

Executive summary

**SUNALFA –  
SYSTEMINRIKTAD ANALYS AV PROCESSER FÖR  
BIODRIVMEDEL FRÅN SKOGSRÅVARA**

Juni 2021

Carl Christian Stigsson – SunBTL/Lunds universitet

Erik Furusjö – RISE Research Institutes of Sweden

Pål Börjesson – Lunds universitet

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 46969-1. 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:**

Stigsson, C.C., Furusjö, E. & Börjesson, P. (2021) *SunAlfa-Systeminriktad analys av processer för biodrivmedel från skogsråvara (Executive summary)*. Rapport nr FDOS 15:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

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

Stigsson, C.C., Furusjö, E., Börjesson, P. (2021). *SunAlfa - System oriented analysis of processes for renewable fuels from forest raw material* Publ. No FDOS 14:2021. Available at <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/>

## HÅLLBARA BIODRIVMEDEL KOMPLETTERAR EL OCH VÄTGAS

Trots den breda satsningen på vätgas och de omfattande satsningar på elektrifiering av transportsektorn som just nu pågår, kommer det under överskådlig framtid finnas ett stort behov av kolbaserade bränslen – som kan vara förnybara eller icke-förnybara – och som kan användas i olika typer av förbränningsmotorer. Delvis förklaras detta av den stora mängd fordon med förbränningsmotorer som fortfarande används globalt, och som kommer ta lång tid att ersätta fullt ut. Det finns också svårigheter att ersätta kolbaserade drivmedel i delar av flyg- och sjöfarten liksom i vissa delar av tung vägtransport, även på lång sikt. I dessa segment har de kolbaserade bränslena en mycket fördelaktig kombination av hög energidensitet och god lagringsbarhet.

I dagsläget är de kolhaltiga bränslena till största delen fossilbaserade, både i Sverige och internationellt. Denna användning är inte hållbar ur ett klimatperspektiv och huvuddelen av oljan och gasen kommer dessutom från ett fåtal länder vilket gör den känslig för störningar.

Riksdagen har beslutat om att Sverige ska ha en fossiloberoende fordonsflotta. Utredningarna Fossilfri fordonstrafik och Miljömålsberedningen anger mål och strategier för hur denna omställning ska ske. Utsläppen från transporter ska minska med 70 procent till 2030 och därefter är målsättningen att helt ställa om till fossilfri trafik. För att nå målen är en hållbar produktion av biodrivmedel ett nödvändigt komplement till satsningar på el- och vätgas.



Bild: Jaye Haych, Unsplash

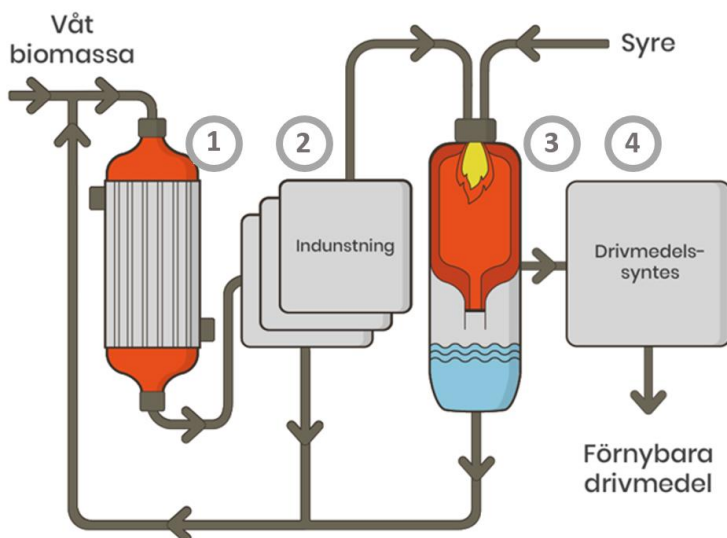
## EN RÅVARUFLEXIBEL PROCESS

För att på ett önskat sätt kunna komplettera vätgas och el i transportsektorn så måste hållbara förnybara biodrivmedel kunna produceras på ett effektivt sätt och i en kommersiellt relevant skala.

Detta projekt har syftat till att analysera en kemisk process som tar avstamp i hydrotermisk förvätskning (eng. *Hydrothermal liquefaction, HTL*) av skogsbiomassa och efterföljande omvandling till ett vax som med mindre efterbehandling kan upparbetas till högkvalitativa drivmedel. Processen syftar till att i stor skala kunna omvandla olika slags biomassa med hög inkommande fukthalt på ett effektivt sätt.

Sammanfattningsvis består uppställningen av den analyserade kemiska processen av fyra integrerade delprocesser:

1. Hydrotermisk förvätskning (HTL) – Omvandling av biomassa till en pumpbar bioslurry, dvs en våt slamliknande blandning av fina, fasta partiklar och vätska.
2. Indunstning – Minskning av vätskeinhåll i bioslurryn.
3. Förgasning – Omvandling av den indunstade bioslurryn till syntesgas/syngas.
4. Fischer-Tropsch-syntes (FT) – Syntesgasen omvandlas till i huvudsak flytande kolväten (FT-vax).

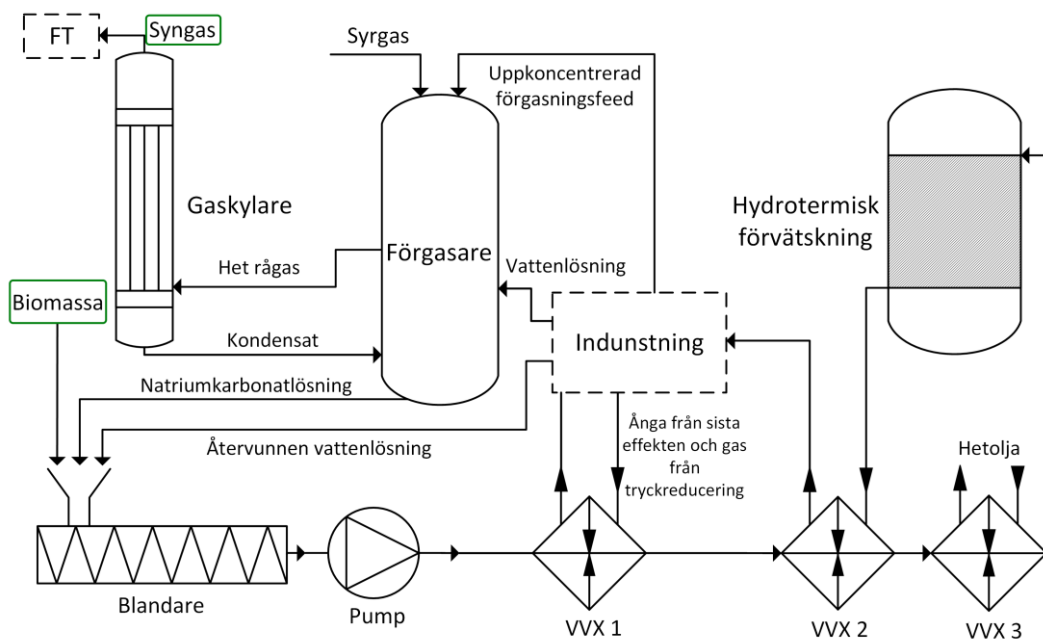


**Figur 1: Principiell processuppställning.**

De kolväten som bildas under den avslutande FT-syntesen är en utmärkt råvara för upparbetning till flygbränslekomponenter och andra drivmedelsslag i ett petroleumraffinaderi.

### 1. HTL - Omvandling av biomassa till flytande form

Råvaran, i detta fall skogsavfall, blandas med alkaliska salter (katalysatorer) som återförs från för-gasningsanläggningen. Materialet mals, omblandas intensivt med en vätska/vatten, trycksätts och värms upp innan det matas in i en HTL-reaktor som arbetar vid högt tryck (200 bar) och hög temperatur (över ca 300 °C) under 15 minuter.



**Figur 2: Schematisk uppställning av den studerade processen för omvandling av biomassa till syngas.**

Skogsavfallet förvätskas därmed och bildar en form av pumpbar ”bioslurry”, där viktförhållandet är fyra delar vatten per del biomassa. Bioslurryn består av en oljefas, vattenlösliga organiska ämnen och fasta partiklar.

## 2. Indunstning - Avdrivning av vatten

Vatteninnehållet i den bildade ”bioslurryn” behöver minskas till omkring 20–25 viktprocent innan den kan förgasas. För att på ett energieffektivt sätt driva av vattnet utnyttjar processen så kallad flerstegindunstning där vattnet i slurryn kokas av i seriekopplade värmeväxlare. Ju fler indunstningssteg som en process har, desto energisnålare kan den byggas. Valet av antal steg är en avvägning mellan driftskostnader och kapitalkostnader. I den analyserade processen används fem indunstningssteg, vilket är en sedan länge väl beprövad processlösning i massaindustrin. Där används den för att driva av vatten från avlutar, en biprodukt som bildas när träflis kokas till pappersmassa och som sedan vanligen förbränns för energiutvinning.

## 3. Förgasning

I förgasningsprocessen omvandlas kolhaltiga material, såsom biomassa, vid hög temperatur till syngas (syntesgas), en blandning av gaserna kolmonoxid och vätgas. Det sker genom att tillföra kontrollerade mängder ånga, syre eller en kombination av dem.

I denna studie används syrgasblåst suspensionsförgasning av biomassa, där bioråvaran matas tillsammans med ett begränsat flöde av syre genom ett brännarmunstycke och bildar en låga med hög lokal temperatur. Omfattande utveckling av denna teknik har tidigare gjorts för förgasning av svartlut (eng. *Black Liquor Gasification, BLG*) samt för pulveriserat trä och torrefierad biomassa. Att använda en flytande råvara, som bioslurry i detta fall, gör det lättare att implementera en trycksatt

process än då pulveriserad biomassa används. Detta har ett antal potentiella fördelar för värmeåtervinning och nedströmsprocesser. En trycksatt process ökar också temperaturen på den överskottsvärme som bildas vilket ger förutsättningar för positiva synergieffekter genom integrering med annan industri.

Tidigare forskning på svartlut har visat att den katalytiska effekten av alkali i svartluten leder till mycket låga koncentrationer av metan och mycket låga halter av tjära vid suspensionsförgasning. I föreliggande studie har därför alkaliska salter tillsatts det undersökta processkonceptet för att ge den här typen av fördelar i både HTL-steget och förgasningssteget.

Förgasningseffektiviteten, dvs energiinnehållet i syntesgasen jämfört med förgasningsråvaran, i detta fall bioslurryn, är 80–85 procent. Ungefär två tredjedelar av den energi som inte återfinns i syntesgasen, dvs ca 10 procent av råvarans energi, kan återvinnas som lågtrycksånga.

#### 4. Fischer-Tropsch-syntes - Från gas till syntetisk olja

Fischer-Tropsch-processen utvecklades i Tyskland under första halvan av 1900-talet och användes redan då för att framställa syntetiska drivmedel för dieselmotorer i tider av oljebrist.

I syntesen sker en omvandling av kolmonoxid och vätgas till kolväten och vatten med hjälp av en katalysator. Det är vanligt att FT-syntes ger en produkt med långa kolkedjor, t.ex. i form av ett flytande vax där kedjorna kan vara minst 20 kolatomer långa. De kan sedan efterbehandlas för att få rätt längd för att passa framställningen av ett önskat drivmedel.

Syntesgasen från förgasningen innehåller föroreningar, till exempel svavel, som behöver avskiljas innan FT-syntesen. Med den förgasningsprocess som valts i denna studie bildas endast en liten mängd metan i förgasaren, vilket beror på närvaron av katalyserande alkali. FT-reaktorn producerar dock själv en avsevärd mängd metan och andra lätta gaser. De kan återcirkuleras och brytas ned till ny syntesgas för att öka utbytet av flytande FT-produkt.

FT-produkten kan användas för att producera drop-in-bränslen. I den process som undersökts specifikt i denna studie var FT-reaktorn kalibrerad att ge en hög andel produkt med kolkedjelängder i fotogenintervallet. Det lämpar sig väl för framställning av drop-in-bränslen för flyget.

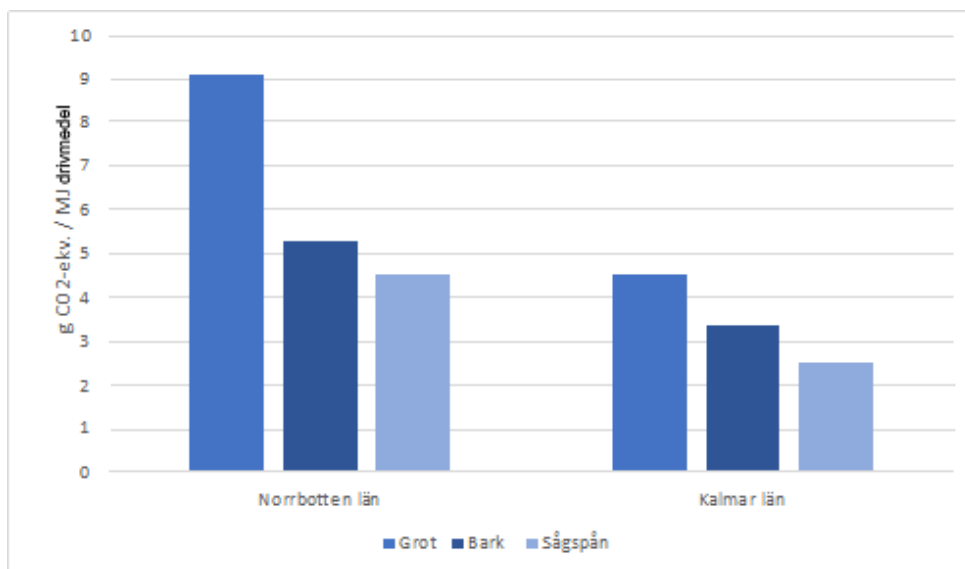
## SVENSK SKOGRÅVARA GER LÅGT KLIMATAVTRYCK

Produktionssystemen som analyserades visar hög klimatprestanda: livscykelutsläppen av växthusgaser är 90–97 procent lägre än de från motsvarande fossilbaserade alternativ.

Livscykelanalysen baseras på den beräkningsmetodik som är fastställd i EU:s Förnybartdirektiv (RED) och som används i beräkningar för svenska styrmedel, till exempel reduktionsplikten.

I livscykelanalysen i studien inkluderas tre råvarukategorier: grenar och toppar (grot), bark samt sågspån. Analysen tog hänsyn till två olika lokaliseringar: Luleå i Norrbottens län respektive Mönsterås i Kalmar län.

I figur 3 visas de olika alternativens livscykelutsläpp av växthusgaser som gram koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>-ekv.) per MJ drivmedel. Att grotbaserad produktion i Norrbottens län ger högst livscykelutsläpp (9 gram CO<sub>2</sub>-ekv. per MJ drivmedel) i jämförelse med andra undersökta alternativ beror på förhållandevis längre transportavstånd för råvaran. Lägst växthusgasutsläpp ur livscykelperspektiv blir det av sågspånsbaserad produktion i Kalmar län, 2,5 gram CO<sub>2</sub>-ekv. per MJ drivmedel. Som jämförelse är livscykelutsläppen för motsvarande fossila alternativ ca 90 gram CO<sub>2</sub>-ekv. per MJ drivmedel.



**Figur 3. Livscykelutsläpp av växthusgaser, uttryckt som gram koldioxidekvivalenter per MJ drivmedel, baserat på beräkningsmetodiken i EU:s Förnybartdirektiv (RED) för råvarorna grenar och toppar (grot), bark respektive sågspån samt lokalisering i Norrbottens län (Luleå) respektive Kalmar län (Mönsterås).**

Beroende på hur stor andel av bruttopotentialen av råvarorna i respektive region som kommer att finnas tillgänglig för en framtida produktionsanläggning, kan växthusgasprestandan variera något beroende på ändrade transportavstånd. Känslighetsanalyser visar att klimatnyttan i vissa fall då kan komma att sjunka till cirka 85 procent. Klimatprestandan kan också bli olika om andra beräkningsmetoder än den som fastställs i RED används. Om beräkningsmetodiken som beskrivs i ISO-standarderna för livscykelanalys används, sjunker framför allt klimatprestandan för grotbaserad produktion till cirka 80 procent.

## BETYDANDE INVESTERING MEN MÖJLIGHET TILL LÖNSAM PRODUKTION

Investeringskostnaden för den analyserade anläggningen som utifrån 50 ton/h våt biomassa producerar 5 ton/h FT-vax, beräknades till 1 700 miljoner kronor. Den producerade mängden FT-produkt uppgick till 400 GWh/år, vilket på energibasis motsvarar omkring 20 procent av bränsleförbrukningen i det svenska inrikesflyget.

Driftskostnaderna beräknades till 340 miljoner kronor per år, exklusive kapitalkostnader. Med en antagen avskrivning på 15 år och en ränta på 8 %, erhålls en total produktionskostnad på 537 miljoner kronor. Det motsvarar drygt 1 300 kr/MWh FT-produkt som med högt utbyte kan omvandlas till flygbränsle och andra drivmedelskvaliteter som diesel och bensen. Utifrån dagens och de framöver planerade reduktionspliktsavgifterna för vägtrafik respektive flygtrafik, så ger den framräknade produktionskostnaden möjlighet till lönsam produktion, i synnerhet för flygbränslesegmentet.

## FÖRDELAKTIG INTEGRATION MED ANDRA INDUSTRIER

De genomförda beräkningarna visar att den undersökta processen uppnår en total kolverkningsgrad på 32 procent och en energiverkningsgrad på 39 procent. Kolverkningsgraden anger hur stor andel av kolatomerna i den ingående råvaran som återfinns i den utgående produkten. Processens framräknade verkningsgrad ligger i linje med andra förgasningsbaserade FT-processer. Det undersökta konceptets starkaste fördelar bedöms främst vara inom skalbarhet, råvaruflexibilitet och driftsäkerhet.

Flera steg i den studerade processen genererar värme som skulle kunna användas för processer i angränsande industrier. Till exempel finns ett betydande överskott av lågtrycksånga (16,5 MW) som genereras i förgasningsprocessen. Denna ånga, med en temperatur på omkring 130 °C, skulle kunna användas i en massafabrik och då ersätta lågtrycksånga från mottrycksturbinen. Efter förgasaren kyls syntesgasen och i det steget genereras 90-gradigt vatten (2,1 MW) som i många fall också kan användas i en massafabrik som ersättning för lågtrycksånga.

Kylning av produktflödet från FT-reaktorn innehåller också en betydande mängd energi som kan återvinnas. Största delen av denna energi har dock temperaturer under 100 °C. Det minskar potentialen för värmeintegration med en massafabrik men denna temperaturnivå är dock intressant för ett fjärrvärmeverk.

Sammantaget genererar produktionen av 57 MW FT-produkt som studien undersökt, ett värmeöverskott på cirka 25 MW. Att använda den i en massafabrik kan avsevärt förbättra resurseffektiviteten för det undersökta produktionskonceptet. En drivmedelsanläggning baserad på den analyserade processen som samlokaliseras med en skogsindustri eller ett fjärrvärmeverk skulle därmed kunna bidra med betydande mängder hållbara drivmedel för flyg och tunga vägtransporter.



## SUMMARY

Despite the broad investments in hydrogen technology and the extensive investments in electrification of the transport sector that are currently underway, there is a significant need for carbon-based fuels in the foreseeable future that can be used in various types of internal combustion engines. This is partly explained by the large number of internal combustion engine vehicles still in use globally, which will take a long time to fully replace. There are also difficulties in replacing carbon-based fuels in parts of aviation and shipping as well as in some parts of heavy road transport, even in the long term. In these segments, the carbon-based fuels have a very advantageous combination of high energy density and good storability.

In this study a novel process for thermochemical conversion of wet biomass to hydrocarbons has been examined. The process, that combines hydrothermal liquefaction with entrained flow gasification and Fischer-Tropsch synthesis produces a hydrocarbon liquid (FT-fuel) that forms an excellent feedstock to any petroleum refinery where the liquid can be transformed to aviation fuels and other fuel grades. In comparison to a fossil fuel comparator, the FT-fuel will lead to a reduction of the life cycle GHG emissions by 90 to 97% for a plant located in Sweden and using different assortments of forest residues.

The production efficiency can be significantly improved if the examined process is integrated with a forest industry- or district heating plant where the excess heat could be utilized. Such a plant is a promising route to large-scale resource-efficient biofuel production.



**LUNDS**  
UNIVERSITET