



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Formstøbning med upcycled tekstilaffald fra Really

MUDP rapport

December 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Tomas Sander Poulsen, Provice.

Claus Mølgaard & Wickie Meyer, Really.

Fotos: Really

ISBN: 978-87-7038-147-5

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

# Indhold

<b>1. FORORD</b> .....	<b>5</b>
1.1.1 Really .....	5
1.1.2 Projektet formål.....	5
<b>2. SAMMENFATNING</b> .....	<b>6</b>
<b>3. PROJEKTETS AKTIVITETER</b> .....	<b>7</b>
3.1.1 Arbejdsplaner .....	7
<b>TESTFORLØB</b> .....	<b>9</b>
3.1.2 Teknisk vurdering.....	9
<b>3.2 Test med fremstilling af granulat i Really fibre</b> .....	<b>9</b>
3.2.1 Matrix materiale .....	9
3.2.2 Materiale mix .....	10
3.2.3 Forsøg.....	11
3.2.4 Mixing tekstil og teknisk binder .....	11
3.2.5 Mixing tekstil og jomfruelig polypropylen .....	13
3.2.6 Resultat .....	14
3.2.7 Mekaniske egenskaber.....	14
3.2.8 Æstetik .....	16
3.2.9 Økonomi.....	18
3.2.10 Konklusion på test med granulater.....	18
<b>3.3 Fiber Injected Moulding – indledende test</b> .....	<b>18</b>
3.3.1 Matrix materiale .....	18
3.3.2 Forsøg.....	19
3.3.3 Resultat .....	19
<b>3.4 Produktion af prototyper</b> .....	<b>21</b>
3.4.1 Metode .....	21
3.4.2 Mekaniske egenskaber.....	22
3.4.3 Forsøg.....	22
3.4.4 Resultat mekaniske egenskaber .....	22
3.4.5 Proces forløb .....	23
.....	24
3.4.6 Forsøg - støbebarhed.....	24
3.4.7 Resultat støbebarhed .....	27
3.4.8 Forsøg overflader.....	27
3.4.9 Resultat - forsøg overflader .....	27
3.4.10 Økonomi.....	29
3.4.11 Fiber sprøjtstøbning med teknisk binder.....	29
3.4.12 Fiber sprøjtstøbning med epoxy som binder.....	30
3.4.13 Resultat af de økonomiske analyser .....	30
<b>3.5 Konklusion</b> .....	<b>30</b>

<b>3.6</b>	<b>Endelige prototyper .....</b>	<b>31</b>
<b>4.</b>	<b>MILJØVURDERING.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Sammenfatning af miljøeffekter.....</b>	<b>33</b>
4.1.1	LCA screening af Really vs. plast produkt .....	33
4.1.2	Miljøeffekt ved ændring i fiber/plastbinder .....	34
4.1.3	Closed loop af display produkter .....	35
<b>4.2</b>	<b>LCA product footprint.....</b>	<b>35</b>
4.2.1	Afgrænsning og data .....	36
4.2.2	System .....	36
<b>4.3</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>39</b>

# 1. Forord

## 1.1.1 Really

Really er en privat tekstil upcycling virksomhed, del-ejet af Kvadrat A/S. Really udvikler funktionelle materialer i genanvendt tekstil, materialer der er designet til cirkularitet og rettet mod High-End i den internationale møbel-, design- og arkitektur industri. Really lancerede sine første produkter i april 2017.

Really produkt porte folio indeholder:

1. Et hårdt plademateriale, Solid Textile Board by Really og
2. Akustiske måtter, Acoustic Textile Felt by Really til indendørs brug.

Disse produkter har både funktionelle, akustiske og miljømæssige egenskaber som er markant bedre end andre produkter i markedet, f.eks. MDF, kompaktlaminat og polyester felt.

## 1.1.2 Projektet formål

Formålet med dette MUDP projekt var at udvikle et Really granulat baseret på upcycled tekstilaffald, som kunne anvendes til sprøjtestøbning. Udvikling af et granulatprodukt er motiveret af at kunne tilbyde bæredygtige formstøbte Really produkter, som bl.a. kan erstatte plastik. Et Really granulat, der kan anvendes til formstøbning vil give fundamentalt nye muligheder for formgivning, en mere kosteffektiv produktion og adgang til et større marked.

Projektet har fokuseret på at:

- Udvikle et Really granulat af upcycled tekstilfibre og miljøvenlige bindemidler til sprøjtestøbning, som opfylder kvalitetskrav til finish og holdbarhed og Really's miljøstandarder
- Fremstille en prototype showcase, der kan medbringes til Milanos møbelmessen 2019
- Inkludere et take-back koncept og LCA-dokumentation til prototype
- Prototype kan indgå i en cirkulær model, hvor udtjente produkter anvendes i nye produktioner og kan produceres til sammenlignelige priser

Projektet er gennemført af Really, producent af upcycled tekstilprodukter, Mølgård ApS, rådgivere for store internationale brands, mht. produkt og materiale specifikationer, Provice, specialist i miljøvurderinger og grønne forretningsmodeller. Herudover har Københavns Universitet været tilknyttet med Anand Sanadi, forsker i nye kombinationer af naturfibre,

Projektet er gennemført i perioden 1/9 2017 – 1/9 2019.

## 2. Sammenfatning

Projektet har resulteret i udvikling af en råvare i upcycled tekstilaffald og en teknologisk løsning til formstøbning, som opfylder de tekniske krav samt løser udfordringen ved støbning med Really's naturfibre produkter.

Projektet har produceret et antal vellykkede formstøbte prototyper, som indfrier Really's krav til æstetik, kvalitet og form.

Vejen dertil kunne ikke opnås med traditionel sprøjttestøbning. Når indholdet af upcycled fibre blev hævet til niveauer på over 60% fiber (og 40% teknisk binder) kunne det ikke undgås at tekstilfibre blev for påvirket af de relativ høje temperaturer, som anvendes ved sprøjttestøbning. Derfor blev der i stedet udviklet på en alternativ metode til formstøbning, der gør det muligt at støbe ved så lave temperaturer, at de upcycled fibre ikke blev skadet af varmpåvirkningen. Teknologien hedder Fibre Injected Moulding (FIM). Støbemetoden har endvidere den fordel at den ikke kræver forudgående ekstrudering af matrix, da materialet mixes og tilføres direkte i formværktøjet. Det gør produktet mere bæredygtigt og øger råvareflexibilitet, da der spares en energikrævende ekstruderings proces og den konkrete blanding af tekstilråvare og binder kan blandes alt efter behov.

Med FIM teknologien lykkedes det at formstøbe emner med et højt indhold af upcycled tekstilfibre og lavt indhold af teknisk binder. Og projektet har demonstreret og dokumenteret at det rent teknisk kan lade sig gøre at producere/støbe tredimensionelle emner i Really materiale af upcycled tekstil-affald.

Vi testede forskellige blandinger af fibre og binder og har opnået gode resultater med blandingsforhold op til 70% upcycled tekstilfibre, 30% teknisk binder. Der er potentiale for at øge andel af fibre yderligere. Det betinges dog af slutproduktets funktion og styrkekrav, idet øget indhold af fibre reducerer styrke. Men ud fra et bæredygtighedsperspektiv er det relevant fortsat at arbejde med at udfordre de nedre grænser for indhold af binder.

Den konkrete miljøeffekten ved forskellige kombinationer af upcycled fibre og tekniske bindere er screenet i et LCA perspektiv. Den overordnede konklusion er, at for hver 10% indholdet af upcycled fibre kan øges, reducerer det den væsentlige miljøeffekter som f.eks. klimabelastningen og forbrug af fossile stoffer med 20-25%. Det er således konklusionen at der er et proportionalt forhold mellem højt indhold af upcycled tekstilaffald og bedre bæredygtighedsprofil.

Der er også foretaget LCA beregning af prototypen i form af et product footprint for første generation produkt og et closed loop produkt, hvor prototype indsamles og recycles i ny produktion. Denne beregning er baseret på et closed loop scenarie med afsæt i display-produkter til den Japanske brille- og fashion-virksomhed JINS. Really's dialog med JINS er et direkte spin-off af MUDP projektet.

LCA beregningen af første generation produkt og et closed loop produkt viser at der er en øvre grænse for transportafstande, hvis det skal være det miljøeffektivt at indsamle og recycle End-Of-Life produkter til ny produktion, med de forudsætninger som blev lagt i beregningen. Et closed loop med EoL produkter til recycling fra Japan til Danmark, er jf. LCA beregningen og med de givne forudsætninger, ikke den mest miljøoptimale løsning. Dog er det projektets vurdering at ressourceeffektivitet og reduceret affaldsmængder bør vægtes højere end afspejlet i LCA beregningsværktøjet Sima Pro og at et pragmatisk tilgang og prioritering bør favorisere closed loop modeller frem for andet.

# 3. Projektets aktiviteter

## 3.1.1 Arbejdspakker

Projektet omfattede 4 arbejdspakker:

- Arbejdspakke 1: Udviklings af støbegranulat
- Arbejdspakke 2: Design og produktion af prototyper
- Arbejdspakke 3: Cirkulær forretningsmodel og LCA
- Arbejdspakke 4: PL, rapportering og formidling

Arbejdspakkernes indhold og resume af resultater er uddybet nedenfor.

### *Arbejdspakke 1: Udvikling af støbegranulat*

Arbejdspakke 1 havde til formål at udvikle og initial teste Really støbegranulat af de upcycled fibre og kombineres med hærdere, bindemidler og farve.

Denne arbejdspakke blev igangsat i to parallelle spor. I det ene spor blev der in-situ testet forskellige blandinger af upcycled tekstilfibre og tekniske bindere i sprøjtestøbning. Det foregik ved to trin – først blev der ekstruderet granulater, og derefter blev granulatet testet til støbning. I det andet spor blev testemnerne analyseret på strukturelt niveau, hvor KU udførte analyser af, hvordan de forskellige fibre (uld, bomuld, korte fibre, lange fibre) blander sig med de forskellige tekniske bindere og fordeler sig i matrixen.

Resultatet af denne arbejdspakke er en række analyser af matrix for forskellige kombinationer af fibre/teknisk binder, produktion af granulatvarianter til støbetest, støbning af test-emner, evaluering, herunder styrketest og æstetisk vurdering af de forskellige test-emner.

Undervejs i denne arbejdspakke blev det en realitet, at Really granulater til traditionel sprøjtestøbning, havde for mange begrænsninger, hvorfor test og udvikling af en alternativ støbemetode – fiber injected moulding, blev initieret.

### *Arbejdspakke 2: Design og produktion af prototyper*

Arbejdspakke 2 havde til formål at fremstille og teste prototyper konstrueret af Really upcycled tekstil granulat, og derved afdække de designmæssige, funktionelle, miljømæssige, produktions-tekniske og økonomiske aspekter.

Resultatet af denne arbejdspakke er fremstilling af en række prototyper med fiber injected moulding metoden, herunder flere vellykkede varianter af display-produkter til fremvisning af brilllestel. Disse prototype varianter blev valgt, da de havde de nødvendige tekniske udfordringer til formgivning (skarpe kanter, fordybninger etc.) som kunne give projektet erfaring med støbe-processen og eventuelle begrænsninger. Valg af prototype blev delvist formet af en udviklingsdialog med en potentiel kunde, som viste interesse for en display-løsning til fremvisning af briller i Really materiale.

### *Arbejdspakke 3: Cirkulær forretningsmodel, LCA*

I arbejdspakke 3 dokumenteres miljøprofil ved produktion og materialevalg i et LCA perspektiv og udvikles den cirkulær forretningsmodel som prototyper kan markedsføres med. Det centrale i modellen er en take-back ordning.

Resultatet af denne arbejdspakke er miljøscreeninger af forskellige kombinationer af fibre og tekniske bindere som et beslutningsgrundlag for den videre udvikling af et bæredygtigt pro-

dukt, udvikling af en cirkulær case med en potentiel kunde, LCA beregning af prototype samt miljøeffekten ved realisering af closed loop med den valgte prototype showcase.

*Arbejdspakke 4: PL, rapportering og formidling*

Arbejdspakke 4 omfatter projektledelse og diverse formidlingsaktiviteter om projektets delresultater og slutresultater. Væsentligste formidlingsindsats blev udstilling af prototyper og dokumentation på *Milan furniture 2019*.

Formidlingen af projektets resultater er primært sket via kvadrats 36 showrooms World Wide, ligesom Really og Kvadrat har præsenteret projektet på messer, herunder Stockholm Furniture Fair og Milano. Der har været generel repræsentation på 4 messer Orgatec, IMM, SSF, Milano i perioden 2018 – 2019.



# Testforløb

## 3.1.2 Teknisk vurdering

Den overordnede konklusion er, at det er lykkedes at fremstille 3D støbte prototyper i upcycled tekstilaffald i kvaliteter, der opfylder Really's høje krav til æstetik og kvalitet.

Vejen dertil kunne ikke opnås med en traditionel sprøjtstøbning, men ved udvikling af en fundamental ny støbeteknologi, der gør det muligt at støbe ved så lave temperaturer, at de upcycled fibre ikke får brændemærker.

I projektet fik vi endvidere dokumenteret at det var muligt at støbe med et højt indhold af upcycled tekstilfibre og lavt indhold af binder (70/30). Endvidere kræver teknologien ikke forudgående ekstrudering af matrix, da materialet mixes og tilføres direkte i formværktøjet. Teknologien hedder Fibre Injected Moulding (FIM).

Projektet har demonstreret at det rent teknisk kan lade sig gøre at producere/støbe tredimensionelle emner i Really-materiale af upcycled tekstil-affald fra erhvervskunder i Norden. Større mængder af mere ensartet tekstil-affald, giver Really mulighed for at styre farveudtryk og designet i færdigprodukt.

## 3.2 Test med fremstilling af granulat i Really fibre

I dag fremstilles og sælges der 2 slags Really materialer: en felt, som har gode akustiske egenskaber, der kaldes Acoustic Textile Felt og en hård plade med gode mekaniske egenskaber, der kaldes Solid Textile boards. For begge materialer gælder, at de er lavet på basis af recycled tekstil enten i form af produktions affald eller post-konsumer materialer.

Hele processen, for at fremstille et produkt, kræver en del processer i form af neddeling af tekstiler, fremstilling af felt, presning af plader, samt efterfølgende mekanisk bearbejdning af pladerne. Alle disse processer ender med at gøre det endelige produkt omkostningstungt. Det er således formålet med dette projekt at udvikle et materiale, hvor tekstil fibrene via en "hurtigere vej" gennem processerne eller ved at spare nogle processer kan minimere omkostningerne.

Det er generelt således, at traditionel sprøjtstøbning har meget lave produktionsomkostninger, da man på kort tid kan få omformet og nedkølet smeltet plast til en fast form, som ikke kræver yderligere mekanisk forarbejdning. Sigtet er der for at udvikle en materialevariant af Really som kan sprøjtstøbes.

Der findes allerede mange plastmaterialer, hvor fiber indblandes i plast. Helt klassisk har man i mange år indblandet glasfiber i plast og i de senere år har man set flere eksempler på, at der også indblandes naturfiber i plast.

### 3.2.1 Matrix materiale

Fiber kan indblandes i mange plasttyper, men man ser ofte at fiber indblandes i polypropylen eller nylon. Polypropylen fordi den er billig, har rimelige mekaniske egenskaber og forholdsvis miljøvenlig. Nylon anvendes ofte, hvor man skal have virkelig gode mekaniske egenskaber. Smeltepunkt er vigtigt, da tekstilfibre er organisk materiale og muligvis vil nedbrydes af varmen.

Af tabel 1 fremgår det, at de fleste materialer har smeltepunkter over 200 grader celsius, hvis de skal sprøjtestøbes. PVC ønskes af miljømæssige årsager ikke anvendt. ABS og polystyren er amorfe materialer, som ved iblanding af fibre gør materialerne meget sprøde. Nylon 11 og 12 er meget specielle materialer, som næsten aldrig anvendes til sprøjtestøbning.

Bedste alternativer er således polypropylen og polyethylen (LDPE). LDPE er dog så blødt et materiale, at det ikke vil give materialet særlig gode mekaniske egenskaber.

I første omgang anvendes polypropylen som matrix materiale.

**TABEL 1:** Smeltetemperaturer for plast

Materiale	Smeltetemperatur for sprøjtestøbning
ABS	190-270
ABS/PC ALLOY	245-265
ACETAL	180-210
ACRYLIC	220-250
HDPE	210-270
LDPE	180-240
NYLON 6	230-290
NYLON 6 (30% GF)	250-290
NYLON 6/6	270-300
NYLON 6/6 (33% GF)	280-300
NYLON 11	220-250
NYLON 12	190-200
PEEK	350-390
POLYCARBONATE	280-320
POLYESTER PBT	240-275
PET (SEMI CRYSTALLINE)	260-280
PET (AMORPHOUS)	260-280
POLYPROPYLENE (COPOLYMER)	200-280
POLYPROPYLENE (HOMOPOLYMER)	200-280
POLYPROPYLENE (30% TALC FILLED)	240-290
POLYPROPYLENE (30% GF)	250-290
POLYSTYRENE	170-280
POLYSTYRENE (30% GF)	250-290
PVC P	170-190
PVC U	160-210
SAN	200-260
SAN (30% GF)	250-270
TPE	260-320

### 3.2.2 Materiale mix

De eksisterende Really materialer består af 70% tekstil fiber 30% plastbinder. Det vil sige, det er binderen, der binder fibrene sammen.

Binderen danner en form for en matrix, da det forventes at fibrene er smeltet sammen. Københavns Universitet har i projektet analyseret på en række kombinationer af korte/lange fibre

sammensmeltning med binde-materiale. Disse analyser har været grundlag for de videre test med kombinationer.

Normalt ses sprøjttestøbebare plastmaterialer ikke med mere end 30% fibre. I vores test har vi forsøgt at lave et materiale med op til 70% tekstilfibre (som vores eksisterende Really materialer).

Prisen for plast bindere varierer væsentligt. Derfor er det undersøgt, hvordan matrix udarter sig med forskellige typer bindere. For eksempel er pris for tekniske bindere<sup>1</sup> det dobbelte af prisen for almindelig jomfruelig polypropylen, hvor for jomfruelig polypropylen også skal undersøges som matrix materiale. Materialematrixen i tabel 2 viser de materialekombinationer der ønskes undersøgt.

**TABEL 2:** Test matrix med teknisk binder og PP

Tekstil fiber	Matrix materiale	Tekstil/matrix forhold		
Hvid bomuld	Binder 1	70/30	50/50	30/70
Blå Bomuld	Binder 1	70/30	50/50	30/70
Natur uld	Binder 1	70/30	50/50	30/70
Grå uld	Binder 1	70/30	50/50	30/70
Hvid bomuld	PP	70/30	50/50	30/70
Blå Bomuld	PP	70/30	50/50	30/70
Natur uld	PP	70/30	50/50	30/70
Grå uld	PP	70/30	50/50	30/70

### 3.2.3 Forsøg

Der er udført 2 forsøgsrækker, hvor tekstil fiber er mixed med henholdsvis teknisk binder og jomfruelig polypropylen.

For begge forsøg gælder, at der ønskes fremstillet plast granulat, der anvendes som indgangsmateriale til fremstilling af sprøjttestøbte plast emner.

Fremstilling af granulat foregår normalt på følgende måde: først smeltes og blandes plast og fiber i en opvarmet ekstruder, der ekstruderes en stang med en diameter på et par millimeter, den ekstruderede stang skæres i op i kortere stykker på et par millimeter, hvor ved granulat opstår. Ekstruderen, der anvendes, kan enten være en enkeltsnække ekstruder eller en mere avanceret dobbeltsnække ekstruder, der giver en bedre mixing og en kortere opholdstid af plasten i ekstruderen.

### 3.2.4 Mixing tekstil og teknisk binder

Der er udført forsøg til fremstilling af plast granulat baseret på tekstil fiber og teknisk binder. For forsøgene gælder at tekstil fiber og teknisk binder er blandet inden de indføres i ekstruderen.

#### Forsøg 1

Blandingen af tekstil fiber og teknisk binder føres direkte ind i ekstruderen til fremstilling af granulat. Det viste sig ikke at være muligt at fremstille en ekstruderet stang i egnet kvalitet, hvorfor et homogent materiale ikke kunne fremstilles. Det blev vurderet, at det fremstillede granulat ingen værdi havde.

<sup>1</sup> Teknisk binder er specialfremstillet produkter, der kombinerer og udnytter egenskaber fra forskellige plasttyper. Den anvendte tekniske binder i test består af en PP kerne med en PE yderskal.

### Forsøg 2

I forsøg 2 er fiberlandingen først blevet fødet i en ekstruder, påmonteret værktøj til store profiler på ca. 50x50mm, der ikke er så følsomt over for materiale mixes kvalitet. Næste step i processen er neddeling af 50x50mm profilet i en kværn. Dette neddelte materiale er nu muligt at indføre i ekstruderen med påmonteret granuleringsudstyr.

Ekstruderen, der er anvendt, har en ø60mm snekke og LD forhold på 25. Begge ekstruderinger er foretaget ved en temperatur på 190°C. Man skal være opmærksom på at temperaturen godt kan blive højere på grund af friktionsvarme i snekken.

Det er ikke lykkedes at fremstille alle de blandinger listet i tabel 2. Ingen af blandingerne med 70% tekstilfibre er lykkedes. I tabel 3 er de blandinger som det er lykkedes at fremstille listet.

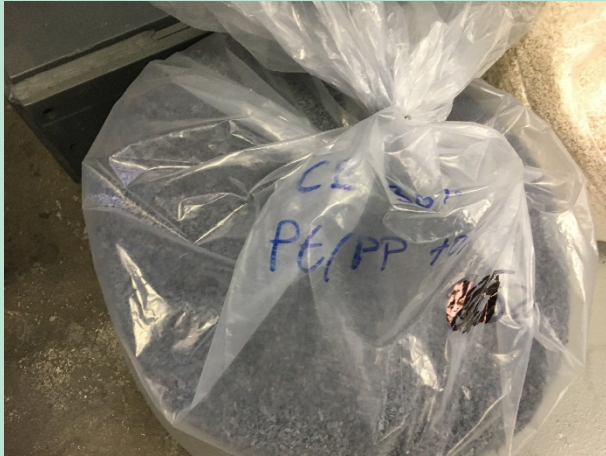
**TABEL 3:** Testresultat med granulat fremstilling

Tekstil fiber	Matrix materiale	Tekstil/matrix forhold		
Hvid bomuld	Teknisk binder			30/70
Blå Bomuld	Teknisk binder		50/50	30/70
Natur uld	Teknisk binder		50/50	30/70
Grå uld	Teknisk binder			30/70

Nogle af de fremstillede granulater ses på figur 1 - 3



**FIGUR 1:** 30% hvid bomuld / 70% teknisk binder



**FIGUR 2:** 30% blå bomuld / 70% teknisk binder



**FIGUR 3:** 30% natur uld / 70% teknisk binder

Det fremstillede granulat anvendes her efter til traditionel sprøjtetøbning hvor trækrøvetænger fremstilles.

### 3.2.5 Mixing tekstil og jomfruelig polypropylen

Der er udført 2 forsøg til fremstilling af plast granulat baseret på tekstil fiber og jomfruelig polypropylen. For begge forsøg gælder at tekstil fiber og polypropylen blandes i selve ekstruderen.

#### *Forsøg 1*

Polypropylenen ekstruderes gennem ekstruderen til fremstilling af granulat og tekstilfibrene tilføres plasten via special anordning til indføring af fiber i smelten. Det viste sig at Really fibrene i den leverede form var alt for "floffy" til at kunne indføres i plastsmelten og forsøget måtte opgives.

#### *Forsøg 2*

Problemet med den "floffy" tekstil fiber forsøges løst via en komprimering af fibrene, således fibrene lettere skulle kunne fødes ind i ekstruderen. Det er dog ikke lykkedes at komprimere fibrene på grund af fibrenes længde og struktur.

Konklusionen er at det er vanskeligt at dosere fibrene til produktionen således at der opnås en homogen matrix til granulat.



**FIGUR 4:** Foto af granulat med PP

### **3.2.6 Resultat**

Det må konkluderes at der kun er opnået et brugbart resultat for forsøget med mixing af tekstilfibre og teknisk binder.

Resultatet af forsøgene evalueres på følgende 3 parametre: mekaniske egenskaber, æstetik og økonomi.

### **3.2.7 Mekaniske egenskaber**

De mekaniske egenskaber er evalueret ved almindelige trækprøveforsøg hvor materialet styrke, stivhed og fleksibilitet måles. Resultaterne af de mekaniske egenskaber fremgår af tabel 4, hvor de sprøjttestøbebare Really materialers egenskaber er sammenlignet med andre fyldte varianter af polypropylen. Resultaterne er ligeledes gengivet i figur 5 – 7.

Af resultaterne fremgår det at trækstyrken er højere for bomuldsvarianter end uldvarianter, hvilket også gælder for de eksisterende Really Solid Textile Boards.

Styrken for de sprøjttestøbebare Really bomuldsvarianterne er på niveau med polypropylen forstærket med cellulose fiber.

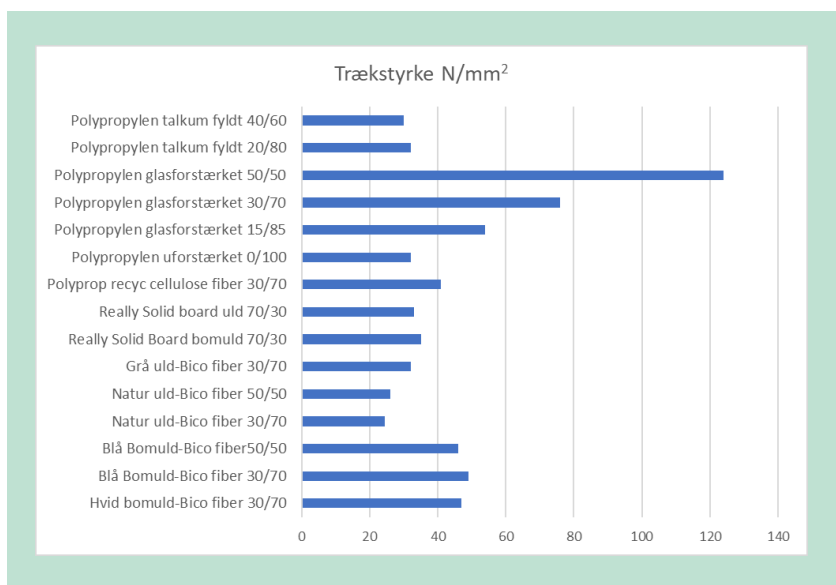
Brudforlængelsen for sprøjttestøbebare Really er på niveau med både glas cellulosefibre og glas-forstærket polypropylen naturligvis afhængig af fiberindholdet.

E-modulet, som er et mål for materialernes stivhed, er højere for de sprøjttestøbebare Really bomuldsvarianterne end for uldvarianterne. Dog er de noget lavere end de glasforstærkede polypropylen-varianter.

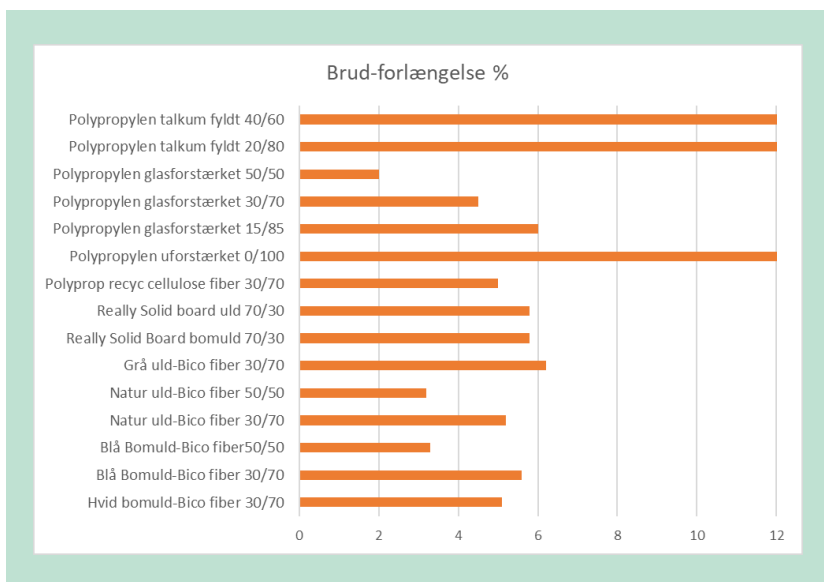
Generelt har de sprøjttestøbebare Really materialer rimelige egenskaber på niveau med polypropylen forstærket med cellulose fiber, men ikke på niveau med glasforstærket polypropylen.

**TABEL 4:** Egenskaber (Kilde: RTP Company)

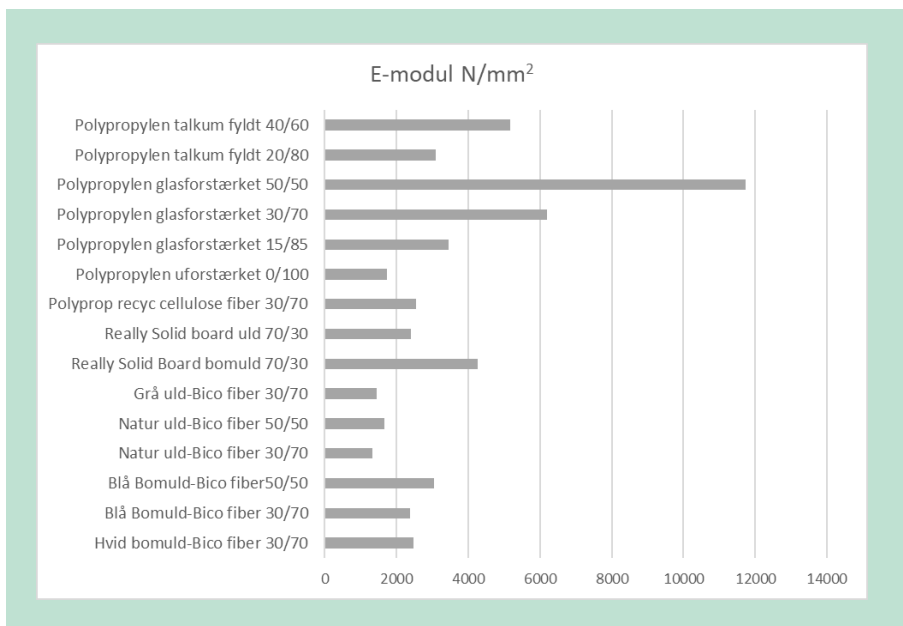
Tekstil fiber	Matrix materiale	Tekstil/matrix forhold	Trækstyrke N/mm <sup>2</sup>	Brud-forlængelse	E-modul N/mm <sup>2</sup>
Hvid bomuld	Teknisk binder	30/70	47	5,1	2476
Blå Bomuld	Teknisk binder	30/70	49	5,6	2388
Blå Bomuld	Teknisk binder	50/50	46	3,3	3045
Natur uld	Teknisk binder	30/70	24,5	5,2	1320
Natur uld	Teknisk binder	50/50	26	3,2	1671
Grå uld	Teknisk binder	30/70	32	6,2	1444
Really Solid Board bomuld		70/30	35	5,8	4270
Really Solid board uld		70/30	33	5,8	2400
Polyprop recyc cellulose fiber		30/70	41	5	2551
Polypropylen uforstærket		0/100	32	>10	1724
Polypropylen glasforstærket		15/85	54	6	3448
Polypropylen glasforstærket		30/70	76	4,5	6206
Polypropylen glasforstærket		50/50	124	2	11722
Polypropylen talkum fyldt		20/80	32	>10	3103
Polypropylen talkum fyldt		40/60	30	>10	5171



**FIGUR 5 :** Trækstyrke



FIGUR 6: Brudforlængelse



FIGUR 7: E-modul

### 3.2.8 Æstetik

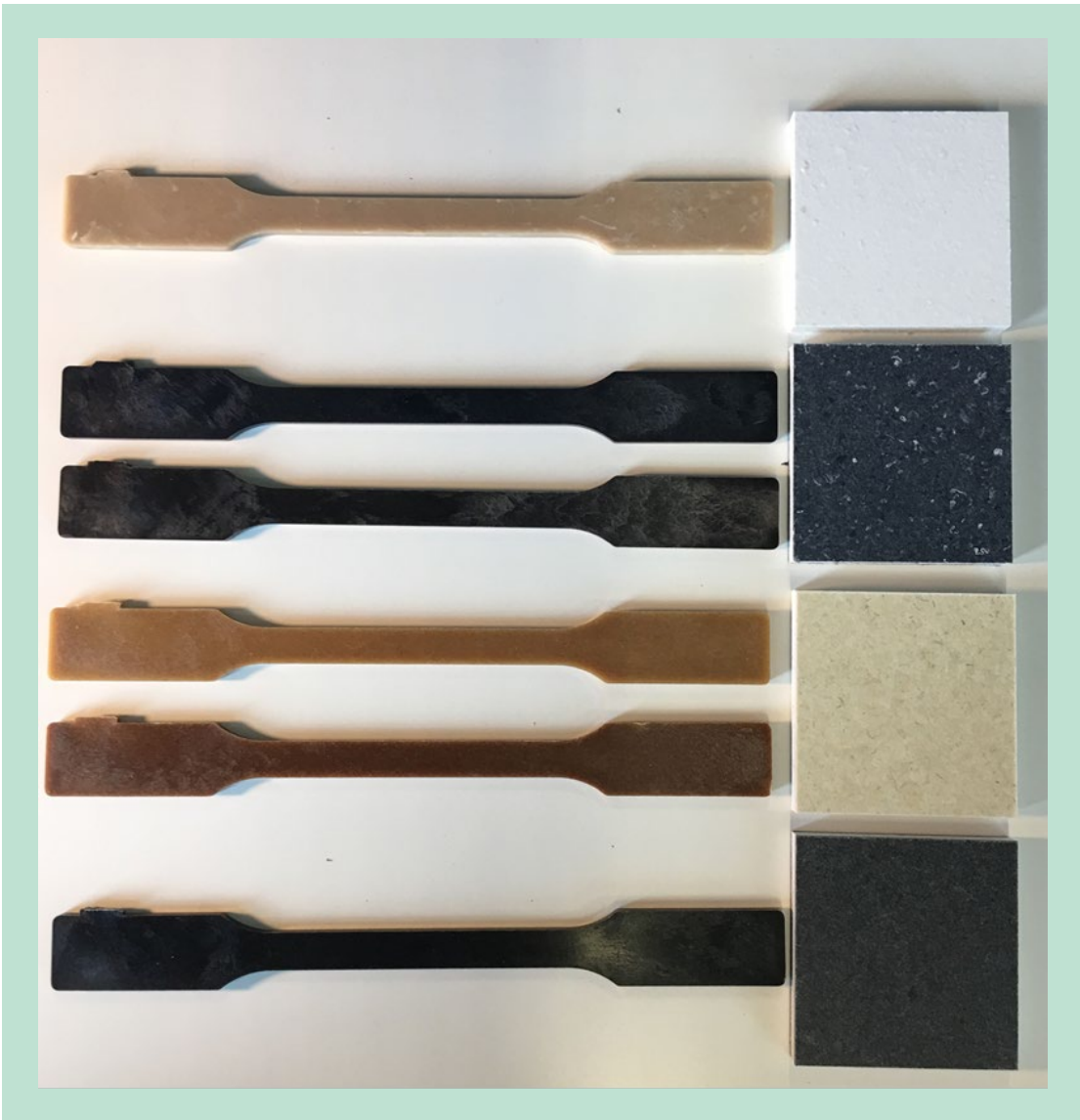
Materialernes æstetik er evalueret ved at sammenligne sprøjtetøbebar Really med Really Solid Textile Boards – se figur 8.

Æstetik er naturligvis baseret på subjektiv vurdering, men det ses at de sprøjtetøbebare Really varianter ikke har Really Solid Textile Boards æstetik. Materialerne får ikke samme "recycle" image som Really Solid Textile Board idet farverne blev mørkere.

Misfarvningen skyldes formentlig forbrænding af tekstilfibrene, som jo er blevet ekstruderet 2 gangen ved minimum 190 C og sprøjtetøbt en gang ved minimum 200 C. Det kan endvidere registreres at materialet lugter brændt.

De sprøjtetøbebare Really materialer har en æstetik, der ikke kan bruges i Really's regi.





**FIGUR 8:** Sprøjttestøbebar Really og Really Solid Textile Board

### 3.2.9 Økonomi

Til beregning af produktionsomkostningerne indgår såvel de indgående materialer samt procesomkostninger.

De samlede omkostninger inklusive materialer og proces er ca. 50% billigere end for Really Solid Textile Board og 2-3 gange dyre end gængs glasforstærket polypropylen.

### 3.2.10 Konklusion på test med granulater

Det er ikke lykkedes at fremstille sprøjttestøbebar variant af Really til traditionel sprøjttestøbning. Hovedårsagen er at det ikke er lykkedes at fremstille materialet med en tilstrækkelig æstetik i henhold til Really's normer. Problemerne skyldes hovedsageligt misfarvning af tekstilfibrene på grund af de temperaturer, der er nødvendige i fremstillingsprocesserne.

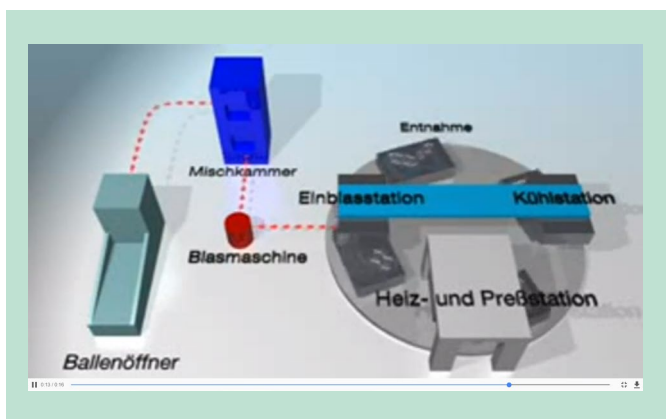
Desuden bliver prisen for plast granulatene også uforholdsmæssigt dyre, da de er lavet med udgangspunkt i dyre teknisk bindere og 2 procestrin i form af ekstrudering.

Der blev derfor arbejdet videre med en alternativ sprøjttestøbemetode, hvor tekstil og binder kan blæses direkte ind i et støbeværktøj. Metoden kaldes Fiber Injection Moulding (FIM).

## 3.3 Fiber Injected Moulding – indledende test

Som alternativ til traditionel sprøjttestøbeteknologi, har vi arbejdet videre med en alternativ sprøjttestøbemetode kaldet Fiber Injection Moulding (FIM), hvor blandingen af tekstilfibre og binder kan blæses direkte ind i et støbeværktøj uden at fremstille forudgående granulat.

Processen ses af nedenstående figur 9.



FIGUR 9: FIM - Fiber Injection Moulding

Metoden har den fordel, at der ikke vil ske opvarmning af materialerne til omkring 200°C, hvor vi har registreret forbrænding af tekstiler. Desuden vil man kunne spare de fordyrende ekstruderings trin ved fremstilling af granulat. Spørgsmålet er selvfølgelig, om selve støbeprocessen til fremstilling af det endelige produkt er lige så økonomisk og teknisk fordelagtig som traditionel sprøjttestøbning.

Metoden er derfor testet med hensyn til mekaniske egenskaber, æstetik og økonomi.

### 3.3.1 Matrix materiale

Som matrix materiale til de initiale forsøg er valgt den tekniske binder, som anvendes til fremstilling af Solid Textile Boards.

Tabellen nedenfor viser de materiale mix hvor med der er lavet forsøg med fiber-sprøjttestøbning.

**TABEL 5:** Test-mix

Tekstil fiber	Matrix materiale	Tekstil/matrix forhold		
Grå uld	Teknisk binder	66/33	50/50	
Hvid bomuld	Teknisk binder	66/33	50/50	86/14

Der blev testet på tre blandingsforhold. Blandingerne blev fastsat med tilpas store intervaller for at få en overordnet indkredsning af støberesultater, inden der besluttes detailforsøg.

### 3.3.2 Forsøg

Der er udført en række forsøg med forskellige tekstil/matrix forhold, forskellige temperaturer, tryk og plade tykkelser. Af tabellen nedenfor fremgår de forsøg der foretaget med tilhørende kørsels parametre

**TABEL 6:** Forsøgskombinationer

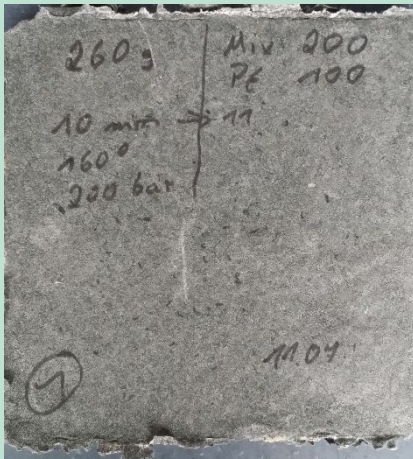
Forsøgs nummer	Farve	Tykkelse mm	Temperatur °C	Køle-temperatur °C	Tryk Bar	Tekstil/matrix forhold
1	Grå uld	10	160	-	200	66/33
2	Grå uld	5	160	-	200	66/33
3	Hvid bomuld	3	160	57	200	66/33
4	Grå uld	2	160	-	200	66/33
5	Grå uld	3	150	60	200	50/50
6	Hvid bomuld	5	150	40	200	50/50
7	Hvid bomuld	5	150	35	200	86/14
8	Grå uld	40	150		0	80/20

Forsøgene gav erfaring med støbninger under forskellige procesforhold og med forskellige blandinger. Støbegods tykkelse varierede fra 2-40 mm, støbetemperaturen var enten 150 eller 160 grader, og for nogle forsøg, blev der anvendt tvangskøling for at vurdere cyclus-tid.

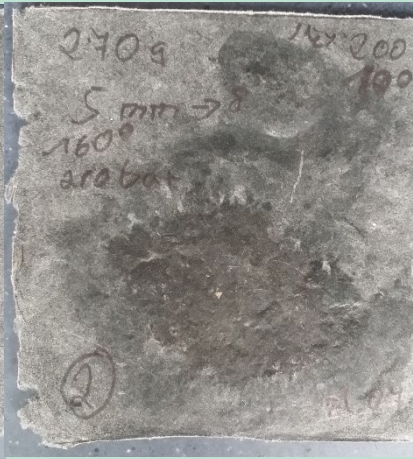
### 3.3.3 Resultat

De fysiske prøver viser at:

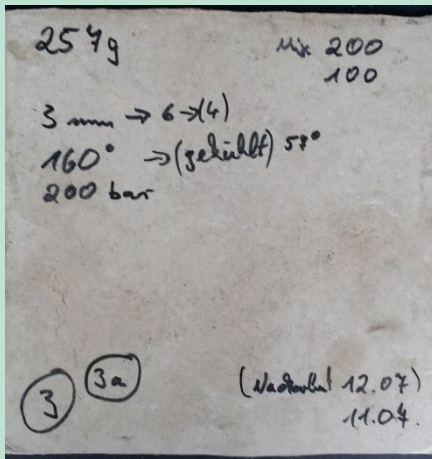
- Forsøg 1 er dårligt formentlig på grund af for lidt køling
- Forsøg 2 er dårligt formentlig på grund af for lidt køling
- Forsøg 3 er rimeligt, der ser dog ud til at være udtrækninger af binder på overfladen, som måske skyldes dårlig blanding, og der er måske forbrændinger.
- Forsøg 4 er dårligt formentlig på grund af for lidt køling
- Forsøg 5 er rimeligt, men pladen er skæv hvilket måske skyldes for kort køletid (60°).
- Forsøg 6 er rimeligt, der ser dog ud til at være udtrækninger af binder på overfladen, som måske skyldes dårlig blanding.
- Forsøg 7 er rimeligt. Pladen er flot men for blød på grund af det lave indhold af binder.
- Forsøg 8 virker ikke særligt godt. Det bliver formentligt svært at producere acoustic felt med sprøjtstøbemetoden.



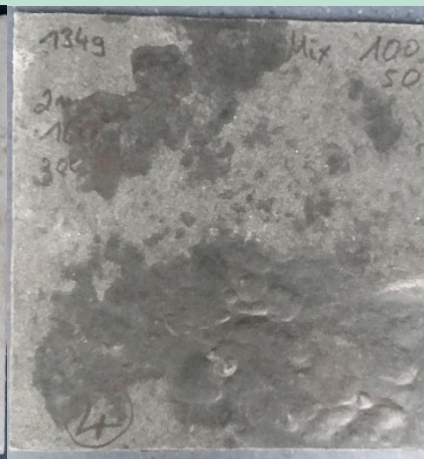
FIGUR 10 - Forsøg 1



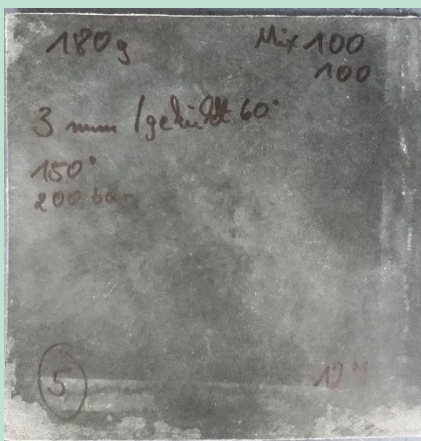
FIGUR 11 - Forsøg 2



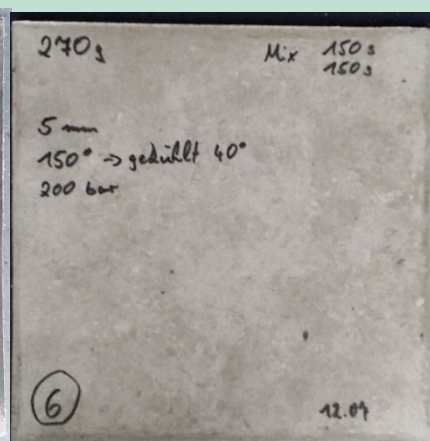
FIGUR 12 - Forsøg 3



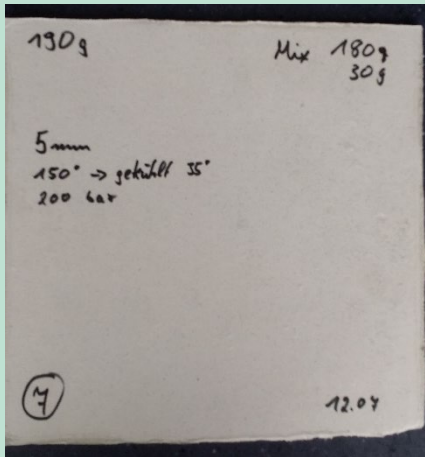
FIGUR 13 - Forsøg 4



FIGUR 14 - Forsøg 5



FIGUR 15 - Forsøg 6



FIGUR 16 – Forsøg 7

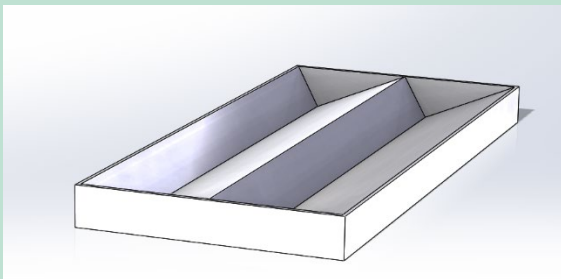


FIGUR 17– Forsøg 8

### 3.4 Produktion af prototyper

De foregående forsøg viste at æstetikken endnu ikke var tilstrækkelig overbevisende samt mekaniske egenskaber og økonomien skal analyseres nærmere. Det har været afsættet for det videre med æstetikken, hvor forskellige proces- og blandingsparametre er undersøgt. Desuden er økonomien undersøgt for fremstilling af et givent referenceprodukt i form af en prototype for brille-displays.

Prototypen har ydre dimensionen 387 x 175 x 27 mm, med generel godstykkelse på 2,5mm og har form som en bakke med 2 rum.



FIGUR 18 - Prototype

#### 3.4.1 Metode

I FIM sprøjttestøbemetoden blandes tekstilfibre og teknisk binder og blæses direkte ind i et støbeværktøj (presseværktøj) uden at fremstille forudgående granulat.

Der testes endvidere egenskaberne ved anvendelse af forskellige bindere og som reference alternativt er der testet med epoxy som bindemiddel, da det er en termoplast med fundamentalt andre mekaniske egenskaber (Polypropylen og Polyethylen er en hærdeplast). Det skal dog understreges at det udelukkende var for at indsamles erfaringer med andre bindere, idet Really ikke har intentioner om at overveje epoxy grundet de miljømæssige problemstillinger ved denne plast.

### 3.4.2 Mekaniske egenskaber

De mekaniske egenskaber er evalueret ved at laserskære prøvestænger (5 stk.) i de hvide prøveplader fra forsøg.

Ved almindelige trækprøveforsøg er materialernes styrke og fleksibilitet målt.

Som matrix materiale til de initiale forsøg er valgt den binder, som anvendes til fremstilling af Solid Textile Boards.

### 3.4.3 Forsøg

Af tabel 7 fremgår de forsøg der er udtaget til trækprøvning. Udvælgelsen er sket på baggrund af en subjektiv vurdering hvor de plader, der virkede mest homogene er udtaget til trækprøvning.

**TABEL 7:** Forsøgs kombinationer

Forsøgsnummer	Farve	Tykkelse mm	Temperatur °C	Køle-temperatur °C	Tryk Bar	Tekstil/matrix forhold
3	Hvid bomuld	3	160	57	200	66/33
6	Hvid bomuld	5	150	40	200	50/50
7	Hvid bomuld	5	150	35	200	86/14

### 3.4.4 Resultat mekaniske egenskaber

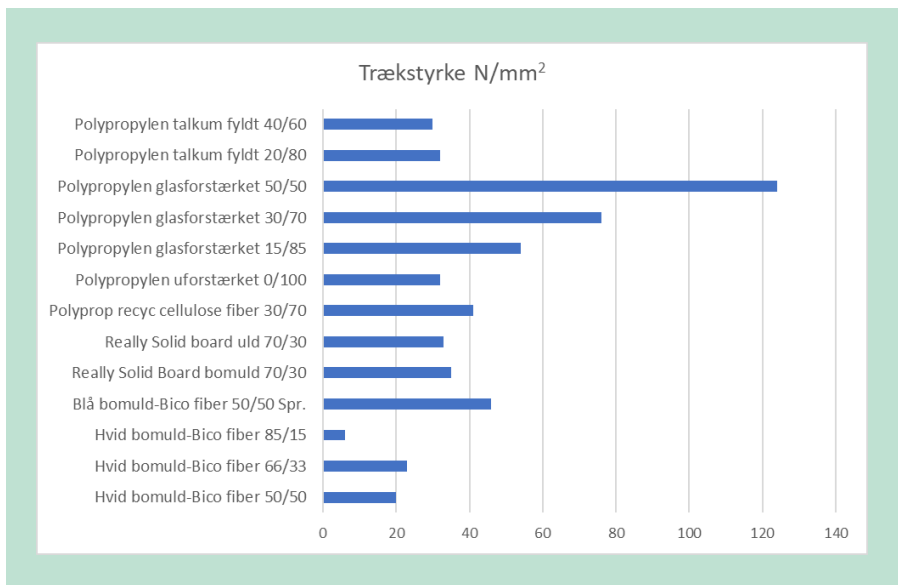
Resultaterne af de mekaniske egenskaber fremgår af tabel 4 hvor fiber sprøjtetøbte (FIM) Really materialers egenskaber er sammenlignet med andre varianter af polypropylen.

Styrken for de fiber sprøjtetøbte (FIM) Really bomuldsvarianterne er væsentlig svagere end alle andre fiberforstærkede polypropylen varianter.

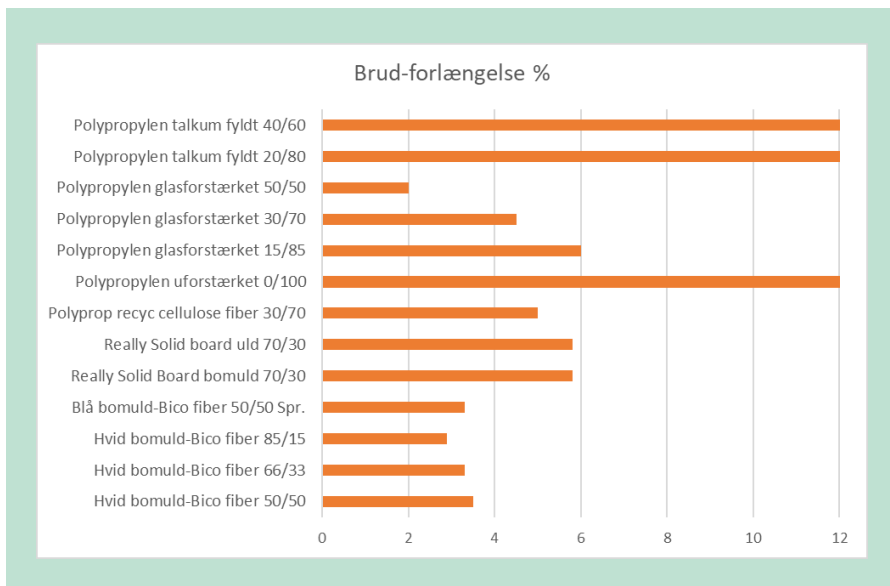
Den fiber sprøjtetøbte bomuld er ca. 34% svagere end Really's Solid Textile Board og har kun 50% styrke af den sprøjtetøbebare variant, der blev testet i granulat forsøgene.

Brudforlængelsen (hvornår materiale knækker) for sprøjtetøbebar Really er lidt under både cellulosefibre- og glas-forstærket polypropylen, naturligvis afhængig af fiberindholdet.

Den manglende styrke kan skyldes, at de fiber sprøjtetøbte materialet ikke er presset med samme tryk, som det foregår ved produktion af Really's Solid Textile Boards. Solid Textile Boards er presset 85 N/mm<sup>2</sup> og emner fremstillet ved FIM er presset med 45 N/mm<sup>2</sup>.



FIGUR 19: Trækstyrke



FIGUR 20: Brudforlængelse

### 3.4.5 Proces forløb

Til vurdering af æstetik og økonomi er fremstillet et specielt produktionsværktøj som ses i figur 21. Værktøjet er fremstillet i aluminium og overfladebehandlet med en special lav friktion coating, som sikrer at det støbte emne ikke klæber til overfladen. Værktøjet er udarbejdet med varmekanaler, der opvarmes med olie.

Værktøjet fungerer således at overpart og underpart placeres over hinanden med så stor afstand, at fibrene kan blæses ind i værktøjet. Fibrene blæses ind gennem det "store" hul, som ses i hulpladerne placeret i enden af værktøjet. Hulpladerne sikrer at luften kan komme ud af værktøjet, således fibrene kan placeres jævnt i værktøjet.

For at fibrene ikke klæber sig fast til værktøjet under indblæsningsprocessen er værktøjet koldt mens fibrene blæses ind. Efter indblæsning af fibre opvarmes værktøjet og presses sammen i en hydraulisk presse. Inden af-formning skal værktøjet igen køles ned.

Det er nødvendigt at varme værktøjet op og køle det ned i hver procescyklus, da binderen er et PP/PE (polypropylen/polyethylen) materiale, som er en termoplast. Det vil sige materialet formes ved nedsmeltning og hærder ved nedkøling.

Der er også lavet forsøg med Epoxy, der er en hærdeplast. Det vil sige Epoxy består af to komponenter, der hærder under varme. Epoxyen er stabil, når den er hærdet og opvarmet, hvilket betyder at en procescyklus ikke behøver opvarmning og nedkøling og kan således foregå væsentligt hurtigere.



**FIGUR 21:** Formværktøj til prototyper

### 3.4.6 Forsøg - støbebarhed

Der er udført en række forsøg med forskellige modificeringer af værktøjet, for at kunne støbe referenceproduktet i bedst mulig kvalitet. Referenceproduktet er udformet således, at kvaliteten af forskellige skråvægge og vertikale vægge kan evalueres.

Støbeteknisk kan det være vanskeligt at støbe høje vertikale vægge, som er "vinkelret" på værktøjets åbningsretning. Det skal således undersøges i hvilken grad, sådanne kanter kan fremstilles.

Meget skarpe kanter kan også være problematisk at støbe i god kvalitet, hvorfor dette også skal undersøges.

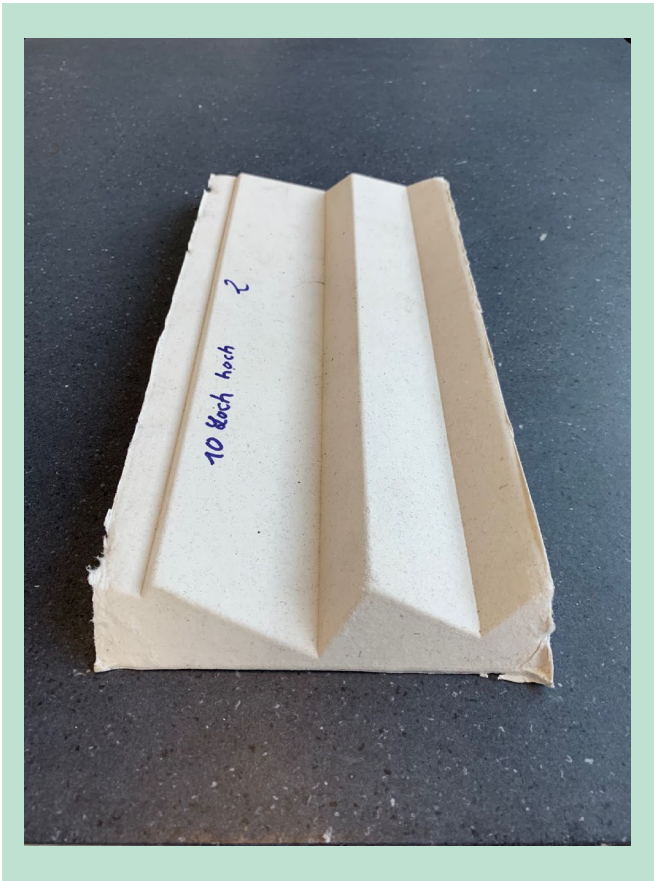
Værktøjsmodifikationer:

- Emne med høje vertikale vægge
- Emne med skrå vægge og skarpe kanter på undersiden
- Emne med skrå vægge, uden skarpe kanter på undersiden og lukket ende.





**FIGUR 22:** Emne med høje vertikale vægge



**FIGUR 23:** Emne med skrå vægge og skarpe kanter på undersiden



**FIGUR 24:** Emne med skrå vægge, uden skarpe kanter på undersiden og lukket ende.

### 3.4.7 Resultat støbebarhed

Af figur 22 ses det, at de vertikale vægge ikke er fuldstøbte, da det er vanskeligt at få fiber ned i området af værktøjet, der skal danne væggen og der med også vanskeligt at få etableret tilstrækkeligt tryk til at kunne lave en pæn overflade.

Af figur 23 fremgår det, at de skarpe kanter på undersiden kan støbes i rimelig kvalitet, men det er svært at få etableret tilstrækkeligt tryk til at kunne støbe siderne pænt.

Af figur 24 ses det, at emnet uden vertikale vægge og skarpe kanter kan støbes rimeligt perfekt. Der skal stædig arbejdes med optimering af processen.

### 3.4.8 Forsøg overflader

Overfladens udtryk består både af farve og taktilitet. Overfladernes farve afhænger i høj grad af blandingen af fibre (tekstil fiber og teknisk binder) samt en eventuel varmenedbrydning af materialet, som det blev registret i vores første forsøg med sprøjtstøbning af Really.

Taktilitet bestemmes af forhold som:

- Blanding af tekstil fiber og teknisk binder, en ikke homogen blanding kan medføre at vise områder bliver meget "plasticagtige".
- Værktøjets temperatur – høje temperaturer kan give en mere "plasticagtige" overflade.
- Opvarmningstiden (tid til nedsmeltning af teknisk binder).
- Værktøjets tryk – høje tryk kan give en mere "plasticagtig" overflade.

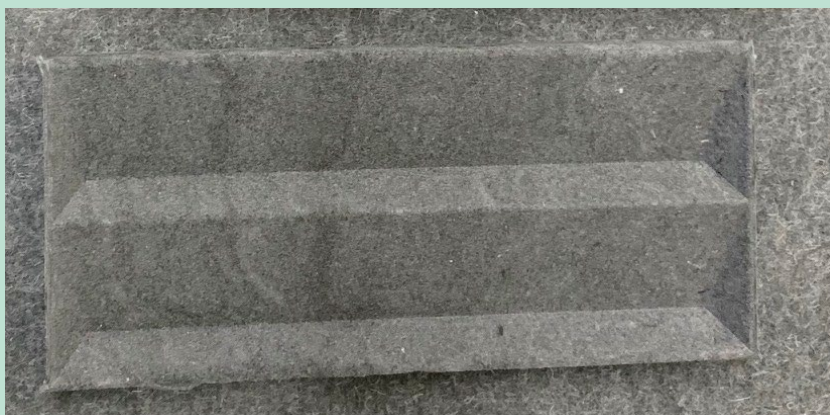
### 3.4.9 Resultat - forsøg overflader

Figur 25 til figur 28 viser resultat af analyserne. Der er hovedsageligt anvendt en grå uld til analyserne, da denne fiber er meget ensartet og dermed giver et godt udgangspunkt for vurdering af overfladerne.

Figur 25 og figur 26 viser prototype fremstillet i henholdsvis en hård og en blød variant. For begge forsøg ses det, at produkternes overflade ikke er helt perfekt, hvilket formentlig skyldes at blandingen af tekstil fiber og teknisk binder ikke er optimal. Der er formentlig for høje koncentrationer af teknisk binder i visse områder, hvilket får overfladen til at se "plasticagtig" ud. Det vurderes dog, at dette problem kan løses ved en bedre mixing af tekstil fiber og teknisk binder.



**FIGUR 25:** 30% teknisk binder + 70% grå uld tekstil fiber – hård presset



**FIGUR 26:** 30% teknisk binder + 70% grå uld tekstil fiber – blød

Figur 27 viser produktet fremstillet i en hvid bomuld. I dette tilfælde er der urenheder i tekstil/teknisk binder blandingen, hvilket giver alle de mørke pletter. Ellers ser overfladen god ud. Det er dog svære at vurdere den hvide overflade end den grå overflade.



**FIGUR 27:** 30% teknisk binder + 70% hvid bomuld tekstil fiber – hård

Figur 28 viser et produktet fremstillet med en blanding af grå uld fibre og hvid bomulds fibre samt epoxy binder. Det er her tydeligt at blandingen af fibre ikke er optimal selvom overfladen er ganske jævn. Det vurderes at ved en bedre mixing af fibre kan et fint homogent produkt fremstilles



**FIGUR 28:** 30% Epoxy + 70% tekstil fiber (blandet hvid bomuld og grå uld)

### 3.4.10 Økonomi

De økonomiske vurderinger er case baseret. Det skyldes, at det ikke er tilstrækkeligt blot at sammenligne materialepriserne, da de forskellige materialer senere skal processer på forskellige måder, hvilket sker med forskellige cyklostider. Man kan fiber sprøjtstøbe både med termoplastiske bindere, som for eksempel en teknisk binder bestående af en kerne af polypropylen (PP) og er overflade af polyætylen (PE), eller man kan anvende termohærdende binder som for eksempel epoxy.

### 3.4.11 Fiber sprøjtstøbning med teknisk binder

For at opnå gode overflader på produkterne er det nødvendigt at smelte de fibre, som ligger i overfladen på de fiber sprøjtstøbte produkter, hvilket betyder, et presseværktøj skal opvarmes til termoplastens smeltetemperatur på ca. 145°C. Inden af-formning af produktet skal værktøjet atter køles ned. Denne proces tager forholdsvis lang tid og giver dermed en langcyklustid og ikke særlig god udnyttelse af produktionsudstyret, med mindre man anvender mange presseværktøjer samtidigt, hvilket medfører højere investeringer.

Med et avanceret presseværktøj, som både har indbygget effektive varmeelementer og kølekanaler til vandkøling tager det 3 minutter at varme presseværktøjet og fiberblandingen op,

samt yderligere 3 minutter at køle ned. Dertil kommer yderligere 2 minutter til indsprøjtning af fibre samt af formning af produkter.

### 3.4.12 Fiber sprøjtetøbning med epoxy som binder

Hvis man anvender epoxy som bindemiddel, kan der produceres væsentligt hurtigere da epoxyen hærder ved den høje temperatur og produktet således kan afformes i varm tilstand.

Med det opvarmede presseværktøj kan fibrene og epoxybinderen hærdes på 1 minut. Dertil kommer yderligere 2 minutter til indsprøjtning af fibre samt af formning af produkter

### 3.4.13 Resultat af de økonomiske analyser

Fiber sprøjtetøbning (FIM) har generelt højere omkostninger en traditionel sprøjtetøbning

Selv om epoxy som materiale er dyre end PP/PE teknisk bindere, så er de samlede omkostninger lavere, da cyklustiden for fiber sprøjtetøbning med epoxy er noget kortere.

Hvis enhedspris pr cyklus skal nedbringes, har det den største økonomiske effekt, hvis der introduceres flere formværktøjer til samme cyklus. Det vurderes at man umiddelbart kan introducere op til 10 værktøjer per cyklus hvilket vil reducere kostpris pr. enhed med en faktor 10. På dette niveau vil produktionsomkostningerne være konkurrencedygtige med sprøjtetøbning.

## 3.5 Konklusion

Det er lykkedes at støbe formfuldendte produkter og der er fundet begrænsninger omkring produktets udformning, som er vigtig for yderligere arbejde med fiber sprøjtetøbe teknologien. De mekaniske egenskaber for Really materialer processet med fiber sprøjtetøbning (FIM) har ikke har same egenskaber som Really's normale Solid Textile Boards eller sammenlignelige sprøjtetøbevarianter af polypropylen (PP). Det vurderes dog, at egenskaberne er tilstrækkelige til en lang række produkter.

Det kan konkluderes at det er muligt at fremstille produkter, som har en æstetik, der matcher det udtryk Really gerne vil have. En æstetik der tydeligt viser at produktet er lavet tekstiler og samtidig har en rimelig ensartet "indbydende" overflade. Der skal dog arbejdes yderligere med mixing af fibrene.

Det er økonomisk vanskeligt at konkurrer med traditionel sprøjtetøbning på grund af de forholdsvist lange cyklustider for fiber sprøjtetøbning.

Anvendelse af epoxy som binder medfører en kortere cyklustid sammenlignet med anvendelsen af PP/PE teknisk binder og dermed en samlet lavere omkostning. Der er selvfølgelig problemer med anvendelse af epoxy, da det kan være sundhedsskadeligt i produktionsprocessen og endvidere medfører, at produktet ikke senere kan recycles. Recycling er sandsynligvis muligt ved anvendelse af PP/PE teknisk binder, som er en termoplast.

Projektet har demonstreret at det rent teknisk kan lade sig gøre at producere/støbe tredimensionelle emner i Reallys materiale af upcycled tekstil-affald. Vi fik dokumenteret at det var muligt at støbe med et højt indhold af upcycled tekstilfibre og lavt indhold af binder (70/30) som opfylder vores krav til æstetik, kvalitet og styrke, og kan både producere hårdt pressede og blødt pressede emner. De mekaniske egenskaber er ikke lige så gode som Really's *solid textile board* men er gode nok til en lang række applikationer, hvor der ikke er behov for stor styrke.

Der er behov for at udvikle FIM så business casen forbedres. Det kan opnås ved udvikling af hurtigere cyklus-tider end de hidtil opnået (8 min). FIM teknologien er baseret på princippet fra

rotationsstøbning, der betyder at der eksekveres både en opvarmning og nedkøling før emne kan udtages af form.

For at opnå en effektiv kostpris per produceret enhed, vil der være behov for at udvikle på flere fronter, herunder:

- tilkoble flere støbeforme på samme cyklus
- endvidere er der potentialer for at optimere opvarmning og nedkøling yderligere rent teknisk
- der skal optimeres på presse-værktøjer - dels 3D form design og dels muligheder for forvarme af presseform
- der skal evt. også udvikles på binder-recepten, så hærkning accelereres.

Vi har forventninger til, at det vil være muligt at koble op til 20 støbeforme på sammen cyklus.

Endvidere er der behov for at teste på et konkret cirkulært loop af display produktet med take-back og reprocessing så vi har dokumentation for kvalitet mv. af 2. generations produkter fremstillet af reprocesset returnerede produkter.

### 3.6 Endelige prototyper

Projektets prototyper blev varianter af display-produkter til briller. Display-produkter er et globalt marked i fashion og living branchen og bruges til at præsentere og fremhæve konkrete produkter.

Flere Really kunder har efterspurgt oplæg til display-produkter i Really materiale grundet æstetikken og bæredygtighedsdelen. Det blev derfor besluttet at fremstille prototyper af display-produkter til briller som en showcase til Milano messen, 2019.

De konkrete varianter af prototyperne fremgår af billederne nedenfor.



**FIGUR 29:** Display-produkt til briller i 70% hvid bomuld, 30% bico-fiber (hårdt presset)



**FIGUR 30:** Display-produkt til briller i 70% uld, 30% bico-fiber (blødt presset)



# 4. Miljøvurdering

## 4.1 Sammenfatning af miljøeffekter

De producerede prototyper af støbte display-produkt er baseret på 70% upcycled tekstilaffald og 30% plastbinder. I projektet er der valgt en form til brille-displays. Men grundlæggende er der tale om et 3D produktet, som kan tilpasses en ønsket form og som er særlig egnet i mindre applikationer op til 50 cm, f.eks. kasser, boxe, display etc. hvor der ikke kræves større styrke.

Fra et miljøperspektiv kan støbte 3D produkter i Really granulat bl.a. erstatte plast i f.eks. møbelproduktion, living produkter og lignende. De støbte 3D produkter er produceret af upcycled tekstilaffald, kan genbruges som ny råvare og har potentiale som et basisprodukt i cirkulære modeller, hvor et produkt tages retur og genanvendes.

Sammenfattende er der følgende miljømæssige fordele at fremhæve:

- a) Egnet til closed loops
- b) Really produkt har markant bedre miljøprofil end ren PE/PP plast
- c) Produkter er produceret på tekstilaffald, som omdannes til en råvare
- d) Overfladebehandling bliver overflødig da produkt er naturligt indfarvet fra de oprindelige farver i tekstilaffaldet
- e) Ingen ordinær råvarespild som f.eks. fra opskæring af plader, idet al processpild recycles
- f) Produktets lysdæmpende egenskaber kan aktivt forbedre indeklimate/støj

Projektets miljøvurderinger er udført i et livscyklusperspektiv. Der er udført følgende miljøeffektberegninger:

- miljøeffekt ved brug af forskellige plastbindere (i PE, PP, Epoxy og teknisk binder)
- miljøeffekt ved kombinationer af plastbindere og upcycled tekstilaffald
- LCA product footprint af en udvalgt prototype.

### 4.1.1 LCA screening af Really vs. plast produkt

Der er foretaget en sammenlignende LCA screening af miljøeffekterne ved fremstilling af en Really råvare af upcycled tekstil vs. et traditionelt plastgranulat. De anvendte reference råvare er:

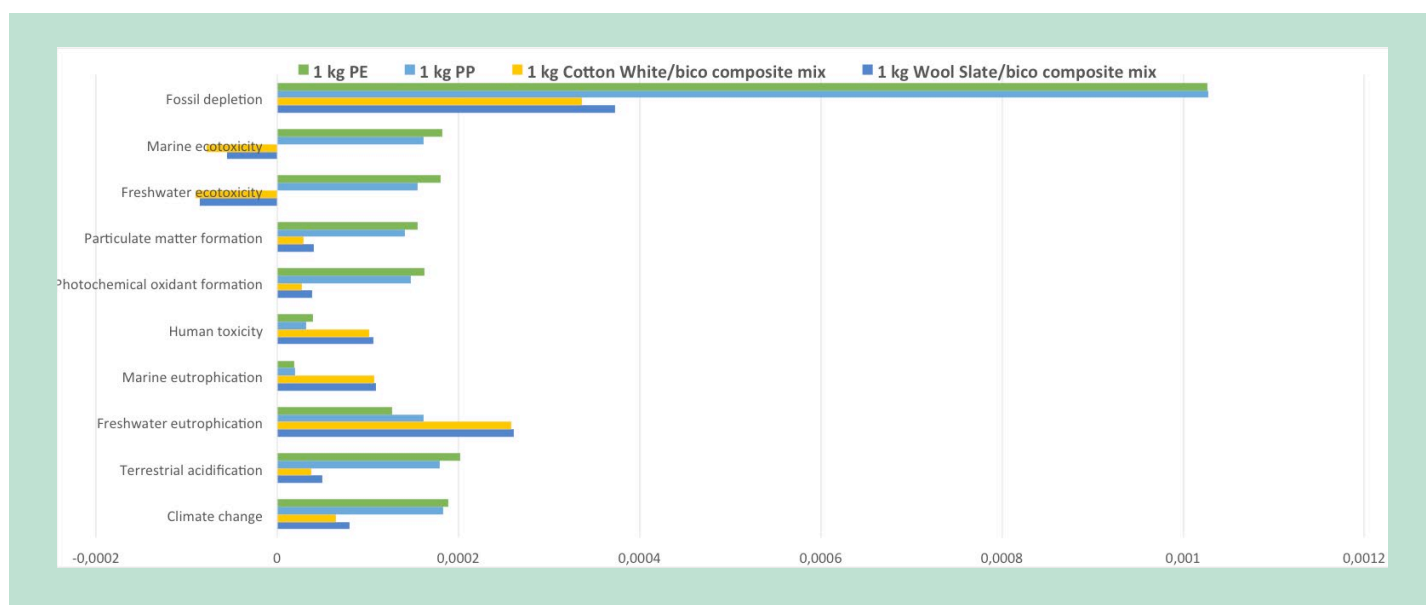
- Really Wool Slate (70% fiber/30% plastbinder)
- Really Cotton White (70% fiber/30% plastbinder)
- PP (100%)
- PE (100%)

Screeningen er baseret på beregninger i LCA værktøjet Sima Pro. Screeningen viser at Really produkterne er væsentlig mindre miljøbelastende end plast på de fleste miljøeffekter. PP plast er f.eks. knap en faktor 3 mere klimabelastende end Really Cotton White. Den væsentligste miljøeffekt er ifølge Sima Pro beregningen forbrug af fossile brændsler, herunder olie til fremstilling af plast samt fossile brændsler til transport ved indsamling af tekstilaffald for upcycling.

I forhold til økotoxicitet har Really produkterne en positiv effekt, idet tekstilaffaldet recycles i stedet for at gå til forbrænding.

Really produkterne har ifølge Sima Pro en større nærings saltbelastning (eutrophication) end plast. Den øget nærings saltbelastning kan primært tilskrives emissioner fra elforbruget fra shredding af tekstilaffaldet. Sima Pro anvender et europæisk gennemsnit af energikilder til elproduktion og andelen af kul er relativ høj og det er den primære bidragsyder til nærings saltbelastningen. El produktionen i Danmark, har en betydelig højere andel af VE-energi, hvorfor det reelle bidrag til nærings saltbelastningen fra emissioner, er signifikant mindre hvis Sima Pro anvendte stedspecifikke data for Dansk el produktion. Der er foretaget en beregning på for-

skellen og såfremt Sima Pro anvendte dansk el-produktion ville bidraget til nærings saltbelastningen være reduceret med mere end en faktor 3.



FIGUR 31: Miljøeffekt for forskellige kombinationer

#### 4.1.2 Miljøeffekt ved ændring i fiber/plastbinder

For at afklare væsentligheden i at tilstræbe et højt fiberindhold i prototypen, er der foretaget screenings af de konkrete effekter når der foretages ændringer i forholdet mellem fiber/plastbinder. Som udgangspunkt har det været forventningen at tilstræbe et så højt indhold af fiber for at opnå det mest bæredygtige resultat. Ved at foretage beregninger på forskellig kombinationer, kan effekterne kvantificeres helt konkret.

Nedenstående tabel sammenfatter miljøeffekten hvis fiberindholdet rent teknisk kan øges fra de 70% som projektet er lykkedes med, til 80%. Prototypen med kombinationen 70% fiber, 30% teknisk binder, er anvendt som indeks 100.

TABEL 8: Miljøeffekt ved øget fiberindhold i Really produkt

	70/30%	80/20%
Climate change	100	80,4
Terrestrial acidification	100	56,2
Freshwater eutrophication	100	107,3
Marine eutrophication	100	111,8
Human toxicity	100	108,9
Photochemical oxidant formation	100	54,6
Particulate matter formation	100	59,8
Freshwater ecotoxicity	100	55,8
Marine ecotoxicity	100	38,8
Fossil depletion	100	74,9

Det fremgår af tabellen, at der sker en relativ forbedring af klimaeffekten på ca. 20% og reduktion af forbruget af fossile stoffer på ca. 25% når fiberindholdet øges med 10% og plastbinderen tilsvarende reduceres med 10%. Der er en relativ stigning i bidraget til forurening og human tox.

### 4.1.3 Closed loop af display produkter

Produktet har potentiale til at indgå i lukkede ressourcekredsløb, såkaldt closed loop.

I projektperioden har der derfor været dialog med flere interessenter fra fashion industrien om de tekniske resultater og muligheden for at udføre 3D støbning i Really materiale og muligheden for at recycle materialet igen i en form for closed loop.

Generelt gælder det, at skal closed loop kunne realiseres, forudsætter det mulighed for effektiv indsamling af produktet ved End-Of-Life (EoL). I praksis er det vanskeligt i situationer hvor produkter ender i et ordinært indsamlings- og affaldsbortskaffelses-system, som det f.eks. er tilfældet med det meste erhvervs- og husholdningsaffald.

I projektet har tilgangen derfor været at tænke closed loop i forhold til B2B med brands eller butikskæder indenfor tøj- og mode. Denne sektor har interesse i æstetik, generere selv en del tekstilaffald, og har en udveksling af vare mellem leverandør og kunde – nye kollektioner, gamle kollektioner retur, indretning af butikker samt eksponering eller emballering af produkter.

Flere interessenter som projektet har været i dialog med, har vist interesse for løsninger hvor deres eget tekstilaffald kan bruges som råvare til en Really applikation, som derefter kan recycles.

Projektet valgte at arbejde videre med display-produkt segmentet og udvikle/teste prototyper for dette. Dels er display produkt markedet et stort og globalt marked, dels er der løbende behov for nye displays til at eksponere konkrete mode-produkter. Levetiden er således relativ kort og medfører som udgangspunkt et affaldsproblem.

På den baggrund er der udviklet et closed loop scenarie med udgangspunkt i display produkter til briller og ud fra samtaler med en stor producent. I princippet kunne det også være for sko, tøj, living-produkter etc.

Closed loop scenariet er umiddelbart til at realisere:

- Producent ønsker fremhævet sit produkt æstetisk og i et nyt lækkert materiale som Really textile, for at skabe blikfang hos kunder
- Producent leverer sin nye kollektion af briller i Really display produkt
- Når næste kollektion leveres, tages display produktet retur til producent collection point. Der er ingen ekstra transport forbundet med denne logistik
- Når en vis volumen er opnået (fuld container) shippes de udtjente display produkter til Danmark for recycling
- Nye produkter fremstilles af det returneret materiale efter kundens ønsker og specifikationer til form, farve etc.

Værdien for kunden er et reduceret materialeforbrug til displays, med vide muligheder for ny formgivning. Hvis kunden også er tøjproducent, vil det være interessant at udvikle en løsning hvor kunden selv bidrager med tekstil-affald til upcycling.

Projektet har været katalysator for en dialog om display produkter og closed loop med en stor Japansk modeproducent JINS og dette case scenarie er derfor anvendt i miljøberegningen af product footprint.

## 4.2 LCA product footprint

Formålet med LCA er at udarbejde at product footprint samt vurdere den konkrete miljøeffekt ved recycling af produktet. Der er derfor lavet en beregning for 1. Generation (første gang

produkt produceres) og 2. generation produkt (produkt produceret med recycled råvare fra closed loop løsning)<sup>2</sup>.

Product footprint er opgjort i forhold til en FIM støbt display prototype med en vægt på 318 g.

Da produktet er unikt og ikke umiddelbar kan sammenlignes med et tilsvarende konkurrerende produkt, er der ikke defineret en funktion. Dog skal det bemærkes, at display produkter i dag udføres i mange forskellige materialer, herunder træ/hård træ, finer, plastik, metal samt med forskellige varianter af overfladebehandling.

#### 4.2.1 Afgrænsning og data

Vugge til grav data for PE, PP er genereret fra Sima Pro.

Stedspecifikke data indsamles for:

- miljøtryk ved indsamling af tekstil til recycling + transport
- miljøtryk ved forarbejdning af tekstil til Really råvare

Stedspecifikke data vedr. produktion/støbning:

- energiforbrug- og emissionsdata for FIM.
- Transportdata for transport af tekstil affald fra leverandør til fiber-neddeler
- LCI standard data for forbrænding
- Densitet for virgin polymer

Arbejdsmiljø indgår ikke i beregningen.

Der påregnes et mindre tab af materiale ved neddeling/recycling af returneret display produkt, Dette spild forudsættes at gå til forbrænding. Materialespild antages til 3%

Der er defineret et retur-system hvor Really display produkt går i loop retur til dansk produktionsfacilitet og indgår som tilslagsmateriale i ny produktion (se systembeskrivelse nedenfor).

#### 4.2.2 System

Beregningen indeholder følgende procestrin:

- 1) Affaldsindsamling (af tekstilaffald)
- 2) Shredding af tekstilfibre,
- 3) Fiber injected moulding,
- 4) Brugsfase, (inkluderet i beskrivelse, men ikke i beregninger)
- 5) End of Life og indsamling af display-produkter,
- 6) Recycling,

Inkluderede enhedsprocesser:

- Fremstilling af plastik (binder): Plastik binder til støbning med FIM. Inkluderede processer er udvinding af råmaterialer, polymerisering og yderligere processer som har plast som færdigprodukt.
- Forbehandling/findeling af recycled tekstil til fibre: Tekstilaffaldet gennemgår en findelingsproces til fibre råvarer. Energiforbrug er medtaget fra denne proces. Energiforbruget er ens for 1. Generation og 2. Generation produkt.
- Fiber Injected Moulding: Fremstillingsprocessen kræver energi. Energiforbruget er ens for 1. Generation og 2. Generation produkt.
- Transport af tekstil fra nuværende afhentningsstederne
- Closed loop transport scenarier for display produkt med JINS (brilleproducent) som case. Energiforbrug ved transport af EoL produkt fra JINS/Japan til Danmark for recycling.

---

<sup>2</sup> LCA er blevet udarbejdet ud fra DS/EN ISO 14040-serien og ISO 14025:100 "Miljømærker og deklARATIONER – Type III-miljødeklARATIONER - Principper og Procedure" og ud fra guiden "Product Environmental Footprint (PEF) Guide", S. Manfredi et. al, (2012), udgivet af den Europæiske Kommission (EC) og Joint Research Centre (JRC).

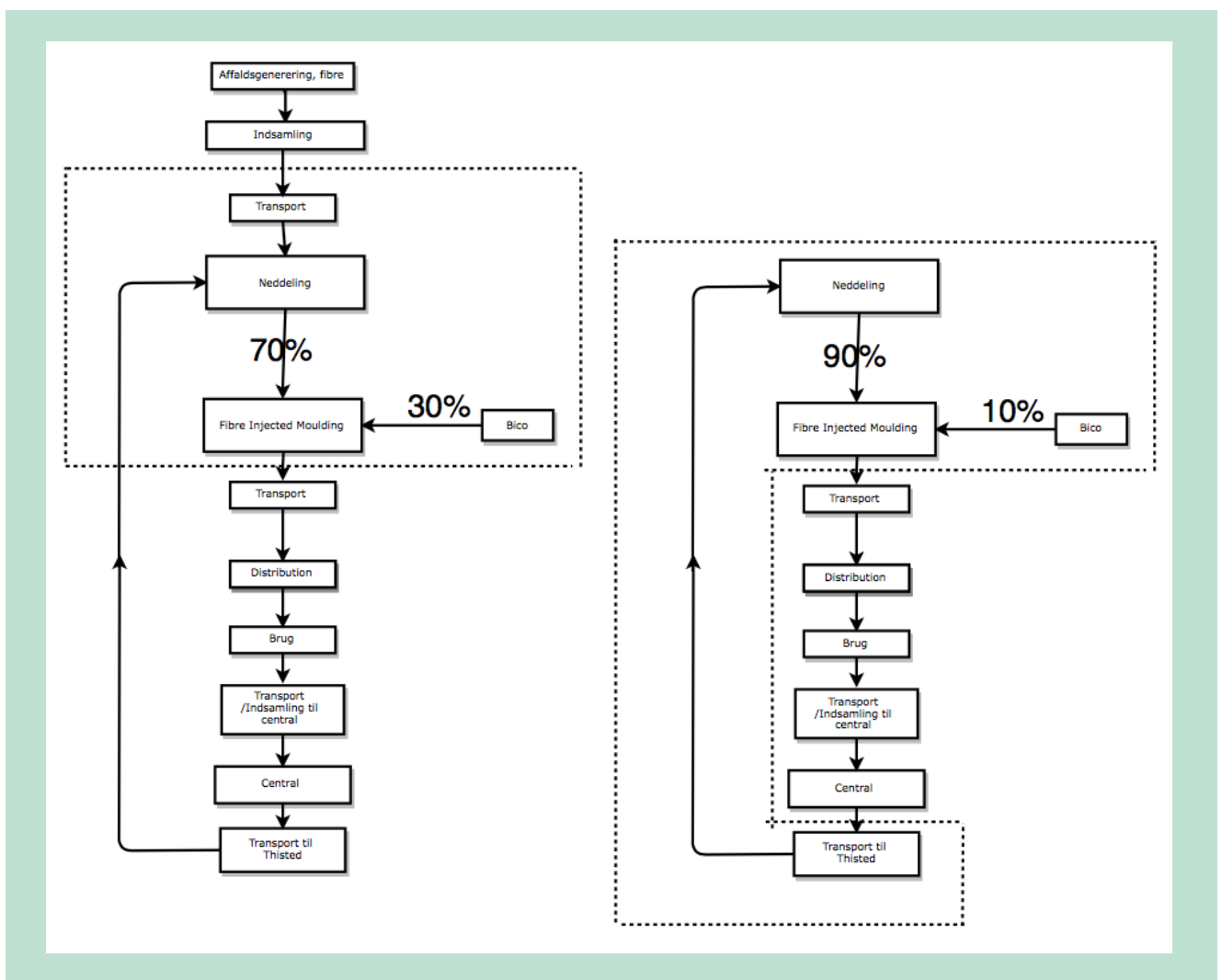
Ekskluderede enhedsprocesser:

- Fremstilling af tekstil fra vugge til færdig tekstil samt livscyklussen af produktet hvori tekstilet indgår: Tekstilet som modtages hos Really er et affaldsprodukt, som ellers ville være energiudnyttet. Derfor tillades at miljøpåvirkningerne tilskrevet dens liv før graven ekskluderes. Dog inkluderes energien som ville have været udvundet ved energiudnyttelsen, ved at addere det til energiforbruget i fremstillingen af Really stolen.
- Generelle drifts forhold ved produktion, f.eks. belysning, komfortopvarmning osv.

Infrastruktur er generelt ekskluderet. Eksempler på infrastruktur:

- En andel af transportfartøjer, såsom lastbiler, tog og skibe der har transporteret (jomfruelige materialer).
- En andel af fabrikker til at fremstille (de jomfruelige materialer) fra råmateriale til (de jomfruelige materialer).
- En andel af vedligeholdelsen af energinettet, som transporterer energien brugt til fremstillingsprocessen af stolene hos Really.

I figurene nedenfor illustreres systemafgrænsning for 1. generation og 2. generation produkter.



**FIGUR 32:** Systemafgrænsningen for displaykasserne. Venstre: 1. generation, højre: 2. generation og frem.

Data indsamlet til fremstillingsprocessen af Reallys materiale er førstehånds-information og derfor i høj grad repræsentativt for den virkelige proces. Processer for jomfruelig polypropylen er baseret på data fra en LCI-database.

I det følgende beskrives de enkelte procestrin.

#### *Affaldsgenerering*

Tekstilaffaldet genereres hos flere tekstilproducenter i Danmark, Norge og Italien. Tekstilet består af enten farvet uld, bomuld eller bico, i hele afskåret stykker. Ved brug af cut-off systemmodellen, som bygger på teorien om at et produkts miljøpåvirkning tilskrives dens førstegangsbruger og ingen andre, ekskluderes tekstilets miljøpåvirkning i fremstillingsfasen.

#### *Indsamling af tekstilaffald*

Tekstilaffaldet skal indsamles og opbevares midlertidigt hos producenten før videre behandling. Alternativet til genanvendelse af tekstilet vil være bortskaffelse.

#### *Transport af tekstilaffald fra genereringssted til neddeling*

Fra tekstilproducenten transporteres tekstilaffaldet til shredding/neddeling via lastbil. Distancen afhænger af producentens placering og derfor skelnes der mellem tekstilerne, så miljøpåvirkning fra hver type varierer.

#### *Tekstil neddeling*

I denne proces neddeles stykker af tekstil til fibre, som forberedelse til fremstillingen af displayet. Dette foregår i Thisted. Hver tekstiltype neddeles hver for sig i batches. Der vil være spild fra processen, som modelleres ved at tilføje det forhøjede forbrug af tekstil til displayets samlede miljøpåvirkning.

#### *Fiber injected moulding*

Fibrene gennemgår en forbehandling i form af mekanisk omrøring for at opnå en homogen fiberblanding. Blandingen sprøjtestøbes i forme der kan producere 10 displays ad gangen.

#### *Transport af displays fra fremstilling til distribution*

Transportscenariet er baseret på en case, hvor display produkter transporteres til JINS i Japan, hvor de opbevares til videre distribution.

#### *Distribution*

Displaykasserne distribueres via lastbil til brilleforhandlere på globalt plan. (JINS) foretager denne distribution samtidigt som deres distribution af brillestel. Derfor ekskluderes miljøpåvirkninger fra denne proces.

#### *Brug*

Brug af displaykassen har ingen impact

#### *Transport/Indsamling til central*

Indsamlingen og transport af brugte displaykasser vil foretages af JINS, i forbindelse med levering af brillestel. Derfor ekskluderes miljøpåvirkningen fra denne aktivitet.

#### *Central*

Miljøpåvirkninger fra JINS central i Japan inkluderes.

#### *Transport til Thisted*

Fra centralen i Japan transporteres de brugte displays til Danmark

#### *Neddeling af displays*

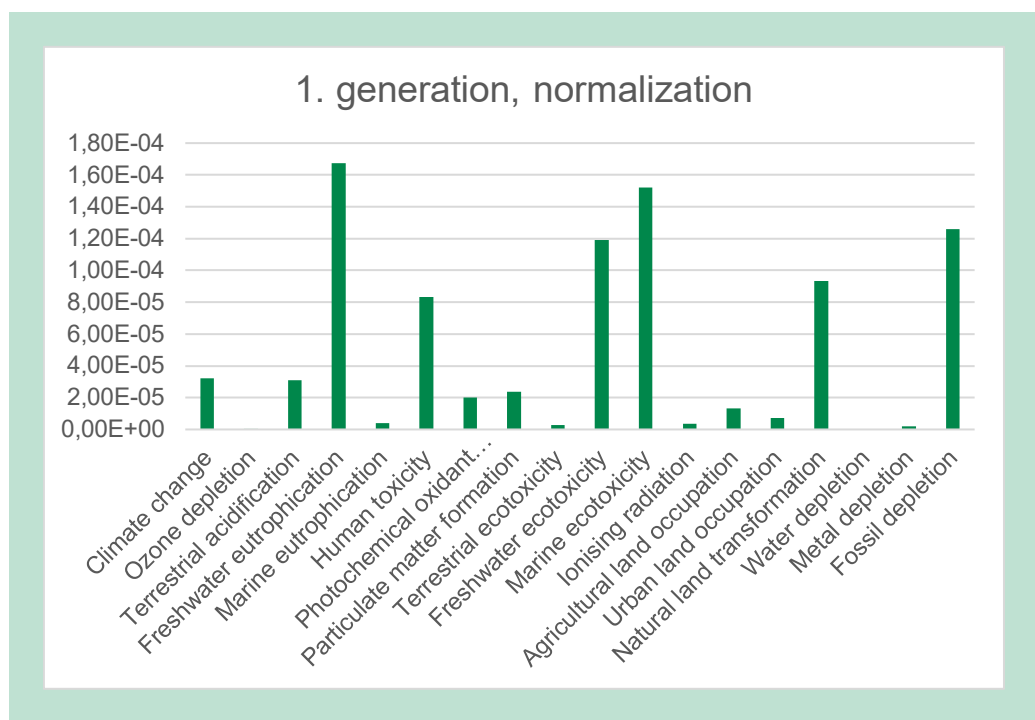
De brugte displays neddeles og genanvendes i produktion af nye displays, hvor der tilføjes en andel (10%) nye bicofibre for at opnå de ønskede mekaniske egenskaber af materialet.

### Energiudvinding

De displaykasser som er uegnet til genanvendelse, frasorteres og bortskaffes til energiudvinding i Danmark.

## 4.3 Resultat

Resultatet af LCA product footprint for Really's prototype er opgjort i forhold til alle miljøeffekter defineret i Sima Pro. Resultatet er opgjort som normaliseret miljøeffekter, dvs. livscyklusanalysen metodik til at sammenligne størrelsen af impact mellem forskellige miljøeffekter. Resultatet er beregnet for henholdsvis første generation og anden generation Really produkt, for at kunne vurdere effekten af et closed loop.



FIGUR 33: Product footprint for prototype, 1. generation

Nogle miljøeffekter er 0 eller tæt på 0. De er derfor udeladt i nedenstående tabel, som illustrere den relative miljøeffekt ved closed loop (2. Generation prototype) i forhold til 1. Generation (indeks 100). Close loop scenariet er baseret på et globalt scenarie (JINS casen) hvor displayprodukt returneres fra Japan til Danmark og recycles med en tilsætning på 10% plastbinder, 90% recycled materiale.

**TABEL 9:** Relativ miljøeffekt ved closed loop (indekseret ift. 1.generation produkt)

	Close loop
Climate change	73,9
Freshwater eutrophication	105,5
Marine eutrophication	154,4
Human toxicity	98,8
Photochemical oxidant formation	129,5
Particulate matter formation	167,7
Freshwater ecotoxicity	102,2
Marine ecotoxicity	110,1
Agricultural land occupation	100,5
Natural land transformation	202,5
Fossil depletion	53,4

Beregningen viser, at det på en række miljøparametre ikke er en fordel med closed loop. Det beregnet scenarie er ganske vist ekstremt, da produkt tilbagetages fra den anden side af jorden, men afspejler på den anden side en realistisk case.

Det fremgår, at closed loop casen for de fleste miljøeffekter, har en højere miljøeffekt end 1. Generation produktet. Det kan henføres til to kilder:

- øget forbrug af marine-diesel fra skibstransport
- emissioner fra skibstransport

Det kan således konkluderes at gevinsten ved en ressourcebesparelse på 20% plast, elimineres af den lange transportdistance. Så med de gældende forudsætninger kan det konstateres at der er en øvre grænse for hvornår closed loop samlet set er den bedste løsning. Det skal dog bemærkes, at ser man isoleret på klimabelastningen, er closed loop casen en bedre løsning på trods af den lange transportafstand. Det skyldes besparelserne i plastforbruget. Endvidere skal det understreges, at der i closed loop scenariet ikke er godskrevet, at recycling fjerner et lokalt affaldsbortskaffelses problem i Japan.

Selvom LCA resultatet påpeger der samlet set er en grænse for, hvornår closed loop er ideelt ud fra et miljøperspektiv, så er det projektets vurdering, at closed loop af Really produkterne, ud fra en mere pragmatisk vurdering, til hver en tid bør tilstræbes. Dels fordi det er det mest ressourceeffektive rent materielt, dels fordi det reducerer affaldskredsløbet.



### **Formstøbning med upcycled tekstilaffald fra Really**

Formålet med dette MUDP projekt var at udvikle et Really granulat baseret på upcycled tekstil, som kunne anvendes til sprøjttestøbning. Udvikling af et granulatprodukt har været motiveret af at kunne tilbyde formstøbte Really produktet, som bl.a. kan erstatte plastik.

Projektet har resulteret i udvikling og modificering af en råvare i upcycled tekstilaffald og en formstøbningsteknologi, som opfylder de tekniske krav og løser udfordringen ved støbning af Really's naturfibre produkter.

Projektet er gennemført af Really, Mølgård ApS, Provice og Københavns Universitet.



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)