

Datum
Januari 2020
Upprättad av
Ange namn

Diarienummer
Diarienummer

Återvinning av polyester

Karin Lindqvist och Hanna de la Motte

Innehåll

SAMMANFATTNING	3
1 INTRODUKTION	4
2. Grundläggande begrepp för återvinning av PET och polyester.....	5
.....	5
3. Volymer och efterfrågan	7
4. Nuläge för återvinning av PET	9
4.1 Insamling och sortering av plastförpackningar.....	9
4.2 Sortering av PET-förpackningar.....	11
4.3 Återvinning av Flaskor.....	13
4.4 Återvinning av övriga PET förpackningar	17
4.5 Utvecklingen inom mekanisk och kemisk återvinning	21
5. Nuläge för återvinning av polyester	23
5.1 Introduktion	23
5.2 Sorteringsanläggningar	25
5.3 Vad händer efter sortering?	27
5.3.1 Mekanisk återvinning.....	27
5.3.2 Kemisk återvinning.....	28
5.3.3 Cellulosabaserad textilåtervinning.....	31
5.4 Återvinning av textil med fokus på polyester – framtidspotential.....	32
5.4.1 Resultat från projekt på RISE	33
5.5 Behov av forskning och finansiering.....	43
APPENDIX 1.....	47

SAMMANFATTNING

Följande rapport är skriven utifrån en beställning från delegationen för Cirkulär ekonomi/Tillväxtverket, med målet att ge underlag för kunskapsuppbyggnad om återvinning av polyester. Fokus för rapporten är återvinning av polyester, men eftersom denna typ av syntetisk fiber som är vanlig i textil, tillverkas av polymeren PET kommer återvinningen av PET i form av plast också att behöva adresseras för att uppnå syftet med arbetet.

Följande områden och frågeställningar adresseras i rapporten:

- grundläggande begrepp för PET och polyester, egenskaper, volymer etc
- nuläge för återvinning av PET och polyester
- så här fungerar återvinningen för textil och plast (fokus på polyester och PET)
- dagens hinder/ problem
- framtidspotential:
- utveckling inom mekanisk och kemisk återvinning
- resultat från återvinningsprojekt på RISE och i omvärlden
- behov av ytterligare forskning och finansiering

Sammanställning av data och resultat från kartläggningar (främst Sverige men även internationellt perspektiv) och rapporter från nyligen avslutade eller pågående projekt på RISE finns med som underlag.

För frågor eller vidare användning av bilder från rapporten, kontakta författarna.

Karin Lindqvist; e-post: karin.lindqvist@ri.se

Hanna de la Motte; e-post: hanna.delamotte@ri.se

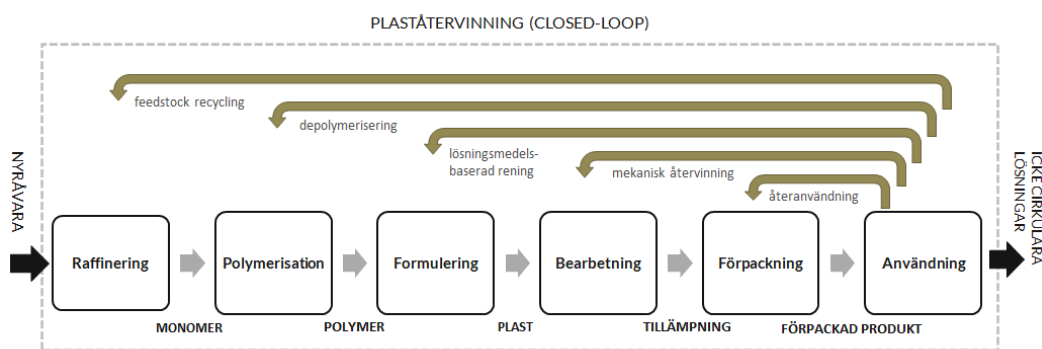
1 INTRODUKTION

Polyetentereftalat, allmänt förkortat PET, är sett ur världsvid produktionsvolym, den tredje vanligaste plasten efter polyeten och polypropen. Den största andelen av all PET som produceras, ca 60%, används för att tillverka polyesterfibrer för olika typer av textila applikationer medan ca 30% används för produktion av flaskor, och resterande 10% för andra tillämpningar som till exempel konstruktionsplast. PET används oftast för att beteckna plasten i flaskor och förpackningar medan polyester främst används för att beteckna textila produkter. Detta är dock inte entydigt men det handlar i de allra flesta fall om samma polymera material, med samma kemiska uppbyggnad även om det finns mindre mängder tillsatssämnen som förekommer i flaskor men inte i fibrer, eller tvärtom. Polyester som beteckning förekommer också inom framställning av kompositer med glasfiber, som används tex i plastbåtar, men då är det frågan om en annan kemisk struktur.

Polyester, som i textilindustrin allmänt förkortas PES, är alltså en syntetisk polymer som tillverkas av fossilbaserade råvaror, främst monomeren tereftalsyra (TPA) och monoetylenglykol (MEG). Det finns PET producenter som marknadsför bio-PET där den ingående råvaran MEG är biobaserad. Volymen av biobaserad PET som produceras är väldigt liten jämfört med all PET. Totalt är 0,6% av all plast som produceras biobaserad. Samma siffra bör gälla för PET. Forskning pågår för att ta fram 100% biobaserad PET.

Eftersom PET och polyester är utbytbara beteckningar för samma polymer innebär detta att för att adressera frågan om återvinning av polyester kommer även återvinning av PET att behöva beskrivas. I denna rapport beskrivs därför både PET med inriktning mot förpackningar och dess återvinning, och polyester med inriktning mot textil och återvinning, i olika avsnitt.

2. Grundläggande begrepp för återvinning av PET och polyester



Figur 1. Sambandet mellan linjär och cirkulär användning, dvs återvinning, av oljebaserad råvara för plastproduktion

Figur 1 används som utgångspunkt för att förklara och placera ett antal grundläggande begrepp som kommer att användas i rapporten ¹.

Polyetentereftalat – PET är förkortningen för en specifik typ av polyesterpolymer som är mycket vanlig i flaskor och förpackningar. Den används också för att göra textilfibrer.

Polyester – ofta förkortat PES, i alla fall i textila sammanhang, är en syntetisk fiber baserad på polymeren polyetentereftalat. Det finns också polyestrar som inte är baserade på PET utan en kemisk variant av samma typ av polymer. Varianterna tillverkas i liten volym (tex PTT och PBT) och är betydligt dyrare men har vissa speciella egenskaper, tex högre elasticitet.

Mekanisk återvinning innebär att plastdetaljer *sönderdelas* med hjälp av shredder (engelska namnet på en stor kvarn, bitarna blir 10–20 cm stora) eller kvarn (sönderdelar i mindre bitar 0,5– ca 5cm) och *smälts* i processutrustning, oftast en extruder, som trycker ut plasten i två strängar som sedan skärs i 3–4 mm långa bitar, s.k. pellets, även kallat granulat. Som figur 1 visar är mekanisk återvinning det första alternativ som bör väljas efter återanvändning, främst pga. att denna metod kräver mindre energi än kemisk återvinning.

Kemisk återvinning är ett brett begrepp som beroende på situation kan inkludera olika processer. I figur 1 inkluderar kemisk återvinning looparna med beteckningarna "solvent-based purification", "depolymerisation" och "feedstock recycling". Kemisk återvinning används ofta för att beteckna processerna

¹ (<https://www.johannebergsciencepark.com/sites/default/files/Kemisk%20%C3%A5tervinning%20av%20plastavfall%20Rapport%20190701.pdf>)

förgasning, pyrolys och solvolys.

Solvent-based purification innebär att man kan rena plast med lösningsmedel för att återvinna den. Detta är ingen vanlig eller storskalig metod.

Depolymerisering eller solvolys innebär en kemisk reaktion av plastens långa molekyler som delar dessa i de ursprungliga byggstenarna. Dessa kemiska reaktioner kan ha olika namn beroende på vilket *lösningsmedel* (vatten eller någon typ av alkohol) som används. Depolymerisering fungerar för vissa speciella plaster så som: polyetentereftalat (PET), polyamid (PA), polykarbonat (PC), polyuretan (PU) och polylactic acid (PLA).

Feedstock recycling är ett svengelsk begrepp för kemisk återvinning, oftast syftar begreppet på processerna förgasning, pyrolys och solvolys.

Förgasning är en återvinningsmetod av plast som kräver mycket hög temperatur (800-900°C) och som sönderdelar plast ned till grundämnena kol, väte och syre (inte önskvärt) så att dessa finns i gasfas. Förgasning innebär att man kan behandla blandat plastavfall och producera ny plast av detta.

Pyrolys är en återvinningsmetod som innebär att plasten upphettas (400-500°C) och sönderdelas så att man får en andel vätska och en andel gas. Vätskan kan användas som bränsle (pyrolysolja) och gasen kan delas upp och utgöra byggstenar för ny plast. Denna metod passar bäst för plaster som polyeten och polypropen

Uppgradering är ett begrepp inom återvinning som innebär att kvalitén på den återvunna plasten återställs eller förbättras. Detta görs tex genom att smälta plasten och filtrera bort föroreningar (sk. smältfiltrering). Uppgradering kan också åstadkommas genom att till den smälta plasten tillsätta stabilisatorer som skyddar mot ljus eller värme.

Downcycling är ett svengelsk ord som betyder nedgradering, och innebär motsatsen till uppgradering. En återvunnen plast har ofta lägre kvalitet än nyråvara, beroende på tex nedbrytning under användningsfasen eller nedsmutsning under insamlingsfasen. Att plasten beskrivs som nedgraderas eller "downcyclad" innebär, i allmänhet, att den bara kan användas till produkter med lägre värde än den ursprungliga användningen.

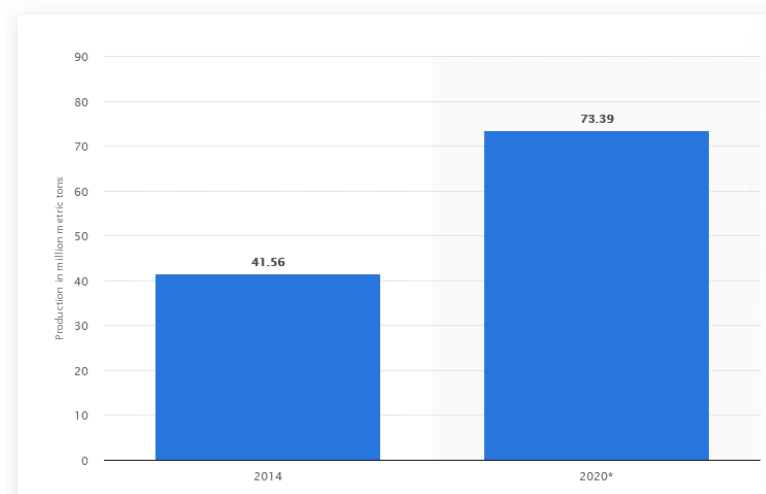
Smältfiltrering används ofta i samband med mekanisk återvinning och innebär att plasten smälts och pressas genom ett filter för att ta bort föroreningar. Det fungerar i praktiken bara vid låga mängden föroreningar dvs < 3%. Smältfiltrering fungerar oftast inte för återvinning av PET på grund av dess höga smälttemperatur, som gör att många föroreningar tex papper från etiketter, vid denna temperatur, har förkolnat.

Kedjeförlängning innebär att man tillsätter ett ämne till smält plast för att göra molekylerna längre under uppvärmning, dvs då plasten är smält. Detta används ibland vid mekanisk återvinning av PET och vissa andra plaster

3. Volymer och efterfrågan

Figur 2 visar den förväntade globala efterfrågan på PET år 2020 jämfört med 2014, där volymen alltså år 2020 uppgår till drygt 73 miljoner ton². I Europa förväntades användning av 30,3 miljoner PET under 2019³. Figur 2 visar den globala produktionen av PET år 2016 fördelad på olika segment. Den totala volymen uppgick till nästan 77 miljoner ton.

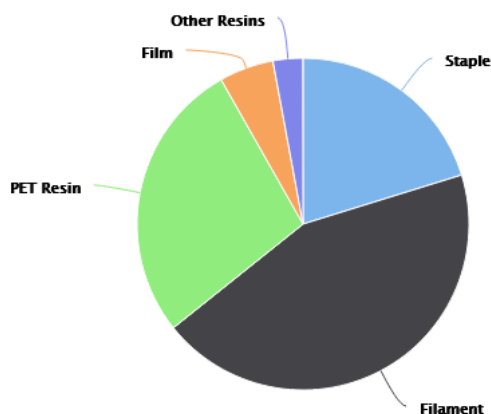
(in million metric tons)



Figur 2. Förväntad global efterfrågan av PET år 2020 jämfört med år 2014.

Global Production of Polyester – 2016

Production Capacity – 76.66 million tons



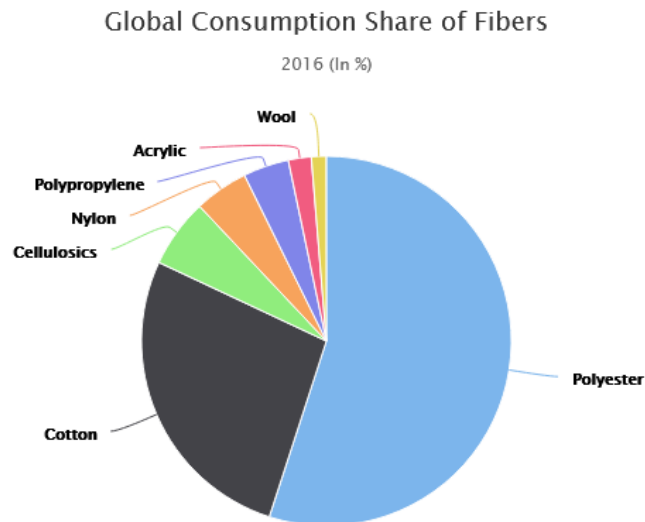
Figur 3⁴ Global produktion av PET år 2016.

² <https://www.statista.com/statistics/1128658/polyethylene-terephthalate-demand-worldwide/>

³ Plastic insights (2019), Polyethylene Terephthalate (PET): Production, Price, Market and its Properties. Available from: <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyester/> ; 20-12-11

⁴ <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyethylene-terephthalate/> (20-12-11)

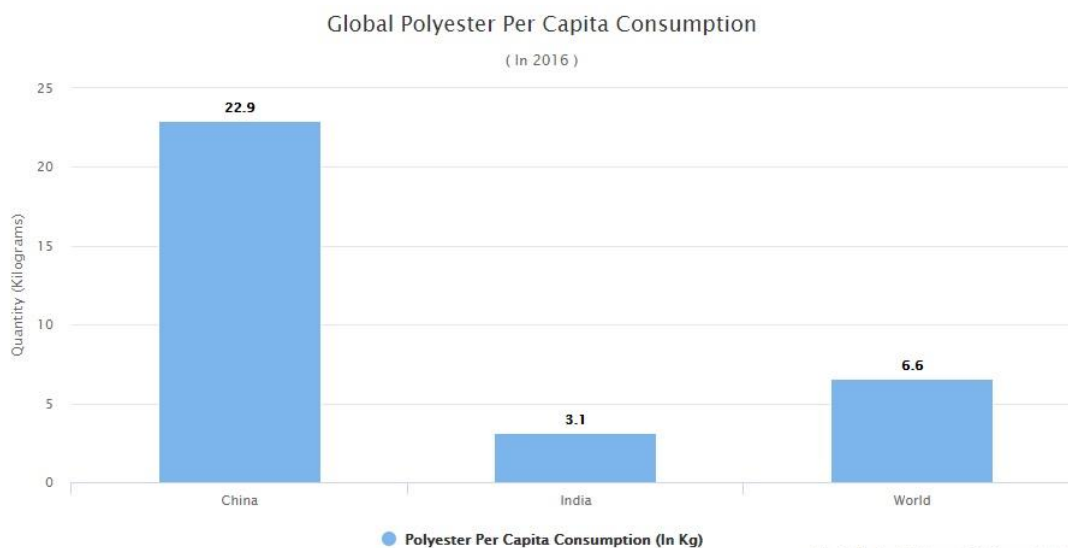
”Staple” och ”filament” i figur 3 avser två olika produktionsprocesser för polyesterfibrer varav stapelfibrer (20,2%) kardas och används för att spinna garn eller blandas med andra fibrer och filament (44%) oftast blir 100% textila polyesterprodukter för konsument eller industritillämpningar.



Figur 4⁵ Global konsumtion och fördelning av olika typer av fibrer.

Figur 4 visar den globala konsumtionen av olika typer av fibrer, både syntetiska och biobaserade. Polyester utgör den största andelen, 55% av den globala marknaden, följt av bomull som utgör 27%. Dessa konkurrerar i viss mån med varandra och polyester är billigare, starkare, lätt att processa och skrynkelfri. Blandningar av polyester och bomull, även kallat ”polycotton” är mycket populärt för textil till kläder eftersom det har något av bomullens komfort men samtidigt polyesterns slitstyrka.

⁵ <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyethylene-terephthalate/> (20-12-11)



Figur 56 Global konsumtion av polyesterår 2016, i genomsnitt, i Kina och Indien jämfört med övriga världen.

Figur 5 visar att den globala konsumtionen av polyester i genomsnitt var 6,6 kg /person år 2016, medan den i Kina uppgick till 22,9 kg/person (4). Kina och Indien har väsentligt ökat sin konsumtion på senare år, bland annat av följande skäl:

- Ökat antal företag som tillverkar textil för kläder, industri, mattor mm
- Ökad produktion för golv och möbler
- Ökad ekonomisk tillväxt och ökade inkomster hos konsumenter
- Hög befolkningstillväxt och urbanisering

4. Nuläge för återvinning av PET

Detta avsnitt fokuserar på återvinning av PET förpackningar och beskriver nuläget. Beskrivningen av insamling och sortering av plastförpackningar utfördes av Einar Ahlström på FTI AB, som en del av projektet "Kemiskt återvunnen PET och polyester som råvara för additiv och ny polymer" (5) som pågick från juni 2018 till juni 2020.

4.1 Insamling och sortering av plastförpackningar

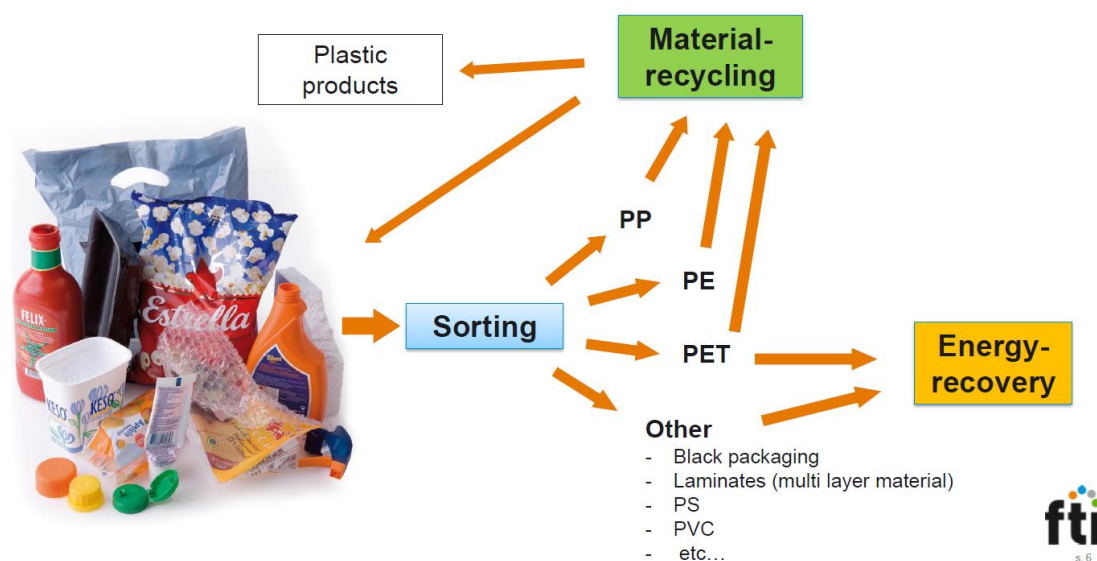
I Sverige gäller producentansvar på förpackningar. Det innebär att det är de aktörer som sätter förpackningar på marknaden som också har ansvar för att dessa förpackningar samlas in och materialåtervinns efter användning. Producentansvaret för förpackningar regleras genom förordningen SFS 2018:1462, som beskriver vilka skyldigheter man har som producent. En

⁶ <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyethylene-terephthalate/> (20-12-11)

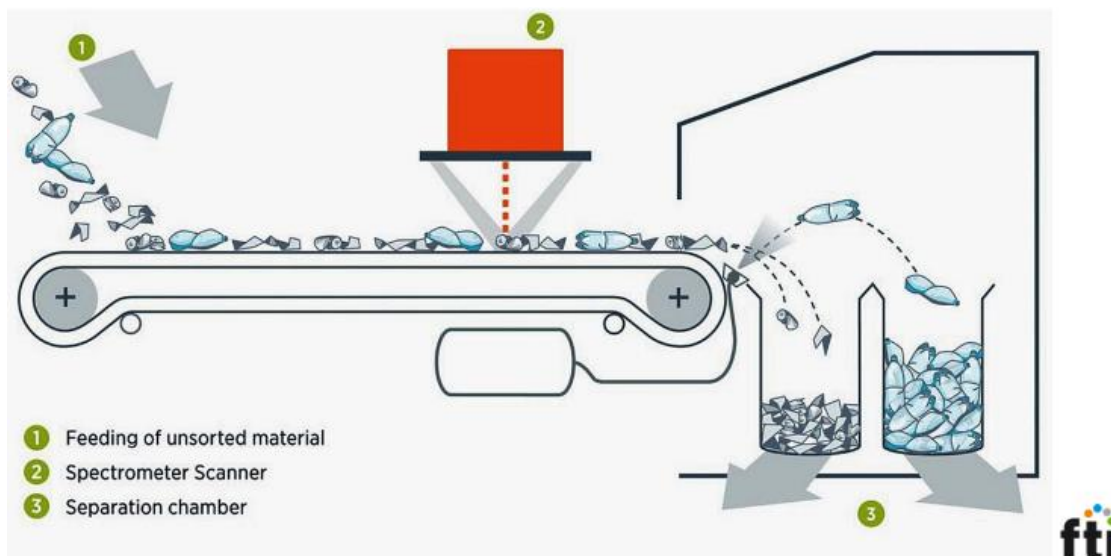
producent är i lagens mening den aktör som fyller en förpackning eller importerar en redan färdigförpackad vara.

FTI, förpacknings- och tidningsinsamlingen, är ett serviceföretag som tillhandahåller tjänster för att man som producent ska kunna uppfylla sitt producentansvar. FTI driver bland annat ett nationellt insamlingsystem för konsumentförpackningar, baserat på återvinningsstationer (ÅVS) och fastighetsnära insamling (FNI).

De plastförpackningar som FTI samlar in skickas via lokala balningsanläggningar till Svensk Plaståtervinnings sorteringsanläggning i Motala. Här sorteras plastförpackningarna i olika fraktioner baserat på vilken plasttyp förpackningen är tillverkad av. De sorterade fraktionerna skickas sedan vidare till andra aktörer som bearbetar och förädlar förpackningarna till granulat eller pellets som kan användas för att tillverka nya plastprodukter eller förpackningar. De plastförpackningar som av olika anledningar inte kan sorteras eller materialåtervinnas, eller där efterfrågan på återvunnet material är för låg, hamnar i den så kallade rejeckfraktionen. Denna fraktion går till energiutvinning genom förbränning.



Figur 6: De plastförpackningar som källsorterats av konsumenten samlas in av FTI och skickas till en sorteringsanläggning som sorterar ut de plastförpackningar som kan materialåtervinnas mekaniskt. De andra plastförpackningarna skickas till energiutvinning.



Figur 7: Källsorterade plastförpackningar sorteras automatiskt efter att de identifierats med hjälp av NIR-scanning.

	Sortering	Behandling	Köpare
LDPE-film	✓	✓	✓
PP	✓	✓	✓
HDPE	✓	✓	✓
PET-tråg	✓	✓	Begränsad marknad
PET-flaskor*	✓	✓	✓
PP-film	✓	✓	Begränsad marknad
Övrig film	✓	✓	Begränsad marknad
PVC	✓	✓	Begränsad marknad
PS	✓	För liten mängd	-
EPS	✓	För liten mängd	-
PLA	✓	Teknik saknas	-
OXO nedbrytbar	Teknik saknas	Teknik saknas	-

Tabellen visar vilka förpackningsplaster som är bäst ur ett återvinningsperspektiv. Tre "bockar" betyder att förpackningen är tillverkad av ett material som fungerar genom hela återvinningsprocessen.

*Material från färglösa PET-flaskor (t.ex. matolja- eller diskmedelsflaskor) har en marknad, och kan därmed betraktas som återvinningsbara, till skillnad från PET-tråg och infärgade PET-flaskor.

Figur 8: För att en plastförpackning ska kunna materialåtervinnas mekaniskt måste den kunna sorteras (med hjälp av NIR-scanning) och bearbetas till granulat eller pellets. Men det måste även finnas en marknad för det återvunna materialet, det vill säga någon aktör som är intresserad av att använda det återvunna materialet för att tillverka nya produkter.

4.2 Sortering av PET-förpackningar

Ca 16% av de plastförpackningar som FTI samlar in utgörs av hårda PET-

förpackningar. De hårda PET-förpackningar som finns på marknaden idag kan delas in i formblåsta förpackningar och vakuumformade förpackningar. Formblåsta förpackningar utgörs av flaskor och burkar, medan vakuumformade förpackningar i huvudsak utgörs av olika tråg, men även av exempelvis blisterförpackningar, lock med mera.

Moderna sorteringsanläggningar för plastförpackningar kan separera formblåsta PET-förpackningar från vakuumformade PET-förpackningar. Det finns även teknik för att sortera förpackningarna efter färg.

I Sverige sorteras idag ofärgade PET-flaskor ut och går vidare till materialåtervinning, resten av PET-förpackningarna, som till största delen utgörs av färgade flaskor och olika typer av tråg, hamnar i rejektfraktionen och går till energiutvinning.

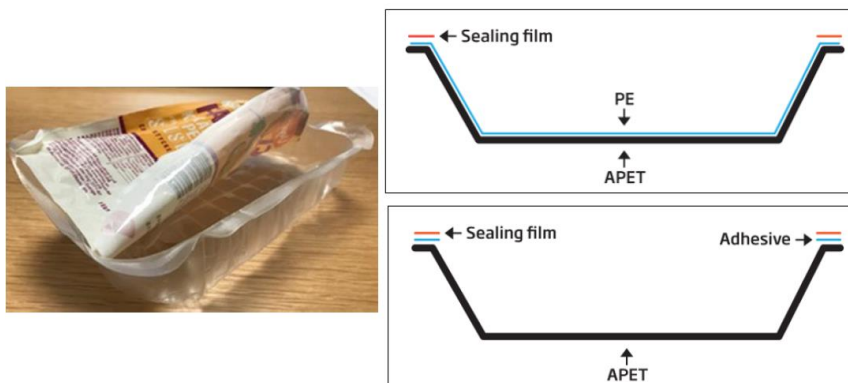
Anledningen till att inte alla PET-förpackningar materialåtervinns beror på kvalitetsbrister som begränsar efterfrågan på materialet. Ofärgade PET-flaskor har en relativt hög kvalitet då förekomsten av främmande polymerer är liten och därmed minskad risk för kontamination av det återvunna materialet. Frånvaron av pigment gör också att det återvunna materialet kan hållas ofärgat vilket innebär att dess användningsområden inte begränsas och materialet får ett högre värde.



Figur 9: Exempel på olika PET-förpackningar.

PET-tråg är en typ av förpackning som i regel består av flera komponenter och där främmande polymerer finns närvarande i högre grad än i flaskor. Främmande komponenter kan till exempel vara förslutningsfilmen som är vanligt förekommande på tråg för färskt kött, eller absorbtionskudden som ofta ligger i botten av samma tråg. Både förslutningsfilmen och absorbtionskudden

består av andra material än PET och de sitter ofta kvar på förpackningen efter att den källsorterats, vilket bidrar till ökar risk för kontamination. Dessutom är många PET-tråg belagda med ett skikt av polyeten på trågets insida, för att förslutningsfilmen ska kunna svetsas fast mot tråget. Allt detta gör att dessa förpackningar är svåra att materialåtervinna mekaniskt till en kvalitet som kan accepteras på marknaden för återvunnen PET, och energiutvinning är idag den bästa tillgängliga lösningen för de PET-förpackningar som inte är ofärgade flaskor.



Figur 10: PET-tråg med tätslutande förseglning är svåra att materialåtervinna mekaniskt då de ofta utöver PET även innehåller andra plasttyper.

Den del av de hårda PET-förpackningarna som idag inte materialåtervinns mekaniskt, alltså vakuumformade PET-förpackningar och färgade formblåsta förpackningar, skulle kunna vara lämpade för kemisk återvinning genom depolymerisering. De kan med idag tillgänglig teknik sorteras ut som en separat fraktion.

4.3 Återvinning av Flaskor

En vanlig metod för att tillverka PET flaskor utförs i två steg där första steget är formsprutning av ett rör som utgör flaskans "ämne" med de slutliga gängorna för korken färdigformade, se figur 11. Ämnet förs i steg två över till en formblåsningsutrustning där ämnet värms och blåses upp mot formväggarna.



Figur 11 Formsprutat ämne för formblåsning samt färdigformad flaska.

Återvinningen av PET-flaskor är hög i många länder främst på grund av pantsystemet som gör att det finns ett ekonomiskt incitament att lämna in flaskor och därmed även ett system för insamling. Mekanisk återvinning fungerar för flaskor främst på grund av den relativt höga molekylvikten som gör att materialet klarar tvätt och omsmältning utan att brytas ner för mycket. Värdet på insamlat material är relativt högt och flaskorna har använts främst till vatten och kolsyrade drycker vilket innebär att mängden föroreningar är låg. Den återvunna PETen från flaskor används främst för tillverkning av polyesterfibrer, olika typer av spännband samt förpackningar.

Mekanisk återvinning eller direkt återanvändning av flaskor finns i många utformningar och olika storlek på anläggningar vilket kan vara små eller medelstora företag. Här menar man att kostnadseffektivitet nås för en årsvolym på 5000-20 000 ton/år.

Förutom kemiska föroreningar och nedbrytningsprodukter som kan bildas under den första formningen av flaskor tillkommer mekaniska föroreningar från användning som sänker materialvärdet för den återvunna strömmen. Eftersom det återvunna materialet kommer att användas i produktionsutrustningar utformade för produktion från nyråvara, blir kraven på sortering och rening av den återvunna strömmen mycket hög.

Den etablerade återvinningen av PET flaskor består av tre huvuddelar:

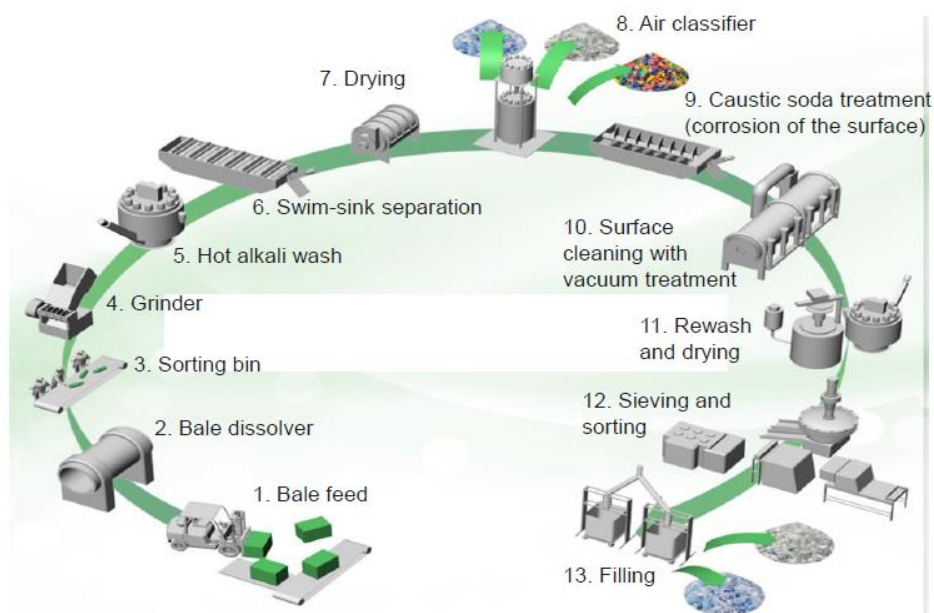
- Insamling av flaskor, balning och transport till anläggning
- Utsortering av föroreningar, tvätt och produktion av flakes eller granulat (omsmältning och extrudering)
- Framställning av ny produkt

Framgångsrik återvinning bygger på effektiv och tillräckligt avlägsnande av föroreningar på rätt ställe i processen, och oftast gäller ju tidigare desto bättre.

Den höga smältemperaturen hos PET, 275°C, gör att föroreningar såsom annan plast, träfibrer, lim eller färgämnen bryts ner och kommer att missfärga det återvunna materialet och dessutom kunna bidra med ytterligare nedbrytningsprodukter som påverkar egenskaperna. Smältfiltrering som används för att ta bort föroreningar från plast med lägre smältpunkt, tex för polyeten, fungerar dåligt för PET eftersom tex nedbrutna pappersetiketter tenderar att bli mycket små partiklar som fördelas i en stor volym av materialet.



Figur 12⁷ Balade PET flaskor



Figur 13 Tvättprocess för återvinning av PET flaskor. Steg 1-8 för generella applikationer, steg 9-13 för att uppnå livsmedelsklassning.

⁷ Av Michal Mañas - Eget arbete, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19337063>

Figur 13⁸ visar en anläggning för sortering och tvätt av PET flaskor och i Sverige har Veolia /Cleanaway en sådan anläggning (6). Nedan beskrivs processen steg för steg med start nederst till vänster i figur 7.

1. **Inmatning av material i balar:** I det första steget är PET flaskorna försorterade så att främmande föremål såsom metaller, burkar och andra föroreningar separeras bort från PET flaskorna, dessa sorteras sedan i en klar och en färgad fraktion. Endast de klara flaskorna processas till nytt material godkänt för livsmedelsförpackningar i vår URRC process
2. **Balupplösare:** PET balarna bryts sönder till enskilda flaskor i vår balupplösare.
3. **Sorteringskabin:** En operatör sorterar bort färgade flaskor och andra föroreningar från den klara PET fraktionen.
4. **Kvarnar:** Kvarnar maler ner de klara flaskorna till flingor.
5. **Hetvattentvätt:** Hett vatten blandat med en svag lutblandning rengör flingorna från etiketter, lim, dryckesrester och större smutspartiklar.
6. **Avskiljningstank:** Efter hetvattentvätten hamnar materialet i en avskiljningstank där olika typer av plast från flaskorna separeras baserat på sin densitet. Plasten från korkarna (HDPE,/PP) flyter till ytan och PET flingorna sjunker till botten av tanken. HDPE/PP torkas och säljs.
7. **Torkning:** PET materialet torkas för fortsatt process.
8. **Vindsikt:** Genom att använda en vindsikt sorteras små föroreningar som multilayer film eller etiketter bort. Efter vindsikten så kan färgade flingor samt en överkapacitet av klara flingor tas ut.
9. **Mix skruv:** De tvättade flingorna processas vidare för tillverkning av livsmedelskontaktsgodkända flingor. En blandningsskrub fuktar flingorna med lut för att skapa en etsprocess som rengör flingornas ytor.
10. **Ytrensöring:** När materialet har torkats, processas det vidare i en roterande ugn som steriliserar ytan igen medan den även tar bort eventuella odörer. Eftersom PET flingorna inte smälts så kan polymerkedjan hållas intakt.
11. **Tvätt och tork:** Saltet som bildas i föregående process siktas bort och flingorna blötlägges innan tvättning. Materialet PH neutraliseras och torkas.
12. **Siktning och färgsortering:** De livsmedelskontaktsgodkända flingorna storlekssorteras. En färgsorterare sorterar bort eventuella färgade flingor, även andra färgade föroreningar sorteras bort. Främmande material som PVC eller nylom missfärgas i den tidigare processen och kan därför enkelt sorteras bort.
13. **Fyllnadsstationer:** Det rena PET materialet fylls i big bagar för transport. Det

⁸ [http://www.cleanaway.se/om-oss/\(20-11-12\)](http://www.cleanaway.se/om-oss/(20-11-12))

livsmedelskontaktsgodkända PET materialet är färdigprocessat. (CleanPET® FK)
Steg 1-8 ger tillräcklig renhet för återvinning av PET flaskor som inte ska användas för livsmedelsförpackningar

Veolia PET Svenska AB, som har en anläggning enl figur 13 i Norrköping, är en del av Veolia Umweltservice GmbH gruppen som är en av marknadsledarna i Europa inom alla områden när det gäller PET återvinning. Större delen av råmaterialet till Norrköping levereras av AB Svenska Returpack och Veolias återvinningsanläggning ligger "väg i vägg" med Returpacks centrala PET sorteringsanläggning vilket innebär att långa transportsträckor elimineras.⁹

4.4 Återvinning av övriga PET förpackningar

Varför återvinns inte alla PET förpackningar enligt systemet för transparenta flaskor, dvs med mekanisk återvinning genom att först tvätta och sedan smälta om materialet som formas till nya produkter? Det finns flera förklaringar till det. Nedan listas några av utmaningarna.

- Förpackningarna består av flera olika material som inte enkelt kan separeras i en sorteringsanläggning. I köttfärstråg förekommer tex laminerade polyetenskikt tillsammans med PET tråget, PE film, etiketter, pigment eller färgämnen och absorbentdukar/papper. Följden blir ett blandat plastmaterial med dåliga egenskaper och lågt (inget) värde.
- PET materialet i sig själv kan ha för låg molekylvikt (låg viskositet) vilket ger fördåliga egenskaper. Vissa tråg är formpressade av mycket tunn film och ger vid omsmältning alltför dåliga egenskaper
- Många etiketter har ett lim som inte går att lösa upp i en vanlig tvättprocess som den för flaskor.

Som redan nämnts och visas i figur 6 så går utsorterade PET förpackningar till förbränning. De används bland annat till att värma ugnar för cementtillverkning och kommer då att statistiskt sett räknas som materialåtervinning eftersom de används för tillverkning av ett annat material. Detta upprör media och allmänhet när det framkommer men när det inte finns någon annan avsättning för materialet, är det trots allt bättre än deponi, som i Sverige är förbjudet (om man inte har dispens).

Under hösten 2017 pågick en förstudie på RISE (dåvarande Swerea IVF) med titeln "Innovativ användning av reaktiv extrudering för återvinning av PET" finansierad av RE:source, med målet att utvärdera möjligheterna att mekaniskt

⁹ [http://www.cleanaway.se/om-oss/ \(20-11-12\)](http://www.cleanaway.se/om-oss/ (20-11-12))

återvinna PET förpackningar och industrispill av polyester. Reaktiv extrudering syftar på en metod att genom en låg tillsats av ett reaktivt ämne kunna höja molekylvikten på plasten under omsmältning och därmed uppgradera den och ge den ett "andra liv".

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

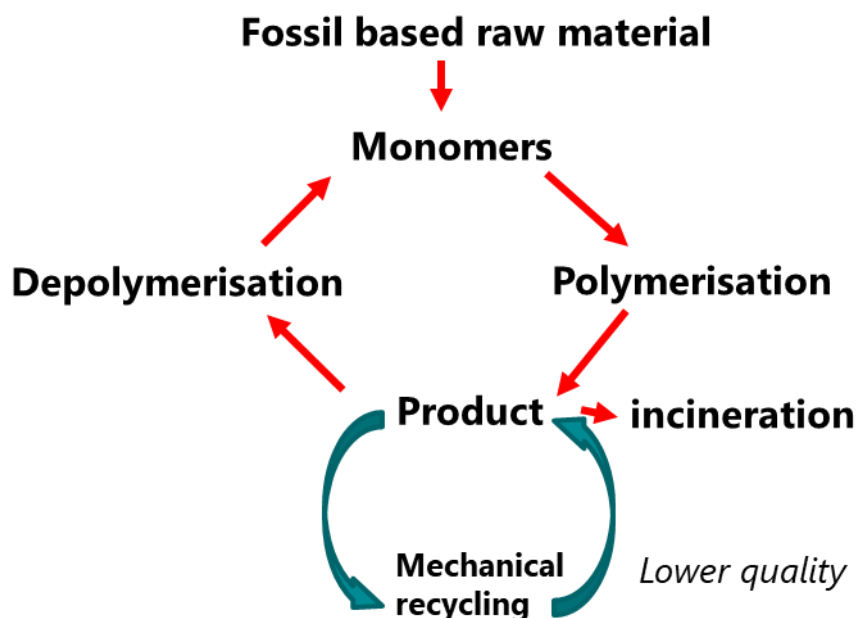
En viktig slutsats från projektet är att förpackningsbranschen behöver se över möjligheterna systemen av lim och etiketter och lära av systemet för retur-PET flaskor. Kravet är få bort etiketter och produktrester från förpackningar vilket sannolikt kan göras med en mild vattenburen tvättprocess vid förhöjd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

Projektresultaten visar att återvunnen polyester och PET kan återvinnas mekaniskt men att en noggrann analys av råvaran är viktig för att åstadkomma en tillräcklig kedjeförlängning. Fler försök som optimerar koncentrationen av tillsatsen är också nödvändig. Polyesterspill kan tex användas för framställning av nonwoven men inte för fiberspinning. PET från förpackningar har en högre molekylvikt från början och har därför få ett bredare användningsområde efter återvinning. En annan slutsats är, som nämnts ovan, behovet av noggrann analys av råvaran och optimering av koncentrationen av tillsatt kedjeförlängare. En direkt matchning mellan välkända, stora volymer av polyesterspill och en viss tillämpning skulle vara önskvärd för att säkra kvalitén på det återvunna uppgraderade materialet.

Den korta slutsatsen av förstudien var dock att kedjeförlängning och mekanisk återvinning inte var tillräckligt effektivt för att göra materialet användbart.

Parallellt med förstudien om reaktiv extrudering pågick en förstudie om kemisk återvinning genom depolymerisering av industrispill av polyester. Förstudien visade att depolymeriseringsmetoden (glykolys) som användes på RISE, var robust och kunde separera bort föroreningar (tex pigment). Idén föddes då till att testa samma återvinningsmetod på förpackningar. Detta ledde till ett efterföljande innovationsprojekt (5) som redan nämnts och beskrivs ytterligare nedan.

Projektet "Kemiskt återvunnen PET och polyester som råmaterial för additiv och ny polymer"¹⁰ adresserade alltså återvinning av bl a PET förpackningar (ej flaskor inom pantsystemet) genom depolymerisering.



Figur 14 Schematisk skiss för återvinning genom depolymerisering.

Figur 14 visar schematiskt processen för återvinning genom depolymerisering. Monomerer för PET tillverkas från fossilbaserad råvara och används för att polymerisera fram plast. Plasten formas till en produkt som kan vara t ex PET flaskor, PET förpackningar av annat slag eller polyestertextil. I det fall produkten är en flaska kan den mekanisk återvinnas vid produktens "end of life" men polymerkedjorna kommer att ha en något lägre kvalité än nyråvara. Den vanligaste produkten för återvunna PET flaskor (så kallad r-PET eller recycled PET) är att de används till att göra polyesterfibrer, t ex för användning i textil, då textil inte behöver lika hög kvalitet på polyestern som flaskor.

När PET förpackningar av annat slag än flaskor eller textilen når produktens "end of life" är det oftast bara förbränning (incineration) som återstår som alternativ. Detta beror bland annat på att värdekedjan för övriga PET förpackningar eller för textilåtervinning fram tills nu har varit obefintlig och att det inte heller funnits processer för återvinning. Återvinning av polyestertextil beskrivs mer grundligt i kommande avsnitt.

Kemisk återvinning genom depolymerisering innebär att förpackningen eller polyestertextilen bryts ner till sina ursprungliga byggstenar, dvs till monomerer,

¹⁰ <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/kemiskt-atervunnen-petpolyester-som-ravara-additiv-och-ny-polymer>

som sedan kan användas för att polymerisera ny plast. Den "återpolymeriserade" plasten har potentialen att ha samma kvalitet som nyråvara.

En separat studie i form av ett examensarbete med titeln "Influence of various contaminants on glycolysis of PET from plastic packaging waste" (på svenska "Föroreningarnas påverkan på glykolyt av PET från plastavfall") utfördes av Hedda Bergqvist Kringstad¹¹. Målet för examensarbetet var att studera möjligheten att depolymerisera PET förpackningar i form av kött-tråg (fig 15) med ingående kontaminationer i form av etiketter, lim, fuktadsorberande kudde, täckfilm och färg, vilken påverkan föroreningarna har på processen och erhållen monomer. Försöken genomfördes med tidigare optimerade processparametrar. Analyser av renhet på monomer samt identifiering av föroreningar efter separation genomfördes. Slutligen utfördes en depolymerisering i liten pilotskala (2 l reaktor) med en mald blandning av förpackningar och föroreningar. En metod för rening av missfärgad monomer (fig 12) utvecklades med hjälp av aktivt kol.



Figur 15 Kötttråg med film, etiketter och absorptionskudde som depolymeriserats

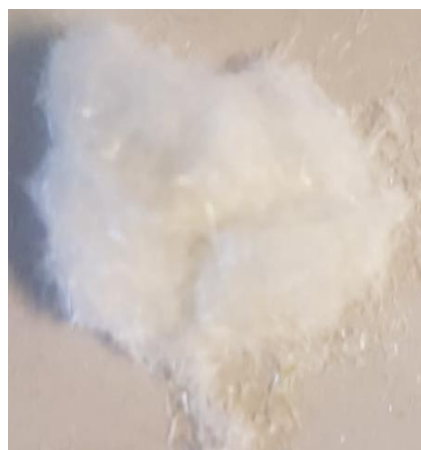
Resultaten av examensarbetet och depolymeriseringen av förpackningar med kontamineringar visade att en monomer med mycket hög renhet erhöles och att kontaminationer från filmer, lim och etiketter fångades upp på filterpapper i den efterföljande separation av monomer som genomfördes efter depolymeriseringsreaktionen. Avfärgning med hjälp av aktivt kol var möjligt för monomer från både för gröna och svarta förpackningar samt monomer som var

¹¹ Bergqvist Kringstad, Hedda; " Influence of various contaminants on glycolysis of PET from plastic packaging waste", Diploma work at Chalmers University of Technology, Juni 2019.

missfärgad pga färgat tryck på etiketten (figur 16 och 17).



Figur 16. Missfärgad monomer från grönt tråg (överst) och från färgade etiketter (underst)



Figur 17. Avfärgad monomer, överst från grönt tråg, underst från förpackning med etikett

4.5 Utvecklingen inom mekanisk och kemisk återvinning

När det gäller utvecklingen inom *mekanisk återvinning* förefaller den främst handla om att fler producerande företag vill använda flask-PET som råvara för produktion av polyesterfibrer. Det krävs ytterligare utveckling, inte minst genom tvättning, eftersom smältspinningsprocessen som tar fram polyesterfilamenten, är mycket känsligt för föroreningar. Det handlar oftast om mycket små partiklar, $< 20 \mu\text{m}$, som följer med materialet (flaskorna) under insamling eller som finns kvar efter tvättning.

I boken "Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles" från 2019¹² beskrivs i kap 9 hur flaskor återvinns mekanisk med ett antal exempel på olika användningsområden. Flaskor till fiber hade några paradexempel i OS 2012 då vissa sportteams dräkter var tillverkade av PET flaskor (sk r PET där "r" står för recycled). Ett stort antal kläd- och sportmärken nämns vara baserade på rPET och produktionen av polyester baserad på flaskor ges exempel på med start 2005. Sedan dess har alltför många företag satsat på rPET som råmaterial för sina polyesterkollektioner. Här bygger återvinningen alltså på omsmältning av flakes från flaskor, följt av smältspinning som nämnts tidigare.

Som beskrivits tidigare under avsnittet mekanisk återvinning av PET så tvättas idag PET flaskor till en kvalitet som är godkänd för livsmedel. I Sverige görs detta i Veolias/Clenaways anläggning i Norrköping. Med ökande krav av återvinning av förpackningar kommer sannolikt efterfrågan på denna typ av flask-PET att öka.

Det finns också företag som tillverkar kedjeförlängare för PET som arbetar med konceptet att mekaniskt återvinna PET eller polyester genom omsmältning och reaktiv extrudering. Tidigare projekt på RISE har visat svårigheten med denna metod, men potentialen finns att hitta enskilda strömmar av polyester och genom empirisk utveckling (en mängd praktiska experiment med specifikt material) lyckas få fram ett användbart material.

Utvecklingen inom *kemisk återvinning genom depolymerisering* består av ett antal initiativ globalt sett, där kemisk återvinning främst av flaskor är i fokus. Att depolymerisering av flaskor är intressant beror främst på de begränsningar och kvalitetssänkningar som mekanisk återvinning innebär, samt det faktum att depolymerisering resulterar i en monomer med stor potential att ge kvalitet som nyråvara, speciellt om flaskorna är transparenta från början. Grundlig teknisk genomgång återfinns i ovan nämnda bok men det förefaller fortfarande vara ett fåtal exempel som verkligen driver anläggningar i stor skala.

I rapporten "Kemisk återvinning av plastavfall, kartläggning av pågående aktiviteter"¹³ skriven av Waldheim Consulting för Johanneberg Science Park, beskrivs området kemisk återvinning, av samtliga typer av plast, mycket grundligt. Detta breda område täcker flera tekniker: upplösningsmetoder (5 st), solvolytiska metoder (14 st), termolytiska metoder (8 st), pyrolytiska metoder (25 st) samt förgasning (minst 4 st). Alla dessa som ingår under begreppet kemisk återvinning kan hantera polyester som en av flera plaster där alla går in i samma process. De som är specifika för polyester är dock de som beskrivs under

¹²"Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles", ed Sabu Thomas, Ajay Rane, Krishnan Kanny, Abitha V.K., Martin George Thomas, Elsevier Inc 2019; ISBN: 978-0-12-811361-5

¹³ <https://www.johannebergsciencepark.com/sites/default/files/Kemisk%20C3%A5tervinning%20av%20plastavfall%20Rapport%20190701.pdf>

rubriken solvolytiska metoder, dvs 14 st.

Waldheim sammanfattar status för kemisk återvinning på följande sätt i sin inledning till rapporten (daterad 2018-07-01)

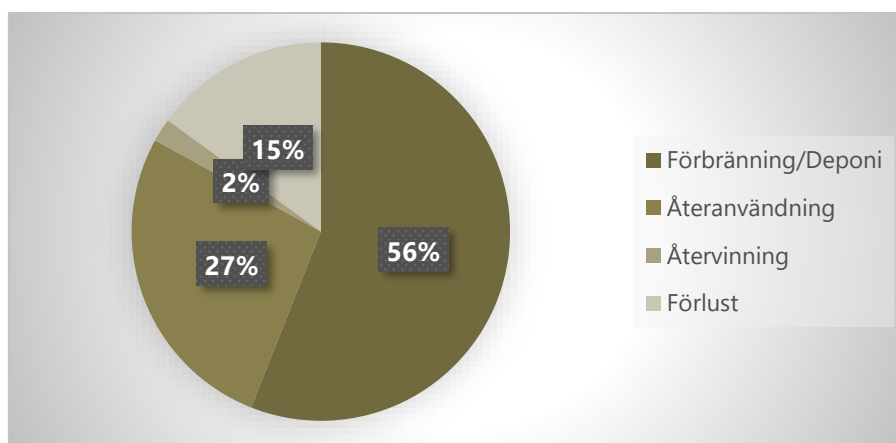
Med några få undantagsfall för återvinning av rent produktionsspill finns ingen fullt ut industriellt beprövad teknik för kemisk återvinning av plastavfall, men en rad industriella utvecklingsprojekt med starka aktörer pågår. För upplösning och solvolys finns några prototyper i skalan några tusental till tiotusental årston och ytterligare kan tillkomma om ett par år. För termolys finns en anläggning på 20 000 årston under byggnad och det finns ett antal pyrolysanläggningar i samma eller något lägre kapacitetsintervall, som dock främst inriktats mot att producera oljor för användning som bränsle. Det finns en förgasningsanläggning för plastavfall i drift i Japan och anläggningar för sorterat avfall i driftsättning och byggnad i Nordamerika och i planering i Europa, med kapaciteter på från ett antal tiotusental ton till några hundratusental ton.

Syntetisk textil så som polyester betraktas då det gäller kemisk återvinning, som en plast. Därför gäller slutsatsen ovan även för polyester i form av textil.

5. Nuläge för återvinning av polyester

5.1 Introduktion

En cirkulär ekonomi innebär att hanteringen av textilt avfall måste skifta från förbränning till återanvändning och återvinning. Textilåtervinningen i Norden är generellt lågt utvecklad och det mesta av uttjänt textil som främst kommer från hushåll, hamnar i restavfall som går till förbränning, vilket visas i figur 18.



Figur 18 Överblick över hantering av textilt avfall i Norden¹⁴

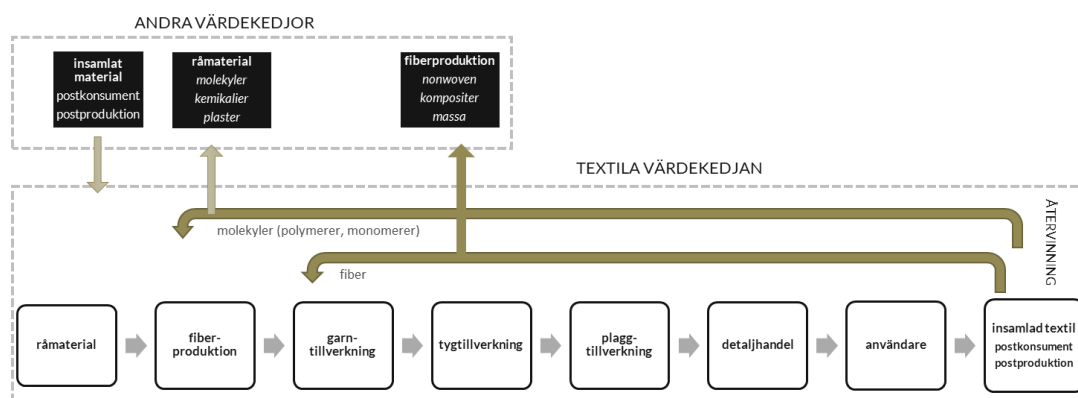
Ett skäl till att så stor andel går till förbränning är att det saknas en utvecklad värdekedja för hantering av textilt avfall. I alla kommuner finns insamling av

¹⁴ <http://mistrafuturefashion.com/wp-content/uploads/2019/10/S.-Roos.-White-paper-on-textile-recycling.-Mistra-Future-Fashion.pdf>

glas, papp, metall och plast men mycket sällan för textil. Det är idag främst välgörenhetsorganisationer som samlar in textil för återanvändning genom second-hand butiker, men det finns även insamling inom detaljvaruhandeln. De textilierna hanteras ofta av ett externt logistikbolag och återanvänds eller återvinns (främst downcycling) efter sortering utanför Sverige. Det kommer troligtvis genom direktiv bli nödvändigt att utsortera även textil från hushållsavfall, och då krävs även bättre sluthantering av dessa i linje med en cirkulär ekonomi.

Ett annat skäl är den komplexitet som textilt avfall besitter. För att åstadkomma en effektiv materialåtervinning av textil så måste framförallt tre utmaningar hanteras; textiliernas varierande kemikalieinnehåll, textiliernas varierande fiberinnehåll, samt den försämring av fiberkvalitet som sker under användarfasen.

Figur 19 visar exempel på vägar för både återanvändning och återvinning. Materialflödena är uppdelade i återanvändning och återvinning inom den textila värdekedjan (sluten/closed-loop), samt återvinning genom synergi med angränsande värdekedjor (öppen/open-loop). I ett "white paper" skrivet av Roos et al¹⁵ dras slutsatsen att återvinning av textil till andra tillämpningar är en bred möjlighet. Kemisk återvinning genom depolymerisering, som beskrivits tidigare i rapporten, ger möjlighet att tillverka monomer med potentialen att nyttjas för många olika produkter.



Figur 19. Översiktsbild av textilåtervinning med sluten och öppen återvinning.

I rapporten "A Nordic textile strategy; Part II: A proposal for increased collection, sorting, reuse and recycling of textiles" från 2015 ges en omfattande redogörelse för olika framtida scenario i Norden med förslag på strategier och åtgärder för ökad cirkularitet i textilbranschen. Sorteringsanläggningar för textil samt etablering av en anläggning för kemisk återvinning föreslås för att realisera

¹⁵ <http://mistrafuturefashion.com/wp-content/uploads/2019/10/S.-Roos.-White-paper-on-textile-recycling.-Mistra-Future-Fashion.pdf>

den beskrivna strategin. Det konstateras dock att det behövs både ekonomiska och tekniska studier med ytterligare utvärderingar för att detta ska bli verklighet. Det är dock intressant att konstatera att nu, fem år senare, har två anläggningar för textilsortering etablerats i Sverige.

5.2 Sorteringsanläggningar

Återanvändning är ur miljösynpunkt ett bättre alternativ än materialåtervinning och är det alternativ som alltid ska komma först. Innan textil kasseras och går till återvinning bör den användas så länge som möjligt. Återanvändning ger stor miljönytta oavsett om den sker i Sverige eller någon annanstans i världen. En fördubblad livslängd kan direkt minska klimatpåverkan med 49 procent.¹⁶

Siptex är världens första storskaliga anläggning i sitt slag, enligt Sysav. Den sorterar textil efter färg och fibersammansättning med hjälp av nära-infrarött ljus (NIR), vilket gör det möjligt att hantera stora flöden och producera textilfraktioner som är anpassade för olika återvinningsprocesser. Siptex står för "Svensk innovationsplattform för textilsortering" och ska utgöra den länk som idag saknas mellan textilinsamling och textilåtervinning. Siptex finansieras av Vinnova och är ett steg 3-projekt inom programmet "Utmaningsdriven innovation".

Projektet leds av IVL Svenska Miljöinstitutet och genomförs tillsammans med ett brett konsortium bestående av svenska modebolag, forskningsinstitut, myndigheter och aktörer från olika delar av värdekedjan för textil. Från november 2021 upphör Siptex att vara ett forskningsprojekt och övergår helt till Sysav, som har investerat i anläggningen^{17 18}.

Sysav tar emot tre kategorier av material till SipTex anläggningen:

- Textil från industri (till exempel spill från produktion)
- Försorterad textil (post-consumer-material av specifik produkttyp, som till exempel trasiga lakan eller t-shirtar)
- Sorteringsrester (från konsument och industri, till exempel plagg som inte går att återbruka)

Materialet får inte innehålla:

- Produkter av flera olika lager och textilmaterial, t ex skaljackor och kavajer
- Garnnystan eller längre föremål som ihoprullade

¹⁶ Sandin G et al. (2019) Environmental assessment of Swedish clothing consumption: Six garments – sustainable futures. Mistra Future Fashion report series

¹⁷ <https://www.nyteknik.se/premium/siptex-ger-tonvis-med-klader-och-tyger-ett-nytt-liv-7004294>

¹⁸ <https://www.sysav.se/om-oss/forskning-och-projekt/siptex/>

- Stoppade material, t ex kuddar eller duntäcken
- Resårlakan
- Skor
- Mattor eller gardiner
- Textilmaterial som är nedsmutsade av färg eller olja
- Flamskyddsbehandlat material

Den andra sorteringsanläggningen för textil i Sverige finns i Vargön utanför Trollhättan och drivs av Wargön Innovation. Anläggningen har kapacitet att sortera i 14 olika fraktioner via NIR sensorer, dvs samma teknik som används av Siptex. Wargön Innovation deltar och driver ett antal projekt för att utveckla textilsortering tillsammans med olika partners. Det går även att utföra testsorteringar av en viss volym textil för en enskild partner ¹⁹.

För textilåtervinning i större skala krävs jämn kvalitet och stora volymer. Dagens manuella sortering av textil kan inte matcha marknadens behov av kvalitetssäkrade produkter, så automatiserad sortering är en av de länkar som idag saknas mellan insamling och återvinning. Men det är viktigt att ha med sig att sorteringen i sig inte är hela lösningen. Det finns vissa begränsningar i NIR-tekniken gällande bland annat att sortera baserat på värden för återbruk (vilket är viktigt då det ska gå före återvinning) samt sortering av komplexa material bestående av till exempel lager och ytmodifiering.

Sortering på fiberinnehåll med NIR behöver högst troligt kompletteras och utföras i kombination med till exempel digitala informationsbärare, som beskrivs ytterligare under 5.4.1.7. De kan komplettera med värdefull information för till exempel återbruk, som typ av plagg, märke, antal användningscykler, prisbild osv. Till viss del kan även manuell sortering behövas då marknaden för second hand kan skilja sig ner på stadsdelsnivå, men den manuella sorteringen bör inte ligga som ett första steg eftersom det kan komma att begränsa sorteringshastigheten av den stora bulken.

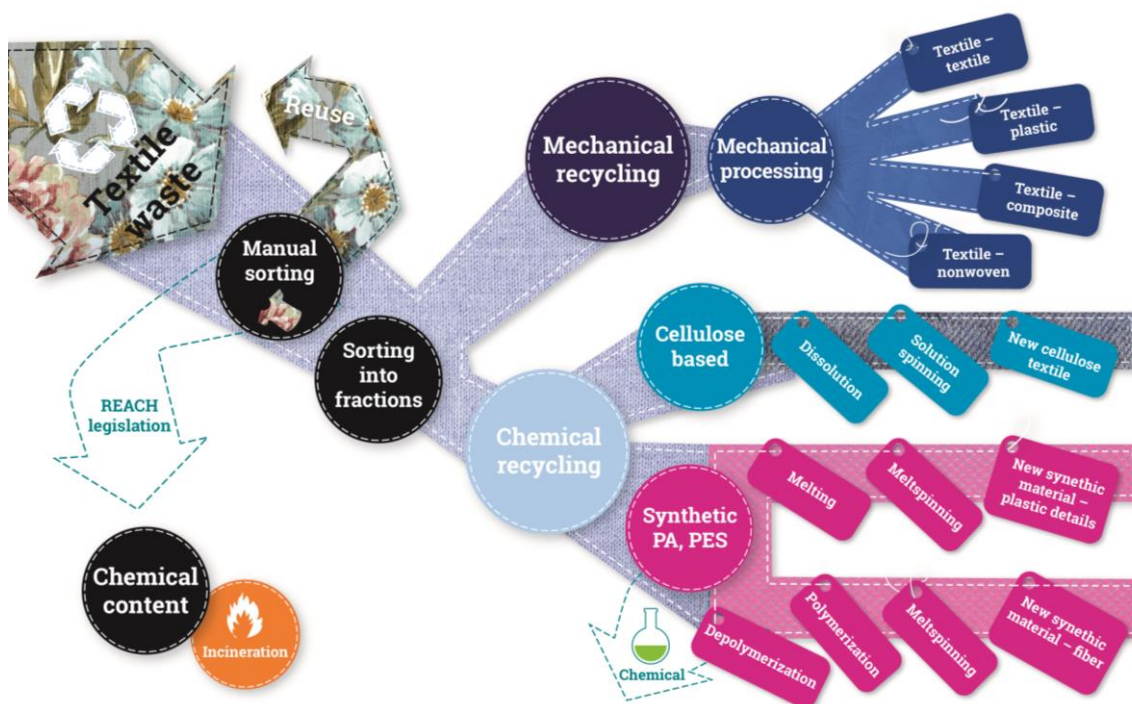
Utöver detta tillkommer all textil från andra applikationer som möbler och byggnationer i privat och offentlig miljö, från fordon etc. Behovet av utökad textilåtervinning är stort, där en del av problemen handlar om avsaknaden av fungerande demontering (tex separera bilklädsel från stol) och andra separationsprocesser (separera baksida av gummerad matta från fibrerna).

Så utöver infrastruktur och sortering, behöver vi även utveckla återvinningsteknikerna för restströmmarna.

¹⁹ <https://wargoninnovation.se/projekt/wargotex-development/>

5.3 Vad händer efter sortering?

Figur 20 visar en översikt över olika återvinningsalternativ för textil och figuren togs fram inom ramen för testbädden för mekanisk textilåtervinning som startades på RISE hösten 2016 och som finansierades av Västra Götalandsregionen. Enligt avfallstrappan är återanvändning första steget efter att mängden avfall minimerats, och för textilavfall avgörs det idag genom



Figur 20. Översikt över olika återvinningsalternativ för textil.

Det som i figuren benämns "sorting into fractions" avser sortering i automatiserad anläggning, till exempel genom NIR-sortering, men för en slutgiltig bedömning av vad som ska gå till vilken typ av återvinning kan det behövas ytterligare analyser som värderar fraktionernas kvalitet och lämplighet för olika återvinningsprocesser. För att kunna etablera sig på marknaden måste återvunna produkter vara både ekonomiskt och miljömässigt konkurrenskraftiga jämfört med jungfruliga alternativ, samt ha en efterfrågad funktion. De senaste åren har behovet av textilåtervinning blivit tydligt för såväl industri som myndigheter och teknikutvecklare.

5.3.1 Mekanisk återvinning

Den minst energikrävande återvinningstekniken för både natur- och syntetfiber är mekanisk fiberåtervinning. Globalt är mekanisk fiberåtervinning en etablerad, kommersiell process för produktion av mer lågvärdiga slutprodukter. När vi diskuterar mekanisk återvinning i Sverige är målsättningen slutprodukter av

betydligt högre kvalitet, inklusive återvunnet garn. Kvaliteten på de återvunna fibrerna beror på ingående material vilket betyder att påverkan i användningsfasen är av stor vikt, samt att höga krav ställs på metoder för insamling och sortering eftersom en felaktig hantering i hög grad har betydelse för hur väl efterföljande processer kommer att fungera.

Det första man tänker sig när man pratar om mekanisk återvinning av textil är troligen återspinning av textilfiber till nytt garn. Vid mekanisk återvinning av textilfiber bearbetas det textila materialet i en textilriv. I denna process avlägsnas först metall- och plastdelar såsom dragkedjor och knappar. Därefter klippas materialet upp i mindre bitar som matas in i rivningsprocessen (passage över flera olika valsar). Vid mekanisk bearbetning på detta sätt utsätts materialet för en påverkan som medför att fibrerna blir kortare. Naturfiber och syntetfiber påverkas i olika grad, men även textilens konstruktion har stor påverkan på slutresultatet. Det är naturligtvis en målsättning i denna process att bibehålla fiberlängden i största möjliga utsträckning för att kunna producera återvunnet garn av hög kvalitet.

I de fall där detta är möjligt är det absolut den väg man ska ta förutsatt en positiv miljö- och ekonomianalys. Med tanke på den stora andel blandfiber som finns i spill såväl som postkonsumentmaterial så är dock detta inte alltid en möjlig väg. Alternativa lösningar är då att undersöka tillämpningar inom andra materialkategorier (såsom plastdetaljer, kompositer eller nonwoven), eller mer avancerade kemiska återvinningsmetoder.

5.3.2 Kemisk återvinning

Textilfibrer är uppbyggda av långa molekyler som tillsammans bildar textilfibern. I en kemisk återvinning är avsikten att ta vara på textilernas molekylära beståndsdelar. Med de återvunna molekylerna kan sedan en ny textilfiber med önskad kvalitet skapas, men även helt andra material kan byggas utifrån molekylerna. Det finns flera olika initiativ för att kemiskt återvinna textil, men väldigt få har ännu nått marknaden. Orsaken är den komplexitet som nämns under 5.1.

Den cellulosebaserade återvinningen som ses i figur 20 efter kemisk återvinning avser främst regenerering av bomull, och beskrivs kort i nästa avsnitt.

Kemisk återvinning av polyester och annan syntetisk textil

”Synthetic PA, PES” i figur 20 avser omsmältning eller depolymerisering av polyester (PES) och polyamid (PA). Polyester är en syntetisk fiber som framställs från polymeren PET. Den kan därför återskapas till sin ursprungliga fiberstruktur efter att den slitits och förlorat kvalitet. Huvudsakligen så återvinns polyester kemiskt på tre sätt:

- genom att direkt omsmältas och spinnas

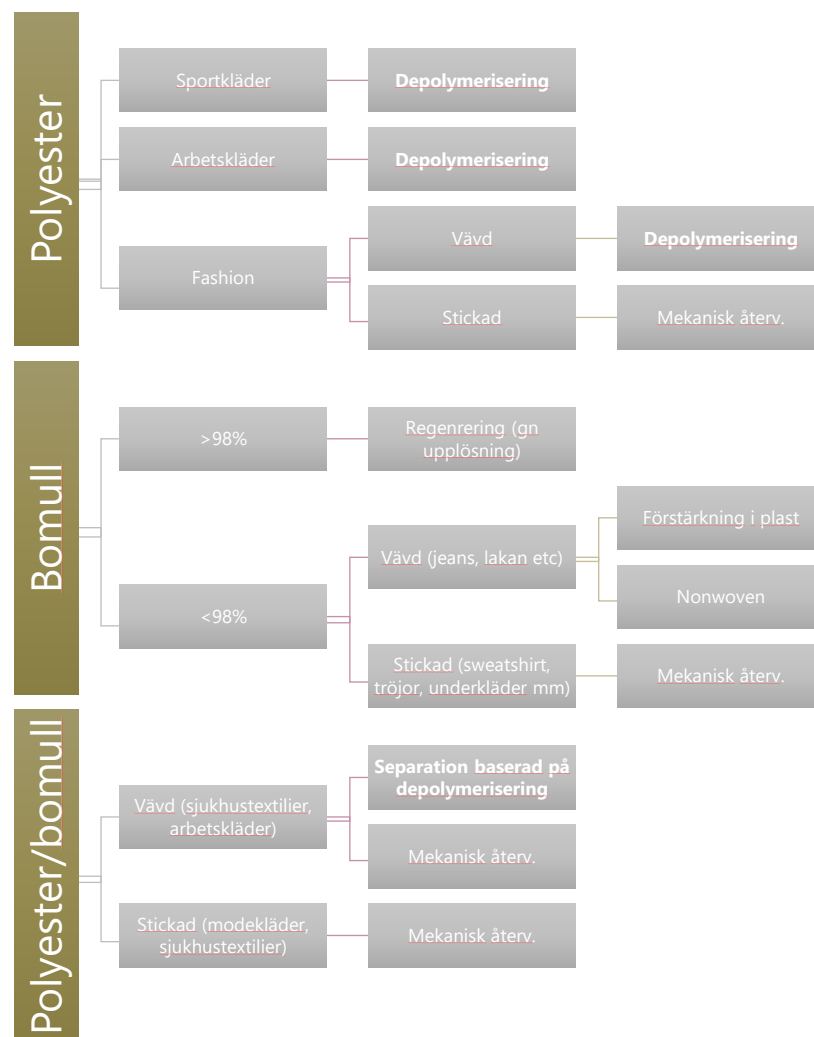
- genom att man bryter ner polyesterfibern till molekylära beståndsdelar, och sedan bygger upp nya material eller fibrer av önskad kvalitet

Det är teoretiskt möjligt att återvinna syntetiska textilfibrer genom omsmältning och smältspinning, dock ställer denna återvinningsmetod mycket stora krav på renhet hos ingående material och fungerar sällan i praktiken. Metoden tolererar exempelvis inte kontamination i form av ytbehandling eller damm och smuts. Ingående råvara får i princip aldrig vara blandad, så det är inte möjligt att smältspinna blandningar av olika material till ny textilfiber. Också färger kan vara ett problem, eftersom det via smältspinning inte är möjligt att avlägsna ingående pigment²⁰.

Figur 21 kommer från en guide framtagen inom projektet "Klassificering och riskbedömning av textil för materialåtervinning"²¹ och visar en omarbetad översikt och ett förslag till lämpliga återvinningstekniker baserade på textilråvarans materialsammansättning och ursprung. För textil bestående av 100% polyester är det bara trikå (stickade produkter) av modekläder som anses lämpliga för mekanisk återvinning, allt annat föreslås gå till depolymerisering. För polycotton föreslås också mekanisk återvinning av trikå. Detta beror främst på att stickad textil är lättare att riva upp och därmed ger längre fibrer som krävs för att spinna nytt garn av högre kvalitet. Rekommendationerna kan dock behöva prövas från fall till fall beroende på strukturen hos textilen som ska återvinnas.

²⁰ RISE Rapport 2019:104 © RISE Research Institutes of Sweden
"Towards a circular economy for textiles – Resumé of research"; Hanna de la Motte et al. ISBN: 978-91-89049-36-9 Göteborg 2019

²¹ https://www.ri.se/sites/default/files/2020-11/Classification%20and%20risk%20assessment%20of%20textile%20for%20material%20recycling_User%20Guide.pdf



Figur 21. Översikt över lämpliga återvinningstekniker för polyester, bomull och polyester/bomull, baserade på textilråvarans materialsammansättning och ursprung.

Kemisk återvinning genom depolymerisering innebär att polyestertextilen bryts ner till sina ursprungliga byggstenar, som sedan kan användas för att polymerisera nya material där de "åter-polymeriserade" materialen har potentialen att ha samma kvalitet som ny råvara. Beroende på vilken kemi och process som används, så bryter man ner polyestern olika mycket, och kan då styra vilken typ av byggstenar som fås ut. Om man använder mycket hög temperatur, som vid pyrolys eller förgasning, kan polyestern brytas ner till mycket små beståndsdelar, mindre än dess monomerer, och då producera baskemikalier (alkener, bensen, toluen), gas som vidareutvecklas till biobränslen (metanol) eller energirik gas (vätgas). Då kallas processen termokemisk återvinning eller "feedstock recycling" enligt figur 1.

För syntetfibrer som polyester och polyamid finns det kemiska återvinningsmetoder på marknaden, men även pilotprojekt och initiativ som vill förbättra återvinningsmöjligheterna ytterligare, då komplexiteten bidrar till begränsningar. I Japan finns företaget Teijin som återvinner polyester från olika polyesterprodukter, såsom PET-flaskor, för att tillverka återvunnen polyestertextil under namnet Eco Circle™ Fibers^{22 23}. I Holland finns Ioniqa²⁴ som med lösningsmedel återvinner främst plastavfall av PET (främst flaskor) till ny återvunnen polyester, men som har siktet inställt mot att kunna ta in textilt polyesteravfall i sin process. I USA utvecklar Ambercycle en teknik som producerar nya polymerer av jungfrulig kvalitet från textilt plastavfall. Polymererna konverteras till fiber, garn och textilier. EU-projektet "DEMETO"²⁵ med flera industriella parter tittar på hur depolymerisering av främst polyester kan göras med mikrovågor.

Det finns främst två typer av polyamid (PA): PA 6 och PA 6,6. PA 6 är vanlig i t ex fisknät och mattor, medan PA 6,6 ofta hittas i sportkläder och underkläder. Idag kan man endast återvinna PA6 kommersiellt, vilket bland annat italienska Aquafil gör. Aquafil producerar den återvunna produkten Econyl® från nylon 6-avfall. Även stora internationella producenter av nylon, som DuPont, Toray och Hyosong, ser över hållbarhetsaspekter och möjligheter till att börja återvinna sina producerade material.

5.3.3 Cellulosabaserad textilåtervinning

Bomull är en naturfiber som skapas av naturen och består av molekylen cellulosa. Bomullsfibern kan inte efter att ha blivit utsliten återskapas av oss människor till sin ursprungliga fiberstruktur. Men den kan, å andra sidan, omvandlas till en dissolvingmassa. Dissolvingmassan kan sedan lösas upp och våtspinnas till så kallad regenatfiber, som lyocell eller viskos. Regenatfibrer görs idag vanligtvis genom att man löser upp cellulosa från träd.

I Sverige bedrivs den här typen av återvinning kommersiellt genom re:newcell²⁶ ^{27 28}, vars produkt heter Circulose®. Internationellt finns liknande satsningar av bland annat österrikiska Lenzing som är en stor tillverkare av lyocell och viskos, av finska Infinited Fiber Company som nyligen undertecknat ett avtal med ANDRITZ för kommersialisering av regenereringsteknik för textilfibrer.

I regenereringen kan inte andra textilfibrer vara närvarande, och måste därför

²² https://www.teijin.com/csr/vision/pdf/Dialogue_FY2009.pdf

²³ <https://www2.teijin-frontier.com/english/sozai/specifics/plantpet.html>

²⁴ <https://ioniqa.com/applications/>

²⁵ <http://gr3n-recycling.com/>

²⁶ <https://www.renewcell.com/en/technology/>

²⁷ <https://circularhub.se/articles/blend-rewind/>

²⁸ <http://mistrafuturefashion.com/sv/blend-rewind-bomull-polyester/>

separeras ut. Detta görs antingen före processen genom textilsortering, eller kemiskt under själva processen. De processer som återvinner en typ av textilfiber, som bomull, brukar idag ha en begränsning i hur många procent kontaminering i form av andra fibrer som de kan hantera.

Once More® är en svensk återvinningsprocess som utvecklats av Södra, efter inspiration från ett forskningsprojekt inom ramen för forskningsprogrammet Mistra Future Fashion. Södras process hanterar både bomull och polyester i en och samma process, som t ex material från servicesektorn (hotell- och sjukhustextilier samt arbetskläder). Produkten från processen är en kommersiell dissolvingmassa som består av en del återvunnen textil-cellulosa och processen opererar i tonskala. Två andra globala initiativ är Worn Again Technologies i Storbritannien och The Hong Kong Research Institute of Textiles and Apparel (HKRITA), dock finns det i nuläget inga kommersiella produkter från de processerna.

5.4 Återvinning av textil med fokus på polyester – framtidspotential

Det pågår en intensiv utveckling för textilåtervinning. Att lösa frågan om avfärgning eller reversibel färgning av textil är ett område där forskning och utveckling pågår. Det krävs en alldeles egen rapport för att täcka detta område. Ett exempel på start-up företag värt att nämna Vividye och de jobbar med konceptet färgning och avfärgning. En önskvärd utveckling skulle vara att fler stora textilproducenter börjat ställa krav på sina leverantörer av färgämnen och pigment, så att utvecklingen hos de som kan kemin bakom infärgning inriktas mot att möjliggöra avfärgning.

Ett annat område som röner stort intresse är biobaserade polymerer och det finns idag polyestrar som är biobaserade till ca 30%. Av all plast som produceras är det ca 0,6% som är biobaserad och oftast är det sockerrör eller majs som utgör råvaran. Det är värt att påpeka att även om råvaran för en polyester är helt eller delvis biobaserad så krävs ändå en ansvarsfull materialåtervinning. Visserligen blir det inget nettotillskott av CO₂ om textilen är 100% biobaserad, men förbränning är ändå inte något som kan rekommenderas eftersom ett högt materialvärde går förlorat. Dessutom visar mer djupgående LCA av textil att 80% av energiförbrukningen (och genereringen av växthusgaser) sker i produktionen. Det betyder att energiförsörjningen till fabriken har den mest avgörande betydelsen.

5.4 1 Resultat från projekt på RISE

5.4.1.1 Mekanisk återvinning av polyester – testbädden för Textilåtervinning. Inom ramen för testbädden för textilåtervinning på forskningsinstitutet RISE finns utrustning och kompetens för mekanisk återvinning av textil. Den mekaniska återvinningen av textil omfattar efter sortering oftast ett förberedande steg som utförs manuellt och som innebär att knappar, dragkedjor, etiketter mm avlägsnas, se figurerna 22 och 23. Därefter rivs materialet i en textilriv som öppnar den vävda eller stickade strukturen så att enskilda fibrer friläggs.

Textilriven som visas i figur 24 består av ett stort antal rader med sågtänder som växelvis river isär textilstrukturen i flera olika steg. beroende på strukturen på textilen som ska rivs kan materialet behöva köras genom riven flera gånger. Detta gäller främst tätt vävda material.

Det rivna materialet blandas ofta med en viss andel nyråvara för att ge styrka under garnspinning, i det fall textil ska återvinnas till textil. Figur 26 visar, längst till vänster, de rivna fotbollströjorna som Stadium samlat in för att göra en ny kollektion av tröjor baserade på återvunnet garn från fotbollströjorna i figur 22. De rivna tröjorna som bestod av polyester blandades med 50 % nyråvara i form av ekologisk bomull och kardades samman till en sliver som visas till vänster om spolen med garn i figur 26. En sliver är en rulle av kardade fibrer som matas in i spinmaskinen som spinner garnet. Längst till höger i figur 26 visas ett stickat prov av garnet baserat på tröjorna



Figur 22. Polyestertröja för mekanisk återvinning



Figur 23. Märkning avlägsnas manuellt före rivning



Figur 24. Textilriv på RISE



Figur 25. Sågtänder i textilriven på RISE



Blanda 50%50 Eco/co

Rotorspunnet (Open-end)



Figur 26 Mekanisk återvinning av fotbollströjor. Längst till vänster: riven textil; mitten vänster: sliver av riven tröja blandad med 50% nyråvara av ekologisk bomull; mitten till höger: spunnet garn av 50% riven fotbollströja/50% bomull; längst till höger: stickat prov av garnet fotbollströja/bomull.

Nedan följer klipp från pressreleaser angående projektet som genomfördes hos RISE. Artikeln i Sportfack publicerades 2020-09-16 och informationen på Facebook 2020-09-18.

Stadium lanserar nu sin första cirkulära produkt – en tröja återvunnen av fotbollströjor. Det skriver Sportfack²⁹. "RISE tog fram garnet till den cirkulära tröjan under vår Testbädd för Textilåtervinning," berättar en av forskarna på RISE. "Mekanisk återvinning av textilier från produktionsavfall är relativt vanligt, men återvinning av insamlade textilier från konsumenter, som i detta fallet, är

²⁹ http://www.sportfack.se/artiklar/nyheter/20200916/stadiums-forsta-cirkulara-produkt-sa-ser-den-ut/?fbclid=IwAR0SROmButc7pwcT11v28j47HfYoN9BFuZH4W8jz11K4XJ7_4BmAYhla-c (20-12-15)

mycket sällsynt. Projektet visar att även begagnade textilier från konsument kan återvinnas mekaniskt, vilket är en robust, energieffektiv och kemikaliefri metod. Tröjan är också ett bra exempel på hur den återvunna slutprodukten kan ha ett högt värde (upcycling), vilket vissa anser vara omöjligt när det gäller mekanisk återvinning.”



Figur 27 Stadium tröja i "limited edition" baserad på återvunnen polyester trikå blandad med ekologiskt bomull.

Stadiums mål är att stegvis försöka nå en mer cirkulär affärsmodell, ett av målen är att minska klimatavtrycket med 50 procent till år 2030³⁰. Som en sorts symbolprodukt har de nu tagit fram tröjan U Circular Tee, under varumärket SOC, i en limiterad serie av 54 exemplar. Tröjan är tillverkad av tyg från återvunna tröjor från fotbollsföreningen Brommapojkarna. Tröjorna skickades till det statliga forskningsinstitutet RISE i Göteborg för att malas ner och bli till spunnet garn – som i sin tur skickades till stickeriet Trikåby i Åby utanför Norrköping för att bli till nya tröjor. Det återvunna garnet blandades upp med ekologisk bomull.

5.4.1.2 Textil till nonwoven eller komposit

Inom testbädden för textilåtervinning genomfördes ett antal demonstrationer för att testa olika kategorier av möjliga applikationer för återvunnen textil. Exemplet ovan, textil till textil där textilavfallet blir till nytt garn är oftast det mest uppenbara sättet att tillvarata textilavfall.

Ett annat exempel på återvinning är textil till nonwoven. Figur 28 visar en struktur av nonwoven som kan framställas med en utrustning kallad "meltblown" som innebär att smält plast blåses ut genom ett stort antal små hål och samlas upp på en roterande trumma. Frilagda fibrer från textilriven kan också blandas med lämplig nyråvara i en karda och läggas upp för

³⁰ <https://www.facebook.com/RISEResearchInstitutesofSwedenAB/photos/stadium-lanserar-nu-sin-f%C3%B6rsta-cirkul%C3%A4ra-produkt-en-tr%C3%B6ja-%C3%A5tervunnen-av-fotbolls/4028880693805654/> (20-12-15)

formpressning. Formpressning utförs med värme, och kan användas för att skapa relativt hårda detaljer, se figur 29. Denna typ av återvinning har testats med 100 % polyesteravfall.



Fig 28. Återvunnen textil som smälts om och använts till nonwoven.



Fig 29. Formpressad detalj av polyester.

Det är också möjligt att tillverka termoplastkompositer med återvunna textilfibrer och ett antal demonstratorer med 20-30% fibrer, har tagits fram genom samarbete med företagen inom testbäddens nätverk. Den återvunna textilen kan förstärka plasten och dryga ut den så att mindre mängd plast används. I dessa demonstratorer har textilavfall med 50% bomull och 50% polyester använts. Det är dock fastställt att endast cellulosebaserade fibrer förstärker plasten. Vid försök med 100% polyesterfibrer visar det sig att ingen förstärkning uppnås och risken är stor att plasten försämras. Ur återvinningsynpunkt kan det vara ett sämre alternativ att låta textil bli till komposit än ny textil men det finns fraktioner av textilspill där fibrerna är för korta för att spinnas till nytt garn och i dessa fall är tillverkning av termoplastkompositer ett bra alternativ. Ett sådant exempel är uttjänta patientskjortor av trikå (stickad struktur) baserad på polycotton (50/50). De upprivna fibrerna är för korta för garntillverkning och mycket goda mekaniska egenskaper har erhållits då dessa använts för att formspruta skaft till borstar, stolsfötter och slagåliga behållare.

5.4.1.3 Avfärgning före depolymerisering

I det tidigare nämnda projektet "Kemiskt återvunnen PET och polyester som råvara för additiv och ny polymer" återvanns polyester i olika form, dels som industrispill från termoformade paneler, dels som uttjänta produkter i form av spännband samt spill av textil från regnkläder, och textil för personalkläder inom sjukvården. Avfärgning visade sig behövas för alla dessa produkter men för

industrispillet av paneler behövdes inget extra processteg eftersom infärgningen som gjordes med svarta pigmentpartiklar (carbon black) kunde fånga upp med den filtrering som ursprungligen ingår i processen. För spännband fungerade avfärgning med aktivt kol som även användes för PET trågen som beskrivits tidigare.

Nedan beskrivs de försök och resultat som erhöles i avfärgningsförsök som genomfördes i projektet. Detta är att betrakta som ett inledande arbete där mer studier behövs speciellt avseende förbrukning och återvinning av lösningsmedel för avfärgning.

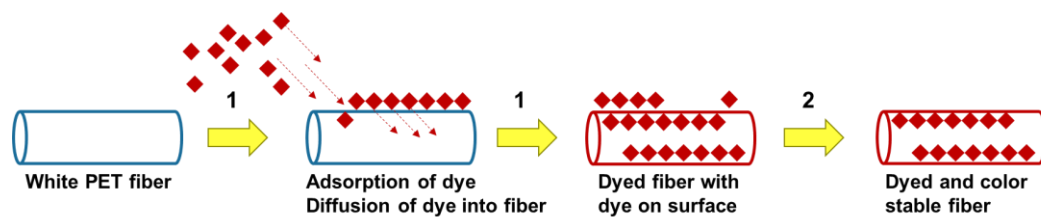


Fig 30. Infärgning av polyesterfiber. Steg 1 innebär att färgämnet adsorberas på fiberytan. Hög temperatur gör att färgen diffunderar in i fibern. En viss mängd färgämne finns kvar på fiberytan som överskott. Steg 2 innebär att överskottsfärgen avlägsnas och resulterar i en mycket stabilt infärgad fiber.

En kort litteratursökning genomfördes för färgning och avfärgning av polyester. Fig 30 visar en vanlig metod för infärgning av polyester, s k dispersionsfärgning. Färgämnet är oftast hydrofoba ämnen i form av agglomerat som dispergerats i vatten. Värme och tryck (130°C) gör att polyesterfibrerna sväller och färgämnet kan därför diffundera in polymeren. Överskottsfärgen avlägsnas med en tvättprocess. Idén bakom avfärgning är att extrahera färgämnet ut ur fiber vid hög temperatur. Avfärgad textil har potentialen att ge en transparent monomer, och därmed en transparent åter-polymeriserad polymer.

Polyestertextil från regnkläder och från sjukvården användes för att utveckla en metod för avfärgning före depolymerisering. Försöken startade med en temperaturscreening från 80-190°C och utfördes i etylenglykol.

Litteratursökning hade visat att det var viktigt att ligga över glastransitionstemperaturen T_g : 80°C men under 240°C. När temperaturen för avfärgning fastställdes, genomfördes ytterligare försök för att studera tiden för avfärgning vid 150 resp 170°C. Experiment genomfördes genom att textilprov, ca 2 x 2 cm fick ligga i varm etylenglykol en viss tid för avfärgning. Proverna sköljdes sedan i etylenglykol och därefter i vatten samt torkades. Vissa avfärgade textilprov testades sedan i depolymerisering.



Fig 31. Resultat från temperaturscreening av avfärgning av polyestertextil

Resultaten från temperaturscreening, fig 31, av olika typer av polyestertextil visade att mörkblå textil från sjukvården krävde behandling vid 170°C under 30 min för att avfärgas helt. Något ljusare, mellanblå var avfärgad efter 10 minuter i 150°C. Svart/vitt tryck och gul trikå från sporttopp avfärgades vid 130 resp 150°C under 20 min. Orange resp ljusblå textil avfärgades vid 150°C efter 10 minuter. Av textilproven ovan är orange och mellanblått bitar från regnkläder med en tunn beläggning på insidan



Fig 32. Avfärgning vid 150°C från 0-30 minuter



Fig 33. Avfärgning vid 170°C från 0-30 minuter.

Figur 32 visar att ljus färg, som på gul trikå, avlägsnas lättare än mörka färger, vilket visas av resultaten och även bekräftats av information från litteraturen. I figur 33 syns hur beläggningen på översta provet av mellanblå regnjacka, missfärgas och blir brun vid 170°C. Behandling vid 190°C under 20 min löste upp hela beläggningen så att all kvarvarande textil var vit. Detta gällde även orange prov av samma typ.



Fig 34. Avfärgade och depolymeriserade prov av regnkläder.



Fig 35. Avfärgat och depolymeriserat prov av sjukhustextil.

Depolymerisering av avfärgade prov av regnkläder (fig 34) visade att vit monomer erhöles efter filtreringar. Första filterpappret samlade en beige förorening, vilket sannolikt består av rester av den tunna beläggning textilen ursprungligen haft. Tidigare utförd IR analys visade att beläggningen innehåller polyester men sannolikt en lågsmltande, vilket innebär att molekylsegment av tex polyetentyp kan förekomma. Depolymerisering av blåfärgad sjukhustextil, som innehåller en tunn kolfiber visas i fig 35. Den invävda kolinnehållande fibern motverkar statisk elektricitet. Resterna av kolfibern samlas, efter depolymerisering, upp på filterpappret och resulterande monomer är vit.

På RISE pågår för närvarande ett internt projekt för där avfärgning och depolymerisering av mörkt färgad blandad textil (trikå) av polyester och polyamid ingår. Det har visat sig att avfärgning och efterföljande depolymerisering tycks vara en framkomlig väg för återvinning av polyester.

5.4.1.4 STEPS – Sustainable Plastics and Transition Pathways

STEPS är ett forskningsprogram som startade hösten 2016 med finansiering från Mistras utlysning "Plast i ett hållbart samhälle". Satsningen söker hållbara lösningar genom hela värdekedjan från förnyelsebara råvaror, förädling och design till post-konsument avfallshantering. Konceptet går ut på att bygga upp hållbara dvs miljövänliga plaster med önskade materialegenskaper och utgå ifrån koldioxidneutrala råvaror.

Att skala upp en polymerisationsprocess från laboratorium till pilotskala är ett viktigt steg för utveckling av biobaserad plast mot fiberapplikationer, liksom andra applikationer. Inom STEPS-programmet har en PET-liknande polyester som heter PHT, poly (hexametylentereftalat) identifierats som en intressant delvis biobaserad polymer för fiberutveckling. Den biobaserade andelen av den slutliga polymeren kommer att vara 60-70% istället för dagens 30%. Detta beror på hur byggstenarna till polymeren ser ut, där man forskningen går ut på att öka

andelen biobaserad råvara

Under 2019 genomfördes småskalig syntes och karakterisering av PHT vid Lunds universitet och publicerades. Enligt småskaliga utvärderingar visar PHT bra spinnbarhet som kan vara mycket intressant för användning som textilfiber.

För att göra en textildemonstrator uppskalades PHT-syntesen i en pilotreaktor vid RISE IVF. Många viktiga parametrar relaterade till viskositetsvariation, massa och värmeöverföring har undersökts för att erhålla polymerer med acceptabel kvalitet såsom molekylvikt och andra fysikaliska egenskaper. Clariant bidrog med kunskap och katalysatorer för polymeriseringar.

År 2019 syntetiserades cirka 3 kg PHT och polymeren smältes i tvåkomponentfibrer under halvindustriella förhållanden vid RISE IVF. Cirka 1 kg PHT-garn producerades, som framställdes vidare till cirka 10 par blå strumpor som demonstrator i december 2019, baserat på konventionella texturerings-, vrid- och stickprocesser. Demonstratorn visade kompetens inom programmet och möjligheten att utveckla biobaserade textilier helt från syntes av monomerer, småskalig polymerisation, uppskalningsproduktion och produktutveckling.

5.4.1.5 Termokemisk återvinning av textil

Behovet av kemisk återvinning av plast lyfts fram av IKEM, men även av regeringen då tekniken lyfts fram i regeringens budgetproposition för 2021, samt i en breddning av Industrilivet där möjlighet att söka stöd för till exempel returraffinaderier nu blir möjligt. Hållbar Kemi 2030 har gjort en färdplan för hur ett Plastreturraffinaderi i Stenungssund kan bli verklighet. Genom projekt som finansieras av Vinnväxtinitiativet Klimatledande Processindustri på Johanneberg Science Park i Göteborg har bland annat råvarutillgång, teknologiutvärdering, ekonomi och logistik utvärderats. Inom Vinnväxtinitiativet har även arbete med hur textilt avfall, som polyester, skulle fungera i ett plastreturraffinaderi börjat undersökas. Våren 2020 drevs två examensarbeten av Chalmers och RISE som undersökte både tekniska aspekter och andra samhällsaspekter som drivkrafter och barriärer hos olika intressenter i textila värdekedjan³¹ ³². Under 2021 finns det ambitioner att växla upp arbetet med att undersöka hur vissa komplexa textila avfallsfraktioner, med högt plastinnehåll, skulle kunna kemiskt återvinnas med termokemiska metoder, såsom pyrolys eller förgasning, för att undvika att förbrännas.

³¹ "Thermochemical textile recycling Investigation of pyrolysis and gasification of cotton and polyester" Master's thesis in Innovative and Sustainable Chemical Engineering; JULIA RITTFORS; Department of Space, Earth and Environment; CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY; Gothenburg, Sweden 2020

³² Survey of the possibilities to recycle products of synthetic textile blends in Sweden; Commissioned by RISE Research Institutes of Sweden; Master's thesis within production engineering; JOHANNA KARLQVIST; INGRID LARSSON; CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY; Gothenburg, Sweden 2020

5.4.1.6 Klassificering och riskbedömning av textil för materialåtervinning

I en dialog med industrin som avser att använda återvunnen textil som råvara är frågan om kemiskt innehåll av gemensamt intresse, oavsett sektor. Otillräcklig kunskap och information om sammansättning och innehåll av textilprodukter för återvinning är en utmaning och ett hinder när det gäller att möjliggöra återvinning av högt värde och skapa förtroende för återvunnen råvara. Projektet om klassificering och riskbedömning baseras på mekanisk återvinning, vilket ska betraktas som det värsta fallet eftersom denna teknik inte kan sortera ut eller filtrera bort kemikalier. Det som introduceras i processen kommer att finnas kvar i produkten - i det här fallet återvunnen textilfiber. I en cirkulär ekonomi krävs kontroll över återvunna material och de resulterande produkterna, där det är lagstiftningen kring den resulterande produkten som måste uppfyllas. I ett fall där återvunnen textilfiber framställs och används som råvara i ett plagg med 50% återvunnet innehåll, är detta att betraktas som det svåraste fallet när man överväger lagstiftning om kemiskt innehåll, jämfört med att använda återvunnen fiber i ett nonwoven för bilindustrin för att ge ett exempel.

I projektet analyserades 20 olika fraktioner av post-konsument textil med avseende på en mängd olika kemiska föreningar och grundämnen (främst tungmetaller). Resultaten visade att inga återvunna material låg över lagkraven avseende kemiska ämnen och ca 15 av 20 material hade kunnat certifieras.

5.4.1.7 Informationssystem för framtidens textilier (RFID)

Projektet "RFID for transparency, traceability and end-of-life handling for textiles"³³ dvs RFID för transparens, spårbarhet och EoL hantering av textilier (finansierat av Vinnova) har huvudmålet att bygga grunden till ett digitalt system baserat på RFID för att nå cirkulära textilvärdekedjor.

RISE och partners har under flera år tittat på möjligheterna att integrera digitala informationsbärare, som exempelvis RFID, i textila produkter. Digitala informationsbärare som är integrerade i plagg har potential att öka transparens och spårbarhet i hela värdekedjan, från produktion till end-of-life.

Implementering av denna typ av teknologi skulle radikalt ändra förutsättningarna för framtidens textilhanteringssystem.

Vårt arbete har verifierat potentialen i tekniken och identifierat ett antal områden där arbetet behöver intensifieras för att möjliggöra ett framtida digitalt system för hantering av textilier, byggt kring informationsbärare som följer ett plagg. Framtidsvisionen är ett system baserat på flerfunktionell RFID, som svarar mot olika aktörers behov i värdekedjan för textil. I projektet Tex.IT, fortsätter RISE och partners detta arbete och det specifika målet med projektet

³³ <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/informationssystem-for-framtidens-textilier-rfid>

är att bygga kunskap och kompetens avseende:

- Modell för informationssystem
- System för datainsamling
- Översikt av befintliga standarder och kartläggning av standardiseringsbehov
- Kostnadsberäkning och utvärdering av avkastning (Return on Investment)
- Inverkan av integrering av digitala informationsbärare i textilprodukter

RFID-tekniken har utvecklats snabbt de senaste åren och är en mycket attraktiv potentiell lösning för textilmaterial. En RFID-tagga kan bära en stor mängd data och läses när den befinner sig inom en läsares räckvidd. Vid läsning kan etiketten placeras mitt i plagget och täckas med tyg (integrerad) utan att påverka läsningens kvalitet. Detta underlättar avsevärt hantering jämfört med exempelvis streckkod / QR-system, som varken kan läsas från avstånd eller bära samma mängder data. Dessutom måste streckkodsmärkning plockas ur plagget och visas för läsaren, vilket inte är fallet för RFID.

Ett RFID-system kan användas adaptivt och tillåta sortering av textilier baserat på angivna parametrar. Systemet skulle till exempel sortera ut textilier som innehåller en viss oönskad kemikalie, som reglerats sedan plagget producerades. Alternativt skulle det vara möjligt att sortera på "enkla" parametrar såsom färger och storlekar (för återanvändning) eller på processparametrar, såsom det använda färgningssystemet (t. ex. användbart för kemisk återvinning genom depolymerisering). Tekniken skulle snabbt och effektivt sortera ut textilier i ett brett spektrum av fraktioner enligt de valda parametrarna, vilket ger tillgång till textilpolymer lämpliga för olika typer av återvinningstekniker på ett mycket effektivt, snabbt, korrekt och säkert sätt med mycket liten felmarginal.



Figur 36. RFID taggar testas som informationsbärare för textil.

Ett annat projekt om RFID som är nära kopplat till projektet beskrivet ovan är "Utveckling av robust informationsbärare baserad på RFID anpassad för integrering i textil" som också finansieras av Vinnova³⁴

En RFID-tag som överlever ett klädesplaggs livslängd, som inte syns eller märks, är en förutsättning för att RFID-teknologi ska kunna användas som ett verktyg i hela den textila värdekedjan; detta inkluderar användning i logistikkedjan, i butik samt hantering vid end-of-life där informationsbehovet är stort. Sortering inför materialåtervinning av textil med hjälp av RFID-teknologi har en enorm potential att bli ett mycket kraftfullt verktyg. RFID-taggen finns med under hela plaggets livslängd, från tillverkning av plagget, via användning under varierande klimat och prövningar, till slutdestinationen då plagget går till återbruk eller materialåtervinning. Det system som kommer att krävas för effektiv hantering av textila material finns inte på plats idag, detta arbete är omfattande och måste hanteras i större, separata initiativ. Den fysiska informationsbäraren är dock en mycket viktig möjliggörare, och detta projekt lägger sitt fokus just på denna.

En integrerad tagg som följer plagget under hela dess livscykel kommer fortfarande att kunna uppfylla de behov som befintlig RFID-märkning redan gör, men med det ökade värdet att den kan tillgängliggöra en mycket större informationsmängd och nyttjas i användarfasen och vid end-of-life. För att RFID-teknologi ska bli ett kraftfullt verktyg i hela den textila värdekedjan är det en förutsättning att informationsbäraren är liten, smidig och designad att klara alla påfrestningar som ett plagg utsätts för. Denna typ av RFID-tag finns inte på marknaden idag, men är just vad detta projekt kommer att ta fram. En universell, världsomspännande elektronisk märkning som följer med och överlever produktens hela livstid är en absolut förutsättning för att möjliggöra en i sanning cirkulär mode- och textilbransch.

5.5 Behov av forskning och finansiering

Idag pågår en stor mängd aktiviteter nationellt inom textilområdet. Textildialogen, initierad av Naturvårdsverket och kemikalieinspektionen är ett bra exempel på hur textilrelaterade frågor lyfts nationellt med ett högt deltagande från industri såväl som institut och akademi. Ett annat exempel är STICA, The Swedish Textile Initiative for Climate Action³⁵, som är ett nyligen initierat svenskt initiativ där ledande svenska aktörer inom textil- och modeindustrin gått samman för att tillsammans arbeta mot en reduktion av industrins klimatpåverkan och samtidigt stärka sin globala konkurrenskraft. Detta är ett direkt svar på FN:s nyligen lanserade Climate Action in Fashion

³⁴ <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/utveckling-av-robust-informationsbarare-baserad-pa-rfid-anpassad-textil>

³⁵ <https://www.sustainablefashionacademy.org/STICA> (20-12-15)

Initiative, där de parter som åtagit sig att följa denna plan ska reducera sina utsläpp av växthusgaser med 30% fram till 2050. Man vill försäkra sig om att Sverige gör mer än sin del genom att bli världens första klimatpositiva textil- och modeindustri i god tid före 2050.

Det finns också en svensk plattform för textil och mode, Textile & Fashion 203036, som leds av Textilhögskolan i Borås på uppdrag av miljödepartementet. I plattformen har även RISE en betydande roll avseende fokus och utformning. I tillägg till detta finns ett stort antal nationella forskningsprogram och utlysningar som lägger fokus på textila frågeställningar. Nyligen presenterade Mistra tre "Investor Brief" 37 38 39 från forskningsprogrammen Mistra Future Fashion, Mistra Closing the Loop och Mistra STEPS – Plastics and sustainable investments. Alla tre summerar sitt fokusområde på ett tydligt, lättillgängligt och överskådligt sätt och har målet att ge en verktygslåda som är användbar för att stödja hållbara investeringar och engagemang. För återvinning av polyester och PET är resultaten i samtliga Brief nyttiga att känna till för att skapa bra aktioner framåt.

I tabell 1 i appendix återfinns ett axplock av de initiativ som drivits i och av Sverige sedan 2014, dessa lägger tillsammans en mycket stabil grund för kommande arbete. Alla initiativ vittnar om den stora kunskap som genererats och som finns tillgänglig via institut, universitet, högskolor och andra organisationer. Det är viktigt att nyttja och arbeta utifrån den kunskap som finns, för att på bästa sätt bygga hållbara system.

Vi ser ett ökat behov av hantering, standardisering och spårbarhet av textil, och här bör Sverige ta ledningen på textilområdet, precis som varit fallet avseende materialåtervinning av plast. Frågor kring textil, resurshantering och miljöpåverkan är i fokus idag, det ser vi inte minst genom den gedigna utredning kring ett producentansvar för textil⁴⁰ som nyligen presenterades.

I utredningen lyfts också behovet av kompletterande insatser fram, t ex konsumentnära styrmedel, anpassningar av EUs regelverk för att främja cirkulära flöden, industriell infrastruktur, samt att främja spjutspets-projekt. Initiativ som endast arbetar teoretiskt föreslås istället ge plats för mer handlingsinriktade initiativ, utifrån i ett resursperspektiv där statliga och privata resurser i form av tid och medel är begränsade, samtidigt som åtgärder brådskar utifrån Sveriges högt ställda målsättningar.

Gällande satsningar som främjar cirkulära lösningar för polyester och PET, föreslås följande framtida projektsatsningar:

³⁶ <https://textileandfashion2030.se/> (20-12-15)

³⁷ [mistradialogue_investor_brief_recycled_materials.pdf](#) (20-12-15)

³⁸ [mistradialogue_rapport_investor_brief_textiles_final.pdf](#) (20-12-15)

³⁹ [plastics-and-sustainable-investments_download.pdf](#) (mistra.org) (20-12-15)

⁴⁰ [Producentansvar för textil – en del av den cirkulära ekonomin, SOU 2020:72](#) (regeringen.se) (20-12-15)

Utveckling av mekanisk återvinning, där tvätt och förbehandling samt arbete med att förbättra kvalitén på den återvunna råvaran ligger i fokus.

Bredare satsning på kemisk återvinning av rejektströmmar från mekanisk återvinning, där framförallt följande steg ligger i fokus

- Tvätt och förbehandling av inkommande material
- Hantering av färg och additiv i återvinningsprocessen
- Separation av olika fibertyper i återvinningsprocessen

Utveckling av termokemisk återvinning av material där idag endast förbränning återstår som alternativ.

I tillägg till ovan nämnda satsningar behövs självklart breda satsningar ur ett systemperspektiv. Ett nära samarbete mellan återbruk/återvinning och design är av stor vikt, samt satsningar som rör hållbar infrastruktur, sortering och spårbarhet.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

APPENDIX 1

Tabell 1 Ett axplock av initiativ som drivits i och av Sverige sedan 2014.

Projektnamn	Koordinator	Finansier	Beskrivning
Testbädd Textilåtervinning	RISE*	VGR	Fokus på tillämpningar av återvunnen textil inom materialkategorierna textil, plast, komposit och nonwoven. Drygt 40 industripartners
Trash-2-Cash	RISE**	H2020	Återvinning av polyester, bomull samt blandningar av dessa via olika kemiska metoder. Designdriven.
RE:Source Möbel och Interiör	RISE*	Energi-myndigheten	Återvunnen textil som råvara för produktion av nya detaljer alternativt tyg inom möbelindustrin
Klassificering och riskbedömning av textil för materialåtervinning	RISE*	Vinnova	Hur ser kemikalieprofil och kemikalieinnehåll verkligen ut i en återvunnen textil råvara? Hur bör denna typ av material analyseras och kategoriseras för att säkerställa korrekt tillämpning?
RFID FashionTech	RISE*	Vinnova	Inledande projekt där ett stort antal frågeställningar kring RFID för textila applikationer undersöktes, inklusive tillgängliga taggar och standarder.
Robust RFID	RISE*	Vinnova	Utveckling av en liten, flexibel och robust RFID tagg som kan hantera ett plaggs hela livstid och mist 50 tvättar.
Informationssystem för textil baserat på RFID	RISE*	Vinnova	Fokus ligger på informationssystem baserat på RFID för den textila värdekedjan. Användningen av digitala informationsbärare integrerade i plagg har potential att kraftigt öka framtida spårbarhet i produktions och distributionsled, men också för att underlätta efterföljande processer och lägga grunden för cirkulära textilvärdekedjor.
Kunskapsspridning avseende digitalisering för cirkulära textila värdekedjor	RISE*	Vinnova	Serie av seminarier riktade mot textil och modeindustrin. Information avseende situationen idag för textila material samt vision framåt.
Återvinning av sjukvårdstextil	RISE*	Vinnova	Återvinning av textil, nonwoven för att skapa nya värdefulla tillämpningar av restmaterial från offentlig sektor
Biobaserade ljudabsorbenter	RISE*	Vinnova	Ljudabsorbenter baserade på återvunnen textil förstärkt med hampafiber
MinShed	RISE*	Formas	Kunskap och riktlinjer till textilindustrin avseende reduktion av mikrofiberutsläpp
POPFree	RISE*	Vinnova	Övergång till icke-fluorerade alternativ till PFAS
SUPFES	RISE	Formas	Helhetssyn på användningen av fluorerade kemikalier inom textilindustrin. Undersöker utsläpp, livscyklar samt humantoxicitet och akvatisk toxicitet

Kemikaliegruppen	RISE*	Företagsfinansiering	I närheten av 120 företag samlas kring kemikaliefrågor som berör deras verksamhet.
Mistra Future Fashion	RISE**	Mistra	Forskningsprogram för hållbart mode utifrån ett systemperspektiv. Tvärvetenskapligt
Mistra Closing the Loop	RISE**	Mistra	Closing the Loop var ett forskningsprogram för hållbar industriell materialåtervinning som pågick 2012 – 2019, lett av RISE med finansiering från Mistra. Andra etappen slöt cirkeln genom slutseminariet 3 mars 2020.
Mistra STEPS	Lunds universitet	Mistra	Forskningsprogrammet inleddes under hösten 2016. Programmet, med starkt stöd från viktiga intressenter, har en vision om ett framtida samhälle där plast hållbart utvecklas, produceras, används och återvinns i en cirkulär ekonomi.
NeoCel	RISE**	H2020	Utveckling av innovativa alkaliska processer för fibertillverkning från skogsråvara
Spill till Guld	RISE*	Vinnova	UDI-projekt. Mäklartjänst för spillmaterial.
WargöTex	Innovatum	Energi-myndigheten	Sorteringspilot för insamlad textil, baseras på NIR/FTIR

*RISE IVF AB (f.d. Swerea IVF)

**RISE AB + RISE Innventia AB (f.d. Innventia och SP)

Projektnamn	Koordinator	Finansiär	Beskrivning
Hållbar produktion av förnybara och bionedbrytbara nonwovens från skogsråvara	RISE*	Formas	Utveckling av hållbara cellulosa-baserade nonwovens
Nya hållbara lösningssystem för tillverkning av textilfiber från svensk skogsråvara	RISE*	Formas	Utveckling av nya processer för tillverkning av biobaserade textilfibrer
ForTex	RISE**	Vinnova	Utveckling av ny process för tillverkning av skogsbaserad textilfibrer
Re:Textile	Textilhögskolan	VGR Vinnova	Redesign av textila produkter

Textile & Fashion 2030	Textil- högsko- lan	Miljöde- parte- mentet	Samverkansplattform för textilområdet
Etablera närodlat textil i Sverige (ENTIS)	RISE*	BioInno- vation	Brett forskningsprogram fokuserad på hållbar textil. Delprojekt inom textilåtervinning.
BioLyftet	RISE*	BioInno- vation	Utbildningsinsats med mål att hjälpa SMF att påbörja omställningen mot hållbar plast och textil.
Skogens Tyg	Smart Textiles	BioInno- vation	Textil av pappersgarn från svensk skogsråvara.
SIPTex	IVL	Vinnova	I SIPTex undersöks potentialerna att med hjälp av automatiserad textilsortering producera högkvalitativa återvinningsprodukter som matchar marknadens behov för fiber-till-fiber återvinning.

*RISE IVF AB (f.d. Swerea IVF)

**RISE AB + RISE Innventia AB (f.d. Innventia och SP)