

RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

Innovativ användning av reaktiv extrudering för återvinning av PET

Projektperiod: juni-dec 2017
Projektnummer: 44217-1

Med stöd från:



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Titel på projektet – svenska Innovativ användning av reaktiv extrudering för återvinning av PET
Titel på projektet – engelska Innovative use of reactive extrusion for recycling of PET
Universitet/högskola/företag Swerea IVF AB
Adress Box 104, 431 22 Mölndal
Namn på projektledare Henrik Oxfall
Namn på ev övriga projektdeltagare JABA Group, Sporda Nonwoven, Diabgroup, Nexam Chemicals, JiHå Plast, Swerec
Nyckelord: 5-7 st PET, polyester, mekanisk återvinning, reaktiv extrudering, kedjeförlängning

Med stöd från:



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Förord

Projektet är en förstudie inom ramen för RE:source. Projektpartner har varit JABA Group, Sporda Nonwoven, JiHå Plast, Diabgroup och Swerec. Swerea IVF har varit forskningsutförare och projektledare.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning och bakgrund	5
Genomförande	7
Resultat och diskussion.....	11
Publikationslista.....	21
Projektkommunikation.....	21
Bilagor	22

Sammanfattning

Det övergripande målet har varit att öka användbarheten för PET som återvunnits genom traditionell mekanisk materialåtervinning. Förstudien har undersökt de tekniska, miljömässiga och ekonomiska förutsättningarna för att införa nya innovativa tillsatser vid mekanisk materialåtervinning av PET som väsentligt förbättrar materialegenskaperna och därmed ökar användningsmöjligheterna av det material som kommer ut från processen. Materialströmmar från både industriellt spill och insamlade förpackningar har undersökts.. Följande frågor/mål har adresserats:

- Utvärdering av möjligheten till uppgradering av PET från industrispill och post-konsument förpackningar genom reaktiv extrudering med kedjeförlängare där ett antal mekaniska och kemiska lösningar testats för respektive råvara.
- Matchning av uppgraderad råvara mot bearbetningsprocesser t.ex. fiberframställning via meltblown eller smältspinning, folieextrudering, formsprutning eller skumning.
- Identifiera möjliga applikationer projektpartners för fortsatt arbete

I förstudien har materialströmmarna industrispill av polyester och insamlade post-konsument förpackning studerats. Uppgradering, dvs förbättring av dessa råvaror har utförts genom praktiska experiment där plasten smältbearbetas i en extruder med tillsats av kedjeförlängare (ett kemiskt additiv). Detta innebär att plastens egenskaper förbättras och därför har potentialen att ersätta nyråvara i vissa formningsprocesser. Dessa möjligheter har undersöks för framställning av fiber, nonwoven och skum.

Projektresultaten visar att återvunnen polyester och PET kan användas för de tillämpningar som nämnts ovan men att en noggrann analys av råvaran är viktig för att åstadkomma en tillräcklig kedjeförlängning. Fler försök som optimerar koncentrationen av tillsatsen är också nödvändig. Polyesterspill kan tex användas för framställning av nonwoven men inte för fiberspinning. PET från förpackningar har en högre molekylvikt från början och har därför få ett bredare användningsområde efter återvinning.

Ett stort problem med post-konsumentförpackningar visade sig vara limmade etiketter och rester av produkt i förpackningarna. För pantflaskor av PET används en tvättprocess med 70°C vatten och 1% NaOH. Den avlägsnar effektivt etiketter på flaskor. För andra förpackningar visade sig många ha lim och etiketter som inte går att avlägsna ens med kokande vatten eller betydligt högre koncentration av NaOH. Etiketterna går inte heller att smältfiltrera som annars är en vanlig metod för att ta bort föroreningar ur plast. Detta beror på att PET smälter vid 260-270°C och då har pappret redan börjat förbrännas.

En viktig slutsats från projektet är att förpackningsbranschen behöver se över möjligheterna systemen av lim och etiketter och lära av systemet för retur-PET flaskor. Kravet är få bort etiketter och produktrester från förpackningar vilket sannolikt kan göras med en mild vattenburen tvättprocess vid förhöjd temperatur.

En annan slutsats är, som nämnts ovan, behovet av noggrann analys av råvaran och optimering av koncentrationen av tillsatt kedjeförlängare. En direkt matchning

mellan välkända, stora volymer av polyesterspill och en viss tillämpning skulle vara önskvärd för att säkra kvalitén på det återvunna uppgraderade materialet.



Spolar med fiber smältspunnen från återvunnen förpacknings-PET.

Summary

The main objective was to increase the use of PET that has been recycled through conventional mechanical recycling. This pre-study has investigated the technical, environmental and financial prerequisites to introduce new innovative additives that substantially improve the properties when mechanically recycling PET. The objective was to improve and expand the possible applications for upgraded PET. The streams of industrial manufacturing polyester waste and post consumer packages have been studied. Some specific issues have been addressed:

- Evaluation of the possibility to upgrade the waste streams through reactive extrusion. Several mechanical and chemical solutions were tested for each waste stream.
- A matching of upgraded recycled PET with the manufacturing process for example meltspinning of fibers, meltblowing of nonwoven and foaming
- Identify applications and partners for further development

The streams of industrial manufacturing polyester waste and post consumer packages have been studied. The upgrading, i.e. the improvement of these secondary raw materials has been performed through experiments that means that the polymer is melt processed in a compounder with addition of chain extenders, which is a chemical additive. This means that the properties of the plastic are improved and the plastic gets the potential to replace virgin PET in certain application. These possibilities were investigated for manufacturing of fiber, nonwoven and foam.

The results from the project show that industrial polyester waste and PET from packaging can be used for the applications mentioned above but that detailed analyses of the waste is necessary in order to obtain a sufficient chain extension. The results showed that polyester waste can be used for nonwoven but not melt spinning

of fibers. PET from packages has a higher molecular weight from the beginning and thus can be used for several applications after upgrading.

A serious problem concerning PET packages stream is the labels and adhesives as well as residual products. PET-bottles handled in a recycling deposit system go through a washing process with 70°C water and 1% NaOH. The labels and any residual products are effectively removed. Experiments showed that other packages and bottles often had labels and adhesives that could not be removed even in boiling water with higher concentration of NaOH. Melt filtration is unfortunately not an alternative due to the high melting temperature of PET, 260-270°C, which means that the paper in the labels has started to burn.

An important conclusion from the project is that there is a need for packaging business to evaluate the possibilities to use adhesives and labels developed for the system for recycled deposit PET-bottles. The requirement to be fulfilled is to remove the labels and product residues from the packages which probably best is achieved through washing.

Another conclusion from the project, as mentioned above, is that the analyses of the waste must be very thoroughly made in order to optimize the choice and concentration of chain extender. A straight match making of large volumes of waste and a certain application is desirable in order to secure the quality of the upgraded material.

Inledning och bakgrund

Polyetentereftalat, PET, är en syntetisk polymer baserad på fossil råvara. Ett lågt pris, bra mekaniska egenskaper och goda barriäregenskaper har gjort den populär som förpackningsmaterial. 2015 användes cirka 4,1 miljoner ton PET till förpackningar i Europa vilket motsvarar ca 7% av Europas totala plastanvändning, textil ej medräknat (Källa: Plastics Europe). PET tillhör polymerfamiljen polyestrar vilket även ett flertal av de biopolymerer som är under utveckling tillhör.

Nyttillverkning av 1 kg PET ger upphov global uppvärmningspotential, GWP, motsvarande utsläpp av 3,49 kg CO₂ att jämföras med 1 kg polyeten, PE, som bara ger upphov till 1.96 kg CO₂ (Källa: Plastics Europe). Mekanisk materialåtervinning av plast ger däremot upphov till samma låga utsläpp oavsett om det är PE eller PET eftersom de har likvärdig energiförbrukning (Källa: Eremas produktdatablad). Värmevärdena för PET och PE är relativt likvärdiga vilket gör energiåtervinning av PET mindre fördelaktigt jämfört med mekanisk materialåtervinning.

Den offentliga statistiken för återvinning av plastförpackningar i Sverige 2013 låg på 46%. Men detta avspeglar inte faktisk återvinning utan baseras på stor del på insamlingsgrad (Källa: FTI - Analys av mätmetoder av jämförbara återvinningsresultat i Europa). Den faktiska materialåtervinningen är betydligt lägre. Av den insamlade plasten är det egentligen bara polyeten och polypropen som går till faktisk materialåtervinning d.v.s. användning i nya produkter. PET sorteras visserligen ut ur materialströmmen men det finns i dagsläget inte någon efterfrågan

på materialet (Källa: Swerec). Stora miljövinster skulle därför kunna göras genom att uppgradera denna ström men det förutsätter att man skapar en efterfrågan.

Den största användningen av PET sker inte inom den traditionella plastindustrin utan i fiber/textilbranschen, då under beteckningen polyester. Uppskattningsvis 60% av världens PET produktion går till detta användningsområde. PET som används till förpackningar skiljer sig från den PET som används inom fibertillverkning, främst genom dess förmåga att kristallisera. Initiala försök utförda av Swerea IVF har visat att vissa typer av tillsatser, s.k. kedjeförlängare, kan både motverka nedbrytning och förändra kristallisationen hos PET vilket skulle kunna leda till att material från ett användningsområde kan modifieras för att användas inom ett annat. Industriella spillfraktioner är betydligt renare och mer homogena i sin sammansättning än den blandning som kommer från insamlade förpackningar men det sker idag ingen nämnvärd återvinning från vardera materialströmmen.

Kedjeförlängning av PET genom reaktiv extrudering under vakuum är en teknik under utveckling där det idag finns ett flertal kommersiella varianter. Det svenska företaget Nexam, som är en spin-off från kemiföretaget Perstorp, har utvecklat en egen teknik baserad på Poly-bis-oxazoline, PBO. Tekniken har utvecklats för flask-PET för att motverka den hydrolys och termiska nedbrytning som uppstår vid all termoplastisk bearbetning av PET och möjliggör en förlängning av materialets livslängd i nya tillämpningar.

Ytterligare tekniker som används inom återvinning av plast är tvättning, smältfiltrering och doftreducering är möjliga att kombinera för att tillvarata PET från post-konsument förpackningar. Att detta inte görs idag beror till stor del på kunskapsluckan mellan materialuppgradering och lämplig applikation som kan ge ekonomi i varje steg från råvara till produkt.

För plastindustrin är mekanisk materialåtervinning av eget spill idag en mycket viktig del av den totala ekonomin. För plaståtervinningsföretagen är PET idag ett material som endast är ekonomiskt att hantera i avancerade, storskaliga anläggningar. För samhället är PET en av de vanligaste plasterna och användningen i nya produkter är ett viktigt argument till att man källsorterar sitt avfall.

Industriellt spill och insamlade förpackningar av PET har idag ett negativt materialvärde genom att företagen måste betala både för sophämtning och avfallstaxan för brännbart, vilket tillsammans blir ca 2 kr/kg. PET-flakes från returflaskor kostar å andra sidan 2-3 kr/kg vilket ger en sammanlagd förbättringspotential på 4-5 kr/kg om denna typ av avfall kan användas.

Ett lyckat projekt kan leda till en ökad materialåtervinning av PET, både från insamlade förpackningar och industriellt spill, där materialåtervinningen idag är i det närmaste obefintlig. Detta nås genom att en teknik utvecklas för uppgradering av materialet så att det uppfyller de krav som ställs inom applikationerna skumning, formsprutning, folieextrudering och fibertillverkning. Kopplingen till fibertillverkning leder till att kunskapen som projektet genererar även skulle kunna utnyttjas för t. ex. textilåtervinning.

Genomförande

Arbetspaket 1 Insamling, sortering och kartläggning – JABA, Sporda, Swerec

Sporda Nonwoven har 7 % spill från sin produktion och 80% av detta spill är polyester. Företaget kan själva återvinna en del av sitt spill men 18 ton/år skickas till förbränning. Termobondad polyester som används som isolering och stoppning i inredning är en fraktion av spill som studerats för återvinning i projektet. Sporda Nonwoven levererade ca 10 kg spill i form av termobindad nålfilt på rulle, för återvinningsförsök på Swerea IVF.

JABA Group har 170 ton polyester spill under 2017 och denna siffra förväntas stiga till 300 ton under 2018 eftersom man ökar sin produktion. Kantklippet från produktionen, se figur 2, består av 100% polyester och har olika styvhet beroende på tillämpningen och består främst av långa remsor med den formpressade geometri som produkten haft. För projektet valdes relativt styvt kantklipp som enkelt kan malas i kvarnar med skarpa knivar som skär/sliter isär de långa remsorna. Jaba levererade en pall med ca 100 kg kantklipp i form av remsor till Swerea IVF, samt ca 25 kg malt material som kvarnats hos Rapid Granulator (som tillverkar kvarnas).

Swerec tar emot och sorterar plastavfall från hela Sverige, se figur 1. Anläggningen sorterar med hjälp av densitet, IR och till viss del även manuellt. Plastförpackningar från hushållsavfall är den störta andelen av den plast som tas emot och PET förpackningar skiljs från andra förpackningar. Varje år sorteras ca 2500 ton PET förpackningar ut hos Swerec. Då det inte finns något efterfrågan på detta material går det till förbränning. En balad pall om cirka 1m³ med vikt 540kg skickades till Swerea för vidare uppgradering inom ramen för projektet.

JiHå Plast designar och tillverkar plastfolie och termoformade plastförpackningar av bland annat PET. De återvinner själva sitt produktionsspill som kvarnas och blandas med nyråvara. Transparent produktionsspill från JiHå Plast användes i projektet för modellförsök, där spillet utgjorde förpackningsmaterial utan etiketter.



Figur 1. PET-förpackningar från Swerec



Figur 2. Kantklipp från JABA

Arbetspaket 2 Materialspecifikation – JiHå Plast, Diab, Sporda, JABA, Swerea IVF

Befintliga materialspecifikationer samlades in från företagen. Dessa ger ett underlag och en vägledning vid bedömning av vilka applikationer som är tänkbara för uppgraderade material. Nexam Chemicals bidrog med kunskap om vilken typ av kedjeförlängning som är lämplig för olika applikationer.

Följande aspekter framkom vid bedömning av materialströmmar och tänkbara applikationer:

Smältspinning förutsätter relativt långa, raka polymermolekyler och rak kedjeförlängning testas främst. Råmaterial för smältspinning har ett I_v -tal (intrinsic viscosity) på 0.64. Meltblown för framställning av nonwoven, är troligen den applikation som tillåter kortast polymerkedjor och kan testas på tex Spordas material, även utan tillsats. Extrudering av PET med efterföljande vakuumformning eller formblåsning, kräver relativt hög viskositet och sannolikt förgrenade kedjor för att fungera. Den mest krävande applikationen, skumning, förutsätter mycket hög viskositet och en grenad kedjestruktur hos polymeren för att ge ett stabilt skum med slutna porer och låg densitet. En kombinerad tillsats för rak kedjeförlängning och förgrening testades för denna applikation.

Arbetspaket 3 Uppgradering – Nexam Chemicals, Swerea IVF

3.1 Förpacknings-PET: etiketter

PET material som sorterats av Swerec packas till balar ca $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$. Balarna består av ca 90 % PET. Förpackningar är inte tvättade och innehåller oftast rester av produkten som varit i förpackningen. På förpackningar sitter etiketterna kvar vilket orsakar problem vid återvinningen. För att kunna tillverka en ren produkt måste förpackningar tvättas och etiketterna avlägsnas.

Eftersom förpackningar är balade är de hoptryckta och deformerade vilket försvårar tvättning av förpackningar då tvättlösningen inte kan komma åt överallt. För att kunna tvätta förpackningar ordentligt och även få ur eventuella produkter i förpackningar behövs de malas eller strimlas till mindre delar. Det här ställer högre krav på malmaskinen då den behöver klara av många olika typer av vätskor. Efter förpackningar har malts kan de lättare tvättas.

I ett första tvätt försök samlades några olika förpackningar in från Swerecs PET återvinning. Förpackningar med olika sorters etiketter testades, både plast och papper, men även kombinationer av plast och papper. Etiketterna hade olika typer av limning, en del var heltäckande lim medan andra endast var limmade med en limfog på en mindre del av förpackningen. Tvättmetoden som används grundade sig i den som Returpack använder för tvätta returflaskor i PET. Metoden innebär att förpackningar tvättas i vatten vid 70°C . Etiketter på returflaskor lossnar mycket lätt vid de här förhållandena. I försöken för det här projektet klipptes först förpackningar sönder till mindre bitar. Bitarna placerades sedan i en bägare med 200 ml förvärmat vatten med 2% NaOH vid 70°C . Etiketterna tvättades i minst 15 minuter under kraftig omrörning. Efter tvätten inspekterades både tvättvattnet och förpackningar.

Ytterligare tvätt försök gjordes på malda förpackningar. Förpackningarna var insamlade på Swerea IVF och var tvättade med vatten både på insidan och utsidan, de var sedan torkade och slutligen malda i en kvarn från Rapid Granulator.

3.2 Smältfiltrering av förpacknings - PET

Smältfiltrering är en vanlig metod att uppgradera återvunnen plast och som möjliggör avlägsnande av partiklar och fibrer. Metallfilter, vanligen med porstorlek i intervallet 80-250 μ m kopplas på munstycket av en kompounder eller enkelskruvsextruder och plasten matas i smält form genom utrustningen. Smältfiltreringen genomfördes genom att malda förpackningar med etiketter torkades och matades genom kompounder vid 270°C med smältfilter på 80 μ m.

3.3 Kedjeförlängning genom reaktiv extrudering

Nexam Chemicals har utvecklat produkter för kedjeförlängning av PET. Nexamite M992000 fungerar främst genom att öka kedjelängden linjärt (raka polymermolekyler) och även reducera syratalet dvs minska antalet -COOH grupper i materialet, medan Nexamite M021200 främst förgrenar polymermolekylerna. En rak kedjeförlängning är främst lämpad för applikationer som att spinna fiber eller tillverka nonwoven genom användning av tekniken meltblown (smältblåsning på svenska). Grenad kedjeförlängning rekommenderas för extrudering och skumning. För att öka Iv talet hos det uppgraderade materialet så mycket som möjligt rekommenderades tillsats av både Nexamite M992000 och M021200.

Kedjeförlängning genomfördes med följande material:

- Polyesterkantklipp från JABA Group
- Termobondad polyester från Sporda Nonwoven
- Produktionsspill; förpackningsmaterial från JiHå Plast
- Referensmaterial: PET nyråvara för smältspinning (Invista RT 20)

Reaktiv extrudering genomfördes i dubbelskruvskomponenter på Swerea IVF vid 270°C.

Arbetspaket 4: Prototypframtagning och utvärdering – JiHå Plast, Diab, Sporda, JABA

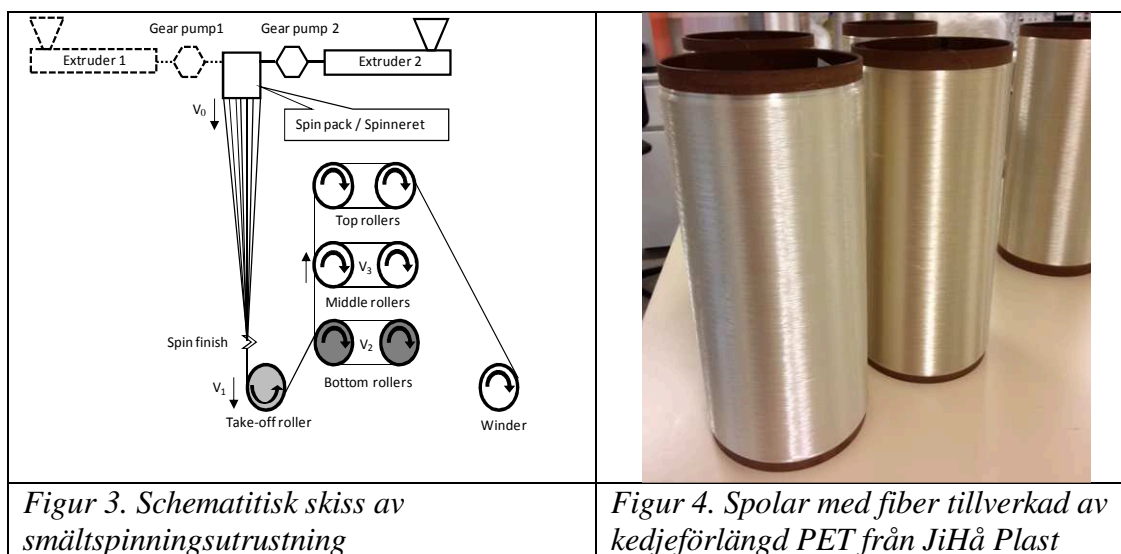
4.1 Framtagning av nonwoven framställd med meltblown

Spordas material utan additiv och med tillsats av 2,7 % Nexamite kördes i utrustningen "melt blown" som innebär att materialet smälts och blåses ut med en het luftström genom mycket små öppningar vid hög temperatur (~300°C). Den smälta polymeren formar fibrer då den blåses från munstyckena mot en perforerad trumma med undertryck inuti. Materialen utan (Nr 3 och 4 i tabell 1) och med kedjeförlängare (nr 3b i tabell 1) jämfördes med varandra. Dessutom varierades undertrycket i trumman, vilket påverkade tjockleken på nonwoven materialet.

Tabell 1. Prover av nonwoven som framställts med hjälp av melt blown

sample	3 (no add)	4 (no add)	3b
Collector vaccum	30%	100%	30%
Ceollector speed	1 m/min	1 m/min	0,7 m/min

4.2 Smältspinning av fibrer



Figur 3. Schematitisk skiss av smältspinningsutrustning

Figur 4. Spolar med fiber tillverkad av kedjeförlängd PET från JiHå Plast

Försök med smältspinning genomfördes med JiHås produktionsspill utan kedjeförlängare och med 1,8% Nexamite M992000. Ett flertal parametrar kan varieras under smältspinningsprocessen, se figur 3, varav "Solid state drawing ratio (SSDR)" dvs kalldragningsratio är en av de viktigaste eftersom den innebär att fiberstyrkan ökar. Redan själva processbarheten varierade för de två materialen och utan additiv kunde kalldragningsratio inte varieras utan fiberbrott. För det kedjeförlängda materialet kunde kalldragningen ökas till utrustningens högsta värde vilket också visar sig i resultaten från dragprovning på fibrer. Färdiga spolar med fibrer visas i figur 4.

4.3 Skunningsförsök

genomfördes på Diabs pilotlab och beskrivs nedan under resultat.

Arbetspaket 5 Hållbarhetsanalys och kemisk analys – Swerea IVF

5.1 Förekomst av reglerade kemikalier-kemisk analys.

Arbetet inom denna uppgift presenteras under "Resultat och diskussion"

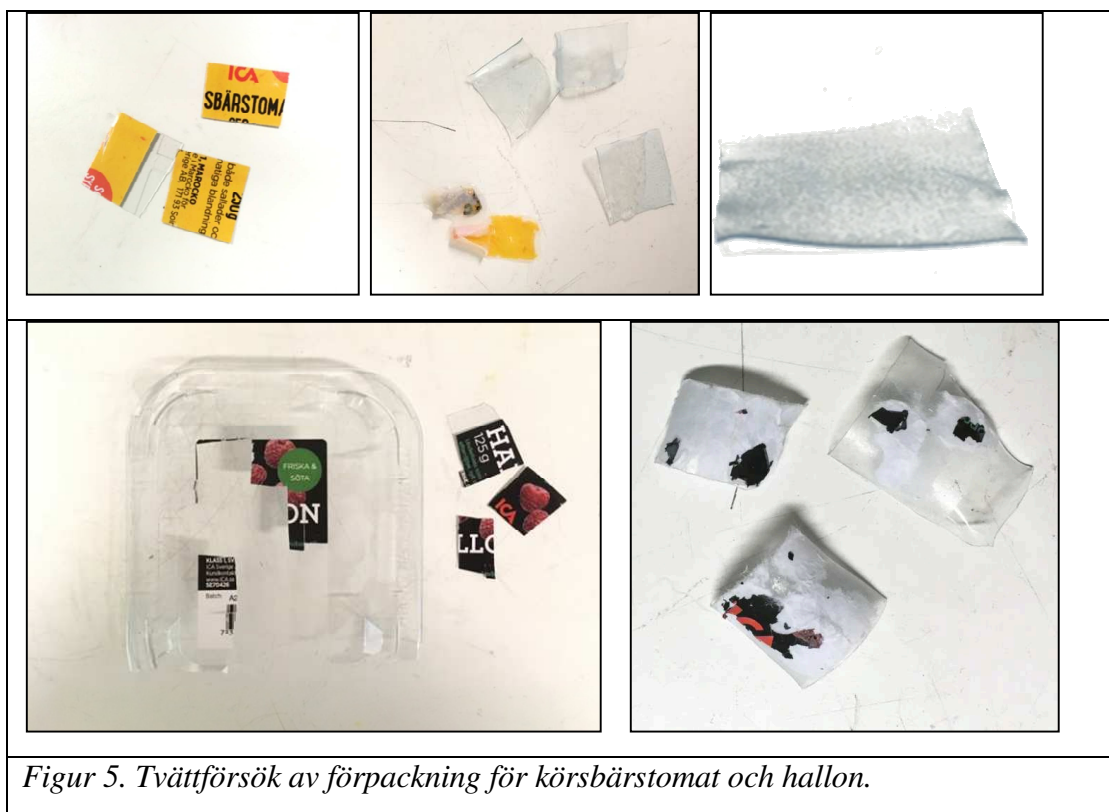
5.2 Hållbarhetsanalys

Arbetet inom denna uppgift presenteras under "Resultat och diskussion"

Resultat och diskussion

RESULTAT AP 3.1 Förpacknings-PET: etiketter

Resultaten från de första tvättningarna var något spridda, vissa etiketter släppte lätt från förpackningarna medan andra var knappt påverkade. En jämförelse kan t ex göras mellan ICAs förpackning för körsbärstomater och ICAs förpackning för hallon, se figur 5. Förpackningarna är lika i form och utseende, båda använder heltäckande lim som verkar täcka hela etiketten. Efter tvätt i 2% NaOH vid 70°C släppte etiketterna från körsbärstomaterna lätt medan på etiketterna på hallonförpackningarna var endast färgen bortnött men etiketterna satt fast hårt. (Både dessa etiketter är pappersbaserade). Några av de testade förpackningarna var returflaskor, etiketterna på de här flaskorna lossnade förutsägbart lätt. Av de förpackningar som hade plastbaserade etiketter med limfog, t ex Softlan sköljmedel, släppte flera etiketter efter tvättning



Figur 5. Tvättförsök av förpackning för körsbärstomat och hallon.

Samma tvätt som ovan gjordes också på malda förpackningar vilket resulterade i att vissa etiketter lossnade, men inte alla. Separering av plast från etikett var problematisk, eftersom densitetsseparering inte var möjlig. Papper har en densitet på $\rho \sim 0.7 \text{ g cm}^{-3}$ och PET $\rho \sim 1.38 \text{ g cm}^{-3}$, vilket i teorin skulle leda till att etiketterna gjorda av papper skulle flyta upp till ytan. Men på grund av storleken av de malda etiketterna absorberar de stor mängd vatten som medför att de sjunker till botten precis som plasten. Försök att justera densiteten i vattnet med hjälp av salter utfördes

för att få de etiketter som hade lossnat att flyta upp till ytan. Densiteten på vattnet ökades till ca 1.2 g/ cm³, men ingen separation skedde, etiketter och plast var fortfarande kvar på botten. Resultaten för försök med avlägsnande av etiketter sammanfattas i tabell 2.

Eftersom förpackningar har olika typer av etiketter och limmer för etiketter blir en vattenbaserad tvätt svår. Eftersom tvätten ska användas i en återvinningsprocess bör inte lösningsmedlen vara för dyra eller hälsoskadliga, därför är en vattenbaserad process de bästa alternativet. Etiketter skulle dock förmodligen kunna tvättas bort i något annat lösningsmedel. Det finns alltså just nu inget effektivt och ”ekonomiskt” sätt att få bort etiketter från förpackningarna. En lösningen på det här problemet vore om flera tillverkade av förpackningar använde liknande limmer som används inom returpack, alltså limmer som går att tvätta bort med varmt vatten.

Tabell 2. Sammanfattning av försök att avlägsna etiketter.

Förpackning	Etikett material	BRA	HALVBRA (går att dra bort efter tvätt)	DÅLIG (går EJ att dra bort efter tvätt)
Loka, Returflaska	Plast	X		
Softlan	Plast	X		
Ajax	Papper		X	
ICA Körbärstomat	Papper	X		
ICA Hallon	Papper			X
Vindruvor	Papper		X	
Mald PET + etiketter	Blandat			X

RESULTAT AP 3.2 Smältfiltrering av förpacknings – PET



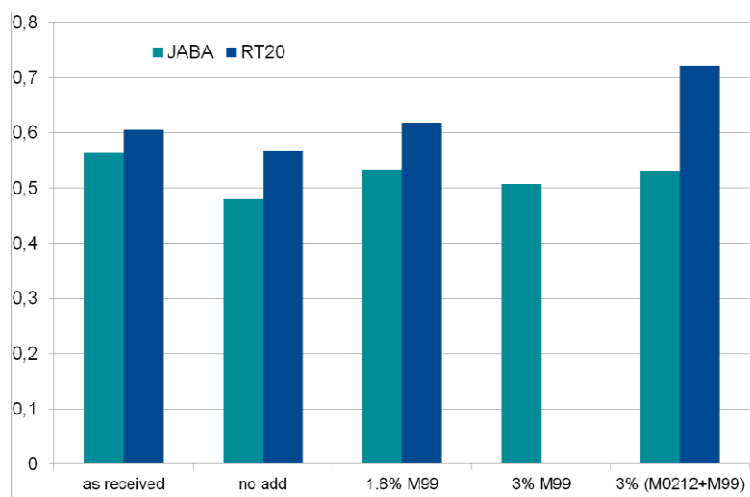
Figur 6. Smältfiltrerad förpacknings-PET. Brun färg kommer av brända etiketter.

Figur 6 visar resultatet av smältfiltrering av förpacknings-PET. Den höga smälttemperaturen bidrar till att pappret i etiketterna börjar brytas ner, vilket ger en

brun missfärgning åt den annars transparenta plasten. Brända papperspartiklar samlas inte upp på filtret utan pressas rakt igenom och blir därför kvar i materialet. Resultaten kan jämföras med smältfiltrering av annan plast som kan processas vid 170°C. etiketterna har då inte brutits ned utan samlas upp på filtret och den filtrerade plasten är i princip fri från pappersrester.

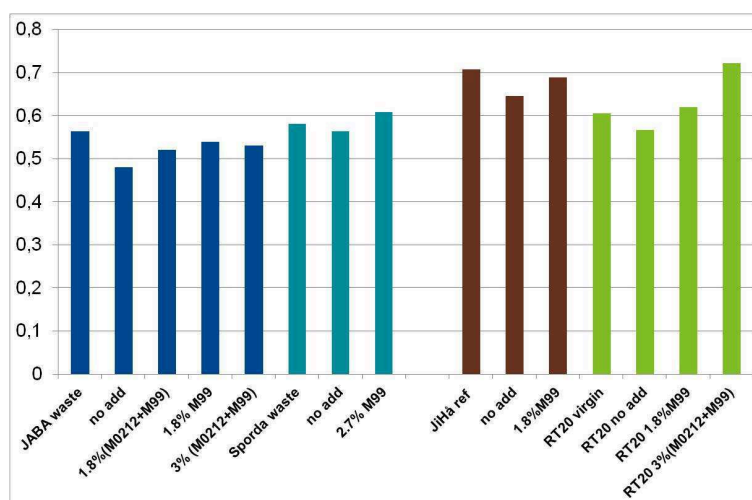
RESULTAT AP 3.3 Resultat av kedjeförlängt material

Material som komponderats och kedjeförlängts analyserades med avseende på Iv-tal och termiska egenskaper.



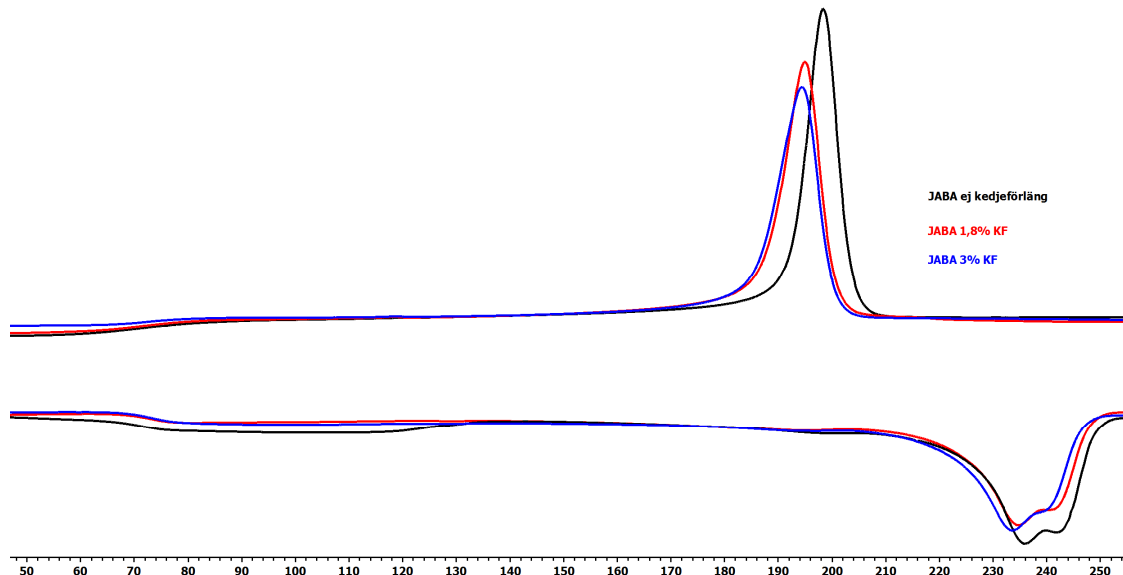
Figur 7. Jämförelse av effekten av tillsats av kedjeförlängare till nyråvara (RT 20) resp. industriellt polyesterkantklipp(JABA) genom mätning av Iv-tal.

En jämförelse mellan kedjeförlängning av nyråvara (RT20) och JABAs kantklipp visar att kompondering, dvs bearbetning vid hög temperatur utan tillsats ("no add") ger en procentuellt sett större nedbrytning av kantklippet, se figur 7. Detta kan bero på att materialet är i form av fluffiga fibrer som har hög yta och därmed snabbare kan absorbera fukt (och därmed brytas ned genom hydrolys) än nyråvaran som levereras i form av pellets. Tillsats av kedjeförlängare höjer Iv-talet både för JABAs material och nyråvaran. Tillsats av 3% M99 till JABAs material ger dock ett något lägre värde än tillsats av 1.8% vilket kan bero på att 3% är för mycket och att den mest optimala koncentrationen överskridits. En kombinerad tillsats av kedjeförlängare M0212+M99 ger större effekt i nyråvara än spill. Flera faktorer har betydelse för den totala kedjeförlängning som äger rum, bl a syratalet hos polyestern. Syratalet analyserades inte inom ramen för denna förstudie.



Figur 8. Iv-tal för samtliga experiment med reaktiv extrudering som genomförts.

Figur 8 visar uppmätta Iv-tal för samtliga experiment med reaktiv extrudering som genomförts i förstudien. Blå staplar, dvs spill från JABA och Sporda är ursprungligen polyesterfiber och resultaten visar att dessa kvaliteter har lägre Iv-tal än JiHås förpacknings-PET eller nyråvara för fiberspinning. Effekten av kedjeförlängning är specifik för varje material och måste optimeras separat för att kunna uppgraderas och matchas mot applikation



Figur 9. DSC analys av polyesterfiberspill utan och med kedjeförlängning.

Figur 9 visar resultat av DSC analys av polyesterspill utan och med kedjeförlängning. Resultaten uppvisar inga specifika förändringar som går att hänföra till kedjeförlängningen trots att Iv talet tydligt ändras. DSC förefaller inte vara en effektiv analys för att förstå kedjeförlängning

Arbetspaket 4: Prototypframtagning och utvärdering – JiHå Plast, Diab, Sporda, JABA

RESULTAT AP4.1 Framtagning och utvärdering av nonwoven framställd med meltblown



Figur 10. Nonwoven framställd via melt blown av återvunnet polyesterspill.

Figur 10 visar nonwoven framställt via melt blown av återvunnet polyesterspill. Massa per areaenhet bestämdes enligt SS-EN 12127:1997/ISO 3801:1977 och tjockleken enligt ISO 5084:1996. Utrustningen för tjockleksmätning benämns ”Shirley thickness tester”. Resultaten visas i tabell 3.

Tabell 3. Resultat för nonwovenmaterial massa per areaenhet och tjocklek.

Material	Mean value g/m ²	Thickness (mm)
3	89	1,1
3b	96	1,5
4	87	1,1

Det kedjeförlängda materialet, prov 3b, var tjockare än icke kedjeförlängt, sannolikt pga av den lägre uppsamlingshastigheten på trumman (collector speed i tabell 1) under formning och efterföljande resultat från mekanisk provning kan ge högre värde enbart på grund av att materialet är tjockare.

Bestämning av hårdighet mot mekanisk penetration (bristningsprovning med kula) utfördes enligt SS-EN ISO 9073-5:2008. Stålkulans diameter är 25.4 mm och ringen för provets inspanning är 44.5 mm. Resultaten i tabell 4 visar att prov 3b har ett värde som procentuellt sett är betydligt högre än vad som kan förklaras enbart av att provet är tjockare. Kedjeförlängningen har en positiv inverkan på nonwoven materialets mekanisk styrka.

Tabell 4. Resultat vid mätning av hårdighet mot mekanisk penetration.

Test material	Maximum penetration force [N]			
	1	2	3	Average
3	47	39	31	39
3b	55	57	76	63
4	42	35	38	38

Sporda Nonwoven förutser två möjliga applikationer för återvunnen polyester i form av nonwoven: för filter och som förbättring av ljudadsorbenter. I det sistnämnda fallet skulle ett skikt av nonwoven på en befintlig ljudadsorbent kunna dämpa ljud ytterligare. Resultat från Sporda provning återfinns i appendix A. De sammanfattar sina resultat på följande sätt:

Resultat:

Svaret på frågeställningen är klar, det gick att laminera och ja det ger en ökad dämpning. Då vi tyvärr av tidsbrist inte kunde genomföra en riktig ljudmätning så ger det en tydlig effekt. Resultatet är intressant och går det att återvinna vårt produktionsspill för att sedan laminera på produkten får vi en bättre produkt (egenskaper) samt en mer hållbar produkt.

RESULTAT AP4.2 Utvärdering av fibrer

Resultaten av utvärdering genom mätning av fibertjocklek, töjning och seghet visas i tabell 5. Resultaten är ett medelvärde av mätningar genomförda på 10 enskilda fibrer. Enheten dTex betyder : g/10000m. "KF" i tabellen betyder kedjeförlängning.

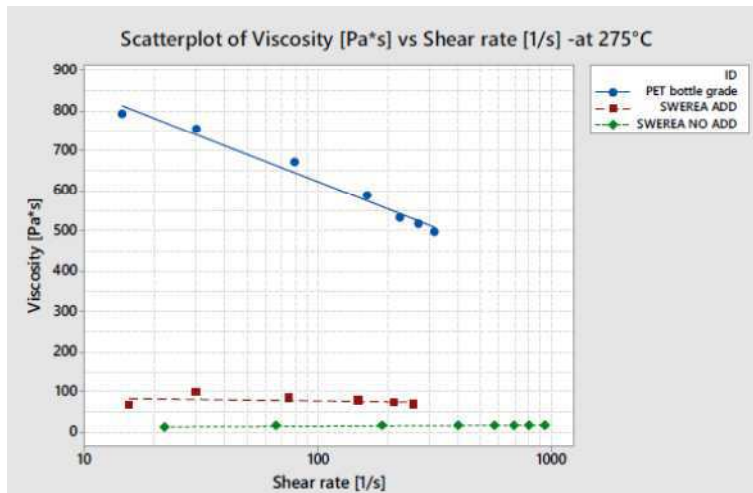
Tabell 5. Resultat av utvärdering av smältspunna fibrer.

Prov	Tjocklek (dTex)	Töjning (%)	Seghet (cN/tex)
Utan KF; SSDR:3.2	4.2 ± 0.6	30.2 ± 6.6	29.9 ± 1.2
Med KF; SSDR: 3.2	4.0 ± 1.0	29.1 ± 12.8	31.2 ± 2.9
Med KF; SSDR: 3.8	4.0 ± 0.6	34.6 ± 10.5	35.2 ± 3.2

Resultaten visar att en ökning av SSDR har betydelse för fiberegenskaperna, speciellt segheten och enbart det kedjeförlängda materialet kunde dras med SSDR: 3.8. Det kedjeförlängda materialet tycks ha högre standardavvikelse för töjning och seghet vilket möjligen kan bero på en inhomogen inblandning av kedjeförlängaren. Ytterligare försök krävs för att verifiera hypotesen.

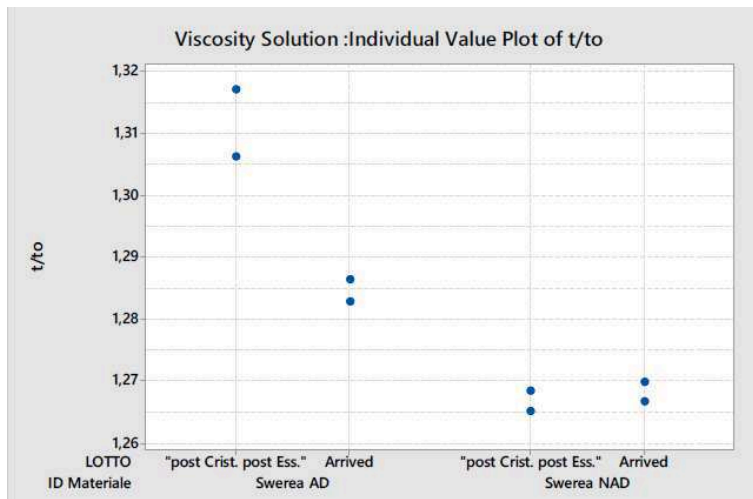
Smältspinningsförsök av JABAs kedjeförlängda material visade att detta inte fungerade att spinna till fiber. Det går att få ut fibrer men vid upplindning på det som i figuren ovan kallas för rollers uppvisar materialet en vidhäftning/ett klabbigt beteende. Detta kan bero på den copolyester som ingår i spillet.

RESULTAT AP4.3 Skumningsförsök och utvärdering av Diabgroup



Figur 11. Smältviskositet för flask-PET (blå), Swerea med kedjeförlängning (röd) och Swerea utan kedjeförlängning (grön).

JABAs kantklipp med (ADD) och utan kedjeförlängning (NAD) testades i skumning med inblandning av 5 resp 10% i nyråvara, i Diabgroups pilotskalanläggning i Italien. Figur 11 visar smältviskositet mätt med kapillärviskosimeter vid 275°C. Smältviskositeten är högre för (ADD) än (NAD) men betydligt lägre än för flask-PET. Figur 12 visar viskositet för PET upplöst i lösningsmedel, före och efter kristallisation som genomförs vid 120°C under 4 timmar. Resultaten bekräftar det mätning av smältviskositeten visar, prov ADD har högre viskositet och högre molekylvikt. Sannolikt har båda proven en bred molekylviktsfördelning.



Figur 12. Viskositet av PET i lösningsmedel för ABB resp NAD.

Skumningsförsöken visade att extruderingsstrycket med inblandning av återvunnet material var 25-30% lägre än med enbart nyråvara. Detta innebär bl a att skummet får en högre densitet. Diab uppmätte alla relevanta mekaniska och termiska

egenskaper på de 6 prover som tagits fram. Sammanfattningvis beskrivs inblandningen av återvunnen PET i skumningsförsök nedan:

- Smälttrycket sjunker vid skumning
- Större celler i skummet
- Ökad styvhet av skummet
- Sänkning av termiska egenskaper
- Ingen eller positiv effekt på kompressionsegenskaper



Figur 14 visar skum framställda hos Diab med 10% återvunnen PET till vänster och av 100% nyråvara till höger.

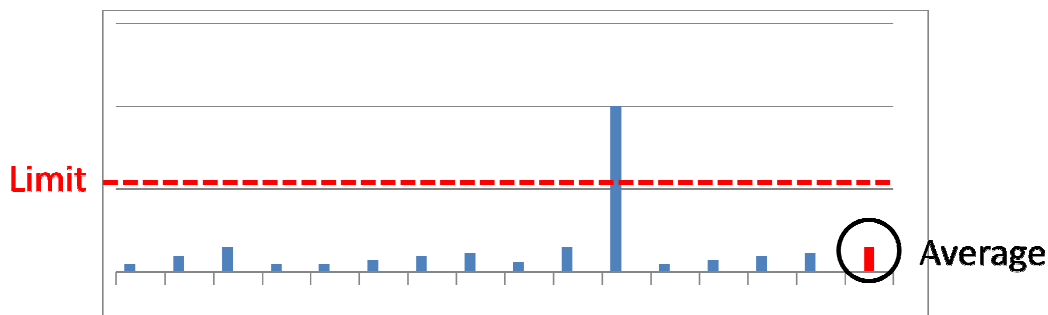
Arbetspaket 5 Hållbarhetsanalys och kemisk analys – Swerea IVF

RESULTAT AP 5.1 Förekomst av reglerade kemikalier

Vid användning av återvunna material kommer det alltid att finnas risk för kontaminering och spridning av reglerade (miljöfarliga) kemikalier, om inte materialflödet är väl känt och processen kontrollerad från källa till ny applikation.

Risker då återvunnen plast används kan sammanfattas i följande punkter:

- Kadmium, bly, kvicksilver, bromerade flamskyddsmedel, vissa mjukgörare hör till gruppen reglerade kemikalier som funnits i äldre plastprodukter
- Reglerad mängd av ovanstående tex 100 ppm Cd gör att man måste kontrollera vad återvunnen plast innehåller då den ska säljas.
- Återvinning av konsumentplast kan innehålla reglerade ämnen
- Utspädningsprincipen bör beaktas, se figur 15. Då återvunna plastfraktioner blandas, kan någon av dem ha ett värde betydligt högre än gränsvärdet. När alla fraktioner blandas genom smältbearbetning kommer dock medelvärdet ändå att ligga under gränsvärdet.



Figur 15 visar utspädningseffekten vid blandning av återvunna plastfraktioner.

För detta projekt görs följande bedömning för de materialströmmar som hanterats:

- Industriellt polyesterspill: Spillet uppstår i produktion och är väldefinierat. I produktionen förekommer inte öppen hantering av reglerade kemikalier och spillet går direkt från skärning till container via manuell hantering eller transport med truck. En väldefinierad process gör att detta material har inte varit exponerat för reglerade kemikalier och kan återanvändas i en mängd produkter.
- Post-konsument förpackningar: Materialet kan ha varit utsatt för en mängd olika ämnen men utspädningseffekten kan beaktas då den största andelen kommer att innehålla produktrester men inget annat.

RESULTAT AP 5.2 Hållbarhetsanalys

Nedan ges en sammanfattande bedömning av projektets signifikanta hållbarhetsaspekter i relation till jämförelseobjektet i ett livscykelperspektiv. Såväl positiva aspekter som risker beskrivs. Tom ruta innebär att ingen signifikant aspekt identifierats. Hållbarhetsanalys har genomförts enligt mall på RE:sources hemsida.

Projektets namn	Innovativ användning av reaktiv extrudering för återvinning av PET
Projektets effekt	Verklig materialåtervinning i stället för förbränning av förpackningar och industrispill
lämförelseobjekt	Industrispill uppstår vid tillverkning av t ex innetak till lastbilar, kontorskäpmar osv. Hushållens plastförpackningar sorterar i dagsläget i nyttig (återvinningsbar) och onyttig (ej återvinningsbar) plastfraktion. Den onyttiga fraktionen används som råvara i projektet. I dagsläget går både industrispill och onyttiga förpackningar till förbränning. I projektet återvinns dessa fraktioner i stället genom reaktiv extrudering. Dessutom undersöks olika användningsområden för den återvunna PET-en.

Nedan ges en sammanfattande bedömning av projektets signifikanta hållbarhetsaspekter i relation till jämförelseobjektet i ett livscykelperspektiv. Såväl positiva aspekter som risker beskrivs. Tom ruta innebär att ingen signifikant aspekt identifierats. Sammanfattningen fylls i delvis automatiskt och ger en snabb överblick.

	Råmaterial	Tillverkning	Användning	Återvinning och resthantering
Miljömässig hållbarhet	Minskat behov av råolja då material återvinns i stället för förbränns	Råmaterial sparas, möjligen kan energianvändningen bli något högre. Emissioner som skulle uppstått vid förbränning kan undvikas	Risk för kortare livslängd	Påverkas ej. Även produkter från återvunnen råvara kan återvinnas igen, särskilt när de blandas med andra råvaror för återvinning
Arbetsmiljö och hälsa	Ingen skillnad	Ingen skillnad	Ingen skillnad	Ingen skillnad
Mänskliga rättigheter	Beroende på varifrån råoljan kommer kan denna vara problematisk för mänskliga rättigheter. Eventuellt liten hållbarhetsfördel för projektets teknik då man kan minska användandet av råolja.	Ingen skillnad	Ingen skillnad	Ingen skillnad
Jämställdhet och mångfald	Ingen skillnad	Ingen skillnad	Ingen skillnad	Ingen skillnad

Sortera aspekterna ovan, i positiva och i risker nedan, och beskriv hur projektet ska hantera respektive aspekt. Ta bort bladets skydd (under Granska) och lägg till fler rader för positiva hållbarhetsaspekter eller risker vid behov!

	Hållbarhetsaspekt	Beskrivning av hur projektet ska hantera hållbarhetsaspekten
Positiva hållbarhetsaspekter	Minskat behov av råolja	
	Minskade emissioner då materialet inte förbränns	
Risker	Risk för kortare livslängd på produkt av återvunnen material	Utvärdera om additiv behövs för att förlänga livslängden. Mer testning och utvärdering behövs för att utvärdera hur allvarlig denna aspekt är.

Sammanfattningsvis visar resultaten att för *avfallsströmmen postkonsument* PET-förpackningar finns en potential för mekanisk materialåtervinning men problemet med avlägsnande av etiketter och produktrester behöver lösas. Potentialen består i att förpackningsmaterial från början har ett högre Iv tal än fibrer och därför kan få ett bredare användningsområde efter uppgradering. Borttagningsbara limmer och tvättprocess för detta finns redan idag inom Returpacksystemet för PET-flaskor. Tvättanläggning finns redan idag på Swerec för förpackningar av polyeten och polypropen. Samma typ av process kan användas för PET-baserade förpackningar, förutsatt att de har lämpliga lim för etiketterna. Kedjeförlängning fungerar väl för förpackningsmaterial och uppgraderad råvara har flera användningsområden bl a fibrer.

För avfallsströmmen *industrispill av polyester* krävs ett arbete med storleksreducering, transport och logistik och för detta finns tekniska lösningar förutsatt att det finns ekonomisk bärighet. Kedjeförlängning kan fungera för denna råvara men kräver noggrann analys av materialet och optimering av tillsats för att kunna finna en applikation. Den ekonomiska bärigheten kan var svår att lösa eftersom analyserna som krävs inte är automatiserade och det för varje råvara kräver flera försök för att optimera kedjeförlängningen. I det fall konstant stor källa av spill kan uppgraderas för en specifik applikation kan det bli ekonomiskt bärande.

Detta betyder för utveckling av innovationsområdet resurs- och avfallshantering att det för PET-förpackningar finns lösningar inom räckhåll men ett starkt fokus för att lösa problemen med etiketter och tillhörande tvättning krävs för den initiala delen av värdekedjan.

För industrispill krävs målinriktad utveckling och symbios mellan företag som har spill och som kan använda spill för att nå lönsamhet.

Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Slutsatser från projektet kan sammanfattas i följande punkter:

För avfallsströmmen postkonsument PET-förpackningar finns potential för mekanisk materialåtervinning med uppgradering via kedjeförlängning men problemet med avlägsnande av etiketter och produktrester behöver lösas. Detta har inte kunnat ske inom ramen för detta projekt men lösningar och strategi för att driva frågan föreslås i rapporten.

För avfallsströmmen industrispill av polyester krävs ett arbete med storleksreducering, transport och logistik och för detta finns tekniska lösningar förutsatt att det finns ekonomisk bärighet. Kedjeförlängning kan fungera för denna råvara men kräver noggrann analys av materialet och optimering av tillsats för att kunna finna en applikation

Resultaten kommer att spridas i Swerea IVFs nätverk och speciellt i fortsatta kontakter och projekt med förpackningsbranschen. Enskilda företag med industrispill och potentiella användare i konsortiet fortsätter egna kontakter efter projektets avslut. Resultatens potential för samhällelig nytta uppstår då partners i värdekedjan för insamling och hantering av post-konsument förpackningar samarbetar för att lösa frågan om etiketter och rengöring. Samhällsnytta och kommersiell nytta uppstår när företag i symbios kan utveckla processen för från spill via uppgradering till ny produkt. Projektet har visat att detta är tekniskt möjligt.

Swerea IVF har lett en förstudie om kemisk återvinning av polyester (Dnr 2017-001675; projektnummer: 44176-1) som visat effektiviteten och den generella potentialen hos denna process. Ett inledande försök har visat lovande resultat för förpacknings-PET, utan att etiketter avlägsnats. En ansökan för ett innovationprojekt planeras för avfallsströmmar som adresserats i detta projekt och där kedjeförlängning efter återpolymerisering finns med som metod för breddning av applikationer. Detta är ett väsentligt steg där även resultaten av detta projekt nyttiggörs.

Publikationslista

Inga publikationer från projektet

Projektkommunikation

Projektresultat kommer att presenteras vid vårmöte för Testbädden för Plaståtervinning på Swerea IVF, 180411. Medlemmar i testbäddens nätverk, dvs 30-talet organisationer och företag, deltar på mötet.

En artikel kring återvinning av PET/polyester planeras i Teknik och Tillväxt, vars första nummer ges ut i början av mars 2018. Målgruppen är de företag som ingår i Swerea IVFs nätverk. Varje upplaga trycks i 10 000 ex.

Referenser

Bilagor

Appendix A: Provningsrapport- Sporda Nonwoven



2017-12-18

Prov rapport

Syfte:

Laminera meltblown material baserat på produktionsspill från Swera TVF på ljudabsorptionsplattor.

Frågeställning:

Går det att laminera?

Ger ytskiktet(meltblow) någon effekt på ljudabsorptionen?

Genomförande:

Först togs 4 st kardade nonwoven plattor fram. Tjocklek 20mm ytvikt 900g/m²

På dessa plattor förberedes proverna av meltblown genom att en COo-PET lins film på 10g/m² lades först på nonwoven plattan sedan meltblown materialet och slutligen tejpades kanterna så att risken för klubb i ugnen skulle undvikas.

Plattorna med fasttejpad meltblow fördes genom ugnen och det fungerade alldeles utmärkt.

Ugnen hade en temperatur på 170°C, 18mm mellan banden och en hastighet på 11m/min.



Proverna färdigades och skulle skickas till ljudlabb men tyvärr fanns ingen tid att genomföra detta då ljudlabbet var fullt upptagna.



Sporda Nonwoven AB
Sporda
SE-330 10 Bredaryd
Sweden

Tel: +46 (0)371-523350
Fax: +46 (0)371-523360
VAT no: SE556389873201

Bankg: 358-6617
IBAN: SE1950000000051821108617 SEK
IBAN: SE28500000000051238222463 EUR
SWIFT: EGSESESS



2017-12-18

Dock gjordes en ovetenskaplig test där jag satte biten framför örat och jämförde med en ej laminerad bit.

Referens (ej laminerad)	3	3b	4b	5
Ingen upplevd dämpning	Upplever dämpning	Upplever dämpning	Tydlig dämpning	Tydlig dämpning

Resultat:

Svaret på frågeställningen är klar, det gick att laminera och ja det ger en ökad dämpning. Då vi tyvärr av tidsbrist inte kunde genomföra en riktig ljudmätning så ger det en tydlig effekt. Resultatet är intressant och går det att återvinna vårt produktionsspill för att sedan laminera på produkten får vi en bättre produkt (egenskaper) samt en mer hållbar produkt.

Sporda Nonwoven AB

Jonas Rylander
VDSporda Nonwoven AB
Sporda
SE-330 10 Bredaryd
SwedenTel: +46 (0)371-523350
Fax: +46 (0)371-523360
VAT no: SE556389873201Bankgiro: 358-6617
IBAN: SE1950000000051821108817 SEK
IBAN: SE2850000000051236222463 EUR
SWIFT: ESSESE33