

Executive summary

DROP-IN-BRÄNSLEN FRÅN SVARTLUTS- DELSTRÖMMAR

– ÖVERBRYGGNING AV GAPET MELLAN KORT- OCH LÅNGSIKTIGA TEKNIKSPÅR

September 2020

Elisabeth Wetterlund och Yawer Jafri, Bio4Energy / Luleå tekniska universitet

Erik Furusjö, Sennai Mesfun och Johanna Mossberg, RISE Research Institutes of Sweden

Christian Hulteberg och Linnéa Kollberg, SunCarbon

Henrik Rådberg, Preem

Klaas van der Vlist, Smurfit Kappa

Roland Mårtensson, Södra Cell

Ett projekt inom

FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

FÖRORD

Denna executive summary har skrivits för ett projekt inom samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 46982-1. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel.

Energimyndigheten arbetar på regeringens uppdrag med energiomställningen till ett modernt, hållbart, fossilfritt välfärdssamhälle och stödjer forskning om förnybara energikällor, smarta elnät och framtidens fordon och bränslen.

f3 är en nätverksorganisation som fokuserar på utveckling av miljömässigt, ekonomiskt och socialt hållbara förnybara drivmedel. f3 finansieras gemensamt av centrets parter och Västra Götalandsregionen. Chalmers Industriteknik fungerar som värd för centret. Kansliet vid f3 utgör programkansli för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system. (se www.f3centre.se)

Ytterligare medel har erhållits från Bio4Energy, ett strategiskt forskningsområde utsett av den svenska regeringen, samt från de deltagande industriparterna.

Denna rapport ska citeras enligt följande:

Wetterlund E., *et. al.*, (2020) Drop-in-bränslen från svartluts-delströmmar – överbrygning av gapet mellan kort- och långsiktiga teknikspår. Publ. nr FDOS 06:2020. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

Projektets totala resultat presenteras i följande publikationer:

Wetterlund E., *et. al.*, (2020) *Drop-in fuels from black liquor part streams – bridging the gap between short- and long-term technology tracks*. Report No FDOS 05:2020. Tillgänglig på <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/>

Jafri Y, Wetterlund E, Mesfun S, Rådberg H, Mossberg J, Hulteberg C, Furusjö E (2020). *Combining expansion in pulp capacity with production of sustainable biofuels – Techno-economic and greenhouse gas emissions assessment of drop-in fuels from black liquor part-streams*. Applied Energy, 279:115879.

EFTERFRÅGADE DROP-IN-BIODRIVMEDEL KAN TILLVERKAS MED FÖRDELAR FÖR MASSAINDUSTRIN

Sedan reduktionsplikten för bensin- och dieselbränslen infördes 2018 är intresset stort för drop-in-bränslen med god växthusgasprestanda. För diesel finns redan etablerade alternativ, särskilt i form av HVO (hydrerade vegetabiliska oljor) från olika restströmmar. För bensin är alternativen däremot betydligt färre.

Drop-in-bränslen som är likvärdiga med fossila drivmedel och därmed kompatibla med dagens fordonsslotta och raffinaderiinfrastruktur är viktiga för att på kort- till medellång sikt minska transportsektorns utsläpp av växthusgaser.

En lämplig råvara är för att tillverka drop-in-bränslen med hög växthusgasprestanda är svartlut, en ligninrik restprodukt från produktion av pappersmassa. Vanligtvis förbränns den i en sodapanna för att återvinna kemikalier och energi. Men svartlut kan också med olika tekniker uppgraderas till drop-in-biodrivmedel som kan blandas med fossila drivmedel.

Om en del av svartluten i stället för att förbrännas plockas ut och blir råvara för drivmedel frigörs återvinningskapacitet i sodapannan och massaproduktionen kan ökas. Det, i kombination med nya intäkter för biodrivmedel, kan ge betydande merintäkter.

Fokus för det här projektet har varit att studera två aktuella teknikspår med möjlighet att integreras i massabruk för att uppgradera svartlut till drop-in-biodrivmedel.

Färre hinder för stegvis förändring

I massabruk som nått sitt kapacitetstak i återvinningen utgör sodapannan en flaskhals. Bruket står då vanligtvis inför en stor investering för utbyggnad av sodapannan, eller en miljardinvestering i en ny panna. Genom att dirigera om 10-20 procent av svartluten till en anläggning för biodrivmedelsproduktion istället, frigörs kapacitet i sodapannan och massaproduktionen kan ökas. En förutsättning för den här produktionen av biodrivmedel är att eventuella andra kapacitetsbegränsade steg åtgärdas på samma sätt som om sodapannan istället hade byggts ut.

Jämfört med mer storskalig biodrivmedelsproduktion från svartlut minskar den tekniska risken för massabruket när en mindre mängd av råvaran används. Koncept som bygger på stegvis förändring av existerande processer och system har bättre chans att locka investeringskapital än mer omvälvande förändringar.

Aktuella teknikspår

De två produktionsvägarna för uppgradering av svartlut till drop-in-biodrivmedel som vi utvärderade i projektet är ligninseparationsspåret (1) och svartlutsförgasningsspåret (2). Ett antal olika alternativ för ingående steg i produktionsvägarna undersöktes.

- 1) Separation och förvätskning av lignin från svartlut, följt av vätgasbehandling till bensin och diesel, med vätgas producerat genom antingen naturgasreforming (1a) eller vattenelektrolys (1b),
- 2) Svartlutsförgasning följt av metanolsyntes och bensinsyntes via MTG (methanol-to-gasoline) (2a). Tillsats av vätgas från elektrolys till syntesgasen (2b) eller av pyrolysolja till förgasaren (2c) beaktades också, för ökad produktionskala.

Vi har också studerat hur energiprofilen, dvs de specifika förutsättningar och den inriktning som olika bruk har för sin produktion, skulle kunna påverka när teknikerna integreras med massabruk.

DROP-IN-BRÄNSLEN MED GOD EKONOMISK OCH VÄXTHUSGASPRESTANDA

Resultaten från utvärderingen visar att både ligninseparationsspåret (1) och svartlutsförgasningsspåret (2) kan utgöra attraktiva alternativ för sodapannebegränsade massabruk som vill öka sin massaproduktionskapacitet och samtidigt bredda produktportföljen. Båda teknikerna ger dessutom betydande synergieffekter.

Produktionskostnaderna avgörande för valet av teknik

Från ett biodrivmedelsperspektiv så kan svartlutsdelströmmar användas för att producera drop-in-bränslen med produktionskostnader på runt 80 EUR/MWh (ca 7-8 SEK/l). Det är likvärdigt med eller till och med bättre än den ekonomiska prestandan för jämförbara drivmedel från skogsrester. De bäst presterande alternativen för ligninseparationsspåret (1a) och svartlutsförgasningsspåret (2a) visade sig ha liknande produktionskostnader.

Med fall 2b och 2c ville vi testa hypotesen att tillsats av en ytterligare insatsråvara i form av vätgas eller pyrolysolja kan förbättra den ekonomiska prestandan för småskaliga svartlutsförgasare för sodapanneavlastning. Men hypotesen kunde inte bevisas, och resultaten är också mycket känsliga för den framtida utvecklingen av pris på pyrolysolja och el, samt kapitalkostnaden för elektrolysörer. Det är betydligt billigare att använda naturgas (1a) än vattenelektrolys (1b) för framställning av vätgas för ligninuppgradering.

Med de höga kapitalkostnaderna för elektrolysörer är det inte sannolikt att teknikspåret 1b blir ekonomiskt konkurrenskraftig i närtid, oavsett hur elpriset utvecklas i framtiden. På längre sikt kan däremot kostnadsminskningar för elektrolysörer, mer tillförlitliga experimentella data för vätgasbehandling av lignin, och ökande krav på växthusgasminskningar komma att påverka hur raffinaderiet gör avvägningen mellan fossil och förnybar vätgas.

Högre teknisk mognadsnivå väntas

Idag har förgasningsspåret den högsta teknikmognadsnivån av de studerade produktionsvägarna, men klyftan mellan dem förväntas krympa inom en snar framtid i takt med att flera viktiga processteg i ligninseparationsspåret genomgår planerad demonstration i industriell skala. Våra resultat för ligninuppgraderingen är osäkra då de, i brist på representativa industriella data, baserats på laboratorietester av ett referenslignin.

Bidraget till utsläppsminskningar varierar

Både ligninseparations- och svartlutsförgasningsspåret ger generellt biodrivmedel med mycket god växthusgasprestanda. Undantaget är när naturgas används för att framställa vätgas för ligninuppgradering (1a). Då når drivmedlets växthusgasprestanda knappt upp till de riktlinjer om 65 procents utsläppsminskning som satts upp i förnybarhetsdirektivet RED II. Det kan också vara ofördelaktigt under det nuvarande svenska kvotpliktssystemet för biodrivmedel som är utformat för att premiera biodrivmedel med hög växthusgasprestanda.

VÄRDET AV SYNERGIEFFEKTER

De synergieffekter som kan uppstå av att ett massabruk väljer att integrera något av de utvärderade teknikspåren kan beräknas antingen utifrån den utökade kapaciteten för att återvinna kemikalier och energi eller utifrån den adderade biodrivmedelsproduktionen.

För att kunna skatta värdet av en utökad återvinningskapacitet uppskattades vad den alternativa investeringskostnaden skulle vara för att bygga om den existerande sodapannan så att den skulle få samma ökade återvinningskapacitet som biodrivmedelsproduktionen annars skulle ge. Denna alternativa investeringskostnad subtraherades sedan från den totala investeringskostnaden för biodrivmedelsproduktion. Detta gav därmed en skattning av extrakostnaden i att investera i biodrivmedelsproduktion, jämfört med ombyggnad av sodapannan. På så sätt kunde vi göra en ekonomisk uppskattning av värdet av synergieffekten i att både öka återvinningskapaciteten, och producera biodrivmedel, utan att behöva ta hänsyn till vad som behöver göras i andra delar av massabruket.

Med en låg kostnad för sodapanneombyggnad kan massaproduktionskostnaden sänkas med runt 29–37 EUR per ton massa. Detta motsvarar en ökad bruttomarginal på 15–30 procent för den ökade produktionsvolymen, oavsett teknikspår för biodrivmedelsproduktionen. Med en högre kostnad för ombyggnaden kan motsvarande kostnadsminskning nå 64-82 EUR per ton massa, eller 35-70 procent ökad bruttomarginal. De här siffrorna är oberoende av teknikvalet eftersom kapacitetsökningen i sodapannan som undviks är lika stor för alla teknikspår.

Om värdet av synergien istället räknades utifrån biodrivmedelsproduktionen (med antagande om att utökningen av massaproduktion görs ändå) är resultatet inte längre detsamma för alla teknikspår. Det beror på att både utbytena från svartlut till drivmedel, och hur stor del av produktionskostnaden för drivmedel som utgörs av kapitalkostnad, skiljer sig åt mellan teknikerna. Minskningen av produktionskostnad för biodrivmedel varierar därför mellan 5 och 23 procent.

VAD STYR VALET FÖR MASSABRUKET?

Ur massabrukets perspektiv vill vi lyfta fram två huvudaspekter som är viktiga att beakta i valet mellan att bygga ut sodapannan eller att börja producera svartlutsbaserade biodrivmedel:

- 1) Vad skulle ombyggnad av sodapannan kosta?
- 2) Vad är den nuvarande energisituationen i massabruket?

Energibalansen påverkas

Att integrera biodrivmedelsproduktion från svartlutsdelströmmar påverkar avsevärt brukets energibalans, särskilt vad gäller ångsystemet. Massabruk som för närvarande har ett energiöverskott som exporteras som el har en betydande fördel vad gäller integrationsmöjligheter. Bruk med en biomassapanna (till exempel för eldning av bark) som redan idag är nära kapacitetsgränsen kan behöva investera i extra kapacitet för att möta den ökade efterfrågan från biodrivmedelsproduktionen.

Introduktionen av svartlutsbaserad biodrivmedelsproduktion kommer också påverka andra aspekter av brukets verksamhet. Ligninseparationsspåret är till exempel mindre lämpat för massabruk som är begränsade i indunstningen, medan svartlutsförgasningsspåret är mindre lämpat för bruk som är begränsade i mesaombränningen.

Risk för driftstörningar

Införandet av ytterligare ett processteg (ligninseparation eller förgasning) i återvinningscykeln ökar statistiskt risken för driftstörningar. Risken för påverkan på massaproduktionen anses dock vara begränsad eftersom det finns en buffertkapacitet i form av tankar för både svartlut och återvunna kemikalier. Det tillåter bruket att fortsätta massaproduktionen med full kapacitet under en begränsad tid, så länge som huvuddelen av återvinningen, som görs i sodapannan, är i drift. Vid längre driftsstörningar i de nya processerna kommer massaproduktionen påverkas eftersom det inte går att hålla upp full återvinningskapacitet. Detta gäller däremot bara en del av produktionen, motsvarande den del av svartluten som går till ligninseparation eller förgasning. Den del av produktionen som motsvarar svartluten som återvinns i sodapannan påverkas inte.

Rätt aktör på rätt plats

Eftersom efterfrågan på skogsrestsbaserade drop-in-alternativ som ersättning för både bensin och diesel förväntas växa i framtiden, kan både ligninseparations- och svartlutsförgasningsspåret utgöra strategiskt intressanta alternativ för betydande minskningar av transportsektorns växthusgasutsläpp. För att detta ska hända krävs dock att inte bara tekniska utmaningar utan också att hinder i form av brist på nyckelaktörer (och relaterade resurser), oklara roller och svaga nätverksstrukturer övervinns.

ENGLISH SUMMARY

Reducing greenhouse gas (GHG) emissions in the transport sector requires both short and long-term interventions. An important short-to-medium term intervention is the wider deployment of drop-in biofuels that are functionally equivalent to fossil transport fuels and thus compatible with today's vehicle fleet and petroleum refining infrastructure. In Sweden, there is currently a great interest in drop-in biofuels with good GHG performance, due to the introduction of the reduction obligation for petrol and diesel fuels in 2018.

We have evaluated different pathways that can be used to produce drop-in petrol and diesel blends from part-streams of black liquor (BL), and, at the same time, debottleneck recovery boiler-limited pulp mills. The focus has been on production of liquid drop-in biofuels that can be blended with fossil fuels, with particular attention to petrol components. We evaluated five different technology pathways based on two main routes:

- 1) Lignin separation from BL and lignin liquefaction, followed by hydrotreatment to petrol and diesel, with hydrogen produced via either natural gas reforming (1a) or water electrolysis (1b),
- 2) BL gasification followed by methanol synthesis and MTG (methanol-to-gasoline) (2a). Addition of hydrogen from electrolysis to the generated syngas (2b) or of pyrolysis oil to the gasifier (2c) were also considered, for increased production scale.

In addition, we studied the impact of mill energy profile on integrated energy balances and biofuel production costs by examining three different pulp mill configurations as integration sites, with contrasting energy profiles.

DROP-IN BIOFUELS WITH GOOD ECONOMIC AND GHG PERFORMANCE

Our results show that drop-in biofuels can be produced from BL part-streams with production costs of around 80 EUR/MWh (ca. 7-8 SEK/l), thereby equalling or bettering the economic performance of comparable forest residue-based fuels. The best performing pathways in the lignin separation-hydrotreatment (1a) and BL gasification-catalytic synthesis (2a) routes were found to have similar production costs. Both of those routes could thus constitute potentially attractive options for recovery boiler-limited pulp mills looking to increase pulp capacity and broaden product portfolios through comparatively modest investments. While the gasification-catalytic synthesis route has a higher current technology readiness level, the gap is expected to shrink notably in the near future as key process steps in the separation-hydrotreatment route undergo planned demonstration in industrial conditions. However, our lignin upgrading results are subject to large uncertainties, being based on lab testing of a reference lignin in the absence of representative industrial data.

Further, the use of natural gas as hydrogen source represents the cheaper option for lignin hydrotreatment (1a), but is accompanied by GHG savings that are smaller relative to those for other pathways. This can be disadvantageous under the current Swedish quota obligation scheme for drop-in biofuels that is designed to reward biofuels with high GHG emission reductions. Future availability of cheaper electrolyzers and reliable experimental data on lignin hydrotreatment are likely to impact the trade-off between fossil and renewable hydrogen in the medium term.

SYNERGY EFFECTS IN THE PULP MILL

Substantial synergies can be obtained by implementing the technologies investigated in this project. From the pulp mill's perspective, two main aspects critical to consider in the choice between recovery boiler retrofit and BL-based biofuel production are: *What would be the alternative cost of the recovery boiler rebuild?* and *What is the current energy situation in the pulp mill?*

The “dual service” that both lignin separation and gasification of a BL part stream offer gives a reduction in the overall investment cost if the pulp capacity increase is implemented together with the biofuel production. If this synergy is allocated to the pulp production, pulp production costs can be reduced by up to 64-82 EUR/ADt pulp, which corresponds to an increased gross margin of 35-70% for the increased production volume, irrespective of biofuel production pathway. This, however, requires that the alternative cost of rebuilding the existing recovery boiler for a capacity increase is at the higher end of the investigated alternatives. If the synergy is instead allocated to the biofuel production, the production costs can be reduced by up to 23%.

The integration of biofuel production from BL part-streams results in significant impacts on the mill's energy balance, especially in the steam system. Mills that currently operate with an energy surplus that is exported as electricity therefore have a significant advantage as integration sites.

CONCLUDING COMMENTS

The possibility to bottleneck the recovery boiler is an important driver for implementation of BL part stream-based biofuel production. Conversely, the technical risk of close integration of new technologies and the need to time the potential investment into an “investment window of opportunity” when the mill or refinery is shut down for maintenance constitute barriers to the industrial integration.

The introduction of an additional process step (lignin separation or gasification) in the recovery cycle naturally increases the risk of operational disruptions. However, the risk of impact on pulp production is considered to be limited because there is a buffer capacity in the form of tanks for both black liquor and green liquor. This allows the mill to continue the pulp production at full capacity for a limited time, as long as the majority of the recovery, which is done in the recovery boiler, is in operation. In the event of longer operational disruptions in the new processes, the pulp production will be affected. This, however, only applies to a part of the production, corresponding to the part of the black liquor that goes to lignin separation or gasification.

Finally, it can be concluded that since the demand for forest residue-based drop-in alternatives that can replace both petrol and diesel is expected to grow in the future, the complementary deployment of lignin separation-hydrotreatment and BL gasification-catalytic synthesis can be a strategically interesting option for achieving deep reductions in transport GHG emissions. In order to make this happen though, challenges not only related to technology aspects, but also to lacking key actors (and associated resources), unclear roles, and weak network structures, must also be overcome.

