



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Hemp4Tex

Enzymforsøg i laboratorieskala

29. sep 2025

Nicolaj Ma



Overblik over hydrothermal (HT) skætning forsøg

- HT behandling med vand / eddikesyre (xylan, pektin)
- Behandling med NaOH (pektin, voks, ligninfjernelse)
- Enzymbehandling (pektinfjernelse)

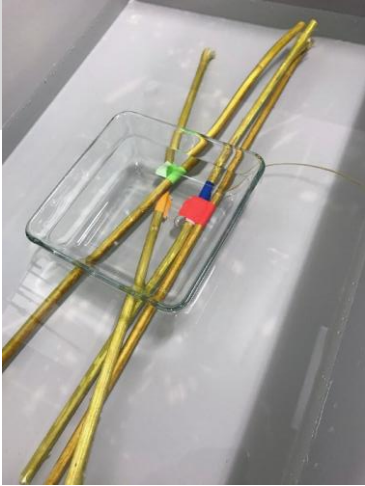
Evalueringsformer

- Fiberløsning og karakter (1-5)
- Hegling og mikroskopiering
- Trækstyrke





121° C med vand / 2% eddikesyre



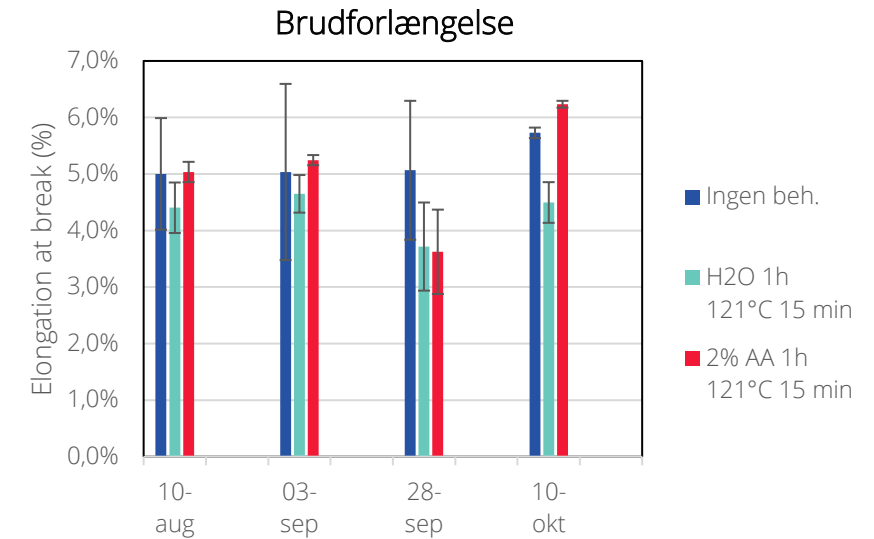
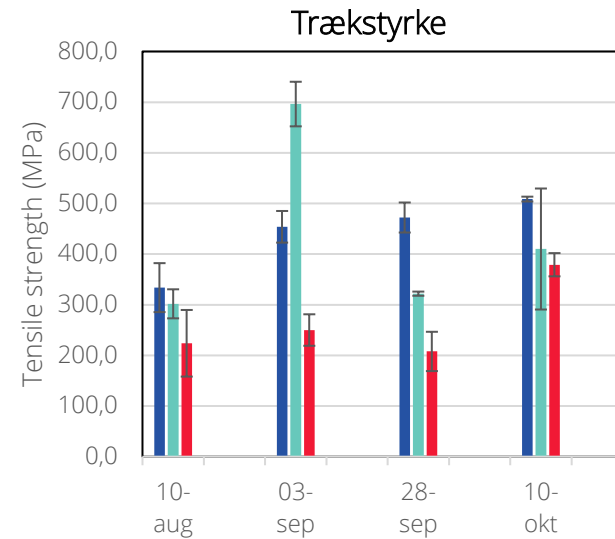
1 times oplødnng i enten
vand eller 2% Eddikesyre



15 min ved 121 °C

Høstdato	Høsttid 1	Høsttid 2	Høsttid 3	Høsttid 4
	10 aug 2020	03 sep 2020	28 sep 2020	10 okt 2020
Ubehandlet	1	3	3	2
1h H ₂ O, 15 min 121 °C	2	3	3	2
1h 2% AA, 15 min 121 °C	2	4	3	2

Karakter for løsningsgraden (1-5), hvor naturlig rødning efter 3/9 er bedst. 2% AA hjalp med løsning af fibre



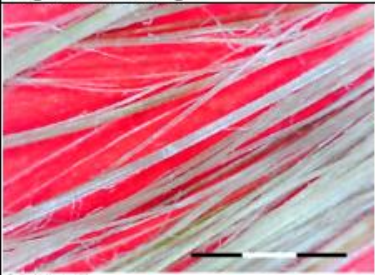
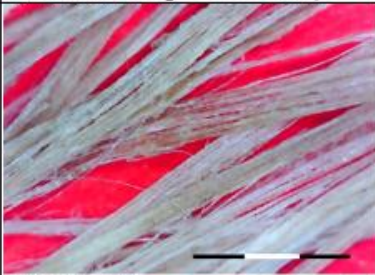
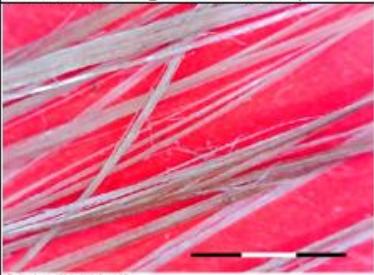
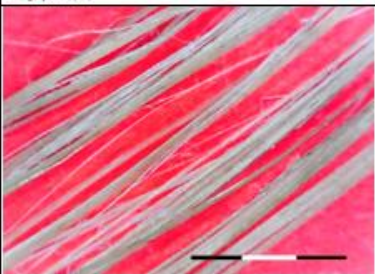
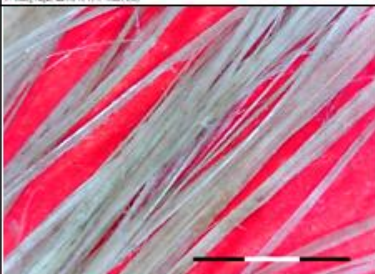
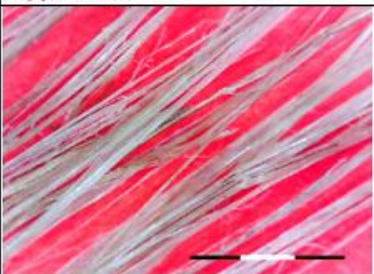
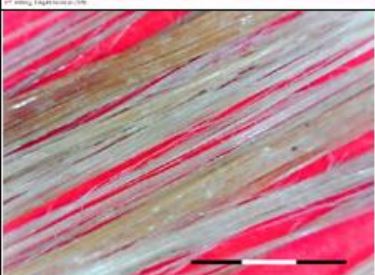
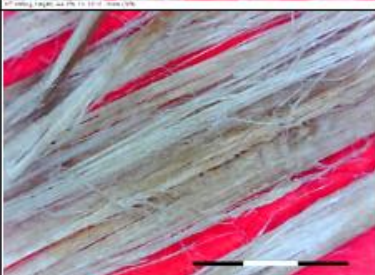
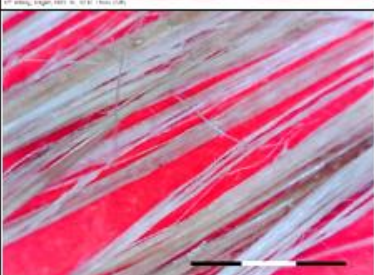
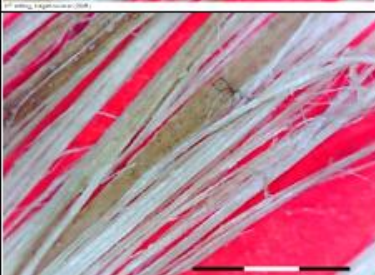
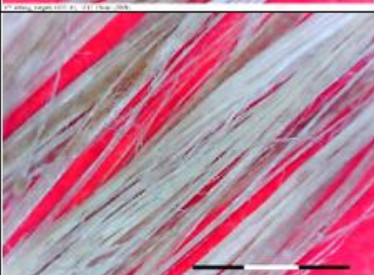
Trækstyrke (venstre) indikerer svækkede fibre efter behandling, muligvis pga. pektin der hjælper med løsning af enkelte fibre. Eddikesyrebehandlede vedligeholdt mere smidighed (højre). (n=5)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

121° C med vand / 2% eddikesyre



	Ingen behandling	H2O udblødning + 121 °C damp	AA udblødning + 121 °C damp
10/8			
3/9			
28/9			
10/10			

Målestok = 3 mm



95°C behandling med NaOH og eddikesyre



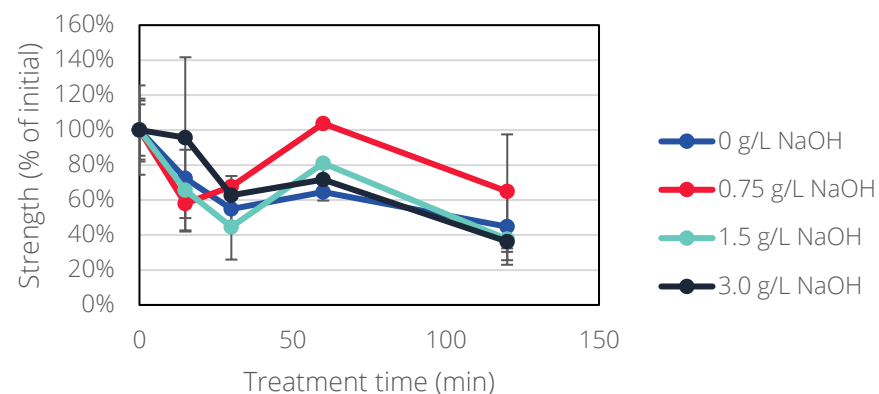
95 °C vandbad med NaOH / 2% eddikesyre

	Høsttid 1 Pilning (Høst 10-08-2020)					Høsttid 2 Pilning (Høst 03-09-2020)				
	Efter 0 min	Efter 15 min	Efter 30 min	Efter 60 min	Efter 120 min	Efter 0 min	Efter 15 min	Efter 30 min	Efter 60 min	Efter 120 min
Kontrol	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4
0.75 g/l NaOH	1	1	1	1.5	2	3	3	4	3	4
1.5 g/l NaOH	1	1	1	2.5	3	3	3	4	4	4
3 g/L NaOH	1	2	1	2	3.5	3	4	4	4	4
2% eddikesyre	1	1.5	1	1	2	3	4	4	4	4

Karakter for løsningsgraden. Høsttid 2 var mere rødnet og så større effekt af behandlingen. 3.0 g/L og 2% eddikesyre gav højst effekt efter 15 min.



Udfældning af lignin ved Koncentration af NaOH
0, 0.75, 1.5, 3 g/L

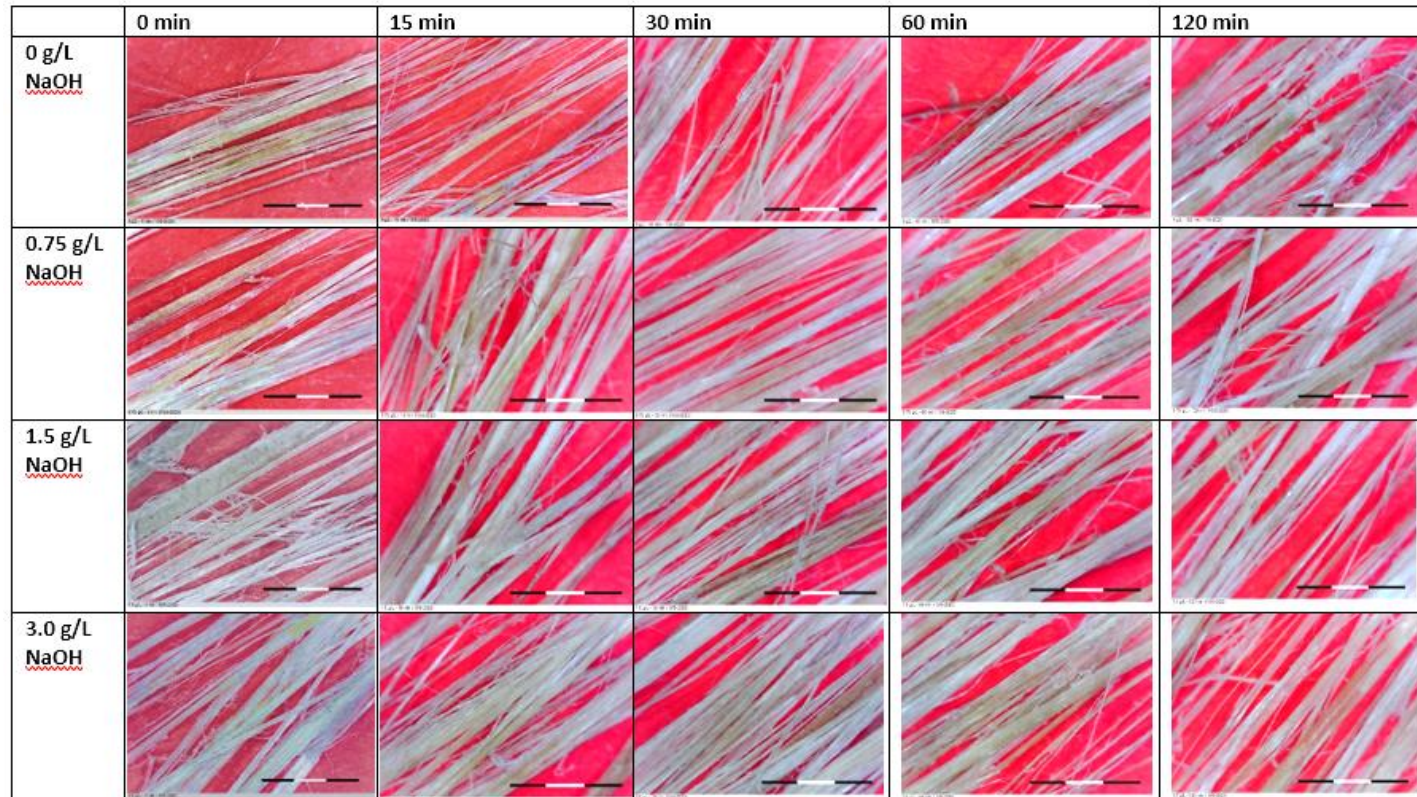


Relativ styrke af høsttid 1 efter 95 °C behandling



Mikroskopi af hegledede fibre

Mikroskopi af hegledede fibre fra 10/8 høst med forskellige NaOH koncentrationer og behandlingstider ved 95 °C. Hver sort/hvid bar tilsvare 1 mm.





50°C enzymbehandling efter 121°C behandling



1% Bioprep + 2% Pulpzyme HC (af biomassevægt) og 50 °C inkubering i 2 timer



	Høsttid 1			Høsttid 2			Høsttid 3			Høsttid 4		
	10/08-2020			03/09-2020			28/09-2020			10/10-2020		
	Efter HT	Efter 1h	Efter 2h	Efter HT	Efter 1h	Efter 2h	Efter HT	Efter 1h	Efter 2h	Efter HT	Efter 1h	Efter 2h
Kontrol		2	2		3	3.5		3	3		2	2
H ₂ O	2	2	2	3	3	4	3	3.5	4	2	2	2
2% AA	2	2	2	4	4	4	3	3	3.25	2	2	2

Karakter for løsningsgraden. Efter HT er styrken efter 121 °C behandling og før enzymbehandling.

Høsttidspunkt havde størst indflydelse, men efter 2 timer var der en svag effekt på 121 °C behandlede stængler med H₂O.



Konklusioner

- Naturlig rødning er vigtigere faktor for processen end temperaturen. Kun marginale forskelle mellem 121 °C og 95 °C efter 15 min
- Enzymbehandling efter 121 °C behandling har svag effekt men skal testes i længere tid
- Tilsætning af eddikesyre eller NaOH og længere tids varmebehandling ved 95 °C påvirker strækstyrken negativt.

Videre forløb

Enzymbehandling ved 50 °C

- 1% Bioprep + 2% Pulpzyme HC (af biomassevægt) skal udføres op til 16 timer
- Mikroskopi og styrketest 95° C behandling med 2% eddikesyre



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Hemp4Tex

Enzymforsøg i laboratorieskala

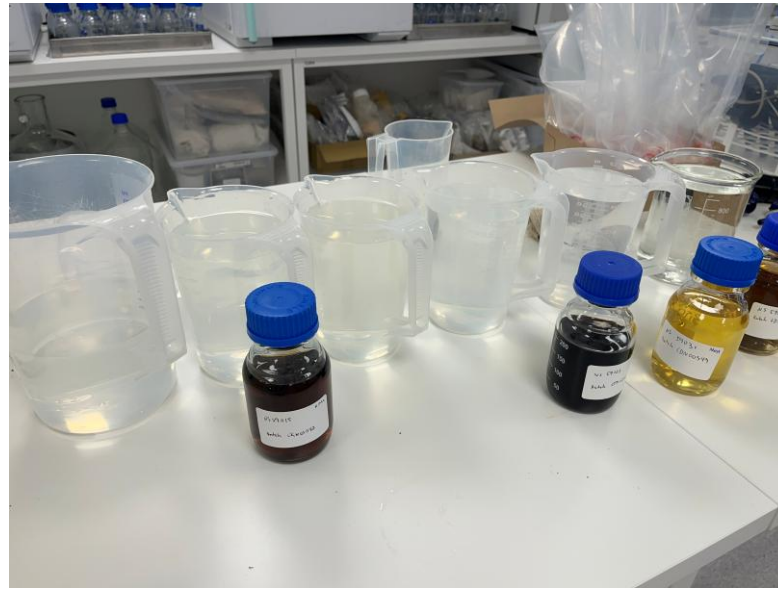
29. jan 2024

Nicolaj Ma





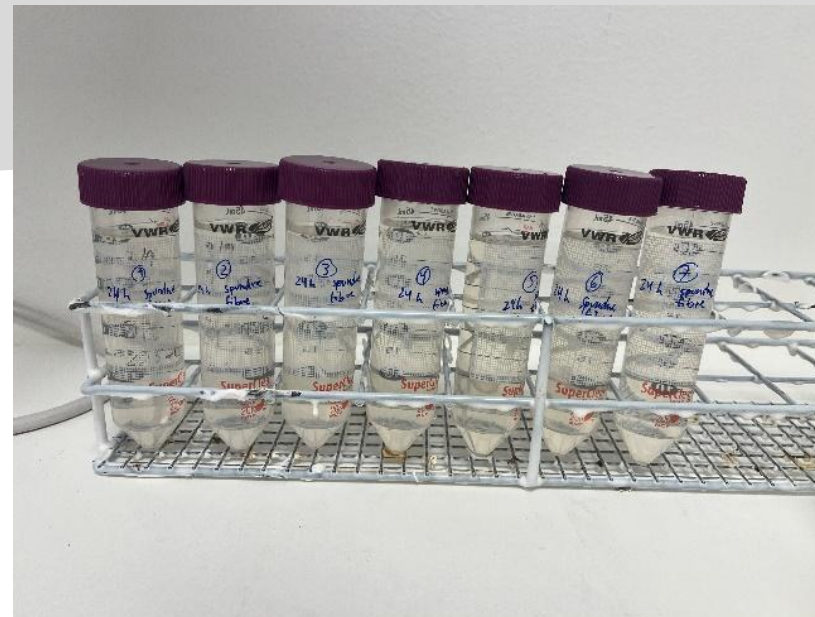
Formål: Test af Novozymes enzymer på mindre rødnet 2022 høst



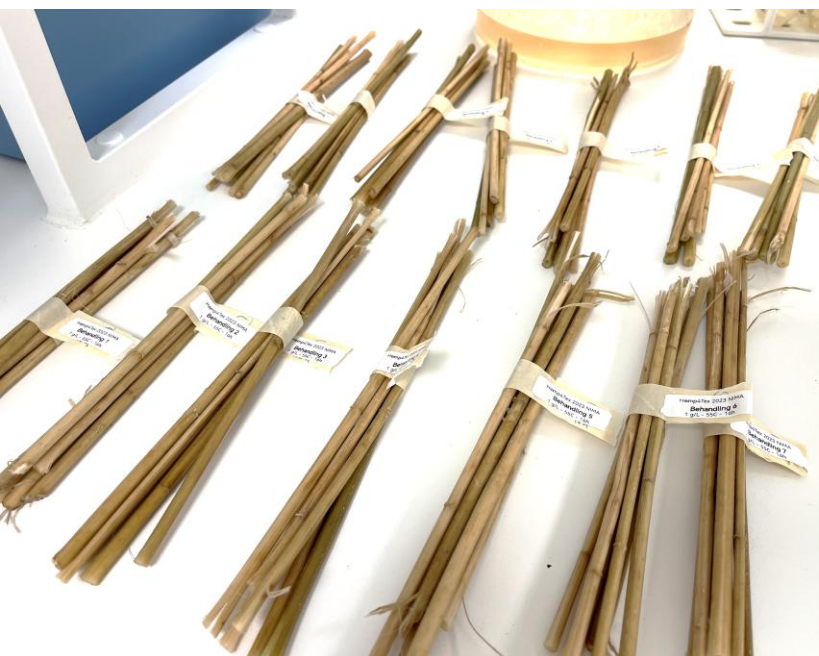
Opløsning af enzymer, tilsætning af enzymblanding og svejsning af poser.



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Hampestængler enzymbehandles i vandbad ved 55 °C. Vaskevandet blev gemt til senere analyse.



Hampestænglerne inden tørring ved 50 °C med konvektion evalueret sensorisk ved at karakterisere løsningsgraden på skala 1-5.



Resultater

	Enzym	1. Bioprep / pulpzyme	2. NS59015	3. NS59023	4. NS59031	5. NS59042	6. NS59149	7. kontrol vand
0 timer	pH	7.961	5.352	5.39	6.018	5.563	6.331	7
	Pilning (1-5)	2						
	Styrkevurdering (1-5)	4-5						
8 timer								
	Pilning (1-5)	3	2.5	2.5	2.5	2	3.5	2.5
16 timer								
	Pilning (1-5)	3.5	3.5	3	2.5	3	3.5	3.5
24 timer								
	Pilning (1-5)	4	4	3	2.5	2.5	3.5	3



Konklusion

- 6 enzymer + kontrol testet, heraf den sædvanlige Bioprep/pulpzyme
- Pilningsgrad i våd tilstand var ikke meget bedre i nye enzymer. NS59015 var muligvis på samme niveau.
- Overleveret dec. 2023
- Blev videre testet i 2024 (Helle fra DTI)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Enzymforsøg med Bioprep+ Pulpzyme- fortsætter

- 1) Pilot, 16 grams fiberprøver, behandlingstider: 2, 4, 8, 16, 24, 28 timer (vist ved sidste møde)
- 2) 500 g fibre, behandlingstid 22 timer til forskellig efterbehandling, øget enzymkoncentration
- 3) 10 fiberprøver (25 g) hvor 5 er enzymbehandlet og 5 er vandbehandlet, behandlingstid 24 timer





Enzymbehandling af spundne fibre

- Der blev desuden i efteråret forsøgt med spundne fibre (spundet 2023 af VIA).
- Forsøg med strikningen har vist at den ubehandlede fiber giver problemer med den konventionel strikproces som benytter udstyr til cellulosegarn.
- Ved at bruge 1% Bioprep/2% Pulpzyme kunne strikprocessen anvendes på det spundne hampegarn uden problemer med knæk af fibre.





Enzymbehandling af spundne fibre

- Der blev ydermere testet samme enzym forhold og temperatur (1% Bioprep/2% Pulpzyme, 3% NS59015, 3% NS59023, 3% NS59031, 3% NS59042, 3% NS59149 og vand) som behandling af fibrene fra 2022. Disse blev overleveret til evaluering af styrke, og egnethed til strik med evaluering i 2024.





Udvaskning af enzym



Tørring af enzymbehandlet hampegarn på garnnøgler



Konklusion

- Enzymhydrolyse på spundne fibre på trådruller
- Spunde fibre overleveret til VIA for styrketest og vævning
- Udformningen af trådruller var vigtig for enzymhydrolyse og anvendelse