

Aanleiding en Doel

Elk jaar worden er in Nederland 3 miljoen kerstbomen geplant. Een gemiddelde kerstboom voor de consumentenverkoop groeit vervolgens in een jaar of tien tot een hoogte van 1,75 meter, alvorens te worden verkocht. Zo'n 2,5 miljoen kerstbomen vinden uiteindelijk hun weg naar Nederlandse woonkamers en blijven daar staan, vaak van de week na Sinterklaas tot en met de eerste week van januari. Een gedeelte van de in Nederland geteelde bomen wordt geëxporteerd, daarnaast vindt er ook import plaats van kerstbomen.

Eenmaal thuis wordt de boom natuurlijk mooi aangekleed. Hij vormt de 'center piece' van de woonkamer. In de afgelopen tien jaar is de kerstomzet van marktleider Intratuin naar eigen zeggen verdubbeld tot 135 miljoen euro in 2019, wordt geschreven in een artikel van de NOS. In datzelfde artikel wordt ook aangegeven dat consumenten meer en meer meedoen met de mode en nieuwe kerstballen kopen, waar vroeger nog jaar in jaar uit gebruik werd gemaakt van dezelfde ballen. Al met al wordt de kerstomzet van de Nederlandse tuincentra door Tuinbranche Nederland geschat op 300 miljoen euro. Op pad voor kerstversiering is tegenwoordig een compleet dagje uit aan het worden.

'Het kan niet op' lijkt het motto als het gaat om het gezelligste feest van het jaar.

Wat te doen met al die biomassa die in de eerste weken van januari vrijkomt? Over het algemeen "sterft die een vreselijk lot" (vrij geciteerd naar oud-lector Johan Raap). Er zijn verschillende initiatieven die een kerstboom in de afvalfase verwaarden. Zo is het mogelijk om een kerstboom te huren of leasen, zodat de boom meerdere jaren kan worden gebruikt, en wordt er zelfs bier en verf gemaakt van onderdelen van de boom. Het overgrote deel van de bomen wordt echter nog steeds gemeentelijk ingezameld en vervolgens gecomposteerd of verbrand. En de kerstversiering van dit jaar of vorig jaar die voor volgend jaar écht niet meer kan? Een aanname van de auteur, maar hele grote kans dat die bij het restafval wordt gegooid.

2019 was tegelijkertijd, na 2016, het op-één-na warmste jaar ooit gemeten. Het is nog nooit zo warm geweest als in de laatste vijf jaar en concentraties CO₂ in de lucht nemen nog steeds toe. Meer en meer wetenschappers en organisaties roepen op tot het nemen van acties die CO₂-uitstoot verminderen, tot het terugdringen van consumptieniveau en tot het in de grond laten zitten van fossiele grondstoffen.

Dus...

De geschetste trend over de kerstbomenverkoop en de ontwikkelingen van de kerstomzet bij tuincentra en andere retail rijmen in het geheel niet met de acties waar om wordt gevraagd voor de oplossing van klimaatproblemen. Duurzaamheid in zijn algemeenheid is ver te zoeken als het gaat om kerstbomen en kerstversiering. Waar er in Nederland volop wordt gedebatteerd over het klimaat, stikstof, gebruik van biomassa in energiecentrales en wat al niet meer, wordt in de gemiddelde folder van retailers in de kerstsector met geen woord over duurzaamheid gerept. Vanuit deze paradox willen wij een project starten. Doel: het ontwikkelen van een circulaire, biobased 'kerstboombal'.

Doel

Centre of Expertise Biobased Economy (CoE BBE) wil vooroplopen in de transitie naar een Biobased Economy door onderzoeks- en awareness projecten uit te voeren. Met bovenstaande in het achterhoofd willen we graag op zoek naar een oplossing om het kerstfeest te verduurzamen, op een biobased en circulaire manier.

We hebben daartoe een brede probleemstelling gedefinieerd: Hoe kunnen we, met behulp van kennis, faciliteiten, studenten en partners van CoE BBE, kerstmis verduurzamen op een biobased en circulaire manier en biobased awareness creëren?

Het project wordt opgedeeld in een technisch en een economisch gedeelte. Doel van het technisch onderzoek is kortgezegd om biomassa van gebruikte kerstbomen te verwerken in een biopolymeer en daarmee een kerstbal te spuitgieten. Doel van het economische gedeelte is om daadwerkelijk een afzetmarkt te zoeken of creëren voor ons eindproduct.

Als directe spinoff van het project willen we bewerkstelligen dat onze kersboomballen daadwerkelijk gaan worden geproduceerd en als kerstgeschenk worden gegeven aan medewerkers van Avans Hogeschool en alle betrokken projectpartners en financiers. Dit creëert directe biobased en circulaire awareness bij duizenden medewerkers.

Innovatie

Waarom is dit project innovatief? Om te beginnen het idee zelf. Naar ons weten heeft niemand al eerder kerstballen gemaakt met biomassa afkomstig van kerstbomen. In een markt die groeiende is en vrijwel uitsluitend leunt op het gebruik van fossiele grondstoffen kunnen we met dit idee een transitie in gang zetten.

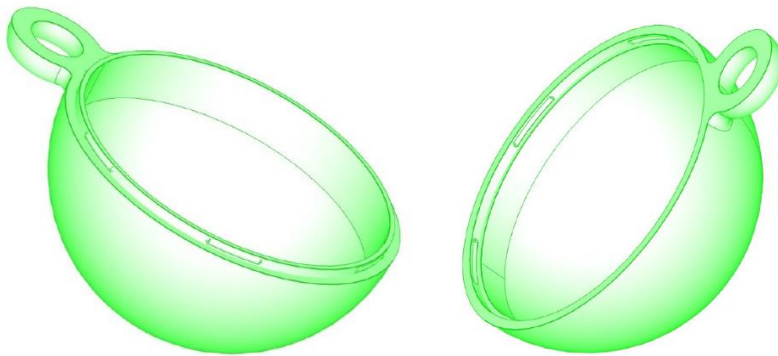
Het materiaalonderzoek dat we gaan doen geldt in ieder geval als innovatief. Onderzoek moet uitwijzen in hoeverre de techniek in staat is om biomassa van kerstbomen te verwerken in een biopolymeer, en welk onderdeel van de kerstboom dat dan het beste kan zijn. In werkpakket 2 gaan we bovendien ook met de leveranciers van de matrijs en verpakkingen op zoek naar verdere productinnovaties.

Afstudeerder Nicole Hoekx gaat heel specifiek op zoek naar innovatie in productontwerp, toetreding tot de markt en het creëren van awareness.

Resultaten

Ontwerp

De kerstbal is ontworpen als een tweedelig product, waar de ene helft een mannelijk aansluiting en de andere helft een vrouwelijk aansluiting heeft. Hierdoor kunnen de twee helften samen tot één bol worden geassembleerd (zie Afbeelding 1). De geassembleerde kerstbal heeft een buitendiameter van 8,5cm en een wand dikte van 3,0 mm. Het oog van de kerstbal heeft een buitendiameter van 13,5 mm en een breedte van 8,5 mm. Dit ontwerp is door de matrijsmaker Moulds & More vertaald naar staalwerk in de vorm van een spuitgietmatrijs. De matrijs is 1-voudig, dus per spuitgietcyclus worden de twee bol helften tegelijk gevormd (zie Afbeelding 2). De matrijs is ook voorzien van een schuifstelsel om de male aansluiting te kunnen spuitgieten.



Afbeelding 1: male (links) en female (rechts) aansluitingen op de kerstbalhelften



Afbeelding 2: spuitgietmatrijs met kerstbalvorm. Links de achter-matrijs en rechts de voor-matrijs

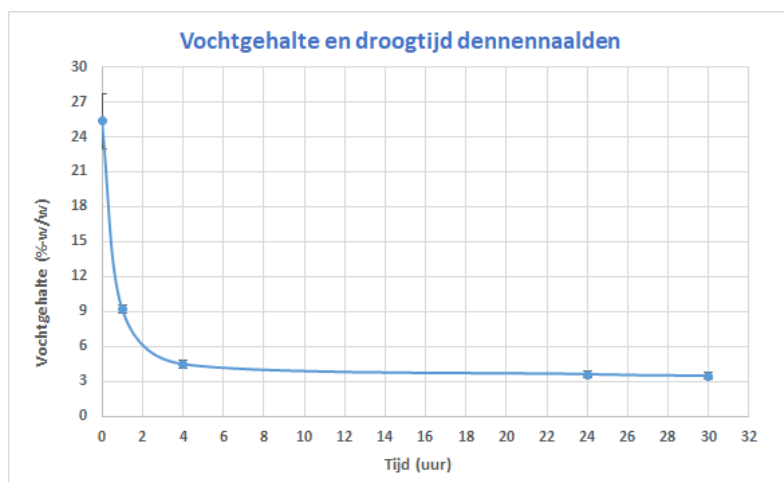
Vóór het proefspuitgieten werd er gekeken naar benodigde voorbereidingen van grondstof en sparrennaalden. Bovendien werd er gekeken naar de techniek componderen om kunststof en vezels samen tot één kunststof te verwerken.

Voorverwerking sparrennaalden

Project partner Den Ouden heeft sparrenboom biomassa aangeleverd voor het project. Uit analyse hiervan blijkt dat de biomassa bestaat uit de volgende componenten (zie ook Foto 1 in de Bijlage):

- Dennennaalden
- Takken groot en klein (met en zonder naalden)
- Stukken hout
- Bladeren
- Steentjes
- Zand
- Notenresten
- Niet bio-materiaal (kerstversieringsresten, kunststof, etc.)
- Insecten

In eerste instantie wordt er gekeken naar hoeveel vocht er in de naalden aanwezig is en welke methode het meest effectief en efficiënt is om de naalden zo droog mogelijk maken. Het vochtgehalte wordt gemeten met een vochtmeter (Merk Mettler Toledo, Type HE73) die gebruik maakt van een infrarood lamp en het vocht gravimetrisch bepaald. Een eerste test was uitgevoerd



Afbeelding 3: droogproces van sparrennaalden in een hete lucht oven op 50°C.

met een heteluchtoven (Merk Nabertherm, Type TR420) op 50°C gedurende x tijd. De sparrennaalden hebben een vochtgehalte van ongeveer 25% ± 2% op gewichtsbasis. Het figuur hierboven laat zien hoe dit droog proces in de tijd verloopt. Hieruit volgt dat met de hetelucht oven op deze instellingen wordt er 4 uur gedroogd om tot een vochtgehalte van 4,5% te komen, waarna het asymptotisch daalt richting 3% over een langere periode.

Naast een hete lucht oven was een droge lucht droger (Merk Simar, Type KTX50) ook gebruikt om grotere hoeveelheden sparrennaalden tegelijkertijd te drogen. De droogtemperatuur was 60 °C. De verwerking van de vezels ging als volgt:

1. Hele (onversnipperd), gezeefde vezels 4 uur laten drogen
2. Half-droge vezels versnipperen
3. Zand verwijderen met een tweede zeef stap (maas = 355 micron)
4. Opgezuiverde vezels naar een tweede droog stap, op 60°C en overnacht (≈16 uur)

Volgens deze methode kan het vochtgehalte van de vezels worden verlaagd tot 1%. De enigszins gedroogde naalden (stap 2) zijn met een Shredder van de merk Wanner versnipperd tot kleinere vezels. Het versnipperen zorgt ervoor dat de zand die nog aan de naalden vastzit, vrij komt en makkelijk eruit te zeven is. Uit de shredder komen vezels met grote variatie in lengte, namelijk van ca. 2mm tot poederdeeltjes (Zie Foto 2 in de Bijlage). Alle poedervormige deeltjes worden samen met het zand weg gezeefd door een maas van 355 micron; alles wat op het zeef achter blijft wordt weer gedroogd in de droge lucht droger zoals hierboven is beschreven.

Compounds

4 materialen werden met sparrennaalden verwerkt tot compound, namelijk:

- PLA (type LX175 van Corbion)
- Solanyl (Type C1201 van Rodenburg)
- Bio-HDPE (Type SHA7260 van Braskem)
- Vibers Bio-PE (Type CTS0230 van Vibers)

Vezels gedroogd in de hetelucht oven tot aan 4% vocht werden hiervoor gebruikt. Het oorspronkelijk idee was om vezels van zo constant mogelijk lengte te verwerken tot compound. Het zeven van de droge, versnipperde vezels werd gedaan met een maasgrote van 700 en 355 micron. Alle vezels wat door de maas van 700 micron vallen, maar op de maas van 355 micron achter blijven, werden gebruikt in de compounds. De fractie <355 micron bevat al het zand en is hierdoor afgevoerd. De fractie >700 micron werd droog opgeslagen.

#	Grondstof	Polymeer		Vezels		Mengsel		
		Massa (g)	Vocht (%)	Massa (g)	Vocht (%)	Massa totaal (g)	Toegevoegde vezels (%)	Vochtgehalte (%)
1	PLA LX175	3325	0,01	176	3,56	3501	5,0	0,19
2	Solanyl C2201	2850	0,00	150	3,56	3000	5,0	0,18
3	Vibers BPE	2860	0,00	150	4,42	3010	5,0	0,22
4	Bio-PE	2850	0,00	150	4,16	3000	5,0	0,21
5	Bio-PE*	2850	0,00	150	4,04	3000	5,0	0,20

Tabel 1: overzicht gemaakte compounds. *toegevoegde vezels waren niet versnipperd, alleen gescheiden van oorspronkelijk biomassa door het zeven.

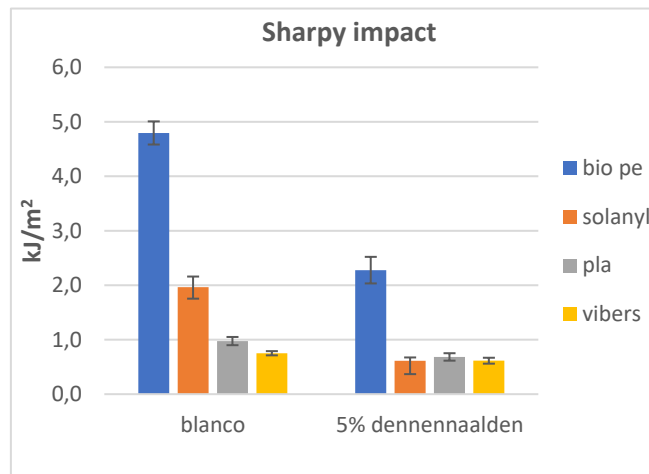
Een toevoeging op gewichtsbasis van 5% vezels in polymeer was vastgesteld als startpunt. Voordat het materiaal in de compounder is verwerkt, was een handmengsel in een emmer gemaakt en dan in de hopper van de compounder gevoed. Dit manier van inmengen en voeden was bij de eerste 4 compounds uitgevoerd. Bij compound #5 waren hele, onversnipperde vezels gevoed via een tweede hopper op de compounder, gescheiden van het polymeer. De menging vindt plaats binnen de schroefkamer. Hieruit is gebleken dat de afschuifkrachten en druk binnen de compounder ervoor zorgen dat de vezels verder versnipperd worden, zodanig dat het resulterende effect vergelijkbaar is met de vorige compounds (zie Foto 3 in de Bijlage). Een nadeel hiervan is dat de naalden meer zand bevatten vergeleken met de versnipper methode. Hierdoor is er toch gekozen voor het drogen, zeven en versnipperen als voorbereiding.

De verwerkte compounds hebben een donker bruine kleur (zie Foto 4 in Bijlage). Als gevolg zijn de vervormde producten gemaakt met deze compound ook donkerbruin/zwart van kleur; dit maakt de vezels niet overzichtelijk. Door het compounderen verliezen de sparrennaalden hun eigenschap als vezel zijnde en zijn niet meer als vezel uit een kerstboom te herkennen. Hierdoor werd er beslist om *niet* verder te gaan met het compounderen als voorverwerkingstechniek. De gemaakte compounds werden gebruikt om mechanische eigenschappen van het materiaal op te bepalen.

Materiaal eigenschappen

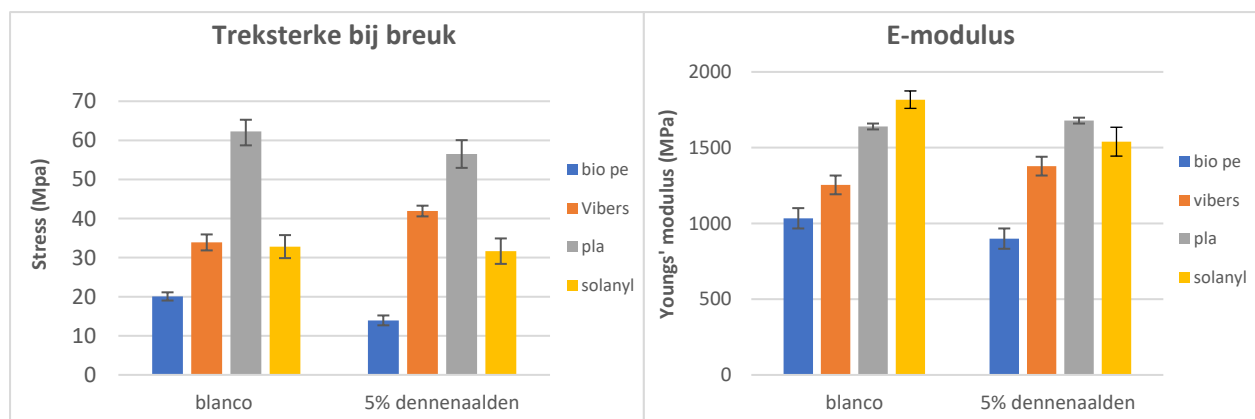
De compounds gemaakt met 5% sparrennaalden werd gebruikt als materiaal met allerhoogste vezelgehalte, met als referentie de virgin grondstof. Relevant voor de kerstbal als toepassing is de slagsterkte. Dit wordt bepaald met de Charpy Impact test, Volgens ISO 179. Stel voor: de bio-kerstbal valt van een boom van 2m hoogte; er wordt dan een kracht op de bol uitgeoefend van ongeveer 6 J/m² (schatting). Als de uitkomst van de charpy impact tests hogere getallen bevindt, kan het betekenen dat bij het vallen de kerstbal niet zal breken. De verwachting is dat de compound minder sterk is dan de referentie.

De compounds en virgin materiaal werden op het lab verwerkt tot geschikte slagstaven volgens ISO 179. De gebruikte spuitgietmachine is een BOY XS (10 Ton matrijs sluitkracht). Per type materiaal werden er 20 slagstaven geproduceerd. De slagstaven werden één week droog opgeslagen voordat die gemeten werden. Zie Afbeelding 4 voor slagsterkte meting resultaten. Over het algemeen zijn de slagsterktes van alle vier materialen significant gedaald vergeleken met de referenties. De laagste gemeten slagsterktes zijn alsnog vele malen hoger dan de lage drempel waarde van 6 J/m². Dit betekent dus dat de bio-kerstballen zorgeloos van de kerstboom mogen vallen zonder enige breuk; Dit maakt het product ook kindervriendelijk!



Afbeelding 4: Resultaten Slagsterkte metingen

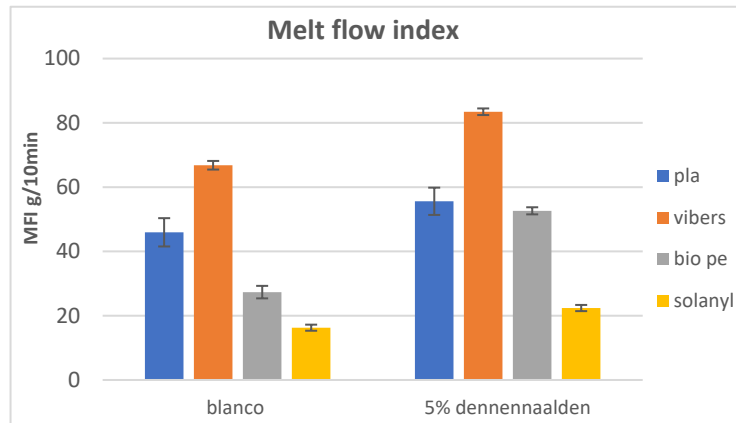
Naast de slagsterkte werden de treksterkte en de elasticiteitsmodulus van de materialen gemeten. Trekstaven werden ook met de BOY XS spuitgietmachine gemaakt. 20 staven van elke materiaal werden één week droog opgeslagen voor het meten op de trekbank (Shimadzu AGS-X; 10kN). De verwachting was dat zowel de treksterkte als de elasticiteit van het materiaal met sparrennaalden lager zou zijn dan de referentie. Zie Afbeelding 5 voor de resultaten.



Afbeelding 5: Resultaten treksterkte metingen

De compound van PLA en Vibers BP zijn 5% minder elastisch geworden en bio-PE is 15% minder elastisch. De compound van Solanyl is 15% meer elastisch geworden, maar heeft geen verschil in treksterkte getoond. PLA en bio-PE hebben een verlaging in de treksterkte getoond van 10% en 30%, respectievelijk. De treksterkte van Vibers BP zag een toename van 24% volgens de metingen.

Naast de mechanische eigenschappen was de melt flow index (MFI) van het materiaal ook gemeten (zie Afbeelding 6). De meting zegt iets over de vloeien en viscositeit van het geplasticeerde materiaal; het geeft de hoeveelheid gram geplasticeerde materiaal wat in 10 minuten door een gedefinieerd volume stroomt onder invloed van een constant druk. De meting is gestandaardiseerd volgens ISO 1133.



Afbeelding 6: Resultaten MFI metingen

Alle geteste materiaal hebben een verhoogde MFI getoond, wat betekent dat alle materialen minder viskeus zijn geworden. Dit is mogelijk veroorzaakt door verkorte polymeer-ketens vanwege hydrolyse die optreedt tijdens verwerking. Hydrolyse is mogelijk gemaakt door een overtollige hoeveelheid vocht afkomstig van de sparrennaalden. Dit is interne vocht die moeilijk te verwijderen is tijdens de droogstap. In de spuitgietmachine moet er rekening worden gehouden met de minder viskeus materiaal, door de temperaturen van de doseerschroef en matrijs waar nodig aan te passen.

Proefspuitgieten

De kerstbalmatrijs werd getest bij het BAC in een spuitgietmachine van de merk Arburg, type Allrounder 420C, met een maximale sluitkracht van 1000 kN (100 ton). Om de minimaal benodigde matrijs-sluitkracht te bepalen kan de volgende benadering worden gehanteerd:

- $F_s = \frac{p_m \cdot A_p}{100}$, waar:
 - $F_s =$ sluitkracht in kN
 - $p_m =$ matrijs binnendruk in bar
 - $A_p =$ geprojecteerde oppervlak in cm^2

In het geval van de kerstbal geldt:

Een wanddikte van 3mm; uit de theorie luidt dat de matrijs een binnendruk p_m van ongeveer **300 bar** zal hebben.

Het geprojecteerd oppervlak wordt als volgt berekend:

- $Oppervlakte\ kerstbal\ helft = \pi \cdot (4,25cm)^2 = 56,8cm^2$
- $Oppervlakte\ kerstbal\ oog = (\pi \cdot (6,75mm)^2) - (\pi \cdot (3,25mm)^2) = 1,1cm^2$
- $A_p = (2 \cdot oppervlakte\ kerstbalhelft) + (2 \cdot oppervlakte\ kerstbal\ oog)$
- $A_p = (2 \cdot 56,8) + (2 \cdot 1,1) = \mathbf{115,8cm^2}$

Volgens deze benadering moet de sluitkracht F_s minimaal **350kN** zijn (=35 Ton). De sluitkracht werd in de praktijk hoger ingesteld, afhankelijk van het materiaal.

Bij proefspuitgieten is het van belang dat een volumetrische vulling bereikt wordt. Dit is het punt waar de product voor ongeveer 98% vol is op volume basis. Dit is terug te zien als een piek in de injectiedruk-tijd diagram, op het moment van omschakelen van injectiestap naar nadruk. Voor het bereiken van de volumetrische vulling zijn de volgende instellingen van belang:

- Injectiesnelheid (cm^3/s): heeft invloed op vloeï van materiaal binnen de matrijs en luchtinsluiting.
- Hoeveelheid injectiestappen: injectie kan in één of meerdere stappen gebeuren. Per stap kan er een specifieke injectiesnelheid en eindvolume (vergelijkbaar met omschakelvolumen) worden ingesteld. Op deze manier kan de vloeï van het materiaal binnen de matrijs worden beïnvloed door injectiesnelheid/hoeveelheid op- of af te bouwen, afhankelijk van het materiaal.
- Omschakelvolumen (cm^3): heeft invloed op volumetrische vulling en bepaald wanneer de injectiestap eindigt en omgeschakeld wordt naar nadruk.
- smelt temperatuur (range in $^{\circ}\text{C}$): heeft invloed op vloeï en viscositeit van het materiaal binnen de matrijs en doseerschroef.
- Restkoeltijd (in seconde): heeft invloed op kristallisatie van het materiaal binnen de matrijs en de overal cyclustijd.
- Matrijs sluitkracht (ton): zorgt ervoor dat tijdens injectie het vloeïbare materiaal niet van de holte weg kan vloeïen. Een te lage sluitkracht heeft als gevolg vliesjes in het product. Een te hoge sluitkracht is niet nodig of energiezuinig.
- Decompressie (na doseren, in cm^3/s en cm^3): heeft positief invloed op lekkage van materiaal uit schroefkop van de injectie-eenheid. Er wordt een decompressiesnelheid en volume hier ingesteld.

Wanneer een volumetrische vulling bereikt is, kan de toegepaste nadruk op het product worden ingesteld. De nadruk zorgt ervoor dat de laatste 1-2% volume bijgevuld wordt na de volumetrische vulling. Bovendien zorgt de nadruk ervoor dat het materiaal volgens de vloeïweg-oriëntatie van de polymeerketens strak kristalliseert, waardoor de product zijn spanning behoudt. De nadruk kan worden ingesteld op druk (in bar), tijd (in seconde) en hoeveelheid stappen, waarin de voorgenoemde parameters dynamisch kunnen worden aangepast als het materiaal dit vereist. Hiernaast wordt er gekeken naar de spuitgietyclus met als doel deze op volautomaat te laten lopen. Er wordt gekeken naar:

- Het product uitstoten: uitstoten kan meerdere malen worden herhaald totdat het product uit de matrijs valt.
- Afstellen van de koeltijd in het geval van onvoldoende of juist te veel koeling
- Decompressie afstellen indien het materiaal dit vereist.

Eerste testen met de kerstbal matrijs

De matrijs met de kerstbalvorm werd door projectpartner Moulds & More gemaakt en geleverd. De matrijs is voorzien van 6 verschillende koelkanalen, een wisselbare spuitbus, 12 uitstootpennen met grove ribben (ter lossing van product uit voormatrijs) en een schuifstelsel om de male/female kliksysteem van de kerstbal te kunnen spuitgieten. De eerste actie was om het functioneren van de matrijs te testen.

De matrijs werd eerst getest met bio-HDPE en Solanyl. Zonder applicatie van nadruk werden eerste blanco kerstballen gemaakt. Luchtinsluiting was waargenomen aan de onderkant van elke kerstbalhelft, wat ook de einde van de vloeiweg is (zie Foto 5 in de Bijlage). Hieruit volgde dat de matrijs nog niet voorzien was van genoeg ontluchting. Het proces werd zodanig aangepast dat er hele kerstballen gemaakt konden worden. Hierna werd er kleur (1%-w/w) en Sparrennaalden (4%-w/w) in verwerkt (zie Foto 6 in de Bijlage). Solanyl werd ook getest op lossing van product uit de matrijs, aangezien het een kleverig materiaal kan zijn. De kerstbal van Solanyl blijft heftig kleven aan de grove uitstootpennen en soms blijft de aanspuiting in de spuitbus hangen. Uit deze testen zijn de volgende deelconclusies voortgekomen:

- Ontluchting moet nog in de matrijs worden geslepen
- De aanspuiting loopt vast in de spuitbus bij spuitgieten met Solanyl
- De kerstbal blijft vast aan de uitstootpennen tijdens de uitstoot stap.
- Handmengsels van polymeer, kleurmestbatch en sparrennaalden zijn rechtstreeks in de spuitgietmachine te verwerken, zonder een compound.

De matrijsmaker heeft volgens bovengenoemde conclusies de matrijs aangepast. Ontluchting is aangebracht achter de deelnaad van de kerstbal en op de onderste locatie waar luchtinsluiting was waargenomen. De aanspuiting werd zodanig aangepast dat er meer trekkracht uitgeoefend kan worden op de aanspuiting bij het openlopen van de matrijs. Er werd hiernaast ook een nieuwe set uitstootpennen gefabriceerd met een minder ruwe kop. Met deze aangepaste matrijs zijn de proefspuit trials vervolgd met alle vier grondstoffen. Het doel van deze trials was om per materiaal de optimale spuitgietparameters te vinden en een recept vast te stellen die geschikt is voor productie op volautomaat.

Trials met Solanyl C1201

Proefspuitgieten met Solanyl heeft geleid tot de volgende instellingen:

T-profiel	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Matrijs
Temperatuur (°C)	38	150	158	163	173	168	ca. 10

Doseerprofiel	Doseer volume	Stap 1	Stap 2	omschakelpunt	Decompressie
Snelheid (cm ³ /s)	-	10	25	9	25
Volume (cm ³)	32,5	30	12	6	2,5

Nadrukprofiel	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5
Druk (bar)	200	350	400	400	200
Tijd (sec)	0,5	0,5	1	2	0,1

Recept	Kleur masterbatch	Sparrennaalden	Solanyl C1201
%-w/w	1	4	95

De totale injectie tijd was 1,6 seconden. De matrijs sluitkracht werd ingesteld op 500 kN. Bij verwerking van 400g handmengsel met bovengenoemde recept en instellingen waren er geen problemen waargenomen. Bij het verwerken van grotere hoeveelheden (2kg handmengsel), was er verstopping van de doseerunit ontstaan. Er wordt hierdoor aanbevolen om tijdens productie met een grotere neus- en spuitbusholte te werken. Om volautomaat te draaien met Solanyl moet het uitstoten minimaal vier keer herhaald worden. Bovendien is genoeg koeling nodig, anders vervormd de kerstbalooog tijdens het uitstoten; de restkoeltijd werd op 25 seconden ingesteld. zie Foto 7 met voorbeeld kerstballen.

Trials met PLA LX175

Proefspuitgieten met PLA heeft geleid tot de volgende instellingen:

T-profiel	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Matrijs
Temperatuur (°C)	38	175	187	200	207	197	ca. 10

Doseerprofiel	Doseer volume	Stap 1	omschakelpunt	Decompressie
Snelheid (cm ³ /s)	-	25	5	25
Volume (cm ³)	36	11	6	3

Nadrukprofiel	Stap 1	Stap 2
Druk (bar)	800	800
Tijd (sec)	0,1	8

Recept	Kleur masterbatch	Sparrennaalden	Solanyl C1201
%-w/w	1	1	95
%-w/w	0	1	95

De totale injectietijd is 2 seconden. De matrijs sluitkracht werd op 400 kN ingesteld. Er werden twee recepten vastgesteld met PLA; met en zonder toegevoegde kleur. De doorzichtigheid van het materiaal voegt toe aan de esthetische waarde van de kerstbal. Een vezelgehalte boven de 1% zorgt voor een volledige bedekking van de kerstbal, waardoor het een bruine kleur heeft en de doorzichtigheid grotendeels verliest (zie Foto 8 in de bijlage). Vergelijkbaar met Solanyl, gaat het spuitgieten van kleine hoeveelheden probleemloos, maar bij verwerking van hoeveelheden groter dan 1kg per batch, ontstaat er verstopping van de injectie-eenheid. Om volautomaat te draaien met PLA moet het uitstoten minimaal 2 keer herhaald worden en is voldoende koeling noodzakelijk, anders vervormd de kerstbalog tijdens het uitstoten. De restkoeltijd werd op 35 seconden ingesteld. zie Foto 9 in de bijlage met voorbeeld kerstballen.

Trials met bio HDPE

Proefspuitgieten met bio-HDPE heeft geleid tot de volgende instellingen:

T-profiel	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Matrijs
Temperatuur (°C)	38	170	180	190	200	195	ca. 10

Doseerprofiel	Doseer volume	Stap 1	Stap 2	omschakelpunt	Decompressie
Snelheid (cm ³ /s)	-	25	60	20	30
Volume (cm ³)	37	32	22	12	2

Nadrukprofiel	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4
Druk (bar)	875	925	975	450
Tijd (sec)	0,5	0,5	10	1

Recept	Kleur masterbatch	Sparrennaalden	Solanyl C1201
%-w/w	1	4	95

De totale injectietijd is 0,9 seconden. De matrijs sluitkracht werd ingesteld op 500kN. Met bio-HDPE was tijdens proefspuitgieten vervorming op de deelnaad van elke kerstbalhelft geconstateerd (zie Foto 10 in de bijlage). Dit werd opgelost door de nadruk op hoge druk en lange tijden af te stellen; een nadruk van ongeveer 900 bar over 10 seconden was minimaal nodig om het product strak te krijgen. Om volautomaat te draaien met HDPE moet het uitstoot minimaal één keer worden herhaald; het

product komt vrij makkelijk los. De restkoeltijd werd op 20 seconden ingesteld. zie Foto 11 met voorbeeld kerstballen.

Trials met Vibers BP

Proefspuitgieten met bio-PE compound van Vibers heeft geleid tot de volgende instellingen:

T-profiel	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Matrijs
Temperatuur (°C)	38	170	180	190	200	195	ca. 10

Doseerprofiel	Doseer volume	Stap 1	omschakelpunt	Decompressie
Snelheid (cm ³ /s)	-	12	4	15
Volume (cm ³)	35,5	16	6	4

Nadrukprofiel	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4
Druk (bar)	500	450	400	100
Tijd (sec)	0,5	0,5	0,5	0,2

Recept	Kleur masterbatch	Sparrennaalden	Solanyl C1201
%-w/w	1	4	95

De totale injectietijd is 4,13 seconden. De lange injectietijd moest worden toegepast om luchtverbranding (diesel effect) tegen te gaan. De matrijs sluitkracht werd ingesteld op 500kN. Naast het dieseffect waren er geen problemen waargenomen tijdens productie. Om met Vibers BP op volautomaat te draaien moet het uitstoten minimaal 1 keer herhaald worden. De restkoeltijd werd op 30 seconden ingesteld. Zie Foto 12 met voorbeeld kerstballen.

Voorselectie Kerstbal

Tijdens de voorgenoemde trials waren er een aantal recepten en verschillende kleuren getest waaruit een reeks aan verschillende prototypes gemaakt zijn (zie Foto 13 in de bijlage). Hieruit zijn negen van de mooiste kerstballen uitgekozen op basis van kleur, materiaal eigenschap (glanzend, matte, elasticiteit, etc) en hoe het product bij het biobased en circulaire verhaal past (zie Foto 14 in de bijlage). Samen met de projectpartners waren deze negen kerstballen gerangschikt tot de top vier kerstballen die hierna bij spuitgieter BATO in grotere hoeveelheden (1500 sets; vier kerstballen per set) geproduceerd werd. De gekozen kerstballen zijn op Foto 15 in de bijlage te zien.

Productie

Om productie van 1500 sets in gang te zetten, moesten de volgende aanpassingen in de matrijs worden aangebracht (zie ook Foto 16 in de bijlage):

- Ontluchtingskanaal van 0,2mm diep geslept op de voormatrijs, rondom de deelnaad van de kerstbalhelften.
- Gates die de aanspuiting met kerstbaloog verbinden ruimer gemaakt
- Spuitbusholte vergroot naar een diameter van 4,5mm

Naast deze matrijs aanpassingen moest het recept ook aangepast worden naar een vezelgehalte van 0,5% voor alle kerstballen. Hiermee wordt verstopping van de gates en doseerschroef vermijdt en kan op volautomaat gedraaid worden. Met deze laatste aanpassingen was het mogelijk om 1500 Ballsy sets te maken met de top4 kerstballen uit de proefspuitgiets trials; het eindproduct is op Foto 17 in de bijlage te zien.

Conclusie/ Aanbeveling

- Verlagen van vochtgehalte in sparrennaalden tot 1% is mogelijk; de voorbereekte vezels droog bewaren tot aan productie is noodzakelijk.
- Na een aantal aanpassingen is de matrijs geschikt gemaakt voor het spuitgieten met biopolymeren op volautomaat.
- Voor beste vezel effect (visueel), geen compound gebruiken, maar componenten direct voeden in spuitgietmachine. Compounds gemaakt met sparrennaalden hebben een donker bruin / zwart uiterlijk waar de vezels niet zichtbaar zijn.
- Een kerstbal met max. 5% sparrennaalden zal sterk genoeg zijn om zorgeloos van een grote kerstboom te vallen.
- Het is mogelijk om sets van 4 kerstballen, in verschillende biomaterialen en kleuren, geschikt te maken voor massaproductie.

Bijlage



Foto 1: verschillende componenten in kerstboom biomassa uit Den Ouden

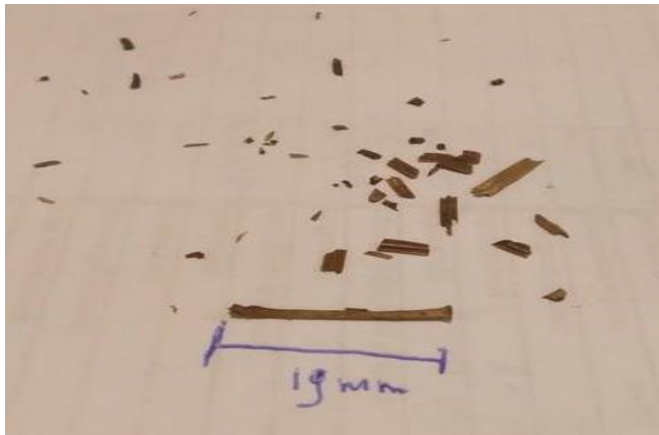


Foto 2: variatie in vezellengte van de verwerkte sparrennaalden.

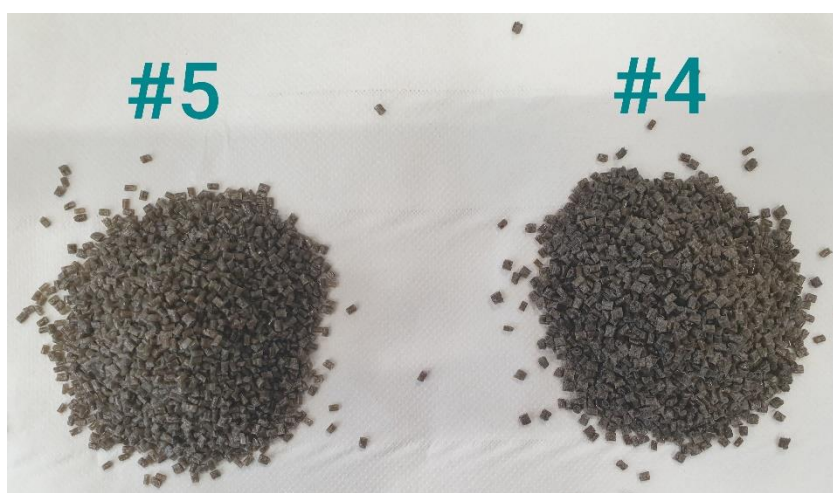


Foto 3: Vergelijking van compounderen met (#4) en zonder (#5) versnippering van de sparrennaalden. Bij #5 was een side-feeder gebruikt bij toevoeging in de compounder.



Foto 4: Gemaakte compounds volgens tabel 1. Van links naar rechts compounds #1 t/m #4.



Foto 5: Kerstbal gemaakt van Solanyl waar luchtinsluiting duidelijk zichtbaar is



Foto 6: Eerste batch kerstballen gemaakt van bio-HDPE, 1% kleurmastbatch en 4% sparrennaalden.



Foto 8: links PLA + 0,5% sparrennaalden;
rechts PLA + 4% sparrennaalden



Foto 9: Kerstballen gemaakt van PLA in 3 verschillende kleuren
(inclusief kleurloos)



Foto 7: Kerstbal prototypes gemaakt van Solanyl in 3 kleuren

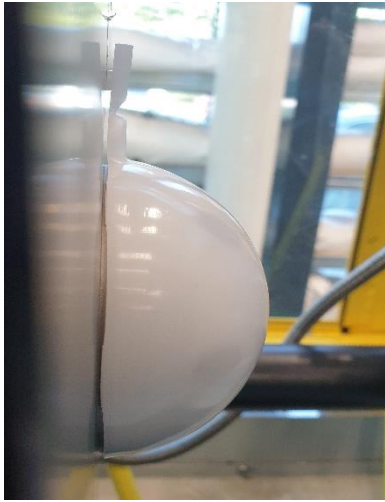


Foto 10: vervorming op deelnaad bij bio-HDPE



Foto 11: Kerstballen gemaakt van bio-HDPE in 3 kleuren (inclusief kleurloos)



Foto 12: Kerstballen gemaakt van VibersBP; links zonder sparrennaalden, midden met 1% naalden en rechts gemaakt met compound



Foto 13: Prototypes gemaakt tijdens de trials van PLA, Diverse kleuren en sparrennaalden



Foto 14: Voorselectie Kerstballen; bovenste rij PLA in 3 kleuren, middelste rij Solanyl in 3 kleuren; onderste rij Vibers, PE en PLA (kleurloos)



Foto 15: Top 4 kerstballen uit de voorselectie, van links naar rechts: PLA (1% vezel, geen MB), Solanyl (groen MB + 4% vezel), bioHDPE (wit MB + 4% vezel) en VibersBP (4% vezel, geen MB)

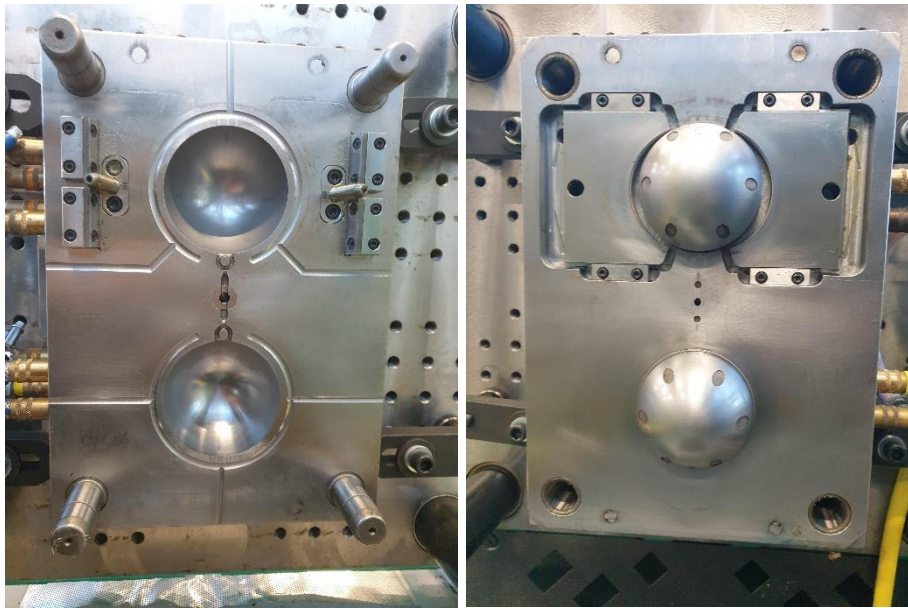


Foto 16: Links de voormatrijs met ontluuchtingskanaal rondom de deelnaad, rechts de achtermatrijs met gladdere uitstootpennen (12 stuks op de bolvorm)



Foto 17: Eindproduct van het project: de Ballsy biobased kerstballen set

Het team

Binnen het BAC zijn de volgende mensen betrokken geweest met dit project:

- **Gertjan Visse** – Projectleider – (Werkzaamheden)
- **Werner Muller** – Projectleider – (Werkzaamheden)
- **Maurice van Londen** – Project manager – (Werkzaamheden)
- **Huub Looze** – Ontwerper en onderzoeker – (Werkzaamheden)
- **Wilner Acosta** – Werkplaatsmeester – (Werkzaamheden)
- **Martijn Antheunisse** – Stagiair Projectleider – (Werkzaamheden)
- **Gijs bogers** – Stagiair Procestechniek – (Werkzaamheden)
- **Auke Prinsen** – Stagiair Technicus Engineering – (Werkzaamheden)
- **Job Brinkman** – Stagiair Industriël Product Ontwerper – (Werkzaamheden)

Werkplaats

De werkzaamheden vonden plaats in/op:

- Het Biobased kantoor, LA-gebouw (Lovensdijkstraat 61)
- Het Biobased laboratorium, LC-gebouw ('the Villa', Lovensdijkstraat 61)
- De Biobased werkplaats, LD-gebouw (Lovensdijkstraat 63)

Relevantie voor het onderwijs

In het project hebben vele studenten meegewerkt van verschillende niveaus, opleidingen, jaren en zelfs verschillende scholen. Alleen door hun inzet hebben we de resultaten kunnen boeken die we hebben geboekt en vice versa heeft het project 30 scholieren en studenten meegenomen in onderwerpen en thema's van de Biobased Economy en circulaire economie.

Vervolgstappen