TEXTILHÖGSKOLAN
HÖGSKOLAN I BORÅS

Polyamidåtervinning

Är det lönsamt för ett konfektionsföretag med implementering av återvunnen polyamid i sin produktion?

Elin Sandrén
s051540@utb.hb.se
elin_sandren@hotmail.com

Teknologie kandidatexamen med huvudområde textilteknologi
Textilhögskolan
2010-05-01
Examinator: Nils-Krister Persson

Förord

Examensarbetet är den sista examinationen för Textilingenjörsprogrammet vid Textilhögskolan i Borås. Projektet består av 15 högskolepoäng och är genomfört i samverkan med *Houdini Sportswear AB*.

Jag vill rikta ett särskilt tack till mina handledare på företaget, Karin Johansson och Mia Tapio. Ett stort tack till min handledare Mikael Srifvars på Ingenjörshögskolan för hans synpunkter som har hjälpt mig att föra arbetet framåt. Tack till Håkan Nyström på *Klättermusen AB,* Johanna Westbom på *Didriksons AB 1913* som gjorde mina dragprovningstester möjliga med hjälp av snabb leverans av material. Jag vill även passa på och tacka Haike Hilke för handledning vid dragprovstester. Jag uppskattar väldigt mycket all den hjälp jag har fått av andra inblandande personer och företag, jag tackar för deras hjälpsamhet och intresse i detta projekt.

_____

Elin Sandrén
Borås, Maj 2010

Abstract

Textile recycling is a very current subject, especially for synthetic fibres because their production has a high influence on the environment. It is also extracted from petrochemical resources, which is limited. The present situation regarding the recycling industry for textiles is not optimal, which motivates this thesis work. Recycled polyester, from PET bottles and textiles have been established in approximately 10 years but now recycled polyamide is launched at the market as well. This report gives a foreseeable view of textile- and polyamide-recycling. References have been drawn to the carpet industry where the technical apparatus for recycling is much more developed. To be successful, a company have to show that it desire sustainable development and take responsibility for "the ecological footprint" that their products leave.

The thesis work has been made in cooperation with *Houdini Sportswear AB*, a company that manufactures confection for sports- and outdoor-life. The aim with the report is to investigate if it is profitable for the company to implement recycled polyamide bear reference to price, performance and environment. Chemical recycled fibres are considered to be the same quality as virgin, to investigate if this statement is correct and to indicate the performance of the recycled polyamide a determination of the tensile properties has been made.

Keywords; polyamide, recycling, recycling of polyamide, chemical recycling, environment, sustainability.

Sammanfattning

Textilåtervinning är mycket aktuellt, främst för syntetiska fibrer då dess framställning påverkar miljön i hög grad. Dessutom utvinns de ur petrokemisk källa som är en ändbar resurs. Återvinningsindustrin för textilier fungerar i dagsläget inte optimalt, vilket motiverar detta examensarbete. Återvunnen polyester, från PET-flaskor eller textilier har funnits i ca 10 år men nu börjar även återvunnen polyamid lanseras på marknaden. Denna rapport ger en överskådlig bild över textil- och polyamidåtervinning. En parallell har dragits till mattindustrin där den tekniska apparaturen för återvinning är mer utvecklad. För att bli framgångsrik måste ett företag visa att det eftersträvar hållbar utveckling och ansvarar för det ”ekologiska fotavtryck” som dess produkter efterlämnar.

Examensarbetet har utförts i samarbete med *Houdini Sportswear AB*, ett företag som tillverkar konfektion för sport- och friluftsliv. Syftet med rapporten är att undersöka om det är lönsamt för företaget att implementera återvunnen polyamid med avseende på pris, prestanda och miljö. Kemiskt återvunnen fiber anses vara av samma kvalitet som jungfrulig, för att undersöka om detta påstående är korrekt samt påvisa den återvunna polyamidens prestanda har mekaniska dragprovningstester utförts.

Nyckelord; polyamid, återvinning, polyamidåtervinning, kemisk återvinning, miljö, hållbarhet.

Företagspresentation

Houdini Sportswear AB tillverkar funktionsplagg för utomhusbruk. Det grundades 1993 och har sitt huvudkontor i Nacka, Stockholm. Företaget har återförsäljare i Europa men även i Japan, USA, Sydkorea och Shanghai. Deras funktionsplagg bygger på ”lager på lager” principen och de har utvecklat ett komplett system, från underkläder till accessoarer som benämns *Core comfort*. Deras design bygger på funktion och mångsidighet men att kläderna även ska ha en attraktiv formgivning. De använder sig av testgruppen, *Friends* bestående av extremidrottare och friluftsfotografer som testar produkterna under tuffa förhållanden. På detta sätt får de en nära kontakt med sina användare och de kan utveckla och anpassa sina produkter.

Houdini Sportswear AB arbetar och har ett engagemang för en hållbar affärsidé och att minska miljöpåverkan. De var det första företaget i Europa att använda sig av japanska företaget *Teijin Fibers* återvinningsprogram *Eco-Circle* för sin konfektion i polyester. Företaget har en medveten miljövänlig profil och större delen av produkterna består av återvunna fibrer. De har 90 % av sin produktion placerad i Europa.

Innehållsförteckning

Förord **2**
Abstract **3**
Sammanfattning **4**
Företagspresentation **5**
Rapportens disposition **7**
1. Inledning **8**
1.1 Bakgrund 8
1.2 Problemformulering och syfte 8
1.3 Metod 8
1.3.1 Metoddiskussion 8
1.3.2 Mekanisk dragprovningstest 9
1.4 Avgränsningar 9
2. Polyamid **10**
2.1 Molekylär sammansättning och struktur 11
2.2 Produktion 12
2.2.1 Polyamids miljöpåverkan 13
2.2.2 Miljöpåverkan – jämförelse med andra fibrer 14
3. Återvinning **17**
3.1 Primär och sekundär återvinning - Mekanisk återvinning 18
3.2 Tertiär återvinning - Kemisk återvinning 19
3.2.1 Acidolys 19
3.2.2 Hydrolys 20
3.2.3 Aminolys 20
3.2.4 Depolymerisation i vakuum 20
3.3 Kvartär återvinning – Termisk- och energiåtervinning 20
3.4 Återvinning av polyamidfibern 21
3.4.1 Återvinningsindustrin av mattor 21
3.4.2 Återvinning av mattor 22
3.4.3 Fiberåtervinning 24
3.5 Återvinningens miljöpåverkan 25
3.6 Polyamidåtervinningen ur ett ekonomiskt perspektiv 25
4. Implementering av polyamid i *Houdini Sportswear ABs* produktion **27**
4.1 Analys av företagets produkter i dagsläget 27
4.1.1 Leverantörer 28
4.2 Marknadsundersökning 29
5. Kvalitativa experiment **31**
5.1 Dragprovning 31
5.1.1 Teori 31
5.1.2 Information, resultat och analys av studie 32
6. Slutsats och diskussion **35**

Bilaga 1 Resultat mekaniska dragprovningstester
Bilaga 2 Frågeformulär och statistik för marknadsundersökning

Rapportens disposition

Kapitelindelningen för rapporten är följande:

Kapitel 1: INLEDNING
Det första kapitlet ger bakgrunden till studien, problemformulering och syfte. En redogörelse för metoden som använts med metoddiskussion, en förklaring av den praktiska delen i studien samt avgränsningar.

Kapitel 2: POLYAMID
En teoretisk del som handlar om polyamidfibern, egenskaper och dess kemiska struktur. Miljöpåverkan vid produktion av jungfrulig fiber har undersökts för motivering av framtida återvinning. En jämförelse av miljöpåverkan (koldioxid-, vatten- och energiåtgång) för olika fibrer kan även skådas.

Kapitel 3: ÅTERVINNING
Kapitel tre ger en överskådlig bild över textilåtervinning och dess industri. Olika återvinningsmetoder har klarlagts som mekanisk, kemisk och termisk metod samt energiåtervinning. Sista delen i detta kapitel preciserar till återvinning av polyamid och dess miljöpåverkan.

Kapitel 4: IMPLEMENTERING AV POLYAMID I HOUDINIS PRODUKTION
En informativ del för *Houdini Sportswear AB* om hur de kan implementera återvunnen polyamid i sin produktion. En redogörelse för vilka produkter som idag är tillverkade av jungfrulig polyamid och hur möjligheten ser ut för att dessa istället kan tillverkas i återvunnen. Samt en marknadsundersökning av potentiella kunder för företaget.

Kapitel 5: KVALITATIVA EXPERIMENT
Experiment som ger svar på om det är någon skillnad i prestanda mellan jungfrulig och återvunnen polyamid. Se del 1.3.2 ”Mekanisk dragprovningstest” för information.

Kapitel 6: SLUTSATS OCH DISKUSSION
En slutsats och diskussion som har lagts fram under arbetets gång utifrån syftet. En redogörelse för hur framtiden ser ut för polyamidåtervinning.

1. Inledning

Detta kapitel är avsett att ge läsaren en större insikt och förståelse för studien. Den beskriver bakgrund och problemformuleringen samt syftet med studien. Den andra delen av detta kapitel består av metoddiskussion och avgränsningar för att ge en mer praktisk bild av hur arbetsgången är upplagd.

1.1 Bakgrund

Textilindustrin påverkar idag miljön mycket negativt med avseende på vatten- och energiåtgång, koldioxidutsläpp och användningen av kemikalier. Polyamid utvinns dessutom ur petrokemiska källor som är en ändbar resurs. Den textila konsumtionen ökar allt mer samtidigt som konsumenten blir mer miljömedveten och ställer större krav på tillverkningssättet av produkterna. Dessa två parametrar som talar mot varandra måste ett företag ta i beaktning om det vill bli framgångsrikt. Det kan vara svårt att förändra denna konsumentattityd men ett företag kan t.ex. implementera återvunna fibrer i sin produktion för att minska sin påverkan på miljön.

Företag som tillverkar sport- och funktionsplagg har alltid vart pionjärer när det gäller att utföra sin produktion med avseende på hållbarhet och miljö. Det är de som driver utvecklingen av klädåtervinning. Återvinning av polyester är idag kommersiell och det är många företag som använder det i sina produkter, polyamid däremot är inte lika brukligt.

Houdini Sportswear AB har ett långt hållbarhetsarbete inom miljö och etik bakom sig. Genom att undersöka möjligheten att implementera återvunnen polyamid i sin produktion kan de vara föregångare för andra företag och tillsammans kan man arbeta för en mer hållbar utveckling inom textilindustrin.

1.2 Problemformulering och syfte

Är det lönsamt för *Houdini Sportswear AB* att implementera återvunnen polyamid i sin produktion med avseende på pris, prestanda och miljö?

Rapportens syfte är att ge en överskådlig bild av polyamidåtervinning och hur det påverkar ett företag att tillämpa sådana produkter i sitt sortiment ur synvinklarna pris, prestanda och miljö. Studien ämnar ge företaget tillräckligt med information för att kunna göra en objektiv bedömning för realisering av produkter tillverkade i återvunnen polyamid.

1.3 Metod

1.3.1 Metoddiskussion

Mina primära källor för teorin har erhållits från böcker, vetenskapliga publikationer och vetenskapliga tidskriftsartiklar. Högskolans bibliotek med sitt stora urval av informationskällor har använts flitigt. Denna information har räknats som relativt tillförlitlig men självklart har en värdering skett av källorna. För ytterligare information och mer uppdaterad fakta har kontakt med företag och organisationer hållits via e-post. Tidskriften *Ecotextile News* har använts flitigt för uppdaterad information inom ämnesområdet.

Information från Internet har använts sparsamt. En strikt källkritisk synvinkel har hållits mot de här källorna, särskilt information från företag som ofta ger en positivt vinklad bild till företagets fördel som används i marknadsföringssyfte.

Efter insamling av materialet har en sortering och värdering utförts.

1.3.2 Mekanisk dragprovningstest
Kvalitativa undersökningar i form av mekaniska dragprovningstester har utförts. Dessa tester har verkställts på jungfrulig respektive återvunnen fiber och väv. *Houdini Sportswear AB* har idag inga leverantörer som kan erbjuda återvunnen polyamid. Tillgången på återvunnet material i polyamid är mycket begränsad på marknaden men tack vare en donation av material från *Klättermusen AB* var dragprovningstester möjliga. Testerna har gjorts efter två standarder; "ISO 527-1 Determination of tensile properties – general principles" och "ISO 527-3 Determination of tensile properties – test conditions for films and sheets". Båda standarderna är avsedda för polymera material. Prov som inte har uppfyllt standardernas krav har förkastats. De två vävarna kommer från olika leverantörer med olika grovlek på garnet, 420D resp. 300D. Med andledning till differensen i grovlek har en enhetsomvandling gjorts för en enklare jämförelse. För ett mer tillförlitligt resultat borde de två vävarna vara från samma leverantör och med likadan grovlek men p.g.a. brist på tillgång och tid har detta tyvärr inte kunnat verkställas. Ingenjörshögskolans polymerlaboratorium har använts för undersökningarna under handledning av Haike Hilke.

1.4 Avgränsningar

De polyamidstrukturer som kommer studeras i denna rapport är polyamid 6 och polyamid 6.6.

I och med att återvinningsindustrin för polyester är mer etablerad kommer den granskas men fokus för studien är polyamid.

Problematiken vid polyamidåtervinning inom klädindustrin är att plaggen oftast även består av en andel elastan eller polyester. Elastan tillförs för att erhålla stretch i materialet. Elastan är en typ av elastomer, alltså en lättrörlig polymer. Materialet är mycket elastiskt och kan töjas ut mer än sin dubble längd. Elastan består av mjuka och formbara segment av polyester eller polyeter som ger fibern stretchegenskaper och hårda och kristallina segment av polyuretaner som ger draghållfasthet.[1] Det är en svårare process att återvinna polyamid blandat med t.ex. elastan eller polyester då de olika materialen måste separeras först. Jag är väl medveten om detta dilemma, dock har det inte tagits i beaktning i studien och undersökningen bygger på att den här problematiken är löst.

Generellt sett belyser miljöpåverkan främst vatten- och energiåtgång samt koldioxidutsläpp. En sökning på data för dessa parametrar för jungfrulig/återvunnen polyamid och för andra syntet- och naturfibrer har gjorts för att kunna göra en jämförelse, dock varierar data mycket mellan olika källor. Dessa skillnader kan bero på geografiskt läge, processmetod och teknologiska skillnader vid tillfället för studien. Med detta i åtanke har enbart data från tillförlitliga källor tagits.

[1] Kathryn L.Hatch (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 245-251.

2. Polyamid

I början av 1900-talet inleddes framställning av syntetiska polymerer, men det var först under Andra Världskriget som produktionen och den tekniska utvecklingen tog fart. Kriget hade lett till avspärrningar för tillgången på naturliga råvaror och tillväxten av polymerer och polymera material ökade. Polyamid var den första syntetiska fibern som introducerades på textilmarknaden 1939. Den utvecklades av kemisten Wallace Carothers vid Du Pont Company efter 11 års studier. Det var vid den här tiden som kemister börjat upptäcka att många naturliga fibrer är uppbyggda av molekyler som var väldigt långa och smala likt fibern själv. Det var känt att ull och silke hade proteinstruktur vars polymer innehöll peptidbindningen (CONH). Det var den här teorin som låg bakom Carothers experiment, men istället för att använda aminosyror (som protein är uppbyggt av) brukades en diamin och en dikarboxylsyra. Polymeren har fått sitt namn efter amidbindningen som håller samman monomererna. Polyamid var länge den mest populära syntetfibern fram till 1969 då polyester började tillverkas i större kvantitet. Den största marknaden idag för polyamid är mattindustrin, därefter teknisk textil och på tredje plats konfektion. Det finns många olika sorters polyamid men polyamid 6 som innehåller en monomer med sex kol och polyamid 6.6 som innehåller två monomerer med vardera sex kol tillhör de mest förekommande.[2,3,4]

Polyamid är en mycket stark och slitstark fiber som samtidigt har god elasticitet. Detta beror på den kristallina polymerstrukturen, polymerens konfiguration samt dess starka sekundära vätebindningar. Styrkan på dess vätebindningar beror på att de uppstår mellan syre och väte samt att det genomsnittliga interpolymera avståndet är så kort som 0,3 nm. Det krävs minst 0,5 nm för att dessa bindningar ska kunna bildas. Oftast innebär hög kristallinitet och starka intermolekylära bindningar låg elasticitet, men detta gäller inte för polyamid. När polyamid utsätts för en kraft, som måste vara större än vätebindningarna, rätas den zick-zack formade polymeren ut och fibern töjs. Men tack vara gittret av vätebindningarna förhindras glidning av fibern. När kraften tas bort återgår polymeren till sin ursprungsform. Konventionell polyamid återhämtar sig till 100% från en töjning på 8%. För hård påfrestning kan dock leda till att vätebindningarna bryts och ett brott på fibern uppstår. Polyamid har mycket låg vikt och i kombination med hög töjbarhet har den egenskaper som gör den unik som textilfiber.[5,6] Polyamid har alltså egenskaper som hög modul, dragstyrka och hårdhet. Den ger dragning över flytpunkten, s.k. duktil deformation som ger den kristallina strukturen. Det är denna dragning som ger segheten i materialet och därmed slagtåligheten.[7]

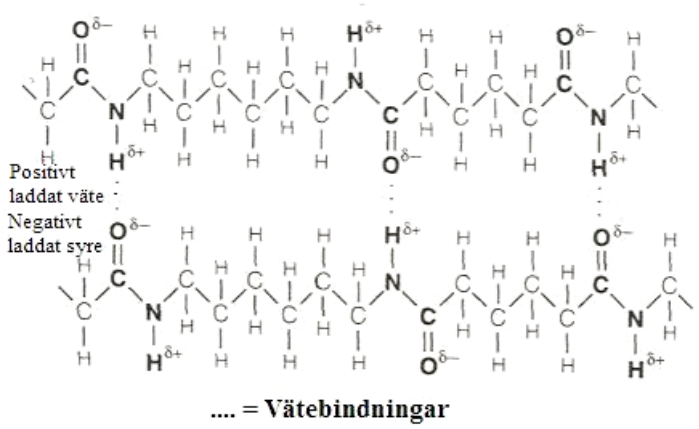
Polyamid har högst absorptionsförmåga bland de textila fibrerna. Den förlorar lite av sin styrka och seghet i vått tillstånd p.g.a. att de polära amidgrupperna attraherar vattenmolekylerna som i sin tur hydrolyserar en del av vätebindningarna. Men då fibern är

[2] Kathryn L.Hatch (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 201-203.
[3] George Burton *et al.* (1994), *Chemical storylines (Salters Advanced Chemistry),* Heinemann, Oxford. s. 91-92.
[4] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola. s. 3-4.
[5] Kathryn L.Hatch (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 204-206.
[6] Kenneth Tingsvik (2009), *Kompendium i fiberkemi (Textilkemi med miljökemi),* Textilhögskolan, Högskolan i Borås. s. 104-109.
[7] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 125.

mycket kristallin sker detta enbart vid ytskiktet och i den amorfa delen. Därför kan vattenånga bara delvis passera genom polyamidfibern. Polyamidens struktur är jämn och slät och materialet lägger sig ”platt” på hudytan vilket inte ger en behaglig komfortkänsla. Dessa två parametrar gör att polyamid lämpar sig bra när man eftertraktar material med låg luft permeabilitet, exempelvis till s.k. skaljackor för kallare klimat. För att erhålla en större komfortkänsla kan man krympa fibern och öka dess poröshet och kan då användas till t.ex. underkläder eller badkläder dock oftast med en blandning med elastan.[8,9]

2.1 Molekylär sammansättning och struktur

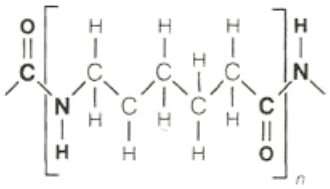
Polyamid har ett runt tvärsnitt. Polymerisationsgraden för en polyamid, alltså antal repeterande enheter är mellan 50–80 stycken för polyamid 6.6 och 200 för polyamid 6. Molekylkedjorna har en lång zick-zack formad konfiguration och de är tätt packade och bildar en mycket kristallin polymer. Uppskattningsvis består polyamid av 65-85 % kristallint område och 15-35 % amorft område. Den viktigaste kemiska gruppen i polyamid är den polära amidgruppen som bildar vätebindningar mellan –C=O med sin negativt laddade syreatom och –N–H med sin positivt laddade väteatom. I figur 2.1. nedan visas dessa vätebindningar som prickade linjer i en polyamid 6.6. fiber. Den andra viktigaste kemiska gruppen är aminogruppen (NH_2) som attraherar färgmolekyler. Dessa finns som ändgrupper på polymeren.



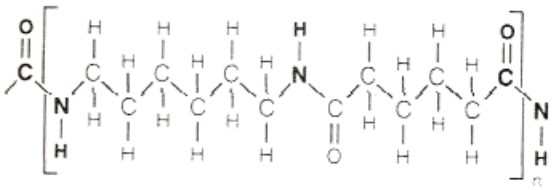
Figur 2.1. Figuren visar vätebindningarna mellan polymererna i polyamid 6.6.[10]

[8] Kathryn L.Hatch (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 204-206.
[9] Kenneth Tingsvik (2009), *Kompendium i fiberkemi (Textilkemi med miljökemi),* Textilhögskolan, Högskolan i Borås. s.104-109.
[10] Kathryn L.Hatch (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 204.

En skillnad mellan polyamid 6 och 6.6 är orienteringen av amidgrupperna i polymerkedjan. I polyamid 6 pekar alla amidgrupperna i samma riktning och separeras av fem metylengrupper. Medan amidgrupperna i polyamid 6.6 alternerar och upprepas med mönstret 6-4-6-4. I figur 2.2. nedan kan den här strukturskillnaden ses. Polyamid 6 har också en lägre smälttemperatur än polyamid 6.6.[11]



Figur 2.2. Struktur polyamid 6



Struktur polyamid 6.6.[12]

2.2 Produktion

Polyamid härstammar precis som andra syntetiska fibrer från råoljan. Råolja bildas av olika organiska material som under mycket lång tid utsätts för hög temperatur och högt tryck. Det organiska materialet är en mångfald av olika ämnen med olika fysikaliska egenskaper, som smält- och kokpunkt. På grund av de olika egenskaperna brukar man dela upp råoljan i olika delar, fraktioner genom fraktionerad destillation. Huvuddelen av råolja består av olika kolväten. Efterfrågan på olika kolväten är olika stor, t.ex. är bensin mer eftertraktat än smörolja. För att tillfredsställa den här efterfrågan kan man vid raffinaderier bryta ned tyngre kolväten till lättare genom en process som kallas krackning. Vid denna process leds de stora molekylerna in i en reaktor där de bryts ned till lättare kolväten med hjälp av en katalysator.[13]

Polyamid framställs genom en kondensationspolymerisation och kräver att monomererna har två reaktiva funktionella grupper.[14] En kondensationspolymerisation är en reaktion där en liten molekyl som i det här fallet är vatten avspjälkas.[15]

Polyamid 6.6 är uppbyggt av monomeren hexametyldiamin ($NH_2(CH_2)_6NH_2$), som har kristallin form med en smältpunkt på 40°C och en kokpunkt på 203-204°C och adipinsyra ($COOH(CH_2)_4COOH$) med en smältpunkt på 152°C och en kokpunkt på 216°C. De två komponenterna reagerar i metanol vid förhöjd temperatur och bildar ett salt. Saltet upplöses i vatten. Lösningen värms upp till 250°C för att kondensationspolymerisationen skall starta. Stabilisationsmedel används för att erhålla önskad molekylvikt på monomeren.

Polyamid 6 produceras från caprolactam ($C_6H_{10}ONH$). Råvarorna för caprolactam kommer från grupperna fenoler, bensen, toluen och cyklohexan. Caprolactam har en ringstruktur som öppnar upp sig och skapar en bindning med en annan ring av caprolactam. Produktionen kräver en katalys som förvandlar små mängder av caprolactam till 6-aminohexansyra vilket

[11] Kathryn L.Hatch (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 199-206.
[12] *a.a.* s. 199.
[13] Hans Borén et al. (1997), *Kemiboken A,* Liber AB, Stockholm. s. 109-110, 128.
[14] George Burton et al. (1994), *Chemical storylines (Salters Advanced Chemistry),* Heinemann Publishers, Oxford. s. 92.
[15] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 10.

hjälper polymerisationen. Katalysatorn kan vara vatten, en syra eller en bas. Vatten ger dock bäst kontroll över reaktionen.[16]

Polymeren består av små chips, granulat som sedan smälts ned till en viskös massa. Fibrerna tillverkas genom smältspinning. Den viskösa materian spinns ur en spinndysa med ett antal hål. Fibrerna stelnar efter kontakt med antingen vatten eller luft. Eventuell sträckning sker av fibrerna för ökad kristallinitet. Fibrerna kan göras som stapel- eller filamentfibrer. På grund av spinningens höga hastighet krävs tillsats av smörjmedel i form av spinnoljor. Matteringsmedel i form av titanoxid och silikater tillsätts för att undvika att polymeren blir transparent. Andra tillsatser som optiska vitmedel och katalysatorer tillsätts också vanligen i smältspinning för polyamid. Optiska vitmedel absorberar osynligt UV-ljus med kort våglängd och reflekterar det inom spektrat för synligt ljus som har en längre våglängd. Vid behandling av termoplaster ges ett permanent resultat och textilen upplevs som mycket vitare. Termoplastiska fibrer fixeras oftast och får då bättre form- och dimensionsstabilitet. Polyamid tar upp fukt bra och kan fixeras i torr värme eller med hjälp av vatten eller ånga.[17,18,19]

Polyamid färgas vanligen med syrafärg eller metallkomplexfärgämnen. Syrafärgämnen färgar under sura betingelser. Färgämnet är negativt laddad och binds till fibern med jonbindningar. Aminogrupperna som binder till färgmolekylerna är färre i jämförelse med ull och finns i polymerens ändgrupper, dessutom är polyamid mer kristallin vilket leder till att mörka nyanser inte kan färgas med den här metoden. Likaså behöver inte tillsats av retarder ske då risken för ojämnt färgutfall inte är lika hög som vid färgning av ullfibern. En retarder är ett s.k. egaliseringsmedel som bromsar färgningshastigheten för att erhålla ett jämnare färgningsresultat. Metallkomplexfärgämnen består av en eller två färgämnesmolekyler (oftast azotyp –N=N–) som bundits till en metalljon (oftast Cr^{2+}). Precis som vid syrafärgning är färgämnena anjoniska och reagerar med de positivt laddade aminogrupperna under sura betingelser. Metallen i färgämnet påverkar inte ämnets förankring i fibern utan har främst kromofora egenskaper. Metallkomplexfärg har goda ljus- och tvätthärdigheter och kan till skillnad från syrafärgämnen enbart färgas till mörka, dova nyanser.[20]

2.2.1 Polyamids miljöpåverkan

Den största miljöpåverkan vid tillverkning av polyamid (och även andra polymerer) är att man utnyttjar en ändlig resurs – oljan. Vanligast är att lågmolekylära ämnen är mer miljö- och hälsofarliga då de sprids lättare och har en så pass liten storlek att de kan passera membran i biologiska system. Generellt sett behöver man inte begrunda detta vid polymertillverkning. Men polyamid är en termoplast, alltså en linjär eller grenad polymer och vid processer av termoplaster tillsätter man oftast lågmolekylära ämnen som tillsatser. En termoplast kännetecknas av att den mjuknar vid ökad temperatur och styvnar vid sänkt och behåller sin form från upphettningen. Termoplasten får sin form vid tryck i visköst tillstånd. Processen är reversibel och kan upprepas, men upprepade cykler ger viss nedbrytning på fibern.[21,22]

---

[16] R Alagirusamy & B.L, Deopura (Ed.) (2008), *Polyesters and polyamides* (The Textile Institute), Woodhead Publishing, Cambridge. s. 42-47.
[17] Weronika Rehnby (2006), *Textila beredningsprocesser,* Textilhögskolan, Högskolan I Borås. s. 23-27.
[18] http://www.wiki.envicard.se/index.php?title=Polyamid Hämtat den 11 april, 2010.
[19] http://www.wiki.envicard.se/index.php?title=Polyester Hämtat den 11 april, 2010.
[20] Kenneth Tingsvik (2009), *Kompendium i textilkemi för textilingenjörsprogrammet,* Textilhögskolan, Högskolan i Borås. s. 35, 38-39, 60-61.
[21] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 125, 147-154.
[22] J Becker & H Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 171.

Det finns även risk att oreagerad monomer från processen kan påverka miljön negativt. Vid bearbetning av materialet tillsätts värme som kan ge upphov till förångning av tillsatserna och även här blir en konsekvens lågmolekylära ämnen i form av nedbrytningsprodukter på grund av oxidation. Smältspinningen ger låga utsläpp men tillsatserna som krävs för spinningsmetoden kan påverka miljön och skall tas om hand på ett miljövänligt sätt.[23,24]

När man granskar miljöpåverkan är det viktigt att även inkludera arbetsmiljön. Ett problem för arbetsmiljön är de många pulverformiga komponenter i polymertillverkning som leder till dammbildning. Detta i sin tur kan leda till hälsoproblem och sänkt lungfunktion för de anställda.[25]

2.2.2 Miljöpåverkan – jämförelse med andra fibrer

När man diskuterar det ”ekologiska fotavtryck” som olika fibrer efterlämnar brukar man främst belysa koldioxidutsläpp, vatten- och energiåtgång. Det är dock svårt att göra en sådan jämförelse mellan natur- och syntetfiber då materialen inte är utbytbara med varandra p.g.a. deras skillnader i tekniska, fysiska och kemiska egenskaper. Dessutom kan skillnader i geografiskt läge, processmetod och teknologiska skillnader vid tillfället för studien ge olika data. Det geografiska läget påverkar naturfibrerna vid odling genom att parametrar som nederbörd och antal soltimmar varierar. Med det här i åtanke kommer en hypotetisk jämförelse att göras mellan materialen. Generellt sett kräver naturfibrer mycket vatten vid odling/fiberframställning samt utnyttjar mark som annars kunde ha använts till odling av grödor. Syntetfibrer tär på en ändlig resurs samt kräver stor energi. Vatten används i mycket mindre mängd för syntetfibrer i jämförelse med naturfibrer. Vid framställning av syntetfibrer används vatten främst för att kyla ned systemet och en stor del kan återanvändas.[26]

Utsläpp vid fibertillverkning varierar stort beroende på vilket bränsle som genererar den konsumerande energin och det har oftast geografisk betydelse. Som exempel produceras elektrisk energi i Frankrike främst i kärn- och vattenkraftverk medan man i Kina förbränner kol. Återvunnen polyester visar på ca 670 gram utsläpp per kilo när den är tillverkad inom EU men om samma fiber tillverkas i Kina ökar utsläppen med ca 35 % till nästan 1 kg utsläpp per kilo. Om den fibern sedan skall transporteras till Europa ökar utsläppen till ca 1,2 kg per kilo fiber.[27]

---

[23] http://www.wiki.envicard.se/index.php?title=Polyamid Hämtat den 11 april, 2010.
[24] http://www.wiki.envicard.se/index.php?title=Polyester Hämtat den 11 april, 2010.
[25] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 147-154.
[26] Nia Cherrett, et al (2005), *Ecological footprint and water analysis of cotton hemp and polyester,* Stockholm Environment Institute, s. 20. http://organicexchange.org/Farm/Reading%20and%20Refrences/Cotton%20Hemp%20Polyester%20study%20SEI%20and%20Bioregional%20and%20WWF%20Wales.pdf Hämtat den 5 maj, 2010.
[27] David Morris (2008), The carbon challenge for textile fibres, *Ecotextile news* (Juli 2008), s. 30 – 31.

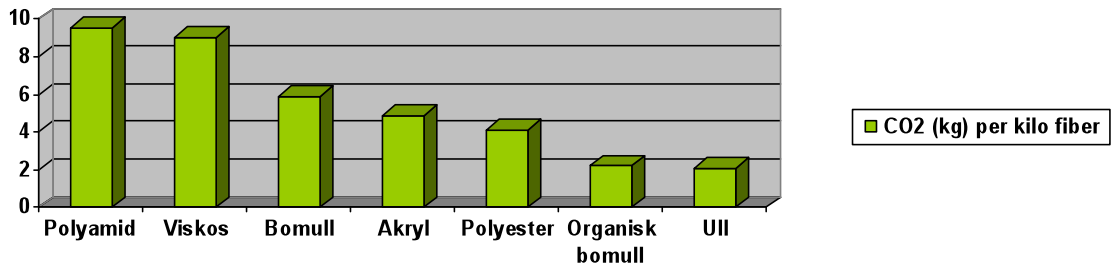


Diagram 2.1. visar skillnaden i koldioxidutsläpp i enheten kg mellan olika sorters fibrer (kg).[28]

Som diagram 2.1. visar är polyamid den fiber som släpper ut mest koldioxid bland de studerade fibrerna. Även om polyamid och polyester framställs på liknande sätt är det en stor skillnad dem emellan, 9,5 kg resp. 4,1 kg.

En exakt siffra på koldioxidutsläpp från återvunnen polyamid har inte verifierats, men företaget *Toray* påstår att deras återvunna polyamid 6 avger 80 % mindre utsläpp i jämförelse med jungfrulig.[29] Företaget *Toray* är precis som *Teijin* ett japanskt företag med specialområde kemi och textil. De arbetar också med fiberåtervinning, men är mer inriktade mot polyamidfibrer. Företaget *Patagonia* hävdar att vid depolymerisation av deras underställ i polyester avges det 42 % mindre koldioxid i jämförelse med tillverkning av polyester ur petroleum.[30] *Patagonia* är ett amerikanskt företag som tillverkar funktionsplagg för utomhusbruk. De är pionjärer för miljö- och hållbar utveckling inom branschen och var en av de första återförsäljarna av *Eco-Circle*-plagg från *Teijin*.

Som beskrivet tidigare i avsnitten kräver syntetfibrer inte mycket vatten i jämförelse med naturfibrer. En jämförelse har gjorts för att visa den stora skillnaden. Precis som vid studien av koldioxidutsläpp beror vattenåtgången för fibern mycket på dess geografiska läge, främst för odling av bomull och hampa. Skillnaden i vattenåtgång för dessa odlingar är svårt att urskilja då det finns dåligt med data om hur stor procent av bevattningen som sker via nederbörd, denna parameter beror också på odlingens geografiska läge.

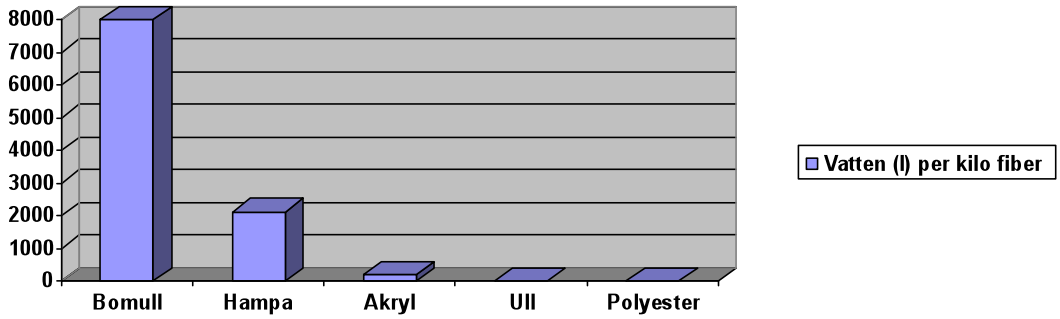


Diagram 2.2. visar vattenkonsumtionen i enheten liter för olika fibrer (kg) , både för odling och processbearbetning.[31]

[28] Data tagen från: David Morris (2008), The carbon challenge for textile fibres, *Ecotextile news* (Juli 2008), s. 30-31.
[29] John Mowbray (Ed.), Toray offers recycled nylon (2007), *Ecotextile news* (Maj 2007), s. 23.
[30] John Mowbray (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.
[31] Data tagen från: S.E Laursen et al (1997), *Environmental assessment of textiles*, Danish environmental protection agency, Copenhagen. s. 45, 46, 64, 99 & Kate Fletcher (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys*, Earthscan, London. s. 6-14.

Åtgången av vatten vid bomullsodling varierar kraftig beroende på dess geografiska läge. Det går t.ex. åt 7000 liter per kilo fiber vid odlingar i Israel medan det går åt 29 000 liter i Sudan. Det generella värdet vid bomullsodlingar är dock ca 8000 liter (diagram 2.2.), vattenåtgången vid polyestertillverkning är bara ca 0,1 % av den mängd som krävs vid bomull, alltså 8 liter. Data på vattenårgång vid polyamidtillverkning har inte påträffats men kan antas vara av liknande värde som vid polyester.[32,33]

Som diagram 2.3. visar går det åt mycket mer energi att tillverka syntetfibrer i jämförelse med naturfibrer. Notera den stora skillnaden i energiåtgång mellan polyamid och polyester, 150MJ/kg mot 109MJ/kg, något som särskilt motiverar återvinning av polyamid.

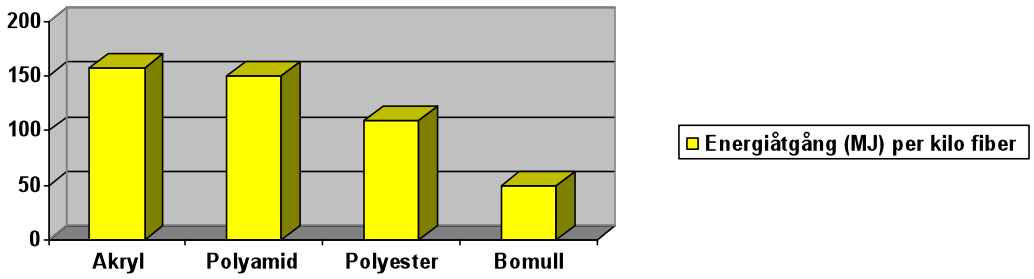


Diagram 2.3. visar energiåtgången i enheten Megajoule för olika fibrer (kg).[34]

Företaget *Toray* påstår att vid produktion av deras återvunna polyamid 6 åtgår det 70 % mindre energi i jämförelse med tillverkning av petroleum baserad jungfrulig polyamid.[35] Företaget *Patagonia* hävdar att vid depolymerisation av deras underställ i polyester åtgår 76 % mindre energi i jämförelse med tillverkning av polyester ur petroleum.[36]
Det har funnits svårigheter att finna tillförlitlig data för koldioxidutsläpp, vatten- och energiåtgång, därför har inte exakt samma fibrer kunnat jämföras. Ett aktivt val har gjorts att inte redovisa data för återvunna fibrer i diagrammen då den informationen kommer från företag. Dessa data kan alltså ha använts i marknadsföringssyfte.

[32] Kate Fletcher (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys*, Earthscan, London. s. 6 – 14.
[33] Nia Cherrett et al (2005), *Ecological footprint and water analysis of cotton hemp and polyester,* Stockholm Environment Institute, s. 12, 17. http://organicexchange.org/Farm/Reading%20and%20Refrences/Cotton%20Hemp%20Polyester%20study%20SEI%20and%20Bioregional%20and%20WWF%20Wales.pdf Hämtat den 5 maj, 2010.
[34] Data tagen från: Kate Fletcher (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys*, Earthscan, London. s. 12-13.
[35] John Mowbray (Ed.), Toray and patagonia team up to recycle nylon (2008) *Ecotextile news* (Februari 2008), s. 12-13.
[36] John Mowbray (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.

3. Återvinning

Återvinning av textila material är en av de äldsta branscherna, ändå är det få som förstår sig på industrin.[37] Textilåtervinning på en industriell nivå har existerat i Europa i över 130 år. Men återvinningen sjönk på 1970-talet när priset för jungfrulig fiber sjönk och välståndet i I-länderna ökade.[38]

Konsumtionen av textilier ökar idag lavinartat och till följd av detta även det textila avfallet. Trenden med s.k. ”fast-fashion”, alltså billig konfektion avsedd till en ungdomlig marknad uppmuntrar till en ohälsosam konsumtionsattityd som bidrar mycket till textilavfallet. Dominansen av billiga jungfruliga fibrer från Asien gör denna trend möjlig. Textilier kasseras för att de är trasiga, smutsiga eller obrukbara men även ofta för att de är omoderna eller urvuxna. Återanvändning av produkten i form av s.k. ”Second hand” har länge varit populärt i textilindustrin. Detta är en bra lösning som man alltid ska eftersträva då det endast krävs energi att samla in, sortera och återsälja produkterna. Energin som krävs är 10-20 gånger mindre än att tillverka ny jungfrulig fiber. Tyvärr har återanvändning av produkter inget högt värde i I-länder och därför skickas det mesta till andra delar av världen, främst Östeuropa och Afrika. Produkterna skänks bort eller så köper en person ett lager och återförsäljer på den inhemska markanden. Den här metoden har dock fått kritik då det finns risk att den slår ut den inhemska marknaden.[39]

Varje år förbrukas ca 2 miljoner ton textilier i världen och dessa delas upp i två grupper, industriavfall och konsumentavfall. Approximativt återvinns 750 000 ton av industriavfall till t.ex. bilindustrin, mattor, madrasser, papper och 1 250 000 ton konsumentavfall. Kvantiteten återvunnet konsumentavfall kan uppfattas stor men det representerar enbart 25 % av den totala mängden textilt avfall.[40,41] En stor återvinningsförening är Secondary Materials and Recycled Textiles (SMART) som har över 1000 företag och organisationer som medlemmar, de arbetar tillsammans för att minimera det textila avfallet.[42]

Det som motiverar återvinning av polymerer är främst:

- Volymerna på deponerat avfall ökar fort, särskilt i tätbefolkade länder.
- Materialet innehåller i stor omfattning icke förnyelsebara råvaror i form av materia och energi som måste tas till vara på bättre.
- Materialen har ett värde som det är företagsekonomiskt lönsamt att tillvarataga.[43]

[37] R.S Blackburn (Ed.) (2009), *Sustainable textiles – Lifecycle and environmental impact,* Woodhead Publishing, Cambridge. s. 183.
[38] Richard A Horrocks (Ed) (1999), *Ecotextile -98 –Sustainable development,* Woodhead publishing, Cambridge. s. 159-164.
[39] Kate Fletcher (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys*, Earthscan, London. s. 95-115.
[40] R.S Blackburn (Ed.) (2009), *Sustainable textiles – Lifecycle and environmental impact,* Woodhead Publishing, Cambridge. s. 180-183.
[41] Anthony L. Andrady(2003), *Plastics and the environment,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. s. 698.
[42] http://textilerecycle.org/ Hämtad 5 april, 2010.
[43] J Becker & H, Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 168.

Insamling av material är ett stort problem för textilåtervinning, speciellt avfall från privatpersoner där det måste finnas ett lätt och lönsamt sätt att samla in använda produkter. För att återvinning ska vara vinstgivande krävs ett kontinuerligt flöde av material av en viss kvalitet. Många återvinningsprojekt har tvingats upphöra p.g.a. brist av lönsam insamling av material som kan återvinnas. Ett annat problem är en effektiv sortering av material som krävs för en slutprodukt av hög kvalitet. Detta sker i dagsläget oftast manuellt och baseras på produktens färg eller kemiska komposition. Ett mer automatiserat system skulle öka produktiviteten och reducera kostnaderna för sortering. Vid sortering av plaster (och mattor) används IR-spektroskopi, men p.g.a. textilens komplexa komposition och fiberblandningar ger denna metod inte tillfredställande resultat för textilavfall från kläder. För mattor kan den användas då de oftast består av en sorts fiber och fiberblandningar är ovanligt. Andra identifikationsteknologier är inducerad lasernedbrytnings spektroskopi (LIBS – Laser Induced Breakdown Spectroscopy) eller respons på termisk impuls (TIR – Thermal Impulse Response). Vid LIBS metoden induceras ett plasma, gas av laddade partiklar på materialets yta genom en kort laserpuls. Genom att läsa av spektrat av plasman kan man få information om fiberns komposition. Denna metod kan även ge information om vilka färgämnen och medel för slutberedning som har använts. Vid TIR använder man temperaturen som indikator på materialkompositionen. Genom att värma upp dem med laser kan man sedan läsa av materialens kylningskurvor.[44]

Ett annat problem är en lönsam och effektiv metod att avlägsna applikationer som knappar och dragkedjor då de ej får finnas med vid återvinningen, varken mekanisk eller kemisk sort. Om dessa finns kvar vid kemisk återvinning sjunker effektiviteten av processen p.g.a. att föroreningarna som de orsakar saktar ned den kemiska reaktionen och lämnar kvar mycket restprodukter i reaktorn. Varje återvinningsföretag använder sin egen metod, t.ex. använder företaget *Teijin* maskiner med magneter som avlägsnar metallapplikationer medan företaget *Calamai* utför arbetet manuellt genom att ta av manschetter med cirkelsågar.[45]

Den största anledningen till att polyester återvinning är så mycket mer utbrett än den för polyamid är att användningen av polyester som textilfiber är mycket större och därför blir det mer lönsamt. År 2007 producerades 44,1 miljoner ton syntetiska fibrer och av dem var 30 670 ton polyester och 3 986 ton polyamid för fiberproduktion.[46]

Förutom mekanisk-, kemisk och termisk återvinning, som behandlas i nästkommande avsnitt bör även förbränning med tillvaratagande av energi samt pyrolys till nya baskemikalier betraktas som återvinning.[47,48]

3.1 Primär och sekundär återvinning - Mekanisk återvinning

Mekanisk återvinning kräver inte tekniskt komplicerade instrument. Bindningarna i fibrerna bryts genom hackning, strimling och borstning. Maskinen till mekanisk återvinning består av roterande cylindrar med vassa blad. Om man önskar erhålla mycket fina fibrer kan de passera

---

[44] Richard A. Horrocks (Ed) (1999), *Ecotextile -98 –Sustainable development,* Woodhead publishing, Cambridge. s. 159-164.
[45] John Mowbray (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.
[46] Andreas Engelhardt (2008), Global chemical fiber production +8%*, Melliand international* (Issue 4, September 2008), s. 220 – 221.
[47] J Becker & H Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 168-170.
[48] Charles A. Harper (2002), *Handbook of plastics, elastomers & composites (4th edition)*, McGraw – Hill, New York. s. 703.

cylindrarna ett flertal gånger. Sedan samlas de lösa fibrerna ihop med hjälp av luftdrivna system. Större delen av mekanisk återvinning sker inom non-woven industrin. Mekanisk återvunna fibrer har ofta en kort fiberlängd och används därför ofta till ändamål där kvaliteten inte behöver vara hög som fyllningsmaterial till isolation och madrasser. Genom att blanda återvunna fibrer med jungfruliga fibrer kan man öka kvaliteten och använda dem till garn och väv.

Belagda och laminerade produkter kan vara problematiska att återvinna på detta sätt då pastan eller laminatet är mer eller mindre omöjlig att helt eliminera. Rester av pasta eller laminat kommer att återfinnas i det återvunna materialet. Men återvinningen kan underlättas genom att utföra separationen under låg temperatur för att göra komponenterna spröda. Sedan bör materialet renas kemiskt.[49]Miljöpåverkan vid mekanisk återvinning rör främst arbetsmiljö som dammbildning.[50] Metoden lämpar sig bäst till homogena polymerer.[51] Fördelen med mekanisk återvinning är att man kan använda många olika sorters fibrer. En nackdel är att när fibrerna strimlas ned till kortare längd förminskas deras styrka och kvalitet. En annan är att användningsområdet för slutfibern är begränsat.[52]

3.2 Tertiär återvinning - Kemisk återvinning

Kemisk återvinning kan genomföras genom delvis eller hel depolymerisation som följs av rening och polymerisation. För polyamid är depolymerisation ett bra alternativ då den består av relativt stabila monomerer. Vid problematik av blandmaterial kan man använda kemisk återvinning för att utvinna ett material ur ett annat.[53] Fördel med kemisk återvinning är att fibern erhåller nästan lika bra egenskaper som den jungfruliga fibern. Dessutom kan kemiskt återvunnen fiber användas inom många applikationsområden. Nackdelen med metoden är att den är begränsad till att det är få material som kan återvinnas på detta sätt. Blandmaterial är mycket svårare att helt återvinna kemiskt och för en lyckad återvinning krävs det att man redan i designstadiet har detta i åtanke samt en effektiv sortering.[54]

Polyamid 6 kan depolymeriseras till monomeren caprolactam genom olika metoder som acidolys, hydrolys, aminolys och katalyserad depolymerisation i vakuum.[55]

3.2.1 Acidolys

När man använder en syra som katalysator smälts den strimlade Polyamid 6 i en kontinuerlig reaktor och behandlas med ånga. Monomeren caprolactam bildas genom hydrolys och den destilleras samtidigt som den behandlas med kaliumpermanganat för att oxidera orenheter. Efter filtrering kan monomeren placeras i en polymerisation utan försämrat resultat. Fosforsyra kan användas som katalysator och processen ger en bra mängd caprolactam. Nackdelen med processen är att fibrer kan reagera med syra katalysatorn och försämra

[49] S.E Laursen et al. (1997), *Environmental assessment of textiles,* Danish environmental protection agency, Copenhagen. s. 145.
[50] Anthony L. Andrady (2003), *Plastics and the environment,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. s. 145-146.
[51] J Aguado & D, Serrano (1999), *Feedstock recycling of plastic wastes,* The royal society of chemistry, Camebridge. s. 19.
[52] John Mowbray (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.
[53] Anthony L. Andrady (2003), *Plastics and the environment,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. s. 146.
[54] John Mowbray (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.
[55] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 288.

effekten på processen. Det är även höga kostnader för brukning av katalysator och behandling av biprodukter och processvatten.

3.2.2 Hydrolys
Polyamid 6 kan genom hydrolys depolymeriseras i ett vattenlösligt system under tryck som ger en stor mängd caprolactam. Processen kräver ingen katalysator men destillationen som krävs för att separera vattnet från caprolactam är dyrt. Genom att höja temperaturen kan man erhålla större kvantitet caprolactam men det sätter också högre tryck på det slutna systemet och kräver bättre och dyrare aggregat och instrument. Mängden caprolactam ökar linjärt som en funktion till vattenmängden i blandningen. Studier har visat att efter polymerförhållandet 12:1 ökar inte kvantiteten caprolactam istället är det optimala förhållandet för störst mängd monomer och minst mängd processvatten 10:1.[56]

3.2.3 Aminolys
Polyamid 6 och 6.6. reagerar med ammoniak och en fosfat katalysator vid temperaturen 330°C och trycket 7 MPa. Reaktionen liknar hydrolys och den bryter bindningar och NH_2 grupper tillkommer och bildar hexanmetyldiamin och fenylendiamin som sedan kan användas för att skapa ny polyamid.[57,58]

3.2.4 Depolymerisation i vakuum
Denna metod ger stora mängder monomer och är en bra teknik som ger hög renhet och kräver ingen destillation vilket är fördelar gentemot en depolymerisation i form av hydrolys. Men en katalysator behövs för reaktion för att förhindra att biprodukter bildas som försämrar kvaliteten. Det är viktigt att katalysator finns över hela polymeren för att förhindra inhomogena reaktioner. En annan nackdel är att överkott på polymer, katalysator och fyllnadsmaterial måste deponeras.[59]

3.3 Kvartär återvinning – Termisk- och energiåtervinning

Återvinning av energi är ett bra alternativ när annan återvinning inte är lönsam. Man tar tillvara på energin till t.ex. elkraft och uppvärmning, dessutom reduceras avfall som annars går till deponier. I Sverige förbränns ca 50 % av allt avfall, vilket gör att vi ligger i toppen över länder med mest förbränning. Förbränning kräver dock höga kapital och driftkostnader, framförallt efter striktare regler för emissioner och utsläpp. Förutom bildandet av vatten och koldioxid är det vanligt med bildande av oxider av kväve när man förbränner polyamid p.g.a. dess höga kväveinnehåll. Alla förbränningsanläggningar är termiskt bevakade, med andra ord processens kapacitet mäts i joule och inte i ton. En problematik med förbränning av termoplaster som polyamid är att de flyter vid höga temperaturer och ger endast hög förgasning i smält tillstånd. Vid stora mängder material kan det vara svårt att hantera smältan men den problematiken går att lösa genom ombyggnation av ugnarna som används.[60]

Pyrolys eller krackning är en process när polymerer upphettas till mycket höga temperaturer i syrefri miljö. Kol – kol och kol – vätebindningar bryts och väte, kol och mindre

[56] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 291-293.
[57] Charles Harper (2002), *Handbook of plastics, elastomers & composites (4th edition)*, McGraw – Hill, New York. s. 738-739.
[58] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 295.
[59] *a.a.* s. 296.
[60] J Becker & H, Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 183-184.

kolvätemolekyler bildas. Genom fraktion kan då olika ämnen erhållas som bensin, nafta, olja och gas etc.[61] Studier har dock visat att additionspolymerer lämpar sig bäst till termisk återvinning och kondensationspolymerer som polyamid depolymeriseras fördelaktigt på kemisk väg.[62]

3.4 Återvinning av polyamidfibern

När de syntetiska fibrerna introducerades på textilmarknaden bidrog det till en mer komplex textilåtervinning p.g.a. den ökade fiberstyrkan som gjorde det svårare att strimla och öppna upp fibern samt den ökade mängden blandar material.[63] Den polyamid som idag kommersiellt återvinns är främst avfall från mattindustrin samt industriavfall och komponenter inom bilindustrin.[64]

3.4.1 Återvinningsindustrin av mattor

När man avhandlar återvinnig av polyamidfibern är det nödvändigt att diskutera återvinning av mattor då den står för en stor del av produktionen av fibern. USA ansvarar för ca en fjärdedel av mattindustrin med ett årligt avfall på 450 000 ton av polyamid 6. Det finns många företag och organisationer som vill ta vara på detta stora avfall och har startat olika typer av återvinningsverksamheter.

Det tyska kemiföretaget *BASF* (med verksamhet i USA) introducerade redan 1994 ett återvinningsprogram för mattor tillverkade i polyamid 6. Kravet är att mattorna inte innehåller följande: latex bestående av halogen, polyester, jute, PVC, polyuretan beläggning eller någon annan hälso- eller miljöfarligt ämne. Mattorna sänds till uppsamlingsstationer i USA och Canada och sänds sedan vidare till *BASF* där de depolymeriseras till caprolactam och därefter repolymeriseras och används till nya mattor.

Ett annat exempel på en återvinningsorganisation är *Evergreen Nylon Recycling (ENR)* som är ett samarbete mellan företagen *Honeywell* och *DSM*. Organisationen återvinner också mattor av polyamid 6 med liknande tillvägagångssätt. Den återvunna caprolactam används till nya mattor eller till råvaror för andra plaster. Honeywell har kalkylerat att processen sparar ca 70 000 oljefat per år.[65] Ett fat innehåller 42 US gallons olja (1 US gallons = 3,7853 liter) alltså 158, 98 liter. En besparing på 70 000 oljefat motsvarar därför ca 11 miljoner liter olja.[66]

Ett annat exempel är företaget *DuPont* som har en patenterad process för att återvinna polyamid 6.6. genom aminolys.[67] Denna process patenterade företaget redan 1944 men under efterkrigstiden föll priset på polyamid monomerer så det ansågs inte längre lönsamt med

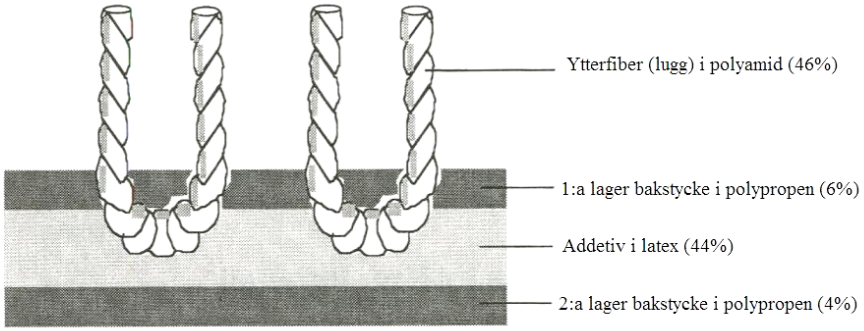
---

[61] J Becker & H, Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 186.
[62] J, Aguado & D, Serrano (1999), *Feedstock recycling of plastic wastes,* The royal society of chemistry, Camebridge. s. 74.
[63] R.S Blackburn (Ed.) (2009), *Sustainable textiles – Lifecycle and environmental impact,* Woodhead Publishing, Cambridge. s. 182.
[64] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 288.
[65] Charles A. Harper (2002), *Handbook of plastics, elastomers & composites (4th edition)*, McGraw – Hill, New York. S. 738-739.
[66] http://sv.wikipedia.org/wiki/Oljefat Hämtat 4 juni, 2010.
[67] Charles A. Harper (2002), *Handbook of plastics, elastomers & composites (4th edition)*, McGraw – Hill, New York. S. 738-739.

depolymerisation. Det här har idag förändrats och den stora tillgången från mattavfall uppmuntrar processen på nytt trots att avfallet är kontaminerat.[68]

3.4.2 Återvinning av mattor

Avfall från en matta tillverkad i polyamid består till 65 – 80% av polyamid lugg, både polyamid 6 och 6.6. Luggen och bakstycket hålls samman med hjälp av styrene – butadiene latex additiv. Ungefär halva mattan består av lugg och det är den del som återvinns. Resten av mattan består av bakstycke i polypropen, latex additiv och andra additiv i form av färgämnen och slutberedningskemikalier. I figur 3.1. kan kompositionen av en matta i polyamid ses.



Figur 3.1. visar de olika skikt som en matta är uppbyggd av.[69]

Identifikation av fibrer: Ett första steg vid återvinning av mattor är att identifiera vilka fibrer som luggen består av för att underlätta nästkommande steg i processen. Detta var förut en mycket dyr och komplex uppgift men nu finns mycket bättre identifikationssystem. Ett system utnyttjar olika fibrers smältpunkt på att så sätt kunna särskilja dem. Detta system används främst för att särskilja polyamid 6 och polypropen. En lödkolv med två sidor ställs in med en temperatur något över polyamid 6 smälttemperatur 255°C på ena sidan och polypropens smälttemperatur 180°C på andra. Lödkolven pressar mot en bit aluminium som är i kontakt med luggen. Ett märke på mattan tyder att materialet är polyamid 6 och två märken på polypropen. Om mattan är tillverkad av polyester, polyamid 6.6, ull eller akryl kommer inga märken att uppkomma. När man vill särskilja polyester och polyamid 6.6. från ull och akryl med det här systemet kan man lägga till en tredje yta med en temperatur på 280°C som lämnar ett märke endast på mattor av förstnämnda material. Med detta system är det dock svårt att särskilja polyester från polyamid 6.6. då de har liknande smälttemperatur.[70]

En mer modern metod för att identifiera fibrerna i mattans lugg är att använda IR-spektroskopi. Med denna metod kan man på tio sekunder påvisa nästintill alla sorters fiber med hög precision. Systemet utnyttjar att kemiska bindningar upptar infrarött ljus i viss våglängd och beroende på absorptionens styrka kan bindningens karaktär bestämmas. Instrumenten som används är inte känsliga mot damm eller vibrationer och kan därför med fördel användas inom industrin.[71]

Separation: Insamlade mattor måste separeras från sitt bakstycke. Smuts och annan kontamination skall också avlägsnas. Om man påträffar olika material i luggen krävs det att

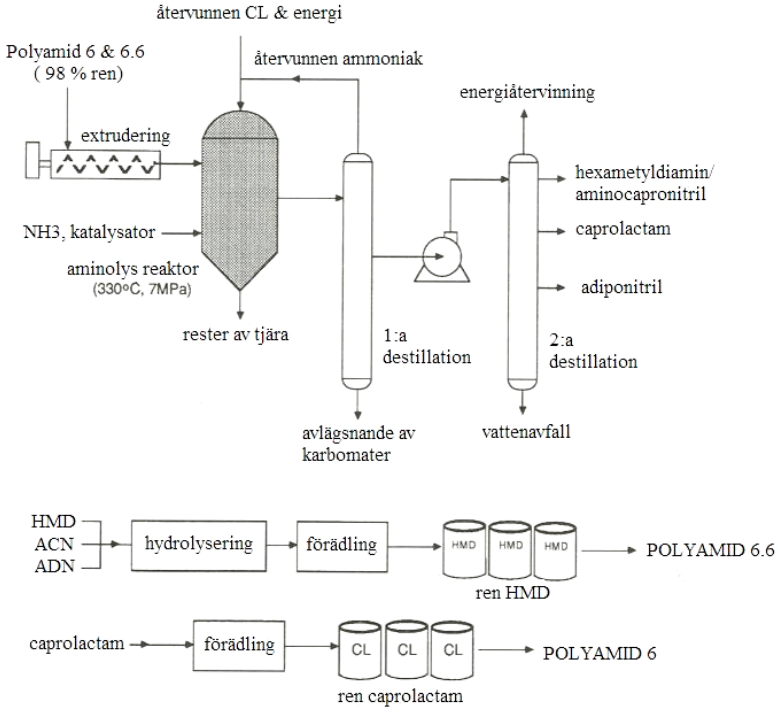
[68] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 288.
[69] *a.a.* s. 289.
[70] *a.a.* s. 288-296.
[71] *ibid.*

man separerar materialen för en optimal återvinning. En metod att separera polyamid 6 och 6.6. är att använda sig av lösningsmedel. Polyamid 6 kan separeras ur en blandning med polyamid 6.6. genom lösning i en alifatisk karboxylsyra. Vatten tillsätts även för att fälla ut polyamiden. En annan metod är att lösa upp de båda polyamidsorterna för att sedan bilda en fällning av polyamid 6.6. Man kan även ta tillvara på polyamid 6 i en polyamidblandning genom att lösa upp den i 85% myrsyra.[72]

Mekanisk behandling: Mattorna rensas, strimlas och hackas i en kvarn, sållas och sedan mals ned till partiklar med en genomsnittlig diameter på 1,5 mm. Partiklarna blandas ut med vatten och de olika fibrerna kan särskiljas genom skillnad i densitet. Polyamiden som har en renhet på 98,5% förs sedan vidare till en depolymerisationsreaktor.
Aminolys: Se avsnitt 3.2.3. kemisk återvinning, aminolys.
Destillation: Destillation separerar ammoniaken så den kan återvinnas och biprodukter avlägsnas. Kvar återstår:

1. caprolactam
2. hexametylendiamin (HMD) och aminocapronitrile (ACN)
3. adiponitril (ADN)

ACN och ADN hydrolyseras till ren HMD medan caprolactam antingen kan förvandlas till ACN genom ytterligare aminolys eller direkt raffineras till ren caprolactam.[73] I figur 3.2. kan denna aminolys och destillation ses.



Figur 3.2. En schematisk bild över aminolysprocessen.[74]

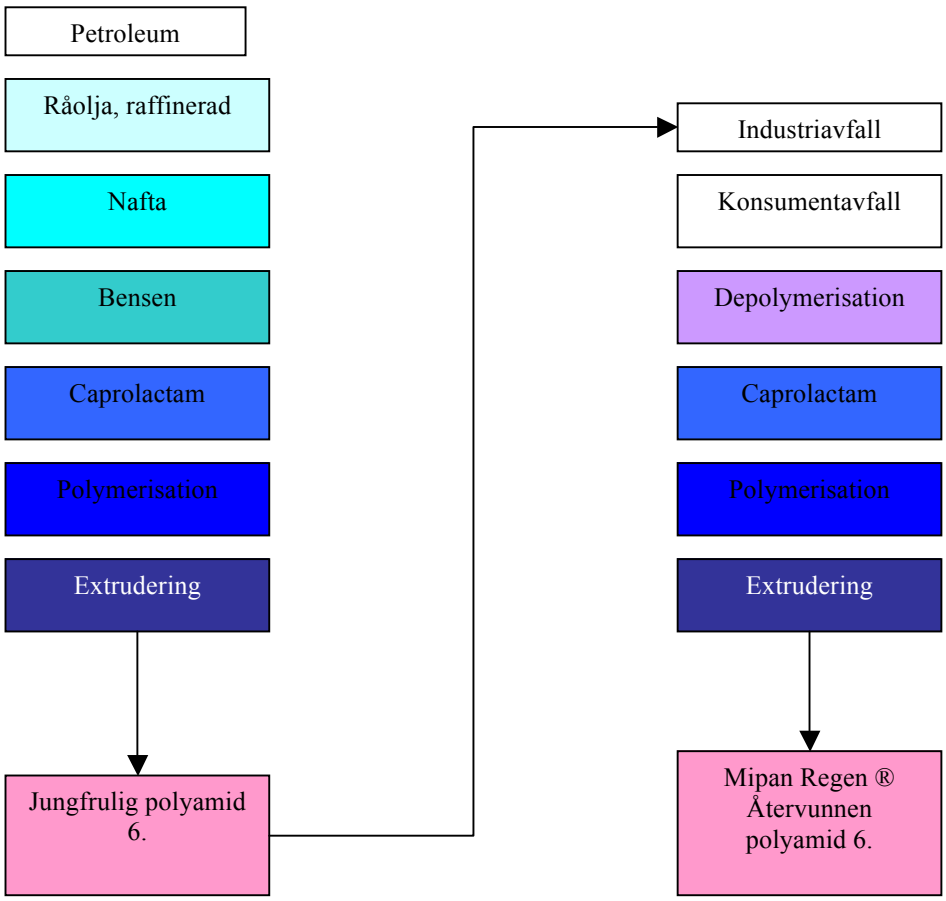
[72] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 288-296.
[73] *ibid.*
[74] John Scheirs (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications*, John Wiley & sons, Chicester. s. 295.

3.4.3 Fiberåtervinning

Det sydkoreanska företaget *Hyosung* är en av de största producenterna av polyamid 6. Enligt företaget var de först i världen med att introducera återvunnet filamentgarn i polyamid från konsumentavfall på den internationella marknaden med sin *Mipan Regen*®. Fibern består av 50 % återvunnen polyamid från 100 % konsumentavfall. Den består av kasserade polyamidprodukter, främst fisknät och mattor som har samlats in, raffinerats och sedan på nytt har spunnits till polyamid filament garner.[75,76] *Hyosung* är de första tillverkarna av syntetiska garner att tilldelas certifikatet Global Recycle Standard (GRS) som indikerar på god hantering av avfall under produktions processen.[77] Enligt *Hyosung* är de miljömässiga fördelarna med fibern jämfört med jungfrulig fiber följande:

- 27% mindre konsumtion av de naturliga resurserna.
- 28% reducering av växthusgasutsläpp.
- Reducering av avfall som annars skulle gå till deponier.[78]

I figur 3.3. kan processtegen för tillverkning av jungfrulig och återvunnen polyamid 6 ses. Notera de steg som elimineras när materialet inte utvinns ur petroleum.



Figur 3.3. Visar de olika processtegen för att tillverka jungfrulig polyamid 6 respektive återvunnen polyamid 6.[79]

[75] John Mowbray (Ed.), Firms sign up to recycled standard (2009), *Ecotextile news* (Juli 2009), s. 20.
[76] http://pi.hyosung.com/pi_eng/fiber/nylon/mipan_13.jsp Hämtat 1 maj, 2010.
[77] John Mowbray (Ed.), Control union revises new recycled standard (2008-09), *Ecotextile news* (December 2008/Januari 2009) s. 5.
[78] http://pi.hyosung.com/pi_eng/fiber/nylon/mipan_13.jsp Hämtat 1 maj, 2010.
[79] http://pi.hyosung.com/pi_eng/fiber/nylon/mipan_13.jsp Hämtat 1 maj, 2010.

3.5 Återvinningens miljöpåverkan

De tre största fördelarna med återvinning ur ett miljöperspektiv är att mindre energi krävs vilket leder till mindre koldioxidutsläpp samt mindre material som hamnar på deponier.

En stor nackdel med kemisk återvinning, främst slutna system som *Eco-Circle* är att industrin finns i Asien. Även om själva återvinningen är bra för miljön så måste materialet transporteras fram och tillbaka när företagen finns i Europa/Amerika vilket konsumerar energi samt bidrar till växthusgasutsläpp. Det hade varit mer lönsamt om sådana system fanns på närmare avstånd men återvinningsindustrin är mer utvecklad i Asien, främst på öar som Japan och Taiwan. Dessa länder har en stor befolkning på en relativt liten landyta vilket har lett till att invånarna alltid har varit intresserade för miljö och återvinning.[80]

3.6 Polyamidåtervinningen ur ett ekonomiskt perspektiv

Polyamid är en konstruktionsplast med ett högt ekonomiskt värde, därför är det direkt lönsamt att återvinna det.[81]

Industrier som inför återvinning av industriavfall går oftast med vinst då de undviker kostnader för kassering av avfall. Avfallsstationerna växer otroligt fort över hela världen och med stor sannolikhet kommer avgiften för kassering att öka i takt med den här expansionen. Kostnaden för återvinning uppkommer redan vid insamling och sortering men den totala kostnaden beror på vilken återvinningsmetod man väljer att använda.[82] Det krävs dock ett stort kapital att investera i dessa maskiner och att behålla en kontinuerlig produktion. Det är även en kostnad att transportera materialet fram och tillbaka från Asien där fiber till fiber återvinningen i dagsläget är lokaliserad. Företaget *Patagonia* har avslöjat att en transport till *Teijin* approximativt kostar 12 SEK per kilo (US$ 1,5) och 4 SEK (US$ 0,5) per kilo för processkostnader. För företag som väljer att köpa in återvunnen polyester från typ *Eco-Circle* ligger inköpspriset ca 20-30 % över priset för jungfrulig, men samtidigt kan man sälja produkten vidare för ett högre pris med just motivationen att det är återvunnet plus att man värnar om miljön. Marknadspriset för polyamid är ca 25 % högre än jungfrulig. Anledningen till att priset är så pass mycket högre är för att efterfrågan än så länge inte är tillräckligt stor plus att det inte finns många aktörer på marknaden. För framtiden hoppas företagen på större efterfrågan samt fler aktörer så konkurrensen driver priset nedåt och gör det mer lönsamt att investera i återvunna material. [83,84]

Om återvunnen fiber är lönsamt eller ej i jämförelse med jungfrulig är även direkt relaterat till oljepriset. När oljepriset höjs ökar även i regel priset på de kemikalier som krävs för att göra polymergranulat. Då är det lönsamt att använda sig av återvunnen fiber där oljepriset inte påverkar. Men när oljepriset sjunker vid lågkonjunktur konkurrerar den jungfruliga fibern med den återvunna. En effekt av världens finanskriser är att efterfrågan av återvunnen fiber inte var stor p.g.a. det höga priset på återvunnen polymergranulat men intresset fanns där.

---

[80] John Mowbray (Ed.), Textile recycling in Japan rises (2008), *Ecotextile news* (Oktober 2008), s. 35.
[81] J Becker & H, Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 182.
[82] R.S Blackburn (Ed.) (2009), *Sustainable textiles – Lifecycle and environmental impact,* Woodhead Publishing, Cambridge. S. 179-181.
[83] John Mowbray (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.
[84] John Scheirs (1998), Polymer recycling: science, technology and applications, John Wiley & sons, Chicester. s. 296.

Företag visade en försiktighet i valet av återvunna produkter. Oljepriset är dock på väg upp igen och återvunna produkter börjar bli mycket attraktivt.[85]

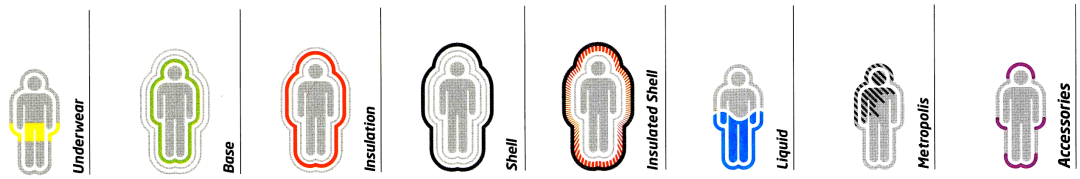
Den stora frågan när man diskuterar lönsamheten för företaget är hur det påverkar produktionen att gå från jungfrulig fiber till återvunnen. *Houdini Sportswear AB* har som ambition att på liknande sätt som för sina polyesterplagg kunna erbjuda en tjänst åt sina kunder, där de kan lämna in sina obrukbara plagg som sedan återvinns till ett nytt plagg. Men för en enklare övergång till återvunnen polyamid i företagets produktion kommer det återvunna material som idag finns på marknaden att tas i beaktning. I dagsläget är en återvunnen fiber dyrare att köpa in i förhållande till jungfrulig, men företaget kan använda miljö och hållbarhet som argument i marknadsföringssyfte.[86,87]

[85] Karla Magruder (2009), Recovering costs, *Ecotextile news* (Juli 2009), s. 16-17.
[86] Mia Tapio (Löpande sedan 2009-12-03), Extern handledare, Houdini Sportswear AB.
[87] Karin Johansson (Löpande sedan 2009-12-03), Extern handledare, Houdini Sportswear AB.

4. Implementering av polyamid i *Houdini Sportswear ABs* produktion

4.1 Analys av företagets produkter i dagsläget

*Houdini Sportswear AB*s produkter består som tidigare nämnts (avsnitt ”Företagspresentation”) av ett komplett system, *Core comfort* som bygger på ”lager på lager” principen. För en enklare bild av analysen av företagets produkter kommer här en kort presentation (Figur 4.1.) och förklaring[88] av systemet:



1. **2.** **3.** **4.** **5.** **6.** **7.** **8.**

Figur 4.1. visar företagets system *Core Comfort*, se text nedan för förklaring.[89]

1. Underwear
Underkläder för varmt och kallt klimat.
Plaggen är tillverkade i:
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*).
95 % återvunnen polyester och 5 % elastan
Båda materialen är återvinningsbara.

2. Base
Underställ med både kort och lång ben- och armlängd. Syftet med plaggen är att ta bort fukt från kroppen för att motverka överhettning och kyla. Plaggen är tillverkade i:
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*)
75 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*) och 25 % PTT (polytrimetylentereftalat, en typ av polyester)
Båda materialen är återvinningsbar

3. Insulation
Grövre underställ för att ytterligare kunna kontrollera kroppens mikroklimat och möjligheten att transportera bort fukt.
Plaggen är tillverkade i:
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*)
95 % återvunnen polyester och 5 % elastan
50 % polyester 40 % polyamid 10 % polyuretan (*lycra*) (*Polartec*)
De två förstnämnda är helt återvinningsbara.

4. Shell
Väderresistenta kläder som skyddar mot vatten och kyla.
Plaggen är tillverkade i:
87 % återvunnen polyester 13 % polyuretan (*spandex*) (*Polartec*)
100 % polyester
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*)
83 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*) 17 % PTT polyester
Alla material är återvinningsbara

5. Insulated Shell
Består enbart av jackor vars främsta uppgift är att skydda från kyla. Finns enbart i höst/vinter kollektion. Plaggen är tillverkade i:
100 % polyester
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*) men även annan leverantör från Kina och Taiwan.

6. Liquid
Fritidskläder för varmt klimat.
Plaggen är tillverkade i:
93 % polyamid 7 % elastan
72 % polyamid (*nylon*) 28 % polyuretan (*lycra*)

7. Metropolis
Kvalitetsplagg som syftar till användning i vardagen.
Plaggen är tillverkade i:
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*)
65 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*) 35 % PTT polyester
Båda materialen är helt återvinningsbara

8. Accessoires
Accessoarer i form av mössor, vantar och halsdukar som kompletterar systemet. Accessoarerna är tillverkade i:
100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*)
72 % polyamid (nylon) 28 % polyuretan (*lycra*)
95 % återvunnen polyester 5 % elastan
50 % polyester 40 % polyamid (*nylon*) 10 % elastan
100 % ull
Accessoarerna i 100 % återvunnen polyester (*Eco-Circle*) är helt återvinningsbara

[88] Houdinis kollektionsbok (2010), Fall/Winter, s. 7-70.
[89] Houdinis kollektionsbok (2010), Fall/Winter, s. 7.

En analys har gjorts av *Houdini Sportswear ABs* produkter om materialkompositionen. Det har utförts för att ge en uppfattning om hur stor del av sortimentet som består av polyamid. Ingen hänsyn har gjorts till produktionsvolymerna samt val som färg och storlek. Endast produkter som tillhör systemet *Core comfort* finns med i analysen, alltså inte deras kollektion av babyplagg. Ett antal produkter som bestod av flera utav nedan bestämda materialkompositioner finns inte med i analysen då det gjorde uppgiften för komplex. För vår/sommar kollektionen berör det 10 produkter och höst/vinter kollektionen 27 produkter. I tabellen 4.1. kan resultatet av analysen utläsas.

Tabell 4.1. visar materialkompositionen i *Houdini sportswear ABs* produker.[90]

		Vår/Sommar 2010	Andel (%)	Höst/Vinter 2010	Andel (%)	Totalt (%)
	Totalt antal produkter	84	100	89	100	100
1	100% polyester	0	0	0	0	0
2	97% polyester 3% polyuretan (*spandex*)	0	0	2	2,2	1,2
3	100% återvunnen polyester (*Eco-Circle*)	28	33,3	20	22,5	27,7
4	83% återvunnen polyester (*Eco-Circle*) 17% PTT polyester	6	7,1	5	5,6	6,4
5	75% återvunnen polyester (*Eco-Circle*) 25% PTT polyester	10	11,9	7	7,9	9,8
6	65% återvunnen polyester (*Eco-Circle*) 35% PTT polyester	4	4,8	2	2,2	3,5
7	100% återvunnen polyester	0	0	5	5,6	2,9
8	95% återvunnen polyester 5% elastan	5	6,0	25	28,1	17,3
9	87% återvunnen polyester 13% polyuretan (*spandex*)	3	3,6	3	3,4	3,5
10	50% polyester 40% polyamid (*nylon*) 10% polyuretan (*lycra*)	**6**	**7,1**	**8**	**9,0**	**8,0**
11	93% polyamid 7% elastan	**14**	**16,7**	**6**	**6,7**	**11,6**
12	72% polyamid (*nylon*) 28% polyuretan (*lycra*)	**8**	**9,5**	**3**	**3,4**	**6,4**
13	100% ull	0	0	3	3,4	1,7

Som kan utläsas ur tabell 4.1. består 26 % (addition av rad 10, 11 och 12) av företagets totala sortiment per år av blandningar innehållande polyamid, alltså ungefär en fjärdedel. Utav dessa är det 18% (addition av rad 11 och 12) av sortimentet där polyamid utgör huvudkomponenten i produkten.[91]

I dagsläget representerar produkten ”Power Hood” *Houdini Sportswear AB*s halva omsättning. Fabrikationen består av 50 % polyester, 40 % polyamid och 10 % elastan.[92]

4.1.1 Leverantörer

Approximativt 62 % av produktionen av polyamidgarn till textila produkter är idag lokaliserat till Asien. Man kan se en trend på större efterfrågan av polyamid, mest tack vare den expansiva marknaden för airbags.[93]

[90] Houdinis kollektionsbok (2010), Fall/Winter & Spring/Summer
[91] Houdinis kollektionsbok (2010), Spring/Summer & Fall/Winter.
[92] E-post kontakt: Johansson, Karin (Löpande sedan 2009-12-03), Extern handledare, Houdini Sportswear AB.
[93] Andreas Engelhardt (2008), Global chemical fiber production +8%*, Melliand international* (Issue 4, September 2008), s. 220 – 221.

Houdini Sportswear AB har redan idag tjänsten att kunder kan lämna in sina utslitna plagg i polyester så att de kan återvinnas till nya klädesplagg. Företaget är den första europeiska partnern till det japanska företaget *Teijin Fibers* och deras återvinningssystem *Eco-Circle*. *Teijin Fibers* är ett företag i den stora japanska koncernen *Teijin Group* och de är världsledande för återvinning av polyester och företaget har utvecklat ett system som reducerar koldioxidutsläppen med 77 % och energiförbrukningen med 84 %. (Observera att detta är siffror för den japanska marknaden men det ger dig en indikation över hur stor effekterna blir).[94] Trots denna tjänst har *Houdini Sportswear AB* ännu inte fått in några använda plagg från sina kunder. Detta kan bero på olika parametrar som t.ex. att företaget fortfarande är relativt ungt, så kundernas plagg fortfarande används eller att informationen inte har nått fram till kunderna tillräckligt tydligt. Problematiken kan vara att företagets återförsäljare inte är tillräckligt pålästa och informerar kunden eller att slutkonsumenten helt enkelt saknar ambitionen att återvinna sitt plagg. Ett sätt att motivera kunderna till denna tjänst kan vara att införa ett återbäringssystem.[95]

Företaget använder sig i dagsläget av italienska och kinesiska leverantörer som återvinner PET-flaskor till vissa av sina plagg i återvunnen polyester (23,7 % av det totala sortimentet, addition av rad 7, 8 och 9, se tabell 4.1.).[96]

Houdini Sportswear AB har även det amerikanska företaget *Polartec* som leverantör. *Polartec* grundandes redan 1906 men då under namnet *Malden Mills Industries* och fick sitt stora genombrott 1979 när de som första företag lanserade fleece på marknaden.[97] De har som policy att enbart kalla sina textiler återvunna om de består av 50% eller mer återvunnet material. *Polartec* har tillsammans med företaget *Unifi* ett samarbete där de ska utveckla garnet *Repreve 100®* som består av 100% återvunnet material från PET-flaskor. *Polartec* har förhoppningen att efter lanseringen av detta garn, våren 2011 så kommer de lyckas öka sin egen produktion av återvunnet material.[98, 99]

4.2 Marknadsundersökning

En marknadsundersökning har gjorts på en population om 50 personer. Båda könen medverkar i studien (36 % män respektive 64 % kvinnor) i åldersgruppen 17-55 år. De tillfrågade personerna har ett varierande sport- och fritidsintresse men kan alla räknas som potentiella kunder till *Houdini Sportswear AB*. Ett aktivt val har gjorts att använda personer som inte har en djupare kunskap av textilier i studien. Denna studie har avsikt att ge en indikation om intresset och kunskapen för återvunna fibrer, för en mer omfattande undersökning krävs en större population.

Kontentan av marknadsundersökningen är att ett intresse för miljö- och hållbarhetsfrågor finns men få har stor kunskap om textiliers miljöpåverkan och dess återvinningsmetoder, förutom ”second-hand” alternativ. Utav de förfrågade är det 20 % som äger någon textil produkt i återvunnet material. För fördelningen av typ av produkt se diagram 4.1.

---

[94] http://www.houdinisportswear.com/se/about Hämtat 4 april, 2010.
[95] Personlig intervju: Johansson, K & M, Tapio 12 april, 2010.
[96] E-post kontakt: Johansson, Karin (Löpande sedan 2009-12-03), Extern handledare, Houdini Sportswear AB.
[97] http://www.polartec.com/#/about/ Hämtat 14 april, 2010.
[98] http://www.polartec.com/#/in-the-loop/ Hämtat 14 april, 2010.
[99] http://www.polartec.com/#/technologies/ecoengineering%E2%84%A2-recycled/ Hämtat 14 april, 2010.

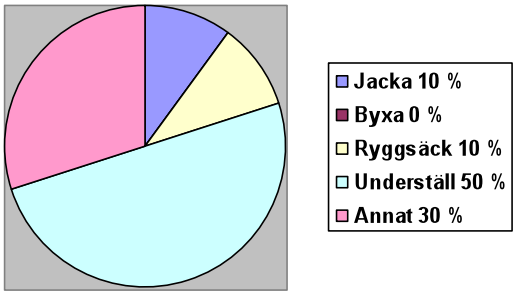


Diagram 4.1. Visar fördelningen för typ av produkt tillverkade i återvunnet material hos markandsundersökningens population.[100]

Viktiga fakta som kom fram i undersökningen var att hela 76 % tror att de skulle återvinna mer textilier om det fanns återbäringssystem, typ värdecheckar från företag och 66 % kan tänka sig att betala ett högre pris om produkten är återvunnen eller återvinningsbar. För fullständigt frågeformulär och statistik över marknadsundersökningen se bilaga 2.

[100] Data tagen från: Egen marknadsundersökning.

5. Kvalitativa experiment

Kemiskt återvunnen polyamid anses vara av samma kvalitet som jungfrulig, för att verifiera om detta påstående stämmer har dragprovningstester utförts. Efter dessa tester kan ett antagande om fiberns prestanda tas.

5.1 Dragprovning

5.1.1 Teori

Ett material utsätts för dragprovning för att verifiera att det håller dess utlovade egenskaper. Provningarna görs för att bestämma styvhet, brottstyrka och brottöjning för ett material. Man konstruerar och dimensionerar detaljer för provningen oftast utifrån materialets elasticitetsmodul och brottstyrka som normalt är framtagna genom dragprovning. Det här görs för att belastningen på materialet skall vara så verklighetstroget som möjligt. Böjstyvheten är en annan viktig parameter som bestäms genom böjprovning. Dragprovning används flitigt för att verifiera hur de mekaniska egenskaperna för materialet påverkas vid olika blandningar eller ändrade processparametrar.[101]

Dragprovning utförs vid konstant deformationshastighet och resultaten erhålls i form av sk. spännings-töjningsdiagram (σ(ε) diagram) där spänningen (σ) motsvarar kraft/tvärsnittsarea och töjningen (ε) förlängning/utgångslängd (diagram 5.1.).[102]

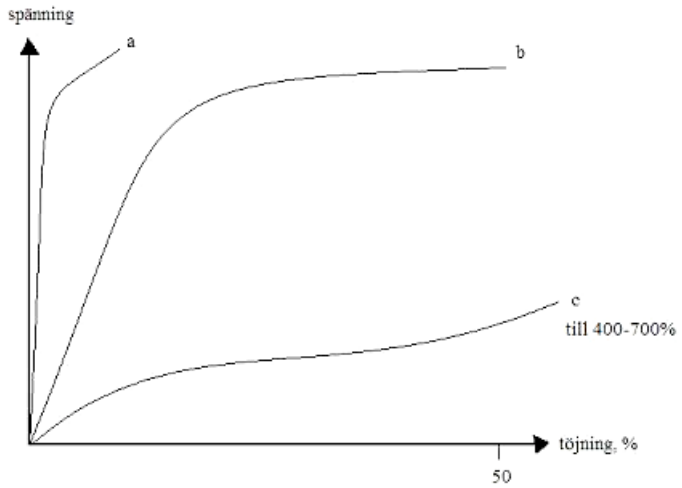


Diagram 5.1. visar ett spännings-töjningsdiagram där a representerar styva och spröda material, b styva och sega material och c mjuka och sega material.[103]

Om man förenklar principen för deformationen av plastmaterial kan man påstå att det deformeras elastiskt till en viss töjning, därefter plasticeras det och deformeras plastiskt till brott. Den skiljelinje där materialet plasticeras benämns flytgräns. När materialet plasticeras dras molekylkedjorna ut och tappar sin elasticitet. Efter att materialet har tappat sin elasticitet

[101] http://www.ivf.se/upload/pdf-filer/Produkter_tjanster/dragprov-08.pdf Hämtat 3 maj, 2010.
[102] *ibid.*
[103] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap*, Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 124.

får den andra egenskaper än ursprungsmaterialet. Elasticitetsmodulen kan betecknas som lutningen på den näst intill linjära delen av spännings-töjningskurvan, desto högre lutning desto högre E-modul. Elasticitetsmodulen är detsamma som initialmodul. För textila fibrer delar man ofta upp dem i två grupper, ”silkliknande” (silke, bomull, PET) och ”ulliknande” (ull, akryl, rayon). Den första gruppen har en relativ konstant och hög modul till brott där brottöjningen är relativt låg så de representerar linje a i diagrammet. Den andra gruppen har minskad modul vid relativ låg belastning som sedan följs av en flytning vid konstant belastning så de representerar linje c i diagrammet. Polyamid hamnar någonstans mittemellan som ett styvt och segt material, linje b. (För mer information, se avsnitt 2. Polyamid)

För att noggrant kunna bedöma töjningarna i materialet används en s.k. extensometer. En extensometer känner av rörelsen hos två punkter i midjezonen på materialet. Utdragningen i midjezonen brukar kallas för kalldragning och molekylerna här blir kraftigt orienterade i dragriktningen. Dragprovningsutrustningen kan även testa skjuvning, fläkning och kompression samt olika material förutom textil som plast, gummi, kompositer och limfogars styrka vid låg eller förhöjd temperatur.[104,105,106]

5.1.2 Information, resultat och analys av studie

Den återvunna väven i polyamid som används i studien kommer från företaget *Klättermusen AB*. Den har använts till försök av tillverkning av ryggsäckar. Råmaterialet kommer från garnleverantören *Hyousung* i Seoul, Sydkorea och är tillverkat av återvunna fisknät och mattor. Varunamnet för materialet är *Mipan Regen*®. Materialet har sedan vävts på ett väveri, även det belägget i Sydkorea. Textilen har belagts med en coating för att göra den vattentät. Väven är 420D (denier) och väger ca 208g/m2. *Klättermusen AB* använder idag ett liknande material från denna garnleverantör till tillverkning av ryggsäckar. Försök till fabrikation av byxor i detta material har även påbörjats.[107]

Den jungfruliga väven i polyamid kommer från företaget Didriksons AB 1913. Väven är 200D i varp och 300D i väft. Varan är belagd på ena sidan med polyuretan.[108]

Standarderna som används är ISO standarder för dragprovning av polymera material. Dessa är:
ISO 527-1 Determination of tensile properties, general principles.
ISO 527-3 Determination of tensile properties, test conditions for films and sheets.

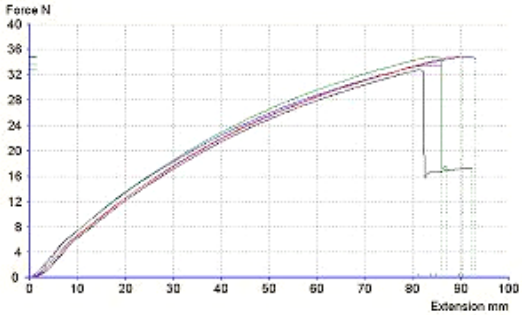
Studien har gjorts på fibrer från väftinlägget, fem prover från vardera väv. Alla tester har skett under samma förhållanden. Hastigheten för testen har varit konstant på 50 mm/min och provets testlängd har varit 50mm. Prov som inte uppfyllt standardernas krav har förkastats. Fibrernas grovlek räknades om till enheten tex (vikt i gram per kilometer) och erhöll värdet 33,33 tex för den jungfruliga väven respektive 46,67 tex för den återvunna.

Studier har även gjorts på väv, i både varp- och väftriktning. Resultatet från studierna kan ses i bilaga 1. Men resultatet och analysen presenteras inte i detta avsnitt då det är enklare att göra en jämförelse mellan de två materialen på fibernivå.

---

[104] J Becker & H, Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 73.
[105] http://www.ivf.se/upload/pdf-filer/Produkter_tjanster/dragprov-08.pdf Hämtat 3 maj, 2010.
[106] Thomas Hjertberg (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 125, 145.
[107] E-post kontakt: Nyström, Håkan (Löpande sedan 2010-04-13), Designer, Klättermusen AB.
[108] Westbom, Johanna (2009-05-10), CSR och kvalitetsansvarig, Didriksons AB 1913.

Resultat för de två fibrerna kan ses ur två diagram (diagram 5.2.) som visar förhållandet mellan kraft [N] och förlängning [mm]



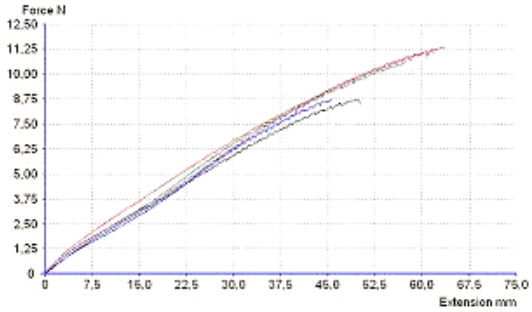


Diagram 5.2. Jungfrulig fiber Återvunnen fiber [109]

Vibrationerna som kan utläsas på linjerna i det jungfruliga diagrammet beror på att det inte uppstår brott på hela fibern samtidigt. Den återvunna fibern däremot är mer homogen och ger ett mer ”tydligt” brott.
Resultatet för olika parametrar kan betraktas nedan (tabell 5.1).

Tabell 5.1. Medelvärdet och standardavvikelsen kan ses för olika parametrar för de två olika fibrerna. För exakta data av varje provning se bilaga 1. Resultat mekaniska dragprovningstester.[110]

	Max kraft (N)	**Töjning vid max (%)**	**Töjning (%)**	**Kraft vid brott (N)**	**Förlängning vid brott (mm)**	**Initialmodul (N/tex)**	**Uthållighet (N/tex)**
Jungfrulig Medelvärde	10,129	110,940	111,580	10,045	10,045	0,290	0,304
Jungfrulig Standard Avvikelse	1,3048	15,514	15,397	1,327	1,327	0,020	0,039
Återvunnen Medelvärde	34,208	171,760	179,520	27,416	27,416	0,688	0,733
Återvunnen Standard avvikelse	0,999	7,969	6,224	9,126	9,126	0,017	0,021

Vid analys av studien bör man ha i åtanke att de två vävarna kommer från olika leverantörer med olika grovlek på garnet, 420D resp. 300D. En enhetsomvandling har därför gjorts för en jämförelse (33,33/46,67 ≈ 0,714). Ett antagande har gjorts att den här metoden är tillförlitlig och att dessa data är jämförbara.

Återvunnen (71,4 %) Medelvärde	24,425	122,637	128,177	19,575	19,575	0,491	0,523

Studien visar att prestandan för återvunnen fiber kan antas vara samma som den för jungfrulig fiber, i detta fall t.o.m. bättre. Materialens olika beläggningar kan dock ha en inverkan på

[109] Data tagen från: Egna mekaniska dragprovningsförsök.
[110] Data tagen från: Egna mekaniska dragprovningsförsök.

resultatet och det här har inte undersökts. Den återvunna fibern klarade av dubbelt så stor styrka vid brott än den jungfruliga. Även förlängningen var dubbelt så stor för den återvunna fibern.

För ett mer tillförlitligt resultat för studien borde de två vävarna vara från samma leverantör och med likadan grovlek men p.g.a. brist på tillgång och tid har detta tyvärr inte kunnat verkställas.

6. Slutsats och diskussion

Syftet med rapporten är följande; Är det lönsamt för *Houdini Sportswear AB* att implementera återvunnen polyamid i deras produktion med avseende på pris, prestanda och miljö? Enligt min mening kan olika slutsatser dras utifrån dessa synvinklar.

Med ett stigande oljepris kan det vara fördelaktigt ur en ekonomisk synvinkel att använda sig av återvunnen fiber. Marknadspriset för återvunnen polyamid är dock i dagsläget ca 25 % över det för jungfrulig. Med fler aktörer och större efterfrågan i framtiden kan dock detta förändras. För ett konfektionsföretag är det i dagsläget mycket kostsamt att byta till återvunna material. Marknadsundersökningen indikerar dock att ett stort antal konsumenter kan tänka sig att betala ett högre pris om produkten är återvunnen eller återvinningsbar. Men det är alltid en frågeställning hur detta påstående stämmer i realiteten. För att återvinning ska bli riktigt ekonomiskt lönsamt bör insamlings- och sorteringsprocessen utvecklas och bli mer centraliserad och mer utbredd. Investering i maskiner för återvinning kräver dessutom ett stort kapital och fordrar ett kontinuerligt flöde av avfall av likvärdig kvalitet för att bli vinstgivande.

Marknadsundersökningen har visat att intresse för miljö- och hållbarhetsfrågor inom textilsektorn finns men att det råder stor okunskap hos slutanvändarna. Företag kan motivera sina konsumenter till återvinning av sina plagg extra mycket genom att införa återbäringssystem. Dessa system har fördelen att plaggen returneras till företaget som tillverkat dem, alltså där det finns störst kunskap och de kan därmed återvinnas på optimalt sätt. I dagsläget är den kemiska återvinningen till mesta del lokaliserad i Asien och framförallt Japan. För att denna typ av återvinning ska växa krävs det inom en snar framtid att en liknande industri finns belägen i Europa där den största konsumtionen sker. Därmed undviker företag extra kostnader och miljöpåverkan vid transporter av material tur och retur. För att erhålla bättre kommunikation och framförallt lättare distribution av avfall bör återvinningsorganisationer av typ SMART (Second Materials and Recycled Textiles) uppmuntras. En rekommendation är att företag inom olika branscher ingår i organisationen för det kan leda till att avfall från ett företag ge råvara till en ny produkt för ett annat. Men för att det skall bli lönsamt och miljömässigt hållbart krävs det att företagen finns inom ett begränsat geografiskt område.

Prestandan vid mekanisk återvunnen fiber är av sämre kvalitet i jämförelse med jungfrulig men detta skall ändå ses som ett bra alternativ när slutprodukter fordrar lägre kvalitetskrav. Kemiskt återvunnen fiber påstås däremot vara av liknande kvalitet som jungfrulig och de mekaniska dragprovningsresultaten indikerar att de påståendena stämmer. Den här metoden kan därför anses vara ett bra alternativ. Återvinningen kräver dock att fibern som ska återvinnas renas och depolymeriseras på ett effektivt miljövänligt sätt för att ge en ny produkt av god kvalitet. En kontaminerad fiber får ingen hög prestanda och det blir svårare att t.ex. färga eller utföra beredningar på en sådan.

Ur miljöperspektiv är det alltid en fördel att använda sig av återvunnet material. Polyamidfibern är en utav syntetfibrerna som kräver mest energi vid produktion och därmed släpper ut stor mängd koldioxid. Även om data för energiåtgång och koldioxidutsläpp för återvunnen polyamid kommer från företag så indikerar de på en reducering på 70 % för

energiåtgången och 80 % för koldioxidutsläppen vilket motiverar återvinning av fibern mycket. Dessutom tillverkas fibern ur oljan som är en ändlig resurs. Med dagens konsumtion kommer denna råvara ta slut inom en snar framtid. Även om en liten del av petrokemiska källor går till fiberproduktion bör återvinningen av dessa material öka. Fiberåtervinning bidrar även till att avfall som går till deponier minskar och materialet uppfyller ett bättre syfte genom att det återigen brukas.

Mina rekommendationer specifikt till *Houdini Sportswear AB* är att implementera återbäringssystem för sina *Eco-Circle* produkter för att uppmuntra sina konsumenter till återvinning samt få dem att inse problematiken vid textilfiberproduktion. I dagsläget består 18 % av företagets totala sortiment (två kollektioner) av plagg där polyamid utgör huvudkomponenten. För att analysera hur företagets budget skulle påverkas om denna andel byttes ut till återvunnen polyamid så borde en djupare intern utredning göras. Men kontentan är att det är kostsamt att vara pionjärer inom ett område. Om företaget anser att de har en ekonomisk möjlighet är det fördelaktigt att involvera produkter av återvunnen polyamid i sitt sortiment. Annars rekommenderar jag att följa utvecklingen på nära håll och implementera materialet när fler leverantörer finns på marknaden och som förhoppningsvis ger ett lägre inköpspris.

Generellt sett på produktion och återvinning kommer enligt min mening mycket förändras i framtiden. I takt med att Asien och framförallt Kina industrialiseras kommer en balansering ske inom näringslivet. Större krav på att produkter är närproducerade och återvinningsbara kommer att ställas och detta kommer att involvera alla sorters produkter inom samtliga branscher. Ett företag måste ta ansvar för sina egna produkter och hela dess livscykel. Genom att t.ex. implementera återvunnen fiber i sin produktion visar ett konfektionsföretag sin miljöprofil och den tar sitt ansvar för en mer hållbar utveckling inom textilindustrin men detta kräver dock utveckling som gör den lönsam. Återvinning kommer aldrig att bli ett intressant alternativ för företag om den inte görs lönsam i alla led genom hela processen.

Referensförteckning

Referenser är angivna enligt ”Oxfordmodellen”.

Tryckta referenser

Alagirusamy, R & B.L, Deopura (Ed.) (2008), *Polyesters and polyamides* (The Textile Institute), Woodhead Publishing, Cambridge.

Andrady, L. Anthony (2003), *Plastics and the environment,* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Aguado, J & D, Serrano (1999), *Feedstock recycling of plastic wastes,* The royal society of chemistry, Camebridge.

Becker, J & H, Bertilsson (2002), *Polymera material kompendium,* Institutionen för polymera material, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Blackburn, R.S (Ed.) (2009), *Sustainable textiles – Lifecycle and environmental impact,* Woodhead Publishing, Cambridge.

Borén, Hans et al. (1997), *Kemiboken A,* Liber AB, Stockholm.

Burton, George et al. (1994), *Chemical storylines (Salters Advanced Chemistry),* Heinemann Publishers, Oxford.

Engelhardt, Andreas (2008), Global chemical fiber production +8%*, Melliand international* (Issue 4, September 2008), s. 220 – 221.

Fletcher, Kate (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys,* Earthscan, London.

Harper, A. Charles (2002), *Handbook of plastics, elastomers & composites (4th edition),* McGraw – Hill, New York.

Hatch. L, Kathryn (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis.

Hjertberg, Thomas (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Horrocks A. Richard (Ed) (1999), *Ecotextile -98 –Sustainable development,* Woodhead publishing, Cambridge.

Houdinis kollektionsbok (2010), Spring/Summer & Fall/Winter.

Kärrman, A & E, Rydin (2003), *Varukonstruktion väv*, Kompetenskompaniet.

Laursen, S.E et al. (1997), *Environmental assessment of textiles,* Danish environmental protection agency, Copenhagen.

Magruder, Karla (2009), Recovering costs*, Ecotextile news* (Juli 2009), s. 16-17.

Morris, David (2008), The carbon challenge for textile fibres, *Ecotextile news* (Juli 2008), s. 30 – 31.

Mowbray, John (Ed.), Control union revises new recycled standard (2008-09), *Ecotextile news* (December 2008/Januari 2009) s. 5.

Mowbray, John (Ed.), Firms sign up to recycled standard (2009), *Ecotextile news* (Juli 2009), s. 20.

Mowbray, John (Ed.), Patagonia climbs over recycling problems, *Ecotextile news* (April 2009), s. 16 – 18.

Mowbray, John (Ed.), Textile recycling in Japan rises (2008), *Ecotextile news* (Oktober 2008), s. 35.

Mowbray, John (Ed.), Toray and patagonia team up to recycle nylon (2008) *Ecotextile news* (Februari 2008), s. 12-13.

Mowbray, John (Ed.), Toray offers recycled nylon (2007), *Ecotextile news* (Maj 2007), s. 23.

Rehnby, Weronika (2006), *Textila beredningsprocesser,* Textilhögskolan, Högskolan I Borås.

Scheirs, John (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications,* John Wiley & sons, Chicester.

Slater, Keith (2003), *Environmental impact of textiles; production, processes and protection,* Woodhead publishing, Cambridge.

Tingsvik, Kenneth (2009), *Kompendium i textilkemi för textilingenjörsprogrammet,* Textilhögskolan, Högskolan i Borås.

Tingsvik, Kenneth (2009), *Kompendium i fiberkemi (Textilkemi med miljökemi),* Textilhögskolan, Högskolan i Borås.

Elektroniska referenser

Cherrett, Nia et al (2005), *Ecological footprint and water analysis of cotton hemp and polyester,* Stockholm Environment Institute, http://organicexchange.org/Farm/Reading%20and%20Refrences/Cotton%20Hemp%20Polyester%20study%20SEI%20and%20Bioregional%20and%20WWF%20Wales.pdf Hämtat 5 maj, 2010.

http://pi.hyosung.com/pi_eng/fiber/nylon/mipan_13.jsp Hämtat 1 maj, 2010.

http://sv.wikipedia.org/wiki/Oljefat Hämtat 4 juni, 2010.

http://textilerecycle.org/ Hämtat 5 april, 2010.

http://www.houdinisportswear.com/se/ Hämtat 4 april, 2010.

http://www.houdinisportswear.com/se/about Hämtat 4 april, 2010.

http://www.ivf.se/upload/pdf-filer/Produkter_tjanster/dragprov-08.pdf Hämtat 3 maj, 2010.

http://www.polartec.com/#/about/ Hämtat 5 april, 2010.

http://www.polartec.com/#/in-the-loop/ Hämtat 5 april, 2010.

http://www.polartec.com/#/technologies/ecoengineering%E2%84%A2-recycled/ Hämtat 5 april, 2010.

http://www.wiki.envicard.se/index.php?title=Polyamid Hämtat 11 april, 2010.

http://www.wiki.envicard.se/index.php?title=Polyester Hämtat 11 april, 2010.

E-post kontakt

Johansson, Karin (Löpande sedan 2009-12-03), Extern handledare, Houdini Sportswear AB.

Nyström, Håkan (Löpande sedan 2010-04-13), Designer, Klättermusen AB.

Skrifvars, Mikael (Löpande sedan 2010-03-23), Intern handledare, Professor Polymer teknologi, Högskolan i Borås.

Tapio, Mia (Löpande sedan 2009-12-03), Extern handledare, Houdini Sportswear AB.

Westbom, Johanna (2009-05-10), CSR och kvalitetsansvarig, Didriksons AB 1913.

Personlig intervju

Johansson, K & M, Tapio 12 april, 2010.

Referenser figurer, diagram och tabeller

Figur 2.1. Hatch. L, Kathryn (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 204.

Figur 2.2. Hatch. L, Kathryn (1993), *Textile Science,* University of Arizona, Minneapolis. s. 199.

Diagram 2.1. Data tagen från: Morris, David (2008), The carbon challenge for textile fibres, *Ecotextile news* (Juli 2008), s. 30 – 31.

Diagram 2.2. Data tagen från: Laursen, S.E et al. (1997), *Environmental assessment of textiles,* Danish environmental protection agency, Copenhagen. s. 45,46,64,99 & Fletcher, Kate (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys,* Earthscan, London. s. 6-14.

Diagram 2.3. Data tagen från: Fletcher, Kate (2008), *Sustainable fashion and textiles: Design journeys,* Earthscan, London. s. 12-13.

Figur 3.1. Scheirs, John (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications,* John Wiley & sons, Chicester. s. 289.

Figur 3.2. Scheirs, John (1998), *Polymer recycling: science, technology and applications,* John Wiley & sons, Chicester. s. 295.

Figur 3.3. http://pi.hyosung.com/pi_eng/fiber/nylon/mipan_13.jsp Hämtat 1 maj, 2010.

Figur 4.1. Houdinis kollektionsbok (2010), Fall/Winter, s. 1.

Tabell 4.1. Houdinis kollektionsbok (2010), Fall/Winter & Spring/Summer

Diagram 4.1. Data tagen från egen marknadsundersökning.

Diagram 5.1. Hjertberg, Thomas (2005), *Inledande polymervetenskap,* Institutionen för kemi och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. s. 124.

Diagram 5.2 Data tagen från egna mekaniska dragprovningsförsök.

Tabell 5.1. Data tagen från egna mekaniska dragprovningsförsök.

Bilaga 1 Resultat mekanisk dragprovning

Resultat mekanisk dragprovningstest – Fiber

Batch	Linear Density (tex)	Max Force (N)	Elong at Max (%)	Elongation (%)	Force at Break (N)	Extension at Break (mm)
Recycled 1	46,66999817	32,75999832	162	184,399993	17,2800006	17,2800006
Recycled 2	46,66999817	34,84000015	180,8000031	186,199996	34,4399986	34,4399986
Recycled 3	46,66999817	34,95999908	169,8000031	174,199996	17,6000003	17,6000003
Recycled 4	46,66999817	33,56000137	167,1999969	172	33,1199989	33,1199989
Recycled 5	46,66999817	34,91999817	179	180,800003	34,6399993	34,6399993
Mean value	-	34,20799942	171,7600006	179,519998	27,4159996	27,416
Std. Dev	-	0,998558873	7,969191788	6,22350263	9,12620756	9,1262076
Virgin 1	33,33000183	8,699999809	98,69999695	100,199996	8,48999977	8,48999977
Virgin 2	33,33000183	8,770000458	91,19999695	91,4000015	8,77000045	8,77000045
Virgin 3	33,33000183	10,60000038	114,5999985	115,050003	10,5625	10,5625
Virgin 4	33,33000183	11,19999981	123	124,050003	11,0249996	11,0249996
Virgin 5	33,33000183	11,375	127,1999969	127,199996	11,375	11,375
Mean value	-	10,12900009	110,9399979	111,580000	10,0444999	10,0445
Std. Dev	-	1,304829419	15,51380099	15,3969397	1,32672093	1,3267209

Batch	Initial Mod (N/tex)	Tenacity (N/tex)
Recycled 1	0,678379357	0,701949835
Recycled 2	0,691641212	0,746518135
Recycled 3	0,712361991	0,74908936
Recycled 4	0,689397454	0,719091475
Recycled 5	0,667601049	0,748232245
Mean value	0,687876213	0,73297621
Std. Dev	0,016713133	0,021396178
Virgin 1	0,287655711	0,261026114
Virgin 2	0,270307094	0,263126314
Virgin 3	0,291008711	0,318031818
Virgin 4	0,279318482	0,336033612
Virgin 5	0,32381323	0,341284126
Mean Value	0,290420645	0,303900397
Std. Dev	0,02031544	0,039148799

Resultat mekanisk dragprovningstest – jungfrulig väv

Riktning varp

	Thick (mm)	Yield (MPa)	Yield Force (N)	Elong at Yield (%)	Tensile (MPa)	Max Force (N)
1	0,239999995	130,3999939	782,4000244	46,45000076	130,3999939	782,4000244
2	0,239999995	122,25	733,5	47,65000153	122,25	733,5
3	0,239999995	124,9333344	749,5999756	49,72499847	124,9333344	749,5999756
4	0,239999995	113,75	682,5	45,15000153	113,75	682,5
5	0,239999995	121,5	729	46,65000153	121,5	729
6	0,239999995	123,75	742,5	48,54999924	123,75	742,5
7	0,239999995	125,8666687	755,2000122	49,54999924	125,8666687	755,2000122
8	0,239999995	122,75	736,5	47,84999847	122,75	736,5
9	0,239999995	130,9333344	785,5999756	49,34999847	130,9333344	785,5999756
10	0,239999995	127,3333359	764	49,09999847	127,3333359	764
Mean Value	-	124,3466667	746,0799988	48,00249977	124,3466667	746,0799988
Std. Dev	-	4,936214948	29,61729205	1,534982113	4,936214948	29,61729205

	Elong at Max (%)	Elongation (%)	Stress at Break (Mpa)	Force at Break (N)
1	46,45000076	46,5	130,3999939	782,4000244
2	47,65000153	47,70000076	122,25	733,5
3	49,72499847	49,72499847	124,9333344	749,5999756
4	45,15000153	45,20000076	113,75	682,5
5	46,65000153	46,70000076	121,5	729
6	48,54999924	48,59999847	123,75	742,5
7	49,54999924	49,59999847	125,8666687	755,2000122
8	47,84999847	48	122,75	736,5
9	49,34999847	49,40000153	130,9333344	785,5999756
10	49,09999847	49,09999847	127,3333359	764
Mean Value	48,00249977	48,05249977	124,3466667	746,0799988
Std. Dev	1,534982113	1,52417719	4,936214948	29,61729205

Resultat mekanisk dragprovningstest – jungfrulig väv

Riktning väft

	Thick (mm)	Yield (MPa)	Yield Force (N)	Elong at Yield (%)	Tensile (MPa)	Max Force (N)
1	0,239999995	91,125	546,75	37,15999985	91,125	546,75
2	0,239999995	94,125	564,75	37,08000183	94,125	564,75
3	0,239999995	88,125	528,75	37,75999832	88,125	528,75
4	0,239999995	96,75	580,5	37,27999878	96,75	580,5
5	0,239999995	91,375	548,25	37	91,375	548,25
6	0,239999995	96,625	579,75	37,47999954	96,625	579,75
7	0,239999995	91,125	546,75	36,95999908	91,125	546,75
8	0,239999995	89,5	537	36,75999832	89,5	537
9	0,239999995	90,125	540,75	38,95999908	90,125	540,75
10	0,239999995	89,375	536,25	35,47999954	89,375	536,25
Mean Value	-	91,825	550,95	37,19199944	91,825	550,95
Std. Dev	-	3,013972093	18,08383256	0,866728038	3,013972093	18,08383256

	Elong at Max (%)	Elongation (%)	Stress at Break (Mpa)	Force at Break (N)
1	37,15999985	37,20000076	91,125	546,75
2	37,08000183	37,08000183	94,125	564,75
3	37,75999832	37,79999924	88,125	528,75
4	37,27999878	37,52000046	96,125	576,75
5	37	37,08000183	91	546
6	37,47999954	37,52000046	96,625	579,75
7	36,95999908	37	91,125	546,75
8	36,75999832	36,79999924	89,5	537
9	38,95999908	39	90,125	540,75
10	35,47999954	35,52000046	89,375	536,25
Mean Value	37,19199944	37,25200043	91,725	550,35
Std. Dev	0,866728038	0,871075798	2,912973853	17,47784312

Resultat mekanisk dragprovningstest – återvunnen väv

Riktning varp

	Thick (mm)	Yield (Mpa)	Yield Force (N)	Elong at Yield (%)	Tensile (Mpa)	Max Force (N)
1	0,379000008	116,7546158	1106,25	60,52500153	116,7546158	1106,25
2	0,379000008	124,9340363	1183,75	66,59999847	124,9340363	1183,75
3	0,379000008	123,3509216	1168,75	65,625	123,3509216	1168,75
4	0,379000008	122,9551468	1165	67,19999695	122,9551468	1165
5	0,379000008	109,2348251	1035	54,45000076	109,2348251	1035
6	0,379000008	118,8654327	1126,25	60,82500076	119,920845	1136,25
7	0,379000008	126,6490784	1200	67,5	126,6490784	1200
8	0,379000008	120,9762497	1146,25	60,67499924	120,9762497	1146,25
9	0,379000008	121,6358871	1152,5	64,80000305	121,6358871	1152,5
10	0,379000008	118,9973602	1127,5	62,77500153	118,9973602	1127,5
Mean Value	-	120,4353554	1141,125	63,09750023	120,5408966	1142,125
Std. Dev	-	4,932482026	46,73525466	4,086570355	4,906380027	46,487939

	Elong at Max (%)	Elongation (%)	Stress at Break (Mpa)	Force at Break (N)
1	60,52500153	65,77500153	114,1160965	1081,25
2	66,59999847	66,59999847	124,9340363	1183,75
3	65,625	68,02500153	107,2559357	1016,25
4	67,19999695	68,40000153	119,1292877	1128,75
5	54,45000076	55,57500076	109,1029053	1033,75
6	65,17500305	65,40000153	119,920845	1136,25
7	67,5	68,32499695	124,0105515	1175
8	60,67499924	63,59999847	120,3166199	1140
9	64,80000305	64,875	121,6358871	1152,5
10	62,77500153	64,125	111,6094971	1057,5
Mean Value	63,53250046	65,07000008	117,2031662	1110,5
Std. Dev	4,049142948	3,750699754	6,25322968	59,24935536

Resultat mekanisk dragprovningstest – återvunnen väv

Riktning väft

	Thick (mm)	Yield (Mpa)	Yield Force (N)	Elong at Yield (%)	Tensile (Mpa)	Max Force (N)
1	0,379000008	80,2099762	764	38,79999924	80,2099762	764
2	0,379000008	77,71653748	740,25	34,20000076	77,71653748	740,25
3	0,379000008	80,88188934	770,4000244	49,70000076	80,88188934	770,4000244
4	0,379000008	89,86876678	856	49,875	89,86876678	856
5	0,379000008	82,72966003	788	50,17499924	82,72966003	788
6	0,379000008	84,30445862	803	48,59999847	84,30445862	803
7	0,379000008	96,37795258	918	50,17499924	96,37795258	918
8	0,379000008	91,02362061	867	51,90000153	91,02362061	867
9	0,379000008	84,40944672	804	42,45000076	84,40944672	804
10	0,379000008	97,00787354	924	49,5	98,16272736	935
Mean Value	-	86,45301819	823,4650024	46,5375	86,56850357	824,5650024
Std. Dev	-	6,761509304	64,40337953	5,945869743	6,968508698	66,37505188

	Elong at Max (%)	Elongation (%)	Stress at Break (Mpa)	Force at Break (N)
1	38,79999924	38,79999924	80,2099762	764
2	34,20000076	34,20000076	77,71653748	740,25
3	49,70000076	49,79999924	80,88188934	770,4000244
4	49,875	49,875	89,86876678	856
5	50,17499924	50,32500076	82,72966003	788
6	48,59999847	48,59999847	84,30445862	803
7	50,17499924	50,17499924	96,37795258	918
8	51,90000153	51,97499847	91,02362061	867
9	42,45000076	43,09999847	81,57480621	777
10	54,97499847	55,5	98,05773926	934
Mean Value	47,08499985	47,23499947	86,27454071	821,7650024
Std. Dev	6,477291242	6,519545258	7,102651132	67,65276355

Bilaga 2. Frågeformulär och statistik för marknadsundersökning

1. **Kön?**	Man	18
	Kvinna	32
2. **Har du någon textil produkt i återvunnet material?**	Ja	10
	Nej	34
	Vet ej	6
3. **Om ja, vilken typ av produkt?**	Jacka	1
	Byxor	0
	Ryggsäck	1
	Underställ	5
	Annat	3
4. **Kan du tänka dig att betala ett högre pris för en återvunnen eller återvinningsbar produkt?**	Ja	33
	Nej	17
5. **Hur skulle du värdera din kunskap om textilier och dess miljöpåverkan?**	Stor	3
	Relativt stor	6
	Normal	25
	Liten	10
	Nästintill obefintlig	6
6. **Hur skulle du värdera din kunskap om återvinning av textilier?**	Goda kunskaper om olika återvinningssätt	8
	Second Hand, känner inte till ngn annan lösning?	35
	Liten kunskap	7
7. **Skulle du återvinna textlier mer om du fick något i utbyte (typ värdececkar)?**	Ja	38
	Nej	2
	Vet inte	10
8. **Har du ett intresse av miljö- och hållbarhetsfrågor inom textilindustrin**	Ja, ett stort intresse. Det är viktig i alla branscher.	28
	Ja, ett intresse finns.	15
	Jag är inte särskillt intresserad.	5
	Nej, jag är inte intresseras alls.	2