



1 OPENBAAR EINDRAPPORT

1.1 SAMENVATTING

Jaarlijks wordt wereldwijd 150.000 ton PLA (Poly Lactic Acid, biobased plastic) geproduceerd uit hernieuwbare grondstoffen, zoals bijvoorbeeld uit cellulose. Het uitgangsmateriaal is veelal afkomstig uit de voedselketen, zoals suikerbieten en mais, en relatief duur. Daarom wordt dit PLA alleen gebruikt in duurdere, bijvoorbeeld medische, toepassingen. Indien PLA kan worden geproduceerd uit goedkoper basismateriaal, ontstaat er een enorme marktpotentie om het PLA breder in te zetten. Bijvoorbeeld als verpakkingsmateriaal, wegwerpbekers, -bestek en -borden, plantenpotjes etc. De verwachting is dat de behoefte aan PLA de komende jaren met 18-22% per jaar zal groeien.

Om aan de snel groeiende vraag naar PLA te voldoen, de druk op renewables te verlagen en de transitie naar biobased plastic significant te versnellen moet er dus een goedkoper en milieuverantwoorder alternatief voor grondstof en technologie worden gevonden. Dit project is uitgevoerd door een breed consortium, bestaande uit technologie-ontwikkelaars (Attero B.V. en CirTec B.V.) en launching customers (Attero B.V. en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) om te demonstreren dat PLA geproduceerd kan worden uit de cellulosefractie in afvalwater. In afvalwater zit veel cellulose door al het wc-papier dat met de toiletspoeling wordt afgevoerd.

Productie van PLA uit afvalwater heeft een grote maatschappelijke relevantie. Maar het ontbreken van ervaring met de opwerking van cellulose uit afvalwater houdt de technologische ontwikkeling al geruime tijd in het laboratorium. Dit consortium heeft op relevante pilotschaal onderzoek gedaan naar het winnen van cellulose uit afvalwater en het opwerken van de cellulose als grondstof voor de productie van PLA.

De benodigde technologische stappen om te komen tot een stabiel proces zijn:

- Het ontwikkelen van een uitgebalanceerde, dynamische coagulatie en zeeftechnologie die zo zuiver mogelijk cellulose kan terugwinnen, zonder daarmee de basisfunctie van de zuivering te ondermijnen. Door afvang van zeefgoed op een RWZI zal de denitrificatie fase belemmerd worden. Hiervoor is meer inzicht nodig in de interacties tussen maximale COD verwijdering uit het influent en de prestatie van de (biologie in de) zuivering.
- Om het cellulose-zeefgoed geschikt te maken voor PLA-productie moeten alle bacteriën uit het zeefgoed worden verwijderd. Vanwege de herkomst zijn grote hoeveelheden (waaronder ziekteverwekkende) bacteriën in het zeefgoed aanwezig. Deze bacteriën verhinderen het omzettingsproces waardoor de opbrengst achterblijft en/of andere bijproducten ontstaan. Uitdaging is om een cellulose-slurry te verkrijgen die een stabiele omzetting tot gevolg heeft en de groei van bacteriën niet toelaat.

Na polymerisatie kan een aantal verschillende polymeren ontstaan: zuiver D- of L-PLA of combinaties hiervan. Poly-L-melkzuur is vrijwel niet biologisch afbreekbaar, terwijl PLA uit D- en L-isomeren binnen enkele weken wordt afgebroken. Het is daarom een uitdaging om de



juiste samenstelling D- en L-isomeren te produceren.

De niet-technische uitdagingen zijn:

1. Regelgeving/vergunningen: zeefgoed valt officieel onder de afvalstoffenwet en mag niet zondermeer nuttig worden aangewend. Deze barrière dient te worden weggenomen door o.a. aan te tonen dat biobased-PLA een veilig product is.
2. Transportsysteem: het idee is om de PLA-productie bij de afvalverwerker te laten plaatsvinden zodat dit op grote schaal kan plaatsvinden. Of de niet opgewerkte cellulose-slurry of de schone cellulose zal worden vervoerd is nog een vraag. Hoe de cellulose te vervoeren zal moeten worden uitgezocht.

Dit project betreft de ontwikkeling van een nieuwe geavanceerde technologie (PLA-productie uit cellulose afkomstig van afvalwater) voor de omzetting van biomassa (cellulose) naar groene materialen (PLA) via onder andere biotechnologische routes (enzymatische hydrolyse).

1.2 BEHAALDE RESULTATEN, DE KNELPUNTEN EN HET PERSPECTIEF VOOR TOEPASSING;

1.2.1 RESULTATEN EN KNELPUNTEN

Er is een fijnzeefinstallatie gebouwd bij de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Beemster van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Deze fijnzeefinstallatie vangt onopgeloste bestanddelen af (met name toiletpapier), zodat afvalwater minder vervuild is waardoor het benedenstroomse zuiveringsproces minder energie zal kosten. Attero heeft een glucose plant gebouwd om cellulose uit het zeefgoed om te kunnen zetten in suikers. Dit is een innovatieve stap. Als eenmaal een goede kwaliteit suikeroplossing is verkregen, is omzetting naar melkzuur en vervolgens polymelkzuur mogelijk.

Er zijn 4 werkpakketten waarin onderzoek is gedaan naar:

1. De interactie van cellulose afvang met fijnzeeftechnologie en afvalwaterzuivering:
 - a. Er is gekeken naar de invloed van coagulant en flocculant op de verwijdering van fosfaat, TSS en CZV. Vanuit de zuivering is er geen noodzaak om coagulant te doseren, omdat het bio-P vermogen van de RWZI toereikend is. Dosering van coagulant en/of flocculant trekt de verhouding CZV:N naar beneden, waardoor de denitrificatie negatief zou worden beïnvloed, waardoor aanvullend een elektronendonator (koolstofbron) moet worden gedoseerd. Kortom, coagulatie/flocculatie voor een biologische zuivering is niet nodig en levert geen (economische-) toegevoegde waarde.
 - b. Er is een bewaartest op zeefgoed uitgevoerd. Er is duidelijk verbetering in de kwaliteit opgetreden. De hoeveelheid cellulose is slechts 35%-45% i.p.v. eerder aangenomen 70% - 80%. Dit heeft consequentie voor de massabalans. Er zijn geen significante invloeden vanuit de seizoenen op het fijnzeefproces. Volledig inzicht in seizoensinvloeden zal worden verkregen wanneer de monitoring is afgerond.
 - c. Backwards sturing van de fijnzeven is ingeregeld. Ten aanzien van het verkregen inzicht in biologische activiteit/stabiliteit van het zeefgoed hebben we gezien dat er een bepaalde mate van biologische activiteit plaatsvindt in het zeefgoed, waarbij cellulose deels afbreekt.
2. Onderzoek karakteristieken zeeffractie en onderzoek PLA productie:
 - a. Zeeffractie is geanalyseerd en er is onderzoek gedaan naar de route van het zeefgoed naar PLA. Er zijn gesprekken met PLA producenten gevoerd, en er zijn testen gedaan m.b.t. bewaren van zeefgoed. De suikerconcentratie ligt na hydrolyse lager dan vooraf aangenomen. Indikken vóór PLA productie is wel noodzakelijk. Op labschaal voldoet de



Rijksoverheid



Hoogheemraadschap
Hollands
Noorderkwartier



kwaliteit van de uit zeefgoed geproduceerde suikers, op pilotschaal is dit nog niet aangetoond.

- b. Er zijn testen uitgevoerd met desinfectie van zeefgoed op de fijnzeef met een infrarood spectrum. Deze testen zijn buiten het CelluCycle project uitgevoerd. Testen zijn uitgevoerd met infrarood (3000) en wit licht (6500), waarbij is gekeken of en in hoeverre behandeling de hoeveelheid micro-organismen kan verminderen. Conclusies: De resultaten van het onderzoek waren niet positief. De waarden qua afname voor infrarood en 6500 wit licht zijn redelijk vergelijkbaar.
3. Ontwikkeling PLA:
- a. Er is een ontwerp gemaakt voor de fijnzeefinstallatie voor inpassing op de bestaande RWZI.
 - b. Ook het ontwerp voor de PLA installatie/glucose plant is afgerond. Modificaties t.o.v. de operationele pilotplant zijn onderzocht en waar nodig uitgevoerd. Aangezien de glucose pilotplant nog niet de gewenste resultaten laat zien (zie WP4) en de oorzaak hiervan mogelijk mede ligt in het ontwerp van de glucose pilot plant, is het inzicht in opschaling nog in ontwikkeling.
 - c. Er is gekeken naar vergisting van het restdeel van het zeefgoed dat niet wordt verwerkt in de glucoseplant. Op basis van de vergistingstesten en de hoeveelheid vergist zeefgoed, is vastgesteld dat tijdens de projectperiode bij Attero circa 200.000 m³ biogas is opgewekt. Dit is omgezet in circa 110.000 m³ groen gas dat op het gasnet is ingevoerd ter vervanging van aardgas.
4. Pilotonderzoek PLA productieproces:
- a. Vergunningen zijn aangevraagd en verkregen voor de fijnzeefinstallatie. De glucose pilot valt binnen de bestaande vergunning en is gebouwd en ook opgestart. Er is gestart met het monitoringsplan. Er hebben zich verschillende problemen voorgedaan:
 1. Het zeefgoed dat door HHNK werd aangeleverd, bleek aanvankelijk te nat. Na enige aanpassingen werd een stabiele kwaliteit bereikt. Verder bleek de hoeveelheid cellulose in het zeefgoed een stuk lager dan verwacht (35%-45% in plaats van 70%-80%).
 2. Er vindt verzuring plaats van de cellulose voordat het de glucose plant bereikt. Verdere verzuring treedt op in de glucose plant zelf. Dit is zodanig dat de concentratie glucose te laag is om PLA te produceren. Er wordt tot op heden onderzoek gedaan naar de mogelijke oorzaken van de verzuring en oplossingen hiervoor. Dit onderzoek wordt voortgezet onder een ander project, genaamd Cellu2PLA¹.
 3. De verhouding enzymen/glucose is te hoog voor een economisch rendabel proces en het proces in de glucoseplant is niet steriel. Desinfectie testen van zeefgoed op de fijnzeef met een infrarood spectrum laten geen verbetering zien.

Tot op heden is het nog niet mogelijk gebleken om PLA te produceren uit cellulose verkregen uit zeefgoed/afvalwater. Er is meer tijd nodig om te achterhalen welke parameters de omzetting van cellulose naar glucose verstoren.

1.2.2 PERSPECTIEF VOOR TOEPASSING

Vanuit het oogpunt van de circulaire economie blijft het produceren van bioplastic op basis van cellulose uit afvalwater een interessant gegeven. De alternatieve cellulose bronnen beschikbaar op de markt zijn o.a. oud papier, textiel, andere goedkopere en schonere cellulosebronnen

1

http://www.stowa.nl/projecten/Cellu2PLA__van_cellulose_in_afvalwater_naar_grondstof_voor_bioafbraakbaar_plastic



Rijksoverheid



(papierfabrieken) en boomsnippers (nu veelal gebruikt als bodemverbeteraar). Nadeel van deze alternatieve bronnen is de extra benodigde opwerkingsstap (inktverwijdering, cellulose vrijmaken uit de ligninematrix, etc.) voordat het kan worden gebruikt als grondstof voor PLA. Doordat de huidige toegepaste grondstoffen vrij duur zijn, is de implementatie van deze technologieën beperkt. Daarentegen is de suiker quota nu vervallen en daardoor komen er meer goedkopere en schone suikers op de markt die een goed alternatief zijn voor suiker gewonnen uit cellulose uit afvalwater. PLA producenten geven aan dat ze geïnteresseerd zijn in de ontwikkeling van PLA uit zeefgoed, maar ook sceptisch ten aanzien van het bronmateriaal.

Ten aanzien van de zeefgoedtechnologie kunnen we stellen dat met de verkregen kennis de fijnzeeftechnologie opschaalbaar en flexibel inzetbaar is op vele RWZI-configuraties. In Europa zijn meer dan 25.000 communale biologische waterzuiveringen, waarvan er tenminste 9.000 een configuratie hebben waarin cellulose kan worden teruggewonnen. Ten aanzien van het product zeefgoed zijn de vooruitzichten dat het zeefgoed uiteindelijk wel als grondstof kan worden afgezet, al dan niet voor productie van PLA. Naar de toekomst toe zijn de verwerkingskosten van zeefgoed lager dan voor zuiverings-slib.

1.3 BIJDRAGE VAN HET PROJECT AAN DE DOELSTELLINGEN VAN DE REGELING

1.3.1 DUURZAME ENERGIEHUISHOUDING

Dit project past in de Programmalijn "Chemische en biotechnologische conversietechnologie" van de tender BBE Innovatieprojecten omdat het een ontwikkeling betreft van een nieuwe geavanceerde technologie (PLA-productie uit cellulose afkomstig van afvalwater) voor de omzetting van biomassa (cellulose) naar groene materialen (PLA) via onder andere biotechnologische routes (enzymatische hydrolyse). De bijdrage van dit project aan het doel van deze tender is het cascaderend gebruik van biomassa door afvalwater te gebruiken als grondstof voor PLA-productie.

De bijdrage van dit project aan de verduurzaming van de NL Energiehuishouding is als volgt:

1. De fijnzeefinstallatie zorgt ervoor dat het gezeefde afvalwater minder vervuild zal zijn, wat een positief effect heeft op het energieverbruik van het zuiveringsproces. Door de fijnzeeftechnologie is ongeveer 10 % minder beluchtingsenergie nodig en neemt de capaciteit van de zuivering toe.
2. Op basis van de vergistingstesten en de hoeveelheid vergist zeefgoed, is vastgesteld dat tijdens de projectperiode bij Attero circa 200.000 m³ biogas is opgewekt. Dit is omgezet in circa 110.000 m³ groen gas dat op het gasnet is ingevoerd ter vervanging van aardgas.
3. Verder zorgt de fijnzeefinstallatie voor een lagere biologische belasting op de aeratietank (AT). In de AT wordt daardoor minder slib gevormd. De spuislibproductie neemt af met ongeveer 15%. Er is geen effect merkbaar op de slibontwatering.
4. Chemicaliënverbruik neemt af met 15%.

1.3.2 VERSTERKING VAN DE KENNISPOSITIE

Dit project draagt bij aan het verwerven van kennis over een nieuwe grondstof uit afvalwater: cellulose. Deze cellulose kan gebruikt worden als grondstof voor de productie van glucose dat nodig is voor de productie van PLA. PLA is de meest voorkomende bio-plastic. De huidige productie is gebaseerd op de fermentatie/verzuring van hernieuwbare bronnen zoals suiker of andere geraffineerde agro industriële materialen maar niet op basis van cellulose uit afvalwater. De belangstelling naar cellulose als waardevol bestanddeel in huishoudelijk afvalwater is zowel nationaal als internationaal groot. Het onderzoek naar omzetting van cellulose uit zeefgoed naar suiker en vervolgens naar onder andere PLA wordt onder het project Cellu2PLA verder voortgezet.



Rijksoverheid



Hoogheemraadschap
Hollands
Noorderkwartier



Ten aanzien van de fijnzeefproces kan worden vastgesteld dat met de verkregen kennis de fijnzeeftechnologie opschaalbaar en flexibel inzetbaar is op vele RWZI-configuraties. In Europa zijn meer dan 25.000 communale biologische waterzuiveringen, waarvan er tenminste 9.000 een configuratie hebben waarin cellulose kan worden teruggewonnen.

1.4 SPIN OFF BINNEN EN BUITEN DE SECTOR

De voordelen op het zuiveringsproces die met de fijnzeven uit het CelluCycle-project zijn gehaald, zijn niet onopgemerkt gebleven. Meerdere waterschappen overwegen rwzi's uit te breiden met een fijnzeefinstallatie. Daarnaast heeft CelluCycle een nieuwe grondstofstroom opgeleverd, het zeefgoed, die als grondstof kan worden aangewend. Het gebruiken van zeefgoed voor het maken van PLA is nog niet succesvol gebleken. Ondertussen zijn er wel andere projecten gestart waarbij het zeefgoed voor andere doeleinden is gebruikt:

- In het VANA-project is cellulose uit zeefgoed ingezet voor de asfaltindustrie. Het heeft daarin de functie van afdruiptremmer. Er zijn twee projecten uitgevoerd waarbij de cellulose is verwerkt in asfalt voor fietspaden (<https://www.youtube.com/watch?v=PusTybW7KYs>).
- CirTec neemt ook deel aan het SMARTplant project, waarin cellulose uit zeefgoed wordt gebruikt om biocomposiet te maken (<http://www.cirtec.nl/portfolio/smart-plant/>).
- Zeefgoed is ook aangewend voor het verbeteren van de slibontwatering. Dit is getest in het project CADOS (<http://www.cados.nl/>).

1.5 OVERZICHT VAN OPENBARE PUBLICATIES

Datum	Titel publicatie	Uitgever
25-9-14	Toiletpapier wordt plastic bloempot	Agro & Chemie
20-10-14	Verslag Landelijke Netwerkbijeenkomst Biobased Economy in Assen	http://www.agro-chemie.nl/artikelen/live-verslag-landelijke-netwerkbijeenkomst-biobased-economy-assen/



Rijksoverheid



Hoogheemraadschap
Hollands
Noorderkwartier



Datum	Titel artikel	Naam tijdschrift, krant, website etc.
24-9-14	Van toiletpapier tot koffiebeker	www.duurzaambedrijfsleven.nl
18-6-14	Van toiletpapier maken we plastic tasje	Noordhollands Dagblad
10-6-14	Cellucycle: toiletpapier wordt plastic tas of bloempot	http://www.wateralliance.nl/what/news/cellucycle-toiletpapier-wordt-plastic-tas-of-bloempot/3
11-6-14	Cellucycle: gebruikt toiletpapier wordt plastic tas of bloempot	http://www.recyclingmagazine.nl/algemeen/cellucycle-gebruikt-toiletpapier-wordt-plastic-tas-bloempot/26247/
25-9-14	Toiletpapier wordt bloempot	http://topsectorenergie.nl/toiletpapier-wordt-bloempot/
24-9-14	Plastic waar een luchtje aan zit	http://sync.nl/plastic-waar-een-luchtje-aan-zit/
24-9-14	Van toiletpapier tot koffiebeker	http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/68761/van-toiletpapier-tot-koffiebeker/
11-6-14	CelluCycle: gebruikt toiletpapier wordt plastic tas of bloempot	http://www.recyclingmagazine.nl/algemeen/cellucycle-gebruikt-toiletpapier-wordt-plastic-tas-bloempot/26247/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign
25-9-14	Toiletpapier wordt plastic bloempot	http://www.agro-chemie.nl/nieuws/toiletpapier-wordt-plastic-bloempot/
1-10-13	Cellucycle	http://cellucycle.nl/
18-6-15	Toiletpapier krijgt tweede leven	Telegraaf Mediaplanet
30-6-16	Actosium bijVANGST	http://www.cirtec.nl/actosium-bijvangst/ - Fort resort Beemster - voor waterschappen en potentiële grondstofafnemers
17-6-16	Papier terugwinnen uit Rioolwater	https://www.technischweekblad.nl/nieuws/wc-papier-terugwinnen-uit-rioolwater/item8879
30-7-15	Nieuwe Technologie voor hergebruik wc papier	Website paper for paper
20-8-15	Toiletpapier in riool waardevolle grondstof	Purmerends Nieuwsblad
13-10-16	Bestuurlijke opening van de fijnzeefinstallatie	https://www.youtube.com/watch?v=U30Mydm3_Z0
5-12-16	wc-papier wordt fietspad	GroenLicht (programma) - http://programma.vara.nl/groenlicht/artikelen/nieuw-wc-papier-wordt-fietspad

1.6 CONTACTPERSOON (PERSONEN) VOOR MEER INFORMATIE;

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, voor het TKI BBE programma, uitgevoerd door AgentschapNL/RVO.

Dit rapport wordt gepubliceerd op de project website (www.cellucycle.nl)



Rijksoverheid



Regio Noord
Hollands
Noorderkwartier

