

Möjliga värdekedjor för biobaserad plast - Slutrapport

Marie-Louise Lagerstedt Eidrup, Hanna Ulmefors, Jonna Hynynen, Kerstin Jedvert
Chalmers Industriteknik

Energimyndigheten, Bio+
Kundföretag/organisation

Version 1.0
2024-03-05

Klassificering
Öppen



Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
Summary.....	45
1. Bakgrund	56
2. Genomförande.....	67
3. Enkätundersökning	78
3.1 Resultat	78
3.2 Slutsats	89
4. AP1 - Kartläggning och behovsanalys – Drop-in plast	940
4.1 Resultat	940
4.1.1 Process	940
4.1.2 Råvaror	1044
4.2 Slutsats	1142
5. AP2 - Fallstudie – Biobaserad PEF som ersättare till PET.....	1142
5.1 Resultat	1142
5.1.1 Process	1142
5.1.2 Råvara.....	1243
5.1.3 Slutsats	1243
6. AP3 - Tekno-ekonomisk analys av PLA från svensk skogsråvara...	1243
6.1 Resultat	1344
6.1.1 Process	1344
6.1.2 Råvara.....	1344
6.1.3 Slutsats	1445
7. Resultatspridning	1445

Sammanfattning

Den gröna omställningen, även känd som *The Green Deal*, syftar till att minska den globala klimatpåverkan genom en övergång från fossila resurser till biobaserade alternativ. Utöver att ersätta fossila råvaror krävs även en generell minskning av resursförbrukningen för att uppnå långsiktig hållbarhet.

Plast, ett fossilbaserat material med stor betydelse i det moderna samhället, utgör samtidigt en betydande miljöutmaning. Problematiken omfattar både makroskopisk nedskräpning i terrestra och marina miljöer samt spridning av mikroplaster, vilka nu återfinns i stora delar av ekosystemet.

Biobaserade plaster har identifierats som en potentiell lösning inom omställningen, men flera utmaningar kvarstår. Framför allt är de nuvarande tekno-ekonomiska förutsättningarna ogynnsamma, då biobaserade plaster ofta är kostsammare än sina fossilbaserade motsvarigheter. Därtill pågår en debatt kring resurseffektivitet, där frågor om optimal användning av biomassa och resultaten från livscykelanalyser för biobaserade plaster behöver belysas ytterligare.

För att möjliggöra en storskalig omställning krävs riktade styrmedel som stimulerar utvecklingen av biobaserade alternativ. Vidare är ökade investeringar i forskning nödvändiga, särskilt inom områden som nyttjande av andra- och tredje generationens biomassa, förbättrade produktionsprocesser samt etablering av långsiktigt stabila och hållbara värdekedjor.

Summary

The green transition, also known as The Green Deal, aims to reduce the global climate impact through a transition from fossil resources to bio-based alternatives. In addition to replacing fossil raw materials, a general reduction in resource consumption is also required to achieve long-term sustainability.

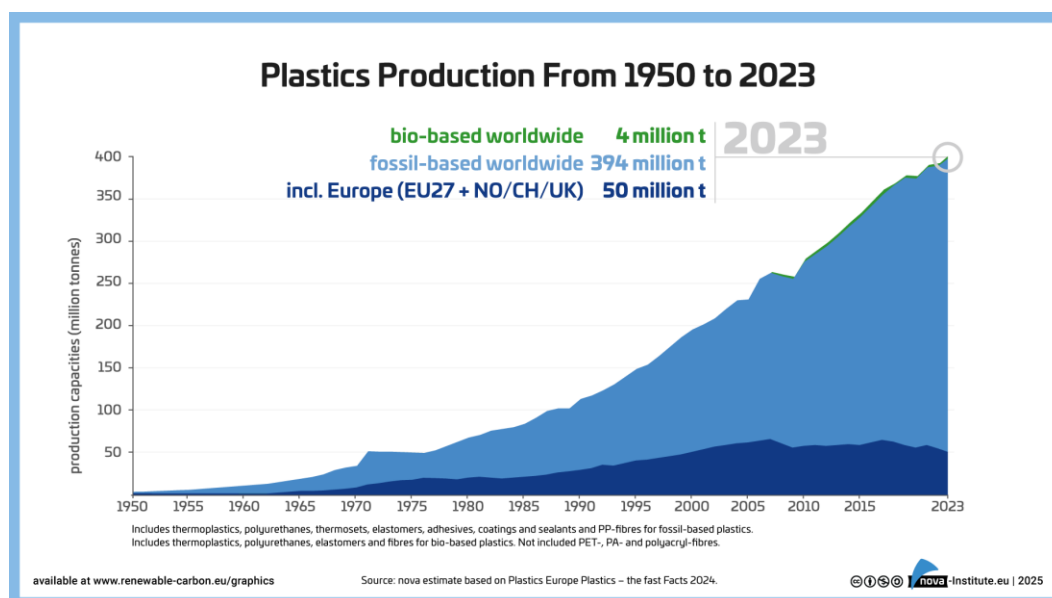
At the same time, plastic, a fossil-based material of great importance in modern society, is a significant environmental challenge. The problem includes both macroscopic debris in terrestrial and marine environments as well as the spread of microplastics, which are now found in large parts of the ecosystem.

Bio-based plastics have been identified as a potential solution within the transition, but several challenges remain. Above all, the current techno-economic conditions are unfavourable, as bio-based plastics are often more costly than their fossil-based counterparts. In addition, a debate is underway on resource efficiency, where questions about optimal use of biomass and the results of life cycle analyses for bio-based plastics need to be further illuminated.

In order to enable a large-scale change, targeted instruments are required that stimulate the development of bio-based alternatives. Furthermore, increased investments in research are necessary, especially in areas such as utilization of second- and third-generation biomass, improved production processes and the establishment of long-term stable and sustainable value chains.

1. Bakgrund

Plast är ett mångsidigt material där möjligheter till variation av egenskaper i kombination med lågt pris gör det till en väsentlig produkt i många applikationer i det moderna samhället. Samtidigt har det under senare år blivit allt tydligare att plast har blivit ett problem genom nedskräpning av både land och hav samt inte minst utmaningen med mikroplaster. Detta till trots så har inte konsumtionen av plast och därmed produktionen minskat utan mångdubblats från ca 2 miljoner ton i början på 50-talet till dagens volymer på omkring 400 miljoner ton, Figur 1.



Figur 1. Globala produktionen av plast, från 1950 till 2023, Nova institutet.¹

Dessutom räknar industrin med en fortsatt tillväxt och 2050 antar man att produktionen kommer att uppgå till ca 590 miljoner ton.²

Dagens plaster, eller polymerer, är till 99% fossilbaserade, och de biobaserade alternativen står endast för 1% av marknaden. Även om man ser en expansion av de biobaserade plasterna så växer marknadsandelarna långsamt, varför målet att 20% av plasten skall vara biobaserad år 2030, verkar utopiskt.

De biobaserade materialen har svårt att konkurrera med de fossila alternativen som har haft möjlighet att optimeras avseende produktion, egenskaper och pris över lång tid. Med högre pris för samma funktion, vilket ofta gäller för de biobaserade alternativen, är det svårt att ta marknadsandelar och därmed öka produktion så att man får skaleffekt av en effektivare och större produktion.

Utöver detta finns det också en del utmaningar i form av att man generellt använder primära råvaror såsom sockerrör och majs för produktion vilket leder till en diskussion kring resursutnyttjande. Det finns dessutom fortsatta oklarheter kring hur

¹ [Keep in touch | Renewable Carbon Publications](#)

² [Global plastics production forecast 2025-2050 | Statista](#)

man skall räkna klimateffekt av odling av primär råvara men också andra konsekvenser som social påverkan.

Bakgrunden till detta projekt var just att kartlägga några biobaserade plaster, deras källor till råvaror samt potential, avseende tekno-ekonomiska förutsättningar, för framtiden i syfte att ta fram ett vetenskapligt beslutsstöd för olika aktörer längs värdekedjan.

2. Genomförande

Arbetet har varit indelat i olika arbetspaket med egna, separata leveranser. Inledningsvis genomfördes en enkätundersökning med ca 70 respondenter. Detta resultat har sammanfattats i en rapport, *Möjliga värdekedjor för biobaserad plast - Resultat från webenkät*, våren 2024, men har också redovisats vid möten arrangerade av Bio+, Energiforsk, Mistra Steps samt Nordisk Bioplast.

De olika arbetspaketen som därefter följde och vars resultat redovisas i varsin rapport är:

- *AP1: Kartläggning och behovsanalys – Drop-in plast.*
Rapport: Biobased Drop-In Polymers, Polyolefins
- *AP2: Fallstudie – Biobaserad PEF³ som ersättare till PET⁴.*
Rapport: Polyethylene Furanoate (PEF) – a biobased alternative to PET
- *AP3: Tekno-ekonomisk analys av PLA⁵ från svensk skogsråvara*
Rapport: Polylactic acid in food packaging materials

Bakgrundsmaterial till dessa rapporter har hämtats genom litteratursökningar, medverkan vid olika webinarier samt intervjuer t.ex. med representanter från SIS⁶, Stora Enso, Lignin Industries m.fl.

Projektet har också haft god hjälp av referensgruppen som har bestått av:

Åsa Stenmarck, Naturvårdsverket

Josefin Ahlqvist, Lunds universitet

Helen Ljungqvist, ST1

Klas Briland, BASF

Rickard Jansson, Svensk Plaståtervinning

Lars Lind, Adesso Bioproducts AB

³ Polyetylenfuranoat

⁴ Polyetylentereftalat

⁵ Polylaktid - Polymjölksyra

⁶ Svenska Institutet för Standarder

3. Enkätundersökning

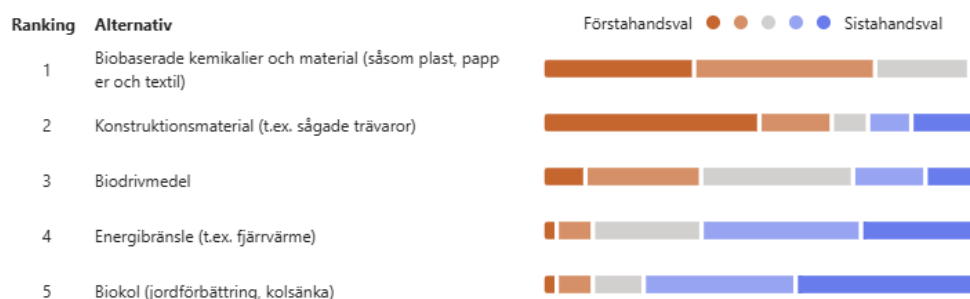
Projektet genomförde tidigt under projekttiden en enkätundersökning som vände sig till en bred krets av möjliga intressenter längs värdekedjan i Sverige. Trots ambitionen att nå ut till så många olika kategorier som möjligt har inga svar inkommit från grupperna lantbruk/jordbruk samt livsmedel. Frågorna i enkäten har utformats för att få svar på vad man anser om tillgängliga biobaserade råvaror och lämpligheten att använda dem för tillverkning av biobaserad plast.

3.1 Resultat

De flesta som har svarat på enkäten är positiva till biobaserad plast som material, det genomsnittliga omdömet blev 4.59 av 6 möjliga.

De biobaserade material som man ser som mest relevanta och som man tror har störst potential för tillväxt i Sverige är de s.k. drop-in materialen dvs. PE⁷ och PP⁸, men också biobaserad PET och PA⁹. Utöver dessa ser man potential i PLA respektive PEF.

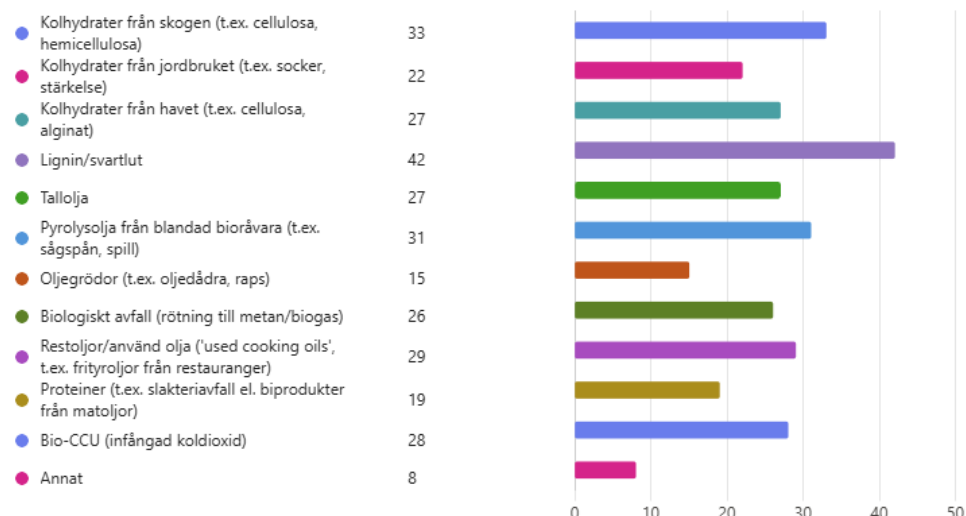
Därefter följde en fråga om vad den biobaserade råvaran bör användas till, utöver mat och foder. Då rankas de biobaserade materialen och konstruktionsmaterialen högst följt av drivmedel, energiproduktion och biokol som kolsänka, Figur 2.



Figur 2. Hur skall bioråvaran användas.

Som svar på tillgången av lämplig råvara så blev medelvärdet på svaren bara 3.38 av 6 dvs. de svarande bedömer tillgången i Sverige som medelgod. På frågan vilken råvara som är mest intressant eller som man tror har bäst potential i framtiden så föredrar de flesta lignin eller andra strömmar från skogen, Figur 3.

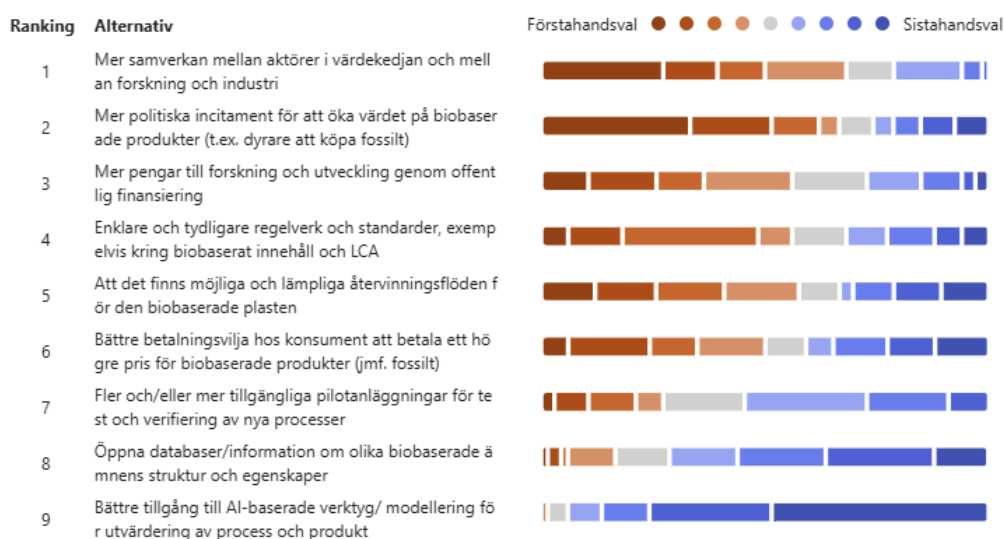
⁷ Polyeten
⁸ Polypropen
⁹ Polyamid



Figur 3. Vilken råvara lämpar sig bäst för tillverkning av biobaserad plast.

Slutligen ställdes det några frågor kopplade till hinder och utmaningar samt lösningar för en snabbare omställning. Ekonomiska hinder, pris, kom högst då de biobaserade alternativen fortfarande generellt sett är dyrare än de fossila. Därefter pekar man på processer för återvinning av de biobaserade materialen samt brist på kunskap och begreppsförvirring kring begrepp som biobaserad, bioplast, bionedbrytbar m.m.

Avseende vad som skulle kunna främja en snabbare omställning så svarade man att det behövs mer samverkan mellan aktörer i värdekedjan, politiska styrmedel och mer pengar till forskningen, Figur 4.



Figur 4. Aktiviteter som kan skynda på omställningen.

3.2

Slutsats

Det finns potential att använda främst lignin eller andra skogliga strömmar för tillverkning av biobaserad plast i Sverige. De plaster, polymerer, som bland de mest intressanta är drop-in dvs. polyeten, PE, och polypropen, PP, samt polyetylenfuranoat, PEF, och polylaktid, PLA.

Det behövs mer samverkan för att överbrygga de hinder som finns bl.a. i form av ekonomi med dyra material, där ev. politiska styrmedel kan användas för att öka konkurrenskraften hos de biobaserade alternativen.

Resultaten från undersökningen finns sammanfattade i en rapport, *Möjliga värdekedjor för biobaserad plast - Resultat från webenkät*, våren 2024, och finns i sin helhet som en separat rapport på Chalmers Industritekniks hemsida.

4. AP1 - Kartläggning och behovsanalys – Drop-in plast

Biobaserade drop-in material, dvs. material som till sin kemiska struktur är identisk med sin fossila motsvarighet är en undergrupp till begreppet biobaserad plast. Det finns många fördelar med drop-in eftersom materialet direkt kan användas för att ersätta den fossila motsvarigheten men också återvinnas i samma restströmmar.

De vanligaste drop-in materialen är polyeten och polypropen, även om det också finns polyamid, PA, och polyetylen tereftalat, PET.

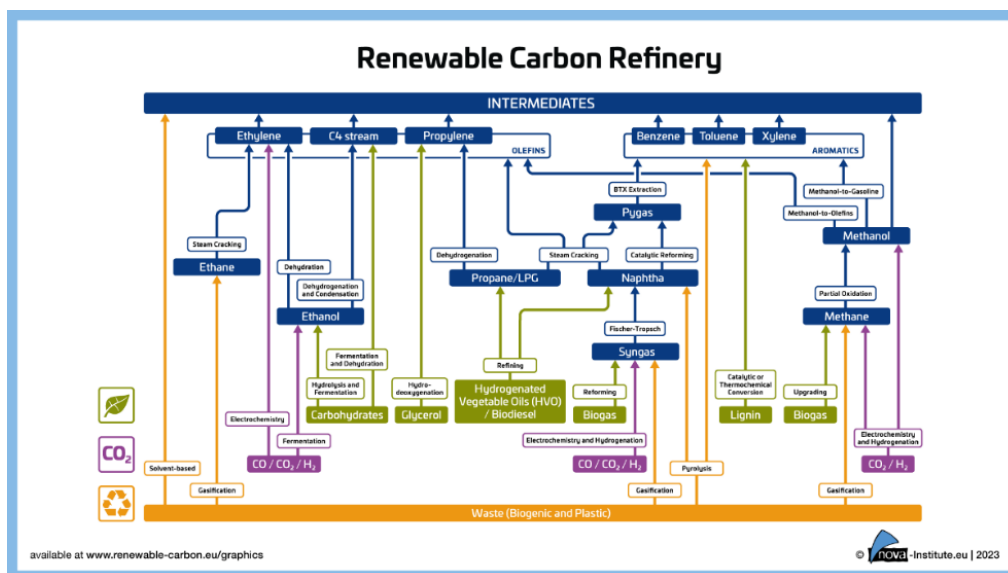
4.1 Resultat

4.1.1 Process

Trots att det finns många fördelar med drop-in material så växer marknadsandelarna långsamt. Huvudsakligen beror det på det premiumpris som tas ut för dessa kvaliteter som är kopplat till kostnader för råvaror och produktionskostnader. Utöver det så finns det diskussionen kring om det är rätt att använda primära råvaror som sockerrör och majs för produktion av plast, men också oklarheter kring klimatpåverkan m.m vid en livscykelanalys, LCA.

Det finns flera alternativa produktionsvägar och råvaror för att framställa eten och propen som utgör råvara inte bara till plaster utan också till många kemikalier, Figur 5.

Nuvarande produktion utgår huvudsakligen från sockerrör eller majs, via etanol till eten, eller från bio-oljor via propan till propen. I framtiden kan andra vägar, som från pyrolysolja från kemisk återvinning eller ökad användning av olika restströmmar, bli mer aktuella vilket kan resultera i minskade kostnader.

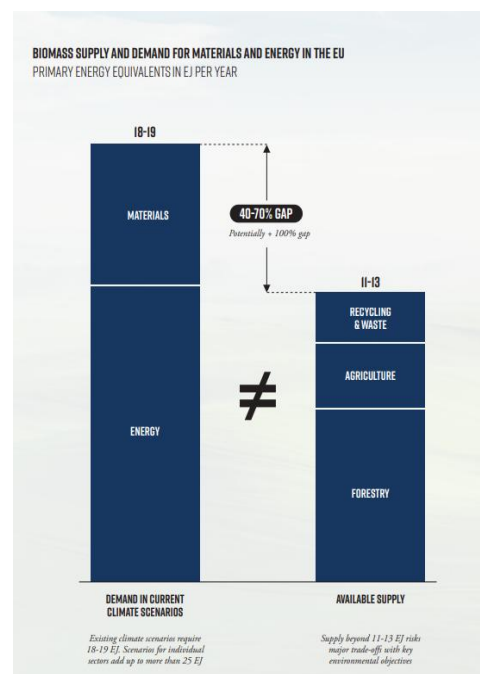


Figur 5. Produktionsvägar och råvaror för tillverkning av eten och propen, Nova-institut¹⁰

4.1.2 Råvaror

Tillgången på lämpliga biobaserade råvaror är avgörande för utvecklingen av de biobaserade materialen. Samtidigt är det många branscher som idag ser att framtiden ligger i en omställning från fossilt till biobaserat vilket leder till att konkurrensen om råvaran ökar. Det råder delade meningar om huruvida det finns tillräckligt med biomassa för att täcka alla behov men enligt Materials Economics¹¹ så finns det en övertro på tillgången till biomassa, Figur 6.

I Sverige så har vi ett överskott av lignocellulosa som råvara då vi har mycket skog, däremot är tillgången på andra råvaror som halm, biogas, olika oljeväxter eller marina resurser ganska begränsat. Situationen i andra europeiska länder är annorlunda där det finns betydligt mer sidosrömmar från jordbruket. Förutom osäkerhet kring tillgången på biomassa så saknas det en del kunskap kring konsekvensen för klimatet av att använda primära råvaror avseende landanvändning, vattenuttag, övergödning osv. för produktion av plast. Då är sekundära strömmar som sidosrömmar, avfall eller framtida CCU¹² betydligt mer intressanta.



Figur 6. Scenario för framtida tillgång på biomassa¹¹

¹⁰ [Keep in touch | Renewable Carbon Publications](#)

¹¹ [EU Biomass Use in a Net-Zero Economy: A course correction for EU biomass | Material Economics](#)

¹² Carbon Capture and Utilisation

4.2 Slutsats

Biobaserade drop-in material kommer att vara väsentliga i omställningen till en mer hållbar plastanvändning. För att nå framgång och öka marknadsandelarna måste priserna bli mer konkurrenskraftiga, vilket delvis kan påverkas politiskt via olika styrmedel, eller att det kommer ökade krav på återvunnet eller biobaserat material i produkter.

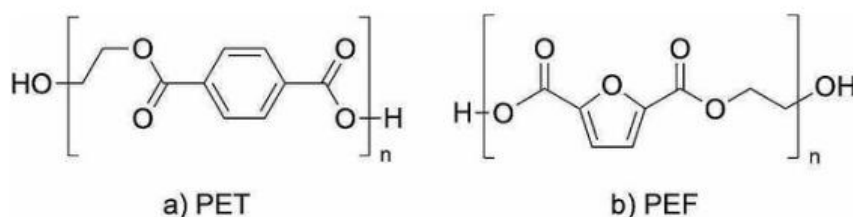
Användning av sekundära råvaror eller CCU kommer troligen också vara avgörande för att uppnå verkligt hållbara material, men också att påverka prisbilden i en positiv riktning. Fortsatta satsningar på teknik kommer också att krävas men störst effekt antas komma av ökad efterfrågan och därmed större och effektivare anläggningar.

Rapporten, *Biobased Drop-In Polymers, Polyolefins*, finns i sin helhet som en enskild rapport på Chalmers Industritekniks hemsida.

5. AP2 - Fallstudie – Biobaserad PEF som ersättare till PET

PET, polyetylentereftalat, är en av de vanligaste plasterna när det kommer till förpackningar, främst i dryckesflaskor. Det går att tillverka 100% biobaserad PET men det är utmanande både tekniskt och kostnadsmässigt. Polyetylenfuranoat, PEF, liknar PET till sin struktur men kan tillverkas helt biobaserad, Figur 7.

PEF har visat sig ha bättre barriäregenskaper än PET, vilket innebär att man med mindre mängd material kan uppnå samma funktionalitet som med PET. Detta har starkt bidragit till det ökade intresset för PEF på marknaden.



Figur 7. Struktur PET respektive PEF¹³

5.1 Resultat

5.1.1 Process

FDCA, 2,5-furandikarboxylsyra, är en av de mest lovande plattformskemikalierna för en framtida biobaserad kemiindustri enligt litteratur.¹⁴ Genom att kombinera FDCA med MEG, monoetyleneglykol, så får man en struktur som liknar PET. Det finns olika

¹³ https://www.researchgate.net/journal/Journal-of-Polymers-and-the-Environment-1572-8919?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Ii9kaXJlY3QiLCJwYXWdlIjoicHVibGljYXRpb24iLCJwb3NpdGlvbil6InBhZ2VIZWFKZXliX0

¹⁴ [Top Value Added Chemicals from Biomass: Volume I--Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas](#)

syntesvägar för att tillverka PEF, som liknar tillverkning av PET, men generellt kan lägre reaktionstemperatur samt kortare processtider användas vilket ger en lägre produktionskostnad.

Tekno-ekonomiska analyser visar att PEF är 8–10 gånger dyrare än PET idag och även om det skulle produceras i större anläggningar så kommer det att vara minst dubbelt så dyrt som PET.¹⁵ Trots dessa siffror finns det flera företag som visar intresse för att arbeta vidare med utveckling och applikation av PEF i olika produkter som t.ex. Avantium, Stora Enso och Origin Materials.

En fördel med PEF är att man har godkänt att en mindre mängd, upp till ca 2% PEF, kan återvinnas i samma ström som PET utan att egenskaperna förändras. PEF anses inte vara bionedbrytbart i en industriell kompost även om materialet bryts ned snabbare än PET.

5.1.2 Råvara

I dagsläget använder man primär råvara som fruktos från socker och majs. Med vidareutveckling av bioraffinaderier så ser man att sekundära råvaror som lignocellulosa eller avfallsströmmar kan utgöra framtida råvaror.

5.1.3 Slutsats

De positiva egenskaperna hos PEF gör att det trots indikationer på höga prisnivåer i jämförelse med PET, finns en del industriell aktivitet. För att kunna bli mer konkurrenskraftig behöver man arbeta mer med sekundära råvaror så att priset kan sänkas men också med återvinningssystem där större andel PEF kan accepteras.

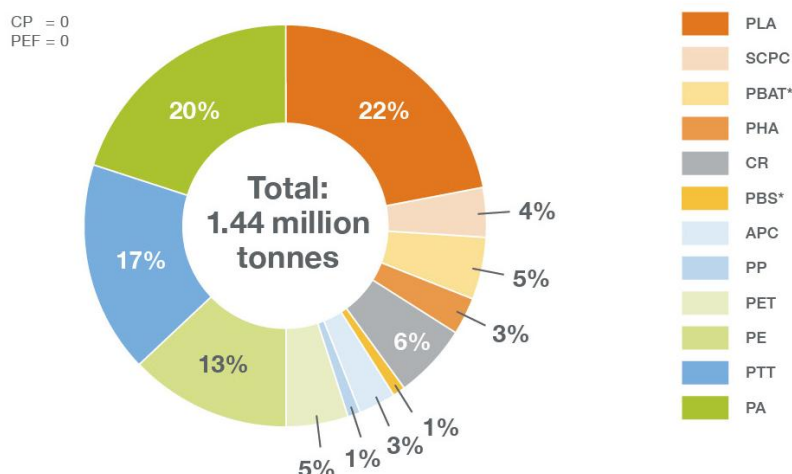
Rapporten, *Polyethylene furanoate (PEF) – a biobased alternative to PET*, finns som en enskild rapport på Chalmers Industritekniks hemsida. På grund av upphovsrättsliga skäl har bilderna i rapporten tagits bort.

6. AP3 - Tekno-ekonomisk analys av PLA från svensk skogsråvara

PLA utgör redan idag en av de största volymerna av biobaserad plast, ca 22% 2024, och är alltså väl etablerad på marknaden, Figur 8.¹⁶ Utvecklingen är starkt förknippad med dess egenskaper som gör den lämplig för användning vid paketering av livsmedel.

¹⁵ [Bioplastics innovation: commercialization strategies for polyethylene furanoate \(PEF\) and polyhydroxyalkanoates \(PHA\) - Kunamaneni - 2023 - Biofuels, Bioproducts and Biorefining - Wiley Online Library](#)

¹⁶ European Bioplastics e.V.



Figur 8. Produktion av bioplaster globalt, 2024.⁸

PLA tillhör kategorin nedbrytbara plaster, men nedbrytningsprocessen är långsam även under de kontrollerade förhållanden som gäller i en industriell kompost. Samtidigt kan PLA återvinnas både mekaniskt och kemiskt vilket stämmer bättre med visionen om ett mer cirkulärt och resurseffektivt materialflöde.

6.1 Resultat

6.1.1 Process

PLA produceras idag i industriell skala och stora satsningar görs för att addera ytterligare volymer både i Kina och Europa. Produktion sker främst på primärråvara såsom sockerrör, majs och vete, resurser som också utgör mat eller foder, vilket aktualiserar debatten om resurseffektiv användning av tillgänglig biomassa.

För PLA liksom andra biobaserade plaster så finns det oklarheter gällande LCA och påverkan på olika parametrar som t.ex. ekotoxicitet, övergödning, energianvändning m.m, då mycket information från odling av respektive gröda saknas. I en studie där analyser för 32 fossilbaserade och 50 biobaserade alternativ jämfördes kunde man inte dra några enhetliga slutsatser.¹⁷

Tekno-ekonomin för PLA styrs mycket av priset för ingående råvara, vilket i sin tur påverkas av konkurrens mellan olika användningar av råvaran som mat, foder, material och biobränsle. Genom att istället använda sekundära eller tertiära råvaror kan både konkurrens och pris på råvaran minska, samtidigt som LCA analyserna kan bli mindre komplexa.

6.1.2 Råvara

Användning av primär råvara som sockerrör, majs, vete är ifrågasatt, då det konkurrerar med mat och foder samtidigt som det tar upp landområden.

¹⁷ [Life cycle assessment of bio-based and fossil-based plastic: A review - ScienceDirect](#)

Sekundära råvaror, även kallat andra generationens råvaror, förespråkas av EU, och kan utgöras av sidoströmmar av lignocellulosa från skog- eller jordbruksindustrin. Men det kan även vara matrester eller rester från reningsverk.

Tredje generationens råvara, alger, har fått ett ökat intresse men än så länge är produktionen i Europa väldigt liten och om denna källa skall kunna utnyttjas måste ytterligare satsningar göras både på forskning, produktion och infrastruktur.

6.1.3 Slutsats

PLA är ett lovande material som passar väl in i omställningen till en biobaserad plastindustri. Dagens material, producerat på första generationen råvara, är trots storskalig produktion fortsatt dyrare än de fossila alternativen. I framtiden kommer användning av sekundära och tertiära råvaror bli alltmer intressant, men för att uppnå en bättre tekno-ekonomisk balans behöver satsningar göras för att vidareutveckla tekniken samt satsningar på infrastruktur.

Med större volymer kommer även återvinning av PLA bli mer attraktivt och lönsamt.

Rapporten, *Polylactic acid in food packaging materials*, finns i sin helhet som en enskild rapport på Chalmers Industritekniks hemsida.

7. Resultatspridning

Projektet har skrivit fyra separata rapporter samt denna sammanfattande slutrapport.

Målet att även sprida resultat via vetenskapliga tidskrifter kvarstår vid projektets slut.

Resultat från enkätundersökningen har däremot presenterats vid flera tillfällen:

- Bio+-konferens, 5 oktober 2024, Stockholm.
- Mistra STEPS-konferens (internationell), 7–9/10 2024, Lund. ”Potential value chains for biobased plastics”
- Frukostwebinarium inom ramen för innovationsklustret ”Gröna kolatomer”, Energiforsk, 14 november 2024
- Webinarium för Nordisk bioplastförening, 11 december 2024

Resultaten från de tre arbetspaketen presenterades vid ett öppet slutwebinarium, 11 mars 2025.

