

Executive summary

# BIOBASERAD FLEXIBEL PRODUKTION AV DRIVMEDEL I EN KOMBINERAD PYROLYS- OCH FÖRGASNINGSANLÄGGNING (BIOFLEX)

Mars 2021

Efthymios Kantarelis och Klas Engvall  
KTH Kungliga tekniska högskolan

Andrea Toffolo  
Bio4Energy (Luleå tekniska universitet)

Ett projekt inom

**FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021**

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och  
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

## FÖRORD

drivmedel och system, projektnummer 48369-1. 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))

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

Kantarelis, E., Engvall, K. & Toffolo, A. (2021) *Biobaserad flexibel produktion av drivmedel i en kombinerad pyrolys- och förgasningsanläggning (Bioflex)*. Publ. nr FDOS 09:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

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

Kantarelis, E., *et al.* (2021) *Bio-based flexible production of transportation fuels in a combined pyrolysis-gasification plant (Bio Flex)*. Publ. nr FDOS 08:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/>

## TEKNIKKOMBINATION KAN ÖKA UTBYTET AV KOL I BIOMASSAN

En övergång till ett transportsystem med nettonollutsläpp av koldioxid kommer att kräva 13–24 TWh förnybara flytande drivmedel fram till 2030.

Det skulle kunna levereras på ett effektivt och hållbart sätt genom termokemisk omvandling av rester från skogsbruket, vilket ger en produkt av biogent kol som kan bli råvara för framställning av högvärdiga bränslen.

Det finns två huvudprocesser för termokemisk omvandling av biomassa: pyrolys (termisk nedbrytning av trä) och förgasning (partiell oxidation). Att integrera de här processerna ger flera fördelaktiga synergieffekter. Den främsta är att kolverkningsgraden ökar avsevärt jämfört med vad som kan åstadkommas med enbart direkt förgasning med syrgas. Detta innebär att det går att få ut mer biodrivmedel av samma mängd biomassa.

### Mellanprodukt är nyckeln

Den tekniska kombinationen av pyrolys och förgasning förutsätter en gemensam mellanprodukt innan man kan producera flytande bränsle.

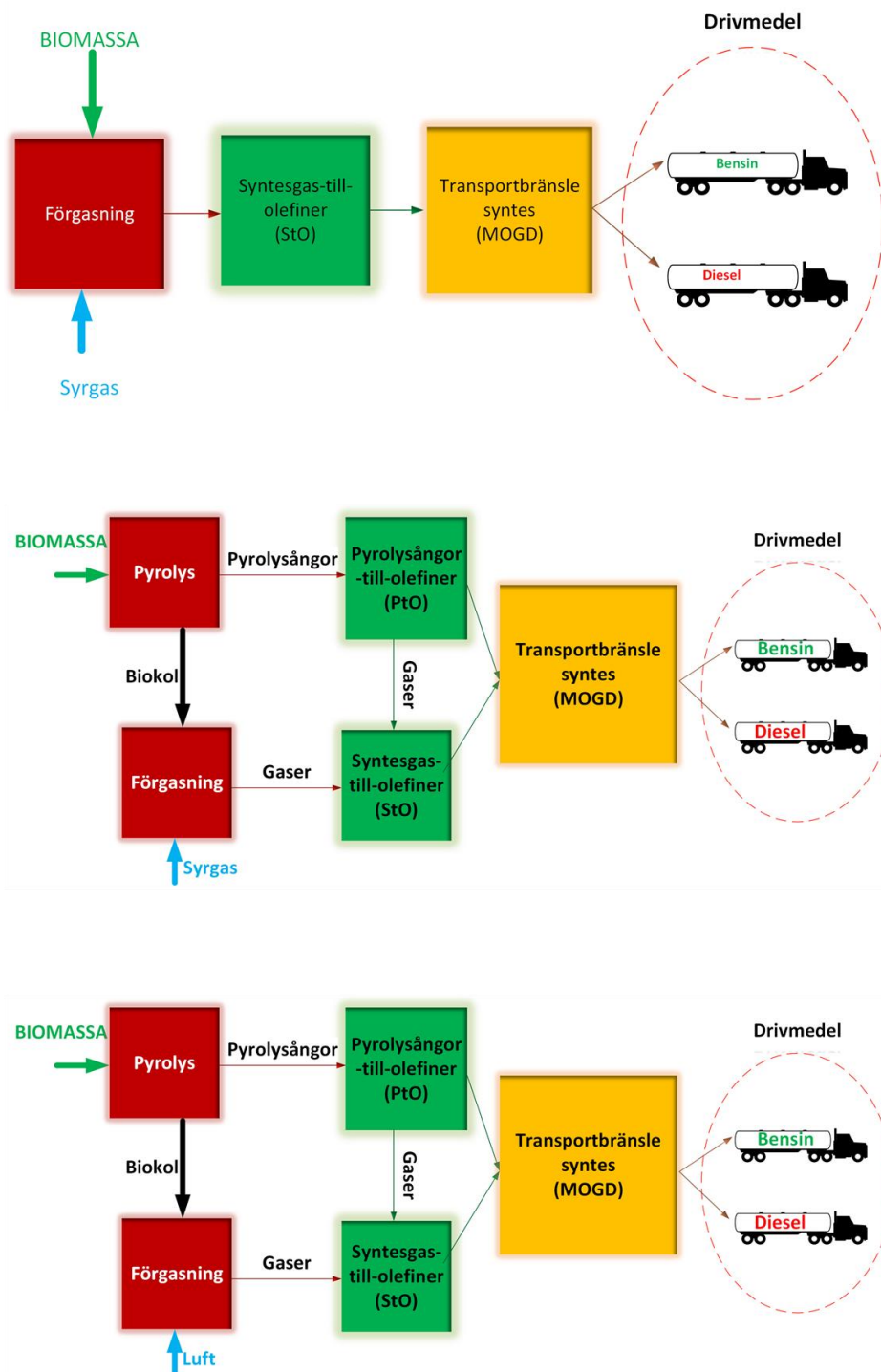
En möjlig sådan mellanprodukt är lägre eller lätta olefiner. De kan produceras både från pyrolys och förgasning och effektivt omvandlas till flytande bränsle genom en process som förkortas MOGD, Mobil Olefins to Gasoline and Distillate.

Olefiner är en mycket viktig kemisk råvara och kan också användas i kemiindustrin för tillverkning av andra biobaserade produkter.

I det här projektet analyserades tre alternativa processvägar för produktion av olefiner och efterföljande syntes av flytande bränslen (MOGD).

1. Biomassaförgasning med syrgas och syntes av olefiner från den producerade syntesgasen (referenskoncept)
2. Tvåstegs interagerad termokemisk omvandling av biomassa (pyrolys och förgasning **med syrgas**), kombinerat med produktion av olefiner både från pyrolysångor och syntesgas
3. Tvåstegs interagerad termokemisk omvandling av biomassa (pyrolys och förgasning **med luft**), kombinerat med produktion av olefiner både från pyrolysångor och syntesgas.

Kolet i biomassan omvandlas från pyrolysångor och syntesgas till olefiner genom processerna – PtO (Pyrolysångor till Olefiner) och StO (Syngas till Olefiner) och därefter syntetiseras flytande bränslen (se figuren nedan).



Figur över analyserade processkoncepten.

Teknikerna förutsattes användas i små till medelstora anläggningar (5–50 MW biomassavärmevärde), dels för att begränsa kostnader för transport av biomassa, dels för att visa hur lokal utveckling i mindre skala kan gynnas.

Processanalysen visar att kolverkningsgraden är högre om biomassan först pyrolyseras och att den fasta återstoden därefter används för att producera syntesgas (processkoncept 2 och 3). På detta sätt kan både pyrolys- och förgasningsprodukter omvandlas till olefiner och därefter till flytande produkter.

Den integrerade omvandlingsprocessen i processkoncept 3 gör att 39,5 procent av biomassans ursprungliga kol återfinns i de flytande slutprodukterna. Kolverkningsgraden i referensfallet med fristående biomassaförgasningsprocess (processkoncept 1) uppgår till ca 29 procent. Kolverkningsgraden i biomassa som används för produktion av drivmedel och råvaror till kemiindustrin kan alltså öka med dryga 36 procent med den integrerade omvandlingsprocessen.

Huvudsakligen beror den högre kolverkningsgraden på att också den kolmonoxid som bildas vid omvandlingen av pyrolysisprodukter till olefiner, används för ytterligare produktion av olefiner. Det sker när kolmonoxiden kombineras med produktgasen från förgasningsprocessen.

De tekniker som undersöktes i studien äger rum vid anläggningar som är självförsörjande på värme för processerna och flexibla avseende bränsleblandningen, dvs de kan justera vissa driftförhållanden i reaktorerna för att förändra sammansättningen för det flytande bränsle som ska produceras (bensin eller diesel).

För att kunna syntetisera olefiner från syntesgas, behöver man vätgas i rätt sammansättning i processen (StO i figuren ovan). Detta uppnås genom att omvandla kolmonoxid från syntesgasen till vätgas och koldioxid. Denna omvandling innebär en förlust (i form av koldioxid, CO<sub>2</sub>) på mellan 18–27 procent av det kol som finns tillgängligt i biomassan.

Tekniken för vätgasproduktion (omvandling av kolmonoxid) möjliggör avskiljning av koldioxid och beroende på de undersökta processkoncepten fångas ungefär 48, 26 respektive 25 procent av det biomassainnehållna kolet för processkoncept 1, 2 och 3.

### Kan möta framtida variationer i drivmedelsmixar

En fördel med framställning och användning av olefiner för drivmedel med hjälp av MOGD är att det enkelt går göra anpassningar av processen för att producera de efterfrågade bränsleblandningarna. Det uppnås utan någon annan förändring i processutrustningen eller konfigurationen än ändring av hastigheten på återcirkuleringen av flöden från den andra reaktorn till den första (MOGD består av två reaktorer i serie), eller minskning av trycket.

De potentiella koldioxidbesparingarna från direkt fossilbränslesubstitution för nuvarande och framtida bränslemix kan uppgå till 792,2 kg per ton biomassa som bearbetats för processkoncept 3. Kolverkningsgrad, koldioxidbesparing och produktionskostnader för alla tre koncepten visas i tabellen nedan.

Kolverkningsgrad, potentiella koldioxidbesparingar samt uppskattade produktionskostnader ur tidsperspektiven 2020 respektive 2030.					
	Kolverkningsgrad (%)		Koldioxidbesparingar (kg CO <sub>2</sub> / ton biomassa)		Produktionskostnader (SEK/l)
	2020	2030	2020	2030	50 MWt
<b>Processkoncept 1</b>	28.60	28.56	427.3	573.0	15.79
<b>Processkoncept 2</b>	38.71	38.62	774.0	774.6	10.96
<b>Processkoncept 3</b>	39.52	39.49	790.5	792.2	10.34

förutsättningar för både teknik- och marknadsutveckling efter år 2050. De undersökta processkoncepten kan ändå vara lönsamma eftersom lätta olefiner även har ett annat viktigt användningsområde, nämligen som råvara för kemiindustrin och den tillverkande industrin i produktion av t.ex. förpackningsmaterial, fibrer och beläggningar. På kortare sikt kan de alltså användas i drivmedelsproduktion för att minska koldioxidutsläppen från transportsektorn, och ur ett längre tidsperspektiv kan de användas för att producera gröna material och kemikalier.

De beräknade koldioxidbesparingarna endast för produktion av olefiner som ersätter nuvarande fossilbaserad produktion uppskattas till 194 kg koldioxid per bearbetad ton biomassa.

### **Kostnaderna är utmaningen**

Det mest lovande processkonceptet (koncept 3) indikerar en kapitalinvestering på 1,7 MSEK/fat av flytande produkt per dag, och en total produktionskostnad på 10,34 SEK/liter av flytande produkt för en anläggning i storleksordningen 50 MW. Kolverkningsgraden för olika bränslemixar var nästan identiska (skillnader mindre än 1%). Produktionskostnaderna är höga och åtgärder för att underlätta investeringar bör därför införas.

### **Så kan teknikerna förbättras**

Kolomvandlingen från pyrolysångor och syntesgas till olefiner ligger i närheten av 50–60% för båda processerna PtO och StO (se figuren ovan). Det finns flera sätt att ytterligare förbättra den totala kolverkningsgraden från biomassa till olefiner. Ett sätt är koldioxidomvandling, och annat är utnyttjande av synergier med förnybar vätgasteknik. Det skulle gynna både kolverkningsgraden och processekonomin. Om förnybar vätgas tillförs systemet genom elektrolys, så skulle det totala kolutnyttjandet kunna ökas och närma sig den teoretiska kolverkningsgraden på över 50 procent. En ytterligare fördel med synergier mellan termokemisk omvandling av biomassa och elektrolysteknik för förnybar vätgas är parallellproduktionen av syrgas, som kan användas vid förgasningen. Detta är viktigt eftersom kapitalkostnaderna förknippade med luftseparation för syrgasproduktion och kompression representerar 10–13 procent av den totala kapitalinvesteringen. Framtida kostnadsminskningar i vätgasproduktion från elektrolys kan ge minst 3–5 procent minskning av produktionskostnaderna.

Sammanfattningsvis så möjliggör en produktion av lätta olefiner genom den integrerade termokemiska omvandlingen av biomassa för produktion av flytande bränslen ett mer effektivt och flexibelt utnyttjande av förnybart kol. Vidare så kan synergier med andra av förnybara energikällor ytterligare öka kolanvändningen.

## ENGLISH SUMMARY

The Swedish national demand for renewable transportation fuel by 2030 corresponds to 13-24 TWh. Conversion of residual biomass from forestry to higher value fuels can be achieved via thermochemical processes i.e., pyrolysis and gasification. Combining these processes with parallel upgrading of pyrolysis and gasification products to an intermediate, light olefins, and subsequent liquid fuel synthesis via the flexible Mobil Olefins to Gasoline and Distillate (MOGD) process, offers higher carbon efficiencies when compared to direct standalone biomass treatment for production of olefins and MOGD. Specifically, a 36 % improvement (39.5 % vs approx. 29 %) in carbon utilization can be achieved.

The production of light olefins for liquid fuel synthesis offers process flexibility and can match current and future fuel mix demands without compromising carbon efficiency (differences less than 0.5 %). The potential CO<sub>2</sub> savings from direct fossil-fuel substitution for current and future fuel mix can reach 792.5 kg/ton of biomass processed.

Since olefins can be used in the chemical and manufacturing industry as well, their production offers business flexibility over time. This means that despite an expected decline in the demand for liquid transportation fuels which may imply liquid fuel production cuts beyond 2050, there is a market for light olefins to produce many products for our daily activities, such as packaging materials, fibres, coatings etc. Thus, the process aims for current CO<sub>2</sub> emission mitigation by direct substitution of transportation fuels, and future CO<sub>2</sub> mitigation through the production of green materials and chemicals. The estimated CO<sub>2</sub> savings only for the production of olefins to substitute fossil-based olefins production, are estimated equal to 194 kg of CO<sub>2</sub> per ton of biomass processed.

Considering the capital investment and operating costs, the best-case scenario (process scheme 3) indicated a capital investment of 1 700 000 SEK/barrel of liquid product per day and a production cost of 10.34 SEK/l, for a 50 MW plant. Production costs are relatively high and incentives for investment should be put in place.

### **Synergies of renewables for holistic approach**

Synergies with renewable hydrogen production technologies, as for example water electrolysis, can boost the overall carbon efficiency to theoretical carbon efficiencies greater than 50 % by eliminating the need for carbon consumption for hydrogen generation which is required for the synthesis of olefins from gasification gas. In addition, electrolysis can provide pure oxygen supply for the gasification of char eliminating the need for air separation that represents 10-13 % of capital investment. Future cost reductions in hydrogen generation from electrolysis can offer at least a 3-5 % reduction in production costs. Moreover, improvements in catalysis for syngas and pyrolysis vapours upgrading can benefit both the carbon conversion and the process economics. Given that CO<sub>2</sub> capture potential of the investigated schemes is rather large, additional boost in process economics can be given by policies that incentivize the net CO<sub>2</sub> removal such as paying dividends to negative CO<sub>2</sub> emitters.



BIO4ENERGY

