

Biokatalytische voorbehandelingsprocessen van katoen: industriële toepassing van academisch onderzoek

G.H. Bouwhuis^{1,2}, G.J. Brinks² and M.M.C.G. Warmoeskerken¹

¹Universiteit Twente, Faculteit Construerende Technische Wetenschappen, leerstoel Engineering of Smart Materials, Nederland

²Saxion Enschede, Kenniscentrum Design and Technology, Nederland

g.h.bouwhuis@utwente.nl

Introductie

Er is veel research verricht naar de ontwikkeling van enzymatische textielprocessen, waarbij op laboratoriumschaal de focus is gelegd op de werking van de enzymen. Ondanks al deze inspanningen is het tot heden nauwelijks gelukt om de laboratoriumresultaten op te schalen naar industrieel niveau. Ondernemingen worden tegenwoordig geconfronteerd met snelle ontwikkelingen in haar markten, logistieke veranderingen, hoge sociale druk en het nemen van milieuverantwoordelijkheid. Daarnaast worden de ondernemingen meer en meer gedwongen om een toenemende hoeveelheid informatie te verschaffen aan overheden, aandeelhouders, lobbyisten en actiegroepen. Ondernemingen moeten voldoen aan de vraag naar informatie. Dit leidt vaak tot verlies van focus op het gebied van product- en procesontwikkeling. De theorie en praktijk van baanbrekende innovaties laat zien dat ondernemingen, die terecht trots zijn op hun prestaties in het verleden, tegenwoordig niet meer de leidende bedrijven zijn die nieuwe producten en toepassingen succesvol in de markt introduceren. Dit is uitstekend beschreven in de studie van Harvard hoogleraar Clayton Christensen [1]. De textielindustrie is geen uitzondering op deze waarneming. Gebrek aan managementondersteuning bij de ontwikkeling van nieuwe producten en processen heeft geleid tot een afname van de investeringen in deze activiteiten. Deze ontwikkeling zal er uiteindelijk toe leiden dat de onderneming zal krimpen en uiteindelijk haar activiteiten zal beëindigen. Naast de aarzeling van het topmanagement van textielbedrijven om zich te richten op nieuwe ontwikkelingen, is vastgesteld dat ook het middlemanagement aarzeland en afhoudend reageert op nieuwe ontwikkelingen. Eén van de redenen van deze afhoudende reactie is dat de chemie en fysiologie van veel textielprocessen nog niet volledig bekend is. Vanuit dit gebrek aan kennis is het gemakkelijk te verklaren dat het middlemanagement afhoudend reageert. De consequenties van veranderingen in producten of processen zijn immers niet of slechts beperkt voorspelbaar. Veranderingen kunnen niet op pilot-scale of industriële schaal getest worden. Dit wordt veroorzaakt door enerzijds de onmogelijkheid om industriële omstandigheden in het laboratorium na te bootsen, anderzijds doordat de beschikbare pilot-scale apparatuur erg kostbaar is. Gelukkig realiseren steeds meer textielbedrijven zich dat investeren in nieuwe producten en processen een voorwaarde is om te overleven en om op lange termijn winst te genereren. Nieuwe ontwikkelingen zijn van doorslaggevend belang voor toekomstig succes. Indien ondernemingen besluiten om te investeren in nieuwe ontwikkelingen is het duidelijk dat de kans op mislukking ten gevolge van de beperkte investeringsruimte geminimaliseerd dient te worden. Het is daarom van groot belang dat product- en procesontwikkeling opgezet wordt met externe partners/specialisten. Individuele textielbedrijven niet namelijk niet in staat alle stappen van idee-ontwikkeling tot prototyping en industrieel implementeren en testen zelf te organiseren. Deze problematiek is karakteristiek voor kleine en middelgrote ondernemingen (MKB-bedrijven).

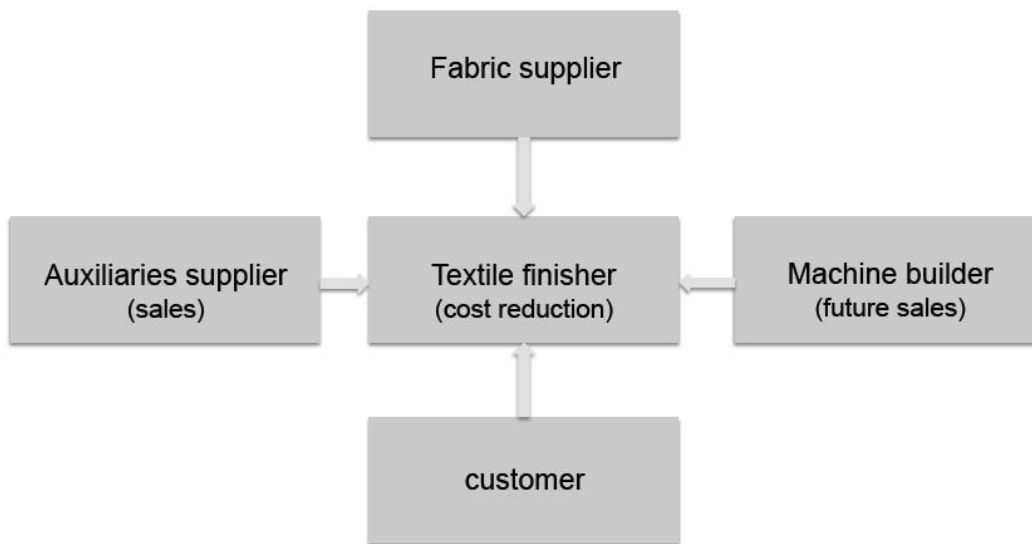
In de onderhavige studie is samenwerking gerealiseerd op twee research niveaus. Het eerste niveau is op kennis en kunde gebaseerd. Hiertoe is een samenwerking opgezet tussen enerzijds de kennisinstituten, Universiteit Twente en Saxion en anderzijds een textielchemicaliën leverancier, te weten Tanatex Chemicals. Hier heeft een nauwe samenwerking plaatsgevonden om het nieuwe proces te onderzoeken, de procescondities en de interactie van de verschillende chemicaliën en het textiele substraat vast te stellen voor de verschillende subprocessen tijdens de voorbehandeling van katoen. Het tweede researchniveau heeft betrekking op de implementatie van het nieuwe proces. Hiertoe hebben de kenniscentra en chemicaliënleverancier voor de implementatie van het nieuwe proces nauw samengewerkt met de industrie. De focus lag hier vooral op de interactie tussen de chemie, die in het nieuwe proces gebruikt wordt, de industriële installatie en het te bewerken substraat.

In het onderzoek is een samenwerking tussen alle belanghebbenden gerealiseerd. De samenwerkende partijen zijn geselecteerd volgens het criterium 'wie eraan verdient of een belang heeft'. Om deze vraag te beantwoorden is een eenvoudige weergave van de waardeketen geschetst in figuur 1 [2].

Het belang van de waardeketen en de researchtrechter

Uit figuur 1 blijkt de beantwoording van de vraag 'wie de belanghebbenden zijn bij een nieuw proces' niet moeilijk te zijn. In het schema is de waardeketen op de verticale as en de ondernemingen zijn op de horizontale as weergegeven. Op basis hiervan zijn de belangstellenden voor het nieuwe proces als volgt in kaart gebracht:

1. Textiel veredelingsbedrijven
De textiel veredelingsbedrijven hebben belang bij kostenreductie op het gebied van water en energie en de reductie van de kosten voor het reinigen van het afvalwater.
2. Chemicaliën leverancier
In het nieuwe proces worden nieuw ontwikkelde chemicaliën toegepast en daarbij heeft de leverancier een commercieel belang.
3. Machine leverancier
Het is waarschijnlijk dat het nieuwe proces kan worden toegepast op bestaande installaties. Hier heeft de leverancier dus geen direct commercieel belang. Wel is er sprake van een indirect commercieel belang, omdat deze ontwikkeling naar verwachting zal leiden tot verdere optimalisatie van het voorbehandelingsproces. Dit zal waarschijnlijk resulteren in verbeteringen aan toekomstige installaties. Dit effect wordt pas verwacht na toekomstige implementatieprojecten.



Figuur 1: Vereenvoudigde weergave van de positie van de partners in de waardeketen [4].

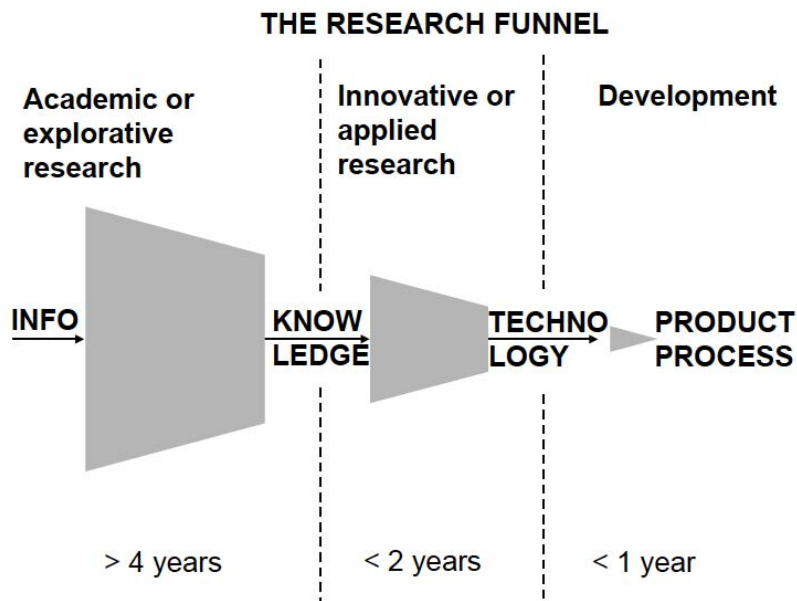
Op basis van deze kennis kan worden geconcludeerd dat succesvolle implementatie van het nieuwe proces afhangt van de samenwerking tussen het textiel veredelingsbedrijf en de chemicaliën leverancier. De rol van de chemicaliën leverancier is het verrichten van onderzoek naar nieuwe processen en de implementatie daarvan in textielveredelingsbedrijven. In dit geval was academische research de start van de ontwikkeling. De nieuw ontwikkelde kennis dient te worden geïmplementeerd door de industrie. Voordat de implementatie door de industrie kan plaatsvinden is het noodzakelijk om de 'academische kennis' om te zetten in industrieel toepasbare technologie. Hierbij dient vooral de interactie tussen de toegepaste chemie, industriële installaties en procescondities onderzocht te worden. Deze integrale aanpak geeft een betere kans op succesvolle implementatie.

Kennisinstellingen die zich bezig houden met toegepast onderzoek en dus werkzaam zijn in het gebied tussen universiteiten en industrie, spelen een belangrijke rol in de vertaling van academisch onderzoek naar industriële toepassing. Het ontwikkelingsproces van academische kennis naar industriële implementatie is schematisch weergegeven in figuur 2: de research trechter. Bij dit onderzoek zijn de onderstaande partners betrokken:

- TanatexChemicals, gevestigd in Ede, Nederland. Deze partner is chemicaliën leverancier.
- TenCate Advanced Textiles, gevestigd in Nijverdal, Nederland. Deze partner is een textielveredelingsbedrijf en heeft de beschikking over een brede continu-voorbehandelinginstallatie.

- Vlisco Nederland, gevestigd in Helmond, Nederland. Deze partner is een textielveredelingsbedrijf en heeft de beschikking over een voorbehandelinginstallatie voor de bewerking van het katoenen doek in strengvorm.

Alle partners zijn lid van de Stichting EFSM. Deze stichting verenigt industriële partners en bevordert academisch textielonderzoek in het algemeen en in het bijzonder voor haar leden.



Figuur 2: De research trechter (McKinsey)

Uit figuur 2 blijkt dat de ontwikkeling van academische kennis langetermijnresearch is. Toegepaste research is middellangetermijnresearch en levert de vereiste technologie aan de industrie. De industrie ten slotte voert de kortetermijnontwikkeling uit. In dit proces van academische research naar industriële implementatie zijn researchers betrokken met een verschillende focus. Om een nieuw proces te implementeren nadat de academische research is uitgevoerd, is het noodzakelijk deze kennis te vertalen, voordat deze kan worden toegepast. Het Kenniscentrum Design en Technologie van Saxion heeft een doorslaggevende rol gespeeld in deze vertaling van academische kennis. Het is de verwachting dat het nieuwe voorbehandelingsproces voor katoen voordelig zal zijn in termen van reductie van het water- en energieverbruik. Bovendien mag een reductie van de kosten van afvalwater verwacht worden [3]. Het kostenvoordeel is een belangrijk aspect in de communicatie met de partners geweest tijdens de uitvoering van het onderzoek.

Resultaat

Het nieuwe proces, dat op lab-schaal is ontwikkeld bij Satta e Bottelli/Italië, is getest op industriële schaal in een pad batch-hot bleach voorbehandelingsproces voor katoen. De verschillen tussen het conventionele en nieuwe voorbehandelingsproces bij Satta e Bottelli zijn weergegeven in tabel 1.

Satta e Bottelli Case		
Kwaliteit: 100% katoen, percal	Conventioneel proces	Nieuwe proces
Chemie	amylase	amylase (1.7 g/l), cutinase (2.25 g/l), pectinase (1.5 g/l)
	bleek chemie: hoge concentratie alkali	bleek chemie: lage concentratie alkali
Proces condities		
Impregneren enzymen	60°C, pick-up 70%	60°C, pick-up 70%
Reactie condities	kamer temperatuur	kamer temperatuur
Spoelen	>95°C, 6 l/kg	<50°C, 6 l/kg
Impregneren bleekchemie	kamer temperatuur	kamer temperatuur
Reactie condities	100°C, 100 % rlv	100°C, 100 % rlv

bleekstomer		
Spoelen	>95°C, 7 l/kg	<60°C, 6 l/kg

Tabel 1: Overzicht van de verschillen tussen het conventionele en nieuwe voorbehandelingproces tijdens de 1^e industriële experimenten in mei 2010.

De industriële experimenten zijn uitgevoerd met percal. Percal is een fijn 100% katoenen weefsel in platbinding. In het weefsel zijn fijne ketting- en inslaggarens gebruikt met een hoge ketting- en inslagdichtheid. Het doekgewicht is ongeveer 130 g/m². In tabel 2 wordt het resultaat van de experimenten met percal, dat volgens het nieuwe proces is behandeld, vergeleken met algemeen geaccepteerde waarden en met het standaard proces van Satta e Bottelli. De resultaten zijn na de behandeling met de enzymen amylase, cutinase en pectinase gemeten en worden gerapporteerd in ontsterkinggraad, hydrofiliteit en rest pectinegehalte. De witheid van het doek wordt uitgedrukt in de witheidsgraad volgen de CIE-lab meetmethode en de S-factor. De S-factor is een indicatie voor de beschadiging van de katoenvezel na het voorbehandelingproces. De resultaten van de gerapporteerde experimenten kunnen naar verwachting verder worden geoptimaliseerd door aanpassing van de gebruikte concentraties bleekchemicaliën.

Percal	ruwdoek	standaard proces	algemeen geaccepteerde waarden	bio-katalytische voorbehandeling
<u>Witheidsgraad (Cie/D65)</u>				
-basis	-	78	>70	71
<u>Beschadigingsfactor</u>				
-DP-waarde	2371	1922	-	2033
-S-factor	-	0.26	<0.50	0.19
<u>Ontsterkingsgraad</u>				
-TEGEWA-violet scale waarde	starch	9	≥7	7
- PVA	PVA	-	-	-
<u>Hydrofiliteit</u>				
-Tijd (s)	-	1	≤3	2
-Ketting (mm)	-	30	-	32
-Inslag (mm)	-	32	-	30
<u>Pectine gehalte (Ruthenium rood test)</u>				
- Kleurdiepte (% vs. ruwdoek 100%)	100	37	<50	44

Tabel 2: Overzicht van de resultaten van de industriële experimenten

Evaluatie van de kostenreductie van water, energie en afvalwater

Ten bate van het onderzoek is veel kostprijninformatie over voorbehandelingprocessen van katoen verzameld bij verschillende ondernemingen. Deze informatie is geanonimiseerd en weergegeven in een zogenaamd 'model voorbehandelingbedrijf'. Deze hypothetische onderneming produceert per week 500.000 meter doek in een bepaalde katoenen kwaliteit van circa 130 g/m². Het productieproces is de voorbehandeling van katoen en wordt uitgevoerd op één installatie. In het onderzoek wordt ervan uitgegaan dat besparingen realiseerbaar zijn op het gebied van water-, energie- en afvalwaterkosten en dat de kostenreductie de aanjager zal zijn voor de implementatie van het nieuwe proces.

Waterverbruik

In de processtap 'wassen na het bleken' worden waterbesparingen verwacht van het nieuwe proces na optimalisatie op industriële schaal. In het nieuwe proces wordt -in vergelijking met het conventionele proces- gebleekt met lage concentraties alkali. De reductie van alkali is mogelijk in verband met de afbraak van pectine in de primaire wand van de katoenvezel tijdens de enzymatische voorbehandelingstap. De gerealiseerde vermindering van alkali in het bleekproces maakt minder intensief wassen en daarmee dus een lager waterverbruik mogelijk. Thans is een reductie in het waterverbruik gerealiseerd van 10%. Deze waarde is gebruikt in het kostenbesparingsmodel. De uiteindelijk te realiseren besparing bedraagt naar verwachting 20%. In de enzymatische voorbehandelingstap is een toename van het waterverbruik verwacht in verband met de toename van de afgebroken producten was en pectine in het afvalwater. De experimenten hebben echter

aangetoond dat het niet noodzakelijk is met extra water te wassen na de enzymatische voorbehandelingstap. In de financiële evaluatie worden de kosten van het waterverbruik uitgedrukt in de kosten per m³ industrieel water.

Energieverbruik

In het nieuwe proces is een aanmerkelijke reductie van het energieverbruik gerealiseerd. De wastemperatuur is gereduceerd van bijna 100°C tot 50°C en een verdere reductie tot 30°C lijkt realiseerbaar. Tijdens het stomen van het doek in de stoomkast wordt geen energiereductie gerealiseerd. De procescondities in de stoomkast blijven 100°C bij een relatieve luchtvochtigheid (rlv) van 100%. Zonder additionele investering is het niet mogelijk om te onderzoeken of de temperatuur in de stomer verlaagd kan worden. Bij een lagere temperatuur dan 100°C in de stomer is er een risico voor het ontstaan van condensatievlekken op het doek. Deze condensatievlekken leiden tot een andere aanverving van het voorbehandelde doek en worden daarom in de ververij aangemerkt als fout. Dit leidt tot afkeuren van het behandelde doek. Indien de temperatuur in de stomer verlaagd zou kunnen worden zal dit niet leiden tot een vergelijkbare kostenreductie als bij het verlagen van de wastemperatuur. De geringe kostenbesparing kan worden verklaard door de opgenomen hoeveelheid water in het doek voordat het in de stoomkast wordt opgewarmd tot 100°C en door de warmtecapaciteit van water en katoen in vergelijking met de hoeveelheid water die wordt gebruikt tijdens het wasproces. Daarom is uitsluitend de gerealiseerde energiekostenreductie tijdens het wasproces gecalculeerd. De energiekostenreductie is gecalculeerd op basis van de kostprijs voor aardgas, waarbij ook de aspecten klimaatverandering en CO₂-uitstoot zijn betrokken. Klimaatverandering en CO₂-uitstoot zijn belangrijke maatschappelijke onderwerpen. Er zijn internationale conferenties georganiseerd, waarin de doelstelling en regelingen om de klimaatverandering in te perken zijn aangekondigd. De Verenigde Naties organisatie(VN) heeft hierbij een leidende rol gespeeld. Het uiteindelijke doel van de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) is stabiliseren van de CO₂-uitstoot in de atmosfeer tot een niveau waarop er door menselijk handelen geen gevaar bestaat voor verstoring van het klimaat. Het Kyoto Protocol is een internationale overeenkomst, die is opgesteld onder de auspiciën van de UNFCCC. Het belangrijkste thema van het Kyoto Protocol is dat er bindende doelen zijn vastgelegd voor 37 geïndustrialiseerde landen en de Europese Unie voor de reductie van de uitstoot van CO₂. Gedurende de eerste periode van 5 jaar 2008–2012 is als doelstelling gedefinieerd dat een reductie per jaar wordt gerealiseerd van 5% ten opzichte van het emissieniveau in 1990 [<http://unfccc.int>]. Het is vastgelegd dat de individuele landen hun doelstelling realiseren door maatregelen op nationaal niveau. In de Europese Unie heeft dit geleid tot de zogenaamde 'CO₂-emissiehandel'. Deze handel is op 1 januari 2005 ingevoerd. In dit systeem zijn emissierechten toegewezen. De omvang van de emissierechten zijn gerelateerd aan het verbruik van aardgas [www.nlenergieenklimaat.nl]. Om de uitstoot van CO₂ te reduceren wordt een belasting, de zogenaamde emissierechten geheven door middel van een toeslag op de aardgasprijs. De hoogte van de belasting bedraagt € 0,029/m³ (privé communicatie met Kamphuis, 2010). Het doel van de heffing is het bewerkstelligen van reductie van het aardgasverbruik en daarmee uitstoot van broeikasgas. In de besparingscalculatie is rekening gehouden met de emissierechten.

Reductie van de afvalwatervuillast

De vervuiling van het afvalwater wordt gekwantificeerd met de chemisch zuurstof verbruikswaarde (chemical oxygen demand value (COD-waarde)). De COD-waarde is de som van organische vervuiling van het afvalwater en wordt gebruikt als limiterende lozingswaarde en als maat voor de berekening van de afvalwater zuiveringskosten [5]. In dit onderzoek wordt de COD-waarde gebruikt om de kosten van het afvalwater tussen het conventionele en het nieuwe proces vast te stellen. Tijdens industriële experimenten bij Satta e Bottelli zijn afvalwatermonsters genomen tijdens het nieuwe proces. De monsternamen heeft plaatsgevonden bij zowel het lozingspunt van het waswater na de enzymatische- als na de bleekproces stap. Van deze monsters is de COD-waarde gemeten en vergeleken met de gemeten COD-waarde van het afvalwater dat tijdens het conventionele proces is geloosd. Na de analyse van de monsters is gebleken dat de gemiddelde COD-waarde is gedaald van 12.070 tot 7.543 mg O₂/kg afvalwater. Met andere woorden er is een daling van 4.427 mg O₂/kg afvalwater gerealiseerd. Deze waarde wordt gebruikt in de financiële evaluatie van het nieuwe proces. Om de afvalwaterkosten te calculeren is de grootheid vervuilingswaarde (VE) ingevoerd. De VE-waarde van het afvalwater wordt gecalculeerd met de onderstaande formule [1], die voor industriële toepassing als eenvoudig berekeningsmodel [6] wordt gebruikt:

$$VE = \frac{Q_d}{150} (COD + 4,57Nkj) \quad [1]$$

Hierbij Q_d staat voor de gemiddelde afvalwaterstroom per 24 uur, COD voor het chemisch zuurstofverbruik in mg O_2 /kg afvalwater en Nkj staat voor de Nitrogen Kjeldahl waarde. De Nkj waarde wordt uitgedrukt in mg N/ m^3 afvalwater. Voor de omzetting van 1 g N in NO_3 wordt 4,57 g O_2 verbruikt (privé communicatie met Gooijer, 2010). In het voorbehandeling van katoen is de COD-waarde dominant over de hoogte van de Nkj-waarde en dus is de Nkj-waarde niet in de besparingsberekening opgenomen. Om de afvalwaterkosten te berekenen wordt het gemiddelde effluent per 24 uur (O_d) vastgesteld. Het gemiddelde effluent wordt berekend door de productie in kg voorbehandeld doek te vermenigvuldigen met het waterverbruik per kg doek, uitgedrukt in m^3 . Het berekende volume wordt gecorrigeerd voor de niet geproduceerde uren op jaarbasis. De Nederlandse Waterschappen (oa. het Waterschap Regge en Dinkel) gebruiken een vergelijkbare formule de vervuilingseenheden op jaarbasis vast te stellen. Deze formule luidt:

$$VE = \frac{Q_y (COD + Nkj)}{1000 \times 54,8} \quad [2]$$

De waarde Q_y geeft het jaarlijkse effluent (volume) weer en de COD- en Nkj waarde zijn identiek aan de waarden die zijn gebruikt in de voorgaande formule [1]. De constante 150 in vergelijking [1] is de benadering van de constanten in formule [2] gedeeld door 365, zijnde het aantal dagen per jaar. De constante 1000 wordt gebruikt om de COD-waarde om te rekenen van mg/l naar g/l en de constante 54,8 vindt zijn oorsprong in het chemisch zuurstofverbruik voor de behandeling van 1 VE afvalwater (privé communicatie met het Waterschap Regge en Dinkel in Nederland).

Uit het calculatiemodel blijkt dat het mogelijk is om 2 strategieën te volgen om de kosten van het afvalwater te reduceren. Ten eerste is het mogelijk om de kosten te reduceren door middel van reductie van de COD-waarde van het effluent. Ten tweede is het mogelijk het effluent te reduceren. In het nieuwe voorbehandelingproces is de COD-waarde van het effluent gereduceerd, wat leidt tot een substantiële kostenreductie.

Om de kostenbesparing in geld uit te drukken is uitgegaan van een imaginair textiel voorbehandelingbedrijf met een wekelijks volume van 500.0000 lm. De genoemde data zijn het gemiddelde van de verbruiksdata en de inkooprijzen van twee textielveredelingsbedrijven in Nederland. Het voorbehandelingproces dat wordt toegepast is pad batch-hot bleach. De proces- en productiedata van het imaginaire bedrijf en de inkooprijzen zijn weergegeven in het onderstaande overzicht:

Product informatie en productievolume	
- samenstelling	100% katoen
- doekgewicht	180 g/ m^2
- doekbreedte	1,75 m ¹
- productievolume per jaar in lm	23×10 ⁶ lm ¹
- productievolume per jaar in kg	7.3×10 ⁶ kg

Proces data	Conventional	bio-catalytic
- temperatuur impregneerbak met enzymen	60°C	60°C
- reactietijd (verweiltijd)	kamer temperatuur	kamer temperatuur
- spoelen na de enzymatische processtap	6 kg water/kg doek, 100°C	6 kg water/kg doek, 50°C
- temperatuur impregneerbak met bleekmiddelen	kamer temperatuur	kamer temperatuur
- reactietijd in de stomer	100°C	100°C
- spoelen na de bleekproces stap	6 kg water/kg doek, 100°C	6 kg water/kg doek, 50°C
- afzuren	1 kg water/kg doek	0 kg water/kg doek
- COD-waarde in mgr/l	12,070	7,543

Data en kosten		
- water		
dichtheid	1000	kg/m ³
warmtecapaciteit	4.18×10^3	J/kg/K
kosten in €	0.60	1/m ³
- aardgas		
verbrandingswaarde	$31,65 \times 10^6$	J/m ³ *
kosten in €	0.25	1/m ³
CO ₂ emissie rechten	0.029	1/m ³ *
- kosten van 1 VE in €	50	1/PU

Tabel 3. Overzicht van de proces- en productiedata van de imaginaire finisher.

* 1 bar druk, 20°C

In tabel 3 zijn de procesdata van Satta e Bottelli gebruikt, zoals deze zijn weergegeven in tabel 1 en daarnaast zijn de verbruikscijfers van het nieuwe proces bij Satta e Bottelli ter vergelijking opgenomen. De prijzen van water, gas en VE's zijn tot stand gekomen op basis de data van twee textielveredelingsbedrijven. Deze data zijn vergeleken met internationaal bekende kosten. Gebaseerd op de voornoemde aannames en de gerealiseerde reductie in het verbruik van water, energie en vuilast van het afvalwater zijn de onderstaande jaarlijkse besparingen berekend:

Water	k€	4
Energie	k€	145
CO ₂ -emissierechten	k€	17
Afvalwaterkosten	<u>k€</u>	<u>449</u>
Totale besparing op jaarbasis	k€	615

Chemicaliënkosten

De chemicaliën die in het conventionele proces worden gebruikt zijn amylase, detergentia, NaOH, H₂O₂, sekwestreermiddelen en bleekstabilisatoren. De processtap ontsterken is in het nieuwe proces omgevormd in een zogenaamde bio-katalytische voorbehandelingstap. In deze stap worden naast de bekende amylase en detergentia ook de enzymen cutinase en pectinase toegepast. De concentraties chemicaliën en de wastemperatuur zijn voor deze processtap geoptimaliseerd. Tot op heden is in de enzymcocktail het gebruikte enzym cutinase slechts op relatief geringe schaal geproduceerd, waardoor de verkoopprijs hoog is. Hierdoor zal in het begin het kostenvoordeel van het nieuwe proces gedeeltelijk teniet worden gedaan door de toegenomen chemicaliënkosten. Het ligt in de lijn der verwachting dat de verkoopprijs van het enzym cutinase zal dalen met de toegenomen afzet. Daardoor zal ook de kostprijs per meter voorbehandeld doek dalen.

In de bleekstap wordt verwacht dat de loogconcentratie aanmerkelijk zal dalen. Ook wordt een reductie verwacht, zij het minder significant, van de chemicaliën H₂O₂ en bleekstabilisator. De noodzakelijke concentraties sekwestreermiddel en detergent blijven naar verwachting gelijk. De extra kosten van de bleekchemicaliën worden veroorzaakt door de hoge verkoopprijs van de mangaankatalysator. Het gebruik van deze katalysator lijkt noodzakelijk als bleekactivator in bleekcondities met een lage loogconcentratie.

De chemicaliënkosten bedragen in het conventionele voorbehandelingsproces ongeveer € 0,065 per kg doek. Gebaseerd op de besparingen die mogelijk zijn in het nieuwe voorbehandelingsproces kan nu uitgerekend worden hoeveel de chemicaliënkosten in het nieuwe proces mogen stijgen om een break-even situatie voor de veredelaar te bereiken. In het nieuwe proces bedragen de kostenbesparingen k€ 615, bij een volume van $7,3 \times 10^6$ kg. Dit betekent dat de besparingen per kg voorbehandeld doek € 0,084 bedragen. In een break-even situatie mogen de kosten dus met € 0,084 stijgen. Oftewel een stijging van de chemicaliënkosten met 129% leidt niet tot een kostenstijging voor de veredelaar. Een dergelijke kostenstijging lijkt niet waarschijnlijk. Op basis van de huidige verkoopprijzen van het enzym cutinase en de bleekkatalysator wordt een kostprijsstijging van maximaal € 0,06 verwacht. De prijzen van de beide genoemde chemicaliën zullen naar verwachting dalen met de stijgende omzet, zodat op termijn de besparingen per kg voorbehandeld doek stijgen. Op basis van de gecalculeerde besparing en de verwachte stijging van de chemicaliënkosten wordt geconcludeerd dat het nieuwe proces niet alleen gunstig is voor het milieu, maar ook leidt tot een substantiële kostenreductie.

Conclusie

Op basis van de resultaten van de industriële experimenten is het mogelijk om de voordelen van de bio-katalytische voorbehandeling uit te drukken in kostenbesparingen. De basis voor de besparingen vormen de gerealiseerde procescondities bij Satta e Bottelli. Het is gebleken dat de kostenreductie van water, energie en afvalwater substantieel is. Ondanks de verwachte – tijdelijke - kostenstijging van de chemicaliën is het niet waarschijnlijk dat deze de kostenreductie als gevolg van de verbeterde procesomstandigheden zal overtreffen. De veredelaar heeft dus een financieel voordeel heeft bij de omschakeling naar het nieuwe proces.

De gecalculeerde kostenbesparing levert bij een jaarverbruik van 25 miljoen ton katoen een wereldwijde besparing op van € 2,1 mld. Deze calculatie bevestigt de verwachte besparingmogelijkheid die is voorspeld tijdens de Autex conferentie in Tampere/Finland in 2007 [2]. De implementatie van bio-katalytische voorbehandeling van katoen is niet alleen duurzaam, maar leidt tot verbetering van de winst. Ook kan geconcludeerd worden dat innovatief leiderschap leidt tot industriële implementatie van nieuwe, verbeterde, productieprocessen.

Referenties

- [1] Christenson, C., "The innovator's dilemma", Harper Business Essentials, ISBN 0-06-052199-6, p 193-202 **2003**
- [2] Bouwhuis, G.H., V.A. Nierstrasz and M.M.C.G. Warmoeskerken, "The use of (bio)catalysts and ultrasound in the pretreatment of cotton: Application on industrial scale as a sustainable process", Proceedings of the 7th AUTEX Conference, Tampere, Finland, 26-28 June **2007**
- [3] Bouwhuis G.H., B. Dorgelo and M.M.C.G. Warmoeskerken, "Textile pretreatment process based on enzymes, catalyst and ultrasound", Melliand International, Volume 4, p150 – p151, **2009**
- [4] Bouwhuis, G.H., "The design of a novel, environmentally improved, industrial cotton pre-treatment process" ISBN 987-90-365-3153-5, Thesis University of Twente, the Netherlands, **2011** pages 177 - 178
- [5] Rouette, H.K., "Encyclopedia of Textile Finishing", ISBN 3-540-65031-8, Springer Verlag Berlin/Germany, **2001** pages 280 – 281
- [6] Stoop, M.L.M., "Water management of production systems optimized by environmentally oriented integral chain management: case study of leather manufacturing in developing countries", Technovation 23, p 265 - 278, **2003**

Enschede, november 2011