

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Oljehaltiga jästsvampar för produktion av flygbränsle från sågverksrester	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Oleaginous yeasts for production of aviation fuel from sawmill residues	
Universitet/högskola/företag RISE Processum AB	Avdelning/institution
Adress Hörneborgsvägen 10, 89122 Örnsköldsvik	
Namn på projektledare Björn Alriksson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Leif Jönsson, Adnan Cavka, Lalie Kossatz, Tomas Gustafsson, Rabia Ayub.	
Nyckelord: 5-7 st Oljehaltig jäst, sågspån, flygbränsle, detoxifiering, fermentering, fettsyror.	

Förord

Projektet har finansierats av Energimyndigheten, Sekab E-Technology AB, RISE AB, RISE Processum AB och Umeå Universitet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	2
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	4
Resultat	5
Diskussion.....	5
Publikationslista.....	6
Referenser, källor.....	6
Bilagor	6

Sammanfattning

Flygtransporter är den snabbast växande transportsektorn, både nationellt och globalt. Tyvärr är också flyget en av de transportsektorer som är svårast att ställa om till alternativa bränsletyper. Syftet med projektet var att undersöka och utveckla en möjlig process för storskalig produktion av fossilfritt bränsle för flyget. Projektet visade att det går att konvertera lågvärda rester från svenska sågverk bestående av sågspån och kutterspån via hydrotermisk förbehandling, följt av enzymatisk försockring, förjäsning av sockret till fettsyror med oljehaltiga jästsvampar, samt kemisk-katalytisk upparbetning av fettsyrorna till föreningar som kan användas i flygbränslen. Processen utvecklades i labb och pilotskala och ett uppskalningsexperiment utfördes i demonstrationsskala i Biorefinery Demo Plant i Örnsköldsvik. Projektet resulterade i lovande resultat med avseende på konvertering av sågspån (barrved) till socker och vidare till fettsyror. Detoxifiering med natriumditionit, natriumsulfit, och alkali för förbättrad jäsbarhet av lignocellulosa-hydrolysat visade sig fungera väl vid fermentering med den oljebildande jästen *Cryptococcus curvatus*. Högsta lipidhalten som uppnåddes i laboratorieexperiment med barrvedsråvara var ca 65% av den totala jästbiomassan. Lipidextraktion resulterade i ett utbyte på 90%. Lipiderna bestod främst av fettsyror med 16 och 18 kolatomer. Hydrodeoxigenering av fettsyrorna resulterade i en blandning av kolväten med 15-18 kolatomer. Projektet visade även på en rad processutmaningar som utgör hinder för storskalig produktion. De främsta utmaningarna rör jäsningsprocessen (i.e. problem med mikrobiell kontaminering) och utveckling av den kemiska konverteringen av fettsyror till kolväten. Vidare forskning och utveckling bör fokusera på att lösa dessa utmaningar.

Summary

Air transport is the fastest growing transport sector, both nationally and globally. Unfortunately, aviation is also one of the most difficult transport sectors to switch to alternative fuels. The purpose of the project was to investigate and develop a possible process for large-scale production of fossil-free aviation fuel. The project showed that it is possible to convert low-value residues from Swedish sawmills consisting of sawdust and wood shavings via hydrothermal pretreatment, followed by enzymatic saccharification, fermentation of the sugar to fatty acids using oleaginous yeasts, and chemical-catalytic conversion of the fatty acids into hydrocarbons that can be used in aviation fuels. The process was developed at lab and pilot scale and a scale-up experiment was performed at demonstration scale in the Biorefinery Demo Plant in Örnsköldsvik. The project resulted in promising results with regards to the conversion of softwood sawdust to sugars and further to fatty acids. Detoxification using sodium dithionite, sodium sulfite, and alkali for improved fermentability of lignocellulose hydrolysates showed good results for fermentations with the oleaginous yeast *Cryptococcus curvatus*. The highest lipid content achieved in laboratory experiments with softwood sawdust was almost 65% of the total yeast biomass. Lipid extraction resulted in an extraction yield of 90%. The lipids consisted mainly of fatty acids with 16 and 18 carbons. Hydrodeoxygenation of the fatty acids resulted in a mixture of different

hydrocarbons with 15-18 carbons. The project also showed a number of process challenges that constitute obstacles for large-scale production. The main challenges relate to the fermentation process (i.e. problems with microbial contamination) and development of the chemical conversion of fatty acids to hydrocarbons. Further research and development are needed to address these challenges.

Inledning/Bakgrund

Elektrifierade och bränslecellsdrivna fordon kommer med stor sannolikhet att spela en mycket viktig roll för den framtida omställningen till en mer hållbar transportsektor. Dessa energikällor lämpar sig dock främst för landbaserade transporter och förväntas ha en begränsad tillämpning för flyg och marina transporter. Flygtransporter är den snabbast växande transportsektorn, både nationellt och globalt. Tyvärr är också flyget en av de transportsektorer som är svårast att ställa om till alternativa bränsletyper. Intresseorganisationen Svenskt Flyg skriver tillsammans med Fossilfritt Sverige i en sin färdplan för en fossilfri konkurrenskraft inom flygbranschen att det är fullt rimligt att "uppnå ett fossilfritt inrikesflyg 2030 och ett fossilfritt flyg både in- och utrikes 2045". Men för att detta ska bli en realitet så krävs enligt rapporten åtgärder för att röja undan ett antal hinder på vägen, vilket bl.a. skulle kräva investeringsstöd för produktionsanläggningar och skapandet av en långsiktig statlig målbild för beslutsfattare. Men desto viktigare anses "allokering av forskningsmedel för effektivisering av storskalig produktion av fossilfritt bränsle och upphandling av fossilfritt bränsle för offentliga resor" vara. Marknaden och efterfrågan av biobaserade flygbränslen finns enligt dessa uppgifter redan, men många värdekedjor och aktörer måste i en samordnad insats samarbeta för att inom en rimlig tidsram uppnå en övergång till ett fossilfritt flyg.

Sågspån och kutterspån från svenska sågverk och träindustrier är idag en outnyttjad resurs för framställning av energibärare för transportsektorn. Årligen produceras i Sverige ca 5 miljoner ton (torrvikt) sågspån och kutterspån, vilket i huvudsak utgörs av rester från barrved. Denna resurs vidareförädlas idag inte i någon större utsträckning. Av dessa 5 miljoner ton utgörs ca två tredjedelar av kolhydrater som kan omvandlas till socker. Om som en grov uppskattning en tredjedel av detta socker kan konverteras till biodrivmedel blir det ca. 1,1 miljoner ton. Det kan därmed uppskattas att det finns tillräckliga mängder av dessa industriella restprodukter (sågspån och kutterspån) för att tillgodose merparten av inrikesflygets bränslebehov. I det genomförda projektet har vi utvecklat och undersökt en möjlig process för storskalig produktion av fossilfritt bränsle för flyget baserat på dessa restprodukter. Projektet tog avstamp i tidigare utvecklad teknologi för celluloasetanoltillverkning. Organisationerna (Sekab E-Technology, Umeå universitet, RISE och RISE Processum) som deltog i projektet har mångårig erfarenhet av denna teknikutveckling och målet med projektet var att vidareutveckla denna teknologi så att den passar för tillverkning av flygbränsle. RISE, RISE Processum och Umeå universitet deltog främst som forskningsutförare i projektet. Sekab E-Technology deltog som kommersiell partner med intresse av att sälja utvecklad teknik för realisering av storskalig flygbränsleproduktion. Sekab

E-technology genomförde även uppskalningsexperiment i Biorefinery Demo Plant under projektet. Projektet finansierades av Energimyndigheten och deltagande projektpartners och pågick under ca två och ett halvt år.

Genomförande

Projektet utgjordes av sex olika arbetspaket. **1) Förbehandling av sågspån/kutterspån.** Förbehandling av barrvedssågspån genomfördes med SO₂ som katalysator i en kontinuerliga förbehandlingsreaktor i Biorefinery Demo Plant. **2) Enzymatisk försockring i labb och pilotskala.** Enzymatisk hydrolys av den förbehandlade råvaran genomfördes i skakflaskor på labb samt i en 50-liters pilotreaktor med fokus på att optimera försockringsutbytet. **3) Uppgradering av sockerströmmen och utvärdering av konsekvensen på fermenterbarheten.** Sockerströmmen koncentrerades via indunstning i Biorefinery Demo Plant och effekten på jästbarheten utvärderades i bioreaktorer i labb och pilotskala. Fyra olika typer av hydrolysat användes i initiala screeningförsök: Uppkoncentrerat, uppkoncentrerat och detoxifierat, ej koncentrerat, ej koncentrerat och detoxifierat. Sex olika oljebildande jäststammar (*Rhodotorula glutinis*, *Rhodosporidium toruloides*, *Rhodosporidiobolus fluvialis*, *Yarrowia lipolytica*, *Lipomyces starkeyi* och *Cryptococcus curvatus*) utvärderades i screeningförsöken med avseende på tillväxt, sockerkonsumtion, och lipidproduktion. Två av jäststammarna valdes ut för optimeringsexperiment i 3-liters bioreaktorer där försök med tillväxtfas och svältfas genomfördes för att få så hög lipidhalt som möjligt. Därefter valdes den mest lovande jäststammen (*C. curvatus*) för vidare optimeringsförsök med två olika hydrolysat (detoxifierat och ”tvättat icke-detoxifierat”). **4) Uppskalning av förjäsning av socker med oljeproducerande jästsvampar.** Uppskalningsexperimenten genomfördes i en 50-liters bioreaktor med den mest lovande mikroorganismen (*C. curvatus*). **5) Utvärdering av separations och valideringstekniker.** Lipidextraktion utvärderades via tre olika förbehandlingsmetoder (sonikering, svavelsyra-förbehandling och saltsyra-förbehandling) för att lösa upp jästcellen och effektivt kunna extrahera lipidinnehållet. Extraktionen utfördes i labbskala med en blandning av kloroform och metanol. Konvertering till av fettsyror till kolväten genomfördes via hydrodeoxigenering med Ni/Mo-katalysator i en Limboreaktor vid olika temperaturer och uppehållstider. **6) Verifiering i Biorefinery Demo Plant.** Ett uppskalnings och verifieringsförsök genomfördes i Biorefinery Demoplant under hösten 2020. Experimentet innefattade hela kedjan från förbehandling av sågspån till förjäsning av socker med oljebildande jäst (*C. curvatus*) i 6000-litersskala. Jäsningen genomfördes med en batch-fas och en feed-fas med minskande halt av kväve för att optimera lipidproduktionen.

Resultat

Förbehandling och enzymatiskhydrolys av sågspån resulterade i ett hydrolysat med strax över 100 g/L blandade sockerarter. Efter uppkoncentrerat av hydrolysatet via indunstning nåddes en koncentration på 292 g/L blandade sockerarter. Testerna

tyder på att sågspånet inte behöver fullt lika kraftiga förbehandlingsbetingelser som exempelvis flis av samma råvara. Fördelarna med detta är att en högre processtabilitet kan nås med jämnare materialkvalitet under längre driftstid. Andra fördelar är mindre nerbrytning av socker och bildandet av oönskade nerbrytningsprodukter i processen. Detoxifieringsexperimenten med reduktionsmedel och alkali visade på en positiv effekt för de flesta av jäststammarna när inhiberande hydrolysat användes. Experimenten visade också att det inte var någon signifikant skillnad på fermenterbarheten för ett detoxifierat hydrolysat eller ett "tvättat hydrolysat", dvs ett hydrolysat som har producerats via avskiljning av hemicellulosahydrolysatet efter termokemisk förbehandling och tvättning av fasta fasen innan enzymatisk hydrolysis. Processekonomisk ser vi en klar fördel med att använda detoxifiering för ökad fermenterbarhet jämfört mot ett "tvättat hydrolysat". Experimenten i labb-bioreaktorer gav relativt hög biomassaproduktion (upp till 48 g/L) och en mycket hög lipidhalt på upp till ca 65%. En lipidhalt på 65% är nära de högsta halterna som finns angivna i litteraturen (70%). I den aktuella studien använde vi dessutom granhydrolysat som kan anses vara en utmanande råvara för denna typ av processer. Försäringsexperiment i 50-litersreaktor visade på problem med bakterieinfektioner under vissa försök och antibiotika användes som motåtgärd. Detta är en indikation på att processen är känslig och kräver höga sterilitetskrav. Lipidextraktion resulterade i ett utbyte på 42-90% beroende på förbehandlingsmetod innan extraktion med kloroform och metanol. Förbehandling med saltsyra gav det högsta utbytet. Lipiderna bestod främst av fettsyror med 16 och 18 kolatomer (oljesyra > palmitinsyra > stearinsyra > linolsyra). Hydrodeoxigenering av fettsyrorna resulterade i en blandning av kolväten med 15-18 kolatomer. Uppskalningsexperimentet I Biorefinery Demo Plant resulterade i ett hydrolysat med lägre sockerkoncentration än i tidigare försök (ca 75 g/L). Hydrolysatet uppkoncentrerades via indunstning och en koncentration på 285 g/L blandade sockerarter uppnåddes. Jäsningsexperimentet resulterade i en relativt låg biomassakoncentration och låg lipidhalt (ca 25%). Orsaken till den låga biomassaproduktionen och den låga lipidhalten var en bakterieinfektion som inte kunde förhindras trots användning av antibiotika. Experimentet bekräftade att processen är mycket känslig och att vidare utveckling av strategier för att förhindra infektioner av oönskade mikroorganismer är nödvändigt om processen ska kunna fungera för storskalig produktion.

Diskussion

Fetter och oljor för biodrivmedelsproduktion är idag en bristvara och en stor del av utbudet används för produktion av HVO för vägtransport. Tillgång till nya råvaror är således en nödvändighet för att nå de miljömål angående biodrivmedel, inte minst för flygtransporter. I detta projekt utvecklades och undersöktes en möjlig process för att tillverka fettsyror från sågspån och vidare konvertering till kolväten som kan användas som flygbränsle. Sågspån och kutterspån är en underutnyttjad råvara som om den kan användas till flygbränsleproduktion skulle kunna täcka merparten av bränslebehovet för det svenska inrikesflyget. Processen som undersöktes består i

korta drag av en hydrotermisk förbehandling, följt av enzymatisk försockring, förjäsning av sockret till fettsyror med oljehaltiga jästsvampar, samt kemisk-katalytisk uppärbetning av fettsyrorna till föreningar som kan användas i flygbränslen. Projektet visade att det går att konvertera lågvärda rester från svenska sågverk till kolväten som kan användas som flygbränsle men också att det återstår mycket forskning och utveckling innan processen är tillräckligt mogen för storskalig produktion.

Publikationslista

Ett manuskript för publikation i vetenskaplig tidskrift har påbörjats.

Projektet presenterades via posterpresentation på konferensen Fossilfritt flyg som hölls i Karlstad 2019.

Referenser, källor

-

Bilagor

Administrativ bilaga