

Executive summary

# ELEKTROLYSASSISTERAD FÖRGASNING AV BIOMASSA FÖR DRIVMEDELSPRODUKTION

April 2021

Sennai Asmelash Mesfun  
RISE Research Institutes of Sweden

Andrea Toffolo, Bio4Energy/Luleå tekniska universitet

Klas Engvall och Carina Lagergren, KTH

## FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och  
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

## FÖRORD

Detta projekt har genomförts inom ramarna för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 48371-1. 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](http://www.f3centre.se))

Cortus Energy AB har bidragit med teknisk information och driftdata rörande förgasningstekniken WoodRoll som ingår som en del i utvärderingen av de olika processkoncepten.

### **Denna publikation ska citeras enligt följande:**

Mesfun, S. *et al* (2021) *Elektrolysassisterad förgasning av biomassa för drivmedelsproduktion (Executive summary)*. Publ. nr FDOS 11:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

### **Projektets totala resultat presenteras i följande publikationer:**

Mesfun, S. *et al* (2021) *Electrolysis assisted biomass gasification for biofuels production*. Publ. nr FDOS 10:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/>

## FÖRGASNING KAN KOMBINERAS MED ELEKTROLYS FÖR EFFEKTIVARE DRIVMEDELSPRODUKTION

Skogsindustrin i Sverige har idag en produktionskapacitet på 18–19 miljoner kubikmeter sågat trävirke och 9 miljoner ton pappersmassa. I ett typiskt nordiskt sågverk hamnar mer än hälften av timret som levereras i biprodukter, till exempel flis, bark och sågspån. Att nyttiggöra denna restbiomassa som råvara för biobaserade drivmedel skulle kunna täcka en betydande andel av framtida behov, främst inom luftfarten och de marina transportererna. I dessa segment är barriärerna för elektrifiering högre än för landbaserade transporter. För att uppnå en 70-procentig minskning av hela den inhemska transportsektorns utsläpp 2030, och i förlängningen ett fossilfritt samhälle år 2045, behövs alternativ för alla segment.

Förgasning är en strategiskt viktig teknik för omvandling av restbiomassa till biodrivmedel. Innan biodrivmedel kan tillverkas krävs dock att den producerade gasen renas och uppgraderas. Det är en utmaning att konstruera effektiva processer för detta och traditionell teknik är i dagsläget dyr och har en hög initial investeringskostnad. Ur det perspektivet är den mindre attraktiv att använda i anläggningar som inte är storskaliga.

Men det finns ett teknikalternativ som skulle kunna integreras i sågverk för att möjliggöra biodrivmedelsproduktion från verkets biprodukter. Genom att kombinera en förgasningsprocess med elektrolys, där tillförd elektrisk energi hjälper till att driva den kemiska omvandlingen i gasrenings- och uppgraderingsprocesserna, går det att få mer kostnadseffektiva processer även i mindre skala. För att stimulera introduktion av den här processkombinationen behövs dock mer information om integrationsmöjligheter i lämpliga industrier.

Inom projektet utvärderades den tekno-ekonomiska potentialen för produktion av biobaserat jetbränsle via processen Fischer-Tropsch till jetbränsle (FTJ) från biprodukten sågspån i en anläggning integrerad i ett sågverk.

### NORDISKA TYP SÅGVERK UTGJORDE MODELLEN

En rad olika processkonfigurationer för produktion av biojetbränsle utvärderades genom processmodellering på olika nivåer och genom processintegrering i ett sågverk. Den totala produktionskostnaden för biojetbränsle och andra flytande produkter utvärderades för varje enskild processkonfiguration för att möjliggöra en jämförelse mellan de olika fallen.

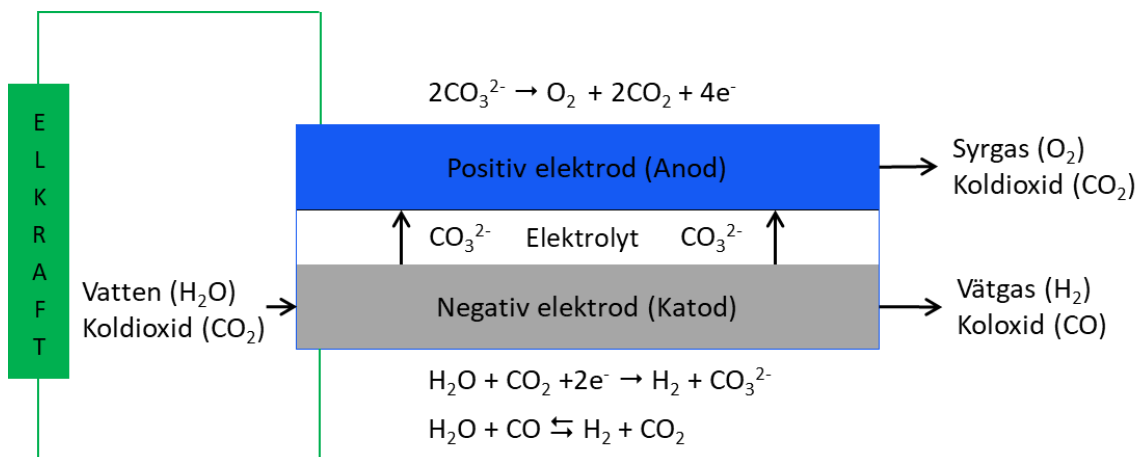
Sågverkets storlek valdes baserat på en typisk produktion för nordiska anläggningar, vilket är ca 30 MW<sub>biomassa</sub> sågspånsrester. Storleken användes sedan som grund för skalan på övriga processer i anläggningen för biojetbränsleproduktion, och i relation till övrig energianvändning inom sågverket.

## MÖJLIGHETERNA MED MCEC-TEKNIK

MCEC (*eng.* Molten carbonate electrolysis cell), är en elektrokemisk smältkarbonatelektrolyscell som kan användas för att effektivisera flera steg i produktionen av biodrivmedel genom en integrering i syntesgasproduktionen i en process baserad på biomassaförgasning.

Den kemiska omvandlingen i en elektrokemisk smältkarbonatelektrolyscell (MCEC) kan förenklat beskrivas som en process där elektroner deltar i kemiska reaktionerna vid två elektroder, en positiv (anod), och en negativ (katod). Vatten och koldioxid matas till katoden där främst vätgas och koloxid bildas. Karbonatjoner transporteras från katoden till anoden och sönderdelas till syrgas och koldioxid.

Vid en integrering av MCEC-tekniken i en gasrenings- och uppgraderingsprocess matas produktgasströmmen från förgasningen av biomassa in i katoden tillsammans med vattenånga och åter-cirkulerad koldioxid.



**Kemisk omvandling i en MCEC-enhet.**

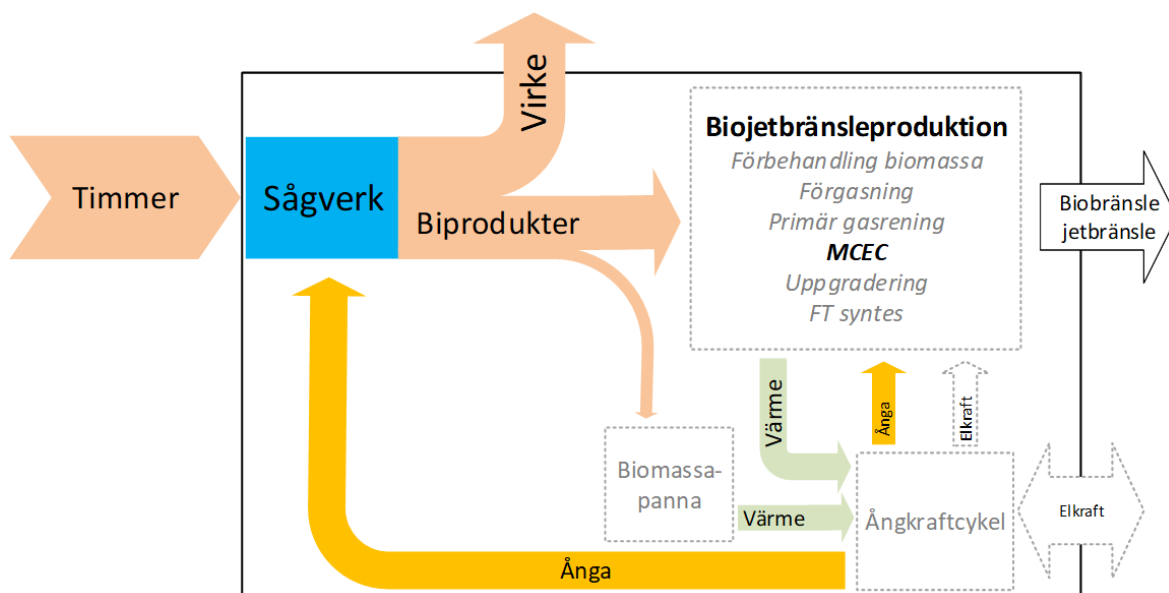
Jämfört med traditionell teknik finns det flera möjliga fördelar med MCEC-tekniken vid integrering i en FTJ-process baserad på biomassaförgasning:

- Den ökar produktionen av syntesgas genom att elektrisk energi tillsammans med vattenånga och koldioxid omvandlas till främst vätgas, men även koloxid vid behov.
- Separationen av koldioxid och syrgas i processen gör att syrgasen kan avskiljas och direkt användas i den termiska förgasningen. Det gör att dyra processer för separering av syrgas från luft kan undvikas. Då även koldioxid avlägsnas, minskas belastningen på nedströms processteg för koldioxidseparering.
- Den kan användas för att skräddarsy sammansättningen av vätgas och koloxid i syntesgasen före Fischer Tropsch-syntesen och ersätter då den traditionella processen vattengasskift (*eng.* Water Gas Shift, WGS). Detta gör att den effektiva kolomvandlingen blir högre då vattengasskiftprocessen medför större koldioxidemissioner.
- MCEC-tekniken är en så kallad elkraft-till-gas-process. Det möjliggör en större andel intermitterant förnybar elkraft i energisystemet eftersom förnybar elektricitet kan lagras i form av kemiska energibärare.

- Tekniken går att köra också i omvänt läge, det vill säga som en bränslecell (MCFC, *eng.* Molten carbonate fuel cell). Det innebär att det vid behov även går att producera elektricitet. Tekniken är med andra ord flexibel inför skiftande behov i samhället.
- Tyngre (till exempel tjära) och lättare kolväten (till exempel metan) kan delvis sönderdelas i MCEC-processen, vilket minskar behoven av andra katalytiska delprocesser för sönderdelning av kolväten.

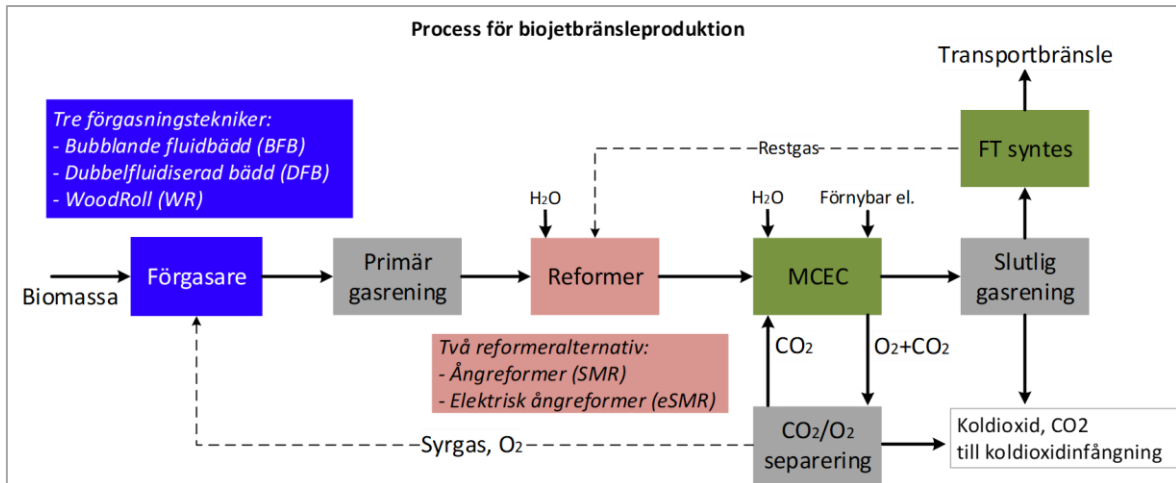
## INTEGRERING AV MCEC I PROCESSER FÖR DRIVMEDELSPRODUKTION

Anläggningen för biojetbränsleproduktion består huvudsakligen av en förgasningsprocess, primär gasrengöring (inkluderar partikelseparation och ett processteg för ångreformerering av metan), en elektrokemisk smältkarbonatelektrolyscell (MCEC-enhet), ett steg för slutlig gasrening (bland annat koldioxidseparering) och slutligen Fischer Tropsch-syntes, i vilken vätgas och koloxid används för att producera olika FT-produkter, till exempel kolväten i form av jetbränsle, bensin, diesel och nafta.



Flöden av råvara och produkter i ett sågverk där en anläggning för produktion av biojetbränsle integrerats.

Storleken på biomassaförgasaren anpassades till en bestämd syntesgasproduktion på 20 MW, vilket relaterar till storleken på ett typiskt nordiskt sågverk. Övriga värmebehov i det integrerade systemet tillfredsställdes genom en anpassad drift av en biomassapanna. Den totala kapaciteten på processen beträffande biomassa (inklusive syntesgasproduktion och värmebehov) motsvarar ca 30 MW<sub>biomass</sub>.



En översiktlig processbild över de olika konfigurationer som ingick i projektet.

I den här studien studerades åtta olika processkonfigurationer för en MCEC-enhet där tre olika förgasningsalternativ ingick:

- Tvåbäddsförgasare (*eng.* Dual Fluidized Bed, DFB). Detta är den mest använda tekniken för indirekt förgasning av biomassa; den möjliggör förgasning med enbart ånga i förgasningsreaktorn.
- Bubblande fluidiserad bädd (*eng.* Bubbling Fluidised Bed, BFB). Teknik där värmebehovet i reaktorn tillgodoses genom direkt förbränning av syrgas i bädden. Ånga används vid produktionen av syntesgas för att öka mängden vätgas i syntesgasen.
- WoodRoll (WR). Teknik som omvandlar biomassa till en relativt ren förnybar gas med ett måttligt behov av gasrengöring, jämfört med förgasningsteknikerna DFB och BFB.

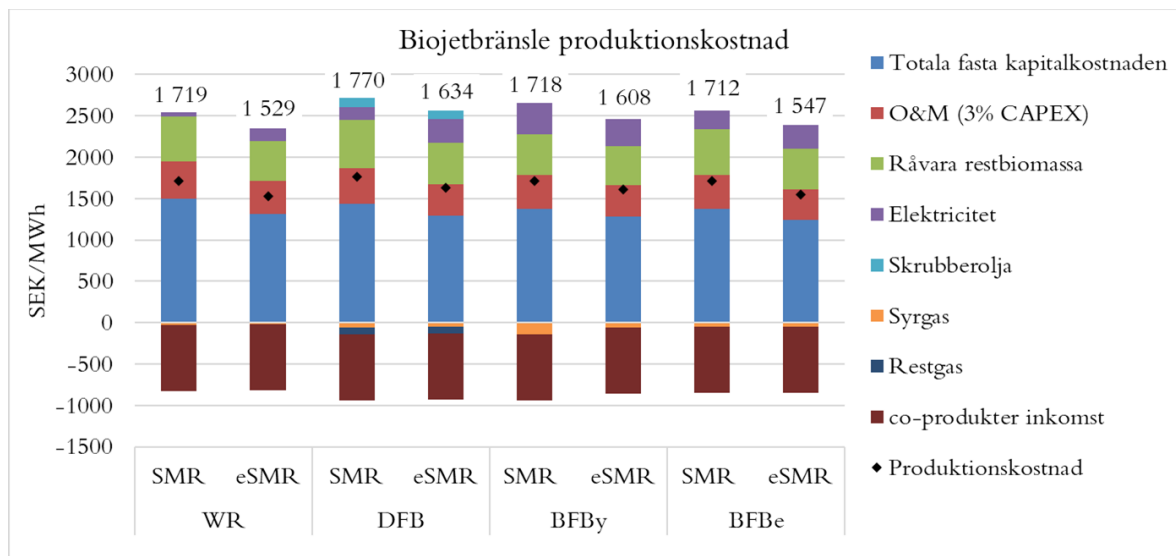
För att uppnå kostnadseffektivitet så studerades varianter av konfigurationerna där två olika alternativ till en ångreformer SMR (*eng.* Steam methane reformer) för metangas inkluderades, en traditionell SMR och en elektriskt uppvärmd SMR (eSMR). En ångreformer omvandlar metan och högre kolväten i produktgasen från förgasaren till koloxid och vätgas.

## VAD INNEBÄR EN INTEGRERING AV MCEC I PROCESSER FÖR DRIVMEDELSPRODUKTION?

Resultaten av utvärderingen pekar på tydliga fördelar med MCEC-tekniken jämfört med den traditionella vattengasskiftsprocessen. MCEC-tekniken förbättrar utbytet genom en bättre kolomvandlingsgrad, det vill säga mindre av det ursprungliga kolet i restbiomassan går förlorat i processen. Samtidigt möjliggör MCEC-tekniken användning av extern koldioxid i en så kallad "power-to-X"-process. Detta innebär att potentialen för en introduktion av mer kostnadseffektiva kommersiella FTJ processer i mindre skala ökar väsentligt.

Sammantaget går det att dra följande slutsatser av integreringen av MCEC-teknik i biojetbränsleproduktion vid ett sågverk:

- MCEC-tekniken möjliggör en ökad produktgenomströmning med så mycket som mellan 15–31 procent beroende på processkonfiguration jämfört med den traditionella vattengasskiftsprocessen.
- Elektrisk uppvärmning av ångreformen (eSMR) förbättrar det totala utbytet flytande FT-produkter med 9–13 procent jämfört med den traditionella SMR fallet, och så mycket som mellan 15–31 procent jämfört med den traditionella vattengasskiftsprocessen.
- Storleken på de utvärderade processkonfigurationerna har en kapacitet på cirka 30 MW<sub>biomassa</sub>, vilket skulle resultera i en produktion av cirka 5–7 kton/år av biojetbränsle och 4–5 kton/år av andra kolväteföreningar såsom nafta och diesel.
- Produktionskostnaden för biojetbränslefraktionen hamnar mellan 1700–1800 SEK/MWh för konfigurationen med en traditionell ångreformer (SMR) och 1500–1650 SEK/MWh för konfigurationen med en elektriskt uppvärmd ångreformer (eSMR). Den totala produktionskostnaden utan uppdelning mellan de flytande FT-produkterna (biojet, diesel- och bensin-komponenter) hamnar mellan 1500–1550 respektive 1400–1450 SEK/MWh för SMR-respektive eSMR-konfigurationen. Det placerar dem inom intervallet för de produktionskostnader som presenterades i utredningen Biojet för flyget som utredde styrmedel för att främja användning av biobränsle för flyget.



MCEC-tekniken är idag inte kommersiell men är under utveckling. Den bygger på den väl beprövade och kommersiellt introducerade smältkarbonatbränslecellen (MCFC), som idag säljs i enheter av storleksordningen 3 MW för installation i kraftverk (> 60 MW<sub>elektricitet</sub>) för elproduktion från till exempel naturgas. Utvecklingen av MCEC-tekniken kräver framför allt fortsatta experimentella undersökningar med verklig kontaminerad produktgas producerad från biomassaförgasning för att verifiera modeller och validera funktionen i större skala.





## ENGLISH SUMMARY

Decarbonization of the transportation fleet plays a central role to achieve Sweden's long-term target of zero net greenhouse gas emissions by 2045. The penetration of hybrid and electric vehicles in passenger fleet is growing at a promising rate as policy instruments on new gasoline and diesel-driven passenger and light-duty vehicles are continuously implemented. Long-distance trucks, aviation, and marine sectors are however difficult to transform with the current state-of-the-art and will likely depend on substitution with biofuels for the foreseeable future.

This project investigated techno-economic potential for converting sawmill byproducts to aviation fuel via the so-called Fischer-Tropsch to Jet fuel (FTJ) pathway onsite. Three gasification technologies were considered for converting the solid byproducts to synthetic gas; WoodRoll (WR), dual fluidized bed (DFB) and bubbling fluidized bed (BFB). The syngas conditioning steps are enhanced by the integration molten carbonate electrolysis cell (MCEC) which connects electricity to the process, boosting overall carbon conversion efficiency. The MCEC also opens the option for linking the process to external carbon sources in the context of power-to-X configurations. The MCEC replaces water gas shift process of conventional gasification-based biofuel pathways, improves yield of conditioned syngas by linking electricity to the process and reduces the load on acid gas removal unit by enabling partial removal of concentrated carbon dioxide in the anodic stream.

The performance of the MCEC for handling biomass-derived syngas from the three gasification technologies is evaluated. The results showed that the MCEC can increase product throughput by as much as 15–31 %. The capacity of the plants considered in this study are for first-of-its-kind demonstration scale, about 30 MW LHV (lower heating value) biomass feedstock. It resulted in an annual biojet production of about 5–7 kilo-tons, and 4–5 kilo-tons of other hydrocarbon components, naphtha, and diesel range, per year. The economic assessment resulted in total FT liquids production cost in ranges of 1500–1500 SEK/MWh (SMR configurations) and 1400–1450 SEK/MWh (eSMR configurations). The processes turned out to be capital intensive, with a specific investment range of 59–71 million SEK/MW FT liquid. About 55 % of the production cost derives from the investment.

