

# Textilåtervinning

Tekniska möjligheter och utmaningar

RAPPORT 6685 • OKTOBER 2015



# Textilåtervinning

Tekniska möjligheter och utmaningar

Åsa Östlund<sup>1</sup>  
Helena Wedin<sup>1</sup>  
Lisa Bolin<sup>1</sup>  
Johanna Berlin<sup>1</sup>  
Christina Jönsson<sup>2</sup>  
Stefan Posner<sup>2</sup>  
Lena Smuk<sup>1</sup>  
Magnus Eriksson<sup>1</sup>  
Gustav Sandin<sup>1</sup>

1)SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

2)Swerea IVF

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM Gruppen AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00 Fax: 010-698 10 99

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-6685-7

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2015

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2015

Omslagbild: Fotograf: Åsa Östlund

- 1: Rivet och balat använt textilmaterial på SOEX anläggning för textilåtervinning i Wolfen, Tyskland.
- 2: Kardat och balat använt textilmaterial på SOEX anläggning för textilåtervinning i Wolfen, Tyskland.

# 1 Förord

Regeringen gav i augusti 2014 Naturvårdsverket i uppgift att utveckla förslag om hantering av textilier. Förslagen ska styra mot att nå högre upp i avfallshierarkin genom såväl avfallsförebyggande åtgärder som ökad återanvändning och materialåtervinning av textilier, samt mot giftfria kretslopp. I regeringsuppdraget ingick att bedöma vilken typ av materialåtervinning av textilier som kan komma till stånd på kort och lång sikt och hur det bör påverka utformningen av insamlingssystemet. Naturvårdsverket gav därför i uppdrag till SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut att kartlägga befintlig teknik och aktuella utvecklings- och forskningsinitiativ samt att utföra en kvalificerad bedömning ommöjlig framtida teknisk utveckling inom området textil materialåtervinning.

Projektledare för forskarteamet har varit Dr Åsa Östlund. Analyser och studier av undersökta kemiska processer har utförts av Dr Helena Wedin, Dr Christina Jönsson, Dr Stefan Posner, Dr Magnus Eriksson, Dr Lena Smuk och Dr Åsa Östlund. Ansvariga för systemanalys och livscykelanalyser har varit Dr Johanna Berlin, M.Sc. Lisa Bolin och Tekn. Lic. Gustav Sandin. De deltagande forskarna är anställda av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut respektive Swerea IVF. Båda forskningsinstituterna ägs av RISE Research Institutes of Sweden.

Från Naturvårdsverket har handläggarna Yvonne Augustsson och Staffan Ågren samt Elin Forsberg, projektledare för regeringsuppdraget om hantering av textilier, bidragit med synpunkter. Från Kemikalieinspektionen har Anne-Marie Johansson och Susan Strömbom deltagit.

Forskarstudien har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag och Kemikalieinspektionen samt med tillskjutande medel från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och Swerea IVF samt forskningsprogrammet Mistra Future Fashion och det Vinnova-finansierade projektet ”Från spill till guld”.

Författarna ansvarar själva för innehållet och slutsatserna i rapporten.

Naturvårdsverket, september 2015.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>FÖRORD</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>SYFTE OCH MÅL</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>TERMINOLOGI</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>AKTIVITETER OCH ANALYSER</b>	<b>25</b>
7.1	Återvinningstekniker	25
7.1.1	Sorteringsteknologi	26
7.1.2	Mekanisk återvinning	28
7.1.3	Kemisk återvinning	31
7.1.4	Textilpolymerers uppbyggnad och nedbrytning	40
7.1.5	Framtidens återvinning av textila material	42
7.1.6	Energiutvinning (Förbränningsalternativet)	43
7.1.7	Diskussion och slutsatser: återvinningstekniker	45
7.2	Miljöprestanda	49
7.2.1	Metod	50
7.2.2	Mål och omfattning	50
7.2.3	Gemensamma datakällor för alla scenarier	53
7.2.4	Mekanisk återvinning	54
7.2.5	Kemisk återvinning	57
7.2.6	Resultat	59
7.2.7	Diskussion och slutsatser: miljöprestanda	65
7.3	Hantering av farliga ämnen	68
7.3.1	Giffri textilråvara	70
7.3.2	Metodik	72
7.3.3	Begränsningar i metodiken	73
7.3.4	Resultat	73
7.3.5	Information och spårbarhet	82
7.3.6	Diskussion: Hantering av farliga ämnen	83
7.3.7	Slutsatser: Hantering av farliga ämnen	87
7.4	Möjliga insamlingssystem med ny återvinningsteknologi	88

<b>8</b>	<b>REKOMMENDATIONER OCH SLUTSATSER</b>	<b>90</b>
<b>9</b>	<b>SLUTORD OCH TACK</b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b>KÄLLFÖRTECKNING</b>	<b>94</b>
<b>11</b>	<b>APPENDIX 1 -TEXTILA FIBRERS KEMISKA STRUKTUR</b>	<b>98</b>
11.1.1	Cellulosa (bomull, bambu, viskos, lyocell, Tencell <sup>®</sup> , Modal <sup>®</sup> )	98
11.1.2	Polyamid (marknadsnamn: Nylon)	98
11.1.3	Polyester	98
11.1.4	Akryl	99
11.1.5	Polyuretan (marknadsnamn: Spandex /Lycra /Elastan)	99
<b>12</b>	<b>APPENDIX 2 -MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING FÖR ÅTERVINNING AV REN BOMULL</b>	<b>101</b>
12.1	Bidrag till global uppvärmning (Global warming potential – GWP 100 years)	102
12.2	Bidrag till försurning (Acidification potential)	102
12.3	Bidrag till övergödning (Eutrophication potential)	103
12.4	Bidrag till förtunning av ozonlagret (Ozone layer depletion)	104
12.5	Bidrag till bildandet av marknära ozon (Photochemical oxidant formation)	105
12.6	Potentiella utsläpp av gifter (Human toxicity, fresh water aquatic ecotoxicity, and terrestrial ecotoxicity)	106
<b>13</b>	<b>APPENDIX 3 –ÖVERFÖRING AV FARLIGA KEMIKALIER VID TEXTILÅTERVINNING</b>	<b>108</b>

## 2 Sammanfattning

Denna rapport analyserar befintlig och möjlig framtida teknisk utveckling inom textilåtervinning. Analysen fokuserar på tekniska och miljömässiga utmaningar och möjligheter för textilåtervinning ur ett svenskt perspektiv. Rekommendationer ges för hur utmaningar kan mötas och hur möjligheter för miljövinster kan tillvaratas baserat på bedömningar av textilåtervinningens tekniska och miljömässiga förutsättningar samt analyser av vilka krav dessa förutsättningar ställer på insamlingssystemet och de efterföljande stegen. Ekonomiska förutsättningar är inte inkluderade i rapporten. Utgångspunkten för analysen är befintlig teknologi samt aktuell utveckling och forskning. Bedömningarna och rekommendationerna baseras på livscykelutvärderingar av diverse scenarier för hur återvinningen kan ske.

Rapporten har inriktats på tre tidsperspektiv: en nulägesanalys, kort sikt (år 2020) och medellång sikt år (2030). Analysen belyser vidare hur långt materialåtervinningen kan förväntas nå i form av lösningar i pilotskala, demonstrationsskala (demoskala) och fullskala oavsett om dessa lösningar utvecklas i Sverige eller i andra länder. Det textila avfall som inkluderas i studien baseras på beräkningar av avfallsmängder i Sverige idag.

### *Återvinningstekniker*

För att minska den totala miljöpåverkan är det viktigt att hantera återvinningsstegen på ett optimalt sätt, från ett miljöperspektiv. Dessa steg inkluderar energianvändning, kemikaliehantering, avfallshantering och processeffektivitet. I denna studie har återvinningsstegen antagits vara tillräckligt optimala för att ge en positiv miljöpåverkan jämfört med produktion från jungfrulig råvara. Till grund för bedömningen av återvinningsprocessernas miljöprestanda har livscykelanalyser (LCA) genomförts.

### *Miljövinster vid återvinning och dess olika aspekter*

Utifrån LCA och de miljöpåverkanskategorier som främst undersökts i denna studie (klimatpåverkan, försurning, övergödning, förtunning av ozonlagret, bildandet av marknära ozon och potentiella utsläpp av gifter) framkommer att det finns miljövinster både med nya kemiska och mekaniska återvinningsprocesser i förhållande till befintlig svensk energiutvinning. Exempelvis när bomullsfibrer ersätts ges betydande vinster för de miljöpåverkanskategorier som motsvarar bomullsodlingens miljöproblem, såsom utsläpp av gifter till mark och vatten som leder till övergödning och toxiska effekter. Det finns dock ett återvinnings-scenari som markant ökar klimatpåverkan jämfört med förbränning (i Norden), vilket består av kemisk återvinning när man räknar med att den framställda lyocellfibren ersätter jungfrulig bomull. Denna ökning i klimatpåverkan beror på att lyocellprocessen förbrukar mer energi än vad som åtgår vid bomullsframställning. Det är därför väsentligt att ur klimathänseende noga bevaka effektivitet i olika processer (energianvändning, kemikaliehantering, avfallshantering och

processeffektivitet). Gällande klimatpåverkan kan nya vägar för textilavfall reducera utsläppen med mellan 0,5-3 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg hanterat textilavfall, jämfört med om avfallet enbart skulle energiutvinnas. Detta är en förhållandevis liten vinst sett till hela produktionen av en textil vara, där en färdig vara ligger på runt 10-40 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg produkt (se sid. 65), medan andra miljöpåverkanskategorier spelar större roll.

Vidare är miljövinsten avhängig om huruvida de återvunna fibrerna i realiteten ersätter jungfruliga fibrer. Om processerna endast leder till ökad total fiberproduktion uteblir miljövinsten. Miljövinsten är också starkt beroende av vilken fiber som ersätts, dvs om man i LCA räknar med att man med lyocell-fiber från använd bomull ersätter jungfrulig bomull, alternativt lyocell från trä (där det senare är mer fördelaktigt).

Att återvinna polyester (mekaniskt och kemiskt) är fördelaktigt. Detta beror främst på att materialet har ett fossilt ursprung och därmed bidrar med fossila utsläpp vid förbränning. Även återvinning (kemisk) av blandmaterial (50/50 bomull/polyester) ger fördelaktigt effekt vid klimatpåverkan beroende på att man undviker förbränning av polyester och därmed minskar de fossila utsläppen. Detta förutsätter alltså att både bomull och polyester i blandmaterialet återvinns kemiskt.

#### *Svensk textilåtervinning idag och i framtiden*

Idag går största delen av svenskt textilavfall till förbränning med energiutvinning p.g.a. att avlagda textilier från hushållen till stor del läggs i restavfallet och att det idag ges begränsade möjligheter med materialåtervinning. Textilier är en attraktiv tillsats i förbränningen då det höjer avfallets snittvärmevärde, vilket bidrar till en effektivare förbränning. Detta med förutsättningen att det ingående textilmaterialet har sönderdelats eller krossats innan förbränning och att det håller en någorlunda jämn fukthalt. Till en mindre del sker även mekanisk återvinning av svenska textilier; mest till trasor, stoppning eller isolering (så kallad ”down-cycling”), men även till nyspunnen tråd (så kallad fiber-till-fiber-återvinning). Genom mekanisk fiber-till-fiberåtervinning anses det dock vara svårt att nå ekonomisk bärkraft, både på kort och lång sikt, eftersom de återvunna fibrerna har betydligt lägre kvalitet än jungfrulig fiber. Gällande kemisk återvinning av bomull sker idag den mesta verksamheten i labbskala, men polyesteråtervinning, med krav på minst 80% polyester i ingående textilmaterial, finns redan i fullskala i Asien.

**På kort sikt (till år 2020)** bedöms de kemiska återvinningsprocesserna för polyesteråtervinning globalt komma att öka i antal anläggningar och i skala. Kemisk återvinning av bomull och cellulosabaserade konstfibrer (tekniker som idag finns i lab- eller pilotskala), bedöms vara möjlig att realisera i kommersiell demoskala till år 2020. Ett exempel på en möjlig anläggning till år 2020 i Sverige är den förbehandlingsanläggning för återvunnen bomull med en kapacitet på 3000 ton/år som *re:newcell* planerar att bygga för att omvandla bomullstextilavfall (minst 95% bomull) till textilmassa. Massan kan sedan levereras till befintliga



anläggningar för produktion av cellulosabaserade konstfibrer utomlands (exempelvis viskos eller lyocell).

För att möjliggöra återvinning av svenskt textilavfall bör ett antal förutsättningar uppfyllas:

- En utveckling av nya och mer storskaliga insamlingssystem. De kontrollerade flödena<sup>1</sup> av insamlat textilavfall bör öka i Sverige till år 2020.
- Automatisk sortering utefter materialens molekylära byggstenar (se kapitel 7.1.1).
- Nya separationsteknologier och upprening för blandmaterial på molekylär nivå, främst för separation av syntetiska material och naturmaterial.
- Ny spårbarhetsteknik för att upptäcka och hantera farliga ämnen som finns i textilier, både i mono- och blandmaterial. (se kapitel 7.3.7).

**På medellång sikt (till år 2030)** bedöms de kemiska återvinningsprocesserna för återvinning av bomull och cellulosabaserade konstfibrer – som till år 2020 förväntas finnas i demoskala – som möjliga att realisera i fullskala. För återvinning av polyester förutses en ökning av befintlig återvinningsprocess samt tillkomst av nya processer i demoskala (se kapitel 7.1, Tabell 4).

Dessutom förutses att de framtida återvinningsprocesserna kommer att kunna hantera blandmaterial och att utmaningen med separationsteknologier därför inte är av lika central betydelse som inför år 2020. Idag pågår forskning om ny polymerdesign för syntetiska material som kan bli lättare att materialåtervinna. Sådana material kan antas vara tillgängliga i demoskala till år 2030. Utökad forskning om ny polymerdesign är en förutsättning för en ökad och förenklad materialåtervinning av syntetiska material. För gynnsammare, mildare och effektivare separationskemi av blandmaterial antas exempelvis enzymdesign vara tillräckligt utvecklad för att tas i bruk i demoskala till år 2030.

Ett rimligt framtida återvinningssystem kan förslagsvis vara uppbyggt så att vissa processteg sker i Sverige, exempelvis från bomullsavfall till textilmassa och från polyesteravfall till polyesterpellets, och att dessa intermediära produkter sedan säljs vidare till den etablerade fibertillverkningen i Europa eller globalt (främst Asien). I dagsläget är det miljömässigt bättre att sälja vidare till fibertillverkning i Europa än i Asien, eftersom det främst är energiråvaran som används i processen som avgör fiberns totala miljöpåverkan (gällande de påverkanskategorier inkluderade i denna studie), då det exempelvis i Asien är vanligare med fossil energi än i Norden.

---

<sup>1</sup> Kontrollerade textila flöden med avseende på fraktionering av olika material, kemikalieinnehåll, samt fiberkvalitet.

### *Förutsättningar och utmaningar för olika material*

De textilier som kan återvinnas mekaniskt är denimjeans, bomullsplagg, rena polyesterplagg och plagg med hög yllehalt, samt hemtextilier av ren bomull eller polyester. Notera att enbart jeans utan elastan-inblandning återvinns mekaniskt till ny textil medan jeans med elastan omvandlas till isoleringsmaterial.

De flesta textila material bryts ner på molekylär nivå under användningsfasen genom slitage, tvättning och värmestorkning, vilket sänker kvaliteten på fibrerna inför återvinning (detta utvecklas närmare i kapitel 7.1.3 Kemisk återvinning). Fiberkvaliteten är avgörande för att textil ska kunna materialåtervinnas. De mekaniska fiberåtervinningsprocesserna sänker kvaliteten på alla textila material. Detsamma gäller kemisk återvinning av bomull och cellulosa-baserade konstfibrer, vilket begränsar antalet gånger som materialen kan återvinnas. För syntetiska material (exempelvis polyester och polyamid) finns det ingen begränsning för antalet gånger som materialet kan cirkuleras genom kemisk återvinning.

Återvinning av blandmaterial är en stor utmaning. Mekanisk återvinning av blandmaterial skulle kunna ske antingen genom att hantera blandningen som en helhet eller i ett försteg separera de olika materialen från varandra. Förutom utmaningen med kvalitetsänkning vid mekanisk separering, består ytterligare en utmaning i att syntetisk fiber generellt är starkare än naturfiber. Detta leder till inhomogen kardning och det åtgår även mer energi för att riva isär dessa fibrer, varför blandmaterial heller inte återvinns idag. Kemisk återvinning av blandmaterial är inte möjlig utan föregående upprening genom molekylär separation.

För energiåtervinning är textiliers värmevärde av relevans och med dess relativt höga värmevärde är det en välkommen tillsats i förbränningspannornas bränsle. Med avseende på förbränningspannornas konstruktion måste man idag blanda textil med andra typer av brännbart avfall. Med avseende på förbränningspannornas konstruktion måste man idag blanda textil med andra typer av brännbart avfall. Vid energiutvinning kan komplikationer uppstå p.g.a. hög fukthalt i textilmaterialet och att en energikrävande krossningsprocess i vissa fall behövs för rosterugnar och alltid för fluidiserade bäddpannor (FB-pannor). Vid förbränning vid 1000°C bryts de flesta organiska föreningar ned. De enda kemikalier som består intakta genom förbränningsprocessen är metaller och metalloxider.

### *Mot en giftfri återvinningsprocess*

Av de beskrivna textilåtervinningsprocesserna kommer de kemikalier som finns med i inkommande materialström vid mekanisk återvinning, också att finnas kvar i det utgående materialet eftersom påverkan på molekylär nivå vid denna typ av återvinning inte är så stor. Övriga återvinningsprocesser kommer stor del av det ursprungliga kemiska innehållet att elimineras genom urlakning och/eller nedbrytning.

Noggrann materialsortering är centralt vid textilåtervinning för att underlätta både vid mekanisk och kemisk återvinning. En utveckling av nya metoder för automatisk sortering, d.v.s. nya detektionsmetoder och ny märkning av textilinnehåll, kan i framtiden även uppnå spårbarhet av kemikalieinnehåll i textilier inför återvinning. Det behöver bli möjligt att följa de kemiska tillsatser, såsom smuts- och vattenavvisande ämnen, biocider, flamskyddsmedel samt övriga farliga ämnen som förekommer i textila material. Vissa av dessa ämnen finns kvar i textilier vid slutet av användarfasen och förs alltså vidare vid mekanisk återvinning.

Idag är kunskapen och kommunikationen kring farliga ämnen i textil mycket begränsad varför behoven fram till 2020 främst består av att fortsatt öka kunskap och förmåga att överföra information om farliga ämnen i leverantörskedjan och till konsument.

Det är idag mycket svårt för ett textilföretag inom EU att ställa krav på utfasning av farliga ämnen uppströms i tredje land utanför EU. Detta kan dock underlättas om textilföretaget kan referera till en EU-lagstiftning med tydliga begränsningar och förbud. Detta innebär att det behövs en tydlig och harmoniserad och implementerad kemikalielagstiftning i hela den gränsöverskridande värdekedjan.

Till 2030 görs bedömningen i den föreliggande rapporten att den gemensamma kunskapen och kommunikationen kring farliga ämnen i textil har ökat väsentligt globalt (se kapitel 7.3.6). För att överföringen av farliga ämnen vid textilåtervinning ska kunna kontrolleras krävs att kunskapen i hela värdekedjan ökar väsentligt (i synnerhet uppströms hos färgerier och nedströms till tygleverantörer, de textila företagen och ända ner till återvinnare) till 2030.

## 3 Summary

This report examines current and potential future technical developments in textile recycling. The analysis focuses on the technical and environmental challenges (not on economic conditions) and opportunities for textile recycling in a Swedish context. Assessments of textile recycling technology, the environmental conditions, and impact of these on the future collection system has been carried out based on existing technology and current research and development, in order to provide recommendations on how to address challenges and opportunities in future textile recycling. The assessments and recommendations are based on life cycle assessments (LCA) of different scenarios on how the recycling could be carried out. The analysis has been regards three time perspectives: today, in short term until year 2020, and in medium term until year 2030. The study illustrates how far the material recycling may reach in terms of solutions as pilot scale, demonstration scale (demo scale), and full scale, regardless of if these solutions are developed in Sweden or other countries. The textile waste included in the study is, however, considered to be Swedish textile waste.

### *Recycling Techniques*

To reduce the overall environmental impact, it is important to manage the recycling steps in an optimal manner from an environmental standpoint. This applies to energy, chemical management, waste management and process efficiency. In this study the steps are assumed to be optimal enough to give a positive environmental impact compared to virginal raw material. The basis for the assessment of the environmental performance of the recycling processes, LCA has been performed.

### *Environmental benefit of recycling and the different aspects thereof*

The conducted LCA and the investigated environmental impact categories in the present study (global warming potential, acidification potential, eutrophication potential, ozone layer depletion, photochemical oxidant formation, and human toxicity, fresh water aquatic eco-toxicity and terrestrial eco-toxicity) demonstrated environmental benefits, both with new chemical and mechanical recycling processes, compared to existing Swedish energy recovery (incineration). The environmental benefits are also heavily dependent on what the recycled fibre is replacement for in the calculations; for example if cotton fibres are replaced, this gives significant profit within the environmental impact categories corresponding to the environmental issues of cotton farming, such as the release of fertilisers and pesticides into soil and water, leading to eutrophication and toxic effects. There is, however, a recycling-scenario which markedly increases the environmental impact compared to incineration (in the Nordic countries). It consists of chemical recycling, if the produced lyocell fibre is assessed to replace virginal cotton. This increase is due to that the lyocell process consumes more energy than needed in cotton production. Hence, from an environmental point of view it is important to monitor the efficiency of different recycling steps (energy consumption, chemical

handling, waste disposal and process effectiveness). Regarding environmental issues, new processes have the potential to reduce global warming potential of 0.5-3 kg CO<sub>2</sub> equivalents/kg handled textile waste compared to incineration. This is a relatively small profit of a textile product, considering that a complete product has a CO<sub>2</sub> pollution of 10-40 kg CO<sub>2</sub> equivalents/kg product (page 65), hence other environmental impact categories gives more optimistic results to support recycling. Furthermore, the environmental benefits are dependent on that the recycled fibres actually replace virgin fibres. If the processes only lead to an increase in total fibre production, the environmental benefits will be lost. The environmental benefit is also greatly dependent on the type of fibre being replaced, i.e. if the LCA includes replacing virgin cotton by lyocell from used cotton, alternatively lyocell from wood, where the latter is more profitable.

To recycle polyester (chemically and mechanically) is beneficial, especially since the material has fossil origin and hence causes fossil emission when incinerated. Even recycling (chemically) of mixed materials (50/50 cotton/polyester) gives a beneficial environmental effect since incineration of polyester is avoided and hence the fossil based emissions are decreased, required that both the cotton and the polyester in the mixed materials are recycled chemically.

#### *Swedish textile recycling today and in the future*

The existing recycling technique primarily used for handling textile waste in Sweden is energy recovery (incineration). This is where most of the Swedish textile waste ends up today, either due to deficiencies in the collection of consumer textile waste and sorting of household waste, or due to a limitation of optional recycling processes. With respect to the construction of the incinerator, fabrics today have to be mixed with other types of waste, such as waste from the service sector and households. Furthermore, textile waste is an attractive contribution to the incineration process as it raises the average calorific power of the waste, which contributes to more efficient combustion. This is assuming that the textile waste is taken apart prior to incineration and that it has a relatively even moisture content. Today also some mechanical recycling can be seen, of which most goes to rags, padding or insulation (so-called "down-cycling"), but also to newly spun thread (so-called fibre-to-fibre recycling). Mechanical fibre-to-fibre recycling is considered difficult to reach viability over both shorter and longer run, as these recycled fibres have significantly lower quality than virgin fibres. Existing chemical recycling of cotton takes place in lab-scale today, but polyester recycling (with the requirement of at least 80% polyester in the used materials) is already used in full scale in Asia.

**Short term (until 2020)**, the chemical recycling processes of polyester globally by 2020 are assessed to increase, both in the number of production plants and also in scale. For chemical recovery of cotton and cellulose-based artificial fibres (techniques that exist today in laboratory or pilot scale), are expected to have the potential to realize a commercial demonstration scale by 2020. An example of a

possible facility by 2020 in Sweden, is the pre-treatment plant for recycled cotton with a capacity of 3,000 tons/year that *re:newcell* is planning to build in order to convert cotton textile waste (at least 95% cotton) to textile pulp, which may then be delivered to existing plants for the production of cellulosic synthetic fibres abroad (e.g. viscose or lyocell).

To allow for recycling of Swedish textile waste a number of requirements need to be reached:

- New and large-scale collection systems and the handling of the incoming material.
- Automatic sorting based on the molecular building blocks in the textiles (chapter 7.1.1).
- New separation techniques and purification processes on a molecular level. Especially for separation of synthetic and natural materials.
- To develop and deploy technologies that enable traceability of textile content, with respect to the chemical additives (such as surface finish, etc.) that remain in textiles at the end of the user phase (see more detailed recommendations for handling of hazardous substances, chapter 7.3.7).

**Medium term (until 2030)**, the chemical recycling processes for cotton and cellulosic man-made fibres predicted to be in demo scale by year 2020, are also recognised as possible for realisation in commercial full-scale until 2030. For the recycling of polyester a predicted continued expansion of the existing process and development of new processes in the demo scale is expected. In addition, it is predicted that the future recycling processes can handle material blends and that the challenge of separation technologies is thus less critical as before 2020. Research also indicates opportunities for new synthetic materials using new polymer design where the polymers facilitates recycling, which should be available in the demo scale 2030. Today this polymer design should be seen as a research need in order for such a development to occur. For more beneficial, milder and more effective separation chemistry of mixed materials, enzymatic design has been seen as potential method which could be sufficiently developed for use in the demo scale by 2030.

A reasonable future recycling system can tentatively be constructed in a way so that a certain process may take place in Sweden, for example from cotton waste to textile pulp and the process from polyester waste to polyester pellets. The production chain for these intermediate products may then be exported in order to produce fibres in Europe or globally (mainly in Asia). In the current situation, it is environmentally superior to resell to European fibre production because the energy used in the process is crucial to the fibre's environment impact, and in Asia fossil energy is for instance more commonly used.

### *Prerequisites related to different fibre materials*

Textiles suitable for mechanical recycling are denim jeans, cotton garments and home textiles, pure polyester garments and home textiles, and garments with high wool content. Note that only spandex-free denim jeans can undergo mechanical fibre recycling while jeans with spandex are converted to insulation.

During the user phase most textile material is broken down somewhat at the molecular level by wear, washing and heat-drying, which lowers the quality of fibres prior to recycling (see further Chapter 7.1.3). Fibre quality is crucial for how the material can be recycled. Similarly chemical recycling of cotton and cellulosic man-made fibres is limited in the number of times that the materials can be recycled. In contrast to chemical recycling of synthetic materials (e.g. polyester and polyamide), there is no limit to the number of times that the material can be circulated as the recycling process involves re-polymerisation from the monomeric components.

Recycling processes of blends is the biggest challenge where mechanical recycling could be done either by handling the material as a whole (in mechanical recycling/down-cycling) or to separate out the different materials from each other in a pre-stage in order to chemically recycle the two fractions separately. Apart from the challenge with decrease in quality during mechanical treatment, another challenge regards the fact that the synthetic fibre normally is stronger than the natural fibre. This leads to inhomogeneous carding and it also requires more energy to tear the synthetic fibres apart. As a result material blends are not recycled today. Chemical recycling of blend material is not possible without fractionation through molecular separation.

For energy recovery the rather high calorific value of textiles is of relevance, and is mostly seen as a benefit in the incineration process. Due to the construction of the incineration boiler it is today necessary to mix textiles with other waste. Complications can arise in energy recovery if the textile waste has high moisture content. Another issue in incineration of textile may be the energy-intensive crushing process needed, in some cases for the grate incinerators, and always for fluidized bed boilers (FB boilers). At incineration above 1000°C most organic compounds are broken down, the only chemicals that stay intact during such process are metals and metal oxides.

### *Non-toxic recycling process*

In the described textile recycling processes the existing chemicals in the incoming material streams of mechanical recycling will remain in the outgoing material since the effect on the molecular level in such process is low. In other recycling processes (chemical and incineration) a large part of the chemical content will be eliminated by leaching and/or degradation.

Thorough material sorting is central in textile recycling in order to facilitate mechanical and chemical recycling. In the future, development of new methods for automatic sorting, i.e. new detection methods and new marking of textiles, can also achieve traceability of chemicals in textiles for recycling. It is necessary to be able to trace chemical additives, such as oil- and water-repellent substances, biocides, flame retardants and other hazardous substances that occur in textile materials. Some are left in the textile materials at the end of the user phase and are hence also transferred to the mechanical recycling process.

Today, knowledge and communication about hazardous substances in textiles is very limited, which needs to be improved by 2020. It is of importance to increase the knowledge and ability to communicate hazardous substances into production also to consumers.

Today, it is challenging for European textile companies to gain understanding for their requests to phase out hazardous substances upstream in a third country outside the EU, without being able to refer to EU legislation with clear restrictions and prohibitions. This implies for the need of clear and harmonized, international and implemented chemicals legislation throughout the cross-border value chain. By 2030, it is considered in this present investigation that the common understanding and communication about hazardous substances in textiles (especially upstream regarding dyeing and downstream to fabric manufacturers, textile companies, and all the way down to the recycling user) has increased significantly worldwide, which should lead to the transfer of hazardous substances in textile recycling being controlled.



## 4 Syfte och mål

Syftet med studien var att ta fram ett kvalificerat sakunderlag till Naturvårdsverkets regeringsuppdrag om textilier genom analys av material-återvinningens förutsättningar sett till:

- utvecklingen av återvinningsteknikerna för de viktigaste textilmaterialen
- miljöprestanda avseende t.ex. energi, markanvändning, vattenförbrukning och kemikalier för fiber till fiber-återvinning och down-cycling
- motverkandet av spridning och ackumulation av särskilt farliga ämnen och andra ämnen med oönskade egenskaper i kretsloppet
- hur insamlingssystemen påverkas av det som framkommer om tekniker, miljöprestanda och spridning/ackumulation av de nämnda substanserna.

## 5 Terminologi

Term	Förkortning (om bruklig)	Beskrivning
Avfall		Alla föremål eller ämnen som innehavaren vill göra sig av med eller är skyldig att göra sig av med, d.v.s. restprodukter som antingen inte godtas för återanvändning eller inte längre är tillåtna att inneha och som innehavaren därför kasserar eller tänker kassera för återvinning, energiutvinning eller deponering.
Avfallsförbränning		Värmebehandling av avfall genom oxidation med energiutvinning till el- och fjärrvärmeproduktion. Det råder stränga utsläppskrav för en lång rad föroreningar, vilket innebär att högeffektiv reningsutrustning måste finnas..
Avfallshantering		Verksamhet eller åtgärd som utgörs av insamling, transport, återvinning och bortskaffande av avfall.
Blandmaterial		Kallas i rapporten ett tyg bestående av mer än 1% av annat material än huvudkomponenten. D.v.s. 5% elastan i bomull anses här vara blandmaterial.
Cellulosabaserad fiber		Bomull, lyocell, Tencel, Modal, viskos
Demonstrationsskala	Demoskala	Produktionskapacitet ca 50-10000 ton/år, för att verifiera och optimera en process inför full industriell skala.
Energiutvinning		Förbränning i värmeverk av organiskt avfall eller trä, plast och gummi i olika former som samhället ännu inte lyckas återanvända eller återvinna (observera att man inte ska tala om energiåtervinning) men som innehåller energi som skulle gå förlorad vid deponering.
Farligt avfall		Använda varor och material med giftiga eller på annat sätt skadliga komponenter som därför inte är varken lämpliga eller tillåtna för återanvändning, återvinning eller vanlig deponering. Farligt avfall är avfall som är explosivt, brandfarligt, frätande, smittförande eller giftigt för människa och miljö.
Fraktion		Ett materialslag, en kvalitet, som separerats från en blandning av olika materialslag.
Hushållsavfall		Avfall som kommer från hushåll och avfall från annan verksamhet som till sin typ eller sammansättning liknar det avfall som kommer från hushåll.
Industriavfall		Avfall uppkommit genom en verksamhetsprocess.
Industriell skala		Produktion med industriell bäring.

Term	Förkortning (om bruklig)	Beskrivning
Ingående material		Det textila avfall som går in i en återvinningsprocess.
Kemisk återvinning		En process där fibrernas polymerer löses upp till molekylär nivå m.h.a. kemikalier och därefter våtspinnas till en regenererad fiber.
Konstfiber		Regenatfiber av cellulosa: Viskos, lyocell/Tencel, Modal Cellulosaacetatfibrer Syntetfiber Organiska fibrer
Laborativ skala	Labskala	Produktion i liten skala (1-10 000 g/år)
Livscykelanalys	LCA	Metod för bedömning av en produkts eller tjänsts miljöpåverkan under hela livscykeln. Utsläpp indexeras till olika miljöpåverkanskategorier.
Livscykelinventering	LCI	Inventering av data för alla aktiviteter i en produkts eller tjänsts livscykel. Resultaten presenteras genom att man listar all resursanvändning och alla utsläpp. Är ett delsteg i en LCA.
Mekanisk återvinning		Fibrerna återvinns i sin ursprungliga form genom exv. kardning och spinning till ny tråd. Ej termisk (d.v.s. smältspinning av syntetiska material) eller kemisk återvinning.
Naturfiber		Naturfibrer inkluderar bomull, ull och linne, men även cellulosabaserad konstfiber (d.v.s. regenatfiber: viskos, lyocell och modal).
Pilotskala		Produktion av ca 10-1000 kg/år
Polyuretan		Marknadsnamn: Spandex, Lycra, Elastan
Polyamid		Marknadsnamn: Nylon
Regenerering		Återskapande av en ny fiber av jungfrulig kvalitet inom kemisk återvinning och termisk återvinning (ej inom mekanisk återvinning).
Restprodukter		Ordet används inte av avfallsbranschen eller lagstiftningen, men är ett samlingsbegrepp för returprodukter och avfall.
Textilmassa		En cellulosaamassa med ändamålet att bli textilfiber. Denna kan vara producerad av bomull, ved, eller annan cellulosarik råvara. Att jämföra med pappersmassa som produceras med ändamålet att bli papper.
Syntetiska fibrer		Syntetiska polymerfibrer inkluderar polyamid/nylon, polyester, akryl, spandex/lycra/elastan/polyuretan.
Utgående material		Det material kommer ut ur en återvinningsprocess, med andra ord det som blir den återvunna textila råvaran.

<b>Term</b>	<b>Förkortning (om bruklig)</b>	<b>Beskrivning</b>
Återanvändning		Fortsatt användning av redan använd vara eller använt material på det sätt som från början avsågs med denna vara eller material (se även kretslopp och returprodukter). Återanvändning är alltså användning av en kasserad produkt utan föregående förädling (och utan att det räknas som avfall).
Återvinning		Tillvaratagande och behandling av avfall så att det kan ersätta nya råvaror. Användning av material, näringsämnen eller energi från avfall, bland annat förbränning eller kompostering.

## 6 Bakgrund

Idag (mars 2015) pågår i Sverige, Norden och Europa en del aktivitet för att se över möjligheter och lösningar till hantering och insamling av textilt avfall på samma sätt som sker för andra sektorers avfall (exv. plast, papper, metall). I denna rapport förutsätts att även Sverige i framtiden, åtminstone till år 2030, har etablerade insamlingssystem för textilt avfall och att volymerna textilt avfall tills dess därför kan anses ha ökat väsentligt jämfört med dagens nivåer. Denna rapport belyser möjligheter och utmaningar med tekniskt fokus för att möjliggöra textilåtervinning. Den berör inte hur insamlingssystem ska se ut och inte heller har ekonomiska förutsättningar utretts, även om det på vissa ställen omnämns utan att gå djupare in på behoven/kraven.

I dagsläget går i princip inget av det svenska textilavfallet till materialåtervinning inom landet. Globalt finns dock en marknad för återvunnen textil [1]. Svenska välgörenhetsorganisationer skickar den textilandel som inte går att sälja i Sverige eller Östeuropa till t.ex. Tyskland eller Nederländerna för återvinning (och även återanvändning). Den mest förekommande textilåtervinningen i Europa är textil används som stoppning i exempelvis madrasser eller bilsäten[2].

Inflödet av kläder och hemtextil till Sverige var under 2013 totalt 121 000 ton, vilket blir ca 12,5 kg/person[3]. Detta kan jämföras med att det slängs uppskattningsvis 8 kg textilier/person/år i Sverige i säck- och kärlavfallet (baserat på plockanalyser[4]). Av de kläder som samlas in via välgörenhetsorganisationer, ca 3 kg textilier/person/år, kommer huvuddelen från privatpersoner. Textilier från företag står för en jämförelsevis mycket liten andel[3], men detta bör utredas vidare.

Vissa svenska klädföretag samlar numer själva in textil och textilavfall i butik och skickar detta för sortering, återanvändning och materialåtervinning till anläggningar, exv. till SOEX via I:Collects[5] insamlingssystem. Den återvinningsteknik som idag används kan kategoriseras som mekanisk återvinning. Det bör nämnas att den mest resurseffektiva fraktionen av insamlad använd textil är den som kan sorteras ut till återanvändning. Denna fraktion är dock exkluderad i rapporten, då fokus här är just återvinningsmöjligheter för textil. I mekaniska återvinningsprocesser där produktion av återfunnen fiber till tråd sker, klipps, rivs och kardas textilfibrerna till en jämn fibermassa. Under användarfasen nöts dessvärre fibrerna och bryts delvis ner. Denna försvagning av fibrerna sker vidare även under de mekaniska processerna (rivning och kardning av fibrer) varför även stora förluster av fibermaterial sker under denna behandling. För att kunna spinna tråd av god kvalitet av mekaniskt återvunnen fiber, måste de återvunna fibrerna blandas upp med merparten jungfrulig fibrer. H&M uppger till exempel att de genom I:Collects insamlingssystem i butik, varpå insamlat material skickas till SOEX återvinningsanläggningar. I gengäld aktören (här H&M) få in upp till 20 %

mekaniskt återvunnen bomull i nya plagg[6]. Normalt sett används i första hand dock denna typ av fibrer från mekanisk återvinning till olika sorts stoppning och isolering[7].

Alternativet till mekanisk återvinning är kemisk återvinning där materialet smältes eller löses upp med hjälp av kemikalier för att därefter kunna regenerera en ny fiber för textilt bruk. Denna teknik är under utveckling, främst i Asien där kemisk återvinning är i fokus, främst då på polymera material för syntetiska fibrer. Viss utveckling sker också i Europa, bland annat via företaget re:newcell, för framställning av textilmassa från återvunnen bomull, vilket tas upp i denna studie som ett lovande exempel.

Eftersom återvinning av textil till textil är så pass ovanligt, och endast i liten skala, finns inte mycket detaljerad data vad det gäller energianvändning och miljöprestanda för dessa processer. Studier som utförts visar dock att materialåtervinning av textil ger en miljönytta (jämfört med förbränning) vid antagandet att återvinning leder till minskad produktion av jungfruliga material[8, 9]. Livscykelanalyser (LCA) har dock utförts på cellulosafibrer från träråvara (viskos och lyocell; det senare säljs av Lenzing under varunamnet Tencel<sup>®</sup>) framtagna av Lenzing Group[10, 11]. Dessa studier är av relevans då processerna i sig kan vara en tänkbar metod för återvinning av bomull, då cellulosa från träråvara ersätts med cellulosa i använd bomull. LCA-studierna redovisar energianvändning och en miljöpåverkan inom ett antal miljöpåverkanskategorier. Tyvärr redovisas data endast i aggregerad form och inte för enskilda processer (resultatet diskuteras nedan), vilket gör dem begränsade att utnyttja i den aktuella studien. Viktigt att belysa är dock att toxisk miljöpåverkan från kemikalieanvändningen genom en textilprodukts livscykel ofta hanteras bristfälligt i LCA, både p.g.a. bristande data på vilka kemikalier som används och hur dessa överförs mellan olika livscykefaser, samt bristande karakteriseringsmetoder för toxicitet (vilka översätter en exponering av kemikalier till en toxisk påverkan på människa och miljö). Då detaljer inte redovisas är miljöpåverkanskategorierna för toxisk miljöpåverkan, t.ex. det som presenteras LCA-studierna på Lenzings fibrer[10, 11], befattade med stora osäkerheter. I denna rapport kommer toxisk påverkan ändå studeras med LCA med de inneboende osäkerheter som detta innebär. Dessutom behandlar kapitel 7.3 ”*Hantering av farliga ämnen*” en studie på vilka ämnen som kan förekomma i olika materialtyper, och i viss mån produktsegment och hur dessa ämnen förväntas påverkas av de för materialet aktuella hanteringsprocesserna.

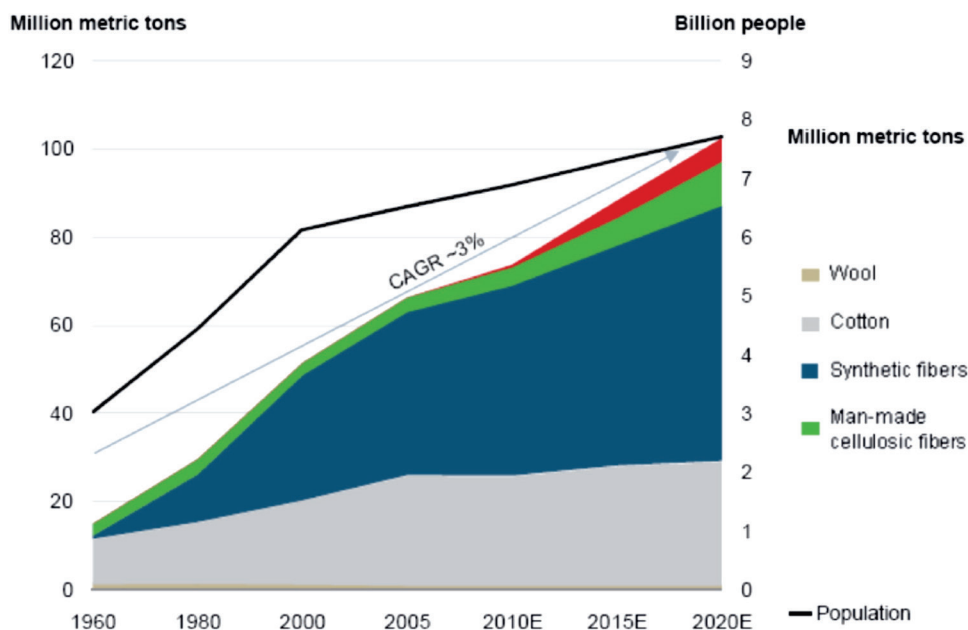
Från LCA-studierna på Lenzings fibrer framgår det att energianvändningen spelar mycket stor roll för de olika fibrernas miljöpåverkan[10, 11]. En annan iakttagelse är att de fibrer som tillverkas i Europa (Lenzing, Österrike) orsakar mycket mindre miljöpåverkan än de som tillverkas i Asien. Detta beror främst på den stora användningen av förnybar energi vid anläggningen i Österrike till skillnad från den asiatiska produktionen, där fossila bränslen och el från kolkraft används i högre grad. Vidare visar studierna att integrerad produktion av textilmassa och textilfibrer

ger mycket lägre miljöpåverkan än när textilmassa produceras på annan plats och sedan köps in av fiberfabriken. Detta beror på att användningen av spillvärme från massaprocessen kan användas i de följande framställningsprocesserna för textilfiber. De träbaserade fibrerna i den tidigare studien[10] har mindre miljöpåverkan än bomull i nästan alla de tolv påverkanskategorier som undersökts[10]. Detta gäller dock inte viskos som tillverkats i Asien, där miljöpåverkan visar sig högre än för bomull för sju av de tolv påverkanskategorierna, däribland klimatpåverkan p.g.a. användning av icke-förnybar energi. Detta visar tydligt vikten av effektiva processer och skillnaden mellan produktion med tillgång till förnybar energi jämfört med produktion som använder fossil energi. I dessa jämförelser ska dock poängteras att energianvändning och klimatpåverkan inte är de stora problemen vid produktionen av bomull. Den största miljöpåverkan från bomullstillverkning är användandet av hälsovådliga bekämpningsmedel, övergödning till följd av gödselanvändning och jordförsaltning på grund av hög vattenanvändning[10]. Detta till skillnad från de träbaserade fibrerna där energianvändning och klimatpåverkan ofta ses som viktiga parametrar när miljöprestanda bevakas. Beroende på träråvans ursprung kan även avskogning, med efterföljande påverkan på biologisk mångfald och klimat, vara en viktig miljöparameter. Detta är fallet t ex för vissa tropiska regioner.

I en annan studie av samma författare (Shen et. al, 2012)[12] innefattas även polyesterfiber från återvunna PET-flaskor i jämförelse med regenererade cellulosa-fibrer. Denna studie visar att de återvunna PET-fibrerna orsakar lägre klimatpåverkan än de träbaserade fibrerna. Men om de träbaserade fibrerna tillverkas i integrerade anläggningar och med förnybar energi ligger de på ungefär samma nivå som de återvunna PET-fibrerna[12].

#### *År 2020*

Behovet att utnyttja textilt avfall som en materialresurs anses öka, då den globala efterfrågan på textilfibrer konstant ökar med ca 3 % per år[13], se Figur 1. Denna ökning sker främst i länder med ökande andel medelklass vilket visas i invånarnas konsumtionsbeteende. Exempelvis är den förväntade textilkonsumtionen år 2020 i Kina: 22 kg/person/år, Brasilien: 17 kg/person/år, Indonesien: 12 kg/person/år och Indien: 12 kg/person/år[13]. Efterfrågan på textilfiber år 2020 förväntas dock ha stagnerat i västvärlden där USA 2020 förväntas konsumera ~38 kg/person/år och i Europa ~28 kg/person/år[13]. I Sverige energiutvinns idag största andelen textilt avfall genom förbränning, men globalt läggs vanligtvis textilt avfall på deponi vilket kommer vara ett växande problem. Detta belyser vikten av att utveckla teknologi för återvinning av textilt avfall globalt, både materialåtervinningsmetoder och renare förbränningsprocesser (vilket saknas internationellt[14]). I Figur 1 ses högst upp ett rött fält. Detta representerar det underskott som beräknas finnas inom cellulosa-baserade fibrer, vilket år 2020 motsvarar ca 5 miljoner ton globalt. Detta underskott kan förslagsvis täckas delvis av återvunnen cellulosa från bomull.

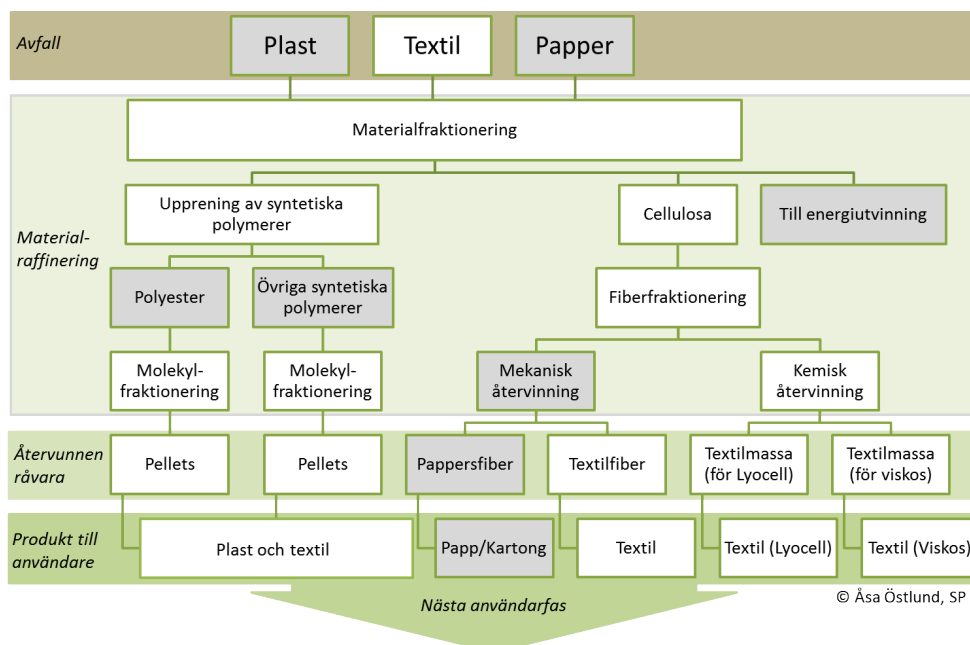


**Figur 1: Förväntade ökade behovet globalt av textilfibrer till år 2020 i miljoner ton (vänstra y-axel) i korrelation med den ökande befolkningmängden (högra y-axeln) baserat från uppmätta volymer och förväntade volymer år 2010-2020[13]. Den diagonala pilen i diagrammet representerar förväntad efterfrågan av textilfibrer (~3% ökning/år). Svarta linjen: global befolkningmängd, brunt fält: ull, grått fält: bomull, blått fält: syntetiska fibrer, grönt fält: ved-baserad cellulosafiber, rött fält: den förväntade bristen på cellulosatextil. Bilden används med tillstånd från tidskriften Lenzinger Berichte[13].**

Återvinning kan delas in i sluten loop och öppen loop. Exempelvis kommer normalt sett inte återvunna textilmaterial från textil idag (s.k. sluten loop), utan även icke-textil-till-textil tillämpas idag exempelvis från PET-flaskor till polyesterfibrer[15, 16], vilket då kallas för en öppen återvinningsloop eftersom material mellan olika sektorer inkluderas. Däremot kan i flera fall öppna återvinningsloopar förlänga livet på det raffinerade materialet, trots att samma material i en sluten loop skulle räknas som uttjänt. Detta tydliggörs i molekylära studier. Exemplet med PET-flaskor kan belysa fördelen med öppna loopar genom att då PET-materialet är återvunnet ett antal gånger som flaskor, har polymerens kedjelängder brutits ner så pass att de ger en mekaniskt svagare flaska. Däremot kan kraven på polymerkedjans längd vara lägre i andra sektorer, vilket är fallet för textilfibrer av polyester. Utifrån ett kundperspektiv bör produkter av återvunna material ha likvärdig prestanda (kvalitet och prisläge) som jungfrulig kvalitet, för att efterfrågas av kund.

Då de mest krävande stegen i regenereringsprocesserna är beroende av vilken molekylär uppbyggnad materialet har, analyseras här möjligheterna till ett ”materialraffineri” vilket är en här föreslagen modell för framtida insamlade materialflöden istället för separat textil-, pappers- eller platsåtervinning (se Figur 2). Detta förslag kan dock ses som mycket visionärt och skulle kunna etableras 2030-2050.





**Figur 2: Futuristisk illustration av förslag på tvär-sektoriellt materialraffinaderi för eventuell etablering 2030-2050 där dagens befintliga steg markeras med gråtonade rutor. Viss del av energibehovet i materialraffinaderiet kan tillgodogöras från de fraktioner som har för låg kvalitet jämfört med efterfrågad kvalitet, och därmed leds till energiutvinning (förbränning).**

De en gång framställda och upprepade materialen, använda inom en sektor, kan med fördel återvinnas inom en annan sektor. Överst i Figur 2 illustreras tre idag separata insamlingssektorer. På molekylär nivå överlappar dessa med flertalet produkter och de molekyler som under användarfasens slitage påvisat för låg kvalitet inom en sektor, kan vara väl tillräcklig inom en annan vilket möjliggör en ”hierarkisk återvinning”. Denna typ av öppna återvinningsloopar anses möjlig inom exv. pappersåtervinning till cellulostatextil (t.ex. viskos eller lyocell), eller som vid polyesteråtervinning idag där PET-flaskor smälts ner och återvinns som textilfiber. I ett sådant system skulle material återvinnas utifrån dess kemiska sammansättning, istället för som idag – utifrån den sektor som hanterar produkterna (förpackning, tidningspapper, plast, m.m.).

## 7 Aktiviteter och analyser

Analyserna utförda och beskrivna i denna rapport bygger på kartlagda textilflöden i Sverige och hur dessa flöden hanteras idag, och antas kunna utföras år 2020 och 2030. Det svenska textilavfallet som innefattas i studien baseras på tidigare rapporter av textilt avfall i Sverige, medan den kartläggning av teknologi som utförts täcker globala alternativ med prioritet på största miljövinsten, d.v.s. svensk industrinytta har inte prioritet i studien. Bedömningarna är utförda med fokus på möjlig teknologi och miljönytta, men exkluderar arbetsmiljöaspekter.

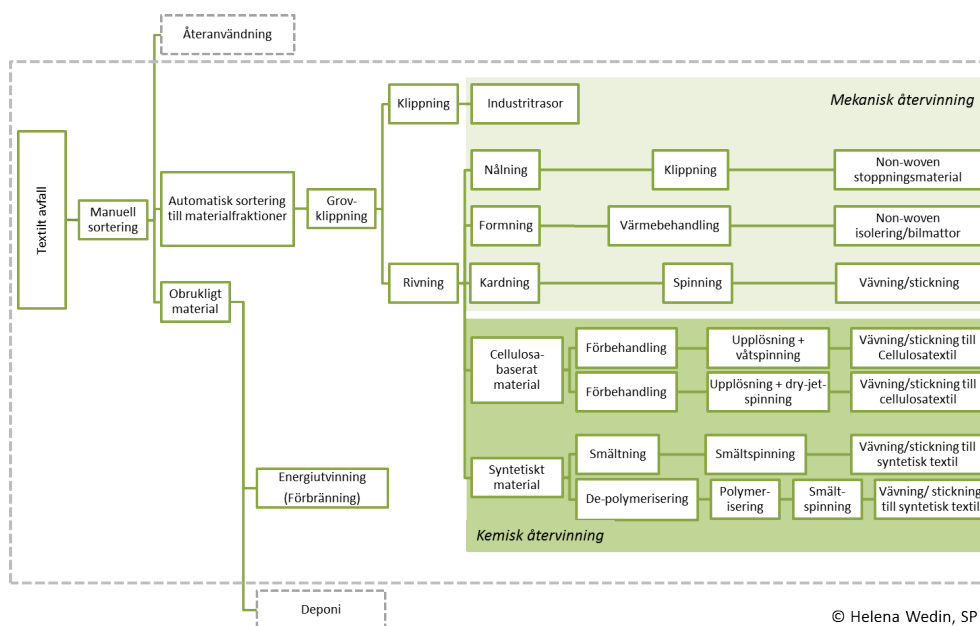
De alternativ som bedömts för hantering av textilt avfall till år 2020 bygger på teknologi som idag finns i pilotskala. Bedömning av möjligheterna för textilåtervinning i demonstrationsskala av kända svenska fraktioner från de idag kontrollerade textila avfallsflödena, d.v.s. från tvätterier för sjukhus och hotell. De materialfraktioner som anses möjliga att hanteras på kort sikt är monomaterial av bomull, polyester och polyamid.

Däremot har de alternativ som bedömts som rimliga för år 2030 uttryckts något mer visionärt och baseras på de aktiviteter som idag utformas i labskala, men där potentialen för uppskalning bedöms rimlig för att nå en framtida process. Till år 2030 antas utvecklade insamlingsprocesser ha bidragit till ökade, och mer kontrollerade, flöden av svenskt textilavfall. Därför antas det möjligt att 2030 kunna ha storskalig återvinning av textil från framförallt bomull, men även pilot-/demonstrationsskalig produktion av återvunnen textil från specifika, försvarbara blandmaterial som fyller de tekniska kraven. Blandmaterial kan anses försvarbara ur ett livscykelperspektiv (då vissa blandmaterial uppvisar längre livslängd än monomaterial) eller att vissa egenskaper ställs som krav med andra motiveringar såsom specifika funktioner etc.

### 7.1 Återvinningstekniker

En kartläggning har utförts för att visa på möjligheterna och behoven rörande teknisk utveckling av återvinningstekniker för de viktigaste textilmaterialen (cellulosabaserade material, polyester, polyamid och ull), se Figur 3, med fokus på de vanligaste textila materialen: bomull som utgör 34% av den globala fiberproduktionen och polyester 45% (2008)[17].

De återvinningstekniker som är beskrivna i denna rapport är inte tillämpbara för alla vanligt förekommande textila materialen som utvärderats. Exv. är smältspinning (dvs termisk återvinning) av bomull eller ull olämplig, då dessa material inte har smältpunkt utan förkolnas vid upphettning. Vidare påverkar det kemiska innehållet i det ingående materialet hur olika återvinningstekniker lämpar sig, vilket beskrivs mer utförligt i kapitel 7.3 *Hantering av farliga ämnen*.



© Helena Wedin, SP

**Figur 3: Alternativa vägar för textilt avfall som omnämns i studien. Exkluderat i studien är återanvändning och deponi.**

### 7.1.1 Sorteringsteknologi

Idag sker all sortering av textil i större skala manuellt, men snabb automatisk sortering med detektion av hög noggrannhet för materialkaraktärisering efterfrågas för att effektivt hantera större flöden och de noggrannhetskrav som främst ställs vid kemisk återvinning[18]. Manuell sortering och mänsklig bedömning är dock viktig vid det första sorteringssteget när textil för återanvändning sorteras ut. För att effektivt och materialspecifikt kunna sortera insamlat textilt avfall bör automatisk sorteringsteknologi utvecklas. Detta genom exv. molekylär karaktärisering för att identifiera fibertyp och/eller avläsning av påsydd/tryckt etikett eller elektronisk spårbar märkning av textilier. Även tekniska separationsmetoder baserade på densitetsskillnader i fibermaterial med olika materialtyper skulle kunna vara ett möjligt framtida alternativ inom sortering.

När behovet av noggrannhet i materialfraktionering i sorteringsledet är högt, vilket till viss del gäller mekanisk återvinning, men framför allt kemisk återvinning, anses manuell sortering och den mänskliga faktorn ha för stor felkälla. Exv. de fraktioner man idag kan få tillgång till av återvunnet material sorterat som 100% bomull, har efter kemisk analys visat sig innehålla 50-70% bomull och resten är mestadels polyester, polyuretan och ull[19].

#### 7.1.1.1 AUTOMATISK SORTERING

Idag finns semiautomatiserad teknik för transportband som matar fram textil. Det finns ett behov av lösningar för identifiering av textilfibrer, något som fortfarande är i en utvecklingsfas.

I en rapport initierad av Wrap och utförd av Oakdene Hollins[20] har tre stycken olika tekniker identifieras som lämpliga kandidater för framtida automatisk sortering och jämförts med manuell sortering:

- Nära infraröd spektroskopi (NIR): ger molekylär karaktärisering (kräver ej märkning av textil)
- Radiofrekvens-identifiering (RFID): kräver märkning av textil som elektroniskt kan avläsas
- 2D streckodsmärkning (exv. streckkod och QR, Quick Response): kräver märkning av textil genom påsydd/tryckt etikett

Några av de kriterier som behöver beaktas för att göra automatisk sortering möjlig är:

- Hur textilier ska placeras för att göra identifieringen möjlig och ge noggrann sortering
- Antal plagg som kan avläsas per sekund
- Avläsning av fiberblandningar
- Det maximala avläsningsavståndet mellan textil och avläsare

Ett pågående projekt som satsar på NIR-tekniken för utveckling av automatisk sortering i en kommersiell skala för hantering av textilavfall är initierat av Circle Economy och Wieland Textiles. Projektet håller på att utveckla och etablera en kommersiell process för att sortera använt textilavfall för återvinning, den så kallade Fibersort-maskinen. De siktar på att maskinen ska hantera 5 000 ton textil/år för identifiering på fibernivå och separering i olika fraktioner. Med NIR-teknik kan man även potentiellt bestämma färg och fiberinnehåll. Målet är att Fibersort ska vara implementerad inom två år, d.v.s. 2017[21]. Utmaningen här med NIR- metoden är att utveckla möjligheten att ta hand om flera olika sorters färger och fibertyper samt att öka kapaciteten på maskinen[20]. Projektet är ett självständigt projekt, men bygger på det EU-finansierade projektet Textiles4Textiles (2009-2012). Projektpartner idag är Wieland Textiles, Valvan Baling Systems, Metrohm, Worn Again, Faritex, Reshare (leger des heils) och Circle Economy.

Sorteringsbehovet karaktäriseras av hög materialnoggrannhet och ökad sorteringshastighet, vilket ställer höga krav på detektionsmetoden som används. Möjlighet till en snabbare sorteringsmetod än NIR ges genom RFID- och 2D-streckodsmärkning (exv. QR-kod). Detta medför dock en märkning som tillförs plagget vid tillverkning och kan därmed användas vid detektion för sortering vid framtida återvinning av plagget. Möjlighet ges därmed att sortera på alla nivåer som efterfrågas förutsatt att informationen har programmerats in innan återvinning

sker. Denna märkning skulle innebära att kostnaden tillfaller tillverkaren/återförsäljaren, medan märkningen istället gynnar återvinnarbranschen. Potentiellt sett skulle varje plagg kunna ha en unik RFID-märkning och därmed kunna programmeras med information från alla led i kedjan (producent, återförsäljare, användare, andrahandsanvändare, avfallshanterare). Redan idag används RFID-märkning av industriella tvätterier för att de ska kunna följa individuella textilier och hur mycket de tvättats, använts, etc. I dagsläget finns det inga RFID-märkningar till en rimlig kostnad utvecklade för kläder och hemtextil. På kort sikt är 2D streckkodssystemet däremot möjligt att införa kommersiellt med tanke på att tekniken finns tillgänglig och kostnaden per plagg innebär ett litet påslag. Streckkodsystem med QR-märkning innebär en utökad möjlighet att föra in information om fiberinnehåll, kulör, kemikalieinnehåll, varumärke, framställningsprocess och information om hur plagget ska sorteras. Mer specifikt innebär relevant information om kemiskt innehåll möjlighet att sortera bort oönskade ämnen och därigenom säkerställa giftfria kretslopp för textila material. Märkningen skulle i dagsläget innebära manuell hantering före elektronisk avläsning under sorteringen[20], till skillnad från RFID som innebär mer kraftfull detektion och möjliggör helautomatisk sortering. NIR detektion möjliggör även den helautomatisk sortering men endast med avseende på molekylära beståndsdelar i tyget och ej information om varumärke, framställningsprocess, etc.

#### 7.1.1.2 MANUELL SORTERING

Manuell sortering är den enda av teknikerna som kan sortera på trend och kvalitet (d.v.s. sortera bort textil utsatta för slitage m.m.) varför manuell sortering även fortsättningsvis bör användas för att sortera ut till återanvändning. Behovet av automatisk sortering finns endast för textilavfallet som ska gå till återvinning, se stycke ovan.

### 7.1.2 Mekanisk återvinning

Den enklaste återvinningstekniken är mekanisk återvinning, men möjligheterna begränsas av fibrernas material. Avgörande skillnader finns mellan naturfibrer, syntetfibrer och blandningar av dessa material och den kvalitet som går att få ut av det mekaniskt återvunna materialet.

Till mekanisk återvinning innefattas oftast så kallade ”down-cycling”-processer, d.v.s. metoder som ger ett andra liv till fibrerna men av lägre kvalitet eller som lågvärdesprodukter. I Tabell 1 visas ett urval av de vanligaste befintliga processerna för textilt avfall inom mekanisk återvinning samt vilken typ av ingående textilmaterial och vilka processdelsteg som följer.

**Tabell 1: Befintliga mekaniska kommersiella återvinningsprodukter, inkommande textila material och processteg/förluster i mekanisk återvinning[22]**

Textilbaserad produktgrupp	Textilmaterial in i processen	Processteg (materialförluster)
Trasor (för återanvändning)	Textilavfall av mest bomull	Delning
Fiber-till-fiber	Textilavfall och produktionsspill av bomull (även denim), ylle, akryl. Inblandning av jungfrulig fiber behövs	Rivning, kardning, spinning till tråd (förlust 40%)
Stoppning, vaddering (nonwoven)	Textilavfall och produktionsspill med hög yllehalt	Rivning, nålning och klippning (förlust 20%)
Isolering, fibermattor (nonwoven)	Textilavfall av bomull (även denim med elasthan), ylle-akryl, och polypropylen Inblandning av jungfrulig polyester kan behövas	Rivning, formning, värmebehandling (max 200°C) (förlust 20%)

Eftersom textilmaterialets kvalitet generellt minskar i mekanisk återvinning innebär det en down-cycling-produkt, oavsett om textilierna går till nya spunna fibrer eller till nonwoven-produkter såsom stoppning, vaddering, isolering och bilmattor. Fiber-till-fiber alternativet kan tyckas bättre, eftersom en viss del av fibrerna på så sätt skulle kunna cirkuleras fler gånger innan de går till förbränning, till skillnad från isolering och stoppning som inte kan återvinnas efter användning utan måste direkt till förbränning. Informationen kring detta är dock bristfällig och här finns ett behov av analys.

#### 7.1.2.1 FIBER-TILL-FIBER -MEKANISK ÅTERVINNING IDAG AV TEXTIL TILL NYSPUNNEN TRÅD

Den ovan nämnda processen (fiber-till-fiber), där ny tråd spinns av tidigare använda fibrer, är den process där slutprodukten anses ha högst värde bland de mekaniska återvinningsprocesserna. Tillverkningsprocessen går från klippning, rivning, kardning, spinning till ny tråd för stickning eller vävning av textil. Kvaliteten på fibrerna beror mycket på kvaliteten på ursprungsfibrerna, men om fibrerna är luftigt bundna till varandra som i stickning bibehålls en högre kvalitet än om fibrerna är tätvävda. Relevanta material att mekaniskt återvinna och spinna på nytt är främst ull och bomull, men resultatet ger lägre kvalitet än jungfrulig fiber eftersom fiberlängden förkortas under användningsfasen och återvinningsprocessen. För att öka kvaliteten måste man blanda in jungfrulig fiber när ny tråd spinns. Ull anses dock vara en högvärdesprodukt i mekaniska återvinningsssammanhang. Textilplagg som är lämpliga för mekanisk återvinning är tröjor av akryl, ullkappor, ullkostymer och strumpor av hög yllehalt, samt bomull[22]. De flesta textila material bryts ner på molekylär nivå (detta berörs mer i kapitel 7.1.3 *Kemisk återvinning*) under användningsfasen genom slitage, tvättning och värmestyrning vilket sänker kvaliteten fibrerna inför återvinning.

De vanligaste konfektionerade materialen idag är bomull och polyester, men i hemtextil är bomull, polyamid och polyester vanligast. Enligt en europeisk studie om konsumtion av klädmaterial i Europa utgör bomull 43%, polyester 16%, viskos 10%, ull 10%, akryl 10% , polyamid 8% och polyuretan 2%. I hemtextil utgör bomull 28%, polyester 28%, polyamid 23%, polypropylen 10%, 4% akryl, 4% viskos, medan övriga material konsumeras till någon procent i kläder och hemtextil[23]. En vanlig materialblandning i textil består av bomull och polyester som används bl.a. i arbetskläder, eftersom ger ett billigt, slitstarkt och tvättåligt material som även behåller sin färg efter tvättning. Återvinningshantering av blandningar är den största utmaningen där mekanisk återvinning skulle kunna ske antingen genom att hantera blandningen som en helhet eller i ett försteg separera de olika materialen från varandra. Utmaningen vid mekanisk behandling består i att polyester är starkare än naturfiber och mer energi åtgår för att riva isär dem[24]. Idag återvinns därför inte blandningar med polyester till nya fibrer[25]. I den föreliggande studien har inga initiativ kunnat identifieras där mekanisk återvinning av bomull/polyester-blandmaterial återvinns till ny tråd. Eventuellt skulle ny återvinningsteknik för mekanisk bearbetning av även syntetiska fibrer kunna utvecklas, men i föreliggande undersökningar har inga steg åt det hållet kunna hittats. Idag återvinns mekaniskt vissa blandmaterial till nonwoven-produkter, men det framgår inte huruvida dessa processer specifikt hanterar bomull-polyesterblandningar. Inte heller om någon större aktivitet inom forskning och utveckling på blandmaterial finns att tillgå.

Förberedande steg till mekanisk återvinning är materialsortering för att nå så rena materialfraktioner som möjligt. Idag sker normalt en första sortering i Europa, medan färgsortering till stor del sker i Asien, mer specifikt i huvudsak i Indien[22]. Den största bidragande anledningen till att färgsortering för den mekaniska fiberåtervinningen främst sker i Asien (och Nordafrika) är att processen är personalkrävande idag, varför löneläget i Europa ger att detta steg skulle vara oekonomiskt i Europa[26].

Vid mekanisk återvinning av bomull sker ytterligare påfrestning på fibrerna där rivnings- och kardningsprocesserna i sig resulterar i kortare fibrer. Utbytesförlusten är därför stor: ~20% fiberförlust vid rivning och ~20% fiberförlust vid spinning och vävning[22] där varje processteg reducerar fiberstyrkan och därmed kvaliteten av det återvunna materialet. För att öka kvaliteten på tråd från återvunnen fiber behöver man därför tillföra jungfrulig fiber. Inblandning av återvunnen bomullstråd från denimjeans är idag som mest 20% använd fiber i nya jeans[27]. Det innebär 20% återvunna och 80% jungfruliga fibrer. Idag finns denna typ av mekanisk jeansåtervinning i demoskala hos SOEX, som levererar 50-100 ton/år återvunna bomulls fibrer till H&M[28]. Även jeansmärket G-Star har utfört pilotprojekt (2012) tillsammans med KICI på inblandning upp till 40% återvunna jeansfibrer. De siktade även på att nå 60% inblandning av återvunna fibrer, men konstaterade att det behövs bättre kvalitet på den jungfruliga bomullen för att nå de resultaten[29] Utifrån samtal med Paul Doertenbach från I:Collect så är en

utmaning för att öka andelen återvunna fibrer att lösa problemet med elastan som finns i jeans[18]. Elastan är en elastisk polyuretanfiber, vilken tenderar att trassla in sig i rivmaskinen. I slutna återvinningscykler, såsom fiberåtervinning av jeans, kan jeans med elastan inte användas vid mekanisk återvinning. Däremot kan denimjeans med elastan mekaniskt återvinnas genom down-cycling till exv. isoleringsmaterial för bilar[18]. För att säkerhetsställa ett elastanfritt flöde för fiber-till-fibertillverkning finns det behov av automatisk sortering som kan identifiera elastan i jeans. Andra utmaningar under fiberåtervinningen är borttagning av knappar, blixtlås och nitar, varav de sistnämnda tycks orsaka störst problem. Även färgupptagningsförmågan hos återvunna fibrerna skiljer sig åt jämfört med jungfruliga, vilket skapar ojämnheter i jeanstyget[30].

#### 7.1.2.2 MEKANISK ÅTERVINNING 2020 OCH 2030

I en analys utförd av Oakdene Hollins (2013) [31] anses mekanisk fiber-till-fiberåtervinning på både kort sikt och lång sikt vara en nischsektor, eftersom det är svårt att få lönsamhet i processen och inblandning av återvunna bomullsfibrer från denim i nya jeans förutspås[31] bara ta en liten del av jeansmarknaden. Idag finns dock redan fiberåtervinning av denim i demonstrationsskala, vilket tyder på att det ändå finns en marknad för återvunna kläder.

För att förbättra möjligheterna till mekanisk återvinning behöver även processer för kläddesign för återvinning implementeras och då med fokus på användande av monofibermaterial och lättborttagna metalldelar (i den mån de är nödvändiga). Med förutsättningen att kläddesign anpassad till återvinning, i kombination med att konsumentens medvetande för hållbart mode ökar, samt att återvinningsprocesserna effektiviseras och att en kombination av dessa utvecklingssteg implementeras bedöms i denna studie att lönsamhet i mekanisk fiber-till-fiberåtervinning till år 2030 möjlig.

Vid kemisk återvinning av blandmaterial skulle vissa av de mindre rena syntetiska polymerströmmarna gå till mekanisk återvinning till återvunna plast och kompositmaterial. Detta skulle bidra till en ökad efterfrågan av mekaniskt återvunna produkter år 2030.

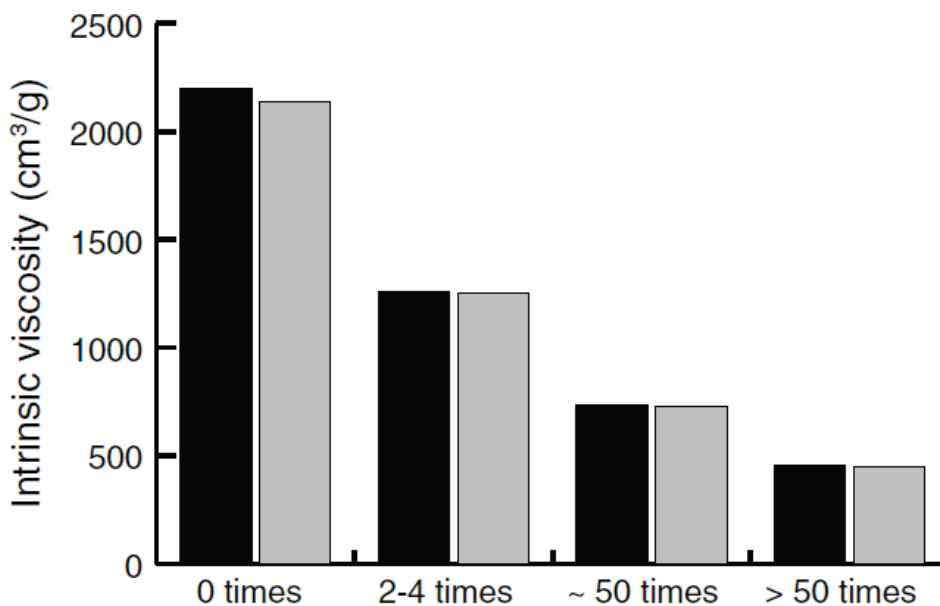
#### 7.1.3 Kemisk återvinning

Kemisk återvinning innefattar regenereringsprocesser av textilt avfall till helt nyformad textilfiber genom upplösning av bomullsfibrer och cellulosebaserade konstfibrer (viskos, lyocell, modal) och smältning av syntetiska polymerfibrer (exv. polyamid, polyester, polyuretan och akryl). Då regenereringsprocesserna (upplösning jämfört med smältning) för dessa material skiljer sig väsentligt, är blandtextilier av exv. bomull-polyester utmanande i återvinningshänseende även med dessa tekniker.

I det s.k. materialraffinaderiet (se Figur 2) hanteras de inkommande förbrukade materialen efter sina molekylära byggstenar och fraktioneras upp till lämpligt



användningsområde. Detta förutsätter att utvecklade sorterings tekniker för materialseparation finns tillgängliga (se förslag kapitel 7.1.1 *Sorteringsteknologi*). Fördelen med ett materialraffinaderi är att man t.ex. kan använda cellulosa från både återvunnet papper och återvunnen bomull[32], då cellulosans polymera längd i båda dessa fall med fördel kan användas till regenererad textilfiber eller regenererade transparenta filmer (t.ex. Cellophane), m.m. (se Figur 4). Cellulosans polymera kedjelängd som visas i Figur 4 minskar vid tvätt, vilket kommer påverka fibrernas styrka och kvalitet negativt.



**Figur 4: Viskositetsförändringar (d.v.s. förändringar i cellulosans kedjelängd) av bomullsdraglakan beroende på antal tvättar (0 tvättar, 2-4 tvättar, ~50 tvättar, >50 tvättar)[32]: svarta staplar redovisar prover utan reducerande natriumborhydrid-behandling, grå staplar redovisar lakan behandlade med natriumborhydrid före analys. Varje stapel representeras av tio replikat, 8 cm<sup>3</sup>/g vardera. Figuren publiceras med tillstånd från tidskriften Cellulose, Springer Link.**

För rena polyester, polyamid och polypropylentextilier är det bättre att bearbeta och smälta ner materialen var för sig till pellets som sedan kan gå till plast- och kompositstillverkning.

Preliminära studier där använd polyester jämförs med jungfrulig polyester indikerar ett liknande fenomen med nedbrytning av polymerkedjans längd[33]. I denna studie av Guo (2014)[33] har dock ingen kvalitativ analys av molekylvikt/kedjelängd utförts, utan antagandet bygger på signifikanta skillnader mellan de två fiberfraktionerna (jungfrulig och använd fiber) utifrån kritisk viskometri, vilket i sin tur vanligtvis korrelerar med molekylvikt.

Inom materialraffinaderiet kan en öppen återvinningsloop skapas genom att en uttjänt PET-flaskas polymera beståndsdelar i kedjelängd passar till att regenereras till textilfiber (se Figur 2). I nästkommande steg, när textilfibrerna från polyester respektive cellulosa i sin tur har brutits ner i kedjelängd under sin användningsfas, är det rimligt att bryta ner molekylerna i dess monomera byggstenar för att i

polyester-fallet byggas upp till långa kedjor igen. I cellulosa-fallet, där monomeren är glukos, kan denna vidareförädlas till etanol m.m.

#### 7.1.3.1 KOMMERSIELLT TILLGÄNGLIGA KEMISKA FIBERÅTERVINNINGSPROCESSER

Till skillnad från mekanisk fiber-fiberåtervinning så finns det en större marknad för kemisk återvinning till nya fibrer. Ett flertal pågående forskningsinitiativ har identifierats, och det råder en optimistisk anda att få till lösningar på kemisk återvinning av bomull och bomull-polyesterblandningar. I Tabell 2 listas de befintliga kemiska återvinningsprocesser som finns idag för polyester och polyamid som tar in textilavfall för att göra nya fibrer.

**Tabell 2: Kommersiella befintliga kemiska återvinningsprocesser 2015, inkommande textila material, aktörer och textila fibrer.**

Textilmaterial in till återvinningen	Aktör	Textila fibrer
Polyester och blandningsmaterial av polyester-bomull (minst 80% polyester)	Teijin, Japan	Polyesterfibrer (ECOCIRCLE™)
Polyamid 6 från använd textil	Hyosung, Korea	Polamid 6-fibrer (MIPAN regan™ 50% återvunnen fiber/50% jungfrulig fiber)

Bomull, kan idag bara återvinnas mekaniskt till nya fibrer, men aktiv forskning pågår för att få fram en kemisk process som kan bli lönsam för att återvinna bomull till nya cellulosa-fibrer. Bomullsfibrer består av 100% cellulosa. Under kemisk återvinning förändras bomullens egenskaper såsom absorptionsförmåga, styvhet och krympförmåga. Beroende på vilken kemisk upplösningsprocess som väljs får cellulosa-fibern egenskaper typiska för just den processen. För att bomullstextilavfallet ska kunna lösas upp i ett direkt lösningsmedel (exv. i N-metylmorfolin-N-oxid, NMMO, som i lyocellprocessen) eller som ett derivat (exv. med hjälp av kolsvavla som i viskosprocessen) behöver textilavfallet först klippas, rivas och sedan anpassas molekylärt i ett förbehandlingssteg.

Polyester står för ungefär en femtedel av allt textilavfall globalt[26]. Polyesterfiberåtervinning från textilt avfall i större skala är idag redan möjlig med en kommersiell, fullskalig metod hos Teijin, Japan, som producerar textil bestående av minst 50% återvunnen polyester från sina egna fabriker. Processen är en sluten loop där polyesterfibrer från kläder kemiskt bryts ner till monomeren dimetyltereftalat (DMT) och sedan polymeriseras igen och slutligen smältspinnas till nya polyesterfibrer. Teijin har en produktionskapacitet av DMT på ca 13 000 ton/år i Japan från både kläder och PET-flaskor. Deras anläggning i Kina har kapacitet på ca 35 000 ton/år. Polyesterfiberproduktionen blir något lägre än DMT-produktionen[35]. Kvaliteten på polyesterfibrerna är likvärdig med jungfrufibrer, men processen är mer kostsam än tillverkning av polyester från petroleumråvara[22]. Kravet som ställs på det ingående textilmaterialiet är att det

minst bör innehålla 80% polyester. Resten kan vara bomull, men cellulosafraktionen tas då ej tillvara. I denna process bör dock ull, akryl, läder och polyuretan (exv. elastan) uteslutas. Textilavfallet bör inte heller överstiga en halogenhalt på 5000 ppm och krom-innehållande färger får inte ingå i processen. Dragkedjor och knappar separeras i processen och behöver inte tas bort innan[36].

Polyamid är ett samlingsnamn för flera olika sorters polyamidstrukturer. Idag finns kommersiell kemisk återvinning av en av polyamidstrukturerna, nämligen polyamid 6. Idag har företagen Hyosung[34] och Aquafil kommersiell kemisk återvinning av polyamid 6 från fisknät. Hyosung har även återvinning av polyamidtyger Kläder däremot kan bestå 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 till stor del av polyamid 6,6[34]. Eftersom den kemiska återvinningen ser olika ut för polyamid 6, respektive för 6,6 kan textilier bestående av båda polyamiderna inte kemiskt återvinnas idag[22]. Kemisk återvinning av polyamid 6,6 är mer energikrävande och utveckling av denna process är nästa utmaning enligt företaget Hyosung[34]. Dupont däremot håller på att utveckla en process som kemiskt återvinner blandningar av polyamid 6 och 6,6[37]. Dessa metoder ger den kvalitet på de återvunna polyamidfibrerna som motsvarar jungfrulig fiberkvalitet.

#### 7.1.3.2 KOMMERSIELLA KEMISKA ÅTERVINNINGSPROCESSER ÅR 2020

Här inkluderas de återvinningsprocesser av bomull och cellulosabaserad konstfiber som idag finns i pilotskala, eller i labskala med satsningar inom pilot- och demoskala till år 2020. För polyester- och polyamid-6-återvinning finns idag processer, men som bör vidgas i antal och storlek.

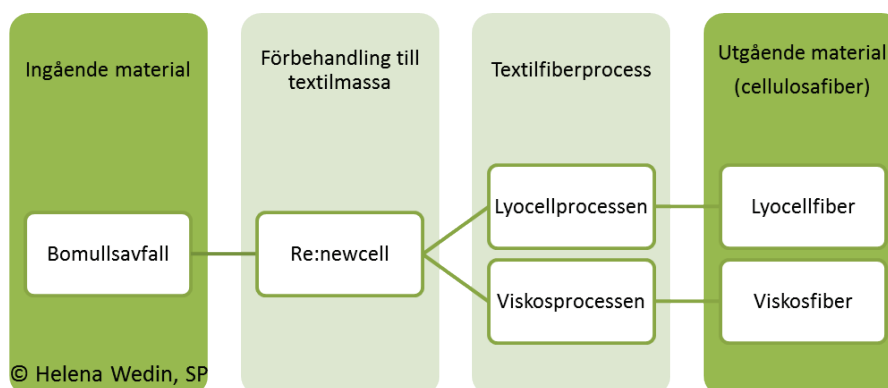
**Tabell 3: Framtida kommersiella kemiska återvinningsprocesser år 2020, inkommande textila material, aktörer och textila fibrer.**

Textilmaterial in till återvinningen	Aktör	Textila fibrer
Polyester (minst 80%)	Teijin, Japan	Polyesterfibrer (ECOCIRCLE™)
Polyamid 6	Hyosung, Korea	Polamid 6-fibrer
Polyamid 6	Toray, Japan	Polyamid 6-fibrer
Bomull (minst 95% cellulosahalt)	re:newcell (Sverige). Återvunnen bomull till textilmassa	Cellulosafibrer (viskos eller lyocell)

Enligt företaget re:newcell som planerar att bygga en anläggning i Sverige kommer deras anläggning att vara väl fungerande år 2020 och ha en kapacitet på 3000 ton/år[38]. Re:newcells process är en förbehandlingsmetod där bomullsavfall anpassas till s.k. textilmassa (parallell kan dras till processer för att uppnå vedbaserad dissolvingmassa/textilmassa). Re:newcells textilmassa är tänkt att framställas i Sverige men sedan levereras till de kommersiella textilfiberprocesser såsom viskos- och lyocellprocesserna som finns utomlands[38] (se Figur 5). Av Sveriges textilavfall planeras 500 ton/år komma från utsliten textil från tvätterier,

sjukhus och hotell. Bomullshalten varierar dock i textilierna och från tvätteriindustrin kan det sorterade bomullsflödet generera ett spann på 39-83% bomull, från arbetskläder, gardiner, bordslinne, sänglinne och handdukar[39]. Resterande bomullsfraktion till re:newcells process planeras att komma från textilproduktionsspill från textiltillverkare, både inhemskt och importerat från större sorteringsbolag. Re:newcell siktar på att kunna hantera minst 95% cellulosa i ingående textilflöde. Då bomull består av 100% cellulosa, innebär detta att ingående textilström bör bestå av minst 95% bomull alternativt en blandning av de cellulosabaserade fibrerna bomull, viskos, lyocell som tillsammans skulle utgöra minst 95%. Informationen är bristfällig gällande hur mycket av de 500 ton/år från tvätterier som kan generera ett textilflöde på 95% cellulosa halt.

Ett annat företag som kommer ha en väl fungerande anläggning år 2020 för återvinning av 100% bomull till textilfibrer är företaget Evrnu, USA[40]. Under 2015 kommer de att skala upp sin process till pilotskala som efter testning kommer skalas upp år 2017 till en demonstrationsanläggning. Vilka mekaniska och kemiska behandlingar som ingår i processen samt vilka krav som ställs på ingående material är konfidentiellt. Enligt Evrnu kommer de även ha flera mindre anläggningar år 2020 som kopplar textilt avfall till försörjningskedjan för kläder[40].



**Figur 5: Exempel från re:newcells process för att uppnå kemisk återvinning av bomull 2020.**

På kort sikt kommer den kemiska polyesteråtervinningen ha ökat. Teijin har uppskalningsplaner på 50 000 ton/år bara för anläggningen i Kina[35], men det är oklart hur fort det kommer att gå. Med tanke på att Teijin avtalat med Kina om att satsa på ett system för sluten återvinning i Kina[35] är ett troligt scenario att Teijin snabbt kommer öka sin kapacitet.

#### 7.1.3.3 KOMMERSIELLA KEMISKA ÅTERVINNINGSPROCESSER ÅR 2030

Här inkluderas några av de forskningsaktiva grupper och företag som idag utvecklar återvinningsprocesser av bomull och cellulosabaserad konstfibrer i labbskala med satsningar inom pilot- och demoskala på lite längre sikt. För polyesteråtervinning förutses en fortsatt utveckling av den befintliga process som

finns idag samt att även nya aktörer och processer som idag är i labbskala tillkommer för hantering av polyesteråtervinning till år 2030. För bomullsåtervinning bör storskalig återvinning av bomull vara rimlig till år 2030 med många nya aktörer och produktion i åtminstone demoskala av bomull-polyesterblandning.

I Tabell 4 listas de olika forskningsgrupperna och företagen som idag är aktiva inom bomull, polyester eller polyamidåtervinning och som därmed bedöms (utifrån inhämtad information) kunna ha utvecklat en kommersiell process till år 2030.

**Tabell 4: Framtida möjliga kommersiella kemiska återvinningsprocesser år 2030, inkommande textila material, aktörer och textila fibrer.**

Textilmaterial in till återvinningen	Aktör	Textila fibrer
Bomull, Blandmaterial av bomull/polyester	Saxion Universitet, Holland re:newcell, Sverige VTT, Finland Aalto Universitet, Finland Evrnu, USA	Idag forskningsaktiva grupper eller företag inom bomullsåtervinning till viskos- och lyocell-liknande fibrer
Polyester, Blandmaterial av polyester/bomull	Teijin, Japan Valagro, Frankrike VTT, Finland Chalmers, Swerea IVF, SP (Mistra Future Fashion) Circle Economy, Holland Saxion Universitet, Holland Toray, Japan Hyosung, Korea	Idag forskningsaktiva grupper eller företag inom polyesteråtervinning
Polyamid 6,6 och blandningar med polyamid	Toray, Japan Hyosung, Korea Dupont, USA BASF, USA	Idag forskningsaktiva grupper eller företag inom polyamidåtervinning

Till år 2030 kommer det troligen finnas flertalet alternativa processer till lyocellprocessen (se ex. Ioncell F) och till viskosprocessen (se ex. karbamatprocessen, CCA), vilka anses kunna nyttjas för återvinning av bomull.

En kemikalisk återvinningsprocess för bomull som sägs vara väl fungerande 2030 är förbehandling och upplösning med karbamatmetoden[41]. VTT i Finland har utvecklat en förbättrad cellulosakarbamat-metod (CCA) för att kunna lösas upp bomull och spinna till nya cellulosa-fibrer. CCA-processen är även anpassad för att lösa jungfrulig dissolvingmassa från ved. CCA-processen har en minimerad kemikaliekonsumtion och har idagsläget testats i pilotskala. VTT har byggt upp ett konsortium med finska företag kring processen, men det är oklart i dagsläget var en anläggning kommer att placeras. De siktar på fullskalig anläggning på en kapacitet på 10 000 ton/år eller mer. För att lösa upp bomullstextil med CCA-metoden behövs först anpassning i ett förbehandlingssteg. Redan idag har VTT uppnått en bra separation av blandmaterial av polyester och bomullsfibrer i labbskala med förbehandling och CCA-processen och lyckats lösa ut bomullen från polyestern och samtidigt bevara båda polymerfraktionerna[41].

Som alternativ till lyocell baserad på joniska lösningsmedel utvecklas idag en process på Aalto Universitet, Finland, som går under namnet Ioncell F. Ingående bomullstextil måste vara både anpassad, avfärgad och polyesterfri innan den kommer in i upplösningsprocessen. Ett förbehandlingssteg behövs och VTT samarbetar med Aalto Universitet för att anpassa förbehandlingsmetoden till Ioncell F-processen [42]. År 2030 bedöms en fullskalig Ioncell F-anläggning med en kapacitet på 50 000 ton/år möjlig[43]. Vilka renhetskrav som ställs på ingående flöde kan idag inte sägas.

En annan intressant process som idag finns i labskala är SaxCell-processen, vilken utvecklas inom ett forskningsprogram i Holland. De planerar att utöka återvinningskapaciteten de närmaste tre åren (2015 till 2018)[44], varför produktion i demoskala bedöms rimlig till år 2030.

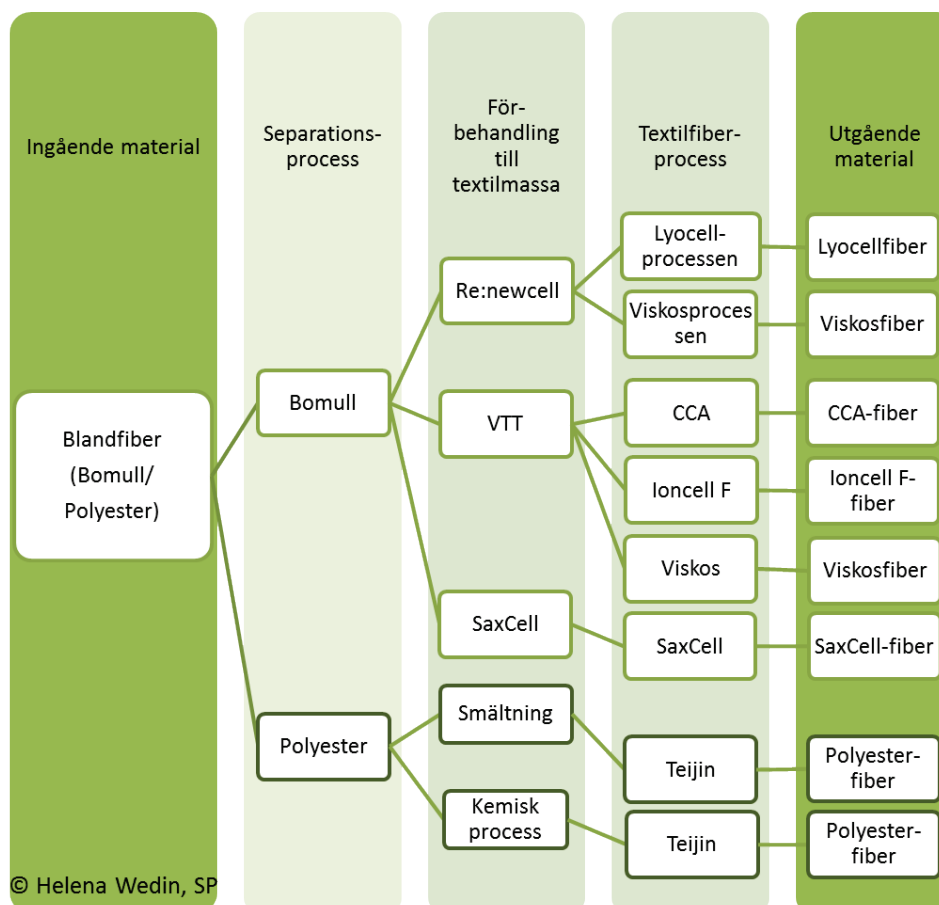
#### *Bomull-polyester blandtextil*

För att det ska vara möjligt att separera bomull från polyester år 2030 behövs utveckling av separationstekniker anpassade till förbehandlingssteget. Andra utmaningar som måste lösas till 2030 är avfärgningsteknologi och hantering av vissa typer av slutbehandlingskemikalier/beläggningar som finns på textilier. Avfärgning kan dock vara en energi- och kemikalieintensiv process om man antas använda sig av blekmetoder liknande vid pappersmassatillverkning.

Blandmaterial i ett plagg innebär ofta fler processteg för att separera och rena materialströmmarna. I den föreliggande studien bedöms det därför i nuläget svårt att uppskatta huruvida en framtida industriell process år 2030 kommer kunna hantera bomull-polyestermaterial med färg och syntetiska tryck, eller om endast ofärgade obehandlade textilier kommer vara möjliga att återvinna. Med tanke på att polyester är en slitstarkare fiber än bomull är det i vissa fall inte önskvärt att byta ut polyestern i blandmaterial då man istället måste acceptera ett högre slitage och därmed minskat antal tvättyckler för materialet. Därför är rekommendationen i den föreliggande rapporten utveckla återvinningsprocess för bomull-polyester blandtextil som även kan hantera färg och syntetiska tryck.

Även om man med god förmåga kommer hitta tekniska lösningar för att separera blandmaterial av polyester och bomull inom snar framtid så kommer det innebära extra kostsamma steg, vilket utgör en sämre konkurrenssituation för återvinning, så länge framställning av jungfrulig fiber är billigare. De största utbytesförlusterna kommer förmodligen att finnas i separationssteget. I detta steg anpassas bomullen för upplösning, vilket i sin tur ger stor polyesternedbrytning. Graden av polyesternedbrytning kommer i hög grad att bero på hur mycket bomullen behöver anpassas[41]. Både VTT och re:newcell siktar dock på att ha utvecklad process för att i industriell skala kunna hantera blandmaterial av polyester och bomull år 2030[38]. Se schematisk illustration av processteg för kemisk återvinning av bomull/polyester i Figur 6. Det är också rimligt att de exemplifierade

förbehandlingsstegen i Figur 6 kommer kunna anpassas till en variation av textilfiberprocesser.



Figur 6: Processer för kemisk återvinning av blandmaterial bestående av bomull och polyester år 2030.

För god ekonomi och goda miljöprestanda på återvinningsprocesserna är så högt materialutbyte som möjligt av betydelse. För att förlänga livet på en cellulosa molekyl kan det ur ett materialperspektiv anses bäst att utnyttja cellulosa kvaliteten enligt följande återvinningsfaser: bomull>lyocell>viskos>förbränning. Vid kemisk återvinning är risken stor för nedbrytning av lågmolekylär cellulosa under förbehandlingen. Lyocell, eller viskos, som består av cellulosa med betydligt lägre molekylvikt än cellulosa i bomull skulle kunna brytas ner i större utsträckning än bomull, vilket skulle medföra ett lägre materialutbyte. Exv. om inflödet är bomull/viskos-blandning, alternativt bomull/lyocell, finns det risk att viskos- och lyocellfraktionen löses ut under förbehandlingen, vilket skulle ge ett lägre materialutbyte. Hittills har inga studier gjorts på detta, men det finns alltså en risk att det skulle vara mindre lönsamt att ha in olika materialblandningar av cellulosa (d.v.s. bomull/lyocell eller bomull/viskos), även om tyget består av 100% cellulosa.[45]

### *Polyester*

Teijin kommer att ha ökat sin kapacitet till år 2030. I Asien är det även möjligt att andra företag än Teijin, exempelvis Toray[46] och Hyosung[34], kommer ha fullskaliga processer för återvinning av polyesterfibrer eftersom de redan idag tillverkar polyesterfibrer från återvunnet material (bland annat från PET-flaskor).

Gällande blandmaterial bomull/polyester är sannolikheten stor att fler tekniska lösningar för att separera blandtextil av bomull och polyester kommer finnas tillgängliga åtminstone i pilotskala 2030. Detta med tanke på de forskningsaktiviteter som har identifierats inom separering av bomull och polyester som pågår inom på Chalmers tekniska högskola, SP, och Swerea IVF inom Mistra Future Fashion[47], VTT[41], Saxion Universitet med SaxCell-metoden[48], Circular Textile program[49], Valagro[50], worn again[51], Evrnu[40] och aktiviteter som kommer att initieras inom forskningsprogram inom Horizon 2020[52], exv. ”Trash-2-Cash” med projektstart sommaren 2015. Vidare är det intressant att titta både på mekaniska och kemiska separeringsmetoder för fibrer och var satsningar görs industriellt framöver.

### *Polyamid*

Polyamid är ett samlingsnamn för flera olika sorters polyamidstrukturer. Idag finns kommersiell kemisk återvinning av en av polyamidstrukturerna, nämligen polyamid 6. Material som består av polyamid 6 är exv. fisknät och vissa heltäckningsmattor. Idag har företagen Hyosung[34] och Aquafil[53] kommersiell kemisk återvinning av polyamid 6. Kläder däremot kan bestå 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 till stor del av polyamid 6,6[54]. Eftersom den kemiska återvinningen ser olika ut för polyamid 6, respektive för 6,6 kan textilier bestående av båda polyamiderna inte kemiskt återvinnas idag[22]. Kemisk återvinning av polyamid 6,6 är mer energikrävande och utveckling av denna process är nästa utmaning enligt företaget Hyosung[54]. Dupont däremot håller på att utveckla en process som kemiskt återvinner blandningar av polyamid 6 och 6,6[37]. Dessa metoder ger den kvalitet på de återvunna polyamidfibrerna som motsvarar jungfrulig fiberkvalitet.

#### 7.1.3.4 INVENTERING AV FLÖDEN AV LÄMPLIG KVALITET FÖR REGENERERING AV TEXTILFIBRER

I en studie av Brismar, 2014,[39] identifierades att möjliga textila bomullsmängder i Sverige för en framtida anläggning för regenerering av textilfibrer är ca 1100 ton/år. Ca 600 ton/år beräknas komma från välgörenhetsorganisationerna och ca 500 ton/år från tvätteribranschen. Bomullshalten i textilierna varierar dock och från tvätteribranschen kan ett osorterat flöde generera ett användbart bomullsflöde[39]. För att säkerhetsställa framtida bomullsflöden rekommenderas vidare att utreda textilfraktioner från tvätterier med en bomullshalt över 90%, vilket skulle säkerhetsställa textilflödet till exv. re:newcells framtida process i Sverige. I intervju



med re:newcell framkom dock att de inte ser några problem att få fram tillräckligt textilt avfall av lämplig kvalitet för deras fullskaliga process[38].

Det finns ingen kartläggning gjord utav av viskos och lyocellflöden och det är princip omöjligt att få fram säkra importdata från Statiska Centralbyrån (SCB), vilket också belysts i Brismars rapport[39]. Detta p.g.a. att viskos och lyocell ingår i de större kategorierna konstfibrer och regenatfibrer som även innehåller andra fibertyper såsom syntetfibrer och proteinfibrer. Textilier som av SCB kategoriserats som bomull innefattar textilier bestående av ca 50% bomullsfibrer[39]. I föreliggande undersökning har inventering av textilavfall som innehåller syntetiska fibrer inte heller påträffats. Dessa ligger också inom kategorierna konstfibrer, vilket försvårar uppskattningen av hur mycket polyester- och polyamidfibrer som finns i svenskt textilavfall. Det bör alltså utredas hur separata flöden av viskos, lyocell, polyester och polyamid ska kunna identifieras framöver för att kunna göra en kartläggning av dessa flöden.

I föreliggande undersökning har inventering av textilavfall som innehåller syntetiska fibrer inte påträffats. Detta försvårar uppskattningen av hur mycket polyester- och polyamidfibrer som finns i svenskt textilavfall.

#### **7.1.4 Textilpolymerers uppbyggnad och nedbrytning**

Möjligheter gällande kemisk återvinning av syntetiska polymerer och cellulosebaserade fibrer, listas här nedan. Dessa alternativ ligger idag på forskningsnivå och bör ses som möjliga vägar för materialåtervinning i industriell skala i framtiden (2030-2050).

##### **7.1.4.1 FRÅN POLYMER TILL MONOMER**

För att kunna bryta ner en polymerkedja är det första steget att identifiera vilken typ av kemisk bindning som ingår i strukturen. Polymerkedjan kommer att delas upp i mindre delar under depolymerisationsprocessen, för att slutligen enbart bestå av fria monomerer/molekyler. För en polyester kommer nedbrytningen vanligtvis ske vid esterbindningen, som är en syrebrygga (-O-), mellan de kopplade monomererna. Den brutna esterbindningen kommer att bilda två nya ändgrupper - en syra, samt en alkohol. En polyamid är däremot kopplad med en kvävebindning (-N-) och bryts ner till en syra- och aminände. För en additionspolymer (exv. polyeten, polypropen, polynitrit) kommer en dubbelbindning (C=C) återskapas. Nedbrytningen av en polymerkedja kan ske på ett antal kemiska sätt[55], de vanligaste beskrivs nedan.

Forskning och utveckling pågår för att utveckla polymerer som är baserade på monomerer från förnybara källor, samt är biologiskt nedbrytbara. Drivkraften är att minimera miljöavfall, men även för att minska beroendet av produkter som framställts från fossila bränslen. Textilier, förpackningar, engångsartiklar, medicinsk applikation etc. är några områden där biologiskt nedbrytbara polymerer

är önskvärda. Nedbrytning av dessa material är vanligtvis hydrolys, UV-exponering, men även enzymkatalyserad process.

#### 7.1.4.2 SOLVOLYS

Solvolyt är ett samlingsnamn för ett antal eliminerings-/nedbrytningsreaktioner där olika lösningar fungerar som nukleofil. När vatten är närvarande sker hydrolys. Polyesterar, polyamider och polykarbonater kan brytas ned genom solvolys, främst genom hydrolys. Vissa polymerer (med stark bindningsstyrka) kräver starka lösningsmedel och reaktionsbetingelser, t.ex. polyamid är känslig för nedbrytning av syror. Behovet av hög kemikalieanvändning, samt en hög energiåtgång, medför att dessa polymerer är svårmotiverade att återvinna.

#### 7.1.4.3 HYDROLYS

Ester-, amin- och uretangerupper kan samtliga utsättas för hydrolys. Hydrolys är när en kemisk bindning klyvs och en vattenmolekyl adderas, vilket kan ses som en omvänd stegvis polymerisation.

De skapade ändgrupperna beror på vilken kemisk bindning polymeren innehåller (se 7.1.4.1) samt om reaktionen katalyseras under sur eller alkalisk miljö.

- Sur hydrolys av en polyester skapar en alkohol, samt karboxylsyra (för varje repeterande enhet)
- Alkalisk hydrolys av en polyester skapar en alkohol, samt karboxylatsalt
- Sur hydrolys av en polyamid skapar en amin, samt karboxylsyra
- Alkalisk hydrolys av en polyamid skapar en amin, samt karboxylatsalt

#### 7.1.4.4 ENZYMATISK NEDBRYTNING

Enzymer används idag i diverse processer exv. inom textiltvätt (i tvättmedel) samt imassa- och pappersprocesser I de sistnämnda används enzymet esteras för att lösa ”stickies” i pappersåtervinning[56], samt vid blekning[57].

Syntetiska polymerer har inte varit tillgängliga i naturen under så lång tid, vilket medför att mikrober inte utvecklade enzymer för att bryta ned dem. Dock har forskare upptäckt en ökande mängd mikroorganismer med nedbrytningsförmåga av syntetiska polymerer.

Enzymatisk katalys medför processer med mildare reaktionsbetingelser, vilket normalt innefattar lägre temperaturer och energiförbrukning, mildare lösningsmedel, syra-/basreaktioner i samma katalysator. De är ofta förnyelsebara och biologiskt nedbrytbara[58].

Enzymdesign är ofta förekommande idag, vilket innebär förbättrad katalytisk förmåga[59]. Ökad reaktionshastighet, stabilitet, substratval etc. medför att specialutvecklade enzymer kan framställas. Generna från dessa modifierade enzymer kan införas i en mikrobiell värdcells DNA och uttryckas i stora mängder. De uttryckta enzymerna kommer att ha de funktioner, aktivitet och reaktionsförmåga som har framställts. Enzymerna kan skräddarsys för att katalysera en specifik

reaktion på ett specifikt substrat, något som är nästsintill omöjligt att göra med klassisk kemi.

#### 7.1.4.5 ENZYMATISK KASKADREAKTION

Enzymatiska kaskader inkorporerade i värdceller är en intressant biokatalytisk process för framtiden. Flera kaskadssystem utvecklas för närvarande och uppskalas för att kunna användas industriellt. Denna typ av reaktioner härmar naturen i högre grad än de enskilda enzymkatalyserade reaktionerna som har utvecklats tidigare inom bioteknologi. Enzymatiska kaskader anses vara det fjärde utvecklingssteget i biokatalys[60, 61]. Med detta tankesätt och design kan nedbrytning av textila material utformas efter de behov som ställs i framtiden.

#### 7.1.4.6 POLYMERDESIGN FÖR ENKLARE NEDBRYTNING

Genom att utforma polymerer med områden där nedbrytning av kedjan underlättas, skulle man kunna skapa material som lättare kan återvinnas[62]. Dessa designade polymerer kan produceras med hjälp av olika sampolymerer, blocksampolymerer etc. Innehåller polymererna kemiska bindningar som lättare kan klyvas med hjälp av enzymer, lösningsmedel eller UV-ljus, kan en snabbare och effektivare nedbrytning genomföras då polymerens användning förbrukats.

#### 7.1.4.7 POLYMERTILLSATSER

Polymerer används sällan i ren form. Vanligtvis tillsätts kemikalier under produktionen. Vanliga tillsatser för polymerer är värme-/UV-stabilisatorer, tvärbindningsmedel, färg och pigment, mjukgörare, antimikrobiella/biostabilisatorer, antioxidanter, smörjmedel etc. (se vidare 7.3 *Hantering av farliga ämnen*). Dessa tillsatta kemikalier medför extra processteg för att kunna separeras och omhändertas när polymererna återvinns/regenereras. Dessa extra steg medför ökad energi- och kemikalieförbrukning, processtid, instrument etc., vilket i slutändan ökar omkostnaderna.

### 7.1.5 Framtidens återvinning av textila material

En kombination av flera befintliga och framtida tekniker (mekanisk, värme, kemisk - solvolys, biokatalys etc.) kommer att ha betydelse när man tar sig an den komplicerade uppgiften att återvinna textila material. Textilier genomgår flera steg för att tillverkas och att återvinna dem kan liknas vid att utföra dessa olika processer i ett omvänt flöde. Tvätt, avfärgning, fiberseparation, avskilja tillsatser etc. måste ske stegvis.

Textilmaterial bestående av flera fibertyper medför att återvinningsprocessen blir även mer komplex. Stegvis nedbrytning och fraktionering skulle vara nyckeln till en framgångsrik återvinning av hela textila materialet. Det är viktigt att försöka använda processer som redan är framgångsrika inom återvinning för att se om de kan efterliknas/kopieras. Detta bör göras via hela värdekedjan, så som konsumentpåverkan, insamling, pant, tekniska lösningar etc.

### 7.1.6 Energiutvinning (Förbränningsalternativet)

Här övervägs processer och behov vid energiutvinning, det vi här kallar för förbränningsalternativet. Svenska företag verksamma inom textilförbränning har identifierats och intervjuats med avseende på de tekniska lösningar som används, deras miljöpåverkan, stabiliteten i materialflödet (kvantitet mot kvalitet), energibalansen i behandling för olika textila strömmar och hur den påverkas av eventuell instabilitet i materialflödet. Förbränningsstudien hanterar naturfiber och syntetiska polymerfibrer separat, vilket idag inte är brukligt.

Största delen av svenskt avfall av konsumenttextil hamnar idag i förbränning genom flödet av det vanliga blandade hushållsavfallet[4]. Endast en liten del av textilavfallet som samlas separat går till förbränning, t.ex. från svenska välgörenhetsorganisationer som tillsammans förbränner 1 550 ton textilier per år i Sverige, vilket är 6,5 % av all insamlad mängd[39].

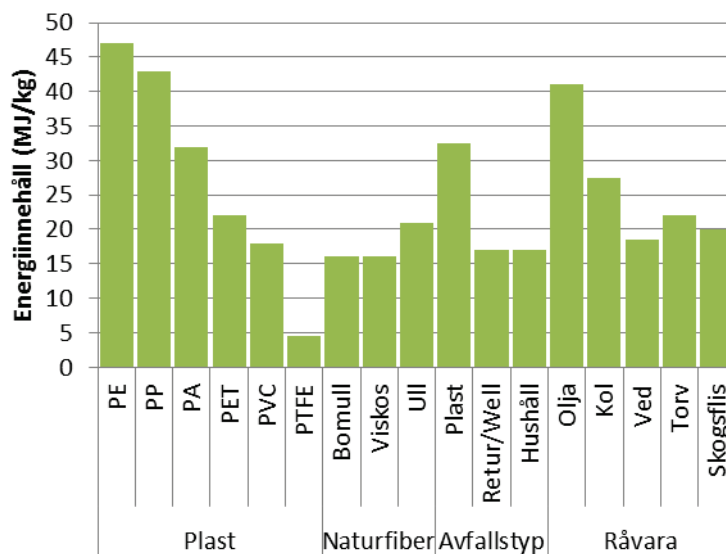
Största delen av separat textilavfall som hamnar i förbränning är idag från industritextil, kontaminerad och hårt smutsad med exempelvis olja, som kasseras från sortering på grund av dess olämplighet för återvinning i andra former, och särskilda sorters textil som är specifikt avsedda för destruktion såsom polisuniformer[63], militära uniformer och hela klädpartier som blivit obrukliga enligt producenten på grund av exempelvis tekniska defekter som producenten inte vill skicka till mekanisk återvinning på grund av stöldrisk som kan leda till försäljning på svarta marknaden samt missrepresentation och svärtning av företagets namn med lågkvalitativ produkt[64]. För det sistnämnda flödet skulle förbränning kunna undvikas och bidra till andra former av materialåtervinning. Då anledningen till förbränning är behovet av destruering, vilket kan utföras genom rivning av textilen. Tyvärr kunde inga kvantiteter anges från de intervjuade källorna[63, 64].

Separerade textilfraktioner som idag hanteras genom förbränning, bränns ändå blandat med tjänstesektoravfall och hushållsavfall. Detta på grund av att:

- andelen textil i avfallsströmmen som går till förbränning är extremt låg. De ca 1000 ton av utsorterade textil som förbränns årligen av SITA ReEnergy i Holland, en av de centrala textilförbrännarna i Europa som även får svensk textil genom det holländska BOER Group, utgör bara 2 % av deras totala kapacitet[65]. De 500 ton av textil som Borås Energi & Miljö förbränner varje år utgör mindre än 0,5% av deras totala kapacitet[64]
- för att förbränningsprocessen ska hållas stabil krävs ett blandat bränsle eftersom pannorna är utformade efter bränslets värmevärde. Detta betyder att förbränning av bränsle med ett värmevärde som är mycket högre än det som pannan är byggd för, medför att den genererade värmen inte kan utnyttjas p.g.a. otillräcklig värmeöverföringskapacitet. Risken för att pannan överhettas och smälter finns också. Vid förbränning av bränsle med

lågt värmevärde blir förbränningsprocessen ostabil och hela systemet fungerar ineffektivt.

Den naturliga bomullsfibern och cellulosa-baserade konstfibern har ett värmevärde på 17 MJ/kg[66]. Ulls värmevärde är något högre, runt 21 MJ/kg (se Figur 7). Värmevärdet av syntetpolymerfibrer, som exempelvis polyester, uppskattas som 33 MJ/kg[67].



Figur 7: Uppmätt energiinnehåll för respektive material[66].

Blandad industritextil som förbränns av Borås Energi & Miljö har ett värmevärde så högt som 20,5 MJ/kg[64], emedan litteraturdata på blandat textilavfall uppskattas ha ett värmevärde på ca 16 MJ/kg[68]. Skillnaden mellan dessa två referenser beror troligen på olika fukthalt vid förbränningen.

Jämförelsevis uppskattas hushållsavfall i Sverige ha ett värmevärde på 10,8 MJ/kg[69], medan matavfall har ett värmevärde på 7,2 MJ/kg[70]. På så sätt höjer man snittvärmevärdet av förbränningsavfallet genom att addera textil i bränsleblandningen. Detta gör textil till en attraktiv tillsats såvida den inte är mycket fuktig.

Textil förbränns i två typer av avfallsförbränningsanläggningar – rosterugn som till exempel Vattenfall eller SYSAV använder, och FB-pannor (fluidiserade bäddpannor) som bland annat Borås Energi & Miljö använder[64]. FB-pannor utgör ca 25 % av de 32 anläggningarna som används för avfallförbränning i Sverige idag[71]. FB-pannor har vissa tekniska fördelar jämfört med rosterugn, nämligen stabilare förbränningsprocess och lägre känslighet för variationer i bränslets kvalitet. FB-pannor kräver dock mer bränsleförberedning före laddning i reaktor än rosterugnar. Rosterugn kan acceptera stora styckesstorlekar och begränsningar finns endast för extra långa textilbitar såsom textil på rulle, eller meterlånga textilstycken, för att undvika en så kallad bakbrand, d.v.s. antändning

även genom inmatningstratten. FB-pannor däremot har en maxstorlek av stycken på 10x10 cm vilket innebär att all textil måste förbehandlas/krossas innan den kommer till förbränning, vilket är resurskrävande. Ingen speciell utrustning för textilkrossning används, utan textil krossas med vanlig hammarkvarn som används för allt avfall. För att göra krossning mer effektiv blandar man textil med bland annat trä. Behovet på en sådan förbehandling gör textil till en mindre attraktiv tillsats till bränslet för FB-pannor.

Textil förbränns vid ca 1000 °C, vilket är standardtemperaturen som krävs för avfallsförbränning. Textil utgör idag en minimal del av den totala avfallsvolymen vid förbränning, varför dess bidrag till farliga utsläpp på grund av föroreningar som finns i materialet (metaller, PVC tryck etc.) idag är obetydligt och till och med omöjligt att upptäcka. Även Borås Energi & Miljö, som förbränner ca 500 ton separat insamlad textil om året (exkl. det som inkommer via hushållsavfall) och har god kontroll på det inkommande textilflödet, upptäcker ingen direktpåverkan av textilinnehållet i bränslet på varken utsläpp eller askkvalitet[64]. De kemikalier som kan överföras i förbränningsprocessen (främst metaller och metalloxider) och som återfinns i askan är de som främst kan bidra till miljöpåverkan (se även 7.3.5.1 *Återvinningsteknikens påverkan*). Alla metaller och oxider är dock inte farliga.

Sammanfattningsvis erbjuder energiutvinning av textilmaterial genom förbränning ett praktiskt alternativ för textil som inte kan återvinnas på något annat sätt. Med dagens utrustning som används för förbränning av avfall måste man blanda textil med andra typer av brännbart avfall vid förbränning, såsom tjänstesektoravfall och hushållsavfall, på grund av utrustningens utformning. Med textilens relativt höga värmevärde är det en välkommen tillsats i förbränningspannornas bränsle såvida den inte är fuktig. Enda nackdelen är den, i vissa fall för rosterugnar och alltid för FB-pannorna, nödvändiga krossningen. En osäkerhet i processen är avsaknaden av analyserade data av förekomsten av farliga ämnen från textil som ev. inte bryts ner under förbränning utan kan återfinnas i utsläpp eller förbränningsaska[68] (för mer detaljer kring kemiska tillsatser i textil i kapitel 7.3 ”*Hantering av farliga ämnen*”).

### 7.1.7 Diskussion och slutsatser: återvinningstekniker

Fiberkvaliteten är avgörande för möjligheterna att återvinna materialen. Generellt sett är *fibrernas ursprung (naturliga eller syntetiska fibrer)* den viktigaste faktorn som avgör hur de bör hanteras vid materialåtervinning. Kvaliteten på de cellulosebaserade fibrerna (bomull, viskos, lyocell och modal) minskar vid användning, tvätt och återvinning. Fiberåtervinning kan därför inte ge en jungfrulig kvalitet då cellulosafibrernas kvalitet minskar för varje gång de recirkuleras. Syntetiska fibrer (polyester, polyamid) däremot kan vid kemisk återvinning brytas ner till monomerer och sedan byggas upp till polymerer motsvarande jungfrulig kvalitet, varför syntetiska polymers styrka och kvalitet inte är lika avhängig vid återvinning som de cellulosebaserade fibrerna. Inblandning av andra sektors avfall exv. från PET flaskor kan därför ske vid polyesterfibertillverkning. Med avseende på den kemiska processen finns det för de syntetiska materialen ingen

begränsning för antalet gånger som materialet kan cirkuleras, då de kan byggas upp på molekylär nivå igen vid återvinningen.

#### *Materialåtervinning idag*

Idag finns fungerande mekaniska återvinningstekniker som återvinner textilt avfall. Avfallet kan gå till stoppning, isolering, filtermattor och till nya fibrer som spinnas till ny tråd. Mekanisk fiber-till-fiberåtervinning anses dock ha svårighet att få bärkraft på både kort och lång sikt då de återvunna fibrerna har betydligt lägre kvalitet än jungfrulig fiber, men för att ekonomisk bärkraft ska uppstå i denna återvinningsteknik så bör materialet jämföras med jungfruligt material. Gällande kemisk återvinning av bomull, sker idag den mesta verksamheten i labbskala, men polyesteråtervinning (krav på minst 80% polyester i ingående material) finns redan i fullskala i Asien.

Idag bedöms för mekanisk fiber-till-fiberåtervinning hantering av:

- Bomull (exv. denimjeans 100% bomull, utan elastan)
- Ull (hög yllehalt)

Idag bedöms för kemisk återvinning hantering av:

- Polyesteråtervinning (Teijins kravställning på ingående material är minst 80% polyester)
- Polyamid 6-återvinning (Hyosung, uppgift saknas om vilka krav)

I Sverige idag förbränns textilavfall främst p.g.a. brister i insamlingen av konsumenttextil och sorteringen av hushållsavfall, eller begränsade möjligheter att utnyttja andra återvinningsmetoder. Andelen textil till förbränning förväntas därför att minska i takt med förbättrade insamlings- och sorteringsrutiner samt med utvecklingen av mer resurseffektiva återvinningsmetoder. Det bör noteras att det internationellt sett sker även förbränning av avfall utan att energiutvinning sker. I denna rapport antas alltid förbränningen kunna hantera den återvunna energin från materialet.

Det avfallsflöde som redan i det närmaste perspektivet kan ställas om till andra former av materialåtervinning är uniformer mm, som i dag förbränns p.g.a. destrueringskrav, vilket istället kan utföras genom t.ex. rivning av textilen. Förbränning av textil med ursprung från fossila råvaror och/eller textil som tillverkas med hjälp av icke-förnyelsebara energikällor ska undvikas både i närliggande och i längre tidsperspektiv eftersom detta ökar miljöbelastningen.

Då Sverige i dagsläget inte har någon materialåtervinning av textilavfall eller någon större sorteringsanläggning, export av textilavfall till sorteringsanläggningarna i Europa är det mest realistiska alternativet under de närmaste åren fortsättningsvis. Dagens inhemska flöden av textilavfall motsvaras inte de kvantiteter som krävs för att uppnå effektiv materialåtervinning, medan dagens anläggningar i Europa har denna kapacitet.

### *Materialåtervinning till år 2020*

På kort sikt (till år 2020) bedöms här att de kemiska återvinningsprocesserna för polyesteråtervinning globalt bör utökas i antal anläggningar och i skala. För återvinning av bomull och cellulosebaserade konstfibrer (tekniker som idag finns i lab- eller pilotskala), bedöms dessa möjliga att realisera i kommersiell demoskala till år 2020. För att möjliggöra effektivitet i dessa återvinningsprocesser behöver de kontrollerade<sup>2</sup> flödena av insamlat textilavfall öka i Sverige till år 2020, varför en utveckling av nya och mer storskaliga insamlingssystem är av vikt. Här ses även *automatisk sortering* utefter materialets molekylära byggstenar som väsentlig. Dessutom krävs nya separationsteknologier och upprensning för blandmaterial på molekylär nivå, främst för separation av syntetiska material och naturmaterial.

Till år 2020 bedöms för kemisk återvinning hantering av (utöver de som redan är möjliga idag):

- den fraktion textilt tvätteriavfall som uppfyller kravet på minst 95% bomullshalt

Till år 2020 bedöms även att volymerna och tillgången på textilavfall inte bör vara styrande för utvecklingen av kemisk återvinning av bomull, polyester eller polyamid för 2020, då målen till dess är anläggningar i demoskala som även kan inkludera processpill.

Eftersom energiutvinning av avfall inom Norden anses mer effektiv än i övriga Europa rekommenderas även förbränning av textilt avfall som inte kan gå till mekanisk och kemisk återvinning.

Textil kommer att fortsätta förbrännas tillsammans med andra typer av avfall när andra återvinningsmetoder visar sig vara ineffektiva. Energiåtgång för sådan förbränning kan minskas genom optimeringen av textilkrossning med t.ex. användning av specialiserade rivningsmaskiner i stället för textilmässigt ineffektiva lösningar som hammarkvarn.

### *Materialåtervinning till år 2030*

För att förbättra möjligheterna till mekanisk fiberåtervinning behöver även processer för kläddesign för återvinning implementeras och då med fokus på användande av monofibermaterial och lättbortagna metalldelar (i den mån de är nödvändiga). Med förutsättningarna att kläddesign anpassas till återvinning, att konsumenternas medvetande för hållbart mode ökar, samt att återvinningsprocesserna bedöms i denna studie att lönsamhet i mekanisk fiber-till-fiberåtervinning till år 2030 är möjlig.

---

<sup>2</sup> Kontrollerade textila flöden med avseende på fraktionering av olika material, kemikalieinnehåll, samt fiberkvalitet.



På medellång sikt (år 2030) bedöms de kemiska återvinningsprocesserna för återvinning av bomull och cellulosabaserade konstfibrer som till år 2020 förväntas finnas i demoskala, vara möjliga att realisera i kommersiell fullskala till år 2030. För återvinning av polyester förutses en fortsatt utökning av befintliga processer samt tillkomst av nya processer. Dessutom förutses att de framtida återvinningsprocesserna kan hantera blandmaterial och att utmaningen med separationsteknologier således inte är av lika central betydelse som inför år 2020. Forskning indikerar även möjligheter till nya syntetiska material som med hjälp av ny polymerdesign underlättar vid återvinning. Dessa bör kunna finnas tillgängliga i demoskala till år 2030. För gynnsammare, mildare och effektivare separationskemi av blandmaterial antas enzymdesign kunna vara tillräckligt utvecklad för att tas i bruk i demoskala till år 2030.

För ett rimligt framtida återvinningssystem rekommenderas att vissa processteg sker i Sverige. Förslagsvis från bomullsavfall till textilmassa och från polyesteravfall till polyesterpellets, och att dessa intermediära produkter sedan säljs vidare till den etablerade fibertillverkningen i Europa eller globalt (främst Asien). I dagsläget är det miljömässigt bättre att sälja vidare till europeisk fibertillverkning eftersom det energilag som används i processen är avgörande för fiberns miljöpåverkan, och exv. i Asien är det vanligare med fossil energi.

Till år 2030 bedöms för kemisk återvinning hantering av (som en fortsatt utveckling av de förslag som ligger för 2020):

- bomull/polyester-blandningar
- polyamidtextilier (sport, underkläder och nylonstrumpbyxor)

Till år 2030 bedömer vi att en djupare analys behöver göras för att veta om volymerna och tillgången på textilavfall skulle kunna vara styrande för mekanisk och kemisk återvinning.

En förutsättning som behöver uppfyllas för ökad mekanisk och kemisk återvinning är att säkerhetsställa att textilavfallet uppnår de tekniska och miljömässiga kraven genom utveckling av robusta system för automatisk sortering. Ett viktigt redskap kan här vara genom spårbar märkning (RFID eller streckkod) för att uppnå spårbarhet av textilinnehåll, med avseende på de kemiska tillsatser, fiberinnehåll (med specifik polymerstruktur), kulör, varumärke, framställningsprocess och information hur textilavfallet bör sorteras.

#### 7.1.7.1 VILKA FORSKNING- OCH UTVECKLINGSBEHOV FINNS?

Följande viktiga delar har identifierats i fortsatt forskning och teknikutveckling::

- utveckling av automatisk sortering
- utveckling av separationsteknologi inom kemisk återvinning för separation av syntetiska material och naturmaterial
- utveckling av demoanläggningar
- polymerdesign för underlättande processer vid kemisk återvinning
- enzymdesign för effektivare separation av blandmaterial
- tekniker för att vidare rena och processa de syntetiska material som blir biprodukter under kemisk bomullsåtervinning
- kläddesign som underlättar återvinning

## 7.2 Miljöprestanda

För att tydliggöra hur de föreslagna återvinningsalternativen påverkar miljön och var största miljönyttan görs visas här en livscykelstudie på de ovan beskrivna återvinningsmöjligheterna, d.v.s. mekanisk återvinning, kemisk återvinning och förbränningsalternativet (energiutvinning). Studien inkluderar följande miljöpåverkanskategorier: klimatpåverkan, försurning, övergödning, bildandet av marknära ozon, nedbrytning av ozonlagret och toxicitet för fiber-till-fiber-återvinning (mekanisk och/eller kemisk återvinning) och down-cycling (exv. isoleringsmaterial) för de inventerade processerna ur ett livscykelperspektiv. Mer specifikt kring hantering av kemikalier i ingående material i relation till material och återvinningstekniker och som berör miljöprestanda på det återvunna materialet finns beskrivet i kapitel 7.3. Datainventering har utförts utifrån de återvinningstekniker och material med störst potential som inkluderas i Kapitel 7.1 *Återvinningstekniker*. I analysen har en miljöbedömning av olika tekniker utförts. Inga av dessa tekniker används i stor skala idag, men de har analyserats för att få en uppfattning om miljöpåverkan i alternativa återvinningssystem. Detta görs för att kunna avgöra skillnader som finns mellan naturfibrer, syntetfibrer och blandningar av dessa material när det gäller möjligheterna att återvinna och den kvalitet som går att få ut av det återvunna materialet. Det bör påpekas att det idag, enligt vad som gått att få fram under utredningen, inte finns någon storskalig kemisk återvinning av bomullstextil till textilmassa, som kan användas till viskos - eller lyocelltillverkning, utan att tekniken befinner sig på forskningsstadiet. Genom att blanda material kan den tekniska livslängden för textilprodukten ökas och mindre energi, vatten och tvättmedel krävas vid tvättning. Dessa aspekter är potentiellt viktiga för en textilprodukts miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv. Dock innebär en förlängning av den tekniska livslängden en vinst endast om nya textilprodukter inhandlas p.g.a. uttjänta material och inte p.g.a. förändringar i t ex modet.

### 7.2.1 Metod

Livscykelanalys (LCA) används för att kvantifiera miljöpåverkan från en produkt eller en tjänst. I en LCA beräknas de resurser som används under en produkts livscykel. Med resurser menas de råvaror och den energi som används under hela livscykeln. Dessutom beräknas alla utsläpp som orsakas under livscykeln. I en så kallad vaggan-till-graven LCA ingår allt ifrån utvinning av råvaror och bränslen (vagga) till avfallshantering (grav). Mer om LCA som metod finns att läsa i Kapitel 12 Appendix.

I denna studie har en så kallad översiktlig LCA gjorts. Detta till följd av att tillgången av data visade sig vara mycket bristfällig och att en fullvärdig LCA därför inte var möjlig. Syftet med en översiktlig LCA är att få en indikation på vilket av jämförda alternativ som har störst respektive minst miljöpåverkan och att se vilka delar av produktsystemen som påverkar miljön mest. I syfte att säkerställa hur vi kan uppnå giftfria kretslopp har teoretisk modellering av kemikalier i materialet utförts i kapitel 7.3.

Systemgränser och val av metod har stor betydelse för resultatet av en LCA. När det gäller återvinning så är det ofta viktigt för resultatet vilket uttag av naturresurser och vilka processer som antas undvikas tack vare återvinningen. Just när det gäller avfallshantering så utförs ofta en så kallad systemutvidgning av systemet, för att kunna tillgodoräkna det positiva bidraget i att återvinna en produkt. Bakgrunden till systemutvidgning utförs ofta i syfte att undvika en så kallad allokering mellan de olika produkterna som systemet genererar. I en allokering fördelas miljöbelastningen mellan de produkter som genereras av systemet. Allokeringen görs ofta via någon fysikalisk storhet, till exempel energiinnehåll, men kan också göras proportionellt mot det ekonomiska värdet av de olika produkterna. Enligt den här använda standarden, ISO 14044, ska dock allokering undvikas till fördel för systemutvidgning.

Ett vanligt exempel där denna typ av systemutvidgning används är förbränning av produkter. Produktionen av värme och el räknas då in i systemet liksom även konsekvensen av att denna el och värme ersätter el eller värme producerad med något annat bränsle. När det gäller återvinning av textil så blir frågan om vilka jungfruliga resurser som antas ersättas av det återvunna materialet ytterst aktuell. Man kan i dagsläget inte ge entydiga svar på dessa frågor, därför omfattar denna studie ett antal olika scenarier.

I denna studie har valet gjorts att utvidga systemet så att de resurser som ersätts till följd av återvinning eller förbränning också räknas in i analysen.

### 7.2.2 Mål och omfattning

Studie utgår från två olika grundscenarier: 1) hantering av 1 ton bomullsavfall och 2) hantering av 1 ton blandmaterialavfall. Blandmaterialet består av 50 % bomull och 50 % polyester. Insamling och sortering ingår inte systemen som undersöks.

För de två olika grundscenarierna undersöks ett antal alternativ till avfallshantering och/eller återvinning med de tre huvudalternativen mekanisk återvinning, kemisk återvinning och förbränning (energiutvinning). Två parametrar har under arbetets gång visat sig ha stor inverkan på resultatet: val av ersatt material och den geografiska platsen för återvinningen, då den senare styr möjligheten till miljövänlig energiråvara. Därför har även dessa varierats för att ge en så heltäckande bild som möjligt av miljöpåverkan av möjliga relevanta alternativ. I Tabell 5 finns de undersökta fallen för rent bomullsavfall och i Tabell 6 visas de undersökta fallen för blandmaterial.

Många av de studier som hittills utförts inom textilåtervinningsområdet syftar till att kartlägga textilflöden och tekniker för återvinning som skulle kunna vara aktuella för Sverige. Det har dock endast gjorts ett fåtal livscykelstudier på återvinning av textil i Sverige[8, 9, 72] och de studier som utförts inom föreliggande rapport skiljer sig från de tidigare på följande sätt. Zamani studie[8] har liknande frågeställning som denna studie, med skillnaden att Zamani mer i detalj undersöker ett antal fall, medan denna studie syftar till att göra en överskådlig LCA för ett större antal sätt att återvinna textil. Zamani undersöker endast blandmaterial medan denna studie också ser till ren bomull. I Zamani studie ingår inte heller mekanisk återvinning, som ett jämförande alternativ. I Palms studie[9] finns ett stort fokus på styrmedel och frågeställningen i studien är hur miljöpåverkan från ett kilo textilavfall förändras beroende på vilka styrmedel som implementeras. I Youhanans[72] exjobb jämförs olika återvinningstekniker. Den viktigaste skillnaden mellan Youhannans rapport och övriga livscykelanalyser samt denna studie, är att Youhannan inte använder systemutvidgning och därmed inte räknar in den nytta återvinningen ger genom att ersätta jungfruligt material.

Tabell 5: De olika scenarierna som undersökts för avfallshantering av 1 ton bomullstextil.

Teknik	Ersatt material	Plats för återvinning	Förkortning
Mekanisk	Bomullsfiber och isolering (stennull)	Norden	Mek A-Nor
		Europa	Mek A-EU
	Bomullsfiber	Norden	Mek B-Nor
		Europa	Mek B-EU
	Isolering (stennull)	Norden	Mek C-Nor
		Europa	Mek C-EU
Kemisk	Bomullsfiber	Norden	Kem A-Nor
		Europa	Kem A-EU
	Europeisk lyocellfiber och viskosfiber	Norden	Kem B-Nor
		Europa	Kem B-EU
	Europeisk lyocellfiber och asiatisk viskosfiber	Norden	Kem C-Nor
		Europa	Kem C-EU
Förbränning	Nordisk el och bibränsle	Norden	Förbränning A-Nor
	Europeisk el och naturgas	Europa	Förbränning A -EU

Tabell 6: De olika scenarierna som undersökts för avfallshantering av 1 ton textil av blandmaterial (50 % bomull, 50 % polyester).

Teknik	Ersatt material	Plats för återvinning	Förkortning
Mekanisk	Ersätter isolering	Norden	Mek D-Nor
		Europa	Mek D-EU
Kemisk med förbränning av PET	Ersätter bomull	Norden	Kem D-Nor
		Europa	Kem D-EU
	Ersätter europeisk viskos och lyocell	Norden	Kem E-Nor
		Europa	Kem E-EU
	Ersätter europeisk lyocell och asiatisk viskos	Norden	Kem F-Nor
		Europa	Kem F-EU
Kemisk med återvinning av PET	Ersätter bomull	Norden	Kem G-Nor
		Europa	Kem G-EU
	Ersätter europeisk viskos och lyocell	Norden	Kem H-Nor
		Europa	Kem H-EU
	Ersätter europeisk lyocell och asiatisk viskos	Norden	Kem I-Nor
		Europa	Kem I-EU
Förbränning	Nordisk el och bibränsle	Norden	Förbränning B-Nor
	Europeisk el och naturgas	Europa	Förbränning B-EU

Grundtanken i alla systemen är att fibrerna förr eller senare slutar i avfallsförbränning, men att man via olika återvinningsprocesser kan utnyttja fibrerna flera gånger innan detta sker. I exemplet med bomullsåtervinning kan samma molekyl återvinnas först till lyocell och sedan till viskos för att därefter förbrännas. Ett undantag från detta är polyesterdelen av blandmaterialet som vid återvinning antas gå in i en sluten återvinningsloop av PET och därmed inte gå till förbränning.

#### 7.2.2.1 FUNKTIONELL ENHET

Funktionell enhet är ett grundläggande begrepp i LCA. I den funktionella enheten definieras vad det är för funktion som produkten, tjänsten eller systemet uppfyller. I denna LCA är den funktionella enheten: *att ta hand om 1 ton textilavfall från Sverige*.

Viktigt att poängtera är att vi alltså redovisar olika scenarier för möjliga vägar att ta hand om textilavfall. Dessa scenarier resulterar även i ett antal andra funktioner, vilka inte nödvändigtvis är samma i de olika systemen och måste beaktas vid jämförelser av systemen. En viktig fråga man bör beakta är: vilken efterfrågan det finns på de funktioner (produkter) som kommer ut ur de olika scenarierna. Återvinningen förlorar sin mening om den endast adderar nya produkter till marknader utan att spara in jungfruliga resurser.

#### 7.2.3 Gemensamma datakällor för alla scenarier

Data som varit gemensamma för alla scenarier kommer främst från databaserna GaBi professional database[73] och Ecoinvent[74]. Specifika data listas nedan.

Data som använts för transporter som har använts i scenarierna kommer från GaBi professional database och motsvarar en lastbil med Euro 5-motor. LCA-data för diesel som används för transporter kommer också från GaBi professional database och motsvarar diesel såld i EU.

För el så har en nordisk elmix använts för produktion i Norden. Denna elmix kommer ifrån Ecoinvent. För produktion i Europa har en elmix för EU27 använts som kommer från GaBi professional database.

Värme som används i processer i Europa har antagits komma från naturgas och baseras på data från GaBi professional database. Värme som används i Sverige har antagits komma från träflis och baseras på data från Ecoinvent.

LCA-data på produktion av bomull har hämtats från GaBi professional database och är ett globalt genomsnitt för bomullsproduktion som är baserat på produktion i fyra regioner i USA, tre regioner i Kina och tre regioner i Indien.

## 7.2.4 Mekanisk återvinning

I detta kapitel beskrivs scenarierna, gemensamma processer för de olika scenarierna och flödesschema av systemet för varje scenario för mekanisk återvinning av bomull- och blandmaterial.

### 7.2.4.1 BOMULLSMATERIAL

När det gäller mekanisk återvinning av bomull fiber-till-fiber, får man ut ett material som håller lägre kvalitet än jungfruligt material. Detta innebär att återvunna fibrer måste blandas upp med jungfrulig bomull för att kunna användas i kläder och endast 20 % [6] av ett nytt plagg kan bestå av mekaniskt återvunnen bomull för att inte kvaliteten på plagget ska påverkas. Med andra ord kan alltså inte materialet återvinnas till hög andel, utan bör alltid ”matchas” med fyra gånger så mycket jungfruligt material, vilket ger en begränsning för hur mycket av denna produkt som kan finnas på marknaden.

Liknande frågeställning är aktuell även för återvinning av textilmaterial till stoppning eller isolering. Här är det oklart hur stor efterfrågan är samt vad dessa material egentligen ersätter för jungfruliga material.

Denna studie utgår från tre olika scenarier för den mekaniska återvinningen (se Tabell 5). Scenario Mek A: 20 % av textilavfallet kan gå in i nya textilprodukter och resten, 80%, går till isolering; Scenario Mek B: 100% av det återvunna materialet ersätter 100% jungfrulig bomull; och slutligen Scenario Mek C: 100% avfall går till isolering.

### 7.2.4.2 GEMENSAMMA PROCESSER FÖR MEKANISK ÅTERVINNING

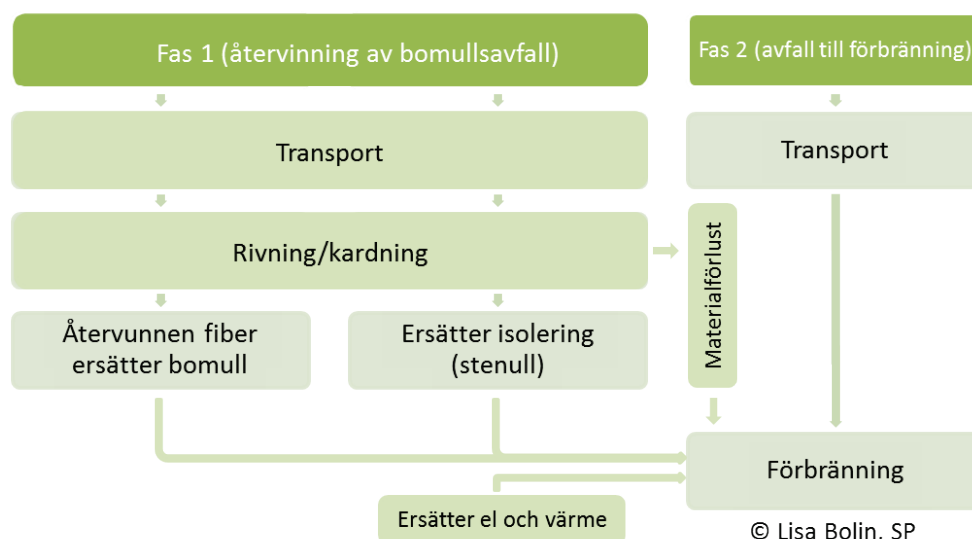
Uppskattad energianvändningen vid mekanisk återvinning har delvis baserats på rapporten ”*A review of commercial textile fibre recycling technologies*” från 2012 [22]. Enligt denna rapport kräver processen för tillverkning av stoppningsmaterial en energikostnad på 150 000 GBP per 4000 ton stoppning, vilket motsvarar ett energibehov på ca 300 kWh/tonstoppning (då antas att endast elenergi används vid dessa processer och elpriset för småföretag i Storbritannien år 2012 var 12,6 pence/kWh [75]). Detta material tillverkas genom fyra olika mekaniska processteg, se Figur 3. Med ett utbyte på 80 % [22] innebär detta en energianvändning på 238 kWh/ton textil i återvinningsprocessen.

För alla tre scenarier så har en transport med lastbil på 100 mil lagts in. Detta är endast ett schablonvärde som använts för att se om en transport får stort genomslag i resultaten.

I alla tre scenarier så förbränns textilen förr eller senare. För bomull har värmevärdet 17 MJ/kg [67] använts och för blandmaterialet har värmevärdet beräknats till 25 MJ/kg baserat på bomulls värmevärde (17 MJ/kg) och polyesters värmevärde på 33 MJ/kg [67].

I Figur 8 visas de processer som ingår i Scenario Mek A (Tabell 5) där 200 kg (d.v.s. 20 % av 1 ton fiber vilket är den funktionella enheten, se s. 53) återvunna bomullsfibrer produceras. Det har antagits att de två stegen ”grovklippning” och ”rivning” använder lika mycket energi som i kardningssteget. Utbytet för dessa två steg är uppskattat till 75 %, för att det totala utbytet från textilavfall till fiber som kan ersätta bomull i kläder når ca 60%[22]. Det färdiga materialet ersätter jungfruliga 200 kg bomullsfibrer och 495 kg stenull.

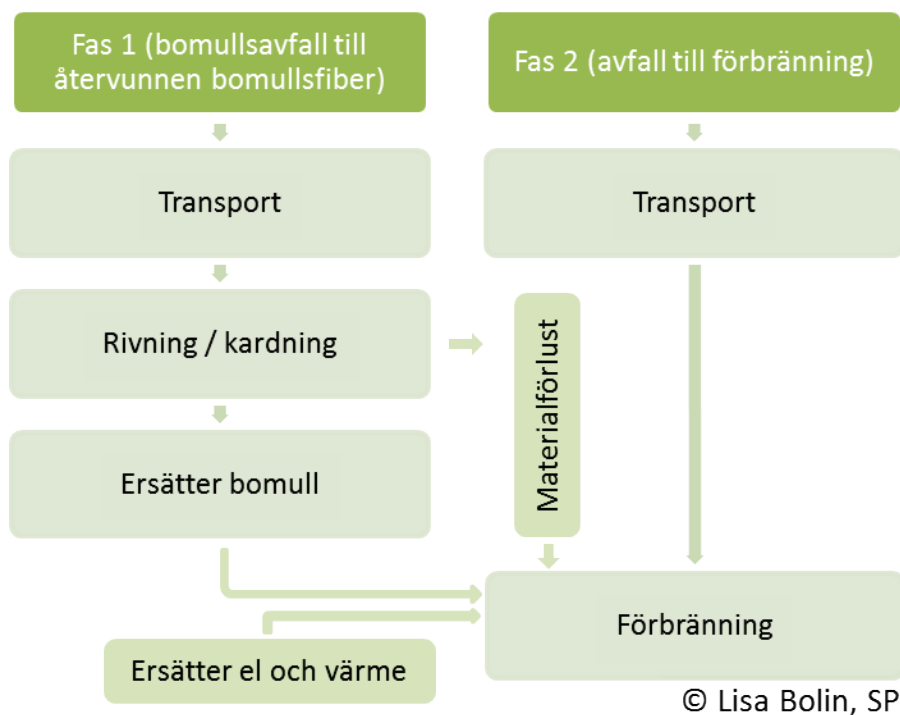
Data för energianvändning vid produktion av isolering har tagits från Palm et al (2013)[9]. I denna rapport antas utbytet för produktionen vara 90 %, värmeanvändningen 1,9 MJ/kg och elanvändningen 3,68 kWh/kg.



**Figur 8: Scenario Mek A (Tabell 5) där 1 ton bomullsavfall leder till att 200 kg jungfrulig bomull ersätts av 200 kg återvunnen bomull och 495 kg stenull ersätts av rivet bomullsavfall.**

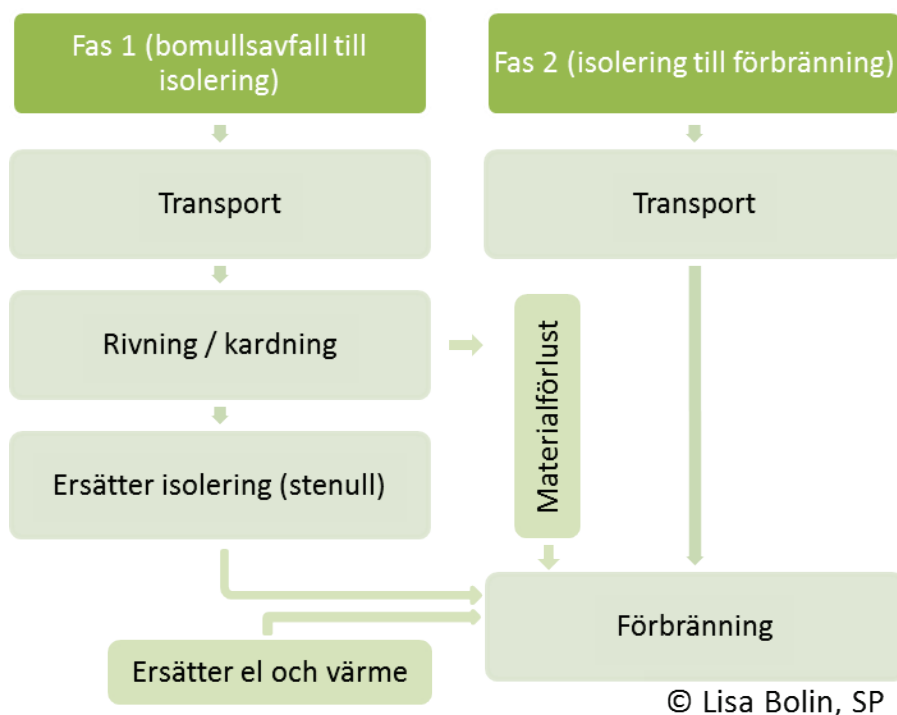
I Figur 9 visas Scenario Mek 2 (Tabell 5) när 100% textilavfall går in i återvinning till bomullsfibrer. Skillnaden mellan detta scenario och föregående är egentligen bara att produktionen av isolering har plockats bort och att det istället produceras 600 kg (d.v.s. 60% utbyte på 1 ton efter rivning och kardning av de återvunna fibrerna) bomullsfibrer som ersätter jungfrulig bomull.





**Figur 9: Scenario MEK B (Tabell 5) där 1 ton bomullsavfall leder till att 640 kg återvunnen bomull ersätter jungfrulig bomull med mekanisk återvinning till bomullsfibrer.**

I Figur 10 visas de processer som ingår i Scenario MEK C (Tabell 5) där all återvunnen bomull går till isolering. Data för energianvändning vid produktion av isolering har tagits från Palm et al (2013)[9]. I denna rapport antas utbytet för produktionen vara 90 %, värmeanvändningen 1,9 MJ/kg och elanvändningen 3,68 kWh/kg. I detta scenario ersätts 720 kg stenull.



**Figur 10: Scenario MEK C (Tabell 5) där 1 ton bomullsavfall leder till att 720 kg rivet bomullsavfall ersätter 720 kg stenull med mekanisk återvinning till isolering.**

#### 7.2.4.3 BLANDMATERIAL

För blandmaterial finns egentligen bara ett alternativ för mekanisk återvinning och det är att riva ner materialet och använda det som isolering eller stoppning, då det är för tekniskt utmanande att mekaniskt utföra fiber-till-fiber-återvinning. Denna process har antagits se likadan ut för blandmaterialet som för bomullsmaterialet. Det som skiljer de båda systemen är förbränningsdelen där blandmaterialet har ett högre värmevärde samt orsakar mer utsläpp på grund av sitt fossila ursprung. För blandmaterialet har värmevärdet beräknats till 25 MJ/kg baserat på bomulls värmevärde på 17 MJ/kg och polyesters värmevärde på 33 MJ/kg[67].

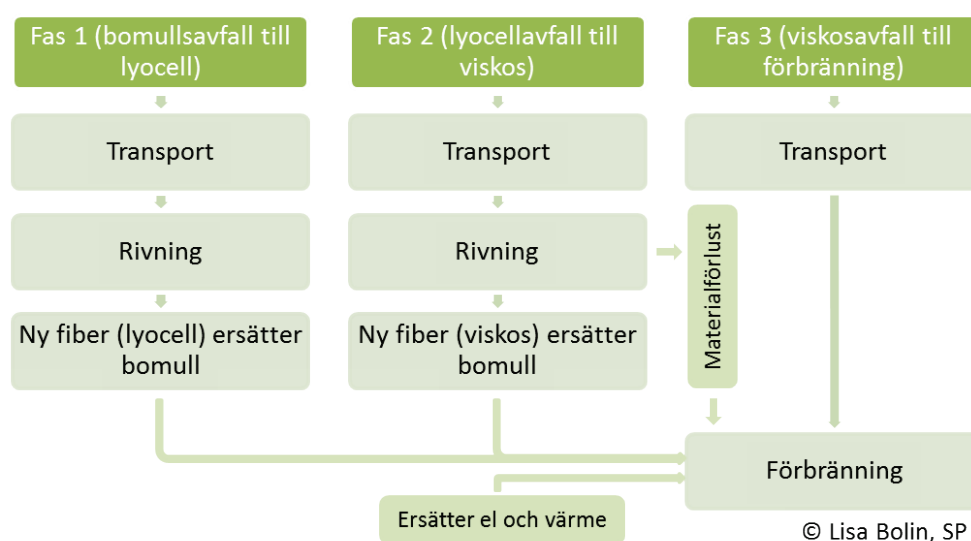
#### 7.2.5 Kemisk återvinning

I detta kapitel beskrivs scenarierna, gemensamma processer för de olika scenarierna och flödesschema av systemet för varje scenario för kemisk återvinning av bomull- och blandmaterial.

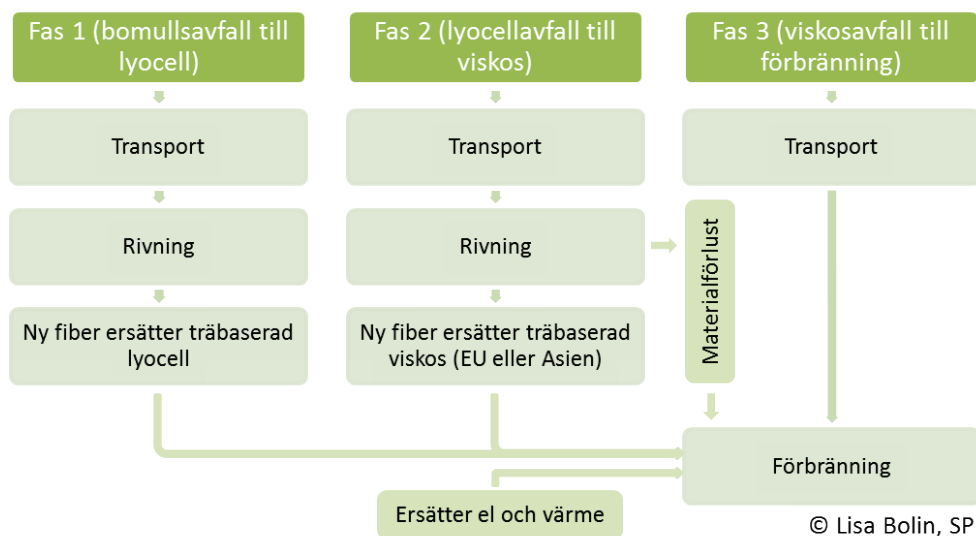
##### 7.2.5.1 BOMULLSMATERIAL

Vid den kemiska återvinningen förbehandlas bomullsavfall till en massa som löses upp med hjälp av kemikalier i antingen lyocell- eller viskosprocessen. Det som skiljer sig mellan de tre olika scenarierna för kemisk återvinning av bomull är vad vi tänker oss att de återvunna fibrerna ersätter (se Tabell 5, vid kolumn 1 "Kemisk"). Man tänker sig ofta att viskosfibrer som produceras vid kemisk återvinning alltid ersätter jungfrulig viskos, producerad lyocell alltid jungfrulig lyocell och så vidare. Men är funktionen av de olika materialen snarlik

så kan kanske lyocell eller viskos också kan ersätta bomull och lyocell skulle kunna ersätta viskos (i t.ex. blandmaterial). Även med tanke på den beräknade ökande efterfrågan på cellulosebaserad textil (se Figur 1), då bomullsproduktion inte anses kunna utökas, skulle en analys där lyocell/viskos ersätter bomull vara rimlig. Med bakgrund i detta så har tre scenarier valts för kemisk återvinning av bomull. Ett där bomull ersätts, ett där viskos och lyocell producerad i Europa ersätts och ett där europeisk lyocell och asiatisk viskos ersätts (se Figur 11 och Figur 12). I Figur 11 och Figur 12 visas de processer som räknats in i utvärderingen av kemisk återvinning. För rivningssteget har antagits att det går åt lika mycket el som för den rivning som används vid produktion av isoleringsmaterial. För förbehandlingssteget av använd bomull till s.k. textilmassa som föregår lyocell- och viskosprocessen har data inte gått att få fram, varför en uppskattad miljöpåverkan har lagts in i analysen för att representera steget där finfördelat textilavfall behandlas till en textilmassa. För denna process har data från Ecoinvent[74] använts för den blekning av massa som sker vid återvinning av papper använts. Data för miljöpåverkan från lyocellprocessen är hämtad från en studie publicerad 2011[76]. Dessa data finns bara presenterade för olika miljöpåverkanskategorier, så de ger ingen information om exakt vad i processen det är som orsakar vilken miljöpåverkan. För viskosprocessen har data från viskosproduktion i Europa använts. Dessa data har erhållits via personlig kontakt med Carl-Axel Söderlund[77]. Informationen består av uppgifter för el- och värmeanvändning samt använda kemikalier/kg producerad viskos. LCA-data för produktion av ingående kemikalier (natriumhydroxid, svavelsyra, koldisulfid) och vattenanvändning har hämtats från GaBi professional database[73]. Två transporter på 100 mil/fas har lagts in för att se hur stor inverkan transporter kan få på den totala miljöpåverkan. I studien är användarfaserna som föregår varje återvinningsfas exkluderade, för att ge överblick på möjliga materialåtervinningsvägar.



Figur 11: Scenario KEM A (Tabell 5) med kemisk återvinning där bomull ersätts.



Figur 12: Scenario KEM B (Tabell 5) med kemisk återvinning där lyocell och viskos ersätts.

#### 7.2.5.2 BLANDMATERIAL

För blandmaterialet ser systemet något annorlunda ut än för ren bomull. Två olika varianter av hur blandmaterialet tas om hand via kemisk återvinning har studerats. I det ena separeras blandmaterialet upp före lyocellprocessen och den del som består av polyester tas till förbränning, medan bomullsfraktionen går igenom någon av de tre varianterna för kemisk återvinning av bomull. Det andra fallet ser likadant ut förutom att polyesterdelen av tyget också tas om hand och återvinns och ersätter jungfrulig polyesterråvara.

Energiutvinningen/förbränningen av polyester materialet har baserats på Palm et al (2013)[9]. Enligt denna rapport används 15,8 MJ värme/kg material och 3,3 kWh el/kg material.

### 7.2.6 Resultat

Med tanke på att detta är en översiktlig LCA bör det inte fästas stor vikt vid enskilda siffror, varför resultaten presenteras som jämförelser mellan de olika scenarierna.

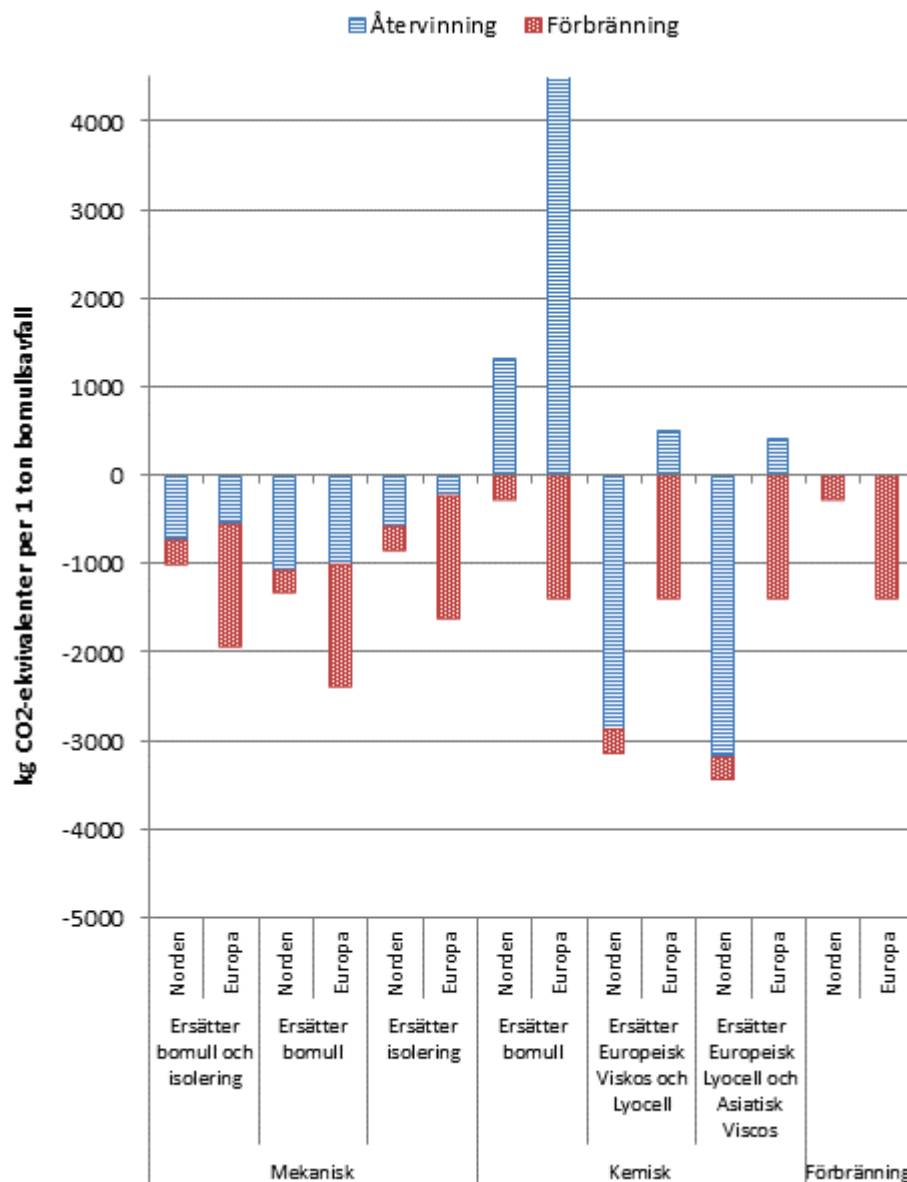
#### 7.2.6.1 BOMULLSTEXTIL

Vid hanteringen av rent bomullsavfall så är det tydligt att resultaten varierar kraftigt mellan olika påverkanskategorier. I Figur 13 visas hur de olika alternativa avfallshanteringarna påverkar klimatet. Anledningen till att de flesta scenarier har negativa staplar beror på att scenarierna inkluderar ersättning av jungfruliga resurser. Återvinningen får alltså tillgodoräkna sig klimatnyttan från att produktion av jungfruliga resurser undviks. I de fall där staplarna är positiva innebär detta att klimatpåverkan från själva återvinningen är större än vinsten med återvinningen. När det gäller klimatpåverkan så är kemisk återvinning i Norden, då man analyserar fallet ersätter träbaserad viskos och lyocell, de system som minskar

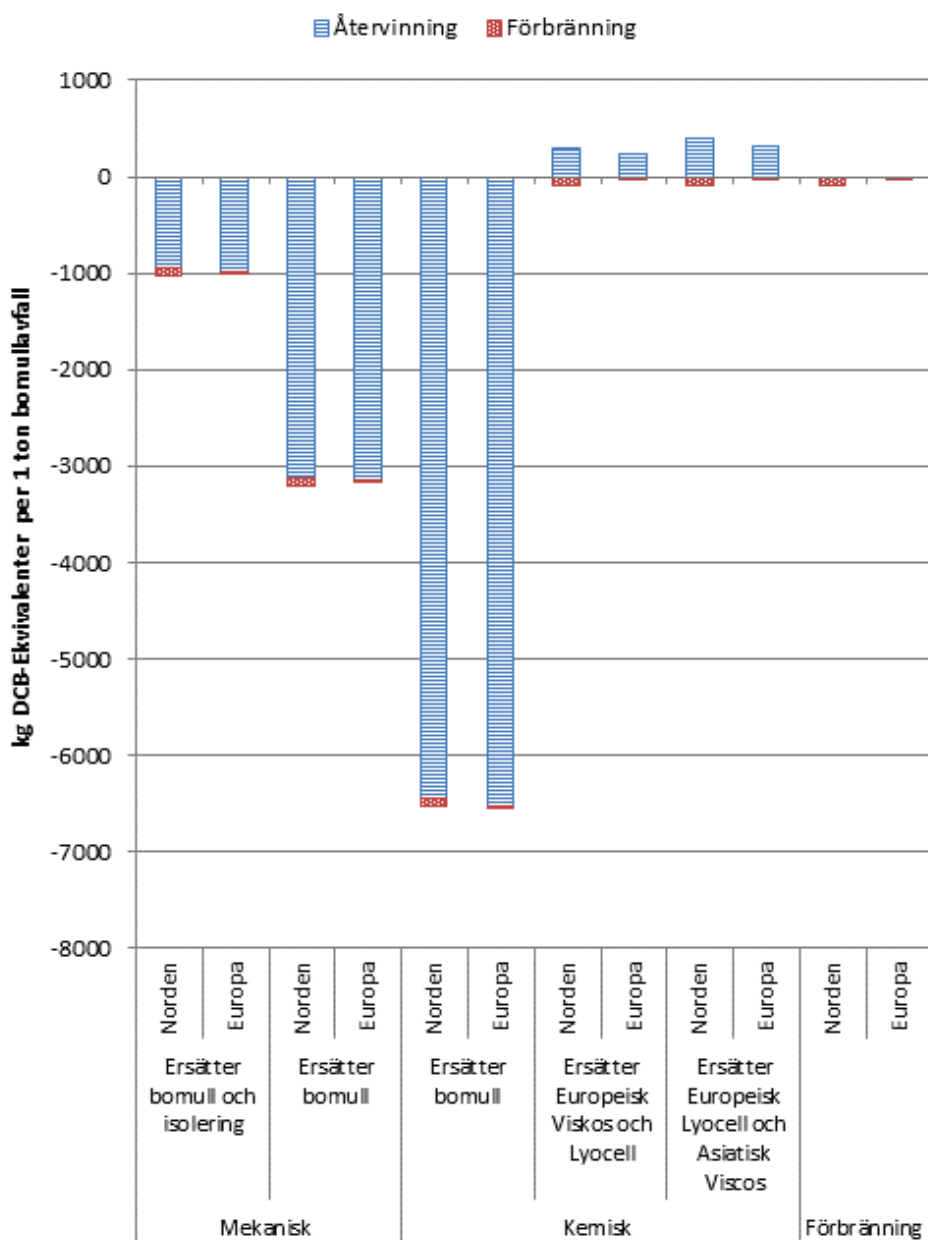
klimatpåverkan mest jämfört med förbränning. Kemisk återvinning ger bara klimatnytta om man har tillgång till förnybar energi eller spillvärme in i processen. I de scenarier där fossil energi eller kolkraft används, kan inte kemisk återvinning anses klimatsmart jämfört med energiutvinning i form av förbränning.

Det är viktigt att komma ihåg att påverkan på klimatet endast är en av flera miljöpåverkanskategorier. I Kapitel 12 Appendix visas resultat för bomullsåtervinning för ett större antal miljöpåverkanskategorier.

I Figur 14 visas potential till förgiftning av ekosystem i sötvatten (FAETP – freshwater aquatic ecotoxicity potential). Det är tydligt att resultatet för denna påverkanskategori skiljer sig mycket från klimatpåverkan. Här är den tydliga vinsten att ersätta jungfrulig bomull, vilket innebär att både kemisk och mekanisk återvinning där bomull ersätts, får mest positiv effekt jämfört med förbränning. Anledningen till detta är de bekämpningsmedel som används vid produktion av bomull.



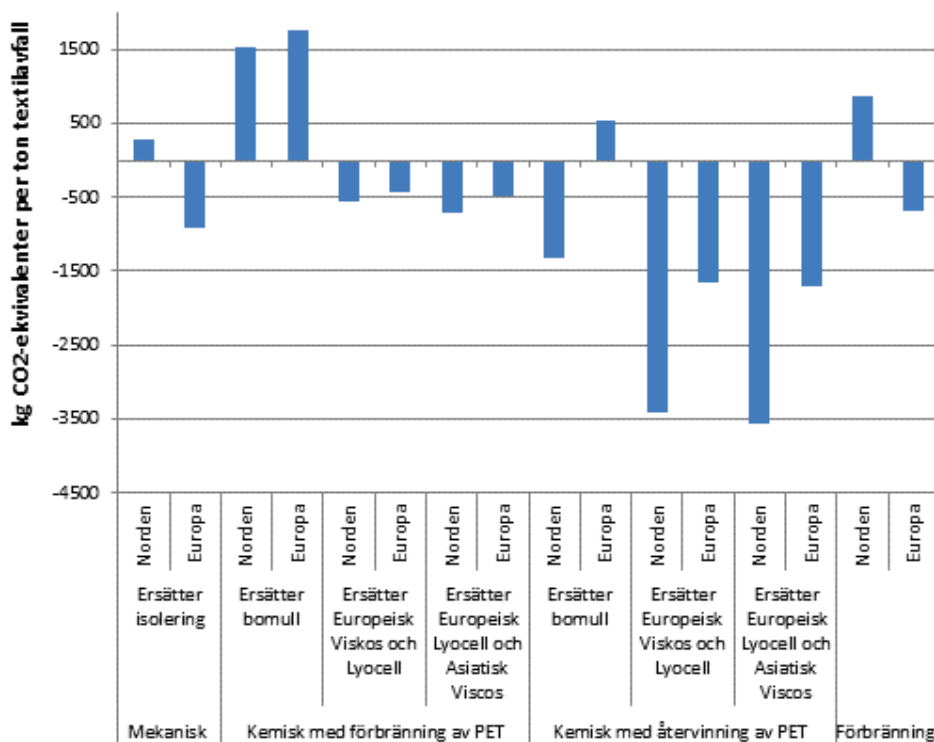
Figur 13: Klimatpåverkan från de olika avfallshandlingsscenarierna: mekanisk-och kemisk återvinning samt att avfallet går direkt till förbränning.



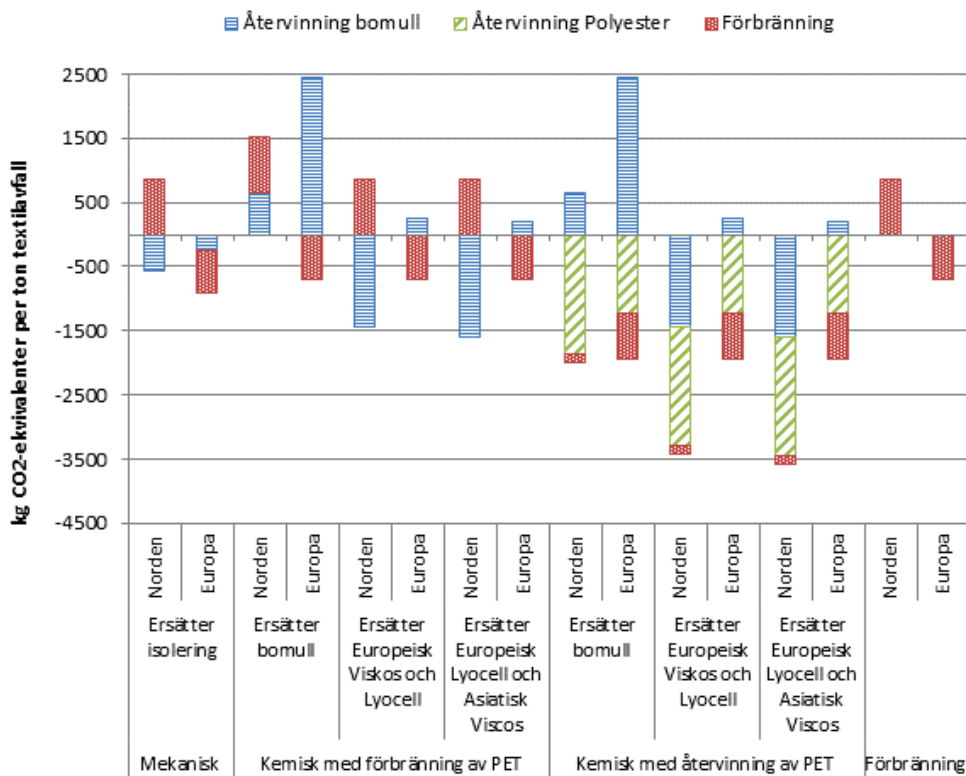
Figur 14: Potential till förgiftning av ekosystem i sötvatten från de olika avfallshanteringsscenarierna: mekanisk och kemisk återvinning samt att avfallet går direkt till förbränning.

#### 7.2.6.2 BLANDMATERIAL

I Figur 15 och Figur 16 visas klimatpåverkan från de olika scenarierna. När man förbränner polyester bildas fossilt koldioxid vilket gör att de alternativ som har förbränning av polyester får ett ganska stort bidrag från detta. Det syns tydligt i Figur 16. Som syns i Figur 15 så är kemisk återvinning av bomullsfraktionen kombinerad med förbränning av polyestern ett sämre alternativ än förbränning, från klimatsynpunkt. Kombinationen kemisk återvinning av bomull och återvinning av polyestern ger störst förbättring jämfört med förbränning.



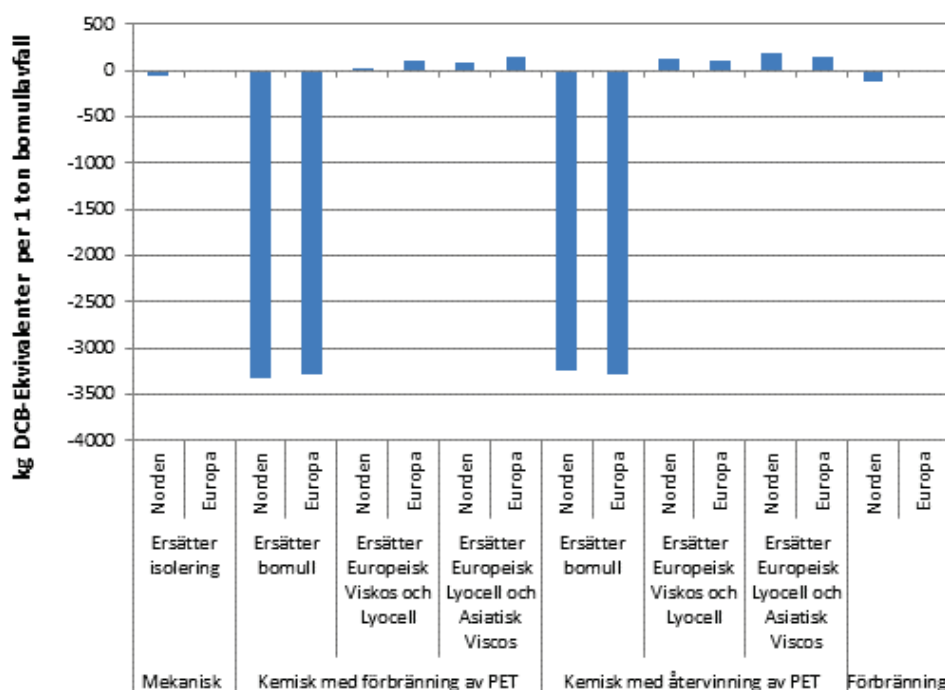
Figur 15: Klimatpåverkan från de olika avfallshanteringsscenarierna: mekanisk och kemisk återvinning samt att avfallet går direkt till förbränning av blandmaterial.



Figur 16: Klimatpåverkan från de olika avfallshanteringsscenarierna: mekanisk och kemisk återvinning samt att avfallet går direkt till förbränning av blandmaterial.



Även i detta fall är det viktigt att komma ihåg att klimatpåverkan bara är en av flera miljöpåverkanskategorier. Om man även i detta fall ser på potential till förgiftning av ekosystem i sötvatten (FAETP – freshwater aquatic ecotoxicity potential) så ser man att mönstret är detsamma som tidigare. Att ersätta bomull är det som ger uteslutande störst minskning av FAETP jämfört med förbränningsalternativet (se Figur 17). Detta beror på de kemiska bekämpningsmedlen i konventionell bomullsodling (se stycke 7.2.6.3 *Kemikaliers miljöpåverkan*)



Figur 17: Påverkan på förgiftning av ekosystem i sötvatten från de olika avfallshanteringsscenarierna: mekanisk och, kemisk återvinning samt att avfallet går direkt till förbränning.

### 7.2.6.3 KEMIKALIERS MILJÖPÅVERKAN

Under framställning av olika textila material krävs ett stort antal kemikalier. De mest kemikalieintensiva stegen generellt vid textilproduktion är infärgning och slutberedning av tyget. För bomull används ett flertal biocider i form av exv. pesticider vid konventionell bomullsodling vilket ytterligare bidrar till kemikalieanvändningen. Flertalet av kemikalierna som används under processerna är inte farliga eller särskilt farliga men används i stora kvantiteter och har således en stor miljöpåverkan, särskilt lokalt. Fortfarande används dock ett antal farliga ämnen med hög toxicitet för människa och miljö, såsom vissa färgämnen, flamskyddsmedel och ytbehandling. Vad gäller pesticiderna är många högtoxiska och kan därför bidra extra mycket till toxiciteten.

I kapitel 7.3 beskrivs tydligare vilka kemikalier i ett ingående material som kan tänkas återfinnas i det återvunna materialet efter att ha genomgått en viss

återvinningsprocess. Detta ger information om en eventuell diffus spridning av farliga kemikalier som en miljöaspekt kopplad till återvunnet material.

Vid återvinning av material kan det faktum att vissa processteg utgår betyda minskning av kemikalieanvändningen ur ett livscykelperspektiv. Särskilt tydligt är exemplet för återvinning av bomull, där biocidanvändning under odlingen försvinner. Under återvinningen kan dock kemikalier i återvinningsprocesserna krävas. För att minska den totala miljöbelastningen är det därför viktigt att man under dessa steg inte tillför andra farliga eller särskilt farliga ämnen med hög toxicitet ur ett hälso- eller miljöperspektiv. Under studien har återvinningsprocesserna beskrivits utifrån processparametrar med bland annat frågeställningar kring lösningsmedel och kemiska tillsatser. De nämnda kemikalierna för processtegen verkar generellt inte vara särskilt farliga vid rätt hantering såsom slutet system och emissionskontroll samt avfallshantering.

#### 7.2.6.4 OSÄKERHETER OCH AVGRÄNSNINGAR

För att kunna ge en sann bild av en total miljöpåverkan behöver emissioner från alla processer och material uppströms och nedströms samt i alla livscyklifaser inventeras och analyseras. Studien avser att studera i detalj miljöpåverkan från omhändertagande i form av olika återvinningsscenarios av ett ton textilmaterial i Sverige.

#### 7.2.7 Diskussion och slutsatser: miljöprestanda

Flertalet av de studerade scenarierna ger en mindre total miljöpåverkan än att direkt utnyttja alternativet med energiutvinning genom att förbränna avfallet. Detta indikerar att återvinning av textil skulle kunna ge minskad miljöpåverkan jämfört med dagens system där det mesta textilavfallet går till förbränning. De miljöpåverkanskategorier som främst undersökts i denna studie är: klimatpåverkan, försurning, övergödning, förtunning av ozonlagret, bildandet av marknära ozon och potentiella utsläpp av gifter. I denna studie framkommer att man med vissa förutsättningar kan reducera klimatpåverkan med mellan 0,5-3 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg hanterat textilavfall. Det finns dock flera scenarier som markant ökar klimatpåverkan jämfört med förbränning, vilket gör det viktigt att ur klimathänseende noga bevaka energianvändning och effektivitet i olika processer. Detta är en förhållandevis liten vinst sett till hela produktionen av en textil vara, där en färdig vara ligger på runt 10-40 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg produkt[78-81].

Det går inte att entydigt peka ut det scenario som ger störst minskningar för alla miljöpåverkanskategorier. Viktigt att poängtera är att kemisk återvinning i Norden (det vill säga med tillgång till förnybar energi eller spillvärme) generellt har stor potential att minska miljöpåverkan för många av utvärderingskategorierna. Det bör dock noteras att data för förbehandlingssteget där använd bomull omarbetas till s.k. textilmassa som föregår lyocell- och viskosprocessen är ett uppskattat värde i denna studie.

Det som ger stora skillnader i jämförelsen mellan de sex olika scenarierna vid kemisk återvinning är vilka jungfruliga fibrer som antas ersättas. Då viskos- och lyocellprocesserna i sig är energikrävande, så kommer dessa scenarier inte ut så starkt i kategorier som är kopplade till energianvändning, främst klimatpåverkan. När bomullsfibrer ersätts ges betydande vinster för de miljöpåverkanskategorier som motsvarar bomullsodlingens miljöproblem, såsom utsläpp av gifter till mark och vatten som leder till övergödning och toxiska effekter.

Ett tydligt resultat är att koldioxidutsläpp på grund av energianvändning vid viskos-och lyocellproduktion kan reduceras markant om förnybar energi används eller om produktionen placeras med tillgång till spillvärme, till exempel nära annan energiintensiv industri. Detta gäller naturligtvis oavsett om man använder jungfrulig eller återvunnen råvara vid dessa processer.

Vid mekanisk återvinning finns problem kring det faktum att tekniken alltid innebär så kallad down-cycling, d.v.s. produkten har lägre kvalitet jämfört med jungfruligt material. Detta betyder dock inte att metoden inte kan fungera som en väg bland andra för att återvinna textil. Det relativt låga utbytet från de mekaniska processerna (till ca 60 %) innebär att en ganska stor del av textilen ändå går till förbränning direkt. Att ersätta jungfrulig bomull verkar vara ett bättre alternativ än att ersätta isolering ur många miljöpåverkans kategorier. Tillgång till förnybar energi får en relativt stor inverkan på återvinningen eftersom det är en ganska hög energianvändning även vid mekanisk återvinning.

För att minska den totala miljöpåverkan är det viktigt att hantera återvinningsprocesserna på ett optimalt sätt från miljösynpunkt. Detta gäller energianvändning, kemikaliehantering, avfallshantering och processeffektivitet. I denna studie har processerna varit tillräckligt optimala för att ge en positiv miljöpåverkan jämfört med produktion från jungfrulig råvara. Men om återvinningsprocesserna sker på sätt som inte är optimala, kan vinsten minska betydande.

#### 7.2.7.1 BIDRAG TILL KLIMATPÅVERKAN

I denna studie kan man se att de återvinningstekniker som gör att man använder mindre energi också är de som ger en minskning i klimatpåverkan. Att undvika massaproduktion och dessutom en minskad produktion av kemikalier ger i sig en minskning i utsläppen av växthusgaser. Dock går det åt så mycket energi för den kemiska återvinningen av bomull, att utsläppen av växthusgaser blir större än vid det jämförande fallet med förbränning även i de fall då fossil bränslekälla används. Att minska bomullssproduktionen till fördel för kemisk återvinning är alltså inte motiverat utifrån endast ett klimatpåverkansperspektiv.

För blandmaterial är en stor källa till utsläpp av koldioxid förbränningen av polyester, eftersom materialet har fossilt ursprung. Det är därför viktigt att för blandmaterial försöka hitta ett sätt att ta tillvara både polyester och bomull.

#### 7.2.7.2 BIDRAG TILL FÖRSURNING

Vid kemisk återvinning där man ersätter lyocell och viskos är den största vinsten när det gäller försurning att man undviker pappersmassaproduktion. I mekanisk återvinning, där man ersätter bomull, är det den uteblivna nyproduktionen av bomull som ger störst bidrag till att minska försurningspotentialen.

När det gäller vedbaserad textilmassaproduktion är det viktigt att komma ihåg att skogsbruk inte bara bidrar till försurning genom slutlig förbränning av produkten, utan kanske främst genom att den naturliga försurningen i marken blir permanent. I naturliga system, där ingen biomassa skördas, skulle nedbrytning av det döda trädet leda till neutralisering av syran som orsakades av trädets tillväxt. När man avverkar skogen blir dock försurningen bestående.

Det är tydligt från resultaten att det från ett försurningsperspektiv finns stora vinster i att återvinna bomull jämfört med jungfrulig produktion av bomull, lyocell eller viskos.

#### 7.2.7.3 BIDRAG TILL ÖVERGÖDNING

Det är främst vid mekanisk återvinning där bomull ersätts man ser vinster när det gäller övergödning. Bomullsproduktion bidrar till övergödning bland annat genom gödsling som leder till läckage av näringsämnen. Detta undviks när bomullen kan återvinnas.

Det är tydligt från resultaten att det från ett övergödningperspektiv finns stora vinster i att återvinna bomull mekaniskt jämfört med jungfrulig produktion av bomull.

#### 7.2.7.4 BIDRAG TILL FÖRTUNNING AV OZONLAGRET

Resultaten för denna kategori ger inte mer information än att om återvunna fibrer ersätter viskosproduktion i Asien, så minskar utsläppen av ozonförtunnande ämnen (klorfluorokarboner) med anledning av att den asiatiska produktionen av viskos ger så stort utslag är läckage av dessa gaser vid oljeproduktion. Olja används som bränsle både i produktion och för elproduktion för den asiatiska viskosen[11].

#### 7.2.7.5 BIDRAG TILL BILDANDET AV MARKNÄRA OZON

Resultaten för Kem A visar att denna typ av utsläpp är större för viskosprocessen och lyocellprocessen än vid produktion av bomull. För övriga scenarier undviks utsläpp av smogbildande ämnen. För scenarierna mekanisk återvinning så är det den undvikna massaproduktionen som ger den stora besparingen i utsläpp. För övriga scenarier är det ersatt bomull och stenull som ger besparing i smogbildande utsläpp.

#### 7.2.7.6 POTENTIELLA UTSLÄPP AV GIFTER

För giftiga utsläpp till mark och vatten så är den absolut största vinsten att ersätta bomull. Detta beror till stor del på de bekämpningsmedel som används vid bomullsodling. När det gäller utsläpp som är giftiga för människor så är den största vinsten med återvinning utebliven produktion av vedbaserad textilmassa.

## 7.3 Hantering av farliga ämnen

I denna del av rapporten kommer kemikalier och kemikalieanvändning vid textiltillverkning att analyseras. Vissa kemikalier påverkar människa och miljö genom hela livscykeln och det är därför inte bara vid återvinning av textilier som kemikalieanvändningen och hantering av kemikalier har uppmärksammats. Vid materialåtervinning och därmed återförsäljning av använda textilier kan numer klassade kemikalier befinna sig i materialet, som därmed kan eventuellt klassas som farligt avfall i framtiden och istället för försäljning behöva hanteras därefter. I denna studie kommer därför ett par specifika aspekter belysas: *hur påverkas plaggets eventuellt kemiskt innehåll av olika relevanta återvinningstekniker*, och *hur påverkar otillräckligt informationsflöde möjlighet att kunna utnyttja gamla textilier som råvara*. Den första delen av analysen ger också underlag för beslut om något specifikt material/produktsegment bör sorteras ut ur framtida avfallsströmmar före en viss återvinningsteknik.

I en cirkulär ekonomi är giftfri textilråvara en förutsättning, vilket innebär att konkret förhindra tillförsel av farliga kemikalier i hela värdekedjan. Detta förutsätter god kunskap om vilka kemikalier som är farliga och vilka tekniskt gångbara samt hållbara alternativ som finns på marknaden. Först då kan man säkerställa högkvalitativa giftfria textila material i slutet av den första livscykeln som i sin tur kan vara råmaterial till nästa livscykel. För vissa kemikalier finns idag fullgoda tekniskt fungerande och hållbara alternativ. Ett exempel är icke halogenerade flamskyddsmedel där det finns fullgoda substitut med låg farlighet.

Vid textiltillverkning tillsätts kemikalier för att ge de textila slutprodukterna olika egenskaper. Vanligtvis är den närvarande kemikaliehalten i slutprodukt på 0,5-20 % av totala plaggets vikt[82]. Det kan vara allt från ämnen från en specifik modfärg till kemikalier som ger smuts- och vattenavstötande förmåga. Kemikalier som ger funktion till varan kan även de lakas ur under användning och förslitning. Om så är fallet kan de ämnena vara en icke-fråga vid återvinning, det vill säga ifall de helt och hållet har avgivits från textilen under användningsfasen. Under tillverkning av textilier används även vissa kemikalier som stöd i processer, men finns i normala fall inte kvar i slutprodukten även om det finns exempel på fall där de bevaras under hela textilens livscykel (som exempelvis nonylfenol och nonylfenoletoxilater). Vanligtvis tvättas dessa kemikalier ur varorna innan de kommer till konsumenten, men man kan finna kemikalier kvar i textilmaterialet (max 5% av totala plaggets vikt)[82].

Figur 18 illustrerar ett antal vanliga kemikalier som används i olika tillverkningssteg samt processtillsetser för att ge en särskild funktion till slutprodukten[83]. Många av de funktionsgivande kemikalierna tillsätts i de senare delarna av tillverkningsprocessen såsom infärgning och så kallad finishing. Dessa kommer vara kvar i den textila produkten och ofta i relativt höga halter. Under materialåtervinning av gamla textilier kan en viss tillförsel av kemikalier ske som stöd i återvinningsprocessen vid kemisk återvinning (se Kapitel 7.1.3). Inga kemikalier tillsätts däremot under den mekaniska återvinningsprocessen av textil till nyspunnen tråd, men färgning kan ske (se Kapitel 7.1.2). Man skulle kunna tänka sig att mekanisk återvinning eller andra återvinningsprocesser föregås av ett tvättsteg, vilket har uteslutits i denna studie. Generellt bör tvättsteg ge upphov till ytterligare lakning av kemikalier och kan innehålla tensider i form av exv. alkylfenoletoxilater som kan tänkas återfinnas i det återvunna materialet. Vidare skulle en del av återvinningsprocesserna kunna föregås av ett blekningssteg i syfte att bryta ner och laka ur oönskade ämnen.



**Figur 18: Visar de kemikalier som används för textilproduktionens olika faser samt kan tillsättas för att ge slutprodukten specifika funktionsegenskaper och som ett stöd under den textila tillverknings[83].**

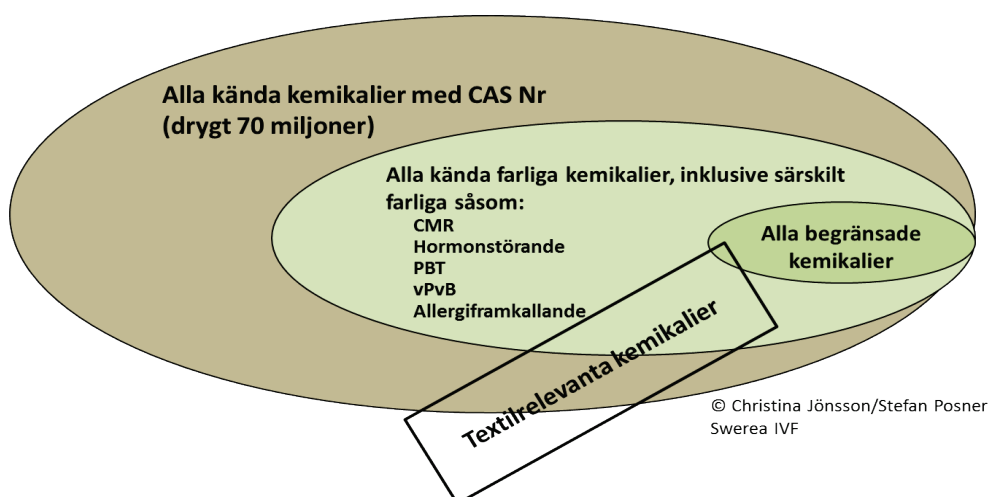
Denna rapport baseras på vetenskapen att textiltillverkningsprocessen är kemikalieintensiv (se Figur 18) och att man bör ha kunskap om kemikalieinnehåll för att agera på rätt sätt, både för att sätta den ursprungliga produkten på marknaden och för avfallshandlingen av dessa produkter. Vid en tidigare studie för Kemikalieinspektionen inom ramen för ett regeringsuppdrag[82], identifierades ca 2 400 textilrelaterade ämnen där 10 % av alla ämnen hade potentiell negativ effekt på människans hälsa, då dessa ämnen är funktionskemikalier som när de används finns i relativt hög koncentration i textila varor. Några av dessa ämnen tillhör gruppen färgämnen (kemiskt benämnda azofärgämnen med funktionaliteten direkt,

eller syrafärgämnen som avgör kompatibilitet till vissa textila material) samt olika doftämnen vilka kan orsaka bland annat cancer och allergi. I samma studie[82] konstaterades vidare att 5% av de identifierade ämnena utgör en potentiell miljörisk, främst inom gruppen funktionskemikalier.

Olika branscher och produktsegment använder olika funktionskemikalier där färgämnen och pigment är generiska kemikalier. Vidare är även preferensen för olika material beroende på vilken kvalitet man vill uppnå. Exv. för just syntetiska material (polyamid/polyester) är den så kallade *out-door*-marknaden stor där vattenavvisande funktioner ofta efterfrågas direkt av konsument.

### 7.3.1 Giffri textilråvara

Det finns flera studier som identifierat särskilt farliga kemikalier med hög relevans till de olika textila materialen, som i denna rapport finns representerade i tabellerna i kapitel 13[84]. Dessa kemikalier har utvärderats med avseende på de processer (kapitel 7.1 *Återvinningstekniker*) materialet genomgår vid textilåtervinning. Denna studie visar ett värsta fall där alla tänkbara kemikalier som kan förekomma i ett visst materialslag inkluderas i analysen. Det betyder inte att alla kemikalier kommer att återfinnas i samtliga materialslag, se Figur 19 som ger en överblick på i vilka områden (d.v.s. klassning och reglering) kemikalier i textil hemmahör. Figuren illustrerar alla kemikalier på marknaden, varav det rosa fältet ”Textilrelevanta kemikalier” markerar inom vilka klassningsområden de textilrelevanta kemikalierna hör hemma. Av dessa är en delmängd klassade eller identifierade som farliga och endast ett fåtal är reglerade. Textilrelevanta ämnen hamnar som figuren indikerar i alla kategorier, d.v.s. en stor del farliga och av dessa ett fåtal reglerade kemikalier hanteras inom textilindustrin.



Figur 19: Illustration (observera, ej proportionsenlig) av kemiska ämnen som förekommer på dagens marknad (brunt fält). En delmängd av dessa är identifierade som farliga (ljusgrönt fält). Endast ett fåtal ämnen är begränsade i någon lagstiftning (grönt fält). Kemiska ämnen som är textilrelevanta kan antingen vara utan faroklassning eller ha en faroklassning (dvs ha någon känd farlig egenskap). Några få textilrelevanta ämnen har en begränsning i lagstiftningen.

Primärt krävs entydiga och fastställda kriterier avseende egenskaper hos farliga och oönskade kemikalier som inte bör förekomma i textila avfallsprodukter som ska kunna användas som råvara efter en återvinningsprocess. Önskvärt är att dessa ämnen helt undviks i den textila värdekedjan, men med dagens situation, d.v.s. avsaknad av harmoniserade globala kemikaliekraV, kommer farliga ämnen fortsatt komma in bland annat via importerade textilier på den europeiska marknaden. Företag kommunicerar ofta sina krav via så kallade ”restriction substance lists (RSL)” som ofta bifogats med ett affärsavtal till underleverentören. Spridningen mellan företag är stor i avseende på kunskapsnivå och dagliga rutiner kring kemikaliearbetet där hela spektrat från s.k. ”frontrunners” till företag som inte ens känner till att det finns någon kemikalielagstiftning[85]. Begränsad kunskap på kemikalieområdet och bristande samsyn kring hantering av kemikaliekraV ökar risken för förekomst av farliga ämnen i en textil produkt. Vidare är en mindre grupp av alla kända farliga textilrelevanta ämnen i dagsläget reglerade i EU-harmoniserad lagstiftning. Det finns dock goda möjligheter för utfasning, då producenten i vissa fall är medveten om ökade svårigheter eller totalförbud att få textilvaran såld på EUs inre marknad. Däremot är det betydligt svårare för en tidig utfasning för icke reglerade farliga textilrelevanta ämnen då det är mycket svårt för de EU-baserade textilföretagen att vinna förståelse för utfasning om man inte kan referera till en EU-lagstiftning med tydliga begränsningar och förbud.

Nedan beskrivs de faroklassningar, vilka denna studie innefattar i begreppet textilrelevanta särskilt farliga ämnen[84]:

- Ämnen i färdiga textilprodukter med harmoniserad klassificering cancerogen, mutagen och reproduktionstoxisk (CMR), kategori 1A och 1B (omfattar ämnen som är cancerframkallande, kan skada arvsmassan eller är skadliga för reproduktionen) (riskfraser H340, H350 och H360).
- Ämnen i färdiga textilprodukter med harmoniserad klassificering Aquatic Chronic 1 (ämnen som kan orsaka långsiktiga effekter i vattenmiljön) (H410), samt några ämnen uppsatta på kandidatlistan under Reach som inte ryms inom kriteriet ovan, men som man vet används i textilindustrin.
- Ämnen i färdiga textilprodukter som är harmoniserat klassificerade som allergiframkallande vid inandning samt på hud (H334 och H317).
- Ämnen i den färdiga produkten som är hormonstörande, så snart som kriterier för sådana ämnen har fastslagits.
- Persistenta och bioackumulerande och toxiska (PBT) ämnen.

Det finns, förutom de ovan beskrivna ämnena, särskilt farliga ämnen med lägre faroklassificering vilka fortfarande kan vara oönskade i den textila livscykeln, exv. hälsofarliga cancerogena, mutagen-, reproduktionstoxiska (CMR) kategori 2 vilka kan göra det textila materialet mindre lämpligt som råvara för framställning av produkter i nästa livscykel för känsliga målgrupper (exv. små barn). Det kan således finnas särskilt hälsofarliga cancerogena, mutagen-, reproduktionstoxiska (CMR), hormonstörande ämnen (ED) eller stabila bioackumulerade toxiska miljöfarliga ämnen (PBT) kvar i textilavfallet[86], antingen med för att ge specifik



funktion till slutvaran eller som föroreningar/rester från produktionen (exv. stabila och toxiska miljögifter såsom PAH eller perfluorerade ämnen). Denna ämneskategori (särskilt farliga ämnen som är textilrelevanta) är i fokus i rapporten och kan grupperas enligt nedan:

- Per- och polyfluorerade ämnen (persistenta och bioackumulerande)
- Halogenerade flamskyddsmedel (persistenta och bioackumulerande)
- Mjukgörare (CRM)
- Metaller, inklusive metalliska nanomaterial (toxiska)
- Färgämnen och pigment (toxiska exv. cancerogena eller allergena)
- Biocider (CMR)
- Lösningsmedel (CMR)
- Rester av nedbrytningsprodukter exv. polycykliska kolväten (PAH) samt dioxiner och dibensfuraner (PBT).
- Övriga toxiska ämnen som kan förekomma i den textila livscykeln.

### 7.3.2 Metodik

För att svara på frågan om vilka material och produktsegment som kan vara besvärliga ur ett återvinningsperspektiv har följande metodik använts:

- *Identifiera grupper av farliga ämnen:*  
Identifiering av funktionskemikalier, även kallade effektkemikalier, som ger egenskaper till det textila materialet, samt hjälp- eller processkemikalier som gör att de textila våtprocesserna fungerar. Till stöd för denna identifiering och kartläggning finns såväl litterära källor som analytiska studier[84].
- *Gruppering av identifierade farliga ämnen:*  
Relatera olika kemikalier till textila material baserat på ett värsta fall (d.v.s. alla ämnen som kan förekomma i ett visst material finns beskrivet)
- *Relatera ämnesgrupper till specifika textila material:*  
Framförallt funktionskemikalier är framtagna för specifika textila material, vilket innebär att de inte kan appliceras på andra textila material än de material de är avsedda för s.k. materialkompatibla kemikalier. Utgående från denna kunskap om ämneskompatibilitet sorteras dito ämnesgrupper per material såsom cellulosabaserade material (exv. bomull), ull, polyamid och polyester.
- *Relation mellan material och återvinningstekniker:*  
Relatera materialslagen till för materialen bäst lämpade och relevanta återvinningstekniker.
- *Processparametrar hos återvinningstekniker:*  
Framtagning av optimala processförhållanden för de olika återvinningsteknikerna. Här har man tagit särskild hänsyn till temperatur, pH, Lösningsmedel, tillsatser, UV- eller ozon-användning
- *Teoretisk modell av kemikalieinnehåll och eventuella emissioner efter återvinningsbehandling:*  
Teoretisk beskrivning av vad som hypotetiskt händer med de ingående kemikalierna under olika återvinningsprocesser. Denna teoretiska modell

beskriver vilka av de farliga ämnena som passerar obehindrade igenom återvinningen, d.v.s. de som inte bryts ner eller ger upphov till farliga nedbrytningsprodukter.

### 7.3.3 Begränsningar i metodiken

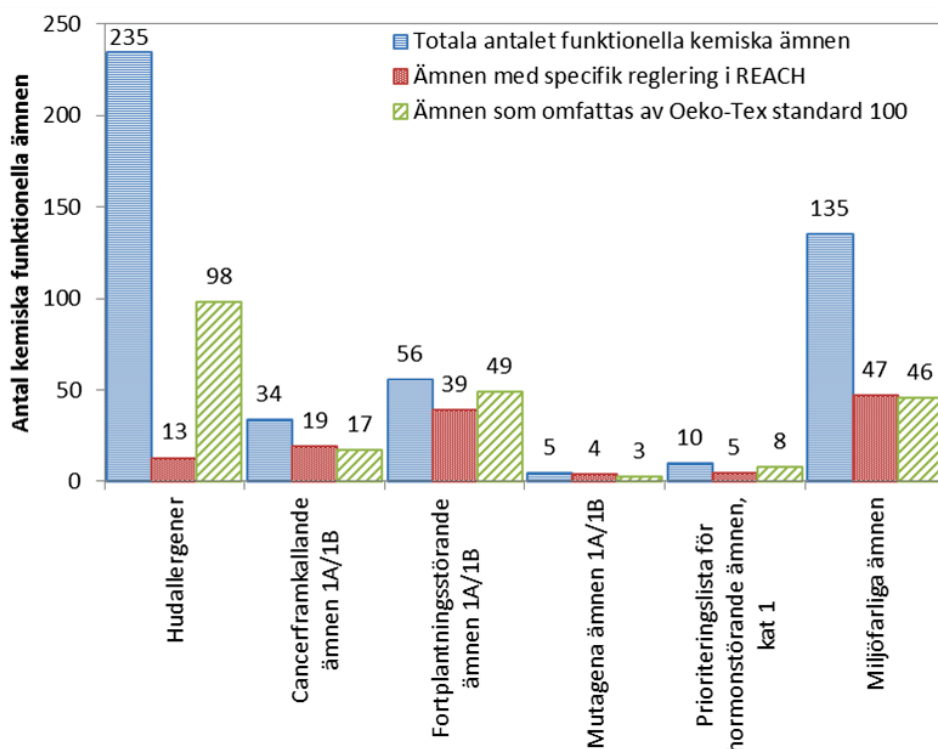
Metodiken ger en teoretisk modell som utvecklats för första gången i detta projekt och har inte hunnit valideras, vilket i sig är en begränsning. Det saknas komplett underlag för att säga hur väl den teoretiska modellen beskriver verkligheten (vilken är extremt komplex). Modellen är dock framtagen av experter på området kemikalier i textila processkedjan. De processparametrar som har betydelse för kemikalieinnehållet i återvunnet textilt material är temperatur, pH, lösningsmedel, tillsatser, UV- eller ozon-användning. Andra parametrar som kan ha påverkan är uppehållstid i processen, utbyten samt torrhalt i materialet.

En begränsning är därför att den teoretiska modellen antar 100 % utbyte i alla processer, vilket är mycket ovanligt i verkliga kemiska processer. Under de varierande betingelserna (temperatur, pH, etc.) som finns i processen, innebär en längre uppehållstid av textilmassan visserligen att mer av kemikalierna kommer att reagera, men även ökat slitage på (nedbrytning av) fibern. I den teoretiska modellen har inte hänsyn tagits till eventuell nedbrytning av det textila materialet samt eventuell urlakning eller transformering av ingående kemikalier i den ursprungliga beredningsprocessen. Ett exempel kan vara begränsade möjligheter att helt avlägsna färgämnen genom hård- eller fullblekning från viskosfiber. Viskosfiber som genomgår blekning får i en mycket skör kvalitet.

Slutligen kommer inte textilmassan som blir resultatet från förbehandlingsprocessen vara helt torr. Om man antar att kemikalier kommer att lakas ur fibrerna ut i vätskan, krävs sedan en 100% separation av fibrerna från denna vätska för att se till att fibrerna blir helt rena från kontamination av de urlakade kemikalierna.

### 7.3.4 Resultat

Det finns betydligt fler särskilt farliga ämnen med relevans inom textila material som fortfarande används i textilproduktion än de som lagstiftningen i EU identifierat och reglerat. Nedan illustreras den mångfald av ämnen med både egen klassificering och harmoniserad klassificering som kan förekomma i textila produkter och där de flesta är oreglerade dito (se Figur 20).



Figur 20: Farliga funktionella kemiska ämnen som identifierats i studien [83] och deras begränsningar i Reach samt i det frivilliga initiativet Öko-Tex 100. [87]

Endast inom textilfärgämnen uppskattar Colour Index[88] att det finns totalt mer än 25000 olika unika kemiska färgämnen att tillgå på den globala marknaden. Colour Index är en internationell databas med färgkoder (*Colour number index*) som underhålls av den brittiska sammanslutningen Society of Dyers and Colorists (SDC), en internationell standard för färgämnesindustrin. Exv. har enbart 8% av alla direktfärgämnen som är tillgängliga för användning i textilproduktion enligt Colour Index databasen identifierats[84], vilket innebär att betydligt fler kemiska ämnen återstår att undersökas. Inom gruppen högfluorerade ämnen som används för smuts- och vattenavvisning på textila material har bl.a. OECD räknat in hundratals olika ämnen som kan påträffas i textilproduktion[89]. Det finns fler exempel på kemisk mångfald inom textilkemin, men det är viktigt att poängtera att kunskaperna är begränsade gällande flertalet av dessa ämnen för att dra slutsatser hur stor andel av dessa ämnen som skulle vara särskilt farliga. Detta återstår att undersöka i den takt man får ökad kunskap. Dagens bristande kunskap om många ämnen som används i textilindustrin resulterar i begränsade möjligheter att idag få bra och relevant ämnesinformation, vilket i sig utgör en osäkerhet om eventuellt innehåll av farliga ämnen vid återvinning. Detta kan resultera i okontrollerad spridning av farliga ämnen som kan få negativ återverkan för lång tid framåt. En parallell kan dras till de högfluorerade ämnena som började tillverkas på 1950-talet, men som uppmärksammades på allvar med avseende på sina allvarliga hälso- och miljöegenskaper först 50 år senare. Det finns fler grupper av ämnen, exv. flamskyddsmedel som kan jämföras med de högfluorerade ämnena vad gäller hälso- och miljöegenskaper. De fosfororganiska flamskyddsmedlen (exv.

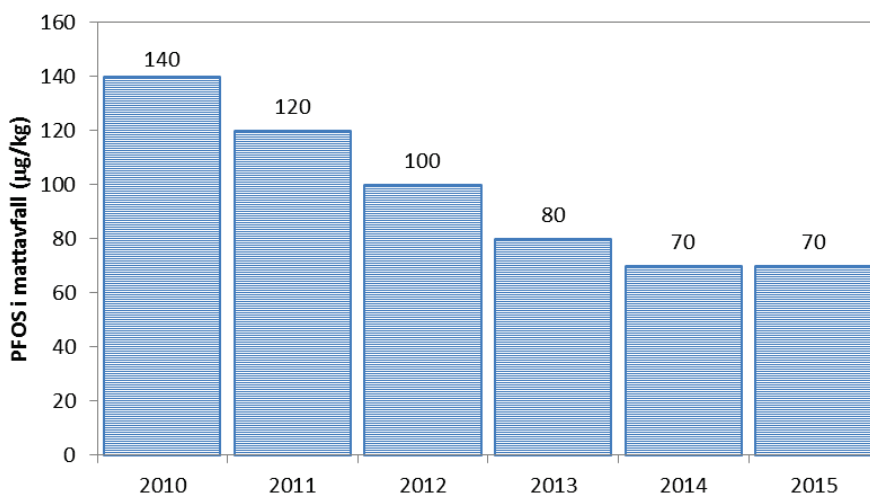
trifenylfosfat) som är vanliga i flamskyddade textilier uppvisar indikationer på hormonstörande egenskaper.

Nedanstående beskrivning (stycke 7.3.4.1-7.3.4.5) visar teoretiskt hur farliga ämnen kan spridas och omvandlas då de olika textila materialen utsätts för olika former av återvinning som är idag är möjliga för dessa material.

Det är viktigt att poängtera att tabellerna i Kapitel 13 ”Appendix 3 –*Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning*” inte är fullständig i sin nuvarande utformning och innehåll, utan kommer att behöva kompletteras allteftersom kunskap tillkommer om dessa ämnen samt nya ämnen i återvunna textila material.

#### 7.3.4.1 ÅTERVINNINGSTEKNIKENS PÅVERKAN

Kemikalier har olika fysikaliska och kemiska egenskaper, vilka påverkar hur de i sin tur exponeras i en återvinningsprocess. Vidare spelar inbindningen till det textila materialet stor roll för hur dessa ämnen kan spridas inte bara under återvinningen. Den kemiska bindningen spelar även stor roll för om en viss kemikalie frisätts från materialet under tidigare livscyklifaser, exempelvis via urlakning i tvätt, exv. kan rester av olika ämnen hamna i avloppsvatten som vattenlösliga ämnen eller som nedbrytningsprodukter, s.k. hydrolysat. De ursprungliga halterna av de ämnen som initialt tillsattes till de textila materialen kan därför sjunka till dess att materialet når återvinningsfasen. Beräkningar som utförts visar på under användarfasen sjunkande halter av farliga ämnen, i detta exempel med PFOS som illustrerats av en studie från Storbritannien på syntetmattor[90]. För att beräkna koncentrationen av PFOS i mattan bör en åldersfördelning av kasserade mattor antas. Denna fördelning bygger på antagandet av en genomsnittlig livslängd på ca 12 år, men där mattan byts ut efter ca 5 år och där en mindre andel mattor kan användas mycket längre än 12 år. Beräkningen av uppskattad resthalt i deponerade gamla mattor bygger på att kombinera åldersfördelningen av dito mattor med den långsamma förlusten av fritt bunden PFOS på grund av slitage och läckage. Den uppskattade genomsnittliga koncentrationen av PFOS från studien 2010[90] i mattor över tiden (se Figur 21), vilket illustrerar att det finns PFOS-rester kvar efter lång tid, men dock i lägre halter än de ursprungliga halter som en gång fanns i dessa mattor. Denna studie bör gälla för ett antal kemikalier med liknande kemiska och fysikaliska egenskaper och vid liknande inbindning till det textila materialet. Vidare gäller scenariot även över tid.



**Figur 21: Beräknad och förväntad halt av PFOS i deponerade syntetmattor i Storbritannien 2010[90].**

Vidare kan vissa ämnen, beroende på dess kemiska/fysikaliska egenskaper[82], bli kvar i det textila materialet eller hamna i slammet från ett reningsverk. I sistnämnda fallet riskerar man då att ämnena sprids på ett otillbörligt sätt till exv. jordbruket som gödsel.

I Tabell 7 beskrivs schematiskt sambandet mellan kemiska/fysikaliska egenskaper hos kemikalier och deras förmåga till omvandling eller spridning till miljön via frisättning, alternativt att de finns kvar i det utgående materialet efter återvinningsprocessen.

**Tabell 7: Teoretisk förenklad modell av exponeringspotential för kemikalier från textila material.**

Grad av exponering för kemikalier	Exponeringspotential av identifierade farliga ämnen efter återvinningsprocessen
Stor spridning via luft och vatten. Ingen spridning via materialet eller små partiklar från materialet.	Ingen bindning till textilmaterialet för ämnen som antingen är lättflyktiga eller mycket vattenlösliga
Liten spridning via luft och vatten. Begränsad spridning via materialet eller små partiklar från materialet	Fysisk bindning till textilmaterialet för semi flyktiga ämnen med begränsad vattenlöslighet.
Ingen spridning via luft och vatten. Stor spridning via materialet eller små partiklar från materialet	Kovalent eller stark fysisk bindning till textilmaterialet

För olika tekniker har processparametrar beskrivits i kapitel 7.1 *Återvinningstekniker* (se Tabell 1-3 samt i appendix 3). En viss osäkerhet finns i att viktiga processparametrar kan saknas. Den teoretiska modellen utgår ifrån att möjligheten att avlägsna farliga kemikalier från textilfibrerna främst beror på temperatur, pH, lösningsmedel, tillsatser, UV- eller ozon-användning. För en specifik kemikalie kan man teoretiskt tänka sig följande påverkansresonemang:

- pH; en pH-känslig (hydrolyskänslig) kemikalie kommer att brytas ned och/eller lakas ur det textila materialet p.g.a. att den kemiska bindningen till materialet bryts eller att lösligheten ökar.
- Temperatur; då kemikaliens smältpunkt underskrider processtemperaturen bryts den ned under processen. Både vissa kemiska behandlingar, termiska behandlingar och vid förbränning så har man under processen en förhöjd temperatur där risken för nedbrytning uppstår.
- Lösningmedel; en organiskt baserad kemikalie kan dels lakas ur beroende på svag inbindning till materialet eller helt enkelt lösas upp under processen.
- Tillsatser; beroende på vilka tillsatser det handlar om kan olika kemiska reaktioner ske.
- UV/ozon; vid denna typ av behandling kan kemikalier komma att brytas ned och/eller lakas ur det textila materialet p.g.a. att den kemiska bindningen till materialet bryts.

Resultaten av denna teoretiska genomgång finns detaljerat beskrivet i tabellform för respektive textilmaterial i Kapitel 13 ”Appendix 3 –*Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning*”. Det är viktigt att poängtera att tabellerna är på intet sätt komplett i sitt nuvarande skick utan bör kompletteras allteftersom kunskap tillkommer om dessa ämnen samt nya ämnen i återvunna textila material. Detta kan med andra ord öka mängden faroklassade ämnen med textilrelevans i framtiden. Det är också viktigt att poängtera att i verkligheten är kemiska processer som urlakning och separation i stort sett aldrig 100 %, vilket har antagits i den teoretiska modellen. I en korrekt modell kan därför antaganden som att det inte finns emission till luft och vatten påverkas då hänsyn tas till mer realistiska utbytesförhållanden. Detta resultat baseras dock på dagens situation där flera element i framtidsvisionerna, med ökad kunskap och ökad reglering av ämnen som två viktiga delar, kan tänkas påverka situationen i positiv riktning vad gäller innehåll av farliga ämnen i återvunna textila material.

Dessa scenarier visualiseras nedan genom schematiska skisser (Figur 22-Figur 25) för val av återvinningsprocess för respektive textilmaterial, där det inkommande materialet med ett visst kemiskt innehåll beskrivs i den vänstra delen och det utgående materialet med det kemiska innehållet som bevarats genom återvinningsprocessen på höger sida. I mitten beskrivs de aktuella återvinningsprocesserna för det specifika materialet (polyamid, polyester, cellulosabaserade material och ull).

Generellt för de nedan illustrerade textilåtervinningsprocesserna är att de kemikalier som finns med i inkommande materialström till just mekanisk återvinning kommer att finnas kvar i det utgående materialet då påverkan på molekylär nivå i detta scenario inte är så stor. Under förbränning vid 1000 °C bryts de flesta organiska föreningar ned[91]. De enda kemikalierna som överlever förbränningsprocessen är metaller och metalloxider. Dessa återfinns då i askan och

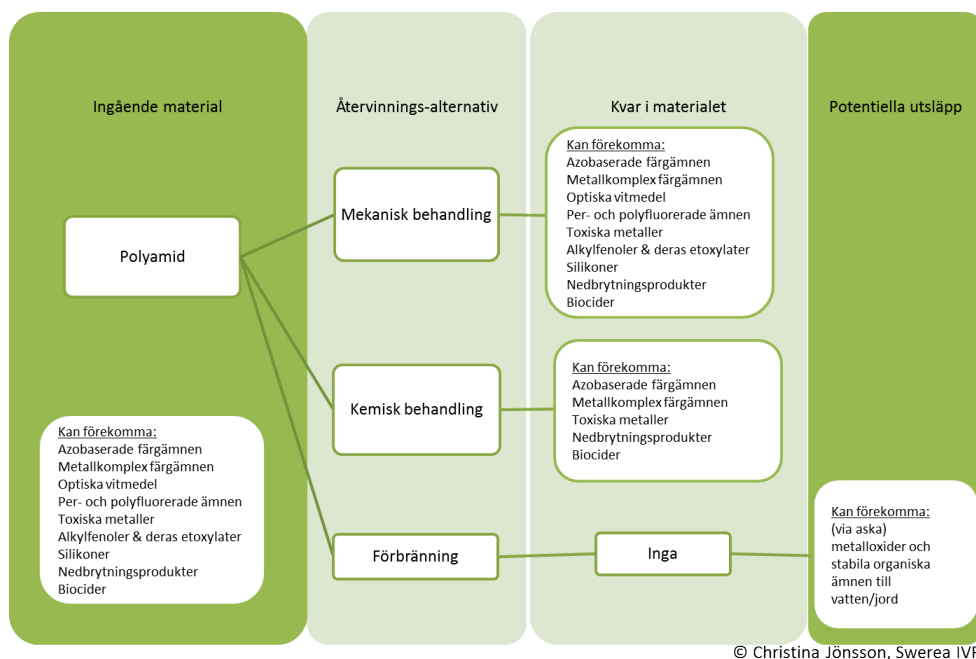
kan utgöra ett miljöproblem vid inkorrekt hantering. Möjligen kan vissa stabila organiska ämnen också till del överleva och återfinnas i askan som dioxiner och dibensfuraner. Den kemiska behandlingen medför att främst silikoner, alkyletoxylater samt alkylfenoler oskadliggörs under processen.

Vidare har antagandet om fullständiga utbyten i alla processer medfört att vissa scenarier inte ger någon emission till luft och vatten, utan att kemikalier då förbrukas/bryts ner. Detta stämmer antagligen inte helt med verkligheten utan är en form av förenkling inom den teoretiska modellen.

Den teoretiska modellen gäller för dagens situation men även för 2020 och 2030 scenariot, trots att metoder för kemisk behandling förhoppningsvis då förbättrats. Det som kan variera är förstås vilka kemikalier som är tillåtna i ingående materialström. Man kan tänka sig att vissa farliga kemikalier fasats ut men även att andra tillkommit då vår kunskap ökar samt nya kemikalier sätts på marknaden. Slutligen kan återvinningsprocesserna bli mer anpassade för att hantera farliga kemikalier och viss utsortering av material innan materialet når återvinningen.

#### 7.3.4.2 POLYAMID

För polyamid (PA) anges här tre tänkbara återvinningstekniker; mekanisk behandling, kemisk behandling samt förbränning (se Figur 22). Dessa tekniker kommer påverka innehållet av kemikalier i inkommande materialet på olika sätt (se tabell Appendix 3 –*Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning* gällande polyamid). I nedan figur illustreras vilka ämnen som, i de fall de förekommer i det ingående materialet, passerar igenom återvinningsstegen och vilka ämnen som kan tänkas emitteras till miljön.



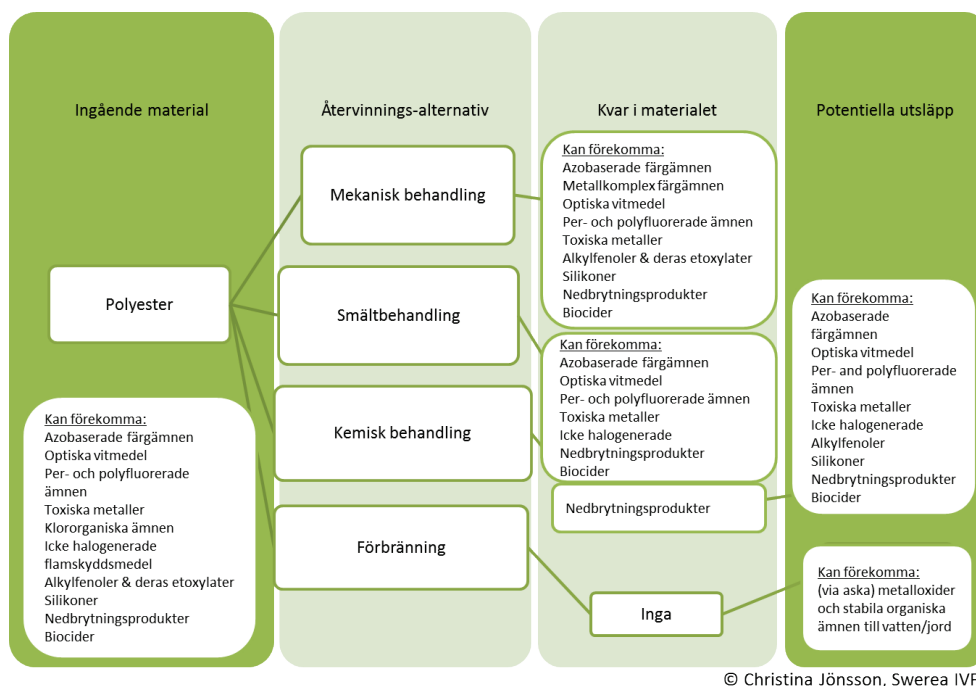
**Figur 22: Visualisering av hur olika polyamid-relevanta farliga kemikalier påverkas av de olika återvinningssteg som är relevanta för polyamid**

Den kemiska behandlingen medför att främst silikoner och alkyetoxylater oskadliggörs under processen. Främst toxiska metaller, azobaserade färgämnen, metallkomplex, nedbrytningsprodukter samt biocider kan därför återfinnas i det återvunna materialet.

#### 7.3.4.3 POLYESTER

För polyester (PES) anges här fyra tänkbara återvinningstekniker; mekanisk behandling, smältbehandling, kemisk behandling samt förbränning (Figur 23). Dessa tekniker kommer att påverka innehållet av kemikalier i det inkommande materialet på olika sätt (se tabell Appendix 3 –*Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning* gällande polyester). I nedan figur illustreras vilka ämnen som kan tänkas förekomma i det ingående materialet passerar igenom återvinningssteget och vilka som kan emittera till miljön.





© Christina Jönsson, Swerea IVF

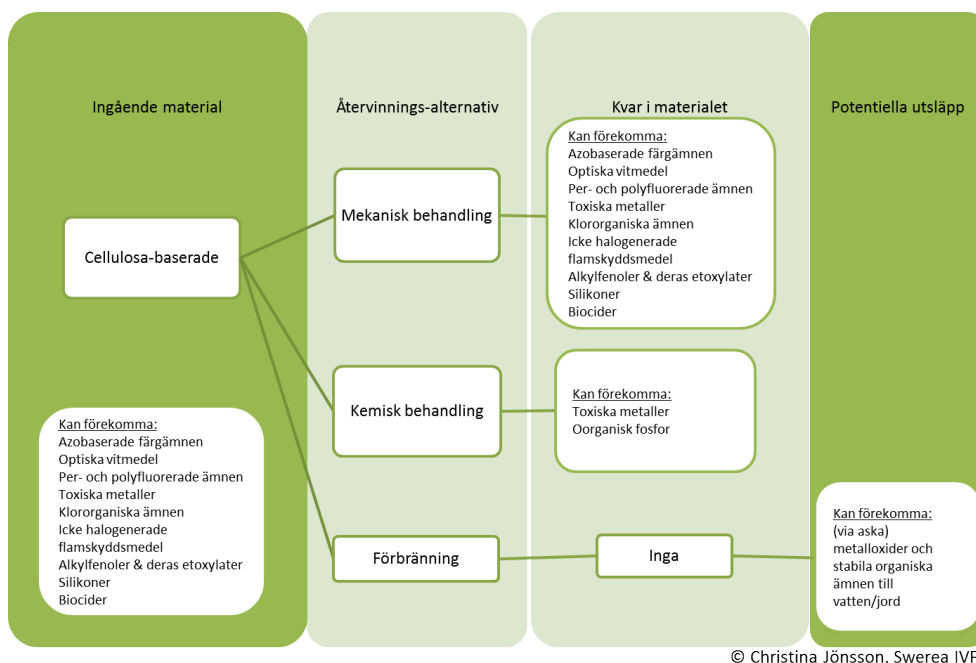
**Figur 23: Visualisering av hur olika polyester-relevanta farliga kemikalier påverkas av de olika återvinningssteg som är relevanta för polyester.**

Den kemiska behandlingen för polyester medför att främst nedbrytningsprodukter såsom PAH (polyaromatiska föreningar) kan återfinnas i det utgående materialet. Vid termisk behandling emitteras via förångning de klororganiska ämnena, silikoner och alkylfenoler. Resten (dvs azobaserade färgämnen, optiska vitmedel, per- och polyfluorerade ämnen, toxiska metaller, icke halogenerade flamskyddsmedel, nedbrytningsprodukter och biocider) av de ingående kemiska ämnena kan förekomma i utgående material.

#### 7.3.4.4 CELLULOSABASERADE MATERIAL

För cellulosebaserade material såsom exempelvis bomull och konstfiber (lyocell och viskos) där det senare även innefattar bambu, anges här tre tänkbara återvinningstekniker; mekanisk behandling, kemisk behandling samt förbränning (Figur 24). Vad gäller kemisk behandling har vi identifierat en förbehandlingsprocess; re:newcell och två framställningsprocesser; lyocell och viskos.

Dessa återvinningstekniker kommer att påverka innehållet av kemikalier i inkommande materialet på olika sätt (se tabell Appendix 3 –*Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning* gällande cellulosebaserade material). I nedan figur illustreras vilka ämnen som om de förekommer i det ingående materialet passerar igenom återvinningssteget och vilka som kan emittera till miljön.

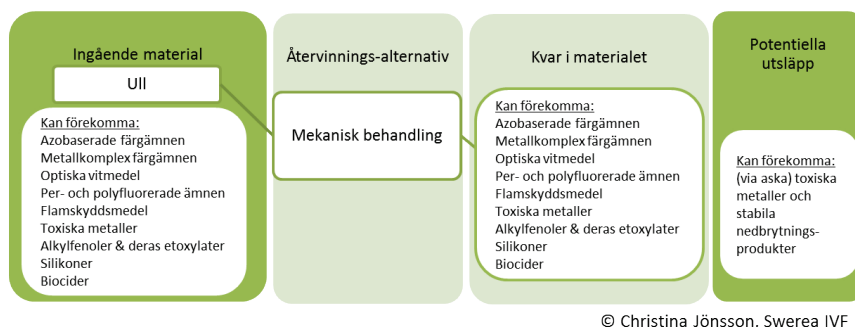


**Figur 24: Visualisering av hur olika cellulosa-relevanta farliga kemikalier påverkas av de olika återvinningssteg som är relevanta för cellulosebaserade material.**

Möjligen kan vissa stabila organiska ämnen också till del överleva och återfinnas i askan som dioxiner och dibensfuraner. De kemiska behandlingarna medför att främst toxiska metaller samt oorganisk fosfor i olika föreningar kan återfinnas i det återvunna materialet.

#### 7.3.4.5 ULL

Ull är naturligt flamskyddad genom bildning av en tjärliknande aska[92] som försämrar kapaciteten hos förbränningsugnen. Detta innebär att för ull är förbränning inte ett rekommenderat alternativ då man inte reducerar eller eliminerar mängden material efter förbränning. För ull används troligen förbränning vid hantering av farligt innehåll, d.v.s. som destruktion eller för att undvika deponering. De relevanta, hållbara teknikerna för ull är idag därför begränsat främst till mekanisk återvinning (Figur 25). Hur denna teknik påverkar innehållet av kemikalier i inkommande materialet är beskrivet i detalj i tabell Appendix 3 –*Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning* för ull. I nedan figur illustreras vilka ämnen som om de förekommer i det ingående materialet passerar igenom återvinningssteget och vilka som kan emittera till miljön.



**Figur 25: Visualisering av hur olika ull-relevanta farliga kemikalier påverkas av de olika återvinningssteg som är relevanta för ull.**

För ull kommer också de kemikalier som finns med i inkommande materialström till mekanisk återvinning att finnas kvar i det utgående materialet. Vid förbränning kommer det att bildas en tjärliknande aska som kan innehålla toxiska metaller och stabila nedbrytningsprodukter.

### 7.3.5 Information och spårbarhet

Den textila livscykelströmmen sträcker sig ofta utanför EU (mer än 80 procent av den textil som konsumeras i EU tillverkas utanför EU) vilket i sin tur kan påverka val av kemikalier. En del av dessa ämnen kan ha en faroklassning, d.v.s. vara farliga för människa och miljö, varav vissa är lagliga till en viss nivå eller helt och hållet inom EU trots sin faroklassning, och andra kan vara olagliga inom EU men lagliga i textilens produktionsland. Detta medför att vi kan i flertalet fall ha en viss mängd faroklassade ämnen närvarande vid resthanteringen.

När ett textilt material passerar via återvinningsprocessen kan den återvunna råvaran i framtiden komma att klassas som en kemisk produkt inom ramen för gällande EU-lagstiftning, till skillnad från det ingående materialet som ofta klassats som en vara. Detta innebär ur ett legalt perspektiv att den professionella aktör som vill sätta ut ett återvunnet textilmaterial på EUs inre marknad behöver ta fram säkerhetsdatablad (SDS) om materialet innehåller faroklassade ämnen (vid halter överstigande 0,1% av materialets totalvikt). Som ovan nämnts kan ett stort antal faroklassade ämnen förekomma i den textila tillverkningen utan att materialet för den skull bedöms vara olagligt enligt gällande EU-lagstiftning. Det kan exempelvis handla om kemiska ämnen på kandidatförteckningen i Reach-förordningen (SVHC) in i den textila råvaran, vilket medför krav på upprättande av ett säkerhetsdatablad (SDS) om halten SVHS överskrider 0,1%. Lämpligheten för vissa användningsområden för råvaran minskar på grund av ökad risk för spridning av dessa särskilt farliga ämnen.

Gällande kommunikationssystem för återvunnen textil krävs att tillräcklig information når resthanterare via slutkonsument. Denna information skall vägleda logistik- och resthanteringsystemet till en korrekt hantering för att uppnå högkvalitativ och giftfri återvunnen råvara. Här kan olika entydiga koder och

certifieringssystem[93] användas exv. via en tydlig hemsida på internet. Med kvalitetsmaterial menas ett klart definierat material med säkerställt lågtoxiskt kemikalieinnehåll. Resultatet är då ett användbart återvunnet material med en tydlig efterfrågan på marknaden utan någon som helst risk att materialet innehåller farliga ämnen och därmed kan klassas som farligt avfall eller faller inom ramen för alla förpliktelser kring restriktioner som finns i gällande kemikalielagstiftning, exv. Reach.

### **7.3.6 Diskussion: Hantering av farliga ämnen**

Ovan resultat beskriver hur ingående kemiska ämnen påverkas av olika återvinningstekniker där det är tydligt att vissa typer av ämnen kommer att återfinnas i det återvunna materialet. Vidare kan olika kemiska ämnen frisättas under återvinningsprocessen till vår omgivning. Så även om ett farligt ämne inte kontaminerar slutprodukten kan ämnet således tänkas kontaminera exv. slam från återvinningsprocessen. Detta kan också tänkas påverka beslutet att ta in den textila varan i återvinningsprocessen, och det viktigaste är att kännedomen om innehållet finns tillgängligt för att rätt behov/hantering ska kunna tillgodoseas. Vidare kan detta innebära att vissa kategorier av textilier inte lämpar sig för mekanisk fiberåtervinning så länge deklARATIONEN är bristfällig och restmängder av farliga kemikalier i plaggen kan fördelas och spridas på ett okontrollerat och riskfyllt sätt.

Som ovan beskrivits kan ett antal farliga kemiska ämnen användas under tillverkning av främst polyamid och polyester. De flesta av dessa ämnen kan undvikas genom transparens, kunskapshöjning samt samsyn i det textila leverantörsledet, vilket främst gäller färgämnen/pigment (inklusive toxiska metaller), alkylfenol och dess etoxilater, samt silikoner[94]. För polyester förekommer även klororganiska ämnen som hjälpkemikalie vid färgning samt som fläckborttagningsmedel för exv. cellulosatextil. För dessa ämnen finns bra substitut med låg faroklassning.

Däremot finns det idag få substitut för ämnen som per- och polyfluorerade ämnen som används för att uppnå specifikt smutsavvisande funktion och risken att dessa ämnen förekommer är relativt stor. För vattenavvisning finns dock bra tekniskt fungerande kemikalier som baseras på icke-fluorerade ämnen[95].

För de optiska vitmedlen finns det inte heller bra substitut idag och funktionen (d.v.s. att den textila produkten är helvit) bör helst undvikas. Idag minskar användningen av vitmedel, som traditionellt använts i sjukhuskläder främst i bomull/polyester-blandningar.

Volymen av textilvaror som marknadsförs som biocidbehandlade textilvaror har ökat markant. Det har även visats att i en del fall kan det verksamma ämnet frigöras vid tvätt. Studier har visat att silver, triklosan och triklokarban kan frigöras i stor utsträckning från biocidbehandlade textilier vid tvätt[96]. För biocider (inklusive toxiska metaller såsom silver) gäller det att man snarare tar bort funktionen om den

inte anses livsnödvändig, än att man byter till andra kemiska ämnen. Ett ytterligare exempel är icke halogenerade flamskyddsmedel där det finns fullgoda substitut med låg farlighet.

Färgämnen är också en grupp av kemiska ämnen som förekommer i den textila slutprodukten och som kan för flera av de ovan beskrivna återvinningsteknikerna återfinnas i det återvunna textila materialet. Mångfalden på färgämnen och pigment är stor och flertalet av dessa är farliga och särskilt farliga. Detta betyder att det finns många hållbara alternativ.

De flesta kemikalier som används inom textilindustrin är färdiga kemikalieblandningar som passar en viss process eller ett visst material. Blandningarna i sig går under handelsnamn. Vad som döljer sig bakom dessa namn i form av enskilda kemikalier som i sin tur kan härledas till en viss faroklassning och eller reglering är inte alltid så tydligt för användaren. Inom EU faroklassas även kemikalieblandningen men det är inte alltid detta görs utanför EU.

Risken är därför stor idag att man inte har tillräckligt underlag för att göra en bedömning om lämpligheten av ett textilt avfall i relation till återvinning till ny produkt p.g.a. dålig spårbarhet och information om kemikalieinnehåll och materialsammansättning genom hela värdekedjan. Fortfarande finner man i stickprover, vid tillsyn[97] och inrapporterat till RAPEX[98], farliga och även reglerade kemikalier i textilier. Detta är ett problem för textila produkter som produceras från jungfrulig råvara och importeras. Det är sannolikt en stor utmaning att undvika farliga ämnen och i vissa fall farliga ämnen från restmaterial som av gamla textilier då syftet är att ta fram ett återvunnet s.k. end-of-waste-material med hög kvalitet på den inhemska marknaden.

Den bristande kemikalieinformationen i värdekedjan har resulterat, och resulterar i, att farliga ämnen som är olagliga i EU använts, vilket skapat problem vid fortsatt hantering av de återvunna textilmaterialen inom EU. Här handlar det främst om att finna fullgoda, harmlösa substitut för dessa farliga ämnen[99]. Som det ser ut idag finns det betydande problem med okunskap och bristande transparens i hela den gränsöverskridande värdekedjan, vilket fortfarande skapar dålig information och därmed möjlighet att undvika farliga ämnen i textila slutprodukter och således i de återvunna materialen. Här gäller förstås att först och främst ifrågasätta om funktionen är nödvändig eller ej, vilket i sig är en ”substitutionsmetod”.

De ämnen som relaterar till en viss funktion är de ämnen som alla i värdekedjan enkelt kan identifiera och finna information om då det är en specifik egenskap man beställer hos produkten, exv. smutsavvisande material, flamskyddat material osv. Svårigheten kommer till funktioner som är vanliga, exv. färg, där i princip alla material på marknaden är behandlade och därför ges inte lika mycket vägledning. Antal varianter på färger, även de farliga och särskilt farliga, är stor och således

svår att ha kontroll över jämfört med antalet textilspecifika farliga flamskyddsmedel som finns på marknaden.

Då ett lagkrav träder i kraft för en viss kemikalie kan man dock se en minskning på marknaden, likt det som skett för de textilrelevanta ämnena bromerade flamskyddsmedel[100] och fluorerade polymerer för smutsavvisning[95]. Dessa ämnen, tillsammans med biocider och farliga färgämnen, är de kategorier av ämnen som utgör störst problem för avfallshantering av textilier då de till stor utsträckning är kvar i materialet oavsett återvinningsbehandling och har åtminstone fram till idag använts inom textilsammanhang.

En indikation om *när* dessa ämnen används i produkter vore därför underlättande för aktörer på återvinningsmarknaden. Produktsegment som främst är berörda är:

- Vissa sportartiklar och textilier som kräver hög hygien som innehåller biocider
- Vissa flamskyddade material för offentlig sektor med brandkrav samt arbetskläder
- Kläder och utrustning för utomhusbruk, d.v.s. *out-door*-branschen (tält, presenningar, ryggsäckar, markiser) samt möbler och inredning för transportsektorn, vilka kan innehålla fluorerade ämnen som smutsavvisning
- Farliga färgämnen såsom azobaserade färgämnen för alla materialkategorierna och metallkomplex färgämnen i syntetiska material (polyamid och polyester) är problematiska.

2020

Ett sannolikt scenario är att dagens nationella och internationella gränsöverskridande policy instrument (regleringar inom Stockholmskonventionen, Reach eller inom produktlagstiftning) kan ha reglerat något fler ämnen för utfasning av farliga kemikalier än de som är reglerade idag. Med en snabbare regleringsprocess så kan antalet ämnen vara mycket större än vad som bedöms i detta scenario. Effektiva legala instrument skapar möjligheten att ställa långtgående och specifika kemikaliekraav uppströms i värdekedjan såsom på producenter i produktionsländerna utanför EU. I syfte att öka transparensen och tillgängligheten i hela värdekedjan rekommenderas tydlig märkning av de för återvinning speciellt problematiska kemikalier i textila produkter, vilket underlättar säkerställande av giftfria textila återvunna material. Denna åtgärd relaterar i stor utsträckning till sortering av inkommande gamla textilier, beskrivet i Kapitel 7.4 *Möjliga insamlingsssystem med ny återvinningsteknologi*. En tydlig indikation på att mångfalden av reglerade ämnen är begränsad 2020 är antalet ämnen på kandidatlistan i Reach (SVHC) som idag är 161 och där det politiska målet sattes till 1200 kandidatämnen år 2018 ett mål som inte kommer uppnås. Vilket också betyder att ambitionen att öka mängden reglerade ämnen till 2020 är en realitet.

## 2030

Redan 2030 ska vi kunna se att man redan vid källan, d.v.s. produktionsställen, kan förebygga uppkomsten av ett betydligt större antal farliga ämnen än vad vi känner till idag i de textilier som når Sverige. Därmed ökas förutsättningarna gynnsamt för giftfria återvunna textilflöden från dagens fjärran producentländer. Det kan exempelvis vidare underlättas av uppbyggnad av ett globalt entydigt kodsysteem, gärna på FN-nivå, via en rad interdisciplinära och legala insatser såsom:

- Väsentlig material- och kemikaliekunskap kring restprodukter.
- Kodsysteem 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.

Det globala intresset för legal harmonisering och samsyn kring farliga ämnen Globally harmonisation system (GHS) på FN nivå som är ett internationellt kommunikations och märkningssystem kring ämnens farlighet. GHS är en tydlig signal kring internationell harmonisering och samsyn kring kommunikation och handel med farliga ämnen. Nästa steg är det globalt ökande intresset från länder som Kina att harmonisera sin lagstiftning i enlighet med EU:s. Detta återspeglas i en rad handelssamarbeten och kan antas vara väl utvecklat år 2030. Vidare medför dessa aktiviteter en ökad kunskap globalt kring farliga ämnen.

### 7.3.6.1 FORSKNING OCH UTVECKLING

För att uppnå giftfria kretslopp har följande viktiga delar i fortsatt forskning identifierats:

- Design av textila material där man tar hänsyn till återvinningsteknikers olika förutsättningar samt kravställning som syftar till ett högkvalitativt råmaterial.
- Utveckling av robusta system för högvolymbaserad automatisk sortering, i olika materialslag bland annat för att uppnå spårbarhet av textilinnehåll, med avseende på de kemiska tillsatser, exempelvis smuts- och vattenavvisande ämnen, biocider, flamskyddsmedel samt övriga farliga ämnen med hög relevans till textila material. som finns kvar i textilier vid slutet av användarfasen
- Verifiering och forskning inklusive modellering som stöd till utveckling av den i denna rapport utvecklade teoretiska modellen (se kapitel 7.3.2).
- Mätningar av emissioner och utbyten i befintliga och nyutvecklade återvinningsprocesser.
- Bättre koppling mellan kemikaliebedömning och LCA i relation till återvinnings-specifika förhållanden för att kunna ha ett helhetsperspektiv där olika miljöpåverkansaspekter kan jämföras med varandra för förbättrat beslutsunderlag.

### 7.3.7 Slutsatser: Hantering av farliga ämnen

I rapporten beskrivs relationen mellan det idag befintliga innehållet av särskilt farliga ämnen som kan förekomma i textila material och hur dessa överförs i olika återvinningstekniker. Slutsatser som kan dras från detta arbete är baserat på teoretiska resonemang som har ett antal begränsningar och osäkerheter. De områden som pekats ut som angelägna att arbeta vidare med är:

- **Identifiering och Sortering** baserade på vissa typer av kemiskt innehåll för att minska diffus spridning av farliga ämnen.
  - Identifikationen och sorteringen kan relatera till vissa funktionsrelaterade särskilt farliga ämnen såsom:
    - Biocider
    - Flamskyddsmedel
    - Smutsavvisande medel
    - Vissa farliga färgämnen (bl.a. azobaserade färgämnen)
  - Identifikation och sortering baserat på kemiska ämnen i material
    - PES: Vid mekanisk återvinning kan alla de kemikalier som finns med i inkommande materialström finnas kvar i det utgående materialet. Den kemiska behandlingen för polyester medför att främst nedbrytningsprodukter såsom PAH (polyaromatiska föreningar) kan återfinnas i det utgående materialet. Vid termisk behandling emitteras via förångning de klororganiska ämnena, silikoner och alkylfenoler. Resten (d.v.s. azobaserade färgämnen, optiska vitmedel, per- och fluorerade ämnen, toxiska metaller, icke halogenerade flamskyddsmedel, nedbrytningsprodukter och biocider) av de ingående kemiska ämnena kan förekomma i utgående material.
    - PA: Vid mekanisk återvinning kan alla de kemikalier som finns med i inkommande materialström finnas kvar i det utgående materialet. Den kemiska behandlingen medför att främst toxiska metaller, azobaserade färgämnen, metallkomplex, nedbrytningsprodukter samt biocider kan återfinnas i det återvunna materialet.
    - Cellulosabaserade material: Vid mekanisk återvinning kan alla de kemikalier som finns med i inkommande materialström att finnas kvar i det utgående materialet. De kemiska behandlingarna medför att främst toxiska metaller samt oorganisk fosfor i olika föreningar kan återfinnas i det återvunna materialet, exv. azobaserade färgämnen.
    - Ull: Vid mekanisk återvinning kan alla de kemikalier som finns med i inkommande materialström att finnas kvar i det utgående materialet, exv. azobaserade färgämnen.
- **Transparens** i värdekedjan som bygger på samsyn kring farliga kemiska ämnen och särskilt farliga ämnen.
- **Kunskapsuppbyggnad** kring frågor som:



- Vad menas med farliga och särskilt farliga ämnen?
- Hur får man tag på rätt information?
- Vad finns för tekniskt gångbara alternativ som är hållbarare substitut?
- Hantering av kemikalier och speciellt farliga och särskilt farliga kemikalier.

## 7.4 Möjliga insamlingssystem med ny återvinningsteknologi

Utifrån de analyser som utförs gällande framtidens återvinningsteknologi, dess miljöprestanda och hur spridning/ackumulation av oönskade substanser undviks, har här en sammanställning gjorts på några av de tekniska krav och utmaningar som ställs på framtidens insamlingssystem av textilt avfall.

Det kommer att vara viktigt att utveckla nya och mer storskaliga insamlingssystem för att kunna ta hand om ökade volymer textilavfall. Man bör i framtiden bygga upp en avfallshierarki även inom återvinningsmöjligheterna, där material med högre fiberkvalitet bör gå till mekanisk återvinning exempelvis, men det viktigt att poängtera att kemisk återvinning generellt har stor potential att minska miljöpåverkan för många av utvärderingskategorierna. Ett tydligt resultat är att koldioxidutsläpp på grund av energianvändning vid viskos- och lyocellproduktion kan reduceras till nära noll om förnybar energi används eller om produktionen placeras med tillgång till spillvärme, till exempel nära annan energiintensiv industri. Vid ett s.k. materialaffinaderi skulle energibehovet för anläggningen delvis kunna vara löst genom förbränning av den lägsta kvaliteten avfall.

Många material skulle kunna återvinnas parallellt med återvinning inom angränsande sektorer, exv. plast- och pappersåtervinning.

Essentiellt vid materialåtervinning av textil är att öka effektivitet och noggrannhet på de olika sorterade fraktionerna. Här finns ett stort utvecklingsbehov av automatisk sorteringsteknologi. Denna teknologi bör även innefatta en detektor för inmärkt spårbarhet. Detta för att kunna följa, inte bara på molekylära fraktioner, utan även följa de tillsatser som finns i de använda textilierna.

Själva insamlingssystemen bör finnas lättillgängliga för allmänheten, även om största fraktioner av monomaterial kommer från industrin. Insamlingscontainrar bör vara byggda för att inte ta åt sig fukt/vatten, då många återvinningsprocesser är känsliga för fukt och mögelangrepp. Återvinningsanläggningarnas förtroende inom de uniformtåta segmenten bör ökas, eftersom destruering av uniformer (vid uppdatering av design etc.) idag sker vid förbränningsanläggningar, då de nämnda segmenten inte har förtroende för återvinningskedjan idag och inte vill riskera att uniformer kommer i orätta händer.

Övriga utmaningar som är av relevans från ett tekniskt perspektiv gällande insamlingssystem, som analyserats i Palm (2011)[101] är:

- de ekonomiska förutsättningar som initialt måste tillgodoses, vilket är vanligt vid nystartade marknader och processer
- designa kläder för återvinning för att underlätta rivning- och kardningsprocesserna

## 8 Rekommendationer och slutsatser

Syftet med denna studie var att analysera materialåtervinningens förutsättningar med avseende på potentiell utveckling av återvinningstekniker inkluderande dess miljöprestanda och motverkandet av spridning och ackumulation av särskilt farliga ämnen och andra ämnen med oönskade egenskaper, samt hur insamlingssystem för textilavfall bör påverkas av ovanstående. Här redovisas de rekommendationer och slutsatser som denna studie ger.

### *Återvinningstekniker och utvecklingsbehov*

Att återvinna textilmaterial, genom mekanisk eller kemisk återvinningsteknik, ger miljövinster förutsatt att:

- optimerade återvinningsprocesser nyttjas
- farliga kemikalier som finns i textilier kan hanteras och att återvunna material ersätter jungfruliga material
- energibehovet tillgodoses med energiråvara som inte ger stort bidrag till global uppvärmning (dvs ej kolkraft eller fossil energikälla)
- effektiv materialsortering skapas
- separationsteknologier för molekylär fraktionering av blandmaterial effektiviseras för att möjliggöra miljömässigt försvarbar kemisk återvinning även av blandmaterial

För *monomaterial* (exv. rena bomullsmaterial eller rena polyestermaterial) kan återvinningen ses som effektiv trots att fullständiga processer för alla monomaterial idag ej är etablerade. Däremot, gällande *blandmaterial* bör utveckling av ny *separationsteknologi* för fraktionering/separation av syntetiska material och naturmaterial ske för att uppnå ekonomi och ökat materialutbyte. Förbränning av textilavfall (*energiutvinning*) sker idag i Sverige eftersom textilavfallet inte samlas in i en separat fraktion och möjligheter med andra återvinningsmetoder är begränsade. Globalt finns inte effektiva energiutvinningsmetoder etablerade, vilket också bör tas hänsyn till i de fall svenskt textilavfall skickas utomlands med risk för att det förbränns.

Vid återvinning av blandmaterial bör hänsyn tas till att naturliga fibrer (bomull och ull) slits mer under användning och tvätt än syntetiska fibrer, vilket leder till lägre fiberkvalitet på de naturliga fibrerna som ingångsmaterial till återvinningen. Mekanisk återvinning där fibrer spinns till ny tråd och formas till nonwoven material (isolering och stoppning), är möjlig idag om textilavfallet består av monomaterial. Naturliga fibrer (exv. bomull och ull) kan spinnas till ny tråd, men kvaliteten på textilfibrerna minskar vid mekanisk fiberåtervinning. I nuläget tillsätts därför jungfruliga fibrer till processen till största delen. Den sämre fiberkvaliteten leder till att fibrerna kan materialåtervinnas färre gånger. För

nonwoven spelar fibrernas kvalitet minde roll och materialen kommer troligtvis gå till förbränning efter användning och därmed inte cirkuleras.

Kemisk återvinning av de syntetiska fibrerna polyester och polyamid finns idag för relativt rena materialfraktioner. Kvaliteten på återvunna syntetiska fibrer är lika med jungfruliga fibrer. Det finns ingen begränsning i antalet gånger som materialet kan cirkuleras då återvinningsprocessen involverar nedbrytning till monomer, följt av återuppbyggnad till polymer som smältpinnas till fibrer av jungfrulig kvalitet.

Bomull som kemisk återvinns kemiskt kan inte återvinnas till bomull igen utan blir till cellulosabaserade konstfibrer (*lyocell, viskos, modal*) och får då den kvalitet som jungfruliga cellulosabaserade konstfibrer har. Eftersom cellulosan bryts ner molekylärt under användning, tvätt och återvinning kommer kvaliteten att minska för varje cirkulering. Till slut kan inte cellulosan användas till fibrer utan måste gå till etanoltillverkning eller energiutvinning genom förbränning pga att molekylvikten gått ner kritiskt under användarfaserna.

#### *Utveckling på kort sikt – till år 2020*

Idag är nivåerna av insamlad textil på mycket låg nivå, varför det är viktigt att utveckla nya och mer storskaliga insamlingssystem för att uppnå effektiv logistik och vidare hantering och förberedande för återvinning internationellt/nationellt. De respektive återvinningsprocesserna, mekanisk, kemisk eller energiutvinning kommer kunna hanteras på olika skala beroende på kvalitet på inflödet av det textila avfallet.

Totala andelen textil som förbränns väntas minska i takt med förbättring av insamlings- och sorteringsrutiner samt med utvecklingen av effektivare återvinningsmetoder. Detta betyder att textil kommer att fortsätta förbrännas tillsammans med andra typer av avfall i de fall andra återvinningsmetoder visar sig vara ineffektiva. Energiåtgång för sådan förbränning kan minskas genom optimering av textilkrossning med t.ex. användning av specialiserade rivningsmaskiner i stället för textilmässigt ineffektiva lösningar som hammarkvarnen som används idag.

Ett flöde som redan i det närmaste tidsperspektivet kan gå till andra former av materialåtervinning är exempelvis uniformer, som i dag förbränns för att undvika att plaggen återanvänds. Destruering kan istället utföras genom rivning av textilen, varpå materialåtervinning kan ske.

De kemiska återvinningsprocesser som bedöms som möjliga att realisera i kommersiell demaskala till år 2020 är processer för återvinning av bomull och cellulosabaserade fibrer. Ett rimligt framtida återvinningsystem kan förslagsvis vara uppbyggt så att vissa processteg sker i Sverige, exempelvis från bomullsavfall till textilmassa och från polyesteravfall till polyesterpellets, och att dessa intermediära produkter sedan säljs vidare till den etablerade fibertillverkningen i Europa eller globalt (främst Asien). I dagsläget är det miljömässigt bättre att sälja

vidare till europeisk fibertillverkning eftersom den energiråvara som återvinningsprocessen förbrukar är avgörande för fiberns miljöpåverkan. I Asien är fossil energi vanligast.

#### *Utveckling på medellång sikt – till år 2030*

För att kemiska återvinningsprocesser ska finnas i fullskala år 2030 krävs förutsättningar för att utveckla dagens processer på lab- och pilotskala till demoskala år 2020, och därefter utveckling till fullskala. Om fullskala realiserar finns det möjlighet att till 2030 betydligt minska de textila avfallsströmmar som idag går till förbränning, och att även minska fraktionen som går till så kallad ”down-cycling” (d.v.s. textilfibrer som blir stoppning och isolering). Generellt gäller att ju fler gånger en fiber kan användas innan förbränning, desto större miljövinst. För att miljövinsten ska bli stor krävs att nya återvinningsprocesser är optimerade och till så stor del som möjligt använder sig av förnybar energi. Vidare finns det många möjligheter att utveckla andra nya teknologier som kan underlätta materialåtervinning och som kan nå demoskala till år 2030. Exempelvis nya syntetiska material som med hjälp av polymerdesign främjar återvinning samt enzymdesign för gynnsammare, mildare och effektivare separationskemi. För många av dessa teknologier återstår dock mycket forskning (se sid 49).

#### *Giftfri återvinningsprocess*

Tre viktiga resultat och slutsatser rörande behov för hantering av farliga kemikalier i textil är:

- *identifiering och sortering* baserat på viss typ av kemiskt innehåll för att minska diffus spridning av farliga ämnen
- *transparens* i värdekedjan som bygger på samsyn kring farliga kemiska ämnen och särskilt farliga ämnen
- *kunskapsuppbyggnad* kring användning och hantering av farliga kemikalier OCH tekniskt gångbara och hållbara substitut.

#### Behov på medellång sikt (år 2030)

- Utveckla robusta system för automatisk sortering som bygger på tydlig märkning via exempelvis RFID eller streckkoder för textil i syfte att uppnå spårbarhet av textilinnehåll och information hur materialet ska sorteras.
- Ytterligare textilspecifik reglering av farliga kemikalier. Det behövs en tydlig, harmoniserad och implementerad kemikalielagstiftning i hela den gränsöverskridande värdekedjan.

## 9 Slutord och tack

Detta uppdrag inkom från Naturvårdverket i december 2014 och arbetet med att få fram underlaget bedrevs under knappt två månader. I detta arbete bestod av att kartlägga och ge rekommendationer för vilka tekniska utmaningar och möjligheter vi står inför gällande framtida hantering av textilt avfall i Sverige.

Mycket av bakgrundsfakta kommer direkt från forskare inom forskningsprogrammet *Mistra Future Fashion*, Vinnovafinansierade *Från spill till Guld* och *Kemikaliegruppen* vid Swerea. FORMAS-finansierade *SUPFES* har även bidragit med information och data. Analyser och studier inom föreslagna kemiska processer har utförts av Dr Helena Wedin, Dr Christina Jönsson, Dr Stefan Posner, Dr Magnus Eriksson, Dr Lena Smuk och Dr Åsa Östlund. Ansvariga för systemanalys och livscykelanalyser är Dr Johanna Berlin, M.Sc. Lisa Bolin och Tekn. Lic. Gustav Sandin. De deltagande forskarna är anställda av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut eller Swerea IVF och de båda forskningsinstituten ägs av RISE Research Institutes of Sweden.

Synpunkter och kunskap har även inkommit från forskare och aktörer via intervjuer och därför vill vi tacka: Forskare inom *Mistra Future Fashion*: M.Sc. Anna Palme, Tekn. Lic. Bahareh Zamani, Tekn. Lic. Sandra Roos och Prof. Greg Peters. Henrik Norlin, re:newcell, för synpunkter rörande behov i framtida bomullsåtervinning. Hitomi Lorentsson, Stena Metall, och Paul Doertenbach, I:Collect för diskussion rörande processrelaterade problem i en sorteringsanläggning för textilåtervinning. Henrik Lampa från H&M för uppgifter om mekanisk fiberåtervinning.

Avfallshanterare som hanterar textilt avfall till förbränning: Anders Willén, Vattenfall, Klaus Rosinski, Human Bridge, Jörgen Antemyr, Borås Energi & Miljö och Reinier van Wijck, SITA ReEnergy, för diskussion rörande tekniska aspekter av textilförbränning.

Prof. Herbert Sixta, Aalto Universitet, och Ali Harlin, VTT för diskussioner rörande viktiga processparametrar vid framtida textilproduktion. Carl-Axel Söderlund, CAS Fibre Consulting, för energi och kemikalikonsumtionsdata vid viskos och lyocelltillverkning.

Vi hoppas kunna se en nytta med Sveriges textila avfall som en materialresurs i framtiden!

*Åsa Östlund* (projektledare för uppdraget)  
Stockholm, den 24 mars 2015

## 10 Källförteckning

1. *Dialog med företag inom Kemikaliegruppen vid Swerea IVF samt med European outdoor group (EOG) och Outdoor industry association (OIA) inom ramen för Vinnova finansierade projektet Spill till Guld.* 2015.
2. Palm, D., et al., *Towards a new Nordic textile commitment : Collection, sorting, reuse and recycling.* *TemaNord* 2014:540.
3. Elander, M., et al., *Konsumtion och återanvändning av textilier*, in *SMED Rapport Nr 149* 2014. 2014.
4. Carlsson, A., et al., *Kartläggning av mängder och flöden av textilavfall*, in *SMED Rapport Nr 46* 2011. 2011.
5. <http://www.ico-spirit.com/en/homepage/>
6. H&M. *Reduce, reuse, recycle - our Conscious Actions.* <http://sustainability.hm.com/en/sustainability/commitments/reduce-reuse-recycle/about.html> [Febr. 2015].
7. Utveckling, A.S., *Textilt avfall – en framtida resurs – pilotprojekt i Stockholm.* *RFV Rapport U2013:15*
8. Zamani, B., *Towards Understanding Sustainable Textile Waste Management : Environmental impacts and social indicators*, in *Department of Chemical and Biological Engineering.* 2014, Chalmers University of Technology, Thesis for the degree of licentiate of engineering: Gothenburg.
9. Palm, D., S. Harris, and T. Ekvall, *Livscykelanalys av svensk textilkonsumtion.* (Underlagsrapport till Naturvårdsverkets regeringsuppdrag om nya etappmål.) NV-00336-13.
10. Shen, L., E. Worrell, and M.K. Patel, *Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres.* *Resources, Conservation and Recycling*, 2010. **55**(2): p. 260-274.
11. Shen, L. and M.K. Patel, *Life cycle assessment of man-made cellulosic fibres.* *Lenzinger Berichte*, 2010. **88**: p. 1-59.
12. Shen, L., E. Worrell, and M.K. Patel, *Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulose.* *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2012. **6**(6): p. 625-639.
13. Eichinger, D., *A vision of the world of cellulosic fibers in 2020.* *Lenzinger Berichte*, 2012. **90**: p. 1-7.
14. *Study on the selection of waste streams for End of Waste assessment Final Report*, in *European Communities.* 2009.
15. *Teijin.* [www.teijin.com](http://www.teijin.com) [Febr. 2015].
16. *Hyosung : Regen TM fiber.* <http://www.hyosung.com> [Febr. 2015].
17. Bartl, A., *Textile waste*, in *Waste - Handbook for management*, T. Letcher and D. Vallero, Editors. 2011 Elsevier: Oxford. p. 167-179.
18. *Intervju med Paul Doertenbach, I:Collect. (dec. 2014).* 2014.
19. *Intervju med Anna Palme, doktorand inom bomullsåtervinning.* *Chalmers.* Jan 2015.
20. Humpston, G., et al., *Technologies for sorting end of life textiles : A technical and economic evaluation of the options applicable to clothing and household textiles.* *WRAP report 2014 (Project code: MPD007-014)*
21. *The textile sorting project.* <http://www.circle-economy.com/projects/sector/textiles-programme/textile-sorting-project/> [Febr. 2015].
22. Thompson P., W.P., Morley N. , *A review of commercial textile fibre recycling technologies.* 2012.
23. A, B., et al., *Environmental Improvement potential of textiles (IMPRO-Textiles)*, in *Joint Research Centre Scientific and Policy Reports*, W. O, et al., Editors. 2014, European Commission.

24. K, F. and T. M, *Routledge Handbook of Sustainability and Fashion*. 2015: Taylor & Francis group.
25. *Is recycled polyester fabric RECYCLABLE?*  
<https://oecotextiles.wordpress.com/category/fibers/synthetic/recycled-polyester-synthetic/page/2/> [Febr. 2015].
26. Pokkyarath, B., et al., *Evaluation of the end markets for textile rag and fibre within UK*. 2014.
27. *H&M makes jeans from recycled cotton*, in *The Guardian*. <http://www.theguardian.com/sustainable-business/hm-partner-zone/h-and-m-jeans-recycled-cotton> [Febr. 2015].
28. *Intervju med Henrik Lampa, H&M (mars 2015)*.
29. F, B. and M. H. *Master class from collection bin to fashion*. in *Closing the loop conference*. 2012. Zaandam, The Netherlands.
30. M, H. and K. A, *Experience and bottlenecks with recycling of jeans*. 2013.
31. Morley, N., *Closing the Loop for clothing : Closed loop fibre recycling - current status and future challenges*. *Oakdene Hollins Report: March 2013*. [http://www.oakdenehollins.co.uk/media/Closed%20Loop/Briefing\\_note-closed\\_loop\\_clothing\\_recycling.pdf](http://www.oakdenehollins.co.uk/media/Closed%20Loop/Briefing_note-closed_loop_clothing_recycling.pdf) in *Oakdene Hollins Report: March 2013*.
32. Palme, A., et al., *Chemical and ultrastructural changes in cotton cellulose induced by laundering and textile use*. *Cellulose*, 2014. **21**(6): p. 4681-4691.
33. Guo, Z., *Polyester Recycling*, in *Mistra Future Fashion Report*. 2014.
34. *Mipan regan™*, [www.hyosung.com](http://www.hyosung.com), mars 2015. 2015.
35. *Teijin will chemically recycle polyester in China* [Aug. 2012] [http://www.fibre2fashion.com/news/textile-news/newsdetails.aspx?news\\_id=114354](http://www.fibre2fashion.com/news/textile-news/newsdetails.aspx?news_id=114354) [Febr. 2015].
36. *Mailkontakt med Tomimi Okimoto. Teijin. Febr 2015*.
37. *Intervju med Henrik Norlin, re:newcell (2015-02-11)*.
38. Brismar, A., *Textila strömmar och förbehandlingsmetoder för textilfiberåtervinning: En studie om förutsättningar för pilot, begränsad och fullskalig drift av Re:newcells anläggning i Vänersborg*. 2014.
39. *Mailkontakt med Ali Harlin, VTT. Febr. 2015*.
40. *Mailkontakt med Ali Harlin, VTT och Herbert Sixta, Aalto Universitetet, Finland. Febr 2015*.
41. Lukkari, J., *Sellun uusi ulottuvuusi.*, in *Uratie*. Sept 26 2014.
42. *Saxcell: vezel van gebruikt katoen*. <http://www.c2w.nl/saxcell-vezel-van-gebruikt-katoen.361351.lynkx> [Febr. 2015].
43. *Samtal med Hans Grundberg från Aditya-Birla Domsjö fabriker. Febr. 2015*.
44. *Ecouse TM Fibre*. <http://www.toray.com/>
45. <http://www.mistrafuturefashion.com/>.
46. <http://www.saxion.nl/> [Febr. 2015].
47. *The Polyester Project*. <http://www.circle-economy.com/projects/sector/textiles-programme/polyester-project/> [Febr. 2015].
48. <http://www.valagro-rd.com/>
49. <http://www.wornagain.co.uk/>
50. <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>
51. *Econyl™*, [www.aquafil.com](http://www.aquafil.com), mars 2015. 2015.
52. [http://www.mipan.com/eng/whats\\_mipan/news\\_view.jsp?b\\_no=62&page=1&code=mipan03&p\\_num=8](http://www.mipan.com/eng/whats_mipan/news_view.jsp?b_no=62&page=1&code=mipan03&p_num=8), Mars 2015.
53. Yamasaki, Y., *Overview of recycling technology in textile industry in Japan and the world*, <http://hrd.apec.org/images/a/aa/62.4.pdf>.
54. Shah, A.A., et al., *Biological degradation of plastics: A comprehensive review*. *Biotechnology Advances*, 2008. **26**: p. 246–265.
55. Jones, D.R. and J.W. Fitzhenry, *Esterase-type Enzymes Offer Recycled Mills An Alternative Approach to Stickies Control*. *Pulp & Paper*, 2003. **77**: p. 28.

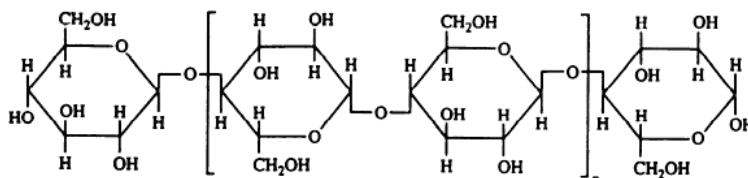


56. Kirk, O., T.V. Borchert, and C.C. Fuglsang, *Industrial enzyme applications*. Current Opinion in Biotechnology, 2002. **13**: p. 345-351.
57. Tang, W.L. and H. Zhao, *Industrial biotechnology: Tools and applications*. Biotechnology Journal, 2009. **4**: p. 1725–1739.
58. Yang, G. and Y. Ding, *Recent advances in biocatalyst discovery, development and applications*. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2014. **22**: p. 5604–5612.
59. Ricca, E., B. Brucher, and J.H. Schrittwieser, *Multi-Enzymatic Cascade Reactions: Overview and Perspectives*. Advanced Synthesis & Catalysis, 2011. **353**(13): p. 2239-2262.
60. Oroz-Guinea, I. and E. Garcia-Junceda, *Enzyme catalysed tandem reactions*. Current Opinion in Chemical Biology, 2013. **17**: p. 236-249.
61. Leja, K. and G. Lewandowicz, *Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review*. Polish Journal of Environmental Studies, 2010. **19**(2): p. 255-266.
62. *Intervju med Anders Willén, Vattenfall (20015-01-29); Intervju med Klaus Rosinski, Human Bridge (2015-01-02)*.
63. *Intervju med Jörgen Antemyr, Borås Energi & Miljö (2015-02-02)*.
64. *Intervju med driftmanager Reinier van Wijck, SITA ReEnergy (2015-01-30)*.
65. Posner S, e.a., *Nätverk Textilt Spill*. 1996.
66. Muthu, S.S., *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing : Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods*. 2014, Singapore: Springer.
67. Morris, J., *Recycling versus incineration: an energy conservation analysis*. Journal of Hazardous Materials, 1996. **47**(1–3): p. 277-293.
68. Sundberg, J., *Avfallssystemet (kursmaterial)*. 2001, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
69. Sundqvist, J.O., *Life cycle assessments and solid waste— guidelines for solid waste treatment and disposal in LCA*. IVL, 1999.
70. <http://www.avfallsverige.se/>.
71. Youhanan, L., *Environmental Assessment of Textile Material Recovery Techniques : Examining Textile Flows in Sweden*, in *Industrial ecology*. 2013, Royal institute of technology, Master of Science Thesis: Stockholm.
72. International, P., *GaBi Professional database*. 2013.
73. *Ecoinvent centre. Ecoinvent data*.
74. *Gas and electricity prices in the non-domestic sector*. <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/gas-and-electricity-prices-in-the-non-domestic-sector> [Febr. 2015].
75. Righi, S., et al., *Comparative cradle-to-gate life cycle assessments of cellulose dissolution with 1-butyl-3-methylimidazolium chloride and N-methyl-morpholine-N-oxide*. Green Chemistry, 2011. **13**(2): p. 367-375.
76. *Carl-Axel Söderlund. Personlig kontakt via mejl. 2015-02-18*.
77. Allwood, J.M., et al., *Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom*. 2006, University of Cambridge Institute for Manufacturing.
78. Thomas, B., et al., *A Carbon Footprint for UK Clothing and Opportunities for Savings*. *WRAP report, 2012*, in *WRAP report 2012*.
79. Labouze, E., Y. Le Guern, and C. Des Abbayes, *Analyse de Cycle de Vie d'un Pantalon en Jean. Rapport Final*. 2006.
80. Roos, S., *Livscykelanalys av Tencelfiber. Swerea IVF-rapport 23497. Mölndal, 2012*.
81. Wiberg, K., et al., *Chemicals in textiles - Risks to human health and the environment*. 2014.
82. Roos, S., *Towards Sustainable Use of Chemicals in the Textile Industry: How life cycle assessment can contribute*, in *Institutionen för kemi och kemiteknik*. 2015, Chalmers University of Technology, Licentiatavhandling: Gothenburg.
83. Emma Westerholm, H.K., Jenny Ivarsson, Jörgen Henriksson, Karin Thorán, LarsFreij, Lolo Heijkenskjöld, Lina Wendt-Rasch, Patrik Ernby, Stellan Fischer, Susan Strömbom, Stefan Posner och Christina Jönsson., *Kemikalier i textilier, – Risker för människors hälsa och miljön, Rapport från ett regeringsuppdrag*. 2015.
84. Hagberg, M. and C. Westlund, *Material i inomhusmiljön 3– Textil interiör*. 2015.

85. Anna Nylander, D.L., Johan Forsberg, Jörgen Henriksson, Margareta Warholm, Patrik Ernby, Stellan Fischer, Susan Strömbom, Kristin Häglund, Stefan Posner, *Hazardous chemicals in textiles – report of a government assignment*. 2013.
86. <http://www.colour-index.com/>.
87. <http://www.oecd.org/ehs/pfc/>.
88. Hüdaï Kara , A.C., Helmut Sengstschmid, Stefan Posner *A Study to Facilitate the Implementation of the Waste Related Provisions of Regulation (EC) No 850/2004 on Persistent Organic Pollutants*. 2010.
89. [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi\\_bref\\_0806.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf).
90. Posner, S., *Survey and technical assessment of alternatives to decabromodiphenyl ether (decaBDE) in textile applications*. 2004.
91. *Textile Exchange Global Recycled Standard, version 3.0* [http://textileexchange.org/sites/default/files/te\\_pdfs/integrity/Global%20Recycled%20Standard%20v3.pdf](http://textileexchange.org/sites/default/files/te_pdfs/integrity/Global%20Recycled%20Standard%20v3.pdf). 2014.
92. *Dialog och forskning inom Vinnova-finansierade projektet VB-lärande som initierats av Kemikalieinspektionen*.

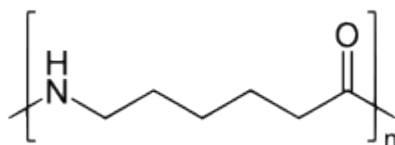
# 11 Appendix 1 - *Textila fibrers kemiska struktur*

## 11.1.1 Cellulosa (bomull, bambu, viskos, lyocell, Tencell<sup>®</sup>, Modal<sup>®</sup>)



## 11.1.2 Polyamid (marknadsnamn: Nylon)

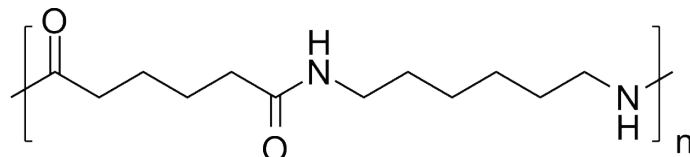
### 11.1.2.1 POLYAMID 6



Kaprolaktam

Ringöppningspolymerisation, kedjevis.

### 11.1.2.2 POLYAMID 6 – 6 (mest förekommande)

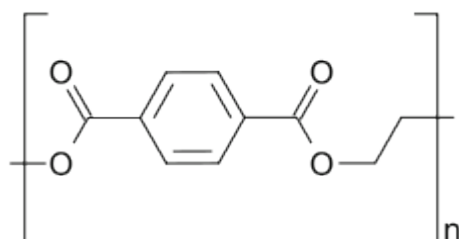


Adipinsyra+ Hexametylenediamin

Alla typer av polyamid är känsliga för hydrolys, speciellt av starka syror. Polyamid är mycket mer resistent mot alkalisk hydrolys (stegvis).

## 11.1.3 Polyester

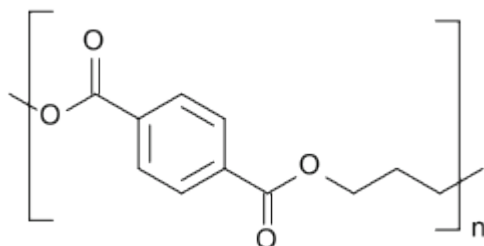
### 11.1.3.1 POLYETYLENTEREFTALAT (PET)



Bis(2-hydroxyetyl) tereftalat

PET är den vanliga polyesterern i textilanvändning idag och märkt "polyester".

### 11.1.3.2 POLYTRIMETYLENTEREFTALAT (PTT)



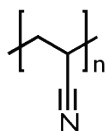
1,3-Propanediol + Tereftalatsyra

Används inom mattfibrer

Polyestrar nedbryts lätt med alkalier, men mycket långsammare med utspädda syror. Hydrolys med enbart vatten är så långsam att den kan anses som obefintlig.

### 11.1.4 Akryl

#### 11.1.4.1 POLYAKRYLONITRIL (PAN)



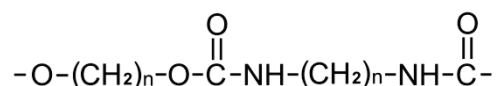
Akrylonitril

Används inom tillverkning av stickade textilier, ofta i form av blandpolymerer (>85% PAN)

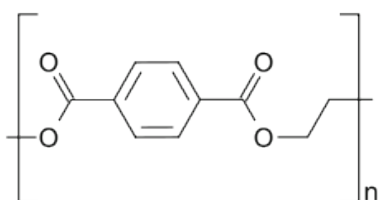
Sur/alkalisk hydrolys av PAN sker i suspension vid högre temperatur (>75°C).

### 11.1.5 Polyuretan (marknadsnamn: Spandex /Lycra /Elastan)

Blandpolymer av polyuretan och polyester, ex:



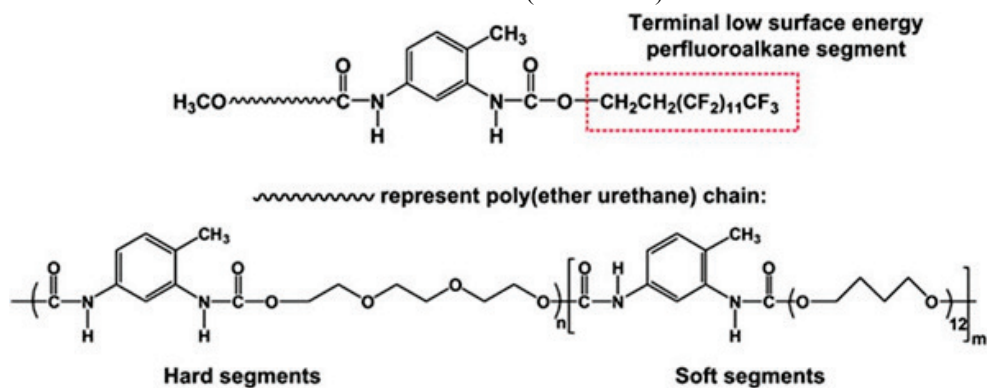
Polyuretan (PUR eller PU)



Polyetylenereftalat (PET)

Hydrolys av polyuretan liknar nedbrytning av de enskilda byggstenarna (polyuretan och polyester) materialet är gjort av.

### 11.1.5.1 FLUORERADE POLYURETANER (PUR & PU)



Fluorerade polyuretaner har utmärkt motståndskraft mot UV-strålning, syror, alkalier, salter, kemikalier, lösningsmedel, vittring, korrosion, svamp och mikrobiell nedbrytning. Eftersom fluorerade polyuretaner innehåller hög andel av fluor-kolbindning, vilket är en av de starkaste kemiska bindningar, är det väldigt svårt att återvinna dessa material. Används inte inom textiltillverkning.

## 12 Appendix 2 - *Miljöpåverkansbedömning för återvinning av ren bomull*

Figurerna nedan visar resultat för nio miljöpåverkanskategorier ur karaktäriseringsmetoden CML 2001 – april 2013. Anledningen till att alla kategorier inte har inkluderats är att det för vissa processer i systemen endast har funnits data för dessa kategorier. Resultaten i denna studie, och så även i denna bilaga, syftar inte till att ge siffror för miljöpåverkan för de olika processerna, den data som finns att tillgå är helt enkelt inte av den kvalitet att detta är möjligt. Dock bedöms data vara tillräckligt god för att ge en översiktlig bild av storleksordningen på miljöpåverkan och för att användas vid jämförelser. Alla figurer i denna bilaga är normaliserade där alternativet ”Förbränning i EU” har satts till värdet 1. Figurerna visar alltså hur många gånger bättre eller sämre de olika alternativen är i jämförelse med ”Förbränning i EU”.

Det främsta syftet i denna bilaga är att visa att olika lösningar har olika effekter beroende på vilken miljöpåverkan man beaktar. Till exempel minskar inte klimatpåverkan för scenariot ”Kem-A-EU” där kemiskt återfunnen textil ersätter bomull. Dock ger detta scenario en minskning i miljöpåverkan för många av de andra miljöpåverkanskategorierna.

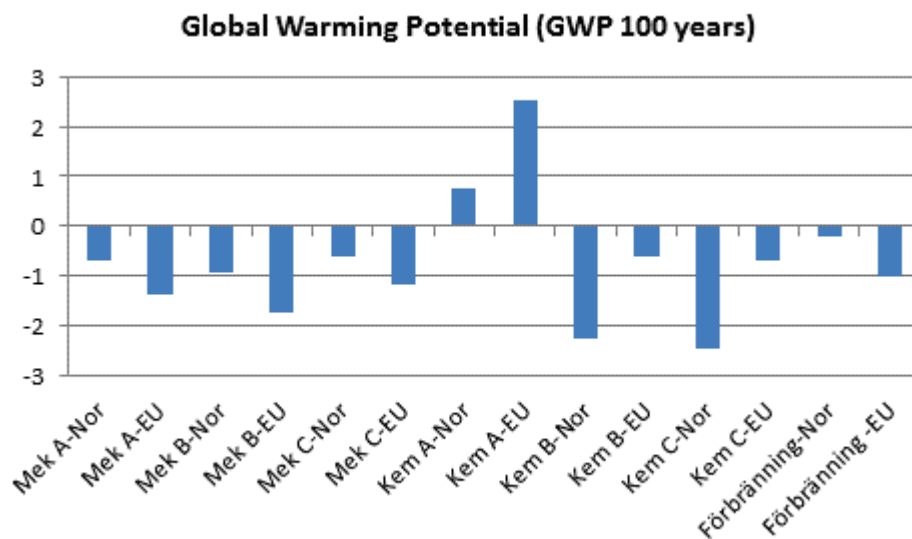
**Tabell: De olika scenarierna som undersökts för avfallshantering av 1 ton bomullstextil.**

Teknik	Ersatt material	Plats för återvinning	Förkortning
Mekanisk	Bomullsfiber och isolering (stenuil)	Norden	Mek A-Nor
		Europa	Mek A-EU
	Bomullsfiber	Norden	Mek B-Nor
		Europa	Mek B-EU
	Isolering (stenuil)	Norden	Mek C-Nor
		Europa	Mek C-EU
Kemisk	Bomullsfiber	Norden	Kem A-Nor
		Europa	Kem A-EU
	Europeisk lyocellfiber och viskosfiber	Norden	Kem B-Nor
		Europa	Kem B-EU
	Europeisk lyocellfiber och asiatisk viskosfiber	Norden	Kem C-Nor
		Europa	Kem C-EU
Förbränning	Nordisk el och bibränsle	Norden	Förbränning A-Nor
	Europeisk el och naturgas	Europa	Förbränning A -EU

## 12.1 Bidrag till global uppvärmning (Global warming potential – GWP 100 years)

Modellen för att bestämma bidraget till den globala uppvärmningen av vid utsläpp av olika växthusgaser har tagits fram av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). GWP är ett mått på hur potent en gas är som växthusgas, måttet uttrycks på en relativ skala där koldioxid utgör referens och alltså har GWP lika med 1. GWP är baserat på en rad faktorer, dels hur potent gasen är att ändra balansen av inkommande och utgående strålning till jorden, dels hur länge gasen finns kvar i atmosfären. I denna studie används GWP som är beräknad över en period av 100 år, vilket är det vanligaste i denna typen av studier.

I denna studie kan man se att de återvinningstekniker som gör att man använder mindre energi också är de som ger en minskning i påverkan på global uppvärmning. Att undvika massproduktion och dessutom en minskad produktion av kemikalier som är fallet i Kem B-Nor och Kem C-Nor, ger en minskning i utsläppen av växthusgaser. Dock går det åt så pass mycket energi för den kemisk återvinningen att när bomull ersätts så blir utsläppen av växthusgaser större än vid produktion av jungfrulig bomull, Kem A. För scenarierna Kem B-EU och Kem C-EU gör användningen av fossila bränslen att vinsten av att återvinna äts upp.

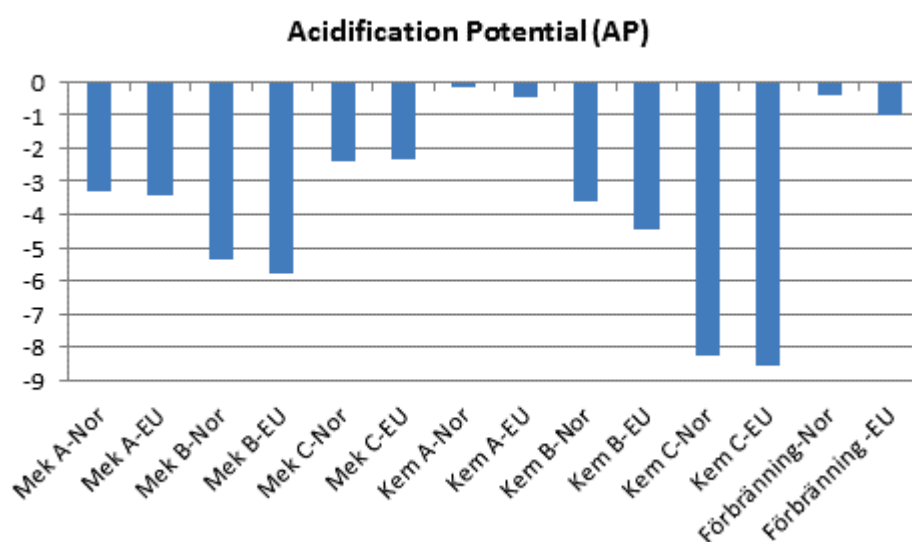


## 12.2 Bidrag till försurning (Acidification potential)

Denna påverkanskategori beskriver potentiella utsläpp av försurande ämnen till luft, mark och vatten. I denna kategori anges utsläppen som SO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Främst är det utsläpp av SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, och ammoniak som bidrar till försurning.

I scenariot Kem C är det asiatisk viskos som ersätts. Viskosproduktionen i Asien ger ett stort bidrag till försurning på grund av stora utsläpp av SO<sub>2</sub> i produktionen[11]. Viktiga faktorer som bidrar till de höga utsläppen av försurande ämnen för den asiatiska viskosen är massproduktion, produktion av NaOH och elektricitet från fossila bränslen så som kol och olja[11].

I scenariot Kem B är den största vinsten när det gäller försurning att man slipper pappersmassaproduktion och produktion av kemikalier. I scenariot Mek B, där man ersätter bomull, är det den uteblivna nyproduktionen av bomull som ger störst bidrag till att minska försurningspotentialen.

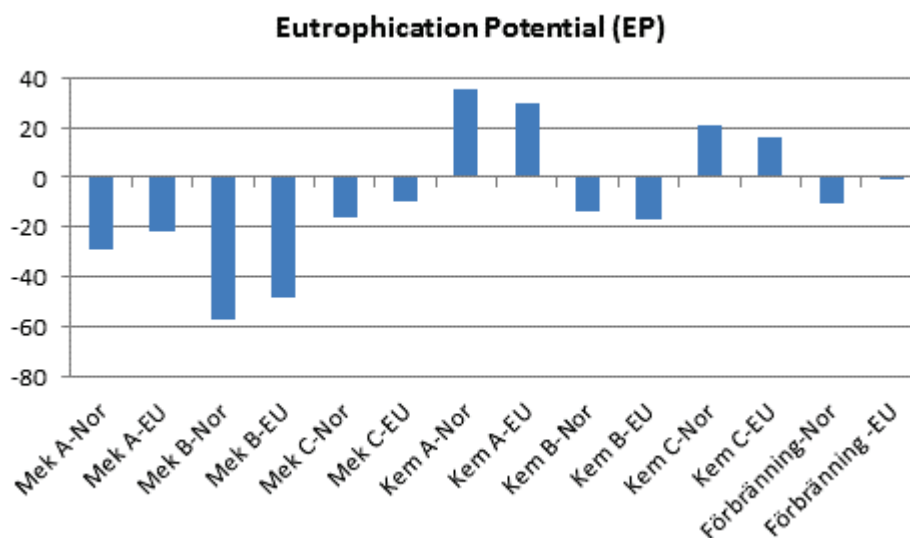


### 12.3 Bidrag till övergödning (Eutrophication potential)

Bidrag till övergödning beskriver effekterna av nitrifikation som sker när tillgången på näringsämnen i vatten och mark ökar. Denna övergödning innebär att produktionen av biomassa ökar och bidrar därmed till syrebrist. I denna kategori anges utsläppen som PO<sub>4</sub>-ekvivalenter. Vanliga försurande ämnen är olika kväveföreningar så som NO<sub>x</sub> och ammoniak samt fosforföreningar. Vanliga källor till övergödning är skogsbruk, jordbruk och reningsverk.

För de scenarier där bomull ersätts, t.ex. Mek A, Mek B, Mek C och Kem A, så är den största vinsten för övergödande ämnen utebliven produktion av bomull. För övriga scenarier ger återvinning ingen vinst jämfört med förbränning.

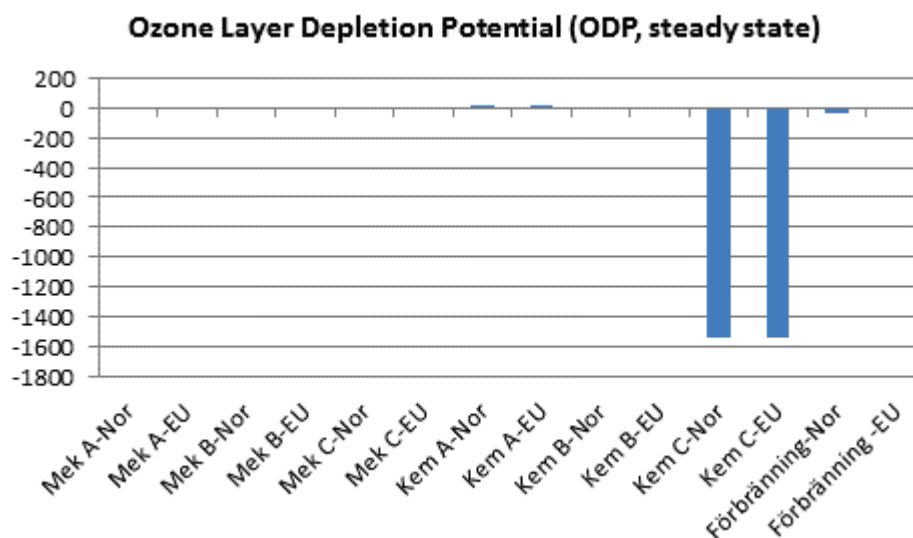




## 12.4 Bidrag till förtunning av ozonlagret (Ozone layer depletion)

Förtunning av ozonlagret orsakas av ämnen som bryter ner ozon i stratosfären. Att ozonet bryts ner innebär att mer UV-strålning når jorden vilket kan leda till hälsorisker för människan såsom hudcancer, men det påverkar också ekosystem. Denna kategori anges i CFC-11-ekvivalenter. Resultaten för denna kategori ger inte mer information än att om man ersätter viskosproduktion i Asien så minskar utsläppen av ozonförtunnande ämnen (klorfluorkarboner).

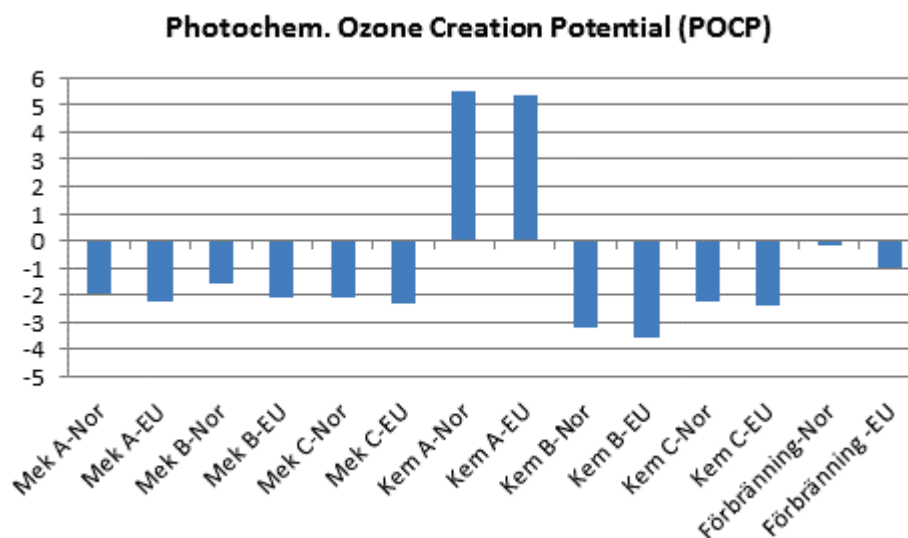
Vid råoljaproduktion används Halon 1301 och Halon 1211 ofta i brandsläckningssystem. Anledningen till att den asiatiska produktionen av viskos ger så stort utslag är läckage av dessa gaser vid oljeproduktion. Olja används som bränsle både i produktion och för elproduktion för den Asiatiska viskosen[11].



## 12.5 Bidrag till bildandet av marknära ozon (Photochemical oxidant formation)

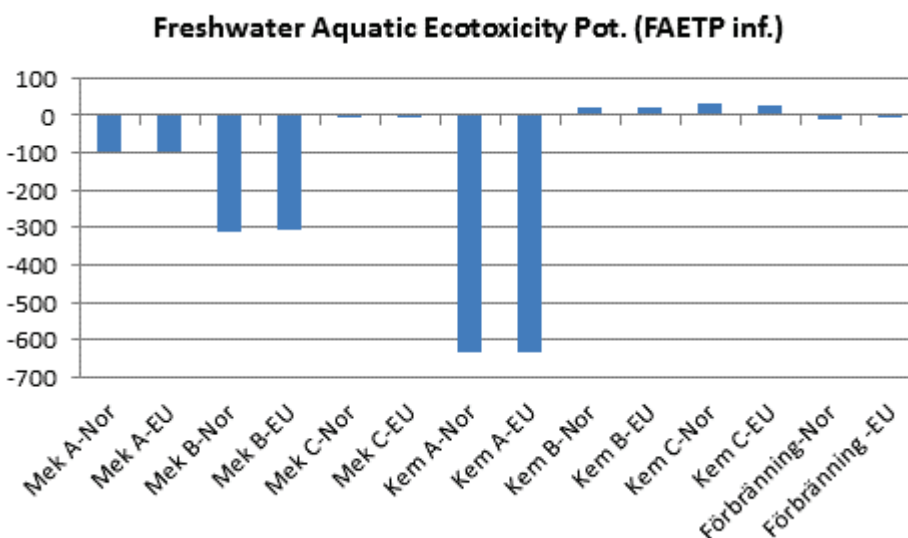
Denna kategori behandlar problematik med smog som bildas i reaktionen mellan NO<sub>x</sub> och kolväten med solljus. En av de allra vanligaste ämnena som bildas så här är ozon. Marknära ozon och annan smog kan orsaka irritation i luftvägar för människor och kan också skada växtlighet. Denna kategori anges i eten-ekvivalenter.

Resultaten för Kem A visar att denna typ av utsläpp är större för viskosprocessen och lyocellprocessen än vad vid produktion av bomull. För övriga scenarier minskar undviks utsläpp av smogbildande ämnen. För scenarierna Mek B och Mek C så är det den undvikna massproduktionen som ger den stora besparingen i utsläpp. För övriga scenarier är det ersatt bomull och stenumull som ger besparing i smogbildande utsläpp.

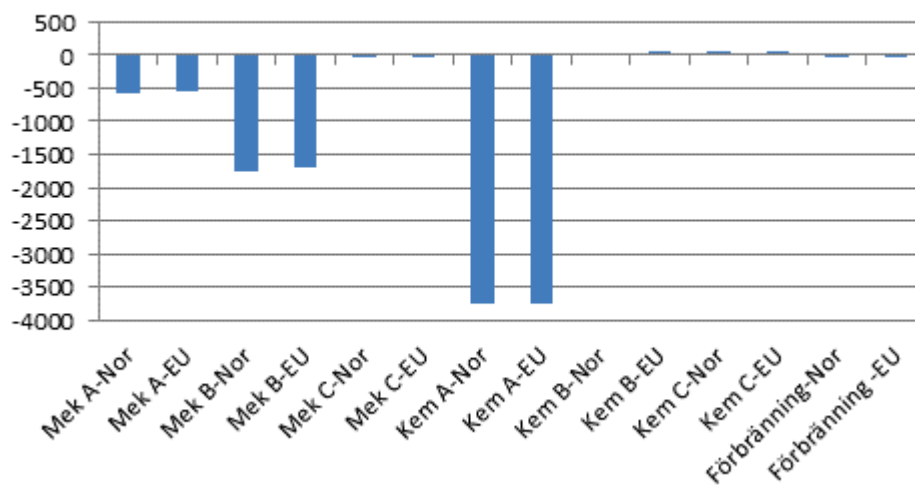


## 12.6 Potentiella utsläpp av gifter (Human toxicity, fresh water aquatic ecotoxicity, and terrestrial ecotoxicity)

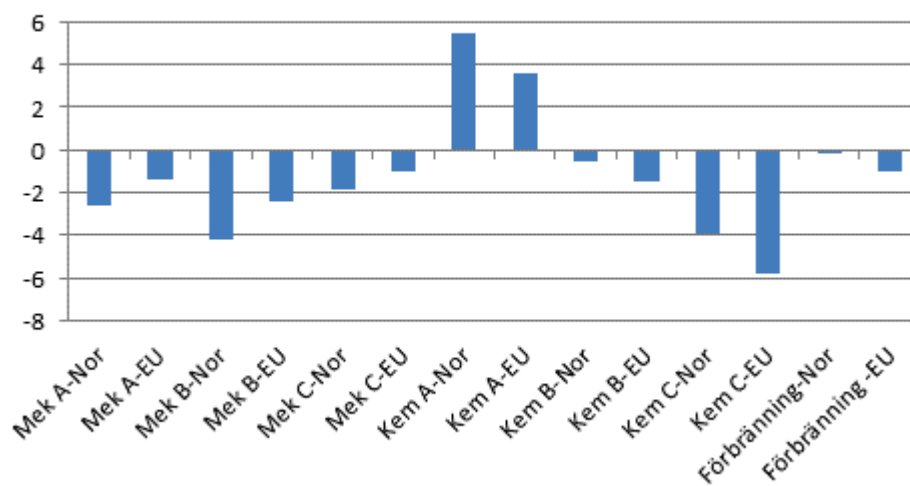
Alla kategorier för toxicitet har 1,4-diklorbensen-ekvivalenter som indikator (1,4-DB ekv.). För giftiga utsläpp till mark och vatten så är den absolut största vinsterna att ersätta bomull. Detta beror till stor del på bekämpningsmedel som används vid bomullsodling. När det gäller utsläpp som är giftiga för människor så är den största vinsten med återvinning utebliven vedbaserad textilmassaproduktion.



### Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.)



### Human Toxicity Potential (HTP inf.)



# 13 Appendix 3 – Överföring av farliga kemikalier vid textilåtervinning

INKOMMANDE MATERIAL			UTGÅENDE MATERIAL		
POLYAMID Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i polyamid (PA)	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Förbränning	Mekanisk återvinning	Kemisk återvinning
Huvudsakliga återvinningsprocesser			1000°C	Kapning och fragmentering	Sura förhållanden. 340°C (1,5 MPa). Lösningsmedel såsom alkoholer och syror.
Azobaserade färgämnen och pigment	Dispersa Syra Direkt Pigment	Färgämnen och pigment	Förångad	Rester i material och damm	Rester i materialet för pigment. Direkt och syrautvinns. Möjlig omvandling till arylaminer.
Metallkomplex färgämnen	Betningsmedel	Färgämnen och pigment	Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet
Optiska vitmedel	Kumariner Imidazoliner Diazoler Triazoliner Benzoxazoliner Bifenylstilbener	UV absorbenter Färgämnen och pigment	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad
Per och polyfluorerade ämnen	Fluortelomer alkoholer (utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Förångad och trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner.	Rester i material och damm	Urlakad och Förångad
	Perfluorerade karboxylsyror	Stabila nedbrytningsprodukter	Trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner	Rester i material och damm	Urlakad
	Perfluorerade sulfonsyror	Stabila nedbrytningsprodukter	Trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner	Rester i material och damm	Urlakad
	Polyfluorerade sulfonamidoalkoholer (utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Förångad och trolig omvandling till	Rester i material och damm	Urlakad och förångad

INKOMMANDE MATERIAL			UTGÅENDE MATERIAL		
<u>POLYAMID</u> Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i polyamid (PA)	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Förbränning	Mekanisk återvinning	Kemisk återvinning
			fluorerade dioxiner och dibensfuraner.		
Toxiska metaller	Silver och dess salter	Biocider		Rester i material och damm	Urlakad
	Krom VI föreningar	Färgämnen och pigment	Metalloxider	Rester i material och damm	Urlakad
Alkylfenoler och deras etoxylater	Nonylfenoler och dess etoxylater	Tensider	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad och omvandlad till nonylfenoler
	Oktylfenoler och dess etoxylater	Tensider	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad och omvandlad till oktylfenoler
Silikoner	Cykliska siloxaner	Utgångsämnen för polysiloxaner för vattenavvisande behandling	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad och förångad
	Linjära siloxaner	Utgångsämnen för polysiloxaner för vattenavvisande behandling	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad och förångad
Nedbrytningsprodukter	Dioxiner och dibensfuraner	Stabila nedbrytningsprodukter	Rester i askan	Rester i material och damm	Rester i materialet
Biocider	Silverföreningar, se Toxiska metaller	Biocider	Metalloxider	Rester i material och damm	Urlakad

INKOMMANDE MATERIAL			UTGÅENDE MATERIAL			
<b>POLYESTER</b> Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i polyester (PET)	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Förbränning	Mekanisk återvinning	Termisk återvinning	Kemisk återvinning
	Huvudsakliga återvinningsprocesser		1000°C	Kapning och fragmentering	Smälter vid 250°C.	Glykolys vid 200 -250°C, polära lösningsmedel (etylenglykol och metanol).
Azobaserade färgämnen och pigment	Dispersa pigment	Färgämnen och pigment	Förångad	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
Optiska vitmedel	Kumariner Imidazoliner Diazoler Triazoliner Benzoxazoliner Bifenylstilbener	UV absorberer Färgämnen och pigment	Förångad	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
Per- och polyfluorerade ämnen	Fluortelomer alkoholer (utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Förångad och trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner.	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och förångad.
	Perfluorerade karboxylsyror	Stabila nedbrytningsprodukter	Trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
	Perfluorerade sulfonsyror	Stabila nedbrytningsprodukter	Trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad

<b>POLYESTER</b> Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i polyester (PET)	<b>Polyfluorerade sulfonamidoalkoholer utgångsämnen)</b>	<b>Vattenavvisande behandling</b>	<b>Förångad och trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner.</b>	<b>Rester i material och damm</b>	<b>Förångad</b>	<b>Urlakad och förångad</b>
Toxiska metaller	Bly och dess salter	Föroreningar	Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
	Silver och dess salter	Biocider	Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
Klororganiska föreningar	Klorbensener- naftalener samt toluener	Bärare/additiv i process	HCl	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och Förångad
Icke halogenerade flamskyddsmedel	Aromatiska fosfororganiska ämnen	Flamskyddsmedel	Oorganisk fosfor	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad and förångad
Alkylfenoler och deras etoxylater	Nonylfenoler och dess etoxylater	Tensider	Förångad	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och omvandlad till nonylfenoler
	Oktylfenoler och dess etoxylater	Tensider	Förångad	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och omvandlad till oktylfenoler
Silikoner	Cykliska siloxaner	Utgångsämnen för polysiloxaner för vattenavvisande behandling	Förångad	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och Förångad
	Linjära siloxaner	Utgångsämnen för polysiloxaner för vattenavvisande behandling	Förångad	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och Förångad
Nedbrytningsprodukter	Dioxiner och dibensfuraner	Stabila nedbrytningsprodukter	Rester i askan	Rester i material och damm	Rester i materialet	Rester
Biocider	Silverföreningar	Biocider	Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
	Tributyltennoxid		Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad
	Triklorsan		Förångad	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och förångad
	Triklorokarban		Förångad	Rester i material och damm	Förångad	Urlakad och förångad
	Zinkpyrition		Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet	Urlakad och förångad



INKOMMANDE MATERIAL			UTGÅENDE MATERIAL				
CELLULOSA Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i cellulosa	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Förbränning	Mekanisk återvinning	Kemisk återvinning		
Huvudsakliga återvinningsprocesser			1000°C	Kapning och fragmentering	Lyocell, Urea, NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Högt pH – oxidativt medium	Viskos (upplösnings process) 5-50°C Svavelsyra, NaOH, CS <sub>2</sub> , Zn salter. Högt pH	Förbehandling: 30-105°C Högt pH
Azobaserade färgämnen och pigment	Direkt reaktiva azopigment	Färgämnen och pigment	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad och avfärgat	Urlakad och avfärgat	Urlakad och avfärgat
Optiska vitmedel	Kumariner Imidazoliner Diazoler Triazoliner Benzoxazoliner Bifenylstilbener	UV absorbenter Färgämnen och pigment	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
Per- och polyfluorerade ämnen	Fluortelomeralkoholer utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Förångad och trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner.	Rester i material och damm	Urlakad och oxiderad (omvandlad till oxiden)	Urlakad och oxiderad (omvandlad till syra)	Förångad
	Perfluorerade karboxylsyror	Stabila nedbrytningsprodukter	Trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Perfluorerade sulfonsyror	Stabila nedbrytningsprodukter	Trolig omvandling till fluorerade dioxiner och dibensfuraner	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Polyfluorerade sulfonamidoalkoholer utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Förångad och trolig omvandling till fluorerade dioxiner och	Rester i material och damm	Urlakad och oxiderad	Urlakad och oxiderad	Förångad

INKOMMANDE MATERIAL			UTGÅENDE MATERIAL				
CELLULOSA Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i cellulosa	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Förbränning	Mekanisk återvinning	Kemisk återvinning		
	Kvicksilver och dess salter	Biocider	dibensfuraner Metalloxider	Rester i material och damm	Rester i materialet	Rester i materialet	Rester i materialet
Klororganiska föreningar	Klorfenoler	Biocider (högklorerade)	Saltsyra	Rester i material och damm	Trolig deklorering	Trolig deklorering	Trolig deklorering
Icke halogenerade flamskyddsmedel	Aromatiska fosfor organiska ämnen	Flamskyddsmedel	Oorganisk fosfor	Rester i material och damm	Oorganisk fosfor	Oorganisk fosfor	Oorganisk fosfor
Alkylfenoler och deras etoxylater	Nonylphenoler and deras etoxylater	Tensider	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Oktylfenoler och dess etoxylater	Tensider	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
Silikoner	Cykliska siloxaner	Utgångsämnen för polysiloxaner för vattenavvisande behandling	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Linjära siloxaner	Utgångsämnen för polysiloxaner för vattenavvisande behandling	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
Biocider	Etyltriäol	Biocider	Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Ortopfenylfenol		Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Tributyltennoxid		Metalloxider	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Formaldehyd		Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad

INKOMMANDE MATERIAL			UTGÅENDE MATERIAL				
<b>CELLULOSA</b> Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i cellulosa	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Förbränning	Mekanisk återvinning	Kemisk återvinning		
	Pentaklorfenol		Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Permetrin		Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad
	Sulfuryldifluorid		Förångad	Förångad	Förångad	Förångad	Förångad
	Triklorkarban		Förångad	Rester i material och damm	Urlakad	Urlakad	Urlakad

INKOMMANDE MATERIAL		UTGÅENDE MATERIAL	
ULL Huvudsakliga kemikalier grupp av vissa farliga kemikalier i ull	Specifika farliga kemikalier	Huvudsaklig funktionalitet	Mekanisk återvinning
		Huvudsakliga återvinningsprocesser	Kapning och fragmentering
Azobaserade färgämnen och pigment	Syra Direkt reaktiva azopigment	Färgämnen och pigment	Rester i material och damm
Metall komplex färgämnen	Betningsmedel	Färgämnen och pigment	Rester i material och damm
Optiska vitmedel	Kumariner Imidazoliner Diazoler Triazolier Benzoxazoliner Biphenylstilbener	UV absorbenter, färgämnen och pigment	Rester i material och damm
Per- och polyfluorerade ämnen	Fluortelomer alkoholer (utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Rester i material och damm
	Perfluorerade karboxylsyror	Stabila Nedbrytningsprodukter	Rester i material och damm
	Perfluorerade sulfonsyror	Stabila Nedbrytningsprodukter	Rester i material och damm
	Polyfluorerade sulfonamidoalkoholer (utgångsämnen)	Vattenavvisande behandling	Rester i material och damm
	Krom VI föreningar	Betningsmedel för färgämnen och pigment	Rester i material och damm
Flamskyddsmedel	Kalium hexafluorozirkonat	Rökdämpare	Rester i material och damm
Alkylfenoler och deras etoxylater	Nonylfenoler och deras etoxylater	Tensider	Rester i material och damm
	Oktylfenoler och dess etoxylater	Tensider	Rester i material och damm
Silikoner	Cykliska siloxaner	Antiskrynkemedel	Rester i material och damm
	Linjära siloxaner	Antiskrynkemedel	Rester i material och damm
Biocider	Triklorkarban	Biocider	Rester i material och damm

# Textilåtervinning

## Tekniska möjligheter och utmaningar

RAPPORT 6685

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-6685-7  
ISSN 0282-7298

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

Konsumtionen av kläder och hemtextil i Sverige var 2014 totalt 128 000 ton, vilket blir ca 13,1 kg per person. Vålgörenhetsorganisationer samlar in ca 3 kg textilier per person och år, textil som huvudsakligen skänks av privatpersoner. Uppskattningsvis 8 kg textil och textilavfall per person och år i Sverige hamnar i säck- och kärlavfallet och går till förbränning med energiåtervinning.

Materialåtervinningen av textil är idag i princip obefintlig i Sverige. Globalt finns det däremot en marknad för materialåtervinning av textil och textilavfall. I Europa förekommer främst materialåtervinning i form av att textilavfall återvinns till isolering och stoppning i exempelvis madrasser eller bilsäten. Svenska vålgörenhetsorganisationer och vissa svenska klädföretag skickar insamlad textil och textilavfall till t.ex. Tyskland eller Nederländerna för sortering och återanvändning samt materialåtervinning. Det mest resurseffektiva är att textil som samlas in återanvänds.

Syftet med denna forskarstudie har varit att analysera materialåtervinningens förutsättningar med avseende på framtida utveckling av återvinningstekniker inklusive miljöprestanda och motverkan av spridning och ackumulation av särskilt farliga ämnen och andra ämnen med oönskade egenskaper, samt hur insamlingsystem för textilavfall kan påverkas. I studien görs en nulägesanalys av befintliga materialåtervinningstekniker och aktuell forskning och utveckling. Forskargruppen har bedömt utvecklingspotentialen för materialåtervinningen fram till år 2020 respektive år 2030. Forskargruppens rekommendationer och slutsatser för möjlig utveckling kommer att utgöra ett viktigt sakunderlag för Naturvårdsverkets fortsatta arbete med regeringsuppdraget Hantering av textilier, men kan också utgöra ett viktigt underlag för andra aktörer inom textil, sorterings- och återvinningsindustrin.

