Swerea IVF-rapport
17001

Återvinning av textilier

Hur säkerställer man giftfria flöden i relation till textilåtervinning

Oktober 2016

Christina Jönsson, Stefan Posner, Carina Olsson, Tobias Könhke,
Anna Rúna Kristinsdóttir, Martin Strråt, Lisa Schwarz, Zengwei Guo

swerea IVF

Swerea IVF

Swerea IVF erbjuder avancerade forsknings- och uppdragstjänster. Vi utvecklar och inför ny teknik och nya arbetssätt inom en rad branscher med fokus på produkt-, process- och produktionsutveckling. Vi erbjuder även djup kompetens angående material-egenskaper och applikationer för keramiska, polymera och textila material.

Målet är att snabbt få in ny teknik och nya metoder i praktisk användning hos våra kunder. Såväl enskilda företag som offentliga institutioner vänder sig till oss för att utveckla framtidens resurseffektiva produkter och processer.

Vårt huvudkontor ligger i Mölndal och vi har lokalkontor i Eskilstuna, Jönköping, Linköping, Stockholm, Olofström och Trollhättan.

Swerea IVF är en del av Swereakoncernen, där även Swerea KIMAB, Swerea MEFOS, Swerea SICOMP och Swerea SWECAST ingår.

Swerea IVF AB
Box 104
431 22 Mölndal
Telefon 031-706 60 00
Telefax 031-27 61 30
http://www.swerea.se

Swerea IVF rapport 17001

© Swerea IVF AB

Rapporten Återvinning av textilier – Hur säkerställer man giftfria flöden i relation till textilåtervinning är en delrapport i projektet ***Från spill till guld Steg 2 Samverkan***, ett samverkansprojekt med 24 parter inom Vinnovas program utmaningsdriven innovation 2014-2016. Projektet initierades med syfte att identifiera och genomföra förändringar som kan ge upp till 30 % minskning av outnyttjat industrispill i de tre branscherna metallbearbetning, pulverlackering och textilanvändning.

Figur 1. Projektets fyra huvudutmaningar: Ökat utnyttjande av restprodukter och minskat spill inom textil, pulverlackering och metallproduktion.

Det centrala målet med projektet var att utvärdera potentialen för en digital plattform där det finns möjlighet att sälja sitt material till intresserade köpare, alternativt att knyta kontakter som bidrar till nya idéer kring hur man tar hand om sina restprodukter eller vidareförädlar dessa.

Projektets huvudvision, en mäklar- och innovationstjänst för flera industribranscher, har inte funnit en förvaltare under projekttiden, trots en omfattande analys och kontakter med många tänkbara aktörer. Potentialen hos en mäklartjänst för industriellt spill i de deltagande branscherna har inte värderats som tillräckligt hög, och den har en rad strukturella utmaningar att övervinna. Projektets rekommendation är därför att istället skapa en innovationstjänst där affären kopplas främst till råvarunära företag. Den specifika utvärderingen av affärsmodellen för en mäklar- och innovationstjänst utfördes inom Mäklartjänst och Affärsmodell (Arbetspaket 2 och 6).

Projektet har vidare identifierat möjligheter och hinder för återvinning och återanvändning av industrispill inom branscherna textil (Arbetspaket 3), pulverlackering (Arbetspaket 4) och metallbearbetning (Arbetspaket 5). Inom

dessa branscher har lösningar som ökar återvinning och återanvändning utvecklats och utvärderats i de testmiljöer som konsortiet förfogat över. En viktig del i detta arbete har varit konsortiets sammansättning av företag som genererar restmaterial, företag som kan använda restmaterial samt aktörer som har potential att förädla restmaterial till värdefull sekundär råvara. Detta har resulterat i lösningar som har innovativ höjd och dessutom ökad chans till reell industrinytta.

Åtgärder som kan minska det industriella spillet har också identifierats och testats inom alla tre materialslagen.

Branschspecifika utmaningar har adresserats med framgång:

- Inom ***textil*** har en modell för att minska spridning av miljögifter vid återvinning utvecklats, och flera praktiska pilotförsök inom återvinning har skett i samarbete med företagen i projektet och i Kemikaliegruppen.
- Inom ***pulver*** har både minskning och återanvändning testats med framgång, och hinder för återvinning har identifierats i regel- och lagkrav.
- Inom ***metall*** har minskning av spill inom plåt goda förutsättningar att skapa ökade svenska affärer, dels genom att företag med mindre spill blir konkurrentkraftiga, dels genom en tidigare utvecklad svensk lösning för laserskärning som introducerats i projektets plåtföretag. Däremot har marknadspotentialen för återanvändning av gjuteristoft inte varit tillräcklig för att utföra de försök som var planerade.

Branschöverskridande möten har skapat idéer och förslag på lösningar tvärs branscherna, och format ett bestående nätverk som kommer att bidra till framtida utveckling inom cirkulär ekonomi. Projektarbetet har berikats ytterligare av den aktiva referensgruppen bestående av myndigheter och företag som redan lyckats lyfta sina biprodukter till ett högre värde. Det tvärvetenskapliga konsortiet har arbetat med bland annat tekniklösningar, inre och yttre miljö, lagkrav, affärsmodeller, IT-stöd, kommunikation, undervisning och innovationsledning. Nya projekt och samarbeten har initierats mellan projektets parter, och både nationella och internationella projekt fortsätter att utveckla delfrågor identifierade i Från spill till guld.

Innehåll

Sammanfattning **3**
Resultat och förväntade effekter 3

Inledning **6**
Projektpartner och involverade organisationer 7
Aktiviteter i projektet –utförande 7

Bakgrund **10**
Giftfri textilråvara 10
Hantering av farliga ämnen 10
Begreppet farliga ämnen 10
Kända särskilt farliga ämnesgrupper för textil 12

Spårbarhet och kommunikation i värdekedjan **16**
Kommunikationssystem av ”giftfri” materialråvara 16
Informations- och spårbarhetskvalitet 16
Standard kring kemikalier 18
Matchning av krav 19

Minskning av spill - fallstudie **21**

Kartläggning av återvinningsmöjligheter **24**
Återvinningstekniker 24
Mekanisk återvinning 24
Regenereringsprocesser – smältning och upplösning 24

Industriella exempel på återvinning **26**
PET/PES 26
PA 6 26
PA 6.6 29
Cellulosabaserade material 29
Kemiska återvinningsprocesser i forskningsstadiet 30
Ull 31

Fallstudier inom projektet *Från Spill till guld* **34**
Omsmältning och smältspinning av återvunnet polyamidtyg (med elastan) och ett polyestertyg (med biopolyester). 34
Återvinning av färgad polyester genom depolymerisering 37
Återvinning av polyamid-elastan blandingar från återvunnen råvara 38
Formsprutning av återvunnen råvara 39
Upplösning och våtspinning av återvunnen bomullsmassa. 42

Återvinning på den svenska marknaden **49**

Naturvårdsverkets regeringsuppdrag om hantering av textilier 49
Nordisk färdplan för hållbar textil 49
Kortfattade resultat från LCA på återvinningsalternativ för textilier 50
Naturvårdsverkets förslag om hantering av textilier 55
Testmetoder för giftfritt kretslopp 55

Slutsatser **58**
Syfte och mål – Uppfyllelse 58
Resultat och förväntade effekter 58

Referenser **61**

Appendix **63**
Legala krav kring textilier 63
Questions for OIA & EOG 63

Sammanfattning

Huvudsyftet med arbetet var att främja ökad återvinning av textilt spill utan ökad spridning av giftiga ämnen eller minskad kvalitet. Arbetet har till stor del utförts genom fallstudier men även genom myndighetsdialoger, underlag till myndigheter och företag samt initiering av nya relevanta forskningsstudier.

Målet i arbetspaket 3 Textil var att ta fram ett kvalificerat underlag för ökad användning av giftfri återvunnen textilråvara genom att studera och beskriva kunskapsläget samt ta fram ny kunskap och driva en aktiv dialog med relevanta aktörer inom fyra fokusområden:

1. Spårbarhet
2. Minskning av spill
3. Teknikutveckling för återvinning av textil
4. Återvinning på den svenska marknaden

Målet har väl uppfyllts och projektet har bidragit till ökad kunskap om möjligheter för ökad användning av giftfri återvunnen textilråvara. Framförallt har fallstudier genererat detaljerad förståelse för vilka specifika utmaningar som är kopplade till olika textila material och fiberslag.

Arbetet har utförts i tät samverkan och dialog med parter från textilbranchen: Boob, Filippa K, Gudrun Sjöden, Fjällräven och WRSD, Swegmarks, Ragnsells, Re:Newcell, samt några av deras leverantörer och flera medlemmar i Kemikaliegruppen på Swerea IVF.

Projektet visar att materialspecifik kunskap och teknik är det viktigaste steget mot ökad återvinning av industriella restprodukter. Detta är således en förutsättning för att den sekundära råvaran ska ha ett tillräckligt värde och ändamålsenlig kvalitet. Dessa specifika aspekter kommer att studeras vidare inom efterföljande projekt, exempelvis Re:Mix inom SIP Re:source och Mistra Future Fashion.

Resultat och förväntade effekter

Ett antal fallstudier och återvinningsförsök har genomförts med de deltagande företagen som komplement till kartläggningen som utförts över existerande återvinningstekniker. Under dessa arbeten har viktiga kriterier identifierats för att generera högkvalitativ återvunnen råvara. Under perioden har fallstudier på syntetiska material främst skett med nedsmältning och smältspinning eller formsprutning samt genom polymerisering för syntetmaterial. Arbetet med teknikutveckling för regenerering av biobaserat material såsom bomullsfibrer har fortskridit i samverkan med Re:Newcell.

Resultat av fallstudierna har gett tydlig information om möjligheter och utmaningar för olika textila material att återvinnas till ett högvärdigt material. En kartläggning av vilka återvinningsprocesser, kopplat till olika material, som finns i kommersiellt bruk och vilka som är på relativt låg TRL-nivå har utförts. Under arbetet har även spårbarhet studerats i form av hur man arbetar på de olika fabrikerna samt vilken information som överförs mellan fabriker. Detta arbete har

genomförts med aktörer i Kina men också under studieresa till Italien och Slovenien. Vidare har projektet identifierat grupper av textilier ej lämpade för återvinning samt tagit fram en teoretisk modell för potentiell spridning av kemikalier genom återvinningsprocesser för olika materialströmmar. Samverkan med andra pågående projekt har också skett under projekttiden, inte minst Mistra Future Fashion där en avfärgningsstudie av cellulosa genomförts under 2016.

De fallstudier som genomförts är:

- Smältspinning av polyester och polyamid
- Depolymerisering av polyamid
- Separation av ytbehandling (polyuretan)
- Elastans inverkan på återvinning av polyamid
- Våtspinning av cellulosa
- Avfärgning cellulosa före våtspinning.

Fallstudierna har bland annat genererat följande resultat:

- Polyester kan smältspinnas med goda resultat till nya fibrer.
- Polyester med polyuretan som ytbehandling kan depolymeriseras så att ren polyester kan utvinnas.
- Polyamid med elastan kan behöva förbehandlas för att kunna spinnas till ny fiber.
- Polyamid med elastan kan smältas och formsprutas till komponent med hög kvalitet.
- Cellulosa kan våtspinnas i ny miljövänligare process till viskosliknande material.
- Avfärgning kan ske av cellulosabaserade material i syfte att hantera post-konsument strömmar.

Tre examensarbeten har även utförts inom projektet med studenter på Borås Textilhögskola tillsammans med Swerea IVF på temat minskning av spill och möjlig materialåtervinning av konsumentplagg baserade på jungfruligt material, samt återvunnet material ihop med Swegmark och Boob design. Ytterligare ett examensarbete har planerats som sedan kommer utföras inom ramar av påföljande projektet Re:mix.

Under projektets gång har dialog även drivits med myndigheter, främst Naturvårdsverket, Kemikalieinspektionen och inom nordiskt samarbete, kring textilåtervinning i flera sammanhang. Resultatet av samverkan med myndigheter har under projektet skapat möjlighet att bidra till regeringsuppdrag. Ett exempel på detta är Naturvårdsverkets regeringsuppdrag för textilåtervinning där Från Spill till guld stöttat med expertis på området. Bland annat med inspel till

Naturvårdsverkets rapport *”Textilåtervinning - tekniska möjligheter och utmaningar”*[1].

Den danska miljömyndigheten har på uppdrag från det Nordiska ministerrådet utvecklat en nordisk färdplan för mer hållbara textilier 2015-2018, som lanserats under det danska ordförandeskapet i Nordiska rådet 2015. Swerea IVF har genom Från Spill till guld och flera parallella aktiviteter varit starkt inblandade i det förberedande arbetet och medverkat i flera möten. En jämförandestudie (LCA) har gjorts av miljöpåverkan för olika former av resthantering av textilavfall, dvs. återanvändning, återvinning och förbränning. Resultaten och kunskapsläget om kemikaliefrågor inom området finns beskrivet i en offentlig rapport från studien[2].

Projektet har uppmärksammats så att dessa erfarenheter och kunskaper har kunnat spridas effektivt. Inom arbetet med textil har detta skett till Kemikaliegruppens medlemmar (över 100 nordiska textilföretag) och Nätverket för Ekodesign men även genom väl valda spridningsaktiviteter, exempelvis: Avfallskonferensen, Forskarfredag, Recyclingdagen, Industriexempel till Swereas externa marknadsföring.

Spill till guld har vid sidan av att ha gett möjlighet till inspel till pågående aktiviteter även lett till nya projekt. Exempel på detta är en studie för MST (Danska miljöstyrelsen) kring märkning och/eller deklaration av kemikalier i textilier i syfte att hantera farliga kemikalier bättre på konsumentnivå samt vid resthantering. Ett annat är det beviljade projektet Re:Mix inom Resource som ska arbeta vidare med att studera möjlig återvinning av blandningar av polyamid och elastan.

1 Östlund, Å., Wedin, H., Bolin, L., Berlin, J., Jönsson, C., Posner, S., Smuk, L., Eriksson, M. and Sandin Albertsson, G. (2015) ”Textilåtervinning - Tekniska möjligheter och utmaningar”, på uppdrag för Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen.

2 Anders Schmidt, David Watson, Sandra Roos, Cecilia Askham & Pia Brunn Poulsen. Life Cycle Assessment (LCA) of different treatments for discarded textiles - Final report, March 2016.

Inledning

Det pågår många nationella och internationella iniativ för att främja hållbar produktion och konsumtion av textil. Parallellt med projektet har till exempel pågått forskningsprogrammet Mistra Future Fashion, Nordiska Ministerrådet har utvecklat en nordisk färdplan för mer hållbara textilier 2015-2018[3] och Naturvårdsverket har utfört regeringsuppdrag för hantering av textil[4].

Arbetet med att ta fram underlag för en giftfri återvunnen textilråvara består av ett antal pusselbitar. Inom projektet Spill till guld studerar vi och beskriver kunskapsläget samt arbetar fram ny kunskap inom fyra delområden. Dessa kommer tillsammans med andra projekt och aktiviteter bidra till det stora pusslet.

Delområdena för denna studie:

1. Spårbarhet
2. Minskning av spill
3. Teknikutveckling för återvinning av textil
4. Återvinning på den svenska marknaden

I de tre första har scope varit på textilkedjans utmaningar i almännhet och teknikutveckling för återvinningstekniker där kunskapen är av internationell relevans. Kartläggningen har riktats på möjligheter och aktiva aktörer inom europa och Sverige. Medan i den fjärde har fokus varit på svenska förutsättningar och materialflöden. varit Scope – globala hållbarhets utmaningar, återvinningstekniker global/EU men också fokus på svenska förutsättningar och materialflöden.

De följande utmaningarna har identifierats för materialet textil inom projektet:

Utmaning 1: Insamling och återvinning av textilt spill

Innovation 1) Återvinning och spinning av bomull och cellulosa

Innovation 2) Metoder för sortering av textilt spill

Potential: 70 % utnyttjande av Sveriges textilspill.

Utmaning 2: Hindra den diffusa spridningen av giftiga ämnen.

Innovation: Säkerställa spårbarhet för de valda materialgrupperna i syfte att minimera denna diffusa och oönskade spridning.

Potential: Ökad återvinning utan ökad spridning av giftiga ämnen.

3 Norden – velklædt i et rent miljø Handlingsplan for bæredygtig mode og tekstil, 2015. http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:813272/FULLTEXT01.pdf

4 ”Regeringen uppdrar åt Naturvårdsverket att utveckla förslag om hantering av textilier.” http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Hantering-av-textilier/

Projektpartner och involverade organisationer

Arbetet har utförts i dialog med parter såsom BOOB, Filippa K, Gudrun Sjöden, Fjällräven, Swegmarks, Ragnsells, Re:Newcell, WRSD, och Kemikalieinspektionen. Vidare har delar av arbetet utförts inom regeringsuppdraget för textil återvinning som hanteras av Naturvårdsverket[5] och arbetet med den nordiska färdplanen för hållbara textilier för Nordiska ministerrådet.

Aktiviteter i projektet –utförande

Under projektets gång har dialog drivits med myndigheter kring textilåtervinning i flera sammanhang. Inspel har lämnats till formulering av forskningutlysningar om cirkularitet på EU och nordisk nivå.

Stefan Posner och Christina Jönsson är medförfattare i Naturvårdsverkets rapport *”Textilåtervinning - tekniska möjligheter och utmaningar”*[6] som utkom 30 september 2015. Inom ramen för Naturvårdsverkets regeringsuppdrag för textilåtervinning har Från Spill till guld stöttat med expertis på området. Genom arbetet med den ovannämnda rapporten identifierades grupper av textilier ej lämpade för återvinning. Nu har kunskapsunderlaget kompletterats med plockanalys och början till sorteringskriterier för återvinning.

Den danska miljömyndigheten på uppdrag från det Nordiska ministerrådet utvecklar en nordisk färdplan för mer hållbara textilier 2015-2018, som lanserats under det danska ordförandeskapet i Nordiska ministerrådet 2015. Swerea IVF har genom Från Spill till guld och flera parallella aktiviteter varit högst inblandade i det förberedande arbetet och medverkat i flera möten. En jämförandestudie (LCA) av miljöpåverkan för olika former av resthantering av textilavfall har gjorts dvs. återanvändning, återvinning och förbränning. Resultaten och kunskapsläget om kemikaliefrågor inom området finns beskrivet i en offentlig rapport från studien, *Life Cycle Assessment (LCA) of different treatments for discarded textiles - Final report*[7].
Under projektperioden har även en studie för MST (Danska miljöstyrelsen) genomförts kring märkning och/eller deklaration av kemikalier i textilier i syfte att hantera farliga kemikalier bättre på konsumentnivå samt vid resthantering.

Under projektet har teknikutveckling och status för återvinningstekniker kartlagts. Som en del i denna kartläggning av teknikutveckling för återvinning av textil gjordes en studieresa till Slovenien, Italien och Portugal inom projektet. Genom

5 ”Regeringen uppdrar åt Naturvårdsverket att utveckla förslag om hantering av textilier.” http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Hantering-av-textilier/

6 Östlund, Å., Wedin, H., Bolin, L., Berlin, J., Jönsson, C., Posner, S., Smuk, L., Eriksson, M. and Sandin Albertsson, G. (2015) ”Textilåtervinning - Tekniska möjligheter och utmaningar”, på uppdrag för Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen.

7 Anders Schmidt, David Watson, Sandra Roos, Cecilia Askham & Pia Brunn Poulsen. Life Cycle Assessment (LCA) of different treatments for discarded textiles - Final report, March 2016.

leverantörsbesöken har informations samlats in kring återvinningsprocesser. Datainsamlingen har bland annat legat till grund för generella livscykelanalyser (LCA) för scenarios kring återanvändning, återvinningsprocesser och förbränning av textilavfall. Dessa LCAer har bland annat utgjort del av underlag till arbetet inom Nordiska ministerrådet. Mer specifikt har datainsamling utförts genom besök hos ullproducenter från konsument- och produktionsspill som en parallell aktivitet till Spill till guld.

Vidare har datainsamling och dialog med textilåtervinningsfabriker i Kina (Shanghai, Kunshan) som hanterar polyester tillverkat av gamla insamlade PET-flaskor genomförts som parallell aktivitet till Spill till guld. Denna information tjänar som underlag för livscykelanalys (LCA) för WRSD och Kina-baserade företaget Pepwing.

Som en del i kartläggning av teknikutveckling för återvinning av textil gjordes en studieresa till Slovenien och Italien till återvinnings/råvaroproducent som hanterar polyamid (PA6 och PA6.6). Textilåtervinningsfabriker i Italien besöktes också som hanterar ull och ylle och datainsamling och dialog genomförts med dem som parallell aktivitet till Spill till guld. Denna information kommer att tjäna som underlag för livscykelanalys (LCA) av olika former av återanvändning, återvinning och förbränning av textilavfall.

Också som del i kartläggning av teknikutveckling och utmaningar har datainsamling och dialog med textilåtervinningsfabriker i Kina (Shanghai, Kunshan) som hanterar polyester tillverkat av gamla insamlade PET-flaskor genomförts som parallell aktivitet till Spill till guld. Denna information tjänar som underlag för livscykelanalys (LCA) för WRSD och Kina-baserade företaget Pepwing.

Under arbetet har även spårbarhet studerats i form av hur man arbetar på de olika fabrikerna samt vilken information som överförs mellan fabriker. Detta arbete har genomförts med aktörer i Kina men också under studieresan till Italien och Slovenien.

Ett antal fallstudier och återvinningsförsök har genomförts med de deltagande företagen som komplement till den kartläggning som utförts för existerande återvinningstekniker. Under dessa arbeten har viktiga kriterier identifierats för att generera högkvalitativ återvunnen råvara. Dessa fallstudier och labbtester har utförts med flera material på Swerea IVF tillsammans med Fjällräven, Filippa K, WRSD, Boob, Gudrun Sjöden och Re:Newcell. Under perioden har fallstudier på syntetiska material främst skett med nedsmältning och smältspinning/formsprutning samt genom polymerisering för syntet material. Arbetet med teknikutveckling för regenerering av biobaserat material såsom bomullsfibrer har fortskridit i samverkan med Re:Newcell.

Tre examensarbete har även utförts inom projektet med studenter på Borås Textilhögskola tillsammans med Swerea IVF på temat minskning av spill och möjlig materialåtervinning av konsumentplagg baserade på jungfruligt, samt återvunnet material ihop med de Swegmark och Boob design.

I alla de ovan nämnda aktiviteterna har textilföretag var djupt involverade för att säkerställa tekniska möjligheter och relevans av de utredda frågorna. Detta har skett genom löpande dialog samt en specifik Spill till guld workshop samt diskussion under både regionalmöten och stormöte (över 100 deltagare) i nätverket Kemikaliegruppen hos Swerea IVF. Företagen har även bidragit med viktiga leverantörskontakter, studiebesök samt tillhanda hållit material till fallstudierna.

Kontinuerligt under projektets gång har även dialog och samarbete pågått med arbetspaketet om mäklartjänst och dess industripartners.

Slutligen har ett arbete kring legala krav för restmaterial förts i samverkan med alla projektpartner, inom alla tre materialområden. Detta tvärvetenskapliga och branschöverskridande arbete har identifierat likheter och olikheter samt lösningar.

Bakgrund

Den svenska konsumtionen av kläder och hemtextil är cirka 13 kg per person och år. Även om det finns många stora svenska aktörer i branschen produceras textil till största delen i tredje land och nästan all råvaruproduktion sker utanför EU.

Produktion av textilier är resurskrävande vad det gäller vatten och energi och de kemikalier som används i produktionen kan ge upphov till miljö- och hälsoproblem. Det är därför mycket viktigt att arbeta strategiskt och aktivt med förbättringar uppströms i leverantörskedjan för att minska den negativa påverkan. Samtidigt finns det stor möjlighet att minska den negativa påverkan genom att optimera textiliernas funktionella livslängd, samt genom återanvändning och materialåtervinning. Genom framförallt materialåtervinning ökar också möjligheterna att säkra råvaruresurser inom EU för de företag som funderar över att ta hem produktion till Europa.

Giftfri textilråvara

I en cirkulär ekonomi är giftfri textilråvara en förutsättning, vilket innebär att konkret förhindra tillförsel av farliga kemikalier i hela värdekedjan. En viktig förutsättning är god kunskap om kemikalieanvändningen och praktiska möjligheter att tillföra potentiellt mindre giftiga och tekniskt fungerande alternativ för att säkerställa högkvalitativa giftfria textila råmaterial i slutet av den första livscykeln.

Hantering av farliga ämnen

Tekniska lösningar och behov kommer kartläggas för att hantera och motverka att särskilt farliga ämnen som finns i textilier ackumuleras och sprids vid återvinning av textilier. Ett antal nationella och internationella policyinstrument såsom producentansvar, kemikalielagstiftning och arbetet i Stockholmskonventionen har bidragit till ökat mandat att ställa krav uppströms i värdekedjan. Detta leder i sin tur till ett antal påtvingade utfasningar av särskilt CMR (cancerframkallande, mutagena eller reproduktionstoxiska) och POPs (Persistent Organic Pollutants, långlivade organiska miljögifter) ämnen. Vidare har länder utanför EU inspirerats i ännu högre grad av REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) och internationella överenskommelser vilket leder till ökade kemikaliekrav i produktionsländerna.

Begreppet farliga ämnen

Primärt krävs entydiga och fastställda kriterier avseende egenskaper hos farliga och oönskade kemikalier som inte bör förekomma i restprodukter som ska kunna användas som råvara.

Sådana kriterier kan vara enligt tabell 1 och 2 för att på ett så heltäckande sätt beskriva för återvunna material deras farlighet på ett vetenskapligt och spårbart sätt.

Tabell 1 Globally Harmonisation System (GHS) – klassificering (såväl harmoniserade som notifierade klassificeringar) om toxicitet på människa.

Klassificering	**Faroklassing**	**Toxicitet**
Muta 1A/1B Carc. 1A/1B Repro. 1A/1B Carc 2+STOT RE Skin corr SkinSens 1	H340 H350 H360 H317	Allvarlig
Muta 2. Carc 2. Repro 2. Skin irrit. Resp. sens. STOT RE1	H341 H351 H361	Hög
STOT RE 2 Acute tox 1 Acute tox 2		Medel
Acute tox 3 Acute tox 4		Låg

Tabell 2 Globally Harmonisation System (GHS), såväl harmoniserade som notifierade, avseende akvatisk toxicitet.

Klassificering	**Faroklassning**	**Ecotoxicitet**	**Akut effekt konc. [mg/L]**	**Kronisk effekt konc. [mg/L]**
Aquatic chronic 1	H410	Allvarlig	1	0,1
Aquatic chronic 2	H411	Hög	>1-10	> 0,1 - 1
Aquatic chronic 3	H412	Medel	>10-100	>1-10
Aquatic chronic 4 Aquatic acute 1	H413	Låg	>100	>10

Kriterierna bör även innefatta persistenta ämnen enligt nedan kriterier:

Persistenta ämnen

Halveringstider (experimentell) i vatten som är längre än två månader (60 dagar), i jord längre än sex månader (180 dagar) eller i sediment längre än sex månader (180 dagar) samt i luft längre än 2 dagar (LRT).

Bioackumulerande ämnen

Bioackumulerande ämnen definieras enligt nedan kriterier:

Bioackumulering: experimentell BCF> 1000 och/eller experimentell log Kow> 4 och/eller BMF / TMF> 0.5

Kända särskilt farliga ämnesgrupper för textil

Det är viktigt att påpeka att det inte i alla material eller ens i de flesta fall förekommer farliga ämnen i textil. Man arbetar hela tiden med att säkerställa ett giftfritt innehåll med hjälp av verktyg såsom *Restricted Substance Lists* (RSL) och leverantörsdialog samt kontrakt. I vissa fall kan dock ämnen förekomma och inte minst i fall då man kräver en funktion som i sin tur kräver speciella kemiska ämnen.

Några viktiga grupper av idag specifika kända farliga ämnen med stark koppling till textila material är:

- Per- och polyfluorerade ämnen
- Halogenerade flamskyddsmedel
- Toxiska mjukgörare
- Toxiska metaller
- Toxiska färgämnen och pigment
- CMR klassade biocider
- CMR klassade lösningsmedel.

Rester av toxiska nedbrytningsprodukter ex PAH, dioxiner och dibensfuraner.

Ett antal parametrar under användning av produkten kan dock tänkas påverka innehållet av de eventuellt farliga ämnena. Ex kan man tänka sig att en del bryts ner av UV eller helt enkelt tvättas ur.

Mätbara restmängder av dessa grupper av ämnen kan inte uteslutas i textila restmaterial på grund av:

- Vanligt förekommande i textil beredning.
- Förekommer i höga halter i samband med tillverkningen av de ursprungliga textila materialen.
- Vissa av dessa ämnesgrupper är persistenta samt är hårt bundna till textila material då syftet är att de ska ge åldringsbeständiga egenskaper till de ursprungliga textilmaterialen.

Många av de farliga ämnen som kan förväntas finnas i relativt höga halter i slutvaran ger egenskaper till produkten. I vissa fall kan dessa substitueras mot ett mindre farligt alternativ. I andra fall kan dessa ämnen inte så lätt ersättas. Då handlar det om att föra nödvändig information vidare i värdekedjan så att man underlättar för återvinning.

Som ett led i återvinning av textil råvara krävs kunskap om hur ev farliga ämnen påverkas av olika återvinningstekniker. En del återvinningstekniker är speciellt utformade för att hantera ett särskilt material. Det är därför av vikt dels att koppla de ovan beskrivna ämnesgrupperna till olika textila material (läs cellulosa baserade, såsom bomull, och syntetiska såsom polyamid och polyester) dels till aktuell återvinningsteknik. Det intressanta är sedan att se över de tekniska parametrar vid vilken de olika återvinningsteknikerna arbetar. Dessa processförhållanden relateras slutligen till det tänkta textila materialet. Denna kartläggning ger sedan en möjlighet att på teoretisk bas utreda vilka av de ingående farliga ämnena som passerar obehindrade igenom återvinningen, dvs de som inte bryts ner eller ger upphov till farliga nedbrytningsprodukter.

I rapporten från regeringsuppdraget[8] har Swereas experter beskrivit en teoretisk koppling av grupperingar av ämnen relaterat till de farliga ämnesgrupperna (sämre upplösning) beskrivna ovan. Dessa listade ämnesgrupper är främst ämnen som ger funktionalitet till slutråvaran. Ett fåtal ämnen är kända för att kunna förekomma i den textila varan. Denna lista är en ögonblicksbild av kunskapsläget. Nya ämnen tillkommer kontinuerligt varför listan ej kan vara komplett.

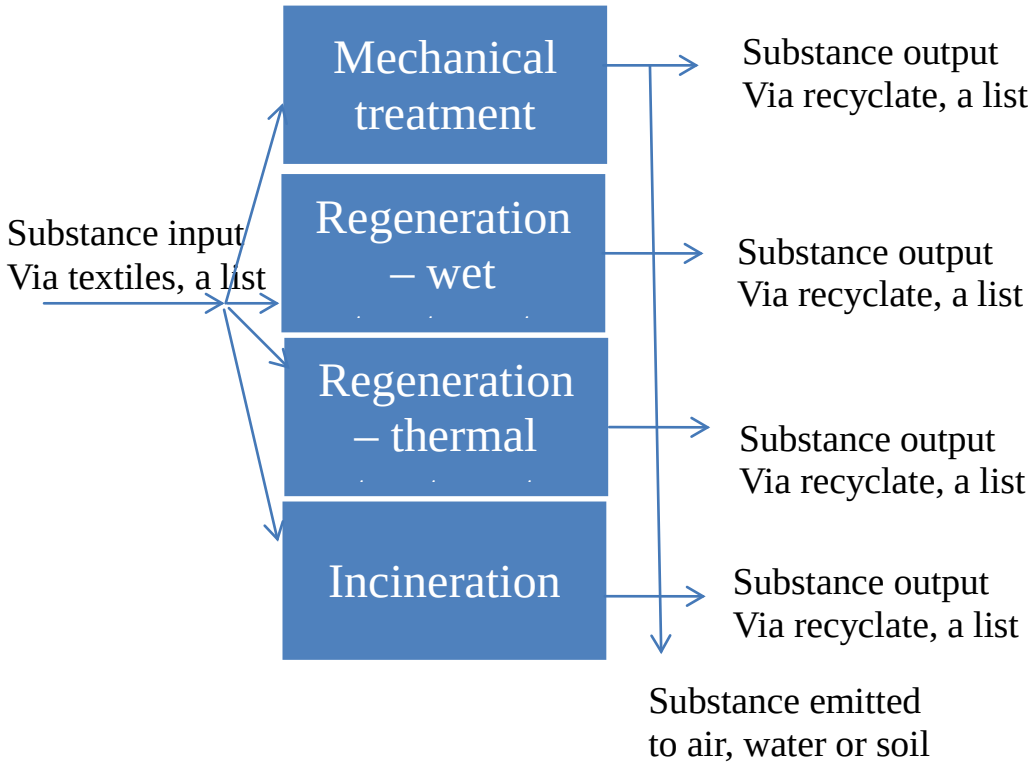
Den eventuella nedbrytning som kan ske i de olika återvinningsteknikerna relaterar främst till processparametrar. Dessa kan vara:

- pH
- temperatur
- additiv
- lösningsmedel
- ozon
- UV.

Se vidare i den ovan nämnda rapporten från Naturvårdverket för detaljerad information kring processbetingelser kring olika återvinningsalternativ.

Figur 1 nedan illustrerar teorin den ovan beskrivna kartläggningen. Här kan man utföra massbalanser där man ser över ev nedbrytning och vilka farliga ämnen som kan återfinnas efter återvinningssteget.

8 Östlund, Å., Wedin, H., Bolin, L., Berlin, J., Jönsson, C., Posner, S., Smuk, L., Eriksson, M. and Sandin Albertsson, G. (2015) ”Textilåtervinning - Tekniska möjligheter och utmaningar”, på uppdrag för Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen



Figur 1 Visualisering av en massbalans för ett ingående material och dess kemiska innehåll och utgående material och dess innehåll samt emissioner från den tänkta återvinningsprocessen.

I det ingående materialet antas att alla farliga ämnen som kan förekomma i ett visst material finns närvarande. Efter återvinningsprocessen antas däremot endast de för den aktuella processen stabila ämnena finnas i andra ändan av flödesschemat. En sådan balans kan kompletteras med information om var de farliga ämnena eller dess nedbrytningsprodukter kan återfinnas. Även om ett ämne inte kontaminerar slutråvaran kan den tänkas kontaminera ex slam från återvinningsprocessen vilket också kan tänkas påverka beslutet att ta in eller inte den textila varan i återvinningsprocessen.

Denna kartläggning ger information om vilka farliga ämnen i ett visst material kan ge upphov till fortsatt besvärliga halter i det återvunna materialet. Produkter/material kopplat till någon eller några av dessa ämnen bör således hanteras annorlunda. Det kan i framtiden vara möjligt att ta till vara på dessa ämnen genom separat återvinning, medan det i dagsläget mer kanske handlar om en utsortering till förbränning.

I fallet med arylaminer är utgångsämnet/funktionskemikalien ”ofarlig” medan nedbrytningsprodukten är faroklassad. Det kan med andra ord hända att vissa andra ”ofarliga” ämnen bryts ner vid vissa processbetingelser till farliga restprodukter. Detta är utanför ramarna satta i detta projekt.

Spårbarhet och kommunikation i värdekedjan

Kommunikationssystem av ”giftfri” materialråvara
Många internationella klassificerings- och märkningssystem kännetecknas av igenkännande hos en stor del av befolkningen. Detta gäller i synnerhet system som primärt riktar sig till privatkonsumenter. Dessa ska vara enkla och entydiga i sitt budskap. När det gäller kommunikationssystem för återvunnen textil krävs att tillräcklig information når slutkonsument och resthanterare. Denna information skall vägleda logistik- och resthanteringssystemet till en korrekt hantering för att uppnå högkvalitativ och giftfri återvunnen råvara.

Informations- och spårbarhetskvalitet

Risken är idag stor att vi inte har tillräckligt underlag för att göra en bedömning om lämpligheten av ett restmaterial i relation till återvinning till råvara p.g.a. dålig spårbarhet och information om kemikalieinnehåll och materialsammansättning genom hela värdekedjan. Det kan handla om att man får in kandidatämnen (SVHC) in i den textila råvaran, som ger upphov till en rad byråkratiska aktiviteter såsom att säkerhetsdatablad (SDS) behöver skapas varvid lämpligheten för vissa användningar minskar.

En rad tekniska frågeställningar som följer EUs avfallspyramid ska klargöras avseende begreppet återförd värdefull textilråvara i kretsloppet istället för uppkomst av avfall. För detta behövs ingående genomgång och utvärdering av olika tekniska samt kommunikativa moment rörande:

- Design och redesign för att motverka uppkomst av avfall i allmänhet och toxiska textilflöden i synnerhet.
- Återanvändningens möjligheter och begränsningar med kunskap om kemikalieinnehåll.
- Återvinningstekniker och deras påverkan på textiliers kemikalieinnehåll exempelvis ackumulering av farliga ämnen i kommande livscykler.
- Mekanisk bearbetning, är detta en teknik som ger mervärden till nästa livscykel.
- Kemisk bearbetning, hur denna återvinningsteknik bidrar med kemikaliepåverkan positivt eller negativt.
- Separation av fibrer, teknikfråga som inte har kemikaliefokus men kan orsaka spridning av farliga ämnen om det sker på ett okontrollerat sätt.
- Upplösning av fibrer hur denna återvinningsteknik bidrar med kemikaliepåverkan positivt eller negativt.

Fullt så enkla och konsumentanpassade behöver kommunikationssystem mellan företag (B2B) inte vara. Här kan olika entydiga kodsystem användas som enkelt tydas på en tydlig hemsida på internet. Dock ska dessa kodsystem vara av sådan beskaffning att de inte kan förväxlas med andra system som kanske har helt andra eller liknande budskap. Allra bäst är om kodsystemet ifråga förutom sin entydighet även är sanktionerat i lagstiftning som resulterar i producentansvar med kvalitetsmaterial. Med kvalitetsmaterial menas klart definierat material och

säkerställt lågtoxiskt kemikalieinnehåll. Resultatet är då ett användbart restmaterial med en tydlig efterfrågan på marknaden utan någon som helst risk att materialet klassas som farligt avfall eller faller inom ramen för gällande kemikalielagstiftning ex REACH.

Uppbyggnaden av ett sådant kodsystem innebär en rad interdisciplinära och legala insatser såsom:

- Väsentlig material- och kemikaliekunskap kring restprodukter.
- Kodsystem som beskriver en rad definierade och standardiserade material och kemiska kvalitetsnivåer och därmed lämpliga användningsområden för restprodukten ifråga.
- Uppmuntra användning av restprodukter med tydlig och trovärdig information kring kemikalieinnehåll via lättanvänd och väl spridd samt välkänd internetplattform hos alla delar av samhällets aktörer.

Under studiebesök i Slovenien och Italien nämnde några av kontakterna att system för Enterprise Resource Planning (ERP) används i stor utsträckning för verksamhetshantering såsom produktplanering, kostnader, tillverkning och leverans av tjänster, marknadsföring och försäljning, lagerhantering, transport och betalning. Sådana system med utökad funktion kan vara ett bra verktyg för att samla in och sammanställa relevant miljörelaterad information för att öka spårbarheten i leverantörskedjan och möjliggöra bättre utnyttjande och cirkulering av produkter och material.

Det finns flera mjukvaror tillgängliga från olika leverantörer för ERP, där de mest kända är SAP och Oracle. Deras systemlösning beskrivs ibland som stora, men de erbjuder också kundanpassade modullösningar. Moduler som kan vara relevanta för att hantera återvinnings relevanta aktiviteter är de som är ämnade för lagerhantering och Supply chain management, och innehåller verktyg för supply chain planning, schemaläggningar av leveranser, product configurator, order to cash, inköp, inventering, order och reklamations hantering, lagerhållning (mottagande, lagring, plockning och förpackning).

Många stora företag använder SAP som grund för att integrera miljöaspekter i ledningssystemet. Detta kan sedan användas för rapportering och övervakning resursanvändning, av att miljölagstiftningen följs och även hälso- och säkerhetslagstiftning. En fördel med denna metod är att information om materialflöden och deras ursprung och destinationer potentiellt modelleras för en utvärdering av kostnaderna. Vad som ytterligare krävs för miljöutvärdering är att lägga till relevanta materialegenskaper. För miljö, hälso- och säkerhetsrelaterade (MHS) uppgifter erbjuder SAP bland andra specialiserade MHS-mjukvaror. "Återvunnet material" är till exempel en egenskap som SAP erbjuder som dataelement för hållbarhetsredovisning på förpackningsmaterial.

ERP-system är kända för att vara dyra. För SAP till exempel börjar specialerbjudanden med begränsad funktionalitet på cirka 1,000 euro per användare med upp till fem användare. Ytterligare kostnader för databaser, utbildning och underhåll tillkommer. Eftersom många företag redan använder

SAP, är det dock möjligt att extra kostnad för en påbyggnad med en ny modul inte är så stor.

Studie på användning av system för hantering av hållbarhetsaspekter i företag från olika branscher i Tyskland och Italien visar att även företag som använder ERP-system föredrar Excel-baserade verktyg för hållbarhetsstöd. Chefer förklarar i intervjustudie att det finns stora risker och osäkerheter angående eventuella nya statliga regleringar för miljöfrågor och att "investeringar (i stora och oflexibla system) verkar knappast försvarbara"[9][10] och föredrar att extrahera relevanta data från ERP och arbeta med Excel baserade verktyg.

Standard kring kemikalier

Den nuvarande harmoniserade EU lagstiftningen för kemikalier (se översikt i appendix) gällande säkerhetsdatablad (förkortat, SDS) beskriver innehåll av och risker med kemikalier som sådana och som blandningar och innefattar idag enbart de huvudkomponenter i halter över 0,1 % som finns i den kemiska produkten.

Säkerhetsdatablad (SDS) är inte globala standarder och därför inte juridiskt bindande i länder utanför EU där ofta dagens textilproduktion sker. Dessutom saknas ofta väsentlig data såsom tox och ecotox för det kemiska innehållet, för att genomföra nödvändiga riskbedömningar uppströms i den textila värdekedjan. Sådan information är väsentlig i arbetet att tidigt ersätta farliga kemikalier vid produktionskällan.

Det nuvarande formatet för SDS täcker inte det totala innehållet av farliga ämnen som kan finnas i kemiska blandningar såsom toxiska nedbrytningsprodukter och rester av toxiska utgångsämnen. Följaktligen finns det ingen möjlighet att göra en fullständig bedömning av eventuell negativ miljö- och hälsopåverkan på dessa kemiska blandningar.

För att uppnå en mer omfattande beskrivning av kemiska blandningar än det nuvarande SDS formatet kan erbjuda, så finns ett förslag att ta fram en EN ISO-standard, som är avsedd att beskriva innehåll av såväl huvudkomponenter som toxiska nedbrytningsprodukter och utgångsämnen. Den information som en sådan internationell standard kan ge är av stort värde i arbetet med att säkerställa förekomst och användning av giftfri återvunnen textil på marknaden.

Diskussion om standard har tagits upp under ett antal möten inom Kemikalieinspektionens textildialog samt på möten med Swerea IVF’s nätverk

9 Leyh, C.; Krischke, A. & Strahringer, S. (2011). Sustainability Management within Selected Large-scale Enterprises in Germany. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, CONFENIS 2011, October 16 - 18, Aalborg, Denmark. Pdf: https://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_wirtschaftswissenschaften/wi/isih/isih_team/pdfs_team/sustainability-management_leyh

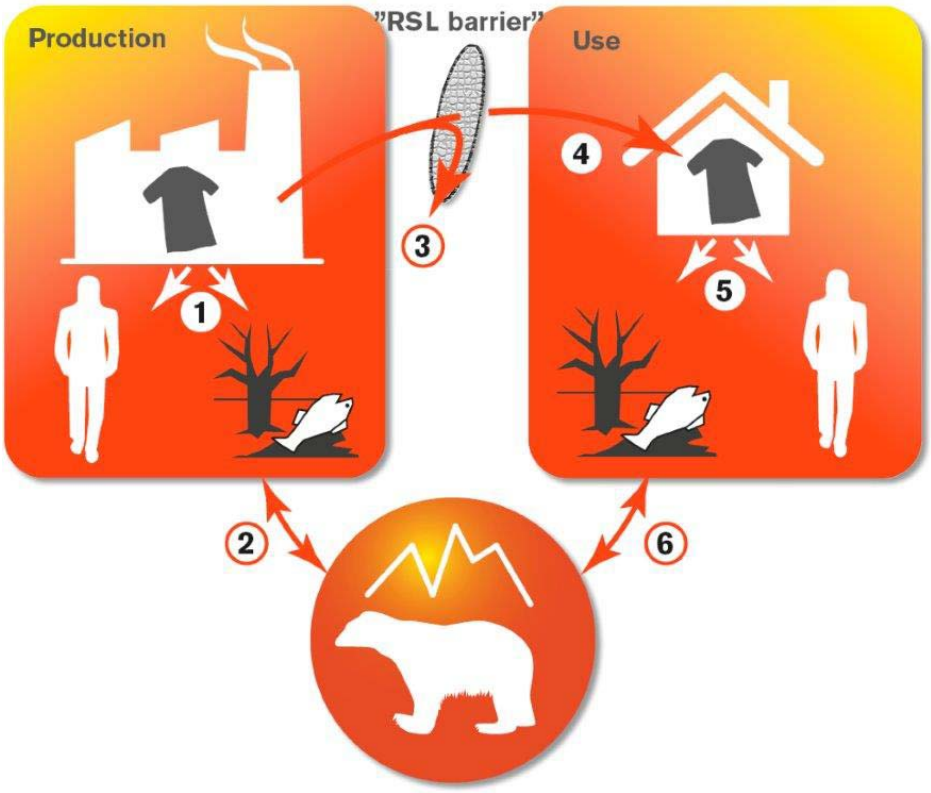
10 Leyh, C.; Rossetto, M. & Demez, M. (2014). Sustainability management and its software support in selected Italian enterprises. Computers in Industry, Vol. 65, No. 3, pp. 386-392; doi:10.1016/j.compind.2014.01.005 (open access).

Kemikaliegruppen. Under dessa diskussioner har framkommit värdefulla synpunkter. Arbetet fortskrider nu med att överföra denna information till SIS.[11]

Matchning av krav

Som ett första led i detta arbete har retail-företag kommunicerat med återvinnare kring de idag satta kraven via företagens Restricted Substance List, RSL, se figur 2. Dessa krav kommer sedan att matchas mot återvinnarens krav. På en workshop har denna matchning diskuterats vidare för att utreda var information gap kan finnas, hur de kan påverka och hur man kan arbeta för att göra informationen komplett för alla led i värdekedjan.

11 Standardiseringskommissionen i Sverige



Figur 2 Visualisering av omfattningen av Restricted Substance List, RSL. "RSL barriären" är begränsad till produktens innehåll och uppmuntrar inte nödvändigtvis substitution av farliga kemikalier med mindre farliga alternativ utifrån ett livscykelperspektiv. Tillverkningsprocessen kan leda till exponering av farliga kemikalier för människor och miljön (1) lokalt på produktionsplatsen och (2) i avlägsna miljöer av långväga transport av långlivade kemikalier. RSL barriären kan hindra kemikalier som begränsas av nuvarande rättsliga och politiska ramar från att vara närvarande i produkten (3) men släpper igenom kemikalier som (ännu) inte är begränsade (4). Innehållet av farliga ämnen i textilprodukten kan leda till exponering av farliga kemikalier för människor och miljön (5) lokalt på förbrukningsplatsen och (6) i lokala och fjärranslutna miljöer av långväga transport av långlivade kemikalier. [12]

12 Roos, S, "Towards Sustainable Use of Chemicals in the Textile Industry: How life cycle assessment can contribute", Licentiate thesis. Technical report no 2015:01, ISSN: 1652-943X . Chalmers University of Technology. Sweden, 2015

Minskning av spill - fallstudie

För att minimera spill samt hitta avsättning för spill som uppkommer har två examensarbeten utförts under våren 2015. Dessa arbeten var dels av karaktären litteraturstudier för att beskriva state-of-the-art men hade även tydliga element av teknisk utredning och empiriska studier innehållande kartläggning på plats hos leverantör av textil råvara samt intervjustudier.

Dessa har avrapporterats och godkänts i juni 2015 på Textilhögskolan i Borås.

”Textil spillreducering inom konfektionsindustrin – en fallstudie” Ida Marklund, Ida Númadóttir, 2015[13]. En fallstudie utfördes på Swegmark of Sweden AB:s behåfabrik Sia New Rosme i Riga med avseende att uppmärksamma och minska tygspillet.

Tillverkningsprocessen av damunderkläder är komplex och krävande med höga krav på passform för komfort och en stor mängd olika och ofta exklusiva material. En behå kan bestå av tio till tjugofem delar där millimeterskillnader är avgörande för passformen. Det finns tradition i behåindustrin av att använda sig av exklusiva material, exempelvis spets, som ofta mönsteranpassas och gör att materialkostnaden ofta blir hög. Dessutom är det vanligt med kombinationer av ett flertal material i ett och samma plagg. För att skapa djup i behåarnas kupor är det många modeller som formpressas.

En miljövärdeflödesanalys utfördes och visade att i fabriken blir nästan hundratusen meter användbart tyg till textilt avfall varje år som går direkt till förbränning. Materialutnyttjandet räknas till ca 72 % för fabriken i helhet. Mycket av detta tygspill mäts inte på något sätt. Idag beräknas spillet teoretiskt utifrån effektiviteten i produktion och fokus ligger främst på optimering av läggbilder som följs upp kontinuerligt. Flera processer inom produktionen är kritiska när det kommer till uppkomst av spill. För att förebygga spill bör fokus framförallt läggas på kontroll av inköp, avsyning, läggbildsframtagning och läggning.

Utifrån fallstudien kartlades att fysiskt spill uppkommer vid tillskärning av tyg, tillskärning av spets, formpressning och som restmaterial på lager. Studien visar bland annat att kupor till formpress ger upphov till att lika mycket material som går till behåkupan slängs. CAD- och CAM-utrustning är mycket användbara verktyg i produktionsprocessen, framförallt när det kommer till läggbildsplanering. Optimering av materialet är dock till störst del beroende av dem som använder programvarorna och maskinerna än av utrustningen i sig. I fallstudien visade det sig att erfarenheter av teknikstrul gjorde att man inte använde alla delar av programvarorna som fanns. Med hjälp av CAD-program har det påvisats att det mest effektiva sättet att minska spillmängden är att reducera mellanrummet mellan mönsterdelarna. Uppdatering av skärutrustning på fabriken i fallstudien skulle kunna tillåta att avståndet mellan plaggdelar minskas.

13 Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen med huvudområde Textilteknologi 2015-06-02. Textilhögskolan i Borås Rapport nr 2015.2.10.

De viktigaste stegen i att minimera avfall är att uppmärksamma hur mycket spill som uppkommer och att sedan utveckla rutiner för att minska mängden. Enligt studien skulle störst effekt fås genom att ändra förutsättningar för tillskärningen av plaggdelar. Att minska mängden textilt avfall skulle spara mycket tyg varje år med fördelar för både miljön och ekonomin.

”*Från spill till produkt- Mekanisk återvinning av Polyamid 6 och Lycra®*”, Elin Hellström och Fanny Ronsten, 2015[14].

Inom examensarbetet har undersökt vad det textila produktionsspillet från Swegmark of Swedens storsäljande behå, vilket idag hamnar på soptipp i Lettland, skulle kunna mekaniskt återvinnas. För att bidra till en värld där tygspill får ett värde har kemikalierna, vilka tillsätts under beredningsprocessen, setts över. Dessa kan finnas kvar i slutprodukten och kan då leda till att materialet klassas som farligt avfall om kemikalierna är miljö- och hälsofarliga.

Slutsatsen är bland annat att det är relevant att deklarera det innehåll, gällandematerial och kemikalier, ett tygspill innehåller. Detta för att undvika att det hamnar på deponi eller förbränns. Om det skulle finnas transparens på alla företag skulle möjligheter till återvinning högre upp i avfallshierarkin öppna sig. Då själva tygspillet omformas till pellets, är farliga ämnen i materialinnehållet det mest relevanta. När det sedan kommer till omformning från pellets till en ny produkt är istället ett MSDS ett krav, detta bör innehålla information gällande allt material och kemikalieinnehåll. Detta för att nya kemiska kompositioner kan ha uppstått vid pelletstillverkningen. Faktainsamlingen från leverantören visade att tygspillet innehöll flera olika kemikalier men att alla var inom de tillåtna gränserna i Europa. Dessa kemikalier borde ändå redovisas för att det lättare ska gå att göra en MSDS vid återvinning av tygspillet.

Tygspillet i fallstudien består av 92 % polyamid 6 och 8 % Lycra®. Materialblandningen smältes ner och gjordes till pellets för att sedan formsprutas, utan separering av de olika materialen. Experimentets dragprovsresultat jämfördes sedan med ren jungfrulig polyamid 6. Resultatet visade att det återvunna materialets dragspänning knappt skiljde sig från en jungfrulig polyamid 6. Det återvunna materialet har ett snitt på 63,9 MPA och den jungfruliga 65,0 MPA. Mängden spillmaterial för fallstudien räknades till ~0,5 ton om året för den vita behån och för alla färger av den sorten ~1 ton/året som är ganska liten mängd för industriell återvinning. Dock kan det finnas möjligheter till att samla in material från flera producenter av liknande karaktär. Slutsatsen blir att det är fullt möjligt att återvinna denna materialblandning och få ut en produkt av samma kvalitet som av en jungfrulig PA6. Detta är ett mycket bättre sätt att hantera tygspillet än att det som idag hamnar på deponier.

Examensarbetet fick pris för bästa exjobbsposter vid Textilhögskolans årliga tävling, se figur 3.

14 Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen med huvudområde Textilteknologi 2015-05-20. Textilhögskolan i Borås Rapport nr 2015.2.11.

Figur 3 Poster från examensarbete: Elin Hellström och Fanny Ronsten som vann Bästa Exjobbsposter vid Textilhögskolans årliga tävling.

Kartläggning av återvinningsmöjligheter

Återvinningstekniker

I följande kapitel beskrivs idag kända återvinningstekniker för textil. En del är lämpade för alla olika material typer (cellulosa baserade och syntetiska textila material), andra lämpar sig för endast något eller några av materialen.

En kombination av flera tekniker kommer att krävas för att lösa det globala behovet av ökad, effektiv textilåtervinning. En av anledningarna till det är att textilavfallet i realiteten till största del utgörs av blandmaterial. Det är inte troligt att industrispill bör tas till vara på samma sätt som textilavfall från hushållen, utan här kommer man att behöva använda sig av en palett av återvinningstekniker för att utnyttja potentialen hos dessa material på bästa sätt. Vissa material kan återvinnas mekaniskt till nya textilier, medan andra kanske bör användas som förstärkningsmaterial. Andra materialfraktioner kommer att effektivt kunna återvinnas kemiskt till högkvalitativ fiber av samma värde som jungfruligt material, med många går det bra att materialåtervinna till andra applikationer och produktionsprocesser medan det i vissa fall är bäst att förbränna det.

Återvinningsteknikerna kan delas upp i två kategorier som beskrivs nedan: mekanisk återvinning och regenereringsprocesser.

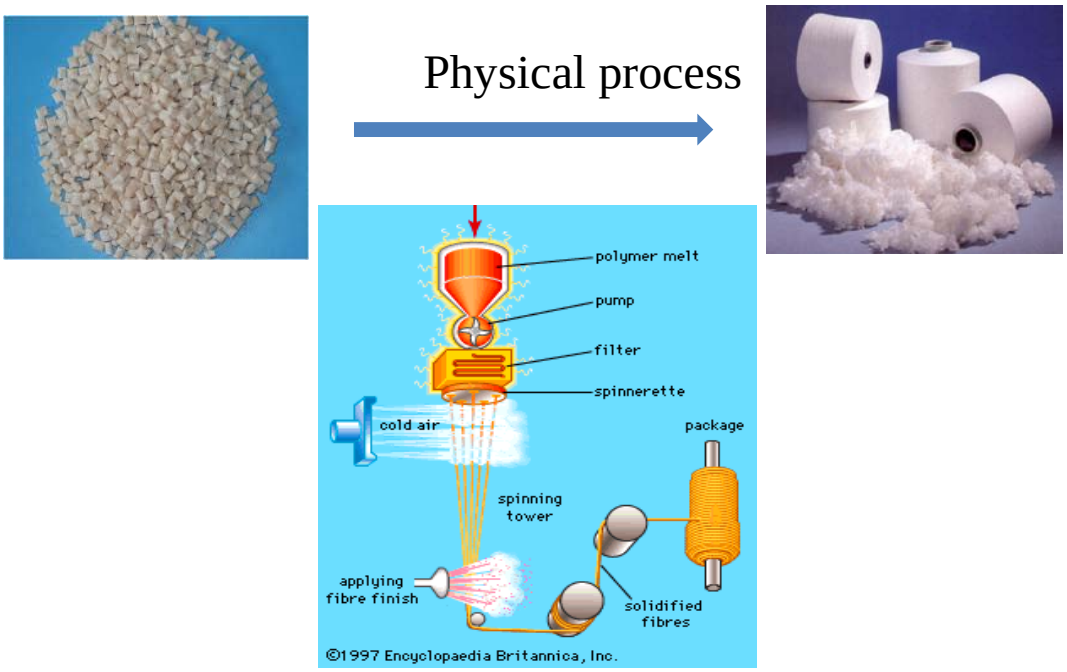
Mekanisk återvinning

Den oftast enklaste och minst energikrävande återvinningstekniken är mekanisk återvinning, där textilt material klipps till mindre bitar och rivs i en process som frilägger ingående fibermaterial. I denna process bestäms kvaliteten på de återvunna fibrerna av kvaliteten hos ingående material. Detta är en etablerad, kommersiell process som växer från en i dagsläget relativt liten skala. Både natur- och syntetfibrer kan återvinnas genom mekanisk bearbetning. Ett problem med mekanisk återvinning är att kvaliteten på fibrerna försämras, i med att även fibrerna går av när tyg och garn rycks isär. Det återvunna materialet kan även ha en stor variation i fiberlängd, men med god kontroll av ingående material och vid behov tillsats av jungfrulig fiber, kan textilier av god kvalitet produceras.

Regenereringsprocesser – smältning och upplösning

Regenerering av textilt avfall kan delas in i två huvudsakliga metoder:

1. **Omsmältning** innebär att fibrerna värms upp över sin smältpunkt i en extruder varpå molekylerna släpper sina bindningar och återtar sin ursprungliga form. Resultatet blir en plastråvara som kan återanvändas direkt för smältspinning av nya fibrer eller för plastbearbetning till andra typer av produkter, t.ex. fordonskomponenter. Processen förbrukar ca 5 % av den energi som åtgår för att tillverka motsvarande nyråvara. Begränsningen är att endast termoplastiska syntetfibrer kan användas. De huvudsakliga kandidaterna är polyamid/nylon, polyester och polypropen.



Figur 4 Processbild av omsmältning och smältspinning av fiber

2. Upplösning innebär att textilfibrerna löses upp med ett lösningsmedel vilket får molekylerna separera. Resultatet blir en vätska som består av lösningsmedel och polymermolekyler. Den kallas spinndop och kan användas för att spinna nya fibrer genom våtspinning. Begränsningen ligger i användandet av lösningsmedel. Typen av lösningsmedel varierar mellan olika material och processer. De huvudsakliga kandidaterna är cellulosafibrer som bomull, viskos, lyocell och modal. Även akryl tillhör denna grupp.

Fiberblandningar

Då regenereringsprocesserna för dessa material skiljer sig väsentligt är blandningar av exempelvis bomull-polyester utmanande i återvinningshänseende med dessa tekniker. Utveckling pågår med stegvis behandling genom först upplösning följt av omsmältning. Swerea IVF har visat att blandningar av polypropen/bomull kan återvinnas direkt genom omsmältning. Resultatet blir en biokomposit som kan användas som ersättning för glasfiberfylld polypropen. Polyamid/bomull och polyester/bomull kan dock inte återvinnas med samma metod på grund av deras högre smälttemperatur. Utveckling av separation av fiberblandningar pågår främst inom forskning internationellt.

Blandningar av olika termoplastiska syntetfibrer kan teoretiskt sett återvinnas genom omsmältning. Resultatet blir ofta av låg kvalitet då de olika polymererna normalt inte är kompatibla med varandra.

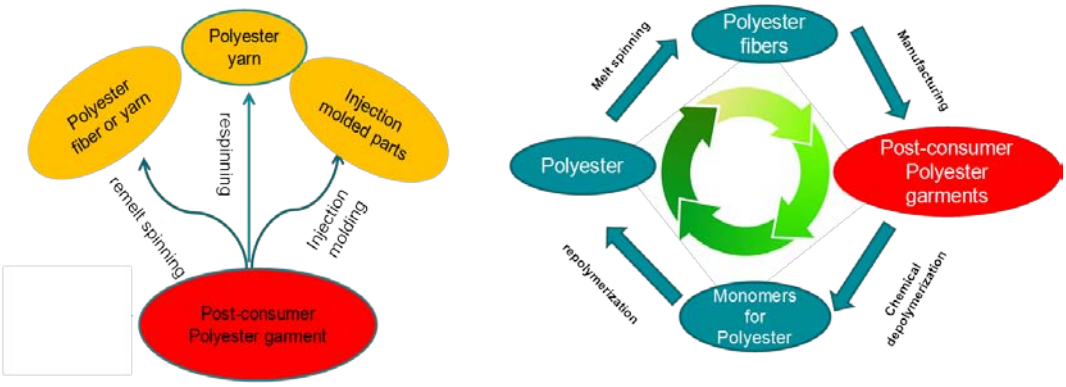
Polyuretan (PU) är lite svårt att placera i dessa kategorier eftersom den i textil form kan förekomma i två olika varianter; termoplastisk (smältbar) och tvärbunden (ej smältbar). I textil är PU oftast förekommande i fiberblandningar för att ge elasticitet eller som vattenavvisande skikt. Materialet har dock en nedbrytningstemperatur som är lägre än bearbetningstemperaturen hos vissa

plaster. Problematiken runt återvinnings möjligheter för fiberblandingar med elastan har studerats i projektet. Mer specifikt har examensarbeten i projektet och några av de fallstudier som beskrivs nedan fokuserad på återvinningsförsök för elastan inblandad i polyamid 6 respektive polyamid 6.6.

Industriella exempel på återvinning

PET/PES

Det finns i stort två vägar att gå för att återvinna polyester material men många olika tillämpningar och förädlingsmetoder, figur 5. Idag hanteras PES främst av Taiwan baserade aktörer samt Japan baserade Teijin. I Taiwan samlar man PET-flaskor globalt för att producera plast pellets som antingen kan hanteras i en garnspinningsprocess eller för att producera plastdetaljer. Teijin hanterar sitt eget producerade material via take-back system vilket gör att man kan styra i produktionen mot återvinningsbarhet av materialet.



Figur 5 Återvinningsmöjligheter för polyester

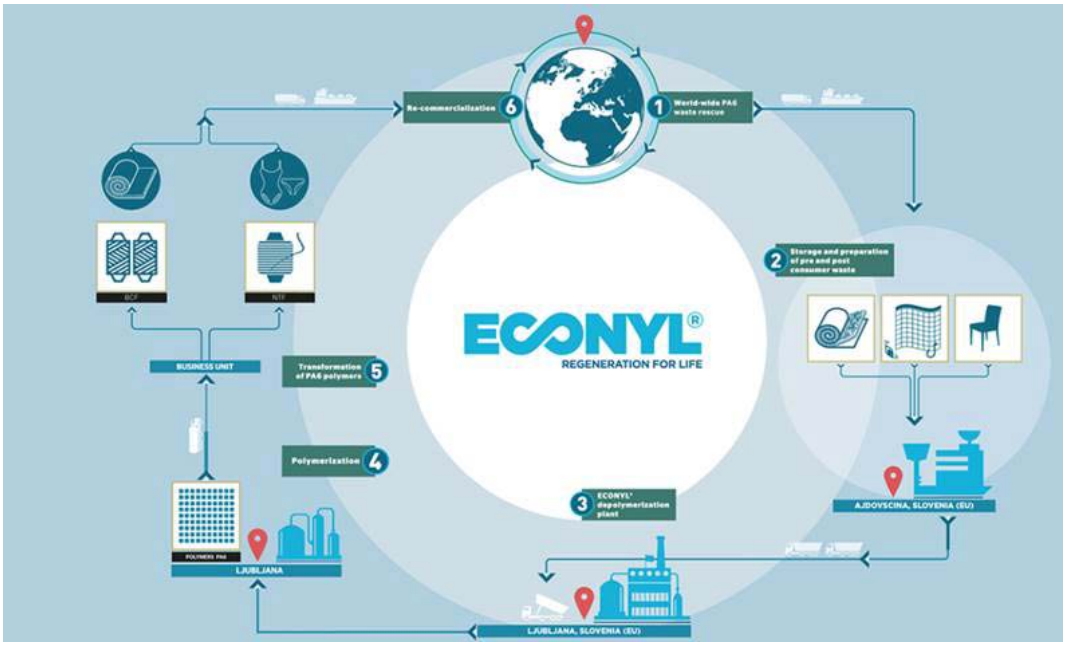
Inom projektet Trash to Cash utvecklas en depolymeriseringsteknik som kan hantera post consumer material såtillvida att man kan separera polyestern från oönskade ämnen och tilssatser från den ursprungliga produktionen.

PA 6

Idag har företagen Hyosung[15] och Aquafil[16] kommersiell kemisk återvinning av polyamid 6. Aquafil levererar råmaterial av regenererad polyamid, kallad Econyl, se figur 6. Depolymeriserings-anläggningen och sorteringsanläggningen i Italien och Slovenien besöktes inom projektet. Se bilder från anläggningarna på figur 7 och 8.

15 Mipan regan™, www.hyosung.com, mars 2015.

16 Econyl™, www.aquafil.com, mars 2015.



Figur 6 Produktion av Econyl-material baserat på gamla mattor, textilspill och fisknät[17].

Produktionen av det återvunna materialet sker enligt följande processteg som visualiserat i figur ovan:

1. Samling av textilavfall/råvara runt om i världen
2. Förbehandling och kvalitetsgranskning av råvara
3. Upplösning (depolymerisering) och rening
4. Polymerisering och kylning
5. Fibertillverkning - extrudering
6. Kommersialisering och introducering till marknad (hanteras av Econyls kunder och varumärken)

Steg 4 och 5 är likvärdiga för de som sker för framställning av Polyamid av jungfrulig råvara. I steg 4 produceras chip som sedan extruderas till garn i steg 5. Steg 2-3 är däremot unika för återvunnen råvara baserat på fisknät, fluff från heltäckningsmattor samt industri spill och ett antal processparametrar behöver anpassas.

17 http://www.econyl.com/

Figur 7 Aquafils råvmaterialproduktionsanläggning

Figur 8 Bilder från Aquafils sorteringsanläggning; Råmaterialet till vänster, fisknät och fluff från mattor och industrispill kontrolleras för materialinnehåll med bland annat handhållet XRF instrument.

PA 6.6

På marknaden finns till exempel Fulgar som producerar tyg av återvunnen PA 6.6. Deras tyg går under namnet Q - NOVA®, produceras med processen, Continuous Melt Spinning, och är gjort av 99 % industrispill. Plagg av detta material undersöktes och återvinningsförsök gjordes inom ramar av examensarbetet: Plagg till plagg.

Kläder består ibland av en blandning av polyamid 6 och polyamid 6,6. Även andra former av polyamid kan förekomma i kläder och hemtextil. Sportkläder och underkläder består ofta till stor del av polyamid 6,6. Eftersom den kemiska återvinningen ser olika ut för polyamid 6, respektive för 6,6 kan textilier bestående av båda polyamiderna inte återvinnas kemiskt idag. Kemikaliebolaget Dupontanger säger att de håller på att utveckla en process som kemiskt återvinner blandningar av polyamid 6 och 6,6[18]. Dessa metoder ska ge kvalitet på de återvunna polyamidfibrerna som motsvarar jungfrulig fiberkvalitet. Polyamiderna har också olika smälttemperaturer så blandningar kan heller inte återvinnas termomekaniskt.

Cellulosabaserade material

Ungefär en tredjedel av de cirka 90 miljoner årston textilier som konsumeras i världen är biobaserade. Av denna grupp utgör cellulosabaserade fibrer den absolut största andelen. Den i sin tur största andelen av dessa är bomull, som är en naturfiber. Av regenatfibrerna (”man-made cellulosic fibres”) är viskos den största fibergruppen. I viskosprocessen används cellulosa främst från träfibrer, som i sig är för korta för att spinna till garn direkt. Istället används en kemisk process för att lösa upp och koagulera cellulosan i en våtspinningsprocess till kontinuerliga filament som sedan klipps upp till stapelfiber i en längd passande för garnspinning.

I princip går all cellulosa att använda som råvara i viskosprocessen, och i till exempel Kina används till stor del bomullslinters. En vidareutveckling av viskosfibern är modal, som bygger på samma process men har en bestämd råvara (cellulosa från bok) och specialiserade processparametrar. Ytterligare en process för att ta fram regenatfiber från träbaserad cellulosa är lyocellprocessen för framställning av tencelfibrer. Denna process är nyare och mer miljövänlig än den traditionella viskosprocessen, men innehar fortfarande bara en liten andel av marknaden. I lyocellprocessen används cellulosa av högre molekylvikt än i viskosprocessen, det vill säga cellulosapolymererna är inte lika nedbrutna.

Gemensamt för viskos- och lyocellprocessen är att de förändrar konfigurationen för hur cellulosapolymererna binder till varandra i materialet. Cellulosabaserade regenatfibrer har alltså inte samma kemiska eller morfologiska struktur som jungfruliga bomullsfibrer, även om båda grupperna består av cellulosa.

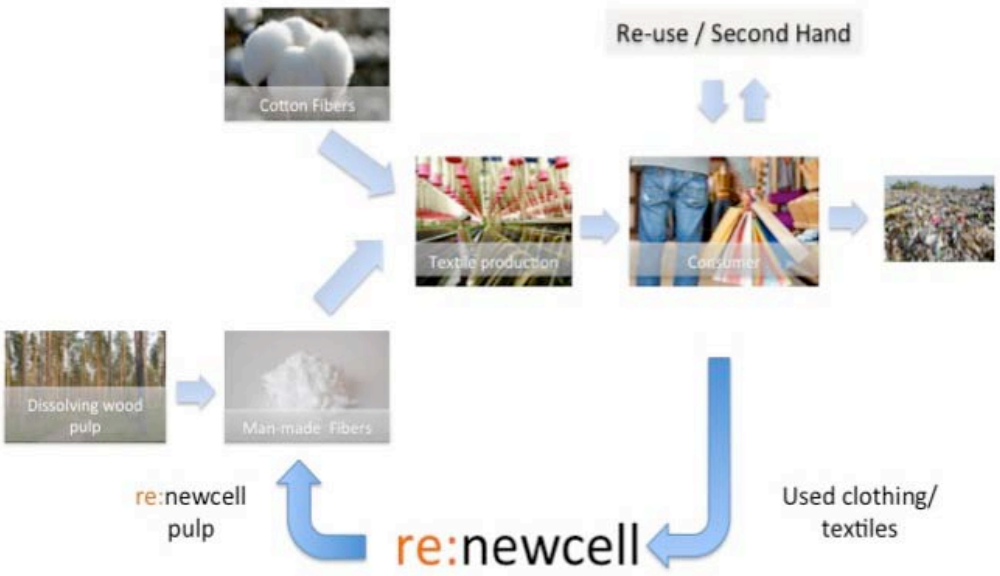
Med en ökande befolkning kommer efterfrågan på textilfiber ofrånkomligen att öka under de närmaste årtiondena. På grund av de egenskaper som

18 Yamasaki, Y., Overview of recycling technology in textile industry in Japan and the world, http://hrd.apec.org/images/a/aa/62.4.pdf.

cellulosabaserade fibrer har, särskilt vad gäller fukttransporterande förmåga, beräknas att ungefär en tredjedel av textilfibrerna även i framtiden kommer att vara cellulosabaserade. Samtidigt kommer efterfrågan på mat och därmed jordbruksmark att öka i ungefär samma takt. Detta gör att en ytterligare expansion av bomullsodling inte är rimlig, istället får andra typer av cellulosabaserade textilfibrer fylla detta gap. En ökad andel regenatfiber i kombination med en ökad andel återvunnen textil för att förlänga livet på de resurser som redan finns i dag ligger alltså helt rätt i tiden och är ett troligt scenario för att möta framtidens behov av (cellulosabaserad) textil.

Kemiska återvinningsprocesser i forskningsstadiet

Som ett exempel på pågående verksamhet inom återvinning av cellulosabaserade textilier kan nämnas det svenska företaget re:newcell som utvecklat en process för att kemiskt återvinna använd bomullstextil, se figur 9. Resultatet blir en textilmassa som kan användas till många olika applikationer, men huvudområdet är som råvara i viskos- och lyocellprocessen för att tillverka ovanligt starka regenatfibrer. Under processen avfärgas och renas massan till en produkt med mycket hög renhet med avseende på cellulosa.



Figur 9 Nyproduktion av cellulosabaserad textil från kasserad textil enligt re:newcells concept[19]

Under första kvartalet 2017 förväntas en demonstrationsanläggning för forskning och produktion stå klar i Kristinehamn. Kapaciteten för anläggningen är 7000

19 http://renewcell.se/

årston, vilket motsvarar ungefär tio miljoner par jeans. Processen är fortfarande under utveckling, men förväntas vara väl fungerande år 2020.

För tillfället fokuserar re:newcell på material som är enkla att återvinna och innehåller en hög andel cellulosa, 95 % eller mer. Materialblandningar som bomull och lyocell går alltså bra, men hög inblandning av polyester eller elastan är fortfarande komplicerat att hantera. Metodutveckling pågår och en process för att kunna återvinna blandfraktioner av bomull och polyester och bevara båda polymertyperna förväntas finnas kommersiellt tillgänglig år 2030. Arbete pågår även med att hantera kemikalietillsatser såsom bromerade flamskyddsmedel i textilråvaran.

För att underlätta återvinning på detta sätt krävs förbättrad/förenklad sortering av plagg och i plagg ingående material, både manuell och automatisk sortering är viktig: Manuell sortering krävs för att sortera för återvinning vs återanvändning, däremot krävs automatisk sortering för att få renare fraktioner. Design för återvinning är också ett bra exempel som skulle underlätta, exempelvis kan sytråden i jeans vara av lyocell istället för polyester.

Ull

Det finns ett flertal aktörer som producerar nyråvara från återvunnen ull. Projektet besökte en aktör i Italien, Reverso, som hanterar mest produktionsspill, men som sorteras och nyproduceras med god spårbarhet. Se följande bilder från produktionsanläggningen.

Figur 10 Dammfri mekanisk process där ullmaterialet rivs ner i slurry.

Figur 11 Fibrerna blir något kortare efter återvinningen

Figur 12 Efter torkning pressas ullmassan ihop och formas om till mattor, som sedan delas i trådar och spinns till nytt garn.

Fallstudier inom projektet *Från Spill till guld*

Omsmältning och smältspinning av återvunnet polyamidtyg (med elastan) och ett polyestertyg (med biopolyester).

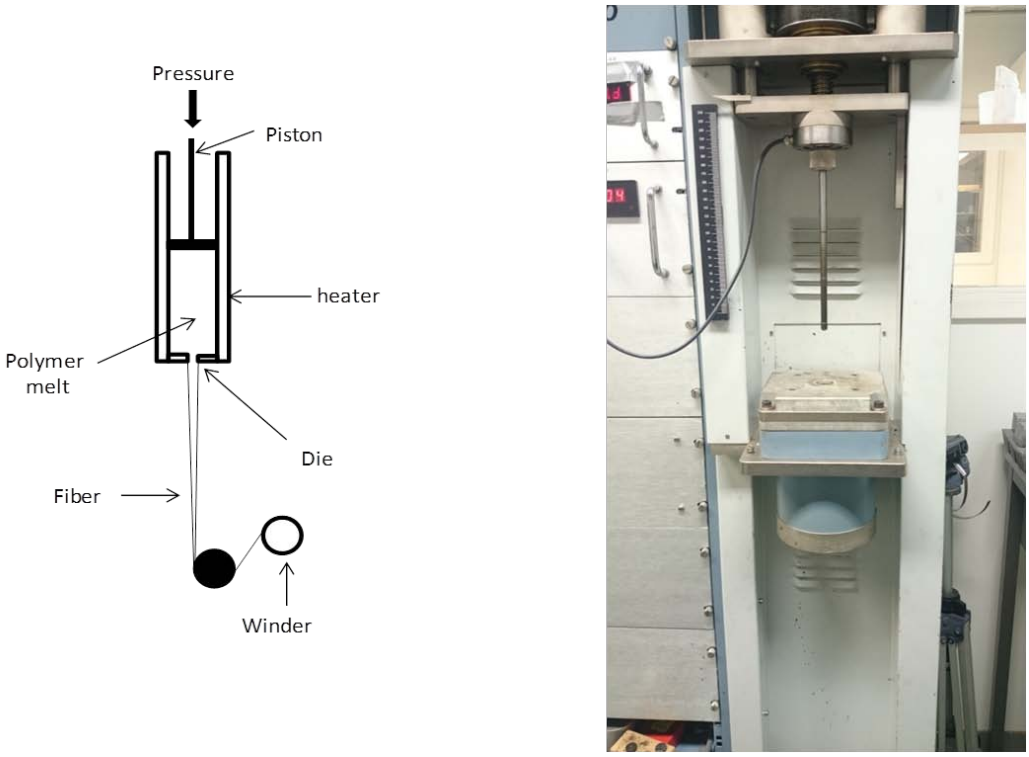
Syftet med försöken var att undersöka om det är möjligt att återvinna några vanligt förekommande blandningar av olika syntetiska fibrer genom direkt omsmältning.

Råmaterialen för denna studie:

- Ofärgat tyg av 92 % PA6 och 8 % elastan, produktionsspill.
- Ofärgat tyg av polyester (PET) och biopolyester, se figur 16.

Metoder

Textilerna sönderdelades i en kvarn, torkades och smältes med en extruder. Smältan pressades genom hål till strängar som klipptes upp till pellets. Dessa pellets torkades igen och användes sedan för att testa det återvunna materialets lämplighet för smältspinning av nya fibrer och för formsprutning av plastdetaljer. En enkel labbuppställning med en kapillär-reometer, se figur 13, användes först för att bedöma spinnbarhet innan materialet prövades i en större fiberspinningsmaskin, se figur 14. Formsprutningen utfördes i ett verktyg för provstavar med en formspruta av normal industriell storlek och tillverkare (Engel 80 Ton).

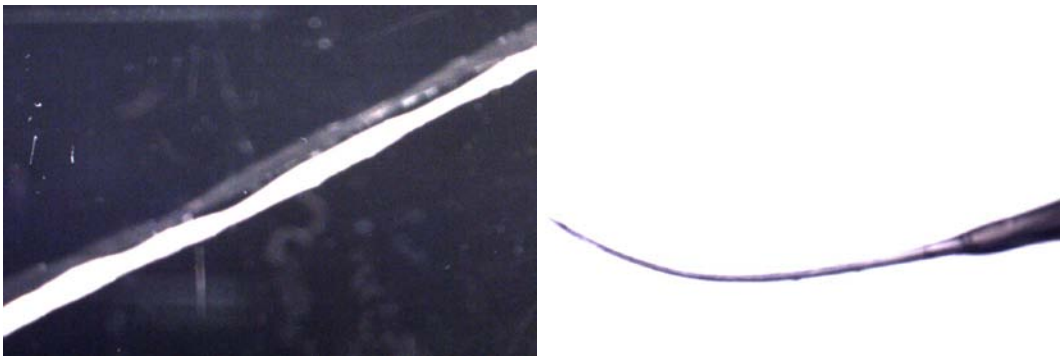


Figur 13 Fiberspinning i en enkel labbuppställning.

Compounding	Melt spinning	Crimping/Cutting
Coperion twin screw	bi-component	stuffer box

Figur 14 Smältspinningslinjen som används vid textilåtervinningsförsök.

Smältspinning av blandningen polyamid/elastan gick dåligt, tråden slets ständigt, fibrerna blev ojämna och trådytan inte slät, se figur 15 nedan. Anledningen till detta är att elastanen inte smälter ihop tillräckligt bra med polyamiden för en så krävande process som smältspinning.



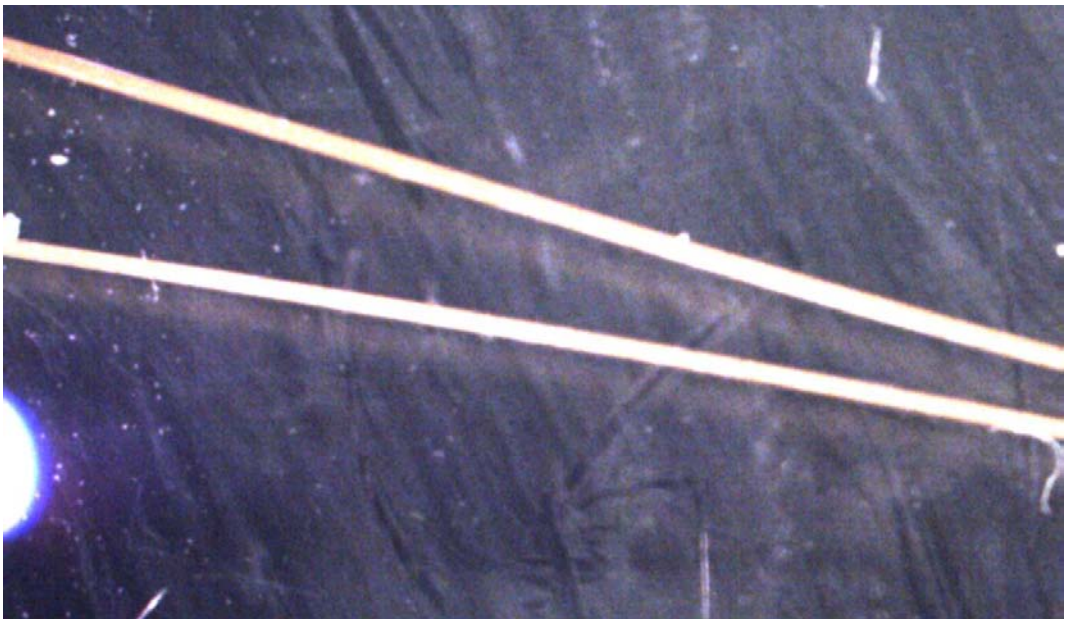
Figur 15 Bild av smältspunnen fiber av polyamid/elastan. Ojämnheterna syns tydligt.

Figur 16 Ofärgat tyg av polyester (PET) och biopolyester.

Blandningen av biopolyester med PET gick bra att smältspinna, fibern hade jämn och slät yta, se figur 17. Ett större prov förbereddes och testades med varierande parametrar i spinningen, se tabell 3. Spinnprocessen gick smidigt, fibrer kunde produceras med titer 7.5 dtex och normal kallsträckning.

Tabell 3 Spinnprocessparametrar och resultat

Materials	Spinning conditions		Result
	SSD	Titer	
PET/bio-PET	2	10 dtex	Good spinning process
PET/bio-PET	2.5	10 dtex	Good spinning process
PET/bio-PET	3	10 dtex	Good spinning process
PET/bio-PET	2.5	7.5 dtex	Good spinning process
PET/bio-PET	2.5	5 dtex	Hard to spin



Figur 17 Smältspunnen fiber av biopolyester med PET, fibern har jämn och slät yta

Mätning med DSC, visade att PET-polyester tyget innehöll en del bio-polyester med en smälttemperatur på 226 °C. Efter kompoundering av blandningen har dock smälttoppen för bio-polyester försvunnit som tyder på att bio-polyestern har fördelats i PET på molekylär nivå.

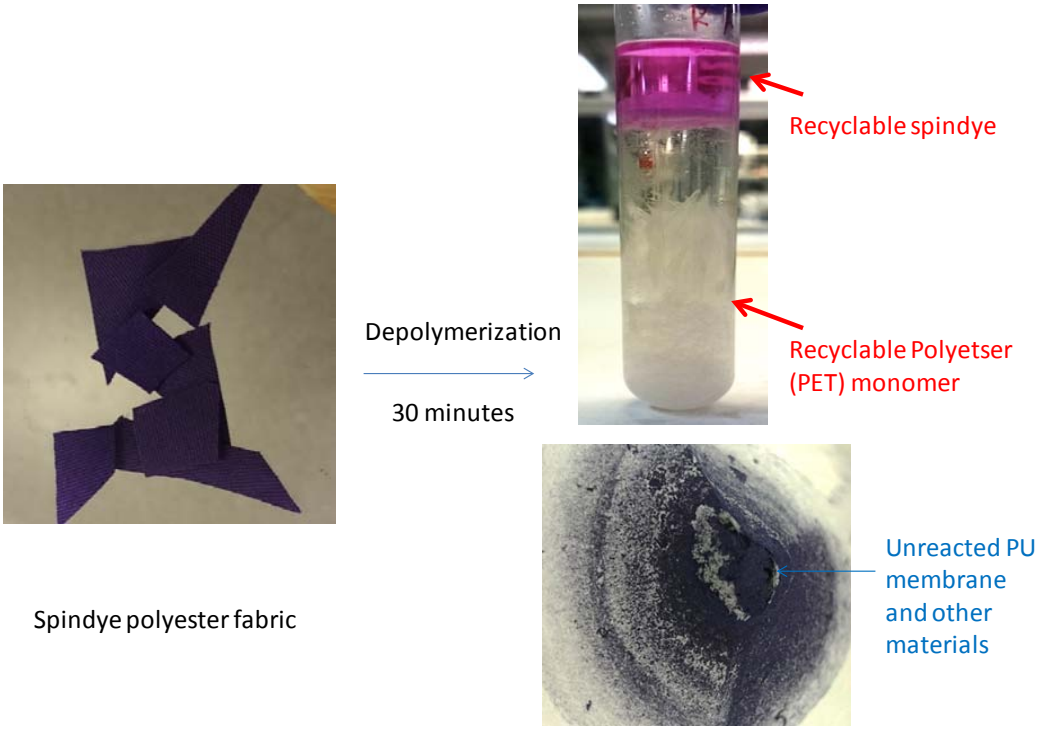
Återvinning av färgad polyester genom depolymerisering

Fjällräven skickade in ett polyester tyg färgat med Spindye och belagt med PU membran. Spindye använder sig av ett speciellt sätt att färga tråden i själva spinningsprocessen (utan extra våtberedning).

Tyget klipptes ner och blötlagdes i ethylene glycol (EG) och värmdes. Depolymeriseringen började vid 210°C och varade i 30 minuter. Efter att provet hade kylts när till rumstemperatur igen blandades toluene i blandningen för att extrahera färgen från lösningen.

Resultat

Polyester monomeren kristalliserade och föll ur lösningen som visas i figur 18 nedan. Färgen kunde skiljas från lösningen och kan antagligen återvinnas. PU lagret på tyget bröts inte ner i processen.



Figur 18 Labbförsök för depolymerisering av färgad och PU belagd polyester

Återvinning av polyamid-elastan blandingar från återvunnen råvara

Ytterligare ett examensarbete har genomförts inom projektet i samarbete mellan Textilhögskolan i Borås och Swerea IVF. Arbetet, *”Från plagg till plagg - Termomekanisk återvinning av polyamid 6.6 och elastan”*, av Emma Jemt Gardell och Hannah Racklin publiserades och godkändes i juni 2016.

Arbetet utfördes i samarbete med BOOB och deras underlevarantörer, Aquafil och Fulgar, i Italien i syfte att undersöka möjlig återvinning av konsumentplagg baserade på jungfruligt material samt återvunnet material. Arbetet innehöll litteraturstudie på materialegenskaper och återvinningsmetoder samt praktiska experiment. Hela plagg av de olika materialen, se tabell 6, klipptes eller maldes ned och smältes sedan om genom kompoundering, därefter tillverkades granulat. Materialen testades i spinnbarhet genom smältspinningsförsök, sedan smältspanns eller formsprutades materialen. Mer detaljer om processparametrar finns i examensarbetet.

Resultaten från experimenten, se tabell 6, visar att det inte går att termomekaniskt återvinna PA6.6 tillsammans med elastan (i denna komposition) genom de metoder som prövades i detta examensarbete. Detta antagligen på grund av PA6.6 höga smälttemperatur, då elastanen bryts ned vid denna höga temperatur och förstör materialet. Detta antagande kan styrkas i att i det tidigare examensarbete Från spill till produkt kunde PA6, som har en längre smälttemperatur, återvinnas med elastan genom samma metod och få goda resultat. Vid jämförelse av draghållfastheten på materialet i detta examensarbete och i tidigare examensarbetet Från spill till produkt syns att den erhåller liknande styrka.

Draghållfastheten för 02910 (leggings) medelvärde är 49.9MPa och den återvunna PA6 i Från spill till produkt ligger på 63.9MPa.

En lägre temperaturprofil vid kompoundering, formsprutning och smältspinning hade inte resulterat i ett bättre material. Då elastanen i materialen börjar brytas ned mellan 180-200°C och PA6.6 har en smälttemperatur på 250-265°C. Genom detta kan det fastställas att det är elastanen som förstör materialet och leder till att formsprutning och smältspinning inte är möjligt för denna materialkombination. För möjligheten att använda dessa fyra material vid återvinning av plagg till plagg skulle en metod för fiberseparering behöva utformas, vilket inte undersöktes under examensarbetet. Det kan även antas att genom användning av filter i extrudern skulle inte ett bättre resultat kunnat erhållas då elastanen som tidigare nämnt bryts ned vid en mycket lägre temperatur än PA6.6. Därigenom är dessa fyra materialblandningar inte goda kandidat för återvinning från plagg till plagg.

Även om det inte gick att återvinna de fyra materialen med formsprutning eller smältspinning skulle en möjlighet vara att använda materialen till plastdetaljer. Dessa plastdetaljer kan produceras redan vid kompounderingsstadiet och därigenom erhålla goda egenskaper då draghållfastheten var god för 02910 (leggings) direkt efter kompoundering. Så även om möjligheten för återvinning genom plagg till plagg som undersöktes i detta examensarbete inte fungerade finns möjligheten för återvinning till plastdetaljer för detta material.

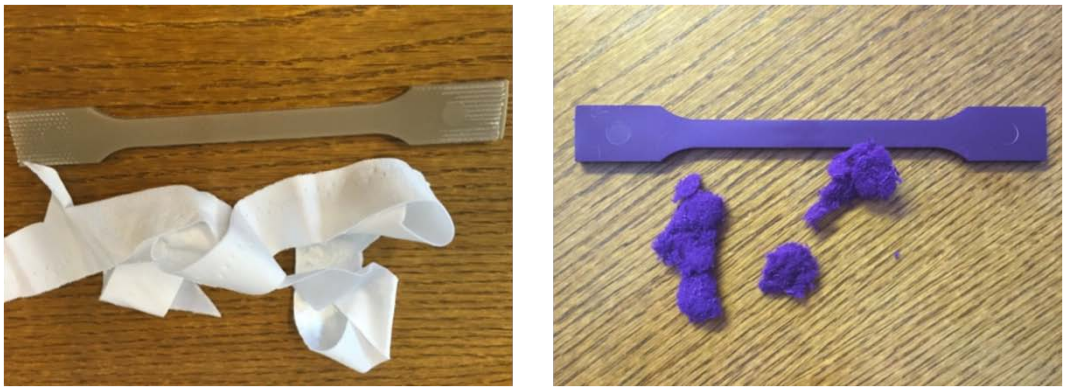
Formsprutning av återvunnen råvara

Formsprutning med blandningen polyamid/elastan fungerade över förväntan. Provstavarna fick en fin yta om än något missfärgad, något som kan åtgärdas genom infärgning. De mekaniska egenskaperna var närmast identiska med en slagseghetsmodifierad polyamid 6. En glasfiberfylld variant tillverkades som gav högre styrka och styvhet, se figur 19.

*Tabell 4 Mekaniska egenskaper hos återvunna material.*Från datablad.*

Material	Återv PA6 /elast	Slagseg PA6	Återv PA6 / elast / glas	30 PET / 70 PP (homo)	PP (homo)
Styvhet, GPa	2,7	2,7*	8	1,8	1,7*
Styrka, MPa	62	63*	110	32	30*
Brottöjning, %	25	30*	2.5	3	10*

Även ett försök gjordes att använda färgad polyester (PET) med ytbehandling (PU) som ersättning för färgpigment i polypropen. 30 % riven polyestertextil blandades med 67 % polypropen (homo) och ca 3 % tillsatser. Styvhet och styrka blev något bättre jämfört med nyråvara av polypropen men brottöjningen sjönk kraftigt, se Tabell 4. Infärgningen fungerade bra, se figur 19. Den lilafärgade textilen var spinnfärgad så att färgämnet är från början valt för att det ska tåla smälttemperaturen men det kan finnas flera som också fungerar.



Figur 19 Vit textil av polyamid/elastan och formsprutad provstav av blandmaterialet till vänster och till höger riven lilafärgad polyestertextil och formsprutad provstav där materialet blandats med polypropen.

Tabell 5 Sammanfattning av resultat från försök för termomekanisk återvinning av plagg med olika blandningar av PA6.6/elastan

Benämning	**Komposition** Alla plagg var svarta	**Compoundering**	**Smältspinning i kapillärreometer**	**Provning av omsmälta pellets**
Bh-jungfrulig (art 09301)	92 % Jungfrulig PA6.6 8 % Elastan	Malas ner innan	Första dragningen gav ett fint och tunt filament, andra dragningen ett ojämnt “midjeformat” och klumpigt filament. En maskinell dragning.	Formsprutningsförsök – Inga resultat kunde erhållas. Trycket kunde inte hållas tillräckligt högt för att pressa fram materialet. Så kallad "rolling" förekom. Något i materialen, antagligen elastanen, bildar gaser och bryter ned materialet som gjorde att extrudern inte kan mata fram materialet.
Bh-återvunnen (art 09311)	78 % Återvunnen PA6.6, 11 % Jungfrulig PA6.6, 11 % Elastan	Malas ner innan	Tunt, jämnt och fint filament, ingen “midjeform”. Nio maskinella dragningsförsök.	
Strumpbyxor – jungfrulig (art 3)	92 % Jungfrulig PA6.6 8 % Elastan	Kan matas in hela. Liten rökutveckling vid försöket.	Gick att dra två gånger manuellt men – inga mätbara resultat. Filamenten blev ojämna och klumpiga och gick av efter 20-30 cm	
Leggings (återvunnen) (art 02910)	92 % Återvunnen PA6.6, 8 % Elastan	Kan matas in hela. Rökutveckling vid försöken. Dragprovsresultat 49.9MPa	Ojämnt och ”midjeformat” filament. Men funkade bra med maskinella dragningsförsök även i hög frekvens.	Det gick inte att dra filamenten maskinellt vid industriell smältspinning. Filamentet var inte tillräckligt starkt och gick av vid försöket. Indikationer på att materialet brutits ner och efter ett tag började det knastra.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att samtliga polyamid och polyester blandningar som testats har kunnat återvinnas till ett nytt råmaterial genom omsmältning. Det som skiljer är vad den återvunna råvaran kan användas till.

I vissa varianter av termoplasten polyamid tillsätter man termoplastisk polyuretan eftersom det gör materialet mer slagsegt. Projektet har visat att återvinning av blandningar mellan polyamid 6 (låg bearbetningstemperatur) och termoplastisk polyuretan kan ge ett högpresterande material med mycket goda mekaniska egenskaper. Material som innehåller tvärbunden polyuretan skulle teoretiskt kunna smältfiltreras för att få ett användbart polyamidmaterial. Hypotesen har dock inte kunnat prövas i projektet på grund av begränsningar i utrustningen. Återvinning av blandningar mellan polyamid 6.6 (hög bearbetningstemperatur) och tvärbunden polyuretan gav ett nedbrutet material med relativt dåliga egenskaper. En kemisk analys av det återvunna materialet visade att man inte kunde hitta några reglerade kemikalier som uppstått på grund av nedbrytningen. Det är därför för tidigt att avskriva möjligheterna att återvinna blandningar mellan polyamid med hög bearbetningstemperatur och polyuretan.

PA6 med 8 % elastan var olämpligt att använda i en ny smältspinningsprocess men fungerade över förväntan i en formsprutningsprocess.

Polyester (PET) med biopolyester däremot var klart lämpat för smältspinning av nya fibrer.

Ytbehandlad, färgad polyester kan antingen användas för smältspinning, formsprutning (tillsammans med polypropen) eller depolymerisering tillbaka till kemikalieråvara.

Upplösning och våtspinning av återvunnen bomullsmassa.

Syftet med denna empiriska del av projektet är att undersöka om en metod framtagen och optimerad för vedbaserad cellulosa även är möjlig att använda för Re:newcells återvunna bomullscellulosa. Även industrispill av olika cellulosabaserade textilier (bomull, tencel och modal) har undersökts med samma metod, se exempel på råvara i figur 20.

Figur 20 Spill eller guld? – Exempel på råvara till återvunnen bomull

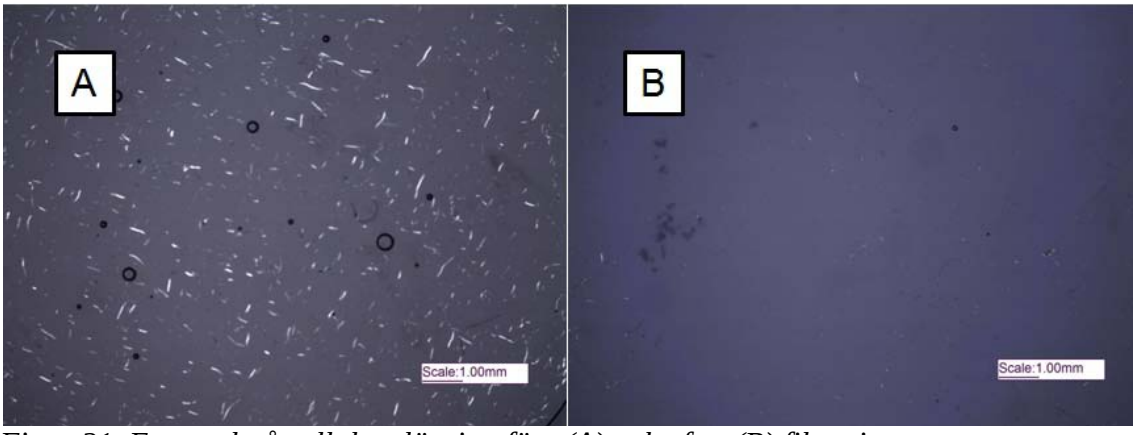
Material och metod

Råmaterialen för denna studie, se tabell 7, har behandlats på Re:newcell till en massa som liknar den träbaserade cellulosamassa som vanligtvis används som råmaterial vid tillverkning av textilfibrer som viskos eller tencel.

Massorna har karakteriserats med avseende på gränsviskositet i enlighet med ISO5351 och ett medelvärde på polymerisationsgraden har beräknats enligt Ekvation 1, där DP är polymerisationsgrad (Degree of Polymerization) och η är gränsviskositeten.

$$DP^{0.905} = 0.75\eta \qquad \textit{Ekvation 1}$$

Upplösningsgraden karakteriserades med hjälp av mikroskopi mellan korslagda polariserande glas, där oupplösta fiberfragment blir väl synliga, se figure 21.



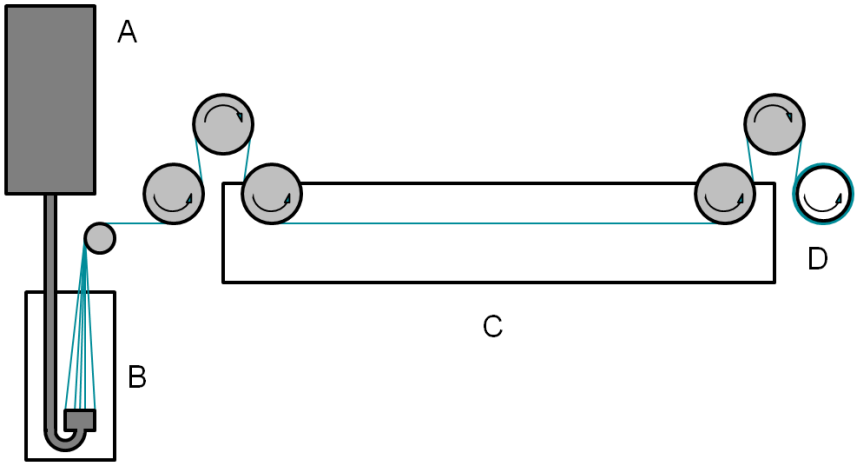
Figur 21. Exempel på cellulosalösning före (A) och efter (B) filtrering

Tabell 6 Provmaterial som använts i studien

Provnamn	Material	Leverantör	Behandling	η	DP
RM1	Återvunnen bomull	Post-konsument (PK) denim	Re:newcell	240	310
RM2	Återvunnen bomull	PK – denim	Re:newcell	290	385
RM2_255	Återvunnen bomull	PK – denim	Re:newcell + hydrolys	200	255
RM3	Återvunnen bomull	PK – denim	Re:newcell	265	350
RM4	Återvunnen bomull	PK – denim	Re:newcell	310	410
RM4_2	Återvunnen bomull	PK – denim	Re:newcell + UL	310	410
RM4_3	Återvunnen bomull	PK – denim	Re:newcell + UL/NaOH	310	410
RM5	Bomull-spill	PK - denim	Re:newcell	250	330
TM1	Tencel-spill	Filippa K	Re:newcell	240	320
MM1	Modal-spill	Gudrun Sjödén	-	250	330
MM2	Modal-spill	Gudrun Sjödén	Re:newcell	210	270
RM6	Återvunnen bomull	Kasserade handdukar från Berendsen	Re:newcell	210	270

Våtspinning utfördes i en mångsidig våtspinningsutrustning i bänkskala med möjlighet till filtrering, multifilamentspinning och sträckning, placerad på Swerea IVF i Mölndal. Utrustningen beskrivs schematiskt i figur 22.

Efter spinning tvättades, torkades och konditionerades de regenererade cellulosafibrerna i klimatrum vid 65 % luftfuktighet och 20 °C, innan mätning av dragstyrka.



Figur 22. Våtspinning. A: trycksatt hålltank för lösning, B: spinndysa i koaguleringsbad, C: sträckbad, D: rullar för sträckning och uppsamling av fiber

Resultat

Under projekttiden har Re:newcell arbetat kontinuerligt med att ta fram nya och mer reaktiva och därmed mer lättlösliga cellulosamassor. Dessa massor har levererats en i taget över lång tid och arbetet har utförts på en massa i taget. Under tiden har också ny utrustning tillkommit på Swerea IVF. Första massan (RM1) löstes upp på SP medan övriga massor löstes upp på Swerea IVF. I Tabell 7 redovisas resultat för upplösning och spinning för de olika massorna.

Tabell 7. Sammanställning av resultat efter upplösning och fiberspinning

Massa	Upplösning[a]	Titer (dtex)	Fiberstyrka (cN/tex)	Töjbarhet (%)	Modul (cN/tex)
RM1	+	-	-	-	-
RM2_a	++	-	-	-	-
RM2_b	++	2,21	10	4,1	554
		1,2	13	6,5	682
RM3	+	-	-	-	-
RM4	+	-	-	-	-
RM4_2	+	-	-	-	-
RM4_3	+	-	-	-	-
RM5	+	-	-	-	-
LM1_a	+++	2,37	8	6,5	427
		1,98	13	7,9	528
		2,32	14	7,3	595
LM1_b	+++	2,04	14	16	552
		2,14	14	13	573
		1,34	19	6,6	773

MM1	++(+)	1,57	11	19	430
		1,45	11	15	465
		1,43	11	13	465
MM2	++(+)	1,59	15	12	536
		1,65	15	13	555
MM/T	+++	1,71	17	8,3	651
RM6[b]	+	-	-	-	-

[a] Graderingen baseras på mikroskopi och skjuvviskositetsmätningar. + innebär dålig upplösning och ej spinnbar lösning, ++ innebär acceptabel lösning efter filtrering, +++ innebär god upplösning

[b] Massan RM6 visade sig innehålla en ganska stor mängd polyester vilket störde upplösning.

Slutsatser

Bredden av textilkvaliteter har inneburit en god översikt över möjligheten att använda återvunnen cellulosabaserad textil eller textilspill i processen. Följande slutsatser kan dras:

Fiberkvaliteten är direkt relaterad med lösningskvaliteten.

Cellulosa II (modal, tencel) är mer lättlösligt än cellulosa I (bomull). Detta är mycket oväntat.

BOMULL: Upplösning av bomull har inte lyckats bra, och stora mängder kvarvarande fiberdelar har varit nödvändiga att filtrera bort före spinning. Ibland har omfattande gelningsproblem även omöjliggjort detta. Spinning har inte genererat fibrer med bra mekaniska egenskaper. Det är ingen märkbar skillnad mellan åldrad (post consumer) och färsk (pre consumer) bomull vad gäller upplösningsbarhet. Detta är mycket oväntat.

LYOCELL: Upplösning fungerade bra förutom ”knutbildning” av långa och starka fibrer. Detta borde gå att lösa genom att förbättra upplösningsutrustningen. Om inte så kommer filtrering att vara ett kritiskt processteg. Spinning genererade filament med i stort sett samma diameter och styrka som kommersiell viskos. Töjningen var dock lägre.

MODAL: Ingen förbehandling verkar krävas för att lösa upp och spinna modalspill, däremot verkar förbehandling enligt re:newcells koncept leda till högre fiberstyrka i den spunna fibern, kanske på grund av bättre upplösning på molekylär nivå. De mekaniska egenskaperna är dock hittills lägre än för kommersiella fibrer som viskos. I en blandning med jungfrulig dissolvingmassa från trä uppnåddes.

Sammanfattningsvis är det alltså möjligt att nå fiberstyrkor jämförbara med kommersiell viskos genom bearbetning av cellulosabaserad spilltextil enligt denna process, både med och utan inblandning av jungfrulig råvara. Optimering av förprocesser för råvara, processbetingelser och efterbehandling, kan antagligen

ytterligare förbättre de mekaniska egenskaperna, säerskilt töjning. Särskilt intressant är lyocell och modal som ger bra lösningar.

Se exempel på filament från återvunnen cellulosabaserad textil nedan.

Figur 23. Filamentknippe av kemiskt återvunnen tencel, prov TM1a

Figur 24. Filamentknippe av hybridfiber MM/T, bestående av 50 % kemiskt återvunnen modal och 50 % jungfrulig dissolvingmassa från träråvara.

Återvinning på den svenska marknaden

Arbetet inom detta delområde har till den största delen utförts inom ramarna av pågående regeringsuppdrag om hantering av textilier som Naturvårdsverket utfört 2014-2016 och projekt kopplade till den handlingsplan för hållbara textilier som Nordiska ministerrådet tagit fram.

Naturvårdsverkets regeringsuppdrag om hantering av textilier

Naturvårdsverket har med stöd av flera aktörer inom området utvecklat förslag om hantering av textilier[20]. Förslaget som nu ligger till beslut hos regeringen ska styra mot att nå högre upp i avfallshierarkin genom såväl avfallsförebyggande åtgärder som ökad återanvändning och materialåtervinning av textilier, samt mot giftfria kretslopp.

Swerea har inom projektet stöttat Naturvårdsverkets arbete med expertis kring sortering och textilåtervinning på den svenska marknaden. Stefan Posner och Christina Jönsson är medförfattare i Naturvårdsverkets rapport ” Textilåtervinning - tekniska möjligheter och utmaningar”[21] som utkom 30 september 2015. Genom arbetet identifierades grupper av textilier ej lämpade för återvinning utifrån relevanta kemikalierisker. En teoretisk modell om hur återvinningsprocesser påverkar potentiellt förekommande kemikalier i textilier togs fram. Kunskapsunderlaget har sedan kompletterats med plockanalyser i restavfall för att kvantifiera materialflödena och förslag till sorteringskriterier för återvinning. Ett bättre underlag saknas för en riskbedömning för återvinning av textilt restavfall. För att öka möjlig återanvändning och materialåtervinning med bred tillämpling krävs djupare analys av de potentiella hälso- och miljöfarliga kemikalier som kan förekomma i textilier samt kvantifiering av omfattningen i svenskt restavfall.

Nordisk färdplan för hållbar textil

Den danska miljömyndigheten på uppdrag från det Nordiska ministerrådet utvecklar en nordisk färdplan för mer hållbara textilier 2015-2018[22], som lanserats under det danska ordförandeskapet i Nordiska rådet 2015. Swerea IVF har igenom Från Spill till guld och flera parallella aktiviteter varit högst inblandad i det förberedande arbetet och medverkat i flera möten. En jämförandestudie (LCA) av miljöpåverkan för olika former av resthantering av textilavfall har gjorts dvs.

20 Naturvårdsverket, 2016. Regeringsuppdrag om hantering av textilier och uppdragsrapporter för underlag. http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Hantering-av-textilier/

21 Östlund, Å., Wedin, H., Bolin, L., Berlin, J., Jönsson, C., Posner, S., Smuk, L., Eriksson, M. and Sandin Albertsson, G. (2015) ”Textilåtervinning - Tekniska möjligheter och utmaningar”, på uppdrag för Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen.

22 Norden – velklædt i et rent miljø Handlingsplan for bæredygtig mode og tekstil, 2015. http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:813272/FULLTEXT01.pdf

återanvändning, återvinning och (förbränning). Resultaten och kunskapsläget om kemikaliefrågor inom området finns beskrivet i en offentlig rapport från studien[23].

Under projektperioden har även en studie för MST (Danska miljöstyrelsen) genomförts kring märkning och/eller deklaration av kemikalier i textilier i syfte att hantera dessa bättre på konsumentnivå samt vid resthantering. Rapporten kommer bli publik mot slutet av 2016.

Kortfattade resultat från LCA på återvinningsalternativ för textilier

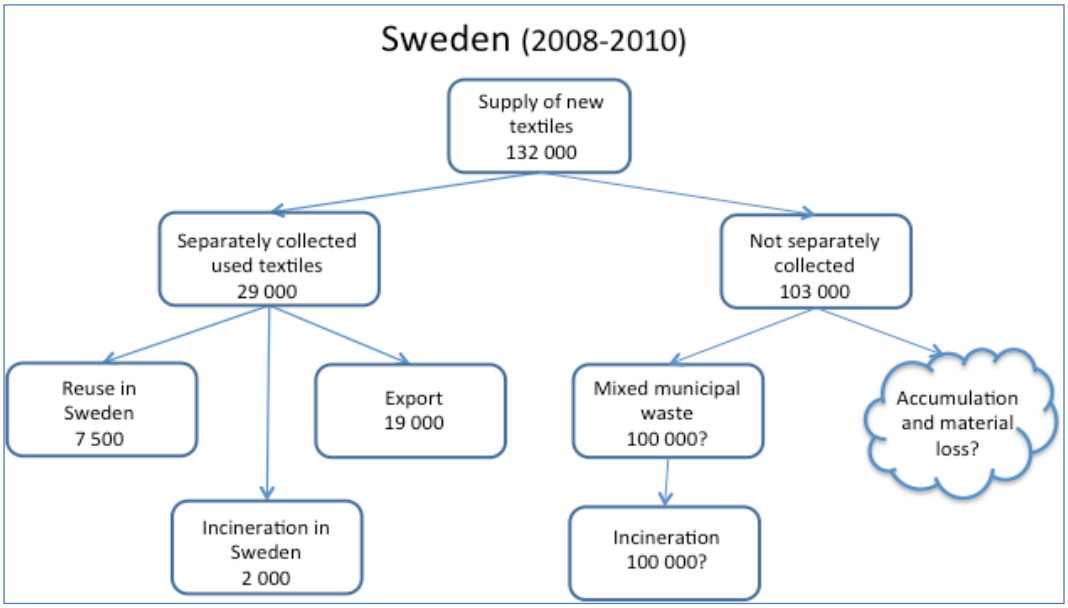
Studien utgår ifrån att den genomsnittliga fiberblandningen av kasserade textilier är densamma som fiberblandningen som sätts på de nordiska marknaderna. Detta har beräknats från uppgifter om import, export och inhemsk produktion av textilier som illustrerat på figur 25, men för de fyra nordiska länderna på en datanivå som ger information om fiberinnehållet.

Resultatet är följande beräknad genomsnittlig fiberblandning för textilier som samlas i de nordiska länderna:

- Bomull: 57 %
- Polyester: 34 %
- Ull: 4 %
- Annat: 5 %

Efter använding, samlas ungefär en tredjedel av textilier för återanvänding och återvinning medan resten är blandad textilavfall och eller textil blandad i restavfall som till största del går till förbränning med energiutvinning. Mycket av de blandade fraktionerna kan vara lämpliga för återanvändning och materialåtervinning.

23 Anders Schmidt, David Watson, Sandra Roos, Cecilia Askham & Pia Brunn Poulsen. Life Cycle Assessment (LCA) of different treatments for discarded textiles - Final report, March 2016.

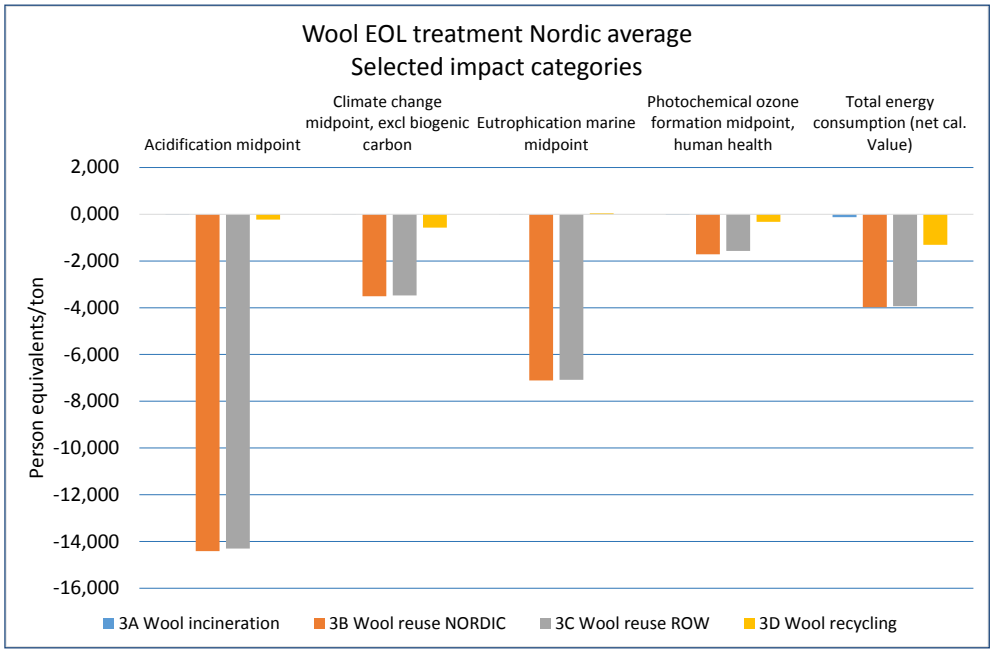


Figur 25 Källa: justerad från Palm et al (2014a). Observera att 2013 minskade försäljning av nya textilier till 121 tusen ton och återanvändning hade ökad till 8 600 ton, och export var i samma nivå (Elander et al, 2014). Ingen statistik finns för insamling av kläder för återanvändning och återvinning av externa aktörer.

Nedan resultat visar potentialen för olika resthanteringsvägar för kasserad textil. För enkelhetens skull har 1 kilo kasserad textil antagits ersätta 1 kilo nyproducerat textil i beräkning men resultat finns också för två alternativa scenarier med substitution 0.66 och 0.33 men slutsatserna gäller för alla alternativ.

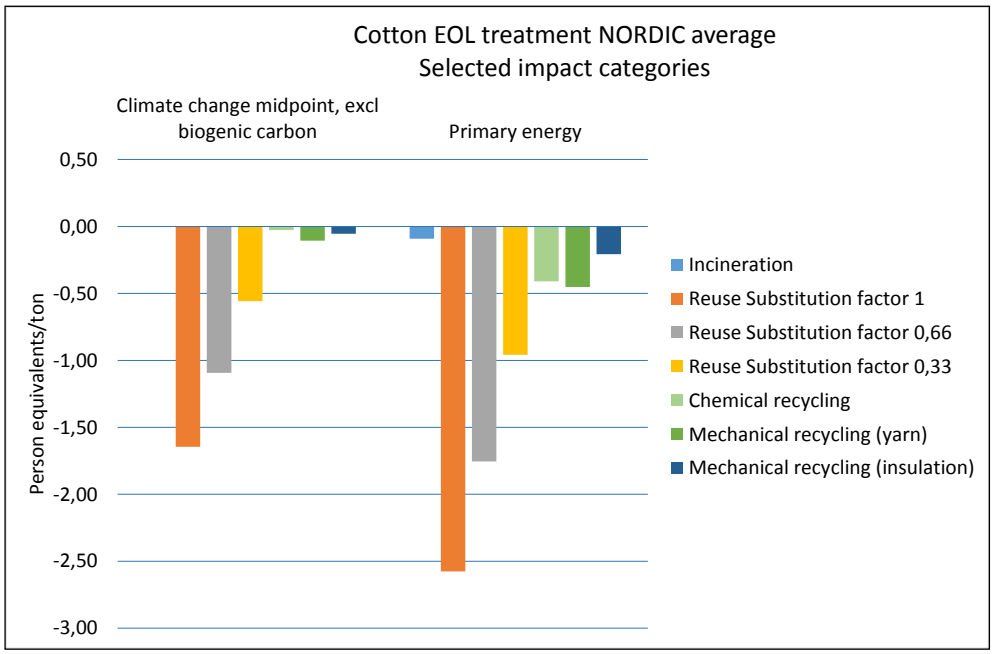
- Återanvändning, i Norden som i andra delar av världen, ger med roge den största miljövinsten jämfört med återvinning och förbränning.
- För alla fibrer och återvinningsmetoder som studerats, är återvinning ett bättre alternativ för miljön än förbränning, även om de relativa fördelarna är måttlig för vissa. Återvinning sker idag oftast mekanisk och utgörs av downcycling till en lägre kvalitet. Några kemiska fiber-till-fiber återvinningsprocesser finns under utveckling och kan potentiellt ge större fördelar i form av bättre kvalitet. Dock är datakvaliteten dålig, så resultaten är inte robusta.
- Användning och påverkan i samband med separat insamling, sortering och transport av textilier som de första stegen i återanvändning och energiåtervinning är relativt obetydliga för helheten.

- Ull är den fibersort där de största vinsterna nås per ton med återanvändning och återvinning. Tyvärr är inventeringsdata inte av god kvalite men potentialen är då hög att denna fibersort tjänar stor uppmärksamhet för framtida utveckling. Ull står för ungefär 4 % av textilfibrer på den Nordiska marknaden.
-

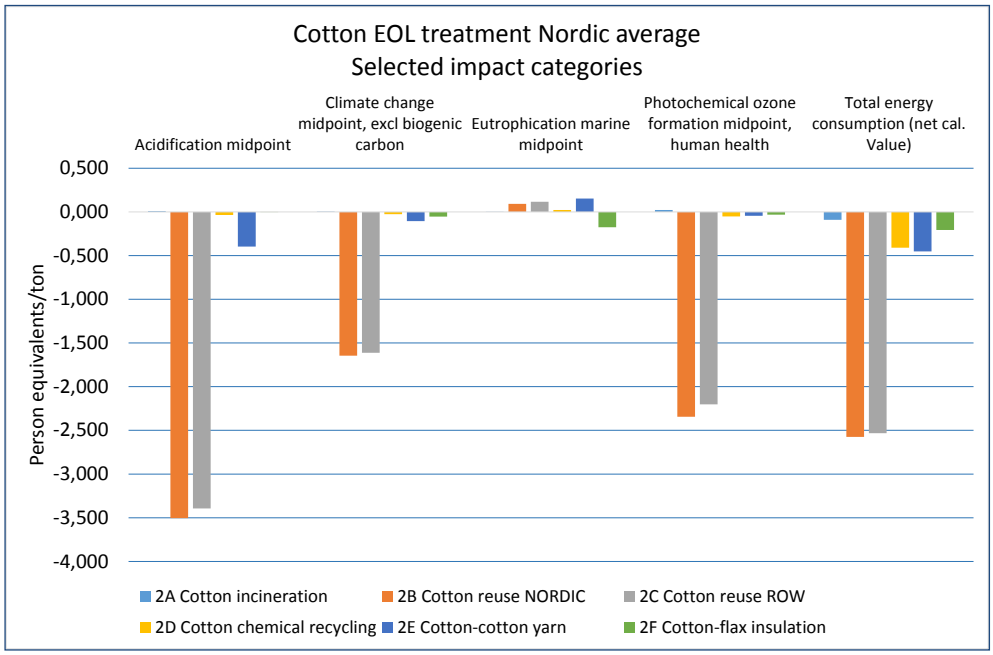


Figur 26 Miljöpåverkan och förbättringspotentialer från olika vägar för hantering av kasserad ull i Norden.

- Bomull har också micket hög potential för minnskad miljöpåverkan per ton, speciellt för återanvändning och bomull är den mest använda fibersorten för textil i Norden (57 % viktsprocent). Dock funkar mekanisk fiber-till-fiber bomullsåtervinning endast för textilier av 100 % bomull i nuläget och kan inte tillämpas på textilier av blandfiber som står för en stor del av textilier på marknaden.

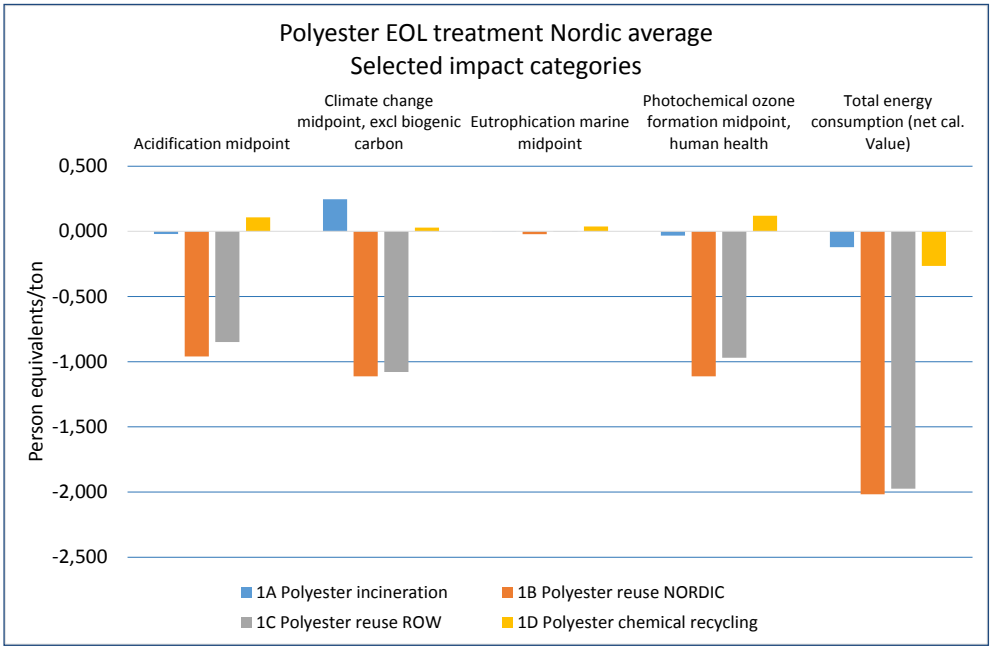


Figur 27 Miljöpåverkan och förbättringspotentialer från olika vägar för hantering av kasserad bomull i Norden.



Figur 28 Kännslighetsanalys för olika grader av utbyte för de olika vägarna för hantering av kasserad bomull; återanvänding, återvinning och förbränning.

- Polyester fibrer kommer nästan uteslutande från fossila råvaror. Därför ger återanvändning och återvinning stora förbättringar jämfört med förbränning, speciellt för klimatpåverkan. Förbättringspotential för andra miljöpåverkanskategorier är relativt små jämfört med bomull och ull. Men med tanke på den stora marknadsandelen som polyester har på marknaden i dag borde framtida insatser inte bortse ifrån de förbättringar som kan finnas, speciellt för återanvändning.



Figur 29 Miljöpåverkan och förbättringspotentialer från olika vägar för hantering av kasserad polyester i Norden.

- Många av de farliga kemikalier som kan finnas i textile produkter kommer fortfarande finnas i produkterna vid slutet av deras livscykel, även om de har tvättats många ganger.
- Förekomst av farliga samt ofarliga kemikalier kan störa i materialåtervinningsprocesserna eller begränsa användingsområden för den nya råvaran.
- Strategier för kasserade textilier måste överväga och ta hänsyn till den potentiella exponeringen för farliga kemikalier för människor och miljön från återanvända och återvunna material

Naturvårdsverkets förslag om hantering av textilier

Förslaget[24] innehåller ett paket av åtgärder och styrmedel som riktar sig till alla delar av textilhanteringen från produktion till konsumtion och avfallshantering och gärna ska införas samordnat för störst effekt. Ett lagkrav på utsortering av textilt avfall som kan genomföras antingen med ett utsorkeringskrav i avfallasförordningen eller med ny förordning om producentansvar.

Naturvårdsverket föreslår också att följande nya etappmål för en hållbar hantering av textilavfall införs, antingen i miljömålssystemet eller i en ny förordning om producentansvar:

- Till år 2025 ska mängden textilavfall i restavfallet minska med 60 procent gentemot basår 2015.
- År 2025 ska 90 procent av separat insamlat textilavfall förberedas för återanvändning eller materialåtervinnas. Avfallshierarkin ska tillämpas och materialåtervinning ska i första hand ske i form av återvinning till nya textilier.

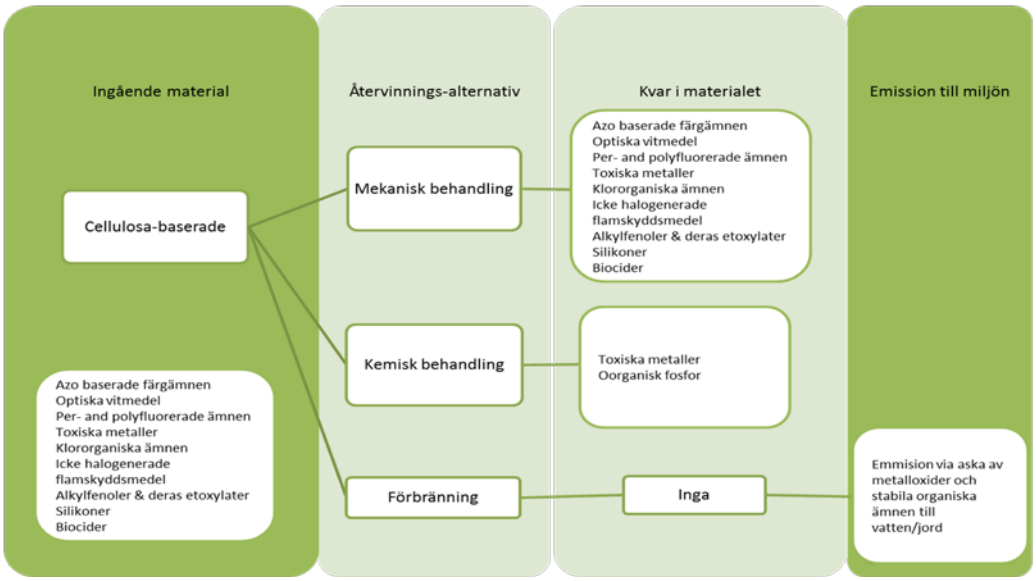
En minskning i restavfallet med 60 procent gentemot basår 2015 innebär att mängden textilavfall i restavfallet får uppgå till max 3 kilo per person år 2025. De två målen kompletterar varandra.

Testmetoder för giftfritt kretslopp

Inom Från Spill till guld projektet har en studie på lämpliga testmetoder för sekundär textilråvara och matchning mot identifierade hälso- och miljöfarliga kemikalier i cellulosabaserade textilier utförts. Upplägget togs fram utifrån den teoretiska modellen, se figur 29 med målet att kunna verifiera den.

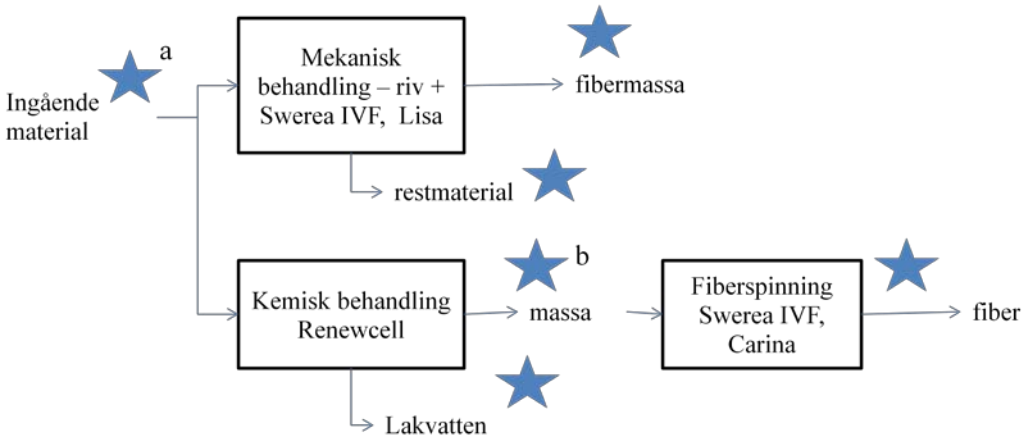
[24] http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/Slutrapport.pdf

Olika kemikalier som förekommer i cellulosa och deras möjliga påverkan av relevanta återvinningssteg.



Figur 30 Christina Jönsson, 2015. Presenteras i "Textilåtervinning - Tekniska möjligheter och utmaningar".

Fallstudier för återvinning av cellulosa utfördes i projektet som var lämpliga fall även för att studera kemikalier igenom processerna. Figur 30 visar testupplägget.



Figur 31 Upplägg för kontroll av förekomst av kemikalier igenom återvinning av cellulosamaterial. Stjärnorna markerar testtillfällen.

Några kemikalietester för kontroll av hälsofarliga ämnen valdes ut och utfördes på Swereas textillabb:

- APEO och alkylphenoler

- Fri anilin, som indikation på cancerogena arylaminer, en nedbrytningsprodukt från förekommande kemikalier (azofärgämnen) för infärgning av jeans.
- Screening av organisak föreningar.

5 olika material testades, se tabell nedan, där prov togs från ingående material (a på figur 29) och massa efter avfärgning och kemisk behandling (b på figur 30).

1	Pre-consumer cotton	100 % Denim, blått
2	Post-consumer cotton	Denim blandat, blått
3	Pre-consumer modal	Vit
4	Pre-consumer tencel	Svart
5	Cotton	Shirt - light blue

Första resultat visade:

- **APEO and alkylphenoler**

  Under detectionsgräns

- **Fri anilin**

  Hittades i 1a – inte 1b, samt i liten mängd i 2a men inte 2b.

  Bryts ner eller hamnar i lakvatten.

- **GC-MS screening of organic compounds**

  Några intressanta ämnen fanns i tyger före upplösning som sedan inte återfanns efter den. Bryts ner eller hamnar i lakvatten.

Vidare analys och tolkning av resultaten kommer att utföras i samverkan med påföljande projekt. Speciellt studie om färgning och ytbehandlingars påverkan på återvinningsmöjligheter och processer inom Mistra Future Fashion.

För att få ett statistiskt representativt underlag för beslut måste mätningarna skalas upp och effektiviseras.

Liknande tester utfördes också på PA6, PA6.6 material inom tidigare nämnda examensarbeten vår 2015, 2016.

Slutsatser

Det är mycket viktigt att arbeta strategiskt och aktivt med förbättringar uppströms i leverantörskedjan för att minska den negativa påverkan. Samtidigt finns det stor möjlighet att minska den negativa påverkan genom att optimera textiliernas funktionella livslängd, samt genom återanvändning och materialåtervinning. Genom framförallt materialåtervinning ökar också möjligheter att säkra råvaru-resurser inom EU för de företag som funderar över att ta hem produktion till europa.

Syfte och mål – Uppfyllelse

Huvudsyftet med arbetet var att främja ökad återvinning av textilt spill utan ökad spridning av giftiga ämnen samt minskad kvalitet. Arbetet har till stor del utförts genom fallstudier men även genom att bidra till myndighetsdialog, underlag till myndigheter och företag samt att skapa nya relevanta forskningsstudier.

Målet i arbetspaket 3 Textil var att fram ett kvalificerat underlag för ökad användning av giftfri återvunnen textilråvara genom att studera och beskriva kunskapsläget samt ta fram ny kunskap och driva en aktiv dialog med relevanta aktörer inom fyra fokusområden:

1. Spårbarhet
2. Minskning av spill
3. Teknikutveckling för återvinning av textil
4. Återvinning på den svenska marknaden

Målet har väl uppfyllts och projektet har bidragit till ökad kunskap om möjligheter för ökad användning av giftfri återvunnen textilråvara. Framförallt har fallstudier genererat detaljerad förståelse för vilka specifika utmaningar som är kopplat till olika textila material och fiberslag. Vidare har behandling av tyger såsom infärgning och ytbehandling studerats i avseende att se dess inverkan på återvinningsprocesser.

Resultat och förväntade effekter

Projektet kommer inte kunna leverera en eliminering av textilt pre- eller post-konsument spill som idag förbränns eller deponeras men projektet och dess partners har visat på hur viktigt det är att har en hög kunskap. Vidare har projektet identifierat nyckel information för lyckad återvinning alternativt utsortering för att uppnå det nationella effektmålet *Giftfria resurseffektiva kretslopp.*

Projektet har uppmärksammats så att de erfarenheter och kunskaper kunnat spridas effektivt. Inom arbetet med textil har detta skett till Kemikaliegruppen medlemmar (över 100 nordiska textilföretag) och Nätverket för Ekodesign men även genom väl valda aktiviteter, exempelvis:

- Avfallskonferensen
- Forskar fredag
- Recycling dagen
- Industriexempel till Swerea's externa marknadsföring

Ett antal fallstudier och återvinningsförsök har genomförts med de deltagande företagen som komplement till kartläggning som utförts för existerande återvinningstekniker. Under dessa arbeten har viktiga kriterier identifierats för att generera högkvalitativ återvunnen råvara. Dessa fallstudier och labbtester har utförts med flera material på Swerea IVF tillsammans med Fjällräven med leverantören WRSD i Sverige/Pepwing i Kina, Filippa K och leverantörer i Kina samt Italien (Reverso), Boob med leverantörer i Slovenien (Aquafil) och Italien (Fulgar), Gudrun Sjöden och Re:Newcell. Under perioden har fallstudier på syntetiska material främst skett med nedsmältning och smältspinning eller formsprutning samt genom polymerisering för syntet material. Arbetet med teknikutveckling för regenerering av biobaserat material såsom bomullsfibrer har fortskridit i samverkan med Re:Newcell.

Resultat av fallstudierna har gett tydlig information om möjligheter och utmaningar för olika textila material att återvinnas till ett högvärdigt material. Vidare har kartläggning av vilka återvinningsprocesser kopplat till olika material som finns i kommersiellt bruk och vilka som är på relativt låg TRL-nivå. Vidare har projektet identifierat grupper av textilier ej lämpade för återvinning samt tagit fram en teoretisk modell för potentiell spridning av kemikalier genom återvinningsprocesser för olika materialströmmar.

Genomförda fallstudier har bland annat genererat följande resultat:

- Polyester kan smältspinnas med goda resultat till nya fibrer.
- Polyester med polyuretan som ytbehandling kan depolymeriseras så att ren polyester kan utvinnas.
- Polyamid med elastan kan behöva förbehandlas för att kunna spinnas till ny fiber.
- Polyamid med elastan kan smältas och formsprutas till komponent med hög kvalitet.
- Cellulosa kan våtspinnas i ny miljövänligare process till viskosliknande material.
- Avfärgning kan ske av cellulosa baserade material i syfte att hantera post-konsument strömmar.

Under projektets gång har dialog även drivits med myndigheter, främst Naturvårdsverket, Kemikalieinspektionen och inom nordiskt samarbete, kring textilåtervinning i flera sammanhang.

Samverkan med andra pågående projekt har också skett under projekttiden, inte minst Mistra Future Fashion där en avfärgningsstudie av cellulosa genomförts under 2016. Spill till guld har på detta sätt gett möjlighet till inspel till pågående aktiviteter och även lett till nya projekt. Exempel på detta är en studie för MST (Danska miljöstyrelsen) kring märkning och/eller deklaration av kemikalier i textilier i syfte att hantera farliga kemikalier bättre på konsumentnivå samt vid resthantering. Ett annat är det beviljade projektet Re:Mix inom Resource som ska arbeta vidare med att studera möjlig återvinning av blandningar av polyamid och elastan.

Tre examensarbete har även utförts inom projektet med studenter på Borås Textilhögskola tillsammans med Swerea IVF på temat minskning av spill och möjlig materialåtervinning av konsumentplagg baserade på jungfruligt samt återvunnet material ihop med de Swegmark och Boob design. Ytterligare ett examensarbete har planerats som sedan kommer utföras inom ramar av påföljande projektet Re:mix.

Under arbetet har även spårbarhet studerats i form av hur man arbetar på de olika fabrikerna samt vilken information som överförs mellan fabriker. Detta arbete har genomförts med aktörer i Kina men också under studieresan till Italien och Slovenien.

Arbetet har utförts i tätt samverkan och dialog med parter från textilbranchen: BOOB, Filippa K, Gudrun Sjöden, Fjällräven och WRSD, Swegmarks, Ragnsells, Re:Newcell, och medlemmar i Kemikaliegruppen på Swerea IVF. Den samlade effekten av projektets och parallella aktiviteter inom området har gjort att allt fler textilföretag tar nu stora steg mot mer cirkulära flöden. Intresset har ökat och kunskapsnivån höjts.

Projektet visar att material specifik kunskap och teknik är det viktigaste steget mot ökad återvinning av industriella restprodukter. Detta är således en förutsättning för att den sekundära råvaran ska ha ett tillräckligt värde och ändamålsenlig kvalitet. Dessa specifika aspekter kommer att studeras vidare inom efterpåföljande projekt, exempelvis Re:Mix inom Sip Resource och Mistra Future Fashion.

Referenser

Commission of the European Communities (2007) Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/reach/legislation

Globally Harmonization System of Classification and Labelling of Chemicals, Forth revised version. UN (2011), http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/English/ST-SG-AC10-30-Rev4e.pdf

Hellström, E. och Ronsten, F. (2015) Från spill till produkt – Mekanisk återvinning av Polyamid 6 och Lycra®. Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen med huvudområde Textilteknologi 2015-05-20. Textilhögskolan i Borås Rapport nr 2015.2.11.

Jemt Gardell, E. och Racklin, H. (2016). Från plagg till plagg – Termomekanisk återvinning av polyamid 6.6 och elastan. Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen med huvudområde Textilteknologi 2015-05-20. Textilhögskolan i Borås Rapport nr 2016.2.02.

Leyh, C., Krischke, A. and Strahringer, S. (2011) Sustainability Management within Selected Large-scale Enterprises in Germany. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, CONFENIS 2011, October 16 - 18, Aalborg, Denmark. Pdf: https://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_wirtschaftswissenschaften/wi/isih/isih_team/pdfs_team/sustainability-management_leyh

Leyh, C., Rossetto, M. and Demez, M. (2014). Sustainability management and its software support in selected Italian enterprises. Computers in Industry, Vol. 65, No. 3, pp. 386-392.

Marklund, I. och Númadóttir, I. (2015)Textil spillreducering inom konfektionsindustrin – en fallstudie. Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen med huvudområde Textilteknologi 2015-06-02. Textilhögskolan i Borås Rapport nr 2015.2.10

Munn, K., The Chemicals in Products Project: Case Study of the Textiles Sector prepared byUnited Nations Environment Program DTIE / Chemicals Branch. (2011) Geneva, Switzerland.

Naturvårdsverket, 2016. Regeringsuppdrag om hantering av textilier och uppdragsrapporter för underlag. http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Hantering-av-textilier/

Roos, S, “Towards Sustainable Use of Chemicals in the Textile Industry: How life cycle assessment can contribute” (2015) Licentiate thesis. Technical report no 2015:01, ISSN: 1652-943X . Chalmers University of Technology. Sweden.

Schmidt, A., Watson D., Roos S., Askham, C. and Brunn Poulsen, P. (2016) Life Cycle Assessment (LCA) of different treatments for discarded textiles - Final report, March.

Swedish Chemical Agency “Chemicals in textiles – report of a Government Commission” (1997), Sundbyberg, Sweden. Report: 5/1997.

Swedish Chemical Agency (2012) “Bättre EU-regler för en giftfri miljö: rapport från ett regeringsuppdrag, Sundbyberg, Sverige. Rapport: 1/12.

Swedish Chemical Agency (2013) “Hazardous Chemicals in Textiles: report of a government assignment”. (Report: 3/13)

Swedish Chemical Agency (2014) ”Chemicals in textiles – Risks to human health and the environment: Report from a government assignment”, Report: 6/14.

Östlund, Å., Wedin, H., Bolin, L., Berlin, J., Jönsson, C., Posner, S., Smuk, L., Eriksson, M. och Sandin Albertsson, G. (2015) ”Textilåtervinning - Tekniska möjligheter och utmaningar”, på uppdrag för Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen.

Appendix

Legala krav kring textilier

There are legislations that regulate a number of consumer products in general. However, there is currently no specific EU legislation that comprehensively regulates hazardous substances in textiles. The legal schemes that do cover textile products and that the authors find relevant for this study are briefly described below:

- REACH
  - Regulates certain chemical as such and mixtures but also chemicals in articles with certain harmonized hazard properties according to CLP. In case they regulate in products, the relevant product group are identified and described at ECHA's homepage (www.echa.eu). Lists of CAS numbers related to the restriction and regulation can be found in annexes to REACH.
    - Annex XIV –authorization (SVHC) –hazard based , that is not application specific.
    - Annex XVII – restriction –risk based
      - Restrictions are based high risk normal foreseeable uses that include textile uses and applications.
- EU POP (Persistent Organic Pollutants) Regulation
  - Regulates and restricts production and use of vPvBT-chemicals that have been assessed and consolidated as POPs. The POP regulation is endorsed by the legally binding commitment from the Stockholm Convention (UNEP). So far focus has been on a few chemicals of concern, where use in textiles is mainly represented by:
    - PFOS and PFOA and their related chemicals
    - Certain brominated flame retardants
    - Short chain chloroparaffins.
- Biocide Product Regulation
  - Provides a positive list of approved biocides for different user categories of products, where textiles are mainly described in Product type 9 (PT 9).
- General Product Safety Directive
  - Focus on article safety where hazardous chemicals may be the cause to diminish required safety aspects. This directive does not list certain chemicals but rather chemicals with specific hazard properties that may jeopardize article safety.

Questions for OIA & EOG

Recycling and reuse of textiles are high up on the agenda today both for agencies and textile producers. Also consumers are more aware of the environmental impact of textiles leading to detailed questions around textiles and increased

second hand markets. The initiatives are on national as well as on international level.

In relation to this trend we would like to take the opportunity to discuss recycling/reuse of textiles within this forum. Some of the topics for discussions are:

1. Recycled raw material
    a. Do you see the need to use recycled material?
    b. Do you use any recycled materials today?
    c. Which type of recycled raw materials is then used?
    d. Please indicate the origin of these materials?
    e. If you use recycled materials please describe how your quality control of theses recycled raw materials up stream?
    f. Do you communicate for instance your RSL to the recyclate supplier?
2. Reduction of textile waste
    a. Do you work actively on reducing waste in the value chain of your product?
    b. Who gains from such activities?
    c. If yes, please describe your current activities.
3. “Take back”
    a. Do you have any “take back” system for old garments?
    b. Who gains from such activities?
    c. Where do these old garments destinate?
    d. Are there places (in Europe, in the US or in the far East) were such logistic systems are more advanced?