



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Træimprægnering med HF-teknologi

MUDP-rapport

Miljøprojekt nr. 1912

December 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
Danish Wood Technology A/S

Tomas Sander Poulsen
Provice ApS

ISBN: 978-87-93529-53-3

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. 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

Forord	4
1. Sammenfatning	5
1.1 Resultater	5
1.2 Perspektiver	6
2. Projektforløbet	7
2.1 Baggrund	7
2.2 Arbejdspakke 1 – Udvikling af testanlæg.....	7
2.2.1 Leverancer i arbejdspakke 1	8
2.3 Arbejdspakke 2 – Produktion og produkttest	9
2.3.1 Testprogram	9
2.3.2 Testresultat for væskeoptag ved imprægnering	10
2.3.3 Indikativ test af råd og svamp og termit resistens	11
2.3.4 Vedr. udvaskningstest	14
2.3.5 Sammenfatning og perspektivering af testforløbet	14
2.3.6 Proces erfaringer	16
2.4 Miljøscreening.....	17
2.4.1 Forudsætninger for miljøscreening.....	17
2.4.2 Nøgletal.....	17
2.4.3 Funktionel enhed og scenarier.....	17
2.4.4 Miljøparametre.....	17
2.4.5 Resultat af miljøscreening.....	18
2.4.6 Opskaleret scenarie til DK produktionsniveau	18
2.4.7 Sammenfatning af miljøscreeningen	18
2.4.8 Leverancer i arbejdspakke 2	19
2.5 Arbejdspakke 3 – Demonstrationskonstruktioner.....	19
2.5.1 Leverancer i arbejdspakke 3	20
2.6 Arbejdspakke 4 – Projektledelse og formidling.....	20
2.6.1 Leverancer i arbejdspakke 4	21
2.7 Resultater	21
Referencer	23

Forord

Denne slutrapport beskriver de gennemførte aktiviteter og resultater i MUDP projektet *Miljøvenlig træimpregnering med HF* teknologi som Danish Wood Technology A/S har arbejdet med i perioden 2014-2016.

Danish Wood Technology (herefter kaldet DWT) har siden 2008 arbejdet med udvikling af højfrekvens radiobølger (HF-teknologi) som en alternativ metode til impregnering af træ. Arbejdet er foregået i laboratorieskala og pilotskala i samarbejde med bl.a. Göttingen University. Det unikke ved HF-teknologien er, at den kan bruges til at trænge væsker helt igennem træet i såvel splint som kerneved ind til kernetræet. Teknologien producerer således ikke færdige trævare produkter men introducerer en produktionsproces, som giver helt nye muligheder for træbeskyttelse – både med traditionelle midler eller nye mindre miljøbelastende midler. DWT's teknologi er patentbeskyttet worldwide. DWT forretningsstrategi er baseret på at være systemleverandør af HF-anlæg til Europa og verdensmarkedet samt få licensindtægter af træ impregneret på HF-anlæg.

Projektets hovedformål var sammenfattende:

- at udvikle et op skaleret HF-anlæg til impregnering af dansk gran træ, med miljøvenlig impregnering mod bl.a. råd og svamp.
- at demonstrere, at dansk gran kan behandles effektivt mod råd, svamp og brand med miljø- og kosteffektive metoder
- at producere prototyper og demonstrationskonstruktioner i træ for at vise nye muligheder for bæredygtigt byggeri.

Projektets mål og succeskriterier var defineret som beskrevet i nedenstående skema.

Projektets mål	Succeskriterier
At udvikle et impregneringsanlæg til produktion af prototyper af impregneret Dansk grantræ	Færdigudviklet testanlæg der er installeret og i drift
At dokumentere at man kan impregnerer dansk grantræ med forskellige typer impregneringsmidler og opnå bedre effekt end traditionel impregnering	Test resultater som viser, at der kan opnås bedre impregneringseffekt end traditionel impregnering med mindre miljøbelastende stoffer.
At karakterisere og dokumentere produktets tekniske og miljømæssige kvaliteter i forhold til traditionel impregnering	Analysere og dokumentere betydelig bedre teknisk og miljømæssig performance end traditionel impregneret træ
At lave demonstrations konstruktioner med prototyper af impregneret grantræ	Færdigbygget demonstrationskonstruktioner med egne produkter

Alle projektmål og succeskriterier blev realiseret i MUDP projektet. Det konkrete forløb og projektresultater er beskrevet mere detaljeret i slutrapporten.

Der kan findes mere information om HF teknologien og DWT på www.dwt.as.

1. Sammenfatning

1.1 Resultater

Projektet har demonstreret, at DWT's patenterede system til produktion af imprægneret træ med HF-radiobølger gør det muligt at fuld-imprægner dansk gran og andre træsorter med både vandige, saltholdige og olieholdige væsker i de forskellige træsorter, som har været testet.

Den metode som er anvendt til at teste imprægneringseffekt bygger på NTR dokument 2 principperne, hvor der analyseres på væskeoptag og fordeling (distribution) af væsken i materialet. Alle test af væskeoptag og imprægnering er gennemført i samarbejde med Teknologisk Institut.

Testresultaterne har overgået forventningerne og er særdeles positive i forhold til opnået indtrængning. En hovedkonklusion er, at DWT processen har dokumenteret, at der optages betydeligt større mængder væske i træets strukturer end muligt med traditionel imprægnering. Endvidere er væskeoptaget mere ensartet fordelt i træets struktur, hvilket giver muligheder for bedre produktkvaliteter, da en gennemimprægnering af hele træets profil teoretisk set giver en større modstandsdygtighed mod ødelæggende svampe og dermed større holdbarhed. Gennemimprægnering sikrer, at sprækker og åbninger eller naturligt slid vil ikke give svampe mv. adgang til ubehandlede dele af træet og dermed forcere en nedbrydning.

I projektet er der produceret og testet prototyper med følgende træsorter:

- Gran
- Eg
- Mahogni
- Eukalyptus
- Fyr

Test på væskeoptag og distribution er udført i både tørt træ (8% fugt) og vådt træ (25% og 45% fugt). Fuld imprægnering kan opnås med hhv. 8% og 12% fugt. Imprægnering på 6 mm dybde kan opnås i vådt grantræ (45% fugt). Traditionel tryk/vakuumpreparering af fyr trænger typisk 2-3 mm ind i træets ved, og imprægnering sker i tørt træ (8-12 % fugt).

At opnå væskeoptag i vådt gran (45% fugt) i 6 mm dybde er en ekstrem test, som udtrykker, at det har været muligt at imprægner hårde træsorter som i forvejen er væskeopfyldt (med vand).

Alle test er udført i træstørrelser på 1200 x 95 x 45 mm. Fuld imprægnering defineres som en indtrængning større end 50 mm. Alle afprøvede væsker trængte helt igennem træet i såvel splint som kerneved ved 8% fugt, 12% fugt og 25% fugt.

Det er endvidere testet at fuld imprægnering kan opnås med samme gennemløbstid som for traditionel tryk/vakuumpreparering og i en bedre kvalitet idet imprægneringsresultatet er + 50 mm i stedet for 2-3 mm som er standard niveau ved traditionel tryk/vakuumpreparering.

Projektet har afdækket at produktionstid og produktionspris ikke forventes at udgøre en barriere for udbredelse af en konkurrencedygtig stor-skala produktion.

Konstruktion og udvikling af prototype anlæg har genereret nogle værdifulde erfaringer til brug i den fortsatte tilpasning af teknologiens reproducerbarhed. Det blev bl.a. nødvendigt at udbygge

prototype anlægget med flere monitorings parametre således at proces styring i forholdet mellem HF-forbehandling, træsort, væske-type samt den efterfølgende tryk/vakuum proces kunne styres mere detaljeret. Der viste sig også behov for ændringer i design og materialevalg til bedre beskyttelse af elektriske komponenter i udstyret for at forlænge holdbarhed og robusthed.

Som en del af projektet blev der foretaget en sammenlignende miljøscreening af teknologien i forhold til traditionel kobber imprægnering. Screeningen fokuserede på at kvalificere den miljømæssige effekt ved et scenarie, hvor traditionel kobber imprægneret træ, klasse NTR AB uden jordkontakt, solgt i DK erstattes med træ behandlet med DWT teknologien og imprægneret med linolie/træmjære. Screeningsens resultater er beskrevet nærmere i afsnit 2.4.

1.2 Perspektiver

DWT's mål er at have det første fuldskala testcenter og produktionsanlæg installeret og i drift i 2017. Anlægget dimensioneres til en produktionskapacitet på 3.000 m³/år og etableres i Danmark. Den konkrete placering er ikke endelig besluttet.

Anlægget vil være ordre producerende og tilbyde fuld-imprægnering af både forskellige træsorter og med forskellige væsker, ud fra kundespecifikationer. Der vil blive tilknyttet et teknologicenter til produktionen, som kan varetage test og dokumentation af de producerede emner, f.eks. i forhold til råd/svamp, brand og miljøprofil. De konkrete test afhænger af myndigheds- eller kundekrav for det konkrete produkt og test udføres af relevante GTS institutter

MUDP projektet har gjort det muligt at kvantificeret forretningsmodellen yderligere og DWT vil som udgangspunkt kunne tilbyde ordrespecificeret træimprægnering til markedspris (ca. 1.800 €/m³ træ, 2017 pris /17/ . Produktionen er fleksibel i forhold til valg af træsorter samt valg af væsker og ønsket imprægneringsdybde. De mange nye muligheder som kunder kan vælge, giver forventninger om at en række kunder vil komme med ordre til DWT, som skal afprøve nye væske og træsort kombinationer for konkrete trævare produkter indenfor bygge- og anlæg samt møbelindustrien.

2. Projektforløbet

2.1 Baggrund

I december 2013 modtog DWT tilsagn fra MUDP om støtte til udvikling af et HF testanlæg og produktion og vurdering af prototyper for miljøvenlig imprægnering. Projektet blev startet op primo 2014 og blev afsluttet efterår 2016.

Det nyskabende ved DWT's teknologi er at man under kontrolleret forhold kan modificere træstrukturer med højfrekvente radiobølger (HF) således, at væske efterfølgende effektivt kan trænge dybt ind i træstrukturen. Det er ikke muligt med traditionel tryk/vakuumpreimpregnering. En dybere indtrængning er interessant fordi det kan forlænge træets levetid og holdbarhed, og fordi det åbner op for imprægnering med alternative og mere miljøvenlige væsker.

Projektforløbet og de centrale resultater er i det følgende rapporteret i forhold til de arbejdsopgaver, som projektet har gennemført og som var planlagt i MUDP ansøgningen.

Projektet bestod af 4 arbejdsopgaver:

- Arbejdsopgave 1: Udvikling af testanlæg
- Arbejdsopgave 2: Produktion og produkttest
- Arbejdsopgave 3: Demonstration
- Arbejdsopgave 4: Formidling og projektledeelse

Projektet har i relevant omfang været tilpasset efterhånden som resultater og erfaringer er blevet genereret.

2.2 Arbejdsopgave 1 – Udvikling af testanlæg

Design og dimensionering af anlægget blev udviklet med afsæt i DWT's grundkoncept. Som opstart blev der afholdt designworkshops med teknologi leverandør af HF teknologi og Teknologisk Institut, hvor der bl.a. blev konkretiseret og defineret ønsket relevante måle- og test parametre, som skulle forsøges integreres i testanlægget for at kunne styre anlæggets drift og sikre en kvalificeret monitoring.

I denne fase blev der arbejdet med at løse forskellige tekniske udfordringer ved drift af HF-teknologien. Da test anlægget anvender højspænding ved drift af HF-teknologien var der behov for at designe særlige løsninger til faseopdeling af produktionen og sikkerhedsafskærmning af testanlægget. Det blev derfor besluttet at udvikle og tilpasse hardwaren til HF enheden i en separat 40 fods container, som blev opstillet midlertidigt hos Teknologisk Institut. Efter færdigudvikling og indkøring af HF-enheden blev den integreret med et tryk/vakuumpreimpregneringsprocessen. Denne test enhed blev udviklet ved at modificere et traditionelt tryk/vakuumpreimpregneringsproduktionssystem.

Anlægget blev dimensioneret til at kunne HF behandle træemner i længder op til 1200 x 45 x 95 mm og til at kunne producere 5 emner af gangen. Denne dimension blev valgt idet sådanne træstykker kan eftervise egenskaber for de fleste trævarer produkter – fra forskallingsbrædder til konstruktions- og spær træ. Den valgte produktionskapacitet var tilstrækkelig til projektets formål med at fremstille og teste prototyper og indsamle produktionserfaring.

Det færdigudviklede testanlæg blev designet som et samlet system med to step:

- 1) HF behandlings trin hvor træ-emner modificeres til væskeoptag
- 2) Tryk/vakuum trin hvor træ-emner imprægneres med en given væske

Testanlægget blev installeret i et test værksted hos Teknologisk Institut.



BILLEDE 1: TEST ANLÆGGET

En vigtig del af proces teknologien var at udvikle og tilpasse et monitoringsprogram, som relaterer væske flow, opholdstid og mængde af tilsatte stoffer til det færdige produkt. Dette monitorings setup er et afgørende udgangspunkt for vurdering af de efterfølgende test af prototype produkternes performance. Test produktionen har defineret den endelige arkitektur for monitoringsystemet.

Testanlægget var konstrueret og klar til produktion i efteråret 2014.

På baggrund af erfaringerne fra testproduktion har DWT færdigudviklet processens ”blueprint” og defineret de nødvendige tekniske specifikationer til at kunne lave et fuldskalaanlæg.

Testforløbet har endvidere afprøvet og bekræftet DWT patentstrategi og styrke i det udtagne patent.

2.2.1 Leverancer i arbejds pakke 1

Følgende leverancer er udviklet i arbejds pakke 1:

- testanlæg designet
- testanlæg konstrueret og indkøbt i to faser. Første fase var udvikling og test af hardware til HF delen. Anden fase var integration i tryk/vakuum del
- monitoringsprogram færdigudviklet
- blueprint af testanlæg udviklet.

2.3 Arbejdspakke 2 – Produktion og produkttest

Denne arbejdspakke omfattede indkøring og justering af testanlægget og testproduktion af imprægneret prototyper i Dansk gran og andre udvalgte træsorter. Arbejdspakken har været gennemført i perioden efteråret 2014 – efteråret 2015. I perioden blev der udviklet en optimeret produktion, og denne fase var fokuseret på at løse de forskellige typer praktiske udfordringer som opstod i forbindelse med indkøring og test af forskellige træsorter og væsker.

2.3.1 Testprogram

I samarbejde med Teknologisk Institut blev der udarbejdet et test design for testproduktionen, hvor de konkrete vurderingsparametre blev defineret. Det anvendte testprogram er udarbejdet af Teknologisk Institut og er baseret på de samme parametre, som anvendes ved testprogrammer for traditionel kobber imprægnering med tryk/vakuum. Testprogrammet fokuserede på væskeoptag og distribution af væske i forskellige træsorter med forskellige fugt koncentrationer og henholder sig til vilkårene i NTR standarden for "treatability properties and stability" - NWPC Document No. 2/2014, section 6.8.

Der er ikke gennemført andre typer test i henhold til standarder, da det er projektets formål at udvikle, teste og demonstrere en ny imprægneringsmetode og ikke at producere et bestemt imprægneret træprodukt, f.eks. linolieimprægneret teak.

Testprogrammet bestod overordnet af følgende parametre:

- Fugt: Test af væskeoptag afprøves på træemner i forskellige tørhedsgrader defineret som 8% fugt, 12% fugt og 20% og 25% fugt. Teknologisk Instituts testfaciliteter kunne måle fugtprocenten, og alle målinger blev udført af Teknologisk Institut og bistået af DWT i det omfang Teknologisk Institut fandt det relevant.
- Optag: Test af væskeoptag blev dokumenteret ved vejning af emner før/efter produktion.
- Væske: Testprogrammet omfattede test af væsker, som er vandopløselig hhv. olieopløselig.
- Træ: Testprogrammet omfattede dansk gran og andre hårde træsorter samt fyr.

Første fase af testproduktionen blev indkørt med tør fyr (8% fugt) og almindelig vand tilsat farve. Derved kan man hurtigt foretage en visuel inspektion af væskeoptag og indtrængning. Testanlægget blev løbende tilpasset og justeret undervejs.

Derefter blev den egentlige testproduktion afviklet. I denne fase blev der produceret og testet prototyper i følgende træsorter:

- Fyr
- Dansk gran
- Eg
- Mahogni
- Eukalyptus.

Især test med dansk grantræ har været prioriteret, da anvendelse af lokale danske træsorter har nogle spændende kommercielle perspektiver, som i dag ikke er mulig at realisere, fordi gran er for hårdt til, at man kan anvende denne træsort ved traditionel imprægnering.

Valg af gran som træsort skyldes endvidere, at det er en af de vanskeligste træsorter at imprægner, hvorfor succes med gran sandsynligvis kan overføres til andre træsorter. Forskellige træsorter, kræver forskellige HF frekvenser og styrke. En del af projektet var derfor at udvikle drejebogen for at optimere disse.-

Test udført på grantræ med 12 % fugt er valgt fordi det vurderes at være den vanskeligste træsort at imprægner. Endvidere er 12 % tørt træ er et møbel tørt produkt. Hvis imprægnering derfor lykkedes, vil det sige, at man i princippet kan imprægner færdig producerede trævare produkter.

Test i grantræ med 20 % fugt, er valg fordi det svarer til fugtindholdet for konstruktionstræ. De forskellige hårde træsorter er udvalgt fordi de er udfordrende at imprægnere og kan ikke imprægneres med traditionel tryk/vakuumpreimpregnering. Hvis det er muligt at imprægnere hårde træsorter vil man kunne kombinere hårdtræ's naturlige længere holdbarhed med de fordele imprægnering med forskellige råd- og svampebegrænsende eller konserverende midler kan give.

Valg af væsker til test af væskeoptag ved HF-imprægnering blev defineret ud fra ønsket om at afprøve væsker, som både har brandhæmmende egenskaber eller råd/svamp hæmmende egenskaber, og endelig skal væsken være mindre miljøbelastende end traditionel kobberimprægnering.

De gennemførte test er også udført på træemner med epoxy forseglede ender, for at give et retvisende billede af indtrængnings profil fra siden.

Følgende væsker blev der fremstillet og testet prototyper med:

- Vand
- Linolie - CAS nr.: 8001-26-1/trætræjære - CAS nr.: 8011-48-1, 50/50 blanding (råd/svamp imprægnering)
- Trætræjære (råd/svamp imprægnering) – CAS-nr.: 8011-48-1
- Kobberimprægnering (Celcure AC800) ((råd/svamp imprægnering) - CAS nr.: 68424-85-1
- Alun 5, 10 og 20% opløsning (brandimprægnering) - CAS-nr.: 10043-67-1
- Bor 20% opløsning (brandimprægnering) – CAS nr.: 7440-42-8

Det gælder for trætræjære og linolie, at der ikke er fundet udførte råd- og svampetest i henhold til DS/EN 599 eller DS/EN 330, men det er kendt at produkterne har råd- og svampehæmmende egenskaber for de almindelige nordeuropæiske svampe kulturer. Produkterne anvendes bl.a. i vedligehold af træværk hos Nationalmuseet, Vikingeskibsmuseet, Ringkøbing Museum, Brede, Rådvad Centeret m.fl. Endvidere er der foretaget forskellige holdbarhedstest, f.eks. af Teknologisk /6/.

2.3.2 Testresultat for væskeoptag ved imprægnering

Alle test af væskeoptag og imprægnering er gennemført i samarbejde med Teknologisk Institut. Testresultaterne har overgået forventningerne og er særdeles positive. En hovedkonklusion er, at DWT processen har dokumenteret, at der optages betydeligt større mængder væske i træets strukturer end muligt med traditionel imprægnering. Endvidere er væskeoptaget mere ensartet fordelt i træets struktur, hvilket giver bedre produktkvaliteter da en gennemimprægnering af hele træets profil teoretisk set giver en større modstandsdygtighed mod ødelæggende svampe og dermed større holdbarhed. Gennemimprægneret træ med sprækker og åbninger eller naturligt slid vil ikke give svampe mv. adgang til ubehandlede dele af træet og dermed forcere en nedbrydning.

Teknologisk har udført test, der har dokumenteret at væskeoptaget ved DWT's HF-proces er 40 % forbedret ift. traditionel imprægnering ved direkte sammenligning med tørt grantræ (12 % fugt).

Væske/Træsart	Fyr	Gran (8-25%)	Eg	Meranti Mahogni
Vand med farvepigment	579 kg/m ³	478 kg/m ³	Fuld imp.	307 kg/m ³
Alun 5% opløsning	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.
Alun 10% opløsning	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.
Alun 20% opløsning	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.
Bor 20% opløsning	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.
Linolie/Træbjære 50/50	Fuld imp.	Fuld imp.	+ 300 kg/m ³	Fuld imp.
Træbjære	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.	Fuld imp.
Kobber (Celcure AC800)	Fuld imp.	438 kg/m ³	Fuld imp.	Fuld imp.

TABEL 1: SAMMENFATNING AF TESTRESULTATER FOR VÆSKEOPTAG MED FORSKELLIGE VÆSKEOPLØSNINGER (FULD IMP. = FULD IMPRÆGNERING = VÆSKEOPTAG PÅ +80 KG/M³.)

2.3.3 Indikativ test af råd og svamp og termit resistens

Ud over væskeoptag med forskellige træsorter og midler, er der udført en indikativ test på råd- og svamp in situ i tropisk klima i Thailand. I billedserien nedenfor ses hvorledes en Eukalyptus klods imprægneret med træbjære og en kontrolklods påvirkes over en periode på 6 måneder. Kontrolklodsens bliver i perioden ustabil i form, mister farve og viser tydelige spor af råd. Eukalyptus klodsens med træbjære er stadig formstabil efter 6 måneder og har ingen visuelle tegn på råd.



BILLEDE 2: EUCALYPTUS RÅD OG FORM PÅVIRKNING EFTER 6 MÅNEDER I TROPERNE (THAILAND). TRÆ BEHANDLET MED TRÆTJÆRE (TV) OG UBEHANDLET TRÆ (TH).

DWT har også foretaget test i forhold til termit angreb, og har placeret kontrolklods og trætjæreimpregneret klods ved et termitbo i Thailand. Kontrolklods blev angrebet og trætjæreklods havde ingen påvirkning. Træklodserne var eksponeret for termitter i 1 måned.



BILLEDE 3: UBEHANDLET TRÆ ANGREBET AF TERMITTER



BILLEDE 4: DWT IMPRÆGNERET TRÆ MED TRÆTJÆRE. INGEN SPOR AF TERMITTER



BILLEDE 5: FORMSTABILITET VED BEHANDLET OG UBEHANDLET EUKALYPTUS.

2.3.4 Vedr. udvaskningstest

Der er ikke udført udvaskningstest indenfor rammerne af MUDP projektet. En in-situ test vil ofte kræve 4-6 år. DWT planlægger dette i et senere forløb. Men den teoretiske vurdering er, at udvaskning må være mindre end fra sammenlignelige emner med traditionel tryk/vakuum imprægnering, fordi væsken (og den samme mængde aktivstof) er jævnt fordelt i hele træets matrice og dermed mindre tilgængelig for udvaskning, i modsætning til traditionel tryk/vakuum imprægnering, hvor væsken (og aktivstof) er koncentreret i de yderste ca. 3 mm af træet. Endvidere vurderes det at træet – netop fordi det er gennemimprægneret – ikke i samme koncentrationer som for traditionel tryk/vakuum imprægnering har indespærret vand i træets kerne, som forsøger at presse/trænge ud ved klimatiske påvirkninger. Denne vurdering gælder både for vandbaseret, oliebaseeret og saltbaseret væsker.

2.3.5 Sammenfatning og perspektivering af testforløbet

Følgende resultat kan udledes af forløbet med produktion og test af prototyper:

A. Imprægnering dybde

DWT processens har dokumenteret, at teknologien kan opnå fuld imprægnering af forskellige trætyper med oliebaseeret, saltbaseret og vandbaseret opløsninger. Det giver en række nye og kommercielt interessante muligheder, hvor imprægneringsdybde og væske koncentration bestemmes ud fra konkrete behov. For eksempel kræver den britiske standard BS 8417:2014 en 6 mm indtrængning med godkendt imprægneringsvæske (kobber baseeret). Den skandinaviske NTR standard kræver 3 mm indtrængning med godkendt imprægneringsvæske (kobber baseeret). DWT processen er i stand til at producere fuld indtrængning i kerne træ for både gran of fyr, som er de godkendte træsorter i NTR standarden. Det vurderes derfor sandsynligt, at DWT processen i fuld skala kan producere trævare produkter der opfylder alle standarder ved anvendelse af godkendte væsker, herunder også verdens strengeste standard - ASNZS 1604.5:2005, hvor der både er krav til indtrængning i splintved og kerneved (5 – 8 mm indtrængning).

NTR akkrediteringen baseres på mængden af optaget imprægneringsvæske. DWT processen kan opnå en imprægneringseffekt på 2-3 mm med et væsentligt mindre væskeforbrug end ved traditionel imprægnering, da det trænger længere ind. Det statiske krav i NTR om en given mængde optaget væske er således en barriere for et mindre kemikalieforbrug pr. m³ produkt.

B. Imprægnering af hårdt træ

Det er i projektet dokumenteret, at DWT processen kan fuld imprægnerer hårdt træ som mahogni, eg og gran. Det giver mulighed for at kombinere fordelene ved dyb indtrængen af en række imprægneringsmidler/væsker og længere naturlig levetid fra hårdttræ. Aldring og nedbrydning af hårdttræ er typisk halvdelen af fyrretræ (jf. erfaringer samt DS/EN 350) .

C. Imprægnering uden for-tørring

Imprægnering er opnået med vådt gran (45 % fugt). Det kan på sigt muliggøre imprægnering af træ i 3-6 mm dybde uden forudgående tørring/lagring. Det betyder optimering af logistik, tidsbesparelse, reduceret opbevarings kapacitet og lagring samt sparet procesenergi til for-tørring. Fuld imprægnering kræver dog for-tørring.

D. Imprægnering med mindre miljøbelastende løsninger som trætjære eller linolie

Trætjære betragtes som en mere bæredygtig imprægneringsvæske til imprægnering af træ uden jordkontakt end kobber på grund af følgende ydeevne og karakteristiske /12, 15/:

- Trætjære fremstilles af træ, som er en vedvarende ressource
- Trætjære er jf. ECHL klassificeret som H412, Aquatic Chronic 3 – skadelig for organismer der lever i vand og kan forårsage uønsket langtidsvirkninger i vandmiljøet
- MAL-kode af trætjære er 00-5.

Litteratur om risikovurdering og dokumentation af miljøeffekter ved trætjære er begrænset. Selvom trætjære ikke er et biocid, kan det ikke umiddelbart resoneres, at trætjære er mindre miljøbelastende end kobber imprægnering og på nogle punkter minder trætjære om creosot. Men ved sammenligning af EU's kemikalieagenturs CLP miljøklassificering af kobber imprægnering /ref. 15/ med trætjære, fremgår det at trætjære er miljøklassificeret som H412 – Aquatic Chronic 3 og kobber imprægnering er klassificeres som H400 – meget giftigt for vandlevende organismer og H410 – Aquatic Chronic 1 (CLP klassificering Forordning 1272/2008/EC). Idet kobberimprægnering er klassificeret på niveau 1 for Aquatic Chronic, som er det mest belastende niveau og også er dokumenteret som miljøgift for vandlevende organismer, antages trætjære som mindre miljøbelastende ved direkte sammenligning på disse parametre. I forhold til hudkontakt er trætjære klassificeret som belastende på samme niveauer som kobber imprægnering og der vurderes ikke at være grundlag for at vurdere forskelle på denne parameter.

Linolie betragtes som et mindre miljøbelastende kemikalie end kobber imprægnering på grund af følgende ydeevne og karakteristiske /ref. 2, 5, 14/:

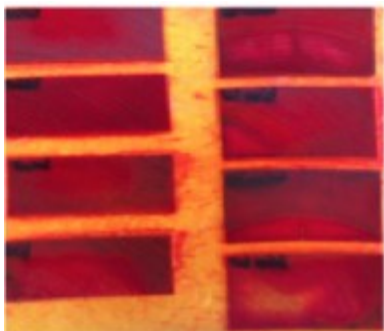
- Linolie har ikke nogen miljøpåvirkninger vedrørende arbejdsmiljø relateret til håndtering af træprodukter
- Linolie er ikke et pesticid og linolie er dokumenteret til forebyggelse af tør-råd og svampeinfektion fra forskellige test som Teknologisk har udført /6/
- Linolie er ikke tilsat biocider
- Linolie fremstilles af hørfrø, som er en vedvarende ressource
- MAL kode linolie er 00-1
- Linolie viser gode evner til konservering af træ og udkonkurrerer andre produkter til overfladebehandling, herunder kobber imprægnering og træbeskyttelses maling /se ref. 6/

Der er ikke angivet klassificeret miljøfarer ved linolie i ECHA registeret, EU's Kemikalieagentur. Dog er der listede en række selvklassificeringer, der angiver potentielle farlige egenskaber som hudirritation, irritation ved øjenkontakt, akut toksicitet, etc.

E. Nye overfladebehandling funktioner

En udfordring relateret til traditionel anvendelse af træbjærene og linolie til overfladebehandling er håndtering af overfladebehandlede emner. For eksempel bør linolie påføres 3-5 gange på træets overflade med en forholdsvis lang efterfølgende tørretid, før produktet kan leveres. DWT processen gør det muligt at opnå fuld imprægnering med træbjærene eller linolie direkte i rå træet. Det betyder, at trævare producenter, f.eks. af vinduer, kan bruge råtræ, som er forbehandlet med træbjærene og linolie og hvor der ikke er behov for yderligere overfladebehandling.

Testresultaterne giver en begrundet forventning om, at holdbarhed for trævareprodukter, produceret med DWT teknologien, generelt vil være længere end for traditionelle imprægneringsprodukter, som følge af bedre, mere ensartet og dybere imprægnering.



BILLEDE 6: UDSNIT AF TESTRESULTATER MED IMPRÆGNERING. BILLEDET TV. VISER TVÆRSNIT AF FYRRETRÆ GENNEMIMPRÆGNERET MED BOROPLØSNING PÅ 20%. DEN RØDE FARVE INDIKERER TILSTEDEVÆRELSE AF BOR. BILLEDET I MIDTEN VISER FYRRETRÆ GENNEMIMPRÆGNERET MED ALUN-SALTOPLØSNING PÅ HENHOLDSVIS 5, 10 OG 20%. BILLEDET TH. VISER GENNEMIMPRÆGNERET EGETRÆ MED EN OPTAGELSE PÅ OVER 300 LITER LINOLIE/TRÆTJÆRE PER KUBIKMETER.

2.3.6 Proces erfaringer

Testanlægget har vist, at produktionsomkostningerne ved fremstilling af prototyper er ca. 50% dyrere end traditionel tryk/vakuum imprægnering som følge af et større elforbrug.

DWT forventer dog, at en fuldskala produktion kan producere til samme markedspris som andre producenter af high-end trævarer i dag (ca. 1.800 euro pr. m³).

Erfaringerne fra prototypeproduktion har demonstreret at væskeoptaget kan distribueres i hele træets matrice for alle testemner i en pågældende batch. Det giver indikation om meget lille fejlmargen. I nuværende NTR standarder accepteres der en fejlmargen på 27%, dvs. en relativ stor andel af det imprægnerede træ kan i princippet have en uensartet imprægnering.

Et andet potentielt aspekt er muligheden for at imprægner træ mens det er vådt. I testproduktionen er det demonstreret, at der kan opnås 3-6 mm imprægnering med gran med 25% fugtindhold.

2.4 Miljøscreening

Som en del af arbejdsplanen 2, er der udført en miljøscreening på baggrund af de foreliggende testresultater og data med input og output fra DWT testanlægget.

2.4.1 Forudsætninger for miljøscreening

Følgende antagelser er anvendt i vurderingen:

- Virkningen af imprægnering med trætjære eller linolie er det samme som produkter, der overholder ex. NTR AB standard for træ uden jordkontakt (denne forudsætning er bl.a. baseret på holdbarhedsstudier gennemført af teknologisk for linolie, jf. ref. /5/).
- Brug af lokalt produceret dansk gran træ reducerer transport med 800 km pr m³ i forhold til svensk fyrretræ
- DWT proces forbedrer udnyttelsen af træ som råmateriale, fordi færre produkter kasseres i byggefasen på grund af bedre kvaliteter (flækket træ, træ som ikke er formstabil).

2.4.2 Nøgletal

Følgende nøgletal anvendes i miljøscreeningen:

- Forbedret ressource effektivitet er estimeret til 3% i forhold til kobber imprægneret træ = 30 kg pr m³ /4/. (Referencen definerer et spild på 5% fra tidligere ekstern kobber imprægneret beklædning i byggefasen)
- Energiforbruget til DWT behandling er 34,2 kWh pr m³ træ /9/.
- Mængden af trætjære pr m³ DWT behandlet træ er 80 kg
- Mængden af linolie per m³ DWT behandlet træ er 80 kg
- Mængden af kobber imprægnering med Tanalith 3492 er 23 kg. per m³ /1/.
- CO₂-udledning pr ton-km er 108 g / t km 2009 /8/.
- Træ med jordkontakt (NTR klasse A) udgør 20% af alt træ imprægnering i DK (20,3% i 2012) /1/.

2.4.3 Funktionel enhed og scenarier

Den udførte miljøscreening er baseret på vurdering af en udvendige beklædning fremstillet af 1 m³ imprægneret træ i lokalt gran (DWT scenarie) og svensk fyr (traditionel kobberimprægnering).

Screeningen sammenligner tre scenarier:

- a) Dansk grantræ behandlet med DWT proces og 80 kg. trætjære med en imprægneringsdybde på minimum 50 mm
- b) Dansk grantræ behandlet med DWT proces og 80 kg. linolie med en imprægneringsdybde på minimum 50 mm
- c) Svensk fyr træ behandlet med traditionel vakuum/tryk og imprægneret med Tanalith kobber med en imprægneringsdybde på 3 mm og som opfylder NTR AB

2.4.4 Miljøparametre

De kvantitative parametre for miljøscreeningen er:

- Ressource-effektivitet af råtræ
- Indhold af farlige kemikalier (indholdet af stoffer og forbrug)
- Energiforbrug og nyttiggørelse gennem hele værdikæden
- CO₂-emissioner fra transport

Miljøscreeningen er vurderet i et livscyklusperspektiv med følgende faser:

- Produktion af råtræ (dansk gran og svensk fyr)
- Imprægnering og produktion af beklædning fra 1 m³ træ
- Brugsfase

2.4.5 Resultat af miljøscreening

I tabellerne nedenfor er resultaterne sammenfattet af miljøscreeningen af DWT producerede træbjæ- og linolieimprægnerede produkter med dansk gran træ i forhold til kobberimprægnerede produkter med svensk fyrretræ.

Faser	Pr. m ³	Reference
<i>Produktion af råvare</i>		
Transport reduktion ved brug af lokalt dansk gran	62,6 kg CO ₂	800 km
Ingen tørring (kun ved overflade imprægnering)	220,7 kg. CO ₂	677 kWh per m ³
<i>Produktion</i>		
3% øget ressourceeffektivitet, gran	15,6 kg. råtræ	
Energiforbrug, DWT proces	11,1 kg. CO ₂	34,2 kWh per m ³
<i>Brugsfase</i>		
Reduktion - Kobberimprægnering	23,0 kg.	Klassificeret som miljøfarligt
Substituering med mindre miljøbelastende kemikalie (linolie)	50,0 kg.	MAL 00-1
Substituering med mindre miljøbelastende kemikalie (træbjæ)	80,0 kg.	MAL 00-5

Tabel 2: Miljøscreening af 1 m³ gran DWT imprægneret med linolie eller træbjæ

Miljøkvaliteterne ved DWT processen kan sammenfattes til følgende:

- Substituering af miljøfarlige kobberimprægneringsmidler med mindre miljøbelastende kemiske produkter som linolie og træbjæ (jf. tidligere angivet sammenligning af CLP miljøklassificeringer)
- Omfattende energibesparelse fra proces i tilfælde, hvor der ikke anvendes tørring af emner inden imprægnering. Det er muligt ved imprægnering i 3-6 mm dybde.

2.4.6 Opskaleret scenarie til DK produktionsniveau

Den årlige danske produktion af imprægneret NTR klasse AB træ uden jordkontakt er ca.. 21.400 m³ imprægneret fyr (ref. /1/, 2013).

Antages det at alle 21.400 m³ er importeret fra Sverige og kan erstattes med dansk gran, vil reduktionen i transportsektoren føre til et samlet fald på 1.340 tons CO₂ /8, 16/.

2.4.7 Sammenfatning af miljøscreeningen

Fra et miljømæssigt perspektiv er de centrale positive miljøpåvirkninger fra DWT behandlede produkter sammenlignet med traditionelle kobberimprægnerede produkter en reduktion af miljøfarligt kemikalieforbrug på mere end 490 tons om året (2015-tal) /1, 4/. Ved at erstatte kobberimprægnering med træbjæ eller linolie, reduceres diffus spredning ved udvaskning af kobbergifte fra trykimprægnerede trævareprodukter til jordrecipient.

2.4.8 Leverancer i arbejdspakke 2

Følgende leverancer er udført i arbejdspakke 2:

- Der er udviklet og testet et monitorings set up til styring af processerne
- Der er produceret et antal prototyper i dansk gran, mahogni, eg, eukalyptus og fyr (1200 x 90 x 60 mm.) med forskellige væskeopløsninger med alun og bor (brand), linolie, trætjære, kobber (råd og svamp), farvepigmenter (æstetik og design)
- Der er foretaget en evaluering af test anlæg
- Anlæggets tekniske specifikationer er beskrevet og design for fuldskala anlæg udviklet
- Der er foretaget evaluering af testresultater fra prototype produktion
- Der er udarbejdet en miljøscreening af DWT processen med linolie/trætjære produkter, der sammenlignes med traditionel tryk/vakuum imprægnering med kobber

2.5 Arbejdspakke 3 – Demonstrationskonstruktioner

Denne arbejdspakke omfattede planlægning, design og konstruktion af udvalgte demonstrations konstruktioner i DWT imprægneret gran. Formålet var at demonstrere hvilke arkitektoniske og tekniske muligheder, HF-imprægneret træ giver.

Arbejdspakken blev gennemført i foråret 2016 til efteråret 2016.

Det var oprindelig planlagt, at der skulle laves en arkitektonisk skur-konstruktion, som kunne demonstrere et eksempel på bæredygtigt byggeri. Men som konsekvens af, at der ikke blev serieproduceret prototyper på testanlægget, men udelukkende fremstillet prototyper, som der var behov for i forhold til de forskellige test, var der ikke materiale nok til at lave en egentlig arkitektonisk konstruktion. Det blev derfor aftalt med arkitektfirmaet AI, som var udset til at skulle bistå med design af demonstrationskonstruktioner, at dette samarbejde genoptages, når der er mere materiale at arbejde med.

Som alternativ blev et samarbejde med Egen Vinding og Datter indledt, og en showcase i form af et vindue fremstillet af DWT træ er konstrueret. Showcasen er flytbar og kan medtages til messer og lignende, men er ellers permanent opstillet ved siden af "Det Åndbare Hus", som indgår i et andet MUDP-projekt, der er lokaliseret hos Egen Vinding og Datter. Det Åndbare Hus er et testhus bygget i Ringsted af Egen Vinding & Datter. Huset indgår i et udviklingsprojekt, hvor målet er at dokumentere, at man kan skabe et godt indeklima og samtidig sikre en meget lav belastning af miljø og ressourcer.

Det Åndbare Hus får besøg løbende, og siden det åbnede for publikum i september 2015, har der været ca. 3.000 besøgende. Besøgende vil nu også kunne se DWT's showcase.



BILLEDE 7: ILLUSTRATION AF TRÆKONSTRUKTION I HENHOLDSVIS UBEHANDLET TRÆ (BAGERST), TEAK (MIDTEN) OG DWT IMPRÆGNERET TRÆ MED TRÆTJÆRE (FORREST)

Egen Vinding og Datter fremstiller linoliemalede vinduer af kernetræ fra langsomt-voksende nordisk fyr. Derfor var det nærliggende at prøve at fremstille et vindue af fuldimpregneret gran træ.

Sammenfattende er erfaringerne fra vindues fremstillingen:

- at det DWT behandlede træ er formstabilt og let at arbejde med
- almindelig trælim har vanskeligt ved at binde på træet
- supplerende linoliemaling har svært ved at trænge ind.

Når træ er mættet med olieholdig og/eller saltholdig væske, vil det vanskeliggøre binding af andre midler. Der vil blive arbejdet videre med afdækning af hvilke træ-lime, som er optimale at anvende til ordinære limopgaver, som f.eks. samlinger i fer og not. Endvidere vil der blive afprøvet og evalueret flere forskellige linoliemalinger. Disse aktiviteter vil ske uden for rammerne af MUDP projektet.

2.5.1 Leverancer i arbejdspakke 3

Følgene leverancer er udført i arbejdspakke 3:

- DWT behandlet træ produceret og leveret til trævareproducent
- Vindue og mindre konstruktioner udført af produceret prototyper
- Vindue opstillet i en konstruktion ved Det Åndbare Hus i Ringsted

2.6 Arbejdspakke 4 – Projektledelse og formidling

I projektperioden har der været afholdt løbende projektmøder mellem leverandører og DWT, og der har været afholdt fire styregruppemøder.

Projektets formidlingsaktiviteter har været udført løbende i projektet, hvor det er relevant, og har primært fokuseret på udbredelse af kendskabet til DWT processen, de foreliggende testresultater og erfaringer fra prototype produkterne fra testanlægget.

Følgende formidlingsaktiviteter kan nævnes:

- DWT har været omtalt i Innobyg og været månedens medlem (maj 2015) /18/
- Det er aftalt med ”Træ & Miljø”, at der laves en artikel om DWT i et af de kommende numre i forlængelse af afslutningen af MUDP projektet
- Det er aftalt med Egen Vinding og Datter, at der kommer en artikel om showcasen med i deres næste nyhedsbrev . Det forventes at blive primo 2017
- DWT har holdt orienteringsmøder med Dansk Byggeri i 2016
- Det er aftalt med Dansk Byggeri, at der kan komme en artikel om DWT med i et kommende nummer af deres medlemsblad, som udsendes til medlemmer indenfor bygge- og anlæg. Det forventes at blive foråret 2017.

I projektperioden har DWT herudover medvirket i forskellige konferencer, messer og arrangementer hvor DWT processen og prototyper har været formidlet. DWT har bl.a. medvirket i:

- Building Green, oktober 2015
- Dortmund Horizon2020 event, november 2015
- Miljøstyrelsens seminar for MUDP projekter om bæredygtigt byggeri, februar 2016.

Endvidere har DWT afholdt møder med Federlegno, som er Italiens pendant til Dansk Byggeri og Federlegno har sat møder op mellem DWT og interesserede italienske virksomheder.

2.6.1 Leverancer i arbejds pakke 4

Følgende leverancer er udført i arbejds pakke 4:

- Diverse formidlingsaktiviteter, herunder deltagelse i messer, møder med interessenter og omtale i relevante fora
- Løbende projektledelse.

2.7 Resultater

Projektet har demonstreret, at DWT's patenterede system til produktion af imprægneret træ med HF-radiobølger gør det muligt at fuld-imprægner dansk gran og andre træsorter med både vandige, saltholdige og olieholdige væsker i de forskellige træsorter, som har været testet.

Testresultaterne har overgået forventningerne og er særdeles positive i forhold til opnået indtrængning. En hovedkonklusion er, at DWT processen har dokumenteret, at der optages betydeligt større mængder væske i træets strukturer end muligt med traditionel imprægnering. Endvidere er væskeoptaget mere ensartet fordelt i træets struktur, hvilket giver muligheder for bedre produktkvaliteter, da en gennemimprægnering af hele træets profil teoretisk set giver en større modstandsdygtighed mod ødelæggende svampe og dermed større holdbarhed.

I projektet er der opnået væskeoptag i vådt gran (45% fugt) i 6 mm dybde er en ekstrem test, som udtrykker at det har været muligt at imprægner hårde træsorter som i forvejen er væskeopfyldt (med vand).

Det er endvidere testet at fuld imprægnering kan opnås med samme gennemløbstid som for traditionel tryk/vakuumpreparering og med større indtrængning. Projektet har afdækket at produktions tid og produktionspris ikke forventes at udgøre en barriere for udbredelse af en konkurrencedygtig stor-skala produktion.

Konstruktion og udvikling af prototype anlæg har genereret nogle værdifulde erfaringer til brug i den fortsatte tilpasning af teknologiens reproducerbarhed.

DWT's mål er at have det første fuldskala testcenter og produktionsanlæg installeret og i drift i 2017. Anlægget dimensioneres til en produktionskapacitet på 3.000 m³/år og etableres i Danmark. Den konkrete site er ikke endelig besluttet.

MUDP projektet har gjort det muligt at opbygge værdifulde erfaringer med procesanlæg samt optag af væsker i de testede emner.

Referencer

1. Dansk Imprægneringsstatistik, 2013.
2. Produktdatablad fra Wolf's, Wolf's Grundingsolie.
3. Produktdatablad from ARCH, Tanalith 3492.
4. Environmental Declaration ISO 14025 – Cobber impregated Wood, class AB, Treindustrien, 2010.
5. Linolie til overfladebehandling af udvendigt træ, Arbejdsrapport nr. 15, Miljøstyrelsen 2001.
6. Rapport til Wolf's vedr. evaluering af L-joints eksponeret i tempereret og tropisk klima. Teknologisk 2015.
7. Miljø- og samfundsøkonomisk analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ, Miljøprojekt 1208, Miljøstyrelsen 2008.
8. European Environmental Agency, CO2 emissions per tonne-km, 2009
9. DWT key data from internal evaluation of prototype operation, 2015.
10. BREF for Waste Incineration, EU 2006
11. <http://www.av.dk/takster.html>
12. Produktdatablad – WOOD TAR
13. Telefoninterview med KARA, Niels Kalhauge, driftschef
14. European Chemicals Agency, ECHA, Classification of wood tar:
<https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/notification-details/63217/50485512>
15. Produktdatablad from Osmose, Celcure AC 800
16. Miljøscreening af CO2 afftryk fra DWT processen, 2016 (internt notat)
17. CONLEGNO, Italian national wood and cork services consortium (CSLS)
18. <https://www.innobyg.dk/6164.aspx>

Træimprægnering med HF-teknologi

Projektets hovedformål var sammenfattende:

- at udvikle et opskaleret HF-anlæg til imprægnering af dansk gran træ, med miljøvenlig imprægnering mod bl.a. råd og svamp.
- at demonstrere, at dansk gran kan behandles effektivt mod råd, svamp og brand med miljø- og kosteffektive metoder
- at producere prototyper og demonstrationskonstruktioner i træ for at vise nye muligheder for bæredygtigt byggeri.

Projektet har demonstreret at Danish Wood Technology's (DWT) patenterede system til produktion af imprægneret træ med HF-radiobølger gør det muligt at fuld-imprægner dansk gran og andre træsorter med både vandige, saltholdige og olieholdige væsker i de forskellige træsorter som har været testet.

Alle test af væskeoptag og imprægnering er gennemført i samarbejde med Teknologisk Institut. Testresultaterne har overgået forventningerne og er særdeles positive. En hovedkonklusion er, at DWT processen har dokumenteret at der optages betydeligt større mængder væske i træets strukturer end muligt med traditionel imprægnering. Endvidere er væskeoptaget mere ensartet fordelt i træets struktur, hvilket giver bedre produktkvaliteter



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk