet. Största förbrukaren av el på en torkmaskin är cirkulationsfläktarna i torkskåpet följt av vakuumsystemet för vira- och presspartiet. Forskarna rekommenderar en reducerad ångförbrukning genom förbättrad uppvärmning av banan, speciellt med ånglådor som redan är installerade på maskinerna, och bättre styrning av ventilationen för torkskåpet vid olika produktionstakter. Läs mer i rapporten Effektivisering av torkmaskiner

Vidare forskning

Ånglådor, uppvärmning av olika typer av processvatten och maskinsalsventilation skulle också kunna energieffektiviseras och hur det kan göras bör undersökas närmare.

Möjligheter till bättre utnyttjande och minskning av förluster kan göras inom flera processteg. För att ytterligare effektivisera finns en vilja att genomföra studier av:

- Processventilation till exempel torkkåpor, torkmaskiner och pappersmaskiner
- Ökad torrhalt till torkskåp/torkparti, till exempel optimering av vakuumsystem och pressar samt högre koncentration i inloppslådan.
- Kondensatförluster.

Mäta energieffektivitet

För att få en bild av brukets energieffektivitet finns olika metoder att tillgå.

Två nya nyckeltal, den exergimässiga kostnaden (k^*) och den termoekonomiska kostnaden (c), kan ge industrin en tydligare bild av både resurs- och kostnadseffektivitet. De är oberoende av produkttyper och kan bana väg för nya benchmarkingmetoder som jämför olika bruk och processlösningar. En exergianalysen ger inte bara ny och fördjupad information om industrins resursanvändning, utan öppnar också upp för nya möjligheter att analysera befintliga data på ett mer effektivt sätt. Läs mer i projektet Benchmarking av massabruk genom exergibaserade nyckeltal.

Hur energieffektivt kan ett massabruk bli om det byggs med bästa tillgängliga teknik? Med hjälp av data från "referensfabriker" kan pappersbruk räkna på vilka möjligheter som finns för det egna bruket att bli så energieffektivt som möjligt. Referensfabrikerna motsvarar modern massa- och pappersproduktion i de nordiska länderna och har använts brett av skogsindustrin för benchmarking och för att utvärdera nya processkoncept. Läs mer i projekten Reference Mill for Bleached kraft market pulp och Reference mill for integrated cartonboard.

Kan pappers- och massaindustrin bli fossilfri?

Enligt resultaten från projektet Bio- och produktgas i massa och pappersbruk skulle det kunna vara möjligt att ta till vara på de stora mängder organiska restmaterial som uppstår i processen. Det handlar om bioslam, rester från reningsprocessen, fiberslam och cellulosa-rester. Dessa rester omvandlas till bio- och produktgas, via två olika processer:

- Anaerob rötnings: en biologisk process där mikroorganismer bryter ner organiskt material utan syre och bildar biogas.
- Termisk förgasning: där materialet hettas upp så mycket att det omvandlas till en energirik gas.

Gasen passar särskilt bra i processer där energianvändningen är jämn och kontinuerlig, till exempel torkning av massa och papper. Tekniken finns där, men en utmaning är ekonomin. Skatter och utsläppsrätter ger inte tillräckliga ekonomiska incitament för att investera i egen gasproduktion. Flera praktiska försök behövs ute på bruken för att en anpassning ska kunna ske till brukens specifika förutsättningar. Läs mer i rapporten Bio-och produktgas i massa och pappersbruk.

Termisk energilagring (TES)

Termisk energilagring, TES, kan göra industriell ångproduktion mer flexibel och kostnadseffektiv. Genom att lagra överskottsvärme när energi är billig eller riklig kan den

användas senare när efterfrågan på ånga är hög. TES fungerar alltså som ett slags värmebatteri som jämnar ut energiförbrukningen och skapar större systemrobusthet. TES har hög verkningsgrad (>90%), låg investeringskostnad (15-40 €/kWh) och är tekniskt mogen (TRL 8-9). Termisk energilagring behöver i detta sammanhang kombineras med ångproduktion och kan skalas upp till önskad kapacitet. Läs mer i rapporten Ökad flexibilitet mot elmarknaden genom högtemperaturlager för ångproduktion.

Lägre energiförbrukning med smart väteperoxidblekning och optimerad lågkoncentrationsraffinering

Det finns stor potential att minska elenergiförbrukningen vid massatillverkning, samtidigt som man får fram massor som lämpar sig väl för starka produkter, som kartong. Genom att kombinera en smartare väteperoxidblekning med en optimerad lågkoncentrationsraffinering kan bruken nå betydligt lägre energianvändning än vad som är vanligt i dag. Projektet Energieffektiv raffinering genom samoptimering av fiberkemi och raffineringens betingelse pågår. Resultaten pekar i en mycket positiv riktning: både gran- och björkbaserade massor verkar kunna tillverkas med låg energiförbrukning och ändå få egenskaper som passar bra i kartongens mittskikt.

Modifierad flis minskar elanvändning

Studier på Mittuniversitetet från 2006–2016 visar att flis som tillverkas med större knivvinkel kan ta upp kemikalier betydligt bättre. Det gör impregneringen mer effektiv, vilket är värdefullt både för kemiska processer och för TMP/CTMP. Samtidigt visade det sig att elenergin som behövs i raffineringen kan minska när flisen är "modifierad" på detta sätt. I det pågående projektet Energieffektivare raffinering med hjälp av modifierad flisningsprocess undersöks TMP-raffinering närmare.

Projektet är viktigt för branschen:

1. Potentiellt lägre energikostnader: I fullskaleförsök hos SCA och Holmen kunde man se tydliga möjligheter att minska elförbrukningen vid TMP-raffinering. För en energintensiv bransch kan sådana förbättringar göra stor ekonomisk skillnad.
2. Bättre kontroll över fiberkvaliteten: En förbättrad impregnering öppnar för att styra fiberlängd och styrkeegenskaper på ett mer förutsägbart sätt – något som särskilt berör producenter av tryck- och specialpapper.





Från restprodukt till ren energi – kan pappersindustrin bli fossilfri?

Pappers- och massaindustrin har potential att bli mer fossilfri genom att ta tillvara sina egna restprodukter och omvandla dem till bränsle. Tekniken finns – men för att den ska användas brett behöver ekonomiska förutsättningar, politiska beslut och fortsatt utveckling gå hand i hand.

Svensk pappers- och massaindustri har länge arbetat för att minska sitt klimatavtryck. I processen uppstår stora mängder organiskt restmaterial, som till exempel bioslam, rester från reningsprocessen, och fiberslam, cellulosarester. Dessa rester betraktas ofta som avfall – men de kan också bli en värdefull tillgång i form av bio- och produktgas.

– Vi undersökte om restmaterialen kunde användas för att producera förnybar gas. Gasen skulle då kunna ersätta fossila bränslen som olja och naturgas i industrins torrar, pannor och ugnar, säger Christer Gustavsson, en av rapportförfattarna. I studien tittades det särskilt på två tekniker:

- Anaerob rötning: en biologisk process där mikroorganismer bryter ner organiskt material utan syre och bildar biogas.
- Termisk förgasning: där materialet hettas upp så mycket att det omvandlas till en energirik gas.

Båda teknikerna är redan kända, men hur bra fungerar de just i pappersbruken?

Tekniken fungerar – men ekonomin bromsar

I projektet analyserades fyra svenska bruk. Resultaten visar att det tekniskt sett går att ersätta stora delar av fossilbränslena med egenproducerad gas. På vissa bruk skulle biogas från exempelvis fiberslam kunna täcka en betydande del av energibehovet. På andra kan termisk förgasning vara ett bättre komplement.

Det finns dock utmaningar där den största är ekonomin. I dagsläget är fossila bränslen fortfarande billiga, och skatter och utsläppsrätter ger inte tillräckliga ekonomiska incitament för att investera i egen gasproduktion. Ändå menar forskarna att pengarna inte är hela bilden.

– Även om lönsamheten inte är självklar idag, finns andra värden – som klimatnytta, oberoende av fossila bränslen och stärkt varumärke. Det gör att fortsatt forskning är motiverad, säger Anders Nordenö, rapportförfattare.

När fungerar gasen bäst?

Gasen passar särskilt bra i processer där energianvändningen är jämn och kontinuerlig, till exempel torkning av massa och papper. I vissa andra delar av processen, till exempel mesaugnar som kräver flamstrålning kan gas blandas in – men ibland med något lägre effekt.

För att gå från teori till verklighet menar forskarna att detta behövs:

- Fler praktiska försök, eftersom varje bruk har unika förutsättningar.
- Utvecklingsarbete, särskilt för anläggningar som ska röta både bioslam och fiberslam tillsammans.
- Starkare ekonomiska styrmedel eller andra värden, exempelvis klimatmål eller kundkrav.

Rapport: Bio- och produktgas i massa och pappersbruk

Rapportnummer: 2017:426

Författare: Anders Nordenö, Stora Enso och Christer Gustavsson, Bio Share



Nya nyckeltal kan göra pappers- och massaindustrin mer effektiv

Två nya nyckeltal, den exergimässiga kostnaden (k^*) och den termoeconomiska kostnaden (c), kan ge industrin en tydligare bild av både resurs- och kostnadseffektivitet. De är oberoende av produkttyper och kan bana väg för nya benchmarkingmetoder som jämför olika bruk och processlösningar.

Ett forskningsprojekt, genomfört av Arvid Andersson och Oscar Spinos, har utvärderat hur exergibaserade nyckeltal kan användas för att göra pappers- och massabruk att identifiera förluster och ineffektiviteter, och därmed öka både resurs- och energieffektiviteten.

Projektet har definierat och kartlagt material- och energiflöden för två massabruk. Resultatet visar att nyckeltalen k och c ger en indikation på systemens prestanda och har potential att komplettera befintliga analysmetoder.

– Det vi gjorde var att tilldela varje flöde en kostnad. Ibland anses en del biflöden vara "gratis", som spillvärme till exempel – men så är det ju inte. Vår poäng var att sätta

en kostnad på varje enskilt resursflöde för att visa vilka flöden som är kostsamma eller mindre kostsamma att producera, och på så sätt identifiera möjligheter att öka resurseffektiviteten, säger Oscar Spinos.

Genom att kombinera dessa nyckeltal med exergiverkningsgrader kan industrin identifiera förluster och ineffektiviteter, och därmed öka både resurs- och energieffektiviteten. Men för att nyckeltalen ska kunna användas brett behövs dock standardiserade metoder, exempelvis för vilka mätpunkter som ska ingå och hur inkommande råvaruflöden ska värderas.

– Det här var ett relativt outforskat område när vi skrev rapporten och många jobbade inte med exergibegreppet då, såvitt vi vet. Men jag uppmuntrar verkligen fler att titta vidare på exergi som koncept. Det är ett intressant sätt att se på resursanvändning och bidrar till att förtydliga vilka resurser som faktiskt är mest användbara. Det säger Oscar Spinos som rekommenderar att kartlägga och jämföra fler bruk. På så sätt kan en databas byggas upp med riktvärden som kan jämföra olika produkter och processlösningar. Han rekommenderar också att i noggrannare utsträckning analysera de resultat som framkom i denna rapport, för att säkerställa den vetenskapliga kvalitén.

Sammanfattningsvis visar rapporten att exergianalysen inte bara ger ny och fördjupad information om industrins resursanvändning, utan också öppnar nya möjligheter att analysera befintliga data på ett mer effektivt sätt. Metodiken och exergibegreppet är användbara inte bara för pappers- och massaindustrin, utan även för andra komplexa energisystem – till exempel vid utvärdering av industriell symbios. Med dessa verktyg kan industrin ta viktiga steg mot ökad effektivitet och hållbarhet.

Rapportnamn: Benchmarking av massabruk genom exergibaserade nyckeltal

Rapportnummer: 2021:769

Författare: Arvid Andersson, Fortum, och Oscar Spinos, Lots group



Biobränsle i svenska och finska mesaugnar

– Vi ville med det här projektet bidra till att minska koldioxidutsläppen från mas-sabruken. De flesta bruk är ju i stort sett fossilfria idag, men mesaugnarna har historiskt krävt olja och naturgas. Därför ville vi titta på hur man kan ersätta det med biobränslen, säger Niklas Berglin, en av författarna till rapporten Biofuels In Lime Kilns.

I rapporten har erfarenheter samlats in från bruk som använder biobränslen i mesaugnar som ersättning för olja eller naturgas. Genom intervjuer och enkäter om bränsleförbrukning, drift och underhåll skapades en helhetsbild av hur olika bränslen fungerar i praktiken.

Syftet var att ge ett bättre beslutsunderlag för investeringar som kan bidra till minskade fossila koldioxidutsläpp. Kartläggningen av bränsleförbrukningen i svenska mesaugnar visade att den totala bränsleanvändningen 2020 var 3,8 TWh och att 90 % av energin tillfördes som biobränslen. I Finland användes 4,2 TWh, varav 45 % var biobränsle.

En annan slutsats från studien är att eldning med fasta biobränslen, antingen som pulver eller efter förgasning, är en mycket mer mogen teknik nu än när en liknande studie genomfördes 2006. En av skillnaderna är att idag används bandtorkar i alla nya installationer och även att doseringssystem baserade på massflöde används i de flesta nya installationer för pulverbränslen.

”Viktigt att få fram användarnas perspektiv”

I projektet intervjuades personal i bruk som använder fasta, flytande eller förgasade biobränslen för att ersätta eldningsolja eller naturgas i sina mesaugnar.

- Det var viktigt för oss att få fram användarnas perspektiv – vad man behöver tänka på vid en konvertering, både i investeringsfasen och i den dagliga driften. Var finns riskerna och hur påverkas underhåll och utsläpp? säger Niklas Berglin.
- Det är väldigt positivt att bruken varit så öppna och delat med sig av sina erfarenheter. Den öppenheten gör att hela industrin kan lära sig snabbare och ställa om effektivare, inte bara i Sverige utan globalt, säger Anna von Schenck.

”Behov av fortsatt forskning”

De senaste 15 åren har intresset att konvertera till biobränslen ökat globalt, framför allt i delar av Asien och Sydamerika. Till exempel presenterades rapporten på en konferens i Brasilien 2023 och i branschtidningen Tappi Journal 2024.

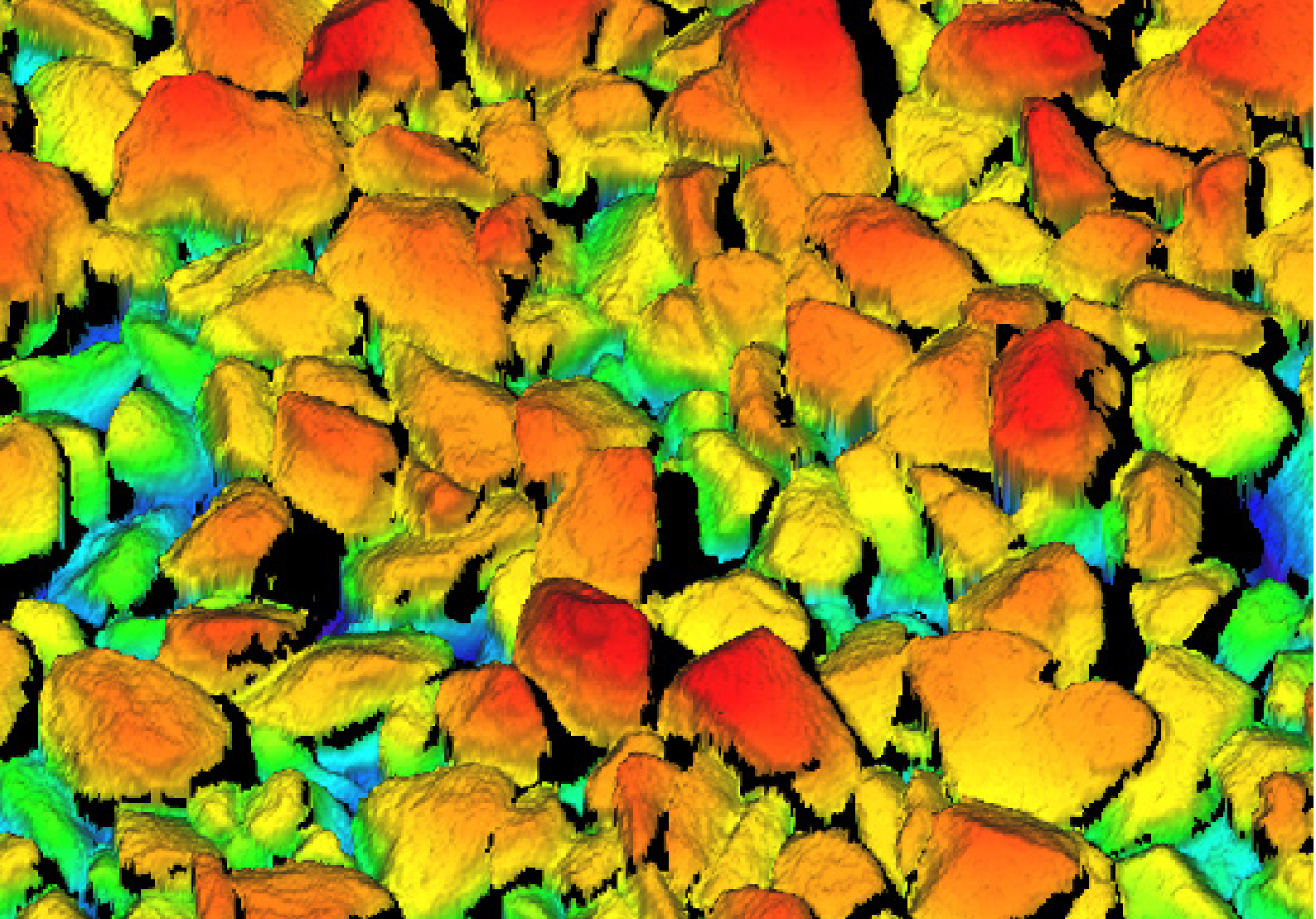
- Det vore intressant att följa upp utvecklingen om några år – både i Sverige och internationellt för att se hur tekniken sprids och vad man kan lära av de riktigt stora förgasningsanläggningarna i till exempel Brasilien, säger Anna von Schenck.
- Elektrifiering är också en spännande väg framåt. Den ger mer koncentrerad koldioxid, vilket i sin tur underlättar för koldioxidinfångning. Det vore även intressant att se vad man kan lära sig av andra branscher, som kalkindustrin, där liknande omställningar pågår, säger Niklas Berglin.

Läs mer om slutsatserna, samt faktorer att ta hänsyn till vid drift av ett bränsleförsörjningssystem med fasta biobränslen i rapporten.

Rapport: Biofuels In Lime Kilns

Rapportnummer: 2022:847

Författare: Niklas Berglin och Anna von Schenck, Nina Innovation



Energieffektiv mesaugnsstyrning genom partikelstorleksmätning

Vilken effekt har kalktemperatur, rökgastemperatur och varvtal på mesaugnar och hur kan dessa justeras för att optimera ugnarna mot en mer energieffektiv drift?

En Mesaugn är en roterugn som används i kemikalieåtervinningscykeln vid kemiska pappersmassaindustrier baserade på sulfatprocessen. För att minimera energiförbrukningen i mesaugnar är det viktigt att producera en ombränd kalk med hög och jämn reaktivitet.

Kalkreaktiviteten är beroende av storleken på bildade kalknoder. Online-mätning användes för att mäta partikelstorleksfördelningen som en parameter i styrningen av mesaugnen. Genom online-mätning kan även effekten av driftförhållanden på erhållen nodulstorlek utvärderas. I den här studien undersöktes effekten av kalktemperatur, rökgastemperatur och ugnens varvtal genom kontrollerade försökskörningar. Slutsatserna av projektet blev att av de tre undersökta styrvariablerna har kalktemperaturen tydligast påverkan på nodulstorlek och damning. De två andra styrvari-

ablerna (ugnens rotationsvarvtal och rökgastemperatur inmatningsände) har liten inverkan på kalkens storleksfördelning medan deras påverkan på energiförbrukningen är stor.

Försöken har resulterat i att rotationsvarvtalet har minskats med 0,2 rpm för alla produktionshastigheter och att rökgastemperaturen hålls så låg som möjligt. Kalktemperaturen ska hållas stabil och så hög att damningen i ugnen minimeras. Partikelstorleksmätning i realtid med 3DPM har visat sig vara mycket robust över tid och tillräckligt tillförlitlig för att användas till styrning. Försöken har visat att nodulstorleken kan påverkas med kalktemperaturen.

– Detta är en riktig innovation med bra potential där en viktig del av kemikalieåtervinningen förbättras med modern mätteknik, vi är också väldigt tacksamma för våra finansörer och det goda samarbetet med Södra Cell Mönsterås, säger Peter Lingman, huvudprojektledare.

Rapport: Energieffektiv mesaugnsstyrning genom partikelstorleksmätning

Rapportnummer: 2022:869

Författare: Erik Berg, Jonas Wetterling, Peter Lingman, Richard Nordenskjöld,

Optimation



Lyckad effektivisering av torkmaskiner

För att lyckas med energieffektivisering av torkmaskiner på ett massabruk behöver man kunna jämföra energiprestandan av den egna maskinen med relevanta referenser. Man måste också förstå vilka processparametrar som påverkar energiförbrukningen och hur. I ett projekt har Jussi Seppänen på AFRY kartlagt vilka åtgärder som behöver göras för att energieffektivisera torkprocessen.

Det finns inga tidigare utredningar som fokuserar på energiförbrukning av torkmaskiner och hur energiförbrukningen påverkas av olika driftsparametrar. Det har gjorts regelbundna kartläggningar av energiförbrukning inom svensk massa- och pappersindustri på uppdrag av Skogsindustrierna, den senaste gjordes år 2012. Men de här kartläggningarna har varit fokuserade på den totala energiförbrukningen inom branschen och på en specifik energiförbrukning för olika massa och papperskvaliteter. Energiförbrukning per avdelning, som till exempel torkmaskiner, har inte redovisats i dessa kartläggningar.

– Skogsindustriella programmet såg därför ett stort behov av att få fram data och verktyg för att lyckas med energiförbättringar i torkprocessen, berättar Marie Kofod-Hansen, programansvarig för Skogsindustriella programmet på Energiforsk. Jussi Seppänen på Afry har karterat energiförbrukningen av fem torkmaskiner base-

rat på energiförbrukningsstatistik. Samtidigt utreddes vilka parametrar som påverkar energiförbrukningen med hjälp av data från styrsystemet.

Kartläggningen har gjorts i nära samarbete med utvalda bruk och baseras främst på driftsparametrar tillgängliga via styrsystem. Kompletterande studier i form av luftfukthaltsmätningar och bantemperaturmätningar har utförts när det har varit tekniskt möjligt.

– Den största utmaningen med karteringen har varit att dra slutsatser när de studerade maskinerna hade så olika konfiguration, berättar Jussi Seppänen.

På torkmaskiner förbrukas ånga främst för avdunstning av vatten från massabanan i torkskåpet. Andra vanliga förbrukare av ånga är ånglådor, uppvärmning av olika typer av processvatten och maskinsalsventilation.

Ångförbrukningen i torkskåpet påverkas mest av torrhalten på massabanan efter presspartiet. Torrhalten efter presspartiet påverkas i sin tur av maskinkonfiguration och avvattningssegenskaper hos massabanan. Avvattningssegenskaper är en kombination av många parametrar så som fiberegenskaper, massatemperatur och pH. I torkskåpet påverkas ångförbrukning av fuktkvot i frånluften och luftbalans i torkskåpet.

– Ångförbrukningen var lägre på den enda maskinen som har en skopress i presspartiet. Övrigt ryms skillnader mellan ångförbrukningen av karterade torkmaskiner inom felmarginal för ångflödesmätningen, berättar Jussi Seppänen.

De processparametrar som i högst grad påverkar ångförbrukningen identifierade i karteringen är temperatur på massabanan i presspartiet och luftbalans i torkskåpet

– Ånglådor på karterade torkmaskiner presterade sämre än förväntat, säger Jussi Seppänen. Det hänger sannolikt ihop med att de är väldigt känsliga för driftsförhållanden.

Största förbrukaren av el på en torkmaskin är cirkulationsfläktarna i torkskåpet följt av vakuumsystemet för vira- och presspartiet.

Elförbrukningen var lägst på torkmaskinerna som har ett torkskåp från de första generationerna. I modernare torkskåp har man prioriterat avdunstningskapacitet framför elförbrukning.

– De främsta rekommenderade åtgärderna för reducerad ångförbrukning baserat på karteringen, är förbättrad uppvärmning av banan, speciellt med ånglådor som redan är installerade på maskinerna, och bättre styrning av ventilationen för torkskåpet vid olika produktionstakter, avslutar Jussi Seppänen.

Rapport: Effektivisering av torkmaskiner

Rapportnummer: 2024:1065

Författare: Jussi Seppänen, Afry



Lägre energianvändning i massa- och pappers-industri

Hur energieffektivt kan ett massabruk bli om det byggs med bästa tillgängliga teknik? Med hjälp av data från "referensfabriker" kan pappersbruk räkna på vilka möjligheter som finns för det egna bruket att bli så energieffektivt som möjligt.

Redan på 1970-talet utvecklades koncept med referensfabriker i skogsindustrin, utlöst av oljekriserna och behovet av att ställa om energianvändningen. I rapporter presenteras hypotetiska massa- och pappersbruk med fokus på energianvändning, värmeproduktion och möjligheter till elproduktion. Referensfabrikerna antas vara nybyggda med den i dagsläget bästa tillgängliga tekniken, vilket innebär att de tekniska lösningar som presenteras är möjliga att köpa in från en leverantör. De är alltså inte en ren skrivbordsprodukt och de tekniska lösningarna uppfyller också aktuella miljökrav.

Rapporterna om referensfabrikerna har uppdaterats flera gånger, senast 2010, i samarbete mellan forskningsinstitut, konsulter, leverantörer och representanter från skogsindustrin. De rapporter som tagits fram nu är baserade på teknikläget 2024 och har finansierats av Energiforsks Skogsindustriella program i projektet Referensfabriker avseende energianvändning i massa- och pappersindustrin.

Arbetet initierades den här gången av Niklas Berglin och Anna von Schenck. Niklas och Anna (båda numera på Sweco) var under projektet anställda på AFRY och ledde arbetet med ett tiotal processspecialister, samt kontakter med leverantörer och den referensgrupp som Energiforsk utsåg.

– Referensfabrikerna ger en bra insikt i hur det egna bruket fungerar i förhållande till de värden som beskrivs i rapporten. Man kan till exempel få en god uppfattning om hur ny teknik kan påverka produktionen, innan man tar steget och testat den på bruket, säger Niklas Berglin.

– Referensbruket är väl definierat, man har en stabil grund av värden att utgå ifrån om man vill minska energianvändningen i delar av produktionen, säger Anna von Schenck.

Referensfabrikerna motsvarar modern massa- och pappersproduktion i de nordiska länderna och har använts brett av skogsindustrin för benchmarking och för att utvärdera nya processkoncept. I den här versionen har två olika typer av pappers- och massabruk inkluderats:

- Fabriker för blekt sulfatmassa – en fabrik för barrved och en för lövved
- Integrerad kartongfabrik där massabruket producerar barr- och lövvedsmassa i kampanjer.

Uppdateringen av referensfabrikerna har resulterat i två rapporter. Den första beskriver ett integrerat bruk som producerar vätskekartong av huvuddelen av sulfatmassan, men också producerar en del torkad och blekt sulfatmassa för avsalu. Den andra rapporten beskriver en fabrik som enbart producerar avsalumassa.

Konfigurationerna är baserade på konsulternas erfarenheter från befintliga bruk och input från leverantörer av utrustning. Mass- och energibalanser har beräknats med hjälp av kalkylbladsmodeller utvecklade av AFRY.

Den nya versionen av referensfabriker är efterlängtat både av användare i industrin av konsulter och forskare med inriktning på effektiv användning av energi.

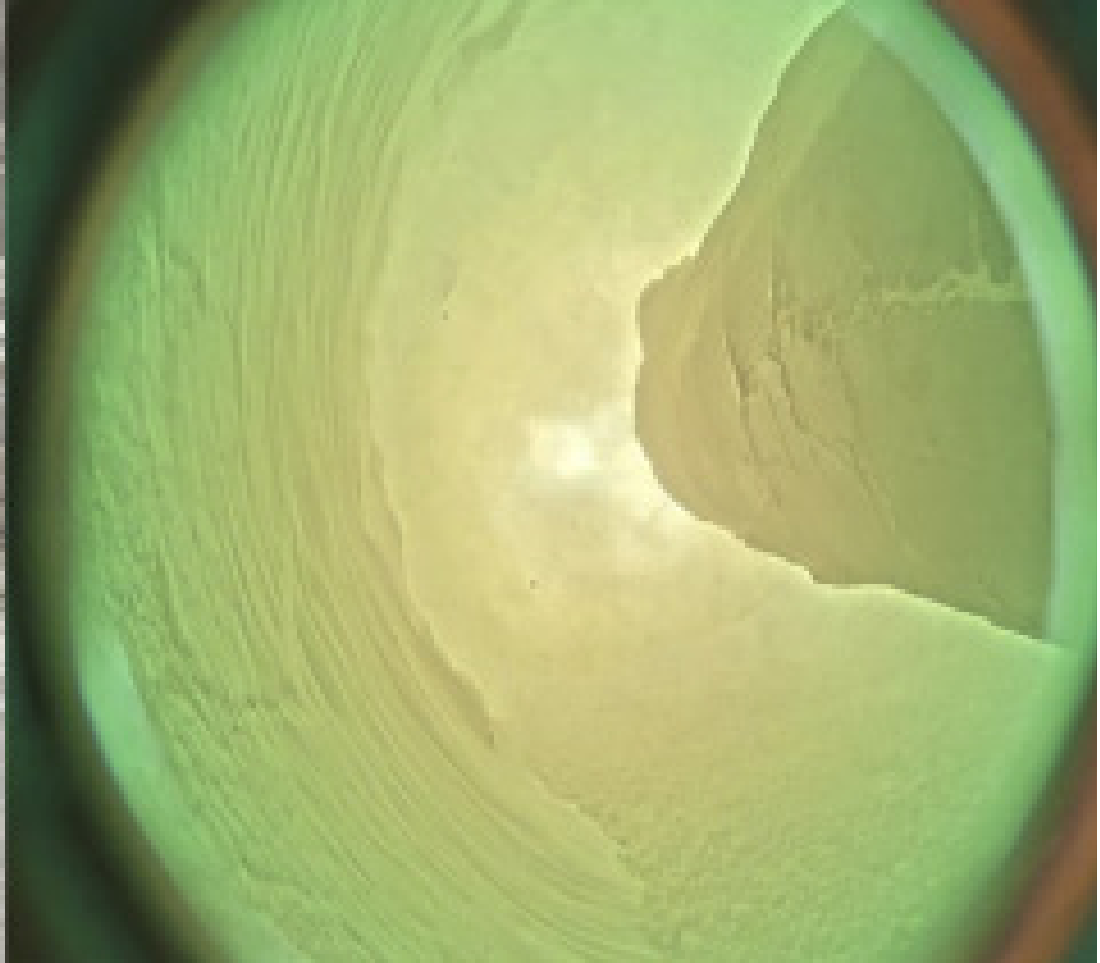
– Många i industrin tittar nu på hur nya möjligheter som koldioxidinfångning, ligninuttag och ökat utbyte i processen kan påverka energibalanserna. Referensfabrikerna ger ett bra underlag för att räkna på sådana förändringar, säger Niklas Berglin.

– Rapporterna ger en helhetsbild av olika processer, det tror jag kan vara nyttigt och bra för de som jobbar ute i verksamheten på bruken, avslutar Anna von Schenck.

Rapporter: Reference Mill for Bleached Kraft Market Pulp och Reference Mill for Integrated Cartonboard

Rapportnummer: 2025:1095, 2025:1096

Författare: Anna von Schenk och Niklas Berglin, Afry



Fosforhalten central för optimerad drift, energiåtgång och minskad damning

För att optimera driften och energiåtgången i mesaugnar är fosforhalten viktig. Partikelstorleksmätning i realtid bekräftar att damning, andel finmaterial och energibehov minskar i takt med ökande fosforhalter, i förlängningen får man både miljömässiga och ekonomiska fördelar.

Erik Berg på Optimization har jobbat mycket med mesaugnar under de senaste 10 åren. Erik Berg har i Energiforsksprojektet Energieffektiv mesaugnsstyrning genom partikelstorleksmätning undersökt hur damning fungerar i en mesaugn. I det projektet kom Erik Berg fram till att damningen till viss del kunde styras med hjälp av temperaturen på kalken:

– Vi såg att en högre kalktemperatur gav en lägre grad av damning på cirka 2-5 procent. Men vi insåg också att det ibland blev en dammhalt på upp till 20 procent. Med hjälp av en 3DPM-mätare kunde vi utläsa att de höga dammhalterna kom efter längre stopp. Under såna stopp, när mesaugnen stannar men inte fabriken, då måste man ersätta den egenproducerade kalken med köpkalk och där låg problemet med de höga dammhalterna!

Köpkalken har en annan sammansättning berättar Erik Berg. Det är framförallt barlasten, fosforhalten, som är obefintlig i köpkalk.

– Jag gick igenom de mätningar vi har på Munksund. De bygger på pyrometermät-

ning och man kan se dammpuffar. En γ DPM mätaren ger ett säkrare resultat, men man får ändå en indikation på om det dammar eller inte. Vi har historiska data från flera år som jag kunde undersöka.

Erik Berg såg mönstret med hög dammhalt upprepades gång på gång efter att köpkalk tillsatts. Erik tillkallade sin "kemimentor" Janne Lidén för att undersöka problemet med köpkalken ur ett kemiskt perspektiv. Anton Andersson på LTU anslöts också till projektet.

– Kombinationen av att jag kan processen och mättekniken, och Janne Lidén som är en av de absolut bästa kemisterna kring papper och massa och Anton Andersson, som kommer från högtemperatursidan på kemisidan, gav ett toppteam. Anton bidrog med sin syn på mesaugnen som en högtemperaturreaktor. Det var nytt och viktigt för att nå en lösning!

Teamet började undersöka om dammhalten som ökar med köpkalk kunde kopplas till något speciellt, som till exempel barlasten.

– När vi tittade på mätningarna såg vi att det framför allt var fosfor och natriumhalt som förändrades. I den egna kalken som snurrar runt i processen ackumuleras fosfor och natrium och man får högre och högre halter. Traditionellt har man varit lite rädd för att ha höga halter. Leverantörer brukar rekommendera att man aldrig ska ha över 0,6 % fosfor till exempel.

– Vi insåg att det blir minskad damning med ökande fosforhalt. Vilken är mekanismen bakom? Antons mätningar visade på sintring, alltså att materialet binder sig samman, ungefär vid 700-900 grader någonstans och den här sintringen blir tydligare ju högre fosforhalt vi har. Det vi kunde se med blotta ögat och med mätdata från verkligheten kunde vi verifiera i labb.

Rent kemiskt fungerar det så att fosfor binder in natrium i mesan som ändrar graden av sintring. Det har varit känt sedan 90-talet.

– Den riktigt stora aha-upplevelsen för mig, berättar Erik Berg, var när Anton kalcinerade mesa i den optiska dilatometern och vi ser att den lilla pellets av mesa som vi satte in i ugnen volymförändras när temperaturen ökades. I dilatometern registreras volymförändringen under tiden som temperaturen ökar. Det var ett helt nytt sätt för mig att se och den här metoden används annars inom metallurgin.

Erik Berg beskriver det som om materialet sintrar ihop. Under själva kalcineringen avgår koldioxid från mesan, så mesan kommer att tappa ungefär 40 % av vikten som avgår som koldioxid. Volymförändringen sker inte samtidigt med viktavgången.

– Anton användes sig av en termovåg och såg att det skiljer ungefär 100 grader i tem-

peratur. Först får man en sintring och sen får man en viktninskning. Så att i stort sett har volymförändringen redan skett innan viktförändringen sker. Det är viktig kunskap för då har vi skilt på de mekanismer som sker i ugnen, sintring och kalcinering. De sker vid olika temperaturer och det var helt nytt för mig. Det förklarar många andra fenomen än bara damning. Till exempel om man har för höga temperaturer i rökgaskanalen efter mesaugnen, då kommer mesan kommer att sintra fast på allting och ge svåra beläggningar.

En del mesugnar som har problem med beläggning i rökgaskanalen utrustas med luftkanoner och andra metoder för att mekaniskt spränga bort beläggningarna.

– Det kanske kan undvikas genom att hålla bättre koll på temperaturen. Det här är jätteviktigt för att förstå det här med sintring, jag tror inte heller att det här finns beskrivit i tidigare forskning, säger Erik Berg. Leverantörer av mesugnar tror jag faktiskt inte har koll på det här.

Erik Berg vill gärna fortsätta med de här försöken, men i nuläget finns ingen tid. Ett samarbete med en doktorand skulle vara toppen, säger Erik Berg:

– Det finns inte så mycket forskning inom papper och massa i Sverige idag. Många bruk litar på att leverantörerna kan allt, det är jag inte säker på. Det här projektet har jag gjort av nyfikenhet, jag vill gärna fortsätta att "lyfta varje sten", så om någon kan tänka sig ett samarbete, hör av er till mig!

Faktaruta: Projektet visar att fosfor i kalkcykeln inte är enbart en energimässigt negativ barlast utan fungerar som bärare av natrium i form av föreningen CAP (carbonat-substituerad hydroxoapatit), vilket minskar damning och sänker energibehovet i ugnen. När fosforhalten i kalken överstiger 8–11 g P/kg CaO minskar damningen tydligt och det specifika energibehovet sjunker med upp till 10 %. Partikelstorleksmätning i realtid bekräftar att damning, andel finmaterial och energibehov minskar i takt med ökande fosforhalter. Projektet visar att lagring av fosforrik mesa eller tillsats av elfilterstoft kan användas för att styra sintringseffekten efter uppstart med köpkalk. Resultaten ger ett nytt angreppssätt för att optimera drift och energiåtgång i mesaugnar, där rätt fosfornivåer ger både miljömässiga och ekonomiska fördelar. Rekommendationen är att inte blöda ut fosforhaltigt stoft efter ugnstopp förrän partikelstorleksmätningar med 3DPM visar att damningen upphört.

Viktiga resultat:

- Användning av köpkalk under stopp ökar dammhalten avsevärt.
- Kemisk sammansättning, särskilt fosfor och natriumhalt, påverkar damningen. Sintring och kalcinering sker vid olika temperaturer, vilket är viktigt för att förstå och kontrollera

Rapport: Energieffektiv och tillgänglighetsoptimerad styrning av mesaugnar genom barlaststyrning

Rapportnummer: 2025:1131

Författare: Anton Andersson LTU, Erik Berg, Optimization, Jan Lidén LTU, Peter Lingman, Optimization, Per Wallin, Södra, Anders Åkesjö, Chalmers tekniska högskola



Så kan TES-teknik jämna ut energibehovet i industrin

En ny studie visar att termisk energilagring, TES, kan göra industriell ångproduktion mer flexibel och kostnadseffektiv. Genom att lagra överskottsvärme när energi är billig eller riklig kan den användas senare när efterfrågan på ånga är hög. TES fungerar alltså som ett slags värmebatteri som jämnar ut energiförbrukningen och skapar större systemrobusthet.

I detta projekt används Holmen Hallsta pappersbruk i Sverige som exempel, där el är den primära energikällan. Projektgruppen undersökte hur termisk energilagring, TES, kunde göra brukets drift för ångproduktion mer flexibel och sänka elkostnader. Sammantaget var lagringsbehovet 300-500 MWh och den termiska effekten 80 MW, för att producera ånga i spannet 134-188 °C (3-12 bar).

– TES fungerar som ett slags värmebatteri. Man kan lagra överskottsenergi när energin är billig eller finns i överskott, och sedan använda värmen för att producera ånga som kan användas inom bruken, när energibehovet är högre. Med andra ord frikopplas Hallstas ångförsörjning till pappersmaskinerna från kravet på att raffinörerna måste vara i drift för att ångomformare skall generera TMP-ånga, säger Henrik Brodén på Afry, en av rapportförfattarna.

I studien har forskarna tittat på TES-tekniker som kan lagra stora mängder värme som snabbt kan levereras för industriell ångproduktion. Det finns olika tekniker som

erbjuder olika fördelar vad gäller effektivitet, skalbarhet och kostnad, såsom:

- Sensibel värmelagring, SHS (värme lagras genom temperaturändring i ett fast eller flytande material utan fasändring)
- Latent värmelagring, LHS (värme lagras via fasändring, tex smältning eller stelning, med minimal temperaturändring)
- Termokemisk lagring, TCS (värme lagras i reversibla endoterma och exoterma kemiska reaktioner)

SHS lämpligt för pappersbruk – batterilagring passar bättre för sulfatbruk

Sensibel värmelagring, SHS, med fasta material, som betong eller keramik, är den mest lämpliga teknologin för Hallsta pappersbruk. Den har hög verkningsgrad (>90%), låg investeringskostnad (15-40 €/kWh) och är tekniskt mogen (TRL 8-9). Termisk energilagring behöver i detta sammanhang kombineras med ångproduktion och kan skalas upp till önskad kapacitet. Vid höga termiska effekter, så som för Holmen Hallsta pappersbruk, blir ångpannan en betydande del av investeringen.

Alternativa tekniker, som smält salt och batterier, har också övervägts. Smält salt har flera liknande fördelar som SHS när det gäller lagringstemperatur för denna tillämpning, lagringskapacitet och teknologimognadsnivå. Dock har smält salt högre energidensitet och verkningsgrad, som gör att man kan lagra mer energi på mindre utrymme och använda värmen mer effektivt i produktionen. Rapportförfattarna menar att det behövs mer forskning om TES-kompatibla material, samt att studera mer noggrant integrationsmöjligheter för respektive bruk.

Batterier passar bra för elektriska tillämpningar och kan ge flexibilitet i elanvändningen, men bidrar inte lika mycket till värmeflexibilitet. För sulfatmassabruk är därför batterilagring bättre för elflexibilitet, medan termisk lagring inte är lika lönsam. Kostnaden för batterier har sjunkit mycket och kan liknas vid termisk lagring vid hänsyn till fullständig integration i befintligt system. Förslag på fortsatt forskning är att undersöka kostnader mer i detalj och studera olika styrstrategier för dynamisk drift. Även att kombinera termisk energilagring med batterier och/eller högtemperaturvärmepumpar.

- Nyckeln till att realisera värdet av TES är att hitta kostnadseffektiva integrationslösningar mot befintlig ångproduktion och ångnät. En smart integration kan sänka investeringskostnader och skapa långsiktig konkurrenskraft, säger Peter Dahlén på Holmen.

Rapportnamn: Ökad flexibilitet mot elmarknaden genom högtemperaturlager för ångproduktion. High temperature storage for steam production.

Rapportnummer: 2025: 1149

Rapportförfattare: Jenny Wilson, Henrik Brodén, Katarina Karlström, Bernd Neumann, Ting Xu, Diego Luna Victoria Torres, Afry, Peter Dahlén, Christer Sandberg, Magnus Rydstrand, Joel Österqvist, Holmen



Energieffektiv raffinering – en ny väg mot starkare och mer hållbara fiberprodukter

Det finns stor potential att minska elenergiförbrukningen vid massatillverkning, samtidigt som man får fram massor som lämpar sig väl för starka produkter, som kartong. Genom att kombinera en smartare väteperoxidblekning med en optimerad lågkoncentrationsraffinering kan bruken nå betydligt lägre energianvändning än vad som är vanligt i dag.

– Det handlar i praktiken om att göra mer av samma råvara, men med mindre energi. För branschen innebär detta en tydlig möjlighet att både sänka kostnader och minska klimatpåverkan utan att tumma på produktkvaliteten, säger Per Engstrand, Mittuniversitetet, en av rapportförfattarna.

Lovande resultat för både gran och björk

Resultaten pekar i en mycket positiv riktning: både gran- och björkbaserade massor verkar kunna tillverkas med låg energiförbrukning och ändå få egenskaper som passar utmärkt i kartongens mittskikt efter peroxidblekning.

– Tack vare att företaget Nouryon anslöt till projektet har vi dessutom kunnat göra mer omfattande tester. Det har gjort det möjligt att producera tillräckligt stora provmängder för att genomföra arktillverkning och styrkeprovning hos Billerud

Karlsborg, en viktig pusselbit för att säkerställa att resultaten håller i praktiken och inte bara i laboratoriet, säger Per Engstrand.

Raffineringen – en nyckel till stora energivinster

Centrala försök med blekning i större skala har genomförts vid More Research. Samtidigt har Billerud Karlsborg genomfört jämförande försök med lågkoncentrationsraffinering av både oblekta och blekta massor. Resultaten bekräftar vad man ibland ser i industrin: oblekt kemimekanisk massa kräver mer elenergi för att byggas upp till önskad styrka.

– Det som är riktigt spännande är hur blekning påverkar fibrerna. Tidigare studier, som vi byggt vidare på, visar att om en större del av raffineringen görs efter peroxidblekning och tvättning kan energibehovet sjunka avsevärt, säger Per Engstrand.

Förklaringen verkar ligga i att blekningen förändrar fibrerna på ett sätt som gör dem mer formbara, vilket i sin tur gör det lättare att bygga upp styrka. Även valet av träråvara spelar roll – genom att blanda barr- och lövved på ett genomtänkt sätt kan man finjustera massans egenskaper ytterligare. Dessutom visar försök med Valmets nya raffinörsegment designade för att ge mildare fiberbearbetning att man kan nå önskad styrka med lägre energiförbrukning.

Nytta för hela branschen

För massa- och pappersindustrin innebär detta projekt att en raffineringen kan utvecklas till något betydligt mer resurseffektivt. Om energibehovet kan minska så kraftigt som resultaten hittills antyder, öppnar det för lägre produktionskostnader, minskad klimatpåverkan, starkare och mer skräddarsydda fiberprodukter och bättre utnyttjande av råvara genom smart kemisk förbehandling.

I en bransch där energikostnader är en stor del av den totala ekonomin kan dessa förbättringar få stor betydelse redan på kort sikt.

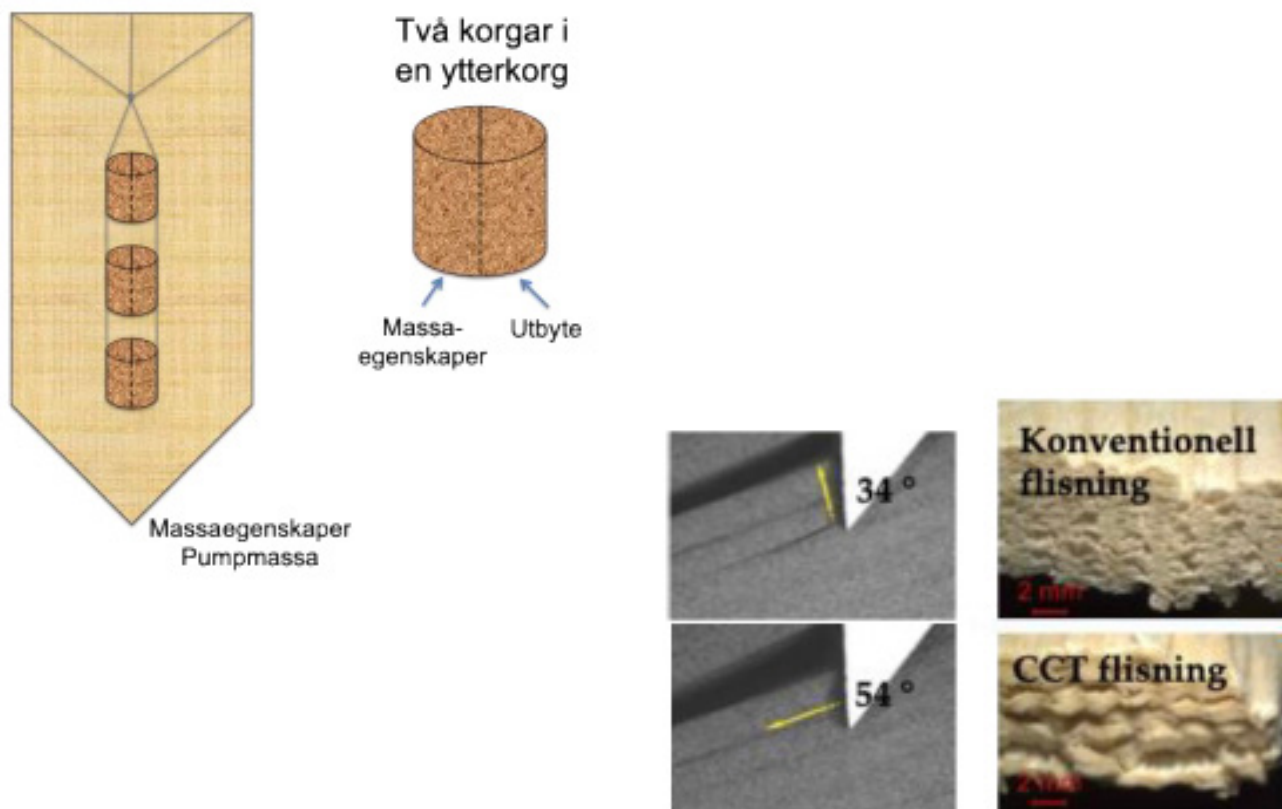
Faktaruta

Detta projekt pågår fortfarande. Rapporten publiceras efter årsskiftet när de återstående försöken, som omfattar tester med raffinering av kemimekaniska massor som peroxidblekts på olika sätt genom justering av alkalidosing. I dessa tester används pilotskaletillverkad gran- som björkbaserad lågenergi HTCTMP (high temperatur chemimechanical pulp), konventionell CTMP (chemimechanical pulp) samt referens-CTMP, från Billerud Rockhammar. Dessa resultat förväntas bidra till att ge en samlad bild av hur framtidens energieffektiva produktion av kemimekaniska massor kan se ut.

Rapportnamn: Energieffektiv raffinering genom samoptimering av fiberkemi och raffineringsbetingelser

Rapportnummer: Projektet pågår till om med mars 2026. Rapport kommer att finnas på Energiforsk.se under Skogsindustriella programmet.

Rapportförfattare: Per Engstrand, Gunilla Pettersson, Amanda Mattsson, Jan-Erik Berg, Thomas Granfeldt och Mats Rundlöf, Mittuniversitet. Thomas Lindstedt, Henrik Edlund och Börje Hellstadius, Billerud. Jesper Nåvik och Fredrik Lundström, Valmet. Magnus Paulsson, Julie Durruty, Pia Jour, och Mats Wildlock, Nouryon



Modern flisningsforskning kan stärka massa och pappersindustrin

I svensk massa- och pappersindustri spelar flisens kvalitet stor roll. Hur veden huggs påverkar både energiåtgång, impregnering, fiberlängd och i slutändan produktens kvalitet och styrka. Under lång tid har man därför undvikit stora knivvinklar vid flisningen – något som baserades på omfattande studier från 1950–60-talet.

– Det här projektet visar att flisningsprocessen, som länge ansetts mogen och stabil, fortfarande rymmer stor utvecklingspotential. Med modern forskning, nya maskinsystem och nära samarbete mellan universitet och industri finns goda möjligheter att både stärka konkurrenskraften och minska energiförbrukningen i svensk massa- och pappersindustri, säger Per Engstrand, på Mittuniversitet, en av projektledarna.

På 50- och 60-talet visade forskningen att större knivvinkel kunde ge fler fiberskador och sämre styrkeegenskaper, särskilt i kemiska massor. Fenomenet kallades ”stukskadad flis”. Men ny forskning från Mittuniversitetet och flera fullskaleförsök visar att bilden är betydligt mer nyanserad.

Resultaten pekar på att en ökad kraft i fiberriktningen inte bara är möjlig att hantera – den kan även ge viktiga fördelar för dagens industri.

Modern flisning – nya möjligheter

Studier på Mittuniversitetet från 2006–2016 visar att flis som tillverkas med större knivvinkel kan ta upp kemikalier betydligt bättre. Det gör impregneringen mer effektiv, vilket är värdefullt både för kemiska processer och för TMP/CTMP. Samtidigt visade det sig att elenergin som behövs i raffineringen kan minska när flisen är ”modifierad” på detta sätt.

För branschen betyder det här två viktiga saker:

1. *Potentiellt lägre energikostnader:* I fullskaleförsök hos SCA och Holmen kunde man se tydliga möjligheter att minska elförbrukningen vid TMP-raffinering. För en energintensiv bransch kan sådana förbättringar göra stor ekonomisk skillnad.
2. *Bättre kontroll över fiberkvaliteten:* En förbättrad impregnering öppnar för att styra fiberlängd och styrkeegenskaper på ett mer förutsägbart sätt – något som särskilt berör producenter av tryck- och specialpapper.

Praktiska erfarenheter från industrin

Vid Hallsta pappersbruk har flera fullskaleförsök genomförts med modernt flishugg från Andritz och huggstål med större knivvinklar. Resultaten visar att elenergiförbrukningen vid flisraffineringen kan minskas, flisen impregneras snabbare, men att utrustningen utsätts för högre mekaniska krafter.

För att köra långsiktigt med större knivvinkel krävs därför något kraftigare maskinkomponenter – samma typ som redan används vid flisning av hårdare träslag, som eukalyptus.

Hur påverkas kemiska massor?

Tidigare forskning antog att större knivvinkel alltid försämrar styrkan i kemiska massor. Men nya försök i labbmiljö genomförda av More Research, Domsjö och Mondi, visar att skillnaderna är små.

Sulfat och sulfit-kokningar visade i princip samma dragindex oavsett knivvinkel, och korgförsök i Domsjö batchkokare halverades mängden rejekt. Omfattande tester med impregnering bekräftar att flis huggen med större knivvinkel tar upp mer vätska och gör det snabbare.

För industrin innebär detta att den gamla bilden av att ”stukskadad flis” som vi här kallar modifierad flis ger sämre kemisk massa tycks behöva omprövas.

Rapportnamn: Energieffektivare raffinering med hjälp av modifierad flisningsprocess

Rapportnummer: Projekt pågår. Rapport publiceras under 2026.

Rapportförfattare: Per Engstrand, Torbjörn Carlberg Och Per Gradin, CCT och Mittuniversitet, Christer Sandberg, Niklas Klinga, Shirin Naserifar och Patrik Jansson, Holmen

Effektiv användning och återvinning av kemikalier

Kemikalieanvändningen är en betydande kostnad för såväl mekaniska som kemiska massabruk och källa till miljöbelastning. För sulfatmassabruk är dessutom kemikalieåtervinning central för energibalansen.

Tallolja och svartlut

Vid industning av svartlut på ett sulfatmassabruk är det vanligt att inkrustering försämrar kapaciteten och stör driften. En tillsats av tallolja och spjälkvätska med låg andel kvarvarande tallolja påverkade inkristalliseringen samt kristallernas struktur och sammansättning. Projektet Talloljans påverkan på inkrustering vid svartlutsindustning har undersökt hur talloljan påverkar inkrusteringen, men det finns inget klart svar om den påverkar eller inte. Fett- eller hartsyror påverkar troligtvis. En annan förklaring kan vara att joner av Ca, som finns tillgängliga i spjälkvätskan påverkar. Forskarna rekommenderar därför att bruken håller koll på de här komponenterna vid utredning av processproblem. I nästa steg bör en närmare utvärdering av nya tillsatser som inkrustin inhabitorer och ultraljd undersökas i nära samarbete med industrin.

Vitlut

Ibland behövs inga stora investeringar för att åstadkomma bättre fungerande processer. För att kunna producera vitlut av hög och jämn kvalitet krävs en stabil process. Mätteknikerna för karaktärisering av grön- och vitlut har förbättrats. Genom att samutnyttja mätsignaler från olika mätmetoder kan man få bättre utväxling av information. I rapporten för projektet Optimerad vitlutsproduktion redovisas en generell reglerlösning där högfrekventa densitetslösningar kombineras med lågfrekventa analyser av kemisk sammansättning som leder till en jämnare grönlutskvalitet.

Maskininlärning

Maskininlärning kan effektivisera processer i massabruk genom att analysera stora mängder driftsdata. Genom att analysera data kan modeller byggas som kan visa hur produktionen beter sig. I praktiken betyder det att bruken får bättre kontroll och förståelse för processer, men det är viktigt att ha full kontroll på sensordatan, korrekt tidsstämpling och systematisk lagring är avgörande. Läs mer i rapporten Maskininlärning som verktyg för prediktering i massabruk.

Biooljor

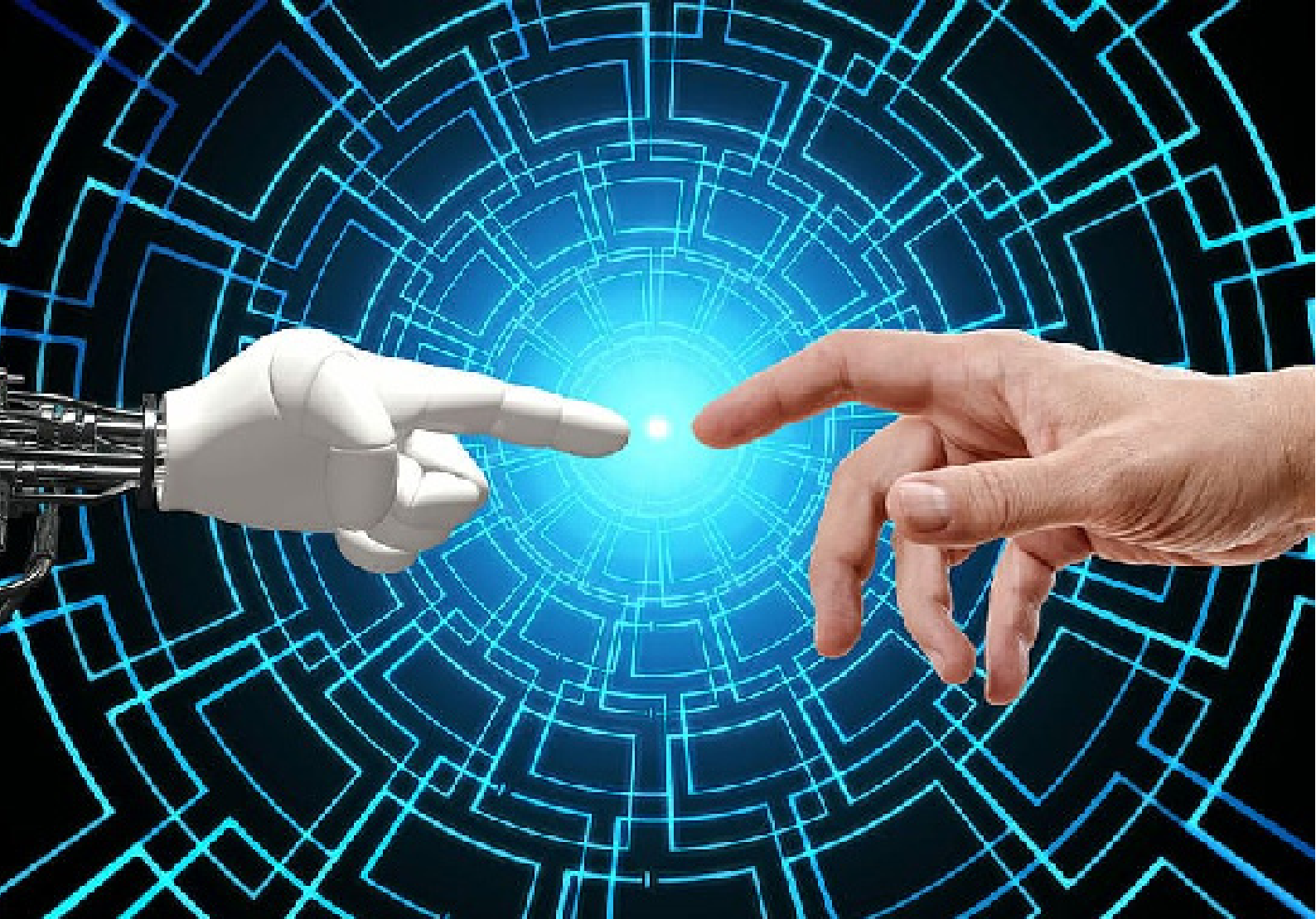
Efterfrågan på biooljor har ökat. Produktspecifikationerna är inte tillräckliga. Studien visar att tallbäcksolja är ett blandbränsle och viskositeten kan variera betydligt mellan olika leverantörer. Biooljor kan fungera som ett bra bränsle i mesaugnar, men det

är viktigt att hålla koll på viskositet och förvärmningstemperatur. Eftersom bioolja har hög flampunkt är det en fördel med en hög förvärmningstemperatur.

Vidare forskning

Vidare forskning på området skulle kunna omfatta följande frågeställningar:

- Effektiv kemikalieanvändning i matarvattenberedningen
- Resurseffektivisering av lut- och kalkcyklen
- Effektivisera användningen av sodapannorna till ånggenerering
- Sulfatblödning utan natriumförlust



Maskininlärning ger massabruken ny kontroll över produktionen

Nya studier visar att maskininlärning kan effektivisera processer i massabruk genom att analysera stora mängder driftsdata. Genom att förutsäga kvaliteten på pappersmassan kan fabriker spara resurser.

Rapporten Maskininlärning som verktyg för prediktering i massabruk visar att maskininlärning kan ge konkreta förbättringar i massabruk – från effektivare produktion till bättre kontroll över slutprodukts kvalitet.

– Vi ville visa att det faktiskt går att ta vara på all den data som redan finns i bruken och göra något konkret av den, säger Stefan Antonsson, en av rapportförfattarna.

– Tidigare var det både krångligt och tidskrävande att exportera och tvätta datan från systemen, nu har det blivit betydligt enklare med moderna system. En viktig slutsats är att man måste ha ordning och struktur i datan för att det ska fungera. När man väl får till det öppnar maskininlärning stora möjligheter att förstå och styra processen på ett helt nytt sätt, tillägger Carin Rudolf.

I projektet försökte Carin Rudfeldt, Johan Gustafsson, Stefan Antonsson, Margareta Von Sivers förutsäga kvaliteten på pappersmassan (genom kappatalet, som visar hur mycket lignin som finns kvar, och ljusheten massan har).

Genom att analysera historiska data från fabriken kunde forskarna bygga modeller som visade hur produktionen beter sig. Detta betyder i praktiken att bruken får bättre kontroll och förståelse för processen – man kan se tidigt om massan blir bra eller om något behöver justeras, vilket sparar tid, energi och material.

– Jag uppmuntrar fler bruk att utforska maskininlärning. Det finns en enorm potential att bygga smartare system som hjälper bruken att följa processerna och fatta bättre beslut. Ett bra första steg är att läsa vår rapport och kontakta någon form av leverantör eller konsult som kan hjälpa en att komma i gång, säger Stefan Antonsson.

Bakgrund

I dagens massabruk genereras enorma datamängder från maskiner och produktioner – men mycket av informationen utnyttjas inte fullt ut. Den här rapporten visar att maskininlärning kan bli ett kraftfullt verktyg för att bättre förstå och styra processen. En viktig slutsats är att maskininlärning inte fungerar utan ordning och struktur i data. Kvaliteten på sensordata, korrekt tidsstämpling och systematisk lagring är avgörande.

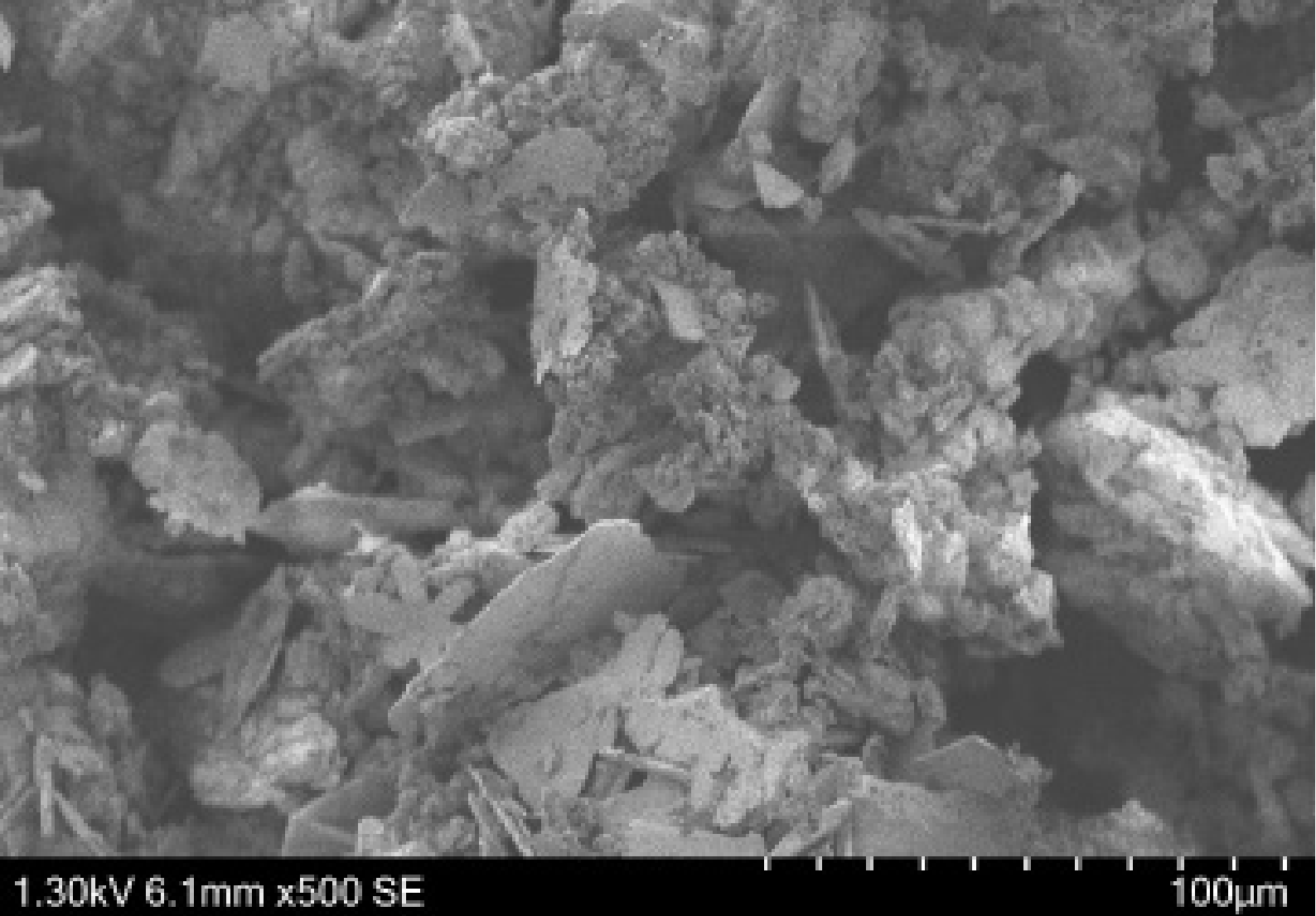
Om datakvaliteten som samlas in är mer korrekt, fullständig och välorganiserad blir det lättare att använda mer avancerade maskininlärningsmodeller som kan hitta mer komplicerade mönster. Men i praktiken räcker det ofta med enklare modeller, som fungerar som raka samband (linjära modeller), för att faktiskt kunna använda resultaten i fabriken och förbättra produktionen.

Forskarna konstaterar att även om mer komplexa tekniker som neurala nätverk är svårare att implementera i nuvarande styrsystem, är framtiden lovande med nya system som underlättar direkt integration.

Rapportnamn: Maskininlärning som verktyg för prediktering i massabruk

Rapportnummer: 2021:798

Författare: Carin Rudfeldt, Andritz, Johan Gustafsson, Afry, Stefan Antonsson, Circulose, Margareta Von Sivers, Perstorp



Talloljans påverkan på inkrustering vid svartluts-indunstning

Vid indunstning av svartlut på ett sulfatmassabruk är det vanligt att inkrustering, det vill säga utfällningar på värmeytorna, försämrar kapaciteten och stör driften.

Utfällningar av dubbelsalter av natrium, karbonat och sulfat är de vanligaste inkrusterna och de kan bildas snabbt och i stor omfattning på grund av att svartluten innehåller höga halter av de här jonerna. Många bruk har dock upplevt att inkrusteringen minskar när spjälvätska, restsyran från talloljekokeriet, tillsätts i anslutning till effekt 1. I den här studien har forskarna studerat vad som orsakar minskningen genom att undersöka hypotesen att det är rester av tallolja i spjälvätskan som har en inhiberande effekt.

Vad ser du som det viktigaste resultatet i projektet och varför?

– Att både ren tallolja och spjälvätska med väldigt lite kvarvarande tallolja påverkar kristallisationen. Systemet verkar därmed mer komplext än vi trodde och det gick

inte att isolera någon aktiv komponent. Liknande resultat har vi även fått i andra studier och vi behöver jobba vidare för att verkligen förstå vad som händer, säger Erik Karlsson.

På vilket sätt är resultatet viktigt för branschen?

– Det tyder på att det kan löna sig att testa de olika fraktionerna av spjälkvätska från talloljekokeriet för sig, kanske räcker det att återföra fraktioner som bara innehåller väldigt lite kvarvarande tallolja. Det är också viktigt att jobba vidare med frågan så att vi kan optimera återföringen av tallolja - vi vill återföra så lite som möjligt för att för att kunna sälja så mycket som möjligt men samtidigt inte få problem med driften av industningen.

Fick du någon wow-upplevelse när du jobbade med projektet, alltså typ något som du inte förväntade dig?

– Att kristallerna som bildades vid tillsats av tallolja och spjälkvätska tydligt ändrade struktur - plötsligt såg vi stora flagor bland de andra mindre kristallerna när vi tittade med elektronmikroskopet.

Slutsatsen från studien blev att både tillsats av tallolja och spjälkvätska med låg andel kvarvarande tallolja påverkade kristallisationsförloppet samt kristallernas struktur och sammansättning. För att förstå hur och med vilka mekanismer detta skedde behövs dock fortsatt arbete. Det gick alltså varken att avslå eller fastslå den ursprungliga hypotesen att det är tallolja som orsakar den inkrusthämmande effekten. Att fett- eller hartssyror på något sätt påverkar inkrusteringen ses dock fortfarande som troligt. En annan trolig förklaring är joner av Ca, vilka finns tillgängliga i spjälkvätskan. Det har tidigare visat sig att de kan påverka kristallisationen av Na-CO₃-SO₄-salterna. Rekommendationen till bruken blir därför att hålla koll på dessa komponenter när de utreder processproblem.

Ser du något framtida forskningsprojekt med anknytning till det här som du tycker vi skulle ta tag i?

– Jag tycker det är viktigt att jobba vidare med förståelsen kring bildningen av natriuminkrusterna generellt för att till slut kunna leverera kraftfulla åtgärdsstrategier. Där är att identifiera aktiv komponent i spjälkvätskan och förstå hur den verkar en viktig komponent. För Energiforsks del ser jag dock ett mer avgränsat och åtgärdsfokuserat projekt som mer passande - att utvärdera nya löningar. Vi har identifierat både nya tillsatser (inkrustinhibitorer) och tekniker (ultraljud) som mycket lovande för bruk som har stora problem med industningen. Detta vore kul att testa tillsammans med Energiforsk där man på ett givande sätt jobbar i nära dialog med industrin.

Rapport: Talloljans påverkan på inkrustering vid svartlutsindustning

Rapportnummer: 2022:868

Författare: Erik Karlsson, Anna Jensen och Per Törngren, RISE



Metoder för att nå optimerad vitlutsproduktion

För att kunna producera vitlut av hög och jämn kvalitet och undvika överkalkning krävs en stabil process. Lars Wallbäcks har i ett projekt undersökt hur brukens befintliga mätinstrument kan kombineras i relativt enkla reglerlösningar för att ge en jämnare vitlutsproduktion.

För att undvika överkalkning är det viktigt att ha en stabil kausticeringsprocess. Det är annars svårt att veta om förändringar i utfall beror på avsiktliga förändringar eller omedvetna variationer. De två flödena till kausticeringen är grönluten och den brända kalken. Grönluten skall ha en jämn kvalitet för att underlätta rätt dosering av bränd kalk.

Mättekniken för karakterisering av grön- och vitlut har utvecklats, och numera har de flesta massabruk tillgång till både densitetsmätningar och kemiska karaktärisering av grön- och vitlut, baserat på on-line kopplade auto-titreutrustning eller on-linekopplade spektroskopiska mätare. Genom att samutnyttja mätsignaler från olika mätmetoder kan man ofta få en bättre utväxling av den information som mätarna ger, säger

Lars Wallbäcks:

– De flesta bruken har bra mätteknik på plats, men man kan få ännu bättre nytta om man kan kombinera informationen från olika mätsystem på nya sätt. Jag redovisar i rapporten en generell reglerlösning där högfrekventa densitetsmätningar kombineras med lågfrekventa analyser av kemisk sammansättning, för att nå en jämnare grönlutskvalitet. Jag har försökt beskriva reglerlösningen på ett sätt så att den ska vara enkel att implementera.

Lars Wallbäcks har i det här projektet analyserat fabriksdata från två bruk för att få en bild av hur variationerna i grøn- och vitlut ser ut. Analyser av fabriksdata visar att reduktionsgraden från sodapannan resulterar i variationer i den kemiska sammansättningen på smältan och Grönluten. Vid reglering mot konstant TTA, orsakar reduktionsgradsvariationer en varierande karbonathalt. Vilket resulterar i ett varierande behov av kalk för att upprätthålla en jämn kausticering, även vid jämn TTA på grönluten.

– I projektet identifieras möjligheten att istället för att reglera grönluten till släckaren mot en jämn TTA istället reglera mot en jämn karbonathalt. En möjlighet som enkelt kan utvärderas i bruk med den förelagda reglermetoden.

Beräkningar med karbonatomsättning visar hur mängden karbonat som behöver omsättas till en önskad kausticeringsgrad, kan predikteras baserat på karbonathaltsmätningar av grönluten. Analysen visar hur kalkregleringen förenklas om karbonathalten till släckaren hålls konstant. En förutsägbar och jämn karbonathalt i grönluten betyder ett jämnt behov av kalk.

– Jag tror många har bra förkunskaper, men kanske inte har tänkt på att utnyttja möjligheterna till att samutnyttja mätarinformationen eller att använda sig av den relativt enkla reglerlösningen som beskrivs i projektet. Och att istället för att sträva efter en jämn TTA på grönluten, kan man prova att styra mot en jämn karbonathalt i grönluten till släckaren.

Rapport: Optimerad vitlutsproduktion

Rapportnummer: 2024:1018

Författare: Lars Wallbäcks, Wedometrics



Biooljor som mesaugsbränsle

Efterfrågan på biooljor har ökat. Det finns många olika biooljor på marknaden, men i många fall är produktionsspecifikationerna inte tillräckliga. I svenska massabruk används biooljor som bränsle i bioeldade mesaugnar. I det här projektet har Patrik Löwnertz och Andreas Reipsar, undersökt hur väl de olika oljorna fungerar som bränsle i mesaugnar.

I den här studien analyserades biooljor använda vid svenska massabruk inklusive blandad tallbeckolja (TOP) och blandade fettsyror (MFA). Analysen genomfördes för att se hur de olika oljornas egenskaper fungerade när de användes som mesaugsbränsle. Råttallolja (CTO) från två bruk analyserades också liksom oblandad tallbeckolja.

– De biooljor som användes som mesaugsbränsle visade betydande variationer beroende på typ och leverantör, särskilt med avseende på viskositet, berättar Patrik Löwnertz.

Studien visar att Tallbeckolja (TOP) är ett blandbränsle och viskositeten kan variera betydligt mellan olika leverantörer. MFA-proverna hade en låg viskositet. Det är viktigt att hålla koll på viskositeten och förvärmningstemperaturen, särskilt då man byter leverantör eller biooljetyp, säger Patrik Löwnertz:

– Viskositeten kan variera kraftigt mellan olika biooljor vilket påverkar atomisering

och flamform.

– Förvärmningstemperaturen kan användas för att styra viskositeten vid brännaren, säger Andreas Reipsar. In-line viskositetsmätning kan också hjälpa.

Många biooljor har en hög flampunkt jämfört med eldningsolja.

– Det gör att de kan vara svåra att antända vid låga temperaturer, säger Patrik Löwnertz.

– Stödbränsle vid start i kall ugn är ofta nödvändigt och en hög förvärmningstemperatur är en stor fördel, säger Andreas Reipsar.

Under projektet har olika simuleringar genomförts. Kapaciteten för en medelstor mesaugn med mesatorn simuleras med EO₃ respektive medelbioolja från analysprogrammet som bränsle jämfördes för två fall:

1. Med samma temperatur (350°C) på rökgaser när de lämnar mesatornen
2. Med samma volymflöde till elfilter där biooljans rökgaser kyls till 350°C genom vatteninsprutning

– Resultatet från simuleringarna visar att bioolja ger samma eller obetydligt högre kapacitet och samma eller obetydligt lägre bränsleförbrukning än eldningsolja, säger Patrik Löwnertz.

Viskositet och förvärmningstemperatur

Slutsatsen är att många biooljor kan fungera bra som bränsle i mesaugnar, men man måste ha kontroll över hur biooljans viskositet ser ut och förvärmningstemperaturen. Baserat på analyserna och kunskap inhämtad under studien ger forskarna följande rekommendationer för driftrutiner för att säkra en stabil mesaugnsdrift utifrån bränslets egenskaper:

- För varje kvalitet bioolja som mottas begära och granska produktdatablad som beskriver deras egenskaper och om det är skillnad mot tidigare använd olja göra mesaugnsoperatörerna medvetna om detta. Värmevärde, ask- och vatteninnehåll, viskositet och flampunkt är viktiga egenskaper som bör finnas med i produktspecifikationen.
- Stickprovsmässigt låta göra egna externa analyser för kontrollera att leveranser som tas emot möter den angivna kvaliteten.
- Om en oljetank används för flera oljekvaliteter med avsevärt olika egenskaper, till exempel med avseende på viskositet, är det viktigt att övergången mellan kvaliteterna sker på ett kontrollerat sätt, till exempel genom att omrörning av tanken genom rundpumpning och att operatörerna är väl medvetna om när kvalitetsändringen sker
- En viskositetsmätare kan vara ett sätt att fånga upp ändringar i oljekvalitet och för att justera förvärmningstemperaturen så att konstant viskositet vid brännarmunstycket bibehålls.

Rapport: Inverkan på mesaugnsdrift av variabilitet i egenskaper hos biooljor

Rapportnummer: 2025:1132

Författare: Patrik Löwnertz och Andreas Reipsar, Afry



Nyttiggörande av sidorströmmar och restvärme

I pappers- och massabruk finns stor potential att öka resurseffektiviteten genom att nyttiggöra restvärme och producera biprodukter.

Bark

På pappers- och massabruk uppstår stora mängder bark som restprodukt. I dag används mycket av barken som biobränsle, men den skulle också kunna förgasas – det vill säga hettas upp tillsammans med en liten mängd syre så att den omvandlas till en bränn gas. Gasen kan användas direkt som energi i bruket eller förädlas till exempelvis el eller biobaserade kemikalier. Tanken är att man använder sig av en påhängsförgasare, man bygger alltså inte ett helt nytt system, utan kopplar en förgasare till en panna som redan finns. Resultaten i projektet Evolutionary Biomass Conversion in the Pulp and Paper Industries visar att förgasning av bark kan bli en viktig del i brukens omställning till fossilfri och mer flexibel energiproduktion. Genom att börja använda gasen som bränsle i den egna processen kan tekniken införas stegvis.

Tallolja

Tallolja är en värdefull biprodukt vid framställning av pappersmassa. Genom att bättre förstå hur tallolja löser sig i svartlut kan industrin öka utbytet och samtidigt stärka brukens ekonomi och hållbarhet. I projektet Tall Oil Solubility in Industrial Liquors undersöktes hur olika halter av talloljans komponenter, framför allt fettsyror och lignin, påverkar hur lätt talloljan kan separeras från svartluten. Svartlut är den vätska som blir kvar efter kokningen och består av en komplex blandning av salter, lignin och naturliga extraktämnen. Projektgruppen utvecklade en metod för att "skumma" och mäta mängden återvunnen tallolja från den syntetiska svartluten. Metoden fungerar för både fettsyror, kolofoniumsyror och lignin. Resultaten visar att ett högre innehåll av fettsyror förbättrar separationen och ökar talloljeutbytet. Det tyder på att tillsats av fettsyror kan vara ett möjligt sätt att få ut mer tallolja i industriell miljö. I nästa steg skulle metoden behövas testas i större skala.

Slam

Genom att förbättra slamavvattningen vid massa- och pappersbruk kan stora kostnadsbesparingar göras. Det visar rapporten "Hydrolys av bioslam med interna restströmmar för ökad resurseffektivitet". Bioslam från biologisk rening är en nödvändig men kostsam biprodukt i svenska massa- och pappersbruk. Det är normalt stora mängder slam som genereras och som är svårt att avvattna, vilket leder till höga hanteringskostnader och begränsar möjligheterna till förbränning. Fyra resultat från rapporten:

- Sulfat- eller CTMP-bruk med tillgång till sura restströmmar har en konkret möjlighet att minska slamvolymen och spara pengar.

- Värme eller alkaliska behandlingar kan vara bra för att bryta ner organiskt material, men ger inte nödvändigtvis bättre avvattningsresultat.
- TMP-bruk kan behöva andra lösningar, eftersom de saknar resurserna som gör rest-syra-metoden möjlig.
- För alla bruk visar resultaten att rätt typ av restström kan bli ett praktiskt verktyg för kostnadseffektiv och miljövänlig slamhantering.

Damm

Damm som bildas i mesaugnar kan ställa till stora problem för pappers- och massabruken då det påverkar både kvalitet, underhåll och produktionskapacitet. En studie visar att ugnens uppvärmningshastighet har stor betydelse för hur mycket damm som bildas, och därmed hur effektivt ugnen kan drivas. Resultaten i rapporten Lime Kiln Dusting visar att olika typer av mesa beter sig olika beroende på upphettningens hastighet i ugnen vilket påverkar dammbildningen, eftersom mesan kan bilda dammpartiklar när den värms upp och sönderdelas. Dammpartiklarna kan i förlängningen också leda till ökad ringbildning i ugnen då den lokala kemiska sammansättningen och temperaturen förändras. Det kan då innebära fler driftsstopp och även att bränsleförbrukningen kan öka. Därför testade förstudien hur fyra olika typer av industriella mesor reagerade vid olika upphettningshastigheter. Studien visade att högre upphettningshastighet i mesaugnen gav mindre partiklar för alla mesor. Intressanta frågor att undersöka vidare är till exempel hur man hanterar temperaturprofilen och den kemiska sammansättningen i både gasfas och på och i partiklarna.

Koldioxidanvändning

Det finns en stor potential för koldioxidanvändning i massabruket. I rapporten CCU för intern CO₂-användning i ett modernt massabruk redovisas ett antal småskaliga (10–300 kton CO₂ per år) tekniker för koldioxidinfångning lämpliga för rökgaserna från massabrukets mesaugn. I rapporten presenteras också ett antal interna processer där användning av koldioxid kan leda till förbättrad prestanda, minskad kemikalieförbrukning och lägre miljöpåverkan. Det gäller till exempel processer i talloljekokeriet, vid brunmassatvätt, vid blekning nära neutrala förhållanden, neutralisering och asklakning. Koldioxid skulle även kunna bidra till nya produkter och således utvidgade inkomstmöjligheter för bruket vid ligninfällning, grönlutsstrippning eller elektrobränsletillverkning.

Fjärrvärme

I blekeriet finns det stora avloppsflöden som behöver kylas för att kunna behandlas i avloppsreningsverket, och det finns goda möjligheter att genom värmeväxling då producera exempelvis fjärrvärme. Tyvärr uppstår det ofta stora problem med utfällningar i värmeväxlarna, främst i form av kalciumoxalat. I projektet Minimering av kalciumoxalatinkrustering vid kylning av blekeriavlopp, del 2 visar de testade tillsatserna att Mg är den bästa tillsatsen för att fördröja när utfällning sker medan kristallmodifierande inkrustationsinhibitor är bäst i situationen där utfällning inte kan undvikas. Ett nästa steg i skulle kunna handla om att montera testriggen ute på ett bruk för att få ökad förståelse för kristallisationen under verklig industriell drift. Man skulle också

kunna utvärdera åtgärder som nya inkrustinhibitorer, ultraljud och ytbeläggningar.

Vidare forskning

Följande frågeställningar är av intresse att undersöka vidare inom det här området:

- Möjligheter och potential med att nyttiggöra material från skogsindustrin till exempel fallande biprodukter som bark, spån, mesakalk och slam.
- Ökad produktion av produkter som pellets, tallolja och biogas.
- Nyttiggörande av restvärme som kan användas internt eller av andra intressenter till exempel lokala fjärrvärmenät.



Barken som kan göra pappers- och massabruk fossilfria

Genom att förgasa bark, en restprodukt från pappers- och massatillverkning, kan bruken skapa sin egen bränngas och i förlängningen kanske även el och kemikalier. Men vilken kvalitet får gasen – och hur ska tekniken byggas för att vara både flexibel och lönsam? Ett forskningsprojekt vid Chalmers har undersökt just det.

På pappers- och massabruk uppstår stora mängder bark som restprodukt. I dag används mycket av barken som biobränsle, men den skulle också kunna förgasas – det vill säga hettas upp tillsammans med en liten mängd syre så att den omvandlas till en bränngas, ibland kallad syntesgas. Denna gas kan användas direkt som energi i bruket eller förädlas till exempelvis el eller biobaserade kemikalier.

Målet med projektet, lett av Martin Seeman vid Chalmers, har varit att ta reda på vilken gaskvalitet man får när bark förgasas, samt att undersöka hur tekniken kan kopplas in i befintliga pannor på ett smart och flexibelt sätt. Det är nämligen viktigt att bruken kan anpassa sig över tid – energimarknaden förändras snabbt och det är svårt att veta hur priser på utsläppsrätter, biobränslen och kemikalier kommer att utvecklas i framtiden.

Påhängsförgasare – en redan fungerande teknik

En central idé i projektet är så kallade påhängsförgasare. Det betyder att man inte bygger ett helt nytt system, utan kopplar en förgasare till en panna som redan finns på bruket. På så sätt kan man återanvända stora delar av den befintliga infrastrukturen, vilket minskar investeringskostnaden betydligt.

– På Chalmers har vi redan testat att tekniken fungerar i praktiken. Sedan 2008 har en sådan förgasare körts på forskningsanläggningen i Göteborg i över 25 000 timmar, säger Martin Seeman.

För en industriell anläggning kan investeringen bli relativt låg, omkring 13 miljoner kronor – en liten summa i processindustrisammanhang.

Två typer av pannor – en smart lösning

Många bruk använder pannor med så kallad bubblande fluidiserad bädd, BFB. Det betyder att sandpartiklar i pannan hålls i rörelse av en luftström, vilket ger god värmeöverföring.

Utmaningen är hur man ska flytta sand, värme och bränsle mellan pannan och förgasaren. I projektet testades därför en metod där sanden "lyfts" över en skiljevägg med hjälp av extra luft.

– Det gör att man kan styra materialflödet efter behov och även stoppa det helt om man tillfälligt inte behöver förgasaren. Pannan kan alltså fortsätta köras som vanligt, säger Martin Seeman.

Gasens kvalitet – och varför sanden spelar roll

En viktig fråga är hur ren gasen blir. En önskad biprodukt vid förgasning är tjära som kan skapa problem om gasen kyls ner. Här spelar bäddmaterialet roll. I vissa anläggningar används olivinsand, som bryter ner tjäran. Andra sandtyper, som vanlig kiselsand, ger högre tjärmängder och kräver mer avancerad rening.

Studier från både Chalmers och den tidigare storskaliga anläggningen GoBiGas visar att valet av bäddmaterial kraftigt påverkar resultatet. Därför är materialvalet en viktig pusselbit för framtida industriell användning.

Slutsats: stor potential – och flexibel utveckling

Projektets resultat visar att förgasning av bark kan bli en viktig del i brukens omställning till fossilfri och mer flexibel energiproduktion. Genom att börja använda gasen som bränsle i den egna processen kan tekniken införas stegvis. Om efterfrågan på biobaserade drivmedel eller kemikalier ökar i framtiden kan anläggningen byggas ut. Med andra ord: barken som tidigare sågs som spill kan i framtiden bli en värdefull råvara i ett mer hållbart industrisystem.

Rapportnamn: Evolutionary Biomass Conversion in the Pulp and Paper Industries

Rapportnummer: 2018:534

Rapportförfattare: Oscar Gründer, Martin Seemann, Chalmers tekniska högskola



Så kan mer tallolja utvinnas ur svartlut

Tallolja är en värdefull biprodukt vid framställning av pappersmassa. Genom att bättre förstå hur tallolja löser sig i svartlut kan industrin öka utbytet och samtidigt stärka brukens ekonomi och hållbarhet. I det här projektet undersöktes hur olika halter av talloljans komponenter, framför allt fettsyror och lignin, påverkar hur lätt talloljan kan separeras från svartluten.

Tallolja bildas under sulfatprocessen vid massatillverkning, där barrved kokas. Talloljan blir då en biprodukt som kan användas till exempelvis kemikalier, rengöringsmedel och biobränslen – vilket gör den till en delvis förnybar resurs.

Trots dess värde är kunskapen om hur tallolja bäst separeras från svartlut begränsad. Svartlut är den vätska som blir kvar efter kokningen och består av en komplex blandning av salter, lignin och naturliga extraktämnen. I projektet stod förhållandet mellan talloljans två huvudkomponenter – fettsyror och hartssyror – i fokus.

Naturlig tallolja har ofta ett relativt lågt innehåll av fettsyror. För att studera hur detta påverkar lösligheten valde forskarna därför att arbeta med syntetiskt svartlut, där mängden kemikalier, lignin, socker och talloljefettsyror kunde kontrolleras.

Projektgruppen utvecklade en metod för att "skumma" och mäta mängden återvunnen tallolja från den syntetiska svartluten. Metoden visade god reproducerbarhet och fungerar för både fettsyror, kolofoniumsyror och lignin. På så sätt kunde forskarna systematiskt studera hur olika tillsatser påverkar separationsprocessen. Resultaten visar att ett högre innehåll av fettsyror förbättrar separationen och ökar talloljeutbytet. Det tyder på att tillsats av fettsyror kan vara ett möjligt sätt att få ut mer tallolja i industriell miljö. Studien visade också att ligninhalten påverkar separationen – lägre ligninhalt gav bättre resultat.

Nästa steg är att testa metoden i större skala, där fler komponenter och reaktionsförhållanden i verklig svartlut kan ingå.

- Vi har fått fram en metod som fungerar bra i liten skala, vilket är viktigt för att kunna göra kontrollerade studier av processen. Hittills har vi bara arbetat med syntetiskt svartlut, så nästa steg är att testa med verkliga förutsättningar. Det behövs för att kunna bedöma den faktiska potentialen och göra en riktigt bra teknisk och ekonomisk utvärdering, säger Gunnar Henriksson, en av rapportförfattarna.

Rapportnamn: Tall Oil Solubility in Industrial Liquors

Rapportnummer: 2019:582

Rapportförfattare: Ioannis Dogaris, Gunnar Henriksson and Mikael Lindström, kungliga tekniska högskolan



Restströmmar kan minska slamvolymer och spara pengar för massa- och pappersbruk

Genom att förbättra slamavvattningen vid massa- och pappersbruk kan stora kostnadsbesparingar göras. Det visar rapporten "Hydrolys av bioslam med interna restströmmar för ökad resurseffektivitet". Resultaten visar lovande möjligheter, särskilt för behandling med restsyra, som både kan minska slamvolymen och spara pengar.

Bioslam från biologisk rening är en nödvändig men kostsam biprodukt i svenska massa- och pappersbruk. Det är normalt stora mängder slam som genereras och som är svårt att avvattna, vilket leder till höga hanteringskostnader och begränsar möjligheterna till förbränning. Vissa bruk behöver därför skicka sitt slam till extern behandling.

– Det är tydligt att varje bruk har sina utmaningar och förutsättningar så det är svårt att hitta en generell lösning. Vårt mål med denna studie var att hitta potentiella strömmar och förutsättningar för att uppnå en förbättrad driftsekonomi vid slamhanteringen, och det är roligt att vi har hittat exempel där det är möjligt, säger

Xu-Bin Truong från AFRY som varit projektledare.

Xu-Bin Truong, Afry, Eva-Maria Ekstrand, Afry/Tema Miljöförändring, Linköping Universitet, och Anna Karlsson, St1Biokraft (dåvarande Scandinavian Biogas Fuels) har undersökt om bruken kan nyttja sina egna restströmmar från olika delar av produktionen för att förbättra slamavvattningen. Exempel på restströmmar är alkaliska, sura och varma vattenströmmar. På så sätt skulle slamhanteringen bli både billigare och mer effektiv eftersom mängden slam som behöver hanteras minskar. Detta sänker kostnaderna rejält eftersom det underlättar för bruken att själva ta hand om sitt bioslam.

– Det intressanta är att kartläggningen i studien visar att de flesta av bruken har ett flertal sidoströmmar med egenskaper som skulle kunna komma till användning i andra sammanhang, exempelvis ökad produktion av biogas. Det gäller bara att hitta dessa tillämpningar, säger Xu-Bin Truong.

Fyra resultat från rapporten:

- Om du arbetar på ett sulfat- eller CTMP-bruk med tillgång till sura restströmmar finns en konkret möjlighet att minska slamvolymen och spara pengar.
- Värme eller alkaliska behandlingar kan vara bra för att bryta ner organiskt material, men ger inte nödvändigtvis bättre avvattningsresultat.
- TMP-bruk kan behöva andra lösningar, eftersom de saknar resurserna som gör restsyra-metoden möjlig.
- För alla bruk visar resultaten att rätt typ av restström kan bli ett praktiskt verktyg för kostnadseffektiv och miljövänlig slamhantering.

Projektets resultat visar att restströmmar kan spela en avgörande roll för förbättrad slamhantering. Med fortsatt utveckling kan metoden bidra till både minskad slamvolym och lägre kostnader för svenska massa- och pappersbruk. Ytterligare effekter, såsom förbättrad kemikalieåtervinning och minskad miljöpåverkan, behöver undersökas vidare.

Faktaruta:

Biologisk rening är en vanlig metod för att rena avloppsvatten med hjälp av mikroorganismer, som bakterier och svampar. Dessa organismer bryter ner organiskt material i vattnet, vilket minskar föroreningarna innan vattnet släpps ut i naturen. Det är en vanlig teknik inom massa- och pappersindustrin eftersom den är effektiv och miljövänlig.

Rapport: Hydrolys av överskottsslam med interna restströmmar för ökad resurseffektivitet

Rapportnummer: 2020:848

Författare: Eva-Maria Ekstrand, Xu-Bin Truong och Anna Karlsson, Afry



Små partiklar, stora problem – hur upphettning påverkar damm i mesaugnar

Damm som bildas i mesaugnar kan ställa till stora problem för pappers- och mas-sabruken då det påverkar både kvalitet, underhåll och produktionskapacitet. En studie visar att ugnens uppvärmningshastighet har stor betydelse för hur mycket damm som bildas, och därmed hur effektivt ugnen kan drivas.

–Det är viktigt att förstå orsakerna bakom dammbildningen i mesaugnar eftersom det kan leda till försämrad drift, ökat behov av underhåll och onödiga kostnader i form av rening och hantering av restprodukter, säger Tobias Richards, författare till rapporten.

Mesa är ett kalkmaterial som är en restprodukt vid pappersmassatillverkning. Resultaten i rapporten Lime Kiln Dusting visar att olika typer av mesa beter sig olika beroende på upphettningshastighet i ugnen vilket påverkar dammbildningen, eftersom mesan kan bilda dammpartiklar när den värms upp och sönderdelas.

För bruk med mindre välfungerande processer kan de små partiklarna passera ut från

avskiljningen vilket innebär att ny kalk till ugnen behöver köpas in. Detta är en dyr kostnad som dessutom leder till restprodukter som bruken behöver hantera.

Damppartiklarna kan i förlängningen också leda till ökad ringbildning i ugnen då den lokala kemiska sammansättningen och temperaturen förändras. Det kan då innebära fler driftsstopp och även att bränsleförbrukningen kan öka. Därför testade förstudien hur fyra olika typer av industriella mesor reagerade vid olika upphettningshastigheter. Studien visade att högre upphettningshastighet i mesaugnen gav mindre partiklar för alla mesor.

–Det mest centrala resultatet var dock att vi inte helt kunde skilja på de olika processer som påverkar hur damm bildas, säger Tobias Richards.

Dessa processer, eller mekanismer, handlar till exempel om hur partiklarna bildas (nodulbildning) och hur de klumpar ihop sig eller förändras i storlek (agglomeration). Eftersom dessa sker samtidigt och påverkar varandra är det svårt att avgöra exakt vilken som har störst betydelse för dammbildningen. Därför behövs mer forskning för att få en fullständig förståelse, menar Tobias Richards:

–Vi misstänkte att resultaten skulle bli som det blev innan vi inledde studien, men det var viktigt att genomföra förstudien för att bekräfta detta och på så sätt avgöra vilka faktorer man ska prioritera att undersöka närmare och med vilka metoder, säger Tobias Richards.

Men forskningen på området är sparsam, både i Sverige och i omvärlden. Anledningen är antagligen att branschen upplever att man har tillräcklig koll på mesaugnarna och att andra frågor prioriteras högre, misstänker Tobias Richards, som menar att branschen skulle gynnas av att se över ugnarnas idag ganska ineffektiva drift som kostar i både produktion och underhåll.

– Intressanta frågor att undersöka vidare är till exempel hur man hanterar temperaturprofilen och den kemiska sammansättningen i både gasfas och på och i partiklarna, men frågan är vilken investeringsvilja som finns, avslutar Tobias Richards.

Rapportnamn: Lime Kiln Dusting

Rapportnummer: 2019:628

Rapportförfattare: Tobias Richards och John Joseph, Höskolan i Borås



Växande intresse för koldioxidinfångning

Ett viktigt led i att bekämpa klimatförändringarna, är att minska inte bara de fossila, utan även de biogena koldioxidutsläppen. Sulfatmassabruk står för stora och koncentrerade utsläpp av koldioxid. I de här bruken finns en stor potential för koldioxidinfångning. Det finns dessutom ett antal processer inom sulfatmassaframställning där koldioxid kan användas för att förbättra brukets processer. Marta Bialik på RISE har undersökt vilka möjligheter som finns för bruken att fånga in koldioxid och även använda koldioxid i brukets processer.

I det här projektet har Marta Bialik och hennes kollegor på RISE, Erik Karlsson, Nestor Salvador Palacios och Rolf Lindström, undersökt om, och i vilken utsträckning, som massabruk kan använda sin egen koldioxid. Olika möjligheter för infångning av koldioxid har undersökts och utvärderats. Ett mål har också varit att matcha mängder och kvalitet med brukets interna behov.

Marta Bialik redovisar i sin rapport ett antal småskaliga (10–300 kton CO₂ per år) tekniker för koldioxidinfångning lämpliga för rökgaserna från massabrukets mesaugn. I rapporten presenteras också ett antal interna processer där användning av koldioxid kan leda till förbättrad prestanda, minskad kemikalieförbrukning och lägre miljöpå-

verkan. Det gäller till exempel processer i talloljekokeriet, vid brunmassatvätt, vid blekning nära neutrala förhållanden, neutralisering och asklakning. Koldioxid skulle även kunna bidra till nya produkter och således utvidgade inkomstmöjligheter för bruket vid ligninfällning, grönlutsstrippning eller elektrobränsletillverkning.

– Den totala mängden koldioxid som skulle behövas för interna processer är däremot mycket mindre än den mängd koldioxid som finns tillgänglig från mesaugnen, berättar Marta Bialik. Jag rekommenderar bruken att antingen installera en komplett anläggning för koldioxidinfångning med möjlighet till att förvätska och sälja det överskottet koldioxid som inte används internt, eller ett mindre-just-in-time-infångningssystem med möjlighet till framtida expansion.

Tekniska aspekter

Moderna studier betraktar en integrerad koldioxidinfångning som ett självklart processteg i framtiden, menar Marta Bialik. Det finns också några processer som ger stora koldioxidflöden:

– Sodapannan i ett massabruk ger störst totalt koldioxidflödeflöde (~1930 CO₂/ADt), men "post-combustion capture" från mesaugnen (~340 kg CO₂/ADt) är den lägst hängande frukten på grund av den höga koncentrationen och det mest uppenbara valet för snabb tillämpning!

Marta Bialik ser främst två alternativ för koldioxidinfångning i massabruket:

- Infångning, konditionering och användning med minimal/förenklad lagring ("just-in-time"-system)
- Infångning, rening, lagring (förvätskning), användning vid behov, möjligheter att exportera koldioxid

Andra viktiga aspekter som bruket behöver ta med i beräkningen när bruket funderar på koldioxidinfångning är fysisk plats, investeringskostnad, energikonsumtion/integrering, förbehandling och slutrenhet. Av de olika möjligheter som finns ser Marta Bialik skalbar aminabsorption (beprövad) och membranseparering (snabb utveckling) som de mest lovande teknikerna.

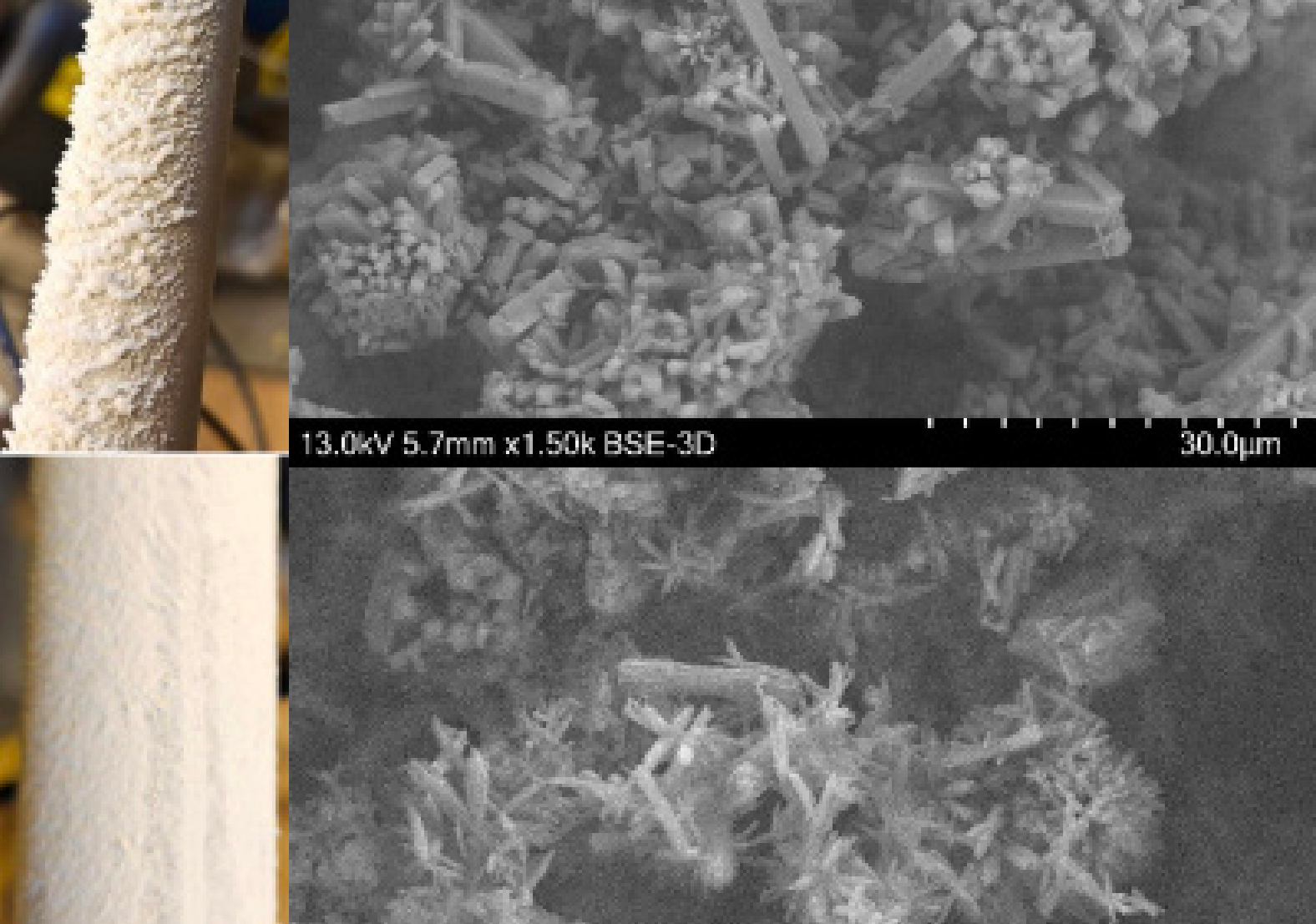
Det finns en stor potential för koldioxidanvändning i massabruket. Koldioxiden kan leda till att nuvarande processteg kan förbättras och att nya produkter kan komma till. Det finns också flera storskaliga koldioxidapplikationer som oxyfuel-förbränning och plasmakalcinering vars framtida utveckling är värd att hålla koll på, säger Marta Bialik och avslutar:

– Intresset för bio-CCS och bio-CCU ökar. Det finns flera intressanta projekt på gång. Jag tror att det är bra att vara påläst och förberedd. Koldioxidinfångning kan gynna bruket på flera sätt och det kan bli ett krav i framtiden!

Rapportnamn: CCU för intern CO₂-användning i ett modernt massabruk

Rapportnummer: 2025:1147

Rapportförfattare: Marta Bialik, Erik Karlsson, Nestor Salvador Palacios, Rolf Lindström, RISE



Bättre förutsättningar för restvärme vid kylning av blekeriavlopp

Grön energi i form av bland annat el, fjärrvärme och olika bränslen är en viktig inkomst för moderna sulfatmassabruk. Kylning av blekeriavlopp är ett exempel där restvärme kan utvinnas. Men processen försvåras ofta av utfällningar av kalciumoxalat (CaOx) som bildar inkruster. Inkruster leder både till betydande tryckfall samt försämrad värmeöverföring, vilket orsakar ökade kostnader och försämrad energieffektivitet. Rapporten är en fortsättning på ett tidigare Energiforskningsprojekt och syftar till att utvärdera åtgärder för att minimera CaOx -inkrustering under industrilika förhållanden.

I blekeriet finns det stora avloppsflöden som behöver kylas för att kunna behandlas i avloppsreningsverket, och det finns goda möjligheter att genom värmeväxling då producera exempelvis fjärrvärme. Tyvärr uppstår det ofta stora problem med utfällningar i värmeväxlarna, främst i form av kalciumoxalat.

Utfällningar eller beläggningar i värmeväxlare är ett vanligt problem i industrin och hindrar eller fördyrar ofta god värmeåtervinning. Hårda mineraliska utfällningar kallas ofta inkruster, och uppstår då temperaturen ändras så att kemiska föreningar

bli övermättade och bildar kristaller på värmeväxlarytan. Inkrusterna fungerar sedan som ett isolerande skit som försämrar värmeöverföringen, samt sätter igen utrustningen så att tryckfallet ökar. Regelbunden rengöring är då ett måste, vilket innebär extra kostnader och driftstopp.

Kalciumoxalat (CaC_2O_4 eller CaOx) är ett vanligt mineral i inkruster från kylning av blekeriavlopp. Dess löslighet minskar markant inom det aktuella temperaturintervallet från ca 90 till 35°C, vilket leder till kristallbildning på kalla ytor. Både kalcium och oxalatjoner förekommer normalt i varierande mängder i vätskeströmmar från blekeriet då Ca är en väsentlig komponent i inkommande ved medan oxalat kan både finnas i ved och genereras i delignifieringsreaktioner. Utfällningar av kalciumoxalat kan orsaka stora problem även inom själva blekeriet, särskilt i sura bleksteg (A, D, Q) och i efterföljande tvätt.

I det föregående projektet *Minimering av kalciumoxalatinkrustering vid kylning av blekeriavlopp 2022:846*, kartlades förutsättningar för CaOx -inkrustering i fyra sulfatmassabruk med syftet att förklara de upplevda skillnaderna i inkrusteringsgraden. Resultaten visade att CaOx -löslighet minskade med ökande pH, och ökade med ökande utspädning och med magnesiumtillsats, vilket överensstämde med förväntningar. Effekten av de organiska komponenterna i filtratet (COD) var däremot inte lika tydlig som förväntat och berodde sannolikt på dess exakta kemiska sammansättning och karaktär. Bruken som ville undvika CaOx -inkrustering rekommenderades försiktig neutralisering av sura filtrat, spädning vid känsliga positioner och Mg-tillsats, och möjligtvis test av kommersiella inkrustinhibitorer.

Målet med det här fortsättningsprojektet har varit att testa metoder att minimera CaOx -inkrustering vid kylning av blekeriavlopp i utfällningsförsök under industrilika förhållanden. Fokus har legat på de metoder som rekommenderades i den tidigare rapporten, dvs pH-kontroll, spädning, Mg-tillsats och inkrustinhibitorer.

I studien användes två olika blekerifiltrat – ett surt från Q-steg och ett neutralt blandat – från separata bruk. Dessa karakteriserades noggrant avseende metallhalter, oxalat, sulfat, klorider, COD, TOC, pH och konduktivitet. Dessutom bestämdes filtratens löslighet för CaOx . En specialbyggd testrigg användes för att genomföra utfällningsexperiment, med fokus på att undersöka hur pH-kontroll, spädning, magnesiumtillsats och inkrustinhibitorer kunde användas för att minimera inkrusteringen. Riggen bestod av ett cirkulerande system där en kyld inkrustprob exponerades för blekerifiltrat vid 85°C, med kontinuerlig tillsats av Ca- och oxalatjoner under åtta timmar för att bygga upp inkruster.

– Resultaten visar att pH-justering främst påverkar lösligheten vid mycket låga värden (<4), men har begränsad effekt på själva inkrusteringen, även om olika organiska ämnen som interagerar med kristallisationen ofta påverkas av pH. Spädning av filtrat minskar koncentrationen av inkrustbildande joner, men påverkar även organiska

ämnen som ökar CaOx-lösligheten. I experimenten observerades ingen skillnad i kristallisationsbeteende eller grad av inkrustering, vilket leder till slutsatsen att spädning påverkar när, men inte hur det faller ut.

Användning av kelatbildande och kristallmodifierande inkrustinhibitorer gav tydliga effekter på kristallstruktur och inkrusternas egenskaper. Särskilt inhibitorer med hög andel kristallmodifierare resulterade i vitare kristaller och förändrat kristallisationsbeteende för båda filtraten men på olika sätt.

Med det sura Q-filtratet blev inkrusterna skörare och porösare vilket ökar sannolikheten att det lossar i en industriell process med högre flödes hastigheter. Med det neutrala blandfiltratet blev inkrusterna tunnare och kristallstrukturen var tydligt förvrängd. Magnesiumtillsats ökade lösligheten av CaOx betydande, men ledde inte till minskad inkrustering, snarare ökade mängden inkruster.

– Slutsatsen blir därför att utifrån de testade tillsatserna är Mg bästa för att fördröja när utfällning sker medan kristallmodifierande inkrustinhibitor är bäst i situationen där utfällning inte kan undvikas.

Hur skulle man kunna komma vidare för att minska inkrusteringen?

– Man skulle kunna köra testriggen ute på ett bruk för att få ökad förståelse för kristallisationen under verklig industriell drift. Man skulle också kunna utvärdera åtgärder som nya inkrustinhibitorer, ultraljud och ytbeläggningar, avslutar Erik Karlsson.

Rapportnamn: Minimering av kalciumoxalatinkrustering
vid kylning av blekeriavlopp

Rapportnummer: 2026:1155

Rapportförfattare: Erik Karlsson och Marta Bialik, RISE

Resurs- och energieffektivisering av pappersindustrin

Den här rapporten har tagits fram på uppdrag av styrgruppen i Skogsindustriella programmet. Målet med rapporten är att beskriva den breda verksamhet som pågår inom Skogsindustriella programmet och att sprida forskningsresultat. Innehållet i rapporten ska också ge underlag till kommande projekt och kartlägga var det kan finnas behov av ytterligare forskning.



Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på www.energiforsk.se.