

## Mondmaskers: van afval naar grondstof

Duijndam, J.M.; van Straten, Bart; Duzijn, Y.S.; van der Sijp, Joost; Lieshout, Michiel; Horeman, T.

**Publication date**

2022

**Document Version**

Final published version

**Published in**

Quality Practice Tandheelkunde

**Citation (APA)**

Duijndam, J. M., van Straten, B., Duzijn, Y. S., van der Sijp, J., Lieshout, M., & Horeman, T. (2022). Mondmaskers: van afval naar grondstof. *Quality Practice Tandheelkunde*, 17(2), 10-15. Article QP-17-02.

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Mondmaskers: van afval naar grondstof

## Samenvatting

De totale zorg draagt naar schatting voor 5 tot 8% bij aan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland. Dit wordt mede veroorzaakt door het grote verbruik van medische wegwerpproducten, die na gebruik verbrand worden. Onderzocht is of gebruikte chirurgische mondmaskers gerecycled kunnen worden om nieuwe medische producten te maken. Recyclen kan ervoor zorgen dat de levenscyclus van een product circulair wordt, zodat de plastic afvalstroom afneemt. Dit artikel laat zien hoe het filtermateriaal van mondmaskers kan worden omgesmolten en verwerkt tot nieuwe grondstof. Tijdens dit proces zorgt een filtersysteem in de smeltoven ervoor dat metalen strips en elastiekjes grotendeels uit de mondmaskers verwijderd worden. Ook zijn de eigenschappen van het gerecyclede materiaal geanalyseerd, waaruit blijkt dat het materiaal brosser is dan de oorspronkelijke grondstof. Vervolgens zijn er productlabels voor instrumentsterilisatiecontainers gemaakt waarmee is aangetoond dat nieuwe medische producten kunnen worden gemaakt van gerecyclede mondmaskers. Een grootschalige pilot gaat in december 2021 van start om de haalbaarheid van het recyclen van chirurgische mondmaskers verder te onderzoeken.



### J. (Joyce) Duijndam

Msc student Biomedical Engineering, TU Delft en onderzoeksstagiaire LUMC

### B. (Bart) van Straten

PhD candidate Circular Models for Sustainable Surgery, TU Delft;

### Y. (Yannick) Duzijn

Msc student Biomedical Engineering, TU Delft en onderzoeksstagiair GreenCycl

### J. (Joost) van der Sijp

Chirurg-oncoloog Medisch Centrum Haaglanden, lector oncologische zorg Haagse Hogeschool en mede-oprichter van GreenCycl

### H.F.J. (Michiel) Lieshout

Restauratief tandarts (NVRT) en adviseur Duurzame Mondzorg @ Dentiva; e-mail: [lieshouthfj@hotmail.com](mailto:lieshouthfj@hotmail.com)

### T. (Tim) Horeman

Assistant Professor in Sustainable Surgery & Translational Technology en Academic Portfolio Director (APD)- Medical technology (extension school 3.0), TU Delft

### Trefwoorden:

medisch afval, duurzaamheid, chirurgische mondmaskers, recyclen, CO<sub>2</sub>-voetafdruk

### Leerdoelen:

Na het lezen van dit artikel weet u:

- dat de ziekenhuis- en praktijkzorg voor 5 tot 8% bijdraagt aan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van Nederland;
- dat de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van ziekenhuizen en praktijken gereduceerd kan worden door plastics te recyclen;
- dat de gebruikte mondmaskers kunnen worden gerecycled tot nieuwe grondstof;
- dat het gerecyclede materiaal brosser is dan de oorspronkelijke grondstof van mondmaskers;
- dat het mogelijk is om het gerecyclede materiaal van mondmaskers te spuitgieten tot nieuwe producten.

## 1. INTRODUCTIE

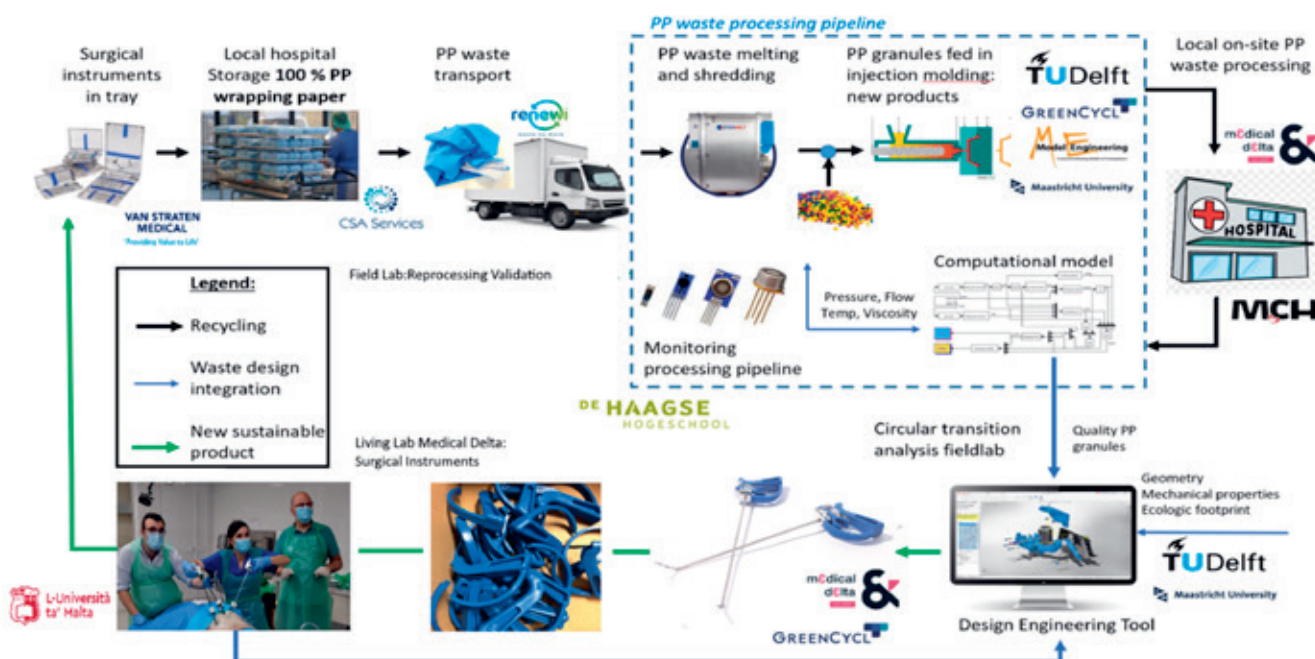
In de afgelopen jaren is er steeds meer aandacht voor de groeiende berg plastic afval uit ziekenhuizen, mondzorg- en overige eerstelijns zorg. De totale zorg draagt naar schatting voor 5 tot 8% bij aan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland. Volgens het Gupta 2019 rapport leveren de operatie- en behandelkamers de grootste bijdrage aan de totale hoeveelheid afval van een ziekenhuis en vormen daarmee een belangrijke bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot [1]. De CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de ziekenhuizen en praktijken is vooral gestegen door de toenemende vraag naar medische wegwerpproducten, die na gebruik verbrand worden door afvalverwerkingsbedrijven.

Er is in toenemende mate interesse vanuit de ziekenhuizen om de afvalstromen te verminderen. Ook in de eerstelijnszorg, zoals huisartsen en mondzorgpraktijken (tandartsen en mondhygiënisten), komt dit onderwerp steeds vaker op de agenda. Om het klimaatakkoord te kunnen halen, is het nodig om de CO<sub>2</sub>-voetafdruk te verminderen door onder andere de afvalstromen te verkleinen. Eén manier om de ecologische voetafdruk te beïnvloeden is door plastics te recycleren. Recycling is een methode om de cirkel van de circulaire economie te sluiten, waardoor de waarde van materialen, componenten en producten zo hoog mogelijk blijft. Een voorbeeld van een materiaal dat geschikt is voor recycling is polypropyleen (PP). PP is een thermoplast dat wordt gebruikt voor verschillende toepassingen, zoals in medische wegwerpproducten. Thermoplasten zijn, in tegenstelling tot thermoharders, kunststoffen die bij verhitting zacht worden en dus omgesmolten kunnen worden.

Het bedrijf GreenCycl heeft, in samenwerking met de onderzoekslijn "Sustainable Surgery" van de TU Delft, een duurzame manier ontwikkeld om medisch afval te recycleren. Het proces bestaat uit het omsmelten van kunststof afval tot blokken die daarna gegranuleerd worden tot kleine korrels.

**Figuur 1** laat zien hoe een geïsoleerde afvalstroom uit ziekenhuizen wordt gebruikt voor de productie van een nieuw medisch product. Na het bepalen van de eigenschappen van het materiaal dat wordt teruggewonnen uit het smeltproces kan daarnaast worden bepaald of (en hoe) verschillende afvalstromen gecombineerd kunnen worden om zo specifieke productspecificaties te behalen. Denk daarbij aan een bakje met een compliant scharnier dat zeer flexibel moet zijn of juist een rigide koppeling die een vormvaste verbinding vereist met een hoge stijfheid.

Een "single-use" product dat veelvuldig in de zorg gebruikt wordt is het chirurgische mondk masker van het type IIR en het masker van het type FFP2. Deze maskers bestaan onder andere uit elastieken, meerdere lagen geweven en fiber gebonden Polypropyleen en een metalen neusstrip. De mondk maskers van het type FFP2 worden veelal gebruikt op specifieke afdelingen waaronder de COVID- en verpleegafdelingen. Van beide typen zijn gedurende de coronacrisis nieuwe en gebruikte maskers uit de Nederlandse ziekenhuizen verzameld om onderzoek te doen naar herbruikbaarheid. Uit dit onderzoek blijkt dat de maskers gesteriliseerd kunnen worden via stoomsterilisatie op 121 °C. De stoomsterilisatie zorgt ervoor dat het coronavirus wordt gedeactiveerd. Omdat de FFP2-mondk maskers na de eerste coronatekorten weer in voldoende aantallen



**Figuur 1:** voorbeeld hoe geïsoleerde afvalstromen vanuit het ziekenhuis worden gebruikt in een ontwerp van een nieuwe transportkist voor chirurgische instrumenten

beschikbaar kwamen, is het van belang om te bepalen hoe de mondmaskers gerecycled kunnen worden naar een grondstof om nieuwe producten van te maken. Beide typen mondmaskers zijn veelal gemaakt van Polypropyleen (PP). In dit artikel wordt onderzocht of het technisch haalbaar is om PP mondmaskers te recyclen. Om dit doel te halen zijn drie onderzoeksvragen opgesteld.

- *Hoe kunnen de metalen strips efficiënt verwijderd worden uit de chirurgische mondmaskers?*
- *Wat zijn de materiaaleigenschappen van de gerecyclede mondmaskers?*
- *Kan het gerecyclede filtermateriaal gebruikt worden als grondstof voor het maken van nieuwe producten d.m.v. een spuitgietsproces?*

## 2. METHODE

In de eerste fase van het onderzoek wordt een filtersysteem ontwikkeld om de metalen strips uit de mondmaskers te verwijderen en nadat het overgebleven PP omgesmolten en gegraneerd is, worden de eigenschappen van het materiaal bepaald. Vervolgens wordt gekeken of het gerecyclede materiaal gebruikt kan worden als grondstof door verschillende producten te maken met spuitgieten.

### 2.1 Metalen strips filteren

Om de mondmaskers op grote schaal te kunnen verwerken, wordt een modulair filtersysteem voor de smeltoven ontworpen. Het is van belang dat het filter 99% van de ongewenste materialen, zoals neusvleugelijzertjes, op een efficiënte manier separeert. Ook moet het PP van de mondmaskers smelten en gemakkelijk door het filter gaan. Verder is het belangrijk dat het filter niet verstopt raakt en moet het filter na schoonmaken herbruikbaar zijn. Dit filter moet binnen 5 minuten gewisseld kunnen worden en binnen 30 minuten opnieuw in te zetten zijn na schoonmaken. In totaal moet 80% van het materiaal terug te winnen zijn. Met een test wordt onderzocht of het prototype de functionele eisen haalt; tijdens de test worden 2000 mondmaskers in 90 minuten gesmolten op 270°C.

### 2.2 Materiaaleigenschappen

De materiaaleigenschappen van het gerecyclede materiaal worden met een trekproef getest. Het gerecyclede granulaat (R-PP) wordt in verschillende verhoudingen vermengd met origineel materiaal, virgin granulaat (V-PP) genoemd, in een verhouding R/V% PP. De mengsels hebben de volgende verhoudingen: 0R/100V% PP, 33R/67V% PP, 50R/50V% PP, 67R/33V% PP. Zes trekstaven van elk mengsel worden spuitgegoten (Babyplast 6/10P) met een injectietemperatuur van 185 °C. Een trekproef wordt uitgevoerd op de trekstaven, waarbij de trekstaven een gecontroleerde spankracht ondergaan totdat ze breken. De data van de trekproef wordt geanalyseerd (Matlab R2020a). De materiaalverlenging [%],

ultieme treksterkte [MPa] en materiaaldeformatie [%] worden bepaald. De eigenschappen van de mengsels worden vergeleken in een staafdiagram. Verder wordt de hardheid van het materiaal getest (Shore Durometer Type D, Sauter HBD 100-0).

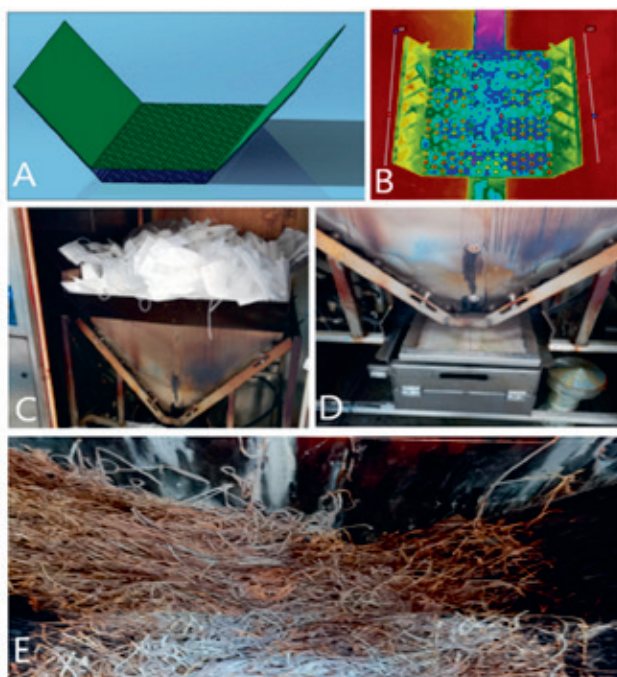
### 2.3 Onderdelen produceren

Er worden producten gemaakt om te bepalen of er producten geproduceerd kunnen worden van de nieuwe grondstof. Er worden 20 labels spuitgegoten (Babyplast 6/10P) op 185 °C met een mixratio van 50R/50V% PP. Als test werden zes van de labels gemonteerd in een RVS instrumentnet en binnen een week 10 maal door de volledige sterilisatieafdeling geleid van CSA Services in de Meern (CSA Services, Rijnsdijk 2, De Meern-Utrecht). Een standaard desinfectie-sterilisatieproces werd gebruikt voor de testen. Na een week werden de labels onderzocht op thermische deformaties en visuele beschadigingen met behulp van een microscoop op 100x vergroting. Mogelijke veranderingen in chemische samenstelling worden door middel van XRF (X-ray fluorescence) inzichtelijk gemaakt door 3 labels na de sterilisatietesten te vergelijken met 3 controlelabels.

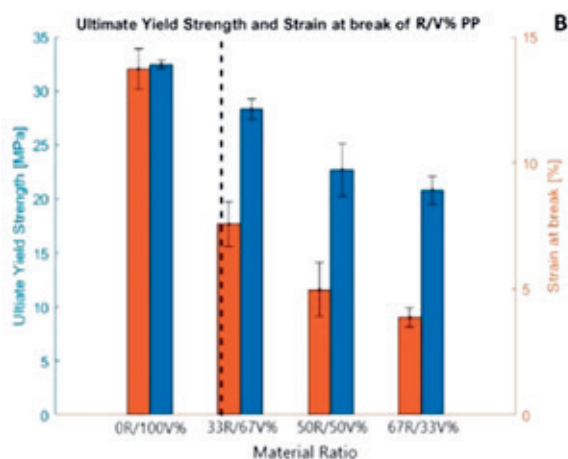
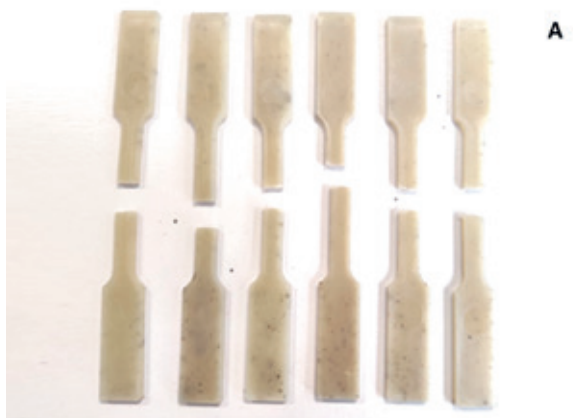
## 3. RESULTATEN

### 3.1 Filtersysteem

Het filtersysteem wordt weergegeven in Figuur 2. Het ontwerp bestaat uit twee lagen die op elkaar liggen (**Figuur 2A**). In het midden van de lagen zit een patroon met gaten, dat ervoor zorgt dat het PP erdoorheen kan vloeien en de metalen strips blijven haken. Het patroon van de lagen is in tegengestelde richting uitgelijnd, zodat elke opening van de ene laag wordt geblokkeerd door de andere laag. De afstand tussen de twee lagen is 5 mm, zodat de neus strips ook niet zijwaarts, gevouwen of gebroken door het filter kunnen. Verder zijn beide zijkanten van het filter gebogen in een hoek van 45°C om de hitte van de smeltmachine te verdelen over het filter. De zijkanten hebben geen gaten, zodat de hittegeleidbaarheid efficiënter is (**Figuur 2B**). De experimenten lieten zien dat het filter binnen een minuut geplaatst kan worden, waarna de mondmaskers zonder verdere aanpassingen in de smeltoven kunnen worden gedaan (**Figuur 2C**). Tijdens het smeltproces worden de metalen strips opgevangen in het filter en wordt het gesmolten plastic opgevangen in een bak (**Figuur 2D**). De test heeft vastgesteld dat enkele tientallen neusvleugelstrips door het filter zijn gegaan; alle opgevangen strips vormen een kluwen van draad (**Figuur 2E**). Na het smeltproces kan het filter binnen één minuut verwijderd worden uit de smeltoven om schoongemaakt te worden. Aan het einde van de leercurve blijkt dat het filter binnen 20 minuten schoongemaakt kan worden.



**Figuur 2:** Filter voor de Sterimelt voor mondklappers met A: 3D weergave van het systeem met twee lagen (groen en blauw), B: thermische afbeelding van de hitteverdeling van het filtersysteem, C: mondklappers in de Sterimelt voor het smelten, D: blok PP van de mondklappers na het smelten, E: kluiten opgevangen metalen strips uit de mondklappers.



**Figuur 3:** trekstaaf onderzoek voor bepalen van de mechanische eigenschappen. A) Kapotgetrokken trekstaven (67R/33V%) na de trekproef. B) Staafdiagrammen van de ultieme treksterkte en materiaaldeformatie voor verschillende mixratio's.

### 3.2 Materiaaleigenschappen

Om de materiaaleigenschappen van de mixratio's te bepalen zijn zes trekstaven per mix getest. **Figuur 3A** laat trekstaven zien met een materiaalverhouding van 67R/33V%. De resultaten van de trekproef zijn weergegeven in **Figuur 3B**. De ultieme treksterktegrens en de materiaaldeformatie van iedere mix zijn afgebeeld in een staafdiagram. De deformatie neemt af wanneer de hoeveelheid van het gerecyclede materiaal in het mix toeneemt. Dit betekent dat het mengsel steeds brosser wordt. Ook is in het staafdiagram te zien dat de treksterkte afneemt naarmate er meer R-PP in het mengsel zit. De waarden van de materiaaleigenschappen van de mixratio's zijn weergegeven in **Tabel 1**. In de tabel is te zien dat de rek ( $\epsilon$ ) minder hoog wordt als de ratio verschuift naar R-PP terwijl de sterkte ( $E$ ) juist toeneemt. Daarnaast kan worden geobserveerd dat de hardheid van het materiaal stijgt.

**Tabel 1:** Materiaaleigenschappen van gerecyclede materiaal

Verhouding	$\epsilon$ [%]	$\sigma$ [MPa]	$E$ [MPa]	Hardheid
0R/100V%	13.4 ± 0.8	32.4 ± 0.4	792 ± 13	67.0 ± 0.6
33R/67V%	7.6 ± 0.9	28.3 ± 0.9	791 ± 17	70.0 ± 0.9
50R/50V%	5.0 ± 1.0	22.7 ± 2.4	754 ± 16	69.7 ± 0.8
67R/33V%	3.9 ± 1.2	20.8 ± 1.3	781 ± 19	71.2 ± 0.8

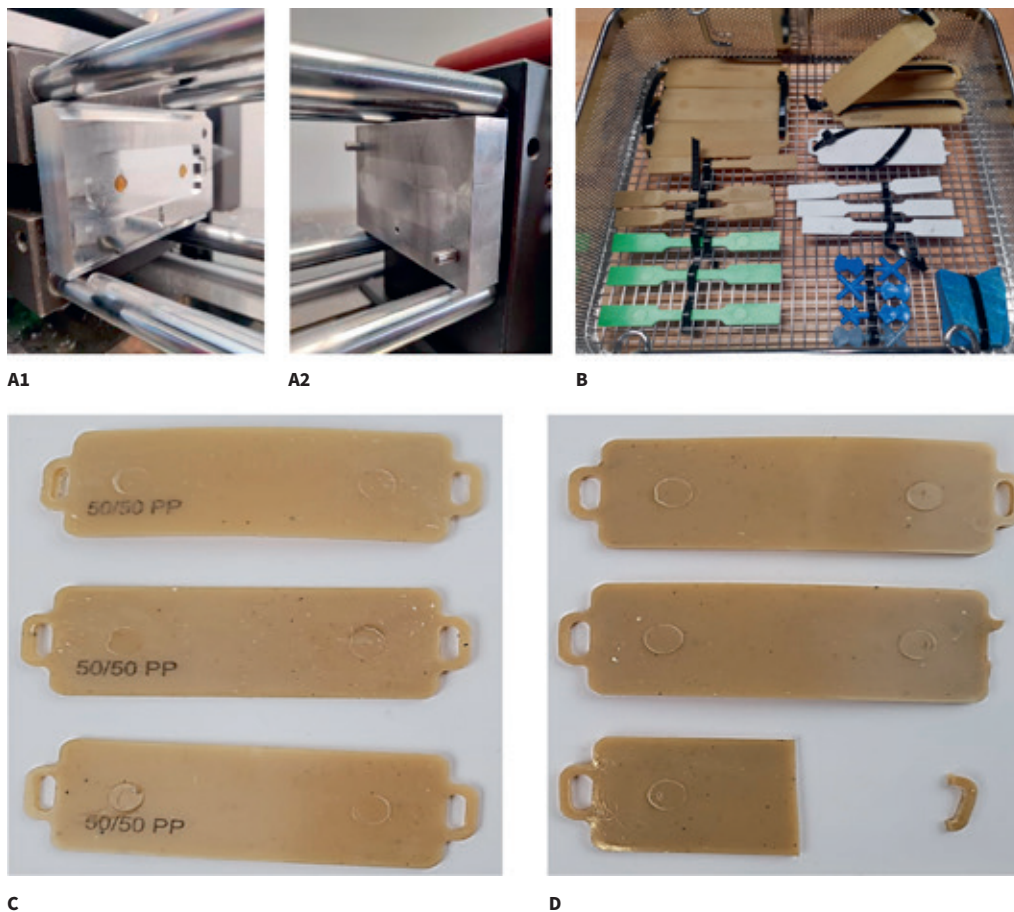
### 3.3 Spuitgietproducten

In totaal zijn er 10 identificatielabels geproduceerd met een mixratio van 50R/50V% PP en 10 identificatielabels met de mengverhouding 75R/25V%. Deze labels hadden na productie geen visuele beperkingen, inconsistenties of deformaties. Van elke type zijn 3 labels gemonteerd aan een RVS instrumentnet (**Figuur 4**) en 7 keer door het volledige sterilisatieproces gegaan (CSA Services) binnen een periode van 7 dagen. Na inspectie zijn er geen beschadigingen, breuken of vervormingen zichtbaar. Na de decontaminatie-sterilisatiecycli bleken twee van de drie R50/V50% labels gescheurd, verbogen en gebroken. De R75/V25% labels vertoonden geen beschadigingen.

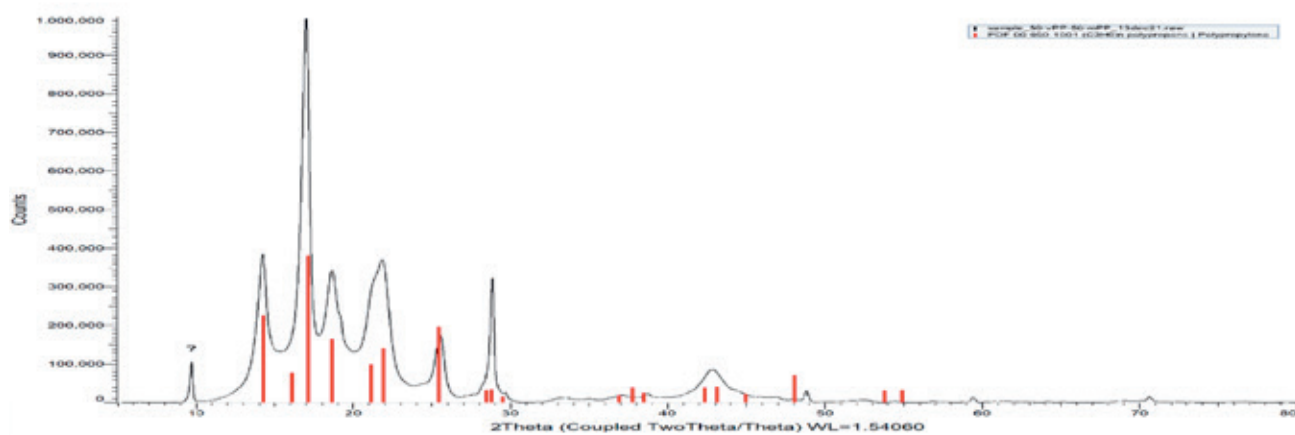
**Figuur 5** toont een validatie-XRD (X-ray diffraction)-diagram van virgin-PP gemixt met mondklapper-PP met een ratio van R50/V50% en laat een goede fit zien met C3H6 polypropreen (rode referentie staven in het figuur) zonder dat er andere kunststoffen kunnen worden geïdentificeerd. Wel wordt er een onbekende piek op 10 Theta geïdentificeerd.

## 4. DISCUSSIE

De filtratie-efficiëntie van het filtersysteem is 98%, maar de overgebleven metalen strips in de PP-mix kunnen voor verstopping van de granuleermachine zorgen. Deze granuleermachines hebben een wals geometrie met maalbladen, die bij contact met solide metalen kunnen beschadigen. De granuleermachine moet door het aanslaan van het beveiligingssysteem telkens opnieuw worden



**Figuur 4:** Testen met een label als surrogaatproduct. A1&A2) tweeledige aluminium-matrijs voor labels. B) sterilisatiecontainer met labels en trekstaven zoals deze door het schoonmaak- en sterilisatieproces geleid wordt. C) de R50/V50% labels na 7x decontamineren en steriliseren. D) de R75/25V% labels na 7x decontamineren en steriliseren.



**Figuur 5:** Een XRD-diagram van virgin-PP gemixt met mondmasker-PP met een ratio van R50/V50%. Deze laat een goede fit zien met C3H6 polypropreen (rode referentiestaven in het figuur) en een onbekende piek op 10 Theta.

opgestart. Verder vormen de opgevangen draadjes met het achtergebleven PP voor een stevige matrix. Hierdoor moet het filter met veel inspanning gedemonteerd en schoongemaakt worden, wat onwenselijk is. Om de workflow te verbeteren is aan te raden om het filter te optimaliseren.

De mechanische eigenschappen van het gerecyclede materiaal verslechteren in vergelijking met de oorspronkelijke grondstof van de mondmaskers. Downcycling wordt voornamelijk veroorzaakt door een toenemende hoeveelheid crosslinks tussen de lange polypropyleen monomeren na een verwerkingscyclus die het materiaal in vloeibare toestand brengt. Het gegraneerde materiaal heeft een zandkorrelstructuur. Na analyse bij een opwerkbedrijf is gebleken dat het materiaal opgewerkt kan worden tot granulaat van betere kwaliteit. Ondanks de verminderde eigenschappen van het gerecyclede materiaal is aangetoond dat er producten kunnen worden gemaakt. Een mix van virgin polypropyleen en de gerecyclede grondstof zorgen voor voldoende sterkte. De verhouding tot 67% gerecycled materiaal is getest, want het spuitgieten van 100% gerecycled materiaal blijkt van onvoldoende kwaliteit. De korrels plakken namelijk aan elkaar, waardoor de inlaat van de spuitgietmachine verstopt kan raken.

De validatie-XRD's voor de verschillende mixratio's laten een goede fit zien met standaard polypropyleen zonder dat er andere bekende materialen worden geïdentificeerd. Een vergelijking van de validatie-XRD met de XRD van zuiver virgin-PP waarmee gemixt is laat zien dat de piek op 10 Theta afkomstig is van additieven (C6H12) die niet giftig zijn voor gebruik in de voedingsindustrie.

De gebruikstesten met de labels op de RVS netten laten zien dat producten tot een mengverhouding van 50R/50V% functioneel bruikbaar zijn en ingezet kunnen worden in materiaalvrijdige omgeving, zoals aanwezig bij een sterilisatieproces. Verder langdurig onderzoek is echter nodig om de invloed van chemicaliën en de voortdurende temperatuursveranderingen van het materiaal op het verouderingsproces van het materiaal definitief vast te stellen. Hoewel de resultaten laten zien dat simpele producten kunnen worden geproduceerd van het gerecyclede materiaal, zou het opwerken van het materiaal zowel de mechanische eigenschappen als de mixratio kunnen verbeteren. Na analyse bij een verwerkingsbedrijf van granulaat (plastic grondstoffen) is gebleken dat het materiaal opgewerkt kan worden tot granulaat van betere kwaliteit. Het is aan te bevelen om een toxiciteitstest te doen op het gerecyclede materiaal om te bepalen of de additieven transformeren naar schadelijke chemische verbindingen na verhitting. Verder is het aannemelijk dat eventuele bacteriën en virussen worden verwijderd van de maskers tijdens het omsmelten, aangezien de temperatuur in de smeltoven rond de 270°C is. De mechanische en thermische transformaties die het materiaal doormaakt tijdens het recycleren, zijn afdoende voor een veilige productie van nieuwe onderdelen.

In vergelijking met gerecycled materiaal van blauwe afdekdoeken is geconstateerd dat PP van mondmaskers meer lijkt te vloeien tijdens het spuitgieten door de aanwezigheid van additieven. Dit kan veroorzaakt worden door de waterafstotende coating van de mondmaskers. Sommige andere mondmaskers zijn voorzien van een ioniserende coating, die voor het aantrekken van de kleinste deeltjes onder de 0,1 micron zorgt. Wellicht zorgen deze additieven ook voor de zanderige structuur van de plastic blokken en het granulaat. Na spuitgieten is deze structuur echter weer volledig homogeen. De invloed van dit afwijkende gedrag zal nader onderzocht moeten worden. De materiaaleigenschappen van het chirurgische mondmasker van PP en de gerecyclede blauwe afdekdoeken met vergelijkbare mixratio's verschillen; de maximale treksterkte en deformatie van de gerecyclede mondmaskers verminderen met 32% en 45% over de hele linie. De hardheid is 3% lager dan PP van blauwe afdekdoeken. Mogelijk worden deze verschillen ook door additieven veroorzaakt.

#### 4.1 Toekomstig werk

De resultaten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden om medische producten duurzamer te maken. Als voorbeeld kunnen er onderdelen van een wonddrainagesysteem (Medinorm) van gerecycled materiaal gemaakt worden. Een Life Cycle Assessment van een intern onderzoek heeft aangetoond dat de ecologische voetafdruk van de materialen van het wonddrainagesysteem hierdoor zullen afnemen; het energieverbruik vermindert met 21% en de CO<sub>2</sub>-voetafdruk neemt af met 19%. In december 2021 is er een pilot van start gegaan om het recycleren van chirurgische mondmaskers op grotere schaal te testen. Deze pilot wordt uitgevoerd door GreenCycl en de TU Delft in samenwerking met de (mond) zorgsector.

## 5. CONCLUSIE

Aangetoond is dat het technisch haalbaar is om chirurgische mondmaskers te recycleren en te gebruiken als nieuwe grondstof voor plastic producten. Na het optimaliseren van het filtersysteem en het professioneel opwerken van het granulaat naar solide korrels kunnen zowel de snelheid van het proces als de eigenschappen van het materiaal worden verbeterd. ■

#### Referenties

[1] [https://gupta-strategists.nl/storage/files/1920\\_Studie\\_Duurzame\\_Gezondheidszorg\\_DIGITAL\\_DEF.pdf](https://gupta-strategists.nl/storage/files/1920_Studie_Duurzame_Gezondheidszorg_DIGITAL_DEF.pdf) (accessed on 8 October 2021).