



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

NewRetex Digital sortering og processering af kasserede tekstiler MUDP-projekt

MUDP Rapport

August 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Rikke Bech & Andreas Lehmann

ISBN: 978-87-7564-037-9

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 | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk

[Link til 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 efter følgende skabelon; "[Forfatterens/redaktørens navn, rapportens udgivelsesår, rapportens titel], MUDP slutrapport, [ISBNnr.]"

Indhold

1.	Sammenfatning	5
1.1	Resume af projektet	5
1.2	Hovedkonklusion(er)	6
1.3	Afledte effekter	7
1.4	Perspektivering	9
2.	Afrapportering på aktiviteter	11
2.1	Arbejdspakke 1: Udvikling af sorteringsenhed ved hjælp af NIR sensorer	11
2.2	Arbejdspakke 2: Udvikling af sorteringsløsning baseret på visuel genkendelsesteknologi	11
2.3	Arbejdspakke 3: Udvikling af anlæg, pre-sortering, samt adskillelse af fiber og hardware (knapper, lynlås m.m.)	12
2.4	Arbejdspakke 4: Udvikling af logistisk setup til indsamling af tekstil rester	12
2.5	Arbejdspakke 5: Applikationsforsøg med processeret tekstilrest	13
2.6	Arbejdspakke 6: Test af processlinie ved kapacitet på 1.000 ton	14
2.7	Arbejdspakke 7: Projektledelse formidling og administration	14
	Bilag 1.Billeder	15

1. Sammenfatning

1.1 Resume af projektet

Projektet har haft følgende formål

Nærværende projekt har til formål at udvikle, teste og demonstrere NewRetex konceptet, som består af et fuld-skala anlæg til modtagelse, sortering og processering af kasserede tekstiler. Projektet skal demonstrere hvorledes ny sensor, robot og automationsteknologi kan anvendes til at foretage intelligent og automatiseret sortering af tekstiler. Der foretages ikke sortering af tekstiler i dag, hvorfor dette projekt vil bidrage med en ny teknologi og et nyt koncept, som går videre end hvad, der er standard på markedet i dag.

Projektets forløb

Projektet har generelt været forud for den forventede tidsplan og genereret de ønskede resultater hurtigere end forventet. Dette skyldes et accelereret udviklingsforløb og tilførsel af nødvendige arbejdsressourcer og økonomiske ressourcer i et hurtigere tempo end forventet. Dette i et forsøg på at udnytte "first mover" effekt samt imødekomme markedets efterspørgsel efter NewRetex løsningen.

Væsentlige milepæle i projektførelsen:

Sommer 2022:

- o Basisanlægget begyndte indkøring

• Efterår 2022:

- o Basisanlægget kører 1-holds drift.
- o Udvikling af sporbarhedssystem igangsættes.

• Vinter 2022-2023:

- o Under 2-5 ton tekstilaffald modtages om ugen.
- o Garnprototyper sættes i produktion og testes.
- o Sporbarhedssystem version 1 implementeres og indkøres.

• Forår 2023:

- o 5-10 ton tekstilaffald modtages om ugen.
- o Basisanlæg opgraderes med automatiseret oplægningsrobot.
- o Drift og test af sporbarhedssystem samt øgede inputmængder afklarer behov for opskaleret version.

Projektsamarbejde og økonomi

I løbet af projektet har det vist sig at Ferrum Robotics ikke har kunnet løse de planlagte opgaver i det omfang det var forventet. Af samme årsag har Ferrum Robotics ikke fuldt ud udnyttet deres budgetandel. Dette har også betydet at NewRetex har overtaget en større del af udviklingsarbejdet i samarbejde med eksterne leverandører. Ligeledes gælder det, at NTO ikke fuldt ud har kunnet udnytte deres budgetandel. En del af det planlagte arbejde med udvikling af sporbarhedssystem er derfor gennemført af NewRetex. Dette skyldes at udviklingsopgaverne omkring sporbarhed har krævet en helt specifik viden om NewRetex forretningsmodellen samt de kapaciteter og muligheder, der er i NewRetex systemet. Denne viden har ligget hos NewRetex egne medarbejdere som derfor har videreudviklet de nye elementer i sporbarhedssystemet på basis af den struktur, som NTO har været med til at udvikle tidligere i projektet.

Med udgangspunkt i projektets formål er der fokuseret på videreudvikling af NewRetex teknologien med henblik på at optimere og effektivisere processer. Formålet hermed har været at skabe det mest optimale grundlag for opskalering af teknologien.

Projektets udfordringer, løsninger og erfaringer

Der er i projektet primært arbejdet med udfordringer i forhold til opskalering fra lab-forsøg til prototypetest ved kapacitet på 1.000 ton pr. år. Projektets resultater knytter sig derfor også primært til optimering og effekt på prototypeanlægget. Samlet set har arbejds pakken bidraget til yderligere udvikling af prototyper samt test af fuld prototypelinie med en kapacitet på 1.000 ton pr. år. Der er i projektet gennemført optimering på dels sorteringsproces (algoritmer) såvel som på indsamling, modtagelse og håndtering af tekstil. Projektets resultater danner således grundlag for en fremtidig opskalering fra 1.000 ton kapacitet til 10.000 ton kapacitet.

1.2 Hovedkonklusion(er)

Hovedkonklusion

Projektet har med succes udviklet og implementeret innovative teknologier og systemer til genkendelse, sortering, og genanvendelse af tekstilaffald, herunder NIR-sensorer, visuelle genkendelsesteknologier, logistiksystemer og applikationsforsøg. Dette har resulteret i opnåelsen af alle milepæle i de relevante arbejds pakker, hvor erfaringer og ny viden løbende er blevet opskaleret og optimeret. Samarbejde med kommuner, test på industrielle anlæg og integration af innovative principper for tekstilproduktion har styrket projektets bæredygtige tilgang til tekstilgenanvendelse. Test ved fuldskala kapacitet på 1.000 ton afventer en opfølgende ansøgning. Projektledelsen er blevet udført som planlagt og har understøttet projektets samlede fremdrift.

Projektresultater

- NIR-sensoren er implementeret i prototypeanlægget og test er gennemført med korrekt funktionalitet. Der er løbende kørt optimering af prototypen og foretaget test. Disse test indeholder validering ved institutter som CITEVE i Spanien (Tekstil industri test institut.), som er en standard test. Desuden er der sendt evaluering rundt til recyclers til evaluering af kvaliteten og renheden af det sorterede materiale. På baggrund af erfaringer med NIR-sensoren i prototypeanlægget er det det opskalerede anlæg bygget og viden og erfaringer overført og anlægget er optimeret.
- Omkring farvegenkendelse er lavet et grundigt studie og udvikling, hvor den udviklede metode er baseret på nye analyseprincipper og har en forskningsmæssig nyhedsværdi. Den nye metode til automatisk farvegenkendelse af tekstiler benytter en inddeling af tekstilets område i underområder kombineret med vægtede feature vectors til at finde farvefordelingen over hele tekstilet. Dermed er metoden den første beskrevne metode til nøjagtig farvegenkendelse af flerfarvede tekstiler. Udviklingsarbejdet har ført til publicering af den videnskabelige artikel: "Object detection and colour evaluation of multicoloured waste textiles using machine vision", Schrøder, S. E., Christensen, U. L., Lauritsen, M. H., Enevoldsen, A. L., Mikkelsen, A. F., & Kristiansen, M. (2023). I PETRA '23: Proceedings of the 16th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive (s. 543-549). [Association for Computing Machinery](#). Disse principper er løbende optimeret og implementeret i en version med farvesortering. Den nøjagtige farvegenkendelse medfører, at prototypeanlægget kan farvesortere tekstiler nøjagtigt og pålideligt nok til at tekstilerne kan genanvendes mekanisk og bruges i nye garner uden at fibre eller garnet behøves at blive indfarvet. For eksempel kan en hvid udsortering af tekstiler genanvendes og blandes med jomfrufibre for at danne et råhvidt garn uden afblegning eller andre vådbehandlinger. Dermed undgås et af de mest omkostningsfulde og miljøbelastende trin i genanvendelsesværdikæden.
- Prototypeanlægget til sortering er udviklet med funktionalitet som sikkerhed, kommunikation og brugerinterface. Ideer til pre-sortering skitseres og diskuteres ud fra dette design. Baseret på dette er det opskalerede anlæg bygget med manuel præ-sortering. Kapaciteten styres med antallet af medarbejdere, hvilket giver erfaring i

forhold til forskellige typer af tekstiler der modtages. Gennem den manuelle sortering genereres der erfaring som udvikles til sorteringsvejledninger.

- Præsortering er en meget svær opgave pga. de store forskelle i de modtagende tekstiler og forskellige vedhæng, lynlåse og knapper osv. Der undersøges forskellige muligheder og maskiner i Aalborg, Fyn og Tyskland. Det er dog problematisk med forskellige maskiner at der laves for korte fibre. Til garner er det nødvendigt med manuel afklipping af vedhæng for at opnå tilstrækkelige fiberlængder, da de ellers vil blive ødelagt ved nuværende metoder til adskillelse af fibre.
- Kommunesamarbejde er opbygget. Der er gennemført test af forskellige løsninger, hvor der er sat containere, bure og big bags op. Gennem dette er unik viden om effektiviteten ved forskellige indsamlingsmetoder og opbevaringssystematik opbygget. For eksempel bemærkes det hvor vigtigt det er at bruge rene og tætte containere til indsamling og opbevaring af tekstilerne, at containerne skal være tætte og have udhæng over lågerne for at undgå regnvand i tekstilerne. Derudover kan forskellige indsamlingsmetoder også sammenlignes, hvor der ses en betydeligt højere genbrugelighed og genanvendelighed i husstandsindsamlede tekstiler, mens tekstil indsamlet ved genbrugsstationer generelt indeholder mere "andet affald". På baggrund af denne viden optimeres der for at få udnyttet tekstiler på bedst mulig måde. Disse erfaringer har lagt grundstenene for Interreg projektet SorTex, som har til formål at samle op på alle disse erfaringer og udarbejde best practices for indsamling og pre-sorting af affaldstekstiler. Dette med henblik på at videregive erfaringer til svenske kommuner, der i starten af 2025 påbegynder indsamling af affaldstekstiler. På baggrund af de indsamlede oplysninger gives desuden hjælp og vejledning til kommuner. NewRetex nærmer sig en dækningsgrad på 20-25% af alt det kommunalt indsamlede affaldstekstil i Danmark. Stor intern logistik er opbygget for at lave sporbarhed. Første løsning i basisanlægget med som blev opbygget i Enterprise Resource Planning (ERP) software med direkte kommunikation til sorteringsanlæggets Programmable Logic Controller (PLC) viste sig ufleksibelt og ikke skalerbart. Derfor skal næste løsning indeholde lagerprincippet omkring sporbarhed og systematik, samt bruge principper med LOTs fra fødevarer og medicinalindustrien.
- Et stort og systematisk arbejde er blevet gennemført med fremstilling og test af garner. Herunder test af forskellige kompositioner, fibertyper og genanvendelses typer. De fremstillede garner er testet på industrielt udstyr til fremstilling af strik og derigennem er der opbygget viden om hvad er godt og skidt. Opbygning af databaser med opskrifter til tekstil genanvendelse er genereret og udbygges løbende. Herigennem er der oparbejdet unik viden omkring hvorledes bedste fiber længder, styrker og kompositioner opnås.
- Prototypelinie med kapacitet på 1.000 ton er demonstreret

1.3 Afledte effekter

Strategiske samarbejder

På baggrund af dette projekt har NewRetex indgået en række strategiske samarbejder. Heriblandt kan nævnes:

Professionshøjskolen VIA University College: har sammen med Designskolen Kolding, Københavns Erhvervsakademi, DTU, DTI og DKA søgt de resterende midler i Chr. Madsens Fond (ca. 4.000.000) til at udvikle viden, der forbedrer spindbarheden af neddelte fibre i projektet "opkvalificering af fibre til værdifulde tekstiler". Målet er at kunne fremstille garn i en kvalitet, der gør det muligt at producere metervarer og designe slidstærke tekstiler, der kan bruges meget og længe. Det er relevant for både grøn omstilling, den danske tekstilbranches konkurrenceevne, og forbrugeren. NewRetex har været en aktiv del i udviklingen af projektidéen og vil indgå som aktiv samarbejdspartner i projektet. De udviklingsaktiviteter der gennemføres i dette projekt spiller således rigtig fint sammen med de aktiviteter og den viden som NewRetex har brug for i forhold til at realisere fremtidige udviklingsmål.

Textile Change: Samspil mellem kemisk og mekanisk recycling er essentielt i forhold til at opnå optimal udnyttelse af affaldstekstilressourcen. Optimal kemisk recycling kræver en effektiv sortering, mens optimal udnyttelse af sorteret affaldstekstil kræver effektiv kemisk recycling. Textile Change indgår som væsentlig ekstern samarbejdspartner i forhold til kemisk genanvendelse af de korte tekstilfibre, som på sigt udsorteres hos NewRetex. På baggrund af den kemiske processing hos Textile Change er det ambitionen at kunne producere et garn, som i kombination med mekanisk produceret garn vil udgøre et nyt bæredygtigt garn, der vil være baseret på 100% genanvendt tekstil.

Miljøstyrelsen: Partnerskabet for tekstilaffald. NewRetex er en del af de 3 pilotforsøg indenfor kasserede tekstiler, som varetages af Miljøstyrelsen. De 3 pilotforsøg omhandler, en vidensbank, udbudsmateriale og en konkret test med indsamling og sortering. Blandt andet på udbudsdelen har NewRetex indsamlet og leveret data på affaldstekstilerne: 1. genbrug (i samarbejde med Blå Kors), 2. genanvendelse (fra tøj til tøj), 3. Downcycling (tekstiler bliver til et andet produkt), 4. brændt, 5. Andre typer affald. Desuden har NewRetex gennem sine erfaringer med sortering og genanvendelse af Danske affaldstekstiler kunnet levere viden til Miljøstyrelsen vedr.: sorteringsteknologier (muligheder/begrænsninger), markedsforhold (efterspørgsel fordelt på fraktioner) samt genanvendelighed i tekstilaffaldet.

Kommercielle aftaler

NewRetex har siden projektet er påbegyndt i 2021 sideløbende arbejdet med udvikling af den kommercielle del af konceptet. Dette har resulteret i etablering af en række aftaler, på såvel input som output siden. Dette omfatter blandt andet:

Input aftaler:

- **Kommuner:** Vi har i dag etableret aftaler med mere end 20 kommuner i Danmark og håndtere i dag hvad der svare til 20% af dansk post consumer tekstil.
- **Vraa Dampvaskeri:** Fra august 2022 har vi påbegyndt samarbejde med Vraa Dampvaskeri. Formålet er at modtage udtjente vaskeritekstiler, herunder arbejdstøj og hospitalstøj, som sorteres på vores anlæg og sendes til genanvendelse.
- **Create2stay:** Take back system, hvor vi aftager det som ikke bliver gensolgt. Create2stay har et gennem salg på gennemsnitlig 70% ved de forskellige brands. Vi aftager de sidste 30%
- **Tekstilvirksomheder:** Der er indgået aftale med en række tekstilvirksomheder som ELIS, ID, Mascot, White Wear, Minimum, Knowledge Cotton m. fl. om håndtering af deres tekstilaffald
- **Dan børs:** NewRetex har bl.a. indgået strategisk samarbejde med Danbørs for at have de rette kompetencer i forhold til overvågning og tilbudsgivning i alle relevante udbud.

Output aftaler:

- Vi har gennemført en lang række testforløb med såvel garnproducenter, tekstil brands, som kemiske recycling virksomheder, inventarproducenter med flere. Fælles for alle er, at der for hver anvendelse stilles meget specifikke krav til fiberen. Med vores nuværende samarbejdspartnere og den teknologi der er til rådighed på markedet til processing af tekstil er det meget svært at efterkomme markedets ønsker.

Afledte projekter og projektsamarbejder

På baggrund af resultaterne af nærværende projekt er der ansøgt og hjemtaget tilsagn til ny MUDP Fyrtårnsansøgning som har til formål at gennemføre opskalering af prototypelinien. Derudover danner projektet grundlag for følgende projekter og samarbejder:

- Missionbooster: NewRetex - Værdiforøgelse af affaldstekstil som regenereret cellulosefibre
 - o Formål: Undersøgelse af mulighed for at kombinere affaldstekstilfibre med viskosefibre baseret på græspulp fra græspoteinproduktion i et nyt bæredygtigt tekstilfiberprodukt
- Closing Loops: Automatisk tekstilsortering
 - o Formål: Udvikling af cirkulære værdikæder som kan værdiforøger problemfraktioner fra tekstilsortering
- Closing Loops: Tekstil fra sygehusvaskeri
 - o Formål: Test af værdikæde for indsamling af tekstil fra sygehusvaskerier med henblik på sortering og genanvendelse af dette.
- Innovationsfonden: Decouple
 - o Formål: Test af cirkulært loop for genanvendelse af affaldstekstil fra dampvaskerier i ny tekstilproduktion

- INTEREG: nyttiggørelse af tekstilaffald gennem forsoring i Danmark og Sverige
 - o Undersøgelse af optimale indsamlings- og forsoringsløsninger i Danmark og Sverige
- HORIZON - Circular solutions for textile value chains through innovative sorting, recycling, and design for recycling
 - o Projektet har til formål at undersøge mulighed for udvikling af en bæredygtig løsning for sortering af tekstilaffald samt undersøge muligheden for at producere en ny tekstilfiber baseret på 100% genanvendt affaldstekstil.

Udover ovenstående er der hjemtaget en række mindre bevillinger som understøtter udviklingen af NewRetex forretningsgrundlag.

1.4 Perspektivering

Der er i løbet af projektets levetid konstateret en stadigt stigende efterspørgsel efter NewRetex teknologi og ydelser. Dette har også udmøntet sig i en stadigt stigende mængde aftaler indgået med henblik på håndtering af tekstil affald. Derudover er der i perioden fokuseret på anvendelse af affaldstekstilerne til produktion af ny affaldstekstil tråd og metervare. Disse prototyper er præsenteret for potentielle kunder og samarbejdspartnere som alle har udtrykt stor begejstring og lyst til at anvende produkterne. Der er desuden konstateret en øget efterspørgsel på den samlede teknologiske NewRetex løsning. Der er således i perioden arbejdet med design af et "plug and play" koncept som kan danne grundlag for etablering af NewRetex anlæg rundt om i Europa. Projektets forretningsmæssige resultater underbygger således projektets forretningsmæssige mål og ambition.

Markedet for fiber til fiber genanvendelse af post consumer tekstilaffald er imidlertid udfordret af markedets krav til kvalitet af fiberen. Disse omfatter krav til fiberens styrke, renhed (ingen kemi, som f.eks. PFAS), komposition og farve mv. Nuværende teknologier er udviklet og designet til at tilfredsstille et andet sæt af kriterier end hvad markedet efterspørger i dag. Som resultat heraf, er det i dag ikke muligt at udnytte den sorterede affaldstekstil i fiber til fiber genanvendelse. Dette udfordrer den samlede økonomi for affaldstekstil sortering, da det er netop fiber til fiber genanvendelse der har den højeste værdi.

Der eksisterer således i dag et viden- og teknologigab i flere dele af genanvendelsesprocessen. Genanvendelse af tekstiler er en cirkulær proces, der kræver ny viden og nye metoder i alle led – fra den kommunale tekstilaffaldsindsamling til sortering, neddeling og genanvendelse i form af garn af høj kvalitet med lang levetid.

NewRetex har indtil i dag haft et strategisk fokus, som har været rettet mod afsætning af sorterede tekstiler. Forventningen har været at andre aktører har haft mulighed for at varetage og skabe forretning i den videre forarbejdning, altså "åbning af fiber" og spinning af ny tråd. Gennem NewRetex første tre leveår har erfaringen imidlertid vist, at markedet for processering af sorteret tekstil ikke er på et stadie, som kan understøtte effektiv udnyttelse af tekstil affaldsressourcen.

NewRetex har gennem samarbejde med eksterne partnere rundt om i Europa (Tyskland, Portugal, Spanien og Tyrkiet) opbygget en værdikæde, som muliggør videreprocessering af tekstilaffald til spinning af ny tråd til anvendelse i ny tekstil produktion. På trods af den omfattende viden, der er oparbejdet hos NewRetex gennem arbejdet med etablering af værdikæde, processering af tekstil og produktion af ny fiber så er værdikæden for omkostningstung og kvaliteten i garnet tilfredsstiller ikke markedets krav i tilstrækkelig grad. Samtidig er det for dyrt at flytte teksten rundt i Europa og uden mulighed for processering "åbning af fiber" i Danmark risikerer vi at central viden og nye forretningsmuligheder går tabt. Samtidig bliver det sværere at understøtte forretningsområder længere nede i værdikæden, som er afhængige af sorteret og processeret tekstil i en kvalitet, som er tilpasset helt specifikke anvendelser.

Ved at fokusere på udvikling og demonstration af ny teknologi, der kan optimere både sortering, neddeling, rengøring, kvalificering og kvantificering af fibres kvalitet vil vi kunne producere en fiber med optimal spindbarhed med så høj andel af genanvendte fibre som muligt. Dette er en forudsætning for, at tekstilindustrien i Danmark kan udvikle konkurrencedygtige produktionsmetoder og produkter og på samme tid styrke den grønne omstilling, som særligt EU's tekstil-lovgivning fordrer de kommende år. Ved at frembringe ny viden og teknologi i alle dele af de tekstile fraktioner - fra den politisk bestemte tekstilaffaldsindsamling til design med genanvendte, langtidsholdbare materialer – bliver det muligt ikke kun at optimere de genanvendelsesegnede fibre.

Det bliver også muligt at skabe merværdi i de fraktioner, hvor de indsamlede fibre kan vise sig ikke at være egnede til fx mekanisk eller kemisk genanvendelse.

2. Afrapportering på aktiviteter

2.1 Arbejdspakke 1: Udvikling af sorteringsenhed ved hjælp af NIR sensorer

Har fokuseret på udvikling og optimering af NIR sensoren og dens bagvedliggende klassifikationsalgoritmer med henblik på at opnå så høj effekt som muligt, målt på:

- **Antal sorteringsfraktioner:** NIR sensorer som teknologi er bredt anvendt i forskellige områder af affaldssortering, og bruges også i laboratorieskala til materialeklassifikation af tekstiler. Der har dog ikke været udviklet bredt anvendelige datasæt til online NIR-sensorsystemer. Arbejdet er gået på at definere hvilke materialefraktioner, der er mest relevante, undersøge hver fraktions spektrum nøje for at bestemme identifikatorer samt at opbygge en multi-stage klassifikationsalgoritme vha. maskinlæringsmetoder som Support Vector Machines. Det er lykkedes at udvikle en materialeklassifikationsalgoritme, som dækker over 20 forskellige unikke materialekompositioner, hvilket har vist sig at udgøre over 95% af alle genanvendelige affaldstekstiler.
- **Sorteringshastighed:** for at sikre et effektivt sorteringssystem, har hastigheden for klassifikation været vigtig. Her er der arbejdet på data-reduceringsmetoder og forskellige metodikker til at reducere databehandling og dermed beslutningstid. Det er lykkedes at udvikle et system, der kan levere et klassifikationsresultat på under 0,5 s, hvilket er tilstrækkeligt til at udnytte sorteringsrobotternes fulde kapacitet.
- **Sorteringspræcision:** for at sikre specifikke materialekategorier er der iblandt de 20 materialekompositioner udviklet kategorier for bomulds/polyester blandinger i inkrementer af 10%, således at bomuld/polyester 60/40 kan adskilles fra bomuld/polyester 50/50. Det sikrer en høj genanvendelighed af bomuld/polyester-blandinger, der udgør den største blandingsfraktion i affaldstekstilerne. Desuden er der arbejdet med de mest typiske blandingskompositioner, som giver anledning til urenheder og lavere genanvendelighed i ellers værdifulde materialer. Herunder: bomuld med elastan (spandex) samt uld med akryl.
- **Sorteringsnøjagtighed:** for at sikre en tilstrækkelig renhed i de sorterede fraktioner er der arbejdet metodisk med at forfine den udviklede klassifikationsalgoritme til at have en høj gentagelsesnøjagtighed. Dette indebærer at udarbejde specialløsninger til håndtering af mørke og sorte tekstiler samt at udvikle genkendelse af fugtige tekstiler.

Samtidig er der arbejdet med at kombinere NIR sensor med andre sensorer med henblik på at skabe et mere komplet datasæt for beslutningsalgoritmen. Dette er med henblik på at udvide hvilke attributter sensorerne kan se på tekstilerne samt opnå større sorteringshastighed og præcision. Det er lykket at nå højere præcision og nøjagtighed med sensorpakken end hvad der p.t. er industristandard for tekstilsortering, hvilket er verificeret med tredje parter såsom tekstilgenanvendere og vidensinstitutter.

2.2 Arbejdspakke 2: Udvikling af sorteringsløsning baseret på visuel genkendelsesteknologi

Har udviklet en prototype på system til visuel genkendelse af tekstil. Udviklingen har fokuseret på udvikling af nye metodikker og algoritmer med henblik på nøjagtighed og robust farvegenkendelse af affaldstekstiler, herunder flerfarvede tekstiler:

- Som nævnt i afsnit 1.2, har den udviklede metodik ført til publicering af en videnskabelig artikel, der beskriver hvordan den nye metode kan bruge en inddeling af tekstilet i delområder kombineret med en ny type feature vector til robust at identificere farvefordelingen over et flerfarvet tekstil.

- Dernæst kan metodikken reducere denne information til et enkelt klassificeringsresultat, baseret på en begrænset mængde intuitive og let justerbare beslutningsparametre.

Arbejdspakkens resultater omfatter desuden implementering af løsning til visuel genkendelse af tekstil i prototype sorteringslinjen.

- Den implementerede løsning til farvekendelse er integreret med NIR sensor for at give et mere komplet sæt sorteringsparametre, der både dækker de visuelle elektromagnetiske spektrum samt NIR-området.
- Implementeringen har demonstreret, hvorledes integration af data med øvrige datakilder og anvendelse af disse i algoritmer kan bidrage til optimering af præcision i sorteringen.

Ved hjælp af avancerede maskinlæringsteknologier er det altså demonstreret, hvorledes nye algoritmer til visuel genkendelse kan anvendes til robust sortering af tekstiler, herunder flerfarvede tekstiler, hvilket har ført til en fuldt implementeret løsning.

2.3 Arbejdspakke 3: Udvikling af anlæg, pre-sortering, samt adskillelse af fiber og hardware (knapper, lynlås m.m.)

Har undersøgt metoder til identifikation af accessories såsom knapper, lynlås mv. på affaldstekstiler. De undersøgte metoder omfatter røntgen og elektromagneter.

- På baggrund af resultater fra undersøgelsen er det besluttet at arbejde videre med implementering af X-ray teknologi i den samlede procesløsning.
- Markedet er blevet undersøgt og en enkelt sensorenhed er identificeret med tilstrækkelig strålingsafskærmning og teknologimæssig modenhed til brug ifm. affaldstekstiler.
- Der er udarbejdet prototyper af maskinlæringsalgoritmer baseret på Convolutional Neural Networks (CNN) til genkendelse af accessories fra X-ray billeder.
- Ved at implementere en prototype af X-ray sensor med tilhørende maskinlæringsalgoritme på sorteringslinjen er det lykkedes at separere tekstiler med accessories fra tekstiler uden accessoires.

Det har imidlertid ikke i dette projekt været muligt at skabe en effektiv løsning til fjernelse af accessories fra de tekstiler der indeholder dem. Der er undersøgt løsninger til neddeling efterfulgt af luftstrømsbaseret frasortering af accessories, men alle undersøgte løsninger har vist sig at ødelægge fiberen kvalitet til en sådan grad, at de ikke egner sig til at blive spundet i nye garner.

2.4 Arbejdspakke 4: Udvikling af logistisk setup til indsamling af tekstil rester

Arbejdspakken har resulteret i udarbejdelse af samarbejde med potentielle inputleverandører, herunder identifikation af optimal frekvens for levering af input, samt identifikation af væsentlige faktorer som har effekt på den efterfølgende mulighed for sortering og genanvendelse af tekstilerne. Resultaterne omfatter desuden identifikation af optimal indsamlingsmetode samt kvalitetsbestemmelse af inputmaterialet fra kommuner, tekstilproducenter og dampvaskerier.

- For kommunalt indsamlet tekstilaffald udgør husstandsindsamling den bedste indsamlingsmetode hvad angår genbrugelighed og genanvendelighed. For genbrugsstationer erkendes det at korrekt borgeroplysning på pladserne og tydelig skiltning er vigtigt, samt at typen af container, der bruges er meget vigtig.
- Vaskeritekstiler kan bypasses den manuelle pre-sortering, såfremt de ikke indeholder flerlagstekstiler og en række forhold igangsættes lokalt ved vaskerierne, som sikrer korrekt indsamling og opbevaring af tekstilerne.
- Tekstilproducenter afleverer cut-offs, der som udgangspunkt ikke egner sig til det udviklede robotsorteringsanlæg. Men da fraktionerne ofte er ensartede er der udført tests på at modtage nogle materialefraktioner fra producenter til genanven-

delse. Usolgte hyldevarer, også kendt som deadstock, modtages ikke hos NewRetex, men sælges i stedet af tekstilvirksomhederne til andre markeder. Denne materialekategori udgør den mindste bestanddel af materialet, der modtages hos NewRetex.

Arbejdspakken har desuden resulteret i optimering af internt flow fra modtagelse til sortering af tekstil samt opsamling af data til dokumentation af sporbarhed, herunder implementeringen af automatisk print af QR koder til registrering af modtagne tekstiler, sorterede fraktioner og færdigvarer i bales. Endelig er der i arbejdspakken identificeret væsentlige faktorer, som har effekt på den efterfølgende mulighed for sortering og genanvendelse af tekstilerne for det kommunale affald:

- Mængden af våde tekstiler ligger på 15%-40% for de fleste leverancer, hvilket for nogle leverandører er blevet nedbragt under perioden, mens der er lagt strategier for yderligere nedbringelse af denne fraktioner, såsom differentieret fakturering. Indsamlings- opbevarings- og transporttilgange har indflydelse på denne mængde.
- Mængden af "andet affald", herunder bamser, madrasser og ikke-tekstilgenstande udgør 15-35% for de fleste leverancer. Den høje procentdel skyldes i høj grad en uklar definition af tekstilaffaldsfraktionen kombineret med utilstrækkelig borgeroplysning ifm. indsamling ved kommunerne. Det ses desuden at indsamlingsmetoden har indflydelse herpå, da der ses betydeligt mindre "andet affald" i husstandsindsamlet tekstilaffald.
- Mængden af genbrugstekstiler udgør 5%-15% for de fleste leverancer og er højest ved husstandsindsamlet tekstilaffald. Desuden ses der en væsentlig forskel mellem land- og bydistrikter.
- Mængden af genanvendelige tekstiler udgør 30%-60% og påvirkes af både indsamlingsmetoder, transportmetoder, indsamlingsområder samt borgeroplysning i kommunen.

Ved at bruge det modulære sorterings setup er der iterativt blevet udviklet gradvist bedre sorterede fraktioner som, er udviklet i samarbejdet med aftagere af de sorterede tekstiler. Denne proces har gjort det muligt at oversætte kravene fra markedet til sorteringsstekniske specifikationer, hvortil algoritmer er blevet justeret for at kunne levere de efterspurgte fraktioner. Dette har resulteret i identifikationen af 25-35 ud-sorteringer baseret på materiale og farvekompositioner, som har unikke genanvendelsesmuligheder. Det opskalerede sorteringsanlæg vil bygge videre på disse erfaringer.

2.5 Arbejdspakke 5: Applikationsforsøg med processeret tekstilrest

Arbejdspakken har demonstreret hvorledes prototyper på garn og tekstil baseret på sorteret tekstilaffald kan designes og produceres i industriel skala. Dette har resulteret i flere prototyper på garn samt testproduktion af t-shirts baseret på affaldstekstil, som lever op til branchens standarder. Samlet set er der udviklet mere end 10 forskellige prototyper på garn, der herefter er strikket på industrielt udstyr til forskellige typer metervarer. Udviklingen af disse produkter er sket gennem gradvis optimering af både sorterings- og selve genanvendelsesprocesserne. Herunder er det undersøgt hvilke kompositioner af fibre der er mest optimale til fiber genanvendelse. Det er lykkedes at udvikle garner med genanvendte fibre fra kommunalt indsamlet tekstilaffald der er pris- og kvalitetsmæssigt konkurrencedygtige med certificerede garner. Det konkluderes dog, at yderligere arbejde er nødvendigt for udvikle de resterende værdikæde trin yderligere, så konkurrencedygtige priser kan opnås. Derudover er der arbejdet med identifikation af anvendelsesmuligheder for "problemfraktioner" det vil sige de fraktioner, der ikke er egnet til fiber til fiber genanvendelse. Dette inkluderer forskellige typer isolering såsom lydisolering til biler og interiør samt hulmursisolering til byggebranchen.

2.6 Arbejdspakke 6: Test af processlinie ved kapacitet på 1.000 ton

Arbejdspakken har gennemført demonstration af prototypelinjen med en kapacitet på 1.000 ton om året og er testet med henblik på efterfølgende opskalering. Den sorteringsalgoritme der er udviklet har udvist en præcision på op til 95% renhed i nogle sorterede fraktioner, og sporbarheden er verificeret gennem hele proces flowet fra modtagelse til forsendelse af baller med færdigsorterede tekstiler.

Testen har opbygget et bredt datagrundlag indholdet af Dansk tekstilaffald og har givet følgende erfaringer til videre opskalering:

- Kapaciteten er pre-sorteringen viser sig at være en stor faktor for sorteringsfabrikens effektivitet, så det konkluderes at mere arbejde er nødvendigt for at indrette en mere effektiv pre-sortering.
- Fødningen af det automatiske sorteringsanlæg kræver konstant bemanding og betyder at anlægget stoppes ved tømning af sorterede fraktioner. Det konkluderes at en automatisk fødnings er nødvendigt for at opnå højere kapacitet på den automatiske hoved-sortering.
- Det er muligt at udnytte en kombination af NIR-, visuel- samt X-ray teknologier til automatisk at sortere tekstiler til genanvendelse.
- Flere udsorteringer er nødvendigt på det automatiske sorteringsanlæg for effektivt at skabe værdi ud af tekstilaffaldet.
- Højere automationsgrad og mere robust datahåndtering er nødvendigt til sporbarhedssystemet for at opskalere sorteringslinjen.

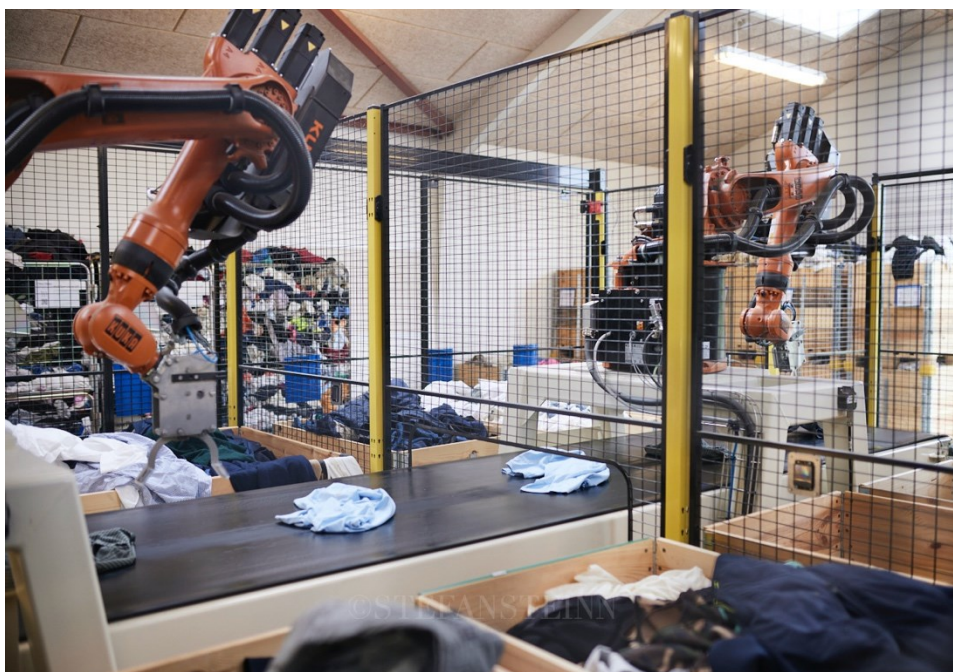
2.7 Arbejdspakke 7: Projektledelse formidling og administration

Arbejdspakken har gennemført projektledelse som har sikret at projektet har nået sine mål.

Bilag 1. Billeder



Billede 1
Prototypе сортировочной линии



Billede 2
Прототип сортировочного робота



Billede 3
Modtagelse af affaldstekstil



Billede 4
Affaldstekstil spundet til tråd



Billede 5
Sorteret tekstil



Billede 6

Eks. på anvendelse af sorteret tekstil

Projektet har haft fokus på at udvikle, teste og demonstrere NewRetex konceptet, som består af et fuldskala anlæg til modtagelse, sortering og processering af kasserede tekstiler. Projektets formål har været at demonstrere hvorledes ny sensor, robot og automationsteknologi kan anvendes til at foretage intelligent og automatiseret sortering af tekstiler.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk