
Verwaarding Lisdodde

Auteur: Ir. E.R.P. Keijsers

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Food & Biobased Research, in het kader van Innovatie programma veen (projectnummer 6229112400).

Wageningen Food & Biobased Research
Wageningen, november 2020

Openbaar

ISBN

© 2020 Wageningen Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research.

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen Food & Biobased Research is het niet toegestaan:

- a. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;
- b. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport, c.q. de naam van het rapport of Wageningen Food & Biobased Research, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;
- c. de naam van Wageningen Food & Biobased Research te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.

Postbus 17, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 00 84, E info.wfbr@wur.nl, www.wur.nl/wfbr.
Wageningen Food & Biobased Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

Inhoud

| | |
|--|-----------|
| Samenvatting | 4 |
| 1 Inleiding | 6 |
| 1.1 Achtergrond | 6 |
| 1.2 Doelstellingen | 6 |
| 1.3 Te leveren resultaat | 6 |
| 1.4 Projectaanpak | 7 |
| 2 Resultaten | 8 |
| 2.1 Kort overzicht van de samenstelling van lisdodde | 8 |
| 2.1.1 Chemische samenstelling | 8 |
| 2.1.2 Morfologie | 9 |
| 2.2 Ontsluitingsmethoden | 13 |
| 2.3 Mogelijke producten | 15 |
| 2.3.1 Papier, karton, moulded fibre | 16 |
| 2.3.2 Plaatmateriaal | 17 |
| 2.3.3 Non-wovens en textiel | 18 |
| 2.3.4 Composietmaterialen | 19 |
| 2.3.4.1 Vezels in composietmaterialen zoals vezel-PP/PE, vezel PLA | 19 |
| 2.3.4.2 Vezels in composietmaterialen zoals vezel-zetmeel | 19 |
| 2.3.4.3 Thermo hardende vezelgevulde composieten | 20 |
| 2.3.5 Toepassingen in beton | 20 |
| 2.3.6 Toevoeging aan asfalt | 20 |
| 2.3.7 Isolatiemateriaal | 20 |
| 2.3.8 Productie van chemicaliën | 21 |
| 2.3.8.1 Dissolving cellulose | 21 |
| 2.3.8.2 Chemische producten | 22 |
| 2.3.8.3 Fermentatieve producten | 22 |
| 2.3.9 Biofuel en green energie | 22 |
| 2.4 Overzicht en mogelijkheden andere componenten | 23 |
| 2.5 Positionering van Lisdodde als nieuwe non-food crop | 24 |
| 3 Overzicht | 25 |
| 4 Conclusies en aanbevelingen | 29 |
| Literatuur | 31 |

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de eerste fase van een project rond het onderzoeken en stimuleren van producttoepassingen van lisdodde, zodat er een mogelijke teelt ontstaat. Einddoel is het produceren van demo-materialen van lisdodde op grotere schaal (semi-industrieel) gecombineerd met een evaluatie van de techno-economische haalbaarheid.

De eerste fase van het onderzoek bestaat uit een inventarisatie van valorisatiemogelijkheden met de focus op toepassing in materialen. Doel van deze inventarisatie is een goed inzicht te krijgen in de sterkte en zwaktes van lisdodde als uitgangsmateriaal voor de productie van materialen. Op basis daarvan kunnen een 3 tot 5-tal interessante opties geselecteerd worden voor nadere analyse in fase 2.

Op basis van de chemische samenstelling en morfologie van de grote en kleine lisdodde en bestaande kennis van WFBR is een overzicht gemaakt. Daarbij zijn een vijftal interessante opties geïdentificeerd. De huidige ontwikkeling van Typha board, het ontsluiten van vezelbundels vanuit Lisdodde voor textiel en non-woven toepassingen, het produceren van binderless board, het ontwikkelen van een olieabsorber vanuit pluïus en het onderzoeken van de eigenschappen van biochar uit lisdodde.

Het is niet mogelijk gebleken om op basis van de korte literatuur studie een goed inzicht te krijgen in de verschillen tussen de grote en kleine lisdodde voor de verschillende toepassingen. De meeste onderzoeken concentreren zich op één van de twee, zonder een vergelijking te maken. Omdat er in veel onderzoeken uitgegaan wordt van de gehele (bovengrondse) plant, en er vaak niet beschreven wordt op welk moment er geoogst is, zijn er grote verschillen in de beschreven chemische samenstellingen. Dat bemoeilijkt de inschatting van de geschiktheid voor met name de productie van chemicaliën.

Een kort overzicht van de aanbevelingen wordt gegeven in onderstaande tabel.

| Markt | Toepassing | Aanbeveling |
|--------------------|----------------------------|---------------------|
| Composieten | Zetmeel matrix | wel |
| Papier | Decoratie | wel |
| Plaatmateriaal | Typha Board | wel |
| Plaatmateriaal | Ecor | wel |
| Beton | Lichtgewicht | mogelijk wel |
| Bouwmateriaal | Mycelium | mogelijk wel |
| Bouwmateriaal | Vezelversterking kleimuren | mogelijk wel |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | mogelijk wel |
| Composieten | Spuitgieten, vuller | mogelijk wel |
| Isolatie | vezelplaat | mogelijk wel |
| Isolatie | Spuitisolatie | mogelijk wel |
| Papier | Moulded fibre | mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | Particle board | mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | Binderless | mogelijk wel |
| Asfalt | versterking | waarschijnlijk niet |
| Composieten | Spuitgieten, vezel | waarschijnlijk niet |
| Composieten | Profielextrusie | waarschijnlijk niet |
| Feed | Eiwit | waarschijnlijk niet |
| Papier | Vulmiddel | waarschijnlijk niet |
| Textiel | Grof textiel | waarschijnlijk niet |
| Textiel | Geo textielen | waarschijnlijk niet |
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | niet |
| Chemicalien (chem) | Furfural | niet |
| Chemicalien (chem) | lignine | niet |
| Chemicalien (chem) | levuline | niet |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | niet |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | niet |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | niet |
| Chemicalien (ferm) | PHA | niet |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | niet |
| Composieten | Thermoharders | niet |
| Energie | Vergassing | niet |
| Energie | Pyrolyse | niet |
| Papier | Vezel | niet |
| Plaatmateriaal | OSB | niet |
| Plaatmateriaal | MDF | niet |
| Textiel | Garens | niet |

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Gerben Nij Bijvank werkt als Projectleider Markt & Ketenvorming voor het Innovatie Programma Veen en het Veenweiden Innovatiecentrum. Het IPV is opgericht door Landschap Noord-Holland, Agrarische Natuurvereniging Water, Land & Dijken, Provincie Noord-Holland en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Het Veenweiden Innovatiecentrum Zegveld is een onafhankelijke stichting en in 2012 opgericht op initiatief van de provincies Utrecht, Zuid-Holland en Noord-Holland, de zes waterschappen in Groene Hart en Laag Holland en LTO-Noord. Doel van beide partijen is om de veenweideproblematiek tegen te gaan: bodemdaling, CO₂-uitstoot door bodemdaling en natuurherstel. Onderdeel van de oplossing is het verbeteren van de melkveeteelt en het ontwikkelen van alternatieven, waaronder natte teelten, een van deze natte teelten met perspectief is lisdodde.

Wageningen Food & biobased Research doet al ruim 25 jaar onderzoek naar de verwaarding van lignocellulose grondstoffen. Daarbij is veel ervaring opgebouwd met de toepassing van allerlei lokale en tropische gewassen in een scala aan materialen. Omdat dit onderzoek vaak in samenwerking met de leverancier van de gewassen (o.a. boeren) en de verwerkende industrie (bouw, verpakkingen, papier etc.) uitgevoerd wordt kan de haalbaarheid en (on)mogelijkheden van een gekozen valorisatieroute op basis van ervaring ingeschat worden.

1.2 Doelstellingen

Doelstelling van het totale project is het onderzoeken en stimuleren van producttoepassingen van lisdodde, zodat er een mogelijke teelt ontstaat. Einddoel is het produceren van demo-materialen van lisdodde op grotere schaal (semi-industrieel) gecombineerd met een evaluatie van de techno-economische haalbaarheid.

De eerste fase van het onderzoek bestaat uit een inventarisatie van valorisatiemogelijkheden met de focus op toepassing in materialen. Doel van deze inventarisatie is een goed inzicht te krijgen in de sterkte en zwaktes van lisdodde als uitgangsmateriaal voor de productie van materialen. Op basis daarvan kunnen een 3 tot 5-tal interessante opties geselecteerd worden voor nadere analyse in fase 2.

1.3 Te leveren resultaat

De inventarisatie zal samengebracht worden in een rapport van ongeveer 20 pagina's. Op basis van dit rapport kan een selectie van 3-5 interessante processen gemaakt worden. De informatie en conclusies zullen gepresenteerd worden in vergelijkende, duidelijke leesbare tabellen, aangevuld met puntsgewijze tekstuele uitleg en nuanceringen.

1.4 Projectaanpak

De opbouw van het totale project bestaat uit een drietal fasen, dit rapport omvat alleen fase I.

Fase I: Inventarisatie van mogelijkheden en positionering t.o.v. bestaande grondstoffen.

Fase II: Selectie van 3-5 interessante processen

- productie van demo-materiaal (klein, laboratoriumtechnieken)
- Verdere verdieping haalbaarheid processen
- Economische haalbaarheid geselecteerde processen

Fase III: Verdere ontwikkeling proces en productie van demo-materiaal op grotere schaal.

- Deze fase zal bij voorkeur in samenwerking met een industriële producent plaatsvinden.

2 Resultaten

2.1 Kort overzicht van de samenstelling van lisdodde

In dit onderzoek kijken we naar de grote lisdodde (*Typha Latifolia*) en de kleine lisdodde (*Typha Angustifolia*). Er bestaat ook een steriele hybride *Typha X Augusta* van de kleine en grote lisdodde. In totaal bestaat de lisdodde familie uit 30 soorten.

2.1.1 Chemische samenstelling

Hoewel er redelijk wat publicaties zijn waarin de samenstelling beschreven wordt, valt de bruikbaarheid tegen. Dit komt enerzijds omdat vaak niet vermeld wordt welke delen van de lisdodde meegenomen zijn in het onderzoek en ook het oogsttijdstip niet goed aangegeven wordt. Daarnaast is de manier waarop de samenstelling gemeten wordt meestal gericht op de toepassing die men voor ogen heeft. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van diverse metingen met de focus op de macromoleculaire samenstelling van lisdodde. Ter vergelijking is in tabel 2 een overzicht gegeven van een aantal andere gewassen. Bij de gewassen in tabel 2 wordt de samenstelling van de industrieel toegepaste delen van de plant gegeven.

Tabel 1 Chemische samenstelling (gew% d.s.) *Typha Latifolia* en *Angustifolia*

| | | Cellulose | Hemicellulose | Lignin | Pectin | Ash | Starch | Extractives |
|----------------------|---------|-----------|---------------|--------|--------|-----|--------|-------------|
| T. Angustifolia | [1] | 37 | 14 | 18 | | 1.5 | | 32 |
| T. Angustifolia | [2] | 33 | 27 | 9 | | 3.8 | | |
| T. Latifolia | [4] [3] | 34.3 | 14.8 | 26.4 | | 4.0 | | |
| T. Latifolia blad | [5] | 42 | | 29 | | | 6.6 | |
| T. Latifolia stengel | [5] | 45 | | 33 | | | 3.5 | |

[1] (Muthuvelu, Rajarathinam et al. 2019) [2](Singh, Mahanta et al. 2017) [3] (Zhang, Shahbaz et al. 2012) [4] (Zhang, Shahbazi et al. 2011) [5] (Rebaque, Martínez-Rubio et al. 2017)

Een belangrijke component die niet gegeven is, is het eiwitgehalte van de lisdodde. Dit komt omdat bij de meeste toepassingen er normaal gekeken wordt naar grondstoffen waarin niet of nauwelijks eiwit aanwezig is. Het eiwitgehalte in lisdodde bedraagt 10-14% afhankelijk van het oogsttijdstip (Pijlman, Geurts et al. 2019). Op basis van de gevonden data is het niet mogelijk om een verschil in samenstelling tussen de twee lisdodde soorten aan te geven. Daarvoor is de herkomst en het oogsttijdstip van de grondstoffen te onzeker.

In het algemeen kan gesteld worden dat het eiwitgehalte van een gewas afneemt naarmate het ouder wordt, terwijl het lignine gehalte toeneemt. Het extractives gehalte neemt eveneens af tijdens de veroudering. As-gehalte is mede afhankelijk van de locatie van de teelt. De aanwezigheid van zetmeel is opvallend, het is bekend dat de wortels zetmeel bevatten, wellicht is een deel van de wortels meegenomen in de bepaling.

Ter vergelijking is in tabel 2 een overzicht gegeven van een aantal andere gewassen. Bij de gewassen in tabel 2 wordt de samenstelling van de industrieel toegepaste delen van de plant gegeven.

Tabel 2 Chemische samenstelling (gew% d.s.) andere gewassen (industrieel toegepaste delen)

| | Cellulose | Hemicellulose | Lignin | Pectin | Ash | Starch | Extractives |
|--------|-----------|---------------|--------|--------|-----|--------|-------------|
| Vlas | 80 | 9 | 1.7 | 2.2 | 1.5 | | 5 |
| Hennep | 82 | 7 | 2 | 3 | | | 2 |
| Jute | 60 | 11 | 15 | 4 | | | 2 |
| Kenaf | 55 | 14 | 10 | 4 | | | 2 |
| Ramie | 77 | 4 | 1 | 4 | | | 10 |
| Katoen | 91 | 1 | 0.4 | 2 | | | 3 |
| Hout | 44 | 21 | 29 | 2 | | | 2 |
| Stro | 38 | 20 | 19 | 1 | 8 | | 15 |

De gewasdelen uit Tabel 2 bevatten niet of nauwelijks eiwit. Dat is dus een duidelijke verschil met Lisdodde. Het cellulose gehalte is hoger, alleen hout en stro zijn vergelijkbaar met lisdodde. Het lignine gehalte is relatief hoog, vergelijkbaar met hout. In het algemeen kan geconcludeerd worden dat lisdodde een verhoude biomassa is, waarin naast de standaard lignocellulose macromoleculen ook eiwit en zelfs zetmeel aanwezig is.

Een aantal publicaties geven ook de mineralen/elementen samenstelling van lisdodde. Die is sterk afhankelijk van de groeilocatie. Voor de meeste toepassingen is deze samenstelling minder van belang, tenzij er b.v. op vervuilde grond geteeld wordt.

2.1.2 Morfologie

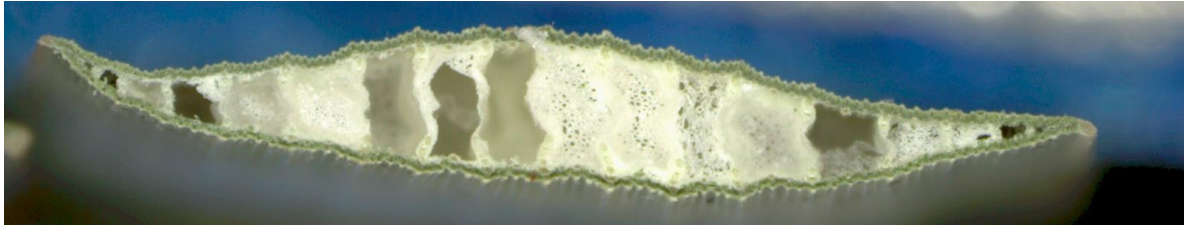
Lisdodde is een hoge, relatief smalle plant. Het wortelstelsel bestaat uit rizomen. Meestal wordt alleen gebruik gemaakt van het bovengrondse deel. De stengel is samengesteld uit een aantal bladeren rond een verdichte stengel, de bladeren zijn lang en staan rechtop. De verdichte stengel eindigt in de mannelijke en vrouwelijke aar. Het pluis dat vanuit de aar kan verwaaien wordt ook wel lisdodde vezel genoemd. In dit rapport wordt verder met stengel de verdichte stengel waaraan de aar groeit bedoeld. Wanneer er over blad gesproken wordt, wordt daarmee zowel de bladeren rond de verdichte stengel als de bladeren die los staan bedoeld.



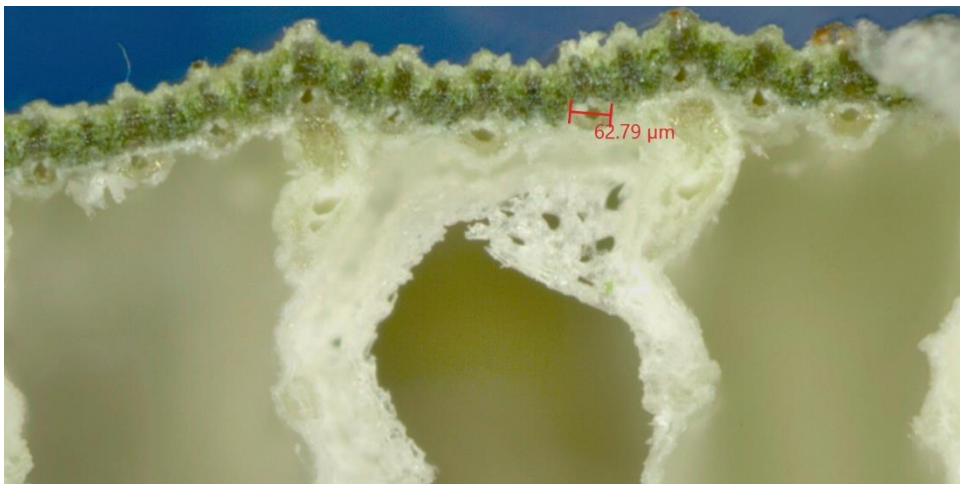
Figuur 1. Dwarsdoorsnede waarbij de verdichte stengel en de bladeren eromheen zichtbaar zijn.

Het blad bestaat uit een groot aantal compartimenten, de vezels bevinden zich in de randen van het blad.

- Het is opvallend hoe makkelijk de bladeren van *T. Latifolia* recht omhoog blijven staan (Rowlatt and Morshead 1992). Dit komt door de interne structuur van de bladeren en de draaiing in het blad. De interne structuur kan ook bijdragen aan de sterkte van plaatmateriaal waarin grote stukken blad gebruikt worden. In het blad van *T. Angusti* zijn speciale structuren aangetroffen die tevens bijdragen aan deze sterkte (Witztum and Wayne 2016)



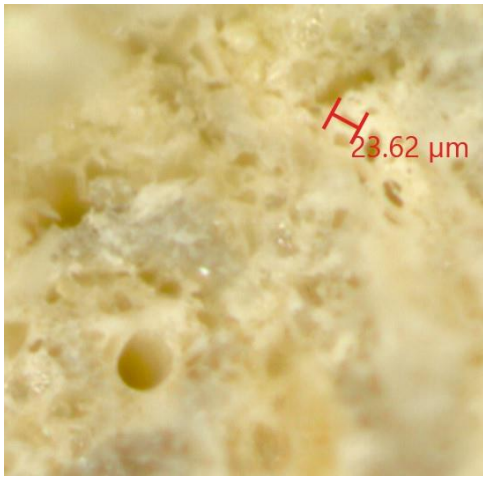
Figuur 2. Lisdodde blad (doorsnede)



Figuur 3. Vezelbundel met diameter in blad lisdodde



Figuur 4. Dwarsdoorsnede van de verdichte stengel waaraan de aar zit



Figuur 5. Vezelstructuur in de verdichte stengel



Figuur 6. Lisdodde pluis



Figuur 7. De verhouding tussen blad en verdichte stengel kan sterk variëren, dit is een dwarsdoorsnede van lisdodde uit Roemenië. (vergelijk met figuur 1)

Met name in nieuwe bouwmaterialen, (Typha board, isolatieboard) worden de macrostructuren van lisdodde toegepast. Vooral de grote compartimenten in het blad zorgen voor isolatie. Dit soort structuren komen niet voor in de gebruikelijke vezelplanten. Monsters uit Nederland en Roemenië laten grote verschillen in hoeveelheid blad t.o.v. verdikte stengel zien. Voor toepassingen waarin kleinere structuren nodig zijn, is de vezel-morfologie van belang. De vezels zijn relatief kort. De vezels

zitten in langere vezelbundelstructuren (technische vezels), de lengte daarvan is minstens 5 cm, diameter is relatief groot. De diameter van de technische vezels is relatief klein, voor veel toepassingen zijn de vezels te kort, waardoor er eerder gebruik gemaakt moet worden van de technische vezelbundels met een diameter van 40-100 μm . Dat is voor textiel vrij grof.

Tabel 3 **Vezel-morfologie**

| | Lengte technische vezel [mm] | Lengte elementaire vezel [mm] | Diameter elementaire vezel [μm] |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Katoen | | 15-56 | 12-25 |
| Vlas | 300-900 | 13-60 | 12-30 |
| Hennep | 1000-3000 | 5-55 | 15-60 |
| Kenaf | 900-1800 | 1,5-11 | 14-33 |
| Jute | 1500-3600 | 0.8-6 | 5-25 |
| Ramie | >1500 | 40-250 | 16-135 |
| Netel | 190-800 | 5-55 | 20-80 |
| Abaca | 1000-2000 | 3-12 | 50-280 |
| Banaan | 450-1000 | 2.7-5.5 | 50-250 |
| Sisal | 600-1000 | 0.8-8 | 100-400 |
| Ananas | 750-1000 | 5-6 | 3-8 |
| Cocos | 150-350 | 0.3-1 | 12-24 |
| T. Latifolia [1] | >50 | 0.5-0.9 | |
| T. Angustifolia [2] | 19 | | 10-20 |

[1] (Chakma, 2015) [2] (Sridach 2014)

Vezel, vezelbundel en deeltje

De termen vezel en deeltje worden door verschillende industrieën verschillend gebruikt.

Vezels zijn structuren die veel langer zijn dan de diameter, 10 * is minimaal, textielvezels zijn vaak wel 1000 keer langer dan de diameter. In planten zitten de vezels vaak gegroepeerd in bundels. De totale lengte van de bundel is groter dan die van de vezels, maar de diameter is ook groter. Textielvezels bestaan vaak uit bundels, alleen de katoenvezel is een enkele vezel. Deze vezelbundels worden in zijn geheel uit de grondstof gewonnen. In andere toepassingen wordt vaak de enkele vezel gebruikt, omdat de verbindingen tussen de vezels in een vezelbundel relatief zwak is.

Deeltjes zijn structuren waarbij diameter (of breedte en dikte) en lengte dicht bij elkaar liggen. Dit kunnen grote spaanders (of stukken stengel) zijn, maar meestal wordt er gewerkt met deeltjes van maximaal 1 cm. Deze deeltjes bestaan vaak niet uit 1 soort plantencel (of vezel), maar zijn brokjes van allerlei plantenstructuren. De interne sterkte van deze deeltjes is meestal gering.

2.2 Ontsluitingsmethoden

De eigenschappen van lisdodde in de toepassing worden deels bepaald door de chemische samenstelling en morfologie van de plant en deels door de bewerking (ontsluitingsmethode) die toegepast wordt op de lisdodde. Er bestaan voor vezelhoudende planten heel veel verschillende ontsluitingsmethodes. Een mogelijke indeling is:

- Mechanische ontsluiting. Hierbij wordt de plant door middel van mechanische actie in kleinere stukjes opgebroken. Dit kan bijvoorbeeld door de plant met een snijmolen te malen, of met een hamermolen kapot te slaan. De dimensies van de stukken worden vaak bepaald door de zeefgrootte die toegepast wordt. De deeltjes breken vaak op zwakke stukken of verbindingen in de plant. Houtzaagsel en vezels voor particle board worden op deze manier gemaakt. Meestal wordt de plant gedroogd voordat ie gemalen wordt, omdat dat minder mechanische energie kost. Een voorbeeld van een natte mechanische ontsluiting is het "Grassa" proces. Daarbij wordt gras uitgeperst met een schroefpers, extruder of refiner.
- Thermo-mechanische ontsluiting. Hierbij wordt de plant ook opgebroken in stukjes door mechanische actie, maar bij hogere temperatuur en druk. Hierdoor verwerken andere delen van de plant (met name lignine-rijke delen). De vezels worden daardoor enigszins waterafstotend. Vezel die toegepast worden in MDF platen worden op deze manier geproduceerd.
- Bio-chemische ontsluiting. Hierbij wordt de plant door biologische processen in stukken opgebroken. Vaak is er na de bio-chemische ontsluiting een mechanische ontsluiting nodig. Voorbeelden hiervan zijn inkuilen, en fermentatie. Het "Newfoss" proces combineert inkuilen, biologische wassing en mechanische ontsluiting om een papiervezel uit gras te maken. Deze vezel wordt ook toegepast in isolatiemateriaal. De ontsluiting verwijdert een groot deel van het eiwit, vrije suikers en pectines. Hierdoor is de vezel geschikter voor toepassing als lignocellulose vezel dan gras uit het Grassa proces dat hierboven genoemd is. De vezel is ook minder beschadigd dan vezels uit een mechanische ontsluiting, omdat er minder mechanische energie nodig is.
- Chemische ontsluiting. Hierbij worden met behulp van chemicalien, bij hoge temperatuur en druk, een groot deel van de inhoudstoffen uit de plant opgelost en uitgewassen, waardoor de cellulose houdende vezels overblijven. Afhankelijk van de gekozen chemische ontsluiting wordt eiwit, lignine en/of hemicellulose verwijderd. De meeste chemische ontsluitingsmethoden zijn ontwikkeld voor grondstoffen die geen eiwit bevatten, maar grotendeels bestaan uit lignine, hemicellulose en cellulose. De aanwezigheid van eiwit in lisdodde vormt een extra obstakel bij het inzetten van deze grondstof in chemische ontsluitingen.

De mechanische ontsluitingsmethode kan resulteren in stukken stengel van meer dan 1 cm groot, maar ook veel kleiner. De andere methoden resulteren in vezels of vezelbundels met een diameter van circa 10 tot 500 μm en een lengte van circa 1-3 mm. De verschillen tussen de vezels uit de diverse ontsluitingsmethodes worden hieronder gegeven. Voor mechanische vezels worden vezels kleiner dan 1 cm beschreven.

Tabel 4 Eigenschappen vezels afhankelijk van ontsluitingsmethode

| | Mechanische vezels | Biochemische vezels | Chemische vezels |
|------------------------------|---|---|---|
| Chemische samenstelling | Samenstelling gelijk aan uitgangsmateriaal. Bevat Eiwit, vrije suikers, hemicellulose, cellulose en lignine | Een groot deel van het eiwit en de vrije suikers is verwijderd. Bevat rest Eiwit, Hemicellulose, cellulose en lignine | Eiwit, vrije suikers en lignine zijn grotendeels verwijderd. Bevat hemicellulose en cellulose |
| Morfology | De vezel is kort en dik, lengte/diameter verhouding is klein. De vezel is stijf, en vaak heel rafelig. Naast vezels is er ook veel gruis aanwezig | De vezel is lang, diameter wel groot (vezelbundels). De vezel is minder stijf, en minder rafelig. Er is minder gruis. Vezelsterkte is minder dan chemische vezel. | De vezel is lang, kleine diameter. De vezel is glad, zonder rafels (fibrillen). Er is geen gruis. Vezelsterkte relatief hoog. Vezels zijn relatief flexibel |
| Opbrengst ontsluitingsproces | De hele plant wordt gebruikt, opbrengst 100% | Er treedt verlies op, opbrengst circa 70 gew%. | Het verlies kan sterk oplopen afhankelijk van de intensiteit van de chemische ontsluiting, opbrengst vaak 30-40 gew% |
| Benaming | Dit zijn meestal deeltjes | Dit zijn meestal vezelbundels en deeltjes betaande uit andere plantfragmenten dan vezels | Dit zijn vezels |

De zuiverheid en homogeniteit van de ontsloten lisdodde

De termen zuiverheid en homogeniteit van de ontsloten lisdodde verschillen in betekenis afhankelijk van de gekozen toepassing.

Zuiverheid van een grondstof kan betrekking hebben op vervuiling met stoffen die niet bij de lisdodde plant horen (plastic, zwerfvuil, zand). Voor de verschillende toepassingen heeft de zuiverheid ook betrekking op de aan of afwezigheid van componenten die in lisdodde aanwezig zijn, maar niet gewenst zijn in het eindproduct. Voor veel vezeltoepassingen is bijvoorbeeld eiwit een ongewenste component. Ook zware metalen en fosfaat kunnen de zuiverheid van een grondstof voor de toepassing verlagen. De zuiverheid van lisdodde als uitgangsmateriaal voor veel ontsluitingsmethoden is op macroschaal waarschijnlijk vergelijkbaar met de zuiverheid van andere geteelde gewassen zoals hennep, bomen, katoen. De zuiverheid is hoog in vergelijking met bijvoorbeeld berm- of natuurgras. Op microschaal is de zuiverheid voor de meeste toepassingen laag. Dit komt met name door de aanwezigheid van eiwit. De meeste uitgangsmaterialen voor vezeltoepassingen bevatten geen eiwit.

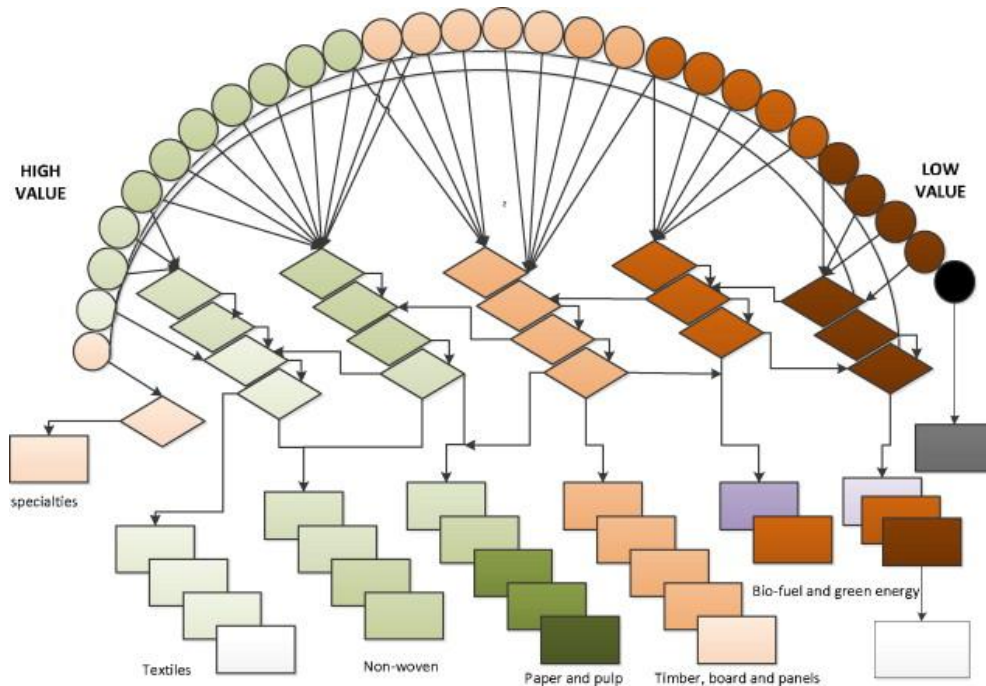
De homogeniteit van een grondstof wordt bepaald door het uitgangsmateriaal en het ontsluitingsproces. Wanneer de hele lisdodde als uitgangsmateriaal gebruikt wordt (alleen de bovengrondse delen, geen aar/pluim) zijn de verschillen in de opbouw van blad en verdichte stengel groot. Er is bijvoorbeeld verschil in eiwitgehalte en vezelstructuur. Op macroschaal heeft het blad luchtcompartimenten terwijl de stengel verdicht is. Op microschaal zijn er verschillen in vezelmorfologie en chemische samenstelling. Dit maakt lisdodde als uitgangsmateriaal relatief inhomogeen. Bij andere planten (b.v. bomen, hennep, vlas, katoen, granen) worden specifieke delen van de plant ingezet als grondstof (respectievelijk ontschorste stam, bastvezel of kernvezel, zaadpluis, stro). Mede hierdoor zijn deze uitgangsmaterialen homogener.

Grootste nadeel van een inhomogene grondstof is dat dit de eigenschappen uitmiddelt. Lange sterke vezels zijn gemengd met korte stijve vezels. Delen hoog in cellulose gehalte vallen weg tegen delen met veel eiwit. Sterke deeltjes zijn gemengd met zwakkere, zachtere delen. Dit verlaagt de waarde van het uitgangsmateriaal voor de verschillende toepassingen.

Het lijkt mogelijk om mechanische blad en verdichte stengel van elkaar te scheiden. Dit zou de homogeniteit van beide fracties sterk verhogen en daarmee de waarde van deze fracties voor de meeste toepassingen.

2.3 Mogelijke producten

Overzicht van mogelijke producten en processen op basis van de stengel van de lisdodde. Hierbij starten we met het overzicht op basis van de cellulose matrix die we voor de overheid opgesteld hebben (Keijzers, Yilmaz et al. 2013)



Daarbij kijken we voor de eindproducten met name, maar niet uitsluitend, naar de volgende producten:

- Papier, karton, moulded fibre
 - Zowel (chemi-)mechanische als chemische pulpmethoden
- Plaatmateriaal
 - Particle board, MDF en diverse lijmsystemen
- Non-wovens en textiel
- Composietmaterialen
 - Met vezels als versterking/vulmiddel
 - Diverse matrixsystemen
- Toepassing in beton en asfalt
- Mogelijkheden voor productie van chemicaliën
 - Cellulose, hemicellulose, lignine en afgeleiden
- Mogelijkheden voor de productie van bio plastics
- Biofuel en green energy

In dit overzicht combineren we bestaande kennis van WFBR met een kort literatuuronderzoek naar toepassingen van lisdodde in de eindproducten.

2.3.1 Papier, karton, moulded fibre

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|--------|---------------|-------------|---|---------------|---------------------|
| Papier | Decoratie | Mechanisch | Gemalen lisdodde kan ingezet worden als decoratievezel | Enige aanname | Wel |
| Papier | Vulmiddel | Biochemisch | Gemalen lisdodde kan ingezet worden als opdikkendheidsverbeteraar | Grote aanname | Waarschijnlijk niet |
| Papier | Vezel | Chemisch | Chemische vezels lisdodde zijn kort en versterken papier niet | Feit | Niet |
| Papier | Moulded fibre | Biochemisch | Biochemische vezels kunnen deel oud papier in moulded fibre vervangen | Grote aanname | Mogelijk wel |

In papier, karton en moulded fibre toepassingen worden alternatieve vezels op twee manieren ingezet. Als vuller of als vezel. Als vulmiddel kunnen ze decoratief, of ter verhoging van de opdiktheid ingezet worden. Decoratief wordt de waarde bepaald door de afnemer van het product, in de praktijk zien we dat kleine batches tegen hoge prijzen kunnen worden verkocht, op grotere schaal zijn de afnemers niet bereid om meer te betalen dan voor gewoon papier. Als opdikkendheidsverbeteraar concurreren alternatieve vezels met b.v. houtmeel, de waarde daarvan is ongeveer 200 euro/ton droge stof.

Als alternatief vezelmateriaal concurreren mechanische ontsloten lisdodde vezels met oud papier. Mechanisch ontsloten vezels van lisdodde mogen (net als oud-papier) niet gebruikt worden voor voedsel verpakkingen. Vezels uit suikerbieten of bagasse mogen dat wel, omdat dat reststromen van voedselproducten zijn. Een chemisch ontsloten lisdodde vezel concurreert met houtpulp. De relatief korte lengte van de lisdodde vezels (minder dan 1 mm) maakt ze daarin van geringe waarde. Eigenlijk is een lengte van meer dan 1 mm gewenst.

Processen om (bio-)mechanische vezels uit lisdodde te ontsluiten kunnen uitgaan van verse, ingekuilde of gedroogde lisdodde.

- Uitgaand van verse lisdodde ligt een eerste splitsing in een vloeistofstroom en een perskoek voor de hand, de perskoek kan dan door een mechanische refinerstap verder opgewerkt worden. Dit proces lijkt op het proces van Grassa. Nadeel is dat de vezelperskoek relatief veel eiwit bevatten, dat geeft problemen in de papierfabricage. Grassa richt zich voornamelijk op het produceren van Feed producten, waarbij eiwit juist gewaardeerd wordt.
- Uitgaand van ingekuilde lisdodde kan de vezel makkelijker gezuiverd worden van eiwit. Het Newfoss proces is daarop gebaseerd. De grasvezels die in de eierdozen van Huhtamaki worden verwerkt waren afkomstig uit het Newfoss proces. Helaas is er nog geen goede markt gevonden voor de andere stromen die er ontstaan tijdens dit proces.
- Uitgaande van gedroogde lisdodde kunnen door maling vezels geproduceerd worden. Deze zullen waarschijnlijk als opdikkendheidsverbeteraar kunnen worden ingezet. Door bij hoge temperatuur te drogen kan het nadelige effect van eiwit deels voorkomen worden.

Processen om chemische vezels uit lisdodde te ontsluiten zijn op dit moment niet in Nederland beschikbaar. De enkele bedrijven die chemische pulp produceren doen dat op basis van hennep of katoenvezel. Omdat deze vezels een hoog cellulose gehalte hebben, is daar een relatief eenvoudig proces voor geschikt. Het cellulose gehalte van lisdodde is relatief laag, daardoor is een uitgebreid chemisch proces nodig. Deze processen worden op dit moment vooral op zeer grote schaal uitgevoerd (bijvoorbeeld kraft pulping). Op kleinere schaal zijn deze processen economisch niet attractief. Kleinschaligere processen (zoals organosolv pulping) worden nog niet op commerciële schaal bedreven. Het opzetten van zo'n proces in Nederland wordt al vele jaren overwogen.

- Kraft pulp geproduceerd vanuit *T. Latifolia* (geogst tijdens het bloeiseizoen) bevat relatief veel ongewenste fines (ongewenst) en levert een korte elementaire vezel op. Gemiddelde lengte (gewichtsgemiddelde) was 0,90 mm, Het rendement van het Kraft proces bedroeg 42%. (El Omari, Belfkira et al. 2017)

- Kraft pulp van *T. Angustifolia* is geproduceerd in Thailand (Sridach 2014) De gevonden vezellengte van 19 mm is opvallend lang. Dit betekent dat het Kraft proces de vezels slechts tot vezelbundels en niet tot elementaire vezels heeft afgebroken.

2.3.2 Plaatmateriaal

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|----------------|----------------|-------------------|--|---------------|--------------|
| Plaatmateriaal | Typha Board | Mechanisch | Typha board is een volwaardig bouwmetaal | Enige aanname | Wel |
| Plaatmateriaal | OSB | Mechanisch | Lisdodde is alternatief voor houtspaanders | Enige aanname | Niet |
| Plaatmateriaal | Particle board | Mechanisch | Lisdodde is te inhomogeen voor sterk particle board | Enige aanname | Mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | MDF | Thermo-mechanisch | De lisdodde samenstelling is ongeschikt voor MDF vezel productie | Enige aanname | Niet |
| Plaatmateriaal | Binderless | Mechanisch | Lisdodde kan toegepast worden in binderless boards | Enige aanname | Mogelijk wel |

Plaatmaterialen omvat een grote groep materialen met verschillende eigenschappen en productie processen.

- Ecor produceert een plaatmateriaal uit een combinatie van gerecyclede pulp en een alternatieve grondstof waaraan geen externe binder is toegevoegd. De platen zijn gebonden door waterstofbruggen, net als in papier. De alternatieve grondstof kan enkel ter decoratie of ook als vezelvervanger toegepast worden. Belangrijke parameters voor de alternatieve grondstof zijn deeltjesgrootte (passend bij gerecyclede pulp, dus met een diameter kleiner dan circa 0,5 mm en een maximale lengte van circa 1 cm), binding met de gerecyclede vezels (dus een hydrofiel oppervlak) en geen negatief effect op de ontwatering (het materiaal moet niet te veel zeer kleine delen bevatten, en niet teveel water vasthouden). Het eiwitgehalte van Lisdodde bladeren kan voor de laatste eis een probleem opleveren.
- OSB plaatmateriaal wordt gemaakt van grotere stukken hout (2-10 cm). Lisdodde lijkt hiervoor minder geschikt omdat de sterkte van zulke grote stukken lisdodde veel lager is dan die van stukken hout. Als alternatief worden er platen gemaakt op basis van Melamine of MDI (voorbeeld aubergine stengel platen). De sterkte van de platen wordt dan grotendeels bepaald door de lijm.
- Typha board wordt geproduceerd van lisdodde. Er zijn meerdere varianten, die met name verschillen in dichtheid, en daardoor of geschikter zijn voor isolatie of voor dragende toepassingen. De binder (magnesium) is geen biobased of circulaire grondstof. De dichtheid van Typha board is laag t.o.v. OSB (150-350 kg/m³ t.o.v. >600 kg/m³). De lage dichtheid draagt mede bij aan het isolerend vermogen, maar zorgt ook voor een lagere sterkte. Typha board heeft unieke eigenschappen (combinatie van lage dichtheid en daardoor lagere sterkte en betere isolatie t.o.v. OSB, , maar wel hogere dichtheid, hogere sterkte en slechtere isolatie t.o.v. isolatie matten), waardoor het lastig te vergelijken is met concurrerende producten.
- Particle board wordt gemaakt van kleinere deeltjes. (< 1cm). Er worden normaal gesproken op aardolie gebaseerde lijmen gebruikt, waardoor het eindproduct of hergebruikt of verbrand moet worden. Andere bio-based lijmen zijn in ontwikkeling. De plaat die door WFBR gemaakt was van de stengel van de lisdodde-aar was op deze manier geproduceerd en relatief sterk. Het verschil in samenstelling en sterkte van de verschillende onderdelen van de lisdodde is groot, waardoor een plaat van alle onderdelen niet voor de hand ligt. Particle board met een lage dichtheid (450 kg/m³) op basis van in de winter geoogste stengels en bladeren (niet vermeld of het *T. Latifolia* or *T. Angustifolia* is) zijn geproduceerd door Bajwa et al. (Bajwa, Sitz et al. 2015) Daarbij werd gelijmd met 3% MDI, nadat de vezels gemalen waren. Eigenschappen waren vergelijkbaar met tarwestro platen. De voorbewerking en droging van de lisdodde was intensiever. Biobased lijmen in combinatie met grove lisdodde vezels zijn getest ((Wuzella, Mahendran et al. 2020). Daarbij wordt gebruik gemaakt van de structuur van de lisdodde *T. Latifolia*.

- MDF board wordt gemaakt van bij hoge temperatuur en druk geproduceerde vezels. Daarbij ontstaan vezels met een lignine rijk oppervlak. In Nederland heeft alleen Trespa een gelijksoortig proces. Ook voor deze toepassing ligt een selectie van de stengel van de aar als grondstof voor de hand. Het eiwit in de bladeren en groene stengel is niet gewenst voor deze toepassing.
- Binderless boards van Lisdodde op basis van *T. Latifolia* zijn geproduceerd (Wuzella, Mahendran et al. 2011) Grove vezels zijn daarbij geproduceerd uit de stengels door te kaarden. Nadat matten zijn gevormd zijn die vernaald, en daarna onder hoge temperatuur en druk aan elkaar gebonden. De platen hebben een bruikbare sterkte, vergelijkbaar met sommige gelijmde alternatieven, met name bij hoge dichtheden. Dat er verlijming plaatsvindt maakt het materiaal interessant als alternatief voor binderless cocohusk board ontwikkeld bij WFBR (Snijder 2005)
- Er wordt onderzoek gedaan naar het maken van plaatmateriaal en bouwelementen op basis van schimmels en vezels. Lisdodde zou daarbij een vezelbron kunnen zijn. De markt voor deze toepassing is nog klein.

2.3.3 Non-wovens en textiel

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|---------|---------------|-------------|--|---------------|---------------------|
| Textiel | Garens | Chemisch | Lisdodde is geen geschikte vezel voor garens | Enige aanname | Niet |
| Textiel | Grof textiel | Biochemisch | Lisdodde kan een vezel leveren voor grof textiel | Enige aanname | Waarschijnlijk niet |
| Textiel | Geo textielen | Biochemisch | Lisdodde kan een vezel leveren voor geotextielen | Grote aanname | Waarschijnlijk niet |

Voor de toepassing van vezels in textiel is een langere vezel nodig, zodat ze gesponnen kunnen worden. De elementaire vezel van lisdodde is hiervoor te kort. Verscheidene onderzoeken laten zien dat het mogelijk is om langere vezelbundels te winnen uit lisdodde. Er wordt meer onderzoek gedaan naar de productie van grovere vezelbundels of structuren uit grassen. Ook uit lisdodde zou de productie van zo'n grovere structuur niet onmogelijk hoeven zijn. Deze structuren kunnen dan tot grof textiel gewoven worden. Ook voor het maken van non-wovens, of vernaalde vezelmatten zijn langere vezels nodig, de lengte van de elementaire vezel van lisdodde is daarvoor te kort (circa 1mm).

- Textiel vezels uit *Latifolia* zijn gewonnen met een loogbehandeling. (Chakma, 2015). Deze vezels bestaan uit meerdere vezels en zijn dus vezelbundels. Diameter van deze vezelbundels is veel groter dan de diameter van katoen (40-100 micrometer) en zijn relatief lang (5 cm of meer). De diameter van de afzonderlijke vezels is wel vergelijkbaar met katoen (10 micrometer).
- Textielvezels kunnen gewonnen worden uit Lisdodde door een loogbehandeling. Deze vezels zijn in combinatie met katoen spinbaar. (Liu, 2011). Dit proces lijkt op de manier waarop ook bamboe vezels gewonnen kunnen worden. De vezels zijn minder mooi (verschil in diameter) dan katoen, en directe toepassing lijkt daardoor beperkt.

2.3.4 Composietmaterialen

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|-------------|---------------------|-------------|---|---------------|---------------------|
| Composieten | Spuitgieten, vuller | mechanisch | Gemalen lisdodde is geen goed vulmateriaal | Enige aanname | mogelijk wel |
| Composieten | Spuitgieten, vezel | Biochemisch | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | Waarschijnlijk niet |
| Composieten | Profielextrusie | Biochemisch | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | Waarschijnlijk niet |
| Composieten | Zetmeel matrix | Mechanisch | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | Wel |
| Composieten | Thermoharders | Biochemisch | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | Niet |

Vezels kunnen ook een onderdeel vormen van composieten. Dit soort composieten wordt veel toegepast bij injection moulding en profiel extrusie. De vezels kunnen hierin toegepast worden als vulmiddel, bijvoorbeeld voor het verlagen van de dichtheid en het verlagen van de kostprijs, of als reinforcer, waarbij sterke vezels met een relatief hoge lengte/diameter-verhouding het materiaal sterker en stijver kunnen maken (vergelijk glasvezelmatten), terwijl andere vezels het materiaal enkel stijver maken.

Composietmaterialen kunnen bestaan uit vezelmatten gebonden met binders, gespuitsgietende materialen en bijvoorbeeld 3D geprinte materialen.

- Voor de composieten die uitgaan van vezelmatten, zou eerst een non-woven of vezelmat geproduceerd moeten worden, daarvoor is de lisdodde vezel nog niet geschikt.
- Voor spuitgieten kan lisdodde ingezet worden als vezel, of als vulmiddel. Om van waarde te zijn als vezel moeten de vezels relatief klein zijn (diameter > 0,02 mm) en een lengte diameter verhouding van minstens 4 hebben. Als vulmiddel is met name de compatibiliteit met het matrix materiaal van belang.
- De ontwikkeling van vezels voor 3D printen is nog sterk in ontwikkeling

Eén van de toepassingen van vezelcomposieten is in de verpakking van voedsel. O.a. *Miscanthus* als vezelbron wordt daarbij gepromoot (Vibers). Echter, voor de toepassing van nieuwe vezelgrondstoffen is Europese toestemming nodig, het verkrijgen van deze toestemming is een langdurig en kostbaar proces. Op dit moment is het gebruik van houtdeeltjes toegestaan, *Miscanthus* en lisdodde vanwege voedselcontact niet.

2.3.4.1 Vezels in composietmaterialen zoals vezel-PP/PE, vezel PLA

De vezels worden als droge losse vezeldeeltjes (zaagsel/*Miscanthus*) aangeleverd aan de verwerkers. Omdat de binding tussen de vezels bij zaagsel en *Miscanthus* sterker is dan tussen lisdodde onderdelen is het toepassen van grotere deeltjes *Miscanthus* en zaagsel mogelijk, toepassen van stukjes lisdodde leidt tot te grote achteruitgang in eigenschappen van het composiet. Selectie van de sterkere delen uit lisdodde is dus nodig. Langere hoogwaardige vezels (vlas/hennep/jute) worden als droge losse vezels (touw/kaarde band) aangeleverd. Wood Polymer Composites worden geproduceerd vanuit houtchips, bij deze verwerkingsmethode worden de vezels tijdens het proces ontsloten.

T. Latifolia proeven laten zien dat de eigenschappen van composieten met fijn gemalen vezels beter zijn dan die van grovere vezels. (Balaed, Noriman et al. 2016). De eigenschappen van de composieten kunnen waarschijnlijk nog verbeterd worden door de voorbereiding meer te richten op de optimale vezellengte versus diameter verhouding.

2.3.4.2 Vezels in composietmaterialen zoals vezel-zetmeel

Vezelcomposietmaterialen op basis van zetmeel gebruiken water tijdens de productie (bijvoorbeeld Paperfoam). De toepassing van ongedroogde mechanisch ontsloten lisdodde is daardoor mogelijk.

Voedselcontact kan ook hier een probleem vormen. Andere toepassingen van vezels in zetmeel zijn kauwbotten voor honden, lisdodde is wellicht geschikt als diervoeding.

2.3.4.3 Thermo hardende vezelgevulde composieten

Lisdodde vezels zijn niet lang genoeg om tot draden gesponnen te worden om er composieten op basis van vezelmatten van te maken. Het is mogelijk om in plaats van vezelmatten, vezels los te gebruiken en samen met het polymeer in een vorm te sprayen. Dit is een kleine gespecialiseerde markt voor zwembaden en dergelijke. Onderzoek naar deze composieten op basis van *T. Angustifolia* extraheren eerst vezelbundels, maken er met de hand matten van en maken dan composieten. (Ramanaiah, Ratna Prasad et al. 2011)

2.3.5 Toepassingen in beton

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|-------|--------------|-------------|--|----------|--------------|
| Beton | Lichtgewicht | Mechanisch | Lisdodde kan een toevoeging zijn aan beton | Onbekend | Mogelijk wel |

Er wordt veel onderzoek gedaan naar de toevoeging van vezels aan beton om tot een lichter product te komen. Het effect van de vezels op de uitharding van beton is daarbij ook van belang. De dichtheid van lisdodde is relatief laag vergeleken met zaagsel of miscanthusdeeltjes. Het is twijfelachtig of deze dichtheid ook in beton blijft bestaan, daarnaast mag verwacht worden dat de interne sterkte van het lisdodde blad relatief laag is. Het effect op de uitharding is onbekend, de opname van vocht uit het beton tijdens uitharding zal groter zijn dan voor zaagsel en miscanthus, dit is waarschijnlijk een nadeel.

2.3.6 Toevoeging aan asfalt

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|--------|-------------|-------------|---|----------|---------------------|
| Asfalt | versterking | Mechanisch | Lisdodde kan een toevoeging zijn aan asfalt | onbekend | Waarschijnlijk niet |

Vezels worden toegevoegd aan asfalt omdat ze bijvoorbeeld het oprimpelen van het asfalt bij stoplichten door de kracht die overgebracht wordt door remmende vrachtwagens kunnen verminderen. De sterkte van lisdodde als totale plantstukken lijkt daarvoor onvoldoende, de lengte van ontsloten vezels is waarschijnlijk te kort voor deze toepassing.

2.3.7 Isolatiemateriaal

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|----------|---------------|-------------|---|---------------|--------------|
| Isolatie | vezelplaat | Biochemisch | Lisdoddeplaten geven een redelijke isolatiewaarde | Enige aanname | mogelijk wel |
| Isolatie | Spuitisolatie | Biochemisch | Lisdodde kan toegepast worden als losse vezelisolatie | Enige aanname | mogelijk wel |

Papierpulp wordt toegepast als isolatiemateriaal in spouwmuren of als sproeiende laag. Lisdodde zou ook hiervoor gebruikt kunnen worden, na ontsluiting van de vezels. Daarbij moet met name het eiwit verwijderd worden.

Een isolatie plaat is een andere optie. De vezels naast oud papier die op dit moment voor isolatie gebruikt worden zijn bijvoorbeeld steenwol, hennep en vlasvezels en gras. Steenwol is natuurlijk nagenoeg inert, de gebruikte hennep en vlasvezels zijn gezuiverd, om het cellulosegehalte hoog te maken. De grasvezels die ingezet worden voor isolatie zijn biochemisch ontsloten, waardoor het grootste gedeelte van het eiwit en de vrije suikers verwijderd zijn. Hierdoor kunnen deze vezels goed tegen vocht. Daarnaast worden aan deze isolatiematerialen o.a. brandvertragende en conserverende chemicaliën toegevoegd.

De isolerende waarde van een vezelmat, of met losse vezels gevulde spouwmuur komt voort uit de stilstaande lucht tussen de vezels. Warmtegeleiding van de vezels vermindert de isolerende waarde. De compartimenten structuur van het blad van de lisdodde zorgt voor stilstaande lucht, maar dit effect is waarschijnlijk kleiner dan stilstaande lucht tussen losse vezels, o.a. door de geleiding van de celwanden. Isolatiemateriaal van lisdodde zal daardoor vooral van waarde zijn als het eiwit verwijderd kan worden en er een stevige vezelmat gevormd kan worden met een lage dichtheid. Een biochemische ontsluiting van lisdodde ligt daarbij voor de hand.

2.3.8 Productie van chemicaliën

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|--------------------|----------------------|-------------|---|---------------|--------------|
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | Chemisch | Lisdodde is minder geschikt als grondstof voor dissolving cellulose | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (chem) | Furfural | Chemisch | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (chem) | lignine | Chemisch | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (chem) | levuline | Chemisch | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | Fermentatie | Lisdodde is een geschikte grondstof | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | Fermentatie | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | Fermentatie | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | Fermentatie | Lisdodde is een geschikte grondstof | Enige aanname | mogelijk wel |
| Chemicalien (ferm) | PHA | Fermentatie | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | Fermentatie | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | niet |

2.3.8.1 Dissolving cellulose

Dissolving cellulose is een hoogwaardige grondstof die voor meer dan 95 gew% bestaat uit alfa-cellulose. Dit tussenproduct wordt op dit moment door o.a. Nouryon Functional Chemicals in Arnhem geproduceerd uit katoen linters, waarvan de waarde rond de € 2000/ton ligt. Katoen heeft een cellulose gehalte van 90%, er is dus maar een kleiner zuivering nodig. Nouryon produceert hieruit carboxymethyl cellulose. Dissolving cellulose wordt ook geproduceerd uit (met name loof-)hout, dit heeft een veel lager cellulose gehalte (30-40 gew%). De zuivering vindt op grote schaal plaats via sulfiet of sulfaat (kraft) pulp processen. De pulp die daarbij geproduceerd wordt, heeft een hoog cellulosegehalte (90+ gew%) en kan verder gezuiverd worden tot dissolving cellulose. Het bedrijf Lenzing in Zwitserland produceert op deze manier Tencell vezels (www.lenzing.com). De productiecapaciteit van een grootschalige fabriek bedraagt 100.000 ton Tencell vezels. Een andere grondstof die op dit moment veel toegepast wordt voor de productie van dissolving cellulose voor textielvezels is bamboe.

Beide bedrijven zijn al lange tijd op zoek naar alternatieve grondstoffen. Daarbij wordt eerst gekeken naar ongebruikte lignocellulose grondstoffen. Voor vervanging van katoen-linters zijn daarbij vrij zuivere cellulosegrondstoffen zoals hennepbastvezels en vlasvezels de meest logische alternatieven. Voor de vervanging van hout komen stro-achtigen in beeld. Lisdodde zou ook een optie zijn, zeker wanneer alleen de lignocellulose gedeeltes geselecteerd worden.

2.3.8.2 Chemische producten

Andere mogelijkheden voor producten uit lisdodde zijn bijvoorbeeld furfural, lignine en levuline zuur. Deze producten worden veelal op grote schaal uit andere grondstoffen geproduceerd. De inhomogeniteit van lisdodde en de aanwezigheid van eiwit naast cellulose, hemicellulose en lignine maken dat lisdodde geen voor de hand liggende grondstof voor deze processen is.

2.3.8.3 Fermentatieve producten

- De mogelijkheden voor de productie van ethanol zijn bekeken, daarbij worden verschillende voorbewerkingen getest. Bijvoorbeeld *Typha Angustifolia* (Muthuvelu, Rajarathinam et al. 2019). *T. Latifolia* (Ramaiah, Thimappa et al. 2020). De aanwezigheid van vrije suikers en zetmeel verhogen de ethanol opbrengst t.o.v. lignocellulose bronnen.
- Andere mogelijkheden voor producten uit lisdodde zijn bijvoorbeeld butanol, waterstof, methaan, PHA en PLA. De inhomogeniteit van lisdodde en de aanwezigheid van eiwit naast cellulose, hemicellulose en lignine maken ook hierbij dat lisdodde geen voor de hand liggende grondstof voor deze processen is. Voor methaan (vergisting) is de inhomogene en diverse samenstelling geen probleem.

2.3.9 Biofuel en green energie

| Markt | Toepassing | Ontsluiting | Statusbeschrijving | Status | Aanbeveling |
|---------|------------|-------------|---|----------|-------------|
| Energie | Vergassing | Thermisch | Lisdodde is geschikt voor vergassing en biochar productie | Onbekend | Niet |
| Energie | Pyrolyse | Thermisch | Lisdodde is geschikt voor pyrolyse en biochar productie | Onbekend | Niet |

- Vergassing

De productie van biochar en methaan uit de bovengrondse delen van *Typha Latifolia* geoogst in de zomer is getest (Zhang, Joseph et al. 2020). Biochar wordt op vele plekken onderzocht, dit kan interessant zijn om bij aan te haken. Biochar is verkoold materiaal. De mogelijke toepassingen zijn legio. Het kan ingezet worden als actieve kool om b.v. medicijnresten uit afvalwater te zuiveren of de geur uit stallen weg te vangen. Het kan teruggebracht worden in de bodem als bodemverbeteraar, daarbij wordt de koolstof langdurig in de grond opgeslagen. Ook hoogwaardige humane toepassingen als actieve kool worden onderzocht (Norit tabletten).

- Pyrolyse

Ook bij pyrolyse kan er biochar ontstaan.

2.4 Overzicht en mogelijkheden andere componenten

Naast lignocellulose bevat de stengel en de sigaar van de lisdodde componenten als eiwit en olie. Een kort overzicht van mogelijkheden:

- De sigaar (bloem) van de *T. Latifolia* kan gebruikt worden om pesticiden uit water te extraheren. Vermalen tot poeder en drogen zijn daarvoor eenvoudige bewerkingen ((Tolcha, Gemechu et al. 2020). De toepassing is getest voor gebruik in Ethiopië, Er zal waarschijnlijk verdere ontwikkeling nodig zijn om te kunnen concurreren met industriële absorbentia.
- Zetmeel in rizomen is onderzocht aan *T. Latifolia*. (Kurzawska, Görecka et al. 2014). De onderzoekers concluderen dat de economische haalbaarheid van de winning van zetmeel uit *Latifolia* slecht is.
- Het pluis van de lisdodde wordt soms ook lisdodde vezels genoemd. Er is met name onderzoek gedaan naar het olie absorberend vermogen van dit pluis. Dat komt voort uit de waslaag rond deze vezels. Daardoor is het te vergelijken met ongewassen katoen en kapokvezels. De waslaag rond de vezels is relatief groot, maar de totale hoeveelheid olie die opgevangen kan worden blijft wel achter bij de alternatieven. (Dong, Xu et al. 2015, Zhang, Yan et al. 2018)
- Het pluis van lisdodde kan ook toegepast worden als isolatiemateriaal. Daarbij worden het pluis als losse vezel toegepast.
- Fytoremediatie is buiten beschouwing gehouden, hoewel daar zeker kansen voor zijn, verontreinigd dit natuurlijk ook de biomassa met die elementen die uit de grond/ het water verwijderd worden. Fytoremediatie is een techniek waarbij planten worden ingezet om verontreinigingen uit lucht, bodem en water te zuiveren. Planten kunnen vervuilende elementen opnemen en verwijderen.
- Het gebruik van lisdodde als veenvervanger/substraat wordt onderzocht. De meeste substraten zijn niet biologisch actief, eventuele benodigde voedingsstoffen worden toegevoegd, zodat ze precies gedoseerd kunnen worden voor de beoogde teelt. Omdat lisdodde geschikt is voor fytoremediatie worden er relatief veel zware metalen en andere componenten opgenomen in de grondstof. Deze componenten zijn ongewenst in substraat toepassingen. Lisdodde zal dus eerst behandeld moeten worden om de biologische activiteit te verminderen en ongewenste componenten te verwijderen.
- Pijlman et al. (Pijlman, Geurts et al. 2019) hebben de samenstelling van *T. Latifolia* onderzocht gericht op het gebruik als veevoer, daarbij keken ze naar verschillen gedurende het jaar, en naar verschillende maairegimes. De voerwaarde van lisdodde is hoger voordat er bloemen gevormd worden. Het ruw eiwit en ruw vezelgehalte is niet significant anders tijdens het groeiseizoen, of onder invloed van het maairegime.

2.5 Positionering van Lisdodde als nieuwe non-food crop

Lisdodde is een nieuwe grondstof voor non-food producten. In het Europees project Panacea is in de afgelopen drie jaar onderzocht wat de redenen voor succes en falen zijn voor de tot stand koming van nieuwe valorisatie ketens, startend met nieuwe non-food gewassen en eindigend bij biobased materialen. Daarbij is specifiek gekeken naar gewassen, en niet naar restproducten van gewassen (zoals stro, bietenpulp etc.) Een tweetal rapportages, de eerste over de problemen die de boeren en de producenten tegen komen bij het toepassen van nieuwe gewassen, en de tweede over de status van de huidige ketens, en de benodigde stappen, geven inzicht in positionering en aanbevelingen voor lisdodde als grondstof voor de diverse markten. (Dam, 2019) (Keijsers, 2020).

De eerste rapportage is gebaseerd op een enquête aan boeren, verwerkers en industrie (Dam, 2019). Een van de vragen was welke specificaties en kwaliteitseigenschappen van de grondstof het belangrijkste waren voor de keuze om deze toe te passen. Belangrijkste was de prijs/kwaliteit verhouding en het uitsluiten van kinderarbeid. Hier kan lisdodde een voordeel hebben t.o.v. katoen. Hoge zuiverheid en homogeniteit werden belangrijker geacht dan de competitie met landgebruik voor voedsel, pesticide gebruik en GMO-vrije gewassen. De laatste drie zijn voordelen van lisdodde. Zuiverheid en homogeniteit kan voor lisdodde zowel hoog als laag ingeschat worden. Op macro schaal is de zuiverheid waarschijnlijk hoog, en de homogeniteit laag, met name wanneer alle bovengrondse delen van de plant worden toegepast. De ecologische impact werd belangrijk gevonden, lokale productie was minder belangrijk dan jaarrond beschikbaarheid. Met name het laatste punt is voor lisdodde en veel andere non-food gewassen een probleem, de kosten voor inkuilen of drogen zijn relatief hoog.

In het algemeen gaven de boeren, verwerkers en industrie aan dat de introductie van een nieuw non-food gewas op grote problemen stuit, enerzijds vanuit Europese wetgeving, maar anderzijds ook door het ongelijke speelveld met bestaande grootschalige industrie gericht op fossil-based producten (veel kosten van deze industrie worden nu betaald door de overheid (olierampen, CO₂ kosten). Daarnaast zijn er maar weinig grondstof-product combinaties zo ver ontwikkeld dat ze nu al op industriële schaal verkocht kunnen worden.

In de tweede rapportage (Keijsers, 2020). is gekeken naar de sterkten, zwakten, kansen en uitdagingen voor verschillende combinaties van nieuwe non-food gewassen en toepassingen. Daarbij zijn in een tiental Europese landen vijf gewas-toepassing combinaties beschreven vanuit onderzoeksinstellingen en boerencoöperaties uit die landen. De grootste gemene deler van al deze beschrijvingen is dat er veel te weinig kennisoverdracht en coördinatie is tussen de gewasproductie en de eisen van de industrie. Er is veelal sprake van een market push in plaats van een market pull. Ook voor lisdodde lijkt dat te gelden, de meeste interessante ontwikkelingen worden niet gestuurd vanuit grote industrieën, maar vanuit kleinere nieuwe producenten en onderzoeksinstituten. Het naar de markt brengen van een nieuw product of een nieuwe grondstof voor een bestaande grootschalige industrie is makkelijker vanuit de al vergelijkbare producten verkopende industrieën, dan vanuit nog relatief nieuwe spelers op deze markten. Het is daarom voor mogelijke producenten van lisdodde aan te bevelen om meer contact op te nemen met bestaande industrieën.

3 Overzicht

Producten overview

| Markt | Toepassing | Kleine/grote lisdodde | Onderdeel | | Optimale teelt/oogst | Bewerkingsmethode | Afmeting - L mm | Afmeting - D mm |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | | Blad | VerdichPluim | | | | |
| Papier | Decoratie | Beide | x | x | Geen | Mechanisch | <3 | |
| Papier | Vulmiddel | Beide | x | x | Geen | Biochemisch | <1 | |
| Papier | Vezel | Beide | | x | Laat in het jaar | Chemisch | <3 | |
| Papier | Moulded fibre | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <3 | |
| Plaatmateriaal | Typha Board | Beide | x | x | Laat in het jaar | Mechanisch | <50 | |
| Plaatmateriaal | OSB | Beide | x | x | Laat in het jaar | Mechanisch | <100 | |
| Plaatmateriaal | Particle board | Beide | | x | Laat in het jaar | Mechanisch | <20 | |
| Plaatmateriaal | MDF | Beide | | x | Laat in het jaar | Thermomechanisch | <3 | |
| Plaatmateriaal | Binderless | Beide | x | x | Laat in het jaar | Mechanisch | <10 | |
| Plaatmateriaal | Ecor | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <10 | |
| Composieten | Spuitsieten, vuller | Beide | x | x | Geen | mechanisch | <5 | |
| Composieten | Spuitsieten, vezel | Beide | x | | Laat in het jaar | Biochemisch | <10 | |
| Composieten | Profielextrusie | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <5 | |
| Composieten | Zetmeel matrix | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <10 | |
| Composieten | Thermoharders | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <10 | |
| Textiel | Garens | Beide | x | | Laat in het jaar | Chemisch | | <0.05 |
| Textiel | Grof textiel | Beide | x | | Laat in het jaar | Biochemisch | | <0.1 |
| Textiel | Geo textielen | Beide | x | | Laat in het jaar | Biochemisch | | <0.2 |
| Beton | Lichtgewicht | Beide | | x | Laat in het jaar | Mechanisch | <10 | |
| Asfalt | versterking | Beide | x | x | Laat in het jaar | Mechanisch | | n.b. |
| Bouwmateriaal | Mycelium | Beide | x | x | Laat in het jaar | Mechanisch | | n.b. |
| Bouwmateriaal | Vezelversterking kleimuren | Beide | x | x | Laat in het jaar | Mechanisch | | n.b. |
| Isolatie | vezelplaat | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <10 | |
| Isolatie | Spuitsisolatie | Beide | x | x | Laat in het jaar | Biochemisch | <10 | |
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | Beide | x | x | Laat in het jaar | Chemisch | | n.v.t. |
| Chemicalien (chem) | Furfural | Beide | x | x | Laat in het jaar | Chemisch | | n.v.t. |
| Chemicalien (chem) | lignine | Beide | x | x | Laat in het jaar | Chemisch | | n.v.t. |
| Chemicalien (chem) | levuline | Beide | x | x | Laat in het jaar | Chemisch | | n.v.t. |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Fermentatie | | n.v.t. |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Fermentatie | | n.v.t. |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Fermentatie | | n.v.t. |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Fermentatie | | n.v.t. |
| Chemicalien (ferm) | PHA | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Fermentatie | | n.v.t. |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Fermentatie | | n.v.t. |
| Energie | Vergassing | Beide | x | x | Laat in het jaar | Thermisch | | n.v.t. |
| Energie | Pyrolyse | Beide | x | x | Laat in het jaar | Thermisch | | n.v.t. |
| Feed | Eiwit | Beide | x | x | Vroeg in het jaar | Mechanisch | | n.v.t. |

Producten overview

| Markt | Toepassing | geschiktheid voor bestaande ontsluitingstechnieken | | Geschiktheid voor de beoogde toepassing | | Huidige grondstof | Alternatieven |
|--------------------|----------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|-------------------|---------------------------|
| | | Criterium 1 - beschrijving | Criterium 1 - waarde/score | Criterium 2 - beschrijving | Criterium 2 - waarde/score | | |
| Papier | Decoratie | Deeltjesgrootte | Hoog | Effect op papierproductie | Middel | Varia | Gras/tomatenstengel/Cacao |
| Papier | Vulmiddel | Deeltjesgrootte | Hoog | Verbeterd opdiktheid | Middel | Houtmeel | Bierbostel |
| Papier | Vezel | Opbrengst en complexiteit ontsluiting | Laag | Versterking papier | Laag | Hout | Miscanthus/Bagasse |
| Papier | Moulded fibre | Eiwitverwijdering | Middel | Versterking papier | Middel | Oud papier | Gras/tomatenstengel |
| Plaatmateriaal | Typha Board | Nieuw proces | Hoog | Uniek product | Hoog | n.v.t. | |
| Plaatmateriaal | OSB | Afmetingen spaanders | Middel | Sterkte spaanders | Middel | Houtscheven | |
| Plaatmateriaal | Particle board | Deeltjesgrootte | Hoog | Sterkte deeltjes | Middel | Hout | Stro/Vlasscheven |
| Plaatmateriaal | MDF | hydrofoob vezeloppervlak | Laag | Sterkte vezels | Laag | Hout | |
| Plaatmateriaal | Binderless | deeltjesgrootte | Hoog | Zelfverlijmend | Hoog | Cocoshusk | |
| Plaatmateriaal | Ecor | deeltjesgrootte | Hoog | Binding aan matrix | Middel | ontinkte pulp | Rijststro |
| Composieten | Spuitsieten, vuller | deeltjesgrootte | Hoog | Binding aan matrix | Middel | Hout | Miscanthus |
| Composieten | Spuitsieten, vezel | vezelafmetingen | Hoog | Binding aan matrix | Middel | Jute | Hennep/Vlas |
| Composieten | Profielextrusie | vezelafmetingen | Hoog | Binding aan matrix | Middel | Houtscheven | |
| Composieten | Zetmeel matrix | Vezelafmetingen | Hoog | Binding aan matrix | Hoog | Houtmeel | gras |
| Composieten | Thermoharders | Lengte vezels | Laag | Binding aan matrix | Middel | Jute | Hennep |
| Textiel | Garens | ontsluiting vezelbundels | Laag | Diameter lange vezels | Laag | Katoen | vlas |
| Textiel | Grof textiel | ontsluiting vezelbundels | Laag | Diameter vezelbundels | Hoog | Jute | Hennep |
| Textiel | Geo textielen | ontsluiting vezelbundels | Middel | Afbraaksnelheid vezel | Middel | Cocosvezel | Hennep/vlas |
| Beton | Lichtgewicht | deeltjesgrootte | Hoog | Binding aan matrix | Middel | Hout | Rijststro/miscanthus |
| Asfalt | versterking | vezelafmetingen | Hoog | Binding aan matrix | Middel | | |
| Bouwmateriaal | Mycelium | vezelafmetingen | Hoog | Geschiktheid als groeimedium | Middel | | |
| Bouwmateriaal | Vezelversterking kleimuren | vezelafmetingen | Hoog | Vezelsterking muren | Middel | | |
| Isolatie | vezelplaat | Vezelafmetingen | Middel | Lage dichtheid/isolatiewaarde | Middel | Vlas/Hennep | Gras |
| Isolatie | Spuitsisolatie | Vezelafmetingen | Middel | Lage dichtheid/isolatiewaarde | Middel | Oud papier | |
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | Opbrengst en complexiteit ontsluiting | Laag | Eigenschappen cellulose | Middel | Katoen | Hout, bamboe |
| Chemicalien (chem) | Furfural | Opbrengst en complexiteit ontsluiting | Laag | | | Suiker/Bagasse | |
| Chemicalien (chem) | lignine | Opbrengst en complexiteit ontsluiting | Laag | | | Hout | Stro |
| Chemicalien (chem) | levuline | Opbrengst en complexiteit ontsluiting | Laag | | | | |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | Zuiverheid en homogeniteit grondstof | Middel | | | Mais/Tarwe | |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | Zuiverheid en homogeniteit grondstof | Laag | | | Suiker | |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | Zuiverheid en homogeniteit grondstof | Laag | | | Suiker | |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | Zuiverheid en homogeniteit grondstof | Middel | | | Suiker | |
| Chemicalien (ferm) | PHA | Zuiverheid en homogeniteit grondstof | Laag | | | Vetzuren | |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | Zuiverheid en homogeniteit grondstof | Laag | | | Suiker | |
| Energie | Vergassing | Schone verbrandings | Laag | Biochar kwaliteit | Middel | Hout | |
| Energie | Pyrolyse | Schone verbrandings | Laag | Biochar kwaliteit | Middel | Hout | |
| Feed | Eiwit | Veevoederkwaliteit | Middel | Eiwitkwaliteit | Middel | Soja | |

Producten overview

| Markt | Toepassing | Geraamde prijs (gedroogd) | TRL (lisdodde) - 1-9 | TRL proces - 1-9 | Time to market - jaren | USP | Zwakte | Bijproducten | Verwaarding reststroom | TRL - reststroom |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|------------------------|--------------------------------------|--|----------------------|------------------------|------------------|
| Papier | Decoratie | 50 | 2 | 9 | 1 | Afnemen van eigen papier | Eiwit kan geurproblemen geven | geen | | |
| Papier | Vulmiddel | 200 | 2 | 9 | 1 | Herkomst grondstof, lage dichtheid | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Papier | Vezel | 600 | 2 | 9 | 10 | herkomst grondstof | korte vezels, eiwitgehalte | Lignine | Asfalt | 5 |
| Papier | Moulded fibre | 50 | 2 | 9 | 2 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Plaatmateriaal | Typha Board | 200 | 6 | 6 | 3 | Uniek product | markt moet ontwikkeld | | | |
| Plaatmateriaal | OSB | 200 | 2 | 9 | 5 | geen | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Plaatmateriaal | Particle board | 200 | 3 | 9 | 2 | geen | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Plaatmateriaal | MDF | 400 | 1 | 9 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Plaatmateriaal | Binderless | 400 | 3 | 6 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Plaatmateriaal | Ecor | 50 | 1 | 7 | 2 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Composieten | Spuitsieten, vuller | 100 | 3 | 9 | 1 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Composieten | Spuitsieten, vezel | 400 | 1 | 9 | 1 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Composieten | Profielextrusie | 200 | 1 | 9 | 3 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Composieten | Zetmeel matrix | 200 | 1 | 9 | 1 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Composieten | Thermoharders | 400 | 1 | 9 | 3 | Herkomst grondstof | korte vezels, inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Textiel | Garens | 2000 | 1 | 9 | 10 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Textiel | Grof textiel | 600 | 1 | 9 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Textiel | Geo textielen | 400 | 1 | 9 | 5 | Herkomst grondstof, lage afbraaksnel | korte vezels, inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Beton | Lichtgewicht | 200 | 1 | 7 | 2 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Asfalt | versterking | 200 | 1 | 9 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Bouwmateriaal | Mycelium | 200 | 1 | 4 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Bouwmateriaal | Vezelversterking kleimuren | 200 | 1 | 5 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | | | |
| Isolatie | vezelplaat | 1000 | 1 | 9 | 5 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Isolatie | Spuitsisolatie | 100 | 1 | 9 | 2 | Herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | mineralen/aminozuren | | 5 |
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | 200 | 1 | 9 | 10 | herkomst grondstof | eiwitgehalte, inhomogeniteit grondstof | | | |
| Chemicalien (chem) | Furfural | 100 | 1 | 9 | 10 | herkomst grondstof | ontsluiting suikers nodig | | | |
| Chemicalien (chem) | lignine | 100 | 1 | 7 | 5 | herkomst grondstof | inhomogeniteit grondstof | Cellulose | | |
| Chemicalien (chem) | levuline | 100 | 1 | 5 | 15 | herkomst grondstof | ontsluiting suikers nodig | | | |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | 100 | 1 | 9 | 5 | Geen concurrentie voedselproductie | Suikers moeten deels ontsloten | | compostering | 2 |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | 100 | 1 | 5 | 10 | Geen concurrentie voedselproductie | Suikers moeten eerst ontsloten | | compostering | 2 |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | 100 | 1 | 5 | 5 | Geen concurrentie voedselproductie | Suikers moeten eerst ontsloten | | compostering | 2 |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | 100 | 1 | 5 | 3 | Geen concurrentie voedselproductie | Suikers moeten eerst ontsloten | | compostering | 2 |
| Chemicalien (ferm) | PHA | 100 | 1 | 7 | 5 | Geen concurrentie voedselproductie | Suikers moeten eerst ontsloten | | compostering | 2 |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | 100 | 1 | 9 | 5 | Geen concurrentie voedselproductie | Suikers moeten eerst ontsloten | | compostering | 2 |
| Energie | Vergassing | 200 | 1 | 9 | 3 | Geen concurrentie voedselproductie | NOx, zouten en mineralengehalte | | | |
| Energie | Pyrolyse | 200 | 1 | 9 | 3 | Geen concurrentie voedselproductie | NOx, zouten en mineralengehalte | | | |
| Feed | Eiwit | 100 | 1 | 7 | 5 | Herkomst grondstof | | | | |

Producten overview

| Markt | Toepassing | Statusbeschrijving | Status | Conclusie - Technisch | Conclusie - Realistisch | Aanbeveling |
|--------------------|----------------------------|--|---------------|---|-------------------------|---------------------------------------|
| Papier | Decoratie | Gemalen lisdodde kan ingezet worden als decoratievezel | Enige aanname | geen probleem | ja, bestaand proces | Wel |
| Papier | Vulmiddel | Gemalen lisdodde kan ingezet worden als opdikkendheidsverbeter | Grote aanname | nog niet aangetoond | ✗ | Waarschijnlijk niet |
| Papier | Vezel | Chemische vezels lisdodde zijn kort en versterking papier niet | Feit | vezel te kort | ✗ | niet |
| Papier | Moulded fibre | Biochemische vezels kunnen deel oud papier in moulded fibre verv | Grote aanname | nog niet aangetoond | ↓ | Mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | Typha Board | Typha board is een volwaardig bouw materiaal | Enige aanname | interessante optie | ✓ | Wel |
| Plaatmateriaal | OSB | Lisdodde is alternatief voor houtspaanders | Enige aanname | te inhomogeen | ✗ | niet |
| Plaatmateriaal | Particle board | Lisdodde is te inhomogeen voor sterk particle board, Alleen verdicht | Enige aanname | lieft alleen verdichte stengel | ↓ | Mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | MDF | De lisdodde samenstelling is ongeschikt voor MDF vezel productie | Enige aanname | te kleine schaal | ↓ | Waarschijnlijk geen MDF eigenschappen |
| Plaatmateriaal | Binderless | Lisdodde kan toegepast worden in binderless boards | Enige aanname | getest op labschaal | ✓ | Eigenschappen plaat onbekend |
| Plaatmateriaal | Ecor | Lisdodde kan toegepast worden in Ecor materiaal | Enige aanname | geen probleem | ✓ | Onbekend of er versterking optreedt |
| Composieten | Spuitsgieten, vuller | Gemalen lisdodde is geen goed vulmateriaal | Enige aanname | Geen goede binding of versterking | ↓ | Geen waarde als vulmiddel |
| Composieten | Spuitsgieten, vezel | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | nog niet aangetoond | ↓ | Moet getest worden |
| Composieten | Profielextrusie | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | nog niet aangetoond | ✗ | waarschijnlijk niet |
| Composieten | Zetmeel matrix | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | interessante optie | ↓ | Wel |
| Composieten | Thermoharders | Biochemische vezels kunnen als vezelversterker toegepast worden | Grote aanname | te korte vezels | ✗ | niet |
| Textiel | Garens | Lisdodde is geen geschikte vezel voor garens | Enige aanname | in ontwikkeling | ✗ | Niet |
| Textiel | Grof textiel | Lisdodde kan een vezel leveren voor grof textiel | Enige aanname | nieuw proces | ↓ | Waarschijnlijk niet |
| Textiel | Geo textielen | Lisdodde kan een vezel leveren voor geotextielen | Grote aanname | ontsluiting en sterkte onbekend | ↓ | Waarschijnlijk niet |
| Beton | Lichtgewicht | Lisdodde kan een toevoeging zijn aan beton | Onbekend | nog niet aangetoond | ↓ | Mogelijk wel |
| Asfalt | versterking | Lisdodde kan een toevoeging zijn aan asfalt | onbekend | nog niet aangetoond | ✗ | Waarschijnlijk niet |
| Bouwmateriaal | Mycelium | Lisdodde is een goed groeimedium en geeft versterking | Onbekend | nog niet aangetoond | ↓ | mogelijk wel |
| Bouwmateriaal | Vezelversterking kleimuren | Lisdodde geeft versterking | Onbekend | eiwit probleem | ✗ | mogelijk wel |
| Isolatie | vezelplaat | Lisdoddeplaten geven een redelijke isolatiewaarde | Enige aanname | interessante optie | ↓ | mogelijk wel |
| Isolatie | Spuitsisolatie | Lisdodde kan toegepast worden als losse vezelisolatie | Enige aanname | interessante optie | ↓ | mogelijk wel |
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | Lisdodde is minder geschikt als grondstof voor dissolving cellulose | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ✗ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (chem) | Furfural | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (chem) | lignine | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (chem) | levuline | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | Lisdodde is een geschikte grondstof | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | Lisdodde is een geschikte grondstof | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (ferm) | PHA | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | Lisdodde is door de vele componenten minder geschikt | Enige aanname | sterke concurrentie andere grondstoffen | ↓ | ontwikkeling op grotere schaal nodig |
| Energie | Vergassing | Lisdodde is geschikt voor vergassing en biochar productie | Onbekend | Eiwit geeft Nox problemen | ✗ | Niet |
| Energie | Pyrolyse | Lisdodde is geschikt voor pyrolyse en biochar productie | Onbekend | Eiwit geeft Nox problemen | ✗ | Niet |
| Feed | Eiwit | Lisdodde kan een hoogwaardig veevoer opleveren | Onbekend | | ↓ | Waarschijnlijk niet |

4 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de bijeengebrachte kennis kunnen een aantal interessante routes geïdentificeerd worden:

- Typha board, bestaande uit grotere stukken lisdodde, maakt gebruik van de inherente eigenschappen van lisdodde. Daardoor wordt een uniek product geproduceerd. Het is daarom een interessante verwaardingsmogelijkheid.
- De toepassing van verkleinde lisdodde in papier ter decoratie (vulmateriaal) is interessant wanneer er een afnemer voor het papier gevonden kan worden die de commerciële waarde van dit papier weet te waarderen.
- Vezelcomposietmaterialen op basis van zetmeel en lisdodde gebruiken water tijdens de productie (bijvoorbeeld Paperfoam). De toepassing van ongedroogde mechanisch ontsloten lisdodde is daardoor mogelijk. Deze vezelcomposietmaterialen zijn wellicht geschikt als diervoeding, productie van bijvoorbeeld kauwbotten is dan ook een optie.
- Lisdodde vezels kunnen toegepast worden in de plaatmaterialen die Ecor ontwikkelt. Dit proces is gebaseerd op het papierproces, zonder binder en uitgaande van natte vezels.

Daarnaast zijn er een aantal routes waarvan de technische haalbaarheid nog niet vastgesteld is, maar waar wel relatief veel aandacht voor is vanuit industrie en wetenschap:

- De vezelbundel structuur in Lisdodde kan op verschillende manieren ontsloten worden. Wanneer dit ook op industriële schaal mogelijk is, kan dit een interessante bron voor vezels zijn. Daarbij kan er zowel aan grof textiel als eindproduct gedacht worden als aan vezelmatten voor (thermo hardende) composieten
- Lisdodde kan zonder lijm tot een plaat worden gebonden. Dit is een interessante productontwikkeling omdat biobased harsen duur zijn en fossil based harsen minder gewenst. Deze ontwikkeling kan aansluiten bij initiatieven om binderless cocohusk platen verder te ontwikkelen.
- De ontwikkeling van toepassingen van Biochar krijgt de laatste jaren veel aandacht. De eigenschappen van biochar zijn mede afhankelijk van de grondstof.
- De olie-absorberende eigenschappen van pluus kunnen verder ontwikkeld worden als lokaal alternatief voor kapok en fossil based absorbentia.

Het ontwikkelen van een mechanische scheidingsmethode om blad en verdichte stengel van elkaar te scheiden levert twee fracties op die homogener zijn in chemische samenstelling en morfologie dan beide fracties samen. De waarde van de fracties afzonderlijk is voor de meeste toepassingen naar alle waarschijnlijkheid hoger dan het uitgangsmateriaal.

De aanbevelingen zijn ook samengevat in onderstaande tabel.

| Markt | Toepassing | Aanbeveling |
|--------------------|----------------------------|---------------------|
| Composieten | Zetmeel matrix | wel |
| Papier | Decoratie | wel |
| Plaatmateriaal | Typha Board | wel |
| Plaatmateriaal | Ecor | wel |
| Beton | Lichtgewicht | mogelijk wel |
| Bouwmateriaal | Mycelium | mogelijk wel |
| Bouwmateriaal | Vezelversterking kleimuren | mogelijk wel |
| Chemicalien (ferm) | Methaan | mogelijk wel |
| Composieten | Spuitgieten, vuller | mogelijk wel |
| Isolatie | vezelplaat | mogelijk wel |
| Isolatie | Spuitisolatie | mogelijk wel |
| Papier | Moulded fibre | mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | Particle board | mogelijk wel |
| Plaatmateriaal | Binderless | mogelijk wel |
| Asfalt | versterking | waarschijnlijk niet |
| Composieten | Spuitgieten, vezel | waarschijnlijk niet |
| Composieten | Profielextrusie | waarschijnlijk niet |
| Feed | Eiwit | waarschijnlijk niet |
| Papier | Vulmiddel | waarschijnlijk niet |
| Textiel | Grof textiel | waarschijnlijk niet |
| Textiel | Geo textielen | waarschijnlijk niet |
| Chemicalien (chem) | Dissolving Cellulose | niet |
| Chemicalien (chem) | Furfural | niet |
| Chemicalien (chem) | lignine | niet |
| Chemicalien (chem) | levuline | niet |
| Chemicalien (ferm) | Ethanol | niet |
| Chemicalien (ferm) | (iso-)butanol | niet |
| Chemicalien (ferm) | Waterstof | niet |
| Chemicalien (ferm) | PHA | niet |
| Chemicalien (ferm) | melkzuur, PLA | niet |
| Composieten | Thermoharders | niet |
| Energie | Vergassing | niet |
| Energie | Pyrolyse | niet |
| Papier | Vezel | niet |
| Plaatmateriaal | OSB | niet |
| Plaatmateriaal | MDF | niet |
| Textiel | Garens | niet |

Literatuur

- Bajwa, D. S., E. D. Sitz, S. G. Bajwa and A. R. Barnick (2015). "Evaluation of cattail (*Typha* spp.) for manufacturing composite panels." Industrial Crops and Products **75**: 195-199.
- Dong, T., G. Xu and F. Wang (2015). "Oil spill cleanup by structured natural sorbents made from cattail fibers." Industrial Crops and Products **76**: 25-33.
- El Omari, H., A. Belfkira and F. Brouillette (2017). "Paper Properties of *Typha Latifolia*, *Pennisetum Alopecuroides*, and *Agave Americana* Fibers and Their Effect as a Substitute for Kraft Pulp Fibers." Journal of Natural Fibers **14**(3): 426-436.
- Keijsers, E. R. P., G. Yilmaz and J. E. G. van Dam (2013). "The cellulose resource matrix." Carbohydrate Polymers **93**(1): 9-21.
- Kurzawska, A., D. Görecka, W. Błaszczak, A. Szwengiel, D. Paukszta and G. Lewandowicz (2014). "The molecular and supermolecular structure of common cattail (*Typha latifolia*) starch." Starch/Staerke **66**(9-10): 849-856.
- Muthuvelu, K. S., R. Rajarathinam, L. P. Kanagaraj, R. V. Ranganathan, K. Dhanasekaran and N. K. Manickam (2019). "Evaluation and characterization of novel sources of sustainable lignocellulosic residues for bioethanol production using ultrasound-assisted alkaline pre-treatment." Waste Management **87**: 368-374.
- Pijlman, J., J. Geurts, R. Vroom, M. Bestman, C. Fritz and N. van Eekeren (2019). "The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail (*Typha latifolia* L.) in the first year after planting." Mires and Peat **25**: 1-19.
- Ramaiah, S. K., G. S. Thimappa, L. K. Nataraj and P. Dasgupta (2020). "Optimization of oxalic acid pre-treatment and enzymatic saccharification in *Typha latifolia* for production of reducing sugar." Journal of Genetic Engineering and Biotechnology **18**(1).
- Ramanaiah, K., A. V. Ratna Prasad and K. Hema Chandra Reddy (2011). "Mechanical properties and thermal conductivity of *typha angustifolia* natural fiber-reinforced polyester composites." International Journal of Polymer Analysis and Characterization **16**(7): 496-503.
- Rowlatt, U. and H. Morshead (1992). "Architecture of the leaf of the greater reed mace, *Typha latifolia* L." Botanical Journal of the Linnean Society **110**(2): 161-170.
- Singh, Y. D., P. Mahanta and U. Bora (2017). "Comprehensive characterization of lignocellulosic biomass through proximate, ultimate and compositional analysis for bioenergy production." Renewable Energy **103**: 490-500.
- Snijder, K., Oever van den, Dam van (2005). "CFC Technical Paper Nr. 43, Coir Based Building and Packaging Materials, Final Report of Project CFC/FIGHF/11."
- Sridach, W. (2014). "Improvement of hardwood kraft paper with narrow-leaved cattail fibers, cationic starch and ASA." Cellulose Chemistry and Technology **48**: 375-383.
- Tolcha, T., T. Gemechu and N. Megersa (2020). "Flower of *typha latifolia* as a low-cost adsorbent for quantitative uptake of multiclass pesticide residues from contaminated waters." South African Journal of Chemistry **73**: 22-29.
- Witztum, A. and R. Wayne (2016). "Lignified and nonlignified fiber cables in the lacunae of *Typha angustifolia*." Protoplasma **253**(6): 1589-1592.
- Wuzella, G., A. R. Mahendran, T. Bätge, S. Jury and A. Kandelbauer (2011). "Novel, binder-free fiber reinforced composites based on a renewable resource from the reed-like plant *Typha* sp." Industrial Crops and Products **33**(3): 683-689.
- Wuzella, G., A. R. Mahendran and A. Kandelbauer (2020). "Green composite material made from *typha latifolia* fibres bonded with an epoxidized linseed oil/tall oil-based polyamide binder system." Journal of Renewable Materials **8**(5): 499-512.
- Zhang, B., G. Joseph, L. Wang, X. Li and A. Shahbazi (2020). "Thermophilic anaerobic digestion of cattail and hydrothermal carbonization of the digestate for co-production of biomethane and hydrochar." Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering **55**(3): 230-238.
- Zhang, B., A. Shahbazi, L. Wang, O. Diallo and A. Whitmore (2011). "Hot-water pretreatment of cattails for extraction of cellulose." Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology **38**(7): 819-824.
- Zhang, J., X. Yan, S. Cao and G. Xu (2018). "Morphological characterization and properties of cattail fibers." Materiali in tehnologije **52**: 625-631.
- Dam Jan E.G. van, Edwin R.P. Keijsers, Martien J.A. van den Oever, WP2.1 Report on bio-based industries' needs and interests, Panacea, <http://www.panacea-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/PANACEA-D2.1-Bio-based-industries%E2%80%99-needs-and-interests.pdf>
- Keijsers, E.R.P., M. van den Oever, J. van Dam, D. Verstand, M. Wesselink, J. Verhoeven, D2.3 Report on the role of NFC in the renaissance of the rural areas, Panacea, <http://www.panacea-h2020.eu/>