

DE REVIVAL VAN HENNEP ALS LOW-IMPACT TEXTIELVEZEL.

Onderzoeksresultaten 'Eigen Kweek' en 'Hemp4All'.

Faculteit Natuur en Techniek; Vakgroepen Mode- en textieltechnologie & Natuur- en Voedingswetenschappen.



**HO
GENT**

WOORD VOORAF

Katoen is soepel, sterk en zacht en tegelijkertijd in staat is om vocht en zweet af te voeren. Het beschikt over zoveel kwaliteiten dat het, ook al vereist de productie een warm klimaat en rijke bodems, de hele wereld heeft veroverd en de belangrijkste vezelbron is voor de productie van textielwaren. De levenscyclusanalyse van de katoensector toonde aan dat deze vezel niet zo onschuldig is als wordt aangenomen. Milieuvervuiling (16 % van alle gebruikte pesticiden komen op de katoenvelden terecht), ziekten t.g.v. deze vervuiling (kanker, misvormingen, vruchtbaarheidsproblemen), reductie van het grondwaterpeil, onaanvaardbare werkomstandigheden en nefaste subsidies bezoedelen het zuivere imago van katoen. **De Europese textiel- en kledingsector heeft nood aan een alternatief om conventioneel geteeld katoen te vervangen om volgende redenen:**

- door sterke schommelingen in het aanbod en de vraag is de katoenprijs heel volatiel;
- qua beschikbare teeltoppervlakte en opbrengst bereikt de katoenproductie een bovengrens, terwijl de demografie de vraag nog doet stijgen;
- verhoogde transparantie en sensibilisering deden de vraag naar sociaal en ecologische verantwoorde vezels sterk toenemen.

Vanuit **het perspectief van bio-hernieuwbaarheid en de urgente zoektocht naar circulariteit** wordt door alle stakeholders in de textiel- en kledingketen aanbevolen om sterk in te zetten op **onderzoek naar alternatieve grondstoffen** en een efficiënter gebruik. Meer specifiek houdt dit o.a. in om meer gebruik te maken van **natuurlijke vezels geteeld in de EU**. Daarnaast worden ook de consumenten steeds meer gevoelig voor de ethiek van de merken die ze kopen. Een belangrijke piste in dit verhaal is de **herontdekking van hennep als duurzame textielvezel**. Diverse, Europese spelers (Libeco-Lagae (B), Safilin (F), Lignificio (I)) bieden reeds een uiteenlopend gamma henneproducten (garens, weefsels, breisels, non-wovens, koorden) aan. Ook grote namen uit de modewereld spelen hierop in (H&M, C&A, Nike, Walmart en Levi Strauss). Een kanttekening hierbij is de vaststelling dat de herkomst van de commercieel beschikbare henneproducten niet altijd even transparant is. Vaak betreft de import uit Aziatische landen (meestal China) met onvoldoende

zekerheid op vlak van vezelsamenstelling en waarvan de blijvende beschikbaarheid in de tijd twijfelachtig is. Om een echte doorbraak te realiseren is **onderzoek noodzakelijk om een aantal knelpunten uit de weg te ruimen**: het optimaliseren van de teelt- en oogstprincipes, het standaardiseren van het rotingsproces, de productie van fijne garens (Nm 42 en hoger) en door middel van duurzame veredeling een oplossing bieden voor het pilling- en kreukgedrag.

Met de projecten Eigen Kweek, Hemp4All en nieuw op te starten onderzoek binnen de onderzoekscentra FTI-Lab en Agro-Food-Nature van de HOGENT willen we deze problemen tackelen en hiermee de revival van hennep helpen faciliteren.

Binnen het PWO-project Eigen Kweek werd onderzocht hoe de vezelkwaliteit van hennep kan aangestuurd worden voor het ontwikkelen van hoogwaardige textieltoepassingen en hoe de verschillende schakels in de waardeketen opnieuw op elkaar afgestemd kunnen worden. Bij de teelt bleken de keuze van de hennepvariëteit, de zaaidichtheid en de zaai- en het oogsttijdstip doorslaggevende factoren. Voor een optimale vezelextractie zijn de manier waarop de stengels geoogst worden en de wijze waarop ze gerooit worden cruciale stappen. Ze bepalen nl. in grote mate het spinproces van de garens en de eindtoepassingen van weefsels.

Complementair aan dit project werden binnen het TETRA-project Hemp4All biochemische voorbehandelingsprocessen voor ecru hennep ontwikkeld. Een selectie van enzymatisch gedreven reinigings-, afkook- en bleekbewerkingen werd geoptimaliseerd. Daarnaast werden op de markt beschikbare hennepweefsels gescreend en geschikt bevonden als zijnde competitief t.o.v. katoen en katoen/polyester equivalenten, dit o.a. in termen van treksterkte, scheursterkte en abrasieweerstand. Een genormaliseerd testprotocol werd doorlopen om dit afdoende te kunnen staven. Afhankelijk van de toepassing kan een optimalisatie van de (fysische) basiskarakteristieken gevonden worden in meer klassiek georiënteerde veredelingsprocessen, bijvoorbeeld op basis van kreukherstellende apprets, anti-pilling producten en/of verzachters. In het gevoerde onderzoek kreeg deze benadering evenwel geen prioriteit, aangezien ze conflicteert met de natuurlijke aard van het uitgangsmateriaal. Voor het maximaal behoud van het groene karakter werd ingezet op zogenaamde zero deposition methodes. Gescreende, succesvolle methodes zijn onder andere Beau-Fixe® (behandeling in vloeibare ammoniak, @Veramtex) en stone washing. Deze technieken leiden tot een permanente (lees: onderhoudsbestendige) verbetering van de vezeleigenschappen, zonder evenwel de

recyclagemogelijkheden op het einde van de (eerste) levenscyclus van het product in het gedrang te brengen.

De projectresultaten leveren alvast een belangrijke bijdrage aan de revival van hennep als duurzame textielvezel.

Ik wil dan ook van de gelegenheid gebruik maken om VLAIO (TETRA) en het Onderzoeksfonds van HOGENT (PWO) te bedanken voor hun financiële bijdrage aan deze projecten, de industriële en landbouwpartners voor de ondersteuning bij de uitvoering, de directie Onderzoek voor hun ondersteuning bij de administratieve en inhoudelijke opvolging, de betrokken onderzoekers en medewerkers van de proefhoeve Bottelare en het FTI-Lab voor het uitstekende werk dat ze geleverd hebben en de studenten Bachelor in de Textieltechnologie, Bachelor in de Modetechnologie, Bachelor in de Agro- en Biotechnologie en Master in de Biowetenschappen die in het kader van hun stage, bachelorproef en masterproef op deze projecten gewerkt hebben.

Alexandra De Raeve,
14 januari 2020.

OVERZICHT

Algemene inleiding.....	1
Geschiedenis van hennep.....	1
Multifunctioneel gewas.....	2
De comeback van hennep.....	3
Eigen Kweek.....	5
Situering.....	6
Teelt.....	7
Veldroten en vezelextractie op de vlaszwingellijn.....	25
Enzymatisch roten in batch.....	41
Economische perspectieven?	51
Aanbevelingen Eigen Kweek.....	53
Hemp4All.....	55
Situering.....	57
Selectie van ecru hennep materialen.....	58
Optimalisatie van de voorbehandelingsprocessen van ecru hennep.....	60
Scanning van de inzetbaarheid van hennep textiel	75
Aanbevelingen HEMP4ALL.....	83
Referenties.....	85
Bijlagen.....	88

ALGEMENE INLEIDING

Geschiedenis van hennep

Hennep (*Cannabis sativa* L., $2n=20$) is een van 's werelds oudste gecultiveerde eenjarige gewassen (C3), traditioneel geteeld om zijn lange en sterke bastvezels en zaden. De geschiedenis van hennep gaat meer dan 10.000 jaar terug tot het oude China en Mesopotamië. Toepassingen van hennep evolueerden van eenvoudig touw en grof geweven stoffen tot papier en zeildoeken. Canvas (zeil) is een bekend internationaal begrip dat is afgeleid van het Franse woord 'chanvre', wat cannabis betekent. Hennepzaad en bloemen werden gebruikt tegen verschillende kwalen in de periode van 2700 voor christus tot de Romeinse tijd. In 1941 bouwt Henry Ford een prototype van een auto met carrosserie gedeeltelijk gemaakt van hennepvezel (Fig. 1.1).



Figuur 1.1. Geschiedenis van hennepsteelt: (links) Kentucky hennep oogst, 1895 (ministryofhemp.com); (rechts) Prototype van een auto gebouwd door Henry Ford in 1941 met carrosserie gedeeltelijk gemaakt van hennepvezel (hemptrade.ca).

In de meeste westerse landen is de teelt van hennep tientallen jaren geleden verdwenen of gestopt als gevolg van concurrentie met andere grondstoffen zoals katoen en synthetische vezels, hoge arbeidskosten en het verbod op de teelt door de associatie van vezelhennep met het gebruik van cannabis als verdovend middel (Salentijn et al., 2015).

Multifunctioneel gewas

De geschiedenis van hennep teelt benadrukt het potentieel van hennep als multifunctioneel gewas. Hennep kan worden geteeld in verschillende geografische klimaatzones en is goed aangepast aan de meeste regio's van de wereld. China, Europa en Canada zijn momenteel de drie meest belangrijke hennep teelt regio's in de wereld (Salentijn et al., 2015).

Voor alle duidelijkheid industriële hennep is geen marihuana. Marihuana, voornamelijk recreatief gebruikt vanwege de bedwelmende eigenschappen, kan een medicinale waarde hebben (Grotenhermen & Müller-Vahl, 2016). Industriële hennep wordt daarentegen gewaardeerd om zijn medicinale verbindingen, vezels en zaden die gebruikt worden in talrijke producten. In vergelijking met marihuana zijn de geneeskrachtige stoffen die van belang zijn in hennep niet-toxisch, bijvoorbeeld cannabidiol (CBD). In Europese mag het gewas, om wettelijk als hennep te worden geclassificeerd, niet meer dan 0,2% van de bedwelmende verbinding D9-tetrahydrocannabinol (THC) bevatten (Schlutenhofer et al., 2017). Dit THC-gehalte in cannabis is onvoldoende om intoxicatie te veroorzaken.

Traditioneel wordt hennep geteeld voor zaad of vezel. Hennepzaden bevatten ongeveer 30% eiwit, 25% zetmeel en 30% olie (Calasso et al, 2016). Geperst zaad geeft een olie vrij die voor meer dan 90% meervoudig onverzadigde vetzuren bevat, waardevol voor menselijke en dierlijke voeding. Bovendien kan de olie verwerkt worden tot cosmetica en brandstoffen (Carus, 2017). Daarnaast produceert hennep meer dan 100 bekende cannabinoïden, met name CBD, met potentiële farmaceutische toepassingen (Carus, 2017). Deze (fyto)cannabinoïden bevinden zich vooral in de vrouwelijke bloemen.

Hennepstengels bevatten twee belangrijke fracties, de bastvezel en de scheven (houtachtige kern). De bastvezels bevatten 73-77 % cellulose, 7-9% hemicellulose en 2-6% lignine, vergeleken met respectievelijk 48 % cellulose, 21-25 % hemicellulose en 17-19 % lignine in de scheven (Schlutenhofer et al., 2017). Zowel de vezels als de scheven kennen een zeer breed scala aan toepassingen (Fig. 1.2). De bastvezels worden voornamelijk gebruikt om papier van hoge kwaliteit te maken, isolatiemateriaal, biocomposieten, touwen en textiel, afhankelijk van de kwaliteit en verdere verwerking (Carus, 2017). De scheven kunnen o.a. verwerkt worden tot bouw materiaal of gebruikt worden als stalstrooisel.



Figuur 1.2. Toepassingen van hennep: (links) plaatmateriaal van vezelhennep (hempflax.com); (midden) hennepstrooisel (dunagrohempgroup.nl); (rechts) Be.e elektrische scooter gemaakt van hennep (designboom.com).

De comeback van hennep

De herintroductie van industriële hennep als multifunctioneel gewas is dus wereldwijd in opmars en in 2017 werd er voor het eerst meer dan 42.500 ha hennep geteeld in Europa (t.o.v. 15.000 ha in 2012), zowel voor het zaad als voor de vezel (EIHA, 2017). Ook in België zit hennep teelt in de lift met een areaal van 445 ha en 39 meldingen van teeltintentie in Vlaanderen in 2018 (t.o.v. 19 meldingen in 2012).

Binnen Europa is de industriële teelt van hennep, en daaraan gekoppelde kennisopbouw, momenteel gericht op de teelt van hennep voor de korte, technische vezel al dan niet in combinatie met het zaad (zie bvb. het Europese Multi-Hemp project; Tang et al. 2016). Hierbij worden stengels kriskras door elkaar geoogst en verhakseld, wat de lange bastvezels herleidt tot een kort vezelproduct, bruikbaar in onder meer de auto-industrie, en in de productie van papier en biobased composieten (Carus, 2017). Directe afzetmogelijkheden voor deze “korte vezel” zijn niet aanwezig in onze regio terwijl er vanuit de economisch sterke, lokale vlasverwerkende industrie (zwingelbedrijven en weverijen) wel expliciete interesse is in de “lange” hennepvezel als aanvullende natuurlijke vezel, analoog aan de hoogwaardige vlasvezel. Deze sector wenst namelijk tegemoet te komen aan de toenemende vraag van consumenten en designers naar lokaal geteeld, duurzaam textiel.

Milieutechnisch heeft hennep immers enorme voordelen. De teelt van vezelhennep is een low-impact teelt die garant staat voor een beperkte druk op het milieu en voor een toenemende biodiversiteit (PDPO, 2016). Hennep behoort tot een andere plantenfamilie (Cannabaceae) dan vlas en andere courante landbouwgewassen, waardoor het ideaal past

in de teeltrotatie van onze Vlaamse bedrijven en mee bijdraagt aan de uitbreiding van de noodzakelijke gewasdiversiteit. Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen bij hennepenteelt is uiterst beperkt waardoor het gewas ook uitermate geschikt is voor biologische teelt (Danckaert et al. 2006). Als vanggewas kan hennep een aanzienlijke bijdrage leveren aan vermindering van het nitraatresidu en verbetering van de bodemstructuur (Snauwaert en Ghekiere, 2011). Ook genereert hennep een lange termijn opslag van koolzuurgas (CO₂) in duurzame materialen (zoals textielproducten). Per hectare kan tot 10 ton CO₂-equivalenten vastgelegd worden (PDPO, 2016). Bovendien is de teelt van hennep beduidend minder belastend voor het milieu dan de productie van katoen. De water footprint (WF) van hennep is minder dan een derde van de WF van katoen (10.000 l/kg voor katoen tegenover 2.719 l/kg voor hennep), en het landbeslag zowat de helft (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

China is marktleider in de teelt en productie van henneptextiel. Momenteel is vrijwel alle henneptextiel dat hier verkocht wordt afkomstig uit China. Het land produceert de lange vezels en enzymatisch gekatalyseerde hennepvezels. De afgewerkte hennepproducten zijn echter voornamelijk bestemd voor de binnenlandse markt (Van In, 2019). China heeft in de afgelopen 10 jaar zijn hennepareaal snel uitgebreid, tot 100.000 ha in 2016 (Woodford & Cui, 2016) en een verdere stijging van het areaal wordt voorspeld. Hennepvezel of -garen importeren uit China is echter geen optie voor onze Vlaamse textielbedrijven. Naast de kosten en milieu-impact van het transport, wordt in China chemisch geroot met alkali-oplossingen om de vezel los te weken van de stengel (Van Eynde 2015), hetgeen niet strookt met de beoogde verduurzaming in de textielsector. Het gebruik van lokaal geteeld, geveldroot hennep als textielvezel kan dus bijdragen tot een milieuvriendelijker eindproduct en een vermindering van de broeikasgasemissie ten gevolge van transport.

Bovenstaande maakt duidelijk dat hennep als textielgewas een groot potentieel biedt in het kader van de zich ontwikkelende bio-gebaseerde circulaire economie.

EIGEN KWEEK

Optimalisatie van hennepvezelkwaliteiten via een geïntegreerde ketenbenadering.

Financiering: HOGENT, multidisciplinair PWO-project.

Duur: 3 jaar (2017-2019).

Hoofd-promotor: Alexandra De Raeve (MTH).

Co-promotoren: Joos Latré (NVW), Veronique Troch (NVW), Jos Nollet (NVW), Simona Vasile (MTH), Dries Van Steenkiste (MTH).

Wetenschappelijk medewerkers (50%): Veronique Troch (NVW; 2017-2018), Katrien Vandepitte (NVW, 2019) & Myréne Vanderhoeven (MTH, 2017-2019).

Onderzoeksmedewerkers (50%): Sofie Vermeire (MTH) & Wouter Vanderborght (NVW).

Stuurgroepleden: Algemeen Belgisch vlasverbond, Association du lin et du chanvre, CHT, Delmotte agriculture bvba, Ecological Textiles, Greenyard Horticulture / Peltracom, Groep Masureel, H&M, HOGENT, Inagro, Industriemuseum, Kuilderd Consulting, Libeco-Lagae, Provinciaal Proefcentrum voor de groenteteelt, UGent, Utexbel, Van de Bilt zaden en vlas, Veramtex en Verilin.

Bachelorproeven op project: studenten agro- en biotechnologie (Jean-Luc Govaert, Joanne Delaney, Sien Van Onsem), textieltechnologie (Celine Wille); Masterproef Michiel Mooren (master biowetenschappen).

Situering

In Europa is de revival van industriële hennepcultuur en daaraan gekoppelde kennisopbouw, momenteel gericht op de verwerking van hennep (*Cannabis sativa* L.) als 'totaalvezel'. Deze is bruikbaar als bulkmateriaal in ondermeer de papierindustrie en als isolatiemateriaal (Amaducci & Gusovius, 2010; Musio et al. 2018). Hiervoor zijn de directe afzetmogelijkheden binnen Vlaanderen en omliggende regio's beperkt – het Vlaamse hennepareaal in 2018 bedroeg dan ook slechts 87,50 hectare (lv.vlaanderen.be). Hennepcultuur voor geweven textieltoepassingen zou, gezien de huidige hoge prijs van natuurlijke textielvezels zoals vlas, en de uitdrukkelijke interesse in lokaal geteelde hennep vanuit de verwerkende sector, economisch beduidend betere perspectieven kunnen bieden voor de Vlaamse akkerbouw. Dit vereist evenwel aanpassingen naar teelt, oogst en primaire verwerking toe. Voor hoogwaardige toepassingen, zoals het spinnen van garen, dient bovendien ingezet te worden op het garanderen van een hoge vezelkwaliteit.

Het multidisciplinair PWO-project 'Eigen Kweek' tracht de lokale teelt en verdere verwerking van hennep als textielvezel aan te zwingelen. Hiertoe onderzochten we hoe de vezelopbrengst en -kwaliteit van hennep geoptimaliseerd kan worden in functie van textieltoepassingen vanuit een geïntegreerde ketenbenadering. In de teelt ('upstream') lijken de keuze van de hennepvariëteit, de zaaidichtheid -en tijdstip en de oogstmethodiek doorslaggevend. Echter, slechts in een beperkt aantal studies werden legale hennepassen vergeleken naar opbrengst (Tang et al., 2016). Ook de invloed van raselectie en teeltomstandigheden op variatie in vezelkwaliteit werd amper bestudeerd (Sankari et al. 2000). In de voorbehandeling ('midstream') zijn de rotting en een efficiënte vezelextractie cruciale stappen. Ze bepalen nl. in grote mate het spinproces van garens en de eindtoepassing van de weefsels of breisels ('downstream'; niet onderzocht). Hiertoe testten we zowel bestaande paden binnen de vlasverwerking (veldroten & mechanische vezelextractie op de vlaswingellijn) alsook nieuwe invalswegen (enzymatisch roten).

Teelt

Om de teelt aan te sturen in functie van een optimale vezel-opbrengst en -kwaliteit, werden veldproeven opgezet waarin de opkomst, groei en stengel-opbrengst van uiteenlopende henneprassen werd vergeleken (Fig. 2.1). Daarnaast werd ook ruim aandacht besteed aan de invloed van het zaaitijdstip en het potentieel van hennep als winterteelt.

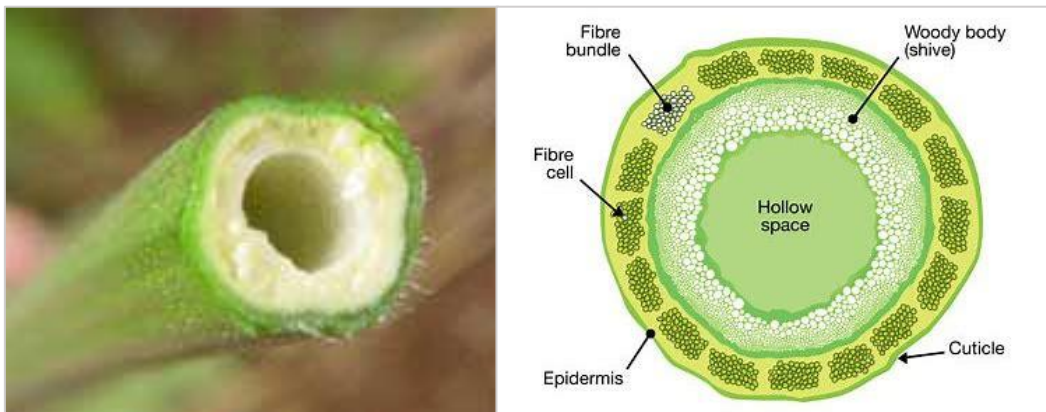


Figuur 2.1. Veldproef vezelhennep 2018 te Bottelare (20 dagen na zaai).

Teelttechnische kennis inzake bemesting en oogsttijdstip is uitgebreid beschreven in de wetenschappelijke literatuur en werd binnen Eigen Kweek niet onderzocht. De teelt van vezelhennep vereist weinig tot geen meststoffen: 100 eenheden beschikbare stikstof (N) en 180 eenheden kaliumoxide (K_2O) volstaan ruim (Danckaert et al. 2007). Op basis van onze veldproeven bleek een eenmalige gift rundermengmest van 35 ton/ha voor inzaai goed toepasbaar. Dit is het equivalent van de dosis van 170 kg totale N/ha wat in het geval van rundermengmest van 4.8 kg totale N/ton overeenkomt met 101 kg voor de plant beschikbare of werkzame N.

Hennep is een teelt die weinig ziekten en plagen kent. Mits een snelle gewasopkomst en hoge plantdichtheid, worden onkruiden snel onderdrukt. Bij inzaai dient men er voornamelijk op te letten dat het zaad voldoende bedekt wordt zodat vogelschade kan vermeden worden (grow2build.eu - Brochure farmers).

Net zoals bij vlas, bestaat de buitenzijde van de hennepsteel (=de bast) uit een uiterst sterke vezel (Fig. 2.2). **Hennep oogsten voor deze lange vezel, verwerkbaar in textieltoepassingen, gebeurt idealiter bij de start van de bloei**, wanneer de primaire ('lange') vezelontwikkeling maximaal is, de cellulose-inhoud voldoende hoog is en lignificatie (verhouting) nog niet optreedt (Liu et al. 2015; Liu et al. 2018; Westerhuis et al. 2019). Bij de start van de bloei, verschuift de nutriëntenflow en koolstofverdeling binnen de plant van lengtegroei en de daaraan gekoppelde 'lange' vezeltoename naar de ontwikkeling van bloemen en zaden (Faux et al. 2013, Tang et al. 2016). Om de steeds zwaarder wordende planten te ondersteunen worden bovendien (korte) secundaire vezels gevormd (Liu et al. 2018, Westerhuis et al., 2019), wat de vezelkwaliteit en -opbrengst benadeelt (Mediavilla et al. 2001). Indien aan een hoge plantdichtheid gezaaid, zoals gangbaar voor hennep als vezelgewas, bestaat de opbrengst op het einde van de vegetatieve fase vrijwel louter uit stengelmassa.



Figuur 2.2. Dwarsdoorsnede hennepstengel (bron: www.hempalta.com).

In Vlaanderen, ligt de teelt van vezelhennep maatschappelijk nog steeds enigszins gevoelig gezien de mogelijke verwarring met de teelt van Cannabis voor hallucinogene doeleinden. Men dient voor het telen van hennep een **vergunning aan te vragen** bij het

Departement Landbouw en Visserij met vermelding van de uitgezaaide oppervlakte, de locatie én het uit te zaaien ras (lv.vlaanderen.be). **Enkel hennepassen voorkomend op de Europese rassenlijst mogen geteeld worden en het zaaizaad moet gecertificeerd zijn.** De landbouwer plaatst na inzaai een signalisatiebord met de verleende teeltvergunning aan de rand van het perceel en meldt later de start van de bloei (lv.vlaanderen.be - Melden van teeltintentie hennep). Het correct melden van vezelhennep teelt vraagt enige aandacht maar laat ook toe extra landbouwsubsidies te bekomen.

1. Opzet veldproeven

Rassenproef

Om het opbrengstvermogen van een bepaald ras optimaal te evalueren, worden bij voorkeur de resultaten over meerdere proefjaren beschouwd. Dit om variatie in opbrengst, eigen aan de groeiomstandigheden van een specifiek teeltjaar, uit te middelen. In de opeenvolgende teeltjaren 2017, 2018 en 2019 werden daarom zeven hennepassen, voorkomend op de Europese rassenlijst, uitgezaaid op de proefhoeve te Bottelare (Merelbeke; Tabel 2.1). In deze regio primeert een **lichte zandleembodem**, wat een geschikt bodemtype is voor hennep teelt (Danckaert et al. 2007). De invloed van bodemvariatie werd binnen 'Eigen Kweek' niet nader onderzocht.

Proeven werden steeds opgezet met vier herhalingen per onderzocht hennepas ('plots'; cfr. gerandomiseerde blokkenproef) en een standaard proefveldgrootte ('plotgrootte') van 15 m². Zaden werden op een diepte van ca. 2-3 cm en een rij-afstand van 15 cm, in een voorafgaand geploegd en later fijn en gelijkmatig gelegd zaaibed gedruild met een zaaimachine geschikt voor het aanleggen van kleinere proefvelden.

Tabel 2.1. Overzicht opgevolgde hennepassen binnen project 'Eigen Kweek'.

Cultivar	Gebruikte afkorting	Mandataris	Teeltjaar	Voortplantings-type
USO 31	USO	Oekraïne	2017/2018/2019	Eenhuizig
Dacia Sequieni	DAC	Roemenië	2017/2018/2019	Eenhuizig
Bialobrzeskie	BIA	Polen	2017/2018/2019	Eenhuizig
Futura 75	FUT	Frankrijk	2017/2018/2019	Eenhuizig
Carmagnola Selezionata	CS	Italië	2017/2018/2019	Tweehuizig
Santhica 27	S27	Frankrijk	2018/2019	Eenhuizig
Santhica 70	S70	Frankrijk	2018/2019	Eenhuizig

Doorheen het groeiseizoen, werd de opkomst, groei en het bloeitijdstip opgevolgd. Bij bloei - bepaald als het moment waarop minimaal 50% van de planten minstens één geopende bloem vertonen (Tang et al. 2016) - werd de gemiddelde plantdichtheid, plantdiameter op stoppelhoogte (ca. 10 cm) en stengellengte opgemeten en de bovengrondse biomassa per plot geoogst (Fig. 2.3). Oogsten gebeurde met een dubbele maaibalk (breedte 1.5 m), geschikt voor kleine proefpercelen, maar niet adequaat naar effectieve teelt toe (zie punt 3. Oogstmechanisatie). De geoogste biomassa per plot werd direct na oogst gewogen. Stengels werden hierna manueel parallel uitgespreid op het veld voor veldroten gedurende vijf tot zes weken (voor meer uitleg zie Luik 2. Veldroten en vezelextractie op de vlaswingellijn).

Voor het vergelijken van de verschillende rassen doorheen de drie teeltjaren werd steeds een **inzaaitijdstip begin mei** gehanteerd, wat een normaal inzaaitijdstip is voor onze regio (Struik et al., 2000; Van der Werf, 1994; Westerhuis et al., 2009). De zaaidichtheid bedroeg **240 kiemkrachtige zaden per m²** (240 z/m²). De kiemkracht van de zaden werd hierbij vooraf onder ideale omstandigheden bepaald (~80-90%). Dit stemt, afhankelijk van het cultivar-specifieke duizendkorrelgewicht, overeen met een zaaidichtheid tussen **45 en 50 kg per hectare** zoals algemeen aangeraden voor vezelhennep voor diverse doeleinden op basis van eerder Europees onderzoek (grow2build.eu - Brochure farmers; Amaducci et al. 2015).



Figuur 2.3. Oogsten veldproef (links) en afwegen biomassa (rechts).

Voor de rassenproef in 2017 en 2018 werd ook het vezelgehalte van ongerote ('groene') stengels bepaald op een onthoutingsapparaat (analoog aan de vezelgehaltebepaling van ongeroot gerepeld strovas). Hierbij werd de vezelrijke bast mechanisch gescheiden van de houtachtige kern door +/- 25 gedroogde, groene (= ongerote) stengels tussen zware metalen rollen te pletten. Het gemiddelde vezelgehalte per ras werd als het verschil in gewicht voor en na brakelen bepaald.

Zaaiomstandigheden

Voor optimalisatie van het inzaaitijdstip werd in teeltjaar 2017, naast de boven beschreven 'standaard' rassenproef, een analoge proef later ingezaaid, namelijk op 30 mei ('2017_laait'). In teeltjaar 2018, werd een tweede proef pas ingezaaid op 14 augustus ('2018_winter'). Deze winterteelt werd niet geoogst bij bloei (midden november) maar geroot op de stengel. Oogsten vond pas midden februari plaats, vanaf de veldomstandigheden dit toelieten. Zoals aangeraden werd de winterteelt aan een lagere densiteit ingezaaid, nl. slechts 120 zaden/m² en bedroeg de bemesting slechts 50 kg werkzame stikstof/ha (pers. comm. met NFC GmbH Nettle Fibre Company, Duitsland).

In teeltjaar 2019 werd op het standaard inzaaitijdstip (begin mei) ook gezaaid aan een hogere zaaidensiteit, nl. **360 zaden per m² ('2019_dens'; vergelijkbaar met 70-75 kg zaaizaad/hectare)**. Dit is de zaaidichtheid die sinds kort in Frankrijk door de coöperatieve LCbio (linetchanvrebio.org) gehanteerd wordt en ook geadviseerd wordt door het Franse

zaadveredeling en -vermeerderingsbedrijf HEMPit (hemp-it.coop). Een overzicht van de zes verschillende veldproeven uitgevoerd te Bottelare is te vinden in Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Overzicht veldproeven 'Eigen kweek' te Bottelare (2017-2018). De rassenproef ('standaard') is licht-grijs gemarkeerd.

Proef	Datum zaai	Zaaidichtheid (kiembare zaden/m ²)	N-beschikbaar (kg/ha)
2017_standaard	5/05/2017	240	100
2017_laai	30/05/2017	240	100
2018_standaard	17/05/2018	240	100
2018_winter	14/08/2018	120	50
2019_standaard	3/05/2019	240	100
2019_dens	3/05/2019	360	100

Dataverwerking

De opbrengst in alle veldproeven werd bepaald als de drogestof (DS)-opbrengst van de geoogste bovengrondse biomassa (~stengelmassa), opgemeten per plot. De gewasontwikkeling, plantbiometrie bij oogst (diameter, hoogte en gewasdensiteit) en DS-opbrengst werd geanalyseerd met General Linear Models (GLMs) met genotype, proef (jaar), en hun interactie als effecten. Statistisch beduidende effecten werden nadien onderzocht met een Tukey post-hoc test, waarbij nagegaan wordt welke categorieën paarsgewijs verschillen. Statistisch significante verschillen ($P < 0.05$) worden in de tabellen met resultaten van gemiddelde groei- en opbrengstvariabelen aangeduid met een verschillende lettercode. Uitgebreide statistische output wordt weergegeven in de bijlage (Tabel S1-S3).

De onderzochte biometrische en opbrengst-variabelen waren normaal verdeeld, of benaderden deze en werden daarom als normaal verdeeld verondersteld.

2. Resultaten veldproeven

Invloed weer -en zaaioomstandigheden

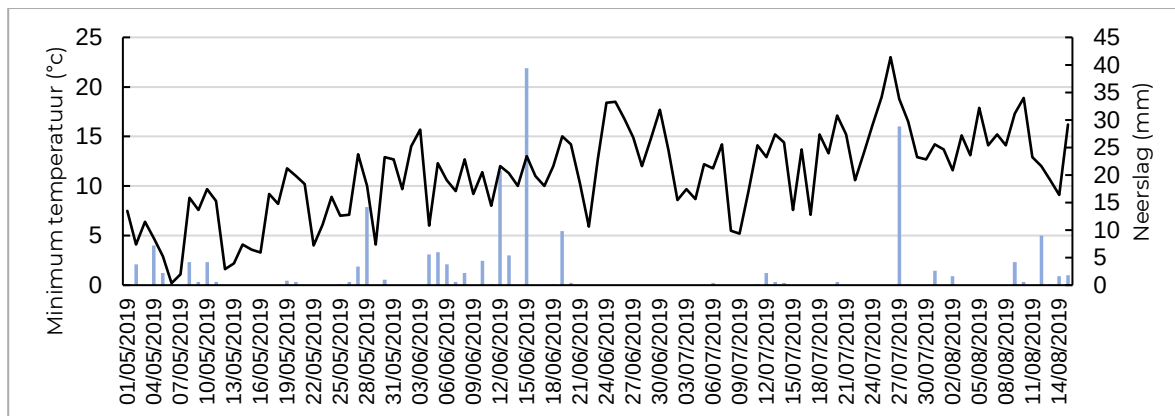
In de onderzochte teeltjaren 2017-2019, waren weersextremen eerder schering dan inslag. Teeltjaar 2018 werd gekenmerkt door extreme hittepieken in de zomermaanden en een aanhoudend gebrek aan neerslag (Tabel 2.3). De eerste helft van mei 2019 was dan weer erg koud terwijl juni 2019 uitzonderlijk warm was. Dit bemoeilijkte de eenduidige interpretatie van sommige resultaten, maar maakte het ook mogelijk het potentieel van hennep teelt in functie van klimaatsverandering in te schatten.

Tabel 2.3. Gemiddelde maximumtemperatuur, minimumtemperatuur en neerslagsom gedurende de teeltseizoenen 2017-2019 (zomerteelt).

	2017			2018			2019			Normaal		
	Tmax (°C)	Tmin (°C)	NS (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	NS (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	NS (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	NS (mm)
Mei	21,4	8,9	16,6	22,2	8,2	34,4	18,1	6,9	43,8	18,1	9,2	66,5
Juni	25,8	13,1	24,4	24,2	14,3	5,0	25,8	12,3	98,8	20,6	11,9	71,8
Juli	24,9	12,6	69,4	29,8	14,1	12,4	26,8	13,0	36,0	23,0	14,0	73,5
Aug	24,5	12,2	82,2	25,4	13,5	76,4	26,7	12,8	36,4	22,6	13,6	79,3

Bron: metinet – station Bottelare. Normaal = normaalwaarden 1981 (Ukkel, KMI). Uitzonderlijke of zeer abnormale maandwaarden staan in het vet.

Buitengewone koude of droogte lijkt voornamelijk een nefaste invloed uit te oefenen op de kieming en initiële ontwikkeling van het gewas ('veldopkomst'; Tabel 2.3). Zo was de uiteindelijke veldopkomst in 2017 lager in de proef die pas ingezaaid werd op 30 mei ten opzichte van deze begin mei. Eind mei 2017 was er amper neerslag ('2017_laai'; bron: metinet – station Bottelare). Voor de proeven in 2019, ingezaaid op 3 mei, bedroeg de opkomst slechts de helft van de proef ingezaaid rond éénzelfde tijdstip in 2017. Dit was wellicht te wijten aan het zeer koude weer de week na inzaai. Hennep kiemt normaliter 3 tot 7 dagen na zaai (Mediavilla et al., 1998). Voor een goede kieming en initiële gewasontwikkeling wordt een bodemtemperatuur van idealiter 12 à 14°C en niet lager dan 6 à 8°C geadviseerd (grow2build.eu - brochure farmers). De eerste dagen na zaai zakte de minimum luchttemperatuur echter tegen het vriespunt (0.1 °C op 6/05/2019 en 1.1 °C op 7/05/2019; Fig. 2.4), wat de kieming in 2019 wellicht belemmerde (Fig. 2.5).

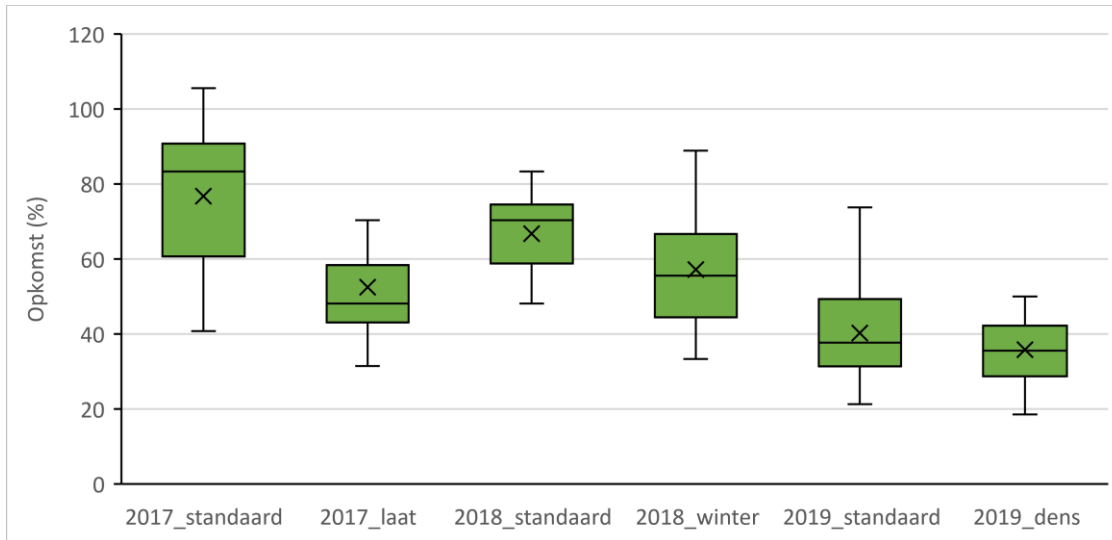


Figuur 2.4. Gedetailleerde weersgegevens voor teeltjaar 2019.

Tabel 2.4. Overzicht opkomst, biometrie bij oogst en opbrengst van henneproeven te Bottelare (2017-2019). De weergegeven waarden zijn het gemiddelde per proef (voor gemiddelde waarden per hennepzas zie bijlage TabelS2).

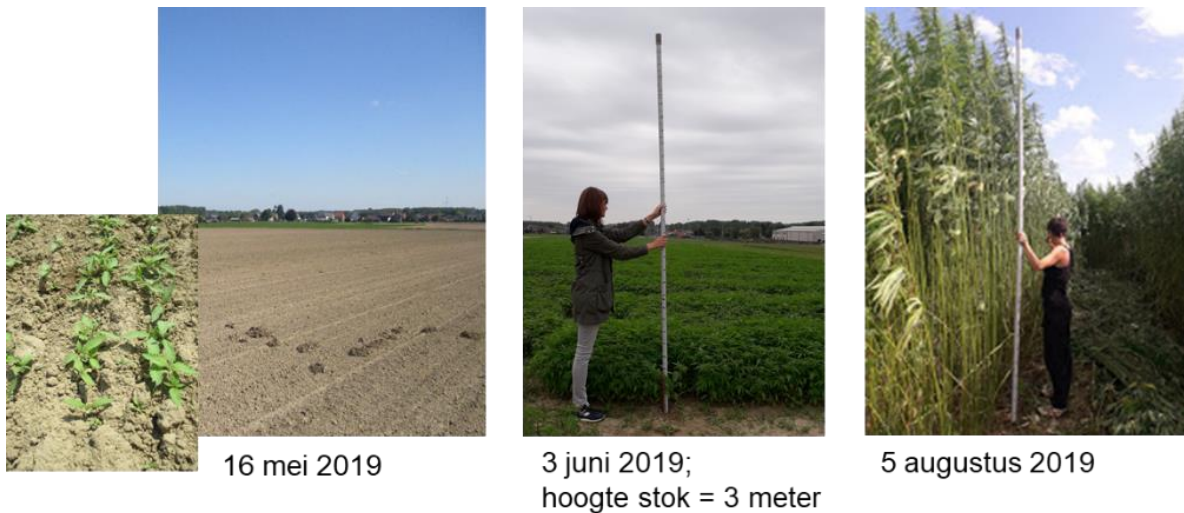
Proef	N	Opkomst (%)	Dichtheid (stengels/m ²)	Hoogte (cm)	Diameter (mm)	DS-opbrengst (ton/ha)
2017_standaard	18	76,76 ^d	184,22	230,01 ^c	8,26 ^b	10,31 ^c
2017_laai	20	52,47 ^b	125,93	263,69 ^d	9,61 ^c	9,60 ^c
2018_standaard	28	66,73 ^{cd}	160,16	192,74 ^b	6,62 ^a	8,36 ^b
2018_winter	28	57,14 ^{bc}	68,57	87,15 ^a	6,06 ^a	0,58 ^a
2019_standaard	26	40,28 ^a	96,67	305,12 ^e	10,33 ^c	13,90 ^d
2019_dens	28	35,81 ^a	128,92	300,27 ^e	9,85 ^c	13,94 ^d

Lettercodes geven de output van de Tukey-test weer (indien er een significant verschil, $P < 0.05$, is tussen twee categorieën worden zij aangeduid met een verschillende letter). 'standaard' slaat op de rassenproef die steeds gezaaid werd begin mei aan 240 zaden/m².

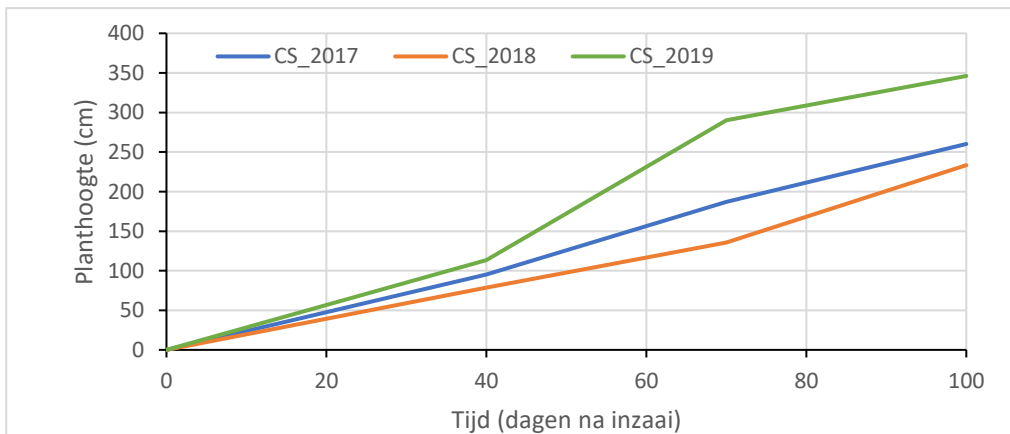


Figuur 2.5. Boxplots opkomst veldproeven vezelhennep (2017-2019), bepaald als het percentage planten per m² vs. de beoogde zaaidichtheid. Kruisjes geven het gemiddelde weer; de 'boxes' de grenzen van het eerste en derde kwartiel en de middellijn van de mediaan. Wiskers tonen de dataspreiding (zonder uitschieters).

Na een eerste fase van kieming en initiële vestiging (ca. 3-4 weken na inzaai), **groeide hennep als zomerteelt zeer snel, tot meer dan drie cm per dag** (Fig. 2.6). Warm weer, zoals bijvoorbeeld in juni 2019 (Tabel 2.3), bevordert sterk de vegetatieve stengelgroei. De ontwikkeling van een penwortel laat hennep bovendien toe water te onttrekken uit diepere grondlagen maar een aanhoudend gebrek aan neerslag, zoals in de zomermaanden juni en juli 2018 (Tabel 2.3), lijkt de vegetatieve groei toch enigszins te temperen (Fig. 2.6 en 2.7).



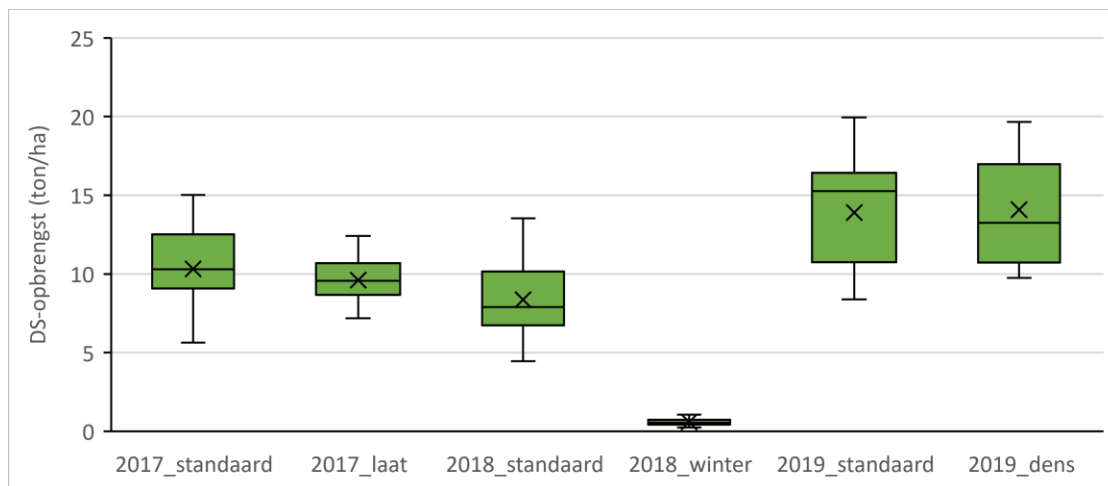
Figuur 2.6. Groei hennep te Bottelare in 2019. Links: zaailingen; midden: aanvang vegetatieve lengtestrekking; rechts: hoogte bij bloei.



Figuur 2.7. Groei weergegeven als planthoogte in functie van de tijd voor het laatbloeiend hennepiras CS in 2017-2019 (zaai begin mei). Gelijkaardige trends werden bekomen voor andere genotypes (niet getoond).

In **zomerteelt** varieerde de gemiddelde opbrengst **sterk tussen de onderzochte teeltjaren: van 8,4 ton drogestof/ha in 2018 tot wel 13,9 ton droge stof/ha in 2019** (gemiddelde over de onderzochte rassen; Tabel 3). Deze waarden stemmen overeen met de opbrengsten beschreven voor vezelhennep in andere, eerder noordelijk gelegen Europese regio's (Tang et al. 2016). Ondanks de hete zomermaanden en de erg variabele weersomstandigheden in de onderzochte teeltjaren, geeft vezelhennep in zomerteelt dus een goede tot zeer goede opbrengst.

Een slechte gewasopkomst (zie o.a. de proeven 2017_laag en 2019_standvast in Fig. 2.5), en uiteindelijk lage standdichtheid, leidt bovendien niet tot minder stengelmassa bij oogst: **een lagere standdichtheid lijkt gecompenseerd te worden door een algemeen dikkere en langere stengel** (zie 2017_laag vs. 2017_normaal in Tabel 2.5; en ook Westerhuis et al. 2019). **Naar de productie van fijne, lange textielvezels toe is dit echter niet wenselijk.** Dikkere en hogere planten investeren meer in korte, secundaire vezel om hun gewicht te ondersteunen. Hierdoor neemt het gehalte lange, primaire bastvezel, bruikbaar in hoogwaardige textieltoepassingen, af (Westerhuizen, 2019). Dikke stengels en sterke variatie in omvang tussen planten kunnen bovendien het oogsten en mechanische extractie van de vezels bemoeilijken.



Figuur 2.8. Gemiddelde biomassa veldproeven 2017-2019, bepaald als de drogestof-opbrengst.

Inzaaien wanneer relatief zacht en vochtig weer voorspeld wordt, lijkt dus cruciaal om een goede opkomst en uiteindelijk hoge standdichtheid en vezelopbrengst te garanderen.

Wanneer de draagkracht en bewerkbaarheid van de bodem goed is dient men eerder naar de voorspelde weersomstandigheden dan naar de kalender te kijken. Gezien het lange groeiseizoen in onze contreien, kan later inzaaien (tot eind mei) in principe nog een volwaardige stengel-opbrengst opleveren. De meeste rassen in de later ingezaaide proef (30 mei 2017) kwamen ook sneller na inzaai tot bloei dan deze ingezaaid op 5 mei 2017 (ca. 20-25 dagen eerder, Tabel S1).

Inzaaien aan een hogere zaaidichtheid in teeltjaar 2019 leverde, op een iets dunnere stengel na, geen duidelijke verschillen op. Het is echter onduidelijk hoe representatief dit resultaat is gezien de erg lage opkomst in 2019. De potentieel positieve invloed van een hogere zaaidensiteit wordt daarom verder onderzocht binnen het vervolgproject Cannabisness.

Vezelhennep in zomerteelt lijkt dus veelbelovend als robuuste, alternatieve teelt in het kader van klimaatverandering. Hennep als winterteelt leverde echter erg weinig stengelmassa op. De bekomen stro-opbrengst bedroeg minder dan één tiende van de opbrengst in zomerteelt (Fig. 2.8; Tabel 2.4). Ook werd bij de oogst, in een koude maar droge periode midden februari, vastgesteld dat het 'roten op de stengel' gedurende de vrij natte wintermaanden tot 'over'roten had geleid. De meeste vezel was reeds losgekomen van de stengel en weggewaaid – eerder oogsten was niet mogelijk omdat de veldomstandigheden dit niet toelaten. Mogelijk biedt iets vroeger inzaaien, een hogere zaaidichtheid en/of een hogere stikstofgift hier enig soelaas – in Duitsland behaalde men 2-3 ton biomassa per hectare (NFC GmbH Nettle Fibre Company). Maar onder niet-permafrost omstandigheden, zoals bij ons, lijkt winterteelt voor vezeldoeleinden weinig opportuun.

Interactie genotype en gewasontwikkeling

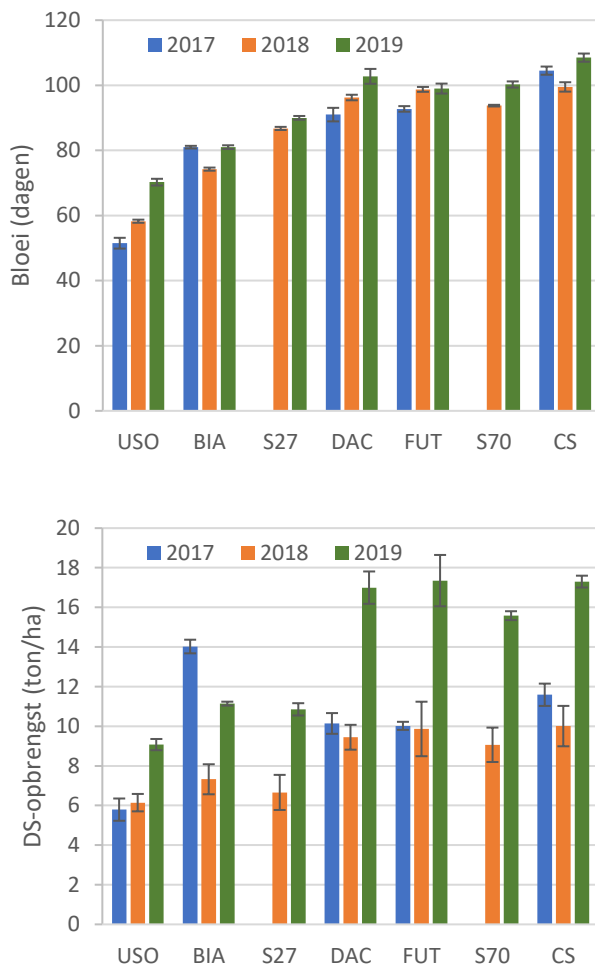
Vergelijking van hennepassen onder gelijkaardige omstandigheden ('rassenproef') toont sterke variatie tussen rassen in bloeitijdstip, stengellengte en drogestof-opbrengst ($P_{\text{genotype}} < 1 \times 10^{-6}$; zie bijlage Tabel S2). Opbrengstverschillen tussen teeltjaren waren aanzienlijk (zie hoger en Tabel S1), maar de relatieve verschillen tussen de zeven onderzochte genotypes lijken vrij constant binnen teeltjaren (Fig. 2.8B). Dit alvast voor de teeltjaren 2018 en 2019. Het in Polen ontwikkelde ras Bialobrzeskie vormt enigszins een uitzondering op deze trend. Dit relatief vroegrijpe ras presteerde in het teeltjaar 2017 uitzonderlijk goed ten opzichte van de andere onderzochte hennepassen, terwijl de opbrengsten in 2018-2019 eerder laag waren - gelijkaardig aan het middellate ras Santhica 27. De oorzaak van deze variabiliteit is onduidelijk maar onderstreept het belang van meerjarige rassenproeven.

Het bloeitijdstip wordt sterk beïnvloed door het genotype en varieert weinig tussen de onderzochte teeltjaren (Fig. 2.9A). Aangezien voor textieldoeleinden idealiter geoogst wordt bij bloei (Westerhuis et al. 2019), kennen laatbloeiende rassen 'een langere tijd op het veld' en logischerwijs een langere periode van vegetatieve groei (=vnl. blad- en stengelontwikkeling). De laatbloeiende rassen, Futura, Dacia, Santhica 70 en CS, hadden dan ook een langere stengel en een hogere drogestof-opbrengst (Tabel 2.6; en Bijlage Tabel S3). **Het genotype-specifieke bloeitijdstip en de daaraan gelinkte stengellengte bepalen dus, samen met de weersomstandigheden binnen een bepaald teeltjaar, in belangrijke mate de uiteindelijke stengelmassa en drogestof-opbrengst (Tabel 2.5; Fig. 2.9).**

Tabel 2.5. Resultaat rassenproef 'Eigen Kweek'. Gemiddeld bloeitijdstip, biometrische kenmerken en drogestof-opbrengst van de zeven onderzochte hennepassen.

Genotype	N	Bloei (dagen)	Planthoogte (cm)	Diameter (mm)	DS-opbrengst (ton/hectare)
USO 31	12	60,00 ^a	207,22 ^a	7,58	7,00 ^a
Bialobrzeskie	11	78,55 ^b	219,52 ^{ab}	7,85	10,80 ^b
Santhica 27	8	88,38 ^c	210,16 ^a	7,74	8,76 ^a
Futura 75	11	96,64 ^d	245,45 ^{bc}	7,59	11,96 ^b
Dacia Sequieni	12	96,67 ^d	254,33 ^c	9,27	12,19 ^b
Santhica 70	8	97,00 ^d	268,25 ^{cd}	8,57	12,32 ^b
Carmagnola Selezionata	11	104,17 ^e	287,44 ^d	9,74	12,57 ^b

Hennep is een kwantitatieve **korte-dag plant**. Na een eerste vegetatieve groeispuurt, waarbij voornamelijk de temperatuur bepalend is, zal hennep tot bloei komen eenmaal de nachten voldoende lang zijn (drempelwaarde ~10–12 h, niet-onderbroken donkerte). Deze drempelwaarde varieert tussen genotypes (Salentijn et al. 2019), zoals onze resultaten bevestigen. Dit valt te verklaren door lokale adaptatie aan het heersende dag/nachtritme van de landrassen gebruikt in de veredeling van de onderzochte hennepvariëteiten. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het merendeel van de onderzochte rassen ontwikkeld zijn op basis van kruisingen met veelal in de USSR in de jaren '60 ontwikkelde variëteiten van onduidelijke oorsprong. Dit zijn dus veelal geen effectieve landrassen. Het land van oorsprong weerspiegelt dus niet per se de breedtegraad waarop fotoperiodische ('dag/nachtritme') adaptatie plaatsvond.



Figuur 2.9. Bloei (boven) en geëxtrapoleerde biomassa-opbrengst (onder) per genotype en teeltjaar. De foutenbars geven de standaardfout op het gemiddelde weer (op basis van 4 herhalingen per ras). Rassen zijn geordend volgens bloeitijdstip (~tijd op het veld).

Naast de impact van plantlengte en stengelopbrengst, zal ook het **bast-gehalte (~totaal vezelgehalte) de potentiële vezelopbrengst bepalen**. Het bastgehalte was algemeen hoog (27 tot 38 % van het oorspronkelijke stengelgewicht voor de onderzochte hennepassen; Tabel 2.6), zoals te verklaren valt door de keuze voor hennepassen geselecteerd voor vezelopbrengst bij aanvang van het project. Er was geen significant verschil tussen de twee onderzochte teeltjaren (paired-t=-1.82, df=4; P>0.05). Het bastgehalte was ook niet gecorreleerd met plantkarakteristieken zoals bloeitijdstip, diameter, hoogte en gewasdichtheid. Het recent ontwikkelde laatrijpe vezelras, Santhica 70, had het hoogste vezelgehalte, gevolgd door het meest vroegrijpe ras, USO31. De geschatte bastvezel-opbrengst per cultivar op basis van de DS-opbrengst en het bast-gehalte voor 2018 varieerde relatief weinig tussen de onderzochte rassen; van 2,17 voor Santhica27 tot 3,47 ton/hectare voor Santhica 70 (Tabel 2.6). De geschatte, potentiële vezelopbrengst was hoger voor de laatbloeiende cultivars.

Tabel 2.6. Bast-gehalte per onderzocht hennepas, bepaald op basis van ongerote, gedroogde stengels, en de geschatte potentiële vezelopbrengst per hennepas (totaalvezel). De potentiële vezelopbrengst werd bepaald als het product van de DS-opbrengst en het bastgehalte.

Genotype	N	Bast% 2017	Bast% 2018	Potentiële vezelopbrengst (ton/hectare)
USO 31	6	38,01	37,89	2,33 ^a
Bialobrzeskie	6	34,02	33,44	2,45 ^{ab}
Santhica 27	4	-	32,59	2,17 ^a
Futura 75	6	28,72	31,19	3,08 ^b
Dacia Sequieni	6	32,54	34,41	3,25 ^b
Santhica 70	4	-	38,31	3,47 ^b
Carmagnola Selezionata	5	25,07	30,73	3,08 ^b

Rassen zijn gerangschikt volgens bloeitijdstip. Groenwaardes op basis van statistische verschillen in de geschatte bast-opbrengst.

3. Oogstmechanisatie

Uitgebreid literatuuronderzoek gaf aan dat er geen adequate oogstmachine naar Europese, industriële standaarden beschikbaar is voor het oogsten van hennep voor lange-vezeldoeleinden (Govaert, 2017 - Bachelor thesis op project Eigen Kweek). Binnen Europa, wordt vezelhennep momenteel hoofdzakelijk verhakseld tot korte stengelstukken en kris-kras verzameld, waardoor men een kort, niet-georiënteerd vezelproduct bekomt (Fig. 2.10). Deze korte, 'technische' vezel is echter ongeschikt voor het spinnen van hoogkwalitatief garen.



Figuur 2.10. Vezelhennep oogsten met een aangepaste Claas Xerion 4000 VC van DunAgro uit Oud-Pekela. Deze maaï- strippercombinatie scheidt het eiwit rijke loof van de stengel en laat de verhakselde vezelrijke stengel achter op het land.

Om de lange vezelbundels intact te houden, zouden hennepstengels idealiter bij oogst in een regelmatig, parallel zwad op het veld gelegd moeten worden – analoog aan vlas geoogst voor de lange vezel met een vlasslijter. Indien deze bij de oogst ook versneden worden in stukken van ca. 1 meter kan hennep in principe verder verwerkt worden met de bestaande machines voor het keren, oprollen (in ronde balen) en zwingelen van vlas (zie luik 'Veldroten en mechanische vezelextractie'). De Belgische pre-starter HempInvest werkt momenteel aan een prototype oogstmodule geschikt voor het oogsten van hennep voor de vlasverwerkingslijn op industriële schaal en hoopt deze module binnen afzienbare tijd in werking te kunnen stellen (Fig. 2.11).



Figuur 2.11. Prototype oogstmodule hennep voor lange vezeldoeleinden, ontwikkeld door de firma Hemplnvest (getoond op 26-06-2019 te Bottelare – werking niet gedemonstreerd).

Een potentieel alternatief is de selectie van vroegrijpe 'korte' hennepassen (uiteindelijke hoogte < 1,30 m) en deze te oogsten met de bestaande vlasoogst-machinerie ('vlastrekker' of 'vlasslijter'). Hier valt wel op te merken dat een dergelijk initiatief in Italië, waarbij hennep zeer dicht gezaaid werd (600 zaden/m²; gelijkaardig aan vlas), een bijzonder lage vezelopbrengst gaf (MultiHemp rapport, 2017). Het is echter onduidelijk of 'korte' hennep, gezaaid aan een meer gangbare plantdichtheid, geoogst kan worden met een vlastrekker. De ontwikkeling van een stevige penwortel kan het 'trekken' bemoeilijken.

Oogstmechanisatie is momenteel een belangrijke bottleneck naar teeltoptimalisatie van hennep voor lange-vezeldoeleinden toe. Om hennep teelt voor lange-vezeldoeleinden, zoals geweven textiel, rendabel te maken dient hier stevig op ingezet te worden in vervolgprojecten.

Veldroten en vezelextractie op de vlaszwingellijn

Het roten is een scharnierstap tussen de *upstream* en *midstream* segmenten in de keten want het beïnvloedt de vezelopbrengst en de basiskwaliteiten van de ruwe bastvezels, en daarmee de hoeveelheid vermarktbare vezels, hun intrinsieke kwaliteiten en de geschiktheid voor verdere verwerking. Voor vlas is dauwroten op het veld nog steeds de meest gangbare, en bovendien de meest economische en ecologisch methode, wat ook voor hennep toepasbaar lijkt. Bij veldroten zal de combinatie van voldoende vocht, geschikte temperaturen en de aanwezigheid van micro-organismen leiden tot pectineafbraak en het vrijkomen van de vezels. Dit proces is dus louter klimaatafhankelijk en vereist de nodige veldkennis. Onvoldoende groot stro kan de latere mechanische vezel-extractie bemoeilijken, waardoor vezels breken of verzwakken (Hänninen et al. 2012). Bij overroten treedt degradatie van de cellulose-vezel snel op (Liu et al. 2015).

Groot hennepstro, **versneden op een lengte van ca. 1 m, kan in principe mechanisch ontvezeld worden op de bestaande vlaszwingellijn** (Amaducci & Gusoviodus, 2010). Bij het zwingelen van vlas wordt eerst het harde omhulsel (houtpijp) van de stengel gebroken ('brakelen') en verwijderd door de vezels tussen twee tegen elkaar indraaiende molens door te voeren. Daarna worden de vezels verder opgezuiverd in de vlásturbine. De vezelopbrengst, -kwaliteit en verwerkbaarheid, van hennepstro op de bestaande, industriële vlasinfrastructuur werd tot dusver echter nog niet duidelijk in kaart gebracht (maar zie Musio et al. 2018). In 'Eigen Kweek' werd de lange vezelopbrengst en -kwaliteit van hennep op een bestaande industriële vlaszwingellijn, en de mate van variatie tussen hennepassen en teeltjaren, grondig bepaald. Bovendien werd onderzocht of het bespuiten van hennepstengels met een oplossing van enzymes (pectinases) bij aanvang van het veldroten de uiteindelijke vezelkwaliteit kan aansturen (Antonov et al. 2017; Liu et al. 2015).

1. Werkwijze

In teeltjaar 2017 werd voor de standaardproef (zie 'rassenproef' in Luik 1. Teelt) 45 m² per proefveldje ('plot') ingezaaid, waarbij elke plot werd opgedeeld in drie gelijke subplots van 15m². Eén deel stro bleef na de oogst op het veld liggen voor klassiek veldroten, een tweede deel bleef op het veld voor enzymatisch veldroten en een derde deel werd groen geoogst en gebruikt als testmateriaal voor enzymatisch roten in batch (zie Luik 3). Deze

enzymatische proeven worden binnen het luik 'Teelt' niet verder besproken. In teeltjaar 2018 en 2019 bedroeg de plotgrootte 30m² en werd enkel klassiek veldroten toegepast.

Voor het veldroten werden de stengels na oogst (zie Luik. Teelt) manueel parallel uitgespreid op het veld. Voor het enzymatisch geassisteerd veldroten ('EVR') werden deze stengels bij aanvang van de veldroting egaal besproeid met een pectinase (Texazym SER-7, Inotex; verdunning 1/20 en 500 ml oplossing per geoogste plot van 15 m²). Dit enzymatisch geveldroot stro (EVR) werd verder op eenzelfde wijze behandeld en verwerkt. De roting werd in het eerste teeltjaar wekelijks opgevolgd. Na **veldroten gedurende 5 tot 6 weken was de bast grijs-bruin en liet makkelijk los van de stengel** (~rating categorie C6 voor vlas; CRA-Gembloux, 2013; Fig. 2.12). Om de twee tot drie weken werden de stengels manueel gekeerd. Deze rotingsduur werd in teeltjaren 2018 en 2019 verder aangehouden.



Figuur 2.12. Hennepstengels bij roten op het veld. De figuur rechts toont het moment waarop de vezel als voldoende groot beschouwd werd.

Na veldroting werden de hennepstengels enkele maanden droog bewaard, waarna ze in februari/maart gezwingeld werden op de vlaszwingellijn van het Nederlandse bedrijf van de Bilt Zaden en Vlas BV (Zeeland, NL; fabrikant: Depoortere NV). Dit leverde, net zoals bij



Figuur 2.13. Brakelen (A), zwingellijn (B), lange vezel (C), 'klodden' (D) en 'scheven' (E).

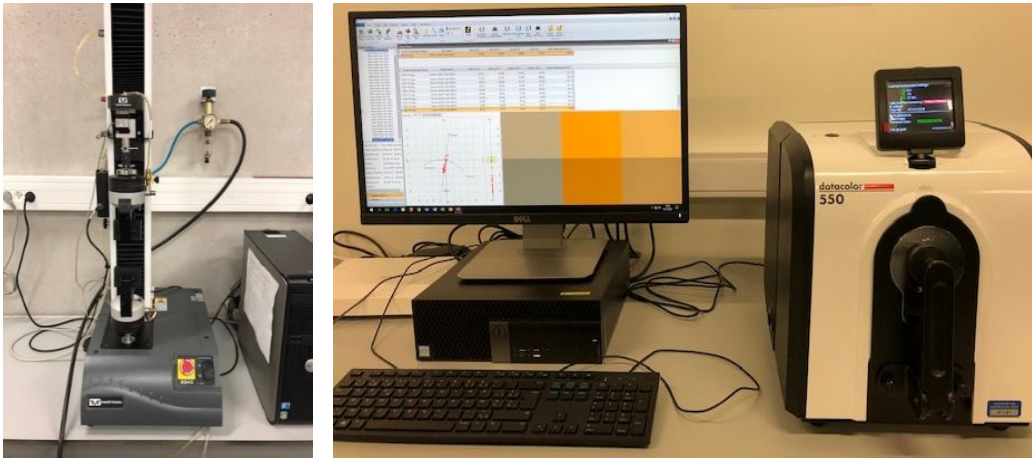
glas, de waardevolle lange hennepvezel op, naast 'klodden' (korte vezels met daarin nog stukjes hout en scheven (restproduct houtachtige kern; Fig. 2.13). De korte vezels zijn wellicht inzetbaar voor niet-geweven textiel, de scheven ondermeer als stalstrooisel.

De bekomen massa lange vezel (LV) op de glaszingellijn werd bepaald voor alle rassen in teeltjaren 2017 en 2018 op basis van de 4 herhalingen per hennepas (=plots; zie ook proefopzet luik 1. Teelt) en geëxtrapoleerd naar vezelopbrengst in ton/hectare. Voor teeltjaar 2018 werd niet alleen de lange-vezelopbrengst maar ook de hoeveelheid korte vezel 'klodden' en het initiële gewicht geroot stro per plot bepaald. Zo werd het gehalte

lange vezel, korte vezel en de totale vezel van geroot hennepstro op de vlaswingellijn geschat.

Opbrengstdata werden vergeleken tussen rassen en teeltjaren op basis van General Linear Models (GLMs) met genotype, jaar en genotype*jaar als effecten. Statistisch significante verschillen ($P < 0.05$) tussen categorieën op basis van een Tukey post-hoc test worden aangeduid met een verschillende lettercode. Opbrengstverschillen tussen 'klassiek' en enzymatisch veldroten in teeltjaar 2017 werden vergeleken met paarsgewijze t-tests (SPSS 20.0).

Naast de LV-kwantiteit, werd ook de vezelkwaliteit van de op de vlaswingellijn bekomen vezelbundels voor alle hennepassen in teeltjaar 2017 en 2018 in kaart gebracht. Hennep staat gekend als een sterke vezel maar variatie tussen rassen en verschillende rotingsomstandigheden, zou de uiteindelijke vezelsterkte kunnen beïnvloeden. De vezelsterkte werd bepaald volgens ISO 5079 (1995). Per hennepas werden 150 vezelbundels ad random gekozen en gemeten met een Instron trekbank, model 2519-105 (Fig. 2.14).



Figuur 2.14. Instron trekbank, model 2519-105 (links) en Datacolor Spectraflash SF550 (rechts).

De gebruikte afstand tussen de twee klempunten was 50 mm, de voorspanning 0,05 N. Er werd met een constante snelheid 'getrokken' van 5 mm per minuut tot de vezelbundel brak. De vezelsterkte per hennepas wordt uitgedrukt als de gemiddelde vezeltreksterkte per ras ten opzichte van de gemiddelde lineaire densiteit (tex). Lineaire densiteit is de

gemeten vezelmasse ten opzichte van de vezellengte ($ltex = 1 \text{ gram}/1000 \text{ m}$), die in belangrijke mate de fijnheid van garen zal bepalen.

Kleur is altijd een belangrijk onderdeel geweest van ruwe vezels voor textielproductie, daarom werd als tweede kwaliteitsparameter de kleur van de vezelbundels (4 stalen per plot) bepaald op basis van de YD1925 'yellowness index'. Afhankelijk van de hoeveelheid zon en de invloed van de aarde tijdens het rottingsproces zullen de vezels een grijsbruine kleur hebben die telkens anders zal zijn. Deze kleurverschillen hebben in een later stadium een invloed op de latere veredelingsstappen die nodig zijn om een bleek textielmateriaal te bekomen. Hoe lichter de oorspronkelijke vezels, hoe minder lang men moet bleken om een gewenste witheid te bekomen.

De YD1925 'yellowness index' is een systeem dat ontwikkeld werd om de geelheid van wolvezels te kwalificeren. De kleur van de gerote vezels werd gemeten met een Datacolor Spectraflash SF550 (Fig. 2.14). Elk monster (16 per cultivar) werd 4 keer gemeten. De spectrofotometer heeft een meetopening van 30 mm en gebruikte de lichtbron C 2°. De CIE-tristimuluswaarden voor X, Y, Z werden bepaald door de Datacolor-software. Nadien kan de D1925 'yellowness index' worden berekend op basis van deze waarden (ASTM-methode D1925). Op basis van deze kleurmetingen kunnen de kleurverschillen worden bepaald voor de verschillende rotingsmethoden.

Als derde kwaliteitsparameter werd de touché (het aanvoelen) van de vezels bepaald doormiddel van een blinde test. De blinde test werd uitgevoerd onder standaard atmosferische omstandigheden van 21 °C en 65% RV. Elke beoordelaar moet eerst zijn/haar handen wassen met zeep en ze drogen met een papieren handdoek zoals voorgeschreven in de AATCC-evaluatieprocedure 5 (2011). Na het wassen van de handen moet de beoordelaar 15 minuten acclimatiseren voordat men met de test begint. Tijdens deze periode wordt de beoordelaar geïnformeerd over de methodologie die zal worden gebruikt. Elke beoordelaar krijgt zijn/haar eigen set stalen om een onjuiste beoordeling als gevolg van het herhaald verhandelen van de stalen te voorkomen. De stalen worden vooraf geconditioneerd.

De blinde test werd uitgevoerd met behulp van een "gepaarde vergelijkings-methode". Tijdens deze test geeft de supervisor verschillende combinaties van twee verschillende stalen aan de beoordelaar en vraagt welke van de 2 stalen het aangenaamst aanvoelt. De supervisor vult tijdens de test het beoordelingsformulier in (Fig. 2.15). Via deze weg wordt eerst de volgorde van de stalen bepaald. Vervolgens worden de stalen in volgorde (bepaald via de blinde test) voor de beoordelaar gelegd en wordt er gevraagd een score

van 1 tot 5 te geven aan de stalen (1= onaangenaam, stijf, ruw en 5= aangenaam, soepel, zacht)

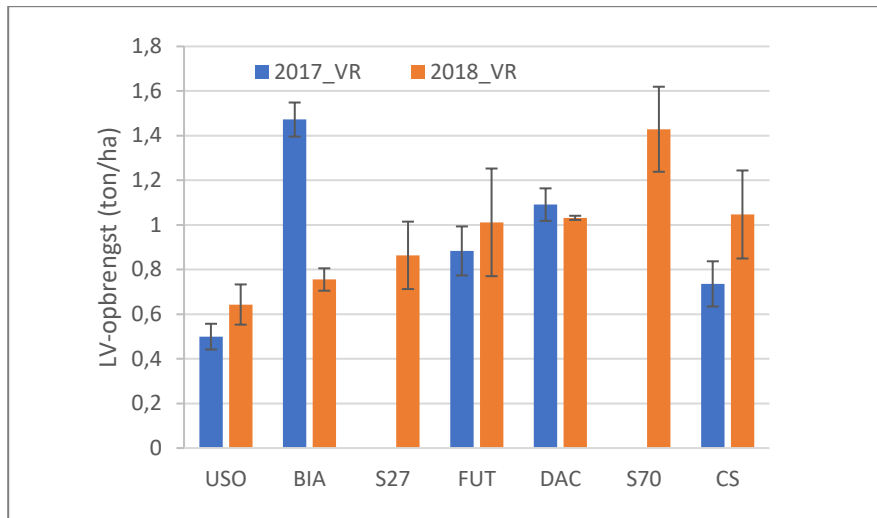
	USO 31	Bia	Dacia	Futura	CS
USO 31					
Bia					
Dacia					
Futura					
CS					

Figuur 2.15. Beoordelingsformulier blinde test

2. Resultaten vezelopbrengst

De **lange-vezelopbrengst** (LV) van het geveldrote hennepstro **bedroeg gemiddeld 0.95 ton/hectare in teeltjaar 2017 en 0.97 ton/hectare in 2018**. Vergelijking van beide teeltjaren toont sterke verschillen voor het ras Bialobrzeskie (1.4 vs. 0.7 ton/hectare), terwijl de overige vijf rassen onderzocht in zowel 2017 als 2018 vrij constant presteren (Fig. 2.16). Dit is analoog aan de variabele stro-opbrengst voor het hennep ras Bialobrzeskie (zie Luik 1. Teelt, DS-opbrengst). Hier dient wel opgemerkt te worden dat de lange vezelopbrengst voor het teeltjaar 2017 voor sommige late hennepassen (o.a. CS) mogelijk wat onderschat is omdat een deel stengel verloren ging bij het snijden van de stengels in stukken van 1m

lengte voor invoer op de zwingellijn. De LV-opbrengst data voor 2017 dienen dus eerder als indicatief opgevat te worden.



Figuur 2.16. Geschatte opbrengst lange vezel van hennepstro verwerkt op de vlaszwingellijn (gemiddelde van vier herhalingen en standaardfout). Rassen zijn gerangschikt volgens oogsttijdstip (zoals ook in Luik Teelt). Ter vergelijking, de gemiddelde lange vezelopbrengst bij vlas bedraagt 1.500 kg/ha voor de oogst van 2018 en amper 600 kg/ha voor de oogst van 2017 (Landbouwleven, 6/04/2019).

De vezelopbrengstdata voor teeltjaar 2018 zijn nauwkeuriger bepaald op basis van een grotere teeltoppervlakte van 120m² per hennepas. De gemiddelde vezelopbrengst (korte, lange en totaalvezel) per hennepas is weergegeven in Tabel 2.7. **Verschillen tussen cultivars in lange-vezelopbrengst voor het oogstjaar 2018 variëren van 0.64 ton/ha voor het vroegrijpe ras USO31 tot 1.43 ton/ha voor het recent ontwikkelde vezelras Santhica 70.** Deze twee rassen verschillen statistisch significant van elkaar terwijl alle andere onderzochte rassen intermediair scoorden (Tabel 2.7). **De hoeveelheid korte vezel (klodden) is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid lange vezel (1,02 ton/ha) en verschilt weinig tussen de onderzochte hennepassen.** De totale vezelopbrengst bedroeg dus gemiddeld 2 ton/ha. Het late ras Santhica 70 had de hoogste totale vezelopbrengst, gevolgd door CS. De totale

vezelopbrengst, de LV-opbrengst, stro-opbrengst en gemiddelde plantlengte per hennepas waren onderling sterk gecorreleerd ($P_{\text{Pearson}}-R < 0.05$; zie bijlage Tabel S3).

Tabel 2.7. Overzicht opbrengst lange vezel (LV), korte vezel (KV) en totaalvezel van natuurlijk geveldroot hennepstro voor het teeltjaar 2018, gezwingeld op een industriële vlaslijn.

Genotype	Stro (ton/ha)	LV (ton/ha)	KV (ton/ha)	TotaalV (ton/ha)
USO 31	3,63 ^a	0,64 ^a	1,09	1,73
Bialobrzeskie	4,01 ^{ab}	0,76 ^{ab}	0,81	1,56
Santhica 27	4,66 ^{ab}	0,86 ^{ab}	0,95	1,81
Futura 75	5,88 ^{ab}	1,03 ^{ab}	0,94	1,97
Dacia Sequieni	6,56 ^{ab}	1,01 ^{ab}	1,06	2,07
Santhica 70	7,06 ^{ab}	1,43 ^b	1,01	2,44
Carmagnola Selezionata	7,99 ^b	1,05 ^{ab}	1,27	2,32
<i>Gemiddelde</i>	<i>5,68</i>	<i>0,97</i>	<i>1,02</i>	<i>1,99</i>

Kleurcode op basis van statistische verschillen in lange vezelopbrengst.

Er was enige variatie in het LV-gehalte tussen rassen (zie Tabel 2.8). Zo had het recent ontwikkelde hennepas Santhica 70 het hoogste lange-vezelgehalte (20%) en Carmagnola Selezionata (CS), een selectie afgeleid voor textieldoeleinden van een oud Italiaans landras, het laagste (13%). De vijf andere onderzochte hennepassen scoorden allen intermediair.

Het percentage lange vezel bedroeg gemiddeld 17 % en het percentage korte vezel 19 %, wat een gemiddeld totaalvezelgehalte van 36 % oplevert. Het totaalpercentage vezel was het hoogst in het vroegrijpe, ras USO31 en het laagst in het zeer late ras CS. Het totale vezelpercentage was negatief gecorreleerd met het bloeitijdstip en de stro-opbrengst ($P < 0.05$).

Het totaalpercentage bepaald op basis van gerote hennepstengels na zwingelen en het totale bastgehalte gemeten voor ongerote ('groene') stengels (zie Tabel 2.6 – Luik 1. Teelt) liggen binnen dezelfde range. Verschillen (zie bvb. USO31 in Tabel 2.8) zijn mogelijk te wijten aan de beperkte hoeveelheid onderzochte groene stengels gebruikt bij het bepalen van het vezelgehalte, variatie in rottingsverliezen tussen rassen en/of verschillen in mechanische verwerkbaarheid.

Tabel 2.8. Vezelgehalte (%) van natuurlijk geveldroot hennepstro gezwingeld op een industriële vlaslijn en, vergelijking met het bastgehalte per hennep ras na brakelen van groene stengels.

Genotype	LV%	KV%	TotaalV%	Bast%
USO 31	17,49 ^{bc}	30,07	47,56	37,89
Bialobrzeskie	18,89 ^{bc}	20,17	39,05	33,44
Santhica 27	18,43 ^{bc}	20,34	38,77	32,59
Futura 75	17,58 ^{bc}	15,95	33,53	31,19
Dacia Sequieni	15,00 ^b	16,18	31,17	34,41
Santhica 70	20,20 ^c	14,32	34,51	38,31
Carmagnola Selezionata	12,82 ^a	15,94	28,77	30,73
<i>Gemiddelde</i>	<i>17,20</i>	<i>18,99</i>	<i>36,20</i>	<i>34,08</i>

De bekomen lange- vezelopbrengstcijfers voor hennep doorstaan de vergelijking met vlas ("linnen"). De gemiddelde vlasvezelopbrengst voor 2017 wordt geschat op slechts 0.6 ton/ha. De opbrengst van 2018, een uitzonderlijk goed vlasjaar, op 1.5 ton/hectare (bron: Landbouwleven, 2019-04-06). **Hennep verwerkt op de vlaswingellijn kent dus een potentieel goede vezelopbrengst. Via cultivarselectie in functie van de stro-opbrengst en het vezelpercentage kan de opbrengst voor hennep op de vlaswingellijn bovendien verder geoptimaliseerd worden.** De getoonde data zijn op basis van slechts één of twee teeltjaren. De in de nabije toekomst beschikbare data voor teeltjaar 2019 zullen 'upon request' via katrien.vandepitte@hogent beschikbaar gesteld worden.

Enzyme-geassisteerd veldroten (EVR) had geen positieve invloed op de lange vezelopbrengst na zwingelen. De LV-opbrengst voor enzyme-geassisteerd veldroten bedroeg gemiddeld 0.83 ton (+/-0.08 S.E.) vs. 0.95 (+/-0.08 SE) ton voor klassiek veldroten (paired-t₁₈= 1.58, P>0.05).

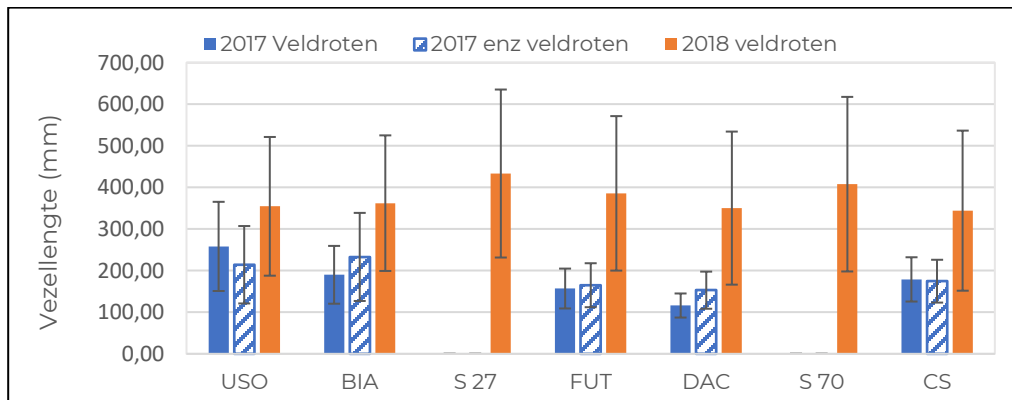
3. Vezelkwaliteit

Om de kwaliteit van de vezels te bepalen, werd de gemiddelde lengte, massa en treksterkte van de verkregen lange vezels van de verschillende genotypen bepaald. Hiervoor werden per genotype en per rotingsmethode 150 metingen uitgevoerd. Uit deze meetwaarden werd vervolgens de vezelfijnheid en de vezelsterkte bepaald. De gemiddelde vezellengte, vezelfijnheid en vezelsterkte worden samen met de gemiddelde waarden van de kleurmetingen per genotype en per rotingsmethode weergegeven in Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Kwaliteitsparameters van natuurlijk geveldrote hennepvezels van de teeltjaren 2017 en 2018 en van de enzymatisch geveldrote hennepvezels van het teeltjaar 2017.

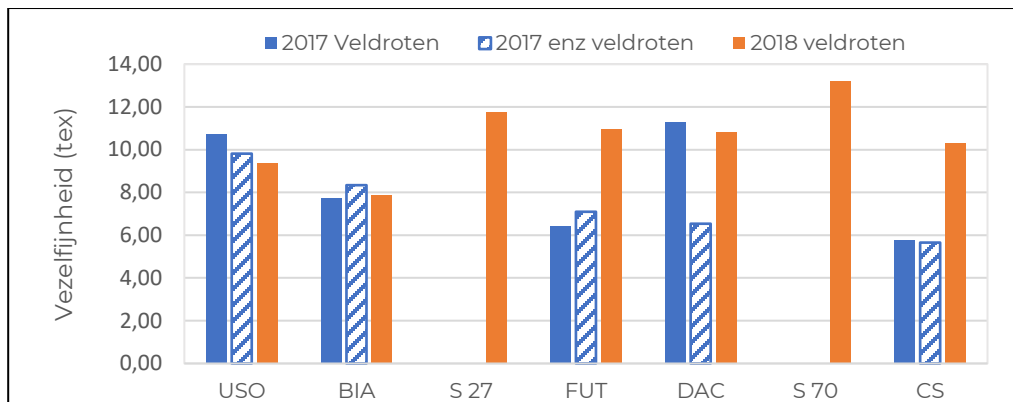
Genotype			Lengte (mm)	std dev	Fijnheid (tex)	Sterkte (cN/tex)	YD 1925	std dev
USO 31	2017	VR	258,27	107,21	10,75	28,90	47,31	4,03
	2017	EVR	214,17	93,07	9,81	30,94	50,90	4,95
	2018	VR	354,59	166,77	9,38	38,61	36,49	5,12
Bialobrzeskie	2017	VR	189,95	69,50	7,72	27,35	44,88	5,66
	2017	EVR	232,95	105,91	8,34	36,27	45,95	5,16
	2018	VR	362,23	162,98	7,90	44,65	40,37	8,61
Santhica 27	2018	VR	433,47	201,97	11,74	37,64	48,28	8,66
Futura 75	2017	VR	156,96	47,92	6,44	23,51	41,25	3,76
	2017	EVR	164,93	52,87	7,09	24,45	40,91	5,24
	2018	VR	385,83	185,72	10,95	42,62	49,78	9,23
Dacia Sequieni	2017	VR	116,15	28,96	11,30	21,62	42,44	5,17
	2017	EVR	153,01	44,66	6,54	24,02	38,97	4,33
	2018	VR	350,32	184,03	10,84	45,30	49,52	5,75
Santhica 70	2018	VR	407,89	209,85	13,20	44,04	44,30	7
Carmagnola Selezionata	2017	VR	178,96	53,22	5,76	33,16	42,04	4,12
	2017	EVR	174,64	51,48	5,65	36,54	41,46	2,94
	2018	VR	344,21	192,46	10,31	42,05	43,04	7,25

De invloed van het genotype op de vezellengte lijkt vrij beperkt ten opzichte van de verschillen in vezellengte tussen teeltjaren. Het verschil tussen de teeltjaren is voornamelijk te wijten aan de mate van roten welke sterk beïnvloed wordt door de verschillende weersomstandigheden van de betreffende teeltjaren. Enzymatisch veldroten lijkt weinig tot geen invloed uit te oefenen op de gemiddelde lengte van de vezels. Figuur 2.17 geeft de vezellengte en de standaarddeviatie van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc. weer.



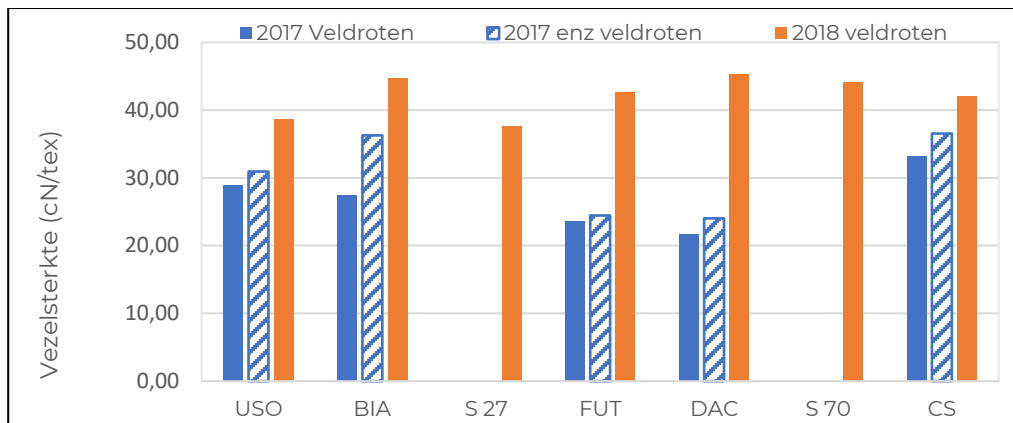
Figuur 2.17. Vezellengte en de standaarddeviatie van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc.

Lineaire densiteit, ook vezelfijnheid genoemd, is de gemeten vezelmasa ten opzichte van de vezellengte (uitgedrukt in tex (1tex = 1 gram/ 1000 m)), die in belangrijke mate de fijnheid van garen zal bepalen. De invloed van het genotype op de vezelfijnheid lijkt hier groter te zijn dan de invloed van de teeltjaren daar de genotypen USO 31 en Bialobrzeskie een vrij gelijke vezelfijnheid vertonen over de verschillende teeltjaren heen en er geen eenduidig verschil is tussen teeltjaren. De genotypen Carmagnola Selezioneata en Bialobrzeskie zijn genotypen die een vrij lage vezelfijnheid vertonen wat hen uitermate geschikt maakt om fijne garens te produceren. Enzymatisch veldroten lijkt geen invloed op de vezelfijnheid uit te oefenen. Figuur 2.18 geeft de vezelfijnheid van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc. weer.



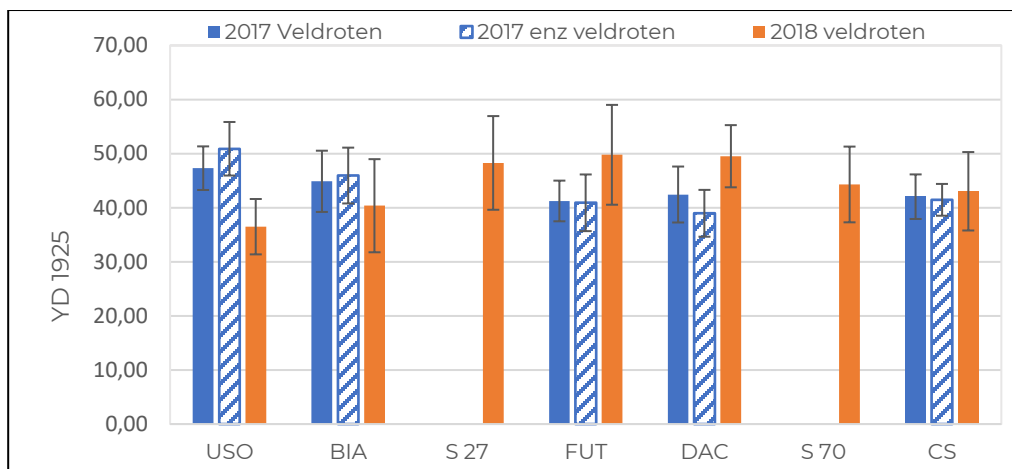
Figuur 2.18. Vezelfijnheid van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc.

De invloed van het genotype op de vezelsterkte lijkt vrij beperkt ten opzichte van de verschillen in vezelsterkte tussen teeltjaren. Enzymatisch veldroten lijkt een relatief beperkte, positieve invloed op de vezelsterkte uit te oefenen. De verkregen waarden komen overeen met de waarden die in de literatuur terug te vinden zijn voor hennep (26,5 – 61,9 cN/tex) en zijn gelijkwaardig aan deze van vlas (23 – 70,8 cN/tex) (Kozlowski, 2012). Figuur 2.19 geeft de vezelsterkte van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc. weer.



Figuur 2.19. Vezelsterkte van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc. Ter vergelijking Vezelsterkte van vlas : 23 -70,8 cN/tex

De witheid van de vezels wordt uitgedrukt met de YD1925 'yellowness index', hoe hoger de index, hoe lichter de kleur. 16 kleurmetingen worden uitgevoerd per variëteit/rotingsmethode. De YD1925-waarden van de verschillende cultivars na veldroten en enzymatisch veldroten worden gegeven in Tabel 2.9. Figuur 2.20 geeft de YD1925-waarden en de standaarddeviatie van de verschillende genotypen na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc. weer. Hier kan vastgesteld worden dat er niet alleen een groot verschil is in kleur tussen de teeltjaren onderling, maar ook dat er grote kleurverschillen kunnen worden waargenomen binnen één genotype (Fig. 2.21). Verder werd er geen significant verschil waargenomen tussen het traditionele veldroten (teeltjaar 2017) en het enzymatisch veldroten (teeltjaar 2017).



Figuur 2.20. YD1925-waarden en de standaarddeviatie van de verschillende cultivars na veldroten en enzymatisch veldroten met Texazym SER-7conc.



Figuur 2.21. Kleurverschillen binnen het genotype Bialobrzeskie (veldroten 2018)

De touché (het aanvoelen) van de vezels wordt niet alleen beïnvloed door het genotype, maar ook door het teeltjaar en de rotingsmethode. In het teeltjaar 2017, wanneer een vergelijking wordt gemaakt tussen het veldroten en het enzymatisch veldroten, kan vastgesteld worden dat de 2 best scorende genotypen, namelijk Carmagnola Selezionata en Futura 75, hun positie in de rangschikking behouden, maar dat hun gemiddelde score licht wijzigt. Bij de overige 3 genotypen van teeltjaar 2017 worden er veel grotere verschillen waargenomen. Tussen de teeltjaren 2017 en 2018 worden er grote verschillen in de touché van de verschillende genotypen vastgesteld. De gemiddelde score voor de touché wordt per genotype en per rotingsmethode weergegeven in Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Beoordeling touché van natuurlijk geveldrote hennepvezels van de teeltjaren 2017 en 2018 en van de enzymatisch geveldrote hennepvezels van het teeltjaar 2017. Hoe hoger de score, hoe beter de beoordeling.

Genotype	2017 Veldroten	2017 Enzymatisch veldroten	2018 Veldroten
USO 31	2,875	1,3125	5
Bialobrzeskie	2,5	2	2,375
Santhica 27	/	/	2,125
Futura 75	4,5	4,25	2,375
Dacia Sequieni	1,375	2,875	2,75
Santhica 70	/	/	2,125
Carmagnola Selezionata	5	4,75	2

Om uiteindelijk te beslissen welke genotypes in het totale plaatje het best scoren werd een **Multicriteria-analyse** (MCA) uitgevoerd. Een Multicriteria-analyse is een wetenschappelijke evaluatiemethode om tussen diverse discrete alternatieven een rationele keuze te maken op basis van meer dan één onderscheidingscriterium. Voor elk criterium worden de resultaten op een nieuwe schaal afgebeeld, die tussen 0 en 1 loopt. Score 1 wordt gegeven aan het voor dat criterium best presterende genotype, score 0 aan het slechtst presterende. Vervolgens worden per genotype al de verschillende scores opgeteld om uiteindelijk een rangschikking te krijgen. Via de MCA die werd uitgevoerd op de uitgemiddelde resultaten van de geveldrote hennepvezels van de teeltjaren 2017 en 2018 blijkt **Carmagnola Selezionata het best presterende genotype te zijn**. De resultaten van deze MCA worden weergegeven in Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Resultaat van de multicriteria-analyse op de resultaten van het veldroten van de verschillende genotypen, uitgemiddeld over de twee teeltjaren (2017-2018).

	USO	BIA	S 27	FUT	DAC	S 70	CS
Tijd op het veld	1,00	0,59	0,37	0,18	0,18	0,17	0,00
Drogestof opbrengst	0,00	0,65	0,30	0,88	0,84	0,91	1,00
Opbrengst Lange Vezel	0,00	0,63	0,34	0,57	0,44	1,00	0,35
Score kwantiteitsparameters	1,00	1,86	1,00	1,63	1,46	2,08	1,35
<i>Vezelsterkte (cN/tex)</i>	0,06	0,27	0,42	0,04	0,00	1,00	0,41
<i>Fijnheid (tex)</i>	0,58	1,00	0,27	0,40	0,84	0,00	0,96
<i>Vezellengte (mm)</i>	0,37	0,21	1,00	0,00	0,19	0,87	0,14
<i>Variatie in vezellengte</i>	0,70	0,91	0,08	1,00	0,90	0,00	0,84
<i>Kleur ('YD1925')</i>	0,00	0,11	1,00	0,57	0,64	0,38	0,10
<i>Kleurstabiliteit (spreiding)</i>	1,00	0,37	0,00	0,53	0,72	0,41	0,73
<i>Touché</i>	1,00	0,20	0,03	0,73	0,00	0,03	0,77
Score kwaliteitsparameters	3,71	3,07	2,80	3,26	3,28	2,69	3,95
Totaalscore	4,71	4,94	3,80	4,90	4,75	4,77	5,30

Op basis van deze gewogen resultaten blijkt het late ras CS het meest geschikt naar zowel opbrengst als kwaliteit toe. Dit late ras verblijft echter langer op het veld wat het risico op 'rotten' bij roten in de late zomer/vroege herfst doet toenemen. Bijvoorbeeld in teeltjaar 2019 viel er zeer veel neerslag eind september, waardoor het gerote stro van late rassen te nat om te zwingelen en overroot bleek (niet getoond). Daarom lijkt het vroegrijpe ras USO31, met een relatief lage vezelopbrengst maar goede scores op de vezelkwaliteitsparameters, op zich ook interessant.

Gezien de duidelijke verschillen tussen teeltjaren in vezelsterkte en touché, onafhankelijk van het onderzochte genotype, lijkt uitgebreider onderzoek naar optimalisatie in functie van een constante vezelkwaliteit in het veldroten aanbevolen. Onderzoek naar de invloed van weer-, veld- en rotingsomstandigheden en eventuele sturing van de uiteindelijke vezelkwaliteit dringt zich op.

Enzymatisch roten in batch

1. Verkennende labotesten

Het roten van hennepstengels bepaalt in zeer grote mate de uiteindelijke kwaliteit van de bekomen vezels. Daar het veldroten louter klimaatafhankelijk is en het dus zeer moeilijk is om jaar na jaar een constante kwaliteit te verkrijgen, wordt nagegaan of enzymatisch roten van hennep in batch een mogelijke optie zou zijn om een goede kwaliteit van hennepvezels te bekomen. In de eerste fase van dit onderzoek werden verschillende enzymen getest op hennepstro verkregen van Hempflax Nederland, Hempflax Roemenië en Belchanvre, omdat de hennep van "eigen kweek" op dat moment nog niet beschikbaar was. Dit externe materiaal bestond uit licht geroot en ongeroot ruw hennepstro. De geteste enzymen (9 in totaal) werden geselecteerd na overleg met verschillende enzymdistributeurs/ producenten zoals Novozymes, Dupont, InoTEX en CHT. De lijst met enzymen wordt gegeven in Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Enzymen selectie.

Leverancier	Enzym	Type	Temp bereik	pH bereik	Voorgestelde dosering
Novozymes	Bioprep 3000 L	Puur Pectate lyase	20 – 65°C	6 – 10	0.03-0.2%
	Scourzyme L	Puur Pectate lyase	20 – 65°C	6 – 10	0.25-1.5%
	Pulpzyme HC 2500	Puur endo-xylanase	30-70°C	4-11	0.05-0.15%
	NS 59049	Puur Pectinlyase	20 – 65°C	3.5 - 5.5	0.1-0.3%
	Viscozyme L	Glucanase	20 - 55°C	4.0 - 6.0	0.1-0.3%
Dupont	PrimaGreen EcoSour	Pectate lyase	30-70°C	6.5 - 7.5	0.03-0.2%
InoTEX	TEXAZYM SER-7conc.	Mix	45– 60°C	7 – 9	
CHT	Beisol pro	Mix	55°C	8 – 9	1.0 - 4.0 %
	DENIMCOL LAC-LRE	Laccase	60-70°C	4 – 6	0.5-2.0 %

Het ruwe hennepstro werd in een laboratoriumverfmachine gedurende 1 uur behandeld met de verschillende enzymen, rekening houdend met hun overeenkomstige optimale temperatuur, pH en concentratie. De recepten die werden gebruikt in de laboratoriumproeven staan vermeld in Tabel 2.13. Om de kwaliteit van deze enzymbehandelingen te verifiëren werden de resultaten van de enzymatische rotingsprocessen vergeleken met de resultaten van een chemisch rotingsproces op basis van natriumsulfiet en natriumhydroxide (Hurren et al, 2002.).

Tabel 2.13. Gebruikte recepturen.

Experiment	Enzymen	Procestemp.	pH
1	0.2% Bioprep L 3000 0.15% Pulpzyme HC 2500	60°C	pH 8
2	0.3% NS 59049 0.15% Pulpzyme HC 2500	60°C	pH 5
3	0.3% Viscozyme L	50°C	pH 5
4	0.2% Bioprep L 3000	55°C	pH 7
5	0.3% NS 59049	55°C	pH 4,5
6	1,5% Scourzyme L	55°C	pH 7
7	0.15% Pulpzyme HC 2500	70°C	pH 8
8	0.2% PrimaGreen EcoScour	50°C	pH 7
9	2% Beisol PRO	60 °C	pH 8.5
10	0.2% Texazym SER-7conc.	60 °C	pH 8

Voor de beoordeling van het effect van de enzymatische behandelingen op de kwaliteit van de vezels werd allereerst het uitzicht van de behandelde vezels en het loskomen van de vezels van het xyleem onderzocht.

Het chemische rotingsproces gaf korte en lichtgele vezels die gemakkelijk los kwamen van het xyleem. De enzymatische gerote vezels hebben duidelijk een kleurverschil met de chemisch gerote vezels. De behandelingen met Bioprep 3000L, Pulpzyme HC 2500, NS 59049, Viscozyme L en Scourzyme L gaven onmiddellijk na de behandeling een

lichtgroene kleur die vervaagde en in de tijd veranderde in een lichtgele kleur. De behandeling met PrimaGreen EcoScour gaf de vezels een bruinachtige kleur, terwijl het enzym Beisol PRO een kleurnuance geeft tussen de behandeling met Bioprep 3000L en de behandeling met PrimaGreen EcoScour. Hennep behandeld met Texazym SER-7conc. vertoonde een gelere kleur dan de chemisch gerote hennep.

Vezels behandeld met Bioprep 3000L, NS59049, PrimaGreen Ecoscour en Beisol PRO konden gemakkelijk losgemaakt worden van het xyleem terwijl de vezels behandeld met Viscozyme L, Scourzyme L, Pulpzyme en Texazym SER-7conc. nog steeds vast aan het xyleem bleven kleven.

Om de effectiviteit van de enzymen te bepalen werd de restpectine aan de hand van een Ruthenium rood test op de verkregen vezels bepaald. De hoeveelheid resterende pectine die op de vezels achterbleven werden bepaald door het meten van de kleursterkte van de vezels geverfd met Ruthenium rood, een kleurstof met een affiniteit voor pectine. Voor de Ruthenium rode test werd een verse oplossing bereid met volgend recept:

- 0,2 g/l Ruthenium rood
- 1,0 g/l ammoniumchloride
- 2,5 ml/l 28% ammoniumhydroxide-oplossing
- 1,0 g/l Silwet L -77 (bevochtiger, polyalkyleenoxide gemodificeerd heptamethyltrisiloxaan)
- 1,1 g/l Tergitol 15-S-12.

De oplossing werd gebruikt in een verhouding van 100 ml oplossing/gram vezels. De vezels werden gedurende 15 minuten geverfd bij kamertemperatuur in een laboratoriumverfmachine (Ahiba Nuance) en vervolgens gespoeld met koud water. Na drogen werd de kleur van de vezels bepaald door het meten van de reflectie van de Ruthenium roodgeverfde vezels op een Datacolor SF550 bij 540 nm en de kleurstof op de vezel werd berekend als K/S-waarde (Liu et al, 2009). De hoeveelheid Ruthenium Red gekoppeld aan pectine, gemeten als K/S, was direct evenredig met de hoeveelheid pectine die in de vezel achterbleef en daarom omgekeerd evenredig met pectinase-activiteit. De K/S-waarden van de monsters werden omgezet in percentage resterende pectine met behulp van de volgende vergelijking (Calafell, 2005):

$$\% \text{ Resterende pectine} = (K/S - K/S_0) / (K/S_{100} - K/S_0) \times 100$$

Om een duidelijk beeld te krijgen van de resultaten van de pectineverwijdering door de verschillende behandelingen, werd de relatie tussen de percentages resterende pectine onderzocht. Hiervoor werden de resultaten zodanig berekend dat de behandeling met de laagste verwijdering van pectine op 100% werd ingesteld. De gemeten K/S-waarde en het percentage resterende pectine worden gegeven in Tabel 2.14. Deze resultaten tonen aan dat enzymatisch roting met Viscozyme L de laagste verwijdering van pectine gaf. Alle andere enzymatische behandelingen vertonen een betere verwijdering van pectine dan het chemische rotingsproces dat werd gebruikt, hoewel het verschil tussen het chemisch roten en de behandelingen met NS59049, Pulpzyme en hun combinatie vrij klein was. De beste verwijdering van pectine werd verkregen met het enzym Scourzyme L gevolgd door Bioprep L 3000, PrimaGreen EcoScour, Beisol PRO en Texazym SER-7 conc.

Tabel 2.14. K/S -waarde en percentage restpectine verhouding.

Enzym	K/S	Restpectine verhouding (%)
Chemisch roten	19,50400	99,43
Bioprep L 3000/ Pulpzyme HC 2500	17,39595	85,13
NS 59049/ Pulpzyme HC 2500	18,54405	92,92
Viscozyme L	19,58828	100,00
Bioprep L 3000	17,06439	82,88
NS 59049	19,42041	98,86
Scourzyme L	15,84987	74,65
Pulpzyme HC 2500	18,39274	91,89
PrimaGreen EcoSour	17,32867	84,68
Beisol PRO	15,73736	84,93
Texazym SER-7conc.	16,07950	87,60

De enzymen Scourzyme L, Bioprep L 3000, PrimaGreen EcoScour en Beisol PRO vertoonden de beste pectine verwijdering, maar aangezien bij de behandeling met Scourzyme L de vezels nog te sterk aan het xyleem bleven kleven, werd besloten om alleen de enzymen Bioprep L 3000, PrimaGreen EcoScour en Beisol PRO te gebruiken in de follow-up van de studie voor enzymatisch batch-roten van de hennepgenotypen geteeld in het "Eigen kweek"-project.

2. Enzymatisch batchroten van eigen gekweekte hennep (pilootschaal)

Op basis van de resultaten van deze voorlopige testen werden de best presterende enzymen (in totaal 3) geselecteerd voor verdere testen op de "eigen gekweekte" hennep. Vanaf dit stadium in het onderzoek werden de testen niet langer uitgevoerd op een laboratoriumverfmachine, maar op een pilootverfmachine. De enzymconcentratie, de pH en de temperatuur waren identiek aan de laboratoriumtesten, maar de vlotverhouding werd aangepast van 1/10 tot 1/40. In eerste instantie werden tests uitgevoerd op de groene hennepstengels die op een lengte van 60 cm werden gesneden om in de machine te passen. Er werd gestart met een behandelingstijd van 1 uur, maar vanwege het feit dat de vezels aan het xyleem bleven kleven, werd deze behandelingstijd stapsgewijs verlengd tot 4 uur. Vanwege het ontbreken van enig resultaat na een behandeling van 4 uur met de enzymen op de volledige hennepstengels werd besloten het onderzoek voort te zetten na een voorafgaande ontvezelingsstap. Hiervoor werden ongerote gedroogde hennepstengels gebroken met behulp van een vlasbreker en vervolgens behandeld met enzymen.

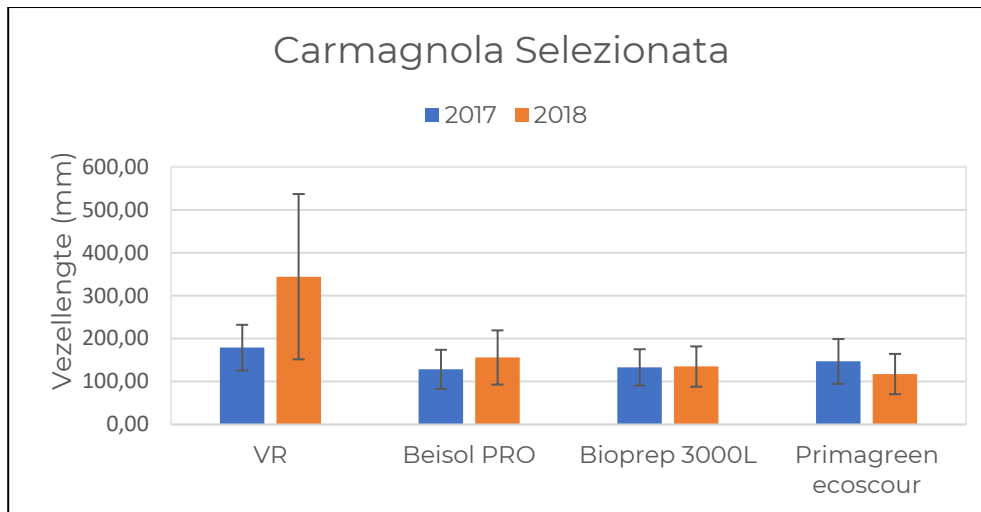
3. Vezelkwaliteit

Om de invloed van het enzymatisch batchroten op de kwaliteit van de vezels te bepalen, werd opnieuw de gemiddelde lengte, massa en treksterkte van de verkregen lange vezels van het genotype Carmagnola Selezionata, welke in batch geroot werden met de respectievelijke enzymen Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen Ecoscour, bepaald. Uit deze meetwaarden werd vervolgens de vezelfijnheid en de vezelsterkte bepaald. De gemiddelde vezellengte, vezelfijnheid en vezelsterkte worden samen met de gemiddelde waarden van de kleurmetingen weergegeven in Tabel 2.15.

Tabel 2.15. Kwaliteitsparameters van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour.

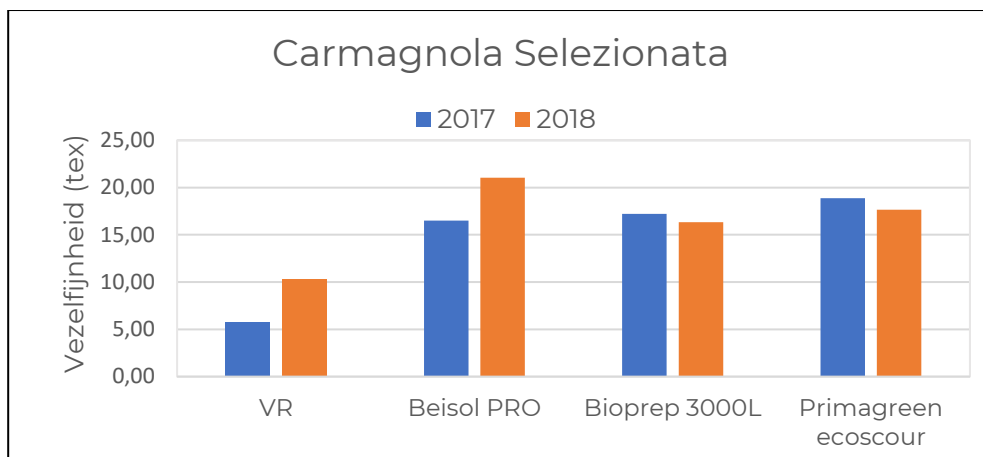
Genotype			Lengte	std dev	Fijnheid	Sterkte	YD 1925	std dev	YD 1925	std dev
			(mm)		(tex)	(cN/tex)				
Carmagnola Selezionata	2017	VR	178,96	53,22	1,91	1,24	5,76	33,16	42,04	4,12
		Beisol PRO	128,35	45,56	3,72	2,91	16,51	128,35		
		Bioprep 3000L	132,86	42,38	3,29	2,81	17,20	132,86		
		Primagreen ecoscour	146,93	52,12	5,45	3,96	18,89	146,93		
	2018	VR	344,21	192,46	4,29	3,00	10,31	42,05	43,04	7,25
		Beisol PRO	156,11	63,11	4,87	3,84	21,05	23,12		
		Bioprep 3000L	134,95	46,95	4,29	2,76	16,35	26,22	43,38	
		Primagreen ecoscour	117,48	46,91	4,34	3,04	17,66	24,60	44,88	

Waar er bij het traditionele veldroten grote verschillen worden waargenomen tussen de teeltjaren 2017 en 2018, worden deze verschillen bij enzymatisch batchroten voor de vezellengte geminimaliseerd waardoor een meer gelijkmatige vezellengte over de verschillende jaren werd bekomen. De invloed van het gebruikte enzym is echter beperkt, doch wordt vastgesteld dat de vezellengte na het enzymatisch batchroten lager ligt dan deze van het traditionele veldroten. Figuur 2.22 geeft de vezellengte en de standaarddeviatie weer van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour over de twee teeltjaren heen.



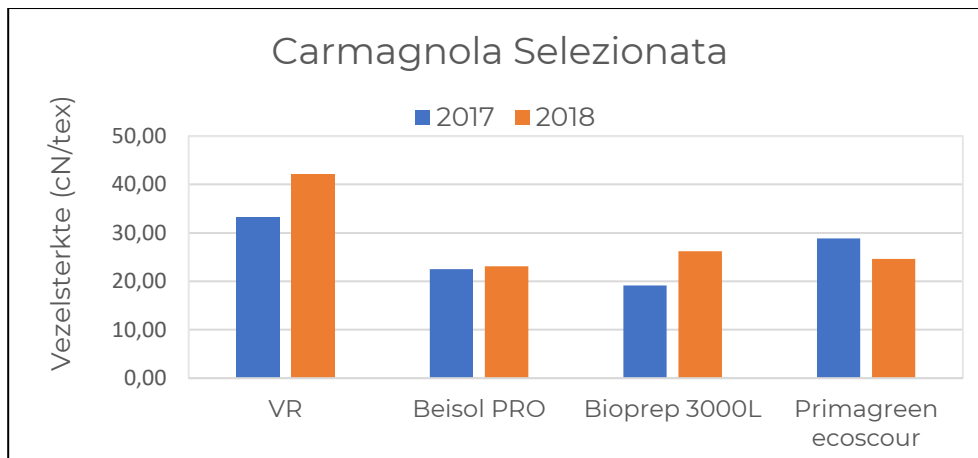
Figuur 2.22. Vezellengte en de standaarddeviatie van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour.

Enzymatisch batchroten leidt niet alleen tot kortere vezellengtes, maar ook tot dikkere vezels in vergelijking met het traditionele veldroten. Ook hier is de invloed van het gebruikte enzyme beperkt. Figuur 2.23 geeft de vezelfijnheid weer van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour over de twee teeltjaren heen.



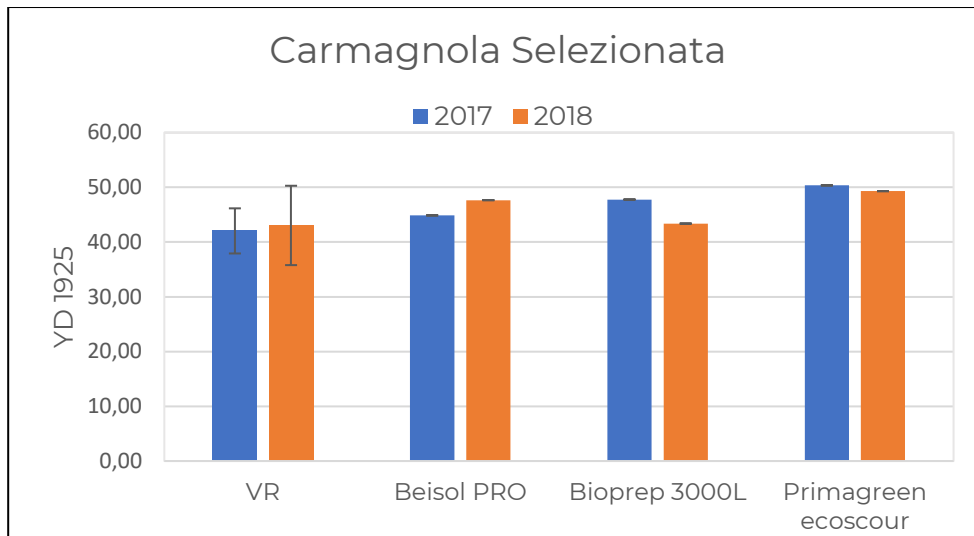
Figuur 2.23. Vezelfijnheid van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour.

Bij het enzymatisch batchroten ligt de vezelsterkte, bij een behandeling van 4 uur met de respectievelijke enzymen, algemeen lager dan deze van het traditioneel veldroten. Dit kan eventueel bijgestuurd worden door het proces van het batchroten in te korten. Verder onderzoek naar de ideale procesduur dringt zich op. De vezelsterkte wordt licht beïnvloed door het gebruikte enzym. Figuur 2.24 geeft de vezelsterkte weer van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour over de twee teeltjaren heen.



Figuur 2.24. Vezelsterkte van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour.

De “yellowness-index” van de cultivar Carmagnola Selezionata na enzymatische batchroten met de geselecteerde enzymen, respectievelijk Beisol PRO, Bioprep L 3000 en PrimaGreen EcoScour werd berekend aan de hand van de gemeten CIE Tristimulus-waarden. Figuur 2.25 geeft de YD1925 met zijn standaarddeviatie weer van het enzymatisch batchroten met de respectievelijke enzymen en het traditionele veldroten over de twee teeltjaren heen. Waar er bij het traditioneel veldroten grote verschillen werden waargenomen binnen éénzelfde plot zijn deze kleurverschillen bij het enzymatisch batchroten volledig verdwenen. Enzymatische batchroten geeft met andere woorden het voordeel dat de vezels na de behandeling dezelfde bleke tint hebben. Een egale tint van de vezels is voordeliger naar verdere verwerkingsprocessen, zoals bleken en verven, toe. De invloed van het gebruikte enzyme op de yellowness-index tussen de verschillende enzymatisch behandelde vezels is echter beperkt.



Figuur 2.25. YD1925 van Carmagnola Selezionata na veldroten en enzymatisch batchroten met resp. Beisol PRO, Bioprep 3000L en Primagreen ecoscour.

Enzymatisch batchroten volgens het opgestelde proces geeft kortere, dikkere en minder sterke vezels in vergelijking met het traditioneel veldroten. Deze parameters kunnen eventueel verbeterd worden door het proces van het enzymatisch batchroten verder te optimaliseren. Verder onderzoek is essentieel om tot meer optimale resultaten te komen. Het grote voordeel van het enzymatisch batchroten t.o.v. het traditioneel veldroten is het bekomen van een egale bleke (beige) kleur (Fig. 2.26).



Figuur 2.26. Carmagnola Selezionata (2018 – rassenproef) na enzymatisch batchroten met 0,2% Bioprep 3000L. Ter vergelijking: de kleurvariatie tussen veldgerote vezels wordt weergegeven in Figuur 2.21.

Economische perspectieven?

Hennep is een snelgroeiend gewas dat een groot potentieel biedt in het kader van de zich ontwikkelende bio-gebaseerde circulaire economie. In 2018 werden 39 teeltmeldingen voor hennep ingediend in de verzamelaanvraag met uiteenlopende teeltdoelen, gaande van veevoeder, over zaad voor veevoeder en olie voor humane consumptie, tot de oogst van het stro voor technische toepassingen van de vezel en de scheven. Echter, onaangepaste drooginstallaties voor het zaad, belemmerende wetgeving bij teelt voor humane consumptie en gebrek aan lokale afzetmogelijkheden van stro voor technische toepassingen (o.a. faillissement Belchanvre) hebben geleid tot onrendabele omstandigheden voor de teler.

Hennep teelt voor textieltoepassingen kent echter wel een lokale afzet in Vlaanderen bij de economisch sterke, lokale vlasverwerkende industrie – zowel primaire verwerkers (zingelaars) als de weverij sector. Zij zijn vragende partij van een lokale geteelde kwalitatieve hennepvezel, analoog aan de lokale vlasvezel. De recente investeringen

binnen de lokale, vezelverwerkende sector (circa 25 miljoen euro investeringen in de periode 2016-2018 bij vlasverwerkers in Vlaanderen, Van In, 2019) zullen de vraag naar een aanvullende natuurlijke vezel, op korte termijn, bovendien alleen nog doen toenemen.

Naast het voordeel van de lokale afzet wordt verwacht dat hennepteelt voor textieltoepassingen economisch gezien de meeste perspectieven kan bieden voor telers in onze regio, t.o.v. de teelt voor laagwaardige korte vezels en/of zaden. **De prijzen voor de lange vlasvezel zijn nog nooit zo hoog geweest en bereikten in maart 2019 €3,4/kg lange vezel**, bovendien zullen deze gunstige prijzen en de vraag naar lange vezels niet meteen dalen. Gezien de hennepvezel het dichtst aanleunt bij de vlasvezel, kunnen deze cijfers als representatief verondersteld worden voor een hoogkwalitatieve lange hennepvezel. Bijkomend zijn er ook nog de **valorisatiemogelijkheden van de reststromen**, i.e. korte vezels ('klodden') en scheven.

Globaal is de vraag naar ecologische grondstoffen in de textielindustrie stijgende. Deze aanzienlijke groei komt voort uit de toenemende bewustwording en vraag van consumenten naar lokaal geproduceerde en ecologisch duurzame producten. Vlas neemt op dit moment binnen de markt van de textielvezels minder dan 1% in. Daarom is er volgens de Europese vlas- en hennepconfederatie (CELC) ruimte voor groei, niet alleen voor vlasvezels, maar zeker ook voor hennepvezels.

De kwaliteit van de hennepvezel is sterk afhankelijk van het proces van het roten dat de hennep ondergaat. Voor vlas is dauwroten op het veld nog steeds de meest gangbare en bovendien de meest economische en ecologisch methode, wat ook voor hennep toepasbaar lijkt. Het enzymatisch batchroten van hennep heeft als voordeel dat het proces niet afhankelijk is van de weersomstandigheden en dat er geen zware chemicaliën vereist zijn, maar de massa die groen van het veld gehaald wordt, dient eerst gedroogd te worden om schimmelvorming tijdens de opslag te vermijden. Een tweede nadeel van dit proces is echter de hogere kost die het met zich meebrengt. Voor het enzymatisch batchroten wordt namelijk gewerkt bij temperaturen tussen de 50°C en de 60°C, afhankelijk van het gebruikte enzyme. Na de behandeling wordt de temperatuur verhoogd tot 90°C om de enzymwerking te stoppen alvorens het bad kan worden afgelaten. Vervolgens volgen er nog 2 spoelbaden, één warm spoelbad bij 60°C en één koud spoelbad en moeten de vezels gedroogd worden voor latere verwerking. Het hoge waterverbruik en de hoge temperaturen zorgen ervoor dat het proces minder economisch aantrekkelijk wordt. Daarnaast komt nog een extra kost voor de gebruikte

chemicaliën waarvan gemiddeld 42% van deze kosten vertegenwoordigd worden door de enzymkosten (kosten berekend volgens receptuur van “Eigen kweek”).

Aanbevelingen Eigen Kweek

- Hennepsteelt voor de lange textielvezel heeft duidelijk potentieel in onze regio.
- Inzaaien als zomerteelt in mei wanneer relatief zacht en vochtig weer voorspeld wordt. Een goede initiële opkomst lijkt cruciaal om een uiteindelijk hoge standdichtheid en vezelopbrengst te garanderen.
- Ook bij extreem heet en droog zomerweer geeft hennep nog een relatief goede opbrengst. Hennep kan daarom beschouwd worden als een robuuste, alternatieve teelt in het kader van klimaatverandering.
- Het rasspecifiek bloeitijdstip is bepalend voor uiteindelijke opbrengst. Dit laat teeltoptimalisatie toe in functie van gewenste plantlengte en ‘tijd op het veld’. Late cultivars leveren een hogere opbrengst maar hebben een hoger risico te ‘rotten’ bij het roten in de late zomer/vroege herfst.
- Veldroten en mechanische vezelextractie op vlaswingellijn leveren een volwaardige vezelopbrengst en -kwaliteit. Gezien de relatieve eenvoud, lijkt dit de meest aangewezen methode om op korte termijn een lokale hennep-voor-textiel keten te realiseren. Uitgebreider onderzoek naar optimalisatie van het veldrotingsproces in functie van een constante vezelkwaliteit en het formuleren van duidelijke praktische handvaten lijkt echter noodzakelijk.
- Oogstmechanisatie blijft momenteel een belangrijk knelpunt. Voor verwerking op de vlaswingellijn dient ingezet te worden op een oogstmodule die hennepstengelstukken van ca. 1 m parallel op het veld legt.

HEMP4ALL

Low impact veredelen van hennep garens en weefsels.

Financiering: VLAIO – TETRA-project

Duur: 01/12/2017 – 31/12/2019

Hoofd-promotor: Alexandra De Raeve (FNT - MTH)

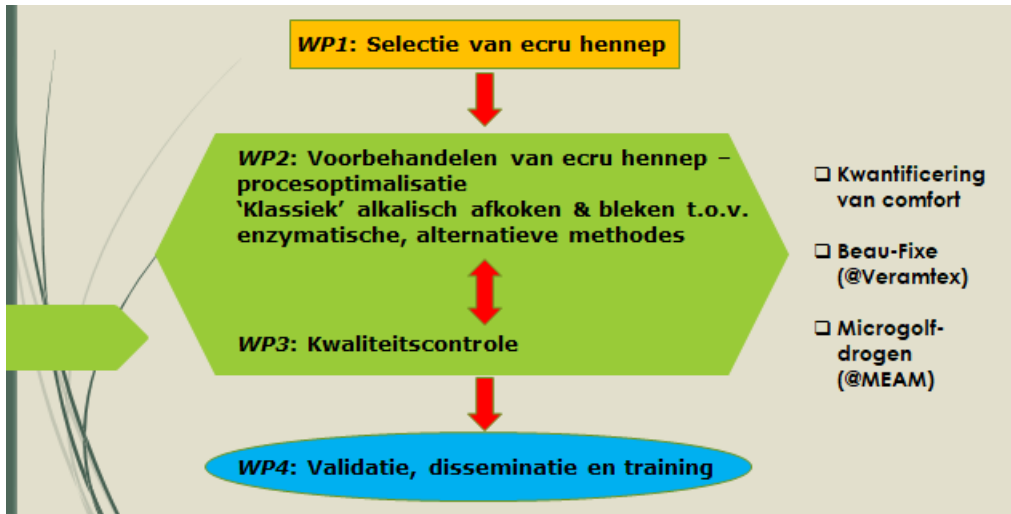
Wetenschappelijk medewerkers: Tom Van Hove (FNT – MTH); Frank Godefroidt (FNT – MTH)

Leden gebruikerscommissie: Bamboo Belgium; Celesta; CHT Belgium; Creamoda; Datacolor Belgium; Ecological Textiles; INAGRO; Libeco-Lagae; Maurice cock GCV; MEAM; Rycobel; Hemp Invest; Veramtex; Verilin; Verlimas

Bachelorproeven op project: Katrijn Hoedemakers en Jasmine Aenspeck (studenten modetechnologie)

Situering

Het project 'Hemp4All' heeft als hoofddoelstelling het creëren van een bewustwording naar de (ruimere) textielketen toe van de mogelijkheden van de inzet van hennep. Dit is een overlappend verhaal, waarbij een vertaalslag nagestreefd wordt van beschikbare kennis naar het bestaande werkveld. Uiteenlopende tendensen en veranderingen leidden ertoe dat een verscheiden textielmateriaal als hennep in de vergeethoek terechtkwam. Nieuwe inzichten en maatschappelijke evoluties creëren evenwel een vernieuwd draagvlak voor dergelijke, hernieuwbare biomaterialen. Het revitaliseren van 'opgeborgen' kennis omtrent de teelt, verwerking en toepassingsmogelijkheden van hennep is bijgevolg een kerntaak. Het TETRA-project 'Hemp4All' is hier op uiteenlopende wijze aan tegemoet gekomen. Vooreerst zijn enzymatische (lees: biochemische) voorbehandelingsroutes voor ecru hennep in weefselvorm onderzocht en geoptimaliseerd om een verdere uitbouw van een hennep verwerkingsketen met minimale milieu-impact te kunnen realiseren. In het kader hiervan zijn diverse, aangepaste (voor)reinigingsprocessen en bleekbewerkingen uitgetest. Daarnaast zijn uiteenlopende cases uitgerold om de doelmatigheid van hennep textiel te kunnen traceren. Dat omvat onder andere de praktische screening van hennep textiel in werkkledijvorm. Nagaan van mogelijke upgradering van de fysische materiaaleigenschappen van hennep textielweefsel m.b.v. vloeibare ammoniakbehandeling sluit hierbij nauw aan. Bovendien zijn meer ondersteunende cases met uiteenlopende aandachtspunten (o.a. droogstappen op basis van microgolftechnologie, effluent impact, doorlichting comfortaspect van hennep textiel) uitgewerkt. Dit geheel aan onderzoeksactiviteiten maakt een verdere inschatting mogelijk van de haalbaarheid van de herintroductie van hennep textiel, en dat op vlak van a) de textiel voorbehandelingsaanpak, b) het beantwoorden aan (een minimaal pallet van) heersende productkwalificaties.



Figuur 3.1. Projectflow Hemp4All project

Selectie van ecru hennep materialen

Nieuwsoortige textielvezels duiken in een variërend pallet op ter aanvulling of substitutie van de momenteel wijdverspreid ingezette katoen, polyester, polyamide en polypropreen vezeltypes. Het gaat hierbij onder andere om hooggeavanceerde, synthetische polymeren in wisselende textielvormen (vezels, garens, strengen, lonten, laminaten, gevlochten structuren, 3D *fabrics*, enz). Het commerciële succes van deze nieuwigheden is afhankelijk van hun technische performantiepotentieel gelinkt aan een al of niet adequaat onderbouwde marketingstrategie bij marktintroductie. Diverse polymeernieuwigheden zijn ondertussen gemeengoed in het hoogtechnologische, technische textieldomein. Voorbeelden zijn legio: Kermel® (aromatisch polyamide-imide), Kynar® (PVDF), Vectran™ (aromatische polyester), polybenzimidazool (PBI), polyfenylsulfon, polyether ether keton (PEEK),...

Vanuit het perspectief van biohernieuwbaarheid en de urgentere zoektocht naar een verantwoorde *end of life* gegeven, krijgen (potentiële) textielvezels van natuurlijke origine groeiende aandacht. Denken we hierbij aan de exploratie van vezels op basis van algen, gras, turf, appel/sinaasappel/aardappel/bananen schillen, e.d. Een *hot item* hierin is eveneens de herontdekking van hennep als duurzame textielbron.

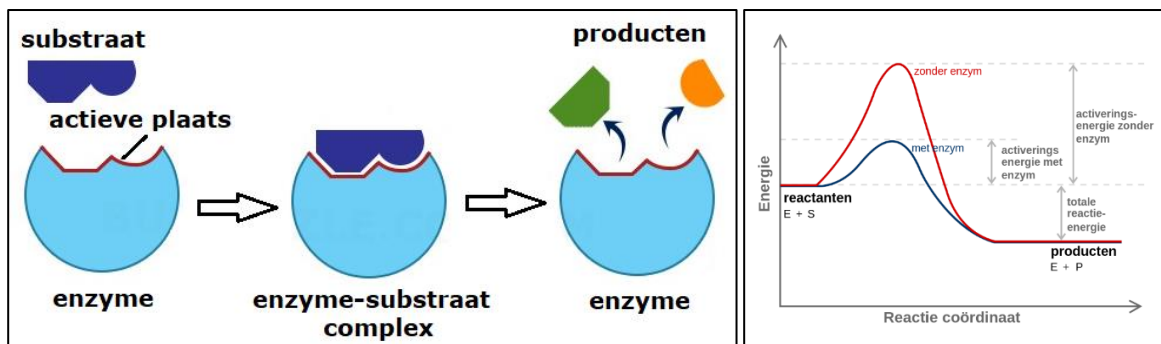
Hennep beleeft momenteel een heuse *reviva*/als (potentieel) toepasbaar textielmateriaal. Zijn unieke basiskarakteristieken zoals hoge sterkte, bio-hernieuwbaarheid, lokaal te produceren/verwerken en een bijzondere uitstraling zijn daar niet vreemd aan. Diverse, Europese marktspelers (o.a. Ecological Textiles – NL, Libeco-Lagae – B, StexFibers – NL, Safilin – F, Linificio – I) bieden een uiteenlopend gamma aan hennep basiskwaliteiten in diverse verschijningsvormen (garens, weefsels, breisels, non woven, koorden, tapes) aan. De variatie in beschikbare materialen is verrassend ruim, mede door de toepassing van gangbare textielbewerkingsmethodes (opruwen, vernaalden, sanforiseren, *space dyeing*, vlechttechnieken, enz), nu op de hennep context geënt. Zowel 100% hennep toepassingen als mengvormen met bijv. (bio)katoen, rPES of elastaan zijn verkrijgbaar. De marktbeschikbaarheid van deze mengsels is duidelijk toenemend, hetgeen het finale applicatiepotentieel verruimt. Een kanttekening vormt de vaststelling dat de herkomst van het commercieel beschikbare henneptextiel niet altijd even transparant is. Vaak betreft het (goedkopere) import uit Aziatische landen met onvoldoende zekerheid op vlak van vezelsamenstelling en bevuilingsgraad. De consistentie en blijvende beschikbaarheid in de tijd van deze import is dubieuzer.

Voor het onderzoeksdeel omtrent efficiëntere voorbehandelingsmethodes zijn een aantal ecru weefseltypes van de firma Libeco-Lagae (B; interne productie) geselecteerd om een maximale controle over de herkomst te kunnen garanderen.

Optimalisatie van de voorbehandelingsprocessen van ecru hennep

Natuurlijke, ecru textielmaterialen dienen adequaat voorbehandeld te worden om ze veredelingsklaar (verf- en *finish proof*) te maken. Klassiek omvat dit de sequentie ontsterken – alkalisch afkoken en bleken. In het geval van hennep vervalt de nood aan een separaat ontsterkingsproces, aangezien ecru hennep weefsels normaliter niet gesterkt worden om redenen van afdoende, inherente garensterkte (cfr. technische vezelkarakter). Waxen met een vetachtige substantie m.b.v. een likrol (daling harigheid) maakt dan ook de hoofdmaat uit. Binnen dit onderzoek ligt de klemtoon dan ook op een verbetering (lees: vergroening) van reinigingsmethodieken zoals **alkalisch afkoken en bleken**. In het geval van afkoken wordt het ecru hennep in hooggeconcentreerde natronloog behandeld bij hogere temperaturen (95°C) om zo veel mogelijk aanwezige, natuurlijke vezelonzuiverheden (oliën/vetten, proteïnen, cellulose di- en oligomeren, metaalionen, pectines) te verwijderen. Dit omvat een invasief proces, waarbij de negatieve impact op milieu (afvalwaterproblematiek) en vezel (degradatie polymeerketting) dusdanig is. Bleken van textiel is dan weer een vergelijkbare bewerking, waarbij simultaan bleekagens (overwegend waterstofperoxide) toegepast wordt. Hierbij wordt finaal een hoge(re) witheidsgraad beoogd bij voldoende behoud van de initiële DP-vezelwaarde om verven in lichte tinten mogelijk te maken. In het geval van ecru hennep dringen zich bij beide processen de nodige optimalisaties op.

Een elegante manier om procesrationalisatie te creëren op vlak van afkoken en bleken van (onder andere) hennep is de toepassing van **enzymetechnologie**. Enzymes zijn biochemische katalysatoren die bestaan uit driedimensionale proteïnen met lange peptideketens. Daardoor vertonen ze vooral een oppervlaktewerking op basis van een stereo-selectief werkingsmechanisme (zie figuur 3.2). Meestal worden ze discontinu toegepast op het te behandelen textiel om een intensieve interactie substraat-procesbad te kunnen garanderen.



Figuur 3.2. Werkingsprincipe van enzymen

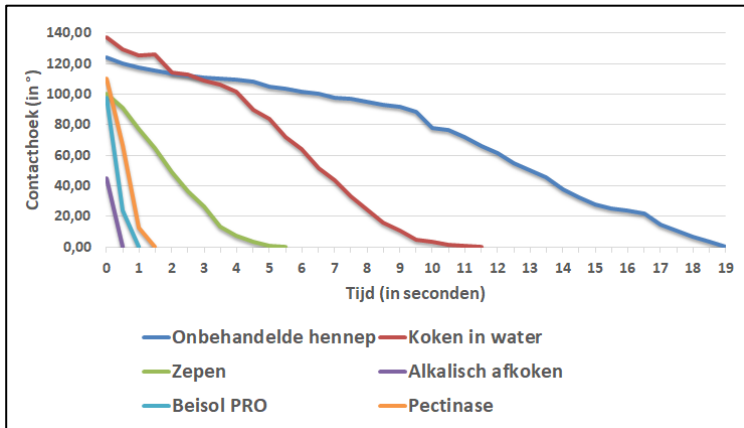
Enzymen zijn reeds jarenlang gemeengoed in de textielindustrie voor een verscheidenheid aan behandelingen. Denken we hierbij bijvoorbeeld aan het ontsterken van zetmeel met analyses, het elimineren van waterstofperoxide resten na bleken m.b.v. katalasen, cellulasen (biopolijsten, biostoning), bleken van jeans met laccasen, proteasen (anti-viltbehandeling van wol, ontgommen van zijde).

In het kader van Hemp4All zijn geschikte enzymencocktails gecompoundeerd voor het realiseren van adequate biovoorbehandelingsprocedures (lees: afkoken en/of bleken) voor ecru hennep weefsels. Individuele enzymen zijn hierbij aangeleverd door onder andere Novozymes, DuPont, Inotex en CHT Belgium. De geselecteerde, ecru hennep referentieweefsels zijn op basis hiervan voorbehandeld conform passende, discontinue processen. Belangrijk hierbij is eveneens dat enzymen een welbepaald werkingsvenster (van pH, temperatuur, zouthoeveelheid en –soort, aanwezigheid van metaaldeeltjes, type natmaker(s)) vereisen. De bekomen resultaten voor wat betreft afkoken en bleken worden hieronder beschreven.

1. Afkoken

De sterkst (voor)reinigende impact op ecru hennep weefsel wordt bekomen bij '*klassiek*', *discontinu*, *alkalisch afkoken* (i.e. een behandeling in 6% natronloog bij 95°C gedurende 1 h, die zorgt voor de grootste hydrofiliteitswaarden (waterdruppelopname < 0,5 sec – zie ook figuur 3.3) en de hoogste graad aan pectineverwijdering (tot 93% - op basis van aankleuringsproeven m.b.v. ruthenium rood)). Deze behandeling leidt echter – in

vergelijking met *enzymenbehandelingen* (pectinasen ev. in mix¹) - ook tot de meest invasieve textielimpact. Zo ontstaat er een gewichtsverlies tot 15,3% (bij equivalente enzymenbehandeling gaat dit tot max. 1,65%) en daalt de lignine-inhoud substantieel (in geval van enzymebehandeling: geen lignine-aantasting op basis van floroglucinol aankleuring). Relevante sterkteverliezen (ISO 13934-1) worden evenwel bij geen enkele, onderzochte methode vastgesteld. Het aanverfgedrag op basis van een aanverving met reactieve kleurstoffen in variabele kleurdieptes is identisch, ongeacht de voorbehandelingswijze.



Figuur 3.3. Afkoken vs enzymatische behandeling (pectinasen) - Invloed van de voorbehandelingswijze op de hydrofiliteit van hennep weefsel

2. Bleken

Het meest toegepaste bleekproces voor natuurlijke textielvezels betreft een **waterstofperoxide** (H_2O_2) bleek. Ten gevolge van de hoge pK_a -waarde ervan (ca 11,5), wordt dit (discontinue) bleekproces bij hoge pH-waarden (11,5 à 12 gedurende bijv. 45' à 95°C) uitgevoerd. Op het vlak van bleken van ecru hennepvezels werd een screening uitgevoerd naar de invloed van diverse procesparameters bij een waterstofperoxide bleek (o.a. soort

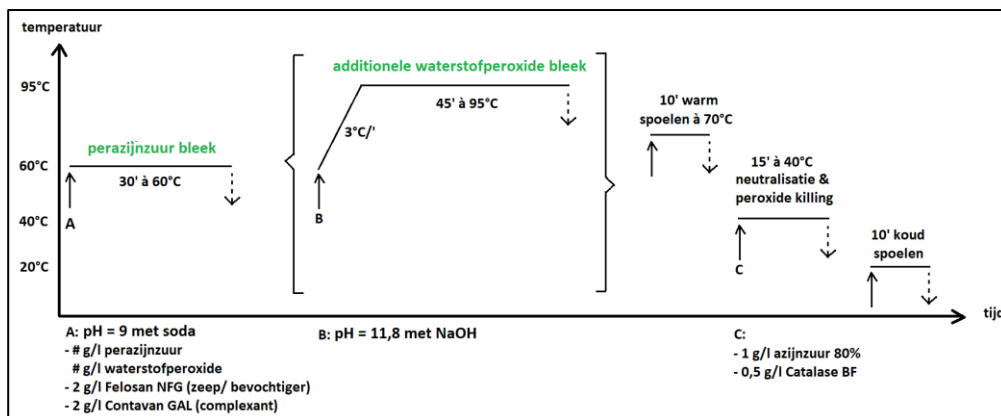
¹ a) Beisol PRO (enzymenmix, CHT Belgium): 1 – 4%, 15' à 55°C & 15' à 85°C; b) Bioprep 3000L (Novozymes): 0,03 - 0,2%, 1h à 60°C; c) PrimaGreen EcoSour (DuPont): 0,03 - 0,2%, 1h à 60°C

en hoeveelheid van hulpmiddelen zoals natmakers, bleekstabilisatoren (waterglas, complexanten); proces settings zoals tijd, pH, temperatuur).

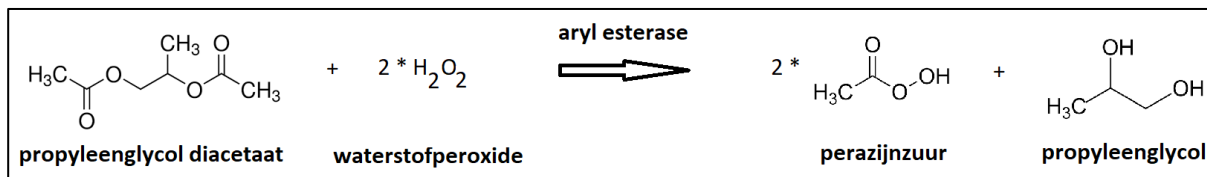
Bijkomend werd een pallet van *alternatieve bleekmethodieken* geëxploreerd voor ecru hennep weefsel. Een overzicht: a) bleken op basis van enzymen: a.1. laccasen; a.2. enzymenmixen op basis van cellulasen, hemi-cellulasen en pectinasen; a.3. arylesterasen in combinatie met een acetaatdonor als propyleenglycol diacetaat; b) substitutie van waterstofperoxide als bleekmiddel door perazijnzuur; c) anataas titaniumdioxide als bleekactivator; d) UV-geassisteerde (ijzergedopeerde kwikdamplamp vs UV-LED-technologie) bleekprocessen.

Perazijnzuur (CH_3COOOH) is een zwak zuur en een sterk oxidatiemiddel. De pK_a -waarde ervan bedraagt 8,2. Daardoor wordt bleken in zwak alkalisch midden bij lagere temperaturen (50 à 60°C) mogelijk volgens volgende reactie: $\text{CH}_3\text{COOO}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + [\text{O}]$. Steeds dient gewerkt te worden met evenwichtsmengsels bestaande uit perazijnzuur, azijnzuur en waterstofperoxide. In dit onderzoek is het product Chriox 15 (leverancier: Christeyns – B.) aangewend, met volgende basissamenstelling in water: 15% perazijnzuur / 15% azijnzuur / 21% waterstofperoxide. De aanwezige H_2O_2 -component laat op die manier een tweetrapsbleek in hetzelfde bad toe door pH-verhoging tot 11,5 à 12 na de perazijnzuur bleek. Figuur 3.4 geeft de concrete procescondities weer.

Een alternatieve benadering hiervoor vormt een zgn. **enzymatisch gestuurde perazijnzuur bleek** (zie figuur 3.5). Hierbij wordt een in situ vrijstelling van perazijnzuur gerealiseerd op basis van geselecteerde arylesterase enzymen, die een perhydrolyse van een propyleenglycol diacetaat donor mogelijk maken in aanwezigheid van waterstofperoxide. Opnieuw wordt bleken bij lagere temperaturen (65°C) en pH's (ca 8,5) mogelijk. Dit houdt ecologische winsten en een betere conservering van het initiële substraat in. Meerdere referenties promoten deze benadering (patenten o.a. US 20100029538 A1, WO2012/125685 A1; Gentle Power Bleach @Huntsman)



Figuur 3.4. Processchema perazijnzuur bleek (incl. optie tot additionele waterstofperoxide bleek)



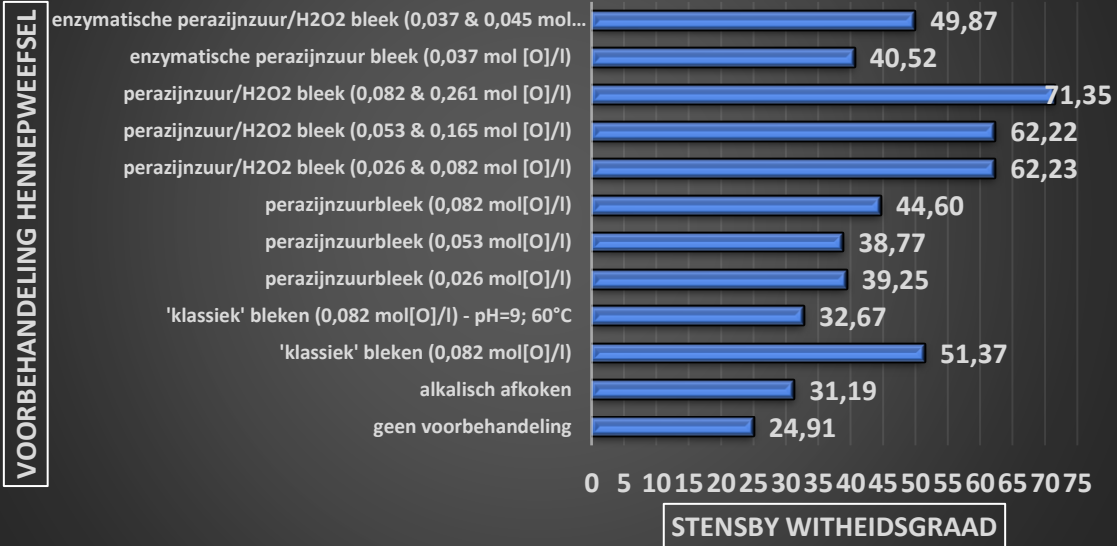
Figuur 3.5. Werkingsmechanisme van een enzymatische perazijnzuur bleek

Uit de onderzoeksresultaten kan afgeleid worden dat de toegepaste laccasen en enzymencombinaties ((hemi-) cellulasen, pectinasen) minder geëigend lijken voor het realiseren van volwaardige blekeffecten op zwaar natuurlijk gecontamineerde materialen zoals ecru hennep. Het meeste potentieel wordt echter toegedicht aan de nieuwsoortige perazijnzuur bleek, waarbij marktacceptabele witheidsgraden haalbaar blijken op hennep (zie figuur 3.6). 'Klassiek' bleken met waterstofperoxide leidt nog steeds tot de hoogste witheidsgraad waarden in vergelijking met perazijnzuur bleek (bij gelijke, toegepaste concentraties actieve zuurstof in het behandelingsbad). De combinatie van de twee leidt echter tot een nog beter (lees: witter) eindresultaat. Perazijnzuur bleek is bovendien mogelijk bij beduidend lagere procestemperaturen (60°C vs 95°C bij $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$ economische en ecologische winsten) én bij een bijna neutrale pH (ca 8 vs 12 bij H_2O_2). Dat leidt zowel tot een behoud van treksterkte (retentie van initiële DP-waarden) als een lager materiaalverlies, evenals een dalende chemische vezelaantasting. In het geval van H_2O_2 -

bleek van (afgekookt) hennep weefsel treedt een gewichtsverlies van 5,8% op, bij perazijnzuur bleek wordt maximaal 2,94% substraatverlies vastgesteld. Het treksterkteverlies voor waterstofperoxide bleek bedraagt 18,82%. Voor wat betreft de perazijnzuur bleek (incl. de enzymatische optie) wordt geen treksterkteverlies genoteerd. *Life Cycle Assessment*-analyse in het geval van katoen duidt voor CH_3COOOH -bleek een 25% lagere, ecologische voetafdruk aan (in #kg CO_2 eq./kg katoen), in vergelijking met waterstofperoxide bleek. Ten slotte zorgt de simultane inzet van pectinasen tijdens de perazijnzuur bleek dan weer niet tot een beter blekeffect. Een aandachtspunt blijft ook de vereiste concentratie perazijnzuur voor het bereiken van een optimaal resultaat (lees: maximale witheid bij een minimale vezelaantasting; zo volledig mogelijke omzetting van het perazijnzuur).

Het pectine restgehalte van het hennep weefsel na voorbehandeling kan bepaald worden m.b.v. ruthenium rood (RRT) aankleuringstesten, incl. determinatie van bijhorende K/S-waarden. De bekomen meetwaarden worden voorgesteld in tabel 3.1. Hieruit blijkt dat een meervoudige, alkalische afkookbewerking (sequentie van 5) vereist is om tot volledige pectineverwijdering te kunnen komen. Bleekprocessen kunnen evenwel ondersteunend werken op vlak van eliminatie van pectines.

Invloed van het bleekproces op de WG van alkalisch afgekookt hennepweefsel



Figuur 3.6. Waterstofperoxide bleek versus (enzymatische) perazijnzuur bleek – invloed op de Stensby witheidsgraad van hennep weefsel

Tabel 3.1. Impact van voorbehandelingsprocessen van hennep weefsel op het pectine restgehalte

Voorbehandeling hennepweefsel	RRTH --> K/S- waarde bij λ_{max}	Restgehalte <i>pectines</i>	% Eliminatie <i>pectines</i>
ecru	17,4	100%	0%
gedemineraliseerd	16,3	83,82%	16,18%
AFKOKEN			
1 * alkalisch afgekookt	15,8	76,47%	23,53%
2 * alkalisch afgekookt	14,5	57,35%	42,65%
3 * alkalisch afgekookt	13,3	39,71%	60,29%
4 * alkalisch afgekookt	12,5	27,94%	72,06%
5 * alkalisch afgekookt	10,6	0,00%	100%
'KLASSIEK' bleken (2,8 % H ₂ O ₂ = 0,082 mol [O]/l)			
1 * bleken op afgekookt	14	50,00%	50,00%
PERAZIJNZUURBLEEK op alkalisch afgekookt			
a) 4% perazijnzuur (0,053 mol [O]/l)	15,2	67,65%	32,35%
b) 4% perazijnzuur + 5,6% H ₂ O ₂ (0,053 mol [O]/l & 0,165 mol [O]/l)	12	20,59%	79,41%

3. Uitdieping

Additioneel onderzoek is uitgevoerd met als oogpunt het optimaliseren van bestaande voorbehandelingsschema's van hennep. Concreet zijn volgende pistes uitgediept:

- Procesrationalisatie op vlak van demineralisatie van ecru hennep weefsel
- Impact van parameter *setting* voor wat betreft een waterstofperoxide bleek van ecru hennep
- Nagaan vereiste tot een dubbele waterstofperoxide bleek van ecru hennep voor realisatie van optimale aanverfbaarheid
- Impact van procescondities bij voorbehandeling op initiële treksterkte waarden

Demineralisatie versus bleken

Het hennepweefsel waarop het verdere onderzoek is gebaseerd werd verkregen via Libeco-Lagae – Linificio.

Andere materiaaleigenschappen:

Gewicht: 530 g/m²

Ketting: Nm 6/2

Inslag: Nm 6

De huidige procesflow:

Natuurkleuren, daarbij wordt het materiaal alkalisch afgekookt tot de gewenste kleur is bekomen

Andere kleuren: bleken en verven met volgende processtappen:

Ontijzeren met oxaalzuur

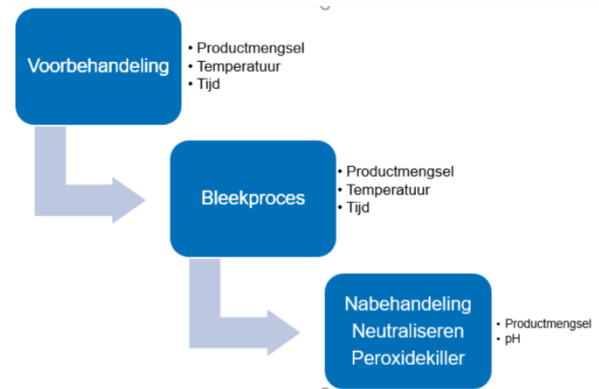
DUBBELE peroxyde bleek

Verven met reactieve leurstoffen

Zepen / drogen

Stonewash

Het opmaken van het referentiekader gebeurde in verschillende stappen, hieronder schematisch weergegeven.



➤ Startende met een DOE voor het **voorbehandelingsproces**:

Hierbij werd gebruik gemaakt van een combinatie van volgende producten:

- Beisol PRO: speciaal nieuw op punt gesteld product voor de enzymatische voorbehandeling van cellulose materialen
- Heptol EMG: dient om materiaal te ontijzeren, mengsel van fosfonaten, sterk zuur
- Felosan NFC: tensioactief product met groot was- en reinigend vermogen

Na de verschillende behandelingen werden **kleurmetingen** uitgevoerd; met als doel een witheidsgraad te bepalen die kan gebruikt worden om de verschillende weefsels met elkaar te vergelijken. Over de te gebruiken witheidsgraad bestaan veel theorieën. De verschillende mogelijkheden zijn:

Formules meten witheidsgraad

– $W_{CIE} = Y + 800(0,313 - x) + 1700(0,331 - y)$

– Berger

• $W_{Berger} = Y + 3,452Z + 3,908X$

– Taube

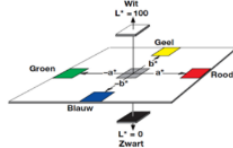
• $W_{Taube} = 3,727Z - 3Y$

– Hunter

• $W_{Hunter} = L - 3b$

– Stensby

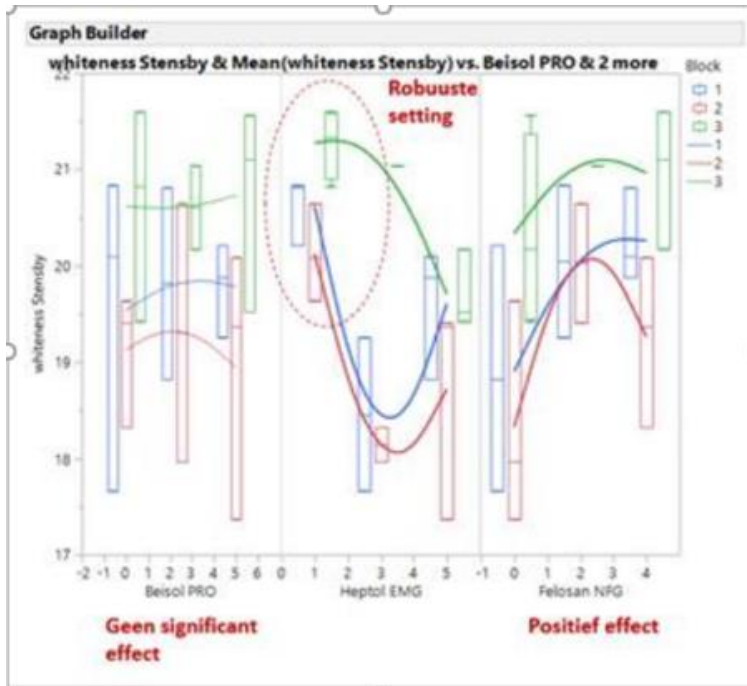
• $W_{Stensby} = L + 3a - 3b$



De eenvoudigste optie zou zijn dat de L-waarde zou gebruikt worden, maar dit geeft echter geen representatieve resultaten. Tijdens het verder onderzoek is gekozen om de **Stensby witheid** te gebruiken, omdat in deze formule gebruikt gemaakt wordt van een a en een b correctie.

Conclusie van deze proefopzet: de invloed van Beisol PRO was minimaal tot verwaarloosbaar.

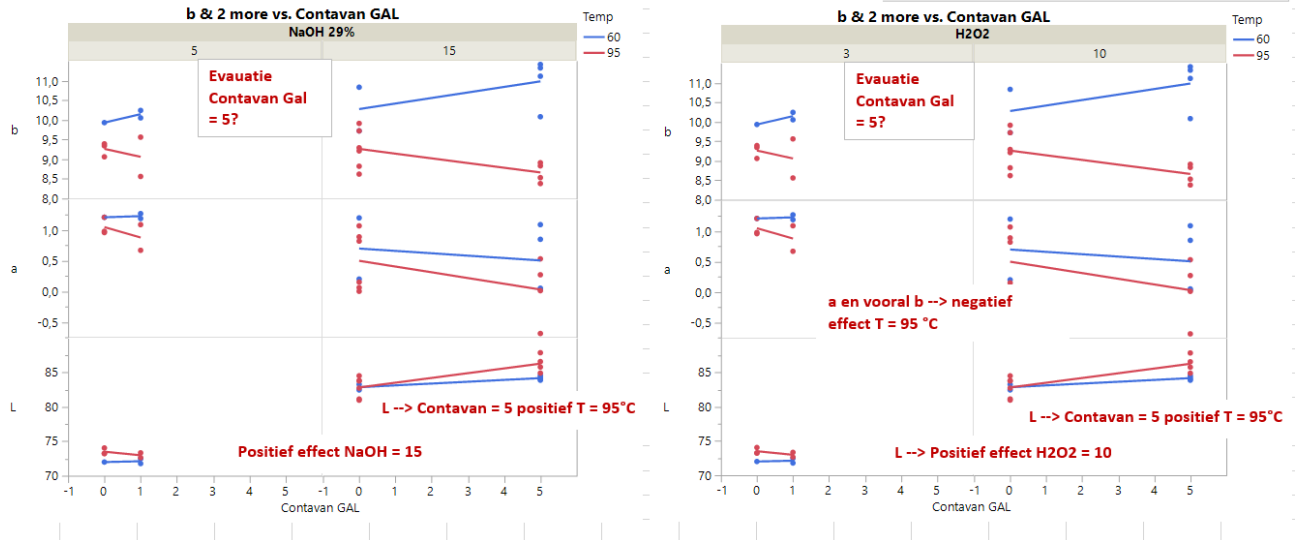
Een volgende proefopzet, waarbij de concentraties scherper werden ingesteld, geeft een vergelijkbaar resultaat. Hieruit bleek dat de Felosan NFG invloed sterker is dan de Heptol EMG concentratie; dat de Beisol PRO toevoeging aan het bad weinig of geen invloed heeft op de witheid.



- Na de optimalisatie van het voorbehandelingsproces volgt het **bleekproces**. Hierbij werd gebruik gemaakt van een combinatie van volgende producten:
- Contavan GAL: peroxidestabiliserende werking in aanwezigheid van katalytische metalen
 - H_2O_2 : 35%
 - NaOH
 - Felosan NFG: tensioactief product met groot was- en reinigend vermogen

De eerste resultaten van de uitgevoerde DOE tonen aan dat de combinatie van H_2O_2 en NaOH een noodzaak is, wat eigenlijk een te verwachten resultaat is. Want de efficiëntie van het bleken hangt samen met de alkaliteit van het bleekvlot.

NaOH & H2O2 niet onafhankelijk!



Andere parameters die de efficiëntie van het bleekproces bepalen zijn de temperatuur en de tijd waarbij het bleekproces zal uitgevoerd worden. Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de witheidsgraad.

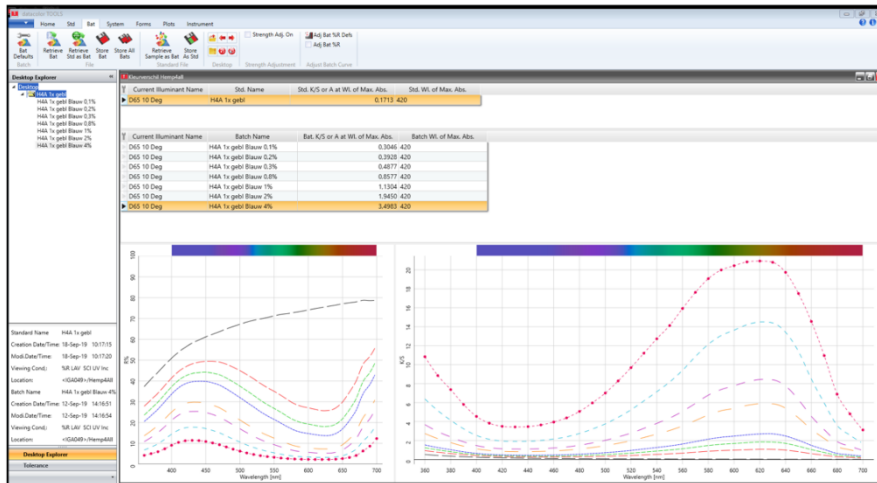
Involed van het bleekproces op het verven van hennepweefsel

Met de resultaten van vorige paragraaf in het achterhoofd, werd het hennep materiaal ook 2 keer gebleekt. De dubbele bleek wordt ook industrieel uitgevoerd om een zo breed mogelijk kleurenpalet te kunnen uitverven. Vervingen – trichromie - werden uitgevoerd met zowel reactieve als directe kleurstoffen.

Voor de reactieve kleurstof is gebruik gemaakt van Bezaktiv SW kleurstoffen, deze worden gekenmerkt door een multifunctioneel verankeringsysteem, hoge lichtechtheidscijfers en een zeer goede wasechtheidscijfers. Dankzij een zeer goede kleuropbouw (ook voor donkere kleuren) worden ze sterk aangeraden voor verven via uitputting;

Maar eerst werden rood, geel, blauw uitgeverfd aan verschillende concentraties, variërend van 0.1 tot 4%. Een voorbeeld van een dergelijke verving wordt hieronder weergegeven.

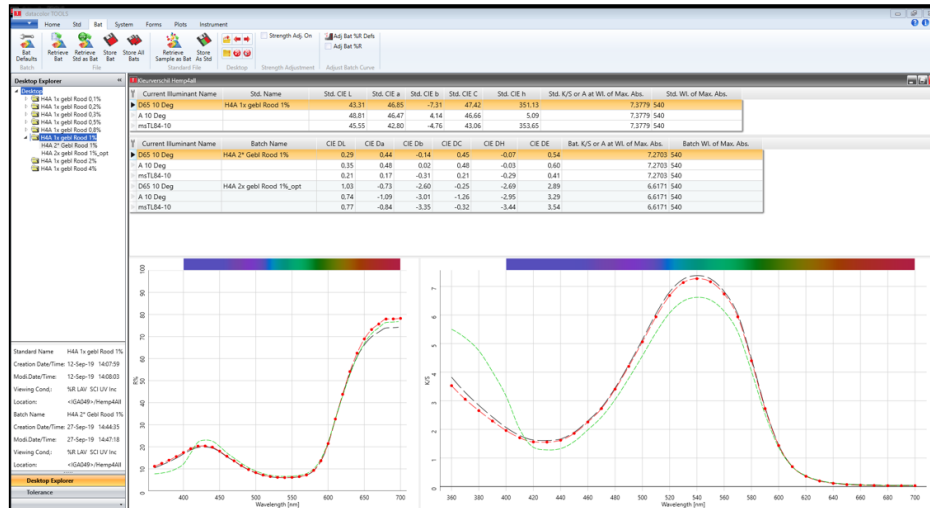
Bezaktiv Blauw S-W



Deze vergelijkende vervingen werden uitgevoerd op 3 verschillende substraten, 1 en 2 keer bleken en een ander referentiemateriaal werd afgewerkt met een optisch witmaker.

Onderstaande voorstelling van een 1%'s verving leert dat het verschil tussen 1 keer en 2 keer bleken minimaal is.

concentratie 1%



De groene curve wijkt iets af van de 2 andere, logisch want naast 2 keer bleken werd afgewerkt met een optisch wit materiaal.

Invloed van het bleekproces op de fysische eigenschappen van hennepweefsel

Treksterkteproeven na de verschillende bleekprocessen – resultaten van DOE bleken - zijn uitgevoerd. Algemeen kan men vaststellen dat de invloed op de verlenging, zowel in ketting- en inslagzin, minimaal is. Voor wat betreft de treksterkte daarentegen zijn er wel duidelijke verschillen waarneembaar. Hoe hoger de temperatuur (60° en 90°C ingesteld), hoe groter het treksterkteverlies. In sommige gevallen tot 40%; waarbij vooral de inslagrichting het gevoeligst lijkt.

Conclusie

Door gebruik te maken van een geoptimaliseerde productkeuze en een daarop afgesteld proces, kan er volgens de eerste vaststellingen, een belangrijke besparing worden uitgevoerd. Verder onderzoek naar de juiste productkeuze of productmengsels dringt zich op; de efficiëntie van sommige producten dient aangetoond te worden.

Procesoptimalisatie toont aan dat een dubbel bleekproces niet nodig zou zijn. Dit betekent een besparing op tijd, water en vooral op energie. Deze procesoptimalisatie heeft ook een directe invloed op de fysische parameters van het substraat. Hoe hoger de concentratie van de bleekproducten, hoe hoger het treksterkteverlies.

Scanning van de inzetbaarheid van hennep textiel inclusief mogelijke optimalisatiemethodes

Dit onderzoeksdeel kent een drievoudige invulling. Vooreerst is nagegaan in welke mate 'klassiek' toegepaste katoen en katoen/polyester weefsels substitueerbaar zijn door equivalente hennep textielmaterialen. Hiertoe zijn determinerende, fysische parameters van geselecteerde testweefsels bepaald. Daarnaast is nagegaan in welke mate vloeibare ammoniakbehandeling (NH_3) een (eventuele) substraatoptimalisatie kan bewerkstelligen. Afsluitend zijn een aantal essentiële comfortparameters van hennep textiel, zijnde greep/tactiliteit, vochtmanagement en luchtdoorlaatbaarheid bepaald.

1. Fysische basiskarakterisering van hennep weefsels

Er is een representatieve selectie gemaakt van hennep weefsels (100% vs mengvorm) en katoenen referentiematerialen:

- Katoen weefsel: 250 g/m²; gebleekt; Panamabinding (@Concordia Textiles)
- Hennep weefsel: 207 g/m²; gebleekt; lijnwaad (@Libeco-Lagae)
- Hennep weefsel: 147 g/m²; groen geverfd; lijnwaad (@Ecological Textiles)
- Hennep/biokatoen weefsel 55/45: 324 g/m²; blauw geverfd; keperbinding (@Ecological Textiles)
- Hennep/polyester weefsel 55/45: 278 g/m²; gebleekt; keperbinding (@Ecological Textiles)

Om een basisvergelijking mogelijk te maken tussen bovenvermelde substraten is een fysisch testprotocol ontwikkeld op basis van volgende genormaliseerde textieltesten:

- **Gewichtsbepaling** (# g/m²) cfr. ISO 3801
- **Treksterkte/rek** volgens de stripmethode cfr. ISO 13934-1
- **Scheursterkte** cfr. ISO 13937-1 (Elmendorf)
- **Abrasieweerstand** cfr. ISO 12947 (Martindale; 12 kPa (werkkledij))
- **Pilling** cfr. ISO 12945-2 (gemodificeerde Martindale methode)
- **Kreukherstellend vermogen** volgens
 - a) **AATCC wrinkle recovery tester** cfr. AATCC Test method 128
 - b) **Vlakheid na industrieel wassen** (cfr. ISO 15797 – 60°C) cfr. ISO 7768
 - c) **Ontkreukingshoek** (droge toestand) cfr. ISO 2313-1

- **Dimensionale stabiliteit** na industrieel wassen (ISO 15797 – 60°C) cfr. ISO 3759 (voorbereiding, markering en meten) & ISO 5077 (krimpbeoordeling)

De verkregen testwaarden zijn af te leiden uit tabel 3.2.

Tabel 3.2. Bepaling van de fysische basiseigenschappen: katoen versus hennep weefsels

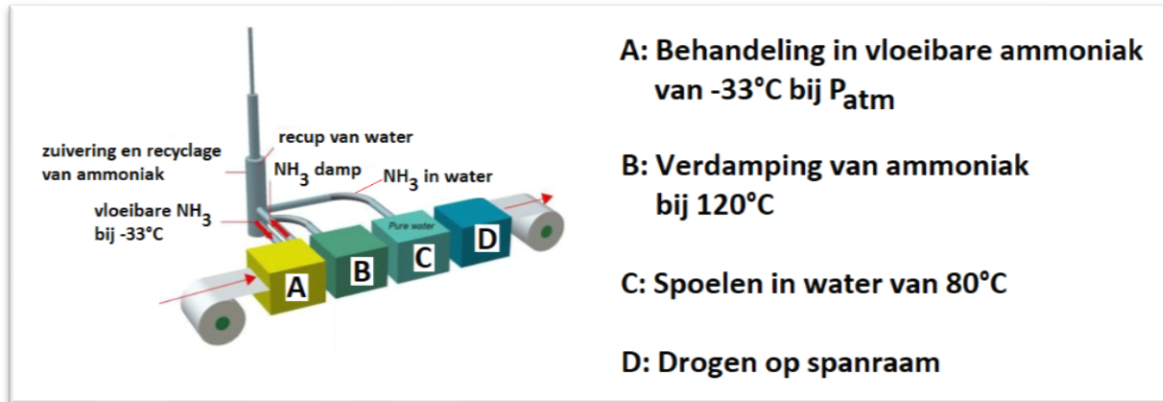
	Hennep weefsel - gebleekt	Hennep weefsel – groen	Hennep/biokatoen weefsel 55/45	Hennep/polyester weefsel 55/45	Katoen weefsel - gebleekt
Gewicht	207 g/m²	147 g/m²	324 g/m²	278 g/m²	250 g/m²
Treksterkte/rek - ketting	659,05N / 11,54%	371,17N / 12,77%	1136,25N / 28,18%	1620,02N / 16,64%	840,61N / 10,01%
Treksterkte/rek – inslag	648,31N / 8,96%	284,32N / 11,32%	626,21N / 10,60%	665,72N / 12,96%	825,62N / 10,08%
Scheursterkte – ketting	47,01N	34,52N	71,88N	43,74N	27,62N
Scheursterkte – inslag	53,99N	34,38N	83,82N	64,16N	29,07N
Abrasieweerstand	4000 tr	2000 tr	18000 tr	35000 tr	15000 tr
Pilling - Martindale (2000 tr)	1	2/3	3	3	4/5
Kreukgevoeligheid:					
a) Wrinkle recovery test	1/2	½	3	2	1/2
b) Vlakheid na industrieel wassen					
--> 1 * wassen à 60°C	2/3	4	¾	3	1
--> 5 * wassen à 60°C	2	4	4	2/3	2/3
c) Ontkreukingshoek - ketting	64,25°	65,75°	73°	61,75°	59,75°
Ontkreukingshoek - inslag	65,25°	68,50°	68,75°	87,50°	67,50°
Dimensionale stabiliteit - ketting					
--> 1 * wassen à 60°C	-5,2%	+0,5%	-4,0%	-6,3%	-4%
--> 5 * wassen à 60°C	-5,8%	-1,3%	-3,0%	-3,8%	-5%
Dimensionale stabiliteit - inslag					
--> 1 * wassen à 60°C	-2,0%	+2,1%	-1,5%	0,0%	-5%
--> 5 * wassen à 60°C	-3,3%	+2,5%	-3,0%	0,0%	-5,8%

De volgende, algemene vaststellingen kunnen op basis hiervan gemaakt worden:

- De onderzochte, *100% hennep weefsels* tonen *limitaties* op vlak van abrasieresistentie, neiging tot pilling en gevoeligheid aan kreukvorming.
- Essentiële, *fysische waarden* zoals treksterkte & scheursterkte vallen binnen marktconforme grenzen.
- Door toepassing van *mengvormen* (hennep/bio-katoen; hennep/rPES) vindt een optimalisatie van de fysische basiskarakteristieken plaats.
- Toepassing van *apprêts* (verzachters, anti-pilling, vormstabilisatie, e.d.) kan ondersteunend werken.

2. Substraatoptimalisatie op basis van vloeibare ammoniakbehandeling

Merceriseren/logen/caustifiëren van cellulose textiel is een goed ingeburgerde methode. Het betreft meer bepaald het behandelen van het textiel in hooggeconcentreerde, koude natriumhydroxide oplossingen (100 – 300 g NaOH/l). Hierbij wordt een algehele substraatverbetering nagestreefd op vlak van: a) stijgende aanverfbaarheid, b) hogere glans, c) hogere vormstabiliteit, d) (eventuele) verbetering van fysische basiseigenschappen (o.a. sterkte, abrasie), e) betere greep. Een dergelijke textielbewerking leidt evenwel mogelijk tot ongewenste substraatafbraak en ecologische impact (afvalwater). Vandaar is een aanbevelenswaardig alternatief hiervoor een zogenaamde behandeling van het textiel in vloeibare ammoniak (Beau-Fixe®). Dezelfde productbeïnvloeding wordt hierbij nagestreefd als bij de bovenvermelde merceriseerbewerking. Er is nu echter sprake van een zo goed als emissievrije toestand (> 99% recup van het toegepaste ammoniak, cfr. STeP by OEKO-TEX® certificatie). Bovendien ontstaat er een permanente substraatmodificatie (i.e. 'ontzwellling' van de (semi-) kristallijne zones) en -verbetering zonder blijvende chemicaliëninbouw (lees: *zero* depositiemethode). Dat sluit perfect aan bij het beoogde circulaire textielgegeven. De behandeling zelf omvat een continue, 4-staps procesgang (zie figuur 3.7) en kan in loon uitgevoerd worden bij de firma Veramtex (Brussel).



Figuur 3.7. Beau-fixe® procedé @Veramtex

De geselecteerde katoen en hennep basisweefsels zijn onderworpen aan een standaardbehandeling in vloeibare ammoniak. Om de substraatbeïnvloeding na te gaan is het hogervermelde, fysische testprotocol opnieuw doorlopen. De testwaarden staan in tabel 3.3 vermeld.

Tabel 3.3. Impact van Beau-fixe® behandeling op de fysische baseeigenschappen van katoen en hennep weefsel

	Katoen weefsel - gebleekt	Katoen weefsel - gebleekt & NH ₃ - behandeling		Hennep weefsel - gebleekt	Hennep weefsel - gebleekt & NH ₃ - behandeling
Gewicht	250 g/m²	270 g/m²		207 g/m²	227 g/m²
Treksterkte /rek - ketting	840,61N / 10,01%	956,50N / 8,74%		659,05N / 11,54%	864,19N / 7,35%
Treksterkte /rek - inslag	825,62N / 10,08%	820,41N / 19,13%		648,31N / 8,96%	582,62N / 21,19%
Scheursterkte – ketting	27,62N	35,03N		47,01N	50,77N
Scheursterkte – inslag	29,07N	32,49N		53,99N	45,29N
Abrasieweerstand	15000 tr	35000 tr		4000 tr	4000 tr
Pilling - Martindale (2000 tr)	4/5	4/5		1	1
Kreukgevoeligheid:					
a) Wrinkle recovery test	1/2	3		1/2	2
b) Vlakheid na industrieel wassen					
--> 1 * wassen à 60°C	1	2/3		2/3	2
--> 5 * wassen à 60°C	2/3	3		2	2
c) Ontkreukingshoek - ketting	59,75°	79,25°		64,25°	65,50°
Ontkreukingshoek - inslag	67,50°	68,75°		65,25°	73°
Dimensionale stabiliteit - ketting					
--> 1 * wassen à 60°C	-4%	0%		-5,2%	-4,1%
--> 5 * wassen à 60°C	-5%	-2%		-5,8%	-5%
Dimensionale stabiliteit - inslag					
--> 1 * wassen à 60°C	-5%	0%		-2%	+2,6%
--> 5 * wassen à 60°C	-5,8%	-0,5%		-3,3%	+2,6%

Door behandeling in vloeibare ammoniak verkrijgt het katoen weefsel een merkbare boost op vlak van volgende, fysische eigenschappen:

- Treksterkteverbetering kettingrichting: + 13,8%
- Sterke verhoging van de abrasieweerstand: 15000 tr → 35000 tr
- Veel betere vormvastheid: krimp bij industrieel wassen (ISO 15797) K & I $\leq 2\%$ & dalende kreukvorming

Het onderzochte hennep weefsel ondervindt dan weer geen noemenswaardige/ significante optimalisatie van zijn fysische basiscondities. Bijkomend onderzoek duidt evenwel aan dat er een sterke mate aan substraatafhankelijkheid hierin bestaat (zie figuur 3.8). Door eenzelfde Beau-Fixe® procesgang toe te passen op zwaardere hennep weefselkwaliteiten ($> 350 \text{ g/m}^2$) wordt wél een eenduidige vooruitgang van de dimensionale stabiliteit na eenmaal industrieel wassen (60°C) vastgesteld.

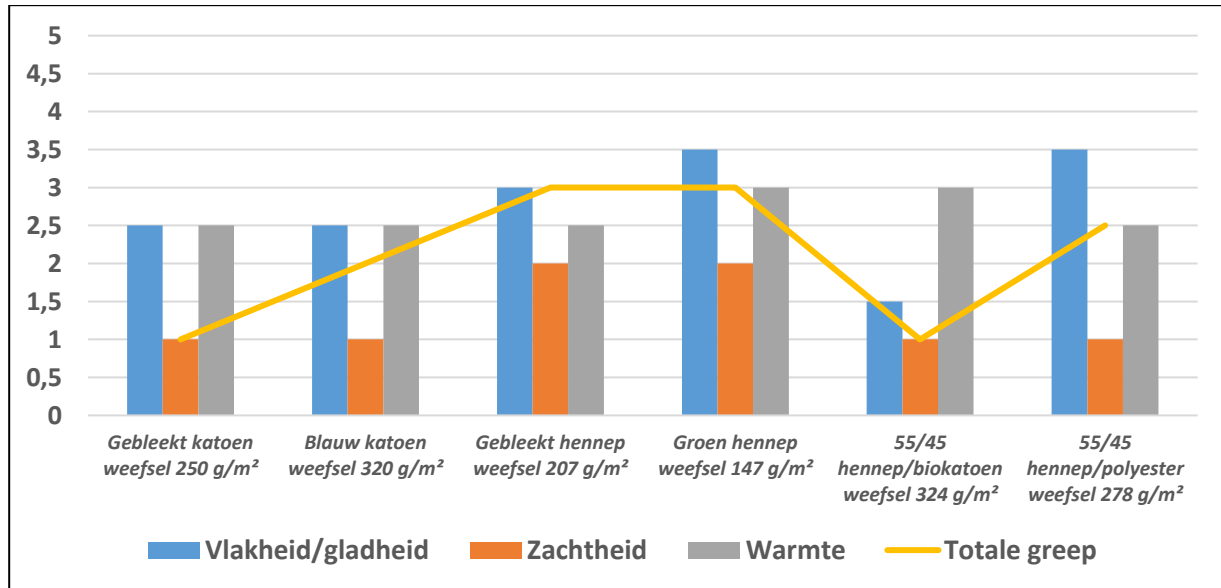
Zowel voor de katoen als hennep basisweefsels wordt een beduidend diepere aanverving vastgesteld door toepassing van het Beau-fixe® proces (gemeten in termen van K/S- en L-waarden), en dat bij gelijkblijvende echtheidscijfers (wrijf- vs wasechtheden). Dat geldt zowel voor vervingen met reactieve kleurstoffen als kuipkleurstoffen (diepe resp. middendiepe tinten).



Figuur 3.8. Positieve impact van Beau-Fixe® behandeling op de vormstabiliteit van hennep weefsels

3. Comfortanalyse

De **greep, touché of tactiliteit** van de geselecteerde, hennep textielmaterialen is onderzocht m.b.v. een Fabric Touch Tester (FTT @SDL Atlas). Het betreft een *all in one* analysetoestel, waarbij greepdeterminerende, fysische substraatparameters bepaald worden, zoals buigweerstand, compressie, frictie, geometrische ruwheid en thermische flux. Dit laat dan weer toe de zogenaamde, primaire greepindicatoren zachtheid, gladheid/vlakheid en warmte af te leiden. Uit deze laatste kan een 'totale greep' berekend worden. Een dergelijke werkwijze laat toe op een maximaal objectieve manier de greep van een textielmateriaal te kunnen beoordelen. De resultaten van een vergelijkende greepanalyse tussen hennep (100% of mengvorm) t.o.v. equivalente katoen weefsels worden voorgesteld in figuur 3.9.



Figuur 3.9. Vergelijking van de tactiliteit van katoen, hennep en mengweefsels (interpretatie: score '0' = minimale rating (-); score '5' = maximale rating (+))

Hieruit is af te leiden dat hennep weefsel in zuivere of mengvorm (Ha/CO; Ha/PES) minstens hetzelfde totale greepniveau haalt in vergelijking met gelijkaardige, katoenen

weefseltypes. Bijkomend onderzoek toont aan dat *stonewash*² behandeling niet leidt tot een significante, totale greepverbetering van de onderzochte weefsels. Dat om redenen van twee antagonistische effecten: enerzijds doet *stonewash* de vlakheid van het textielweefsel afnemen (ongewenste fibrillatie), anderzijds zorgt het voor een toename van de zachtheid (volumineusheid) én van het warm aanvoelen. Bijkomend is aangetoond dat de toegepaste NH₃-behandeling niet leidt tot een significante beïnvloeding van het greepaspect van het onderzochte katoen of hennep weefsel.

Vochtmanagement analyse van de teststalen is gebeurd op basis van een *Moisture Management Tester* (MMT @SDL Atlas, cfr. AATCC Test Method 195). Het hydrofiel karakter van de onderzochte textielstalen wordt hierbij bepaald op basis van zes determinerende parameters nl. bevochtigingstijd (in sec), absorptiesnelheid (in %/sec), maximale bevochtigingsstraal (in mm), spreidingssnelheid (in mm/sec), *one way transport index* en *overall moisture management capability* (OMMC). Genormaliseerde categorisering van deze zes parameterwaarden gebeurt telkens m.b.v. scores 'I' (laagste waarde) tot 'V' (hoogste waarde). Als finale indicator voor het hydrofiel karakter wordt in dit onderzoek het gewogen gemiddelde van deze zes testwaarden genomen. De resultaten worden weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4: Hydrofiliteitsanalyse: hennep vs katoen – impact van NH₃-behandeling

Substraat	Indicator hydrofiel karakter
Gebleekt katoen weefsel 250 g/m²	4,3
Blauw katoen weefsel 320 g/m²	3,2
Gebleekt hennep weefsel 207 g/m²	3,05
Groen hennep weefsel 147 g/m²	3,2
55/45 hennep/biokatoen weefsel 324 g/m²	3,4
55/45 hennep/polyester weefsel 278 g/m²	4,2
Gebleekt katoen weefsel - NH₃ -behandeld	3,8
Gebleekt hennep weefsel - NH₃ -behandeld	2,65

² Stonewash: discontinue behandeling m.b.v. kalk- of puimstenen, gevolgd door wassen, drogen en strijken

Hieruit is af te leiden dat de onderzochte katoen en hennep weefsels gekenmerkt worden door een gelijkaardig vochtmanagement profiel. Door NH₃-behandeling treedt een lichte daling van de hydrofiliteit op.

Aanbevelingen HEMP4ALL

Werken met natuurlijke, biohernieuwbare textielvezels houdt een bilateraal spanningsveld in. Enerzijds sluit het perfect aan bij de vereiste tot een maximaal duurzame invulling op vlak van grondstoffenbron. Anderzijds houdt het werken met basismaterialen van natuurlijke oorsprong een complexiteit in op vlak van manipulatie, verwerking en uiteindelijke toepassing. De huidige en toekomstige marktvragen naar textielproducten richten zich maximaal op vrije en continue toegankelijkheid/beschikbaarheid, efficiëntie op vlak van verwerking en toepasbaarheid, flexibele productinzet over een zo langdurig mogelijk levenscyclustraject. Dat alles gekoppeld aan een aanvaardbare totale productkost binnen een *zero-waste* filosofie (inclusief *end of life*). Het voorliggende onderzoek duidt aan dat hennep in textiele vorm hieraan deels kan beantwoorden, maar ook een inherente complexiteit met zich meebrengt voor wat betreft de (eind)productmanipulatie. Om als doelmatig alternatief voor het huidige textielpallet aangewend te kunnen worden, dienen (mogelijk) vastgestelde limitaties (pilling, abrasieweerstand, vormstabiliteit) gecontroleerd te worden. Chemaliënvrije benaderingen verdienen hierbij de voorkeur. Meervoudige technologie-ontwikkelingen doorheen de voorbije decennia kunnen hiervoor benut worden. Denken we hierbij bijvoorbeeld aan de geschetste behandelingsmethode op basis van vloeibare ammoniak, het louter mechanisch manipuleren van het textiel (*stone wash*, mechanische vormset), oppervlaktebestralingstechnieken (laser, plasma), substraatmodificatie op basis van enzymen, enz. De mogelijkheden zijn divers, waarbij verder exploratief onderzoek verhelderend kan werken om het toepassingspotentieel van henneptextiel te vervolmaken.

REFERENTIES

Inleiding

Carus, M. (2017) The European Hemp Industry: Cultivation, Processing and Applications for Fibres, Shivs, Seeds and Flowers. European Industrial Hemp Association (EIHA).

Danckaert, I. F., Verbeke, I., Delanote, I., & De Kubber, I. (2006). Inleiding tot de biologische teelt van hennep. PCBT vzw, Belbior vzw, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

DPDO (2016). Vlaams Programma voor Plattelandsontwikkeling 2014-2020: DPDO III. Vlaamse Overheid, Departement Landbouw en Visserij, Vlaams Ruraal Netwerk, 71 p.

Galasso I, Russo R, Mapelli S, Ponzoni E, Brambilla IM, Battelli G, Reggiani RC. (2016) Variability in seed traits in a collection of *Cannabis sativa* L. genotypes. Front. Plant Sci. 7, 688.

Grotenhermen F, Müller-Vahl K. (2016). Medicinal uses of marijuana and cannabinoids. CRC Crit. Rev. Plant Sci. 35, 378–405.

Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. (2011). The green, blue, and grey water footprint of crops and derived crop products, Delft, Netherlands: UNESCO-IHE.

Salentijn EMJ, Zhang Q, Amaducci S, Yang M, Trindade LM. (2015). New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. Ind. Crops Prod. 68, 32–41.

Schluttenhofer C., Yuan L. (2017). Challenges towards revitalizing hemp: a multifaceted crop. Trends in Plant Science, vol.22, nr. 11: 917-929.

Sнауwaert E., Ghekiere G. (2011). Industriële hennep: State-of-the-art. Inagro, Rumbeke.

Tang K., Struik P.C., Yin X., Thouminot C., Bjelková M., Stramkale V. (2016). Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. Industrial Crops & Products 87, 33–44.

Van Eynde, H. (2015). Comparative Life Cycle Assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing. Msc thesis, KU Leuven.

Van In J.B. (2019). Vlas is (terug) in zijn sas. West-Vlaanderen werkt, themakatern. Jaargang 61: p 13-45.

Woodford E., Cui X. I. (2016). The Chinese Hemp Industry, Seed CX. Retrieved from <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/seedcx.com/assets/The-Chinese-Hemp-Industry.pdf>

Eigen Kweek

Amaducci, S., and Gusovious, H. J. (2010). "Hemp– cultivation, extraction and processing," in *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, ed. J. Müssig (Chichester: John Wiley & Sons, Ltd), doi: 10.1002/9780470660324.ch5.

Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F. H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G., et al. (2015). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. Ind. Crop. Prod. 68, 2–16. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.06.041

- Antonov, V., Marek, J., Bjelkova, M., Smirous, P., Fischer H. (2007). Easily available enzymes as natural retting agents. *Biotechnology Journal*, 2: 342-346.
- Danckaert, I. F., Verbeke, I., Delanote, I., & De Kubber, I. (2007). INLEIDING TOT DE BIOLOGISCHE TEELT VAN HENNEP. PCBT vzw, Belbior vzw, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Faux, A. M., Draye, X., Lambert, R., d'Andrimont, R., Raulier, P., and Bertin, P. (2013). The relationship of stem and seed yields to flowering phenology and sex expression in monoecious hemp (*Cannabis sativa* L.). *Eur. J. Agron.* 47, 11–22. doi: 10.1016/j.eja.2013.01.006.
- Govaert J.-L. (2017). Industriële hennep (*Cannabis sativa* L.): teelt, oogstmethodiek en potentieel in Vlaanderen. Bachelorproef, Hogeschool Gent, België, 109 p.
- Hänninen T, Thygesen A, Mehmood S, Madsen B and Hughes M (2012). Mechanical processing of bast fibres: The occurrence of damage and its effect on fibre structure. *Industrial Crops and Products* 39:7-11.
- Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I., & Soldati, A. (1998). Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association*, 5, 65–68.
- Mediavilla, V., Leupin, M., & Keller, A. (2001). Influence of the growth stage of industrial hemp on the yield formation in relation to certain fibre quality traits. *Industrial Crops and Products*, 13(1), 49–56. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(00\)00052-2](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(00)00052-2).
- MultiHemp - Multipurpose hemp for industrial bioproducts and biomass, 2017. Report on the effects of agronomic practices on hemp biomass yield (fibre and seeds) and quality, 93 p.
- Landbouwleven, 2019-04-06, Vlas een teelt met mogelijkheden. <https://www.landbouwleven.be/5022/article/2019-04-06/vlas-een-teelt-met-mogelijkheden>.
- Kozłowski. R. M. (2012). Handbook of natural fibres (Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation). Woodhead Publishing Limited.
- Liu, M., Fernando, D., Daniel, G., Madsen, B., Meyer, A. S., Ale, M. T., & Thygesen, A. (2015). Effect of harvest time and field retting duration on the chemical composition, morphology and mechanical properties of hemp fibers. *Industrial Crops and Products*, 69, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.010>
- Liu, L., Li, B., Xiang, Y. P., Zhang, R. Y., Yu, J. Y., and Fang, B. (2018). Effect of growth period and sampling section on the chemical composition and microstructure of raw hemp fibers. *Bioresources* 13, 1961–1976. doi: 10.15376/biores.13.1.1961-1976
- Sankari H. S. (2000). Comparison of bast fibre yield and mechanical fibre properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars. *Ind. Crops Prod.* 11 73–84. 10.1016/S0926-6690(99)00038-2
- Tang, K., Struik, P. C., Yin, X., Thouminot, C., Bjelková, M., Stramkale, V., & Amaducci, S. (2016). Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. *Industrial Crops and Products*, 87(Supplement C), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.02>

Hemp4All

[1] www.veramtex.com

[2] Kafle et al.; Textile Research Journal 2014; vol.84 (16) 1692-1699

[3] Hwang, Min Su; Ji, Dong Sun; "The effects of yarn number and liquid ammonia treatment on the physical properties of hemp woven fabrics"; Fibers and Polymers Journal; Volume: 13, Issue: 10, pages: 1335-1340; 2012

[4] Zhang, Jie; Zhang, Hua; Zhang, Jianchun; "Evaluation of liquid ammonia treatment on surface characteristics of hemp fiber"; Cellulose; Volume: 21, Issue: 1, pages: 569-579; 2014

[5] Lee, Jung Jin; Ji, Dong Sun; "Evaluation of liquid moisture management properties on hemp woven fabrics treated with liquid ammonia"; Textile Research Journal; Volume: 87, Issue: 14, pages: 1752-1764; 2016

[6] Ji, Dong Sun; Lee, Jung Jin; "Mechanical properties and hand evaluation of hemp woven fabrics treated with liquid ammonia"; Fibers and Polymers Journal; volume 17, Issue: 1, pages: 143-150; 2016

BIJLAGEN

Tabel S1. Resultaat GLM rassenproef Eigen Kweek met genotype en teeltjaar als treatments. Tabel toont F-waarden en hun significantie-niveau (zie kleurcode).

Dependent	F-genotype	F-jaar	F-jaar*genotype
Bloei	495,43	75,83	11,77
Hoogte	22,54	193,08	3,32
Diameter	4,67	54,46	5,50
Densiteit	3,27	85,13	1,40
DS-opbrengst	30,84	121,95	8,65
Langevezel%	6,73	5,34	1,24
LV-opbrengst	5,96	0,21	4,60

	P<0,05
	P<0.01
	P<0.001
	P<0.000001

Tabel S2. Gemiddelde waarden per hennep ras en proef voor de veldproeven uitgevoerd in het kader van project 'Eigen Kweek' te Bottelare (2017-2019).

		Bloei	Opkomst (zaailingen/m ²)		Densiteit (planten/m ²)		Diameter (mm)		Planthoogte (cm)		DS-opbrengst (Mg/ha)		LV-opbrengst (Mg/ha)	
		Mean	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
BIA	2017_laait	68,25	134,50	40,84	95,56	23,09	8,00	1,41	243,53	12,97	8,25	0,96	1,47 0,73	0,15 0,10
	2017_standaard	81,00	214,50	15,29	192,25	35,98	10,00	0,00	236,75	8,77	14,25	0,50		
	2018_standaard	74,25	186,75	14,13	186,75	16,07	5,25	0,96	153,75	29,43	7,50	1,73		
	2018_winter	.	71,11	17,40	64,44	4,44	6,17	1,23	87,98	14,16	0,62	0,16		
	2019_dens	83,00	142,13	23,98	113,33	34,33	8,40	0,71	279,25	20,69	11,02	0,46		
	2019_standaard	81,00	129,38	38,53	100,74	24,48	8,10	1,45	284,00	10,44	11,14	0,17		
CS	2017_laait	81,67	126,00	8,89	134,81	18,50	9,33	1,15	302,13	14,04	9,67	0,58	0,74 1,05	0,18 0,40
	2017_standaard	104,50	223,25	20,90	187,75	31,28	7,50	0,58	279,00	6,98	11,75	1,26		
	2018_standaard	99,50	135,50	26,03	131,25	25,24	8,00	0,82	237,25	31,05	10,00	2,16		
	2018_winter	.	65,56	27,73	66,67	3,63	6,71	1,60	95,83	21,43	0,70	0,18		
	2019_dens	110,00	85,88	14,05	47,78	7,59	12,48	3,66	357,00	11,75	17,29	1,36		
	2019_standaard	108,50	62,06	11,85	65,56	18,99	13,63	0,88	346,13	36,88	17,30	0,52		
DAC	2017_laait	74,50	112,25	22,69	102,22	24,07	9,00	1,63	274,03	14,72	9,50	2,08	1,09 1,03	0,15 0,02
	2017_standaard	91,00	153,25	26,37	161,00	30,17	9,00	2,16	238,75	11,12	10,25	0,96		
	2018_standaard	96,25	143,25	24,86	145,50	4,36	6,75	0,96	211,25	9,84	9,50	1,29		
	2018_winter	.	66,67	3,63	72,22	8,41	5,59	1,17	81,45	13,61	0,48	0,16		
	2019_dens	100,25	136,50	33,02	75,56	18,14	10,03	0,26	299,75	13,29	17,46	2,13		
	2019_standaard	102,75	103,13	17,46	71,11	15,40	12,33	1,81	312,88	9,78	17,00	1,63		
FUT	2017_laait	75,67	167,33	38,53	140,74	17,96	8,33	0,58	280,63	9,58	10,00	1,00	0,88 1,01	0,22 0,48
	2017_standaard	92,75	207,75	10,40	156,75	33,30	6,50	1,29	241,00	8,41	10,25	0,50		
	2018_standaard	98,75	175,50	10,50	149,00	25,91	6,75	0,96	203,00	43,50	9,75	3,10		
	2018_winter	.	57,78	9,60	73,33	27,28	6,81	1,26	104,28	19,03	0,81	0,29		
	2019_dens	101,25	142,69	29,46	71,11	8,89	10,28	1,28	306,63	22,59	17,41	2,20		
	2019_standaard	99,00	104,44	27,81	71,11	16,02	10,03	0,99	308,33	12,11	17,35	2,24		
S27	2018_standaard	86,75	171,25	24,76	174,50	19,16	6,00	0,00	147,50	27,44	6,75	2,06	0,86	0,30
	2018_winter	.	82,22	30,25	64,44	13,82	5,61	0,31	74,60	3,64	0,40	0,09		
	2019_dens	.	135,38	12,65	116,67	19,33	9,53	0,50	281,25	6,08	10,44	0,45		
	2019_standaard	90,00	94,13	16,64	108,89	16,83	9,40	1,06	272,75	9,88	10,85	0,62		
S70	2018_standaard	93,75	152,25	15,84	160,00	18,13	7,00	0,82	216,25	29,15	9,00	1,83	1,43	0,38
	2018_winter	.	67,78	21,28	54,44	11,11	6,04	0,68	89,93	16,00	0,65	0,15		
	2019_dens	99,25	158,44	17,64	71,11	16,63	10,15	0,59	314,00	7,02	13,72	1,08		
	2019_standaard	100,25	109,88	24,07	71,11	17,40	10,33	1,41	320,25	6,45	15,58	0,45		
USO	2017_laait	56,00	100,25	17,17	80,00	9,60	12,75	0,96	231,98	9,15	10,75	1,26	0,50 0,64	0,12 0,18
	2017_standaard	51,50	122,25	18,52	133,50	44,75	8,25	1,26	154,25	12,28	6,00	0,00		
	2018_standaard	58,25	156,50	16,82	140,00	18,11	6,25	0,50	180,08	19,68	6,25	0,96		
	2018_winter	.	68,89	20,04	62,22	14,96	5,49	1,06	75,98	11,80	0,41	0,17		
	2019_dens	73,00	101,44	24,88	107,78	30,44	8,13	2,29	264,00	4,24	10,22	0,36		
	2019_standaard	70,25	73,69	14,69	83,33	12,77	7,88	1,82	287,05	8,55	9,07	0,57		

Tabel S3. Correlaties tussen biometrische kenmerken, bloeitijdstip en opbrengstkenmeristieken op basis van de gemiddelde waardes per hennepas, gemeten op basis van de zeven hennepassen gebruikt in project 'Eigen Kweek'.

Correlations

		bloei	lengte	diameter	densiteit	DSopbrengst
bloei	Pearson Correlation	1	,823*	,656	-,139	,881**
	Sig. (2-tailed)		,023	,110	,767	,009
	N	7	7	7	7	7
lengte	Pearson Correlation	,823*	1	,836*	-,419	,862*
	Sig. (2-tailed)	,023		,019	,349	,013
	N	7	7	7	7	7
diameter	Pearson Correlation	,656	,836*	1	-,158	,655
	Sig. (2-tailed)	,110	,019		,735	,110
	N	7	7	7	7	7
densiteit	Pearson Correlation	-,139	-,419	-,158	1	-,145
	Sig. (2-tailed)	,767	,349	,735		,757
	N	7	7	7	7	7
DSopbrengst	Pearson Correlation	,881**	,862*	,655	-,145	1
	Sig. (2-tailed)	,009	,013	,110	,757	
	N	7	7	7	7	7

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel S4. Correlaties tussen de opbrengst van groot hennepstro op de vlaswingellijn (LangeV, KorteV, TotaalV) en gewaskarakteristieken voor het teeltjaar 2018. Het vezelgehalte is het percentage totaalvezel (kort plus lang).

Correlations										
		Stro	LangeV	KorteV	TotaalV	Diameter	Densiteit	Bloei	DSopbrengst	Lengte
Stro	Pearson Correlation	1	,803*	,549	,895**	,819*	-,504	,868	,907**	,868*
	Sig. (2-tailed)		,030	,202	,006	,024	,249	,011	,005	,011
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
LangeV	Pearson Correlation	,803*	1	,196	,891**	,470	-,142	,739	,699	,651
	Sig. (2-tailed)	,030		,674	,007	,287	,762	,058	,080	,113
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
KorteV	Pearson Correlation	,549	,196	1	,619	,906**	-,878**	,236	,364	,736
	Sig. (2-tailed)	,202	,674		,138	,005	,009	,611	,422	,059
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
TotaalV	Pearson Correlation	,895**	,891**	,619	1	,795	-,521	,701	,726	,860*
	Sig. (2-tailed)	,006	,007	,138		,032	,231	,079	,065	,013
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Diameter	Pearson Correlation	,819*	,470	,906**	,795	1	-,834*	,575	,640	,851*
	Sig. (2-tailed)	,024	,287	,005	,032		,020	,177	,122	,015
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Densiteit	Pearson Correlation	-,504	-,142	-,878**	-,521	-,834*	1	-,221	-,462	-,786*
	Sig. (2-tailed)	,249	,762	,009	,231	,020		,634	,296	,036
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Bloei	Pearson Correlation	,868	,739	,236	,701	,575	-,221	1	,880**	,610
	Sig. (2-tailed)	,011	,058	,611	,079	,177	,634		,009	,146
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
DSopbrengst	Pearson Correlation	,907**	,699	,364	,726	,640	-,462	,880**	1	,839
	Sig. (2-tailed)	,005	,080	,422	,065	,122	,296	,009		,018
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Lengte	Pearson Correlation	,868	,651	,736	,860*	,851*	-,786*	,610	,839	1
	Sig. (2-tailed)	,011	,113	,059	,013	,015	,036	,146	,018	
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Vezelgehalte	Pearson Correlation	-,872*	-,672	-,334	-,690	-,596	,274	-,948**	-,919**	-,688
	Sig. (2-tailed)	,011	,098	,464	,086	,158	,551	,001	,003	,088
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

