



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Miljøvenlig træpleje

MUDP Rapport

Juni 2021

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Morten Bormann Nielsen, Teknologisk Institut

Peter Rosborg, Teknologisk Institut

Grafiker/bureau:

Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-7038-325-7

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	4
2.	Sammenfatning og konklusion	5
3.	Introduktion	7
3.1	Baggrund for projektet	7
3.2	Fiberrejsning	7
3.3	Fiberrejsning – Hvorfor egetræ er særligt udsat	8
3.4	Miljøgevinsten ved vandbaserede produkter	10
4.	Metoder	12
4.1	Måling af fiberrejsning	12
4.2	Øvrige karakteriseringsmetoder	14
5.	Produktudvikling i projektet	16
5.1	Kravsspecifikationer for nye vandbaserede produkter	16
5.1.1	Vandige industrilakker	16
5.1.2	Vandige industriolier	16
5.2	Produktudvikling i første halvdel af projektet	17
5.3	Design of Experiments som værktøj til produktudvikling	18
5.4	Miljø- og sundhedsvurderinger	20
5.4.1	Vurdering af eksisterende primerprodukt	22
5.4.2	Vurdering af eksisterende olieprodukt	24
6.	Udvikling af nye vandbaserede produkter	26
6.1	Vandbaseret primer	26
6.1.1	Screening af mulige af ingredienser	26
6.1.2	Valg af bedste kompromis mellem ingredienser	33
6.1.3	Identifikation og vurdering af endelig primerformulering	36
6.1.4	Konklusion – Nyudviklet primer	39
6.2	Vandbaseret olie	39
6.2.1	Screening af mulige af ingredienser	40
6.2.2	Frasortering af mulige ingredienser til olien	45
6.2.3	Test af alternativt sikkativsystem	47
6.2.4	Konklusion – Vandbaseret olie	48
7.	Konklusion	50
8.	Referencer	51
	Bilag 1. Kravsspecifikationer	52
Bilag 1.1	Kravspecifikation - Vandige industriolier	52
Bilag 1.2	Kravspecifikation - Vandige industrilakker	52

1. Forord

Dette er slutrapporten for projektet "Miljøvenlig træpleje" under Miljøstyrelsens tilskudsordning MUDP 2018. Projektet er udført i perioden januar 2019 til december 2020. I projektet deltog WOCA Denmark A/S og Teknologisk Institut.

Rapport kan bruges som inspiration for andre virksomheder, der ønsker at udfase skadelig kemi fra deres produkter.

Projektets overordnede formål var at udvikle vandbaserede produkter til overfladebehandling af træmøbler som alternativ til produkter baseret på organiske opløsningsmidler. Udfordringen ved vandbaserede produkter til overfladebehandling er, at de ofte forårsager fiberrejsning i træet.

Det er i dette projekt lykkedes at udvikle nye vandbaserede produkter til overfladebehandling af møbler, som beviseligt medfører lavere fiberrejsning end andre vandbaserede produkter. Denne egenskab er unik i markedet og gør de nye produkter til konkurrencedygtige alternativer til eksisterende produkter baseret på organiske opløsningsmidler, idet deres performance ligger tættere på solventbaserede produkters, samtidig med at de har en markant bedre miljø- og sundhedsprofil.

Igennem projektet har WOCA Denmark A/S gennem sparring med Miljøstyrelsen ændret sine interne processer, hvad angår tilgangen til miljø- og sundhedsvurderinger. Desuden har WOCA Denmark A/S digitaliseret dele af produktudviklingen ved hjælp af det statistiske værktøj Design of Experiments.

Endvidere er der i projektet blevet udviklet en ny metode til kvantitativ måling af fiberrejsning, som vil kunne udbredes til andre virksomheder, som vil blive mødt med lignende udfordringer ved skifte fra solvent- til vandbaserede produkter til træbehandling.

Projektets styregruppe bestod af:

- Lars H. Jepsen, projektleder, Teknologisk Institut
- Jørgen M. Jørgensen, projektejer, WOCA Denmark A/S.

Øvrige aktive projektdeltagere:

- Lars K. Larsen, WOCA Denmark A/S
- Stefanie Hinrichs, WOCA Denmark A/S
- Anders Lund Hjuler, WOCA Denmark A/S
- Helle Sys Jensen, WOCA Denmark A/S
- Verner Koldsø, tidligere ansat WOCA Denmark A/S
- Morten Bormann Nielsen, Teknologisk Institut
- Peter Rosborg, Teknologisk Institut
- Jeanette Schjøth-Eskesen, tidligere ansat ved Teknologisk Institut

2. Sammenfatning og konklusion

Igennem de sidste mange år har der været stort fokus på at udfase anvendelsen af miljø- og sundhedsskadelige stoffer i produkter. Organiske opløsningsmidler anvendes dog stadig i stor udstrækning i produkter til overfladebehandling af træ, da de sikrer en god teknisk performance. Flere af disse stoffer er CMR-stoffer, dvs. stoffer, der kan fremkalde kræft, skade arveanlæggene eller skade fosteret og/eller menneskets frugtbarhed, og udgør derfor en betydelig risiko for både miljøet og for de personer, som anvender produkterne.

Formålet med nærværende projekt er derfor at erstatte brugen af organiske opløsningsmidler med miljø- og sundhedsvenlige alternativer i produkter til overfladebehandling af møbler i industrien og til privat brug. For at sikre en langtidsholdbar løsning vil WOCA Denmark A/S ikke blot anvende andre organiske opløsningsmidler, men tage springet hele vejen til et nyt vandbaseret system. Et sådant skifte giver dog nogle grundlæggende tekniske udfordringer, som skal håndteres:

1. Fiberrejsning på træet
2. Reduceret indtrængning i træet for olier
3. Øget tørretid af produkterne.

Miljø- og sundhedsvurderinger er udført på to 'niveauer' i projektet: En indledende vurdering og en dyberegående vurdering. Den indledende vurdering fokuserer på CLP-mærkning og tilhørende faresætninger for de givne råvarer og har til formål at frasortere uhensigtsmæssige råvarer tidligt i produktudviklingen. Den indledende vurdering skeler dog ikke til, hvor meget af den givne råvare et produkt rent faktisk indeholder.

Den dyberegående vurdering foregår ved indhentning af CAS-numre og indholdsmængder på alle indholdsstoffer (fra leverandøren) for hver ingrediens i et nyt potentielt produkt. Herefter undersøges det, hvilke af disse stoffer der optræder på en eller flere af følgende lister: Kandidatlisten, Restriktionslisten, SIN-listen, CoRAP-listen, TEDX-listen og Miljøstyrelsens vejledende liste til selvklassificering.

Afhængig af på hvilke(n) af ovenstående liste(r) en råvare optræder, vil der være forskellige krav for brugen af det pågældende stof. WOCA Denmark A/S ønsker, at nye produkter skal have så lavt et indhold som muligt af stoffer, der optræder på kandidat-, restriktions-, SIN- og/eller TEDX-listen, og at råvarer af denne type skal udfases, så snart der kan identificeres alternativer. Tilsvarende gælder også for stoffer på Miljøstyrelsens vejledende liste til selvklassificering, hvor der inden for klassificeringerne ses mest alvorligt på akut toksisk virkning, kræftfremkaldende virkning, reproduktionsskadende virkning og skadevirkning på arveanlæggene efterfulgt af allergifremkaldende effekt ved hudkontakt, farlighed for vandmiljøet og slutteligt hudirriterende effekt.

For stoffer, der optræder på CoRAP-listen, afhænger kravene af dets anvendelse, hvilke betænkninger der har givet anledning til stoffets placering på listen. Alt andet lige vil der være større risiko forbundet med at basere nye produkter på stoffer, der optræder på listen, end på stoffer, der ikke gør.

Produktudvikling hos WOCA Denmark A/S er tidligere foregået på samme traditionelle måde som i resten af branchen. Processen starter typisk med udarbejdelse af kravsspecifikationer, hvorefter der identificeres lovende strategier til at imødekomme disse produktkrav.

I løbet af projektets første år blev ti af disse faktorer testet i et større eller mindre omfang for at undersøge deres effekt på fiberrejsningen. Fælles for undersøgelserne var, at hver faktor blev undersøgt én faktor ad gangen (OFAT, One Factor At a Time) i små forsøgsserier.

At teste én faktor ad gangen er en velkendt og simpel metode, som er brugbar, når der kun skal undersøges få faktoreres indvirkning på én parameter såsom fiberrejsning, men metoden er ofte ikke brugbar, når effekten fra flere faktorer skal undersøges på forskellige parametre. Desuden skal der med en tilgang, der kun undersøgte én faktor ad gangen, udføres rigtig mange test, inden øvrige performanceparametre (som tørretid, vedhæftning og befugtning) kan inddrages i undersøgelserne. Konkret havde denne problematik den konsekvens, at den mest lovende primer (målt på fiberrejsning) i november 2019 måtte kasseres, da man indså, at denne var langt over et døgn om at tørre – hvilket er langt fra kravsspecifikationen på 3 timer.

Som reaktion på frustrationen over at måtte 'starte forfra' efter at have udført forsøg med over 150 forskellige behandlinger blev det i projektgruppen besluttet at forsøge sig med en anden tilgang til produktudviklingen, nemlig Design of Experiments (DOE). Når der benyttes DOE til produktudvikling foregår det ved en systematisk serie af tests, hvor man med nøje styrede ændringer i inputfaktorer identificerer årsagen til signifikante ændringer i responsparametre (fx tørretid, fiberrejsning og befugtning). Disse sammenhænge kortlægges parallelt for alle de produkt egenskaber, der er essentielle, med det formål at spare ressourcer hen over det samlede udviklingsforløb.

En central del af DOE er forskellige statistiske værktøjer, der kan estimere det laveste antal eksperimenter, der skal til for at identificere de vigtigste faktorer, som påvirker et produkts performance. På denne måde kan man fx identificere den bedste kombination af potentielle råvarer med langt færre eksperimenter, end hvis faktorerne skulle undersøges én ad gangen.

Design of Experiments blev indført i foråret 2020, hvor fokus blev lagt på udviklingen af en ny primer (det nederste lag i en lakopbygning). DOE gjorde det muligt at identificere den bedste råvarekombination blandt 320 mulige sammensætninger med blot 30 forsøg hen over april og maj 2020. Herefter blev de to bedste kandidater valideret i løbet af juli og starten af august, hvorefter den endelige sammensætning kunne fastlægges i slutningen af august 2020. DOE gjorde det således muligt at nå fra start til slut i produktudviklingen af primeren på blot fem måneder, i modsætning til den 'traditionelle' tilgang, der efter projektets første år ikke havde medført et brugbart resultat.

Der er i dette projekt udviklet nye vandbaserede produkter til overfladebehandling af møbler, som beviseligt medfører lavere fiberrejsning end andre vandbaserede produkter. Denne egenskab er unik i markedet og gør de nye produkter til konkurrencedygtige alternativer til eksisterende produkter baseret på organiske opløsningsmidler, idet deres performance ligger tættere på solventbaserede løsningers performance, samtidig med at de har en markant bedre miljø- og sundhedsprofil.

Efter færdiggørelsen af primeren blev fokus i september 2020 vendt mod formulering af et nyt vandbaseret olieprodukt, igen med DOE som værktøj til at styre produktudviklingen. Dette produkt er ved projektets afslutning godt undervejs, men ikke færdig formuleret.

Der er endvidere i projektet udviklet en ny metode til kvantitativ måling af fiberrejsning, som vil kunne udbredes til andre virksomheder, som kan imødesee lignende udfordringer i skiftet fra solvent- til vandbaserede produkter inden for træbehandling.

3. Introduktion

3.1 Baggrund for projektet

Igennem de sidste mange år har der været vedholdende fokus på at udfase anvendelsen af miljø- og sundhedsskadelige stoffer i produkter. Organiske opløsningsmidler anvendes dog stadig i stort omfang i produkter til overfladebehandling af træ, fordi de sikrer en god teknisk performance. Flere af disse organiske opløsningsmidler er CMR-stoffer, dvs. stoffer der kan fremkalde kræft, skade arveanlæg eller skade fosteret og/eller menneskets frugtbarhed, og de udgør derfor en betydelig risiko for både miljøet og for de personer, som anvender produkterne.

Formålet med nærværende projekt er derfor at erstatte brugen af de organiske opløsningsmidler nafta (mineralsk terpentiner) og xylen med miljø- og sundhedsvenlige alternativer i produkter til overfladebehandling af møbler i industrien og til privat brug. Nafta er et CMR-stof, mens xylen er akut giftigt ved hudkontakt/indånding og kan være livsfarligt, hvis det indtages og kommer i luftvejene.

For at sikre en langtidsholdbar løsning vil WOCA Denmark A/S (herefter WOCA) ikke blot anvende andre organiske opløsningsmidler, men tage springet hele vejen til et nyt vandbaseret system. Et sådant skifte giver dog nogle grundlæggende tekniske udfordringer, som skal håndteres:

- Fiberrejsning på træet
- Reduceret indtrængning i træet for olier
- Længere tørretid af produkterne.

Målet med dette projekt har været at udvikle en vandbaseret produktserie bestående af primer, sealer, olie og lak til overfladebehandling af møbler, hvor de tekniske udfordringer er løst, så produkterne får en performance, som gør produktserien til et konkurrencedygtigt alternativ til eksisterende produkter baseret på organiske opløsningsmidler.

Dette blev realiseret ved at anvende en systematisk tilgang til formulering af de individuelle produkter og ved at udvikle en hel produktserie samtidig for at reducere fiberrejsningen. Til dette formål blev både nye og tidligere anvendte ingredienser i produkterne undersøgt systematisk og kvantitativt for deres effekt på fiberrejsning, indtrængningsevne og tørretid.

3.2 Fiberrejsning

Den store udfordring ved at skifte til vandbaserede produkter er, at de giver anledning til fiberrejsning efter påførsel. Dette fænomen fremgår af FIGUR 1, som viser to stykker egetræsparquetgulv, hvoraf det ene er ubehandlet og det andet er penslet med rent vand. De mange fibre, der har rejst sig, gør overfladen meget ru, og da forbrugerne ønsker bløde og glatte møbler/gulve, skal fibrene derfor slibes af overfladen inden ibrugtagning. Denne efterbehandling er let at automatisere for plane overflader (såsom gulve), men for træmøbler kræver de mange buede overflader manuel slibning, hvilket er omkostningstungt for producenterne.



FIGUR 1. Overfladen af et ubehandlet parketgulv i egetræ før (til venstre) og efter (til højre) påvirkning med vand. Bemærk til højre de mange små fibre, der har rejst sig fra overfladen.

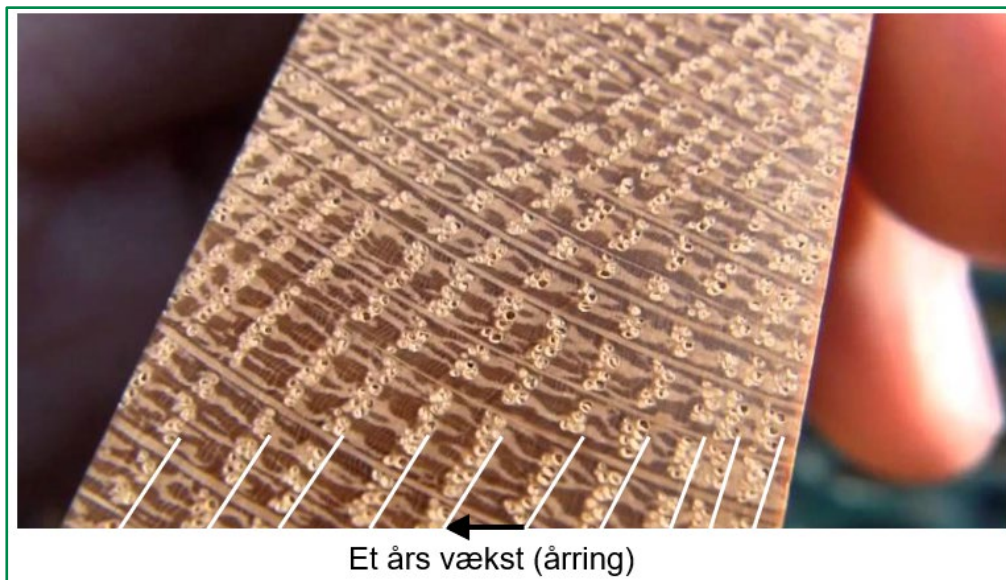
Årsagen til fiberrejsning findes i træets cellestruktur, som kan sammenlignes med meget lange sugerør, der sidder tæt sammen i bundter. Når træoverfladen bearbejdes med fx sav, høvl eller sandpapir, skæres disse rør (cellerne) over, hvilket efterlader små rester og bundter af cellévægge, der sidder mere eller mindre godt fast på overfladen. Disse fragmenter kan opsuge vand, hvilket medfører, at de krøller, når de bliver fugtige, hvorved overfladen kommer til både at ses og føles 'ulden'. Træets naturlige porestruktur kan forværre problemet, hvilket også er relevant i denne kontekst og derfor uddybes i det følgende afsnit. Da produkter baseret på organiske opløsningsmidler per definition ikke indeholder vand, løftes fibrene i overfladen ikke, når produkterne påføres. Dette projekt går derfor ud på at tackle udfordringen med fiberrejsning, således at vandbaserede produkter kan anvendes som alternativ til produkter baseret på organiske opløsningsmidler, særligt til fremstilling af møbler i træ.

Projektgruppen har ikke kendskab til eventuelle kommercielle produkter på markedet, som beviseligt har lavere fiberrejsning. Det vil derfor give WOCA unikke eksportmuligheder, hvis det lykkes at udvikle vandbaserede produkter uden fiberrejsning

3.3 Fiberrejsning – Hvorfor egetræ er særligt udsat

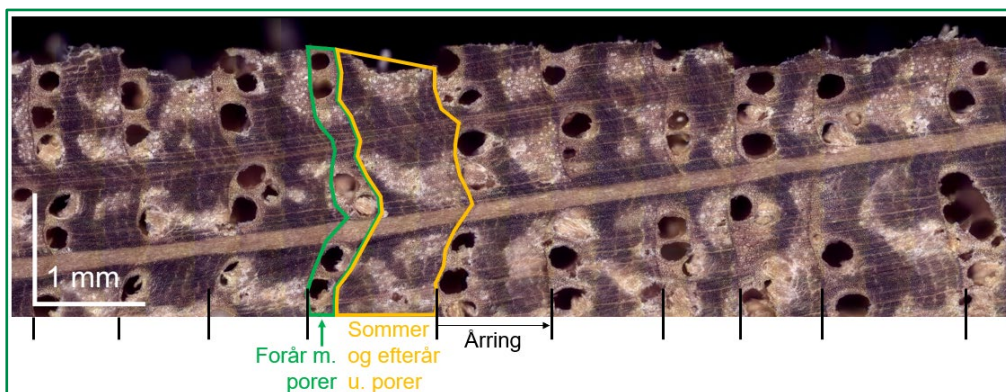
En stor del af moderne gulv- og møbelproduktion foretages i egetræ, da egetræ både er slidstærkt og smukt med dets tydelige åretegninger. Det er imidlertid alment kendt inden for branchen, at fiberrejsning er særlig udtalt på egetræ, når træet påvirkes af vand.

FIGUR 2 viser et tværsnit af hvid eg (*Quercus Alba*) med mærker, der indikerer overgangene mellem de individuelle årringe (der, hvor træets vækst var nået til inden hver vinter). På billedet ses det, at træets ved ikke er uniformt igennem hele årringen, men derimod indeholder et stort antal porer i den inderste (tidlige vækst) del af årringen.



FIGUR 2. Tværsnit af hvid eg (*Quercus Alba*). Bemærk, at den inderste del af hver årring (der er vokset tidligt på året) indeholder et stort antal porer. De lyse striber der løber vinkelret på årringene (sydøst-nordvest på billedet) er marvstråler.

Den ujævne struktur i årringene er også fremhævet i FIGUR 3, der viser et mikroskopibillede af et tværsnit af eg (formodentlig stilkeg, *Quercus Rubur*). Her ses det, at der i foråret (det grønne område i figuren) dannes store porer, mens sommer- og høstved (det gule område) ikke indeholder disse porer.



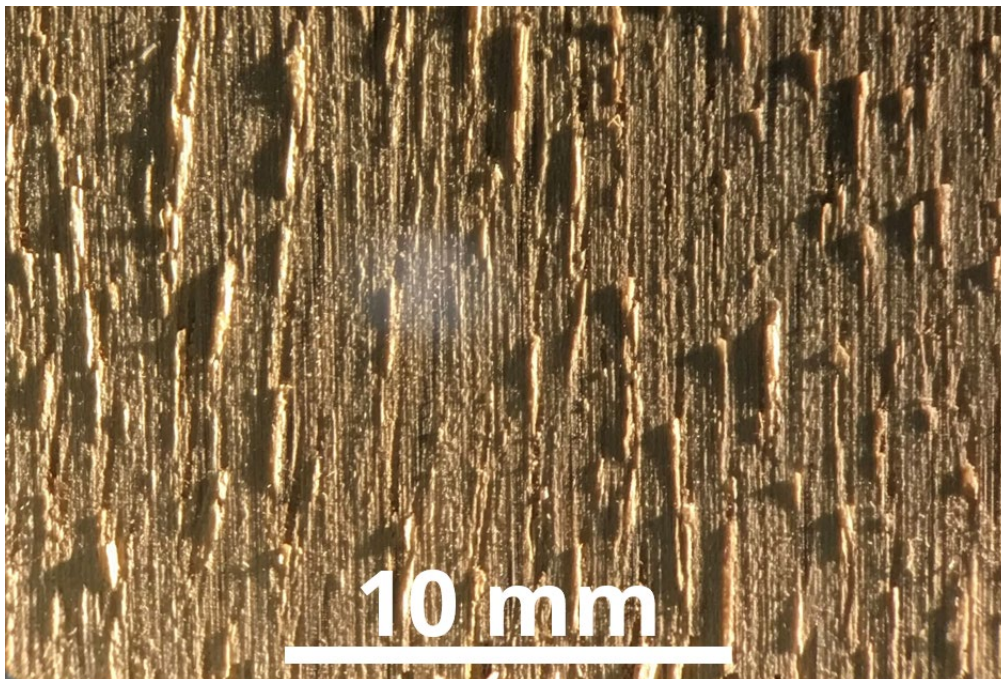
FIGUR 3. Mikroskopibillede af et tværsnit af egetræ (formodentlig stilkeg, *Quercus Rubur*). Årringene ligger lodret i billedet og overgangen mellem hvert vækstår (hvor det har været vinter) er markeret med sorte streger. Det grønne omrids indikerer de store porer, som denne type træ danner om foråret, mens det gule område indikerer den del af træets ved, der dannes under vækst senere på året. Den lyse stribe der løber venstre/højre i billedet er en marvstråle.

For egetræ er det specielt spillet og variationen af disse store porer, der giver overfladerne det udseende, der er karakteristisk for denne træsort. Under den mekaniske forarbejdning af træet, fx når det høvles eller slibes, bliver træet påvirket af store kræfter der trykker ned mod overfladen. I de områder, hvor de store porer befinder sig, udgør fiberbundterne i væggene imellem porerne et mekanisk svagt punkt. Disse fiberbundter kollapser derfor ofte ned i overfladen under forarbejdningen, hvor de efterfølgende ligger som delvist løsrevne fragmenter i de store porer. Et par eksempler på dette kan ses i tværsnittet i FIGUR 4.



FIGUR 4. Eksempel på to fiberbundter, der er blevet presset ned i de store porer under forarbejdning af overfladen af egetræet. Bemærk, at begge fiberbundter består af et meget stort antal træceller.

Den meget kraftige fiberrejsning, der sker, når egetræ behandles med vand, skyldes primært disse store fiberbundter, snarere end enkelte træfibre, som er meget mindre (de individuelle celler kan lige netop anes i FIGUR 4). En overflade med mange af disse fiberbundter kan ses i FIGUR 5, der viser et mikroskopibillede af overfladen på et ubehandlet parketgulv i egetræ, efter påvirkning med vand. Bundterne fremstår som lyse områder, der løber lodret i billedet, og som har en bredde på 100 – 150 μm og en længde på 1 – 3 mm. Denne størrelse gør dem meget lette at mærke, når overfladen berøres, og selvom de består af mange individuelle træceller/fibre, er det disse bundter, der menes, når der i resten af denne rapport refereres til fiberrejsning.



FIGUR 5. Mikroskopibillede af overfladen på et ubehandlet parketgulv i egetræ efter påvirkning med vand. Et stort antal fiberbundter har rejst sig fra overfladen (lyse områder der løber lodret i billedet). Disse bundter er 100 – 150 μm brede og 1 – 3 mm lange.

3.4 Miljøgevinsten ved vandbaserede produkter

De to opløsningsmidler, der har været fokus på at udskifte i nærværende projekt, nafta (bedre kendt som mineralisk terpentin) og xylen, er hyppigt anvendt i overfladebehandlingsbranchen.

Nafta er på SIN-listen¹ og opfylder dermed kriterierne for 'særligt problematiske stoffer' (SVHC) i EU's REACH-forordning, og nafta² befinder sig i gruppen af kemikalier, der er CLP-klassificerede som kræftfremkaldende, mutagene og reproduktionstoksiske (såkaldte CMR-stoffer). Xylen er CLP-klassificeret som akut giftigt ved hudkontakt og indånding og som potentielt livsfarligt, hvis det indtages og kommer i luftvejene³. Desuden er xylen under evaluering i EU for mistanke om CMR-egenskaber⁴. Ydermere er begge opløsningsmidler flygtige (VOCs), og deres brug medfører betydelig risiko for høj eksponering hos de personer, der anvender dem – hvad enten der er tale om privat eller industrielt brug.

I tillæg til udfasning af de to opløsningsmidler, som vil gavne både miljøet og forbrugeren og derudover give et bedre arbejdsmiljø, vil mindre brug af disse organiske opløsningsmidler også have miljøgevinster, som dog ikke er let kvantificerbare. Opløsningsmidlerne fremstilles ved fraktionering af råolie eller tørdestillation af kul, og et skifte til vand som opløsningsmiddel vil således bidrage til at reducere afhængigheden af fossile råstoffer. Ydermere bidrager opløsningsmidlerne, når de afgasser til atmosfæren, i første omgang til partikelforurening i nærmiljøet (smog), hvorefter de over tid nedbrydes til CO₂ med deraf følgende bidrag til den globale opvarmning. Udfasningen vil derfor have et, medgivet lille, men dog vigtigt bidrag til Danmarks målsætning om at reducere CO₂-udledninger med 70 % i 2030. Udfasningen vil også bidrage til forbedring af det generelle miljø, som der er stor fokus på i FN med de 17 verdensmål. Verdensmålene indeholder bl.a. en målsætning om at nedsætte udledningen af CO₂, nedbringe afhængigheden af fossile råstoffer, opnå renere luft i nærmiljøer og forbedre arbejdsmiljøet, herunder i brancher, hvor der anvendes skadelige kemiske stoffer.

¹ <http://sinlist.chemsec.org/search/search?query=64742-49-0>

² <https://echa.europa.eu/da/substance-information/-/substanceinfo/100.059.211>

³ <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/87871>

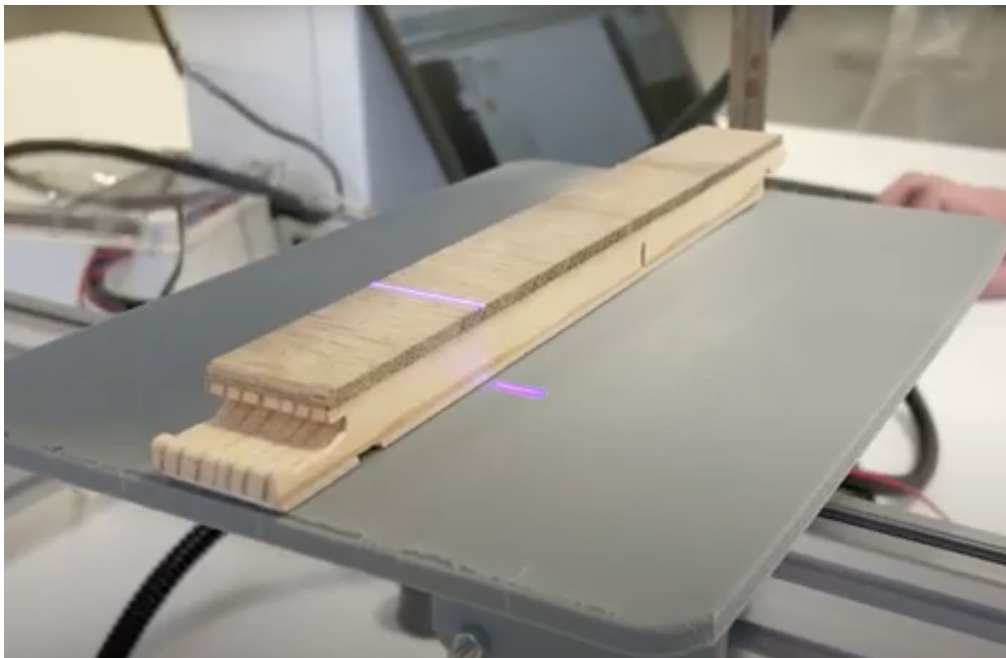
⁴ <https://echa.europa.eu/da/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table/-/dislist/details/0b0236e1807edb3c>

4. Metoder

4.1 Måling af fiberrejsning

Ved projektets start fandtes der ikke nogen god og effektiv metode til at måle og kvantificere fiberrejsning på overflader af træ. Nogle af de nyeste eksempler på metoder til kvantificering af fiberrejsning i den videnskabelige litteratur (Landry, V. et al., 2013, Evans, P.D. et al., 2017) måler kun på meget begrænsede områder (mellem $0,2 \times 0,2 \text{ mm}^2$ og $2,0 \times 2,0 \text{ mm}^2$) i løbet af et par timer. Det gør det meget svært at udvælge områder, der muliggør en repræsentativ sampling på overfladen af et stykke træ, idet tætheden af fx årringe er meget ujævnt fordelt på denne længdeskala.

Der er derfor i projektet udviklet en ny metode, der kan måle store overflader ($3 \times 20 \text{ cm}^2$) og sætte tal på fiberrejsningen på ca. 5 minutter per prøve. Det lave tidsforbrug per måling har gjort det muligt at teste flere idéer og formuleringer undervejs i projektet. Metoden er bygget op om et laserprofilometer⁵ som i kombination med en motoriseret platform genererer et højdekort over træemner i meget høj opløsning (FIGUR 6).

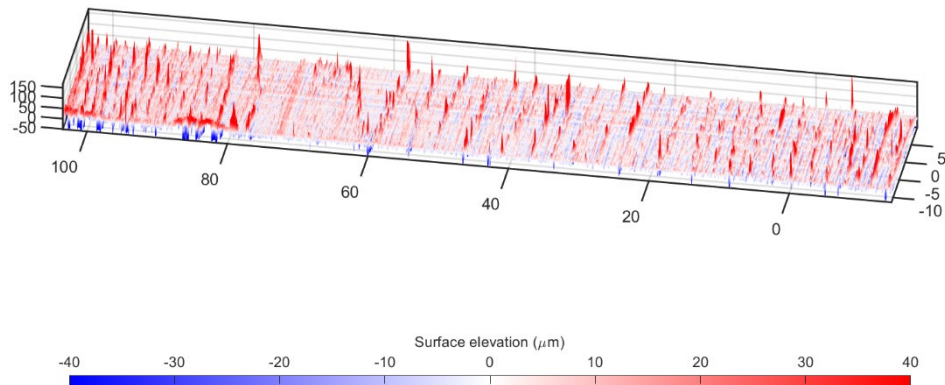


FIGUR 6. Træprøver i den udviklede opsætning til måling af fiberrejsning. Emnet placeres på en motoriseret platform og flyttes herefter til en laserscanner, der måler et højdekort i hele prøvens længde. Laseren ses på billedet som den tynde, lilla linje hen over træet.

Efter indsamling af data analyseres det genererede højdekort i større detalje vha. avanceret databehandling, og resultatet er et billede, der visualiserer overfladen og fibre (nærmere bestemt fiberbundterne omtalt i afsnit 3.3). Desuden vises de kvantitative mål for fiberrejsningen, typisk opgjort som et antal fibre per kvadratcentimeter i overfladen. Et eksempel herpå ses i FIGUR 7, hvor den målte overflade vises som et 3D-plot, der fremhæver fibre i rød farve. Øverst i figuren fremgår en række af de kvantitative mål for fiberrejsning, der fremkommer efter analysen: tætheden af fibre per cm^2 , den gennemsnitlige højde af fibre, det gennemsnitlige areal af fibre og den maksimale fiberhøjde, der er observeret på den målte overflade.

⁵ LMI Gocator 2420-3R

Positions in mm, height in μm . Surface fiber parameters:
Density = 10.8 cm^{-2} , $\langle\text{Height}\rangle = 51.1 \pm 17 \mu\text{m}$, Max height = $198 \mu\text{m}$,
 $\langle\text{Area}\rangle = 0.0493 \pm 0.12 \text{ mm}^2$

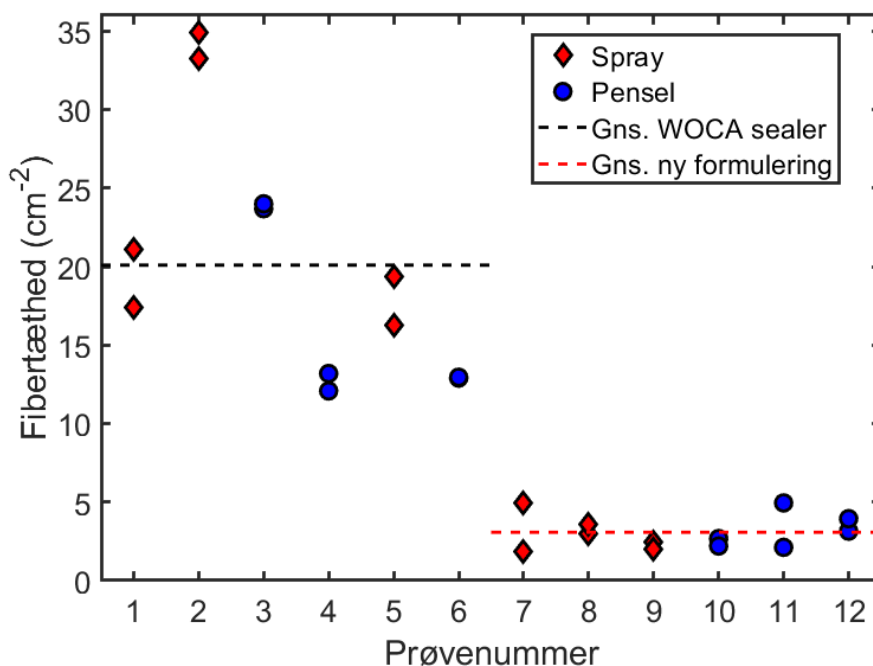


FIGUR 7. Resultatet af målingen gives i form af et 3D-plot, hvor fiberrejsningen er visualiseret sammen med kvantitative mål for graden af fiberrejsning i overfladen.

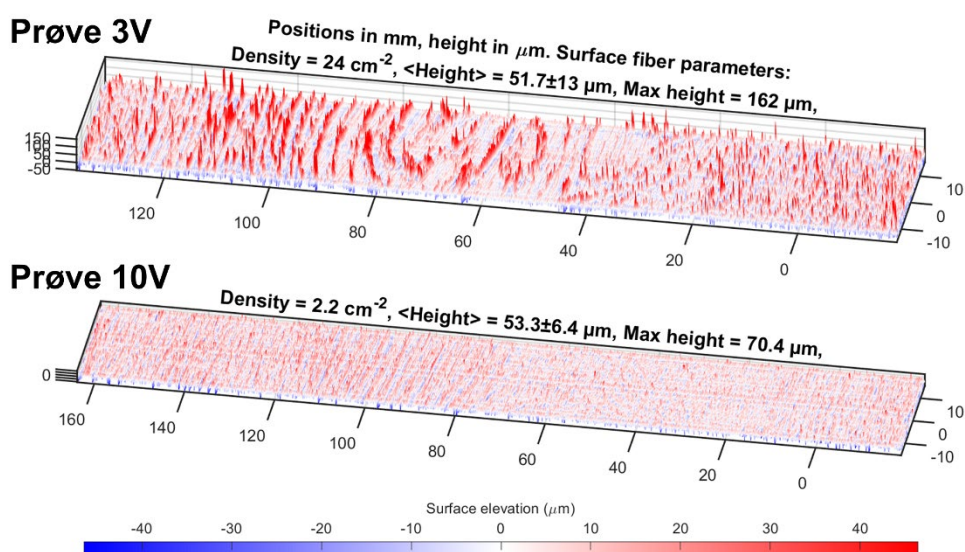
I den indledende udvikling af databehandlingen blev der også beregnet en række forskellige mål for ruheden af overfladen efter ISO 25178-2:2012 i lighed med karakteriseringen i Landry, V. et al., 2013 og Evans, P.D. et al., 2017. Det blev imidlertid vurderet, at disse metrikker generelt ikke repræsenterede den grad af fiberrejsning, der opleves, når en overflade fysisk berøres. Det gør til gengæld den målte tæthed af fibre (antal per cm^2). Ydermere har tætheden den fordel, at den er ekstremt let at fortolke for specialister såvel som for slutkunder.

En af de første tests, der blev brugt til at indkøre den nye metode, var en sammenligning af to påføringsmetoder, hhv. spraypistol og pensel. Spraypistol er den gængse måde at påføre primere under møbelfremstilling, men er upraktisk at benytte i laboratoriet under udviklingsarbejdet. Her er påføring med pensel langt hurtigere at benytte, og det ønskedes derfor undersøgt, om påføringsmetoden påvirker graden af fiberrejsning. Der blev således udført test af de to påføringsmetoder på en række emner og med to produkter: en af WOCA's nuværende vandige sealere og et nyt bindersystem, der virkede lovende i forhold til reduktion af fiberrejsning.

Resultaterne for fiberrejsning (tætheden) er vist i FIGUR 8, mens en repræsentativ overflade fra hver produkttype er vist i FIGUR 9. Sammenligningen viste dels, at der opstod markant mindre fiberrejsning med det nye bindersystem end med WOCA's nuværende vandige sealer, dels at påføringsmetoden ikke påvirker graden af fiberrejsning i overfladen signifikant.



FIGUR 8. Sammenligning af fibertæthed for en række prøver, hvor der er benyttet to forskellige påføringsmetoder (pensel og spray), samt to forskellige produkter (WOCA's nuværende vandige sealer og en ny testformulering). Målingerne er udført i duplikat forskellige steder på hvert emne.



FIGUR 9. Sammenligning af den målte overflade og graden af fiberrejsning for en af målingerne på prøve 3 (WOCA's eksisterende vandige sealer) og en af målingerne på prøve 10 (ny testformulering).

4.2 Øvrige karakteriseringsmetoder

I tillæg til måling af fiberrejsning på de behandlede overflader er der benyttet en lang række almindelige laboratorietests hos WOCA til at karakterisere relevante produkttegenskaber for

nye formuleringer. Disse teknikker er generelt veletablerede inden for farve/lak-branchen og er således kun beskrevet kort nedenstående.

Stabilitetstest

Visuel vurdering af, hvor meget produktet fasedeler (skiller) over tid, idet kunderne foretrækker stabile emulsioner. Testes typisk ved at anbringe produktet ved 40° C i en ovn i 7 dage.

Tørretid og hærdning

Vandbaserede olieprodukters tørretid bestemmes typisk på glas, hvor der påføres 60 µm produkt med en 'Drying Recorder' i henhold til ISO 9117-4. Lakkers tørretid bestemmes normalt visuelt og ved berøring.

Olieformuleringer, der ikke fordeles jævnt på glas, kan ikke testes med ovenstående metode. For sådanne formuleringer er tørretid og hærdning i stedet evalueret med en såkaldt hæltest, som foregår ved, at en vægtet gummiklods belaster den tørre overflade, hvorefter det ved visuel inspektion konstateres, om der er efterladt et mærke i overfladen eller ej.

Befugtning

Træplejeprodukter påvirker altid farve og glans af den overflade, de påføres. I branchen omtales disse effekter som 'befugtning', i den forstand at større ændringer i farve ved påføring beskrives som 'produktet giver mere befugtning'. Farveændringer på træet måles vha. et spektrofotometer og rapporteres som en samlet ΔE -værdi, som er en enhed, der kombinerer ændringer i, hvor lys/mørk overfladen er, samt hvilken farve den har.

Vedhæftning

En vigtig egenskab ved fx en primer (det nederste lag i en lakopbygning) er evnen til at sikre, at efterfølgende lag af lak sidder godt fast på den hærdede overflade. Vedhæftningsevnen testes typisk ved ridsetest, hvor en speciel 6-bladet kniv bruges til at ridse et krydsfelt i den færdige lakopbygning, hvorefter felterne forsøges fjernet med tape. Ved at tælle antallet af felter, der bliver siddende/fjernes, opnås et kvantitativt mål for vedhæftning (jo færre felter, der fjernes, jo bedre er vedhæftningen).

Indtrængning

Der er i branchen en udbredt enighed om, at graden af olieindtrængning i overfladen af træ er bestemmende for, hvor holdbar og resistent træbehandlingen er. I modsætning til primer/sealer/lak, der kan påføres en overflade i en kendt mængde (målt i gram/m²), påføres olie altid i overskud, efterlades i 10-30 minutter, hvorefter overfladen aftørres. Dette gør det vanskeligt at kvantificere indtrængningen, og der findes ikke standardiserede metoder til formålet. I stedet evalueres denne parameter normalt ved visuel inspektion. Som alternativ til denne kvalitative vurdering er der i projektet udviklet en simpel metode til at kvantificere indtrængning ved hjælp af nøjagtig vejning af træ før og efter påføring (og aftørring) af olieprodukter. Metoden er efterfølgende brugt i screeningen af potentielle bindemidler til den nye vandbaserede olie.

Kemikalieresistens

Dette forstås som overfladens modstandsdygtighed overfor en række almindelige kilder til pletter og testes normalt for vand, kaffe, rødvin og madolie. Disse væsker påføres en behandlet overflade, efterlades i et døgn og tørres derefter af. Herefter gives overfladen en score, der strækker sig fra, at overfladen er helt ødelagt, over tydelig farvning til ingen påvirkning for hver af de fire typer.

5. Produktudvikling i projektet

5.1 Kravsspecifikationer for nye vandbaserede produkter

De tekniske kravsspecifikationer for de to systemer er beskrevet nedenfor i 5.1.1 og 5.1.2. og giver et godt indtryk af de mange forskellige performanceparametre, der er vigtige for træpleje-produkter, uanset om de er solvent- eller vandbaserede. Disse specifikationer bør ses som en ønskeliste af egenskaber, som vil øge produktets værdi og salgbarhed, i takt med at flere og flere af ønskerne opfyldes. Visse kritiske produkt egenskaber (tørretid, tørstofindhold og kemikalieresistens) vurderes dog i store træk at være ufravigelige, før det er sandsynligt, at industrikunder vil købe dem.

5.1.1 Vandige industrilakker

Skal kunne påføres

- Med sprøjte
- Manuelt
- Med Dip & Dry-coatingteknik

Tørretid

- Overfladetør < 1 time
- Gennemtør < 3 timer

Viskositet og tørstofindhold (TS)

- Sprøjtepåføring
 - TS < 50 %
 - Viskositet: Thixotropisk, tyndflydende. God udflydning
- Manuel påføring
 - TS < 50 %
 - Viskositet: Newtonsk, olieagtig. God udflydning

Skal kunne tones med

- Vandige pigmentsystemer
- Universalpigmentsystemer

Øvrige karakteristika

- God vedhæftning til efterfølgende laklag
- God filmopbygning
- Minimal fiberrejsning
- Minimal træglød (lav befugtning). Hvis træglød ønskes, lægges denne egenskab i primer.

Kemikalieresistens

- Vand, kaffe, rødvin, madolie 1+3 timer efter 1 og 7 dage. Der kan accepteres små ikke-irreversible ændringer efter 1 dag. Efter 7 dage må der ikke være ændringer. Med ikke-irreversibel menes 'skal kunne genoprettes med plejeprodukter (laksæbe, lakpleje)'.

5.1.2 Vandige industriolier

Sammensætning

- 1-komponent-løsning

Skal kunne påføres

- Med sprøjte
- Med valse
- Manuelt

Tørretid

- Overfladetør < 3 timer
- Gennemtør < 12 timer

Viskositet og tørstofindhold (TS)

- Sprøjtepåføring
 - TS < 50 %
 - Viskositet: Thixotropisk, tyndflydende
- Valsepåføring
 - TS > 50 %
 - Viskositet: Newtonsk, olieagtig
- Manuel påføring
 - TS > 50 %
 - Viskositet: Newtonsk, olieagtig

Skal kunne tones med

- Vandige pigmentsystemer
- Universalpigmentsystemer

Øvrige karakteristika

- Maksimal indtrængning i træet
- Minimal fiberrejsning
- God træglød (stor befugtning)

Kemikalieresistens

- Vand, kaffe, rødvin, madolie 1+3 timer efter 1 og 7 dage. Der kan accepteres ændringer efter 1 dag. Efter 7 dage må der ikke være irreversible ændringer. Hermed menes, at overfladen skal kunne genoprettes med plejeprodukter (sæbe, plejegel)

5.2 Produktudvikling i første halvdel af projektet

Produktudviklingen hos WOCA er traditionelt foregået på samme måde som i resten af branchen. Processen starter typisk med udarbejdelse af kravsspecifikationerne i det foregående afsnit, hvorefter der identificeres lovende strategier til at imødekomme disse produktkrav. Hos WOCA har dette set historisk typisk udmøntet sig i en eller flere af følgende:

1. Småjusteringer af en af WOCA's eksisterende recepter
2. Ny receptformulering ved brug af eksisterende råvarer hos WOCA
3. Dialog med leverandører om nye råvarer og teknologier.

Denne liste af strategier har normalt været tilstrækkelig til at imødekomme de ønsker, WOCA's kunder har haft i forhold til nye produkter målrettet specifikke anvendelser, men kan komme til kort, når der er brug for at foretage et så radikalt skifte, som et skifte fra solvent- til vandbase-ret træpleje udgør. I nærværende projekt blev listen af strategier derfor udbygget med hjælp fra kemispecialister fra Teknologisk Institut til også at involvere:

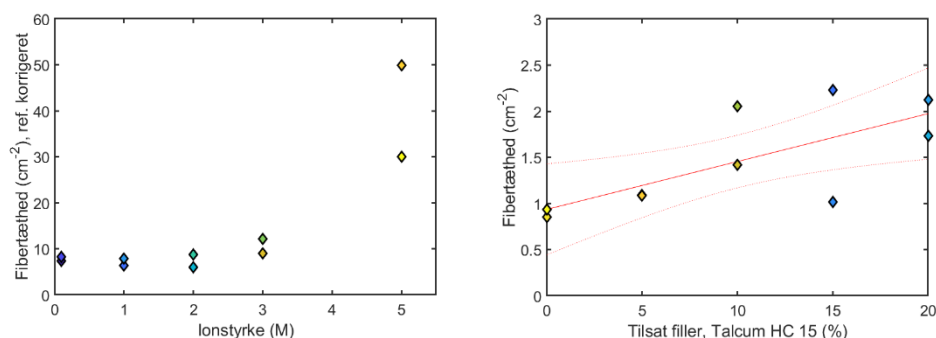
4. Inspiration fra andre brancher med lignende kemiske udfordringer
5. Nyudvikling baseret på teknisk/kemisk forståelse af problemstillingen.

Ved projektets opstart blev der identificeret en lang række af faktorer, som kan have indflydelse på fiberrejsning. Blandt disse faktorer var:

- pH
- Viskositet
- Hårdhed af den færdige coat
- Mængde af fyldstoffer
- Polaritet af bindemidler/solventer
- Ionstyrke i vandet
- Påføringsmetode
- Type af bindemiddel.

I løbet af projektets første år blev ti af disse faktorer testet i et større eller mindre omfang for at undersøge deres effekt på fiberrejsningen. Fælles for undersøgelserne var, at én faktor blev undersøgt ad gangen (OFAT, One Factor At a Time) i små forsøgsserier. Resultatet af hver

forsøgsserie var plots som vist i FIGUR 10, hvor det primært var den målte fiberrejsning der blev beskrevet som funktion af den undersøgte faktor.



FIGUR 10. Venstre: Fiberrejsning som funktion af ionstyrke i vandige opløsninger af NaCl og CaCl₂. Højre: Fiberrejsning som funktion af fillerindhold i en kandidat til den nye primerformulering.

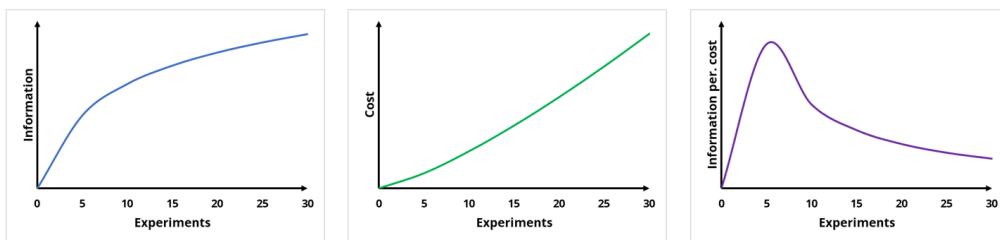
At teste én faktor ad gangen er en velkendt og simpel metode, som er brugbar, når der kun skal undersøges få faktoreres indvirkning på én parameter såsom fiberrejsning, men metoden er ofte ikke brugbar, når effekten fra flere faktorer skal undersøges på forskellige parametre. Desuden skal der med en tilgang, der kun undersøger én faktor ad gangen, udføres et stort antal test, inden øvrige performanceparametre (som tørretid, vedhæftning og befugtning) kan inddrages i undersøgelserne. Konkret havde denne problematik den konsekvens, at den mest lovende primer (målt på fiberrejsning) i november 2019 måtte kasseres, da man indså, at den var langt over et døgn om at tørre – og således langt fra kravsspecifikationen på >3 timer.

5.3 Design of Experiments som værktøj til produktudvikling

Som reaktion på frustrationen over at måtte 'starte forfra' efter at have udført forsøg med over 150 forskellige behandlinger blev det i projektgruppen besluttet at forsøge sig med en anden tilgang til produktudviklingen, nemlig brug af Design of Experiments (DOE).

Når man benytter DOE til produktudvikling, foregår det ved en systematisk serie af tests, hvor man med nøje styrede ændringer i inputfaktorer identificerer årsagen til signifikante ændringer i responsparametre (fx tørretid, fiberrejsning og befugtning). Disse sammenhænge kortlægges parallelt for *alle* de produkttegenskaber, der er essentielle, med det formål at spare ressourcer hen over det samlede udviklingsforløb.

Brugen af DOE som et statistisk værktøj til forsøgsplanlægning giver den indsigt, at man typisk opnår mest unik information om et nyt system i løbet af de første eksperimenter, man foretager (FIGUR 11, venstre). Samtidig er de omkostninger, der er forbundet med at udføre eksperimenter, oftest nogenlunde konstante og stiger alene i takt med, at der udføres flere og flere forsøg (FIGUR 11, midtfor). Hvis man kobler disse to observationer, ses det, at værdien af udførte eksperimenter målt som den information, der opnås i forhold til omkostningerne, topper ved et relativt lavt antal udførte eksperimenter (FIGUR 11, højre).

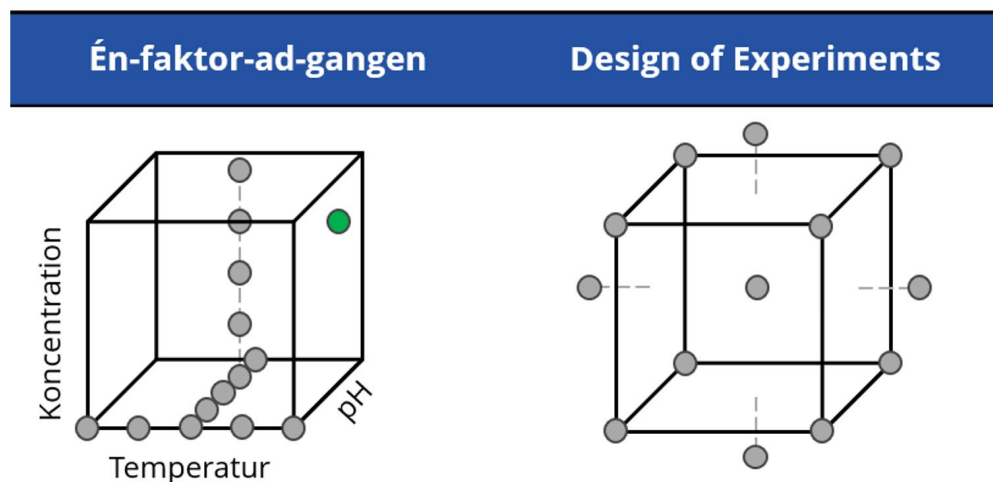


FIGUR 11. En af de centrale tanker bag Design of Experiments er, at mængden af information, der opnås, aftager i takt med, at man udfører mange eksperimenter (venstre). Omkostningerne forbundet med hvert eksperiment er dog oftest konstant (midtfør), hvilket betyder, at mængden af opnået information per krone topper ved et lavt antal eksperimenter (højre).

En central del af DOE er forskellige statistiske værktøjer, der kan estimere det laveste antal eksperimenter, der skal til for at identificere de vigtigste faktorer, som påvirker et produkts performance. På denne måde kan man fx identificere den bedste kombination af potentielle råvarer med langt færre eksperimenter, end hvis faktorerne undersøges én ad gangen.

Måden DOE udføres i praksis, og hvordan dette er forskelligt fra at undersøge én faktor ad gangen, er illustreret i FIGUR 12. Her er vist et tænkt system for en kemisk reaktion, hvor tre parametre kan varieres: temperatur, pH og koncentration af et stof. Når man udfører forsøg med én faktor ad gangen, svarer det til, at alle udførte forsøg placeres langs lige linjer i parameter rummet (FIGUR 12, venstre). En konsekvens af denne tilgang er, at det opnåede resultat (om man finder optimum, illustreret med den grønne prik) bliver meget afhængigt af den rækkefølge, i hvilken man vælger at undersøge de tre faktorer. Man vil typisk heller ikke opdage, at én faktors opførsel muligvis afhænger af en anden faktor. Det vil sige, at hvis fx effekten af pH er forskellig ved lav og høj temperatur, så er der ved denne type forsøg en meget stor risiko for, at det ved en fejl konkluderes, at en faktor ikke har nogen indflydelse på systemet, selvom det faktisk er tilfældet (en såkaldt Type II-fejl).

Når forsøgene udvælges med Design of Experiments, skabes der fra starten et overblik over det samlede parameter rum og den model, man ønsker at bruge til at beskrive performanceparameterens opførsel, hvorefter det minimalt nødvendige antal forsøg fordeles bedst muligt hen over parameter rummet (FIGUR 12, højre). Et vigtigt resultat af denne mere strukturerede tilgang er, at man typisk kan reducere antallet af udførte eksperimenter med 60-90 % og stadig være lige så sikker på de opnåede konklusioner, sammenlignet med én-faktor-ad-gangen-tilgangen.



FIGUR 12. Sammenligning af måden eksperimenter bliver fordelt i et parameter rum med tre faktorer (eksemplificeret med temperatur, pH og koncentration) når der udføres forsøg via én-

faktor-ad-gangen (venstre) versus Design of Experiments (højre). Med én-faktor-ad-gangen er der stor risiko for, at optimum (den grønne prik) ikke bliver fundet, mens man med DOE vil blive i stand til at bygge en model, der er langt mere sikker på at finde den bedste faktorkombination.

Det, der typisk kan være en udfordring for at indføre DOE som værktøj, er, at det kræver, at der fra starten tages klar stilling til:

- Det specifikke formål med en forsøgsserie
- Hvilke faktorer der ønskes undersøgt, og hvilken model man vil bruge til at beskrive deres påvirkning af responsen (performanceparametrene).

I konteksten af dette projekt og ved udviklingen af fx primerproduktet, betyder det, at *alle* essentielle performanceparametre, der skal opfylde bestemte krav, for at produktet kan bruges, skal evalueres for hvert forsøg, der udføres. Med andre ord, hvis pH, viskositet, befugtning, fiberrensning, vedhæftning, tørretid og stabilitet af emulsionen alle er vigtige, så skal de alle måles for hver eneste blanding, der undersøges. Til gengæld gør denne tilgang det muligt at finde det bedst mulige kompromis mellem produkt egenskaber, der modarbejder hinanden, hvilket næsten altid observeres i denne type produkter.

Design of Experiments blev indført i foråret 2020, hvor fokus blev lagt på udviklingen af en ny primer (det nederste lag i en lakopbygning). DOE gjorde det muligt at identificere den bedste råvarekombination blandt 320 mulige sammensætninger med blot 30 forsøg hen over april og maj 2020. Herefter blev de to bedste kandidater valideret i løbet af juli og starten af august, hvorefter den endelige sammensætning kunne fastlægges i slutningen af august 2020. Processen beskrives i større teknisk detalje i kapitel 6. DOE gjorde det således muligt at nå fra start til slut i produktudviklingen af primeren på blot fem måneder, i modsætning til den 'traditionelle' tilgang, der efter projektets første år ikke havde medført et brugbart resultat.

Efter færdiggørelsen af primeren blev fokus i september 2020 vendt mod formulering af et nyt vandbaseret olieprodukt, igen med DOE som værktøj til at styre produktudviklingen. Dette produkt er ved projektets afslutning godt undervejs, men ikke færdigformuleret. Processen og status for produktet beskrives i kapitel 6.

5.4 Miljø- og sundhedsvurderinger

Miljø- og sundhedsvurderinger er udført på to "niveauer" i projektet: En indledende vurdering og en dyberegående vurdering. Den indledende vurdering fokuserer på CLP-mærkning og tilhørende faresætninger for de givne råvarer og har til formål at frasortere uhensigtsmæssige råvarer tidligt i produktudviklingen. Den indledende vurdering skeler dog ikke til, hvor meget af den givne råvare et produkt rent faktisk indeholder.

Den indledende vurdering foregår ved indsamling af informationer via CLP-mærkningen af hver råvare. De tilhørende faresætninger (H-sætninger) vurderes i forhold til alvorligheden af hver enkelt H-sætning og gives en score på 1 til 5, hvor 5 er mest alvorlig. Herefter foretages en kvalitativ vurdering af, hvor stor sandsynligheden er for, at 'alvorligheden' sker ved brug, igen med en score 1-5, hvor 5 er mest sandsynlig. Her er medtænkt, hvilken type produkt råvaren indgår i, og hvordan produktet typisk bruges. Fx vil faresætningen H225 (Meget brandfarlig væske og damp) ikke have så stor sandsynlighed, når det gælder et træplejeprodukt, der blandes med store mængder vand, mens faresætningen H315 (Forårsager svære forbrændinger af huden og øjenskader) er sandsynlig, hvis produktet samtidig anbefales påført med sprøjte. Slutteligt ganges de to scoringer sammen til en samlet risiko, som derved stiger kraftigt for stoffer hvis farer er både alvorlige og sandsynlige.

Den dyberegående vurdering foregår ved indhentning af CAS-numre og indholdsmængder på alle indholdsstoffer (fra leverandøren) for hver ingrediens i et nyt potentielt produkt. Herefter undersøges det, hvilke af disse stoffer der optræder på en eller flere af følgende lister:

Kandidatlisten⁶

Kandidatlisten er udarbejdet af EU. Formålet med listen er at sikre, at særligt problematiske stoffer (Substances of Very High Concern, SVHC-stoffer) gradvist erstattes af mindre farlige stoffer eller teknologier, når der er teknisk og økonomisk mulige alternativer til rådighed. Stoffer kan identificeres som SVHC-Stoffer, hvis de besidder en af følgende farlige egenskaber:

- Stoffer, der opfylder kriterierne for klassificering som kræftfremkaldende, mutagene eller reproduktionstoksiske (CMR) i kategori 1A eller 1B i henhold til CLP-forordningen.
- Stoffer, der er persistente, bioakkumulerende og toksiske (PBT) eller meget persistente og meget bioakkumulerende (vPvB) i henhold til bilag XIII til REACH.
- Stoffer, der ved vurdering i hvert enkelt tilfælde giver anledning til tilsvarende betænkeligheder som CMR- eller PBT/vPvB-stoffer.

Restriktionslisten⁷

Denne liste er bilag XVII til REACH og inkluderer alle de begrænsninger, der er vedtaget inden for rammerne af REACH. Listen dækker over stoffer, grupper af stoffer samt stoffer i en blanding og de deraf følgende begrænsningsbetingelser.

SIN-listen⁸ - Substitute It Now

SIN-listen er en liste over farlige kemikalier, der bruges i en lang række af produkter og fremstillingsprocesser over hele kloden. Når et kemikalie sættes på SIN-listen, indikerer det, at kemikalien skal fjernes så hurtigt som muligt, da det udgør en trussel mod menneskers sundhed og miljøet. SIN-listen er udviklet af non-profit-organisationen ChemSec, som samarbejder med forskere og tekniske eksperter indenfor miljø-, sundheds- og forbrugerorganisationer. Listen er baseret på troværdig, offentligt tilgængelig information fra eksisterende databaser og videnskabelige studier.

CoRAP-listen⁹ - Community Rolling Action Plan

Hvis et stof optræder på denne liste, betyder det, at en medlemsstat i EU har vurderet eller vil evaluere stoffet i de kommende år. Listen omtales som fællesskabets rullende handlingsplan. For hvert stof viser listen den vurderende medlemsstat, det (planlagte) evalueringsår og en kort beskrivelse af den bekymring, der førte til, at det blev opført på listen. Listen indeholder dokumenter, der har med stofvurdering at gøre, hvilket inkluderer: dokumenter, der begrundet udvælgelse af stofferne, beslutninger om at anmode om mere information samt konklusioner og endelige evalueringsrapporter for stoffer, for hvilke evalueringen er afsluttet. Listen kan dermed bruges af både forbrugere og virksomheder til at holde sig orienteret om, hvilke stoffer der potentielt vil blive genstand for nye lovmæssige tiltag i fremtiden.

TEDX-listen¹⁰

⁶ <https://echa.europa.eu/da/candidate-list-table>

⁷ <https://echa.europa.eu/da/substances-restricted-under-reach>

⁸ <https://sinlist.chemsec.org/>

⁹ <https://echa.europa.eu/da/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table>

¹⁰ <https://endocrinedisruption.org/interactive-tools/tedx-list-of-potential-endocrine-disruptors/search-the-tedx-list>

TEDX-listen identificerer kemikalier, der har vist tegn på hormonforstyrrende effekt i videnskabelig forskning. TEDX-forskere evaluerer kemikalier ved at søge i den offentligt tilgængelige videnskabelige litteratur og identificere peer-reviewed forskning, der viser effekter på endokrin signalering.

Miljøstyrelsens vejledende liste til selvklassificeringer¹¹

Denne liste er en vejledning til virksomheder i selvklassificering af de kemikalier, som de importerer eller producerer, hvor der er mangel på data om kemikaliernes farlige egenskaber. Listen indeholder mere end 54.000 vejledende klassificeringer af forskellige stoffer og har to hovedformål: 1) at hjælpe virksomheder til at opfylde deres forpligtigelse under CLP-forordningen med at selvklassificere de kemiske stoffer og blandinger, de markedsfører i EU. Alle selvklassificeringer skal notificeres (anmeldes) til Kemikalieagenturet i Helsinki (ECHA); 2) at hjælpe virksomheder med at afgøre, om de kan foretage en begrænset registrering under REACH for lavtonnagestoffer, eller om der er krav om fuldt dataset. REACH, annek 3, indeholder særlige bestemmelser for lavtonnagestofferne (1-10 tons per år), som senest skulle registreres i 2018. For disse stoffer bliver informationskravene i REACH Annek 7 kun udløst, hvis (Q)SAR-modeller eller anden viden indikerer, at de sandsynligvis opfylder klassificeringskriterier som CMR eller andre fareklassificeringer kombineret med udbredt anvendelse.

Afhængig af hvilke(n) ovenstående liste(r) en råvare optræder på, vil der være forskellige krav for brugen af det pågældende stof. WOCA ønsker, at nye produkter skal have så lavt indhold som muligt af stoffer, der optræder på kandidat-, restriktions-, SIN- og/eller TEDX-listen, og at råvarer af denne type skal udfases, så snart der kan identificeres alternativer. Tilsvarende gælder også for stoffer på Miljøstyrelsens vejledende liste til selvklassificering, hvor der inden for klassificeringerne ses mest alvorligt på akut toksisk virkning, kræftfremkaldende virkning, reproduktionsskadelig virkning og skadevirkning på arveanlæggene, efterfulgt af allergifremkaldende effekt ved hudkontakt, farlighed for vandmiljøet og slutteligt hudirriterende effekt.

For stoffer, der optræder på CoRAP-listen, afhænger målsætningerne for deres anvendelse af, hvilke betænkninger der har givet anledning til stoffernes placering på listen. Alt andet lige vil der være større risiko forbundet med at basere nye produkter på stoffer, der optræder på listen, end på stoffer, der ikke gør.

5.4.1 Vurdering af eksisterende primerprodukt

Et eksempel på en indledende vurdering er vist i TABEL 1 for et af WOCA's eksisterende primerprodukter. Dette produkt er et af de produkter, som ønskes erstattet med et nyt vandbaseret produkt for bl.a. at udfase den benyttede hærder, og kan derfor ses som reference for miljø- og sundhedsprofilen af et produkt af denne type. Det bør i denne kontekst påpeges, at denne primer allerede er vandbaseret, mens der stadig findes mange konkurrerende primere, der er solventbaserede (specielt på eksportmarkedene). Ikke desto mindre bør de nyudviklede produkter stadig udgøre en signifikant forbedring målt i forhold til dette udgangspunkt.

Den indledende vurdering giver umiddelbart det indtryk, at hærderen er klart det mest problematiske indholdsstof i produktet, mens de resterende indholdsstoffer ikke umiddelbart virker bekymrende. Dette er dog alene baseret på den overordnede mærkning af de rene råvarer og tager derfor ikke hensyn til potentielt problematiske sporstoffer, som udgør en for lille andel af hver givne råvare til at udløse mærkning.

¹¹ <https://mst.dk/kemi/kemikalier/stoflister-og-databaser/vejledende-liste-til-selvklassificering-af-farlige-stoffer/>

TABEL 1. Eksempel på risikovurdering af råvarer for et af WOCA's eksisterende primerprodukter. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Kemikalie		Mærkning	Faresætninger	Alvorlighed	Sandsynlighed	Risiko
Additiver 10,75 %	Additiv 1, 0,31 %		H319	2	2	4
	Additiv 2, 1,8 %		H319	2	2	4
	Additiv 3, 4, 5	Ingen	Ingen	1	1	1
Filler 1,8 %	Filler 1	Ingen	Ingen	1	1	1
Tensid 1,8 %	Tensid 1	Ingen	Ingen	1	1	1
Solvent 23,5 %	Vand	Ingen	Ingen	1	1	1
Bindemiddel 52,15 %	Bindemiddel 1	Ingen	EUH208	1	2	2
Hærder 10 %	Hærder 1 + Butylglycolacetat		H302, H332, H315, H317, H318, H335, H412	5	5	25

I TABEL 2 og TABEL 3 vises resultatet af den uddybende miljø- og sundhedsvurdering for den eksisterende primer i form af hhv. en oversigt over de konkrete problematiske stoffer og de lister, disse forekommer på, samt en uddybende oversigt over de samlede indholdsmængder af problematiske stoffer i selve råvarerne og i den fulde produktformulering.

Som det fremgår af tabellerne, er hærdere ganske vist stadig den primære kilde til bekymring, men også Additiv 5, som ikke har nogen CLP-mærkning, optræder på Miljøstyrelsens vejledende liste til selvklassificering. I projektet er det fundet, at forskellige formuleringer er lettest at sammenligne, hvis de opfattes som lige alvorlige, uanset hvilken liste et indeholdt stof befinder sig på, idet det samlede indhold af 'problematiske stoffer' derved let kan findes som summen af de individuelle kemikalier i produkterne. For WOCA's eksisterende primer er det samlede indhold af problematiske stoffer således 10,99 %.

TABEL 2. Oversigt over problematiske stoffer i WOCA's eksisterende primerprodukt og de lister, stofferne forekommer på.

Kandidatlisten	Restriktionslisten	SIN listen
556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4)
541-02-6 (D5)	541-02-6 (D5)	541-02-6 (D5)
	822-06-0 (Hexamethylene-di-isocyanate)	
CoRAP listen	TEDX-listen	MST's vejledende liste til selvklassificeringer
28182-81-2 (Hexamethylene diisocyanate, oligomers)	7447-41-8 (Litiumklorid)	29911-28-2 (1-(2-butoxy-1-methylethoxy)propan-2-ol)
	556-67-2 (D4)	9046-01-9 (Poly(oxy-1,2-ethanediy))
	541-02-6 (D5)	

TABEL 3. Oversigt over de specifikke råvarer og deres samlede indholdsmængder af problematiske stoffer, både i selve råvaren og i den fulde produktformulering. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.








Råvare	Råvareandel i produktet [%]	Kemikalie	Kemikalie i råvare [%]	Kemikalie i produktet [%]
Additiv 1	0,31	Litiumklorid	2,9	0,009
Tensid 1	1,80	D4	0,9	0,016
Additiv 3	0,54	D5	1,0	0,005
Additiv 5	4,50	1-(2-butoxy-1-methylethoxy)propan-2-ol	100	4,50
Hærder 1	6,52	Hexamethylene diisocyanate	92	5,998
		Poly(oxy-1,2-ethanediyl)	4,0	0,261
		Ethylidiisopropylamine	2,6	0,170
		Hexamethylene-di-isocyanate	0,5	0,033
Sum:				10,99

5.4.2 Vurdering af eksisterende olieprodukt

Den indledende vurdering for et af WOCA's eksisterende olieprodukter er vist i Tabel 4. Denne olie er blandt de produkter, som ønskes erstattet med et nyt vandbaseret produkt for bl.a. at udfase brugen af afdampende organiske opløsningsmidler, og kan derfor ses som reference for miljø- og sundhedsprofilen af et produkt af denne type. Det samlede VOC-indhold i produktet er ca. 41 %, primært fra filmddanneren.

Den indledende vurdering viser tydeligt, at det udover VOC-indholdet også er sikkativerne (der får produktet til at tørre og hærde), som udgør det største problem i forhold til miljø- og sundhedsprofilen af denne type træplejeprodukt.

TABEL 4. Risikovurdering af råvarer for et repræsentativt eksisterende olieprodukt hos WOCA. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Kemikalie	Mærkning	Faresætninger	Alvorlighed	Sandsynlighed	Risiko	
Bindemiddel 57,5 %	Bindemiddel 1	Ingen	Ingen	1	1	
Sikkativer 1,59 %	Sikkativ 1, 0,49 %		H304	3	2	6
	Sikkativ 2, 0,49 %	 	H304, H315, H318	4	4	16
	Sikkativ 3, 0,61 %		H304, H318	3	4	12
Additiver 1,51 %	Additiv 1, 0,99 %	 	H319, H373	4	4	16
	Additiv 2, 0,52 %		H410	4	3	12



I TABEL 5 og TABEL 6 vises resultatet af den uddybende miljø- og sundhedsvurdering for den eksisterende olie i form af hhv. en oversigt over de konkrete problematiske stoffer og de lister, disse forekommer på, samt en uddybende oversigt over de samlede indholdsmængder af de problematiske stoffer i selve råvarerne og i den fulde produktformulering.

Som for WOCA's eksisterende primer ses det i tabellerne, at de problematiske stoffer især skyldes råvarer, der har til formål at fremme tørring og hærdning af produktet (sikkativerne). I tillæg til VOC-indholdet, som i sig selv ønskes minimeret, er det samlede indhold af problematiske stoffer for WOCA's eksisterende olie således 2,31 %.

TABEL 5. Oversigt over problematiske stoffer i det eksisterende olieprodukt og de lister, stofferne forekommer på.

Kandidatlisten	Restriktionslisten	SIN-listen
Ingen	Ingen	64742-48-9 (nafta) 91-20-3 (naftalen)
CoRAP-listen	TEDX-listen	MST's vejledende liste til selvklassificeringer
104-76-7 (2-ethylhexanol) 91-20-3 (naftalen)	104-76-7 (2-ethylhexanol) 91-20-3 (naftalen)	53988-05-9 (calciumisononanoat) 4075-81-4 (calciumdipropionat) 100-64-1 (cyclohexanone oxime) 111-90-0 (2-(2-ethoxyethoxy)ethanol)

TABEL 6. Oversigt over de specifikke råvarer og deres samlede indholdsmængder af problematiske stoffer, både i selve råvaren og i den fulde produktformulering. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Råvare	Råvareandel i produktet [%]	Kemikalie	Kemikalie i råvare [%]	Kemikalie i produktet [%]
Sikkativ 3	0,61	Nafta	60	0,366
		Calciumisononanoat	24,9	0,152
		Calciumdipropionat	2,9	0,018
Sikkativ 2	0,49	Nafta	60	0,294
		Nafta	95	0,466
Sikkativ 1	0,49	2-ethylhexanol	5	0,025
		Cyclohexanone Oxime	20	0,198
Additiv 1	0,99	2-(2-ethoxyethoxy)ethanol	80	0,792
		Naftalen	0,25	0,001
Additiv 2	0,52			
Sum:				2,31

6. Udvikling af nye vandbaserede produkter

6.1 Vandbaseret primer

I de følgende afsnit beskrives udviklingen af den nye vandbaserede primer fra idé frem til endelig validering, alt sammen udført med Design of Experiments-tilgangen. Processen startede med en forsøgsserie for at finde den bedste kombination af ingredienser efterfulgt af validering af performance for de to mest lovende kandidater. Parallelt med dette blev der foretaget miljø- og sundhedsvurderinger, som også blev inddraget i valget af ingredienser.

6.1.1 Screening af mulige af ingredienser

Udgangspunktet for udviklingen var en opskrift foreslået af en af WOCA's leverandører bestående af otte komponenter: filmdanner, tensid, filler, bindemiddel, emulgator, blødgører, fortykker og vand. Det blev vurderet af WOCA, at det kun var de fire første ingredienser, som ville påvirke performance signifikant, men inden for hver af disse var der stadig et større antal mulige ingredienser, opstillet i anonymiseret form i TABEL 7. Disse ingredienser kan kombineres på 320 forskellige måder – langt flere, end det er realistisk at teste.

TABEL 7. Skematisk oversigt over antallet af mulige ingredienser inden for hver komponenttype i primeropskriften. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Filmdanner	Tensid	Filler	Bindemiddel
FD1	T1	F1	B1
FD2	T2	F2	B2
FD3	T3	F3	B3
FD4	T4	F4	B4
	T5		

Baseret på kravsspecifikationerne blev det besluttet, at blandingerne skulle evalueres på følgende parametre:

- Befugtning
- Vedhæftning
- Viskositet
- pH
- Fiberrejsning efter påføring af primer
- Fiberrejsning efter påføring af primer plus lak
- Stabilitet af emulsion
- Tørretid
- Miljø- og sundhedsvurderinger.

Det blev vurderet, at det var realistisk at fremstille og udføre ovenstående målinger på i alt 30 blandinger. Der blev derefter opstillet et faktorielt design i programmet Design Expert (StatEase Inc., version 12) med de individuelle ingredienser som kategoriske variable i et design til evaluering af hovedeffekter (effekten af hver ingrediens for sig, men ikke ingrediensernes eventuelle interaktioner). Dette forventedes at være tilstrækkeligt til at identificere den bedste kombination af ingredienser blandt de 320 mulige. Den konkrete liste af udvalgte eksperimenter er vist i TABEL 8.

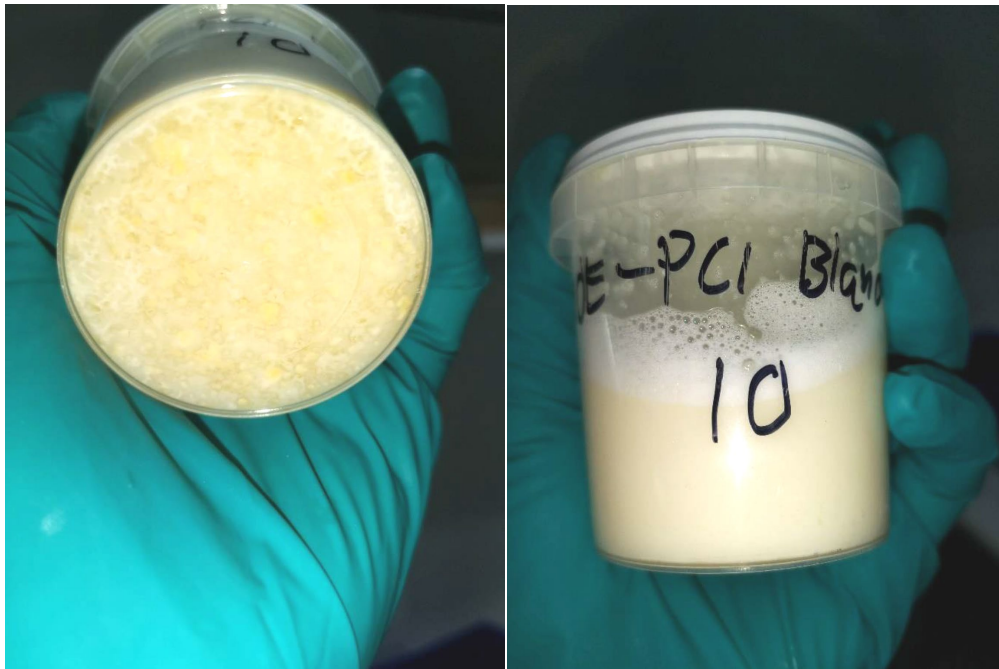
TABEL 8. Det opstillede eksperimentelle design til identifikation af den bedste sammensætning af de fire typer indholdsstof i den nye primer.

Run	Factor 1 A:Filmdanner Type	Factor 2 B:Tensid Type	Factor 3 C:Filler Type	Factor 4 D:Bindemiddel Type	Response 1 Fiberrejsning cm-1	Response 2 Fiber, efter lak cm-1	Response 3 Befugtning Delta E	Response 4 Vedhæftning %	Response 5 Viskositet s	Response 6 pH -	Response 7 Stabilitet -
1	FD1	T2	F4	B3							
2	FD4	T3	F3	B4							
3	FD4	T2	F2	B1							
4	FD3	T5	F1	B1							
5	FD2	T1	F2	B1							
6	FD4	T1	F3	B2							
7	FD3	T3	F1	B3							
8	FD2	T3	F1	B1							
9	FD3	T5	F3	B2							
10	FD4	T4	F1	B3							
11	FD4	T5	F4	B1							
12	FD1	T3	F2	B2							
13	FD2	T5	F4	B4							
14	FD1	T1	F1	B4							
15	FD2	T2	F3	B3							
16	FD4	T2	F1	B2							
17	FD3	T4	F2	B4							
18	FD2	T1	F2	B1							
19	FD4	T3	F2	B4							
20	FD3	T2	F4	B2							
21	FD1	T4	F3	B1							
22	FD2	T5	F3	B3							
23	FD1	T3	F4	B1							
24	FD3	T1	F4	B3							
25	FD3	T4	F2	B4							
26	FD2	T4	F4	B2							
27	FD1	T2	F1	B4							
28	FD1	T4	F3	B1							
29	FD1	T5	F2	B3							
30	FD3	T2	F3	B1							

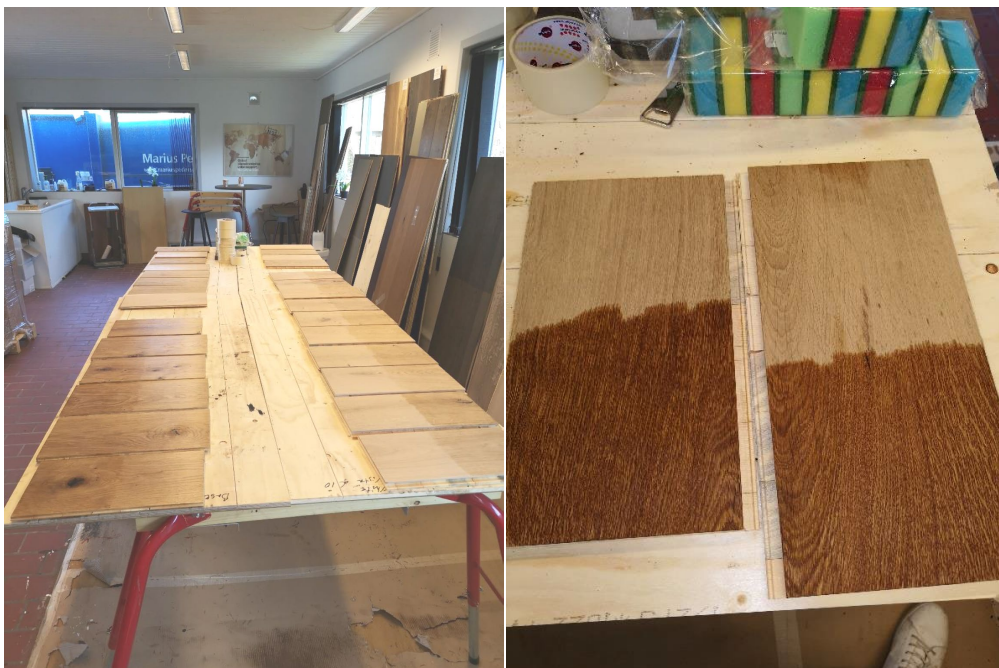
Næste trin herfra bestod i at bestille de pågældende råvarer hjem, afveje og blande de udvalgte formuleringer og udføre de nødvendige målinger både på selve blandingerne (pH, viskositet, stabilitet) og på planker af egetræ efter påføring af blandingerne (fiberrejsning, befugtning, vedhæftning, tørring). En række billeder fra laboratoriearbejdet er vist på de følgende sider i FIGUR 13 til FIGUR 19.



FIGUR 13. Blandinger klar til påføring og test i WOCA's laboratorie.



FIGUR 14. Venstre: Eksempel på en ustabil emulsion, der skiller og danner klumper. Højre: Eksempel på en stabil og homogen emulsion.



FIGUR 15. Venstre: Påføring af de mange blandinger på planker af egetræ i WOCA's laboratorie. Højre: En blanding, der resulterer i meget kraftig (uønsket) befugtning af træet.



FIGUR 16. Venstre: Opstilling til måling af viskositeten af blandingerne med DIN Cup-4 metoden. Højre: Måling af befugtning på træet med spektrofotometer.



FIGUR 17. Evaluering af lakvedhæftning ved skæring af et gittersnit i den lakerede overflade, hvorefter felterne males sort med en tusch og forsøges trukket af med klar tape.



FIGUR 18. Venstre: God vedhæftning, hvor de malede felter i lakken ikke kan trækkes af. Højre: Dårlig vedhæftning, hvor mange af de malede felter følger med tapen.



FIGUR 19. De ulakerede prøver fra alle 30 blandinger (i rækkefølge 1 til 30 i almindelig læse- retning) klar til måling af fiberrejsning på Teknologisk Institut. Bemærk den store forskel i be- fugtning mellem prøverne.

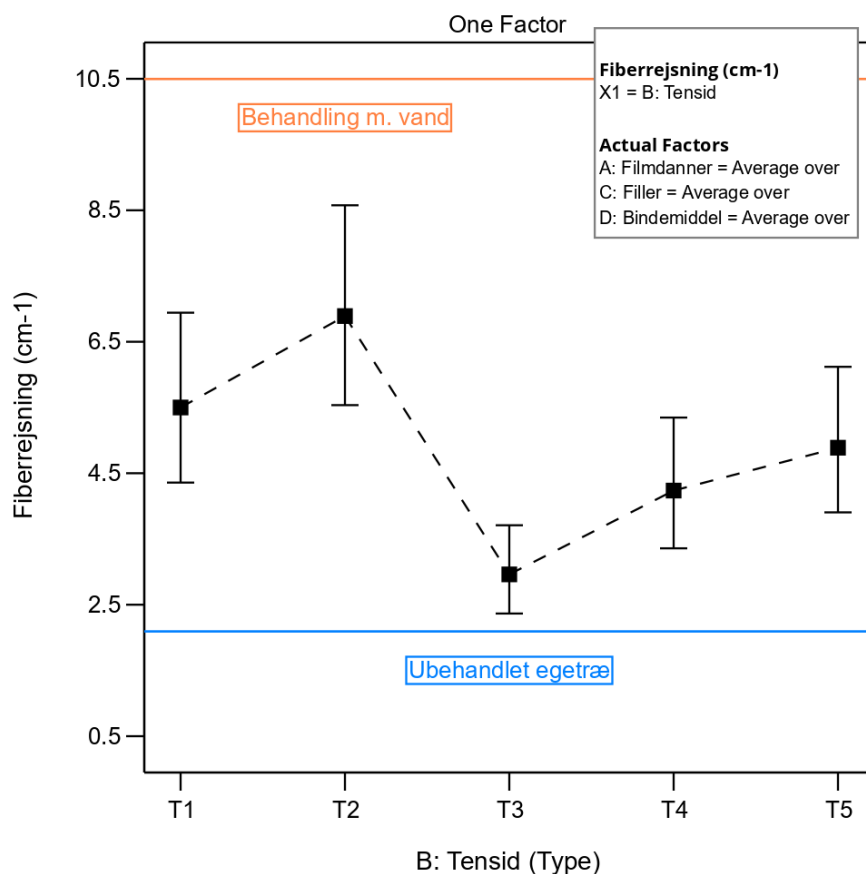
Efter at alle forsøgene var afsluttet, blev de opnåede resultater for hver individuel perfor- manceparameter evalueret i Design Expert via one-way ANOVA (ANalysis Of VAriance) med det formål at fastslå, hvilke ingredienser der påvirker hver af parametrene signifikant. I TABEL 9 vises en skematisk oversigt over de komponenter (ingrediensstyper), hvoraf mindst én ledte til signifikante ændringer for hver given performanceparameter. For fiberrejsning, befugtning, pH og stabilitet leder valget af tensid til forskellig performance, mens pH desuden påvirkes af den valgte filmdanner, og stabilitet også påvirkes svagt af det valgte bindemiddel. For hverken tør- retid og vedhæftning gav ingen af de fire undersøgte komponenter signifikant forskellig per- formance. I stedet kunne det konstateres, at både tørretid og vedhæftning var tilfredsstillende for samtlige blandinger.

TABEL 9. Skematisk oversigt over komponenter. Der observeres signifikant forskel mellem komponenternes indflydelse på de forskellige performanceparametre.

Performance- parameter:	Komponent			
	Film danner	Tensid	Filler	Bindemiddel
Fiberrejsning		X		
Befugtning		X		
pH	X	X		
Stabilitet		X		X
Tørretid		Ingen med signifikant indflydelse		
Vedhæftning		Ingen med signifikant indflydelse		

I FIGUR 20 vises resultatet af den statistiske analyse på fiberrejsningsmålingerne som funk- tion af det valgte tensid. Her ses det, at tensid 3 leder til signifikant lavere fiberrejsning end

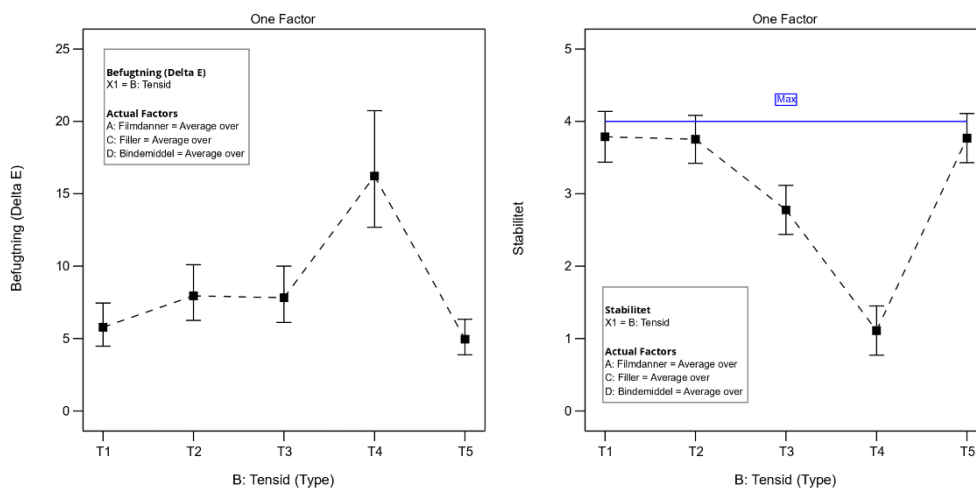
tensiderne 1, 2 og 5, mens tensidets performance overlapper inden for usikkerheden med tensid 4. I samme figur er indlagt referencelinjer, der viser graden af fiberrejsning på ubehandlet træ (det laveste niveau, der kan opnås uden at ændre på fremstillingen af selve træoverfladen) og efter behandling med rent vand (worst case). Hvis fiberrejsning var den eneste performanceparameter, der var vigtig, ville man således vælge at benytte tensid 3 i det nye produkt.



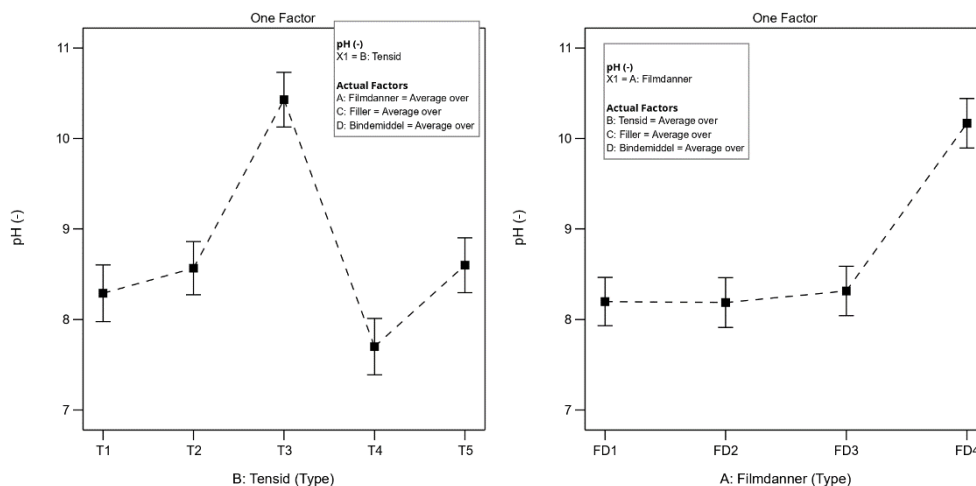
FIGUR 20. Forventet fiberrejsning som funktion af det valgte tensid samt referencelinjer for fiberrejsning på ubehandlet egetræ og på egetræ efter behandling med rent vand. Tensid 3 leder til signifikant lavere fiberrejsning end tensiderne 1, 2 og 5 og er desuden tæt på det ubehandlede træ (best case).

I FIGUR 21 vises den målte befugtning som funktion af det valgte tensid (venstre) sammen med stabiliteten af blandingerne også som funktion af det valgte tensid (højre). Her ses det, at fx tensid 5 er bedre målt på befugtning (hvor man for dette produkt ønsker så lave værdier som muligt) og på stabilitet af blandingen.

I FIGUR 22 vises den målte pH som funktion af det valgte tensid (venstre) og som funktion af den valgte filmdanner (højre). Her ses det, at tensid 3 leder til noget højere pH i den færdige blanding, og denne ingrediens er således et godt eksempel på, at en faktor, der performer godt på én parameter, samtidig medfører dårligere performance på andre af de målte parametre.



FIGUR 21. Venstre: Befugning som funktion af det valgte tensid. Bemærk, at der for dette produkt ønskes så lav befugning som muligt. Højre: Stabilitet af blandingen som funktion af det valgte tensid. En stabil emulsion har en score på 4 på denne skala.



FIGUR 22. Venstre: pH som funktion af det valgte tensid. Højre: pH som funktion af den valgte filmddanner. Der ønskes typisk en pH så tæt på 7 (neutral) som muligt.

6.1.2 Valg af bedste kompromis mellem ingredienser

De samlede konklusioner af screeningsstudiet med de fire forskellige komponenter kan opsummeres som følger.

Evaluering af filmdannere

Der blev i screeningsstudiet ikke observeret nogen signifikant forskel på fiberrejsning, stabilitet eller befugning mellem de fire filmdannere. Filmddanner 4 resulterede i formuleringer med signifikant højere pH (omkring 9) end de øvrige kandidater (omkring 7). Det blev derfor besluttet at sortere filmddanner 4 fra, og lade valget af filmddanner blandt de sidste tre hvile på miljø- og sundhedsprofiler og på pris.

Evaluering af tensider

De fem tensider havde markant forskellig indvirkning på fiberrejsning, stabilitet og befugtning. Overordnet set gav tensid 3 lavest fiberrejsning, mens tensid 5 ledte til bedre resultater på befugtning og stabilitet af formuleringen mod til gengæld en lidt større (uønsket) fiberrejsning. Idet miljø- og sundhedsprofilerne af disse to tensider også lå tæt på hinanden, blev det besluttet at validere den bedste forventede formulering for begge tensider.

Evaluering af fillere

Der blev i screeningsstudiet ikke observeret nogen signifikant forskel mellem de fire fillere på nogen af de målte performanceparametre. Det blev derfor besluttet at lade valget af filler hvile på miljø- og sundhedsprofiler og på pris.









Evaluering af bindemidler

For de fleste parametre var der ikke signifikant forskel på effekten af de fire bindemidler. Bindemiddel 2 resulterede i lidt mindre stabile blandinger og blev derfor fravalgt. For de øvrige kandidater blev det igen besluttet at lade valget hvile på miljø- og sundhedsprofiler og på pris. For befugtning lå bindemiddel 4 på grænsen til at være signifikant bedre end bindemiddel 1 og 2. Såfremt de tre kandidater var lige gode på miljø, sundhed og pris, ville det således være bindemiddel 4, der skulle vælges.

Miljø- og sundhedsprofiler

Parallelt med laboratoriearbejdet for DOE-screeningen blev der foretaget risikovurdering af alle de potentielle råvarer inden for hver kategori efter fremgangsmåden beskrevet i afsnit 5.4. Resultatet er vist i TABEL 10.

TABEL 10. Risikovurdering af de individuelle råvarer fra screeningen udført som beskrevet i afsnit 5.4. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

	Kemikalie	Mærkning	Faresætninger	Alvorlighed	Sandsynlighed	Risiko
Filmdanner	FD1		H225, H319.	2	2	4
	FD2		H304.	3	2	6
	FD3		H226, H304, H335, H336, H411.	4	4	16
	FD4		H302+H312 +H332, H314, H335, H412.	5	5	25
Tensid	T1		H318, H315.	2	4	8
	T2		H302, H318.	3	3	9
	T3		H290.	2	1	2
	T4		H302, H318, H317, H373, H412.	4	5	20
	T5	Ingen	Ingen	1	1	1
Filler	F1, F2, F3, F4	Ingen	Ingen	1	1	1
Bindemiddel	B1, B2, B3, B4	Ingen	Ingen	1	1	1

Denne indledende risikovurdering viste klart, at filmdanner 3 og 4 samt tensid 4 burde undlades som ingredienser i et nyt produkt. Idet disse fravalg ikke var i konkurrence med nogen performanceparametre, kunne de foretages uden yderligere overvejelse.

For de to tilbageværende filmdannere viste screeningen, at der ikke forventes forskel i performance, uanset hvilken der vælges. Det blev derfor besluttet at bruge filmdanner 1 i den endelige formulering, idet denne havde den laveste risiko.

For tensiderne udviste nummer 3 og 5 den bedste performance, men på forskellige områder. Den samlede risikoscore for disse to tensider er i begge tilfælde lav (faresætningen for tensid 3 omhandler udelukkende potentiel ætsning af metaller), og det blev derfor besluttet at evaluere en færdig blanding for hvert tensid.

For alle fire fillere og alle fire bindemidler var der ikke forskel i den samlede risikoscore og denne var den lavest mulige for alle kandidaterne. Valget af filler blev derfor baseret på god erfaring med brugen af filler 4 i det tidlige projektarbejde (inden DOE-screeningen), mens valget af bindemiddel kunne baseres på befugtning alene.

Bedste kombinationer og forventet performance

Baseret på de samlede ønsker til minimal fiberrejsning, befugtning, pH nær 7, maksimal stabilitet og god miljø- og sundhedsprofil kunne der ved hjælp af Design Expert og risikovurderingen i TABEL 10 forudsiges to sammensætninger, som forventedes at lede til tilfredsstillende performance. Disse er vist i TABEL 11, hvor modellen desuden har forudsagt den performance, der forventes opnået for fiberrejsning, befugtning, viskositet, pH og stabilitet.

TABEL 11. Forudsagte bedste blandinger, baseret på hhv. tensid 3 og 5 samt den forventede performance af hver blanding på de målte egenskaber.

Recept	Sammensætning	Fiberrejsning	Befugtning	Viskositet	pH	Stabilitet
1	Filmdanner 1 Tensid 5 Filler 4 Bindemiddel 4	4,9 ± 1,9 cm ²	3,8 ± 1,5	10,6 ± 0,4 s	8,6 ± 0,3	4,4 ± 0,5
2	Filmdanner 1 Tensid 3 Filler 4 Bindemiddel 4	3,0 ± 1,1 cm ²	6,2 ± 2,5	11,1 ± 0,3 s	10,9 ± 0,3	3,5 ± 0,5

Det er især interessant at bemærke, at ingen af de to forslag til sammensætningen af den bedste blanding var blandt dem, der blev testet i screeningen. I stedet gjorde DOE-screeningen det muligt at forudsige nye sammensætninger med en forventet bedre samlet performance ud fra den opnåede viden om, hvordan hver ingrediens påvirker blandingerne egenskaber.

6.1.3 Identifikation og vurdering af endelig primerformulering

Sidste trin i udviklingen af primeren var herefter validering af, om de foreslåede recepter ville udvise den forventede performance. Valideringen blev udført ved fremstilling af tre uafhængige blandinger af hver recept, hvorpå der blev målt viskositet, pH og stabilitet. Efterfølgende blev hver blanding påført tre brædder til måling af fiberrejsning, befugtning og vedhæftning. De ni resulterende brædder for hver recept er vist i FIGUR 23, hvor det ses, at der er tydelig forskel i befugtningen af de to recepter. For recept 1 er befugtningen så lav, at man ikke umiddelbart kan skelne mellem ubehandlet egetræ og den primede overflade (som ønsket), mens befugtningen er meget markant for recept 2 (uønsket).



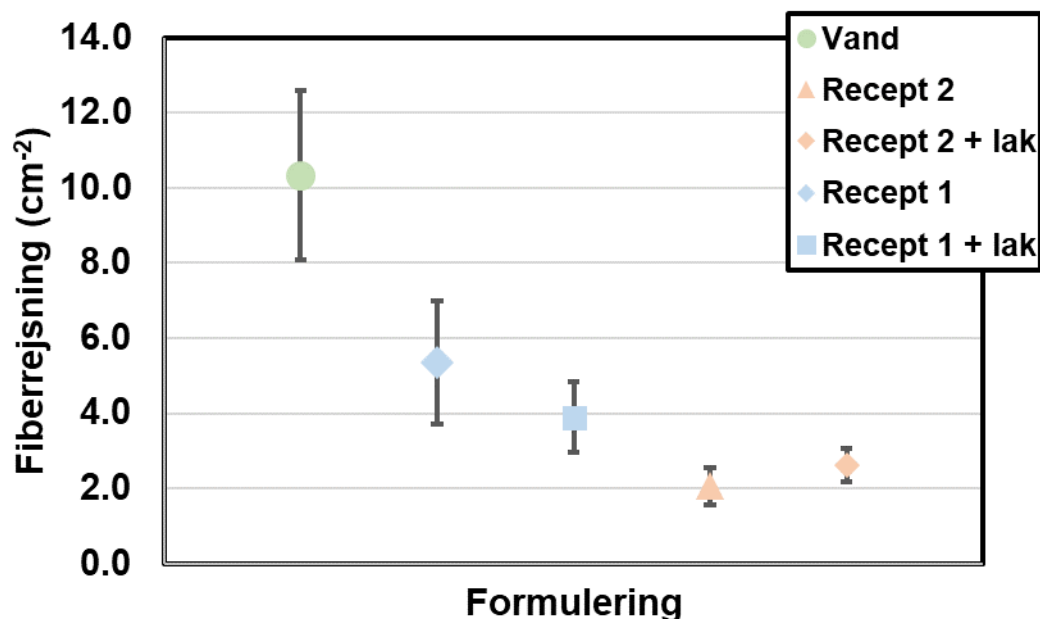
FIGUR 23. De ni prøver fra valideringen af de to bedste kandidater. Recept 1 i øverste række og recept 2 i nederste række. Det tynde stykke træ, der ligger på tværs af brædderne for recept 1 er et ubehandlet stykke egetræ som reference til at demonstrere den meget lave befugtning ved recept 1.

I TABEL 12 sammenlignes målingerne af den samlede performance af de to recepter med hinanden og med forudsigelsen fra TABEL 11. Befugtningen af de to recepter blev ikke målt kvantitativt på grund af den tydelige visuelle forskel på recepterne. I tabellen ses det, at næsten alle performanceparametre falder inden for usikkerheden af forudsigelserne, hvilket blot understreger styrken af denne strukturerede tilgang til produktudviklingen.

TABEL 12. Sammenligning af den forudsagte performance baseret på DOE-screeningen og den faktiske performance af de to blandinger i valideringen.

Sammensætning	Fiberrejsning	Befugtning	Viskositet	pH	Stabilitet
Recept 1, forudsagt	4,9 ± 1,9 cm ²	3,8 ± 1,5	10,6 ± 0,4 s	8,6 ± 0,3	4,4 ± 0,5
Recept 1, faktisk	5,4 ± 1,6 cm ²	Lille	11,4 ± 0,2	9,7 ± 0,2	4
Recept 2, forudsagt	3,0 ± 1,1 cm ²	6,2 ± 2,5	11,1 ± 0,3 s	10,9 ± 0,3	3,5 ± 0,5
Recept 2, faktisk	2,1 ± 0,5 cm ²	Stor	14 ± 0,8	10,9 ± 0,4	2-3

I FIGUR 24 vises den gennemsnitlige målte fiberrejsning for de to blandinger målt på områder, der udelukkende er behandlet med den potentielle nye primer, og områder, der først er behandlet med primeren og derefter er påført et lag lak. I begge tilfælde er der ikke signifikant forskel på graden af fiberrejsning før og efter lakering, hvilket vurderes at skyldes, at primeren efter hærdning er stærk nok til at fiksere fiberbunterne i overfladen. Yderligere overfladebehandling fremprovokerer derfor ikke mere fiberrejsning, heller ikke selvom lakken i dette tilfælde stadig er vandbaseret og ikke er optimeret til at minimere fiberrejsning. På baggrund af denne observation blev det vurderet, at det ikke er nødvendigt at optimere de produkter, der benyttes til den videre lakopbygning (sealer og lak), i forhold til fiberrejsning.







FIGUR 24. Sammenligning af den gennemsnitlige målte fiberrejsning for de to blandinger i valideringen med og uden lak. For ingen af blandingerne er der signifikant forskel på graden af fiberrejsning før og efter lakering.

Baseret på de ovenstående resultater blev recept 2 sorteret fra, mens det for recept 1 blev konstateret, at denne udviste tilfredsstillende performance på alle målte parametre. Denne recept blev derfor sendt videre til begge typer miljø- og sundhedsvurdering.

Den simple vurdering er vist i TABEL 13, hvor det nu pga. den indledende sortering i de benyttede råvarer kun er sikkativerne, som opnår en høj risikoscore. Risiciene forbundet med disse

sikkativer ligger dog lavere end risikoen forbundet med hærdere i WOCA's eksisterende primerprodukt (referencen, TABEL 1).

TABEL 13. Risikovurdering af de individuelle råvarer i den endelige primerformulering, udført som beskrevet i afsnit 5.4. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Kemikalie	Mærkning	Faresætninger	Alvorlighed	Sandsynlighed	Risiko	
Filmdanner 0,25 %	Filmdanner 1		H225, H319.	2	2	4
Tensid 1,62 %	Tensid 5	Ingen	Ingen	1	1	1
Filler 1,01 %	Filler 4	Ingen	Ingen	1	1	1
Additiv 3,03 %	Additiv 1	Ingen	Ingen	1	1	1
Solvent 85,91 %	Vand	Ingen	Ingen	1	1	1
Bindemiddel 7,58 %	Bindemiddel 4	Ingen	Ingen	1	1	1
Sikkativer 0,6%	Sikkativ 1, 0,2 %		H304	3	2	6
	Sikkativ 2, 0,2 %		H304, H315, H318	4	4	16
	Sikkativ 3, 0,2 %		H304, H318	3	4	12

I TABEL 14 og TABEL 15 vises resultatet af den uddybende miljø- og sundhedsvurdering for den nye primer i form af hhv. en oversigt over de konkrete problematiske stoffer og de lister, stofferne forekommer på, samt en uddybende oversigt over de samlede indholdsmængder af de problematiske stoffer i selve råvarerne og i den fulde produktformulering.

Som det fremgår af tabellerne, skyldes langt den største del af det totale indhold af problematiske stoffer sikkativerne, idet alle tre består af mindst 60 % nafta. Udover de tre sikkativer er det kun tensidet, som indeholder en lav mængde D4. WOCA's leverandør af denne råvare oplyser, at dette stof opstår som resultat af sidereaktioner under fremstillingen af tensidet, men at der arbejdes aktivt på at nedbringe indholdet af dette uønskede stof i råvaren. Det samlede indhold af problematiske stoffer i den nye primer er således 0,51 %.

TABEL 14. Oversigt over problematiske stoffer i den nye primerformulering og de lister, stofferne forekommer på.

Kandidatlisten	Restriktionslisten	SIN-listen
556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4) 64742-48-9 (Nafta)
CoRAP-listen	TEDX-listen	MST's vejledende liste til selvklassificeringer
104-76-7 (2-ethylhexanol)	556-67-2 (D4) 104-76-7 (2-ethylhexanol)	53988-05-9 (calciumisononanoat) 4075-81-4 (calciumdipropionat) 164462-16-2 (alanine)

TABEL 15. Oversigt over de specifikke råvarer og deres samlede indholdsmængder af problematiske stoffer både i selve råvaren og i den fulde produktformulering. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Råvare	Råvareandel i produktet [%]	Kemikalie	Kemikalie i råvare [%]	Kemikalie i produktet [%]
Sikkativ 3	0,2	Nafta	60	0,12
		Calciumisononanoat	24,9	0,050
		Calciumdipropionat	2,9	0,006
Sikkativ 2	0,2	Nafta	60	0,12
Sikkativ 1	0,2	Nafta	95	0,19
		2-ethylhexanol	5	0,01
Tensid 5	1,62	D4	0,9	0,015
Sum:				0,51

6.1.4 Konklusion – Nyudviklet primer

Det er i projektet lykkedes at udvikle en ny, vandbaseret primer, der målbart reducerer fiberrensning på egetræ med ca. 50 % i forhold til behandling med et ikke-optimeret vandigt produkt. Det totale indhold af problematiske stoffer i den nye primer er samtidig reduceret til 0,5 % - en reduktion på 95 % i forhold til WOCA's eksisterende primerprodukt, der ellers i forvejen var vandbaseret. Formuleringen udviser tilfredsstillende performance på alle målte parametre og er efter WOCA's vurdering klar til de første tests hos udvalgte industrikunder i møbelbranchen.

Vejen til dette nye produkt var ikke uden bump og omveje primært som konsekvens af en lidt for ensidig fokus på udvikling via én-faktor-ad-gangen-forsøg i projektets første år. Efter indførelse af mere struktureret statistisk forsøgsplanlægning (via Design of Experiments) midtvejs i projektet blev det muligt at evaluere et meget højere antal potentielle produktsammensætninger på mange performanceparametre samtidig, og dette medførte markant hurtigere fremdrift i produktudviklingen. Helt konkret lykkedes det med DOE at gå fra de første forsøg til endelig performancevalidering af den nye recept på blot fem måneder (april til august, 2020).

I tillæg til den mere effektive proces i produktudviklingen gjorde sparring med Miljøstyrelsen det lettere at inddrage miljø- og sundhedsvurderinger som et aktivt værktøj i udvælgelsen og evalueringen af råvarer. Dette har sikret, at den endelige recept udgør et klart fremskridt, hvad angår miljøprofilen for denne type træplejeprodukt.

På sigt vil det give mening at forbedre den nye primer yderligere, ideelt set til 0 % problematiske stoffer, ved at udskifte den benyttede sikkativløsning med et alternativ, der ikke er baseret på næsten ren nafta som bærende solvent (se i den forbindelse afsnit 6.2.2 og 6.2.3).

6.2 Vandbaseret olie

I de følgende afsnit beskrives udviklingen af den nye vandbaserede olie fra idé frem til det stadium, som produktet er på ved projektets afslutning, ultimo 2020. I lighed med den vandbaserede primer er udviklingen af dette produkt udført med Design of Experiments-tilgangen. Processen startede med en forsøgsserie for at indsnævre feltet af mulige bindemidler, efterfulgt af et studie, hvis formål var at undersøge en alternativ sikkativløsning, og slutteligt en serie, hvor forholdet mellem de benyttede bindemidler og vand blev varieret. Parallelt med dette arbejde blev der foretaget miljø- og sundhedsvurderinger, som også blev inddraget i valget af ingredienser.

6.2.1 Screening af mulige af ingredienser

Det indledende arbejde med formuleringen af det nye olieprodukt byggede på WOCA's erfaring med, at bindemidler typisk opfører sig på en af to mulige måder. Den ene gruppe har tendens til at danne film (hvilket normalt medfører god kemikalieresistens), mens den anden gruppe har tendens til at trænge mere ind i træet (og giver typisk højere befugtning). Forventningen var derfor, at det endelige produkt skulle sammensættes af en blanding af to sådanne bindemidler. På baggrund af denne hypotese blev der identificeret syv mulige bindemidler, opdelt efter type som vist i TABEL 16.

TABEL 16. Skematisk oversigt over de undersøgte bindemidler til formuleringen af den nye vandbaserede olie. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Filmdannende binder	Indtrængende binder
B2	B1
B4	B3
B5	B6
	B7

Baseret på kravsspecifikationerne blev det besluttet, at blandingerne skulle evalueres på følgende parametre:

- Indtrængning
- Fiberrejsning
- Befugtning
- Stabilitet af emulsion
- Tørretid
- Miljø- og sundhedsvurderinger.

Der blev herefter opstillet et faktorielt design i Design Expert for at undersøge de mulige kombinationer ved blandinger med 40 % tørstof (20 % fra hver af de to typer), 1 % additiv og 1 % sikkativ. Designet benyttede 17 eksperimenter til at opnå tilstrækkelig statistisk tyngde til at afdekke hovedeffekterne (gennemsnitsværdier for performance for hvert bindemiddel for sig). Den konkrete liste af udvalgte eksperimenter er vist i TABEL 17.

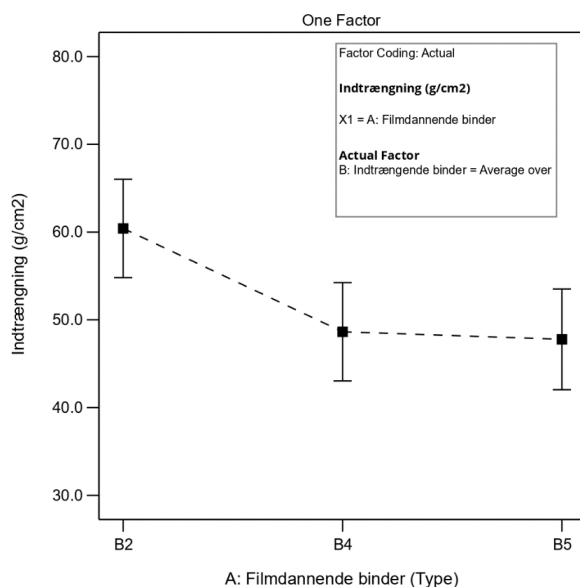
TABEL 17. Det opstillede eksperimentelle design til identifikation af den bedste sammensætning ved kombination af de to typer bindemiddel i den nye olie.

Run	Filmdannende binder	Indtrængende binder
1	B4	B6
2	B4	B7
3	B2	B1
4	B2	B3
5	B5	B3
6	B2	B7
7	B2	B3
8	B2	B6
9	B4	B3
10	B4	B1
11	B5	B6
12	B5	B3
13	B5	B1

Run	Filmdannende binder	Indtrængende binder
14	B4	B1
15	B2	B7
16	B5	B7
17	B4	B6

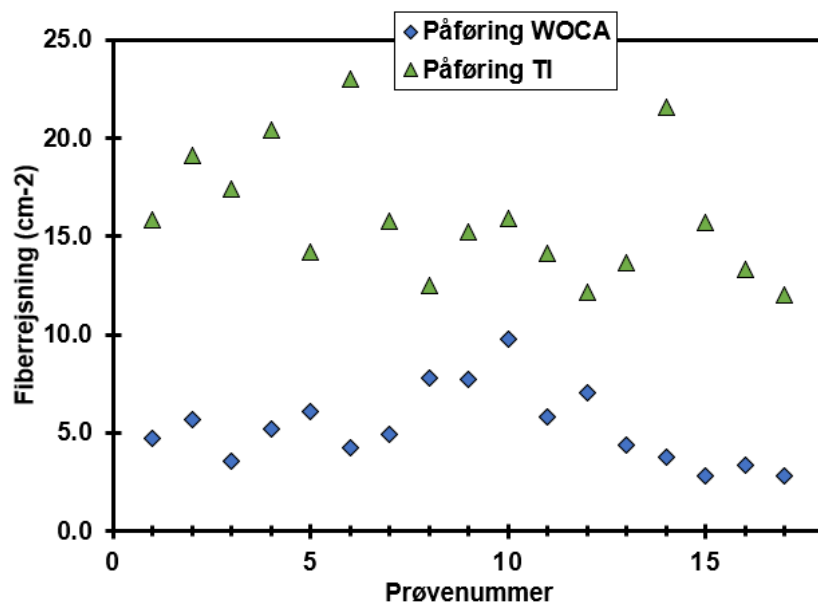
Næste trin herfra bestod som ved screeningen til primerproduktet i at bestille de pågældende råvarer hjem, afveje og blande de udvalgte formuleringer og udføre de nødvendige målinger. Efter afslutning af dette laboratoriearbejde blev de opnåede resultater for hver individuel performanceparameter igen evalueret i Design Expert via one-way ANOVA.

I FIGUR 25 vises den målte indtrængning som funktion af den benyttede filmdannende binder. Blandt disse ledte B2 til ca. 25 % højere indtrængning af olien end de to andre kandidater. De indtrængende bindemidler havde ikke signifikant forskellig effekt på den samlede indtrængning af olien. Bemærk, at de udførte forsøg ikke viser noget om, hvor meget af indtrængningen der skyldes de nominelt indtrængende bindemidler *versus* de filmdannende bindemidler, idet forholdet mellem disse to typer ingrediens er fastholdt (1:1 på tørstof) i hele screeningsstudiet.



FIGUR 25. Indtrængning versus filmdannende bindemiddel målt ved vejning. Effekten af B4 og B5 er ikke signifikant forskellige, mens B2 leder til ca. 25 % højere indtrængning af olien. Der er ikke signifikant forskel på effekten af de indtrængende bindemidler.

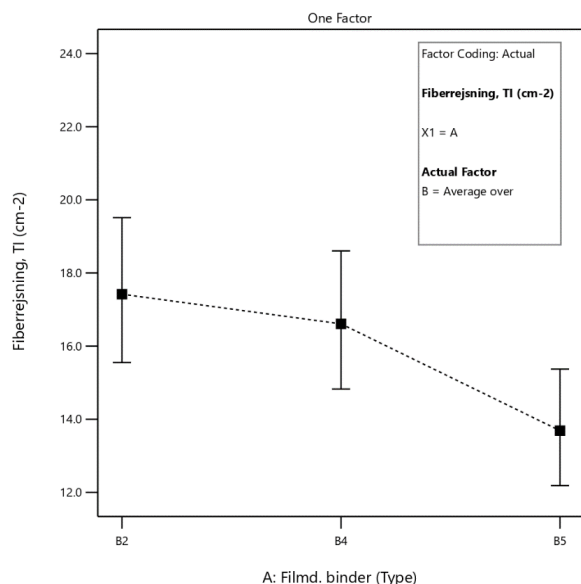
Der blev udført måling af fiberrejsning på to sæt prøver. I det første sæt blev olien påført hos WOCA i forbindelse med måling af befugtning, hvorefter træpladerne blev pakket og transporteret til Teknologisk Institut til måling. I det andet sæt blev olien påført hos Teknologisk Institut i forbindelse med måling af indtrængning, hvorefter træpladerne er blevet målt uden yderligere håndtering. Den målte fiberrejsning for de 17 blandinger på tværs af disse to sæt er vist i FIGUR 26.



FIGUR 26. Sammenligning af målt fiberrejsning for de 17 formuleringer, for de to sæt prøver – den ene påført hos WOCA og herefter transporteret til Teknologisk Institut og den anden påført hos Teknologisk Institut.

Det er tydeligt, at der observeres mere fiberrejsning for sættet påført på Teknologisk Institut, men denne forskel kan henføres direkte til en forskel i påføringsmetoden (påføring med hvid pad efterfulgt af aftørring med klud hos WOCA *versus* påføring med pensel efterfulgt af aftørring ved dup med papir på Teknologisk Institut).

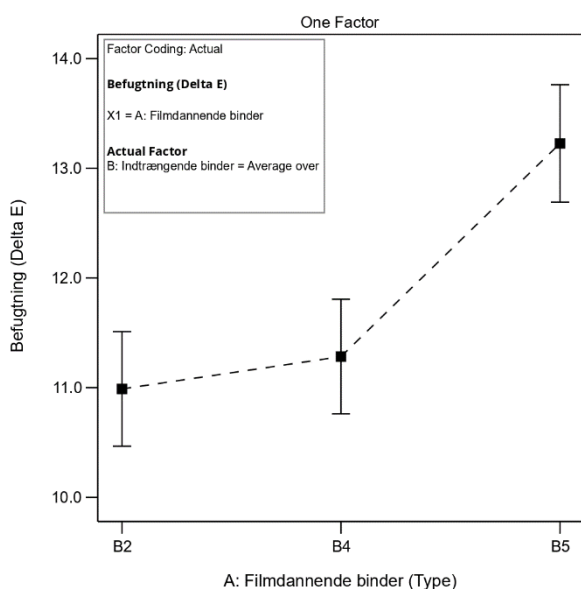
I sættet af prøver påført hos WOCA blev der ikke observeret signifikant forskel i nogen af de undersøgte bindemidlers opførsel, og det absolutte tal for fiberrejsningen var lavt på tværs af alle prøverne (i gennemsnit $\sim 5 \text{ cm}^{-2}$). Dette var forholdsvis overraskende, idet der er tale om vandige olieemulsioner, men dette blev vurderet at skyldes, at fibre bliver arbejdet ned i overfladen igen under påføringen. I sættet af prøver påført hos Teknologisk Institut udviste alle indtrængende bindere samme effekt på fiberrejsningen, mens der blandt de filmdannende bindere blev observeret en forskel mellem de benyttede bindemidler (FIGUR 27). Fiberrejsning for B5 lå således lige nøjagtigt signifikant lavere end for B2, mens fiberrejsningen for B4 lå inden for usikkerheden for B5.



FIGUR 27. Fiberrejsning efter påføring hos Teknologisk Institut versus filmdannende bindemiddel. B5 leder lige nøjagtig til signifikant lavere fiberrejsning end B2, mens fiberrejsning med B4 ligger inden for usikkerheden for fiberrejsning med B5.

Overordnet set viste dette screeningsstudie, at valget af bindemiddel ikke havde nogen kraftig indflydelse på den observerede fiberrejsning i den undersøgte recept, hvorfor der (som ventet) var behov for yderligere optimering af recepten for at opnå et produkt med lav fiberrejsning.

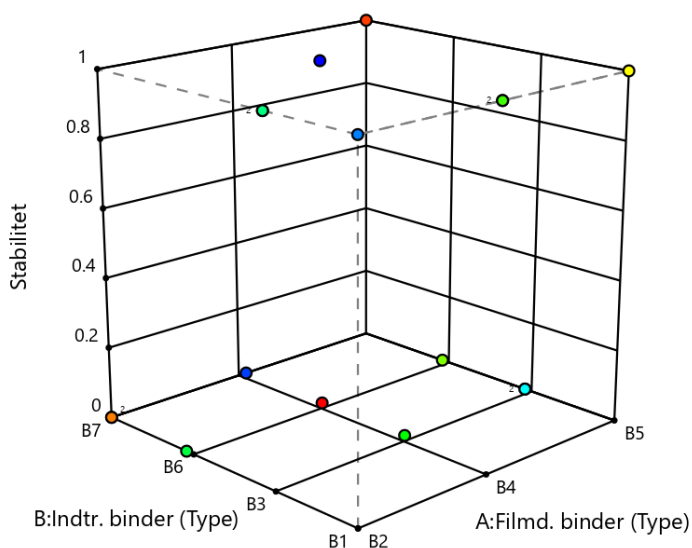
I FIGUR 28 vises den målte befugtning som funktion af den benyttede filmdannende binder. Her ses det, at B5 ledte til ca. 15 % højere befugtning end B2 og B4 (der ønskes høje værdier for dette produkt). Der blev ikke observeret nogen signifikant forskel i befugtningen på tværs af de indtrængende bindemidler.



FIGUR 28. Befugtning versus filmdannende bindemiddel. B2 og B4 er ikke signifikant forskellige, mens B5 ledte til 15 % højere befugtning af overfladen.

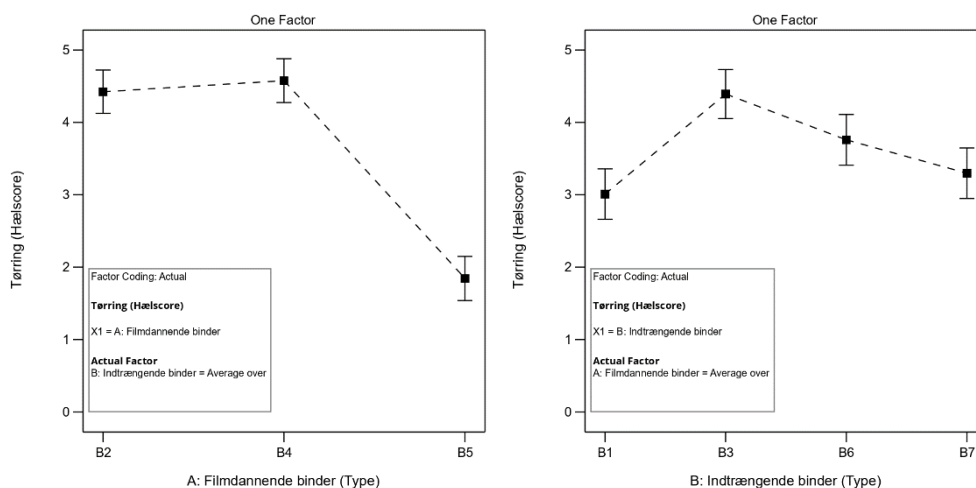
Stabiliteten af blandingerne blev udelukkende noteret som binær 'stabil vs. fasedeler' og er derfor ikke modelleret kvantitativt. Data fra alle 17 prøver er vist i FIGUR 29, hvor en værdi på 0 langs den vertikale akse betyder, at blandingen fasedeler, mens en værdi på 1 indikerer, at

blandingen er stabil. Generelt ledte brugen af B1 til stabile blandinger med alle filmdannende bindemidler, mens de fleste kombinationer med B3, B6 og B7 ledte til fasedeling.



FIGUR 29. Observeret stabilitet (lodret akse: 0 = blanding fasedeler, 1 = blanding er stabil) som funktion af den benyttede kombination af bindemidler.

I FIGUR 30 vises resultaterne af evalueringen af olieblandingernes tørring målt ved hjælp af en såkaldt hæltest som funktion af filmdannende bindemiddel (venstre) og indtrængende bindemiddel (højre). Der blev observeret signifikant forskel på, hvor god tørring der forekom ved begge typer bindemiddel. Blandt de filmdannende bindemidler ledte brugen af B5 til markant dårligere score i hæltesten for tørring end brugen af B2 eller B4. Forskellene mellem de indtrængende bindemidler var mindre med B3 og B6 som værende bedst.



FIGUR 30. Måling af tørretid via hæltest, hvor høje værdier reflekterer god tørring (5 er maks.). Venstre: Tørring versus filmdannende bindemiddel. Højre: Tørring versus indtrængende bindemiddel.

6.2.2 Frasortering af mulige ingredienser til olien

I TABEL 18 opsummeres de samlede resultater af screeningen af de forskellige bindemidler med indikation af, hvor hver potentiel ingrediens performer signifikant bedre eller værre end resten. Hvor der er angivet 0, er der ikke signifikant forskel i den observerede performance mellem bindemidlerne.

Blandt de filmdannende bindemidler udviser B2 tydeligt bedre indtrængning i forhold til B4 og B5, men ledte samtidig til højere fiberrejsning end B5 i prøverne fremstillet hos Teknologisk Institut. B2 er hverken værre eller bedre end B4 på de resterende parametre. B5 giver bedre befugtning, men mindre stabile blandinger og markant dårligere tørring.

Blandt de indtrængende bindemidler leder brugen af B1 til stabile blandinger med alle de potentielle filmdannende bindemidler. For de øvrige performanceparametre er der generelt ikke signifikant forskel mellem kandidaterne, og for tørring er B3 og B6 en smule bedre end B1 og B7.

TABEL 18. Skematisk oversigt over kandidaternes indflydelse på de forskellige performanceparametre.






Parameter	Filmdannende bindemiddel			Indtrængende bindemiddel			
	B2	B4	B5	B1	B3	B6	B7
Indtrængning	+	0	0	0	0	0	0
Fiberrejsning	-	0	+	0	0	0	0
Befugtning	0	0	+	0	0	0	0
Stabilitet	0	0	-	++	0	-	-
Tørring	0	0	--	0	+	+	0

Konklusionen på screeningsstudiet blev på basis af de ovenstående resultater en beslutning om, at feltet af indtrængende bindemidler skulle indsnævres til B1 og B3, mens det for de filmdannende bindemidler skulle indsnævres til B2 og B4.

Miljø- og sundhedsprofiler

Parallelt med laboratoriarbejdet for DOE-screeningen blev der foretaget indledende miljø- og sundhedsvurdering af alle de tilbageværende potentielle råvarer til olien. Resultatet i TABEL 19 viser, at der ikke umiddelbart er nogen forskel på de fire bindemidler, hvad angår miljø og sundhed. Samtidig ses det, at den primære udfordring på miljø og sundhed for den nye formulering er de benyttede sikkativer i lighed med udgangspunktet (Tabel 4). I TABEL 19 er desuden indført risikovurdering for en alternativ sikkativløsning med en angiveligt 'grønnere' profil fra en anden leverandør. Det ses, at denne løsning umiddelbart er marginalt bedre på faremærkning, og det blev derfor besluttet at medtage den i de dyberegående miljø- og sundhedsvurderinger.

TABEL 19. Risikovurdering af de individuelle råvarer fra screeningen udført som beskrevet i afsnit 5.4. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Kemikalie		Mærkning	Faresætninger	Alvorlighed	Sandsynlighed	Risiko
Bindemiddel, 60-95 %	B1, B2, B3, B4	Ingen	Ingen	1	1	1
	Sikkativ A1		H304	3	2	6
Sikkativer 1 %	Sikkativ A2		H304, H315, H318	4	4	16
	Sikkativ A3		H304, H318	3	4	12
Alternative sikkativer	Sikkativ B1		H226, H315, H318, H317, H412	3	5	15
	Sikkativ B2		H315, H318	2	4	8
Solvent, 0-40 %	Vand	Ingen	Ingen	1	1	1
Additiver, 1 %	Additiv 1	Ingen	Ingen	1	1	1

I TABEL 20 og TABEL 21 vises resultatet af den uddybende miljø- og sundhedsvurdering for de tilbageværende potentielle ingredienser til den nye olie i form af hhv. en oversigt over de konkrete problematiske stoffer og de lister, disse forekommer på, samt en uddybende oversigt over de samlede indholdsmængder af de problematiske stoffer i selve råvarerne og i den fulde produktformulering.

Som ventet ville næsten hele indholdet af problematiske stoffer i recepten skyldes sikkativløsningen, idet alle tre består af mindst 60 % nafta (sikkativløsning 1 er den samme som for det nye primerprodukt). I TABEL 21 ses det desuden, at den alternative sikkativløsning rent faktisk har et markant lavere indhold af problematiske stoffer, og det blev derfor besluttet at teste performance af disse, idet der blev øjnet en mulighed for en yderligere klar forbedring af miljø- og sundhedsprofilen af det nye olieprodukt.

TABEL 20. Oversigt over problematiske stoffer i olieproduktet og de lister, stofferne forekommer på.

Kandidatlisten	Restriktionslisten	SIN-listen
556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4) 64742-48-9 (Nafta)
CoRAP-listen	TEDX-listen	MST's vejledende liste til selvklassificeringer
104-76-7 (2-ethylhexanol) 71-36-3 (butanol)	104-76-7 (2-ethylhexanol) 556-67-2 (D4)	53988-05-9 (calciumisononanoat) 4075-81-4 (calciumdipropionat)

TABEL 21. Oversigt over de specifikke råvarer og deres samlede indholdsmængder af problematiske stoffer, både i selve råvaren og i den fulde produktformulering. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

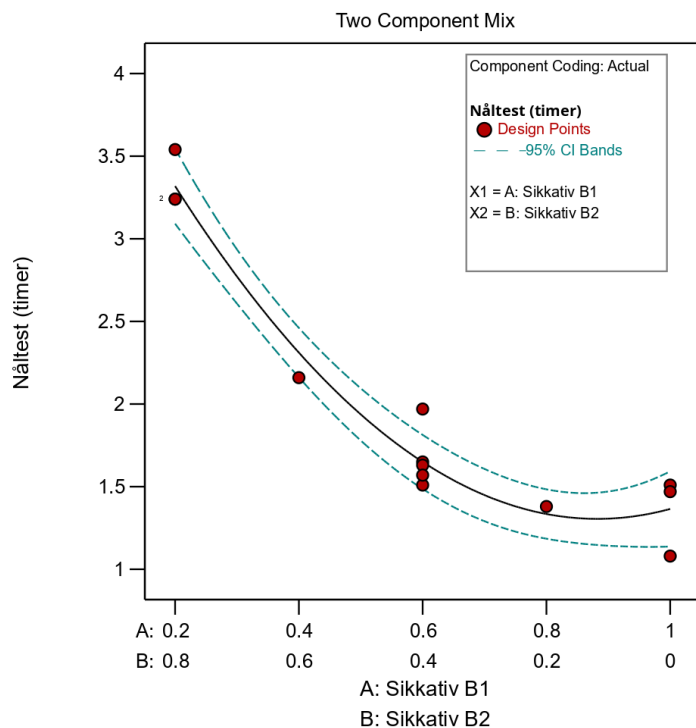
Råvare	Råvareandel i produktet [%]	Kemikalie	Kemikalie i råvare [%]	Kemikalie i produktet [%]
Sikkativ A1	0,33	Nafta	60	0,204
		Calciumisononanoat	30	0,099
		Calciumdipropionate	5	0,017
Sikkativ A2	0,33	Nafta	60	0,204
Sikkativ A3	0,34	Nafta	95	0,323
		2-ethylhexanol	5	0,017
Samlet, sikkativløsning 1	1,00		Sum:	0,864
Sikkativ B1	0,50	Nafta	8	0,04
		Butanol	10	0,05
Sikkativ B2	0,50	Nafta	31	0,155
Samlet, sikkativløsning 2	1,00		Sum:	0,245
Additiv 1	1,00	D4	<0,01	<0,0001

6.2.3 Test af alternativt sikkativsystem

På baggrund af den bedre miljø- og sundhedsprofil af den alternative sikkativløsning blev der udført et simpelt forsøg med henblik på at afdække den indflydelse, blandingsforholdet mellem de to alternative sikkativer Sikkativ B1 og Sikkativ B2 havde på tørretiden. Dette var interessant, idet det var forventet, at der skulle findes et kompromis mellem to modsatrettede mål:

- 1) For det første har de to råvarer et ret forskelligt indhold af problematiske stoffer (8 % nafta i Sikkativ B1 *versus* 31 % nafta i Sikkativ B2), hvorfor miljø- og sundhedsvurderingen vil tilskynde, at der udelukkende benyttes Sikkativ B1.
- 2) For det andet hævdede leverandøren, at Sikkativ B1 skulle være et såkaldt primært sikkativ, mens Sikkativ B2 skulle være et sekundært sikkativ. Forskellen er, at et primært sikkativ fremskynder tørring i sin rene form, mens et sekundært sikkativ ikke giver tørring i sin rene form, men giver bedre total tørring, når det erstatter en lille mængde af et primært sikkativ (som Sikkativ B1). Det fremgik dog ikke fra leverandørens side, hvor meget af Sikkativ B2 der skulle erstatte Sikkativ B1 for at opnå denne samlede forbedring (som ville ske på bekostning af miljø- og sundhedsprofilen).

Det blev prioriteret at holde forsøget simpelt, så det kunne tjene som led i indkøringen af DOE-forsøg hos WOCA selv, hvorfor tørretiden kun blev kortlagt for én fastholdt kombination af bindemidlerne B3 og B4 og uden måling af øvrige performanceparametre. Resultatet af forsøgs-serien er vist i FIGUR 31, hvor modellen for tørretid er vist som funktion af forholdet mellem de to alternative sikkativer. De grønne stiplede linjer angiver et 95 % konfidensinterval for linjens forløb og viser, at der *ikke* observeres nogen signifikant forbedring ved at indblende Sikkativ B2 som erstatning for en del af Sikkativ B1. Samtidig er tørretiden ved brug af det rene Sikkativ B1 et stykke under kravspecifikationerne (krav under 3 timer), og konklusionen på dette lille forsøg blev således, at det var meningsfuldt at arbejde videre med det rene Sikkativ B1 som et miljø- og sundhedsmæssigt bedre alternativ til sikkativløsning 1 uden tab af performance.



FIGUR 31. Tørretid som funktion af blandingsforhold mellem de to alternativer, Sikkativ B1 og B2. Der observeres ikke nogen signifikant forbedring af tørretiden ved at indblende Sikkativ B2.

6.2.4 Konklusion – Vandbaseret olie

Undersøgelsen af de alternative sikkativer, beskrevet i det foregående afsnit, var det sidste fulde DOE-forsøg, der nåede til en klar konklusion under projektet. I skrivende stund, december 2020, er udviklingsarbejdet for olien ikke afsluttet, og der gøres derfor blot status over, hvor prototypeformuleringen er nået til. I TABEL 22 og TABEL 23 vises det samlede indhold af problematiske stoffer i prototypeformuleringen, som er nedbragt til 0,18 % - en reduktion på 92 %.

TABEL 22. Oversigt over tilbageværende problematiske stoffer i prototypeformuleringen af det nye olieprodukt og de lister, stofferne forekommer på.

Kandidatlisten	Restriktionslisten	SIN-listen
556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4)	556-67-2 (D4) 64742-48-9 (Nafta)
CoRAP-listen	TEDX-listen	MST's vejledende liste til selvklassificeringer
71-36-3 (butanol)	556-67-2 (D4)	

TABEL 23. Oversigt over de specifikke råvarer og deres samlede indholdsmængder af problematiske stoffer, både i selve råvaren og i prototypeformuleringen ved projektets afslutning. De specifikke produktnavne er anonymiseret, men kendt af hele projektgruppen og Miljøstyrelsen.

Råvare	Råvareandel i produktet [%]	Kemikalie	Kemikalie i råvare [%]	Kemikalie i produktet [%]
Sikkativ B1	1	Nafta	8	0,08
		Butanol	10	0,1
Additiv 1	1	D4	<0,01	<0,0001
Sum:				0,18

Selvom denne reduktion i det totale indhold af problematiske stoffer er positivt, består den klart største forbedring af oliens miljø- og sundhedsprofil i skiftet til ikke-flygtige, vandbaserede bindemidler (og eventuelt ekstra rent vand). Den eneste tilbageværende kilde til VOC'er i prototypeformuleringen er Sikkativ B1, og det totale VOC-indhold er derfor blot 0,18 %. Derved er VOC-indholdet for denne type produkt reduceret med 99,6 % i forhold til udgangspunktet.

Der er stadig et stykke vej til en endelig formulering og et færdigt olieprodukt, men processen for at nå målet er nu veletableret, nemlig DOE-baserede forsøg til screening og optimering af blandingen, så de mange (ofte modsatrettede) krav til performanceparametrene kan opfyldes. Det vurderes således at være realistisk at færdiggøre den nye vandbaserede olie i det kommende år.

Forsøgsserierne skal fortsat følges kontinuerligt af miljø- og sundhedsvurderinger, der sætter kvantitative tal på risici ved og totalt indhold af problematiske stoffer. Dette skal medvirke til at sikre, at der ikke bruges tid og ressourcer på udvikling med råvarer, der alligevel skal udfases inden for en kort årrække.

7. Konklusion

Der er i dette projekt udviklet nye vandbaserede produkter til overfladebehandling af møbler, som beviseligt medfører lavere fiberrejsning end ved behandling med andre vandbaserede produkter. Denne egenskab er unik i markedet og gør de nye produkter til konkurrencedygtige alternativer til eksisterende produkter baseret på organiske opløsningsmidler, idet deres performance ligger tættere på solventbaserede løsnings performance, samtidig med at de har en markant bedre miljø- og sundhedsprofil.

Ved projektets afslutning er udviklingen færdiggjort for det vandbaserede laksystem, mens oliesystemet kræver yderligere arbejde, før det bliver markedsklart. I den endelige udformning af laksystemet håndteres fiberrejsning udelukkende via primeren (den første af flere overfladebehandlinger), da det undervejs i udviklingen blev fundet, at graden af fiberrejsning ikke stiger nævneværdigt efter denne første påføring af et vandigt produkt. Dette giver større spillerum i formuleringen af sealer og lak, idet disse ikke behøver at blive optimeret i forhold til også at minimere fiberrejsning.

Det totale indhold af problematiske stoffer i den nye primer er reduceret til 0,5 % - en reduktion på 95 % i forhold til WOCA's eksisterende primerprodukt, der ellers i forvejen er vandbaseret. Formuleringen udviser tilfredsstillende performance på alle målte parametre og er efter WOCA's vurdering klar til de første tests hos udvalgte industrikunder i møbelbranchen.

I den seneste prototypeformulering for det nye olieprodukt er det totale indhold af problematiske stoffer reduceret til 0,18 % - en reduktion på 92 % i forhold til WOCA's nuværende olieprodukt. Det samlede VOC-indhold i prototypen er desuden reduceret med mere end 99 % i forhold til WOCA's nuværende olieprodukt.

Disse markante fremskridt for to af WOCA's produkter til møbelindustrien er opnået takket være forbedringer af processen omkring miljø- og sundhedsvurderinger baseret på input og sparring fra Miljøstyrelsens kemikaliegruppe undervejs i projektet. De nye procedurer for vurderingen af råvarer og disses indholdsstoffer ses som et lige så vigtigt resultat af projektet, idet de vil udgøre et centralt værktøj i løbende forbedringer af hele WOCA's produktportefølje.

Et andet værdifuldt resultat af projektet har været et nyt trin i digitaliseringen af produktudvikling hos WOCA i form af Design of Experiments. Dette værktøj gør udviklingen af de komplekse produkter hurtigere, mere effektiv og gennemsigtig ved fra starten at sikre fokus på alle de mange krav, der skal opfyldes, før et nyudviklet produkt kan bringes til markedet.

Endelig er der udviklet en ny metode ved Teknologisk Institut til kvantitativ måling af fiberrejsning på overfladen af træ. Med denne metode kan der indsamles data fra store overflader på meget kort tid, så den naturlige variation mellem forskellige stykker træ ikke overskygger effekterne af den overfladebehandling, der benyttes. Metoden vil med fordel kunne anvendes af andre virksomheder inden for samme branche, der kan imødesee lignende udfordringer forbundet med den grønne omstilling og det tilhørende skifte fra solvent- til vandbaserede produkter til overfladebehandling af bl.a. træ.

8. Referencer

Landry, V. et al., 2013. "Water-Based and Solvent-Based Stains: Impact on the Grain Raising in Yellow Birch". Véronic Landry, Pierre Blanchet, Lyne M. Cormier (2013). BioResources, 8, 1997-2009. DOI: 10.15376/biores.8.2.1997-2009

Evans, P.D. et al., 2017. "Microstructure and Mechanism of Grain Raising in Wood". Philip D. Evans, Ian Cullis, Joseph Doh Wook Kim, Lukie H. Leung, Siti Hazneza, Roger D. Heady (2017). Coatings, 7, 135. DOI: 10.3390/coatings7090135

Bilag 1. Kravsspecifikationer

Bilag 1.1 Kravspecifikation - Vandige industriolier

Sammensætning

- 1-komponent-løsning

Applikation

- Sprøjte
- Valse
- Manuel

Tørretid

- Overfladetør < 3 timer
- Gennemtør < 12 timer

Viskositet og tørstofindhold

- Sprøjte
 - TS < 50 %
 - Viskositet: Thixotropisk, tyndflydende
- Valse
 - TS > 50 %
 - Viskositet: Newtonsk, olieagtig
- Manuel
 - TS > 50 %
 - Viskositet: Newtonsk, olieagtig

Tonbar

- Vandige pigmentsystemer (Sioen Aquacolors)
- Universal pigmentsystemer (Sioen Baticolors)

Overflade

- Maksimalt penetrerende og befugtende
- Minimal fiberrejsning
- God træglød

Krav til overfladen

- Vand, kaffe, rødvin, madolie 1+3 timer efter 1 og 7 dage. Der kan accepteres ændringer efter 1 dag. Efter 7 dage må der ikke være irreversible ændringer. Hermed menes skal kunne genoprettes med plejeprodukter (sæbe, plejegel)

Bilag 1.2 Kravspecifikation - Vandige industrilakker

Applikation

- Sprøjte
- Manuel
- Dip & dry coating

Tørretid

- Overfladetør < 1 time
- Gennemtør < 3 timer

Viskositet og tørstofindhold

- Sprøjte
 - TS < 50%
 - Viskositet: Thixotropisk, tyndflydende. God udflydning.
- Manuel
 - TS < 50%
 - Viskositet: Newtonsk, olieagtig. God udflydning.

Tonbar

- Vandige pigmentsystemer (Sioen Aquacolors)
 - Universal pigmentsystemer (Sioen Baticolors)

Overflade

- God vedhæftning
- God filmopbygning
- Minimal fiberrejsning
- Minimal træglød. Hvis træglød ønskes, lægges egenskab i primer.

Krav til overfladen

Vand, kaffe, rødvin, madolie 1+3 timer efter 1 og 7 dage. Der kan accepteres små ikke irreversible ændringer efter 1 dag. Efter 7 dage må der ikke være ændringer. Ikke irreversible: Hermed menes skal kunne genoprettes med plejeprodukter (laksæbe, lakpleje)

Miljøvenlig træpleje

I gennem de sidste mange år har der været stort fokus på at udfase anvendelsen af miljø- og sundhedsskadelige stoffer. Organiske opløsningsmidler anvendes dog stadig i stor udstrækning i produkter til overfladebehandling af træ, da de sikrer en god teknisk performance. Flere af disse stoffer kan fremkalde kræft, skade arveanlæg-gene eller skade fosteret og/eller menneskets frugtbarhed, og udgør derfor en betydelig risiko for både sundhed og miljø.

Formålet med nærværende projekt er derfor at udvikle nye vandbaserede alternativer til overfladebehandling af møbler i industrien og til privat brug. Et sådant skifte giver dog nogle grundlæggende tekniske udfordringer, som skal håndteres herunder fiberrejsning på træet, reduceret indtrængning og øget tørretid.

Der er i dette projekt udviklet nye vandbaserede produkter til overfladebehandling af møbler, som beviseligt medfører lavere fiberrejsning end andre vandbaserede produkter. Denne egenskab gør de nye produkter til konkurrencedygtige alternativer til eksisterende produkter baseret på organiske opløsningsmidler, idet deres performance ligger tættere på solventbaserede løsningers performance, samtidig med at de har en markant bedre miljø- og sundhedsprofil.

Der er endvidere i projektet udviklet en ny metode til kvantitativ måling af fiberrejsning, som vil kunne udbredes til andre virksomheder, som kan imødesee lignende udfordringer i skiftet fra solvent- til vandbaserede produkter inden for træbehandling.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk