



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Genbrug er god brug Genbrug af tekstiler med transfertryk MUDP-projekt

MUDP

August 2026

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Niels Rask, NS System A/S

Susanne Nielsen, NS System A/S

Lars Rønsholt, Bjørn Thorsen A/S

Jonas Beyer, Teknologisk Institut

Martin Bundgaard Johansen, Teknologisk Institut

Josefine Corfits Smedsgård, Teknologisk Institut

Peter Rosborg, Teknologisk Institut

Fotos:

Teknologisk Institut

NS System

Bjørn Thorsen

ISBN: 978-87-7564-118-5

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35, 5000 Odense J Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	5
2.	Sammenfatning	6
2.1	Perspektivering	6
3.	Introduktion	8
3.1	Vores tøj i krise	8
3.2	Genbrug er god brug	8
4.	Fjernbare transfertryk	10
4.1	Transfertryk	10
4.2	To forskellige løsninger	11
5.	Trykfjernende middel	12
5.1	Karakterisering af bindingsmiddel	14
5.2	Screening af opløsningsmidler	14
5.3	Vurdering af kandidater	17
5.4	Test og evaluering	19
6.	Et nyt slags tryk	22
6.1	Nye tryk-teknologier	22
6.2	Kortlægning af teknologier	23
6.3	Udvikling og test af triggersystem	25
6.4	Implementering af fjernbart tryk	28
7.	Referencer	30
	Bilag 1.Mikroskopi	31
	Bilag 2.Afrensningsmiddel	32
	Bilag 3.Evalueringsskema	33

1. Forord

I denne afsluttende rapport beskrives formål, metoder og resultater for projektet ”*Genbrug er god brug – Genbrug af tekstiler med transfertryk*”. Udviklingsarbejdet i projektet er gennemført af partnerne hos NS System A/S, Bjørn Thorsen A/S og Teknologisk Institut, støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljø- og Ligestillingsministeriet.

Aktiviteterne blev udført på faciliteterne hos alle tre partnere i perioden januar 2022 til april 2025. Der blev udført en lang række laboratorieundersøgelser hos Bjørn Thorsen i Hellerup og hos Teknologisk Institut i Aarhus, og de udviklede løsninger blev yderligere testet og kvalitets sikret hos NS System i Frederikshavn.

Det beskrevne arbejde i nærværende rapport tydeliggør væsentligheden for støtte til udviklingsarbejde af miljøteknologiske løsninger. Tilskuddet fra MUDP har muliggjort det tværfaglige samarbejde og derved frembragt en ny løsning til tekstilindustrien med potentiale for betydelige miljø- og erhvervsmæssige resultater i Danmark.

Styregruppe

- Lars Rønsholt, Bjørn Thorsen
- Niels Rask, NS System
- Peter Rosborg, cand. Polyt., sektionsleder, Teknologisk Institut

Øvrige projektdeltagere

- Jonas Beyer, ph.d., Specialist, Teknologisk Institut
- Josefine Smedsgård, Cand. Scient. Kemi, Projektleder, Teknologisk Institut
- Jeppe Holmehave, konsulent, Teknologisk Institut
- Aske Donslund, ph.d., konsulent, Teknologisk Institut
- Martin Bundgaard Johansen, ph.d., konsulent, Teknologisk Institut
- Máté Radisc, Bjørn Thorsen
- Susanne Nielsen, NS System

2. Sammenfatning

Projektet "Genbrug er god brug" har med succes udviklet to komplementære teknologiske løsninger til fjernelse af transfertryk fra tekstiler, hvilket adresserer en kritisk barriere for tekstilgenbrug. Gennem et tværfagligt samarbejde mellem NS System, Bjørn Thorsen og Teknologisk Institut er der skabt et solidt fundament for teknologier, der kan forlænge tekstilers levetid betydeligt.

Den første løsning fokuserer på udvikling af et effektivt afrensningsmiddel til eksisterende transfertryk. Gennem systematisk karakterisering og screening af over 40 potentielle afrensningsmidler, er det lykkedes at identificere tre lovende kandidater. Disse afrensningsmidler har demonstreret evnen til at fjerne transfertryk fra både bomulds- og polyestertekstiler uden at beskadige fibre. Udfordringer med restmængder af lim efter nogle behandlinger indikerer dog, at der er behov for optimering af den mekaniske behandling og efterrensningsprocesser ved opskalering til industriel anvendelse. Den anden løsning har fokuseret på udvikling af en helt ny type transfertryk med indbygget fjernelsesmekanisme. Efter en omfattende kortlægning af potentielle teknologier, blev et triggersystem identificeret som den mest lovende tilgang. Dette system muliggør kontrolleret fjernelse af transfertrykket, når det ønskes, mens det forbliver stabilt under normale brugs- og vaskebetingelser. Proof-of-concept er succesfuldt demonstreret i laboratorieskala, men udfordringer med korrekt forarbejdning kræver yderligere udvikling før industriel implementering.

Den miljømæssige gevinst ved forlænget tekstillevetid gennem genbrug er betydelig, da energibesparelsen ved genbrug er dokumenteret til at være 4 gange større end ved genanvendelse og 14 gange større end ved forbrænding. Med en estimeret CO₂-reduktion på 23.000 tons årligt alene i Danmark, repræsenterer teknologierne et væsentligt bidrag til den cirkulære omstilling i tekstilsektoren.

2.1 Perspektivering

For at realisere det fulde potentiale af disse teknologier er der behov for videreudvikling og opskalering til industriel anvendelse. For begge teknologier skal næste udviklingstrin fokusere på optimering af processen til industriel skala med særligt fokus på at udvikle effektive efterrensningsprocesser. Derudover er der behov for omfattende formuleringsarbejde for optimering af det udviklede bindingsmiddel og trigger-system til effektiv fjernelse. Dette er afgørende for at sikre teknologiens miljømæssige bæredygtighed og økonomiske rentabilitet.

I projektets løbetid har flere aktører og slutbrugere vist interesse for de udviklede løsninger – især muligheden for at påsætte firmalogoer, der kan fjernes efter behov og derved reducere klimaaftrykket for indkøbt erhvervsbeklædning. Denne efterspørgsel understreger behovet for hurtig videreudvikling af teknologierne fra laboratorieskala til pilotskala, og engagement af flere transfertryk-leverandører for at sikre en robust løsning på tværs af markedet.

Næste planlagte skridt er at etablere et pilotanlæg, hvor begge teknologier udvikles og opskales til realistiske industrielle forhold. Specialudstyr til dosering, opvarmning og recirkulering skal udvikles og tilpasses, og avancerede styrings- og overvågningssystemer skal implementeres. Løftet af teknologierne til pilotskala (TRL 6) er et vigtigt skridt for at indfri de miljømæssige potentialer for løsningerne som blev frembragt i dette projekt, samt at skabe nye forretningsmuligheder inden for den cirkulære tekstiløkonomi. Med den stigende efterspørgsel på

grønne løsninger og EU's ambition om at reducere tekstilaffald med 50% inden 2030, er timingen for videreudvikling af disse teknologier optimal.

3. Introduktion

Danskernes overforbrug af tøj udgør en stor udfordring for at nå vores klimamål. I gennemsnit bliver billigt tøj kun brugt syv til otte gange før det havner i skraldespanden. En særlig udfordring er tøj trykt med logoer, navne eller tal såsom arbejds- eller sportstøj, hvor overforbrug ofte skyldes at trykket bliver forældet. I dette projekt har samarbejdspartnerne udviklet to forskellige løsninger til let fjernbare tryk som kan forlænge tøjets levetid.

3.1 Vores tøj i krise

Den globale tekstilsektor står for omtrent 10% af verdens CO₂-udledning, hvilket overgår udledningen fra internationale fly og skibe tilsammen [1]. Denne massive klimabelastning er resultatet af en industri, der i årtier har været præget af lineære forretningsmodeller baseret på hurtig produktion, kort levetid og minimal genanvendelse. Med en global tekstilproduktion, der er fordoblet siden 2000, og med forventninger om yderligere vækst, står vi over for en kritisk udfordring, der kræver omfattende omstilling.

Den danske tekstilbranche er førende inden for bæredygtighed og har derfor en stor interesse for at gå forrest til at finde løsninger. Dette afspejles blandt andet i branchens 2025-mål om 10% nedbringelse af køb af nyproduceret tøj- og tekstilprodukter, samt en bred vifte af initiativer der skal undersøge muligheder for genanvendelse og cirkulære materialekredsløb.

Udfordringen er stor og hvert år sender danske forbrugere 42.500 tons tekstil til forbrænding, svarende til ca. 7,5 kg per indbygger årligt. Overforbruget skyldes bl.a. den herskende fast fashion kultur, hvor billigt tøj i gennemsnit blot anvendes syv til otte gange [2] inden det går i stykker, af mode, eller af andre årsager smides ud. Dette repræsenterer ikke blot et enormt ressourcespild, men også en betydelig klimabelastning.

En særlig problematik er tøj med påsatte tryk, som fx virksomhedslogoer, klubnavne eller sportsbegivenheder. Når det påsatte tryk bliver forældet, ender tøjet ofte i skraldespanden til forbrænding selvom selve tekstilet har mange leveår tilbage. Generelt er denne problematik herskende inden for arbejds- og virksomhedstøj, der udgør omtrent 12% af det samlede tekstilforbrug i Danmark. Her anvendes ofte tekstiler af højere kvalitet end almindeligt forbrugertøj, men stadig ender op mod 90% af arbejds- og virksomhedstøj i dag til forbrænding [11].

En løsning på denne udfordring er udvikling af aftagelige tryk, som kan fjernes efter behov uden at beskadige det underliggende tekstil. En sådan løsning kan forlænge tøjets levetid betydeligt trods at logoer eller navne forældes. Samarbejdspartnerne i dette projekt estimerer, at op til 50% af arbejds- og virksomhedstøj der i dag forbrændes, har potentiale for genbrug, hvis trykket kunne fjernes.

3.2 Genbrug er god brug

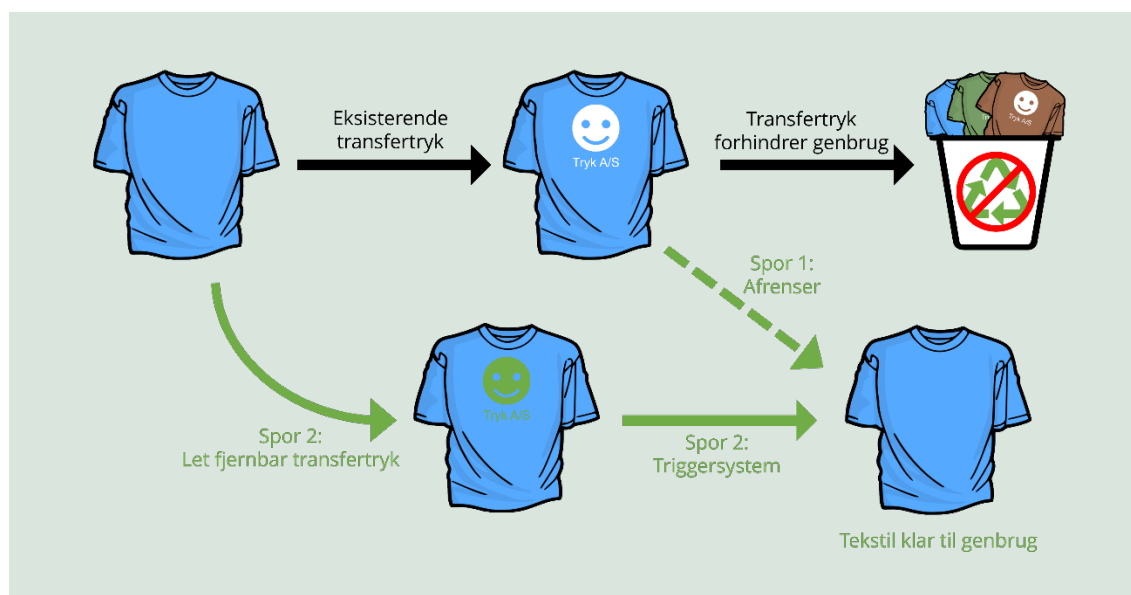
Mens mange initiativer i tekstilbranchen fokuserer på genanvendelse gennem forarbejdning til tekstilernes udgangsmateriale, viser forskning i affaldshåndtering, at den største miljøgevinst opnås gennem genbrug og levetidsforlængelse. Energigevinsten ved genbrug er dokumenteret til at være 4 gange større end ved genanvendelse og hele 14 gange større end ved forbrænding [3]. EU's strategi for bæredygtige og cirkulære tekstiler understreger ligeledes, at

"en forlængelse af tekstilprodukters levetid er den mest effektive metode til markant at reducere deres indvirkning på klimaet og miljøet."

Transfertryk (også kaldet transferprint eller transferpres) er en udbredt metode til påsætning af virksomhedsnavne og logoer på tekstiler. Ved denne metode printes det visuelle design først på et særligt transferpapir med specialblæk, hvorefter designet overføres til stoffet ved hjælp af varme og tryk. En teknologi der kan fjerne transfertryk uden at beskadige tøjet, kan åbne dørene for omfattende genbrug ved ønske om skift af påsat tryk. For virksomheder der f.eks. skifter visuel identitet, kan dette reducere behovet for ny-producerede tekstiler.

I dette projekt har samarbejdspartnere fokuseret på at udvikle en løsning til netop denne udfordring. Ved at udvikle transfertryk der kan fjernes efter behov, estimeres det at CO₂-udledningen fra tekstilsektoren potentielt kan reduceret med 23.000 tons årligt, svarende til den årlige CO₂-udledning fra ca. 1750 danskeres samlede forbrug.

Ved udvikling af fjernbare transfertryk, adresseres en kritisk barriere for tekstilgenbrug der bidrager til at flytte tekstiler højere op i affaldshierarkiet – fra forbrænding og downcycling til værdifuldt genbrug. Udviklingssamarbejdet mellem NS System, Bjørn Thorsen og Teknologisk Institut har skabt grobund for en værdikæde, der kan realisere det fulde potentiale af de udviklede løsninger og dermed bidrage væsentligt til forlænget levetid og øget genbrug i den danske tekstilbranche.



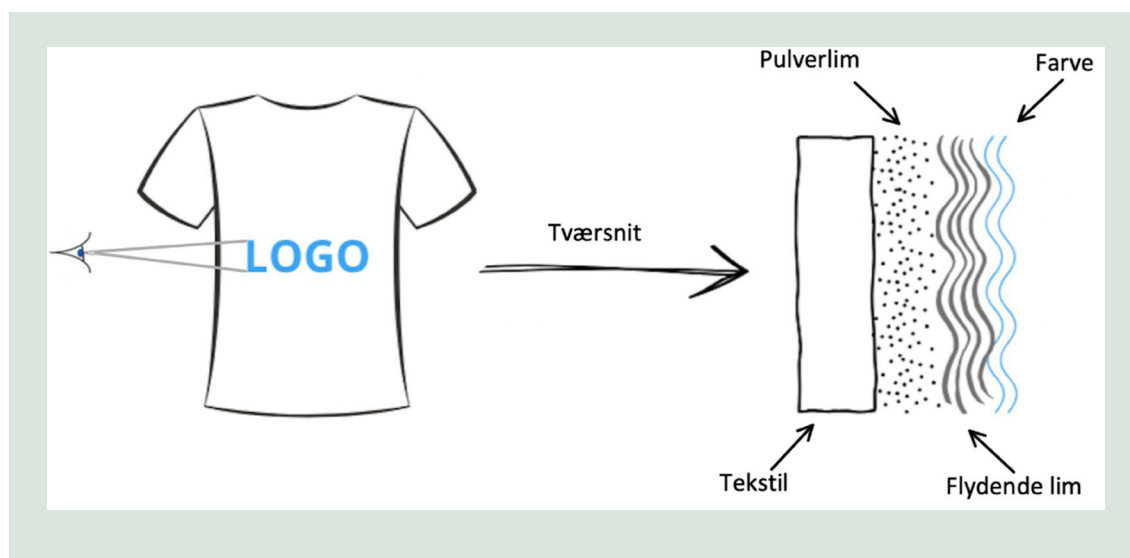
FIGUR 1.1. Oversigt over de udviklede løsninger, der illustrerer hvordan et let fjernbart transfertryk kan føre til øget genbrug.

4. Fjernbare transfertryk

4.1 Transfertryk

Transferprint er en tekstildekorationsteknik, hvor et grafisk element eller mønster overføres fra et midlertidigt bæremateriale til en tekstiloverflade gennem en kombination af varme, tryk og tid. Bærematerialet, også refereret til som selve transfertrykket, er en sammensætning af forskellige materialer, herunder bindingsmidler og farvestoffer. I modsætning til andre dekorations teknikker, såsom broderi, serigrafi eller direkte print, har transferprint den fordel at det grafiske udtryk kan fremstilles uafhængigt af tekstilet det skal imprægneres på. Dette giver mulighed for høj grafisk opløsning og kontrastfyldte farver, hvorfor transferprint er en udbredt teknologi til logotryk på arbejds- og virksomhedstøj.

De fysiske og kemiske egenskaber af bindingsmidlet er afgørende for hvordan transfertrykket påsættes tekstilet. Her findes en række forskellige metoder og teknologier, men en af de gængse er varmeaktivering. For denne er bindingsmidlet baseret på en termoplastisk polymermatrice, der ved opvarmning gennemgår en kemisk faseovergang fra fast til viskoelastisk tilstand hvilket muliggør påføring til tekstilfibrene. I kombination med et pålagt ydre tryk, fx i en varmpresse, sikres der en god sammenhængskraft mellem bindingsmidlet og tekstilet.



FIGUR 2.1. Overblik over komponenter i et transfertryk.

Transfertryk anvendt på tekstiler skal opfylde en række essentielle funktionskrav for at sikre både æstetisk kvalitet og praktisk anvendelighed gennem tekstilets levetid. Først og fremmest skal det have en god vedhæftningsevne, som sikrer at trykket forbliver intakt på tekstilet. Holdbarheden næstmest afgørende, da det skal kunne modstå gentagne vaskecyklusser uden at falme, krakelere eller løsne sig. Trykket skal ligeledes være modstandsdygtigt særligt over for dagligt stræk og slid, så det bevarer sin visuelle integritet gennem tekstilets forventede levetid.

Et andet væsentligt aspekt er brugerkomfort, hvor transfertrykket ikke må ændre tekstilets grundlæggende egenskaber. Trykket skal bevare tekstilets åndbarhed og fleksibilitet, så det ikke bliver stift eller ubehageligt at bære. I forhold til miljø og sundhed skal transfertrykket overholde alle gældende reguleringer og standarder. Det må ikke indeholde eller frigive

skadelige stoffer under brug eller vask, og materialerne bør være kompatible med miljøvenlige behandlingsmetoder. Samlet set begrænser disse krav valgfriheden til bindingsmidler. Et tidligere udbredt materiale på markedet var polyvinylchlorid (PVC), men i takt med viden om skadelige miljømæssige effekter, er dette bindingsmiddel i færd med at blive udfaset.

Det langsigtede mål med dette projekt er at tilføje endnu et særligt funktionskrav til denne liste, nemlig fjernbarhed. Transfertryk skal under særlig behandling kunne fjernes fra tekstilet uden beskadige det, så tøjet kan genbruges uden tryk eller påsættes et nyt og derved opnå forlænget levetid. Denne funktion må naturligvis ikke kompromittere de andre krav såsom sundhed eller brugerkomfort, og skal kunne kontrolleres så trykket ikke falder af under almindeligt brug. Udviklingsarbejdet i projektet har været centreret om to forskellige tilgange for at finde mulige løsninger.

4.2 To forskellige løsninger

Strategien med to forskellige udviklingsspor blev tilrettelagt af partnere for at finde en løsning til de nuværende transfertryk i cirkulation, samt en mere langsigtet løsning med fokus på at skabe et helt nyt slags fjernbart transfertryk. Den første løsning fokuserer på udvikling af et afrensningsmiddel målrettet allerede eksisterende transfertryk på markedet. Målet er at muliggøre genbrug af nuværende tekstiler med påsatte logoer eller mønstre uden at skulle vente på implementering af ny trykteknologi. I den anden løsning tilstræbes en helt ny type bindingsmiddel mellem transfertryk og tekstil, der fra designfasen er udviklet til at kunne fjernes på en kontrolleret og skånsom måde.

Partnerne i projektet består af materiale- og kemikalieleverandør Bjørn Thorsen, specialist i forskellige tekstildekorations teknikker NS System, samt videnspartner med ekspertise i materialekemi og tekstiler Teknologisk Institut. I projektets indledende faser blev der gennem et udarbejdet kravspecifikationer til de to slags løsninger. Disse blev udformet gennem tværfaglig videndeling, hvor partnerne hver især bidrog med specialiseret ekspertise inden for henholdsvis industrielle anvendelser, kemikalieformulering og tekstilteknologi. De specificerede tekniske, miljømæssige og kommercielle krav ses i hhv. TABEL 5.1 og TABEL 6.1.

I denne rapport beskrives hvordan tre forskellige afrensningsmidler til eksisterende transfertryk (Løsning 1) er blevet identificeret, analyseret og testet, samt hvordan en ny type bindingsmiddel til fremtidige transfertryk er blevet identificeret med tilhørende teknologi til fjernelse (Løsning 2). Begge løsninger overholder helt eller næsten helt de opstillede kravspecifikationer, og under en evaluering i projektets afsluttende fase vurderes det at Løsning 1 befinder sig på TRL 4-5 og Løsning 2 på TRL 3-4.

5. Trykfjernende middel

I dette afsnit rapporteres udviklingsarbejdet i forbindelse med identifikation, test og evaluering af en afrensningsteknologi som kan anvendes på eksisterende transfertryk, der allerede findes på markedet (Løsning 1). Det blev tidligt vurderet at en fordelagtig løsning er et flydende afrensningsmiddel som kan bruges til behandling under kontrollerede forhold. En oversigt over de besluttede kravspecifikationer til en sådan behandling kan ses i TABEL 5.1. Den vigtigste betragtning var at behandlingen skal kunne designes til en vaskebehandling under kontrollerede forhold, ikke ulig eksisterende behandlingsformer på industrielle vaskerier.

Den væsentligste udfordring i udviklingsarbejdet har været at finde en balance mellem de opstillede krav, særligt effektiv fjernelse af trykket og med samtidig minimal påvirkning af tekstilet. Gennem systematisk screening af mere end 40 forskellige kemikalier og formuleringer er 3 forskellige afrensningsmidler blevet identificeret som mulige kandidater, der helt eller delvist opfylder kravspecifikationerne.

Løsningen involverer brug af organiske opløsningsmidler og der er derfor lagt vægt på kemikalier med minimal miljø- og sundhedsmæssig påvirkning. Dette skal sikre at de miljømæssige fordele ved at forlænge tekstilernes levetid gennem genbrug langt opvejer de potentielle ulemper ved anvendelse af afrensningsmidlerne. Samtidig har fokusset på industriel skalerbarhed sikret at de udviklede løsninger kan anvendes i professionelle og kontrollerede miljøer, hvor det er muligt at implementerer teknologier til recirkulering af afrensningsmidlerne og derved yderligere reducere den miljømæssige belastning.

TABEL 5.1. Oversigt over kravspecifikationer og prioriteter for afrensningsløsning til eksisterende transfertryk (L1).

Krav	Beskrivelse	Prioritet
Effektivitet	Fuldstændig fjernelse af tryk – både farve og bindingsmiddel	5
Holdbarhed	Tekstiler må ikke tage skade af behandling	5
Kompatibilitet: Tryktyper	Afrenser skal virke for mest gænge bindingsmidler på markedet	5
Kompatibilitet: Tekstiltyper	Tryk skal kunne fjernes fra både bomuld, polyester og blends	3
Miljømærkning	Løsningen skal overholde udvalgte mærkningsregler	4
Rentabilitet	Behandlingen skal være kommerciel levedygtig	4
Skalérbarhed	Løsningen skal kunne implementeres på industriel skala	4

Effektivitet

I TABEL 5.1 ses kravspecifikationerne og tilhørende prioriteter til denne løsning. Et kernekrav til at det udviklede afrensningsmiddel skal være i stand til at fjerne transfertrykket fuldstændigt fra tekstilet uden at efterlade synlige spor. Dette er afgørende for at sikre, at tekstilet kan anvendes til nye formål, særligt gennem påsætning af nye transfertryk uden uønskede eller for-

styrrende rester fra tidligere logoer. Løsningen skal sikre, at både selve trykket og bindingsmidlet fjernes komplet, så tekstilet fremstår som nyt og klar til genbrug.

Holdbarhed

Kravet om holdbarhed er også essentielt for projektets formål om at forlænge tekstilers levetid. Afrenseren må ikke kompromittere tekstilets strukturelle eller æstetiske egenskaber. Specifikt skal farveægtheden bevares, hvilket kan vurderes gennem sammenlignende tests før og efter behandling. Tekstilernes fysiske egenskaber som styrke, elasticitet og komfort skal desuden forblive intakte efter behandling. Kun ved at bibeholde tekstilernes kvalitet, kan den tilsigtede miljøgevinst ved genbrug realiseres.

Kompatibilitet

Baseret på kendskab til tekstildekorationsmarkedet, blev det vurderet at størstedelen af transfertryk på markedet anvender polyurethan (PU)-baserede bindingsmidler. Det er derfor afgørende, at afrenseren er specifikt designet til at kunne nedbryde eller opløse denne type bindingsmiddel, således at løsningen er kompatibel med på hovedparten af eksisterende transfertryk i omløb.

Et lignende krav om kompatibilitet med forskellige tekstiltyper er også vigtigt for at sikre anvendelighed på de mest almindelige tekstilmaterialer: bomuld, polyester og blends (blandinger af de to foregående). Det blev dog vurderet at nedprioritere dette krav i forhold til andre, eftersom den tilstræbte løsning primært målretter sig bindingsmidlets kemiske egenskaber og ikke det underliggende tekstil.

Miljømærkning

For at sikre løsningens miljømæssige bæredygtighed og derigennem markedspotentiale, skal den udviklede afrenser overholde relevante miljømærkningskrav. Særligt fokus er rettet mod EU-lovgivning og OEKO-TEX certificering. Dette krav afspejler ambitionen om at udvikle en løsning, der ikke blot er effektiv, men også miljømæssigt forsvarlig og i overensstemmelse med gældende regulativer og markedskrav for kemikalier anvendt i tekstilindustrien.

Rentabilitet

For at sikre kommerciel levedygtighed skal løsningen også være økonomisk rentabel. Dette indebærer, at særligt omkostningerne ved forbrug af afrenseren samt udstyr og energi til selve behandlingsprocessen skal stå i rimeligt forhold til værdien af de genvundne tekstiler. En positiv business case er afgørende for at sikre industriel adoption og dermed realisere de miljømæssige fordele ved løsningen.

Skalérbarhed

Endeligt skal løsningen være skalérbar til industriel anvendelse, fx hos større vaskerier. Her overvejes krav såsom kemikaliehåndtering af afrensningsmiddel eller vasketemperaturer, som skal holdes inden for de gængse værdier. Disse er vigtige i forhold til markedet løsningen bedst kan integreres i og hvor den største miljømæssige og økonomiske effekt kan opnås.

I søgen efter afrensningsmidler der overholder disse krav, har udviklingsarbejdet gennemgået følgende faser, som vil blive beskrevet i detaljer nedenfor.

- Karakterisering af bindingsmiddel
- Screening af opløsningsmidler
- Vurdering af kandidater
- Test og evaluering

Overordnet set har målet været identificere de opløsningsmidler eller familier af kemikalier som har evnen til at opløse eller blødgøre transfertryk ud fra de titusindvis af kemikalier som potentielt kunne anvendes i industrien.

Den eksperimentelle fase i dette spor har med succes identificeret og karakteriseret effektive afrensningsmidler til fjernelse af transfertryk fra tekstiler. Gennem systematisk analyse af bindingsmidlernes kemiske egenskaber, screening af potentielle opløsningsmidler og efterfølgende test i et industrielt miljø, er projektet nået frem til flere lovende løsninger, der opfylder de fleste af kravspecifikationerne for en industriel anvendelse.

5.1 Karakterisering af bindingsmiddel

I den indledende eksperimentelle fase var formålet at karakterisere egenskaber af udvalgte transfertryk, særligt den kemiske sammensætning og termiske opførsel af bindingsmidlet. I samarbejde mellem Teknologisk Institut og NS System, blev den grundlæggende kemi i bindingsmidlet i de mest gængse transfertryk i produktion identificeret.

Med det overordnede mål at blødgøre eller opløse bindingsmidlet med flydende afrensningsmidler, var der særligt relevant at karakterisere de såkaldte Hansen Solubility Parameters (HSP) af bindingsmidlerne. HSP repræsenterer et sæt af parameter, der beskriver interaktionskræfterne i enkelte molekyler eller faste forbindelser. Bestemmelse af HSP-værdier for bindingsmidlet kan drastisk hjælpe i søgen efter potentielle afrensningsmidler eftersom flydende opløsningsmidler har en overordnet tendens til at opløse faste forbindelser med lignende HSP-værdier.

Med en grundlæggende forståelse af kemien i bindingsmidlerne var det muligt for specialister og polymerekspertter hos Teknologisk Institut at tilrettelægge en strategi til bestemmelse af midlernes HSP-værdier. Denne beror på opløselighedstest af det rene bindingsmiddel i en række nøje udvalgte opløsningsmidler. I alt blev der anvendt mellem hhv. 12 og 20 forskellige opløsningsmidler og de bestemte HSP-værdier (hhv. δ_d , δ_p og δ_h) ses i TABEL 5.2.

TABEL 5.2. Bestemte HSP-værdier for bindingsmidlerne i de to udvalgte transfertryk.

Bindingsmiddel	δ_d	δ_p	Δ_h	Smeltepunkt [°C]
Type A	18.5	8.4	8.8	149
Type B	17.9	11.1	8.1	-

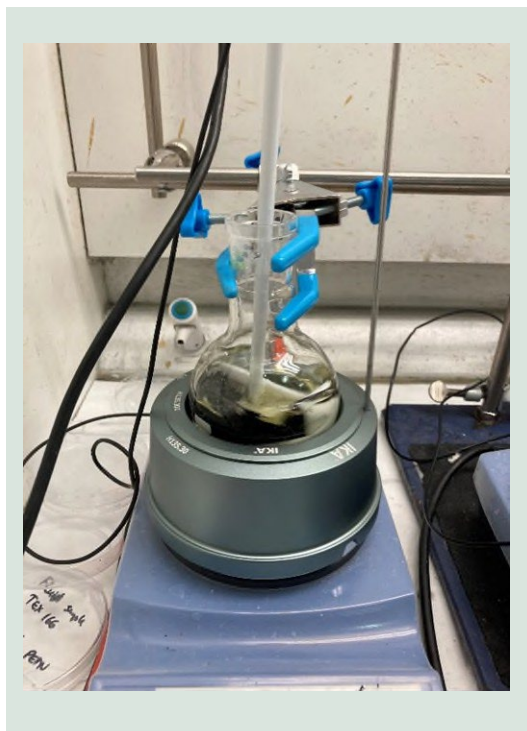
En håndfuld af de udvalgte kemikalier til bestemmelsen udviste en stor opløselighed for de to bindingsmidler. Dog er disse enten sundhedsskadelige eller meget brandfarlige (fx kloroform eller heptan), og egner sig derfor ikke til en industriel løsning til fjernbare transfertryk.

5.2 Screening af opløsningsmidler

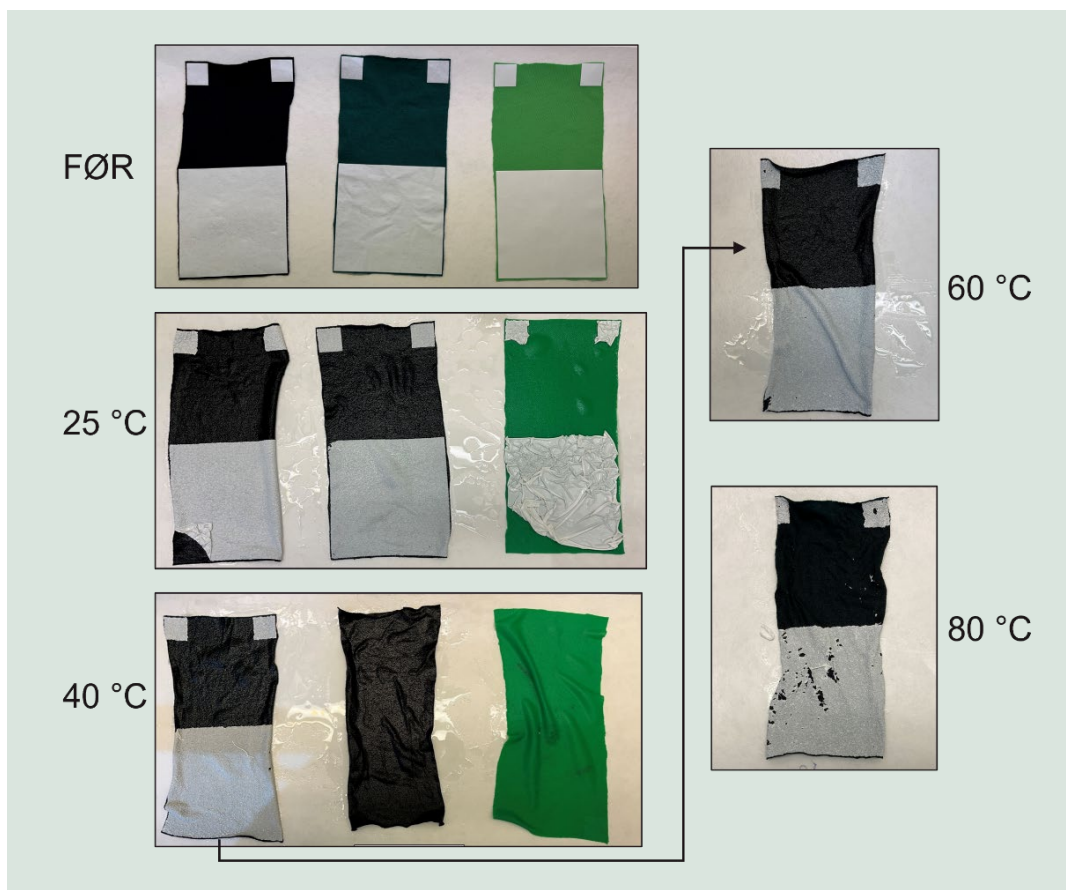
Med kendskab til bindingsmidlernes kemiske egenskaber, herunder tilhørende HSP-værdier, var formålet med næste fase at undersøge effektiviteten af kemikalier med lignende HSP-værdier. I alt blev der screenet over 40 forskellige opløsningsmidler og blandinger heraf til fjernelse af transfertryk fra udvalgte tekstilprøver. For at overholde kravspecifikationerne til løsningen i TABEL 5.1, blev kemikalierne udvalgt fra lister og databaser over grønne kemikalier, der er fremstillet af akademiske og industrielle videnspartnere med henblik på at identificere mere miljørigtige alternativer til industrielle processer.

For at sikre hurtig og effektiv screening ved forskellige behandlingsbetingelser, særligt temperatur, blev der udviklet en dedikeret metode. Opstillingen, som ses på FIGUR 5.1, bestod af en

rundbundet kolbe hvori tekstilprøver kunne nedsænkes fuldstændigt i et givent opløsningsmiddel. Hver test blev udført med tre tekstilprøver af de udvalgte materialer (bomuld, PET og blend) under kontrolleret omrøring. Alle blev vasket tre gange ved 40 °C i en vaskemaskine inden test. Den rundbundede kolbe blev placeret i en varmekappe, hvorved temperaturen af opløsningsmidlet kunne indstilles og kontrolleres igennem eksperimentet. For hver enkelt test af et givent opløsningsmiddel eller blanding af flere, blev eksperimentet udført i et temperaturinterval mellem 25 og 80 °C indtil transfertrykket fra alle tre prøver havde sluppet tekstilet.



FIGUR 5.3. Forsøgsopstilling til indledende screening af kemikalier som potentielle afrensningsmidler.

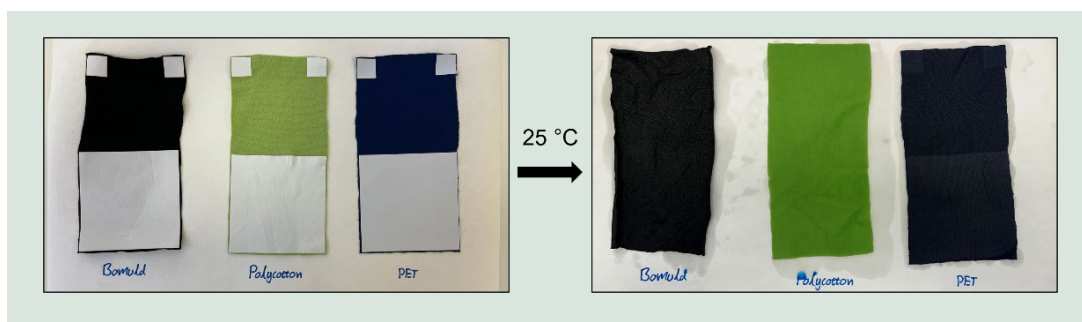


FIGUR 5.2. Tekstilprøver før og efter behandling med afrensningsmiddel ved forskellige temperaturer.

Tekstilprøverne fra et repræsentativt eksperiment før og efter behandlingen ses på billederne i FIGUR 5.2. I dette specifikke tilfælde virkede behandlingen delvist ved 25 °C på to af prøverne, men trykkene kunne ikke fjernes helt. Først efter behandling ved 40 °C kunne trykket fjernes helt fra to af prøverne, mens det stadig sad fast på den sidste. Eksperimentet fortsatte ved 60

°C og 80 °C for at undersøge om behandlingen på den sidste tekstilprøve ville blive effektiv ved højere temperatur. Som det ses på billedet ved 80 °C var dette ikke tilfældet og trykket kunne ikke fjernes fra denne tekstilprøve.

Den beskrevne opstilling og metode blev anvendt systematisk til test af de over 40 kemikalier eller blandinger som blev udvalgt på baggrund af deres HSP-værdier og miljørigtige egenskaber. Overordnet set blev der observeret en forskel i effektiviteten af afrensningsmidlerne for tekstilprøver af forskellige materialer, men for de mest effektive kandidater var denne forskel neglignable. I alt ledte denne forsøgsrække til identifikation af over 10 kemikalier og blandinger med høj effektivitet til afrensning af de pågældende transfertryk. Behandling ved 25 °C med en af disse ses på FIGUR 5.3.



FIGUR 5.3. Tekstilprøver før (venstre) og efter (højre) behandling med en af de 10 effektive kandidater.

Udvælgelsen af de 10 kandidater skete ikke blot på baggrund af effektivitet, men også tekstilprøvernes kvalitet efter behandling. Derfor blev der undervejs gjort observationer i forhold til fiberkvalitet og farveændring på afrensningsmidlet. For langt de fleste prøver og afrensningsmidler var fiber-kvalitet uændret, hvilket bl.a. blev verificeret med mikroskopi (se Bilag 1). Med hensyn til farveændring, blev der for de fleste midler observeret en misfarvning af væsken (se Bilag 2). Graden af farveændring var afhængig af både afrensningsmidlet og farven på trykket og tekstilet. For nogle afrensningsmidler var misfarvning så udtalt, at den smittede af på tekstilet. I disse tilfælde blev afrensningsmidlet vurderet udygtigt trods høj effektivitet, og de potentielle kandidater blev således udvalgt som dem med tilfredsstillende effektivitet og minimal misfarvning.

En tredje væsentlig observation er tilstedeværelsen af rester fra bindingsmidlet efter endt behandling. Sådanne rester sås som fnug på overfladen af tekstilet (se FIGUR 5.4). Det blev dog noteret at resterne fremkom ikke systematisk ved gentagne eksperimenter med samme afrensningsmiddel, og blev derfor vurderet til at fremkomme grundet utilstrækkelig mekanisk behandling under omrøring. Resterne kunne fjernes ved den rette efterrensbehandlingsbehandling.



FIGUR 5.4. Tekstilprøver efter behandling med hvide rester fra bindingsmidlet.

5.3 Vurdering af kandidater

Til at undersøge egenskaberne af de identificerede kandidater, var en af kerneaktiviteterne i projektet at udføre test og evaluering på forskellige kombinationer af bindingsmidler og tekstiltyper i et realistisk, industrielt miljø. Det ville dog være for omstændigt at undersøge alle potentielle kandidater. Derfor blev der i et samarbejde mellem Teknologisk Institut og NS

System foretaget en vurdering af kandidaterne med henblik på at identificere de tre mest lovende.

Vurderingen blev foretaget gennem et vurderingsskema, hvor der i første omgang blev opstillet kriterier for behandlingen med afrensningsmidlerne. Disse inkluderede behandlingstemperaturer, rensningsproces, genanvendelighed, indkøbspris, faresymboler, bortskaffelse, lugt, affarvning og bionedbrydelighed. Med kompetencer inden for industriel kemikalie håndtering, var det muligt for NS System at prioritere hver af disse kriterier. Ekspertene indenfor organisk kemi hos Teknologisk Institut var i stand til at vurdere hvert enkelt afrensningsmiddel i forhold til kriterierne, hvilket frembragte vurderingsskemaet på FIGUR 5. Ud fra dette var det muligt at vælge de kandidater med mest lovende egenskaber i forhold til kravspecifikationerne i TABEL 5.1.

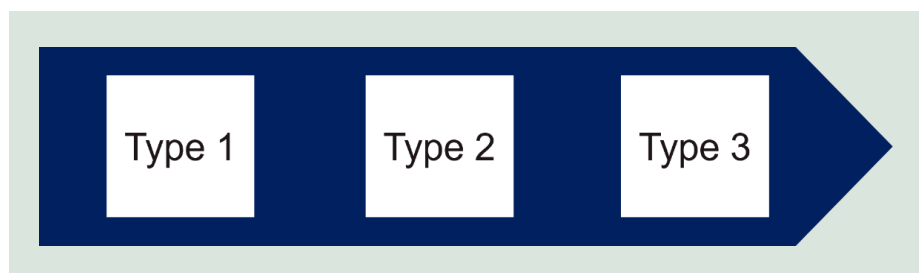
Vurderingsskema										
		Risiko (1-25) for hver kombination (Produkt af Score 1-5 og Vigtighed 1-5)								
Vigtighed		A 3	A 5	A 3	A 2	A 5	A 2	A 4	A 5	A 3
Krav	Forklaring af krav	Behandlingstemperatur	Rensningsproces	Indkøbspris	Genanvendelighed	Faresymboler	Bortskaffelse	Lugt inden rensning	Lugt efter rensning	Bionedbrydelighed
		Score 1: lav/stue temperatur	Score 1: vask med vand. Baseret på opløselighed i vand	Score 1: lav pris	Score 1: høj genanvendelighed	Score 1: ingen faresymboler	Score 1: kan kaldes i afløb	Score 1: ingen lugt af kemikalier	Score 1: ingen lugt efter rensning	Score 1: ingen affarvning
Afrensningsmiddel	Baggrund for valg	Score 1: komplet bionedbrydeligt	Score 1: ingen lugt efter rensning	Score 1: ingen affarvning	Score 1: ingen lugt af kemikalier	Score 1: kan kaldes i afløb	Score 1: ingen faresymboler	Score 1: høj genanvendelighed	Score 1: lav pris	Score 1: vask med vand. Baseret på opløselighed i vand
		Score 1: komplet bionedbrydeligt	Score 1: ingen lugt efter rensning	Score 1: ingen affarvning	Score 1: ingen lugt af kemikalier	Score 1: kan kaldes i afløb	Score 1: ingen faresymboler	Score 1: høj genanvendelighed	Score 1: lav pris	Score 1: vask med vand. Baseret på opløselighed i vand
Afreenser 1		6	15	15		10	6	6	8	10
Afreenser 2		15	10						10	
Afreenser 3				6		10			10	
Afreenser 4		20	6			15	8	8		
Afreenser 5			6			10			15	12
Afreenser 6		20				10	8	6	8	
Afreenser 7			9	8					15	
Afreenser 8			9			20	8	6		12
Afreenser 9		15	6			25	10			

FIGUR 5.5. Vurderingsskema til udvælgelse af de mest lovende afrensningsmidler. Grøn indikerer en lav samlet score med minimal risiko, rød indikerer en høj samlet score med høj risiko. De grå felter indikerer manglende information til begrundet vurdering.

5.4 Test og evaluering

Efter udvælgelsen af de tre mest lovende afrensningsmidler, blev der opstillet en metode til afdækkende test og evaluering. Formålet var at undersøge effektiviteten af den udviklede behandlingsmetode med særligt henblik på forskellige bindingsmidler, farvekombinationer og efterrensningsprocesser i et industrielt miljø.

Til dette formål blev der fremstillet tekstilprøver af to forskellige materialetyper (bomuld og polyester) og med to forskellige farvekombinationer af tekstil og transfertryk (mørk/hvidt og hvidt/rødt) blev udvalgt. På hver prøve blev der påsat transfertryk af tre typer med forskellige bindingsmidler og -mekanismer (se FIGUR 5.6). De første to typer bestod af næsten ensartede bindingsmidler, hvoraf den ene er identisk med den der blev anvendt til screening. Den tredje type bestod af et bindingsmiddel med anderledes kemi og blev udvalgt som reference med forventning om at kunne modstå behandlingen.



FIGUR 5.6. Illustration af de fremstillede tekstilprøver med tre forskellige typer transfertryk.

Hver slags tekstilprøve blev behandlet med de tre udvalgte afrensningsmidler. Under den indledende screening blev der i nogle tilfælde observeret rester af bindingsmidlet på overfladen af tekstilprøverne efter behandling (FIGUR 5.4). Disse kunne dog fjernes med den rette efterrensningsbehandling, og effektiviteten af forskellige efterrensningsmetoder blev også undersøgt nærmere. I alt blev der undersøgt tre forskellige der varierer fra en simpel til en mere omstændig.

For hver kombination af tekstilprøve og afrensningsmiddel blev der udfyldt et evalueringsskema, hvor de væsentligste observationer og resultater blev noteret. En skabelon for skemaet ses under Bilag 3. I alt blev der udført test og evaluering på 36 tekstilprøver i forskellige afrensningsmidler og efterrensningsbehandlinger. En oversigt over de vigtigste resultaterne ses i TABEL 5.3.

TABEL 5.3. Oversigt over væsentligste resultater fra test og evaluering af de tre mest lovende afrensningsmidler. Rester efter rensning henviser til den mest omstændige efterrensningsmetode. *Det øverste farvelag fra Type 3 blev fjernet, men det bindende lag sad hæftet til tekstilet.

	Afrenser 10 ¹	Afrenser 3	Afrenser 2
Bomuld	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes
Mørk med hvidt tryk	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes
	Type 3: Fjernes ikke	Type 3: Fjernes	Type 3: Fjernes ikke
	Rester efter rensning: Nej	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Nej

¹ Identificeret efter indledende screening og vurdering

	Afrenser 10 ¹	Afrenser 3	Afrenser 2
Bomuld	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes
Hvidt med rødt tryk	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes
	Type 3: Fjernes*	Type 3: Fjernes*	Type 3: Fjernes*
	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Ja
PET	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes
Mørk med hvidt tryk	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes
	Type 3: Fjernes ikke	Type 3: Fjernes*	Type 3: Fjernes ikke
	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Nej
PET	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes	Type 1: Fjernes
Hvidt med rødt tryk	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes	Type 2: Fjernes
	Type 3: Fjernes ikke	Type 3: Fjernes*	Type 3: Fjernes*
	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Ja	Rester efter rensning: Ja

Som det ses i tabellen, så var den mest omstændige efterrensningsmetode ikke tilstrækkelige til at undgå tilstedeværelsen af rester på tekstilerne, hvilket udgør en udfordring i forhold til at genvinde et tekstil der er klar til genbrug. Det vurderes dog, at tilstedeværelsen af rester skyldes utilstrækkelig mekanisk behandling under behandlingen, og i nogle tilfælde blev det også observeret, at farven i det røde tryk blev nedbrudt til mindre partikuler, som satte sig fast på tekstilet (se FIGUR 5.7). Den samme mekanisme gør sig gældende for transfertrykket af Type 3. Forventningen var, at trykket ville være modstandsdygtig over for behandlingen, men i de fleste tilfælde blev det øverste farvelag nedbrudt, men bindingsmidlet stadig sad hæftet på tekstilet (se FIGUR 5.8).



FIGUR 5.7. Opløsning af den røde farve i transfertryk fra en hvid tekstilprøve.

Udover resultaterne som er angivet i TABEL 5.2, blev det yderligere noteret i hvor høj grad afrensningsmidlet blev misfarvet under behandling samt eventuelle lugtspor fra afrensningsmidlet ved brug af de tre forskellige efterrensningsmetoder. For sidstnævnte var der en tydelig sammenhæng mellem graden af efterrensning og lugtspor, hvor den mest omstændige metode gav et lugtfrit tekstil efter endt behandling. På FIGUR 5.8 ses et eksempel tekstilprøverne efter behandling og efterrensning.



FIGUR 5.8. Tekstilprøver efter behandling og rensning med tre forskellige efterrensningsmetoder.

Det eksperimentelle arbejde udført under disse tests og evalueringer demonstrerede overordnet set effektiviteten af de identificerede afrensningsmidler. De tre udvalgte kandidater til fjernelse af transfertryk udviser lovende egenskaber i forhold til kravspecifikationerne til en sådan løsning. Dog blev det også tydeligt, at der stadig er udfordringer i en industriel skalering af processen, særligt i forhold til fjernelse af rester gennem mekanisk behandling og/eller tilpasset efterrensning.

6. Et nyt slags tryk

6.1 Nye tryk-teknologier

Ved udvikling af nyt tryk forstås det at nuværende limsystem bliver erstattet. Kortlægningen af andre teknologier blev foretaget baseret på kravspecifikationer til den nye slags tryk. Disse krav afspejler både tekniske nødvendigheder, miljøhensyn og markedets behov, og er prioriteret efter deres betydning for projektets overordnede mål: at forlænge tekstilers levetid gennem bedre genanvendelsesmuligheder.

TABEL 6.1. Kravspecifikationer for ny lim.

Krav	Beskrivelse	Prioritet
Vandbaseret	Tryk og triggersystem skal begge være vandbaserede	5
Varmebestandighed	Trykket skal kunne holde til vask ved minimum 60 C	4
Farvedækning	Trykket skal kunne dækkes af gænge farvestoffer	2
Kompleksitet	Det udviklede bindingsmiddel må maksimalt bestå af tre komponenter	3
Vedhæftning	Det udviklede bindingsmiddel skal være kompatibelt med gængse tekstiltyper	5
Tilgængelighed	Kemikalier til triggersystem skal være tilgængelige i storskala på markedet	5
Miljømærkning	Løsningen skal overholde udvalgte mærkningsregler	5

Det højeste prioriterede krav er at transfertrykket og limen skal være vandbaseret frem for solventbaseret, hvor nuværende transfersystem kan anvendes som benchmark. Med vandbaseret forstås at de aktive ingredienser skal kunne suspenderes i vand. Det er ligeledes afgørende at limen har god vedhæftningsevne, så den kan binde til transfertrykket på den ene side og til tekstilet på den anden side. Det er indlysende at limen skal kunne holde til at blive trykt på tekstilet uden at disintegrere/nedbryde, som vil lede til præmatur fjernelse. Kemikalierne der indgår i triggersystemet skal kunne fremskaffes i tilstrækkelige mængder for at sikre kommerciel produktion og overholde miljømærkninger, særligt EU's Oeko-Tex standard, er også blandt de vigtigste krav.

Med høj prioritet er kravet om vaskebestandighed, hvor trykket skal kunne holde til 60 grader celsius vask uden at miste sin integritet eller vedhæftning.

Krav med medium prioritet omfatter lagopbygningen af det samlede transfertryk, som maksimalt må bestå af 3 lag (et lag med transferfarver og 1-2 slags lim). Tekstilkompatibilitet er også vigtigt, hvor produktet skal fungere på forskellige tekstiltyper med følgende prioritering: polycotton (teknisk blanding af polyester og bomuld), bomuld og polyester.

Med lavere prioritet er kravet om dækkende farve, hvor tekstilerne ikke må være synlige gennem trykket. Den laveste prioritet gives til høj temperaturrebestandighed, hvor trykket ideelt set skal kunne holde til 90 grader celsius vask, med mulighed for at denne højere temperatur kunne fungere som trigger for fjernelse.

Derudover er der nogle overordnede krav, som omfatter produktionskrav med overvejelser om at løsningen ideelt set ønskes kompatibel med nuværende produktionsmaskiner samt økonomiske overvejelser om omkostninger for at sikre rentabilitet.

6.2 Kortlægning af teknologier

Ved udvikling af et nyt transfertryk, der kan fjernes let fra tekstilet, blev en række teknologiske løsninger undersøgt baseret på kravspecifikationerne. Disse krav afspejler både tekniske nødvendigheder, miljøhensyn og markedets behov, og er prioriteret efter deres betydning for projektets overordnede mål: at forlænge tekstilers levetid gennem bedre genanvendelsesmuligheder. Dette udviklingsspor fokuserer på finde en lim, som vi fra start designer til at kunne fjernes.

Den indledende brede kortlægning blev lavet, hvorefter hver teknologi blev opholdt med kravspecifikationerne. Listen indeholder derfor kandidater af varierende potentiale.

1. Gasfrigivelsesbaserede løsninger

Denne teknologi er baseret på et princip om gasfrigivelse under opvarmning. Denne teknologi bygger på tilsætning af molekyler i limen, der frigiver gas ved opvarmning og skaber en betydelig volumenforøgelse lokalt, hvilket potentielt vil resultere i en delaminering mellem transfertrykket og tekstilet. [5] En lignende teknologi er patenteret med fokus på adskillelse af sko. [6] Denne løsning vil i denne sammenhæng være in "add-on", det vil sige et additiv i den eksisterende lim. Det er derfor vigtigt at additivet er stabilt under påtrykning af transferen på tekstil. Indledende litteraturundersøgelser af de aktive ingredienser for denne teknologi viste en snæver temperaturmargin på 15-30 °C. [6-8] På trods af den høje temperaturaktivering blev denne teknologi valgt til at blive testet nærmere med transfertryk, da teknologien er moden og kan indkøbes. Største risiko er at det vil kræve høj opvarmning af materialet, som kan beskadige tekstilet.

2. Ekspanderende mikrosfærer

En anden lignende teknologi er baseret på ekspanderende plastik-mikrosfærer, der indeholder en lille mængde flygtig væske, undergår en faseovergang til gas med en betydelig volumenforøgelse som følge. Under opvarmning kan sfæren udvide sig betragteligt (mindst en faktor 10), da materialet er kan udvide sig elastisk. Her blev en konkret teknologi identificeret, som bl.a. bruges som letvægtsfyldstof og teksturadditiv. Denne løsning vil også være et additiv i nuværende limsystem. Denne teknologi blev valgt til yderligere laboratorieundersøgelse, da teknologien er moden. Største risiko er at det vil kræve høj opvarmning af materialet, som kan beskadige tekstilet.

3. Stimuli-responsiv termoplastisk materiale

Hypotesen for denne tilgang er at der findes en "hotmelt" (smelteplast), som kan opløses ved påvirke med én eller en kombination af stimuli. Efter screening af forskellige smeltepolymerer, der kunne aktiveres i vandigt medium, blev en specifik type af polymerer identificeret. Ved første stimuli bliver co-polymeren blød og ved eksponering for en efterfølgende stimulus bliver limen vandopløselig og dermed fjernet fra tekstilet. Denne løsning er særligt lovende, da den potentielt set fjerner limen i vand under milde betingelser. Denne teknologi blev udvalgt til test i laboratoriet på grund af dens simplicitet og potentiale. Det ubekendte ved denne tilgang er de sundhedsmæssige aspekter samt dens modenhed, dvs. lave TRL-niveau.

4. Termoplastiske materialer med specifik smeltetemperatur

Med termoplastisk materiale forstås en smelteplast, der kan fungere som klæbemiddel, da den påføres i flydende form og størkner til en fast lim. Fordelen ved denne teknologi er simplicitet og en række kommercielle produkter er tilgængelig på markedet. I denne sammenhæng skal limen opvarmes og smeltes, hvorefter transfertryk og tekstil kan separeres. Den største umid-

delbare udfordring ved denne tilgang er restmængder af lim i tekstilet, da smelteplasten vil fordele sig mellem tekstilfibrene under påføring. Da den nuværende lim bedst kan kategoriseres som en form for smeltepunkt har projektgruppen indgående erfaring med denne teknologi, som viser at signifikante mængder af limrester er svære at undgå. Derfor blev denne løsning ikke udvalgt til videre test i laboratoriet.

5. Polymerer med UCST (Upper Critical Solution Temperature) egenskaber

En såkaldt UCST (Upper Critical Solution Temperature) repræsenterer en overgangstemperatur, over hvilken en polymer og et opløsningsmiddel er fuldstændigt blandbare i alle koncentrationer. Under denne temperatur vil polymeren og opløsningsmidlet separere i to faser. Denne teknologi er teoretisk lovende, men efter et litteraturstudie på emnet kunne der ikke identificeres en passende polymer, der kunne holde til at blive vasket ved 60 °C uden at blive opløst. [9] Denne teknologi blev ikke videre efterfulgt, men kunne have et fremtidigt potentiale afhængigt af fremtidig forskning og udvikling på området.

6. Lysaktiveret nedbrydning

Det er en kendt teknik at polymerisere bestemte monomere ved at behandle med eksempelvis UV-lys. Konceptet er udbredt i vedhæftningsbranchen, men kendes nok bedst som plastikfyldninger ved mindre tandreparationer hos tandlægen. Den omvendte reaktion, hvor polymeren reversibelt nedbryder til monomere, kan forestilles og dermed kan vedhæftningen brydes ved behandle med en bestemt type lys. Denne løsningsvej blev ikke videreudviklet, da produktet bliver udsat for sollys gennem levetiden. Endvidere er limen klemt inde mellem transfertrykket og tekstilet, så det vil kræve høj intensitet and lang behandling at inducere en ønsket respons.

7. Magnetisk aktivering

Konceptet bygger på indlejring af magnetiske partikler i limsystemet, som kan aktiveres ved eksponering for induktion eller direkte varme. Ved aktivering genereres varme eller mekanisk bevægelse lokalt i limen, hvilket kan føre til smeltning, hvorved transfer og tekstil kan adskilles. Fordelen ved denne teknologi er muligheden for en berøringsfri adskillelsesproces uden brug af kemikalier eller ekstrem varme. Udfordringen ligger dog i implementeringen, da magnetiske partikler kan påvirke limens mekaniske egenskaber, vedhæftningsevne og ruhed samt det visuelle udtryk ville blive ændret signifikant. Projektgruppen vurderede, at teknologien har et interessant potentiale, men befinder sig på et relativt lavt TRL-niveau med begrænset dokumentation for anvendelse i tekstilsammenhæng. Derfor blev denne løsningsvej ikke prioriteret til laboratorietests i denne fase af projektet.

8. Enzymatisk nedbrydning

Brugen af enzymer til at nedbryde molekyler kendes fra vaskemiddel, der selektivt bryder specifikke bindinger i urenheder. I de seneste år har der været en stor udvikling af enzymer, der kan nedbryde plastik. Den største udvikling er sket indenfor polyester, men konceptet har i forskningsmiljøet bredt sig til sværere polymerer såsom polyuretan og epoxy. TRL-niveauet er stadig lavt, men der kunne være en mulighed for brug af enzymer til selektivt at nedbryde limen i et transfertryk i fremtiden. Denne teknologi skal bruges sammen med et materiale, som enzymerne er selektive overfor. Da det kun er polyester, hvor der findes brugelige enzymer, udelukker det brugen her i projektet, da polyester og polycotton er lavet af netop polyester.

9. Super absorberende materialer

Superabsorberende materialer (SAM) er polymerer med evnen til at optage og fastholde ekstreme mængder væske i forhold til deres egen vægt. Det kendte eksempel er bleer, hvor en lille mængde SAM er iblandet f.eks. vat. Disse materialer kan potentielt anvendes i en limformulering, der ved kontakt med vand eller specifik væske ekspanderer betydeligt og dermed skaber mekanisk stress. Denne ekspansion kan føre til en kontrolleret separation af to materialer. Udfordringen ved denne tilgang er at balancere materialets absorberende egenskaber med krav om holdbarhed under normal brug og vask. Materialet skal kunne modstå almindelig

fugtpåvirkning under brug, men reagere ved specifik behandling i genanvendelsesprocessen. Projektgruppen vurderede, at det vil være svært at opnå selektivitet i fjernelse af limlaget samtidig med at SAM ikke ville svulme op under normal brug og især i vask. Denne teknologi blev ikke udforsket yderligere.

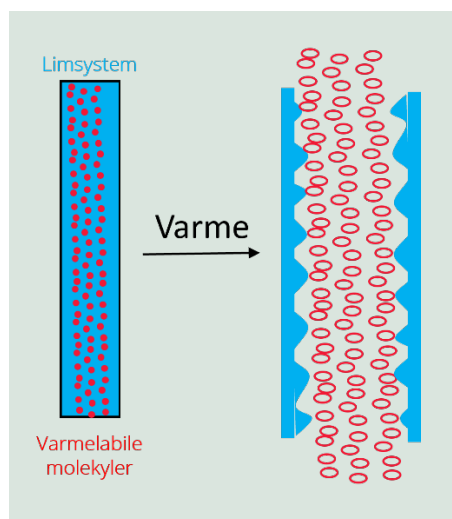
Baseret på ovenstående analyser og forventet brugbarhed blev teknologi 1-3 udvalgt til nærmere test i laboratoriet. De resterende teknologier blev ikke udvalgt til videre test, enten fordi de havde åbenlyse udfordringer i denne specifikke sammenhæng eller ikke opfyldte de grundlæggende krav, såsom sundhed, kompatibilitet med eksisterende produktionsudstyr, kompatibilitet med tekstiler osv.

6.3 Udvikling og test af triggersystem

I dette afsnit vil de centrale konklusioner og opdagelser vedrørende udvikling og test af triggersystem blive beskrevet for hver af de tre teknologier, som blev udforsket i laboratoriet.

Gasfrigivelsesbaserede additiver til eksisterende lim

Den første udvalgte teknologi er baseret på et princip om gasfrigivelse under opvarmning. Baseret på patentanalyse [6-8] af denne teknologi blev en række forbindelser identificeret til test. Princippet med disse forbindelser blandes i det eksisterende limsystem, hvormed de termisk dekomponerer til gasmolekyler, udvider sig signifikant, og dermed laver mekanisk brud i limlaget (FIGUR 6.1).

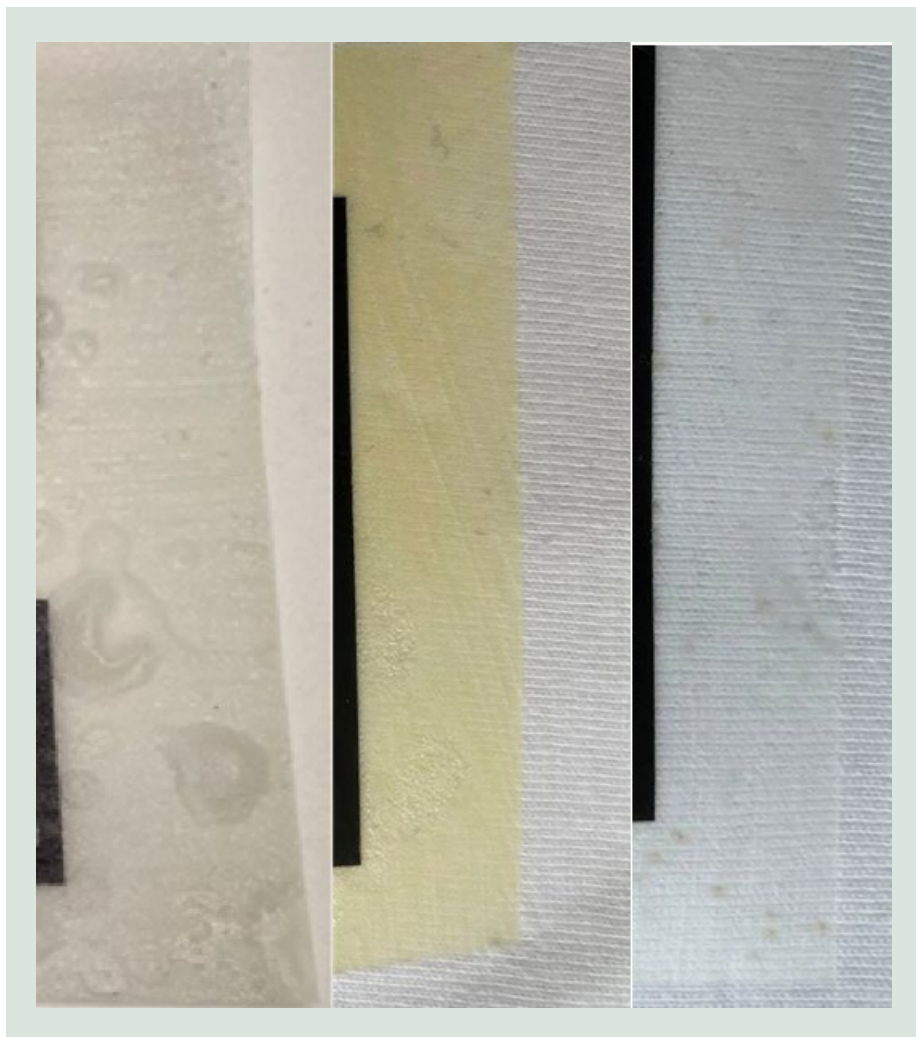


FIGUR 6.9. Illustration af gasfrigivelse fra varmelabile molekyler til at skabe mekanisk brud.

Til disse eksperimenter blev metode udviklet til at teste effekten af teknologien. Det aktive stof blev iblandet den eksisterende lim i en koncentration på 10 vægtprocent. Limblandingen blev smeltet fast et transfertryk i en varmeovn, hvorefter transfertrykket blev visuelt evalueret. Transfertrykket blev varmetrykket på et bomuldstekstil, og produktet blev visuelt evalueret. Da

triggersystemet er varme, blev produktet udsat for høj varme over dekomponeringstemperaturen for det varmelabile forbindelse, hvorefter effekten blev visuelt evalueret. Alle ovenstående trin er udført under velventilerede forhold.

Vinsyre og citronsyre blev udvalgt til undersøgelse uafhængigt som varmelabile forbindelser ved at følge ovenstående metode. Endvidere blev en tredje forbindelse undersøgt, som kemisk er forskellig fra en syre og er beskrevet i patentlitteraturen.



FIGUR 6.2. Resultater fra test med gasfrigivelsesteknologi.

Den første kritiske observation var tilstedeværelsen af luftblære i limen efter limsystem blev smeltet fast på transfertrykket, og dette var tydeligt for begge syrer (FIGUR 6.2, venstre). Dette kan skyldes præmatur gasfrivelse fra hhv. vinsyre og citronsyre. Endvidere er det tydeligt at den tredje undersøgt forbindelse er gul, og giver dermed et signifikant ændret visuelt udtryk for transfertrykket (FIGUR 6.2, midt). Den anden kritiske observation var efter påtrykning af transfertryk på tekstilet, hvor små brændemærker tydeligt opstod (FIGUR 6.2, højre). Disse mærker blev markant tydeligere efter forsøgt termisk delaminering. Dette kan skyldes, at syren aggregerer i limensystemet før påvarmning og dermed kommer til at "klumpe" sig sammen. Selve afbrændingen kan skyldes at syren dekomponere exotermt, hvilket betyder at lokal temperaturstigning omkring "klumperne" af syre. Den tredje forbindelse undersøgt viste heller ingen delaminering, men derimod en "formørkning" af den i forvejen gule farve.

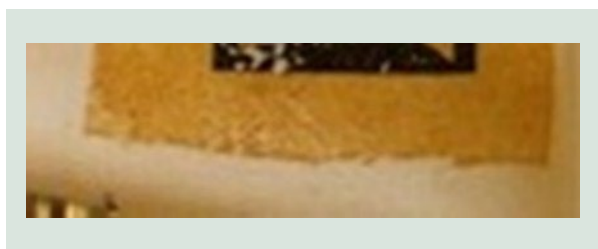
Den overordnede konklusion på denne teknologi var at der ikke blev opnået et homogent limsystem mellem smelteplasten og syre-forbindelsen. Desuden blev den ønskede delaminering ikke observeret, men i stedet lokal afbrænding, hvor syre-forbindelserne har ophobet sig.

Disse observationer sammenholdt den kemiske risikovurdering over dekomponeringsprodukter fra vinsyre bl.a. vinsyre, hvor den giftige og lugtfri gas karbon monoxid muligvis kan dannes

udover vand og karbondioxid [10], udmunde i ikke at forfølge tilsætning af gasfrigivende forbindelser til limen.

Ekspanderende mikrosfærer

Den anden udvalgte teknologi var baseret på ekspanderende mikrosfærer. Disse er små sfæriske plastikkugler indeholdende en flygtig væske (typisk pentan- eller butanisomerer), der ekspanderer ved opvarmning. Princippet er at mikrosfærer blandes i det eksisterende limsystem, hvormed de termisk ekspanderer sig signifikant, og dermed laver mekanisk brud i limlaget på lignende måde som i den forrige teknologi (FIGUR 6.2). Specifikt blev et kommercielt produkt testet som ifølge specifikationerne skulle have en ekspansionstemperatur over den transfertryk-påføringstemperaturen. Det ukendte er om ekspansionen sker under den temperatur, hvor tekstilet tager skade. Testmetoden er samme som i forrige afsnit med 10 vægtprocent additiv.



FIGUR 6.3. Resultater fra test med ekspanderende mikrosfærer.

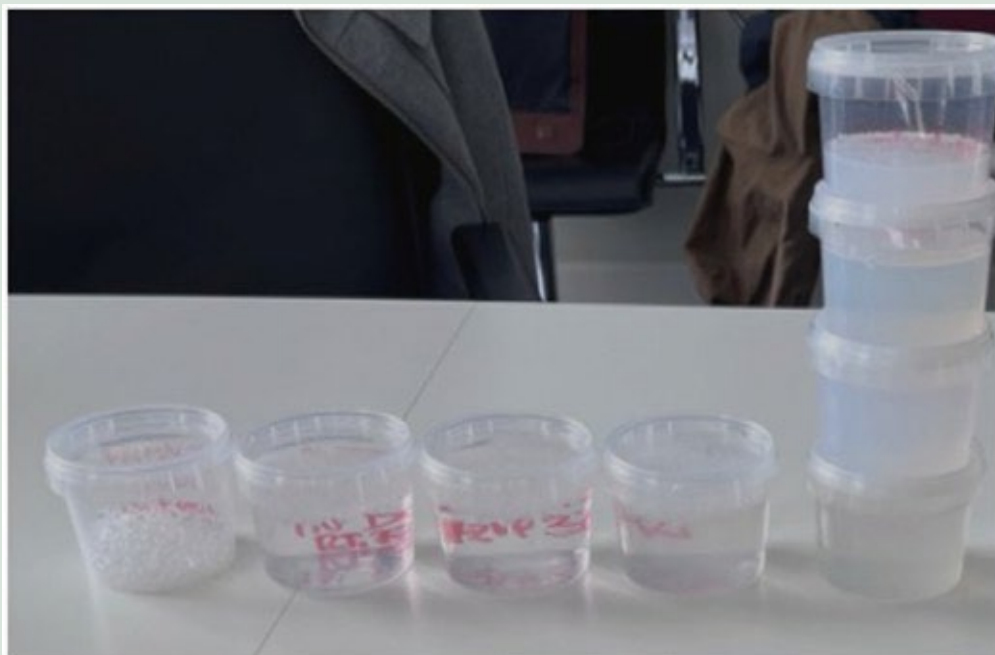
Testresultaterne viste en vis grad af lokal delaminering, men ikke en sammenhængende fjernelse af hele trykket (FIGUR 6.3). Trykket blev også misfarvet i højere grad end en referenceprøve, som svarer til nuværende limsystem.

På baggrund af resultatet med sporadisk delaminering sammenholdt med potentiel sikkerhedsrisiko ved højere temperaturer ved tilstedeværelsen af brandbare væsker i mikrosfærerne, blev det vurderet denne teknologi ikke skulle have fokus.

Dobbelt triggersystem

Den tredje udvalgte teknologiske løsning kombinerer to stimuli/triggere. Efter screening af forskellige materialer blev en specifik polymertype identificeret (FIGUR 6.4, helt til venstre), som ved første stimuli bliver blød og ved eksponering for en efterfølgende stimuli bliver vandopløselig.

Denne teknologi blev testet ved at suspendere polymeren i vand. Herefter blev væsken påvirket af den ene stimuli, og herefter blev blandingen under påvirkning af magnetisk omrøring eller ultralydsbølger udsat for den anden stimuli. Prøver der har fået denne behandling ved forskellige grader af de to stimuli bliver alle homogene (FIGUR 6.4, helt til højre). Prøver der kun har fået enten den ene stimuli, forbliver heterogene og polymeren ses i toppen af bægeret (FIGUR 6.4, tredje midterste prøver).



FIGUR 6.4. Billede af den identificerede polymertype behandlet med det dobbelte triggersystem.

Den identificerede polymertype og designede stimuli/triggersystem virkede under forsimplede forhold som tilsigtet. Desuden er løsningen fødevarerodkendt og umiddelbart kemisk kompatibel med eksisterende transfertryk-pålægningsteknologi.

De to stimuli/triggere er blevet undersøgt og optimeret i dette system, og flere forskellige triggersystemer er identificeret og har potentiale til brug for afgang af transfertryk.

6.4 Implementering af fjernbart tryk

Efter positive indikationer fra test i vandig opløsning blev en bestemt polymertype valgt til videre test. Næste skridt var at undersøge afbindingsmekanismen fra tekstil ved brug af det dobbelte triggersystem. Til dette formål blev granulat fra polymeren fordelt mellem to stykker baggepapir og behandlet i en varmepresse, hvormed fladt stykke polymer blev lavet (FIGUR 6.5, venstre). Dette stykke blev trykket på en tekstilpose i en varmepresse (FIGUR 6.5, midt), og det trykpåsatte del af posen blev klippet ud. Tekstil-polymer prøven blev udsat på for triggersystemet, hvormed en mælkevid suspension blev dannet og polymeren var blevet fjernet fra tekstilet (FIGUR 6.5, højre).



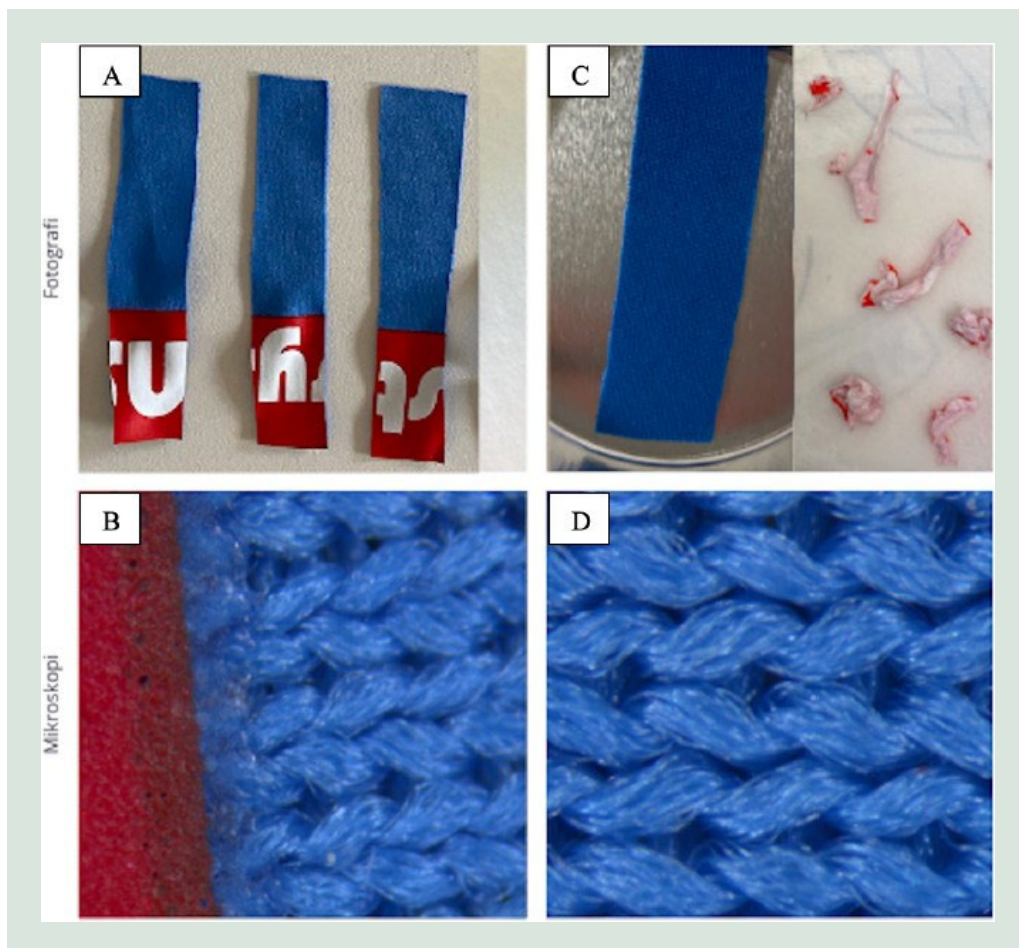
FIGUR 6.5. Billeder af et proof-of-concept transfertryk lavet med den identificerede polymertype (venstre, midt), og opløsning af dette via det udviklede triggersystem (højre).

For at teste polymertypen som lim i et transfertryk, er det nødvendigt at forarbejde materialet. Det indkøbes som pellets, mens kravet er et pulver indenfor en specifik størrelsesfordeling. Flere neddelingsstrategier som f.eks. knivmøller og high-speedmøller under kryogeniske betingelser blev testet hos projektets partnere, men det var ikke muligt at opnå tilfredsstillende udbytte i den rigtige størrelsesfordeling. Der blev identificeret en mulig proces til neddelingen, men afsøgning blandt leverandører og samarbejdspartnere viste at det ikke var muligt af tidsmæssige og økonomiske årsager. Dette uafklarede aspekt om forarbejdning er vigtigt at få belyst, da det er essentielt for virkningsgraden af polymerens brug som lim samt dets påvirkning af slutprisen for et transfertryk limsystem og dermed opskaleret produktion.

7. Referencer

- [1] *The impact of textile production and waste on the environment*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics>. 27. marts 2025
- [2] *Style that's sustainable: A new fast fashion formula*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/style-thats-sustainable-a-new-fast-fashion-formula>. 27. marts 2025
- [3] *Gaining benefits from discarded textiles: LCA of different treatment pathways*. Nordic Council of Ministers, 2016
- [4] *EU strategy for sustainable and circular textiles*. https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en. 23. april 2025
- [5] *INDAR Debonding on-demand technology*. <https://rescoll.fr/debonding-2/>. 23. april 2025
- [6] *Debondable adhesives and uses thereof*. Patent nr. EP3568447B3
- [7] *Assembly of two substrates bonded by a rigid polymer, and methods for assembly and dismantling by means of migration of said bonded assembly*. Patent nr: WO2011080477A1
- [8] *Assembly of two substrates bonded by a flexible polymer, and methods for assembly and dismantling by means of migration of said bonded assembly*. Patent nr: WO2011080478A1
- [9] *Polymers with Upper Critical Solution Temperature in Aqueous Solution*. Jan Seuring, Seema Agarwal, *Macromol. Rapid Commun.* 2012, 33, 1898–1920
- [10] *Thermal behaviour of selected flavour ingredients and additives under simulated cigarette combustion and tobacco heating conditions*. Zs. Czégény, C. Liu et. Al. *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2016, 121, 190-204.
- [11] *Økonomiske og miljømæssige konsekvenser ved at indføre et udvidet producentansvar for tekstilproducenter*, MST 2023, <https://www.ft.dk/samling/20222/almdelel/MOF/bilag/329/2698905.pdf>

Bilag 1. Mikroskopi



FIGUR 10-1. Tekstilprøver før (A, B) og efter (C, D) behandling med afrensningsmiddel. Mikroskopibilleder (B, D) viser ingen synlige tegn på degradering af tekstilfibre efter behandling.

Bilag 2. Afrensningsmiddel



FIGUR 2-1. Misfarvning af afrensningsmiddel efter behandling. Vasken var komplet klar og transparent inden behandling.

Bilag 3. Evalueringsskema

Tekstiltype: Bomuld Farve: Mørk med hvidt tryk Afrenser X		
Afrensning	Svar	Kommentar
Type 1 falder af (ja/nej)		
Type 2 falder af (ja/nej)		
Type 3 falder af (ja/nej)		
Farve af afrensningsmiddel efter behandling (0-3)		
Efterrensning		
Procedure 1		
Lugt fra afrenser efter tørring (ja/nej)		
Klistrede/stive limrester efter tørring (ja/nej)		
Misfarvning hvor tryk sad fast (ja/nej)		
Misfarvning andre stedet (ja/nej)		
Procedure 2		
Lugt fra afrenser efter tørring (ja/nej)		
Klistrede/stive limrester efter tørring (ja/nej)		
Misfarvning hvor tryk sad fast (ja/nej)		
Misfarvning andre stedet (ja/nej)		
Procedure 3		
Lugt fra afrenser efter tørring (ja/nej)		
Klistrede/stive limrester efter tørring (ja/nej)		
Misfarvning hvor tryk sad fast (ja/nej)		
Misfarvning andre stedet (ja/nej)		

FIGUR 3-1. Skabelon til skema anvendt til test og evaluering beskrevet under afsnit 5.4.

Resume

Projektet "Genbrug er god brug" har med succes udviklet to komplementære teknologiske løsninger til fjernelse af transfertryk fra tekstiler, hvilket adresserer en kritisk barriere for tekstilgenbrug. Gennem et tværfagligt samarbejde mellem NS System, Bjørn Thorsen og Teknologisk Institut er der skabt et solidt fundament for teknologier, der kan forlænge tekstilers levetid betydeligt. Den første løsning fokuserer på udvikling af et effektivt afrensningsmiddel til eksisterende transfertryk. Gennem systematisk karakterisering og screening af over 40 potentielle afrensningsmidler, er det lykkedes at identificere tre lovende kandidater. Disse afrensningsmidler har demonstreret evnen til at fjerne transfertryk fra både bomulds- og polyestertekstiler uden at beskadige fibrene. Udfordringer med restmængder af lim efter nogle behandlinger indikerer dog, at der er behov for optimering af den mekaniske behandling og efterrensningsprocesser ved opskalering til industriel anvendelse. Den anden løsning har fokuseret på udvikling af en helt ny type transfertryk med indbygget fjernelsesmekanisme. Efter en omfattende kortlægning af potentielle teknologier, blev et triggersystem identificeret som den mest lovende tilgang. Dette system muliggør kontrolleret fjernelse af transfertrykket, når det ønskes, mens det forbliver stabilt under normale brugs- og vaskebetinger. Proof-of-concept er succesfuldt demonstreret i laboratorieskala, men udfordringer med korrekt forarbejdning kræver yderligere udvikling før industriel implementering. Den miljømæssige gevinst ved forlænget tekstillevetid gennem genbrug er betydelig, da energibesparelsen ved genbrug er dokumenteret til at være 4 gange større end ved genanvendelse og 14 gange større end ved forbrænding. Med en estimeret CO2-reduktion på 23.000 tons årligt alene i Danmark, repræsenterer teknologierne et væsentligt bidrag til den cirkulære omstilling i tekstilsektoren.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk