



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Bæredygtige hampetekstiler

Udvikling af koncept til fremstilling af bæ- redygtige hampeteks- tiler

MUDP rapport

September 2021

Redaktion: Miljøstyrelsen

Tekst: Bodil Engberg Pallesen

Grafiker/bureau: Teknologisk Institut

Tryk: Teknologisk Institut

Fotos:

Bodil E. Pallesen/Teknologisk Institut

Rachel Kollerup

Jørgen Heggelund

Johanna Apeltgren, Kvadrat

Flemming Werk, Advance Nonwoven

Poul-Erik Jørgensen, VIA University College

Johanne Sejthen, AU

ISBN: 978-87-7038-344-8

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	6
2.	Konklusion og sammenfatning	8
2.1	Baggrund og formål	8
2.2	Udvikling af konceptet	9
2.3	Resultater	9
3.	Introduktion	13
3.1	Projektets ide	13
3.2	Formål	14
3.3	Gennemførelse af projektet - indsatsområder	15
4.	State of the art – hamp fra mark til tekstil	16
4.1	Hør- og hampestråets opbygning	17
4.2	Rødning på marken	19
4.3	Traditionel høst og forarbejdning af hamp	19
4.4	State of the art – kemisk komposition i hamp	22
5.	Fastlæggelse af kravsspecifikationer for hampefibre til tekstile formål	25
5.1	Hampens generelle egenskaber	25
5.2	Kravsspecifikationer til møbelstof	26
5.3	Kravspecifikationer til modetøj	27
6.	Udvikling af nyt dyrknings- og høstkoncept til hamp til tekstile formål	29
6.1	Dyrkningsparametre	30
6.1.1	Undersøgelse vedr. udsædsmængde	30
6.1.2	Høsttidsforsøg af hamp	32
6.2	Opbygning af pilotudstyr til høst og bjergning af hamp til tekstil	34
6.2.1	Konklusion af koncept til høst og bjergning samt semi-forarbejdning af hamp til tekstil	35
7.	Kontrolleret rødning - Materialer og metoder	37
7.1	Råvarer	37
7.2	Dimensionsanalyse af råvare	37
7.3	Enzym- og HT-behandling	37
7.3.1	Enzymscreeninger i lab-skala og pilotskala	39
7.3.2	Hydrothermal behandling i lab-skala og pilotskala	40
7.4	Blegning som frilægningsmetode	43
7.5	Karakterisering af hampefiber kvalitet	43
7.6	Mikroskopisk analyse	43
7.7	Kompositionsanalyser af hamp - metode	44
7.7.1	Kemisk analyse af procesvæske med HPLC	45
7.8	Brydning og hegling af hamperåvare	45
7.9	Trækstyrke og brudforlængelse	47
8.	Koncept til kontrolleret rødning af hampestængler – resultater	49

8.1	Dimensionsanalyser af råvarer - høstforsøg	49
8.2	Resultater af enzymforsøg	52
8.3	Resultater af HT-screeningsforsøg	55
8.4	Resultater fra forsøg med blegning af enzymrødnede fibre	57
8.5	Kemiske analyser – effekt af enzym og HT- behandlinger	59
8.5.1	Indholdsstoffer i hamp - effekt af råvare, høsttid og enzymbehandling	59
8.5.2	Resultaterne fra HPLC-analyser – Enzymforsøg	62
8.5.3	HPLC-analyser – høstforsøg 2018 med HT-behandling	65
8.6	Fysiske ændringer - resultater af mikroskopering	68
8.7	Trækstyrke af enzymrødnede fibre	71
8.7.1	Styrketest af enzymbehandlede hampefibre	72
8.7.2	Trækstyrke af HT-behandlede hampefibre	74
8.8	Konklusion af enzym- og HT-forsøg	75
9.	Udvikling og optimering af prototyper af hamp tekstilmetervarer	77
9.1	Forsøg med kartning og spinding	77
9.2	Udvikling af prøvedesigns med vævede og strikkede hampetekstiler	78
9.2.1	Strikkede metervarer	79
9.2.2	Vævede hampetekstiler	81
9.3	Prøvedesigns med hampemetervarer	82
9.3.1	Case 1. Strikket hamp, sweater	82
9.3.2	Case 2. Jersey, bluser og toppe	83
9.3.3	Case 3. Groft vævet hamp	85
9.3.4	Case 4. Vævet hamp, fin kvalitet	87
10.	Udvikling af non-woven prototype-metervare med hampefibre fra kortere tekstilhampefibre	90
10.1	Udvikling af prototyper med CAFT-teknologi til tekstile formål	90
10.2	Case. Advance Nonwoven hampemåtte som isolering til vinterfrakke	92
10.3	Møbelunderlag med hamp	92
10.4	Alternative designs til accessories	93
10.5	Forsøg med udvikling af coverstocks	93
11.	Forsøg med Bio-Polishing af hampetekstil	95
11.1	Kvalitetsforbedring af metervarer vha. enzymer fra Novozymes	95
11.2	Forsøg med strikkede hør T-shirts udsat for Bio-Polishing	96
12.	Test og dokumentation af metervarer	99
12.1	Planlægning og forberedelse af test	99
12.2	Test af hampetekstil	99
12.2.1	Slidstyrke ved Martindale-test	99
12.2.2	Pilling - Karakter for pilling	103
12.2.3	Visuelle test af strikkede hampe-metervare fra VIA-forsøg	106
12.2.4	Visuelle test af alternative producenter af vævet hamp	106
12.3	Farve og lysægted af hampe-metervarer	108
12.3.1	Fugtoptagelse	109
12.4	Konklusion	109
13.	LCA, Bæredygtighed og hamp	110
13.1	Hamp til tekstil – tanker om bæredygtighed	110
13.2	LCA-vurderinger	112
13.2.1	Sammenligning af LCA for Hamp vs. Remix from Kvadrat Kollektion	112
13.3	Miljøanalyse: hampetekstil versus bomuld	113
13.3.1	Scenarier	113

13.3.2	Livscyklus	114
13.3.3	Resultater af miljøanalysen af hamp til tekstil	115
14.	Præsentation af produkt overfor tekstil- og møbelbranchen	116
14.1	Udvikling af prøvekollektion med vævede og ikke vævede hampetekstiler	116
14.2	Deltagelse i netværk og møder med interessenter, der ønsker at fremme bæredygtige tekstiler	119
14.2.1	Samarbejde med VIA University College - VIA Design / VIA Engineering	119
14.2.2	Hampetekstilnetværksgruppe i regi af EIHA	119
14.2.3	Netværket Fiberties - Nordic Network on biofibres	120
14.2.4	Møde med hampeaktører i Europa	120
15.	Erhvervspotentiale og økonomi	121
15.1	Erhvervspotentialet	121
15.2	Økonomi	121
16.	Formidling	122
16.1	Formidlingsaktiviteter	122
16.1.1	Udstillinger mm.	122
16.1.2	Tekstilmessen ITMA- Barcelona, 2019	123
16.1.3	SLU. Alnarp workshop – Nya möjligheter för svensk Agrofiber	124
16.2	Workshop: Biopolymerer – fremtidens byggesten?	124
16.3	Konferencer	125
16.3.1	Bæredygtige hampetekstiler	125
16.3.2	EIHA-konferencer, Tyskland	125
16.3.3	Konference INDUSTRIHAMPA – FRÅN VÄRLDEN TILL SKÅNE	125
16.4	Artikler, web-formidling mm	126
17.	Perspektivering	127
17.1	FN's 17. verdensmål for en bæredygtig udvikling indenfor tekstilbranchen	127
17.2	Konklusion og perspektivering	128
Bilag 1. Bilag		131
Bilag 1.1	Uddrag af enzymforsøg med forskellige typer råvare af hamp	132
Bilag 1.2	Overblik over test og dokumentationsprocedurer fra råvare til færdig metervare	133

1. Forord

Denne rapport dækker projektet "Bæredygtige hampetekstiler - Udvikling af koncept til fremstilling af bæredygtige hampetekstiler" gennemført i perioden oktober 2017 – december 2020.

Grunden til projektet er lagt i et mindre bobleprojekt (2015 – 2016)¹ støttet af INNO-MT med fokus på hamp til tekstil. Målet med nærværende projekt er at komme et spadestik dybere henimod at kunne fremstille tekstilråvare fra dansk dyrket hamp og skabe grundlag for en hampe-tekstilproduktion i Danmark.

Arbejdet med udvikling af konceptet med bæredygtige hampetekstiler med fremstilling af tekstiler ud fra bæredygtige råvarer som hamp, har taget udgangspunkt i anvendelse af bl.a. enzy-matiske metoder til at frilægge hampefibre til tekstile fibre, men også hydrothermale metoder er testet. Vi har arbejdet med at nytænke hele værdikæden henimod at kunne fremstille prøvekollektion af prototyperne til præsentation overfor tekstilbranchen.

Projektkonsortiet

Projektkonsortiet omfatter partnere fra hele hampeværdikæden. De deltagende projektpartnere har arbejdet med hamp ud fra hver sin vinkel og udgør sammen et stærkt projektnetværk, der dækker hele værdikæden.

Hovedansøger er Advance Nonwoven (ANW) har startet et helt nyt forretningsområde i Danmark og internationalt omkring udnyttelse af natur- og affaldsfibre til en række produkter såsom isolering- og kompositter, vækstmedier m.v. bl.a. baseret på udviklingsarbejde med partner Teknologisk Institut, AgroTech ved seniorkonsulent Bodil E. Pallesen (BDP). ANW har opbygget et samarbejde med Kvadrat omkring upcycling af tekstilaffaldsfibre, som giver synergi i projektet, og som er udmøntet i etablering af en ny virksomhed Convert, med produktionsanlæg ved Thisted. I projektet har ANW stået i spidsen for udvikling af hampe-non-wovens, som fx coverstocks af nye hampefibre, tilpasning af CAFT²-linje samt gennemført forsøg med fremstilling af helt tynde non-woven hampestoffer – siden 2020 i samarbejde med Convert.

Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech, afdeling for Bioressourcer og Bioraffinering, har ekspertviden inden for biomaterialer, bioøkonomi og biomasse. Hun arbejder med innovation og produktudvikling samt markedsudvikling inden for naturfibre og har bl.a. udviklet en række nye metoder til og produkter med industrihamp. I projektet medvirker derudover en række medarbejdere ved afdeling for Bioressourcer og Bioraffinering med laboratoriefaciliteter. Bodil Pallesen varetager projektledelsen og koordinering i projektet.

Jørgen Heggelund (JH), Vittenbjerggård er hampepioner siden 1998, og har dyrket hamp til såvel fiberformål, foder, frø til fødevarer samt til råvarer til kosttilskud. JH har samarbejdet med projektleder BDP i en årrække. Derudover har JH opbygget et samarbejde med bl.a. DunAgro Hemp Group i Holland, der bl.a. forarbejder hampestængler til bilindustrien samt til isoleringsformål. JH råder over specialmaskiner til høst, som kan udnyttes i projektet, men projektet har desuden fokus på at nytænke høst og forarbejdning af lange hampestængler.

Rachel Kollerup (RK) er en af modebranchens udviklere og formidlere af bæredygtig mode, og primusmotor mht. at danne bro mellem modeindustrien og forskere, der arbejder med udvikling

¹ [Bobleprojekt \(2015 – 2016\)](#); under ledelse af Teknologisk Institut

² Carding Airlaid Fusion Technology, udviklet af Advance Non-Woven

af en bæredygtig produktion af tekstilfibre og tekstiler. RK var medinitiativtager til bobleprojektet omkring bæredygtige hampetekstiler sammen med Teknologisk Institut.

Kvadrat med deltagelse af bl.a. tekstilingeniør Johanna Apelgren, er Europas førende producent af designtekstiler til private og offentlige rum. Virksomheden arbejder dedikeret mht. at rykke de æstetiske og teknologiske grænser i brugen af tekstiler, og fremme af bæredygtighed og cirkulær økonomi i produktionen af tekstiler. Kvadrat har investeret i tre europæiske tekstilleverandører, og er dermed også direkte involveret i fremstillingsprocesserne i deres tekstiler.

Undervejs i projektet er der opbygget et netværk til relevante aktører, bl.a. Novozymes, der har bidraget med enzymer og rådgivning, VIA University College, Material Science and Product Design hos hvem, der er gennemført en række tekstil- og fiberanalyser, og vævet hampetekstil til forsøg. Undervejs i projektet blev et samarbejde indledt med Århus Universitet, Department of Engineering, i forbindelse med specialestuderende Johanna Sejthen blev tilknyttet projektet hos Teknologisk Institut.

Projektet er støttet af MUDP (Miljø Udviklings- og Demonstrations Program) under Miljøstyrelsen.

2. Konklusion og sammenfatning

Hvis det skal lykkes at trække en produktion af hampetekstiler til Danmark/Norden, er der mange led i hele værdikæden, fra mark til færdigt tekstil, hvor der skal sættes ind. Hovedopgaven er at nytænke og strømline forarbejdningsprocesserne i hele værdikæden – og knytte de relevante virksomheder og aktører sammen i et fælles konsortium, der har til formål at løse udfordringerne.

2.1 Baggrund og formål

Den nuværende produktion af tekstiler på verdensplan er stærkt miljøbelastende, hvor især dyrkning og produktion af bomuld til tekstiler i den 3. verden og transport over store afstande udgør en stor belastning for miljøet pga. stort forbrug af vand og sprøjtegifte i dyrkningsledet, og stort vand- og kemikalieforbrug til forarbejdning af bomuld til tekstiler, samt energi til transport. Derfor efterlyser mode- og møbelindustrien/-branchen alternativer til miljøbelastende råmaterialer og ressourceforbrugende tøjspild, dvs. større bæredygtighed igennem hele værdikæden.

Bæredygtige løsninger efterspørges også af store tekstilvirksomheder som Kvadrat, hvor CSR-indsatser står højt på deres agenda. Dette kan også ses af FN's 17 verdensmål for bæredygtig udvikling³, hvor udviklingsmål nr. 9. Industriel innovation og infrastruktur, nr. 11 Bæredygtige byer og lokalsamfund, nr. 12. Ansvarligt forbrug og produktion samt nr. 13 Klimaindsatsen, alle er mål som adressereret i projektet Bæredygtige Hampetekstiler.

En løsning vil være at anvende hamp som råvare til fremstilling af bæredygtige tekstiler. Hamp kan dyrkes med lavt input af kemikalier eller dyrkes økologisk i Danmark og øvrige Europa, og har et stort udbyttepotentiale. Samtidig kan hele plantens udnyttes, idet frø og blade kan udnyttes til fødevarer og højværdistoffer til bl.a. medicinsk anvendelse. Hamp er endvidere en plante med stærke tekstilfibre, som giver lang holdbarhed af tekstilet, og anses for et bæredygtigt alternativ til tekstilbranchens udfordringer.

Produktion af lange hampefibre er stort set ikke eksisterende i Europa i dag, men outsourcet til især Kina, og produceres ved en ikke transparent ej heller bæredygtig måde med højt forbrug af kemikalier, vand og energi⁴. Årsagen er at de tidligere hampeforarbejdningsanlæg i Europa var baseret på gammeldags produktionsmetoder med brug af megen arbejdskraft.

Hvis det skal lykkes at trække en produktion af hampetekstiler til Danmark/Norden, er der mange led i hele værdikæden, hvor der skal sættes ind – lige fra bjærgning af hamperåvaren, kontrol af rødningsprocessen – en skalerbar miljørigtig skættemetode og forbedring af spindeprocessen mm. Hovedopgaven er såvel at nytænke som strømline forarbejdningsprocesserne i hele værdikæden fra mark til slutprodukt – og knytte de relevante virksomheder og aktører sammen i et fælles konsortium, der har til formål at løse udfordringerne.

Projektets mål er at bane vejen for en reel nordisk produktion af bæredygtige hampetekstiler af slidstærke, høj kvalitets metervarer. Projektgruppen har arbejdet med hele værdikæden fra råvareproduktion til slutbruger, dvs. lige fra marken med produktion af råvarer, processering af

³ <https://www.verdensmaalene.dk/fakta/verdensmaalene>

⁴ Life Cycle Analysis of hemp and cotton fibers used in Chinese textile manufacturing, Master thesis Hannes Van Eynde, KULeuven (2015)

råvarer til lange tekstilfibre frem til færdige tekstiler og prøvedesigns til mode- og møbelbranchen. Målet er at skabe grundlaget for et nyt forretningsområde med et stort vækstpotentiale som bæredygtige tekstiler til en på mange områder miljøbelastet branche.

Projektet er gennemført i samarbejde mellem Vittenbjerggård, Advance Nonwoven, Rachel Kollerup, Kvadrat samt Teknologisk Institut. Bodil E. Pallesen fra Dansk Teknologisk Institut, Bioressourcer og Bioraffinering har været projektleder.

Advance Nonwoven (ANW) har arbejdet med udvikling af bæredygtige materialer fra naturfibre og genbrugsfibre gennem de seneste 10 år ikke mindst til byggebranchen. Udviklingsarbejdet bygger blandt andet på forskning gennemført af senior-konsulent Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, der gennem mange år har arbejdet med udvikling af bl.a. bæredygtige materialer fra bl.a. hampeplanten, vha. nyudviklede teknologier og innovation gennem hele værdikæden, senest med fokus på udvikling af lange fibre til tekstil. Fremstilling af hamperåvare og udvikling af nye metoder til bjergning af hamp er foregået hos hampeavler Jørgen Heggelund, Vittenbjerggård, som har over 20 års erfaring med hampedyrkning. Rachel Kollerup, der arbejder med bæredygtigt design, har arbejdet med udvikling af nye designs med hampetekstil, og Kvadrat, Europas førende producent af designtekstiler til private og offentlige rum, har arbejdet med kvalitet af hampetekstilet til møbel- og gardinstoffer.

Undervejs i projektet er der opbygget et netværk til relevante aktører, bl.a. Novozymes, der har bidraget med enzymer og rådgivning, VIA University College, Material Science and Product Design hos hvem, der er gennemført en række tekstil- og fiberanalyser, og vævet hampe-tekstil til forsøg. Undervejs i projektet blev et samarbejde indledt med Århus Universitet, Department of Engineering, i forbindelse med specialestuderende Johanna Sejthen blev tilknyttet projektet hos Teknologisk Institut.

2.2 Udvikling af konceptet

Projektet gennemføres med aktiviteter hos partnerne: På Vittenbjerggård gennemføres mindre markforsøg og tilvejebringelse af råvarer til screeninger og optimering af rødningsprocesser i laboratorieskala hos Teknologisk Institut. Der arbejdes med udvikling af nyt koncept til bjergning af hamp til tekstilhamp, som er en af flaskehalsene i hampeværdikæden. Ved Teknologisk Institut er arbejdet med udvikling af en kontrolleret rødningsproces baseret på bl.a. enzymer samt hydrothermale behandlinger. Der arbejdes med udvikling af alternative koncepter, med mulighed for opskalering for øje. Hos ANW arbejdes med udnyttelse af hampefibre til tynde hampemåtter og udvikling af non-woven tekstiler.

Kvadrat og Rachel Kollerup arbejder med fremstilling af prototyper af vævede metervarer i nye bæredygtige designs og arbejder dels med fibre fra projektet, dels med garner og metervarer tilvejebragt fra netværk i Europa. Der samarbejdes med en italiensk virksomhed omkring spinning af garner. Dokumentation og test af hampetekstilernes egenskaber og bæredygtighed foretages af TI, VIA University College, Rachel Kollerup samt Kvadrat.

I den sidste del af projektet var målet at gennemføre forsøg med danskproduceret hamp til forsøg med fremstilling af metervarer, efter spinning til garn ved Europas eneste spinderi med hør og hamp. Denne del er ikke lykkedes til fulde grundet Covid-19. Forsøgene vil i stedet blive gennemført i 2021 i regi af Hemp4tex⁵.

2.3 Resultater

Resultaterne i projektet kan opsummeres således:

Hampeplanten

- Hamp er en velegnet tekstilplante, som kan dyrkes uden brug af pesticider og uden vanding.

⁵ [Dansk hamp skal udvikles til bæredygtige tekstiler | Innovationsfonden](#)

- Man skal søge godkendelse som hampeavler til dyrkning af industrihamp til fiberformål ved Landbrugsstyrelsen⁶.
- Hamp skal dyrkes med minimum 60 kg udsæd pr. ha for at opnå slanke og ensartede hampestængler til tekstile formål.
- Hamp til tekstilformål kan i vanlige vækstår sås fra slutningen af april og første halvdel af maj, og høst kan påbegyndes ca. 100 – 120 dage efter fremspiring, ved ca. 50% blomstring. Man skal huske at orientere Landbrugsstyrelsen, hvis der er søgt hektarstøtte på arealet.
- Det er lykkedes at udvikle et koncept til at høste hampestængler parallelt i 1 meter længde. Vittenbjerggård har i samarbejde med DunAgro opbygget en pilotmaskine, der stod klar til en indledende afprøvning med høst af hamp august 2020. Den første pilotmaskine af sin art og således noget af en milepæl. Der er dog fortsat en del udfordringer, som skal løses, for at det kan opskaleres.

Kontrolleret rødning

- Det er lykkedes at udvikle et koncept til en kontrolleret rødning af hampestængler vha. enzymer og hydrothermal behandling på lab-skala niveau, som gør det muligt at adskille fibre fra skæven uden problem.
- Der er ikke en entydig konklusion af vores forsøg, da der er så mange parametre der influerer på resultaterne, og så mange led i undersøgelserne. Arbejdet med udvikling af et alternativt rødningkoncept er således ikke færdigt, men der er en tydelig tendens.
- Forskelle som følge af råvarekvalitet, høsttidspunkt og årsvariation er undersøgt.
- Der har været god effekt af rødning med enzymer fra Novozymes bl.a. BioPrep. Procestid mellem 16 – 24 timer har været bedst. Procestabet har været mellem 5 og 8 % for såvel såvel urødnede som rødnede hampestængler. Det største tab sås for den urødnede hamp.
- Hamp forbehandlet med mælkesyre, dvs. ensileret hamp havde derimod et stort tørstof-tab ved enzymprocessen, og styrken blev svækket betydeligt. Her er foregået en grad af nedbrydning også af cellulosen.
- Der har været tydelig effekt af hydrothermal behandling til frilægning af fibre. Her synes behandling med pH-regulering, enten med opblødning af stængler i tynd eddikesyre forud for behandling eller tilsvarende med NaOH, ligeledes i tynd opløsning at give en positiv effekt mht. frilægning af fiberbundterne.
- Der er konstateret forskelle som følge af råvarekvalitet, høsttidspunkt og årsvariation. Særlig høsttidspunktet har indflydelse på frilægningsgraden og kvaliteten af hampefibre udsat for kontrollerede rødningmetoder.
- Der er opnået et højere overfladeareal ved lidt senere høsttidspunkt, mens diameter ikke ændrede sig særlig meget. Det væsentlige er at anvende tilstrækkeligt med udsæd, så man opnår høje slanke stængler med høj fiberandel.
- Kvaliteten mht. kemiske indholdsstoffer i de behandlede råvarer sammenholdt med graden af rødning vurderet dels vha. HPLC-analyser samt strukturelle forandringer og styrkeegenskaber viser at frilægning af fibre er opnået i nogen grad, og kvaliteten af fibre til brug som tekstil er på højde med cottoniserede hampefibre eller bedre.

Hamp til tekstil

- Der er gennemført forsøg med kartning og spinding af hamperåvare.
- Der er gennemført forsøg med fremstilling af hampemetervarer, såvel vævede som strikkede. Arbejdet med udvikling af nye designs/prototyper er baseret på hampetekstil både til interiør metervarer samt til beklædning.
- Vi har først i projektperioden substitueret hamp med lignende bast-fibre som fx ramie og hør, for at identificere de udfordringer der er med metervarer af hamp til forskellige typer af anvendelser.
- Der er udviklet prøvedesigns med vævede og strikkede hampetekstiler, Hamp sweater, bluser og toppe af jersey (fra hør og ramie), samt hampetop, jakke og bukser af vævet hamp samt skjorte, har fungeret godt som tøj.
- Der er dog udfordringer mht. hampekvaliteten: mht. at garnet er spundet af for korte fibre (det giver ekstra meget floss), at garnet ikke er spundet hårdt nok og at metervaren ikke er forbehandlet, herunder pre-vasket.

⁶ <https://lbst.dk/landbrug/planteavl/industrihamp/#c8729>

- Konklusionen fra Kvadrat har været at kvaliteten af hampemetervaren ikke er god endnu til brug som fx gardiner.
- Der er udviklet nye prototyper af nonwoven hampemåtter til tekstile formål baseret på hampefibre, som ikke kan spindes, og dermed er affald fra hampetekstilprocessen. Nonwoven hampemåtterne er testet som bl.a. frakker, frakkefoer, accessories mm med succes.
- Der er gennemført forsøg med kvalitetsforbedring af hampemetervare med enzymbehandling af T-shirt (fremstillet af hør i projektet) med Bio-Polishing fra Novozymes på strikkede design, som har givet positive resultater. Processen fjernede korte fibre, kaldet pilling, samt øgede levetiden målt mht. slid samt vask af T-shirts.
- Der er udviklet en prøvekollektion af vævede og ikke vævede hampetekstiler, som er præsenteret bredt til tekstilbranchen og tekstile netværk.

Test og dokumentation

- Der er i projektperioden gennemført en række test og dokumentationer af vævede og ikke vævede tekstilprototyper fra hampefibre, som primært har været fra Europa. Det har været svært at opnå ønskede kvaliteter til brug som møbel- og gardinstoffer.
- Forsøg med fremstilling af metervarer fra tyndere hampegarn viser dog lovende egenskaber, specielt mht. slid- og rivestyrke. Slidegenskaber er generelt gode op til omkring 70.000 Martindale rubs.
- Meget høj riv- og trækstyrke generelt 3-4 gange højere end tilsvarende bomulds kvaliteter, men falder ved efterbehandling.
- Tendens til pilling er højere hos hamp end bomuld, men mindskes ved længere tids brug, ulig uld og bomuld, idet de små fibre slides væk. Øget pilling tendens 1-2 Noter dårligere end sammenlignelige bomulds kvaliteter.
- Dimensionsstabilitet, vask-, gnid- og lysægtighed med gode egenskaber på niveau med tilsvarende bomulds kvaliteter.
- Hamp suger fugt hurtigere, og kan indeholde mere vand end bomuld.

Hamp og bæredygtighed

- Hamp er en bæredygtig afgrøde, som kan dyrkes uden brug af pesticider og vanding, i modsætning til fx konventionel dyrkning af bomuld.
- LCA-analyse af hamp er typisk baseret på outdatede teknologier, men miljøanalyse fra Kvadrat i samarbejde med Force Technology viser at hamp klarer sig på linje med uld og bomuld. Data fra DTI, også i samarbejde med Force Technology, viser tilsvarende resultater i forhold til polyester.
- Hampetekstil har en længere levetid, og er dermed mere bæredygtig på den lange bane
- Argumenterne for hampeplanten er mere bæredygtige at producere end fx bomuld er der mange årsager til.
 - Hamp giver et højt høstudbytte per areal i forhold til bomuld, ca. en faktor 2,5.
 - Hamp kan dyrkes uden brug af pesticider også for konventionelle bønder. Den kan let dyrkes økologisk.
 - Bomuld regnes for en af de mest pesticidkrævende planter, og står for ca. 1/4 af verdens forbrug af pesticider.
 - Tekstilhamp kræver en tredjedel eller mindre kvælstof end en kornmark af tilsvarende størrelse, og kræver tilmed ikke kunstvanding, da hamp kan vokse i kølige klimaer, hvor regnvand er tilstrækkeligt.
 - I de seneste år er der også kommet fokus på veganske materialer til tekstilfremstilling. På baggrund af vores erfaringer med hamp som varmeisolerende materiale, er hamp en potentiel erstatning for uld - eller som blandingsmateriale med uld til varme tekstiler.
 - Hampefiberens nok allerbedste kort er, at det er muligt at lave garner af meget lange fibre (40 cm) og stærke fibre - til sammenligning er bomuldsfibre fra 1,5 til 6 cm.
 - Lange fibre er årsagen til at hamp er så slidstærk. Fiberstyrken giver derfor tøjet lang holdbarhed. Det er bæredygtighed.
 - Hele planten kan udnyttes, både frø, blade til fødevarer mv, og den del af stænglerne som ikke er tekstilfibre kan anvendes til en lang række tekniske formål til papir, kompositter, byggematerialer mm, foruden strøelse.

Erhvervsmæssigt potentiale

- Opbygning af hampeindustri i Danmark til tekstile formål har et betydeligt erhvervsmæssigt potentiale, i en branche, der omsætter for mere end 6 Mia. EUR, alene i DK.

Målet med projektet med at opbygge en kombineret enzymatisk og mekanisk proces, der kan adskille hampestænglens fibre og træ-holdige skæver er ikke lykkedes i fuld udstrækning i inde-værende projekt. Udviklingsarbejdet fortsættes i et netop opstartet Grand Solution projekt: Hemp4Tex, (2020-2024), støttet af Innovationsfonden.

3. Introduktion

Målet i projektet er at bane vejen for en kommende nordisk produktion af bæredygtige hampetekstiler af slidstærke, bæredygtige højkvalitets metervarer baseret på dansk producerede hampefibre.

3.1 Projektets ide

Den nuværende produktion af tekstiler er stærkt miljøbelastende, hvor især dyrkning og produktion af bomuld til tekstiler i den 3. verden og transport over store afstande udgør en stor belastning for miljøet pga. stort forbrug af vand og sprøjtegifte i dyrkningsledet, stort vand- og kemikalieforbrug til forarbejdning af bomuld til tekstiler, samt energi til transport. Derfor efterlyser mode- og møbelindustrien/-branchen alternativer til miljøbelastende råmaterialer og resourceforbrugende tøjspild, dvs. større bæredygtighed igennem hele værdikæden, se figur 3.1.



FIGUR 3.1. Bomuld, der dyrkes i den 3.verden, bliver sprøjtet op til 70 gange hver sæson, pga. meget store problemer med skadedyr og ukrudt. Bomuldsproduktionen udgør på verdensplan kun cirka 2,5 procent af det samlede landbrugsareal. Samtidig bruger man også mange steder børnearbejde i 3. verden til bomuldsproduktion⁷

En løsning vil være at anvende hamp som råvare til fremstilling af bæredygtige tekstiler. Hamp kan dyrkes med lavt input af kemikalier eller dyrkes økologisk i Danmark og øvrige Europa, og har et stort udbyttepotentiale. Samtidig kan hele plantens udnyttelse, idet frø og blade kan udnyttes til fødevarer og højværdistoffer til bl.a. medicinsk anvendelse. Hamp er endvidere en plante med stærke tekstilfibre, som giver lang holdbarhed af tekstilet, og anses for et bæredygtigt alternativ til tekstilbranchens udfordringer.

Produktion af lange hampefibre er stort set ikke eksisterende i Europa i dag, men outsourcet til især Kina, og produceres ved en ikke-transparent ej heller bæredygtig måde med højt forbrug af kemikalier, vand og energi⁸. Årsagen er at de tidligere hampeforarbejdningsanlæg i Europa var baseret på gammeldags produktionsmetoder med brug af megen arbejdskraft. Ved brug af

⁷ <http://mim.dk/nyheder/2015/jan/brosboel-toejbranchens-regning-til-miljoeet-skal-ned/>

⁸ Life Cycle Analysis of hemp and cotton fibers used in Chinese textile manufacturing, Master thesis Hannes Van Eynde, KULeuven (2015)

de forbedrede metoder, som udvikles i projektet, vil vejen henimod en rentabel produktion af hampetekstiler i Danmark være nærmere målet.

Den hamp der dyrkes i dag i EU bruges hovedsageligt til kompositvarer og ikke tekstiler. Traditionelle hampeskætterier findes hovedsagelig i Kina, hvorfra næsten alle hampetekstiler kommer. De baserer sig på utidssvarende teknologier, som vandrødner hampestænglerne og processerer hampen til fibre ved en meget støvet og arbejdsmiljøbelastet proces med lav kapacitet, der samtidig er meget arbejds- og kemitung. I Europa forarbejdes hampestængler ved nyere metoder (hammermøller), men kvaliteten af disse fibre er ikke spindbare og kan ikke leve op til tekstilbranchens krav. Det er fortsat en udfordring i tekstilindustrien; at udvælge bæredygtige metoder med den transparens, hvor hele produktionskæden kan aflæses - men efterspørgslen er der!

Hvis det skal lykkes at trække en produktion af hampetekstiler til Danmark/Norden, er der mange led i hele værdikæden, hvor der skal sættes ind – lige fra bjergning af hamperåvaren, kontrol af rødningprocessen – en skalerbar miljørigtig skættemetode og forbedring af spindeprocessen mm. Hovedopgaven er at nytænke såvel som strømline forarbejdningsprocesserne i hele værdikæden fra mark til slutprodukt – og knytte de relevante virksomheder og aktører sammen i et fælles konsortium, der har til formål at løse udfordringerne.

3.2 Formål

Projektets mål er at bane vejen for en reel nordisk produktion af bæredygtige hampetekstiler af slidstærke, højkvalitets metervarer. Projektgruppen har arbejdet med hele værdikæden fra råvareproduktion til slutbruger, dvs. lige fra marken med produktion af råvarer, processering af råvarer til lange tekstilfibre frem til færdige tekstiler og prøvedesigns til mode- og møbelbranchen (figur 3.2). Målet er at skabe grundlaget for et nyt forretningsområde med et stort vækstpotentiale som bæredygtige tekstiler til en på mange områder miljøbelastet branche. Projektet har ønsket at adressere udfordringerne i værdikæden vha. nye innovative løsninger



FIGUR 3.2 værdikæden fra hamp til tekstiler

med nye teknologier frem til slutprodukter. Det går bl.a. ud på at kombinere nye høst- og forarbejdningsmetoder og demonstrere håndtering af råvarer i skalerbare koncepter, frilægning af hampefibre vha. enzymatiske metoder, mekanisk adskillelse af fibre fra træholdige skæver (inderste af hampestænglen), forarbejdning af fibre til spinning af hampegarn, der kan væves til stærke tekstiler. De kortere fibre skal bruges direkte i en non-woven proces til at fremstille nye stærke "coverstock" stoffer a la fiberdug eller Fibertex, som også møbelbranchen kan anvende.

Projektet har også haft som mål at demonstrere at der med de nye teknologier er en høj ressourceudnyttelse i hele værdikæden og mulighed for anvendelse af hele planten, undgå spild og upcycle produkterne efter endt brug. Og dermed skabe grundlaget for et nyt forretningsområde med et stort vækstpotentiale for bæredygtige tekstiler i Norden og det øvrige Europa.

3.3 Gennemførelse af projektet - indsatsområder

Projektet gennemføres med aktiviteter hos partnerne: På Vittenbjerggård gennemføres mindre markforsøg og tilvejebringelse af råvarer til screeninger og optimering af rødningsprocesser i lab-skala hos Teknologisk Institut. Der arbejdes med udvikling af nyt koncept til bjergning af hamp til tekstilhamp, som er en af flaskehalsene i hampeværdikæden. Der arbejdes med udvikling af alternative koncepter, der kan opskaleres. Hos ANW arbejdes med udnyttelse af hampefibre til tynde hampemåtter og udvikling af non-woven tekstiler.

Kvadrat og Rachel Kollerup arbejder med fremstilling af prototyper af vævede metervarer i nye bæredygtige designs og arbejder dels fra fibre fra projektet, dels fra garner og metervarer tilvejebragt fra netværk i Europa. Der samarbejdes med en italiensk virksomhed omkring spinding af garner. Dokumentation og test af hampetekstilernes egenskaber og bæredygtighed.

I den sidste del af projektet var målet at gennemføre forsøg med danskproduceret hamp til forsøg med fremstilling af metervarer, efter spinding til garn ved Europas eneste spinderi med hør og hamp. Denne del er ikke lykkedes til fulde grundet Covid-19. Forsøgene bliver gennemført i 2021/2022 i regi af Hemp4tex.

4. State of the art – hamp fra mark til tekstil

Kendskab til opbygning af hampestrå samt kompositionsindhold kan udnyttes til at udvikle egnede frilægningsmetoder samt evaluere hampekvaliteten ved de forskellige koncepter til fremstilling af hampetekstilfibre fra dansk dyrket hamp. Celluloseindholdet er fra 60-80% i den rødne fiberråvare.

Hamp (*Cannabis sativa*) og spindhør (*Linum usitatissimum*) anses for at være de mest interessante fiberafgrøder, der kan dyrkes i Danmark, og indeholder fibre med unikke egenskaber: et højt celluloseindhold, lavt ligninindhold, god tekstilkvalitet, høj fiberstyrke, god absorptionsevne samt god isolerende evne. Egenskaber, som gør fibrene velegnede i en række industrielle produkter som tekstiler – såvel vævede eller spundne produkter, miljøvenlige isoleringsmaterialer, biofiltre til f.eks. olieabsorption, plantefibermåtter, papir, fibre- og kompositmaterialer. I projektet har vi kun fokuseret på hamp, idet den har et større udbyttepotentiale end hør og flere anvendelsesområder. Fra landmandens synspunkt er det lettere opnå et større dækningsbidrag i hamp end f.eks. spindhør pga. større udbyttepotentiale og udnyttelse af hele planten. Frø fra begge afgrøder anvendes til fødevarer, samt tekniske og medicinske formål, det sidste er især gældende for hamp.



FIGUR 4.1. Hampeplanten bliver ofte mere end 2,5 meter høj. Hunplanterne er generelt mere kraftige og med tydelige anlæg for frø. Foto: Bodil E. Pallelsen, Teknologisk Institut, AgroTech



FIGUR 4.2. Hampe-hanplanterne er betydeligt mindre men tidligere modne end hunplanterne Til tekstilbrug ønskes sorter udelukkende med hunplanter. Foto: Bodil E. Pallesen

4.1 Hør- og hampestråets opbygning

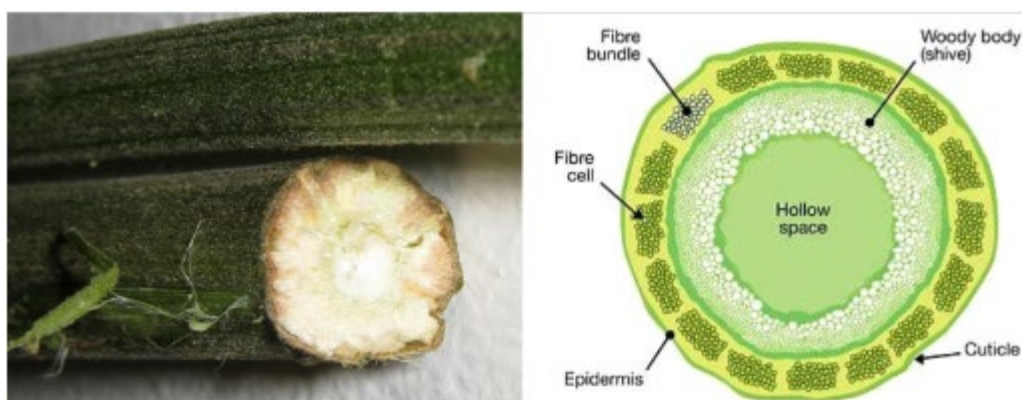
Hør- og hampestråets opbygning består af lange taver, fibre, med højt celluloseindhold, som sidder yderst på den træholdige stive stængel, kaldet skæven (figur 4.3). Opbygningen gør at taven kan adskilles mekanisk fra den træholdige del og udnyttes til fx spinning af garn, i modsætning til f.eks. opbygning af træfibre, hvor fibrene er indbygget i veddet med korte cellulosefibre, indkapslet i lignin, hvor ligninen fungerer som lim, der binder cellulosefibrene sammen. Såvel hør- som hampestrået har en karakteristisk opbygning med fiberbundter, som omkranser den træholdige skæve. Skæven eller skæverne, når den er fraktioneret, består af vedceller, altså træfibre, og minder om fx birk, der er en kortfiber (under 2 mm i elementarfiberen).



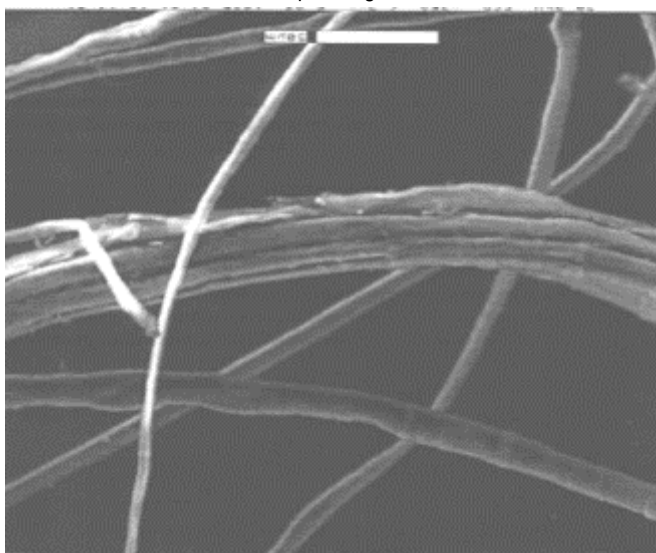
FIGUR 4.3. Hampestrå, med stærke fiberbundter, kaldet taver, yderst og hampeskæven, inderst. Høst 2018.

Skæven sikrer at hampestrået er stift, og tåler vind og vejr. Det er yderst sjældent at opleve lejesæd i hamp. Fibre/skæve-opbygningen er årsag til, at fibrene kan frilægges ved en mekanisk proces. Dette er muligt selv ved kun let rødne hampestrå. Under frilægningen frigøres de enkelte fibre i fiberbuntet. Fuldstændig frilægning af fibre til cellulosefibre sker normalt ved en forpulpning af fibre, som det kendes ved cellulosefremstilling. Herved fjernes yderligere sukkerstoffer og lignin, der er indeholdt i fiberen. Et tværsnit af stænglen viser de forskellige lag. Under overhuden er indlejret fiberbunter, der er stærke bastfibre, også kaldet taver. Fiberbunterne forløber i hele stænglens længde fra rod til top. Inderst i stænglen findes et hulrum. Fiberbunterne består af 10-40 enkeltfibre, se figur 4.4. Længden af disse er fra 14 µm - 70 mm, gns. 20-35 mm. Enkeltfiberen er opbygget af forskellige lag, der hver består af ordnede rækker af fibriller. Den primære cellevæg består af pektiner og lignin, mens den sekundære væg fortrinsvis består af cellulose. Slutproduktet er elementarfiberen bestående af (næsten) ren cellulose. For hør og hamp er målt mere op til 75% cellulose. Kambiumcellerne adskiller fibre fra skævedelen, og de nedbrydes under rødningprocessen.

Opbygningen af træfibre er helt anderledes, idet cellulosefibrillerne er bundet fast af en hemicellulose-lignin matrix, der nedbrydes under den kemiske proces til fremstilling af træcellulose. I tekstilfibre ønsker vi ligninen bevaret for at fibrene kan holde til efterfølgende vask mm.



FIGUR 4.4. Tv. Tværsnit af overskåret hampestængel, urødnet Futura, høst 2018, Vittenbjerggård. Fibrene sidder som fiberbunter i den yderste del af stænglen, hvor skæven udgør den stive træholdige stængel (Xylemet), der er hul i midten. Th. Tværsnit af hampestænglen skematisk⁹.



FIGUR 4.5. Foto af elementarfibre med fibriller, som fiberbunter i neg. (SEM-foto) x 500, Foto: Bodil Pallesen

⁹ Tværsnit fra www.hempalta.com

4.2 Rødning på marken



FIGUR 4.6.Hampestrå ruskes for at bestemme rødningegrad. Th ses stærkt rødnet hampestrå, hvor fibre er lige til at trække af. Foto: Bodil Pallesen

Normalt har de yderligt siddende hampetaver/-fibre kunne adskilles fra den træfholdige hampestængel/-skæven vha. den biologiske rødningproces, som foregår på marken, når stænglerne er skårlagt. Rødningprocessen nedbryder pektin og lignin, og er nødvendig, for at taverne (-fibre) kan frigøres fra resten af plantedelene, men vi ønsker som tidligere nævnt ikke al ligninen nedbrudt. Under danske forhold vil noget af rødningen foregå på marken, såkaldt markrødning, og man kan så f.eks. kombinere det med en enzymatisk proces. Rødningprocessen foregår ved, at mikroorganismerne trænger ind i strået. Her nedbryder de vha. enzymer først og fremmest pektiner, der binder fiberbundterne sammen med veddelen (skæverne). De aktuelle mikroorganismer forekommer naturligt på stænglen og i jorden bl.a. *cladosporium herbarium* og *penicillium* sp. Der skal fugtighed til at starte rødningprocessen, og processen fremmes af høj temperatur og bestemmes af graden af luftfugtighed. Graden af rødning har stor indflydelse på kvaliteten. Ved en overrødning svækkes især fiberens styrke og dermed kvaliteten. Rødningens længde er afhængig af om afgrøden har været skårlagt og af vejrforholdene (varme og fugtighed), men strækker sig ofte over 2 til 4 uger.

4.3 Traditionel høst og forarbejdning af hamp

Til industrielle formål er høsten af hamp blevet effektivt mekaniseret, ikke mindst i Vesteuropa og Canada, men endnu ikke til tekstile formål. Skårlægning af industrihamp foregår typisk med specialhøster, der skårlægger afgrøden, som efterfølgende rødner på marken inden stænglerne presses i baller, når afgrøden er tilstrækkelig tør. Fiberanvendelsen går især til kompositter og isoleringsmaterialer.



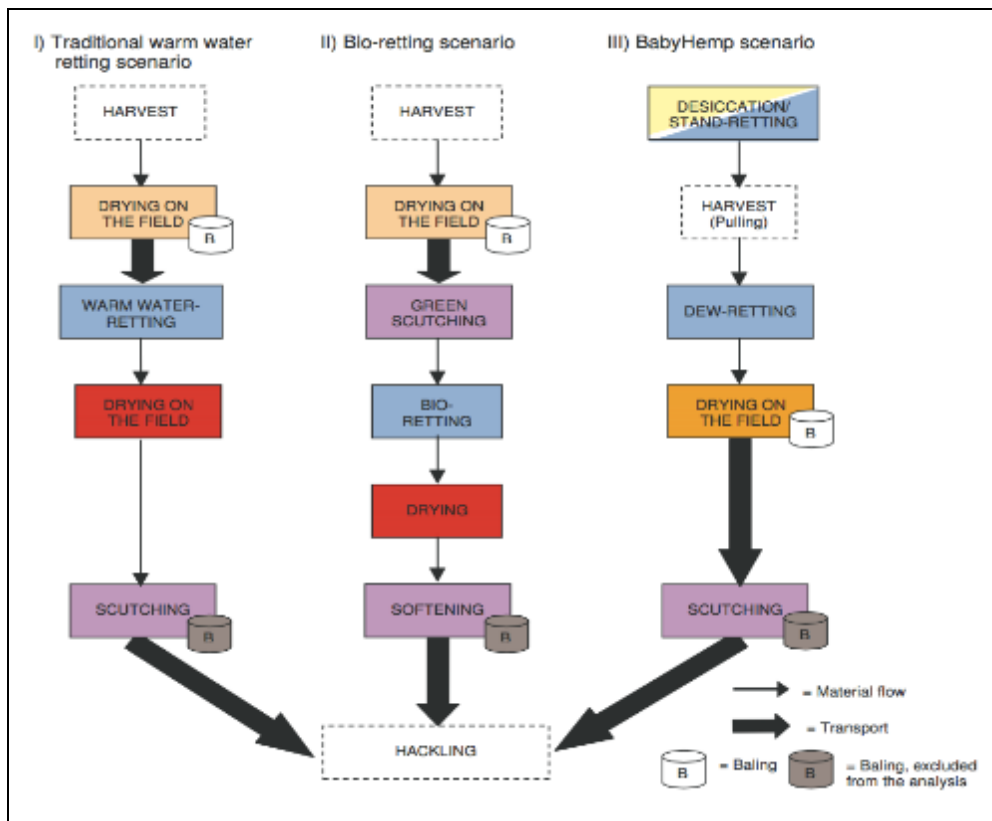
FIGUR 4.7. Høstforsøg hos Jørgen Heggelund, Vittenbjerggård, Køge. Hampeafgrøde er mellem 2½ og 3 m høj. Hampen er skårlagt med specialhøster i ca. 50 cm stykker og efterfølgende rødnet på marken. Metoden dur ikke til tekstilkvalitet. Specialhøsteren med ribbebord øverst th. er samtidig i stand til at høste frøene samtidig med skår-lægning af fiberråvaren.

Udnyttelse af hamp til tekstil har store udfordringer både fordi tekstile hampesorter typisk er op til 3 m høje, og der ikke eksisterer teknologi til bjergning af hampestænglerne parallelt således at den videre forarbejdning til fibre og spinding af garn kan lade sig gøre. Udfordringen er derfor at udvikle et koncept, der kan sikre en egnet og ensartet tekstilkvalitet. Dette er vanskeligt at opnå ved almindelig markrødning, bl.a. fordi hamp er sent moden, hvor vejret er mere ustabil og det er svært at håndtere hampestænglerne ensartet, og opnå en ensartet rødning.



FIGUR 4.8. Tv. Hampefibre rå fra Vittenbjerggård. Midt: hamp skættet og presset i baller hos samarbejdspartner Dun-Agro. Th. skættede lange hampefibre (fra projektet) fra råvarer fra Vittenbjerggård.

Værdikæden fra mark til tekstilråvare er lang. De mange delprocesser i figur 4.9. viser, at der er mange steder hvor man kan forsøge at sætte ind på at gøre forarbejdningen mere bæredygtig. I projektet har vi tilpasset scenarierne og især arbejdet videre med frilægning af fibrene vha. enzymer.



FIGUR 4.9. De mange processer fra mark til færdigt tekstil er skitseret her af Turunen¹⁰. Her er vist forskellige typer af rødning, fra varmtvands-, enzym (bio)- til dugrødning. Scutching er traditionel skætning, som i dag stort set er udfaset til Kina.

Målet for at fremstille en god tekstilfiber kan kort fortalt beskrives ved at især pektinindholdet skal fjernes, så man opnår en kvalitet af fibre, som er stærk og let kan spindes til fine tekstilkvaliteter.

Processen med at fjerne lignin kaldes "cottonisering" eller "degumming". "Degumming" kan udføres ved kogning eller kemisk, mikrobiel eller enzymatisk behandling. Her opnås korte fibre, som kan spindes på bomuldsspindere, men man opnår ikke langfiber-kvalitet. Men forud er de rå stængler skættet, så skæverne og fibre (der sidder yderst på stænglerne) bliver adskilt. Skætningen foregår typisk med store forarbejdningsanlæg fra f.eks. LaRoche, Temafa eller tilsvarende hør- og hampeteknologier, men oftest uden at opnå en tekstilkvalitet, der kan spindes stærke og fine garner af. I dag foregår produktionen af hamp til tekstil som tidligere nævnt i Kina, og typisk med cottonisering af fiberen ved en ret kemi-tung og ikke bæredygtig proces.

¹⁰ Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn. Turunen. 2006



FIGUR 4.10. Fremstilling af hampefibre til spinning – i 3.verden, her Kina¹¹.

4.4 State of the art – kemisk komposition i hamp

Hampestænglen indeholder ca. 25 % fibre, taverne, afhængig af dyrkningsforholdene, plantetæthed, høsttidspunkt, sort mm. Fibrene har et vokslag og er vandskyende. Resten er den træholdige stive skæve, som udgør ca. 75% inkl. stov. Fibrene indeholder op til 80 % cellulose og hemicellulose, ca. 8 % C5-sukre og ca. 5% lignin samt lidt voks, som gør at fibrene som udgangspunkt er hydrofobe. Til sammenligning indeholder mange trætyper ca. 25% lignin. Skæverne ligner derimod i opbygning træ og er vedagtig, og indeholder ca. 45% cellulose, 25% hemicellulose samt ca. 25% lignin. Skæven/skæverne har gode absorberende egenskaber, og bruges typisk til hestestrøelse. Det meget lave ligninindhold i fibrene er årsagen til at der skal anvendes meget lidt kemi, hvis overhovedet noget under forarbejdningsprocessen.

Til tekstile formål er det indholdet og kvaliteten af fibre i form af cellulose og hemicellulose den vigtigste egenskab. Cellulose er opbygget af glukosemolekyler, der danner retlinede polymerkæder, som let pakker sig sammen parallelt, og som derved danner fibre. Denne opbygning er grundlaget for, at fibrene kan have meget høje mekaniske styrker.

Fibrene optræder som lange fibre, kaldet taver eller bastfibre, i planter som hamp og hør, i modsætning til træfibre, som er relativt korte fibre: Fiberlængden er normalt mere end 30 mm hos hør og hamp, mod 1 – 3 mm i træfibre. Indholdet af cellulose udgør typisk 60-80 pct. i ubehandlet hamp og hør, og til sammenligning 40-50 pct. i træ. Desuden indeholder fibrene hemicellulose, mellem 15-20 pct. i hør og hamp og 20 pct. i træ, samt lignin, typisk 2 – 4 pct. i hør- og hampefibre, hvor ligninindholdet i træ typisk er 20-25 pct. Derudover indeholder fibrene mindre mængder pektin, voks og mineraler.

Hemicellulose, der findes i bastfibrene, er xyloglucaner, som er forgrenede strukturelle polysaccharider og en del af den primære cellevægmatrix. De strukturelle egenskaber ved hemicellulose er relateret til bastfibreneres intercellulære styrke og fleksibilitet. Pektin-stofferne er højmolekylære kulhydratpolymerer. Udtrykket pektin dækker adskillige polymerer klassificeret efter deres molekylvægt, kemiske konfiguration og mængden af fastgjort funktionelt sukker. Forskellige plantetyper producerer pektin med forskellige funktionelle egenskaber. Pektinet, der findes i

¹¹ www.eiha.org Robert Hertel, CEO HempAge AG for the EIHA 7th conference, Wesseling 2010

væv og cellevægge af hampebastfibre, klassificeres som homogalacturonan og rhamnogalacturonan I. Pektin findes i de midterste lameller mellem celletyper af alle størrelser og inden i cortexlaget af hampbastfibre. Den gelatineagtige pektin fungerer som lim mellem de to lag af epidermis og cambion.

Ved rødningen nedbrydes pektinet, og de enkelte fibre og fiberbundter frilægges. Ved overrødning nedbrydes for meget pektin, og fiberen bliver svag. Det er netop derfor at en kontrolleret rødning med brug af enzymer giver nogle muligheder for at styre rødningprocessen, der ellers foregår på marken.

Indholdet af hemicellulose er med til at give hamp en mere blank og stiv fiber og ikke mindst stærk fiber. Stivheden kan medvirke til at fiberen er vanskeligere at spinde til garn, og også har en øget tendens til at knække.

TABEL 4.1. Indhold af cellulose og fysiske karakteristika for hamp og spindhør og til sammenligning jute og træ gennemsnitsværdier¹²

Fibre	Cellulose %	Diameter μm	Længde mm	Styrke MPa
Spindhør	75	20	33	700
Hamp	65	25	25	600
Jute	55	20	3	350
Træ	40	30	3	150

Karakteristika for fibre fra hamp og hør ses i tabel 4.1. Til sammenligning indeholder bomuld 90 % cellulose og kun ganske lidt lignin¹³. Kompositionsanalyse for hamp er vist i tabel 4.2 (litteraturdata) samt tabel 4.3 (værdier fra projekter).

TABEL 4.2. Kompositionsanalyse af hampestængler, og fibre og skæver, litteraturen¹⁴

	Fibers	Shives
Ash (% w/w)	2 – 3	1 – 2
Cellulose (% w/w)	73 – 77	47 – 48
Hemicellulose (% w/w)	7 – 9	21 – 25
Lignin (% w/w)	4 – 6	16 – 19
NCWM ¹ (% w/w)	6 – 7	8 – 9

TABEL 4.3. Kompositionsanalyse af hampestængler, og fibre og skæver, urødet Fedora hamp, Vittenbjerg-

	Ash	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	NCWM
Stem (% w/w)	4	60	10	12	12
Fibers (% w/w)	3	77	9	4	6
Shives (% w/w)	2	47	21	19	9

gaard,

¹² DFFE, 2006, Værditilvækst og bedre miljø, – en bioteknologisk forskningsstrategi for nonfood og foder

¹³ Acceptance of Bast Fiber Textiles for Sustainable Product Development. Speciale-afhandling af STAN-HOPE, CLAIRE MARGARET fra Faculty of North Carolina State University, 2012

¹⁴ Thomsen A. B. et al, 2005; Hemp raw materials: The effect of cultivar, growth conditions and pretreatment on the chemical composition of the fibres. Risø-R-1507(EN).

TABEL 4.4. Kompositionsanalyse af hampestængler, -fibre og -skæver, rødnet Fedora hamp, Skejby, Hamperåvare fraktioner er leveret af Pallesen. B.E.¹⁵

	Ash % w/w	Cellulose % w/w	Hemicellulose % w/w	Lignin % w/w	NCWM % w/w
Mech. sep. Fiber	2	71	7	8	7
Pure fiber	2	73	7	6	7
Shives	1	48	25	16	8

De rødne hampefibre, frilagt fra skæver vha. en hammermøllebehandling, fra tabel 4.4, for-søgene og sammenlignet med de urødne hampefibre tabel 4.3. viste overensstemmelse mht. indhold af cellulose, og kun ganske lavt ligninindhold i fiberfraktionen. Derimod indeholdt skæ-verne over 15 % lignin, et højt hemicelluloseindhold og et betydeligt lavere celluloseindhold end fiberfraktionerne. NCWM (non cell wall material) er let opløselige sukkerstoffer bl.a. pektiner. Resultaterne fra Risø-undersøgelserne stemmer kun i nogen grad med litteraturstudier af den kemiske sammensætning af hampestængler, som var mellem 10-20% lignin, 5-10% pektin, 10-20% hemicellulose og 45-60% cellulose. Bastfibrene lå mellem 5-10% lignin, 10-20% pektin, - 10% hemicellulose og 60-80% cellulose.¹⁶¹⁷ Faktorer som sort, dyrkningsforhold, høsttidspunkt, rødningegrad ved bjergning mm spiller ind.

¹⁵ Thomsen A. B. et al, 2005; Hemp raw materials: The effect of cultivar, growth conditions and pretreat-ment on the chemical composition of the fibres. Risø-R-1507(EN).

¹⁶ K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, 'A review of recent developments in natural fibre compo-sites and their mechanical performance', Compos. Part Appl. Sci. Manuf., vol. 83, pp. 98–112, Apr. 2016.

¹⁷ Pallesen, B.E, (1996). The quality of combine-harvested fibre flax for industrial purposes depends on the degree of retting, Industrial Crops and Products 5, 65-78.

5. Fastlæggelse af kravsspecifikationer for hampefibre til tekstile formål

Hampefibre har nogle unikke egenskaber, idet det er en af de stærkeste naturfibre, og har fra naturen lange fibre, som gør at fibrene kan spindes uden at have gået igennem en kemisk proces. Det mest afgørende er, at hamp kan frilægges i lange fibre, som kan spindes til meget stærke garner.

En af udfordringerne mht. at anvende hamp til tekstile formål er forarbejdning og spinning af fibre til garn, hvor garnet ikke knækker. I dag findes der ikke kommercielle hampegarner af lange fibre med en finhed til fremstilling af tynde garner, til fremstilling af højkvalitets metervarer til vævning såvel som til strik.

5.1 Hampens generelle egenskaber

Hampens generelle egenskaber vedrørende tekstile formål:

- Lange sammenhængende fibre op til én meter. Korte fibre 15-50 mm
- Grove fibre med diameter 15-50 μm (bomuld 10-22 μm)
- Finhed 3.3-22 Dtex (bomuld 1-2.9 Dtex)
- Stor trækstyrke 53-62 cN/tex (bomuld 15-55 cN/tex)
- Minimal elasticitet 1,5-4% (bomuld 6-10%)
- Glatte fibre og garner
- Varmeledende
- Høj træk og rivstyrke i våd tilstand - > høj slidstyrke ved vådbehandlinger
- Højere fugtighedsoptagelse end bomuld – tøjret ånder
- Hydrofobe (vandskyende) egenskaber som rå fiber
- Blødhed kontra stivhed, afhængig af rødningsgrad

Det mest forekommende hampetekstil er i dag baseret på cottoniserede hampefibre, der fremstilles ved en kemisk proces. Fx er tøj som skjorter og kjoler oftest fremstillet af såkaldt cottoniserede hampefibre. En cottonisering er en termisk/kemisk proces der fjerner alt pektin/lignin og "findeler" de lange hampefibre til korte, nogle få cm, som så spindes som bomuldsspinding. De er at sammenligne med bomuldsfibre, deraf navnet, og kan spindes ved spindeteknologier til bomuld som hamp og ofte i blends med bomuld eller uld. Hvis man trækker i en tråd fra stof, brydes den let og går fra hinanden i korte fibre, i modsætning til lang fiber hamp, som har en stor styrke og kun trækkes fra hinanden i lange fibre.



FIGUR 5.1. Cottoniserede hampefibre, spundet af korte hampefibre.

5.2 Kravsspecifikationer til møbelstof

Til brug i boligtekstiler til fx møbelstof og gardiner, som Kvadrat efterspørger, er stærke hampefibre essentielle, for at tekstilet kan holde til mange års slid. Møbelstoffer skal kunne holde til mange års slid og stadig se pæne ud. Det kræver høj kvalitet af tekstilet, og hampefibrenes unikke styrke gør, at de er særdeles interessante. Typisk anvendes uld og bomuld foruden syntetiske fibre (se tabel 5.2). Hampefibre har den fordel, at det er en stærk fiber samt har et naturlook. Hampegarner vil kunne blendes med såvel uld som bomuld til rene naturgarner. Der vil dog være en variation i kravspecifikationer alt efter anvendelse og materiale (se også tabel 5.1).

Kravsspecifikationer - Kvadrat

- Mekanisk styrke, som trækstyrke (tensile strength), MPa eller N, samt og trækbrudstyrke (elongation) i %.
- Slidstyrke - Stærke fibre, som kan klare såkaldt Martindale test (slidstyrke-test til møbelstoffer) med op til 45.000 omdrejninger (Martindale) på vævede metervarer
- Pilling - Metervarer med lille tendens til pilling (fnugget med synlige små fibriller), Visuel bedømmelse karakter 1-5 (1 er dårligst). Vi ønsker 3-4
- Lysægthed - Visuel bedømmelse karakter 1-8 (1 er dårligst). Ønskes 5-6
- Gnid-ægthed - Visuel bedømmelse karakter 1-5 (1 er dårligst). Ønskes 3-5
- Garnkvaliteter (low count) fra grove garn kvaliteter til finere kvaliteter, hvoraf de fineste typisk kan anvendes til strik
- Krympning – max 1 procent (kan dog variere) ved standardvaske
- Sømskridning – kan syningen holde.
- Brandegenskaber – afhængig af materiale og anvendelse
- Fejl: max en pr. 10 meter

TABEL 5.1. Eksempel på kravspecifikation hos Kvadrat for et betrækstof til møbler

Qualities	Requirements	Method
Abrasion	Min. 45 000	EN ISO 12 947-2
Pilling	Min. 3-4 (1-5)	EN ISO 12 945
Light fastness	Min. 5-6 (1-8)	ISO 105 B02
Rubbing dry		ISO 105-X12
Rubbing wet	CHY Home Fashions Co	ISO 105-X12
Shrinking	Max. 1%	Laundry 40°C / 60°C
Seam slippage	Max. 5 mm	ISO 13936-2
Fire (depending of material)	Pass	EN 1021 1-2
	source 1	BS 5852
Faults	Max. 1 per 10 metre	

5.3 Kravspecifikationer til modetøj

Den store fokus og forventning til hampetekstiler til modetøj vedrører ikke mindst bæredygtighedsaspektet, hvor hamp kan dyrkes uden brug af pesticider og kunstgødning og vanding i modsætning til bomuld, som er meget belastende mht. brug af pesticider og vanding. Et andet aspekt er performance og holdbarhed af tøjet, såsom om hampetøj kan holde til længere tids brug i kraft af hampens egenskaber. Der er også udfordringer mht. hampetekstil, idet det lettere krøller og kan ændre facon efter gentagen vask.

Til modestoffer ønskes også mange forskellige kvaliteter af garn, afhængig af design og look. Anvendelse kan potentielt være til jakker og frakker, kjoler, bluser, bukser osv. Typisk er hampetøj fremstillet af meget grove garnkvaliteter, og med naturlook, som næsten er som sække-lærred. Det er ikke mindst manglen på finere hampekvaliteter, som er udfordringen i den eksisterende hampeproduktion, der primært foregår i Kina.

Hvordan arter tøjet sig i funktion – tøjets performance

- Bliver det slidt? Fnugget (pilling)?
- Er det til at vaske?
- Hvad sker der efter vask?
- Krøller det?
- Er det svært at stryge?
- Skal tøjet stryges?
- Er tøjet lunt at have på i koldt vejr?
- Er tøjet rart at have på når det er varmt?
- Hvordan sidder tøjet på kroppen?
- Udvider tøjet sig ved belastning?
- Kan tøjet tåle belastning ved brug?
- Hvordan tager det imod farve osv?

Kravsspecifikationer til metervarer til modetøj

- Stærke fibre, som kan holde til mange års brug af tøjet (og dermed høj bæredygtighed)
- Egnede garnkvaliteter til mangeartede designs incl. overtøj
 - Nm 14/1 til væv
 - Nm 24/1 til væv & strik
 - Nm 39/1 til strik
 - Til strik (fx T-shirts) er målet et garn mellem Nm 42/1 og Nm 48/1.
- Krav mht. performance: at tøjet ikke krøller, ikke fnugger, ikke krymper,
- Krav at tøjet kan tåle op til 40 vaske



FIGUR 5.2. Eksempler på forskellige typer af vævninger med hampegarn af varierende tykkelse (finhed), fra venstre: lærredsbinding, Twill Køperbinding, Twill/brudt køperbinding, Fra forsøg på VIA University College, Herning.

6. Udvikling af nyt dyrknings- og høstkoncept til hamp til tekstile formål

Udvikling af koncept for danskproducerede hampefibre til tekstile formål involverer hele værdikæden. En af flaskehalsene er udvikling af et dyrknings- og høstkoncept, hvor tynde ensartede hampestængler kan bjergeres med parallelle stængler, der kan føres videre i forarbejdningsprocessen til fremstilling af garner. Det er lykkedes at bjerge hampestængler parallelt. Vittenbjerggårds nyudviklede pilotmaskine stod klar til en indledende afprøvning med høst af tekstilhamp august 2020 med succes. En væsentlig milepæl er således godt på vej til at være løst.

Indsatsen med at forny håndtering af hamp i den første del af værdikæden har været koncentreret om at undersøge hvilke dyrkningsparametre som plantetæthed, høsttidspunkt og sorter har haft på råvarekvaliteten til brug som tekstil. Specifikt hvordan indvirker disse parametre på at kunne opnå fine kvaliteter af garn. Vittenbjerggård har leveret råvarer fra dyrkningsforsøgene til brug i arbejdet med udvikling af koncept for kontrolleret rødning af hamperåvaren og forsøg med skætning. En væsentlig udfordring har været arbejdet med at nytænke hele høst og bjergningskonceptet for hamp til tekstil, som er forudsætning for en rentabel proces.



FIGUR 6.1. Vittenbjerggård. Hampestængler efter høst af frø, høst 2017, med tydelige skæver og løse stærkt rødne fibre yderst

Forsøgene med hamp er foregået hos Jørgen Heggelund, Vittenbjerggård (figur 6.1) i samarbejde med Teknologisk Institut, ligeså udvikling af høstkonceptet, der er gennemført i samarbejde med DunAgro Hemp Group¹⁸ i Holland, med hvem projektpartnerne har samarbejdet i en årrække.

6.1 Dyrkningsparametre

Der er gennemført undersøgelser med dyrkning af hamp til tekstil hos Jørgen Heggelund, Vittenbjerggård, med test af varierende udsædsmængder og høsttidspunkt, og efterfølgende analyse af parametrene indvirkning på råvarekvaliteten. Alle forsøgene i forsøgsperioden er gennemført med Futura 75, som er en velanset og velegnet tekstilsort, om end lidt sent udviklet i forhold til andre sorter, som fx Uso, Felina m.fl.

6.1.1 Undersøgelse vedr. udsædsmængde

Et vigtigt led i konceptet er at finde frem til de bedste dyrkningsforhold, som giver en kvalitetsfiber. Derfor er der i sæsonen 2018 gennemført undersøgelse af hamp etableret med varierende udsædsmængde, for at finde frem til den mest optimale udsædsmængde. Der er testet udsædsmængder på 25 kg, 40 kg og 60 kg pr. ha og med sorten Futura 75, som regnes som en god fibersort. Hampen blev sået 8. maj 2018.

Det er tydeligt, at tykkelsen på stænglen reduceres ved højere udsædsmængde, som betyder et højere fiberudbytte i den enkelte stængel, idet andelen af taver kontra skæver bliver højere. Højden på planterne varierede fra 2,5 – 3 m.

Den tætte plantebestand ved 60 kg/ha, gav lange og slanke stængler, gns. diameter 0,75 cm (se figur 6.2). Planter udsået med 25 kg/ha, som normalt er udsædsmængden til fx korte fibre og strøelsesformål, gav diameter for stænglerne på 1 – 1,25 cm eller mere. Alle forsøg er udelukkende gennemført mhp. på kvalitetsbedømmelse, og ikke med opgørelse af udbytte, idet hampestænglerne er håndhøstede. Den bjergede råvare indgår i forsøg med enzymer og hydrothermal behandling, se afsnit 8.



FIGUR 6.2. Futura, juli 2018, sået ud med 60 kg/ha til tekstile formål. Ukrudtet har ikke en chance i den tætsåede parcel med 60 kg udsæd. Foto. Bodil E. Pallesen

¹⁸ [Dunagro Hemp Group - Dunagro Hemp Group](#)

TABEL 6.1. Udvikling af hamp gennem vækstsæsonen

Forsøg, Futura hamp, 60 kg/ha	2018	2019	2020
Sådato	8. maj	1. maj	15. maj
Udsædsmængde	60 kg /ha	60 kg/ha	60 kg/ha
Antal planter v. såning, ca.	250	250	250
Kg N	60	60	33
Fremspiring	16. maj	8. maj	21. maj
Begyndende blomstring - dato	15. august	20. aug	10. aug.
50% Blomstring	21. august	25. aug	20. aug
Antal dage til beg. blomstring	91	104	81
Højde ved blomstring, ca	2,5 m	2,5	2,6

Hamp, spirer hurtigt frem, når den etableres i en varm jord, oftest på en uge eller derunder. Dette også for sorten Futura 75, som vi har anvendt som sort i alle projektårene. Antal dage fra fremspiring til begyndende blomstring har i de tre forsøgsår varieret fra 81 – 104 dage (Tabel 6.1). 50% blomstring ligger ca. 1 uge senere.



FIGUR 6.3. Hamp, Futura 75, 1. juli 2020, Vlttenbjerggård. 2020 var et fantastisk vækst år, hvor hampen stod utrolig godt.

Konklusionen af test af varierende udsædsmængde for hamp til tekstile formål er, at en udsædsmængde på min. 60 kg/ha er optimalt. Dette gav lange slanke stængler, som ved høst oftest havde en diameter under 10 mm, og en høj andel af lange fine fibre. Det er vigtigt at anvende minimum 60 kg udsæd/ha og et plantetal på ca. 240 – 300 per m² ved såning og ved en tusindkornsvægt på ca. 20. Sådatoen er når jordtemperaturen er over 10 grader, og der ikke er udsigt til nattefrost. Men hellere en sen såning end for tidlig. Jo varmere jorden er ved såning desto hurtigere fremspiring, og dermed kan hampen udkonkurrere ukrudtet.

6.1.2 Høsttidsforsøg af hamp

Kvaliteten af hamp til tekstil afhænger både af plantetætheden men også høsttidspunktet. Derfor har målet været at finde frem til det høsttidspunkt hvor kvaliteten til anvendelse som tekstil, dvs. spinding til garn er bedst. Vi har derfor høstet/bjerget hamp ved forskellige høsttidspunkter (tabel 6.2). Tidspunktet det enkelte år vil selvfølgelig afhænge af vækstsæsonen, vejr og vind. Det er vigtigt, at man høster på et tidspunkt, hvor fibrene stadig er fine og ikke blevet for grove. Til de industrielle anvendelser som kompositter og isoleringsmaterialer er høsttidspunktet ikke så afgørende, som det er til tekstil anvendelse.



FIGUR 6.4. Indledende forsøg med skårlægning af hamp i 50 cm stykker, udført med specialbygget hampeskårlægger og her helt urødnede hampestængler fra høst 2017. Råvaren er anvendt til enzymforsøg i 2018.

Futura hamp, 60 kg/ha	2018	2019	2020
Høsttid 1	10. sept.	9 sept.	10. aug.
Antal dage til høst 1	117		81
Højde ved høst	2,7 m	2,8	2,9 m
Antal planter ved 1 høst	ca. 150	ca. 150	ca. 160
Høsttid 2	25. sept.	25 sept.	3. sept
Antal dage til høst 2	132		105
Højde ved høst	2,7 m	2,9	3,0 m
Udbytte top, tørret 90% TS	ca. 2,5 tons	ca. 2,5 tons	-
Udbytte stængler, 90% TS	ca. 7,0 tons	ca. 7,0 tons	-
Høsttid 3	-	-	28. sept
Antal dage til høst 3	-	-	130
Højde ved høst	-	-	3,1 m
Udbytte top, tørret 90% TS			ca. 3,0 tons
Udbytte stængler, 90% TS			ca. 8,0 tons
Høsttid 4	-	-	10. Okt.
Antal dage til høst 4	-	-	142
Højde ved høst	-	-	3,1 m

TABEL 6.2. Høsttidsforsøg i hamp 2018-2020. Udbytte er fra den omkringliggende hampemark de pågældende år.

Vi har i høstforsøgene påbegyndt høst af hampestænglerne (ved håndhøst) inden for 0 – 2 uger efter 50% blomstring. Høstforsøg gennemført på Hogent University i Belgien viser at den bedste kvalitet er opnået ved høst, når 50% af planterne er i blomst i forsøg fra 2017. Dette sker fra 53 – 105 dage efter såning¹⁹ for fem forskellige sorter, hvoraf Futura lå i den sene ende. Det er dog ca. 1 – 2 uger tidligere end ved danske breddegrader. Planteøjden ved de første høsttider var for Futura (hele planten fra jordoverfladen til og med top) var fra 2,5 - 3 meter. Toppen skæres af, og de nederste 20 cm, og den del af stænglen vi arbejder med er mellem 1,5 – 2 meter (figur 6.5).



FIGUR 6.5. Høstidsforsøg 2020. Hampeplanterne har fået skåret toppen af, som er ca. 80 cm. Højden er tæt ved 3 meter høje. Første høsttid (helt tv) var 10 august, hvor stænglerne er helt urødnede. Sidste høsttid er 10 okt. (th).

¹⁹ Veronique Troch and Myréne Vanderhoeven. Foreløbige resultater ved Hogent University, 2018, præsenteret ved EIHA konferencen, juni 2018.

I alle høsttidsforsøgene var udsædsmængden 60 kg/ha. I løbet af vækstsæsonen er registreret antal dage fra fremspiring til begyndende blomstring og blomstring for 50% af planterne, samt fra fremspiring og frem til de forskellige høsttidspunkter. Derudover er registreret plantehøjde, og diameter af stænglen, samt antal planter ved 1. høst. Vi har i 2020 observeret at fugle kastede sig over hampeplanterne hen over høsten, der forløb over godt 2 måneder fra første til sidste (nr. 4) høst. I 2018 og 2019 var der kun to høsttidspunkter, var det ikke et problem. Råvaren fra høsttidsforsøgene indgår i enzym og hydrothermale forsøg, og råvarekvaliteten er vurderet før og efter behandling, se afsnit 8.

6.2 Opbygning af pilotudstyr til høst og bjergning af hamp til tekstil

Den måske største flaskehals mht. at kunne etablere en tekstilproduktion baseret på dansk eller europæisk dyrket hamp er at udvikle teknologi til at kunne bjerge hampestænglerne parallelt. Tidligere har det været meget manuelt orienteret at bjerge og fremstille hamp til tekstil i Europa. Fx var Rumænien en af de få større producenter af tekstilhamp i Europa indtil de kom i EU i 2007. Her blev hamp til tekstil typisk bjerget i neg, som blev sat op til tørring på marken, og efterfølgende vandrødnet i større bassiner, dvs. en meget arbejdskraft krævende fremgangsmåde. Den efterfølgende skætning var også præget af meget gammeldags teknologi, som involverede megen arbejdskraft inden den blev udfaset til Kina.

Målet i projektet mht. at udvikle ny teknologi til bjergning af hamp har været at kunne håndtere stænglerne parallelt hele vejen gennem skætteprocessen, og dermed opnå at de lange fibre håndteres mere skånsomt frem til spindeprocessen.

Arbejdet med opbygning af en pilot-hampehøster, som kan afkorte hampestænglerne til 1 meter lange stængler samtidig med at de lægges parallelt er pågået gennem hele projektperioden. Udgangspunktet har været at tilpasse en tidligere hørrusker (puller), som er erhvervet. Udviklingsarbejdet er sket i samarbejde mellem DunAgro i Holland og Vittenbjerggård. Systemet vil være det første af sin art tilpasset den 2-3 meter høje hampeplante.

Opbygningen af pilotanlægget har bestået af en række delprocesser, som skulle spille sammen, og opbygget på en tidligere hørrusker, som trækker hele planten op, og lægger den vinkelet på skåret, uden at der skal skæres. For hamp skal planten skæres ca. 20 cm over jordoverfladen, toppen skæres fra, og stænglen skæres i stykker á 1 meter.

Stativet til at afskære toppen monteres med et bredt bånd på tværs, som fører biomassen med toppen ud til højre, mens den videre proces med at skære stænglen over i 1 meter stykker, og samles samtidig med det kører ud på et bånd bag maskinen, som fordeler det i to parallelle skår/striber (se figur 6.6). Systemet forventes at skulle patenteres.



FIGUR 6.6. Klar til første prøvekørsel af hampetekstilhøsteren, aug. 2020. Toppen er afskåret og stænglerne ligger parallelt.



FIGUR 6.7. Presning i baller med 1 meter stykker af parallelle hampestængler, der er rødnede.

En ældre ballepresser til at bjerge hampen blev afprøvet i eftersommeren 2020, og det er lykkedes at bjerge nogle baller med hamp (figur 6.7), som skal forsøgsskættes efterfølgende til lange fibre.

6.2.1 Konklusion af koncept til høst og bjergning samt semi-forarbejdning af hamp til tekstil

Det er lykkedes at udvikle et koncept til at høste hampestængler parallelt. Vittenbjerggårds pilotmaskine stod klar til en indledende afprøvning med høst af hamp august 2020. Det er den første pilotmaskine af sin art og således noget af en milepæl. Delkomponenterne er monteret på en ældre hørrusker. Der er naturligt en del tilpasninger mm, som skal til for at det fungerer i

stor skala, men det er et væsentligt mål, der er opnået. Pilotmaskinen fik sin debut med at bjerge tekstilhamp i høstsæsonen 2020.

I projektet har vi arbejdet med at udvikle nye metoder til at skætte hampestænglen i fiber- og skævefraktioner med udgangspunkt i, at stænglerne skal være parallelle. Der er gennemført en række test, men ikke etableret en færdigudviklet løsning indenfor projektperioden. Det er et af de områder, som projektgruppen arbejder videre med i projektet Hemp4Tex²⁰ med udgangspunkt i helt nye teknologier i forhold til den traditionelle skætning man anvender til industrihamp, som er en kortfiber produktion.

Der er fortsat mange delprocesser i hele hampeværdikæden, som der skal arbejdes videre med for at opnå en fortløbende proces med at frilægge fibrene fra stænglen, og gøre klar til at kunne spinde til garn af høj kvalitet. Projektet har afdækket en række udfordringer.

Arbejdet med at re-tænke hele værdikæden med hamp til færdigt tekstil fortsætter i regi af Hemp4Tex, som ledes af projektleder Bodil E. Pallesen.

²⁰ [Projekt - Hemp4Tex: Dansk hamp skal udvikles til bæredygtige tekstiler - Projekter - Teknologisk Institut](#)
Grand Solution, 2020 – 2024, med støtte fra Innovationsfonden.

7. Kontrolleret rødning - Materialer og metoder

7.1 Råvarer

Der gennemføres forsøg med råvarer fra høsten 2017, 2018, 2019 og 2020. Desuden er også vinterhøstede råvarer fra sæsonen 2016/2017. Til sammenligning er indkøbt lang grønskættet hamp fra Kina som en art referenceråvare.



FIGUR 7.1 Eksempler på forskellige typer af hamperåvarer til screeningsforsøg. Bedømmelse af fiberkvaliteten er bestemt forud for hvert forsøg. Tv. Urødnede hampestængler, midt, mælkesyrebehandlede hampestængler (afkortet) th. lang grønskættet hamp fra Kina

7.2 Dimensionsanalyse af råvare

Der blev gennemført en dimensionsanalyse af hampestængler høstet ved forskellige høsttider i de tre høstår, 2018-2020, med bestemmelse af højde, diameter, volumen og densitet.

7.3 Enzym- og HT-behandling

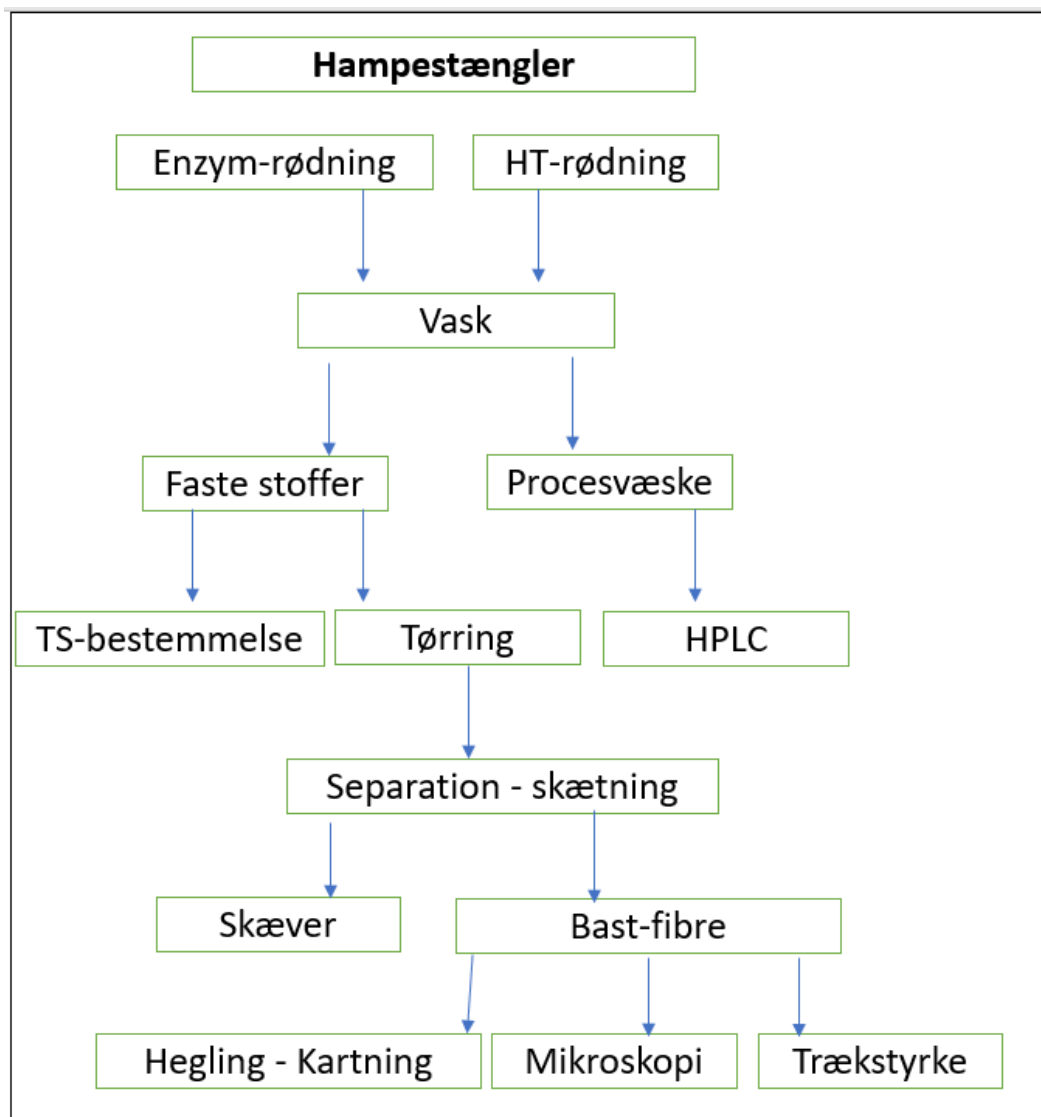
I projektet har vi arbejdet med udvikling af et koncept for en kontrolleret rødning med såvel enzymer som hydrotermale behandlinger – HT-behandling. Arbejdet har bl.a. været opbygning af forsøgsplaner til gennemførelse af screeninger mhp. at finde den optimale behandlingstid i forhold til råvarekvaliteten, evaluering af kvaliteten af den behandlede fibre (efter separation af hampefibre og skæver) og evaluering af kvaliteten af hampefibren efter en viderebehandling også til brug som en tekstilfiber. Forsøgene er kørt primært som laboratorieskala forsøg. Arbejdet bygger i nogen grad videre på udviklingsarbejde med hør og hamp udsat for HT- og enzymbehandling gennemført af Pallesen, 1993-2001^{21,22}.

Målet med den kontrollerede rødning er at erstatte den mere ukontrollerede rødning på marken, hvor det er vanskeligt at gennemføre en ensartet rødning af et uens hampeskår i marken, og med meget vekslende klimaforhold fra år til år. Vi har både gennemført forsøg med enzym-

²¹ Bodil E. Pallesen, 'The quality of combine-harvested fibre flax for industrial purposes depends on the degree of retting', Ind. Crops Prod., vol. 5, Mar. 1996.

²² Bodil E. Pallesen, 'Alternative metoder til fremstilling af hørcellulose' 2000; under 'Landbrugsministeriets forskningsprogram "Biomasse til videre anvendelse i industrien", 1993-1997.

behandling med enzymer fra Novozymes og med HT- behandling, som en forbehandling og benchmarket overfor enzymbehandling. I figur 7.2 ses flowdiagrammet for håndtering af hampestænglerne.



FIGUR 7.2. Flowdiagram for behandling af hampestængler og efterfølgende analyse af fibre

7.3.1 Enzymscreeninger i lab-skala og pilotskala

På Teknologisk Institut, AgroTech, har vi opbygget en forsøgsopstilling til gennemførelse af screeninger med enzymbehandlinger.



FIGUR 7.3. Opstilling af forsøg med glaskrukker i varmebad til brug ved screening af mange prøver på én gang



FIGUR 7.4. Opstilling af forsøg ved screening af større prøve på én gang (ca. op til ½ kg råvare)

Forsøgsopstillingen består af termostatstyrede vandkar, hvor temperaturen kan holdes konstant under behandling og med låg, så fordampning under processen kan undgås. Konceptet har en kapacitet på ca. ½ kg råmateriale ad gangen pr. kar, eller plads til fx 6 glas med låg, til screening af endnu mindre mængder.

De anvendte enzymer er primært leveret af Novozymes, og forsøgsprotokollen er udarbejdet i samarbejde mellem AgroTech og Novozymes. Enzymbehandlingen er gennemført som vådprocessering af hampefibrene for at ændre den fysiske opbygning og kemiske sammensætning, således at fibrene bliver bedre egnede til forædling til tekstile formål.

Hovedenzymene, der indgår i behandlingerne, er Novozymes Scourzyme L (BioPrep) 59042 samt Pulpzyme HC, 59015.



FIGUR 7.5. Udvalg af testede enzymer fra Novozymes

Screeningerne gennemføres efter udarbejdede forsøgsplaner med varierende forsøgsfaktorer, såsom forskellige pH, evt. forbehandling, med eller uden tilsætning af base, forskellige enzyntyper, koncentration af enzym, tilsætning af additiv, procestid, temperatur osv. Forsøgene er foregået i stinkskaab pga. enzymerne har fareklasse. Efter enzymbehandling vaskes råmaterialet flere gange. Der udtages prøver af enzymvæsken fra de behandlede prøver, som efterfølgende sendes til HPLC analyse af sukkerstoffer ved laboratoriet hos Teknologisk Institut. Den behandlede råvare analyseres for cellulose, hemicellulose, lignin, sukkerstoffer, aske mm og sammenlignes med analyser af råvare inden behandling.

Efter vask tørres de behandlede råvarer. De tørrede enzymrødgede hampefibre testes mht. hvor lette de er at frilægge såvel adskille fibre fra skæver (skættbarhed) samt grad af fiberfrilægning, og egnethed til at karte og spinding af garn.

Med de små fibermængder, der indgår i screeningsforsøgene, foregår dette vha. mekanisk håndskætning af de behandlede hampestængler ved at anvende "gammeldags" skætteudstyr, som bryder, hegle og karte, se afsnit 7.8.

Der gennemføres endvidere analyser af hampefibreneres mekaniske egenskaber som styrke og elasticitet. Endvidere vurderes det, hvor stærk fibrene følte, blødhed, og frilægningsgrad, bl.a. gennemføres mikroskopering af fibre for at se fiberbundter og enkeltfibre.

7.3.2 Hydrothermal behandling i lab-skala og pilotskala

På Teknologisk Institut i Tåstrup, på Bioraffineringslaboratoriet er der udstyr til både lab-forsøg med HT-behandling samt større batchforsøg.



FIGUR 7.6. Tv. Trykkoger til lab-forsøg med HT-behandling. Th. Bioraffineringsanlægget hos TI, afd. for Bioresourcer og bioraffinering.

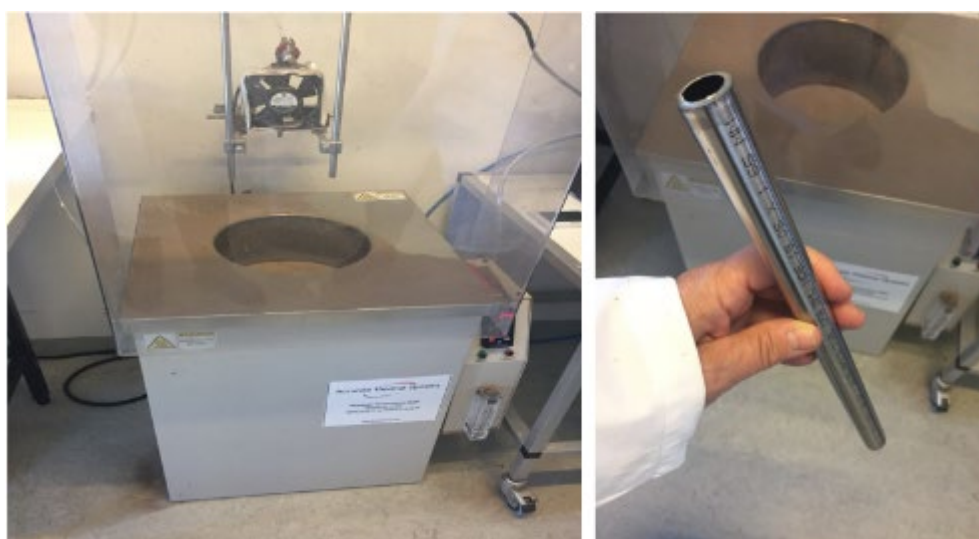
Tørstofindholdet i hampestænglerne bestemmes ved at udtage tilfældige afskårne hampestængler, som afvejes på glas petriskåle før og efter opvarmning til 105 °C. Til screeningsforsøgene anvendes kun små mængder af råmateriale, typisk afskårne hampestængler. Der klippes en længde på 100 cm fra en repræsentativ stængel fx forskellige høsttider, som deles op i to 50 cm stykker. Derudover tages en lille prøve fra samme stængel som kontrol. Hver stykke stængel på 50 cm opblødes i demineraliseret vand og i nogle af forsøgene tilsættes 2% eddikesyre (start pH 2.56) ved stuetemperatur fra 15 til 60 minutter. I mellemtiden blev autoklaven forvarmet med vand i bunden for at mindske opvarmningstiden. Efter en time blev stænglerne bukket over på midten og lagt i et bægerglas i den forvarmede (100 °C) autoklave. Derefter blev autoklaven lukket og opvarmet til 120 °C - 150 °C. Opvarmningstiden var fra 10 minutter op til 1 time. Efter behandling blev trykket udlignet og temperaturen faldt til 100 °C normalt over 2 minutter. De varme stængler blev skyllet med demineraliseret vand for at afkøle dem og evt. udvaske pektin. Mens de var våde, blev stænglerne evalueret ved en skala 0-4 for at vurdere lethed i fiberseparation/fiberfrilægningen fra stænglens skæve.



FIGUR 7.7. Hampestængler fra høstforsøg 2020. Stænglerne blev markeret med farvet label (grøn, blå, orange, rød) korresponderende med tidligt og sent høsttidspunkt og dernæst tørret ved 70 °C.

Efter behandling blev bast-fibrene separeret fra stænglen ved at tviste mellem fingrene. De separerede fibre blev evalueret med mikroskopisk analyse efter separation, og hegledes til brug for styrketest af enkeltfibre.

En del af forsøgene med HT-behandling er udført på Aarhus Universitet, da specialestuderende Johanne Sejthen blev tilknyttet projektet, og en del af forsøgene blev gennemført på laboratoriet ved AU, afdeling for Bio- og kemiteknologi.



FIGUR 7.8. En del af HT-forsøgene er gennemført på AUs laboratorie, afdeling for Bio- og kemiteknologi. Med deres HT-reaktor, lab-udstyr til behandling af få stængler ad gangen i små batch.

7.4 Blegning som frilægningsmetode

Der gennemføres forsøg med blegning af fibre med hydrogenperoxid, brintoverilte, for at vurdere effekten af blegningens indvirken på kvaliteten af fibre. Til fremstilling af garner er den normale fremgangsmåde at blege fibre for at kunne gennemføre en ensartet farvning af råvaren efterfølgende. Blegning foretages enten inden garnerne strikkes eller væves til færdige stoffer eller som farvning af de vævede stofruller. Blegprocessen betyder at man lettere kan lave en ensartet farvning af fibre.

Til blegforsøgene blev anvendt hydrogenperoxid (H_2O_2 også kaldet brintoverilte), som er et gængs anerkendt blegemiddel med en god miljøprofil, idet hydrogenperoxid nedbrydes til H_2O og O_2 og ikke indeholder skadelige klorstoffer, som blegemidler af typen klorater. Generelt har peroxyd-blegning erstattet de mere miljøkritisable klorblegninger.

Hydrogenperoxid er et meget kraftigt oxideringsmiddel og har høj pH, og der er fareklasse mht. håndtering. Hydrogenperoxid kan også nedbrydes biologisk vha. enzymet katalase. Nedbrydning af hydrogenperoxid frigør ilt og varme; Dette kan være farligt, og spild af højt koncentreret hydrogenperoxid på et brandfarligt stof kan forårsage en øjeblikkelig brand.

Forsøgene er gennemført ved forskellige temperaturer, fra 25 - 45 °C samt varierende behandlingstider, fra 12 – 24 timer. Vi kørte forsøgene med pH-regulering med NaOH, kaustisk soda.

7.5 Karakterisering af hampefiber kvalitet

Efter forsøgene med kontrolleret rødning med henholdsvis enzym- og hydrothermal-behandling, og efterfølgende mekanisk adskillelse af bastfibre fra skæven, er de behandlede fibre blevet testet mht. en række egenskaber, både kvalitative og kvantitative. En del test gennemføres blot ved at vurdere fiberen fysisk ved at ruske stænglen så fiberen løsnes, og derefter konstatere styrken, hvilket giver et utrolig godt første estimat for kvaliteten af hampefiberen. Der er en lang række parametre, som er blevet undersøgt, uden dog at alle forsøg er blevet bedømt efter alle parametrene hver gang. Nogle af undersøgelserne er meget omfattende, hvilket også fremgår af metodebeskrivelserne.

Oversigt over parametre, der indgår i kvalitetsbestemmelse af tekstilfibre:

- Frilægningsgrad – via mikroskopering
- Dimensionering af fibre, måling af fibertykkelse mm via mikroskopering
- Kompositionsanalyser
- HPLC-analyser af procesvæske – dvs. tab under proces – analyse af sukkerstoffer mm
- Mekaniske test – måling af styrke – manuel og vha. trækstyrketest af enkelt fibre
- Fiberudbytte – fibre og fiberandel
- Fiberlængder – for langfibre og kortfibre
- Karte-egnet - test
- Spindeegnet – test
- Efterbehandling – blegning mv

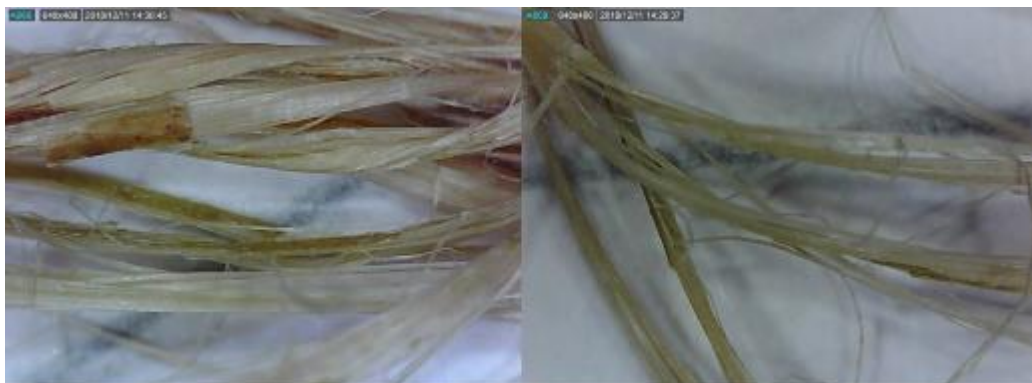
Inden den kontrollerede rødning udføres dimensionsanalyse af råvaren mht. længde, diameter, vægt og densitet.

7.6 Mikroskopisk analyse

I projektet er gennemført mikroskoperinger af de frilagte fibre, som en meget væsentlig metode til at evaluere, hvad der fysisk er sket med fiberen, og graden af frilægning ved de forskellige enzymbehandlinger og forbehandlinger. Til dette er anvendt især Dino Lite USB digitale mikroskop, som kan lave forstørrelser fra 20 op til 200 gange.

I figur 7.9. ses eksempel på forstørrelser med Dino Lite USB mikroskop (50-200x), hvor man kan se de lange, slanke hørfibre med få fibriller, såvel som synlige fiberbundter, hvor fibre

ikke er frilagt. Diameter for enkeltfibre er gennemsnitlig omkring 20 µm. Analysen er en hurtig metode til at vurdere hvor effektivt en behandling har frilagt fibre.

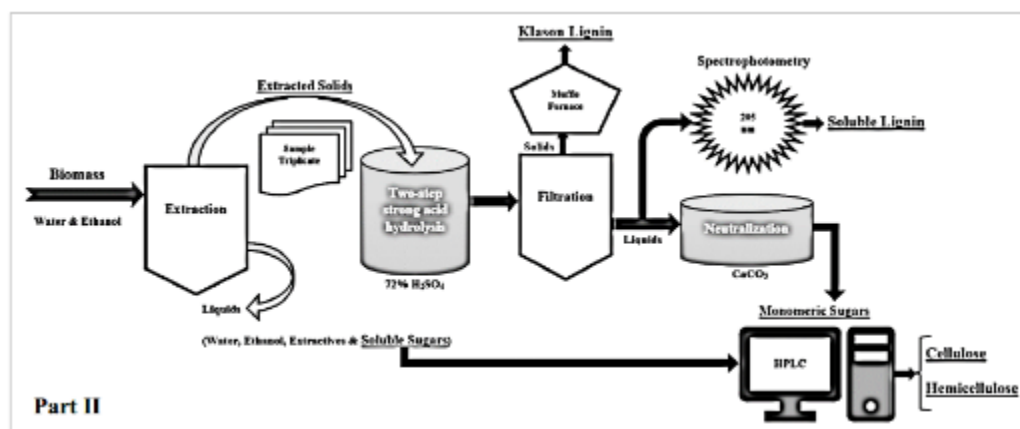


FIGUR 7.9. Hampefibre, høst 2018, x 200 forstørrelse, til venstre ses tydeligt fiberbundter, der ikke er frilagt, til højre fiberbundter med tyndere fibre og små fibriller, som kan anes. Foto: Bodil Pallesen

7.7 Kompositionsanalyser af hamp - metode

I MUDP-projektet er gennemført en række kompositionsanalyser af hamperåvarer primært fra Vittenbjerggård. Det har været hamp fra høst 2017 (efterår), samt hamp fra 2016-sæsonen, vinterhøstet i april 2017 samt hamp fra høsten 2018, som er dyrket med særligt henblik på at lave en god tekstilkvalitet. Derudover er der gennemført en række kompositionsanalyser i forbindelse med gennemførelse af enzymforsøgene og forsøg med forbehandling af hampestænglerne vha. hydrothermale processer.

I samarbejde med Johanne Sejthen²³, masterstuderende ved Århus Universitet, afdeling for Raffinering af grønne biomasser, er der gennemført en række kompositionsanalyser på hamperåvaren. Metoden bygger på NREF standard protokol, og der gennemføres endvidere HPLC-analyse af ekstraktionsvæsken fremkommet under analysen. De øvrige kompositionsanalyser er gennemført ved afdeling for Bioressourcer på laboratoriet i Tåstrup ved Nicolaj Ma, ligeledes efter standard protokol og ligeledes også vha. med HPLC-analyser af procesvandet. Der henvises her til metoder udviklet af A. B. Thomsen et al.²⁴ I figur 7.10. ses flowet i kompositionsanalysen.



FIGUR 7.10. Flowdiagram af metode til bestemmelse af cellulose, hemicellulose, lignin samt vandopløselige stoffer i hamp²⁵

²³ Johanne Sejthen var tilknyttet AgroTech, august 2018-maj 2019 med Bodil E. Pallesen, som projektvejleder, og tilknyttet projektet Bæredygtige hampetekstiler.

²⁴ Thomsen et al; Risø-forsøg. Hemp raw materials: The effect of cultivar, growth conditions and pretreatment on the chemical composition of the fibres. Risø-R-1507(EN) 2005.

²⁵ Intern lab-report, oktober 2018.

7.7.1 Kemisk analyse af procesvæske med HPLC

Der er gennemført HPLC-analyse af enzymvæsken fra screeningsforsøgene efter endt behandling. Det er typisk pektiner og noget af hemicellulosen, som er nedbrudt til sukkerstoffer, som glucose, xylose, galactose, rhamnose, mannose og arabinose. Formålet med analysen har været at få kvantificeret indholdet af de nedbrudte sukkerstoffer, som skyldes enzymbehandling, og kunne vurdere om enzymbehandlingen har været effektiv nok og frilagt fibre effektivt. HPLC-analysen kan også bruges som styringsinstrument, til at vurdere effektiviteten af enzymbehandlingen samt til at fastslå om der er områder, som enzymet ikke virker på. Endelig kan HPLC-analysen også bruges til at gennemføre masse-beregninger, mht. hvor stort tab, processen koster.

Metode - Kulhydratanalyser ved Teknologisk Institut

Flydende prøver blev opbevaret ved -20°C og optøet efter analyse. De blev neutraliseret med vandig NaOH eller HCl og blandet med et lige så stort volumen H_2SO_4 8%-opløsning (vægt / volumen). To prøver blev fremstillet pr. replikat med tilsætning af en sukkerreference og inkuberet i en autoklave ved 121°C i 1 time. Det resulterende hydrolysat blev derefter neutraliseret med 56 mg CaCO_3 pr. ml, centrifugeret i 10 minutter ved 5.000 omdrejninger pr. minut og filtreret gennem en 0,45 μm PTFE-sprøjtemembran. Prøveinjektioner på 5 μL blev analyseret i en Agilent 1100-serie HPLC med RID under anvendelse af en Rezex RPM Pb + 2-søjle ved 80°C ved anvendelse af vand som eluent med en 0,4 ml / min strømningshastighed²⁶.



FIGUR 7.11. Forsøgssopstilling til HPLC-analyse, som gennemføres på Teknologisk institut i Høje Tåstrup.

7.8 Brydning og hegling af hamperåvare

Målet med hegling at gøre hampefibren klar til at kunne spinde til garn, og dermed også kunne teste styrken og kvaliteten af fiberen.

²⁶ Procedure ved Teknologisk Institut, afd. for Bioressourcer og Bioraffinering

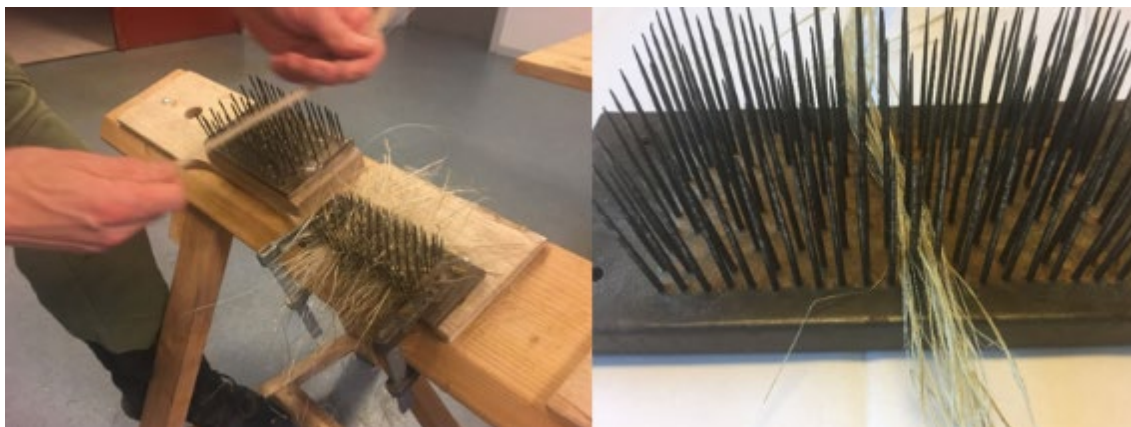
I projektet har vi samarbejdet med Det Grønne Museum, tidligere Gl. Estrup landbrugsmuseum ved Auning, hvor vi har kunne låne faciliteter af forarbejdningsudstyr til brug ved fremstilling af hørgarner. Hørskætningsudstyret består af såkaldte brydere, hegler og karter for at frilægge fibre fra skæven, og gøre den spindbar. Da vores forsøg i screenings-forsøgene blot har været ganske små forsøgsprøver, har dette været en stor hjælp.



FIGUR 7.12. Grovheglede enzymbehandlede hampefibre. Her kun heglet med den grove hegler og med tydelige bundter af fibre. Høst 2017.



FIGUR 7.13. De grove hampestængler føres først gennem en bryder (her hørbryder ved Den Grønne Museum), til at knække skæverne inden den videre skætning vha. en hegler.



FIGUR 7.14. Efter brydning hegles de lange fibre på grov hegler og en finere hegler til fjernelse af skæver, efter brydning af strået. Forsøg udført på Det Grønne Museum, Gl. Estrup.

Vi har heglet de behandlede stængler fra forsøgene, for at skætte hampen, dvs. opnå frilægning af fibre fra skæven. Heglingen er udført med en gammel hørhegler, med relativ spidse og tætsiddende "spikes", dvs. særligt smedede jernsøm, som egner sig til at hegler hampestænglerne. Målet er at opnå at fibrene er tynde fiberbundter klar til at kunne spindes efterfølgende til garn. Når de er det, er de også gjort klar til test af trækstyrken m.v.

Vi har efterfølgende selv bygget forsøgsudstyr op til at kunne håndskætte mindre mængder fibre, så vi har kunne vurdere fiberkvaliteten og de forskellige behandlings indflydelse på denne.

7.9 Trækstyrke og brudforlængelse

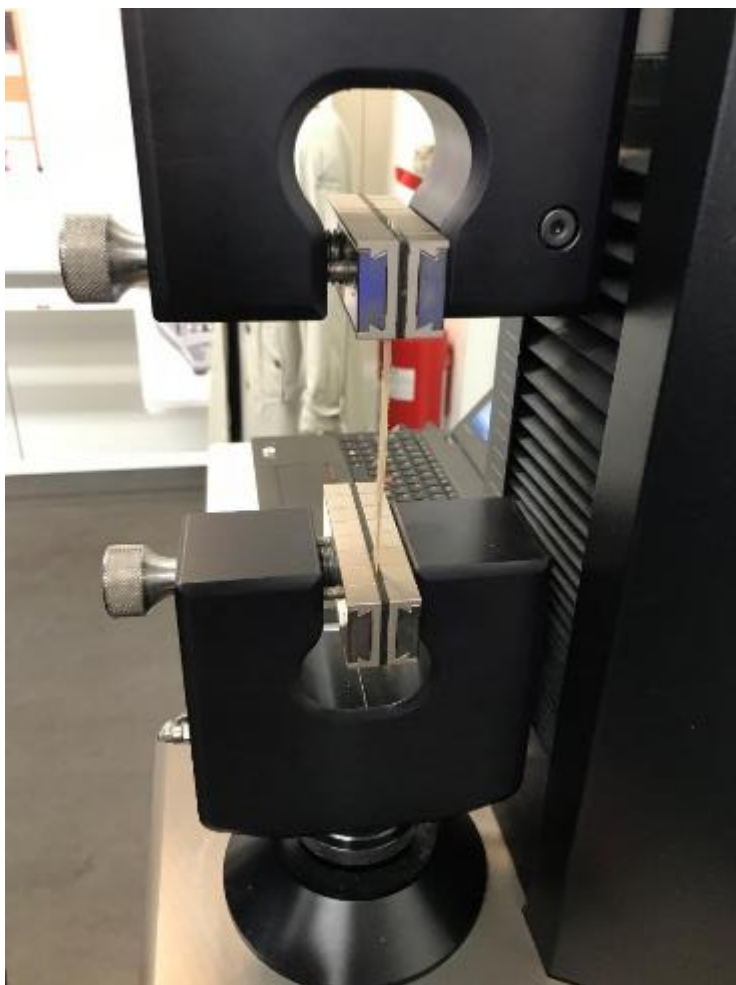
Efter de forskellige rødning-behandlinger er der lavet en manuel vurdering af fiberstyrken, ved at ruske fibre og vurdere styrken manuelt.

Trækstyrken er undersøgt ved mekanisk trækstyrketest vha. specialapparat af enkeltfibre. Hampebastfibre har altid været kendt for at udvise høj mekanisk styrke med en trækstyrke på

400 - 1000 MPa sammenlignet med andre naturlige plantekilder, f.eks. for bomuld er styrken 290 - 600 MPa.²⁷

Hampefibre har tendens til stivhed med lav elasticitet og dermed lav spindbarhed. Følgelig er de konventionelle metoder til spinding / vævning af bomuld og syntetisk bomuld samt relaterede procesteknologier ikke egnede til hampefibre. For at muliggøre spinding / vævning af hampefibre til hampegarn og stoffer af høj kvalitet, skal enten hampefibre spindbarhed forbedres ved hjælp af den anvendte rødningstype, eller der skal udvikles nye spindings- /vævningsprocesteknologier.

Trækstyrken af enkeltfibre er udført på trækstyrke-apparatet ved VIA University College, afd. for materialer og design, efter ISO-standard SO 13934-1:2013(en), (Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method)²⁸. Forud er hampefibre heklet, således at man har passende tynde fiber, evt. tynde fiberbundter, som undersøges.



FIGUR 7.15. Måleapparat til bestemmelse af trækstyrke af enkeltfibre, på VIA University College, Herning

²⁷ M. Liu, D. Fernando, A. S. Meyer, B. Madsen, G. Daniel, and A. Thygesen, 'Characterization and biological depectinization of hemp fibers originating from different stem sections', *Ind. Crops Prod.*, vol. 76, pp. 880–891, Dec. 2015.

²⁸ [ISO 13934-1:2013\(en\), Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method](#)

8. Koncept til kontrolleret rødning af hampestængler – resultater

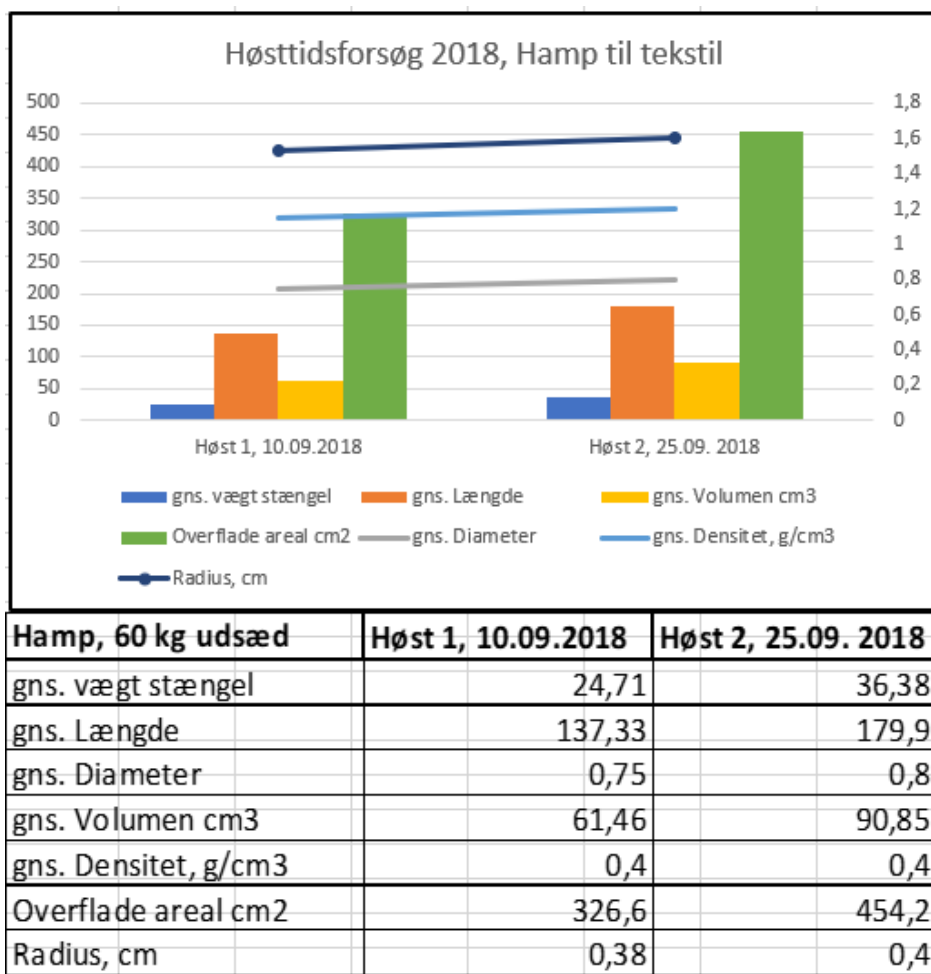
Det er lykkedes at udvikle koncept til en kontrolleret rødning vha. enzymer og hydrothermal behandling på lab-skala niveau. Forskelle som følge af råvarekvalitet, høsttidspunkt og årsvariation er undersøgt. Kvaliteten mht. kemiske indholdsstoffer i de behandlede råvarer sammenholdt med graden af rødning vurderet dels vha. HPLC-analyser samt visuel bedømmelse af strukturelle forandringer. Dette sammenholdt med målte styrkeegenskaber viser at frilægning af fibre er opnået i nogen grad, og kvaliteten af fibre til brug som tekstil er på højde med cottoniserede hampefibre eller bedre.

8.1 Dimensionsanalyser af råvarer - høstforsøg

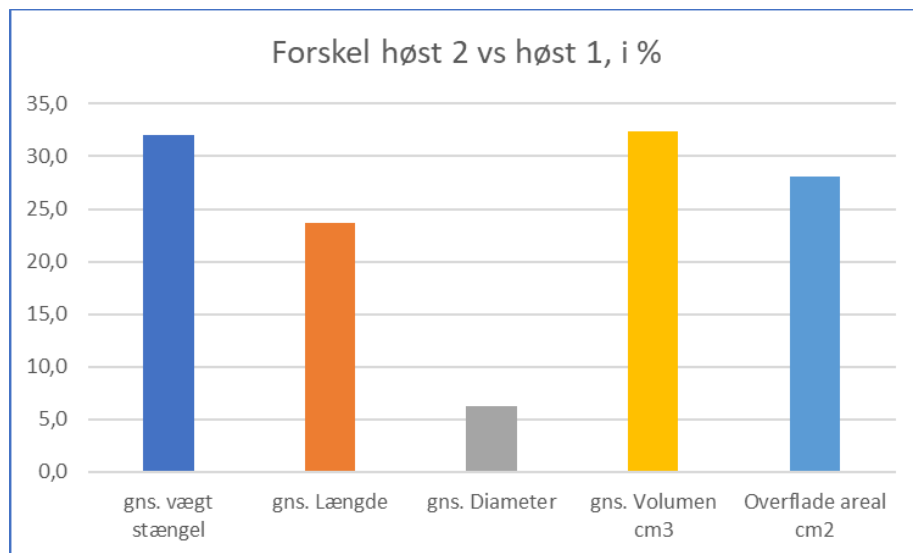
Der er gennemført dimensionsanalyser på hampestængler fra høstforsøg i høsten 2018 og 2020 på Vittenbjerggård.



FIGUR 8.1. Tv. Høstidsforsøg 2018 med to høsttider, tekstilhamp ved Jørgen Heggelund. 60 kg udsæd/ha. Th. Udsnit af høst 2, 25. september 2018.



FIGUR 8.2. Dimensionsanalyse af hamp fra høsttidsforsøg med tekstilhamp fra Vittenbjerggård, høst 2018

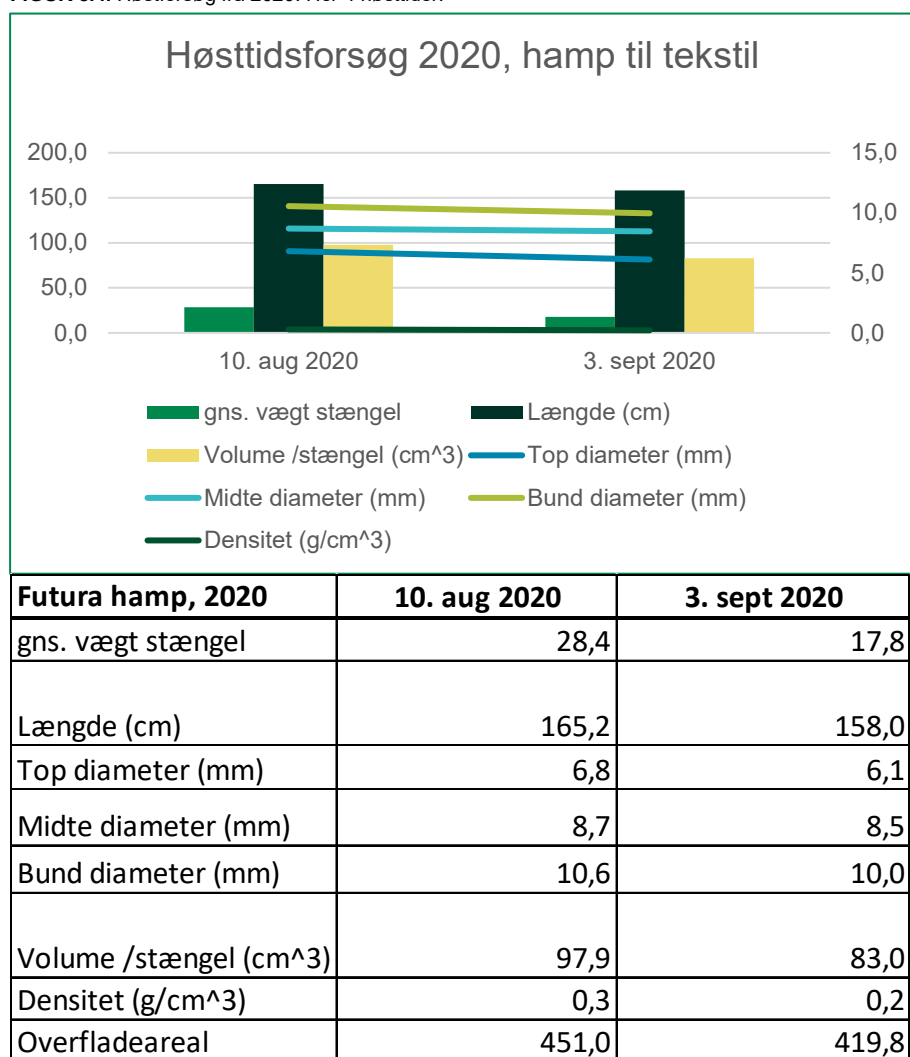


FIGUR 8.3. Forskel i % mellem høsttid 1 (10. sept.) og 2 (25sept). Høstforsøg 2018. Futurahamp.

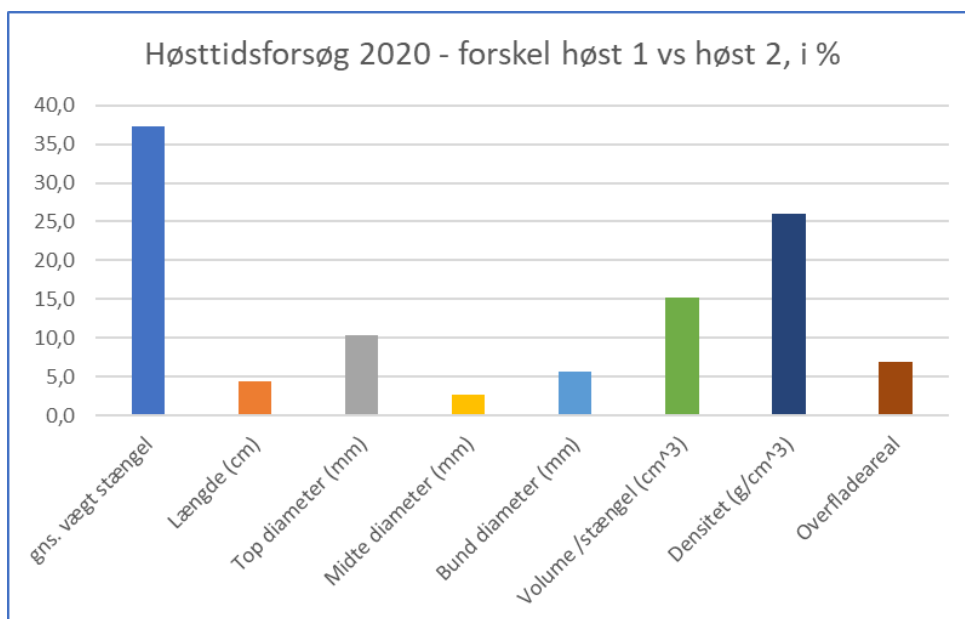
Udbyttepotentialet målt ved overfladearealet var højst for høsttid 2, i forsøgene 2018, og 28 % større end for høsttid 1. Stængel diameteren var tæt på hinanden, som udtryk for at der opnås slanke stængler, som er en forudsætning for at opnå høj tekstilkvalitet. Styrken for begge høsttider var OK, manuelt bedømt.



FIGUR 8.4. Høstforsøg fra 2020. Her 4 høsttider.



FIGUR 8.5. Høstforsøg fra 2020. Her de to første høsttider, 10. august og 3. september 2020.



FIGUR 8.6. Høstforsøg 2020. Futurahamp. Forskel mellem høsttid 1 (10 aug.) og høst 2 (3. september 2020)

For 2020-forsøgene blev der opnået det største overfladeareal ved høsttid 1, men der var dog ikke så stor forskel. Såvel høsttid 1 som 2, gav en fin kvalitet, manuelt vurderet mht. performance og styrke. Stænglerne ved høsttid 2 var lidt finere end høsttid 1. Ved høst er den øverste top afklippet, denne del udgør ca. 60 cm. De to sidste høsttider (29. september og 10. oktober) indgik ikke i dimensionsanalysen. Styrken, manuelt bedømt, var dog OK også for de to sidste høsttider. Vægt af stænglen skal tages med forbehold, idet stænglerne var kortet ned til ca. 1,5 meter.

8.2 Resultater af enzymforsøg

Der er gennemført en lang række screeninger med både enzym- og hydrothermale (HT) forsøg mhp. at finde frem til om det var muligt at opnå en høj kvalitet fiber efter en kontrolleret rødnings, herunder finde frem til hvorledes effekten var af de forskellige parametre som behandlingstid, behandlingstemperatur, med eller uden pH justering, forskellige typer af forbehandling, forskellige enzymer osv.



FIGUR 8.7. Screening af forskellige råvarekvaliteter med enzymrødning. Stænglerne er afkortet til 15 cm længde, passende til forsøg i de små forsøgsglas.

Vores enkle forsøgsopstilling med anvendelse af varmebad, hvor temperaturen kan holdes konstant, har gjort det let at screene mange forskellige typer af råvarer fra de forskellige høstår, og teste forskellige typer af forbehandling og effekten af disse. Vi har kunne skalere op, når vi

har kunne se hvilke af behandlingerne, der gav gode resultater, og gennemføre mekaniske og kemiske funktionstest af råvaren, og dermed karakterisere hampefibrene mht. indholdsstoffer, grad af rødning/frilægning, mekanisk styrke mm.



FIGUR 8.8. Forsøg med urødnede hampestængler, Futura, høst 2017 (råvare 1)

Forsøg med enzymbehandling med Novozymes enzymerne Scourzyme L (BioPrep) 59042 Pulpzyme HC, 59015 gav de bedste resultater. Men ulempen var at behandlingstiden var lang, mellem 16 og 24 timer. Til gengæld var det en skånsom behandling, hvor de mekaniske egenskaber af fibrene var gode. Vi gennemførte kontrol i form af test af behandling i vandbad uden tilsætning af enzymer, da der på stænglerne ofte vil være mikroorganismer, som også sætter en enzymatisk proces i gang. Når enzymerne arbejder, sker der et tørstoftab, som genfindes i procesvæsken. Der var derfor også tab af tørstof ved kontrollen, svarende til en kontrolleret vandrødning uden tilsætning af enzym.

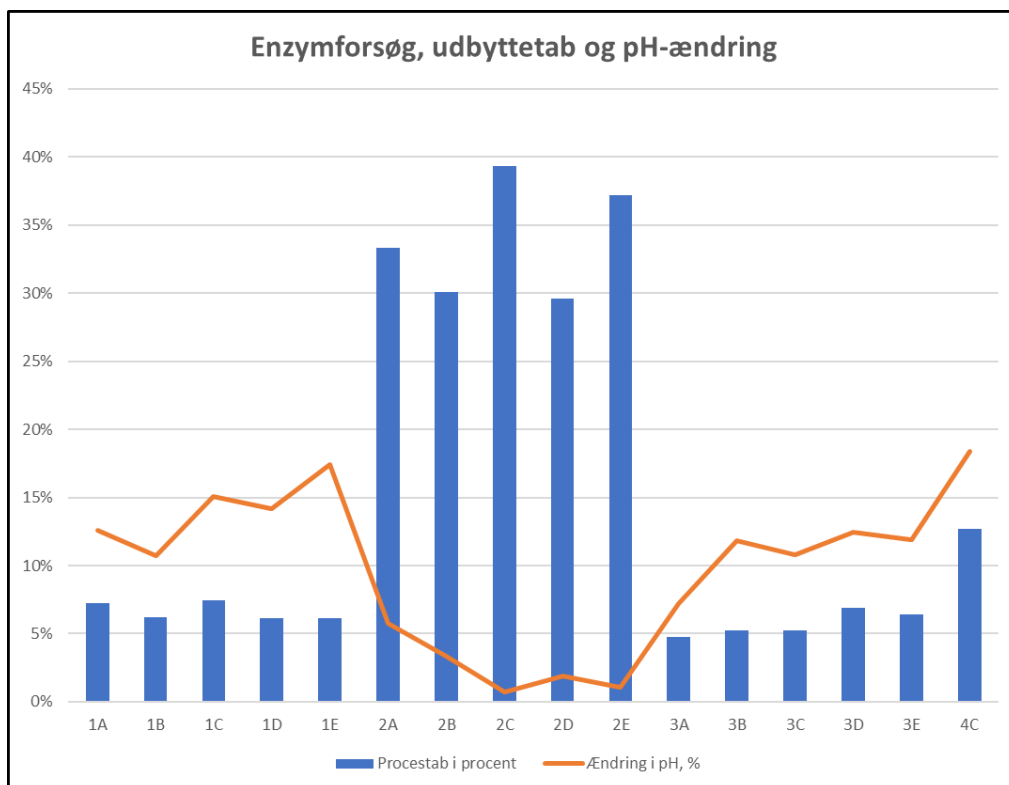


FIGUR 8.9. Enzymbehandlingen har effektivt løsnet taven, fiberen, fra skæven. Her inden fiberen og skæven brydes og hegles og skiller fibrene fra skæven. Det viser at det er let at skætte, og at enzymbehandlingen har virket effektivt på opløsning af pektiner mm

Der er anvendt råvarer fra hamp, som er dyrket ved høstforsøgene på Vittenbjerggård alle projektårene (2017 – 2020). Vi har endvidere testet hamperåvarer fra Vittenbjerggård, som er forbehandlet vha. en ensilering med mælkesyre, samt hamp høstet tidligt forår, og derfor vinter-rødnet, for at se effekt af dette. Derudover er kinesisk hamperåvare testet. Den kinesiske råvare blev indkøbt som en hel rå hampeballe, sendt til DK.



FIGUR 8.10. Forskellige hamperåvarer, til enzymforsøg. Fra venstre mod højre Nr. 1. Futurahamp høst sept. 2017. nr. 2. Ensilaret hamp, Futura, høst 2016. Nr. 3. Vinterrødnet Futura-hamp, høst april 2017. Nr. 4. Kina-hamp, lange urødnede fibre, importeret 2017-



FIGUR 8.11. Enzymforsøg. Test af hamperåvarer. A=vandrødnet (kontrol). B=Enzymbehandling, 16 timer. C=enzy-behandling, 16 timer + pH-regulering. D=Enzymrødning 24 timer. E= Enzymrødning, 24 timer+pHregulering.

Se forsøgsplan og registreringer, bilag 1.1. De urødnede hampestængler (1A - 1E) havde et tørstof-tab på 6 – 7%, og ændring (et fald) i pH under processen med over 15% ved de forskel-lige rødningsprocesser. Højest tørstof-tab ved lang enzymbehandling og pH-regulering. Styrken vurderet manuelt viste høj styrke, og dermed egnet til tekstil.

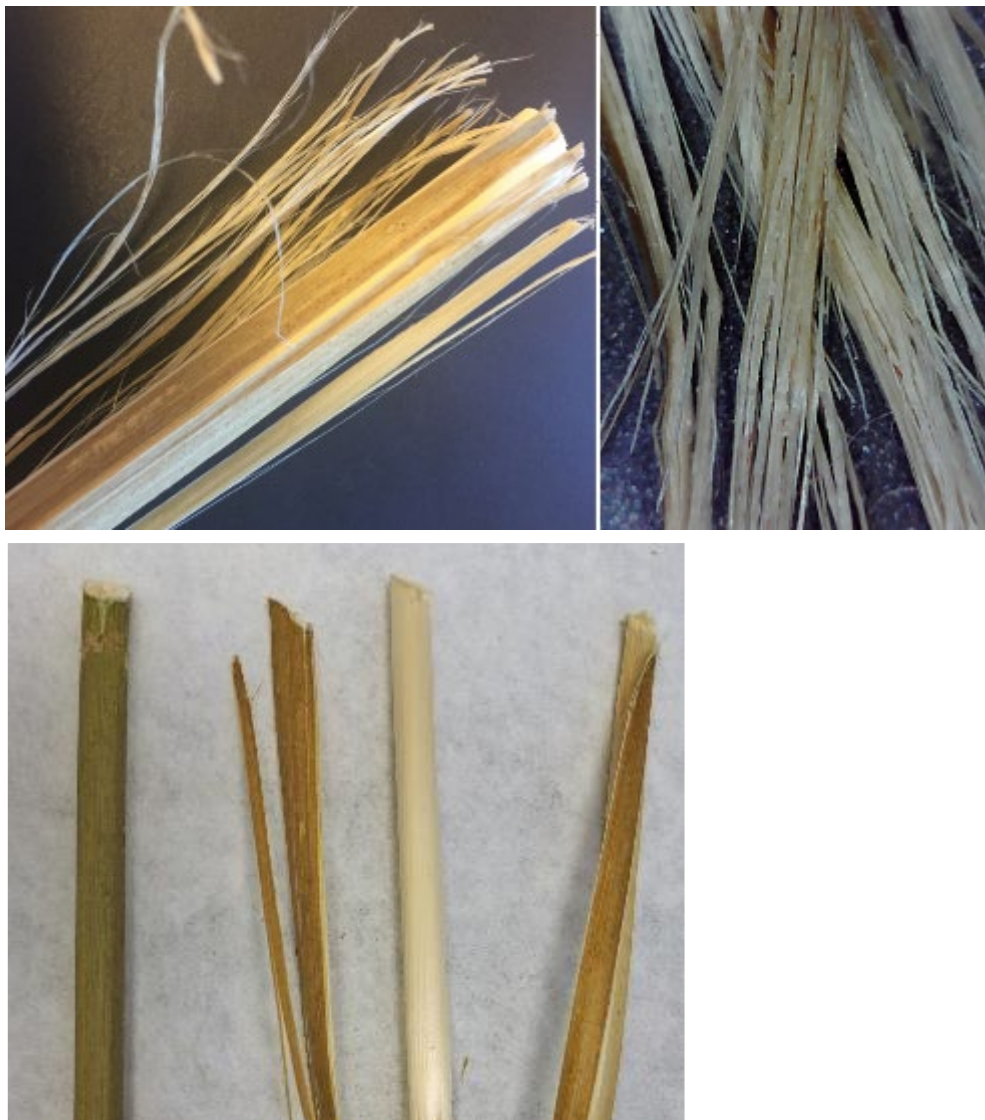
Forsøgene med forskellige typer af råvarer viste det største tørstof-tab i den forbehandlede (en-sileret med mælkesyre) hamp, 2A – 2 E. Her er styrken faldet voldsomt, og forbehandlingen har ikke været positiv i forhold til brug som tekstilfiber. pH faldt kun lidt, med mellem 1 – 5%.

Den vinterrødnede hamperåvare (3A – 3E) havde mistet mange skæver og bestod især af fibre med tydeligt farveskift. Her var et mindre tørstof-tab end den urødnede hamp (1A – 1 E), men

enzymbehandlingen gav dog et tørstofstab på ca. 5%. pH-faldet var størst ved enzymbehandling med pH regulering. Styrken syntes knap så god som den urødnede hamp. Til sammenligning er medtaget kinahamp (4C), udsat for enzymbehandling i forsøgene med screening af råvarer. Her ses et tørstofstab på 13% og et fald i pH ved behandling på 18%. Dvs. forholdsvis stor effekt af enzymbehandling. Styrken i kinahampen var ringe, og viste sig uegnet til brug som tekstil.

8.3 Resultater af HT-screeningsforsøg

Der er gennemført en række forsøg med HT - behandling for at reducere procestiden, som med enzymer typisk er et helt døgn, for at opnå god nok effekt. HT-behandlingen er udført helt ned til 15 minutter og op til 1 time procestid. Det er interessant at effekten af HT-behandlingen ses tydeligt blot ved visuel bedømmelse af hampestænglerne.



FIGUR 8.12. Hampestængler, Futura, urødnede, høsttid 2, Øverst Effekt af HT-behandling. Nederst: (tv) og efter HT-behandling, hvor taven – fibre – let adskilles fra skæven, den træholdige stængel. Fibrene er dog stadig samlet i store fiber-bundter.

HT-behandlingen var effektiv til at adskille bastfibrene – taven - fra skæven, men den er ikke tilstrækkelig til at frilægge fibrene, som fortsat sidder sammen i meget bredde fiberbundter, og langt fra at være spindbare.



FIGUR 8.13. Øverst HT-behandling og th kartet. Nederst: Bastfibrene er heglet efter "rødnings"-behandling. Tv. HT-forbehandling med vand. Th. Post-behandling med pH justering

Der er gennemført forsøg med regulering af pH ved henholdsvis tilsætning af eddikesyre (i små mængder) og i andre forsøg en lille tilsætning af kaustisk soda (NaOH). For at vurdere fiberkvaliteten er fibrene heglet efter såvel enzym- som HT-behandlingerne.

På fotoet figur 8.13 ses heglede fibre efter HT-behandling med og uden pH-justering. Der er tydelig god effekt af pH-justering under HT-processen. Begge metoder med pH-justering gav en fin effekt målt mht. frilægningsgraden og fiberstyrken.

Den forbedrede fiberkvalitet opnået ved pH justering viser, at der frilægges flere enkeltfibre, samtidig har begge behandlinger vist en mærkbar blødgørende effekt på fibrene. I afsnit med HPLC-analyser 8.4.3. er flere resultater med HT-forsøgene.

Styrken er manuelt vurderet på heglede hampefibre og viser endvidere at effekten af HT-behandlingen var størst ved 150°C i forhold til 120°C.

8.4 Resultater fra forsøg med blegning af enzymrødnede fibre

I projektet er derfor gennemført forsøg med blegning af fibrene efter enzymbehandling, for at vurdere denne effekt på kvaliteten og sammenlignet med hvad der sker, når der ikke har været enzym- eller HT-behandling.



FIGUR 8.14. Forsøgsopstilling med hydrogenperoxid forsøg, med 3 forskellige råvarer fra råvareforsøg 2018. Forsøgene foregår i de termostat-styrede .

Tre råvaretyper er testet for at vurdere blegning som frilægningsmetode:

- a. Ubehandlet grønskættede hampestrå (2018 høst)
- b. Enzymbehandlede (24 timer) af samme kvalitet som a.
- c. Heglede og enzymbehandlede hampefibre (høst 2018)



FIGUR 8.15. Blegforsøg med hydrogenperoxid. Tv. Ubehandlede hampestrå, i midten: enzymbehandlede strå og th heglede enzymbehandlede hampefibre.

Forsøgene med blegning viste, at der blev opnået en effektiv frilægning af fibre fra skæven på de urødnede hampestængler, og fibre bevarede styrken. Ved blegning af de enzymbehandlede hampestængler blev opnået en yderligere frilægning af fibre. De heglede og enzymbehandlede fibre mistede noget af styrken under blegeprocessen, som har været for kraftig.

Der sås i alle forsøg en tydelig blegeeffekt. Styrken faldt i forhold til de enzymrødnede fibre. Fibrene var meget stive og vil skulle blødgøres yderligere for at kunne anvendes til tekstiler.

Der gennemføres ikke kompositionsanalyser af forsøg med blegning, men kun mekaniske undersøgelser.

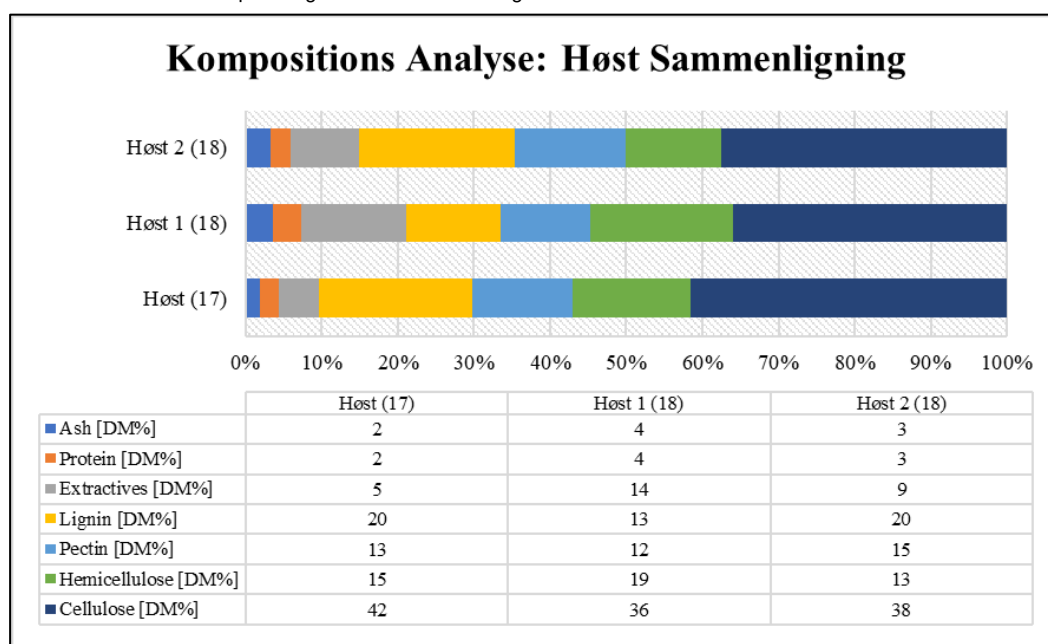
8.5 Kemiske analyser – effekt af enzym og HT- behandlinger

Hamperåvarer fra forskellige høstforsøg blev analyseret kemisk for at bestemme deres indhold af cellulose, hemicellulose, lignin, protein, pektiner og øvrige vandopløselige stoffer samt aske. Metoden er beskrevet i afsnit 7. Både råvarer dvs. hele stænglen samt fiberen efter skætning, hvor skæven fjernes, er analyseret. Der er analyseret efter enzym- og HT-behandlingerne.

Som del af den kemiske analyse er der også gennemført analyse af proces-væsken fra enzym- og HT-behandlingerne, som HPLC-analyser, som viser hvad der er sket under behandlingerne. Resultaterne er også sammenholdt med en visuel vurdering af firlægningsgraden og en manuel test af styrken af fiberen.

8.5.1 Indholdsstoffer i hamp - effekt af råvare, høsttid og enzymbehandling

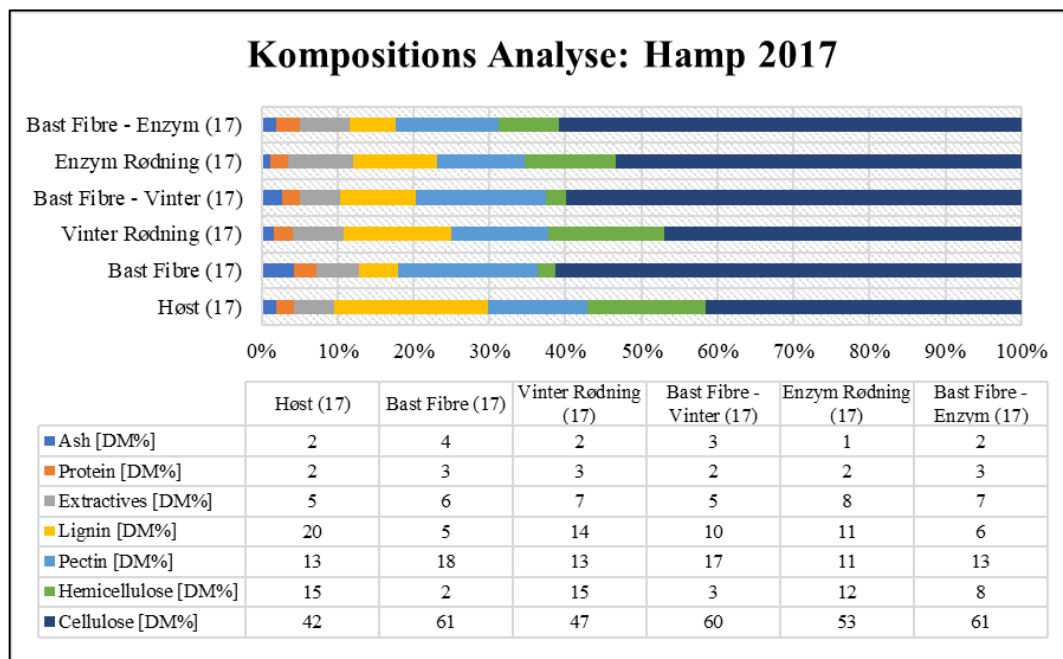
TABEL 8.1. Indhold i hampestængel råvarer ved forskellige høsttider



Råvaren er hele hampestænglen, hvor der er fra september høst 2017 (urødnet), samt hampestængler fra 2018, høst 1 (10 september 2018), og Høst 2 (25. september 2018). Celluloseindholdet er omkring 40%, lidt lavere end den tidligere gennemførte Risøanalyse²⁹, hvor hamp fra Vittenbjerggård også indgår. Det lave celluloseindhold skyldes at råvaren også indeholder skæver, og er lidt højere ved høsttid 2 mod høsttid 1, ligeså hemicelluloseindholdet, der er lavest ved 2. høsttid, hvilket også passer med at stænglen er mere rødnet end ved 1. høsttid. Indholdet af hemicellulose er 13 - 19.% og passer med data fra litteraturen. Ligninindholdet er ret højt; 13 – 20 %, i forhold til ligninindholdet i de rene fibre se tabel 8.1.

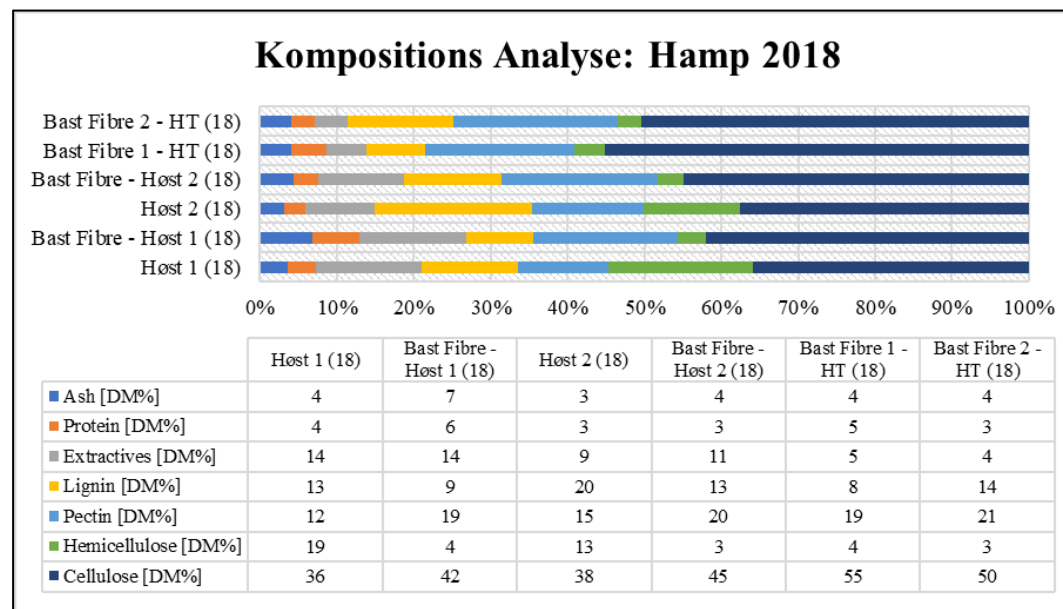
²⁹ Thomsen et al; Risø-forsøg med karakterisering af hamp, 2005.

TABEL 8.2. Indhold i hampestængler og fibre, høst 2017, urødnede og rødnede samt efter enzymbehandling



I tabel 8.2. fra høst 2017, ses tydeligt at celluloseindholdet stiger efter enzymbehandling, og ligger omkring 60%, mens lignin er lavere, nede på 5 – 6 % i fibre, mod op til 20% i rå hampestængler. De vinterrødnede fibre er stærkt rødnede og celluloseindholdet er højere, idet de også indeholder færre skæver. Urødnede bastfibre indeholder betydeligt mere pektin (18%) end efter enzymrødning (11%).

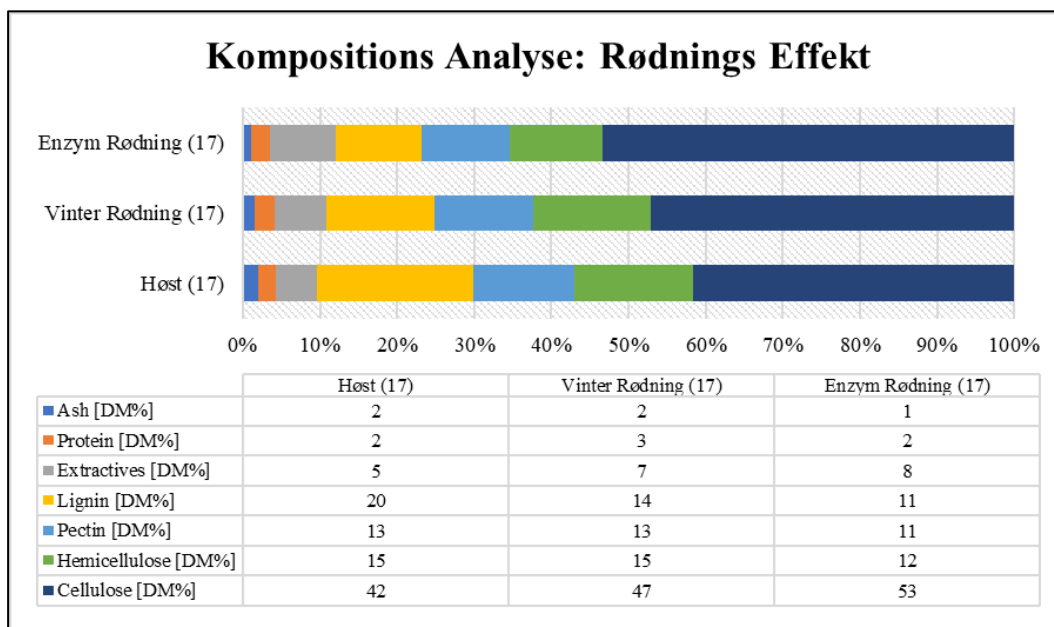
TABEL 8.3. Indhold i hampestængler og fibre, høst 2018, urødnede og rødnede samt efter HT-behandling



I tabel 8.3. er vist hamp fra 2018, hvor der blev høstet ved to høsttider. Her er også højere celluloseindhold i fiberfraktionen. Efter HT-behandling kommer celluloseindholdet i fibre op på 55%, som er lidt lavere end hvad vi opnåede med enzymbehandling. Hemicelluloseindholdet falder også ved senere høsttid, når det er fibre samt når der er HT-behandlet. Pektin hører til ikke-cellevægsstoffer (NCWM), ligesom øvrige ekstrakter. Hvis de tages under et giver det måske bedre forklaring på at der fundet relativt højt pektinindhold også efter HT-behandling. De

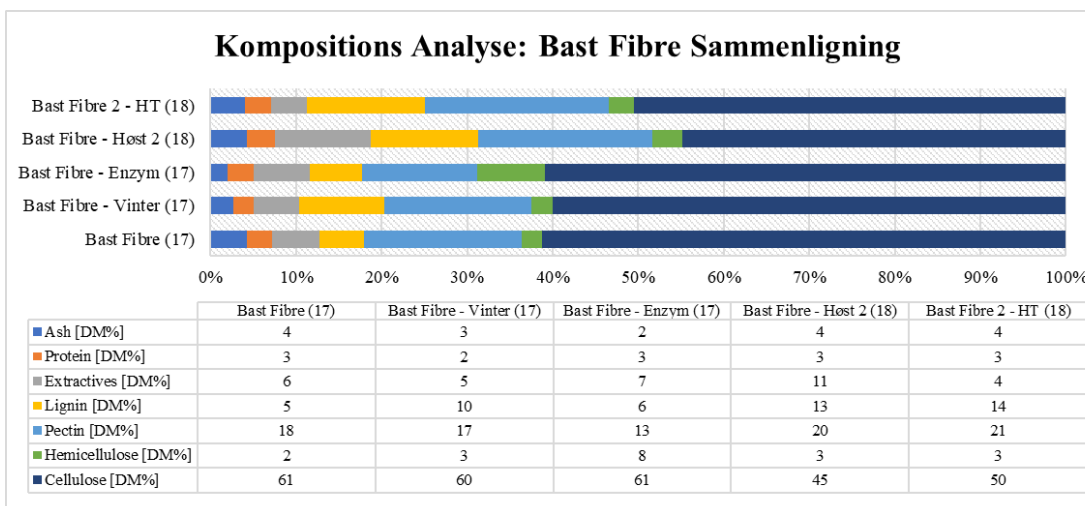
stængler, der er analyseret fra høsttid 1 har lavere ligninindhold end høsttid 2, men det kan også skyldes variation i planterne. Indholdet af lignin ved høsttid 1 falder ved HT-behandling og ligeledes for høsttid 2, der har lavere ligninindhold efter HT-behandling.

TABEL 8.4. Indhold i hampestængler høst 2017, urødnnet og vinter- og enzymrødnnet



I tabel 8.4. er hampestængler fra høsten 2017, samt vinterrødnnet hamp sammenlignet med enzymrødnnet, og man kan her se en tydelig effekt, hvor det især er celluloseindholdet som stiger og lignin-indholdet, der falder. Hemicellulose- og pektinindholdet er også lavest i den enzymrødnede råvare.

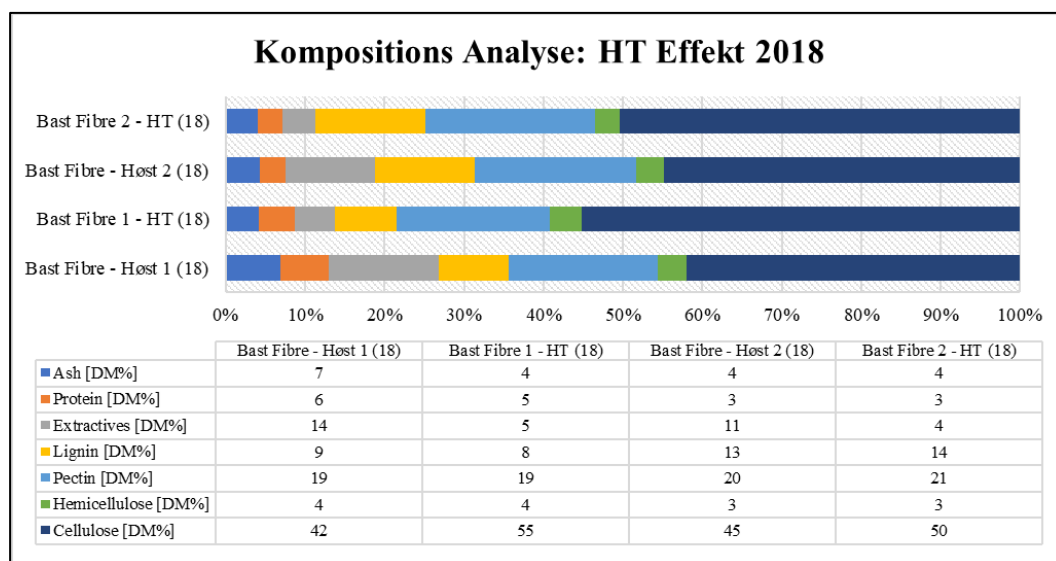
TABEL 8.5. Indhold i hampefibre, forskellige høstår, og enzym- og HT-behandling,



I tabel 8.5. ses at der er betydelig forskel på årene, hvor råvaren fra 2017 havde højere indhold af cellulose og lavere ligninindhold. Kvaliteten i 2018 var præget af en meget varm og tør sommer, som måske er en af forklaringerne. HT-behandlingen påvirker ikke hemicelluloseindholdet som for enzymbehandlingen, lige som ligninindholdet heller ikke påvirkes. Ved at tilsætte syre eller base til HT-behandlingen får vi en effekt, der minder mere om enzymbehandling.

Årsagen til at vi har testet effekt af HT-behandling overfor enzymbehandling skyldes ikke mindst at enzymbehandling tager fra 17 – 24 timer, og dermed vil det kræve store bassiner ved opskalering, når en råvare skal behandles over så lang tid. Vi fandt at HT-behandling kunne nedsætte behandlingstiden væsentlig, til nærmere 1 time i alt. Dette har stor betydning for anvendeligheden i industriel skala.

TABEL 8.6. Indhold i hampefibre, forskellige høstår og HT-behandling.



I tabel 8.6. ses effekten af HT-behandlingen ved de to høsttider i 2018. Særlig for høsttid 1 er der tydelig effekt på celluloseindholdet, der stiger med 13%, mens dette i den lettere rødne råvare ved anden høsttid kun stiger med 5%. indholdet af sukkerstoffer, undtagen dog pektin, falder også. Hvis HT-behandling skal være et alternativ til enzymbehandling skal effektiviteten øges for at reducere pektinen, som holder fibrene sammen i store fiberbundter, se også foto i figur 8.12. Man skal sørge for at noget af pektinindholdet bevares, aht. styrken.

8.5.2 Resultaterne fra HPLC-analyser – Enzymforsøg

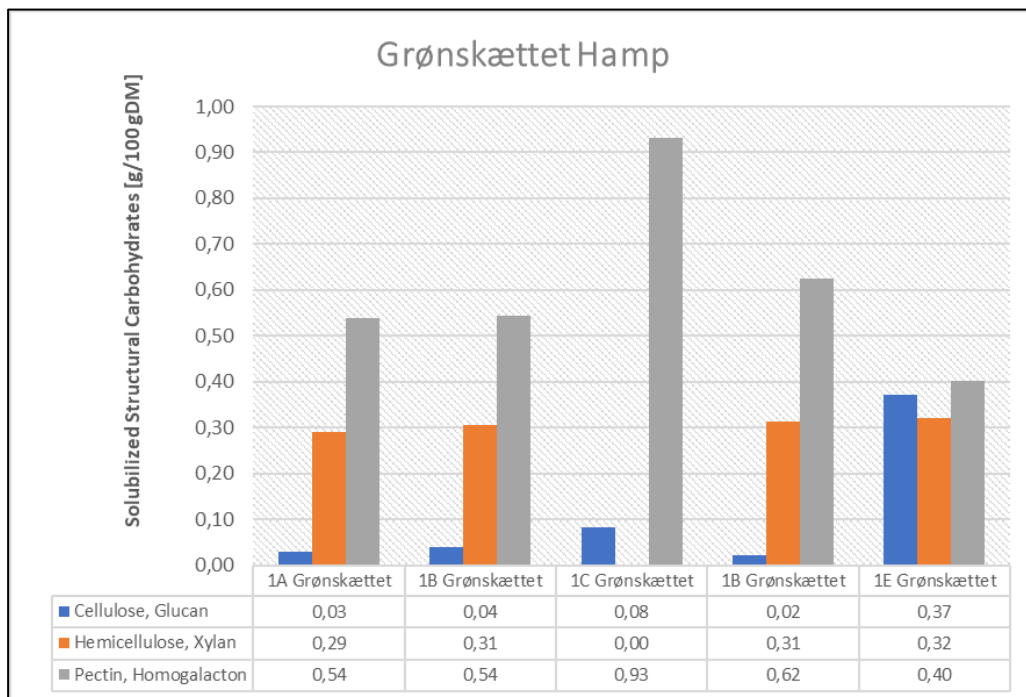
Virningen af den kemiske nedbrydning på de strukturelle kulhydrater i hampefibre (bastfibre) blev undersøgt ved HPLC-analyse. HPLC-analyserne udføres på procesvæsken, og indholdet af sukkerstoffer viser, hvor meget der er sket under enzym- og HT- behandlingerne.

TABEL 8.7. HPLC-analyse af forskellige typer hamperåvare, enzym-behandlet. A=vandrødnet (kontrol). B=Enzym-behandling, 16 timer. C=enzymbehandling, 16 timer + pH-regulering. D=Enzymrødning 24 timer. E= Enzymrødning, 24 timer + pHregulering.

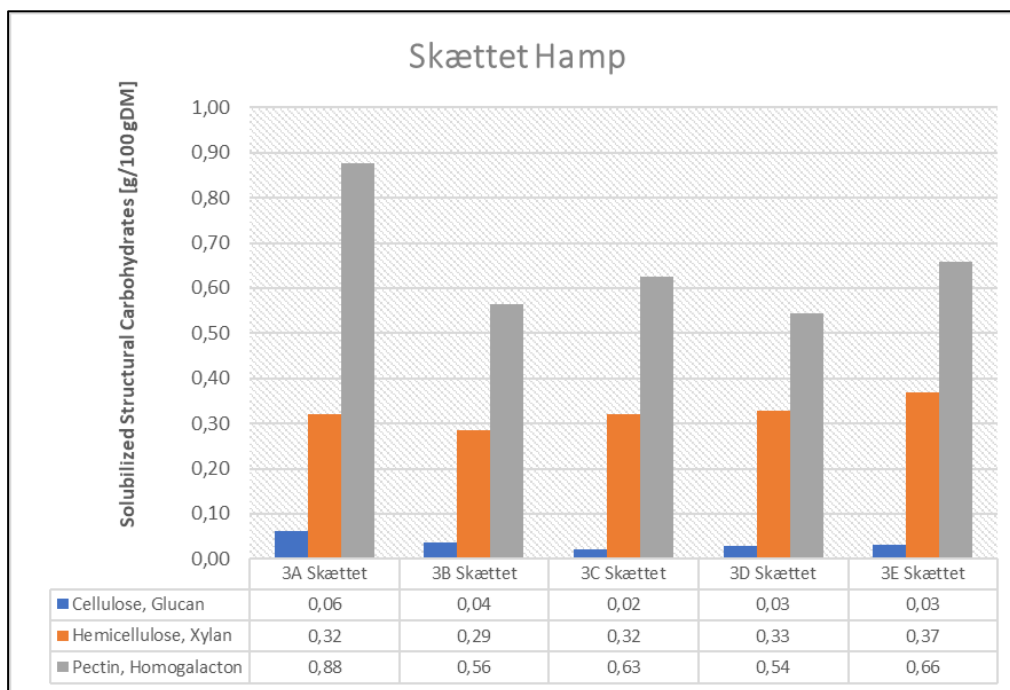
Prøve ID	Beskrivelse	Resultat [g/L]					
		Glucose	Xylose	Galactose	Rhamnose	Mannose	Arabinose
2040	1A Grønskættet	0,01869	0,18448	0,14865	0,00000	0,00000	0,18922
2041	1B Grønskættet	0,02460	0,19454	0,21496	0,00000	0,00000	0,12416
2442	1C Grønskættet	0,05060	0,00000	0,35575	0,00000	0,00000	0,21274
2443	1B Grønskættet	0,01331	0,19862	0,19537	0,00000	0,07009	0,12409
2444	1E Grønskættet	0,23078	0,20437	0,00000	0,00000	0,08317	0,17119
2445	2A Ensileret	0,03067	0,00000	0,19792	0,00000	0,10021	0,20900
2446	2B Ensileret	0,03002	0,22063	0,18001	0,00000	0,10154	0,00000
2447	2C Ensileret	0,00000	0,23762	0,16481	0,00000	0,08155	0,14326
2448	2D Ensileret	0,02688	0,18557	0,19725	0,00000	0,09132	0,09234
2449	2E Ensileret	0,01391	0,24870	0,21852	0,00000	0,10946	0,11639
2450	3A Skættet	0,03890	0,20632	0,18448	0,00000	0,09462	0,28020
2451	3B Skættet	0,02322	0,18367	0,16773	0,00000	0,07047	0,11781
2452	3C Skættet	0,01292	0,20519	0,17276	0,00000	0,08855	0,13458
2453	3D Skættet	0,01840	0,21303	0,19137	0,00000	0,05964	0,09600
2454	3E Skættet	0,02048	0,23689	0,20863	0,00000	0,07565	0,13324
Kina hamp		0,00000	0,12597	0,05322	0,00000	0,09394	0,17928

I figur 8.16. – 8.18. samt tabel 8.7. ses indholdet for de tre meget forskellige hamperåvarer (grønskættet, ensileret og skættet). I væsken finder man fortrinsvis pektin og hemicellulose (xylan), men glukose-fraktionen udgør cellulose, og er ganske lav. Dette viser at enzymerne ikke har angrebet cellulose, undtagen i den længst behandlede hamp (1E), som har markant højere glukoseværdier end de øvrige prøver.

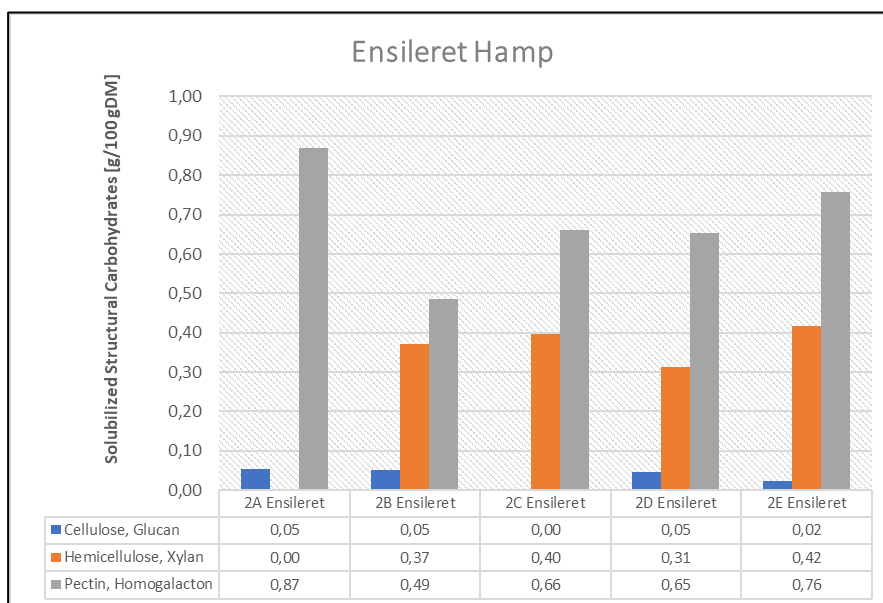
Resultater fra forskellige typer af råvarer fra høst 2017 og forår 2018 ses i figurene 8.16. – 8.18.



FIGUR 8.16. Indhold af pektiner og hemicellulose i procesvæske. Futura hamp høst 2017. A=vandrednet (kontrol). B=Enzymbehandling, 16 timer. C=enzymbehandling, 16 timer + pH-regulering. D=Enzymrødning 24 timer. E= Enzymrødning, 24 timer + pH-regulering.



FIGUR 8.17. Indhold af pektiner og hemicellulose i procesvæske. Futura hamp vinterhøstet april 2018. A=vand-rødnet (kontrol). B=Enzymbehandling, 16 timer. C=enzymbehandling, 16 timer + pH-regulering. D=Enzymrødning 24 timer. E= Enzymrødning, 24 timer + pH-regulering.



FIGUR 8.18. HPLC-analyse. Indhold af pektiner og hemicellulose i procesvæske. Ensileret Futura hamp høst 2016. A=vand-rødnet (kontrol). B=Enzymbehandling, 16 timer. C=enzymbehandling, 16 timer + pH-regulering. D=Enzymrødning 24 timer. E= Enzymrødning, 24 timer + pH-regulering.

8.5.3 HPLC-analyser – høstforsøg 2018 med HT-behandling

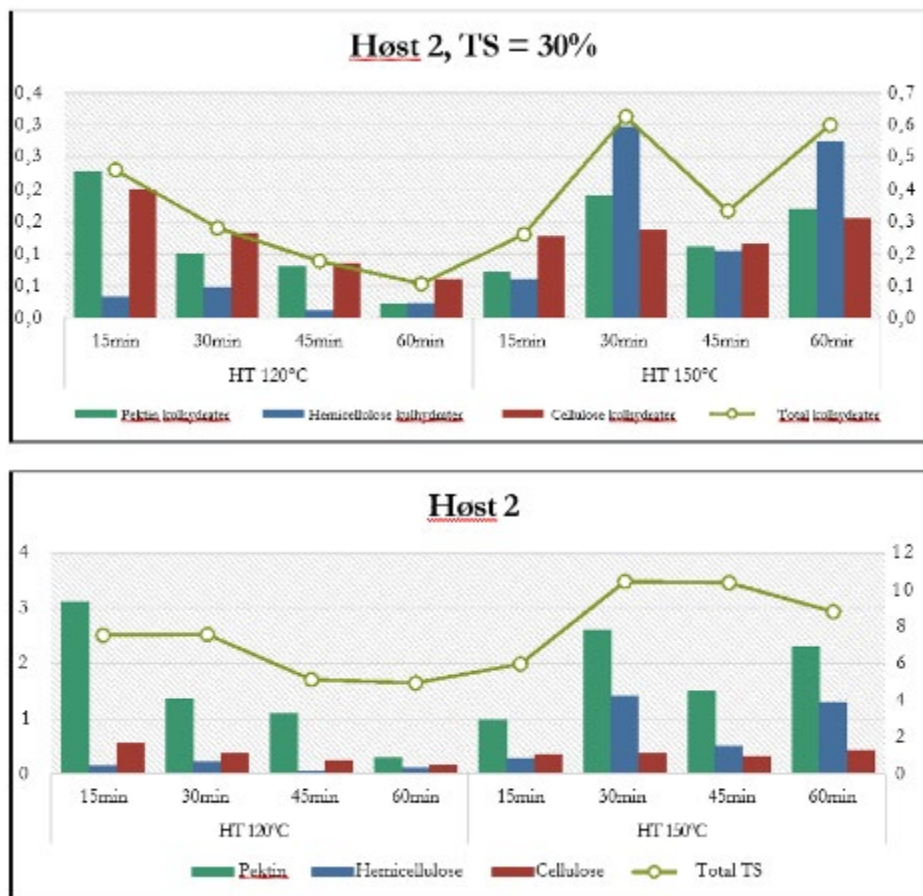
Hamp fra høstforsøg 2018 er anvendt i HT-screeningerne. Graferne i figur 8.19. illustrerer resultaterne præsenteret (øverst) i gram opløste kulhydrater pr. 100 gram tørstof (g/100 g TS). Nederste graf illustrerer resultaterne præsenteret i udbytte-procent af opløste strukturelle kulhydrater pr. input (%).



FIGUR 8.19. HPLC-analyse. Høstforsøg. Høst 1, HT-behandling ved 120°C mod 150°C, TS = 30%. Øverst er de beregnede opløste kulhydrater (g / 100 g TS). Nederst udbyttet i %.

Højere behandlingstemperatur viste, at en større mængde af pektin og hemicellulose kulhydrater er blevet opløst ved den høje temperatur 150°C med HT-rødningsprocessen udført på hampestænglerne. Generelt ser længere behandlingstid ud til at give opløsning af flere kulhydrater, men der ser ud til at være et optimum/mætningspunkt mellem 45 og 60 min.

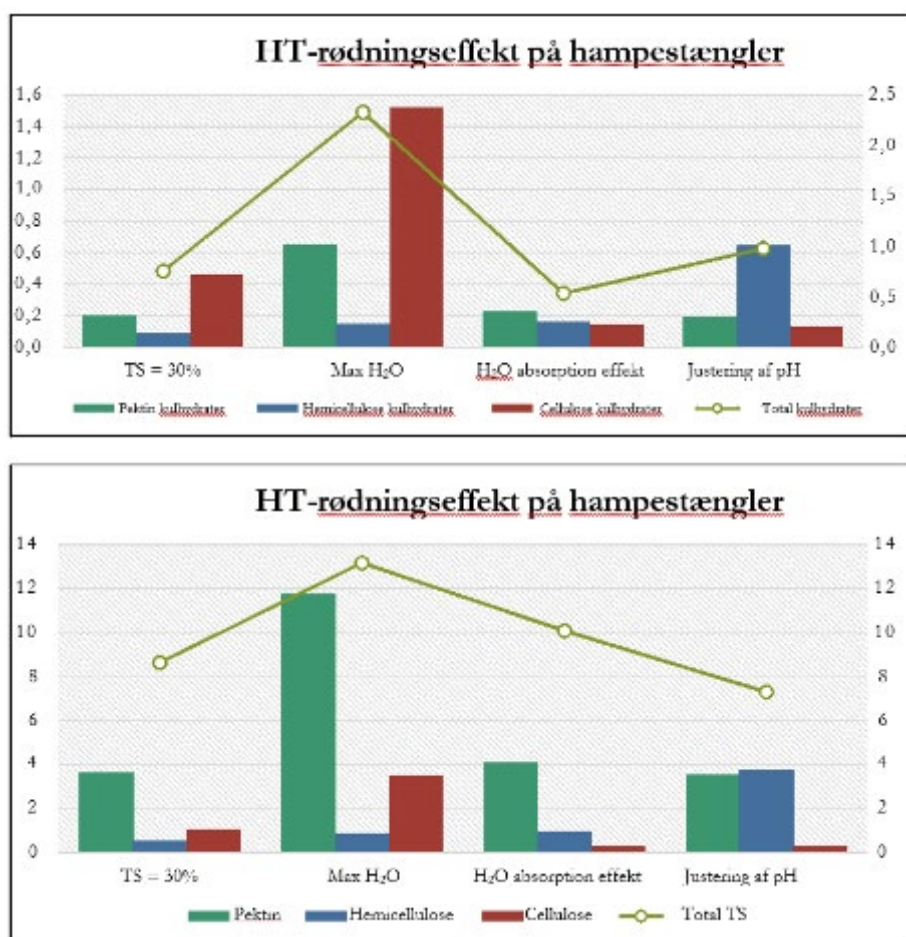
I figur 8.20. ses resultaterne af HT-screeningsforsøgene for høst 2, 2018.



FIGUR 8.20. HPLC-analyse. Høstforsøg, høst 2, HT-behandling ved 120°C mod 150°C, TS = 30%. Øverst er de beregnede opløste kulhydrater (g / 100 g TS). Nederst udbyttet i %.

De indledende HT-screeningerne var udført i lab-skala og viste nogle udfordringer. De visuelle observationer viste tydeligt at der var utilstrækkelige mængder vand i løbet af processen. Behandling med op til 150° C medførte at fibre blev svedet lidt, pga. der var for lidt vand. Dette betød også at den manuelle styrketest på bastfibre viste en reduktion i de mekaniske egenskaber og dermed dårligere styrkeegenskaber.

Vi gennemførte derfor en række screeninger med forbehandling af hampestængler mht. at suge vand forud for behandling, tilsætning af ekstra vand til processen, tilsætning af base eller syre for at teste forskellig pH mm. Der var generelt en positiv effekt af alle disse tilpasninger af processen.

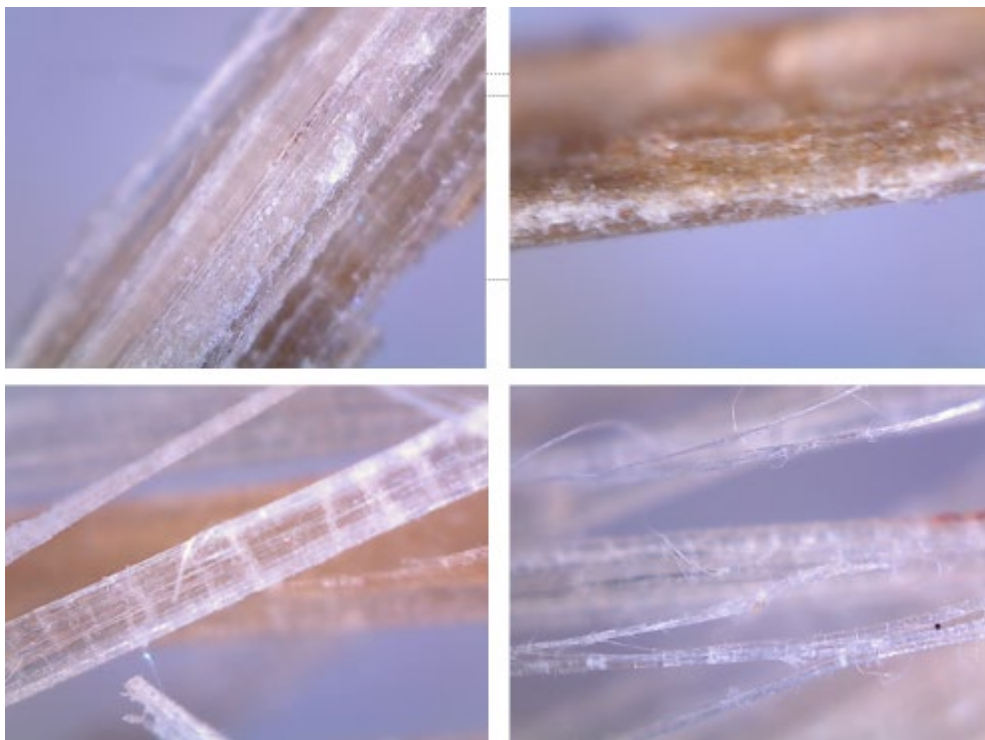


FIGUR 8.21. HPLC-analyse. Screeningsforsøg HT-behandling og varierende procesparametre (TS 30% samt ved tilsætning af vand, absorption af vand forud samt med justering af pH). Øverst g/100 g TS, nederst % udbytte.

Resultatet er forsøgene var ikke entydige, men synes at indikere at behandlingerne gav en tydelig forbedret frilægning af fibre fra skæven både ved at øge temperaturen, ved at justere pH samt ved at øge vandindholdet i stænglen inden HT- behandling. Dette kunne vi også se i de visuelle observationer, der viste tydelig forbedret adskillelse af individuelle fibre fra bundter, når bastfibrene blev hegledede ved de ekstra behandlinger. Vi fandt også en forbedret fiberelasticitet, da de enkelte fibre syntes længere og blødere ved de manuelle styrketest.

8.6 Fysiske ændringer - resultater af mikroskopering

Der er gennemført en række mikroskoperinger af fibre fra forsøgene, som tydeligt viser hvordan behandlingerne har effekt på fiberkvaliteten (figur 8.22, 8.23 & 8.24).

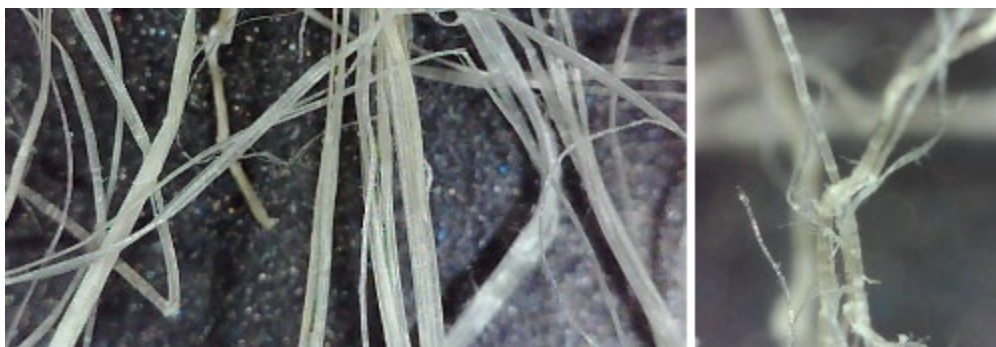


FIGUR 8.22. Mikroskopering af de urødnede hampefibre, høst 2018. De enzymbehandlede fibre (nederst) kontra ikke behandlede fibre (øverst). Viser graden af frilægning af fibre fra tydelige fiberbundter (øverst) til enkeltfibre (nederst).

Mikroskopering af råvaren fra høstforsøg 2020, som er behandlet med HT-behandling med og uden tilsætning af eddikesyre viser at der sker noget under processen, se figur 8.25. Den venstre række (ubehandlede) af stængler ses med tydelige grønne taver ved første høsttid, dvs. taver, der fuldstændig hænger sammen. Ved de senere høsttider ses at taverne lettere løsnes fra stænglen og ændrer farve til mindre grønne ved de senere høsttider (ingen behandling).

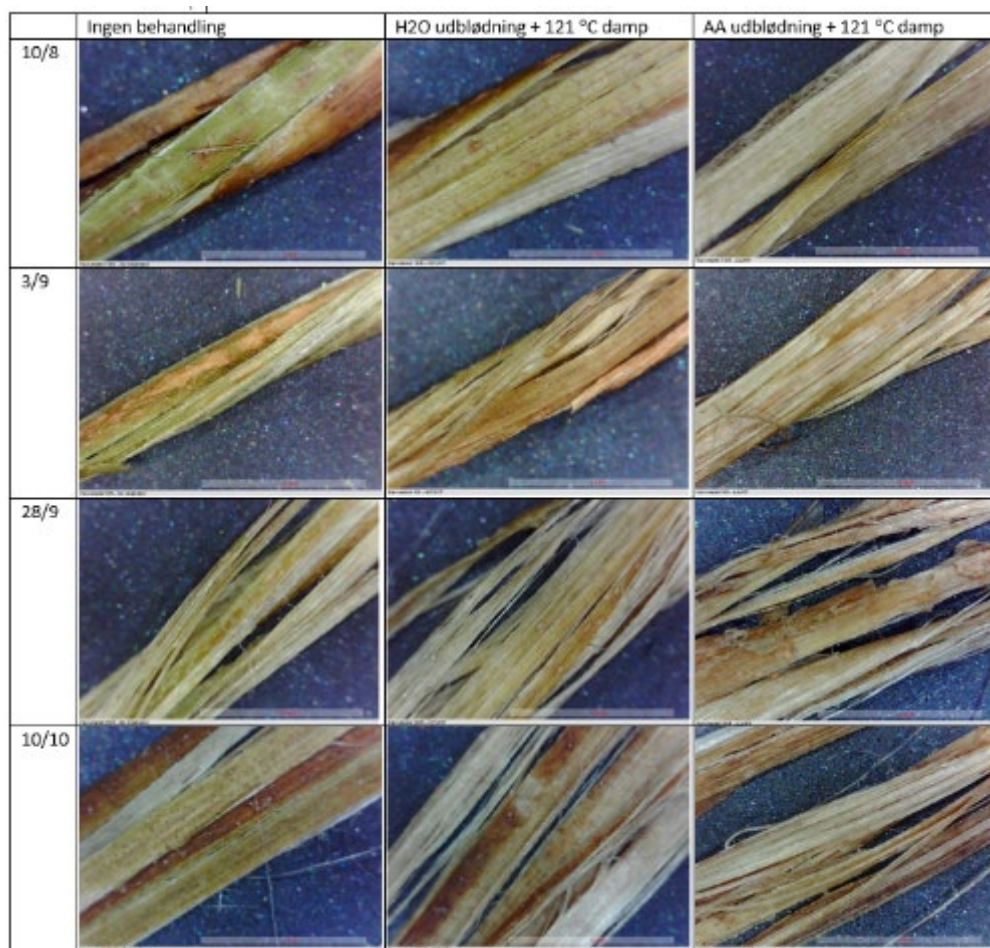


FIGUR 8.23. Mikroskopering af HT-behandlede hampefibre, fra råvare 2018, høst 2. Taverne er heglet.



FIGUR 8.24. Mikroskopering af enzymrødnede hampefibre (høst 2018), her ses såvel enkeltfibre samt mindre fiberbunder.

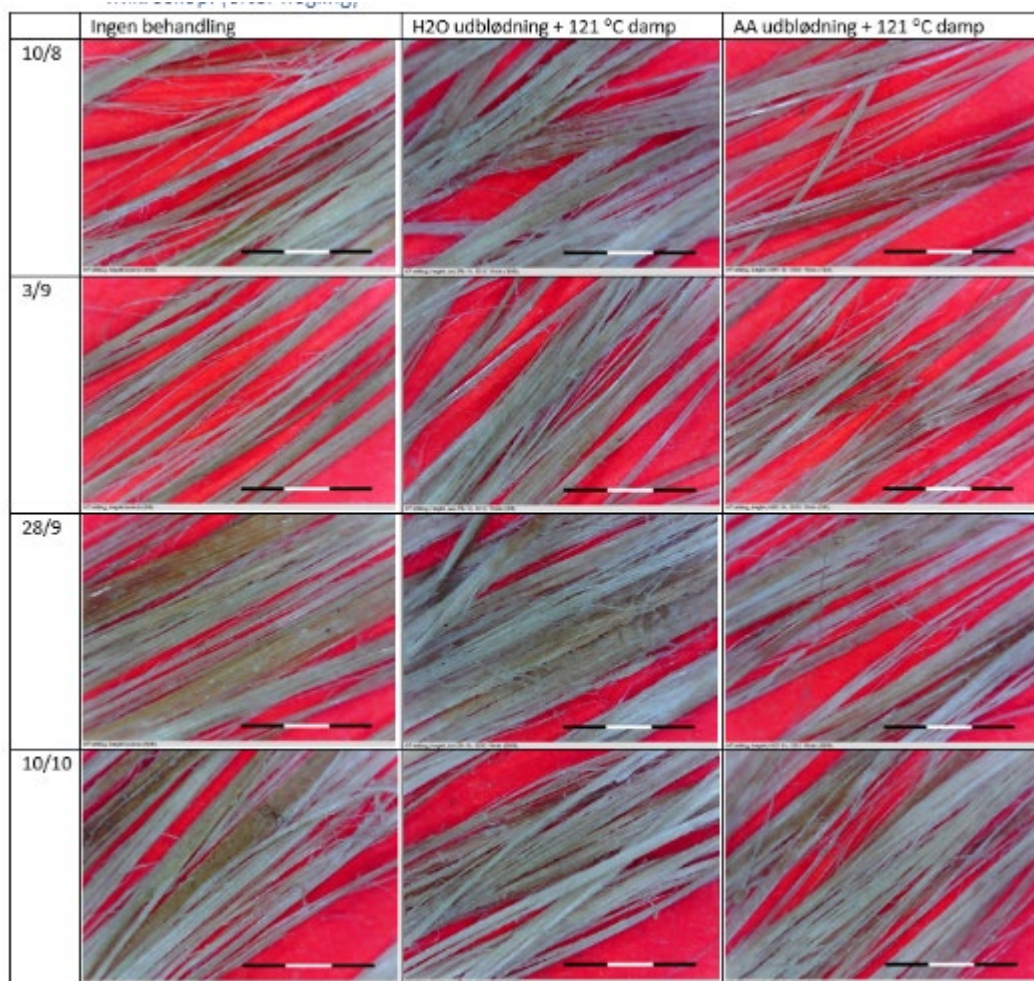
Hvor der er gennemført behandling med damp indtil 121 grader (midterste kolonne) ses at fiberbunderne (taverne) løsnes. Med tilsætning af eddikesyre tilsat for at gøre fibre mere bløde, ses i kolonnen th at fibre løsnes fra stænglen. Der er her ikke foretaget en ruskning endnu, figur 8.25.



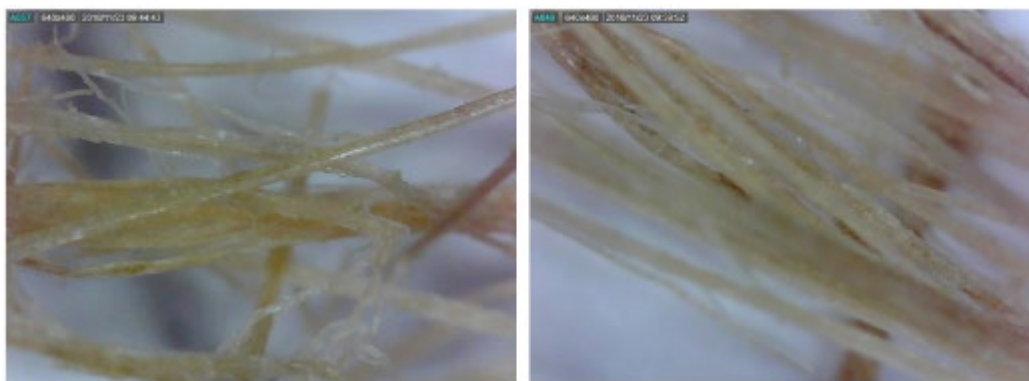
FIGUR 8.25. Mikroskopering af hamp fra høsttidsforsøg 2020, Vlttenbjerggård. Hampestænglerne er behandlet ved HT-behandling samt HT-behandling tilsat eddikesyre, for at se effekten på frilægning af hamp ved forskellig rødningsgrad.

Der ses en tydelig effekt af HT-behandling, hvor der er pH-justeret. I Figur 8.25. er fibre ikke heglede og ses stadig som stærke fiberbunder.

Efter hegling sker der en adskillelse af fiberbundterne (figur 8.26 & 8.27). Rødningsgraden påvirker hvor let heglingen kan adskille fibrene. Der ses også effekt af såvel HT- som HT AA-behandlingen, som fremmer fiberadskillelsen. Hampefibrene skal dog hegles og kartes yderligere før de er spindbare. Resultater af trækstyrketest fremgår af afsnit 8.7.2., figur 8.36 og 8.37.



FIGUR 8.26. Mikroskopering af hamp fra høsttidsforsøg 2020, Vlttenbjerggård. Hampestænglerne er behandlet ved HT-behandling samt HT-behandling tilsat eddikesyre, for at se effekten på frilægning af hamp ved forskellig rødningsgrad og efterfølgende let heglet.



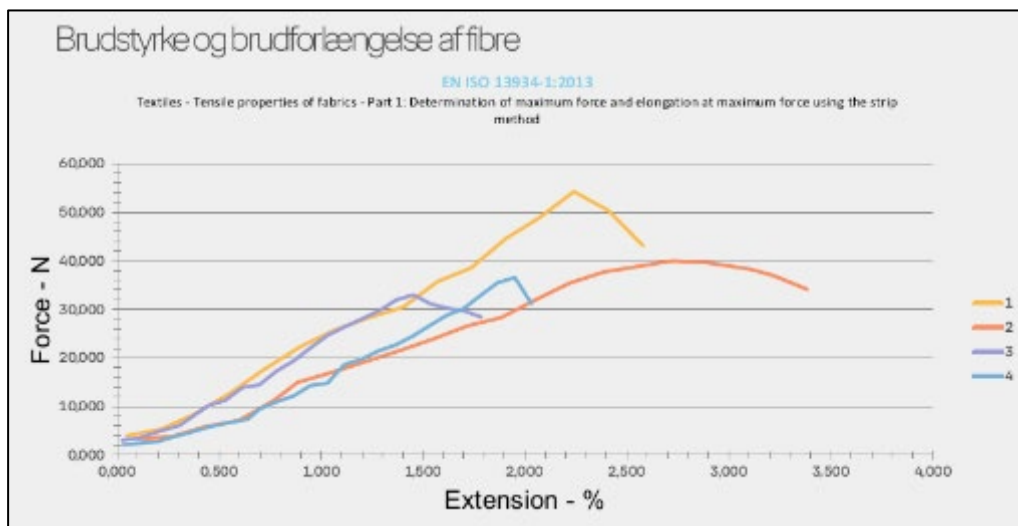
FIGUR 8.27. Mikroskopering (x 400) af rødnede og HT-behandlede hampefibre. Med tydelige enkeltfibre og fibriller tv. Høst 2018.

8.7 Trækstyrke af enzymrødgede fibre

For at kunne teste egenskaberne af den enzymbehandlede hamp er det nødvendigt at hegle stænglerne for at frilægge fibrene. Dette er ved de første enzym-screeninger udført ved Gl. Estrup – Det grønne museum i Auning. Og efterfølgende ved vores eget udstyr ved AgroTech bestående af grov- og finhegler samt karte. Vi har bestemt trækstyrke ved Teknologisk Institut, Tåstrup samt ved VIA University College, Herning. Den gennemførte metode følger EN ISO 13934-1:2013.

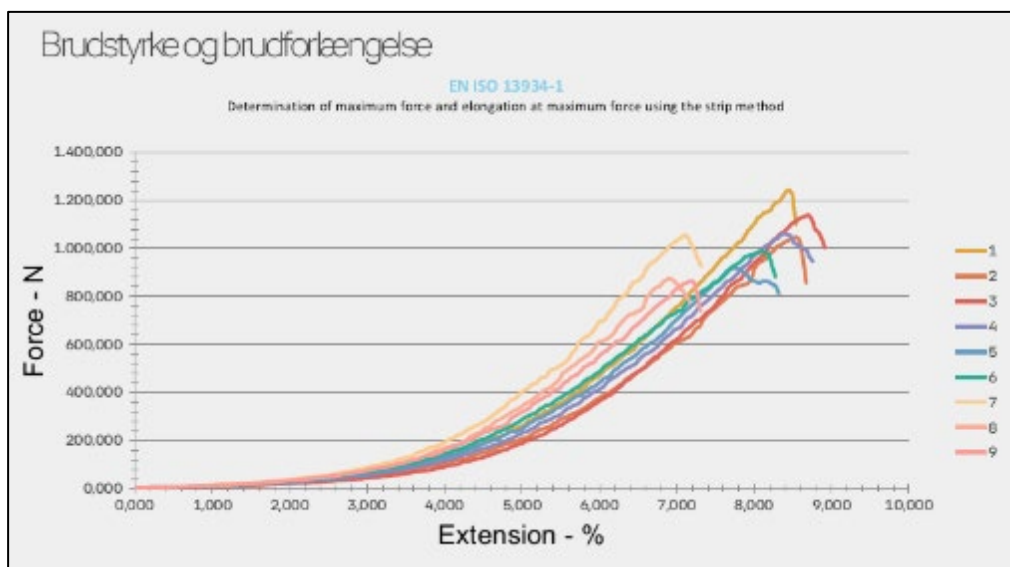


FIGUR 8.28. Måleapparat til bestemmelse af trækstyrke af såvel enkeltfibre som fiberbundter på VIA University College, Herning. Fibrene tv. Er skættet og heglet med den "nye" fin-hegler.



FIGUR 8.29. Eksempler på trækstyrke af enkeltfibre af hampefibre, målt i Newton, og brudforlængelse i Extension %. Forsøg på VIA University College, Herning. 1-4 er numrene på de enkelte prøver.

Der måles både trækstyrke (tensile strength) og brudstyrkeforlængelse (elongation fracture) (figur 8.29 & 8.30), dvs. stivhed, som har stor indflydelse på hvor spindbar fibrene er. Der er stor forskel på om der måles på enkelt fibre eller på fiberbundter.



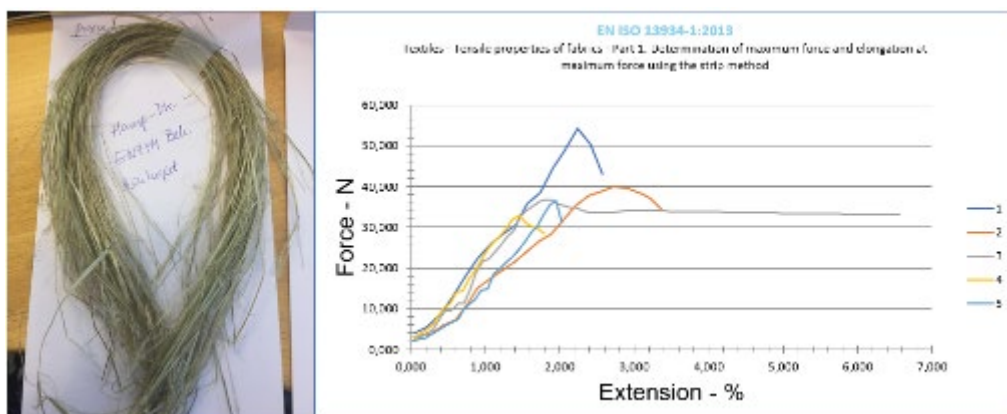
FIGUR 8.30. Trækstyrke af enkeltfibre af hampegarn, målt i Newton, og brudforlængelse i Extension %. Forsøg på VIA University College, Herning. 1-9 er numrene på de enkelte prøver.

Træk – og rivstyrken er betydelig højere end for bomuld, generelt 3-4 gange højere end tilsvarende bomulds kvaliteter. Den falder ved efterbehandling.

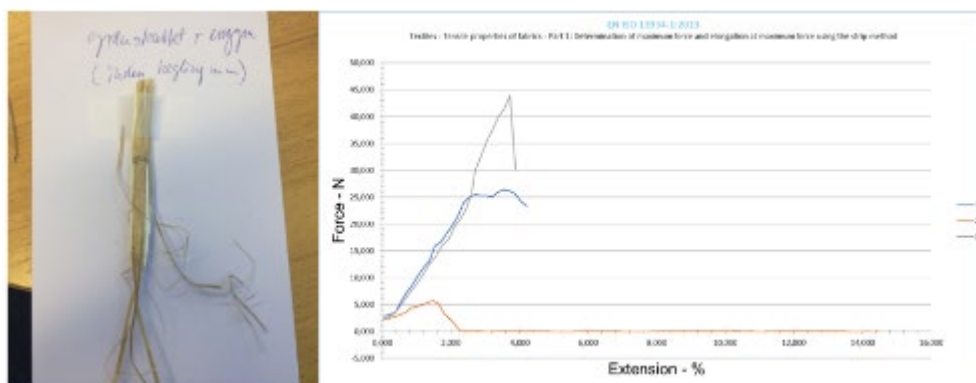
8.7.1 Styrketest af enzymbehandlede hampefibre

Der er gennemført en række styrketest sideløbende med screeningsarbejdet, således at såvel råvaren som de behandlede råvarer, herunder bastfibrene er undersøgt. Dette er foregået dels ved manuelle håndtest, dels ved test af træk- og brudstyrke som beskrevet ovenfor.

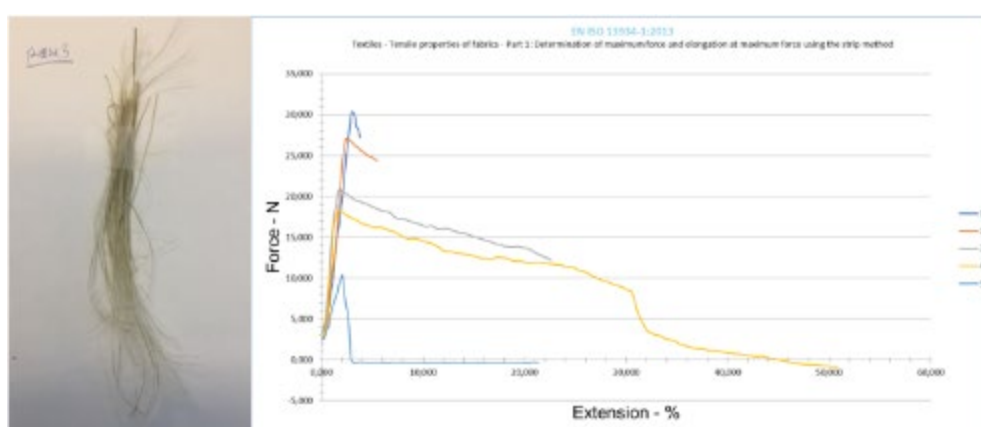
Der er indledt et samarbejde med VIA-University College i Herning, hvor projektet gennemførte styrketest af hampefibrene på deres trækstyrke apparat til brug for enkeltfibre eller enkeltfiberbundter.



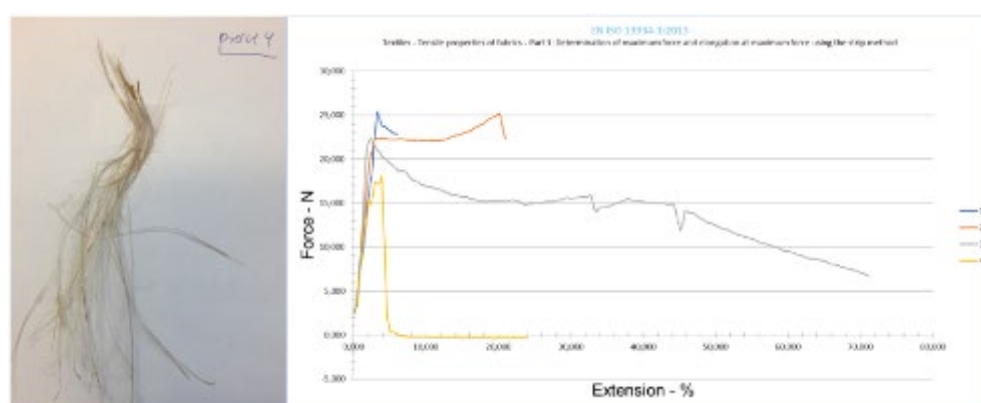
FIGUR 8.31. Prøve med lange hampefibre, som er enzymbehandlede. Dansk avl 2017, urødet v. høst, og heglet – og 20-30 cm lange.



FIGUR 8.32. Trækstyrke og brudforlængelse. Prøve med råvaren klippet i ca. 10 – 15 cm stykker til screeningsforsøg. Dansk avl 2017, urødnat v. høst



PRØVE 8.33. Prøve med samme råvare som i figur 8.32 – varmt vandrødnat hamp (uden tilsætning af enzym), Dansk avl 2017, urødnat v. høst – heglet og forsøgt kartet i den ene ende. ca 10 – 15 cm

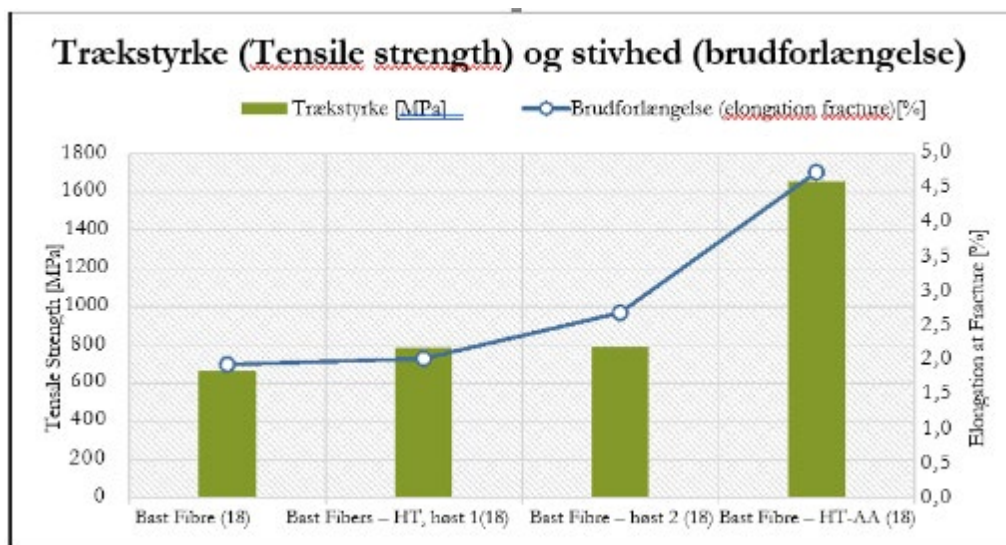


FIGUR 8.34. Prøve med samme råvare som i figur 8.32 – enzymbehandlet. Dansk avl 2017, urødnat v. høst – heglet og forsøgt kartet i den ene ende. ca 10 – 15 cm.

Forsøgene med trækstyrke af enzym- og vandrødnede hampefibre fra høsten 2017 varierer en del i trækstyrke og brudforlængelse, pga. det er ret uens prøver vi har testet. Noget af trækstyrken reduceres ved behandling (figur 8.32, 8.33 & 8.34). Men behandling er nødvendig hvis man skal kunne spinde garn af kvaliteten.

8.7.2 Trækstyrke af HT-behandlede hampefibre

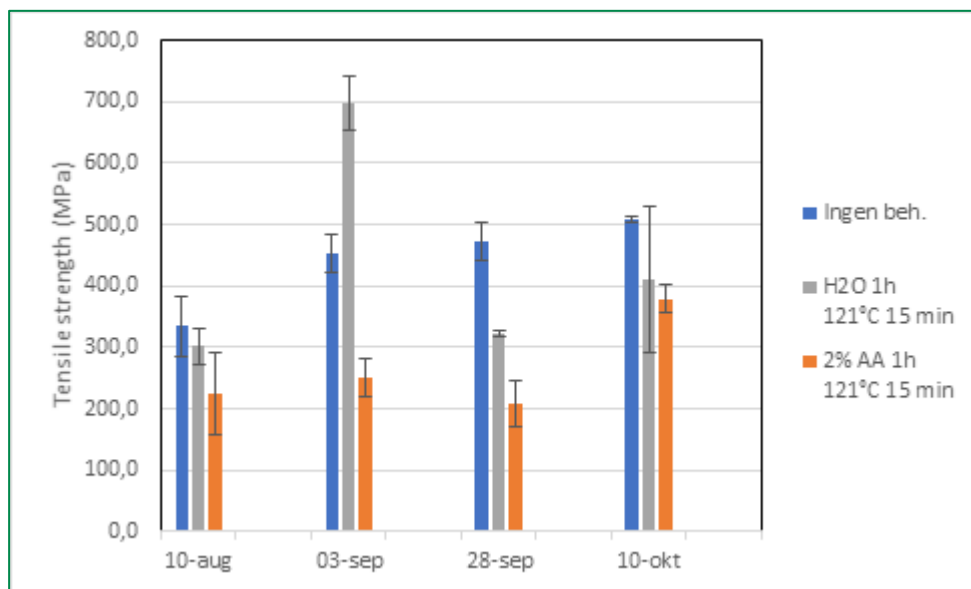
Materialet fra høsttidsforsøgene fra 2018, høst 1 og høst 2 er testet før og efter HT-behandling er analyseret for trækstyrke og brudforlængelse. Trækstyrkeanalysen har vi udført på VIA University College, Herning.



FIGUR 8.35. Brudstyrke og brudforlængelse af fibre er målt i HT-behandlede hampefibre, fra høstforsøgene 2018.

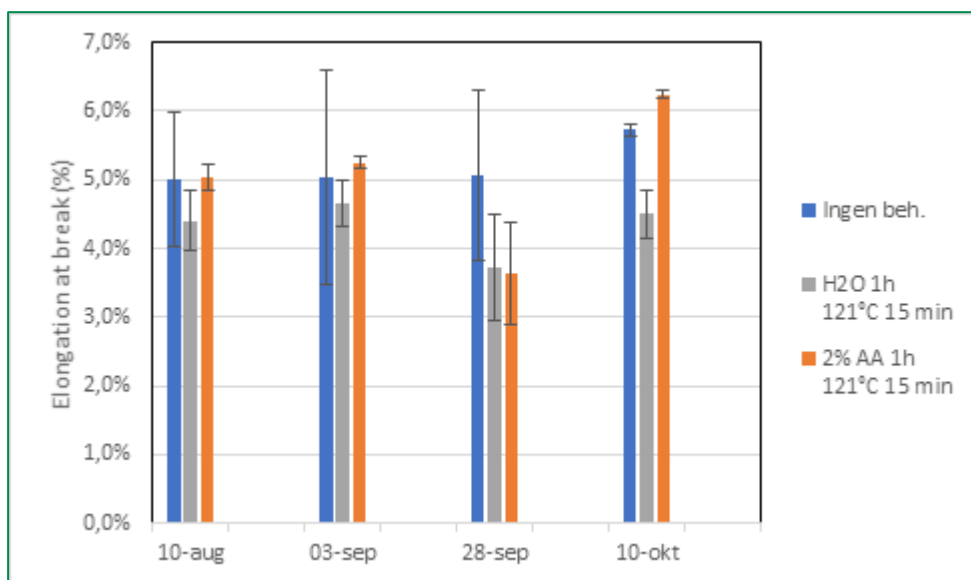
I figur 8.35 ses en tydelig forbedring af trækstyrken efter HT-behandling med pH-justering (HT-AA), i forhold til de rå og ret urødnede hampefibre fra høst 2018. Egenskaberne mht. brudforlængelse forbedres under behandling, og især ved HT-AA-behandlingen (AA er eddeikesyrebehandling).

Trækstyrke – hamp, høstforsøg 2020



FIGUR 8.36. Hamp, høstforsøg 2020. Trækstyrkemåling på DTI. Ubehandlet HT-behandling med og uden justering af pH. (MPa = N/mm²).

Generelt ser det ud til at senere høsttidspunkt gav højere strækstyrke i den ubehandlede råvare, men med stigende rødningsgrad/senere høsttidspunkt (Figur 8.36). HT-behandling gav den højeste trækstyrke ved anden høsttid. HT-behandling med eddikesyre reducerede trækstyrken i forhold til de øvrige. HT-behandling sænkede trækstyrken blot mindre end for HT-eddikesyre behandling, bortset fra en enkelt replikat (3/9) som var højere. Dvs. modsat resultaterne for 2018 forsøgene. Her var dog kun to høsttider, som faldt betydelig senere på året end i 2020.



FIGUR 8.37. Hamp, høstforsøg 2020. Brudforlængelse-måling (%) på DTI. Ubehandlet HT-behandling med og uden justering af pH.

Der er kun gennemført få målinger, men der er en antydning af at HT-behandling med pH-justering giver en større brudforlængelse og dermed mindre stive fibre.

8.8 Konklusion af enzym- og HT-forsøg

Der er ikke en entydig konklusion af vores forsøg, da der er mange parametre der influerer de endelige egenskaber for fibre, og så mange led i undersøgelserne. Arbejdet med udvikling af et alternativt rødningskoncept er endnu ikke færdigt, men der er en tydelig tendens, som viser at behandlingerne giver fibre de ønskede egenskaber.

Det er lykkedes at udvikle et koncept til en kontrolleret rødning af hampestængler vha. enzymer og hydrothermal behandling på lab-skala niveau, som gør det muligt at adskille fibre fra skæven uden problem.

Der har været god effekt af rødning med enzymer fra Novozymes bl.a. BioPrep. Procestid mellem 16 – 24 timer har været bedst. Procestabet har været mellem 5 og 8 % for såvel urødnede som rødnede hampestængler. Det største tab sås for den urødnede hampekvalitet.

Hamp forbehandlet med mælkesyre, dvs. ensileret hamp havde derimod et stort tørstofstab ved enzymprocessen, og styrken blev svækket voldsomt. Her er foregået en uønsket høj grad af nedbrydning også af cellulosen.

Der har ligeledes været tydelig effekt af hydrothermal behandling til frilægning af fibre. Her synes behandling med pH-regulering, enten med opblødning af stængler i tynd eddikesyre forud for behandling eller tilsvarende med NaOH, ligeledes i tynd opløsning at give en positiv effekt mht. frilægning af fiberbundterne.

Der er konstateret forskelle som følge af råvarekvalitet, høsttidspunkt og årsvariation. Særlig høsttidspunktet har indflydelse på frilægningsgraden og kvaliteten af hampefibrene udsat for kontrollerede rødningemetoder.

Der er opnået et højere overfladeareal ved lidt senere høsttidspunkt, mens diameter ikke ændrede sig særlig meget. Det væsentlige er at anvende tilstrækkeligt med udsæd, så man opnår høje slanke stængler med høj fiberandel.

Kvaliteten mht. kemiske indholdsstoffer i de behandlede råvarer sammenholdt med graden af rødning vurderet dels vha. HPLC-analyser samt visuel bedømmelse af strukturelle forandringer. Dette sammenholdt med målte styrkeegenskaber viser at frilægning af fibre er opnået i nogen grad, og kvaliteten af fibrene til brug som tekstil er på højde med cottoniserede hampefibre eller bedre.

9. Udvikling og optimering af prototyper af hamp tekstilmetervarer

I projektperioden er der udført forsøg med vævede, strikkede og non-woven metervarer af hamp. Vi har først i projektperioden substitueret hamp med lignende bastfibre som fx ramie og hør, for at identificere de udfordringer der er med metervarer af hamp til forskellige typer af anvendelser. Der er gennemført forsøg med fremstilling af hampemetervarer, såvel vævede som strikkede. Arbejdet med udvikling af nye designs/prototyper er baseret på hampetekstil både til interiør metervarer samt til beklædning.

9.1 Forsøg med kartning og spinding

Der er gennemført forsøg med kartning ved Det Grønne Museum³⁰, idet man her råder over udstyr til håndtering af hør og hamp til tekstil, som man kender fra gamle dage.



FIGUR 9.1. Tv: Rødgede hampefibre, høst 2017, som er heglet og kartet. Th tilsvarende rødgede hørfibre, som er finere end hampefibrene.

Vi har i projektet samarbejdet med det eneste hampespinderi, som er i Europa, Linificio, hvor vi har fået lavet hampegarner i forskellige kvaliteter. Denne del er kørt i samarbejde med VIA University College.

Generelt er det en stor udfordring at spinde garn fra hamp dels fordi hampefibre ikke er tilgængelige i egnede kvaliteter til spinding, og ofte også er meget uensartede. Dette gælder lange hampefibre, og ikke cottoniserede fibre³¹, som er noget helt andet.

Ved Linificio er fremstillet garner af små partier af lange hampefibre. Garnerne blev fremstillet i tre kvaliteter.

- Nm 14/1 til væv
- Nm 24/1 til væv & strik
- Nm 39/1 til strik

³⁰ [Det Grønne Museum](#)

³¹ Se afsnit 4, State of the art.

Til strik er målet et garn mellem Nm 42/1 og Nm 48/1.



FIGUR 9.2. Hampegarn er typisk mere stift end fx hørgarner. Tv den grovere kvalitet og th den finere garnkvalitet.

Hampegarn er typisk mere stift end fx hørgarner, og har større tendens til at knække, som særligt som en udfordring ved fremstilling af strikmetervarer. Et af målene er derfor at overvinde disse udfordringer bl.a. ved den kontrollerede rødningsproces.

Vi har gennemført forsøg med hampegarner, der efterfølgende er strikket og vævet og anvendt til prøvedesigns. Der har været forsøg med farvning af hampegarner hos bl.a. Kemotekstil³². Der er gennemført forsøg med fremstilling af forskellige vævede kvaliteter af metervare. Derudover er gennemført forsøg med strikning af hampegarner (en særlig kvalitet til en strikkemaschine) ved en mindre producent ved Skanderborg samt ved VIA University College. Såvel de vævede som strikkede kvaliteter har været anvendt i prototype-udviklingsarbejdet.

En vigtig del af udviklingsarbejdet har været identifikation af udfordringer med at få fremstillet vævede og også strikkede hampetekstil til testdesigns. Kvaliteten af hamp og dermed også kvaliteten af hampegarnet er den største udfordring for at opnå succes.

9.2 Udvikling af prøvedesigns med vævede og strikkede hampetekstiler

I projektperioden er der udført forsøg med vævede, strikkede og non-woven metervarer af hamp. Først i projektperioden har vi i også arbejdet med erstatninger for hamp med bast-fibre ramie og hør for at identificere de udfordringer der er med at fremstille metervarer af hamp til forskellige typer af testdesigns. Arbejdet med udvikling af en ny kollektion baseret på hampefibre er både til interiør metervarer såsom gardin- og møbelstoffer hos Kvadrat samt til beklædning og tøjkollektioner. Der er gennemført en række kvalitetsanalyser af metervarerne.

³² www.kemotextil.dk

9.2.1 Strikkede metervarer



FIGUR 9.3. Strikkede metervarer fremstillet i projektet består af blandinger med hamp, silke, uld og bomuld. Der ved overvindes udfordringen med rene hampefibre til strik.

I figur 9.3. er vist i alt fem forskellige strikkombinationer, fremstillet på industriel strikkemaskine hvoraf enkelte er i flere farver:

Prøve 1: Hamp/Silke. Prøven virker behagelig og naturlig. Der er en række udfordringer og problematikker, som vi må forholde os til. Strikprøven "drejer". Det vil sige at den færdige vare (tøj) efter et par vaske vil blive skævdrejet. Strikken virker ikke særligt elastisk, så når stoffet bliver brugt, vil der let blive sat mærker i stoffet, så det synes deformt. Strikken er meget tynd, og da man kan forvente at materialet kommer i kontakt med huden, der vil være behov for at vaske tøjet ofte. Silke er i forvejen en udfordring at vedligeholde. Ved almindelig vask kommer silke til at se slidt og kedeligt ud - derfor blev denne prøve fravalgt.

Prøve 2: Hamp/uld. Prøven virker behagelig og naturlig, men strikken drejer ligesom for prøve 1. Det vil sige at den færdige vare (tøj) efter et par vaske vil blive skævdrejet. Strikken er meget tynd, og igen vil det betyde hyppig tøjvask og dermed slitage. Uld er en udfordring at vedligeholde og i virkeligheden bør man ikke vaske en hamp/uld tøjartikel ret ofte. Hampen vil over tid blive nedbrudt af gentagen vask. Kvaliteten af hampenen er derfor afgørende for hvor holdbar tøjartiklen er. Kvaliteten er for tynd, og den færdige vare vil ikke have den kvalitet der skal til, sved Krom vil fremhæve hampens fortræffeligheder, vi normalt kan forvente med lange fibre. Denne prøve blev fravalgt til brug i udviklings af designs.

Prøve 3: Hamp/uld. Prøve 3 er tykkere end de første to i kraft af en speciel strikkemetode, som fremhæver striber/streger i strikningen. Stregerne er for uregelmæssige. Dette design anser vi ikke egnet til at fremhæve hamps kvalitet, men er mere striktrøjeagtig. Derfor blev denne prøve fravalgt.

Prøve 4: Hamp/uld. Prøve 4 også bestående af en blanding af hamp og uld, har en kvalitet og tykkelse, der egner sig rigtig godt til en fin sweater. Stoffet vil ikke komme i nærkontakt med huden, fordi man forventer at man vil trække trøjen ud over andet tøj. Derfor er det ikke sandsynligt, at der bliver behov for hyppig vask. Sammensætningen af ubehandlet sort uld og ubehandlet hamp vurderer vi som værende genial. De to farver skaber en naturlig melering i stoffet, som har vist sig at blive smukkere over tid. Stoffets overflade er også så klassisk, så den udseendemæssigt rammer bredt. En plet vil være svær at se på stoffet. Stoffets kvalitet vurderes som langtidsholdbart og brugbar året rundt. Stoffet har en god elasticitet og fnuller ikke. Derfor blev prøve nr. 4 udvalgt til at indgå med videre undersøgelser i projektet.

Prøve 5: Hamp/bomuld. Denne prøve er blød og ret T-shirt-agtig, og har et mindre indhold af hamp end i de øvrige prøve-fremstillinger af tekstiler. Denne prøve er indtil videre fravalgt, men har dog et markedsmæssigt potentiale.

Strikkede hampemetervare fra VIA University College i Herning

Som del af samarbejdet med VIA University College er der ved afdeling for materiale og design gennemført fremstilling af relativ tynde strikkede hampetekstiler, fremstillet af de tyndeste kvaliteter af garn fra Linificio (figur 9.4)



FIGUR 9.4. Tv: Rundstrikkemaskine ved VIA University College, Herning, hvor vi kørte nogle af forsøgene. Th rundstrikkede hampemetervarer.

Den strikkede kvalitet var mere stiv og viste også en uensartethed, som er en udfordring med hampetekstil fremstillet af lange fibre (figur 9.5). Der er tendens til at garnet knækker og ikke kan tåle belastningen, når der strikkes. Et område der skal arbejdes mere på at få løst.



FIGUR 9.5. Strikkede hampemetervare, til fx T-shirts. Der er en uensartethed, og steder, hvor strikken er tyndere, og hvor tråden lettere kan knække.

9.2.2 Vævede hampetekstiler

Vi har i projektet arbejdet med en del forskellige kvaliteter af vævede hampetekstiler (figur 9.6 & 9.7).



FIGUR 9.6. Forskellig vævede kvaliteter af hampetekstiler, vævet på VIA University College, baseret på hampgarn fra Linificio.

De forskellige typer af vævede hampemetervarer var vævet vha. forskellige teknikker, nogle er vævet løst, og andre vævet meget tæt og fint. Flere af kvaliteterne er vurderet af Kvadrat med henblik på brug som gardinstoffer, om end de er lidt uens og lidt løse fibre, har det et pænt udseende og føles bløde. Konklusionen fra Kvadrat har dog været, at kvaliteten endnu ikke er

god nok til brug som fx gardiner. Endnu er der ikke tale om produkter, som er løftet til kommer-cialisering pga. mangel på tilgængelighed af egnet kvalitetshamp. Til gengæld er de anvende-lige til beklædningsbrug, som Rachel Kollerup har vist gode eksempler på.



FIGUR 9.7. Nærbillede af forskellige typer af vævede hampetekstiler. Tv panama-vævning,

Reference med metervarer testet ved Kvadrat. Igen er udfordringen at tilgængelige hamperåva-rer stammer fra Kina, og det er svært at opnå tilstrækkelig høj kvalitet. Se også afsnit 12 Test og Dokumentation.

9.3 Prøvedesigns med hampemetervarer

Målet med at gennemføre en række prøvedesigns med hampemetervarer tilgængelige på mar-kedet for at opnå viden og erfaring mht. hvordan de meget forskellige typer af hampetekstilkva-liteter artede sig i brug, og finde løsninger til hvordan vi gennem designs kunne anvende for-skellige typer af tekstilkvalitet.

I projektperioden er der arbejdet med følgende designs inden for beklædning.

- Case 1. Hampestrik, sweater
- Case 2. Jersey. Bluser og toppe af ramie og hør
- Case 3. Vævet, ret grov kvalitet af hamp (fransk hamp)
- Case 4. Vævet, fin kvalitet af hamp

9.3.1 Case 1. Strikket hamp, sweater

Hamp har gode varmeegenskaber og passer godt til tøj til det nordiske klima. I foråret 2018 samarbejdede Racehl Kollerup med et strikkeri ved Skanderborg, hvor det blev undersøgt hvor-dan hamp fungerer i blandingsforhold med silke, uld og bomuld. Vi erfarende, at hamp og uld arbejder rigtig godt sammen. Uldgarnerne komplimenterer hampegarnerne med en fremra-gende spændstighed og elasticitet, for strikket hamp alene kan mangle spændstighed og det er problematisk, da tøjet har tendens til at blive trukket ud af form. Men i kombination med uld fremstår resultatet meget æstetisk indbydende. Hamp og uld har ens varmeegenskaber –

begge materialer virker varmeisolerende i koldt vejr, og i lunere vejr har materialerne en kølende effekt. Kort sagt gør materialekompositionen sweateren anvendelig hele året rundt

Når vi arbejder med strik, skal vi være særlig opmærksomme på:

- At strikken har elasticitet og spændstighed
- At strikken holder sig pæn i brug
- At strikken kan tåle at blive vasket (på uldprogram)
- At strikken føles rar mod huden

Hvis kvaliteten af den strikkede metervarer ikke opfylder disse egenskaber, vil resultatet ikke kunne leve op til bl.a. bæredygtighedskravet om lang levetid for tøjet eller produktet.

Hamp sweater design

Der er kommet en charmerende og ganske lækker strik ud af studierne. Sweateren blev strikket af italienske naturfarvede hampgarner og ubehandlet mørk sydamerikansk uld. De to farver skabte en naturlig farvemelering og gav et meget klassisk udseende med bred appel. Over tid ville patineringen fra hampgarnet komme til at komplimentere den mørke uld endnu mere, da hampgarnet vil skifte farve fra sandfarvet til sølvgrå. Den naturlige melering var også et plus for vedligeholdelsen, en plet på strikken ville være svær at se, og derfor ville behovet for vask blive nedbragt. Sweateren blev vurderet som langtidsholdbar.



FIGUR 9.8. Hampsweater fra rachel kollerup.com. Juni 2018

9.3.2 Case 2. Jersey, bluser og toppe

Jersey er en særlig strikmetode, svarende til T-shirt stof, som rundstrikket. Jersey af hamp spås et stort potentiale, hvis vi kan løse udfordringen med at fremstille så tynde strik af hamp. Potentialet skal ses på baggrund af, at jersey af hamp vil kunne substituere den meget pesticid- og vandkrævende bomuldsjersey. Jersey fremstillet af hamp eller lignende fibre som hør eller ramie kan blive lækkert tøj, som føles tørt og temperaturregulerende på kroppen - særligt

i meget varmt klima. Jerseystoffer af hamp, hør eller ramie er særlige med den knitrende overflade og de naturligt upræcise garner, hvor fibrene stadig nogle steder er ligninbundet, som giver små fine knuder i stoffet. Der er mulighed for at materialet giver et mere naturligt look.

Ved testarbejdet i projektets første år blev ramie og hør anvendt som erstatning for hamp. Begge minder i sin fiberstruktur om hamp - og derfor kunne vi samle erfaringer og tage ved lære af disse materialer.

Jerseykvaliteterne var fremstillet af ramie og lyocell fra Tyskland. På baggrund af forudgående test var det erfaret at stoffet krymper meget ved vask og derfor skulle det vaskes ved 30 grader finvask inden produktion. Når stoffet krymper meget og uregelmæssigt ødelægges formen ved det design, der er tiltænkt. Det kunne være kombinationen af ramie og lyocell, der forårsager en uhensigtsmæssig krympning. Men generelt krymper materialet, så forvask anbefales.

For at opnå erfaring med farvning af tekstil er det danske farveri Kemotekstil blev inddraget i projektet for at bistå ved test af farver. Kemotekstil har OEKO-TEX 100 mærkning, og udførte farvningen af den tyske råvare bestående af en blanding af ramie og hør. Kvaliteter, som man normalt ikke arbejder med.

Stoffet fik umiddelbart en for hårdhændet behandling af farvningen. Stoffets skinnende og blanke overflade blev næsten vasket bort, og så fik stoffet et permanent krøl, der var svært at stryge bort. Farvning er et område, der skal arbejdes mere med længere fremme i udviklingsarbejdet med hamp.



FIGUR 9.9. Ramie-jersey til bluse fra rachelkollerup.com, fra farveforsøg udført i samarbejde med Kemotekstil

Prøveopsyning af ramie/lyocell blandingen resulterede i en bluse. Denne fik tilføjet et print. Konklusionen af funktionstest var at blusen fungerede godt. Stoffet har fremragende egenskaber og holder sig frisk på kroppen og føles tørt og rart - selv på meget varme dage. Dette vurderer vi er meget lig med hamp, såfremt vi kunne opnå så fine garnkvaliteter, at der kunne strikkes jersey. Overfladen holder sig pæn og glat i brug efter peelingfasen er overstået, så der er klart et potentiale for jersey af ramie eller hamp - men der skal arbejdes med akkurate og respekt for råvaren.

Konklusionen mht. jersey fra hamp, er at være opmærksomme på:

- At stoffet ikke krymper væsentligt
- At stoffet holder sig pænt i brug, især bevarer en pæn og glat overflade
- At stoffet ikke tvister rundt - som man kender det fra en skævvredet t-shirt
- At stoffet har en lang holdbarhed
- At stoffet ikke peeler (pilling) (fnuldrer) eller laver "floss" (ferskenhud)

Ved projektets afslutning var det stadig en udfordring at få spundet hampegarnet, der både er tynde og bløde nok til jersey. Der skal fortsat udvikling til førend disse kvaliteter vil kunne skales op.

9.3.3 Case 3. Groft vævet hamp

I projektet har vi erhvervet mere grove og rå (ubehandlede) hampekvaliteter, relativt urødnede som er fremstillet i bl.a. Frankrig og Belgien. Vi har ønsket at kunne teste disse typers kvalitet overfor de finere kvaliteter vi senere har arbejdet med.

Fransk vævet hampetekstil: En tynd og løst vævet kvalitet er syet til bukser, og en kraftigere og tættere vævet kvalitet er syet til en jakke. For begge kvaliteter gjaldt det, at stoffet var charmerende og naturalistisk i sit udtryk (figur 9.10). Hampe-metervaren manglende dog lidt mht. finesse, i særdeleshed ved den spundne tråd, som virkede meget åben og med mange små fibriller (=korte fibre). For mange fibriller får hurtigt tøj til at se loddent ud i brug, og vil ikke kunne tåle mange vaske. Den tynde kvalitet var uegnet til kommerciel produktion på grund af for store "huller" i vævningen, dvs. for løst vævet. Den kraftigere kvalitet var fin, og der blev opnået et brugbart resultat ved opsyningen af jakke, se figur 9.10. En jakke vil desuden ikke blive udsat for slid i samme grad som bukser.



FIGUR 9.10. Jakke og bukser af henholdsvis grov- og finere vævet hampetekstil fra Frankrig.



FIGUR 9.11. Nærbillede af meget groft vævet hamp fra Frankrig, dog en anden leverandør, som er meget løst vævet og mindre egnet til beklædning.



FIGUR 9.12. Nærbillede af canvas vævet blå hamp, relativ grov men slidstærk kvalitet.

Den blå canvas kvalitet er fra Belgien (figur 9.12), men denne er lavet af cottoniseret hamp, dvs. ikke fremstillet af lange fibre. Kvaliteten var velegnet til møbelstof og også beklædning. Vi har anvendt denne hampemetervare som benchmark. Metervaren er også anvendt til kollektions-udvikling med hamp.

9.3.4 Case 4. Vævet hamp, fin kvalitet

Vi har arbejdet med vævede hampemetervarer hos Kvadrat, bestående af en blanding af hamp og uld, som stammede fra England. Metervaren har været anvendt til prøvedesigns som møbelstof, som særdeles fine og relativ tynde kvaliteter (figur 9.13). Test af metervaren viste, at den var slidstærk og ikke krøllede, ej heller fnuldrede. I hele sin overflade en smuk og interessant råvare.

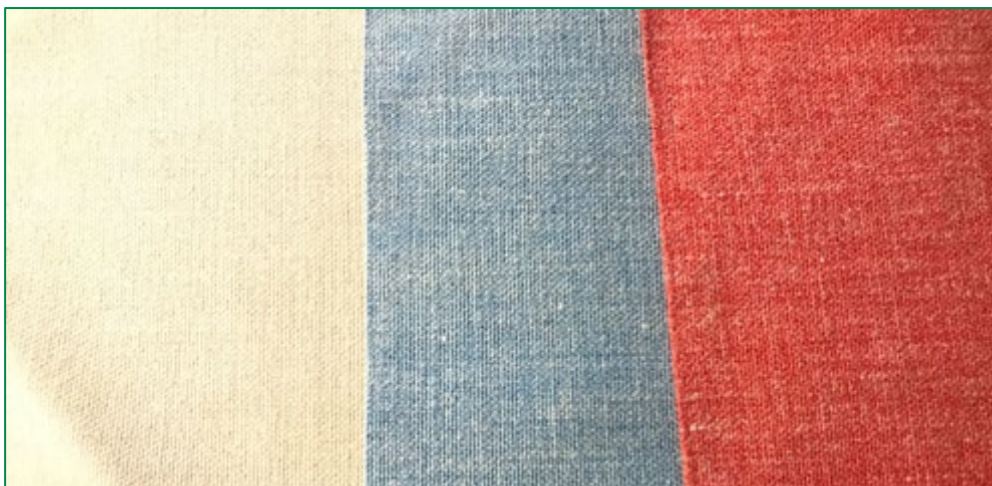


FIGUR 9.13. Fintvævede hampe og uld metervare fremstillet hos Kvadrat

Blanding med uld har vist sig at reducere problemer med at hampen krøller. Uld og hamp tager dog imod farve forskelligt, så der opstår en melering i stoffet (figur 9.14 & 9.15). Dette er dog ikke en nødvendigvis en ulempe, eftersom det giver liv i materialet.



FIGUR 9.14. Forskellige typer af vævning – ved Kvadrat. Hamp og uld kvalitet.



FIGUR 9.15. Hampemetervare kvaliteter fra Kvadrat. Generelt nogle fine kvaliteter, men lidt problemer med knæk af garnet og ensartethed.

Vi har som for jersey-kvaliteter også arbejdet med ramie og hør, som fine vævede metervarer. Herved har vi afdækket nogle af de udfordringer, der også er med hamp, hvorfor det har været nogle givtige erfaringer vi har opnået.

Undersøgelserne viste at kvaliteten af metervarene har varieret, pga.:

- At garnet er spundet af for korte fibre (det giver ekstra meget floss)
- At garnet ikke er spundet hårdt nok
- At metervaren ikke er forbehandlet, herunder pre-vasket

Det er fortsat sådan, at der er færre udfordringer med fremstilling af vævet hampetekstil i forhold til strik, idet der kan anvendes tykkere garnet på en væv, end i en strikkemaskine, som letter produktionen.

Generelt har det vist sig vanskeligt gennem hele projektperioden at kunne fremskaffe hamperåvare/hampegarnet af ensartet og høj kvalitet. Dette billede går ofte igen, og ender med at råvaren hamp kommer fra Kina, og at produktionen i EU af hamp-metervarer er meget lille.

Forsøg med fremstilling af tøj fra de fine hampekvaliteter blev testet ved design af Rachel Kollerup. Forsøg med fremstilling af en skjorte gav fine resultater (figur 9.16). Problemer med krøl synes tydeligt mindre i blanding med uld, fremfor rene tøj af rene hampegarnet, mens udseendet af tøjet bibeholdes.

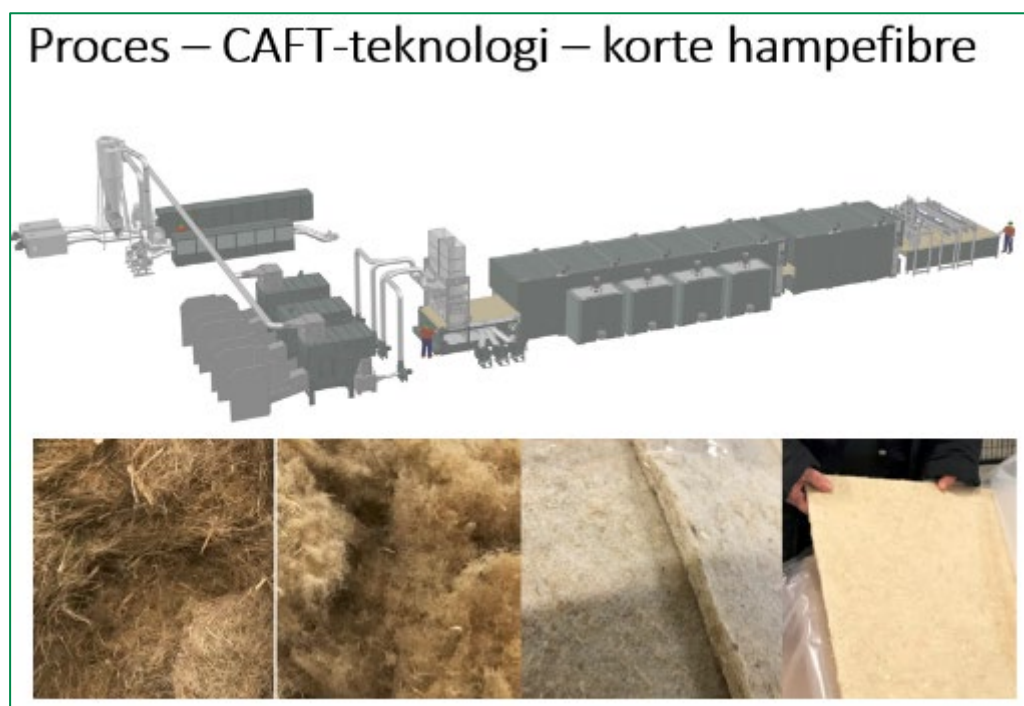


FIGUR 9.16.Ramieskjorte, test af fint vævet ramie.

10. Udvikling af non-woven prototype-metervare med hampefibre fra kortere tekstilhampefibre

Det er lykkedes at udvikle nye prototyper af nonwoven hampemåtter til tekstile formål baseret på hampefibre, som ikke kan spindes, og dermed er affald fra hampetekstilprocessen. Nonwoven hampemåtterne er testet som bl.a. frakker, frakkefoer, accessories/tilbehør mm. med succes.

10.1 Udvikling af prototyper med CAFT-teknologi til tekstile formål



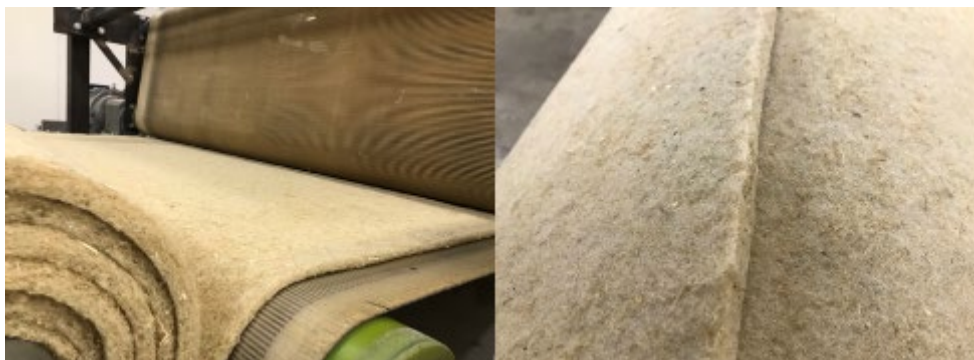
FIGUR 10.1. Den cirkulære proces, hvor CAFT-teknologien fra Advance Nonwoven kan anvendes til formning af måtter fra hampefiberaffald fra tekstilprocessen og til nye produkter, der vil kunne recirkuleres igen. Fra venstre til højre: tekniske hampefibre, der nedkortes, formes til måtter og sidst er presset til tynd komposit.

Advance Nonwoven har arbejdet med produktudvikling af fiberprodukter og fiberapplikationer fra en lang række af råvarer for at skabe bæredygtige og cirkulære produkter. Teknologien bygger på deres unikke patenterede teknologi: CAFT-nonwoven teknologi (Carding Airlaid Fusion Technology), som kan håndtere fibre i alle mulige længder i en såkaldt nonwoven-proces, også kaldt airlaying, som er en tør proces (figur 10.1). I projektet har målet været at kunne udnytte de kortere hampefibre, som ikke kan spindes til garn, til fremstilling af forskellige typer af fibermåtter, som kan anvendes til tekstile formål. Udviklingsarbejdet har bestået i udvikling af nye typer

af non-woven prototyper baseret på hampefibre. Udviklingsarbejdet bygger på bl.a. patent med nonwoven hør- og hampemåtter udviklet af Bodil E. Pallesen³³. Målet har også været at kunne arbejde med så lange hampefibre som muligt, at kombinere med fx uldfibre og arbejde med alternative anvendelses muligheder, som ikke har været anvendt tidligere. Forsøgene på CAFT-linien foregik i de første år på sitet på Møllerup Gods, og siden hos Convert A/S, ved Thisted, hvor den første danske kommercielle linie er etableret. Convert hører ligesom Advance Nonwoven under konsortiet Møllerup Group.



FIGUR 10.2. Råvarer af henholdsvis hamp, uld og PLA-fibre



FIGUR 10.3. Formning af måtter på CAFT-anlægget hos Convert A/S. Forsøg.

Processen består af den nødvendige neddeling af fibre, som er enten er forbehandlet eller mere eller mindre rødnet. Efterfølgende er processen CAFT-formning af nye prototyper bestående af ensartede måtter med forskellige densitet og dimension. Det var målet at opnå helt ned til ca. 50 g/m² (GSM), som man kender indenfor en række syntetiske fiberunderlag (fx Fibertex), men det er ikke lykkedes at nå længere ned en godt 150 GSM, og stadig opnå en meget ensartet sammenhængende måtte, uden at der er en overvægt af plastbindere i produktet. I udviklingsarbejdet er arbejdet med en række forskellige typer af bindere fra PLA, bikomponente bindere som PE/PP, PLA/PBS, PET m.fl. (se også figur 10.3). Særlig måtter med PLA (PolyLactic Acid) har været interessante pga. det er en bio-nedbrydelig bioplast, som ved de rette betingelser kan kompostere, og som man i forskellige varianter kender fra nedbrydelige plastposer mm. PLA har fungeret godt, også således at fibermåtten har kunne fremstilles til en række nye slutprodukter. De fleste produkter er med mellem 5 – 10 % bindefibre. Til særlige formål er anvendt lidt mere binderandel.

I projektet er det lykkedes at udvikle prototyper af non-woven hampemåtter, som kan anvendes fx som inder for (fyld) i frakker til erstatning af syntetisk dynevat (af PET). Produktet er kil-

³³ Bodil E. Pallesen, 'Method for Manufacturing a Fibre Mat, Fibre Mat and Use of Such Fibre Mat', WO/1999/057353, 11-Nov-1999.

tet, og vist sig holdbart til formålet. Der er udviklet prototyper med iblanding af længere uldfibre, bl.a. fra karteaffald, som giver mere vandafvisende måtter og også blødere måtter. Disse er under afprøvning som en kiltet metervarekvalitet også til fremstilling af frakke og jakke. Der er arbejdet med udvikling af nye typer af anvendelser som non-woven-materiale til tasker og andre accessories (modetilbehør).

Der er fremstillet prøveproduktioner til brug i udvikling af kollektioner af Rachel Kollerup med non-woven tekstilmateriale fra hamp.

10.2 Case. Advance Nonwoven hampemåtte som isolering til vinterfrakke

I projektet har vi testet materialer til beklædning med nonwoven hampemåtter i en række forskellige kvaliteter fra Advance Nonwoven. Forsøget omhandlede bl.a. en quiltet dynefrakke hvor ydermaterialet var en eksklusiv uld og isoleringen/skumfyldet var hampemåtte. Som forfor-søg blev en tilsvarende frakke lavet med et polyesterskum til sammenligning.



FIGUR 10.4. Design af vinterfrakke prototype udviklet af Rachel Kollerup.

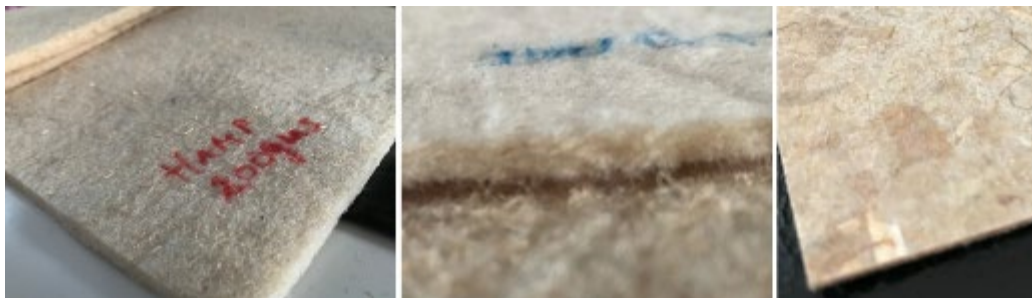
Målet med at anvende nonwoven metervare i form af hampemåtte som et inderfoer til en frakke. Opgaven var at se om man kunne designe en frakke, hvor fyldet i fremtidens vinterfrakke hverken kom fra dyr (ande- eller gåsedun) eller plastik (syntetisk dynevat typisk fremstillet af polyesterfibre) – og så endda kunne produceres i Danmark. Det lykkedes at fremstille hampefyld til jakker og frakke, lavet af korte restfibre fra hampeindustrien samlet i luftig masse til måtter i metermål. Brugstest har vist at designet og prototypen af måtten har været varm og isolerende, og har kunne holde til almindelig brug, uden at falde sammen eller krympe. Man skal dog ikke satse på at vaske produktet i vaskemaskine, men sende den til rens, ligesom man også gør med en uldfrakke.

10.3 Møbelunderlag med hamp

Fremstilling af helt tynde fibermåtter med relativ lange hampefibre på fx gns. 40 mm eller under har fungeret godt mht. ensartethed, både med rene hampefibre (inkl. binder) samt hvor der er anvendt et mix af fiberblanding med hamp og uld m.fl.

Der er arbejdet med at kalandrere (sammenpresse) fibermåtten for at opnå større styrke, hvor måtten presses sammen, og densiteten dermed øges, også for at fremstille så tynde måtter som muligt. Fiberkombinationer med uld og uldlignende fibre som ramie og hør m.fl. fibre har givet fine resultater (figur 10.5), med gramvægte mellem ca. 100 – 200 GMS, som fx er egnede

som møbelunderlag, hvor der ikke er behov for meget stærke måtter, dvs. høj trækstyrke. Anvendelse af relativ lange fibre og i blanding med uld m.fl. fibre samt op til 20 % bindefibre har givet nogle fine kombinationsmåtter. Dette har været interessant for Kvadrat.



FIGUR 10. 5. Fibermåtter til fx møbelunderlag fra 100 – 200 GSM og fra 3 – 7 mm

10.4 Alternative designs til accessories

Rachel Kollerup har arbejdet med udvikling af alternative designs indenfor accessories, hvor hampemåtterne fra Advance Nonwoven er testet bl.a. med fremstilling af tasker. Forsøget er et taskedesign, hvor hampemåtten blev en slags ruskindserstatning (figur 10.6). For at styrke tasken er der indlagt foer. På billedet er der benyttet viskose - i en senere udgave blev der brugt hør med held. Taskestopperne blev forstærket med vævet hørstof. En udfordring er at hampemåttene i dets natur suger vand ganske effektivt. Derfor er en coating af ydersiden med en membran af for eksempel voks at anbefale, og der arbejdes videre med hvordan vi kan tilføje denne og stadig bevare naturlooket. Etablering af metalknappen som præges i materialet, har fungeret fint. Forsøg med anvendelse af blandingsmåtter med hamp og uld har øget den vandskyende overflade.



FIGUR 10.6. Taskedesign med non-woven hampemåtter. Design Rachel Kollerup.

10.5 Forsøg med udvikling af coverstocks

Fremstilling af helt tynde fibermåtter med gramvægte under 100 GSM af lange hampefibre på fx gns. 40 mm og derofter har givet nogle udfordringer mht. ensartet mix af fiberblanding. Der

er arbejdet med at kalandrere fibermåtten for at opnå større styrke, og tynde måtter. Fiberkombinationer med uld og uldlignende fibre som ramie og hør m.fl., der har relativt lange fibre har givet nogle fine kombinationsmåtter og der opnås en betydelig større styrke i blandingsmåtterne, men dog ikke på højde med styrken i FiberTex måtter, skønt de er under 50 GSM og ca. 1 mm. Målet mht. at fremstille helt tynde måtter med høj styrke er derfor ikke lykkedes. Forsøg med nåling og kiltning viser nogle muligheder, som der kan arbejdes videre med. Erstatning af stærke syntetiske fiberduge a la FiberTex er dog fortsat ikke opnået. De fremstilles af lange kartede og nålede syntetiske fibre af fx polyester, og det har ikke været muligt at opnå så stærke fibermåtter med den anvendte CAFT-teknologi.

11. Forsøg med Bio-Polishing af hampetekstil

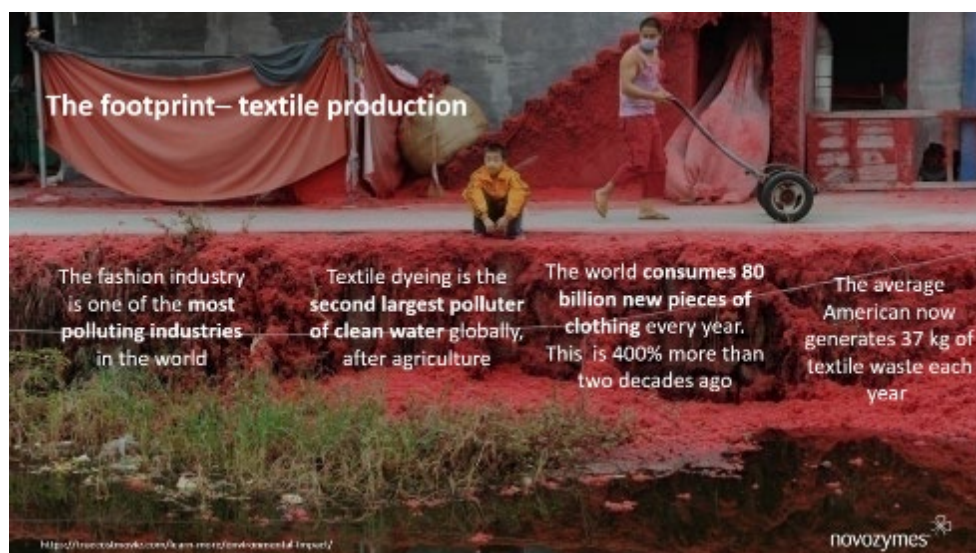
Forsøg med enzymbehandling af T-shirt - fremstillet af hør i projektet - med Bio-Polishing fra Novozymes på strikkede design gav positive resultater, og fjernede korte fibre, kaldet pilling, samt øgede levetiden målt mht. slid ved vask af T-shirts.

11.1 Kvalitetsforbedring af metervarer vha. enzymer fra Novozymes

Samarbejdet med Novozymes har udover samarbejde omkring test af enzymer til frilægning af taverne fra skæven også været test af deres enzymer, som anvendes til at forbedre kvaliteten særlig af strikkede metervarer fra bomuld. Vi var interesserede i at finde ud af om metervaren fra hamp kunne opnå en længere holdbarhed, og om problemet med pilling, dvs. fibriller og korte hampefibre som bliver synlige på metervaren kan fjernes vha. Bio-polishing, som processen kaldes.

Pilling ses som fnulder, flossethed og uldenhed med små fibriller, der typisk bliver synlige efter vask og slid på såvel bomuld og hamp m.fl. tekstilfibre.

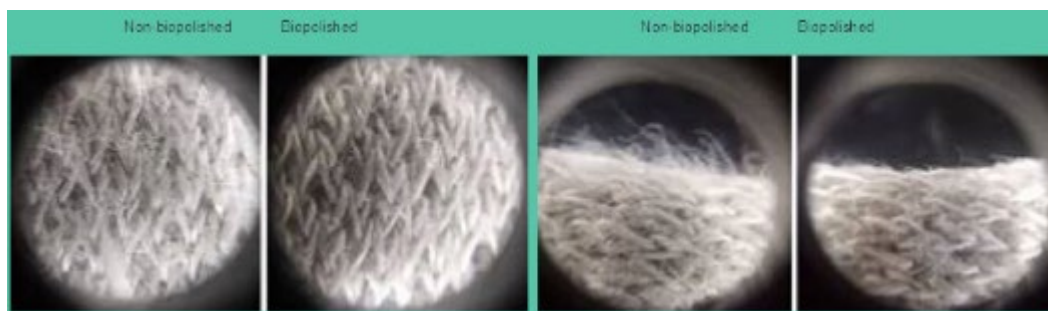
Bæredygtighed har været driver for Novozymes mht. udvikling af Bio-polishing, og målet har været at forlænge levetiden for tøjet pga. den miljøbelastning der er ved fremstilling af tøj (se figur 11.1).



FIGUR 11.1. Forbrug af tøj er et af de mest forurenende industrier, og ved at tøj kan holde sig pænt længere er der en stor miljøgevinst ved at anvende Bio-Polishing³⁴.

³⁴ Indlæg fra Novozymes ved konferencen Bæredygtige hampetekstiler, februar 2020 på VIA University, arrangeret af bl.a. MUDP-projektet.

Enzymerne, bl.a. cellulase, i Bio-Polishing (Livelong® – Biopolishing NOVOZYMES) reagerer kun ved at fjerne enderne af de korte og løse håragtige små fibre, men angriber ikke overfladen på metervaren, som derfor fremstår ren og glat efter behandling (figur 11.2). Produktet er udviklet til bomuld.



FIGUR 11.2. Princip mht. Bio-polishing. Fibriller ses tydeligt i det strikkede produkt. Efter biopolishing er antallet af fibriller reduceret, dvs. problemet med pilling er blevet reduceret.³⁵

11.2 Forsøg med strikkede hør T-shirts udsat for Bio-Polishing

Forsøgene med Bio-polishing gennemføres i samarbejde med Novozymes. Udover forsøg med anvendelse af enzymer til Bio-Polishing er gennemført en række vaskeforsøg, således at effekten af Bio-Polishing har kunne vurderes.



- Tv, øverst: kontrol
- Tv, nederst: Biopolishing
- Th, øverst: + vask x 10
- Th, Nederst : Biopolishing
+ vask x 10

FIGUR 11.3. Prøve T-shirt af hør (fra Rachel Kollerup flagskibs kollektion), som er fremstillet af strikket metervarer er testet. Den er delt op og syet igen efter behandlingerne.

Under forsøgene har vi gentaget op til 10 vaske, for at vurdere påvirkningen af vaske. For de prøver, hvor vi tester Bio-Polishing tilsættes enzymbehandling i vaskemaskinen, og det er her enzymerne så virker kan reparere og klippe peelingen (fibrillerne) af tekstilets overflade.

³⁵ Kilde: Ole Bill Jørgensen, Novozymes, 2020.



FIGUR 11.4. Tv, øverst: kontrol, ingen bio-polishing. Th: x 10 vaske, ingen bio-polishing.



FIGUR 11.5. Tv, nederst: + bio-polishing. Th, nederst: x 10 vaske, + bio-polishing

Forsøgene viste god effekt af Bio-Polishing (figur 11.4, 11.5 & 11.6), hvilket er særdeles interessant, idet problemer med pilling er meget synlige og kommer hurtige efter få vaske, som regel. Dog nok mest i cottoniserede hampekvalliteter, hvor fibrene naturligt er korte. Men tøjet er holdbart længe endnu, som vil fremgå af test af hampemetervarer i afsnit 12. Så fjernelse af pilling vil betyde at man ikke forfalder til at smide tøj ud, der har lang holdbarhed mht. slid, men som ikke længere æstetisk lever op til forventningerne.



FIGUR 11.6. Tv, Ingen bio-polishing (control).. Th, Med bio-polishing

Selvom de første forsøg er gennemført på hør-tøj, så har vi god grund til at tro at hamp reagerer ligedan. Projektgruppen arbejder videre med Bio-polishing, og behandlingens betydning for hampemetervarer.

Vore observationer har efterfølgende været: Når de korte fibre fra pilling er slidt af eller fjernet via Bio-Polishing holder tøjet sig på samme pæne stadie over en lang brugstid. Dette har vi set gælder for både strikket og vævet tøj af hamp, hør og ramie. Vi fortsætter samarbejdet med Novozymes.

12. Test og dokumentation af metervarer

Test og dokumentation af vævede og ikke vævede tekstilprototyper fra hampefibre, som primært har været fra Europa. Det er svært at opnå de ønskede kvaliteter til brug som møbel- og gardinstoffer. Forsøg med fremstilling af metervarer fra tyndere hampegarn viser dog lovende egenskaber, specielt mht. slid- og rivstyrke. Tendens til pilling er højere hos hamp end bomuld, men mindskes ved længere tids brug, ulig uld og bomuld, idet de små fibre slides væk.

12.1 Planlægning og forberedelse af test

Test af tekstiler er et stort område, og projektet har med fokus på hele værdikæden gennemført test af metervarer. I bilag 1.2. ses en oversigt over de mange test, som kan gennemføres i de forskellige stadier under tilblivelsen af et tekstil, herunder overblik over de mange standardtest som er indenfor tekstilbranchen. I projektet har målet været at teste hampemetervarer, først og fremmest metervarer, som vi har fået fremstillet i projektet, bl.a. i samarbejde med VIA University College samt metervarer Kvadrat har fremstillet via deres samarbejdspartnere. Ved VIA er der fremstillet prøver med vævede og strikkede hampetestiler, men det er primært de vævede kvaliteter, vi har testet. Vi har arbejdet med at fremskaffe egnede hampegarn til forsøgene, og det er lykkedes i nogen grad. Vi har også forsøgt test af hampekvaliteter ved flere forskellige typer af spinderier i Europa, men kun Linificio i Italien har reelt været i stand til at håndtere hampefibre, og det ikke uden problemer.

Dernæst har vi også arbejdet med at tilvejebringe prøver på hampe-metervarer via projektgruppens netværk i Europa, hvor det har kunne lade sig gøre. Målet har været at kunne vurdere/teste de hampekvaliteter, som er tilgængelige især på det europæiske marked. Ofte viser det sig at råvaren er meget uensartet, eller at råvaren stammer fra Kina.

Der er gennemført test på hampemetervarer, både vævede og strikkede mht. slidstyrke, pilling, vaskægthed / tålsomhed, farveægthed, fugtoptagelse, vaskeforsøg m.fl. En række test er gennemført hos Kvadrat gennem projektet, og en række test har vi gennemført i samarbejde med VIA-University College i Herning samt ved Teknologisk Institut. Der indgår også visuelle bedømmelser i testene.

Hampegarn baseret på lange hampefibre har således været vanskelig at fremskaffe i perioder fra vores samarbejdspartner i Italien, pga. mangel på egnet råvare, og det viser netop at det er en af flaskehalsene indenfor hampetekstil. Der ligger således en udviklingsudfordring, som vi arbejder videre med her i Hemp4tex projektet.

12.2 Test af hampetekstil

12.2.1 Slidstyrke ved Martindale-test

Slidstyrken er en af de vigtigste egenskaber for møbelstoffet, som har stor betydning for holdbarheden (bæredygtighed) og dermed også anvendelsesmulighederne. Der er gennemført test med slidstyrke, med Martindale test, som Martindale er den måde, hvorpå slidstyrken på

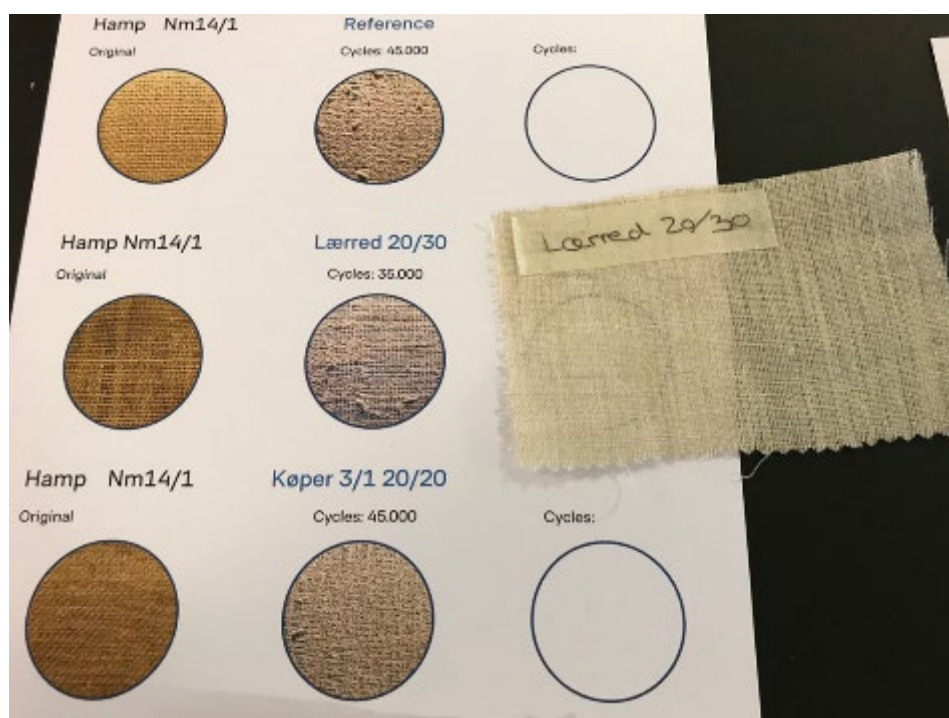
møbelstof beskrives. Metervaren udsættes for rotationer, der gnider på stoffet (rubs). Martindale på 15 – 20.000 omdrejninger for at kunne klare normalt slid (tabel 12.1). Særlig møbelstof-fer har højere krav til slidstyrke end tøj, op til 40.000, så ligger Martindale over dette er det flot. Resultater for testede metervarer i projektet ses i tabel 12.2.

Anvendelse	Normal krav (+/- 5.000) rubs
Skjorte	15.000
Arbejdsbeklædning	25.000
Jeans	25.000
Møbelstoffer (privat)	25.000
Møbelstoffer (kontrakt)	40.000

Tabel 12.1. Normale krav – Slidstyrke DS/EN ISO 12947-2:2016 (Martindale)

Metervare	Specifikationer	Slid - Martindale	Pilling	Kommentar
Remix	90% ny uld Worsted-garn, 10% nylon. 420 g / m (140 cm bredde).	100.000	4	UPH (Møbelstof)
Willow	50% uld, 50% hamp. 625 g / m (140 cm bredde)	40.000	3-4	UPH (Møbelstof)
Hallingdal	70% ny uld, 30% viskose. 795 g / m (130 cm bredde).	100.000	3-4	UPH
Steelcut Trio	90% ny uld Worsted-garn, 10% nylon. 770 g/m (140 cm bredde)	100.000	4	UPH
Pine	80 % Viscose, 20 % hør. 830 g/m (140 cm bredde)	25.000 (kun detailhandel)	3 (kun detailhandel)	UPH
Time	100% Trevira CS (polymer). 580 g/m (300 cm width)	N/A	N/A	CUR (gardinstof)
Ginger	100% Trevira CS. 780 g/m (300 cm width).	N/A	N/A	CUR

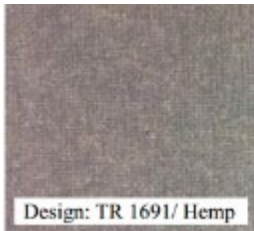
TABEL 12.2. Forskellige typer af metervarer produceret for Kvadrat.



FIGUR 12.3. Her er tre kvaliteter sammenlignet, hvor billedet med pilling ses tydeligt. Vævetype og kvalitet påvirker effekten.



FIGUR 12.4. Slidstyrketest (Martindale) og pilling. Panama-vævet hampetekstil. Problem med pilling overstås efter 25.000 rubs, og udseendet holder helt op til 75.000 rubs, førend kvaliteten er skadet.

	Test Methods	Results
	Abrasion resistance - Martindale Part 2: Determination of specimen breakdown DS/EN ISO 12947-2:1999 Technical Corrigendum 1:2002/AC:2007 Mass: 795 g Nominal pressure: 12 kPa Breakdown point: Two broken threads Test conditions: 21°C, 65%RH	Mean: 20 000 rubs Individual results: 20 000 - 20 000 - 20 000 rubs

FIGUR 12.5. En hampekvalitet, som kun når op til 20.000 Martindale. Vi har set stor kvalitetsforskel i de undersøgte vævede metervarer med hamp.

Resultatet af slidstyrkeforsøgene (figur 12.2-12.5) viser styrken i de vævede hampetekstiler, som gør det interessant fortsat at arbejde med at se på hamp, også i kombinationer med uld og andre typer af fibre, til møbelstoffer.

12.2.2 Pilling - Karakter for pilling

Samtidig med Martindal-testen registreres også graden af pilling efter en skala fra 1 til 5 (tabel 12.3). I forhold til bomulden har hampen en væsentligt større tendens til pilling, som ved flere af kvaliteterne startede allerede ved 1.000 rubs. Årsagen hertil skal findes i fiberens tendens til fibrillering, samt den glatte fiberoverflade. Dette medfører at kvaliteter som udsættes for moderat overfladefriktion forholdsvis hurtigt danner pilling, og dermed kan få et slidt og nusset udseende.

Binding	Garn	Teethed	Rubs	Pilling (5000 rubs)
Modificeret twill	14/1 Nm	43 x 41	45.000	1-2
Lærred	14/1 Nm	20 x 30	35.000	1-2
Køper 3/1	14/1 Nm	20 x 20	45.000	1-2
Brudt Køper 3/1	14/1 Nm	20 x 30	50.000	1-2
Panama	14/1 Nm	20 x 20	70.000	1-2

TABEL 12.3. Forskellige vævede typer metervare med hamp, hvor egenskaber mht. slid ses sammen med karakter (1 - 5) for pilling ses. En lav karakter er ringest. Kvadrat ønsker karakter på min. 3-4. Slidstyrke: DS/EN ISO 12947-2:2016 12kPa. Pilling tendens: DS/EN ISO 12945-2:2000 12 kPa (Martindale)

Til sammenligning er gennemført test af uld-metervare-møbelkvalitet (tabel 12.4):

Test Methods	Results		
Determination of fabric propensity to surface fuzzing and to pilling	Assessment stage	Number of rubs	Pilling grade
DS/EN ISO 12945-2:2000	1	500	3-4
Modified Martindale method	2	1000	2-3
1-5 scale, 5 best rating	3	2000	2-3
Number of test specimens: 3	4	5000	2
Number of observers: 2	Final grade		2-3
Pre-treatment: none	The final grading at 2000 rubs relates to fuzzing and pilling		
Abradant: Wool abradant fabric			
Loading mass: 415 g			
Test conditions: 21°C, 65%RH			

TABEL 12.4. Uldmetervarer og pilling. Standardtest DS/EN ISO 12947-2:1999. Uld lever op til kravet mht. karakteren 3 – 4, men ved brug stiger tendens til pilling. Denne kvalitet opnår samlet karakteren 2 – 3, dvs. lidt ringere end ønsket.



FIGUR 12.6. Forsøg med blanding af hamp og uld TR 1725 22 px (skud/cm) fra Kvadrat.

Prøve, 70 % uld, 30 % hamp	Slidstyrke- Martindale	Pilling	Kommentar
TR 1691	20000	2-3	Alle resultat som er for lave. Pænt udseende, føles blødt og behagelig
TR 1725 – 20 pix (skud /cm)	40000	4	Første forsøg justeret. Ydeevne er bedre, men slidstyrke for lav til kontraktmarkedet.
TR 1725 – 22 pix (skud /cm)	50000	4	Første forsøg justeret. Ydeevne er nu på niveau med kontraktmarkeds specifikationer.

TABEL 12.5. Blandingskvalitet af vævede hamp og uld- metervare, fremstillet hos Kvadrat. Den bedste kvalitet er TR 1725 22 pix (antal skud/cm). Den tættest vævede kvalitet TR 1725 22 pix er bedst.



FIGUR 12.7. Test af de forskellige vævede typer af hampemetervare fra VIA University College, Herning.

Prøve, 100 % hamp	Slidstyrke-Martindale	Pilling	Visuel bedømmelse	Kommentar
Brudt kopper 3/1 20/30	50.000	Ikke tested	Løse fibre. Føles stiv	For stiv og uens til såvel møbel- som gardin anvendelse
Panama 20/20	70.000	Til start kraftig pilling. Bliver bedre efter ca. 30.000 rubs.	Meget åben. Føles stiv. Løse fibre	For stiv og uens til gardiner. For åben til møbelpolstring. Høj slidstyrke. Til start problem med pilling.
Køper 3/1 20/20	40.000	Ikke tested	Åben. Føles stiv. Nogle løse fibre	For stiv og uens til gardiner. For åben til møbelpolstring. Lavere slidstyrke.
Lærred 20/30	30.000	Ikke tested	Åben. Føles stiv. Løse fibre	For stiv og uens til gardiner. For åben til møbelpolstring. Lavere slidstyrke.

TABEL 12.6. Test af forskellige typer af metervarer mht. slidstyrke, pilling samt visuel bedømmelse mht. anvendelse som møbel- eller gardinstof ved Kvadrat. Bedømmelse er lavet på ikke efterbehandlede prøver. En vask vil blødgøre stoffet.

Det er interessant, at vi ser bedre karakter for pilling på 3 – 4, efter de korte fibre er slidt af for Panama-vævningen, figur 12.7. Der arbejdes videre med forbedring af kvaliteten mht. pilling, også i den første del af levetiden for hampemetervaren.

Såvel strikkede og vævede metervarer, samt i blanding med typisk uld, viser at ren hamp har en større tendens til pilling, og ofte kun scorer 1 -2 i karakter. I blanding. Med uld opnås ofte pilling 3 – 4, og med god kvalitet, som i tabel 12.4. Blandingsvarer med uld forbedrer kvaliteten især mht. at føles blød og har et pænt look.

12.2.3 Visuelle test af strikkede hampe-metervare fra VIA-forsøg



FIGUR 12.8. Den strikkede kvalitet af hampegarn fra forsøg hos Linificio.

Kvadrat har teste kvaliteten af en strikket hampemetervare fremstillet hos VIA, som af en strikket kvalitet af hamp er i den bedre ende. Strik er netop en stor udfordring pga. der skal anvendes tynde garn, som netop er udfordringen at lave af hamp. Det konkluderes at metervaren haret noget uens, men pænt look (figur 12.8), dog ikke egnet til møbel- eller gardinstof.

12.2.4 Visuelle test af alternative producenter af vævet hamp

Der er endvidere gennemført visuelle test af alternative kvaliteter fra udlandet som fx et meget groft vævet hampelærred fra Frankrig, figur 12.9. som vi har testet i projektet, viser sig at indeholde alt for mange løse fibre, og føles ikke blød og behagelig.



FIGUR 12.9. Fransk hampe kvalitet uegnet til såvel møbel- som gardinstof. Som tøj vil det være en meget grov kvalitet, som ikke har kunne holde til vasketest.



FIGUR 12.10. Kvaliteter af vævet hamp fra Frankrig. Garnet stammer fra Polen.

Resultatet af test af fransk vævede hampemetervarer, med garn spundet i Polen (figur 12.10):

Prøve A – Ren hamp. Udseendet er lidt for ru til gardiner. Føles stift. For tyndt til polstring.

Prøve E – Ren hamp. Eget look til gardin. Føles stift. For tyndt til polstring. Konklusionen er at begge kvaliteter ikke er egnede til hverken møbel- eller gardinstof.

Hampe kvalitet med garn fra Rumænien er bedømt af Kvadrat, men trods et pænt look og blødhed er kvaliteten for løs og ikke egnede til møbel- eller gardinstof, se figur 12.11.



FIGUR 12.11. Hampe kvalitet, fra spundet garn fra Rumænien med hamp fra Italien.

12.3 Farve og lysægthed af hampe-metervarer

Der er gennemført forsøg med farvning af hampegarn ved Kvadrat, som har givet et godt resultat, se figur 12.12. Farvestofoptagelse har været fin: Metervaren, vævet hamp, absorberer farvestof godt og giver levende farver. Visuel inspektion: Flot look, føles blød og behagelig.



FIGUR 12.12. Metervarer og garn, produceret af Kvadrat, til forsøg med farveoptagelse fra Kvadrat, her forsøg med farveoptagelse.

		Prøve Vævet hamp	Note
		Vasket + blødgjort	4
		Bleget	5 - 6
		Farvet, rød	5
		Farvet, blå	6
		Farvet, navy	4

TABEL 12.7. Lysægthed i vævede indfarvede hampetekstiler. DS/EN ISO 105-B02:2014, Karakter (noter) 1 – 8, hvor 8 er bedst.

Tabel 12.7. viser forsøg på indfarvede vævede kvaliteter, hvor lysægtheden er bedømt efter standard DS/EN ISO 105-B02:2014. Resultatet viser for den blå farve en OK lysægthed, mens den er lidt lavere for rød og navy (sort).

12.3.1 Fugtoptagelse

Hamp og også hør har generelt ry for at være utrolig rart at have på kroppen pga. stoffet ånder og kan optage fugt i større grad end bomuld. Forsøg med hamps evne til at optage fugtighed, udført ved Teknologisk Institut, Afd. for Møbel og Tekstil, viser at hampen kan optage op til 30% fugtighed uden at føles våd. Dette er betydelig mere end for bomuld. Årsagen er opbygningen af hampefibrene, som er hule, om end meget tynde, og fugtoptagelse foregår hygroskopisk. Dette kende også fra hør. Det vi betegner som at tøjet ånder, men dermed også gør at det er særdeles behageligt at have på.

Prøve Vævet hamp	%
Vasket + blødgjort efter 0,5 min.	241,5
Vasket + blødgjort efter 2 min.	319,2
Vasket + blødgjort efter 5 min.	328,7
Bleget efter 0,5 min.	231,4
Bleget efter 2 min.	307,8
Bleget efter 5 min.	314,4
Bomulds reference 0,5 min.	50
Bomulds reference 2 min.	200
Bomulds reference 5 min.	300

TABEL 12.8. Vævet hamp og optagelse af fugt, som vægtforøgelse. Vandabsorption (sugeevne) SIS 251228:1971, ved Teknologisk Institut, afd. for Møbel og Tekstil.

12.4 Konklusion

Resultaterne af de forskellige test viste at der var stor forskellighed ved forskellige typer vævning, og forskellige tykkelser af garnet. Tendensen til pilling, som er en af de helt store udfordringer, varierede meget fra kvalitet til kvalitet. Det var til gengæld overraskende at de små fibriller, der ses efter 5.000 - 25.000 omdrejninger (Martindale), forsvinder ved fortsat slid, og tekstilet ser flot ud og kan holde mere end dobbelt så lang tid som ved bomuld.

BioPolishing kan være et bud på også at reducere problemet med pilling, se afsnit 11.

Test af vævet hampestof opsummeret:

- Slidegenskaber generelt gode op til omkring 70.000 Martindale rubs
- Øget pilling tendens, 1-2 noter dårligere end sammenlignelige bomulds kvaliteter
- Meget høj riv- og trækstyrke generelt 3-4 gange højere end tilsvarende bomulds kvaliteter. Men falder ved efterbehandling. Se også figur 8.29. og 8.30 vedr. styrketest af fibre og garner.
- Dimensionsstabilitet, vask-, gnid- og lysægtighed på niveau med tilsvarende bomulds kvaliteter
- Hamp suger fugt hurtigere, og kan indeholde mere vand end bomuld

13. LCA, Bæredygtighed og hamp

Hamp er en bæredygtig afgrøde, som kan dyrkes uden brug af pesticider og vanding, i modsætning til fx bomuld. LCA-analyse af hamp er typisk baseret på outdatede teknologier, men miljøanalyse fra Kvadrat viser at hamp klarer sig på linje med uld og bomuld. Hampetekstil har en længere levetid, og er dermed mere bæredygtig på den lange bane.

Verdens befolkning forventes at nå mere end 9 milliarder i midten af århundredet, mod en befolkning på 7,7 milliarder i 2020.^{36,37} Samtidig er vi vidne til en stigende vækst i de fattige lande. Dette øger behovet for bæredygtige produktion, også mht. tekstiler. Vi ser også en stigende efterspørgsel fra forbrugerne efter mere bæredygtige produkter i deres daglige forbrug. Siden starten på det nye årtusind har vi set en større stræben efter mere bæredygtighed og gennemsigthed gennem hele værdikæden af forbrugsprodukter. Tekstilbranchen bliver skudt på om at blive mere bæredygtig, ikke mindst pga. bomulds miljøbelastende produktionskæde. Nye industrielle produktionssystemer, der tager hensyn til miljø og ressourcer, giver konkurrencemæssige fordele på det globale marked hvor ressourcemangel og miljøbelastning er af stor betydning. Her kommer hamp ind i billedet.

13.1 Hamp til tekstil – tanker om bæredygtighed

Hamp i Europa dyrkes næsten udelukkende til tekniske anvendelser, som isolering, papir og kompositter. Kvaliteten er for dårlig til at kunne spindes til garn, og næsten al hampetekstil kommer først og fremmest fra Kina. De udfordringer er det vi søger at løse i projektet, og projektet har netop sat ind mange steder i værdikæden, men der er dog fortsat et udviklingsgab, som vi arbejder videre med i projektet Hemp4tex³⁸.

Årsagen til at hamp er så interessant er at den anses for en særdeles bæredygtige afgrøde at dyrke og kan anvendes til så mange slutprodukter, og mange af disse kan efter endt brug genanvendes.

Argumenterne for hampeplanten er mere bæredygtige at producere end fx bomuld er mange:

- Hamp giver et højt høstudbytte per areal i forhold til bomuld, ca. en faktor 2,5.
- Hamp kan dyrkes uden brug af pesticider også for konventionelle bønder. Den kan let dyrkes økologisk.
- Bomuld regnes for en af de mest pesticidkrævende planter, og står for ca. ¼ af verdens forbrug af pesticider.
- Tekstilhamp kræver en tredjedel eller mindre kvælstof end en kornmark, og kræver tilmed ikke kunstvanding, da hamp kan vokse i kølige klimaer, hvor regnvand er tilstrækkeligt.

³⁶ FAO, 'The future of food and agriculture - Trends and challenges', Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017;

³⁷ Worldometer: <http://www.worldometers.info/world-population/>

³⁸ [Dansk hamp skal udvikles til bæredygtige tekstiler | Innovationsfonden](#)

- I seneste år er der også kommet fokus på veganske materialer til tekstilfremstilling. På baggrund af vores erfaringer med hamp som varmeisolerende, er hamp en potentiel erstatning for uld - eller i hvert fald som blandingsmateriale med uld til varme tekstiler.
- Hampefiberens nok allerbedste kort er, at det er muligt at lave garn af meget lange fiberbundter (80 cm eller længere) og stærke fibre - til sammenligning er bomuldsfibre fra 1,5 til 6 cm.
- Lange fibre er årsagen til at hamp er så slidstærk. Fiberstyrken giver derfor tøjet lang holdbarhed. Det er bæredygtighed.
- Hele planten kan udnyttes, både frø, blade og den del af stænglerne som ikke er tekstilfibre kan anvendes til en lang række tekniske formål til papir, kompositter, byggematerialer mm, foruden strøelse.

Ulemperne er dog at tidligere tekstilproduktionsanlæg til hamp er meget gammeldags, og meget støvende, og derfor stort set udfaset i dag til Kina. Det er det vi vil arbejde på at ændre.

I projektet har vi erfaret at visse hør- og hampekvaliteter er lavet af cottoniseret hamp, hvor fiberen er neddelt til kortede fibre. Det har man gjort for at kunne køre hampegarnproduktion i bomuldsanlæg. Da efterspørgslen og forbruget af bomuld længe har været meget stort, har industrien bedre højteknologiske anlæg til bomuldsproduktion. Vi har derfor endnu til gode at opleve hampegarnet spundet af lange fibre.

Ved projektets afslutning opnåede vi vældig gode resultater med cottoniseret hamp, som viste sig meget slidstærke, så vi ved, at endnu bedre og slidstærke kvaliteter er i vente.

Kan vi gøre hampeværdikæden bæredygtig?

Vores udviklingsprojekt har i stort omfang handlet om at udvikle miljøskånsomme forarbejdningsmetoder til at frembringe hampegarn, og der arbejdes stadig med miljø- som energimæssig optimering af hampegarnproduktion. Derfor er vi potentielt i stand til at frembringe meget slidstærke og holdbare hampegarn, som produceres ved højteknologiske miljø-skånsomme og energibesparende anlæg.

Når vi taler om bæredygtigt tøj er der i senere år kommet meget fokus på holdbare tekstiler fremfor "grønne" tekstiler. Med "grønne" tekstiler menes tekstiler produceres under særligt miljøansvar, herunder økologi, færre kemikalier og energibesparelse. At fokus er ændret kan skyldes at forbruget af nyt tøj stadig er meget højt og hvis forbruget holder niveau, så er der, uanset hvilke materialer der bruges, stadig tale om et enormt ressourcespild - og det er ikke bæredygtigt.

Hele aspektet med problematikken omkring miljøbelastende tøjproduktion kan koncentreres omkring fast-Fashion forretningsmodellen, som har været ekstrem overdøvende og toneangivende det sidste årti. Billige og hurtigt produceret produkter er sat på et marked, hvor incitamentet for forbrugeren om nyt, nemt, billigt og hurtigt har sat tøjforbruget i vejret. Produkterne er skabt til det umiddelbare køb med denne måneds tendenser, som hurtigt erstattes af nye trends. Indsamlingenhederne fra hjælpeorganisationerne og affaldsselskaberne beretter om øget dårlig kvalitet i deres tøjindsamling, som ikke længere har værdi for genbrugsmarkedet. Meget problematisk da dette forbrugshjul i stedet bidrager til en enorm affaldsbunke.

Da projektgruppen tog de første spadestik til udviklingsprojektet i 2014, var vores ide at producere ny nordisk mode med samme værdisæt, som man i sin tid tillagde ny nordisk mad. Der skulle indarbejdes en ny ombyggelighed med dyrkning, forarbejdning og endelig påskønnelse af det færdige resultat, som skulle borge for et produkt af høj kvalitet og værdi. Vi må erkende at det er det trin vi er nødt til at træde tilbage til, hvis den grønne omstilling i modeindustrien

skal virke. Man kan tænke sig at med bæredygtigt forbrug, altså reducere af tøj og en tilgang til tøjet om at værne om det og købe kvalitet med tanke for mange brugsgange, vil miljøoptimering i produktionen og udvikling af kvalitetstøj alt andet lige give en forstærket bæredygtig gevinst.

I projektet har vi arbejdet med hamp som bæredygtigt tekstilmateriale med følgende fokuspunkter:

- Høj slidstyrke
- Nem vedligeholdelse
- Mange anvendelsesmuligheder af hampeplanten
- Helårstøj
- Temperaturregulerende
- Fornybar ressource og med mulighed for recirkulering til andre produkter (se afsnit 10).
- Biologisk nedbrydelig

Hampetekstil scorer højt på alle disse parametre, og højere end bomuld.

13.2 LCA-vurderinger

Kvadrat har fået gennemført en miljøanalyse til sammenligning af forskellige metervarer, hvor hamp er den ene råvare og den benchmarkes mod Kvadrats kollektion af en tekstil til møbelpolstring, kaldet Remix, der er en uld-kvalitet, bestående af 90% uld og 10% nylon.

LCA-en er en EPD (Environmental Product Declaration), og er en vurdering af miljøpåvirkningerne for et produkt fra vugge til grav. Beregningerne i LCA-modellen er baseret på EN15804. Beregningerne følger også principperne i ISO 14040-standarderne til vurdering af livscyklus. Denne EPD er baseret på en EPD-model udviklet af Kvadrat og FORCE Technology ved hjælp af LCA-softwaren GaBi6. Data er fra internationalt anerkendte LCA-databaser kombineret med litteraturkilder og viden fra Kvadrat og deres leverandører og er yderligere beskrevet i baggrundsdokumentationen³⁹.

13.2.1 Sammenligning af LCA for Hamp vs. Remix from Kvadrat Kollektion

Remix

Environmental Impact	Unit	Total Life Cycle	Materials	Dyeing	Kvadrat	Transport	End-of-life
Global warming Potential	kg CO2-e	6,3	5,8	0,2	0,0	0,1	0,1
Ozone Depletion Potential	kg R11-2	4,8E-08	4,8E-08	4,0E-12	6,3E-13	5,8E-13	3,5E-10
Acidification Potential	kg SO2-e	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Eutrophication Potential	kg PO43- e	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Photooxidant Formation Potential	kg C2H4-e	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Abiotic Depletion - Elements	kg Sb-e	8,6E-06	7,0E-06	1,6E-06	1,4E-08	4,4E-09	-7,3E-09
Abiotic Depletion - Fossil fuels	MJ	60	55	4	0	2	-1
Non-renewable primary energy	MJ	80	75	4	0	2	-1
Renewable primary energy	MJ	33	30	0	3	0	0
Total freshwater consumption, incl. Rainwater	kg	179	175	2	1	1	0

TABEL 13.1. Miljøanalyse af møbelstof af uld (90 %) og nylon (10%), Remix 4.

³⁹ <https://www.kvadrat.dk/>

For analysen af Remix (tabel 13.1) er der taget udgangspunkt i uld fra New Zealand, og forarbejdet i Tyskland. Med hampen (tabel 13.2) er taget udgangspunkt i europæisk hamp (beregnet for 2013), som i dag ikke produceres længere.

Hamp

Environmental impact	Unit	Total Life Cycle	Materials	Dyeing	Kvadrat	Transport	End-of-life
Global warming Potential	kg CO ₂ -e	7,1	6,0	0,7	0,0	0,2	0,1
Ozone Depletion Potential	kg R11-2	4,6E-08	4,6E-08	1,3E-11	6,3E-13	6,1E-13	4,2E-10
Acidification Potential	kg SO ₂ -e	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Eutrophication Potential	kg PO ₄₃ -e	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Photooxidant Formation Potential	kg C ₂ H ₄ -e	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Abiotic Depletion - Elements	kg Sb-e	1,2E-05	0,1E-06	5,5E-06	1,4E-08	4,6E-09	6,4E-09
Abiotic Depletion - Fossil fuels	MJ	72	59	12	0	2	0
Non-renewable primary energy	MJ	91	77	12	0	2	0
Renewable primary energy	MJ	31	28	0	3	0	0
Total freshwater consumption, Incl. Rainwater	kg	162	154	5	1	1	0

TABEL 13.2. Miljøanalyse af møbelstof af hamp (100 %) fra Kvadrat.

Uld og hamp performer meget lig hinanden. Remix indeholder også nylon, men dog kun 10%. Til sammenligning har bomuld, fabric-tekstil, en GWP på 6,85 kg CO₂-ekvivalenter. Der er taget udgangspunkt i bomuld produceret i EU.

Havde sammenligningen været overfor en bomuld produceret i den 3. verden ville der forventeligt have været større forskel, idet dyrkningsmetoderne er meget forskellige.

13.3 Miljøanalyse: hampetekstil versus bomuld

Projektgruppen havde i et forprojekt til nærværende MUDP-projekt gennemført en miljøvurdering⁴⁰, med det formål at få belyst potentialet for at dyrke hamp i Danmark. Den økologiske krise og evnen til at kunne frembringe produkter ressourceeffektivt bliver en større og større driver for markeder, og det er derfor værdifuld viden, om hamp kan ses som et mere effektivt og bæredygtigt alternativ til ellers traditionelle tekstiltyper som bomuld og polyester. Viser hamp sig at være et væsentligt bedre miljømæssigt alternativ, vil en satsning på, og investering i, en dansk hampetekstilproduktion være en potentiel profitabel forretning.

Formålet er derfor, miljømæssigt at sammenligne en dansk produceret og oparbejdet hampetekstil med de mest udbredte alternativer.

13.3.1 Scenarier

Bomuldsproduktionen og produktionen af tekstiler har mange steder gennemgået en stor effektivisering de seneste årtier. Bomuldstekstilet fremstilles i dag derfor på store højeffektive fabrikker. Dog fremstilles der også stadig bomuldstekstiler, hvor der benyttes store dele håndkraft, hovedsageligt i Kina og Indien. Produktionen af hampetekstiler er næsten udfaset i Europa, og der er mange steder ikke sket den samme effektivisering af hampetekstilproduktionen som ved produktion af bomuldstekstiler. De teknologier, der ligger til grund for data omkring effektiviteten af produktionen af hampetekstiler, kan formodes at have et forbedringspotentiale. Det er vigtigt at understrege, at der i dette studie ikke er lavet yderligere undersøgelser eller vurderinger af, hvor meget en hampetekstilproduktion vil kunne effektiviseres i forhold til praksis i dag. Der er valgt at lave en miljøvurdering af, hvordan en dansk hampeproduktion vil kunne se ud baseret på eksisterende kilder, denne vurdering kaldes basisscenariet. Hertil er valgt at lave et optimeret scenarie, som vil forsøge at vise, hvor meget en hampeproduktion i

⁴⁰ Pallesen B. E., 2016. Bæredygtige hør- og hampetekstiler (forprojekt). INNO-MT

dansk sammenhæng (vist i basisscenariet) vil skulle effektiviseres for at være et lige så godt alternativ som gængse tekstiltyper.

Scenarierne omkring forholdene for dansk produceret hampetekstil er baseret på overslag over, hvordan en dansk produktion højst sandsynligt vil kunne udformes. Disse overslag er lavet i to scenarier:

- Et basisscenarie som bygger på data fra to LCA-studier (Turunen et al. 2006, Van Eynde 2015) for produktion af hampetekstil for teknologier knyttet til hampeproduktion i Kina, Østeuropa og Frankrig. Her er benyttet dansk elmix, dansk termisk energi og transportafstande passende ved dansk produktion og oparbejdning.
- Et optimeret scenarie som tager udgangspunkt i det første scenarie, men antager at en dansk produktion og oparbejdning af hamp til tekstil vil kunne gøres mere effektivt, end det er beskrevet i henviste kilder. Desuden er en større del af planten udnyttet.

Disse to scenarier for tøj af hampetekstil sammenlignes med to scenarier for global gennemsnitlig produktion af tøj af henholdsvis konventionel bomuld og polyester. Sammenligningen med et globalt gennemsnit af de to mest anvendte fibertyper til tekstil har til formål at vurdere om en dansk hampeproduktion vil have en væsentlig miljøforbedrende effekt ved vores tøjforbrug.

13.3.2 Livscyklus

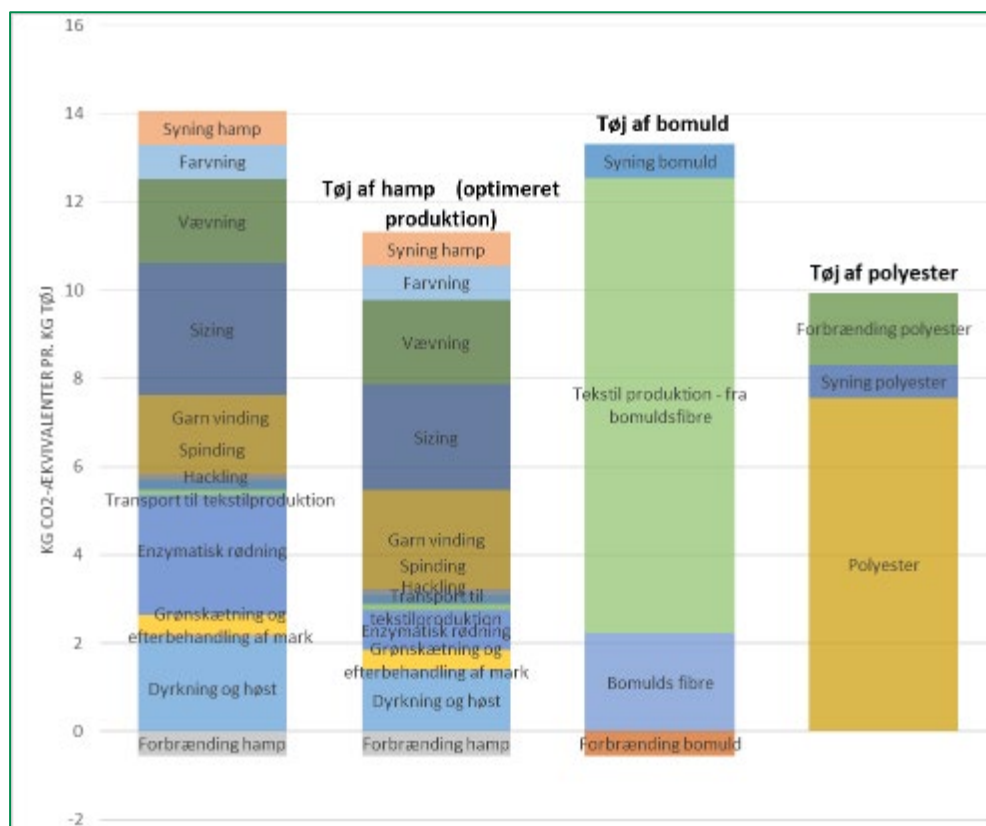
Livscyklussen for hampetekstil fra råvare dyrkning, til færdigt stykke tøj, til bortskaffelse, består af følgende processer (Turunen et al. 2006, Van Eynde 2015), skitseret i figur 13.1.

Dyrkning og høst	• Input: Gødning, Diesel • Output: Tørre grønne hampe stængler
Transport fra mark	• Input: Tørre grønne hampestængler, Diesel olie • Output: Tørre grønne hampestængler
Grønskætning og efterbehandling af mark	• Input: Tørrede grønne hampe stængler (diesel, elektricitet) • Output: Grønne skættede lange fibre (Grønskættet blå (korte fibre), skæver, støv, grove planterester)
Enzymatisk rødning	• Input: Grønne skættede lange fibre (og 1000MJ termisk energi og 20kg enzym og 82000 liter vand) • Output: 1000 kg lange fibre (82000 liter vand til rensning)
Transport til tekstilproduktion	• Input: Lange fibre, Diesel olie • Output: Lange fibre
Kartning	• Input: Skættede hampefibre, (elektricitet) • Output: Kartede hampe sliver, (kartede tow fibre, fiber affald)
Forberedelse (Drawing)	• Input: Hampe Sliver, (Elektricitet) • Output: Forgarn
Spinding og garn vinding	• Input: Forgarn, (Elektricitet, damp) • Output: Vådt-spundet garn, (Fibre affald)
Sletning	• Input: Garn, (kartofel stivelse, damp, Elektricitet) • Output: Afslettet kædegarn, (COD)
Vævning	• Input: Garn, (Elektricitet) • Output: Tekstil
Farvning	• Input: Tekstil, vand, damp, Sodium Sulphate, Sodium hydroxide, sæbemiddel, reaktiv farvestof, elektricitet, eddikesyre. • Output: Tekstil
Syning hamp	• Input: Tekstil, (Elektricitet) • Output: Tøj
Forbrænding hamp	• Input: Tøj af hamp • Output: Energi (el og varme)

FIGUR 13.1. Overblik over processer i livscyklussen for hampetekstil

De overordnede afgrænsninger og antagelser for modelleringen af hampetekstilets forskellige livscyklusfaser er beskrevet i miljøanalysens fulde længe, som ses i INNO-MT-slutrapporten fra 2016.

13.3.3 Resultater af miljøanalysen af hamp til tekstil



FIGUR 13.2. Påvirkning af global opvarmning målt i kg CO₂-ækvivalenter pr. kg tøj⁴¹.

Som det ses, er resultatet for den optimerede hampeproduktion noget bedre og har en påvirkning af global opvarmning der næsten er så lav som ved polyester. Dette skyldes både de mere effektive bearbejdningsprocesser, men det skyldes især den lavere belastning ved dyrkning og høst, da der antages et større udbytte (flere biprodukter at allokere miljøbelastning til) samt en enzymatisk rødningssproces, hvor det antages at vandet kan genbruges og energi til opvarmning af vand derfor reduceres væsentligt.

Det kan ses af resultaterne på figur 13.2. at for hamp og bomuld er der en negativ miljøbelastning (positiv effekt) ved afbrænding af tekstilerne, da det er fornybare ressourcer, der afbrændes med energiudnyttelse. For polyester er der en miljøbelastning målt i global opvarmning ved afbrænding, fordi frigivelsen af CO₂ fra fossile kilde overgår den positive effekt fra energiudnyttelsen.

De to analyser er ikke umiddelbart sammenlignelige, da det ikke er de samme forudsætninger i analysen fra 2016 som i 2013. Der kan være forskel produktionsprocesser (LCA-processer) og den efterbehandling man har valgt, syning, farvning mm.

⁴¹ Rasmus Nielsen, FORCE TECHNOLOGY 2016, boble-projektet Bæredygtige hør- og hampetekstiler, støttet af INNO_MT.

14. Præsentation af produkt overfor tekstil- og møbelbranchen

Der er udviklet en prøvekolektion af vævede og ikke vævede hampetekstiler, som er præsenteret bredt til tekstilbranchen og tekstile netværk. Ved hampekonference i februar 2020 afholdt på VIA viste stort fremmøde en stor interesse for hamp til tekstil. Her blev projektsresultater samt eksempler på bæredygtige hampedesigns præsenteret, og viste potentiale for hamp som et af fremtidens tekstiler.

14.1 Udvikling af prøvekolektion med vævede og ikke vævede hampetekstiler



FIGUR 14.1. Kollektion af hampetøj fra Rachel Kollerup fremvist ved Konferencen Bæredygtige hampetekstiler, på VIA University College, februar 2020.

Der er i løbet af projektperioden gennemført præsentation af arbejdet med udvikling af designs til Fashion fra hampetekstil (se figur 14.1), som omtalt i afsnit 9. og 10.



FIGUR 14.2. De forskellige kvaliteter af hamp giver særlig udfordringer til design af tøj. Her jakker og busker fra Rachel Kollerup.

Målet har været at arbejde med de udfordringer, som de mange typer af hampetekstilkvaliteter giver. Kollektionen af hampetøj har været såvel jakker, frakker, bukser, bluser og trøjer, foruden accessories (figur 14.2 -14.6). Der har været arbejdet meget med funktionaliteten af tøjet, herunder at tilføje lommer, kraver, dimensioner mv. Generelt gælder at for jakker og øvrigt overtøj er det oplagt at tøjet skal renses og ikke vaskes.



FIGUR 14.3. TV: Bomberjakke med et lille rynkebånd i taljen og ved ærmerne og skåret lige under, og et alternativ til den bløde cardigan eller formelle blazer. Th: Blazeren der er foret med silkeblødt quiltet foer, som gør godt langt ind i efteråret, hvis man vil bruge blazeren som overfrakke.

Kollektionen har været præsenteret løbende på såvel hjemmeside rachelkollerup.com, ved bæredygtighedsfestival og på de sociale medier.



FIGUR 14.4. Trenchcoat af Rachel Kollerup. Hampstoffet er "stonewashed" og det virker på en gang upoleret, men får de smukke farver til at changere i dagslyset - selve det udtryk gør frakken meget "citycool".

Der har været forstudier i vinterfrakkeprojektet målrettet en vinterfrakke med non-voven foer (se afsnit 10). Derfor udkom frakken i en version 0.0 prototype hvor fyldmaterialet var gængs polyesterskum. Forstudier er nødvendige for at vurdere om idéen er gangbar og give et sammenligningsgrundlag med nye og eventuelt mere miljøansvarlige materialer som hampemåtten. Nogle eksempler på relevante bedømmelsesparametre er frakkens vægt, fylde og varmeregulering, men forstudier gennemføres også for at spotte de sy-tekniske udfordringer. Quiltningen på frakken er håndarbejde. Udfordringer vedr. version 0.0 blev ændret, således at for version 1.0 gled det nemmere, fordi vi forbedrede mønsterdelene og så viste det sig, at det var nemmere at sy i hampemåtterne frem for det mere ureglerlige polyesterskum. Dermed er en nytænkning mht. tekstil og bæredygtighed indarbejdet.



FIGUR 14.5. Hampesweateren var en af de første designs i projektperioden, hvor vi fik strikket af garn, der bestod af en blanding af hamp og uld. Brug har vist at modellen og tøjet har lang holdbarhed, og bevarer look og facon.



FIGUR 14.6. Quiltet frakke af hamp af bl.a. non-woven hampemåtter, designet af Rachel Kollerup

14.2 Deltagelse i netværk og møder med interessenter, der ønsker at fremme bæredygtige tekstiler

Projektgruppen har tilsammen et større netværk, som gennem projektperioden er blevet udvidet både i DK og EU.

14.2.1 Samarbejde med VIA University College - VIA Design / VIA Engineering

Projektet har fra starten af projektperioden opbygget et tæt samarbejde med VIA Design / VIA Engineering, ved Poul Erik Jørgensen, der forsker og underviser i tekstiler på VIA i Herning, der har haft projektsamarbejde før MUDP-projektet med Kvadrat og Teknologisk Institut. VIA University College er også partner i Hemp4Tex, som er en fortsættelse af MUDP-projektet, og løber fra 2020 – 2024.

I nærværende projekt har VIA ved Poul Erik Jørgensen gennemført en række tekstilanalyser, prøvevævninger og prøvestrik af hampegarner.

14.2.2 Hampetekstilnetværksgruppe i regi af EIHA⁴²

Deltagelse i hampetekstilnetværksgruppe under interesseorganisationen EIHA, som projektleder har været medlem af siden først i 0-erne. Her deltager en række interessenter fra primært Europa, som ønsker at fremme udvikling inden for hamp til tekstil.

⁴² European Industrial Hemp Association, www.eiha.org

14.2.3 Netværket Fiberties - Nordic Network on biofibres

Flere af projektpartnerne har deltaget i netværket Fiberties⁴³, og bl.a. givet indlæg ved seminarer i netværket, der tæller forskere og udviklere fra vidensinstitutioner, universiteter samt virksomheder.

14.2.4 Møde med hampeaktører i Europa

Projektleder har bl.a. afholdt møder med Pierre Amadieu fra Initiative Chanvre⁴⁴, Frankrig (se produkt eksempel i figur 14.7), Stexfiber, Holland, DunAgro, Holland, Linificio, Italien mfl., som arbejder fra forskellige vinkler indenfor værdikæden hamp til tekstil, for at finde metoder til at lave tekstile hampefibre i Europa.



FIGUR 14.7. Groft vævet hampetekstil, fra Initiative Chavre, i Frankrig

⁴³ [Fiberties - Nordic Network on biofibres - Ydelser - Teknologisk Institut](#)

⁴⁴ Pierre Amadieu, www.initiativechanvre.com

15. Erhvervspotentiale og økonomi

Erhvervspotentialet efter bæredygtige tekstiler vurderes at være betydeligt. Tekstilmarkedet, der dækker beklædning og tekstiler til hjemmet i Danmark, udgør 89.000 tons årligt (2018).

15.1 Erhvervspotentialet

Erhvervspotentialet efter bæredygtige tekstiler vurderes at være betydeligt. Tekstilmarkedet, der dækker beklædning og tekstiler til hjemmet i Danmark, er 89.000 tons årligt med en årlig omsætning på 6,3 mia. EUR (2018), hvoraf eksport udgjorde 4,1 mia. EUR⁴⁵. Den europæiske markedsstørrelse er omkring 3.396 mio. tekstiler om året og repræsenterer en omsætning på 519,5 mia. EUR.

Der er en efterspørgsel som aldrig før efter bæredygtige produkter. Såfremt modebranchen i Danmark satte bæredygtige tekstiler på dagsordenen, vil det have stort økonomisk effekt (forsigtigt skøn indenfor 5 års periode: 500 mio. DKK – 1 mia. DKK) og tilsvarende positivt miljømæssigt aftryk. Også indenfor baby/børnetøj forventes et betydeligt marked, hvor man ikke mindst efterspørger bæredygtige tekstiler.

Hvis f.eks. BESTSELLER erstattede blot 5 % af deres kollektion med bæredygtige tekstiler, vil det få en stor effekt for såvel det økonomiske potentiale som miljøeffekten. BESTSELLERs omsætning i 2016 var 22,9 mia. DKK, og erstatning af 5% med danske hampefibre vil derfor også betyde mindsket import af udenlandske bomuldsråvarer, og opbygning af nye markeder for koncernen med bæredygtige hampekollektioner⁴⁶.

Det forventes, at en ny bæredygtig dansk hampetekstilindustri vil drage fordel af stigningen i efterspørgsel efter bæredygtige produkter fra gennemsigtige tekstilprocesser i Danmark og Europa. Tekstilindustrien leder intensivt efter nye bæredygtige råvarealternativer til ikke mindst bomuld, der er meget miljøbelastende, for at udfylde kundens behov fuldt ud. Hamp betragtes som et af de mest bæredygtige alternativer, men den største hindring er konstant manglen på råmateriale produceret med gennemsigthed og i en passende kvalitet. Det er ikke tilgængeligt i dag.

15.2 Økonomi

Der er gennemført foreløbige beregninger på økonomien ved hampekonceptet, men der er jo fortsat et udviklingsgab inden konceptet kan implementeres. Dette udviklingsgab, som fortsat er findes ved udgangen af MUDP-projektet arbejdes der videre på at få løst i regi af Hemp4Tex-projektet, hvor alle MUDP-projektets partnere deltager sammen med VIA University College i Herning og Aarhus Universitet, afdeling for Bio- og Kemiteknologi og Møllerup Gods. Hemp4Tex er støttet af Innovationsfonden.

⁴⁵ Dansk Mode & Textil, 'Modebranchen når rekord-niveau takket være eksportvækst', Jan-2019.

⁴⁶ DAFI, <http://danishfashioninstitute.dk/da/node/338> og Danmarks statistik

16. Formidling

Projektet er formidlet bredt ud i løbet af projektperioden. Der har været afholdt hampekonference, workshops og foredrag samt skrevet artikler, afholdt udstillinger mv. hvor bæredygtighed og hamp til tekstil har været temaet. Samlet har projektgruppen mødt deltagere fra tekstilbranchen og interessenter dækkende hele værdikæden.

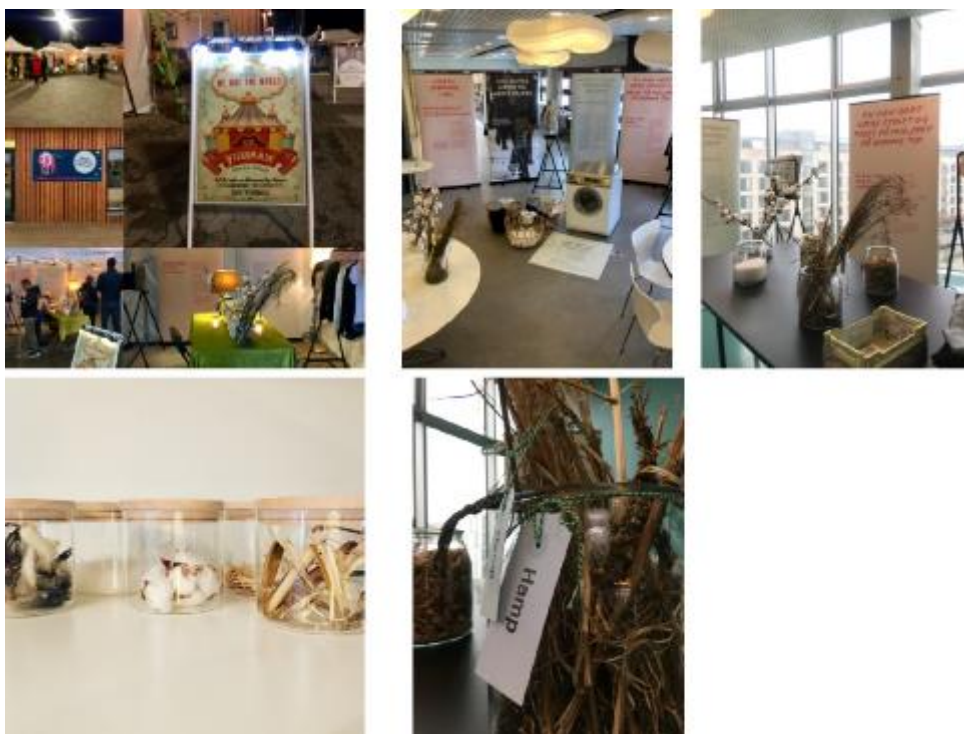
16.1 Formidlingsaktiviteter

16.1.1 Udstillinger mm.

Projektet blev bl.a. præsenteret med udstilling ved Bæredygtighedsfestival i Kongens Lyngby ved 2. juni 2018, ved EIHA-konference i juni 2018, september 2018 ved North Grow Expo 2018 og ved Det Nationale Bioøkonomi Panel, december 2019, hvor panelets strategi blev præsenteret (figur 16.1).



FIGUR 16.1. MUDP-projektet præsenteret på Børsen (dec. 2019) i Det Nationale Bioøkonomi Panel overfor bl.a. Minister for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri Mogens Jensen, samt formanden for panelet Asbjørn Børsting, direktør for DAKOFO.



FIGUR 16.2. Øverst fra venstre: Events: "Make that change": Brøndby kulturnat, Gladsaxe Bibliotek, Kulturhuset KU.BE. Nederst fra venstre: sanseprøver af tekstilmaterialer, sanseprøve af hamp.

Projektet har medvirket i tre events med udstillingen MAKE THAT CHANGE, som Rachel Kol-lerup har stået i spidsen for. I udstillingen indgik en såkaldt materialebar - herunder en med hamp og hør (figur 16.2). Her kunne den besøgende se og mærke hampenen som råvare, og de-monstrere hvilke dele af hampenen, der anvendes til tekstilfremstilling. De kunne læse om ham-pen, hvorfor den er en et god bud på en bæredygtig fiber til tekstilindustrien, og se og mærke stofprøver af strikket og vævet hamp.

- Brøndby Kulturnat var den 4. oktober 2019
- Gladsaxe Hovedbibliotek var den 11. til den 28. oktober 2019 med undervisning i da-gene 21. 22 og 24. oktober (her med indslag om hamp)
- KU.BE (Frederiksberg Kommunes Kulturhus) 1. december 2019 til den 20. januar 2020.

16.1.2 Tekstilmessen ITMA- Barcelona, 2019



FIGUR 16.3. Advance Nonwovens stand ved tekstilmessen ITMA 2019, i Barcelona

Advance Nonwoven deltog med en større stand ved den store europæiske tekstilmesse ITMA⁴⁷ i Barcelona, juni 2019, der er en af de største internationale begivenheder indenfor tekstiler (figur 16.3).

16.1.3 SLU. Alnarp workshop – Nya möjligheter för svensk Agrofiber⁴⁸

Hampetekstilprojektet er præsenteret med indlæg ved Workshoppens på ALU-Alnarp i Skåne, juni 2018, der har haft fokus på hamp og anvendelse af hamp til bl.a. tekstiler.

16.2 Workshop: Biopolymerer – fremtidens byggesten?

Miljø- og Fødevareministeriet, Vækstfonden og Innovationsnetværket for Bioressourcer (IN-BIOM) inviterede til workshop "Biopolymerer – fremtidens byggesten"⁴⁹, marts 2019, Workshop om bioøkonomipanelets potentielle anbefalinger om biopolymerer" sammen med Det Nationale Bioøkonomipanel. MUDP-projektet deltog aktivt i workshoppen, samt med en roll-up poster og en mindre udstilling med prøver på hamp og hampedesigns fra projektet (figur 16.4).



FIGUR 16.4. Biopolymer workshop og anbefalinger fra Det Nationale Bioøkonomipanel. Projektleder Bodil E. Pallesen sammen med daværende Miljø- og fødevareminister Jakob Ellemann-Jensen.

⁴⁷ [ITMA- Barcelona, Juni 2019](#)

⁴⁸ [Alnarp workshop – Nya möjligheter för svensk Agrofiber](#)

⁴⁹ Workshop om bioøkonomipanelets potentielle anbefalinger om biopolymerer, 26. marts 2019. Kbh.

16.3 Konferencer



FIGUR 16.5. Konference: Bæredygtige hampetekstiler, på VIA University College, 25. februar 2020.

16.3.1 Bæredygtige hampetekstiler

Konferencen Bæredygtige hampetekstiler⁵⁰ blev afholdt på VIA University College i Herning, d. 25. februar 2020, med deltagelse af godt 70 personer. Konferencen var arrangeret af MUDP-projektgruppen i samarbejde med VIA-University College samt Lifestyle and Design Cluster. Resultaterne fra projektet blev præsenteret af projektets partnere (figur 16.5).

16.3.2 EIHA-konferencer, Tyskland

Ved den årlige internationale industrihampekonference i Köln, juni 2018, arrangeret af EIHA (European Industrial Hemp Association) blev projektet præsenteret, under et spor omhandlende hampetekstiler og udviklingen i EU samt globalt. Sweateren blev også fremvist af Bodil Pallesen på EIHA-konferencen.

I 2020 blev EIHA-konferencen afholdt online⁵¹. Her blev projektets resultater præsenteret ved Bodil Pallesen under et spor med fokus på hamp til tekstil, med emnet: Sustainable Hemp Textiles - Approching the whole value chain.

16.3.3 Konference INDUSTRIHAMPA – FRÅN VÄRLDEN TILL SKÅNE

Konference blev afholdt som en fysisk såvel som online konference afholdt i Smedtorp, Skåne⁵² med indlæg fra projektleder Bodil E. Pallesen, og var arrangeret af bl.a. Svensk Hampaindustri.

⁵⁰ <https://www.teknologisk.dk/konference-om-hamp-til-tekstiler/41569>

⁵¹ <https://hempevents.org/events/17th-eiha-hemp-conference/>

⁵² [Konference INDUSTRIHAMPA – FRÅN VÄRLDEN TILL SKÅNE](#)

16.4 Artikler, web-formidling mm

Projektet er endvidere præsenteret ved Åbent- husarrangementer, samt gennem artikler mm, bl.a.:

- På hjemmesiden www.teknologisk.dk er projektet præsenteret under projekter, facebook mm.⁵³
- Projektet har bidraget med flere artikler bl.a. til tidsskriftet Kaskelot, i et temanummer om hamp⁵⁴ med overskrift: Hamp – en super multifunktionel plante⁵⁵.
- På hjemmesiden for Rachel Kollerup er der løbende formidlet om projektet⁵⁶
- Workshops om bæredygtige hampetekstiler
- Copenhagen Fashion Week i august 2019⁵⁷
- Miljøstyrelsens årsrapport 2019.
- På Videnskab.dk – fra hampemarken på Vittenbjerggård, september 2020

⁵³ <https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-koncept-til-produktion-af-baeredygtige-hampetekstiler/39011?cms.query=hamp+tekstil>

⁵⁴ [Kaskelot](#) nr. 231, Temanummer Cannabis.

⁵⁵ Pallesen, B. E., 2020; Hamp – en super multi-funktionel plante. Kaskelot nr. 231, maj 2020

⁵⁶ www.rachelkollerup.dk

⁵⁷ [Copenhagen Fashion Week](#)

17. Perspektivering

Hampeplanten har stærke fibre, som er velegnede til tekstiler, og kan dyrkes uden brug af pesticider. Men i dag produceres næsten al tekstilhamp i Kina med ikke særlig bæredygtige metoder. I projektet "Bæredygtige hampetekstiler" har vi udviklet et koncept, der forsøger at tænke nyt gennem hele værdikæden. Det er lykkedes at udvikle den første høstmetode til at bjerge parallelle hampestængler. Vi har arbejdet med at kontrollere den biologiske rødningproces, der er nødvendig for at kunne frilægge fibre fra skæver, vha. bl.a. enzymer. Fiberkvaliteten er afgørende for at kunne lave høj kvalitetsmetervarer, og vi har kunne vise helt nye metoder til at anvende hampefibre til tøjproduktion. Projektets resultater arbejdes der videre med i projektet Hemp4tex, som skal løse de identificerede udfordringer med at kunne producere dansk hamp til stærke garner og høj kvalitets metervare vha. nye metoder og teknologier.

17.1 FN's 17. verdensmål for en bæredygtig udvikling indenfor tekstilbranchen

Siden opstart af hampetekstilprojektet er der sket en øget bevidsthed om behovet for en bæredygtig udvikling, som også gavner miljøet og ikke mindst har en positiv effekt på klimaet. Derfor er nye innovative løsninger uhyre vigtige for at kunne leve op til de store udfordringer verdenssamfundet står overfor.



FIGUR 17.1. FN's verdensmål.⁵⁸

Et godt eksempel er bl.a. FN's 17 verdensmål for en bæredygtig udvikling, som definerer indsatsområder, der bør sættes på. Projektet adresserer en række udviklingsmål bl.a. nr. 9. Industriel innovation og infrastruktur, nr. 11 Bæredygtige byer og lokalsamfund, nr. 12. Ansvarligt forbrug og produktion samt nr. 13 Klimaindsatsen.

Tendensen er en øget efterspørgsel på produkter, som udnytter ressourcerne, og kan produceres med en cirkulær livscyklus.

17.2 Konklusion og perspektivering

Resultaterne i projektet kan opsummeres således:

Hampeplanten

- Hamp er en velegnet tekstilplante, som kan dyrkes uden brug af pesticider og uden vanding.
- Man skal søge godkendelse som hampeavl til dyrkning af industrihamp til fiberformål ved Landbrugsstyrelsen⁵⁹.
- Hamp skal dyrkes med minimum 60 kg udsæd pr. ha for at opnå slanke og ensartede hampestængler til tekstile formål.
- Hamp til tekstilformål kan i vanlige vækst-år sås fra slutningen af april og første halvdel af maj, og høst kan påbegyndes ca. 100 – 120 dage efter fremspiring, ved ca. 50% blomstring. Man skal huske at orientere Landbrugsstyrelsen, hvis der er søgt hektarstøtte på arealet.
- Det er lykkedes at udvikle et koncept til at høste hampestængler parallelt i 1 meter længde. Vittenbjerggård har i samarbejde med DunAgro opbygget en pilotmaskine, der stod klar til en indledende afprøvning med høst af hamp august 2020. Den første pilotmaskine af sin art og således noget af en milepæl. Der er dog fortsat en del udfordringer, som skal løses, for at metoden kan opskaleres.

Kontrolleret rødning

- Det er lykkedes at udvikle et koncept til en kontrolleret rødning af hampestængler vha. enzymer og hydrothermal behandling på lab-skala niveau, som gør det muligt at adskille fibre fra skæven uden problem.
- Der er ikke en entydig konklusion af vores forsøg, da der er så mange parametre der influerer, og så mange led i undersøgelserne, og arbejdet med udvikling af et alternativt rødningkoncept er ikke færdigt. Det er dog tydeligt at de undersøgte rødningmetoder har en positiv effekt.
- Forskelle som følge af råvarekvalitet, høsttidspunkt og årsvariation er undersøgt.
- Der har været god effekt af rødning med enzymer fra Novozymes bl.a. BioPrep. Procestid mellem 16 – 24 timer har været bedst. Procestabet har været mellem 5 og 8 % for såvel urødnede som rødnede hampestængler. Det største tab var for den urødnede.
- Hamp forbehandlet med mælkesyre, dvs. ensileret hamp havde derimod et stort tørstof-tab ved enzymprocessen, og styrken blev svækket voldsomt. Her er foregået en grad af nedbrydning også af cellulosen,
- Der har ligeledes været tydelig effekt af hydrothermal behandling til frilægning af fibre. Her synes behandling med pH-regulering, enten med opblødning af stængler i tynd eddikesyre forud for behandling eller tilsvarende med NaOH, ligeledes i tynd opløsning at give en positiv effekt mht. frilægning af fiberbundterne.
- Der er konstateret forskelle som følge af råvarekvalitet, høsttidspunkt og årsvariation. Særlig høsttidspunktet har indflydelse på frilægningsgraden og kvaliteten af hampefibre udsat for kontrollerede rødningmetoder.
- Der er opnået et højere overfladeareal ved lidt senere høsttidspunkt, mens diameter ikke ændrede sig særlig meget. Det væsentlige er at anvende tilstrækkeligt med udsæd, så man opnår høje slanke stængler med høj fiberandel.
- Kvaliteten mht. kemiske indholdsstoffer i de behandlede råvarer sammenholdt med graden af rødning er vurderet dels vha. HPLC-analyser dels ved visuel bedømmelse af

⁵⁹ <https://lbst.dk/landbrug/planteavl/industrihamp/#c8729>

strukturelle forandringer og styrkeegenskaber. Forsøgene viser at frilægning af fibre er opnået i nogen grad, og kvaliteten af fibre til brug som tekstil er på højde med cottoniserede hampefibre eller bedre.

Hamp til tekstil

- Der er gennemført forsøg med kartning og spinding af hamperåvare.
- Der er gennemført forsøg med fremstilling af hampemetervarer, såvel vævede som strikkede. Arbejdet med udvikling af nye designs/prototyper er baseret på hampeteks- til både til interiør metervarer samt til beklædning.
- Vi har først i projektperioden substitueret hamp med lignende bast-fibre som fx ramie og hør, for at identificere de udfordringer der er med metervarer af hamp til forskellige typer af anvendelser.
- Der er udviklet prøvedesigns med vævede og strikkede hampetekstiler, Hamp swea- ter, bluser og toppe af jersey (fra hør og ramie), samt hampetop, jakke og bukser af vævet hamp samt skjorte, som har fungeret godt som tøj.
- Der er dog udfordringer mht. hampekvaliteten: garnet er spundet af for korte fibre (det giver ekstra meget floss), garnet er ikke spundet hårdt nok og at metervaren ikke er forbehandlet, herunder pre-vasket.
- Konklusionen fra Kvadrat har dog været at kvaliteten af hampemetervaren ikke er god nok endnu til brug som fx gardiner.
- Der er udviklet nye prototyper af nonwoven hampemåtter til tekstile formål baseret på hampefibre, som ikke kan spindes, og dermed er affald fra hampetekstilprocessen. Nonwoven hampemåtterne er testet som bl.a. frakker, frakkefoer, accessories mm med succes.
- Der er gennemført forsøg med kvalitetsforbedring af hampemetervare med enzymbe- handling af T-shirt (fremstillet af hør i projektet) med Bio-Polishing fra Novozymes på strikkede design, som har givet positive resultater, og fjernede korte fibre, kaldet pil- ling, samt øgede levetiden målt mht. slid samt vask af T-shirts.
- Der er udviklet en prøvekollektion af vævede og ikke vævede hampetekstiler, som er præsenteret bredt til tekstilbranchen og tekstile netværk.

Test og dokumentation

- Der er i projektperioden gennemført en række test og dokumentationer af vævede og ikke vævede tekstilprototyper fra hampefibre, som primært har været fra Europa. Det har været svært at opnå ønskede kvaliteter til brug som møbel- og gardinstoffer.
- Forsøg med fremstilling af metervarer fra tyndere hampegarn viser dog lovende egenskaber, specielt mht. slid- og rivestyrke. Slid egenskaber er generelt gode op til omkring 70.000 Martindale rubs
- Meget høj riv- og trækstyrke generelt 3-4 gange højere end tilsvarende bomulds kva- liteter. Men falder ved efterbehandling
- Tendens til pilling er højere hos hamp end bomuld, men mindskes ved længere tids brug, ulig uld og bomuld, idet de små fibre slides væk. Øget pilling tendens 1-2 noter dårligere end sammenlignelige bomulds kvaliteter
- Dimensionsstabilitet, vask-, gnid- og lysægted er gode og på niveau med tilsva- rende bomulds kvaliteter
- Hamp suger fugt hurtigere, og kan indeholde mere vand end bomuld, og er åndbar og behagelig af have på.

Hamp og bæredygtighed

- Hamp er en bæredygtig afgrøde, som kan dyrkes uden brug af pesticider og vanding, i modsætning til fx bomuld.
- LCA-analyse af hamp er typisk baseret på outdatede teknologier, men miljøanalyse fra Kvadrat i samarbejde med Force Technology viser at hamp klarer sig på linje med uld og bomuld. En analyse fra DTI, også i samarbejde med Force Technology viser tilsvarende også overfor polyester.
- Hampetekstil har en længere levetid, og er dermed mere bæredygtig på den lange bane
- Argumenterne for hampeplanten er mere bæredygtige at producere end fx bomuld er mange:
 - Hamp giver et højt høstudbytte per areal i forhold til bomuld, ca. en faktor 2,5.

- Hamp kan dyrkes uden brug af pesticider også for konventionelle bønder. Den kan let dyrkes økologisk.
- Bomuld regnes for en af de mest pesticidkrævende planter, og står for ca. ¼ af verdens forbrug af pesticider.
- Tekstilhamp kræver en tredjedel eller mindre kvælstof end en kornmark, og kræver tilmed ikke kunstvanding, da hamp kan vokse i kølige klimaer, hvor regnvand er til strækkeligt.
- I seneste år er der også kommet fokus på veganske materialer til tekstilfremstilling. På baggrund af vores erfaringer med hamp som varmeisolerende, er hamp en potentiel erstatning for uld - eller som blandingsmateriale med uld til varme tekstiler.
- Hampefiberens nok allerbedste kort er, at det er muligt at lave garner af meget lange fibre (40 cm) og stærke fibre - til sammenligning er bomuldsfibre fra 1,5 til 6 cm.
- Lange fibre er årsagen til at hamp er så slidstærk. Fiberstyrken giver derfor tøjet lang holdbarhed. Det er bæredygtighed.
- Hele planten kan udnyttes, både frø, blade og den del af stænglerne som ikke er tekstilfibre kan anvendes til en lang række tekniske formål til papir, kompositter, byggematerialer mm, foruden strøelse.

Erhvervsmæssigt potentiale

- Opbygning af hampeindustri i Danmark til tekstile formål har et betydeligt erhvervsmæssigt potentiale, i en branche, der omsætter for mere end 6 Mia EUR, alene i DK.

Udvikling af en ny værdikæde og koncept med hamp til bæredygtige tekstiler er kommet et godt stykke nærmere målet at få etableret en hampetekstilindustri i Danmark baseret på dansk dyrket hamp. I Europa er der også fokus på udfordringen, men det er ikke lykkedes endnu. Det er fortsat fra Kina at hamperåvare til tekstil må importeres, og den rette kvalitet til fine garner er ikke tilgængelig endnu, primo 2021.

Afdækning af de mange led i kæden som skal spille sammen for at det skal lykkes at få etableret en hampetekstilindustri i Danmark er blevet klarlagt i projektet. Projektet har bidraget til en nytænkning af værdikæden med at kunne dyrke og bjerpe hamp i parallelle stængler, som gennem en kontrolleret rødning, der kan opskaleres og nye forarbejdningsprocesser, der kan give høj kvalitets råvare til at spinde lange og tynde hampegarner er kommet et skridt videre. Et stærkt konsortie, der bl.a. bygger på deltagerne i MUDP-projektet fortsætter udviklingsarbejdet i regi af Hemp4Tex⁶⁰ for at komme i mål.

⁶⁰ Hemp4Tex er et Grand Solution projekt 2020-2024, støttet af Innovationsfonden, [Dansk hamp skal udvikles til bæredygtige tekstiler | Innovationsfonden](#)

Bilag 1. Bilag

Bilag 1.1 Uddrag af enzymforsøg med forskellige typer råvare af hamp

		Behandlingsled					Registreringer																			
		Enzymbland ing, Scourzyme L (BioPrep) 59042, % af råvare	Enzymblan ding: Pulpzyme HC, 59015, % af råvare	NaOH til pH 8 i enzymop løsning	17 timer beh	24 timer beh	Råvare, g i flasken	Mgd vand (ioniseret :posteva nd) i liter	Råvare TS % ved start	g TS ved start	pH ved opstart	ml NaOH til justering af pH	vandtem peratur v start	Inkubatio nstd, antal timer	pH efter ca 17 timer	pH efter ca. 24 timer	Vådvægt efter beh. Og vask Råvare	g, efter tørring, beh råvare, incl digle	TS % efter tørring	g TS efter Beh.	Tab ved proces, g v 100% TS	Tab procent	enzymprøver efter proces skal gemmes til HPLC, og fryses, marker med Kryds	Forsøgs nr.	Procestab i procent	Ændring i pH, %
Forsøgs nr.	Råvare type																									
1A, kontrol	1. Tørre grønskættede lange hampestængler, høst 2017	ubeh	ubeh	nej		x	30,23	1	92,124	27,84909	7,31 v. 47,7°		50			6,39 v. 48,2°	111,78	40,11	23,108	25,830	2,019	7%	x	1A	7%	13%
1B	1. Tørre grønskættede lange hampestængler, høst 2017	1	2 nej	x			30,27	1	92,124	27,88593	7,36 v. 48,4°		50		6,57 v. 47,8°		112	40,15	23,34821	26,150	1,736	6%	x	1B	6%	11%
1C	1. Tørre grønskættede lange hampestængler, høst 2017	1	2 nej		x		29,57	1	92,124	27,24107	7,30 v. 48,3°		50			6,20 v. 49,0°	124,79	39,39	20,20995	25,220	2,021	7%	x	1C	7%	15%
1D	1. Tørre grønskættede lange hampestængler, høst 2017	1	2 ja	x			30,23	1	92,124	27,84909	7,55 v. 48,5°	0,15	50		6,48 v. 48,1°		109,15	40,04	23,95786	26,150	1,699	6%	x	1D	6%	14%
1E	grønskættede lange hampestængler, høst 2017	1	2 ja		x		30,42	1	92,124	28,02412	7,58 v. 48,6°	0,15	50			6,26 v. 49,2°	115,19	40,07	22,83184	26,300	1,724	6%	x	1E	6%	17%
2A, kontrol	2. "ensileret hamp", ca. 10 cm lange stykker, høst 2016	ubeh	ubeh	nej		x	29,92	1	86,99	26,02741	7,09 v. 48,1°		50			6,68 v. 48,9°	115,55	31,13	15,01514	17,35	8,677	33%	x	2A	33%	6%
2B	2. "ensileret hamp", ca. 10 cm lange stykker, høst 2016	1	2 nej	x			30,02	1	86,99	26,1144	7,14 v. 47,9°		50		6,90 v. 47,6°		120,41	32,19	15,15655	18,25	7,864	30%	x	2B	30%	3%
2C	2. "ensileret hamp", ca. 10 cm lange stykker, høst 2016	1	2 nej		x		30,23	1	86,99	26,29708	6,96 v. 48,1°		50			6,91 v. 49,1°	92,68	30,04	17,22054	15,96	10,337	39%	x	2C	39%	1%
2D	2. "ensileret hamp", ca. 10 cm lange stykker, høst 2016	1	2 ja	x			30,03	1	86,99	26,1231	6,93 v. 47,8°	0,15	50		6,80 v. 47,3°		114,8	32,52	16,01916	18,39	7,733	30%	x	2D	30%	2%
2E	2. "ensileret hamp", ca. 10 cm lange stykker, høst 2016	1	2 ja		x		30,16	1	86,99	26,23618	6,84 v. 47,7°	0,15	50			6,77 v. 48,9°	91,11	30,48	18,07705	16,47	9,766	37%	x	2E	37%	1%
3A, kontrol	3a. Høstede hampestængler, apr. 2017, skættet	ubeh	ubeh	nej		x	30,16	1	94,063	28,3694	7,05 v. 47,7°		50			6,54 v. 48,3°	104,77	40,72	25,79937	27,03	1,339	5%	x	3A	5%	7%
3B	3a. Høstede hampestængler, apr. 2017, skættet	1	2 nej	x			30,03	1	94,063	28,24712	7,03 v. 48,1°		50		6,20 v. 48,0°		125,76	40,53	21,27863	26,76	1,487	5%	x	3B	5%	12%
3C	3a. Høstede hampestængler, apr. 2017, skættet	1	2 nej		x		30,05	1	94,063	28,26593	7,03 v. 47,9°		50			6,27 v. 48,1°	114,43	40,62	23,41169	26,79	1,476	5%	x	3C	5%	11%
3D	3a. Høstede hampestængler, apr. 2017, skættet	1	2 ja	x			30,3	1	94,063	28,50109	7,16 v. 48,3°	0,15	50		6,27 v. 47,9°		135,89	40,51	19,52314	26,53	1,971	7%	x	3D	7%	12%
3E	3a. Høstede hampestængler, apr. 2017, skættet	1	2 ja		x		30,09	1	94,063	28,30356	7,14 v. 47,6°	0,15	50			6,29 v. 47,8°	107,69	40,31	24,59838	26,49	1,814	6%	x	3E	6%	12%
4C	Kina hamp	1	2 nej		x		30,37	1	89,428	27,15928	7,28 v. 48,5°		50			5,94 v. 47,8°	92,45	37,54	25,65711	23,72	3,439	13%	x	4C	13%	18%

Bilag 1.2 Overblik over test og dokumentationsprocedurer fra råvare til færdig metervare

Trial Plan								
Cultivation and Retting								
Parameter	Hemp types	Retting						
Variations		Water retting Enzyme retting						
Test method	Make retting and fiber separation trials and test fiber properties after ocular inspection	Make fiber separation trials and test fiber properties after ocular inspection						
Fiber separation								
Parameter	Separation method							
Variations	Scutching Crushing roller Brush roller							
Test method	Try the different methods, and then test the fiber properties after ocular inspection							
Fiber properties								
Parameter	DP	Length						
Variations	N/A	N/A						
Test method	Size Exclusion Chromatography (SEC)?	ISO 6989:1981 Determination of length and length distribution of staple fibres (by measurement of single fibres)?						
Yarn spinning								
Parameter	Spinning methods	Softeners	Yarn counts	Material mixes				
Variations			18/2 nm 12/2 nm ?	Hemp/wool Hemp/cotton other?				
Test method	N/A	N/A	N/A	N/A				
Yarn properties								
Parameter	Elongation	Tenacity						
Variations	N/A	N/A						
Test method	ISO 2062:2009 Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester -?	ISO 2062:2009 Determination of single-end breaking force and elongation at break using CRE tester- ?						
Weave & Knit								
Parameter	Weave Constructions	Knit constructions						
Variations	Plain weave Panama other?	Single jersey- circular or flat bed knitting? Double jersey- circular or flat bed knitting? other?						
Test method	N/A	N/A						
Dye and Finsishing								
Parameter	Dyestuff	Bleach	Softener					
Variations								
Test method	Ocular inspection as well as tests under "Fabric properties"	Ocular inspection as well as tests under "Fabric properties"	Manual inspection as well as tests under "Fabric properties"					
Fabric properties: Interior fabric								
Parameter	Abrasion resistance	Pilling resistance	Color fastness to light	Color fastness to rubbing wet/dry	Shrinkage	Seam slippage	Fire resistance	
Variations	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Test method	EN ISO 12 947-2	EN ISO 12 945	ISO 105 B02	ISO 105-X12	Laundry at 40-60 °C	ISO 13936-2	EN 1021 1-2 BS 5852	
Fabric properties: Clothing fabric								
Parameter	Laundry	Ironing	Sewability					
Variations	N/A	N/A	N/A					
Test method	Laundry at XX °C	Ironing at XX temperature						

Bæredygtige hampetekstiler

Udvikling af en ny værdikæde og koncept med hamp til bæredygtige tekstiler er kommet et godt stykke nærmere målet at få etableret en hampetekstilindustri i Danmark baseret på dansk dyrket hamp. I Europa er der også fokus på udfordringen, men det er ikke lykkedes endnu. Det er fortsat fra Kina at hamperåvare til tekstil må importeres, og den rette kvalitet til fine garner er ikke tilgængelig endnu, primo 2021.

Afdækning af de mange led i kæden som skal spille sammen for at det skal lykkes at få etableret en hampetekstilindustri i Danmark er blevet klarlagt i projektet. Projektet har bidraget til en nytænkning af værdikæden med at kunne dyrke og bjerge hamp i parallelle stængler, som gennem en kontrolleret rødning, der kan opskaleres og nye forarbejdningsprocesser, der kan give høj kvalitets råvare, og dermed bringe målet at spinde lange og tynde hampegarner et vigtigt skridt videre.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk