



Slutrapport för projekt

Resurseffektiv användning av fiberförstärkta polymerer

Projektperiod: juni 2018 och till oktober 2020
Projektnummer: 46145-1

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

**Strategiska
innovations-
program**

Resurseffektiv användning av fiberförstärkta polymerer

Resource efficient use of fiber reinforced polymers

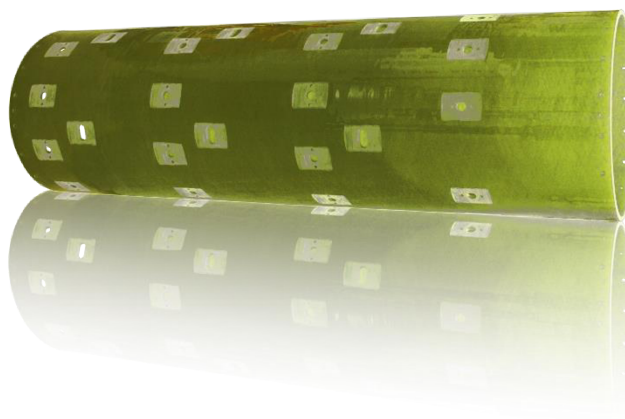
Titel på projektet – svenska Resurseffektiv användning av fiberförstärkta polymerer
Titel på projektet – engelska Resource efficient use of fiber reinforced polymers
Universitet/högskola/företag RISE ETC AB, RISE SICOMP AB, ABB Composites AB, Podcomp AB, BDR Sverige AB, Måle sportförsäljning AB
Adress Box 726, 941 28 Piteå
Namn på projektledare Ann-Christine Johansson
Namn på ev övriga projektdeltagare Jonas Persson, Tommy Öman, Fredrik Ahlqvist, Anders Holmberg, Birgitha Nyström, Oskar Andersson, Emil Edlund
Nyckelord: 5-7 st Kompositter, fiberförstärkta polymerer, återvinning, återanvändning, pyrolys

Förord

Detta forskningsprojekt är ett samarbete mellan forskningsinstituten RISE ETC och RISE SICOMP, komposittillverkarna ABB Composites och Podcomp AB, återvinningsföretaget BDR och användaren Måle sportförsäljning. Projektet är finansierat av projektdeltagarna samt genom det strategiska innovationsprogrammet RE:Source, finansierat av Vinnova, Energimyndigheten och Formas samt Smurfit Kappa AB.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning och bakgrund	6
Genomförande	6
Resultat och diskussion	8
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg	11
Publikationslista	11
Projektkommunikation	11
Bilagor	12



Figur 1. Isolator för högspänningsutrustning tillverkad av glasfiberförstärkt polymer.

Sammanfattning

Ökad användning av fiberförstärkta polymerer driver på vikten av effektiv återanvändning och återvinning av fiberförstärkta polymerer för att nå ett hållbart samhälle. För att åstadkomma detta behöver hela kedjan från tillverkare till slutanvändare samarbeta för att lösa uppgiften. Resultat från projektet visar att minskning av produktionsspill tillsammans med återanvändning i alternativa applikationer effektivt kan förbättra resurseffektiviteten samtidigt som det ofrånkomliga avfallet effektivt kan materialåtervinnas via pyrolys och återanvändas i nya kompositer.

Fiberförstärkta polymerer har utmärkta hållfasthets- och viktgenskaper, vilket resulterar i en kraftigt ökande mängd applikationer inom transport- och byggindustrin. Återvinningen av dessa komplexa kompositer är ofta otillräcklig och baseras främst på energiåtervinning med begränsad materialåtervinning av fibrerna. Ny miljölagstiftning som syftar till att begränsa användningen av fossila resurser och förbättra avfallshanteringen skapar en efterfrågan på lämplig återvinningsteknik. För att förbättra resurseffektiviteten hos fiberförstärkta polymerer är effektiv återanvändning och återvinning av stor betydelse. I detta projekt utvärderas effektiv användning av både kolfiber och glasfiberförstärkta polymerer, dvs. minskning av avfall inom produktionsanläggningen, alternativa applikationer samt materialåtervinning via pyrolys. De studerade förstärkta polymererna kommer från isolatorer för högspänningsutrustning från ABB Composites, sanitetsprodukter från Podcomp och hockeyklubbor från Måle sportförsäljning. Dessa material representerar både glas- och kolfiberarmerade kompositer, en glasfiberförstärkt epoxi med

anhydridhärdare, en glasfiberförstärkt polyester med en PET-kärna samt en kolfiberförstärkt epoxi med aminhärdare.

Relaterat till resurseffektiv återanvändning har projektet exempelvis resulterat i minskning av produktionsavfall på ABB Composites. Genom förbättrad kvalitetshantering och personlig utbildning har produktionsavfallet minskat med 28 % år 2018 jämfört med år 2017. De fiberförstärkta polymererna har även återanvänts i en mängd nya applikationer, i allt från inredning i stall, förgårdar till dagvattenbrunnar. Vi har även undersökt möjligheten att reparera förbrukade hockeyklubbor samt använda dem som lokal förstärkning av stål med lovande resultat m.a.p. hög styrka och låg vikt. Relaterat till materialåtervinning har förstärkta polymerer utvärderats med hjälp av analytiska metoder såsom termogravimetriska mätningar (TGA) och analytisk pyrolys. Testerna syftar till att bestämma lämpliga sönderdelningstemperaturer och sammansättning av producerade pyrolysisprodukter. Utifrån dessa resultat har de förstärkta polymererna sedan pyrolyserats i bänkskala för att bestämma produktutbyten och produktkvalité/sammansättning. Resultaten från pyrolystesterna indikerar att det är möjligt att återvinna både fibrerna och polymererna genom pyrolys. Pyrolysvätskan innehåller monomerer, som exempelvis fenoler, ftalanhydrid och styren. För varje polymer (omättad polyester, epoxi eller PET) hittas de molekyler som väl motsvarar de byggstenarna som polymererna framställs av. Extraktion av dessa föreningar för att kunna producera nya polymerer har också utvärderats i projektet. De återvunna fibrerna tycks bibehålla sina höga mekaniska egenskaper och en möjlig tillämpning för de återvunna fibrerna (både glas- och kolfiber) är i SMC-material. Materialåtervinning med pyrolys verkar alltså vara en lovande teknik för att återvinna både fibrerna och polymererna i uttjänta kompositer, vilket resulterar i en mer hållbar materialanvändning med minimerad resursförbrukning och miljöpåverkan.

Summary

Increased use of fibre reinforced polymers urges on the importance of efficient reuse and recycling of fibre reinforced polymers to reach a sustainable society. To achieve this, the entire chain from manufacturer to end user needs to work together to solve the task. Results from the project show that reduction of production waste together with reuse in alternative applications can effectively improve resource efficiency while the end-of-life waste can be efficiently recycled via pyrolysis and reused in new composites.

Fibre reinforced polymers have excellent strength and weight properties, which results in a greatly increasing number of applications in the transport and construction industry. The recycling of these complex composites is often insufficient and is mainly based on energy recovery with limited material recycling of the fibres. New environmental legislation aimed at limiting the use of fossil resources and improving waste management is creating a demand for suitable recycling technology. To improve the resource efficiency of fibre reinforced polymers, efficient reuse and recycling are of great importance. In this project, the efficient use of both carbon and glass fibre

reinforced polymers is evaluated, i.e. reduction of waste within the production facility, alternative applications as well as material recycling via pyrolysis. The reinforced polymers studied come from insulators for high voltage equipment from ABB Composites, sanitary products from Podcomp and hockey sticks from Måle sports sales. These materials represent both glass and carbon fibre reinforced composites, a glass fibre reinforced epoxy with anhydride hardener, a glass fibre reinforced polyester with a core of PET and a carbon fibre reinforced epoxy with amine hardener.

Related to resource efficient reuse, the project has, for example, resulted in a reduction in production waste at ABB Composites. Through improved quality management and personal training, production waste has decreased by 28 % in year 2018 compared to 2017. The fibre reinforced polymers have also been reused in a number of new applications, from furnishings in stables, forecourts to stormwater wells. We have also investigated the possibility of repairing spent hockey sticks and also to use the spent sticks as local reinforcement of steel with promising results with regards to high strength and low weight. Related to material recycling, reinforced polymers have been evaluated using analytical methods such as thermogravimetric measurements and analytical pyrolysis. The tests are intended to determine the decomposition temperatures and composition of the pyrolysis product produced. Based on these results, the reinforced polymers have been pyrolyzed in a bench scale setup to determine product yields and product quality/composition. The results of the pyrolysis tests indicate that it is possible to recover both the fibres and the polymers by pyrolysis. The pyrolysis liquid contains monomers, such as phenols, phthalic anhydride and styrene. For each polymer (unsaturated polyester, epoxy or PET), the produced molecules correspond well to the building blocks from which the polymers are made of. Extraction of these compounds in order to produce new polymers has also been evaluated in the project. The recycled fibres seem to retain their high mechanical properties and a possible application for the recycled fibres is in SMC materials. Material recycling with pyrolysis seems to be a promising technology for recycling both the fibres and polymers in spent composites, which results in a more sustainable material use with minimized resource consumption and environmental impact.

Inledning och bakgrund

Fiberförstärkta polymerer har stora fördelar när det gäller egenskaper som hög styrka, låg vikt, lågt underhåll och lång livstid vilket resulterat i en mängd olika applikationer i transport-, energi- och konstruktionsindustrin. Med nya miljölagstiftningar och högre krav på reducerade utsläpp så förväntas användningen fortsätta öka inom både flyg- och bilindustrin eftersom viktnedskningen leder till både minskad energiförbrukning och miljöpåverkan. Återvinningen av dessa komplext sammansatta glas- och kolfiberförstärkta kompositer är ofta otillräcklig och baseras främst på energiåtervinning med begränsad materialåtervinning av fibrerna. Ny miljölagstiftning som syftar till att begränsa användningen av fossila resurser och förbättra avfallshanteringens skapar en efterfrågan på lämplig återvinningsteknik.

En potentiell materialåtervinningsteknik för komplexa kompositmaterial är pyrolys, en termokemisk konverteringsmetod som medger återvinning av både polymerer och högkvalitativa fibrer. Ett antal pyrolystekniker för kompositmaterial har utvecklats under åren men kommersialiseringen har inte lyckats fullt ut främst på grund av avsaknad av marknad för det återvunna materialet och lönsamheten. Detta är därför ett område som kräver mer forskningsinsatser. Med hårdare miljökrav samt bra kvalitet på de återvunna produkterna finns ökande möjligheter att få denna typ av process att bli framgångsrik. För att minska miljöpåverkan och livscykelkostnaden är det även viktigt att, innan den termokemiska processen, sortera ut material som kan repareras och återanvändas. Målsättningen med detta arbete var därför att bygga ny kunskap och utveckla metoder som möjliggör resurseffektiv användning av fiberarmerade polymerer under hela dess livscykel vilket innebär både effektiv användning, återanvändning och återvinning. I detta projekt utvärderas därför effektiv användning av både kolfiber och glasfiberförstärkta polymerer, dvs. minskning av avfall inom produktionsanläggningen, alternativa applikationer samt materialåtervinning via pyrolys.

Genomförande

Projektet delades upp i sex arbetspaket (AP) som hanterade såväl återanvändning som återvinning av både glas- och kolfiberförstärkta polymerer. Aktiviteterna i de olika arbetspaketen beskrivs nedan:

Arbetspaket 0: Projektkoordinering

I detta arbetspaket samordnades de olika arbetspaketen och innehöll aktiviteter som projektmöten, lägesrapporter, slutrapport, resultatspridning och ekonomisk utvärdering. I detta paket medverkade både RISE ETC och RISE SICOMP.

Arbetspaket 1: Effektiv användning och återanvändning

I detta arbetspaket studerades dels effektiv användning i produktionen dels återanvändning i nya tillämpningar. Deltagarna ABB Composite, RISE SICOMP,

Måle sportförsäljning och BDR arbetade med att minska produktionsspillet och förbättra avfallssorteringen, återanvändning genom reparationsprocesser, samt utvärdering av alternativa tillämpningar.

Arbetspaket 2: Pyrolys av fiberförstärkta polymerer

Målsättningen med detta arbetspaket var att skonsamt återvinna hela kompositen, både fibrer och polymerer, via pyrolys. Inledande analys utfördes för att karakterisera de olika kompositerna med hjälp av kemisk analys, analytisk pyrolys och TGA. Vidare konstruerades en bänkskalig satsvis pyrolysör där de olika kompositerna pyrolyserades. Baserat på dessa försök utvärderades produktutbyten och produkternas kvalitet/sammansättning. Detta arbetspaket utfördes huvudsakligen av RISE ETC.

Arbetspaket 3. Tillverkning av kompositer

I detta arbetspaket användes de erhållna fibrerna från pyrolysen, i AP 2, för att tillverka prototyper av komposit. SMC material av återvunna fibrer både från kolfiber och glasfiber tillverkades. Med ett biobaserat PFA harts tillverkades en klubbeförlängning till hockeyklubbor. Dock verkade vätningen mellan PFA och de återvunna fibrerna vara en begränsande faktor. Därför användes istället ett kommersiellt baserat harts (epoxi). Dessa pressades i ett verktyg som ofta är använt av SICOMP för SMC material för att kunna bestämma dess processegenskaper. Detta arbetspaket utfördes huvudsakligen av RISE SICOMP.

Arbetspaket 4: Verifiering och mekanisk testning.

I detta arbetspaket inspekterades reparationerna som utfördes i AP1 och prototypen från AP 3 både visuellt och mekaniskt. Kvaliteten på det återvunna fibrerna testades mekaniskt, både som buntar och singelfibrer. Av de demonstratorer som tillverkades gjordes också analyser som fiberhaltsmätningar i ugn, TGA och DSC samt mekanisk provning. Detta arbetspaket utfördes huvudsakligen av RISE SICOMP.

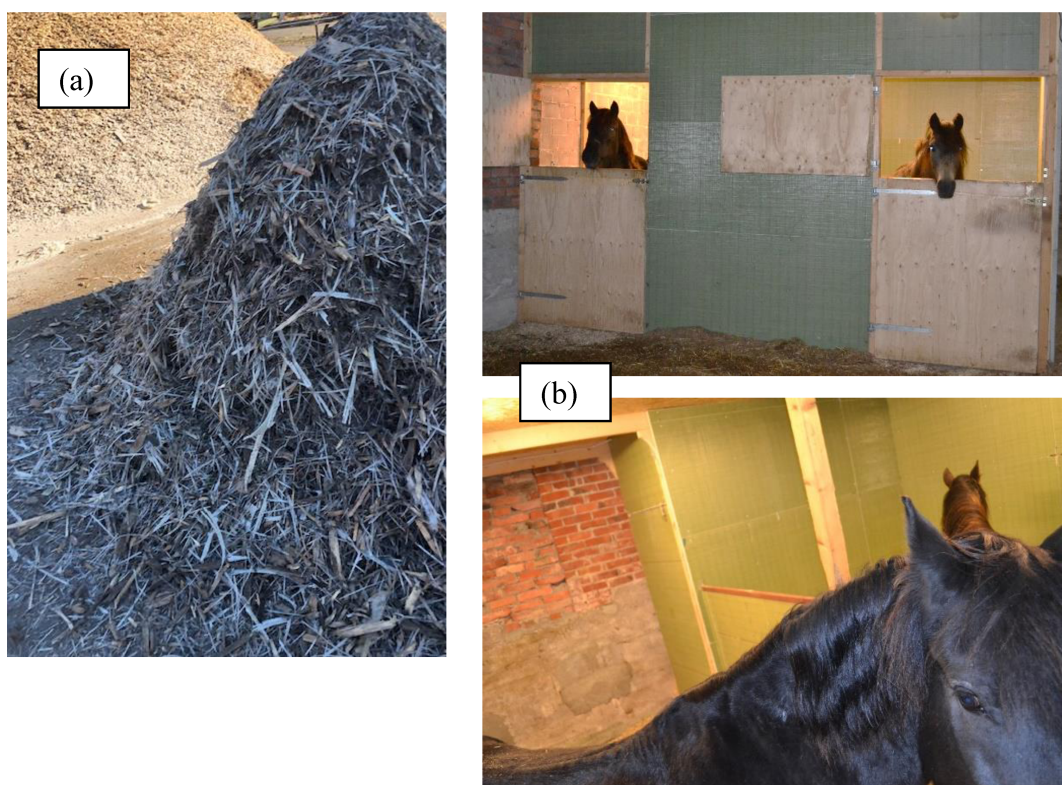
Arbetspaket 5: Ekonomi och miljöpåverkan

I detta arbetspaket utvärderades projektets koncept ekonomiskt och miljömässigt. En ekonomisk utvärdering av de olika koncepten har gjorts, där kostnader för investeringar exempelvis pyrolys, driftskostnader, möjliga prisbilder för återvunnet material samt deponi har undersökts. Arbetspaketet utvärderar även tekniska fördelar med de olika koncepten både vad det gäller miljö och mekaniska egenskaper. Detta arbetspaket utfördes av alla projektdeltagare.

Resultat och diskussion

För att möjliggöra en resurseffektiv användning av fiberarmerade polymerer under hela dess livscykel är det viktigt att hela kedjan från tillverkning, användning och avfallshantering tas i beaktande. I detta projekt har vi därför studerat både effektiv användning, återanvändning samt återvinning, dvs. minskning av avfall inom produktionsanläggningen, alternativa applikationer samt materialåtervinning via pyrolys inklusive användande av pyrolysprodukterna.

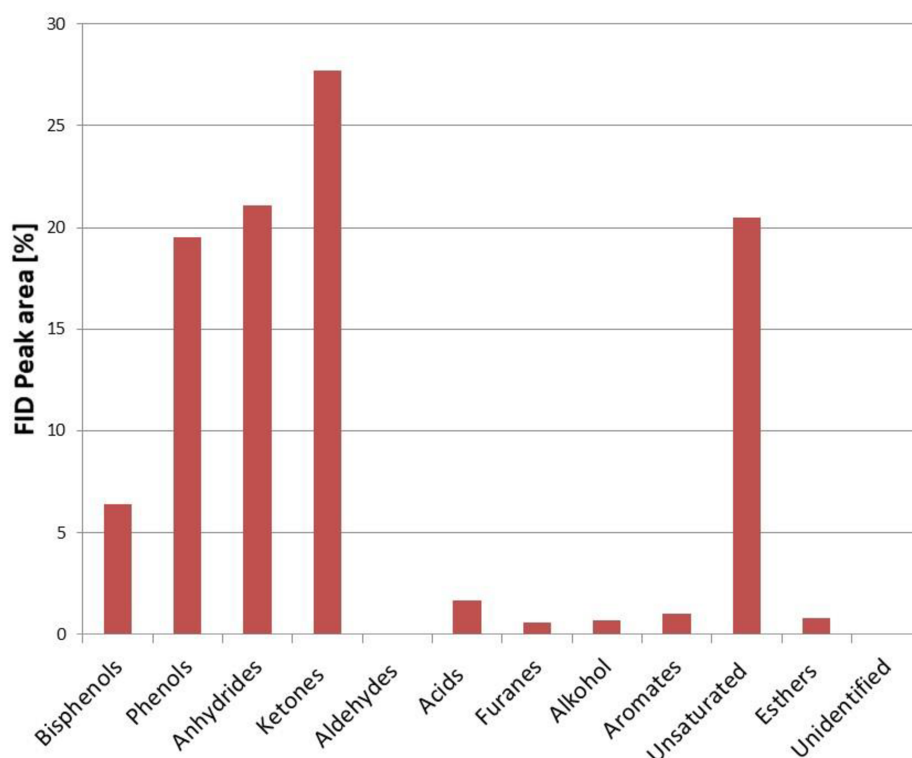
Relaterat till resurseffektiv användning och återanvändning har projektet exempelvis resulterat i minskning av produktionsavfall på ABB Composites. ABB har arbetat med målet att 98 % av alla deras fiberlindade rör ska vara godkända. Genom förbättrat kvalitetsarbete samt personalutbildning inom avfallssortering har produktionsavfallet minskat med 28 % år 2018 jämfört med år 2017. En av de största utmaningarna för att kunna återanvända men även återvinna det hårda och slitstarka produktionsspillet är att kunna sönderdela det vilket är något som BDR arbetat med. Efter hårt slit med olika sönderdelningsmetoder har slutligen en kross visat sig ge lovande resultat. Krossen lyckades sönderdela produktionsspillet i form av meterlånga rör ner till bitar på ca 300 mm, se Figur 2a. ABB, BDR och Podcomp har arbetat med att återanvända de fiberförstärkta polymererna i en mängd nya applikationer. Till att börja med har möjligheten med att sälja restprodukterna till nya applikationer undersökts rent administrativt av ABB. BDR har undersökt möjligheter att använda det krossade spillet som bärmaterial i vägar samt hela rör som dagvattenbrunnar. Även Podcomp har arbetat med att hitta nya tillämpningar på deras produktionsspill som resulterat i produkter som exempelvis ugnsisolering, stallinredning, (Figur 2b) och förgårdar.



Figur 2. a) Bild på sönderdelat produktionsspill från ABB, b) bild på stallet med två spiltor och förråd byggt av dörrblad från PODCOMP.

Vi har även undersökt olika metoder för att reparera hockeyklubbor både teoretiskt via simuleringar och praktiskt. När skafvet på en hockeyklubba lagas ökar lokalt styvheten runt lagningen med ca 70 %, vilket påverkar (ökar) flextalet (specifikt styvhetstal för hockeyklubbor) med ca 5–8 enheter. Lagning av skador på blad är inte lika känsligt. Nya tillämpningar för de uttjänta hockeyklubbarna har också studerats. De kan exempelvis användas till förstärkning av stål, exempelvis har en prototyp i form av en lättviktsramp till släpvagn har tillverkats vilket resulterat i goda styrkeegenskaper.

Relaterat till materialåtervinning har förstärkta polymerer utvärderats med hjälp av analytiska metoder såsom termogravimetriska mätningar och analytisk pyrolys. Testerna syftar till att bestämma lämpliga sönderdelningstemperaturer och sammansättning av den producerade pyrolysoljan. Utifrån dessa resultat har de förstärkta polymererna sedan pyrolyserats i bänkskala för att bestämma produktutbyten och produktkvalité/sammansättning. Pyrolys av kompositerna i analytisk skala och labbskala visade på liknande resultat, vilket innebär att analytisk pyrolys kan användas för att studera olika kompositerna och ge ett snabbt svar på vilka nedbrytningsprodukter som kommer att tillverkas vid pyrolys i större skala. I labbskalan genereras även en vätska som karakteriserats och visade sig innehålla monomerer, dvs. fenoler, ftalanhydrid, styren, som väl motsvarar de polymerer kompositerna framställs av, se Figur 2. Vätskan har sedan extraherats/destillerats i syfte att utvinna fenoler som sedan syntetiserats till harts.



Figur 3. Exempel på vätskesammansättning baserat på GC/MS-FID av olja från glasfiberkomposit från ABB Composites.

Den fasta produkten som består av kompositernas fibrer har även karakteriserats med svepelektronmikroskop (SEM-EDS) samt testats mekaniskt. Resultat från SEM visade att de pyrolyserade fibrerna har kvar en liten mängd plast/koks som kan avlägsnas efter en snabb förbränning i låg temperatur. Med den milda behandlingen i pyrolysen går det inte säga att fibrerna tappar någon av sina mekaniska egenskaper utan det ligger kvar på samma nivå i de singelfibertesterna som genomfördes. I projektet har kolfibrerna använts för att tillverka en prototyp/demonstrator, en klubbförlängare. Dessutom har ett verktyg speciellt lämpligt för SMC använts för att pressa plattor.

En teknoekonomisk utvärdering har visat att glasfiberkompositer kommer att bli för dyrt att återvinna med pyrolys även om man kan återvinna plasten. Kostnaden för pyrolys är avsevärt högre än den billiga glasfibern. Dessutom är pyrolys dyrare än hårdplasten, vilket inte ger några marginaler. Även om kostnaden för deponi fördubblas så finns det låga marginaler för att pyrolys ska kunna vara lämplig för glasfiberförstärkta kompositer. För kolfiberförstärkta kompositer finns det däremot en stor miljömässig och ekonomisk potential med pyrolys. Det finns emellertid fortfarande tekniska svårigheter, exempelvis svårigheter att rikta fibrerna. Detta problem ger i sin tur också svårigheter med att uppnå höga fiberhalter. Men trots dessa tekniska problem ger pyrolys av kolfiberkompositer en stor ekonomisk potential. Speciellt med möjligheten att även kunna återvinna hårdplasten, vilket projektet visar. Detta är också av yttersta vikt för bilbranschen som har höga krav på andelen mängd material som ska återvinnas.

Materialåtervinning med pyrolys verkar således vara en lovande teknik för att återvinna både fibrerna och polymererna i uttjänta kompositer, vilket i en kommersiell

skala skulle resultera i en mer hållbar materialanvändning med minimerad resursförbrukning och miljöpåverkan.

Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Projektet visar att för att möjliggöra en resurseffektiv användning av fiberförstärkta kompositer måste hela livscykeln från användning, återanvändning och återvinning fungera. För att åstadkomma detta krävs samarbete mellan hela kedjan från tillverkare till slutanvändare. Resultat från projektet visar att minskning av produktionsspill tillsammans med återanvändning i alternativa applikationer effektivt kan förbättra resurseffektiviteten samtidigt som det ofrånkomliga avfallet effektivt kan materialåtervinnas via pyrolys och återanvändas i nya kompositer.

Återvinning är av stort intresse för kompositföretagen. Projektresultaten har genererat värdefull kunskap framförallt för projektdeltagarna. Detta projekt har visat på potentialen som dessa tekniker har och nu återstår verifikation i större skala samt inkluderande av entreprenörer och teknikägare.

Publikationslista

Öman, T. (RISE S.) & Johansson, A.-C. (RISE ETC). Resource efficient use of carbon fiber reinforced polymers. in (The 30th International SICOMP Conference, Trollhättan, Sweden, June, 2019

Projektkommunikation

På följande sätt har projektresultatet har spridits:

- Mellan de olika projektpartnerna inom projektet på projektmöten.
- Information om projektet har spridits via en pressrelease till allmänheten, se <https://news.cision.com/se/rise/r/rise-och-piteaforetag-samarbetar-for-ateranvandning-och-atervinning-av-fiberkompositer,c2778566>
- Projektet har kommunicerats på ”The 30th International SICOMP Conference” i Trollhättan. På detta event fanns olika kompositföretag som exempelvis GKN, SAAB, ABB, Nexam Chemical och RUAG samt forskare från såväl universitet som institut i Europa representerade.
- I mars 2019, har projektet även kommunicerats i Composite E-news #60, som är en tidning som går ut till svenska kompositföretag.

Vi planerade att presentera projektet på ”Circular Material Conference” i Göteborg under våren 2020. Tyvärr kunde inte konferensen genomföras på grund av utbrottet av COVID-19 och konferensen blev istället framskjuten till april 2021. Istället har vi

arbetat för att dela med oss av resultatet i form av en artikel, ett manuskript med projektresultat är framtaget och planeras att skickas in under hösten 2020.

Bilagor

Administrativ bilaga