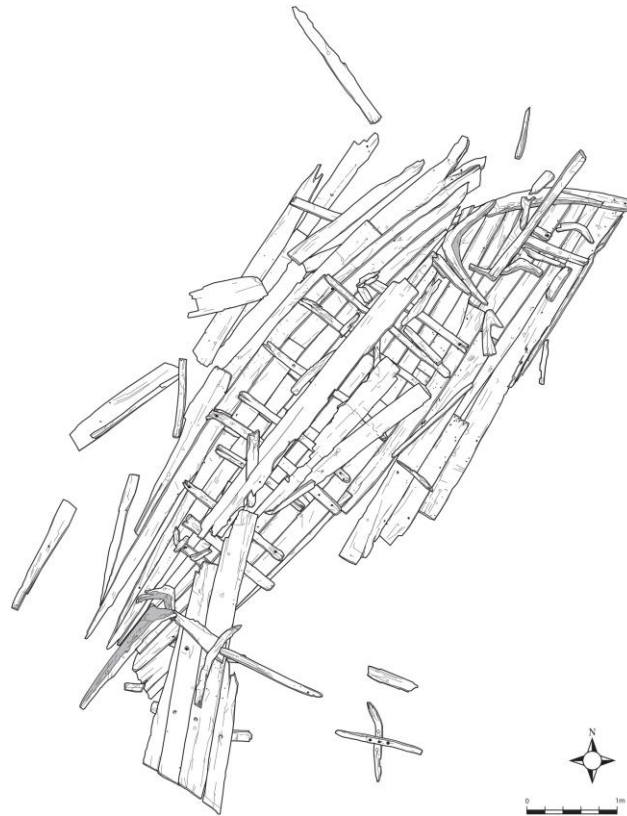


Konservering av BC06

En båt fra slutten av 1500-tallet

Brynjar Sandvoll



Prosjektbasert master IAKH

UNIVERSITETET I OSLO

26.06.15

© Forfatter: Brynjar Sandvoll

År 2015

Tittel: Konserveringen av BC06

Forfatter: Brynjar Sandvoll

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

Forsidetegning: Barcode-6 i felt. NMM

Sammendrag

Oppgaven tar for seg arbeidet med å konservere en båt fra slutten av 1500-tallet. Den ble utgravd i perioden 2008-09 i forbindelse med utbygningen av Barcode, en del av Fjordbyen-utviklingen i Oslos havneområde. Av totalt 13 båter og skip datert til tiden før 1624, ble Barcode-6 valgt ut til rekonstruksjon og utstilling. I denne oppgaven går man nærmere inn på de problemstillingene en støter på i konserveringen av gjenstander med tanke på en rekonstruksjon av en tidligere form.

Det legges vekt på å skape en forståelse for hva som påvirker det endelige resultatet av en konserveringsprosess med rekonstruksjon som mål. Ønsket om å sikre en formstabil rekonstruksjon, har vært førende i konserveringsprosessen. Det har ledet til utfordrende problemstillinger og utvikling av metoder for å løse disse. I denne forbindelsen har det blitt utført eksperiment med oppvarming av tre og impregneringsløsning, for å undersøke effekten av dette i forhold til formbarhet av treet og eventuell nedbrytning av Polyetylen glykol. Resultatene av eksperimentene viste at oppvarming til 60°C gjorde treet mere fleksibelt, uten at det forårsaket nedbrytning av PEG. Basert på disse resultatene, ble oppvarming brukt i forbindelse med forming av utfordrende enkeltdeler til BC06. Sentralt i oppgaven står også utvikling av metoder for å gjennomføre denne formingen. Dette har vært hovedfokus i prosessen fram mot en rekonstruert utgave av Barcode-6, siden målet har vært en utstilling av båten i Bjørvika.

Resultatet av konserveringsprosessen har vist seg å løse de utfordringer man har støtt på, og gjort det mulig å sette sammen enkeltdelen av BC06 til en helhetlig form. Dette vil forhåpentligvis gi en stabil forståelse av båten Barcode-6 på utstilling.

Forord

I 2011 tok Inger Marie Egenberg kontakt med konserveringsseksjonen på KHM angående et mulig samarbeid mellom KHM og Norsk Maritimt Museum, tidligere Sjøfartsmuseet. Foranledningen var Barcode-utgravningen og funn av 13 båter og skip, som skulle konserveres. Slik ble jeg involvert i prosjektet og ett resultat av det er denne oppgaven. Derfor vil jeg først få takke Inger Marie Egenberg for hennes initiativ. Uten det hadde ikke denne oppgaven eksistert.

Arbeidet med konserveringen av Barcode-6 har gitt mange gode erfaringer og møte med kunnskapsrike mennesker. Det har vært lærerik å jobbe på lag med alle involverte i prosjektet. Mine konservatorkollegaer Pål Thome og Monica Hovdan ved NMM har vært til stor hjelp og støtte underveis i arbeidet med oppgaven. Båtbygger Lars Stålegård og støttemaker Ragnar Løchen har villig delt av sin kunnskap. Samarbeidet med dokumentasjonslaboratoriet ved NMM har gitt meg mye ny og viktig informasjon rundt rekonstruering av arkeologiske båter og skip.

I forbindelse med denne oppgaven har jeg beveget meg inn i, for min del, relativt ukjent farvann, særlig med tanke på bruk og tolkning av analyseinstrument og resultat. Jeg vil derfor takke mine gode og hjelpsomme kollegaer ved konserveringen på KHM, som har tatt seg tid til å hjelpe meg med dette. Susan Braovac har bistått med masse relevant litteratur til oppgaven og lært meg hvordan en FT-IR fungerer. Hartmut Kutzke og Calin Constantin Steindal har hjulpet meg med gjennomføring av analyser og alle tre, samt Mikkel Christensen, har bidratt med å tolke resultatene. De har vært til stor hjelp for meg, og gjort et vanskelig felt litt enklere å forstå.

Gjennomføringen av master-prosjektet mitt har også vært avhengig av økonomisk støtte for å gjøre MS-analyser, og jeg vil takke min tidligere seksjonssjef Anne Sommer-Larsen for denne støtten. Jeg vil også rette en stor takk til min nåværende seksjonssjef Torunn Klokkernes, som i en stressende tid ga meg rom og tid til å ferdigstille oppgaven. Jeg kan vanskelig se at den hadde blitt ferdig uten denne hjelpen.

Mine veiledere Noëlle Lynn Wenger Streeton og Douwtje L. van der Meulen fortjener også takk for å ha ledet meg gjennom prosjektet med mildt press og sørget for at jeg kom i mål.

Nå er masteroppgaven skrevet ferdig og alle mine kollegaer skal få slippe å høre meg klage over mine problem med den. En stor takk til dere alle for oppmuntring og støtte gjennom denne tiden.

Til slutt til mine tre jenter Katrine, Frøya og Idun: «Nå er leksene gjort!»

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling og avgrensning	2
1.3	Oppgavens struktur	4
2	Tre	7
2.1	Treets oppbygning	7
2.1.1	Struktur	7
2.1.2	Enkeltcellens oppbygning	9
2.1.3	Treets livsløp	13
2.2	Tradisjonell materialbruk og utvelgelse	15
2.2.1	Treets egenskaper	17
2.3	Nedbrytning av tre	21
2.3.1	Pelemark og pelekreps	21
2.3.2	Sopp	23
2.3.3	Bakterier	24
2.4	Konserveringsmetoder	26
2.4.1	Historikk	26
2.4.2	Produksjon av PEG	30
2.4.3	PEG brukt i konservering	31
2.4.4	Frysetørring	37
3	Metode	43
3.1	Forberedelse av rekonstruksjon	43
3.2	Eksperiment med tre	50
3.2.1	Oppsett av eksperiment	51
3.3	Eksperiment med PEG	53
3.3.1	Analysemetoder	54
3.3.2	Beskrivelse og preparering av prøver	56
3.4	Praktisk utførelse av konservering	60
3.4.1	Forming av hudbord	61
3.4.2	Kjøling	66
3.4.3	Rekonstruksjon	70

4	Resultat.....	75
4.1	Fleksibilitetsmålinger	75
4.2	PEG-analyser.....	77
4.3	Forming av tre	79
5	Diskusjon	81
5.1	PEG-2000 analyser.....	81
5.2	Test av treprøver.....	84
5.3	Forming av tre	89
6	Konklusjon.....	96
	Litteraturliste	98
	Vedlegg:	103
	Vedlegg 1	1
	Vedlegg 2	2
	Vedlegg 4	4
	Vedlegg 5	5
	Vedlegg 6	6
	Vedlegg 7	7

figur 1.	Oppbygning av løvtrestamme. Fra http://www.woodcare.info/traevaerk/opbygning.htm	8
figur 2.	Celleoppbygning. Fra http://www.denstoredanske.dk/@api/deki/files/4401/=308203.801.png	9
figur 3.	Oppbygning av celler i tre. Fra Treteknisk håndbok s. 16.	12
figur 4.	Fasediagram for vann. Fra.....	38
figur 5.	Innfrysing og opptiningsgraf av impregneringsvæske fra BC06. PEG-2000 40 %.	40
figur 6.	Modell av BC06. Foto NMM.	44
figur 7.	Forstevnen til Bremenkoggen. Foto: Hans-Jürgen Darlison/Archiv DSM.	46
figur 8.	Del av kjøll til Roskilde 6 etter frysetørring. Foto: Pål Thome.....	47
figur 9.	Vektbelastningsstativ. Foto BS.	53
figur 10.	Mikrometer. Foto BS.....	53
figur 11.	Forming av Roskilde 6. Foto Pål Thome.	62
figur 12.	Hyllesystemet. Foto Monika Hovdan.....	62
figur 13.	Eksempel på snitt til hudbord x081. Foto Monika Hovdan.	63
figur 14.	Måling av temperaturendring. Foto BS.....	65
figur 15.	Oppmåling av kjøll basert på modell av BC06. Ill: NMM.....	66

figur 16. Stålbjelke med støttejern og snitt montert. Foto Inger Marie Egenberg, NMM.....	68
figur 17. Montering av borejig og prøveboring. Foto Pål Thome, NMM.....	68
figur 18. Støttebøyler og hylser for kjøll. Foto BS.....	69
figur 19. Kjøll etter frysetørring. Foto BS.....	69
figur 20. Del av båt med støttesystem montert. Foto BS.	71
figur 21. Kjøll på rammeverk. Foto BS.....	72
figur 22. Rekonstruksjon av BC06. Foto BS.	73
figur 23. Eksempler på trykkskader. Av kryssfiner til venstre og kile uten filt til høyre. Foto NMM	91
Figur 24. Førstevn etter frysetørring. Foto NMM.....	92
Figur 25. Sammenligning av dokumentasjon til formen av BC06x60 i ulike stadier. Ill: S. Fawsitt/NMM	93
Tabell 1. Oversikt over oppvarmingen	57
Tabell 2. Måleresultat for fersk eik.	75
Tabell 3. Måleresultat for arkeologisk eik.	76

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I sammenheng med utbyggingen av den såkalte fjordbyen i Bjørvika, Oslo, ble det i 2008 funnet deler av 13 båter og skip fra 1500-1600-tallet i Barcode-prosjektet¹. Dette er fartøyer fra en periode hvor det finnes få bevarte eksemplarer. Disse danner derfor viktige forbindelseslinjer tilbake i historien, samt framover i tid. Derfor ble besluttet at fartøyene skulle dokumenteres, og de fleste konserveres med tanke på bevaring for ettertiden. Av disse 13 fartøyene, ble det også besluttet at den såkalte Barcode 6, BC06, i tillegg også skulle stilles ut i rekonstruert form etter konservering.

Dette er utgangspunktet for problemstillingen i oppgaven. Siden BC06 skulle konserveres med tanke på rekonstruksjon og utstilling, var det viktig å tilpasse metoden for å oppnå et formmessig tilfredsstillende resultat etter behandlingen. Det ble besluttet å impregnere med høy molekylær polyetylen glykol, PEG, med påfølgende frysetørring i form. For å kunne påta seg konserveringen av materialet fra Barcode-prosjektet, har Norsk Maritimt museum gått til anskaffelse av et frysetørkingsanlegg av tilstrekkelig dimensjon for å romme enkeltdelene fra fartøyene. Det har en tank på 6,2 m lengde og diameter på 1,2 m.

Rekonstruksjon av selve båten er basert på en modell. Denne er utarbeidet av alle enkeltdelene, som er tegnet og dokumentert ved hjelp av FARAO-arm. Dette er en innretning som lar en tegne gjenstander ved hjelp av punktmarkering på selve gjenstanden. Disse digitaliseres og kan brukes til en tre-dimensjonal oppbygning av båten i en datamaskin. Dokumentasjonen ble utført av arkeologer ved dokumentasjonslaboratoriet ved Norsk maritimt museum. Tegningene kan også plottes, for så å limes på papp, som brukes i modellbygging av båten. Likeledes

¹ Hilde Vangstad, "Bjørvika, et amfibiearkeologisk eldorado : eller da arkeologene fra Norsk Maritimt Museum krøp opp på land," i *Hundre år over og under vann*, red. E. Koren og F. Kvalø (Oslo: Novus forl., 2014, 2014). s. 300-301

kan deler freses ut i plast og brukes i modellbygging.

Deler av papp og plast har dannet grunnlaget for en modell i skala 1:5. Denne modellen er en rekonstruksjon bygget av Lars Stålegård, en erfaren båtbygger med bakgrunn fra tradisjonell trebåtbygging. Han har også bygget en fullskala kopi av BC06. Modellen har i sin tur blitt oppmålt og digitalisert, og har satt premisser for forming av enkeltdele i selve originalbåten BC06. Det er gjenskapning via modell, som har blitt bestemmende for hvordan original delene har blitt/skal formes i konserveringsprosessen.

1.2 Problemstilling og avgrensning

Problemstillingen i oppgaven dreier seg rundt rekonstruksjon av arkeologiske gjenstander, fortrinnsvis båter/skip av vasstruktent tre med varierende nedbrytningsgrad. Det er fokusert på hvordan man skal kunne oppnå et best mulig resultat med hensyn til formstabilitet etter en konserverings- og rekonstrueringsprosess. Med utgangspunkt i materialet fra Barcode-prosjektet, og spesielt prosessen med BC06, er denne problemstillingen belyst.

Konservering gjort med andre båter og skip viser at det kan oppstå problemer med vridning og oppsprekking i deler av konstruksjonen. Det står sentralt i oppgaven å se nærmere på hva dette skyldes, og hva som kan gjøres for å forhindre eller minimere slike endringer i treet. Det er valgt å avgrense oppgaven til å omhandle materialet eik, siden fartøysdelene fra Barcode-prosjektet hovedsakelig består av eik.

Fra litteraturen kjenner man til at oppvarming av tre gjør det mere fleksibelt, men da ved temperaturer rundt 100 °C. Likeså er det beskrevet nedbrytning av PEG ved oppvarming til 75 °C i luft. I prosessen med BC06 ønsket man å se nærmere på hvilken påvirkning en oppvarming til 60°C hadde på tre og impregneringsmiddel. Det ble derfor utarbeidet eksperiment for å undersøke

eventuelle fordelere og ulemper med bruk av metoden, før den ble benyttet. Resultatet av undersøkelsene viste at treet ble mere fleksibelt og at det ikke hadde negativ påvirkning på impregneringsmiddelet.

Med fokus på hvordan arkeologisk vasstrukket tre kan tilbakeføres til en antatt opprinnelig utforming, er det sett på noen av de problemene man kan støte på i en slik prosess. Det er lagt vekt på å belyse de forutsetninger og utfordringer dette materialet gir, med tanke på nedbrytning, utforming og metoder brukt i prosessen fram mot ferdig rekonstruksjon. Målsetningen er å kunne rekonstruere fartøyet slik at man oppnår en stabil konstruksjon etter at prosessen er avsluttet. Underveis i konserveringsprosessen besluttet man å bruke oppvarming av treet, for å gjøre det enklere formbart. Oppgaven har derfor også fokus på undersøkelser rundt effekten av oppvarming.

1.3 Oppgavens struktur

I kapittel 2 av oppgaven er det en teoretisk gjennomgang med fokus på tre i forskjellige sammenhenger, og utvikling av konserveringsmetoder. Den består av en innføring i treets oppbygning, både på et mikro- og makronivå. Det vil bli en kort presentasjon av treets strukturelle oppbygning, med hovedvekt på eik. Denne gjennomgangen vil ta for seg de elementer som er viktig for oppgavens problemstilling, hvordan oppnå en stabil form. En slik gjennomgang vil danne grunnlaget for forståelsen av hvordan tre blir påvirket av de ulike miljøer og behandlinger det blir utsatt for, fra utgangspunktet levende tre til ferdig konserverte rekonstruksjon.

Deretter følger en kort innføring i hvordan tre brukes i tradisjonell båtbygging, både om bruk og utvelgelse. For å kunne oppnå en stabil rekonstruksjon av et fartøy, er det viktig å forstå hvordan og hvorfor enkeltdelene i fartøyet er satt sammen. I denne delen vil det bli sett nærmere på hvordan båtbygging tradisjonelt har blitt utført. Det legges vekt på å belyse ulike metoder for selve konstruksjonen av fartøyer, hvilke materialer som brukes, og kriteriene bak utvelgelsen av dem. Det er viktig med en forståelse av materialbruk og bearbeidelse av det, for å kunne konservere enkeltdelene i konstruksjonen på en måte som gir en stabil form. En båtkonstruksjon består av ulike deler, med ulike egenskaper. Det er viktig å forstå hvilke egenskaper dette er og hvordan man har oppnådd resultatet med hensyn til utvelgelse av tre og bearbeidelse av det. En slik forståelse gir kunnskap om hvordan enkeltdelene i konstruksjonen naturlig vil reagere på omgivelsene, og kunne si noe om hvordan konserveringsprosessen kan påvirke dem.

Neste del tar for seg tre i arkeologisk sammenheng. Det vil bli sett på nedbrytning og behandling/konservering av tre. Arkeologisk eik kan oppfattes som tilnærmet friskt ved en utgraving, særlig om det er deponert i fuktig, leirholdig grunn hvor det har vært lite tilgang til luft. Dette kan i noen tilfeller stemme, men i hovedsak har treet blitt utsatt for nedbrytning i en eller annen form. Denne delen vil omfatte ulike former for nedbrytning av tre. Det vil bli satt i sammenheng med hvordan

egenskapene til tre endrer seg gjennom slike prosesser.

Ulike former og grader av nedbrytning gir egne utfordringer med tanke på konservering og rekonstruksjon. Det vil også bli gått inn på hvordan dette påvirker prosessen mot ferdig rekonstruksjon, med tanke på hvilke metoder som egner seg, og muligheter og begrensninger materialet gir.

Kapittel 3 tar for seg de ulike metodene som er brukt. Den gir en beskrivelse og argumentasjon for de eksperiment og analyser, som er brukt under arbeidet med konserveringen av BC06. Siden formålet med BC06 er at den skal rekonstrueres og stilles ut, betyr det at det er nødvendig å manipulere formen til enkeltdelene. Grunnen til dette er at båtdelene ikke har sin opprinnelige form etter århundrer i nedgravd tilstand. En slik manipulering krever bokstavelig talt en form for pressmidler, for å oppnå ønsket utforming. Dette kan være problematisk med henblikk på arkeologisk tre, siden overflaten ikke alltid tåler mye påkjenning før den kollapser. Dette kan føre til tap av verdifull informasjon om blant annet redskapsbruk og dekor.

For å minimere kraftbruken i prosessen, har det blitt utført eksperiment for å undersøke hvordan oppvarming påvirker eik. Formålet har vært å teste hvilke utslag temperatur gir på eiks fleksibilitet. Det er også undersøkt hvordan temperatur påvirker impregneringsmiddelet. Testene for fleksibilitet og eventuell nedbrytning av PEG er utført på 20°C og 60°C. Denne delen gir også en beskrivelse på hvordan utførelsen av det praktiske arbeidet rundt rekonstruksjonen av båten er gjennomført. Det sees nærmere på ulike praktiske løsninger som er benyttet i prosessen, slik at man kan danne seg et bilde på hvilke inngrep og tilpassinger som er benyttet.

Kapittel 4 er en presentasjon og gjennomgang av resultatene fra eksperimentene med vektbelastning av fersk og arkeologisk eik, oppvarmingsforsøk av PEG 2000 med analyseresultat fra Fourier transform infrared spektroskopi, med ATR, Attenuated Total Reflectance, ATR-FTIR, Raman og massespektrometer, MS, og det praktiske arbeidet i konserveringsprosessen, som er utført.

I kapittel 5 er det en diskusjon rundt resultat av eksperiment og den praktiske utførelsen av konserveringsprosessen. Det blir gått inn på eventuelle feilkilder og hvordan metodevalget har påvirket det ferdige resultatet.

Kapittel 6 gir en kort oppsummering av oppgaven og hva som er oppnådd. Det pekes også på mulige forbedringer av metoder og utvikling av utstyr, samt gjenstående utfordringer mot målet til en ferdigstillelse av prosjektet i slutten av 2015.

2 Tre

2.1 Treets oppbygning

2.1.1 Struktur

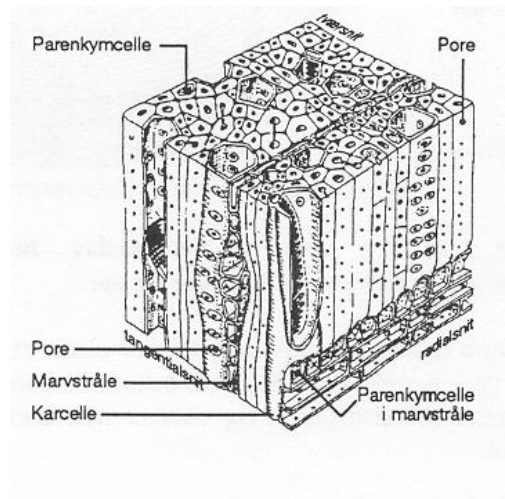
Det er variasjoner i oppbygningen av ulike tresorter, men i hovedsak består et tre av rot, stamme med grener, krone og bladverk. Det er den ytre barken som beskytter vekstlaget innenfor. Vekstlaget består av bast og kambiet, hvor basten sørger for transport av næringsmidler fra blader og ned i treet, mens kambiet er celler som deler seg og danner nytt trevirke. Videre innover finner vi yteved og kjerneved. Yteveden er levende celler som sørger for transport av næringsstoffer i treet horisontalt fra rot til blader, mens kjerneveden består av døde celler². Treet vokser ulikt gjennom livet og det er sesongvariasjoner gjennom året. Dette viser seg som ulike cellestrukturer i tverrsnittet av veden. Ungdomsved skiller seg fra moden ved, og vårved er annerledes enn sommerved. Disse ulikhetene ligger på cellenivå og i oppbygningen av dem. Ser man nærmere på oppbygningen, så består trevirket hovedsakelig av vertikale celler, som sørger for transport av næringsmidler og avstivning av treet. I tillegg er det horisontale cellelag, såkalte margstråler og harpikskanaler hos bartrær³. De vertikale cellene i bartrær kalles trakeider, som har et rektangulært tverrsnitt og kileformete ender med poreåpninger, slik at det kan foregå transport mellom enkeltcellene. Disse utgjør ca. 95 % av volumet til treet⁴. De er forskjellig oppbygget i vår- og sommerveden, hvor celleveggen er forholdsvis tynn i vårveden og tykkere i sommerveden. Det sørger for god transport av næringsstoffer i vårveden, mens sommerveden gir mekanisk styrke til treet. Trakeider finnes også i løvtrær, men de har såkalte karceller, som står for næringstransporten. Det er korte, vide celler uten innhold og endevegger, som er stablet på hverandre og danner såkalte vedrør. Det er ulike perforasjoner mellom enkeltcellene, fra helt åpne til nettformede. Disse perforasjonene varierer mellom de enkelte tresortene og er viktig i

² Fokus på tre. S. 3

³ Ibid.

⁴ *Treteknisk håndbok*, vol. nr. 4 (Oslo: Norsk treteknisk institutt, 2009). S. 5

artsbestemmelsen av dem⁵. Disse sørger for en mere effektiv transport av næring i treet sammenliknet med trakeider. Utformingen av disse vedrørene varierer i størrelse og utbredelse i treet mellom ulike arter. Eik tilhører de ringporede tresortene, med store celler i vårveden, som gir tydelig skille åringene⁶. I tillegg til karcellene har løvtrær også vedceller, som er tykkveggede, smale og spisse med små spalteformete poreåpninger. Det er disse cellene som gir styrke til treet.



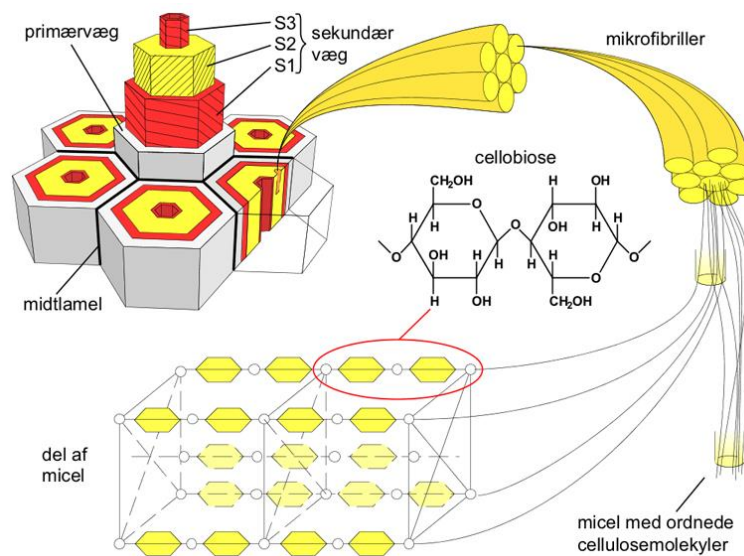
figur 1. Oppbygning av løvrestamme. Fra <http://www.woodcare.info/traevaerk/opbygning.htm>

⁵ Bohumil Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi* (Ås: Norsk institutt for skogforskning, 1998). s. 50

⁶ Ibid.

2.1.2 Enkeltcellens oppbygning

Studerer man cellene nærmere ser en at selve celleveggen består av flere lag. Det ytterste laget grenser mot tilstøtende celler og kalles for midtelamell. Dette laget består hovedsakelig av lignin og pektinstoffer. Det fungerer som et slags lim mellom cellene og holder dem sammen. Videre innover i celleveggen finner man primærveggen og sekundærveggen. Sekundærveggen består av tre forskjellige lag⁷, se figur 2. Innenfor disse igjen ligger cellelumenet, hulrommet midt i cellen. De forskjellige delene av celleveggen er bygd opp på ulike vis og består av ulike stoffer i varierende mengde.



figur 2. Celleoppbygning. Fra

<http://www.denstoredanske.dk/@api/deki/files/4401/=308203.801.png>

De ulike delene av en celle er sammensatt av forskjellige komponenter, men hovedbestanddelene er cellulose, hemicellulose og lignin. Cellulose er en type polysakkarider og er lange fibre som består av bunter med mikrofibriller.

⁷ Treteknisk håndbok, nr. 4. s. 10

Mikrofibrillene er bygget opp av elementærfibriller og hver mikrofibrill inneholder ca. 20-60 slike⁸. Fibrillene er lange kjeder av cellulose med formelen $(C_6H_{10}O_5)_n$, som dannes med tusenvis av enheter D-glukose⁹. Samling av elementærfibriller blir til mikrofibriller, mens bunter på ca. 20–50 mikrofibriller utgjør en makrofibrill. Disse inngår igjen i oppbygningen av lameller i celleveggene¹⁰. Mikrofibrillene er så godt organisert i enkelte deler av cellulosefiberet, at de danner krystallinske områder, såkalte miceller¹¹. Rundt disse micellene har cellulosemolekylene i en mer åpen struktur i de såkalte amorfe områdene. De sterke bindingene i micellene gjør disse hydrofobe og binding til vann er bare mulig i overflaten av dem. I de amorfe områdene er det enklere for vann å binde seg til fibreene på grunn av den åpne strukturen¹². Det er også mulig for vann å binde seg i det intercellulære rom mellom elementær-, mikro- og makrofibriller. Dette har stor betydning for treets egenskaper med tanke på formstabilitet, siden vann kan opptas og avgis og det oppstår svelling og krymping av veden¹³. Bindingene oppstår hovedsakelig i de amorfe områdene mellom frie OH-grupper i hydrogenbindinger¹⁴.

Hemicellulose er også en type polysakkarider, som man tidligere antok var et forstadium i dannelse av cellulose¹⁵. Hemicellulose danner både rette og forgrenede molekylrekker, men de er betydelig mindre enn cellulose. Oppbygningen til større enheter skjer også i et mindre ordnet mønster sammenliknet med cellulose¹⁶.

Lignin er det mest komplekse høymolekylær polymer som finnes naturlig og har varierende bestanddeler alt etter hvor det forekommer. Generelt kan man si at hovedbestanddelene er guaiacyl, syringyl og ρ -hydroksyfenyl i varierende

⁸ <http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/m/mikrofibriller.html>.

26.05.2014

⁹ <http://snl.no/cellulose>. 26.05.2014

¹⁰ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 24-25

¹¹ *Treteknisk håndbok*, nr. 4. s. 13

¹² Ibid.

¹³ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 25-26

¹⁴ Ibid.

¹⁵ <https://snl.no/hemicelluloser>. 27.05.2015

¹⁶ Ibid.

mengdeforhold¹⁷. Lignin danner kovalente bindinger til cellulose og hemicellulose, og virker som bindemiddel i treverket¹⁸.

De tre bestanddelene i cellene kan sammenlignes med armert betong, hvor cellulosefibrene fungerer som armeringsjern, lignin er betongen og hemicellulose middelet som forsterker bindeevnen til stoffene¹⁹.

Celleveggen består som tidligere nevnt av flere forskjellige lag og disse lagene har ulik oppbygning og innhold, se figur 3. Der man tidligere snakket om en tredeling av celleveggen, så har man i den senere tid begynt å problematisere denne framstillingen. Det viser seg at det vanskelig å skille lagene klart fra hverandre og at de er oppbygd av såkalte lameller, som består av ett til to lag med mikrofibriller og antall slike lameller varierer fra lag til lag og gjennom vekstsesongen²⁰. Disse ulikhetene i oppbygning er med på å bestemme egenskapene til treet.

Midtlamellen består som sagt hovedsakelig av lignin og pektinstoffer og er egentlig ikke en del av selve celleveggen, men danner et bindingslag mellom cellene²¹. I primærveggen er mikrofibrillene avsatt i et uorganisert mønster og er relativt tynt. Laget dannes tidlig i celleveksten og er elastisk slik at cellen kan vokse²². Sekundærveggen består av tre lag S₁-S₃. Den dannes etter at cellens vekst er avsluttet og er betydelig tykkere enn primærveggen²³. Hvert av disse lagene har ulik tykkelse og består av lameller med fibriller. I disse lagene er mikrofibrillene mere organisert enn tilfellet er for P-laget. S₁ er det tynneste laget og består av 2-3 lameller. I dette laget er mikrofibrillene orientert tilnærmet vinkelrett på cellens lengderetning. S₂ er det tykkeste laget i celleveggen og inneholder det meste av cellulosen i veden. Det kan bestå av 30-150 lameller avhengig av om det er vårved eller sommerved. Mikrofibrillene er tilnærmet parallelle og har en vinkel på 10-30° i forhold til lengderetningen til cellen. Fibrillene er avsatt i lameller og vinkelen til mikrofibrillene er vanligvis større i de ytterste lamellene, 20-35°, mot

¹⁷ D.N.S. Hon og N. Shiraishi, *Wood and Cellulosic Chemistry, Second Edition, Revised, and Expanded* (Taylor & Francis, 2000). s.109

¹⁸ <http://cool.conservation-us.org/byorg/abbey/ap/ap04/ap04-4/ap04-402.html>. 02.06.2015

¹⁹ Hon og Shiraishi, *Wood and Cellulosic Chemistry, Second Edition, Revised, and Expanded*. s. 5

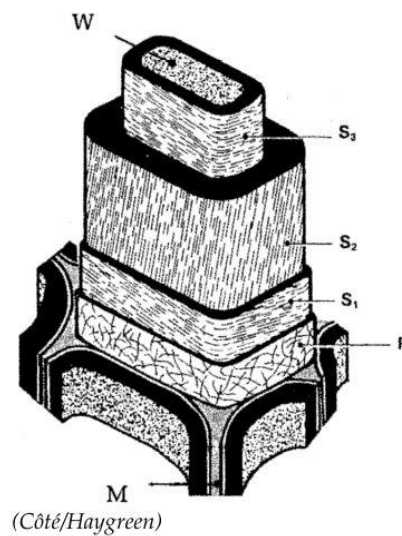
²⁰ Ibid. s. 12-15

²¹ *Treteknisk håndbok*, nr. 4. s. 16

²² Ibid. s. 16

²³ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s.35

5-20° i de innerste²⁴. Det innerste laget S₃ er tynt og danner avgrensning til cellelumenet innenfor. Orienteringen til fibrillene er omtrent som i S₁²⁵. Hos enkelte tresorter eksisterer det i tillegg også et såkalt vortelag innenfor sekundærveggen, som er karakteristisk for sorten. Dette kan ha form som spiralformede fortykningslister og kan være en god identifikasjonskilde av tresorten²⁶.



figur 3. Oppbygning av celler i tre. Fra Treteknisk håndbok s. 16.

I primærlaget og S₁ er det prosentvis store mengder lignin, som omgir mikrofibrillene. Dette gir styrke til celleveggen, gjør den vanntett og motstandsdyktige mot ytre påvirkning^{27,28}. Ligninifisering av celleveggene skjer over lang tid, men hovedsakelig i to faser. Først dannes det i midtlamellene, som begrenser cellenes størrelse og i neste fase forsterkes celleveggen, særlig i det ytre

²⁴ Ibid.

²⁵ Treteknisk håndbok, nr. 4. s. 16

²⁶ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 36

²⁷ Fokus på tre. s. 4

²⁸ Hon og Shiraishi, *Wood and Cellulosic Chemistry, Second Edition, Revised, and Expanded*. s. 39

laget av S₂²⁹. Cellulosefibrene gir cellene strekkstyrke, men de er ikke trykksterke. Det er innfylling av lignin i cellulosestrukturen som gir trykkfasthet og sørger for å holde fibrene sammen³⁰.

2.1.3 Treets livsløp

Et tre går gjennom flere utviklingsstadier i livet. I de ulike stadiene produseres det trevirke med forskjellige egenskaper. I den tidlige fasen vokser treet hurtig og produserer det som omtales som ungdomsved. Dette er ved med andre egenskaper enn modenved, og regnes som mindreverdige³¹. Cellene i ungdomsveden er kortere enn i senere ved og inneholder relativt lite sommerved. Dette medfører at det er en overvekt av celler med tynne vegger, som gir mindre kompakt trestruktur og lavere styrke sammenlignet med moden ved. Mengden av cellulose er med andre ord mindre, med tilsvarende større konsentrasjon av hemicellulose og lignin³². Ungdomsveden har også større forekomst av reaksjons ved. Dette er en type vedstruktur som oppstår når treet for eksempel vokser i hellende terreng eller rundt greiner og rot. Reaksjonsved er et resultat på ytre påvirkning og sørger for at treet kan vokse rett³³. Hos bartrær dannes denne veden på siden med press, mens hos løvtrær ligger det på strekksiden. Det skiller seg fra normal ved med at cellene er kortere og tykkere. Hos bartrær inneholder de mere lignin og hemicellulose, mens det motsatte er tilfellet for løvtrær³⁴. I områdene med reaksjonsved består årringene av vesentlig mindre vårved enn normalt og tverrsnittet av dem får gjerne en oval form på grunn av dette. Hos løvtrær endrer den sekundære celleveggen karakter og kan i enkelte tilfeller bestå av et tykt celluloselag, et såkalt G-lag. Dette laget har en gelatin liknende konsistens, siden det inneholder mye cellulose og lite lignin. Dette laget dannes på bekostning av S₂ og S₃ lagene, som i noen tilfeller kan mangle helt. G-laget har dårlig forbindelse til de andre lagene i cellen

²⁹ Ibid. s. 39

³⁰ *Treteknisk håndbok*, nr. 4. s. 13

³¹ John G. Haygreen og J. L. Bowyer, *Forest products and wood science: an introduction* (Ames, IA: Iowa State University Press, 1996). s. 102-103

³² Ibid. s. 104

³³ Ibid. s. 108

³⁴ Ibid. s. 112-113

og kan løsne helt, noe som fører til en fliset overflate ved bearbeiding av trevirket³⁵. Denne dårlige forbindelsen er også grunn til at strekkved har større lengdekrymping enn normal ved. Mikrofibrillene er tilnærmet parallell med lengderetningen til cellen, men klarer ikke å motvirke lengdekrympingen i S₁ laget, som det gjør i normal ved, noe som fører til større dimensjonsendringer. Hos bartrær har reaksjonsveden mere effekt på lengdekrymping, men her er det den større vinkelen til mikrofibrillene som er årsak til dette³⁶.

Etter hvert som treet vokser vil også karakteren endre seg. Dette skjer gradvis, men rundt 15.-25. årring vil trevirket begynne å produsere det som ansees som moden ved. Cellene vokser til full lengde med tykkere cellevegger. Det skjer siden andelen cellulose går opp og det dannes mere sommerved. Dette fører igjen til at trevirket får større densitet og styrke³⁷.

Når antallet årringer med yteved har nådd den nødvendige bredden for å sikre næringstransport i treet, begynner dannelsen av kjerneved. Når dette inntreffer varierer, men kan begynne så tidlig som rundt 15 års alder³⁸. Dannelse av kjerneved begynner når de levende cellene, parakymatiske, dør. Disse cellene finnes i margstrålene, som går på tvers av stammens i radial retning, og i lengderetning, hvor de ligger rundt vedrørene, eller i egne grupper. De sørger for transport og lagring av næringsstoffer i treet³⁹. Hvorfor dannelse av kjerneved oppstår er usikkert, men det har blitt sett i sammenheng med fuktighetsnivået i cellene. Når dette nivået synker i veden, dør de levende cellene og dannelse av kjerneved starter⁴⁰. Når dette inntreffer fører det til en blokkering av cellene i veden. I løvtrær som eik kan det dannes tyller, som er utvekster fra parenkymatiske celler. Dette er poser som fyller cellelumenet og de kan inneholde forskjellige stoffer som stivelse, kvae etc.⁴¹. Blokkeringen av porer mellom cellene i kjerneveden fører til at den ikke lenger deltar i vann- og

³⁵ Ibid. s. 115

³⁶ Haygreen og Bowyer, *Forest products and wood science: an introduction*. s. 110-115

³⁷ *Treteknisk håndbok*, nr. 4. s. 10

³⁸ *Forest products and wood science: an introduction*. s. 30

³⁹ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 56

⁴⁰ Haygreen og Bowyer, *Forest products and wood science: an introduction*. s. 31

⁴¹ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 53

næringstransport, og avsetting av ekstraktstoffer kan føre til fargeendring av veden hos noen tresorter. Slik kan den enkelt identifiseres i et tverrsnitt, men i andre sorter er det ikke et klart skille mellom yteved og kjerneved. Avsetting av ekstraktstoffer øker også motstandsdyktigheten mot nedbrytning til kjerneveden, siden slike stoffer ofte er giftige for mikroorganismer og insekter. Dette gjelder ikke alle tresorter, men ved blokkering av poreåpninger blir trestrukturen mindre tilgjengelig og bedre beskyttet⁴². Når dannelse av kjerneved starter, vil den pågå i hele livsløpet til treet. Det følger ikke nødvendigvis utbredelsen av årringene, men som tidligere nevnt, så står det i forhold til utbredelsen av yteveden.

Trestrukturen følger som regel denne utviklingen, men det er variasjoner i oppbygningen av treet som skyldes andre faktorer og gir forskjellige egenskaper til trevirket. Dette henger sammen med vekststed, bonitet, som er bestemmende for næringsgrunnlag og vekstforhold. I tillegg spiller også arv inn på utviklingen til det enkelte tre. Disse forholdene spiller en vesentlig rolle i trets utvikling og hvilke egenskaper det får. Dette vil bli beskrevet nærmere i kapitlet om utvelgelse og materialbruk.

2.2 Tradisjonell materialbruk og utvelgelse

En båt fra 1500-1600-tallet fra det skandinaviske området består hovedsakelig av tre. Det finnes andre material som metall, tjære, tau og tettingsmaterial, men hovedbestanddelen er tre av ulike sorter. Hva som er bestemmende for hvilke tresorter som brukes til hva er uklart, men ser man på tradisjonell båtbygging i dag, så kan man finne sannsynlige begrunnelser for materialbruken. Forskjellige båttyper konstrueres av ulike tresorter og dette har lange tradisjoner innenfor båtbygging. I den enkelte båten kan det også brukes ulike tresorter til delene den består av. Disse forskjellene henger gjerne sammen med hvor i landet båtene bygges og kan delvis forklares ut fra den tradisjonen de tilhører. En annen begrunnelse er tilgangen på egnet tømmer til båtbygging. Tilfanget av egnet trevirke er avgjørende for hvilke sorter som blir brukt, selv om sterke

⁴² Haygreen og Bowyer, *Forest products and wood science: an introduction*. s. 33

tradisjonsbindinger kan gå på tvers av dette. Dette har kanskje ikke like sterk påvirkning i dag som tidligere, men det er en viktig forutsetning for hvordan båter har blitt bygd. Kjennskap til lokale råvarer er viktig for båtbyggeren med tanke på kvalitet og egenskaper, som kan være varierende fra sted til sted⁴³. Mangel på det foretrukne virke kan tvinge fram endringer i både utnyttelse av det og utforming av båten⁴⁴. På bakgrunn av dette spiller den geografiske utbredelsen av tresorter en viktig rolle i bruken av dem til båtbygging. Det er naturlig å utnytte de ressurser som finnes i rimelig nærhet, om de er egnet til formålet. Dette har ført til at for eksempel eik har blitt brukt i områdene det har naturlig utbredelse, mens furu og gran er foretrukket i områder med god tilgang til disse tresortene. Dette kan gi seg utslag i at man konstruerer en båt med forskjellige tresorter til de ulike enkeltdelene, om det finnes tilgang til dem, utfra spesifikke egenskaper til trevirket, eller også på tross av dem⁴⁵.

Det har blitt bygget båter innenfor mange tidsaldere og forskjellige tradisjoner. Det finnes derfor mange ulike typer trebåter alt fra stokkebåter til havgående skip. Likeså finnes det mange konstruksjonsmetoder, men klinkerbygd og kravell kan sies å være dominerende i det skandinaviske området⁴⁶. Man kan si at hovedskille mellom disse to konstruksjonene ligger i at kravell har et bærende skjelett bestående av kjøl og spant, som er kledd med bordganger. Bordgangene legges kant i kant og festes til spantene. I klinkerbygde fartøy er det bordgangene som er det bærende i konstruksjonen, mens spant legges til slutt og gir strekkstyrke til konstruksjonen⁴⁷. Bordgangene legges overlappende med det øverste liggende på utsiden av det under og slik klinkes de sammen med nagler.

Konstruksjonsmetodene setter forskjellige krav til materialbruken og egenskapene til dem. Generelt kan man si at kravellteknikken krever trevirke med større dimensjon enn klinkerbygde fartøy av sammenlignbare størrelser. Den setter også større krav til holdbare tresorter, som eik og malmfuru, det vil si kjerneved av

⁴³ Terje Planke, "Tradisjonsanalyse : en studie av kunnskap og båter" (Det historisk-filosofiske fakultet, Universitetet i Oslo, 2001). s. 158

⁴⁴ Jon Bojer Godal, *Tre til båtar* (Oslo: Landbruksforl., 2001). s. 25-32

⁴⁵ Terje Planke, *Sognebåten : bygging, formforståelse og kunnskap* (S.l.: s.n., 1997). s. 21-23

⁴⁶ Godal, *Tre til båtar*. s. 14

⁴⁷ Ibid. s. 14-15

fur. Siden BC06 er bygd i klinkertradisjon, så skal det sees nærmere på hva som er ønskelige egenskaper til det trevirke som benyttes til slike båter.

2.2.1 Treets egenskaper

En klinkerbygd båt består av kort fortalt av kjøll, lot, stevner, bordganger og band. Den konstrueres ved å strekke kjølen og feste lot og stevner til denne, så legges bordgangene og bandene plasseres inn etter at skroget er bygd. Den bygges på et vis fra bunnen og opp⁴⁸. Det finnes ulike teknikker for utforming og sammenføring av delene basert på tradisjon og båttyper. Dette setter igjen krav til kvalitet på trevirket som brukes til de forskjellige delene. De ønskede egenskapene til båten som helhet stilles igjen av hvilket bruk den er tiltenkt, noe som legger føringer for utformingen av den. En klinkerbygget båt har som tidligere nevnt mindre dimensjoner på trevirket. Bordgangene er smalere og bandene er spinklere enn tilfellet er for kravellbygde fartøy. Hele konstruksjonen blir mere fleksibel og er bygd for å kunne gi seg og følge sjøen under bruk. For å få til denne konstruksjonen trenger man seigt og fleksibelt trevirke, som tåler bevegelse uten å knekke eller sprekke opp.

Det er ikke alt tømmer som er egnet til båtbygging. Et overslag antar at 5- 10 % av tømmerproduksjonen er egnet til formålet, kanskje så mye som 30 % i gode bestander⁴⁹. Dette viser at det kan være problematisk å skaffe egnet tømmer, særlig om ikke skogbrukeren har fokus på hva som trengs til båtbygging. Det som er avgjørende for kvaliteten er vekstforholdene, boniteten til det enkelte tre. Dette er avgjørende for hvordan det utvikler seg og vokser. Alle faktorer som påvirker veksten til enkelttreet, påvirker vedegenskapene til det. Det kan være stor variasjon i egenskaper mellom bestand, innen samme bestand og i et enkelt tre^{50,51}. Det er mye som spiller inn i dette blant annet jordsmonn, næringsgrunnlag, breddegrad og høyde over havet. Likeså er forhold til andre trær også avgjørende for kvaliteten til trevirket. Står trærne tett vil enkelte bli

⁴⁸ Planke, "Tradisjonsanalyse : en studie av kunnskap og båter." s. 166

⁴⁹ Godal, *Tre til båtar*. s. 24

⁵⁰ Studiemateriell PowerPoint TRE200, NMBU januar 2012

⁵¹ Haygreen og Bowyer, *Forest products and wood science: an introduction*. s. 207

undertrykt og vokse dårlig. Er avstanden stor utvikler treet mye og stor kvist i hele stammen. Et dominant tre vil også utvikle mye kvist, noe som gir lavere densitet til virket⁵². Forholdene må ligge til rette om det skal produseres godt tømmer med gode egenskaper.

En båtbygger vil ha tømmer som er relativt kvistfri, rettvokst med dimensjoner som er brukbar til bygging av båt. Det skal også være virke som gir fleksible bordganger uten å knekke under tilvirkning.

Det er forskjell mellom bar- og løvtrær når man ser på hvordan de vokser. Bartrær har en tendens til å vokse rettere enn løvtrær, som er mere lyssøkende. Dette fører til at bartrær generelt har rettere stamme enn tilfellet er med for eksempel eik og bjørk, som kan ha mere kast i stammen⁵³. Likeså spiller lys- og grunnforhold inn på om det dannes mye kvist og reaksjons ved i treet. I sørlige hellinger vil treet få mye kvist på sørsiden av treet og det danner seg reaksjonsved for å kompensere det hellende terrenget. Jevnere lysforhold i nord- og østsider gir bedre kvalitet på trevirket på grunn av jevnere fordeling av kvist. Trær som gror langsomt på grunn av klimatiske forhold vil danne smale og tette årringer, men dette gir ikke sterkere trevirke. Densiteten vil være lavere enn normalt voksende trær siden vokssesongen er kortere og det dannes mindre sommerved⁵⁴. Cellene i slike trær er også kortere enn normalt, som gjør trevirket sprøtt og det knekker lettere ved press. Det kreves en god vekstsesong med god tilgang til vann og næring for at treet skal kunne utvikle seg optimalt. Hurtigvoksende bartrær har også en tendens til å ha lavere densitet, siden større deler av årringen vil være vårved. Det motsatte er tilfellet med hurtigvoksende eik, som blir sterkere enn om det vokser langsomt og har smale årringer. Dette skyldes at mengden vårved er rimelig konstant, mens det er mengden med sommerved som øker ved hurtig vekst, noe som gir ved med større styrke⁵⁵. Kvaliteten til tømmeret avgjøres også av andel kjerneved, som er ønskelig til båtkonstruksjon. Det er regnet som mere holdbart på grunn av de egenskapene som er beskrevet tidligere med avsetting av kjerneved. Det er ikke

⁵² Studiemateriell PowerPoint TRE200, NMBU januar 2012

⁵³ Godal, *Tre til båtar*. s. 33-36

⁵⁴ Ibid. s. 55

⁵⁵ Ibid. s. 58

dermed sagt at det kun benyttes kjerneved til båtbygging, men i de tilfeller hvor også yteved blir bruk stiller det krav til at overgangen mellom yte- og kjerneveden er god, såkalt samløyping⁵⁶. Dette gir en gradvis overgang mellom sterk og sprø kjerneved mot den fleksible yteveden. Et skarpt skille kan føre til at det oppstår sprekker og revner.

I tidligere tider ble tømmeret bearbeidet med øks og man kløvde stokken og hugget til bordganger av den. Eik ble hogget til i radielle skie, «kakestykker», som ble hogget til bordganger. Dette kunne gi flere bordganger av hver stukk, alt avhengig av dimensjonen til tømmeret⁵⁷. Slik radiell uttak av bordganger gav tre med stor styrke og fleksibilitet, siden eik er en tresort med breie margstråler, som går radielt i treet. Disse margstrålene kan bestå av cellelag på opptil 20 i bredden og kan tydelig sees i et tverrsnitt av treet uten hjelpemidler⁵⁸.

Ved innføring av sag fikk man muligheten til å sage ut enda flere bordganger fra samme stukk, noe som gir kvantitativt bedre utnyttelse av tømmeret. En konsekvens av denne utviklingen er at det blir flere ledd i produksjonen og større avstand fra det levende treet til båtbyggeren. Dette betyr at kan være vanskeligere å få tak i trevirke med de rette kvalitetene, om ikke båtbyggeren selv tar del i utvelgelse og produksjon av de nødvendige delene i båtkonstruksjonen. Et eksempel på dette er hvordan de ulike delene tas ut fra stokken. Treet blir saget slik det er mest hensiktsmessig ut fra sagan. Stokken blir delt opp i skiver langs lengderetningen, og ikke utnyttet radielt, som den ble med øks, noe som gir dårligere utnyttelse av margstråleretningen. Det er også viktig for båtbyggeren å unngå for mye kvist, yteved og marg, siden disse skaper problem og har dårligere kvalitet i en båt enn lytefri virke. Ser man på margen, så har den en tendens til å sprekke gjennom stokken. Det gjør den gjerne med vridning i forhold til fiberretningen. Derfor er det viktig å merke denne vridningen ved felling av treet. Gjør man ikke dette, eller det ikke tas hensyn til dette, vil det være svært vanskelig å bestemme dette i ettertid, når det oppstår tørkesprekker i tømmeret⁵⁹.

⁵⁶ Planke, *Sognebåten : bygging, formforståelse og kunnskap*. S. 23-24

⁵⁷ Godal, *Tre til båtar*. s. 94-96

⁵⁸ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 75

⁵⁹ Planke, "Tradisjonsanalyse : en studie av kunnskap og båter." s. 162

Det er viktig å ta hensyn til denne når tømmeret sages og legge snittene etter den, slik at man unngår sprekkdannelse i bordene. Veden rundt margen er ikke egnet til båtbygging. Denne kunnskapen om hva som er egnet til de ulike delene i båten er ikke alltid noe produsenten av tømmer har, særlig ikke i moderne treindustri. Derfor er det viktig for båtbygger å kommunisere dette til produsenten, slik at god kvalitet sikres. Økonomiske hensyn går gjerne foran kvalitetshensyn og kan føre til at det blir produsert båter av lavere kvalitet og med dårlige bruksegenskaper, eller endringer i båttyper tvinger seg fram som følge av mangel på kvalitetsvirke⁶⁰.

Det er også viktig for kvaliteten på trevirket hvordan det behandles etter tilbereding. En kontrollert og langsom tørkeprosess er nødvendig for å unngå oppsprekking og vridning av treet. Trevirket kan derfor stables flatt i stabel med god lufting mellom. Større emner, som kjøll og lott bør ligge øverst i stabelen. Grunnen til dette er at de bør få vri seg naturlig og ikke hindres, siden dette kan føre til at treet får spenninger som kan skape problemer senere. Dessuten er det disse delen man begynner med når båten skal bygges. En annen metode er å stille bordene på høykant med rot delen opp på en tverrliggende stakk, såkalt mara. Slik stilles plankene på annenhver siden med god lufting mellom. Man har dermed god kontroll på tørkingen og metoden gir lite risiko for at trevirket sprekker⁶¹.

Det er også vanlig å lagre eik i sjøvann/brakkvann og myr før de tilberedes⁶². Oppbevares det i sjøvann gjøres det i flomålet for å unngå pelemark, der det finnes. Treet kan oppbevares slikt i lang tid og det sies å gi et seigere tre, som er lettere å arbeide med og får mindre tørkesprekker. Dessuten gir det også et mere holdbart trevirke. Det er usikkert hva grunnene til dette er, men treet får egenskaper som er ønskelig for båttømmer⁶³.

⁶⁰ Godal, *Tre til båtar*. s. 24-26

⁶¹ Ibid. s. 63-65

⁶² Planke, "Tradisjonsanalyse : en studie av kunnskap og båter." s. 164-165

⁶³ Godal, *Tre til båtar*. s. 66-67

2.3 Nedbrytning av tre

Nedbrytningen av tre kan starte allerede i treets levetid hvor det kan bli angrepet av insekter og mikroorganismer, som lever av tre. Etter at treet er felt er det viktig med forsvarlig oppbevaring, som hindrer at det blir utsatt for skadelig angrep. Det er nødvendig å sørge for at det tørker på en måte som ikke gir tørkeskader med oppsprekking på grunn av hurtig tørking, men også at det ikke tørker for sakte, med råteangrep som resultat. Blir det oppsagede tømmeret liggende for tett med dårlig lufting, kan det legge forholden til rette for at det skjer når fuktigheten og temperaturen blir høy nok⁶⁴.

Treet blir også utsatt for mekanisk slitasje og ødeleggelse under bruk. Hvor stor påvirkning dette får, avhenger av bruken og vedlikeholdet. Vær og vind sliter på treverket og faktorer som oppbevaring og vedlikehold spiller en vesentlig rolle i hvordan treet tåler dette. Det er gjerne det ytre laget som må tåle mest fra elementene og er utsatt for både lysnedbrytning og slitasje. Når det gjelder tre i båter, så er det viktig med impregnering, gjerne tjære, for å hindre treet i å forvitte. En båt må tåle mye, siden den store delen av brukstiden oppbevares og brukes på vann. Treet er i et fuktig klima, som gir grobunn for at skadelige organismer kan bryte det ned. Det setter høye krav til vedlikeholdet, om treet skal overleve og båten kunne brukes.

2.3.1 Pelemark og pelekreps

Ubehandlet tre i sjøvann er utsatt for angrep av pelemark, *Teredo navalis*. Det finnes omtrent 65 forskjellige arter i verdenshavene, mens i de nordiske farvann lever fire-fem forskjellige arter⁶⁵. Pelemarken fester seg til tre når de er på larvestadiet. Der begynner de å bore seg inn i treverket, hvor de danner ganger,

⁶⁴ Planke, "Tradisjonsanalyse : en studie av kunnskap og båter." s. 165

⁶⁵ http://www.delebanken.no/ffr/info_om_paelemark_og_andre_boredyr.pdf. 09.10.2014

som de kler med et kalkbelegg. Det er selve trevirket som er hovednæringsgrunnlaget for perlemarken og den kan vokse til rundt 60 cm i lengde og 1-2 cm i diameter. Egentlig er pelemark en type musling, men på grunn av den langstrakte formen går den under betegnelsen mark. Den har et skjell i en ende som den bruker som borrekroner, for å spise seg gjennom treet. I den andre enden har den en «hevert» for filtrering av sjøvann og ekstraksjon av avfallsstoffer som sagmugg. I denne enden har pelemarken også to kalkplater, som den kan stenge av åpningen ut mot sjøen. Dette gjør at den kan overleve i lengre tid, om den blir utsatt for miljøendringer, som for eksempel ferskvann⁶⁶. Perlemark trenger saltvann for å leve, men den kan overleve i vann med relativt lavt saltnivå. Det er antatt at perlemark ikke har hatt særlig utbredelse i Østersjøen nettopp på grunn av lave saltverdier, men det kan se ut til at perlemark er i ferd med å bre seg i dette området. Hva dette skyldes er usikkert, men endring i havtemperatur og saltnivå kan være utslagsgivende. Alt tre som befinner seg i vann er utsatt, men den foretrekker myke tresorter. Over tid blir treet gjennomboet av ganger og det mister til slutt sin fysiske styrke. Dette gjør treet skrøpelig og kan føre til kollaps om det utsettes for ytre påkjenninger.

Pelekreps, *Limnoria lignorum*, er et lite krepssdyr. Den blir rundt 5 mm langt og lever i de ytre 1-2 cm av treet⁶⁷. Det er derfor lettere å se om treet er angrepet av pelekreps enn pelemark. Den graver små ganger på 1-1,5 cm skrått inn i treet. De er smale, 1-2 mm og kan ligge tett ved siden av hverandre ved angrep av store mengder pelekreps. Overflaten får et flisete utseende. Det slitte treet eroderes bort og pelekrepsen kan fortsette med å bore ganger dypere i treet. Dette kan lede til at tykkelsen på treet taper seg opp mot 2-3 cm i året. Ødeleggelsen av treet går ikke like fort som tilfellet kan være med pelemark, men over tid kan det oppstå store skader på trestrukturen. Pelekrepsen er ikke like temperaturfølsom som pelemarken, så den kan leve i kaldere farvann og utbredelsen strekker seg derfor lengere mot nord.

⁶⁶ http://wreckprotect.eu/fileadmin/site_upload/wreck_protect/pdf/shipwormspdfnew.pdf. 09.10.2014

⁶⁷ R. O. Ullevålseter, *Trevirket i norske trefartøyer: undersøkelser over biologiske skader og beskyttelsesmetoder* (Bergen 1968). s. 26-27

2.3.2 Sopp

En vanlig årsak til at tre brytes ned er sopp. Det er hovedsakelig tre sorter som tre er utsatt for og det er brun-, hvit- og gråråte/softrot⁶⁸. Soppen angriper tre når det har høy fuktighet, normalt over 20 %, og temperaturen ligger til rette for soppveksts, som kan variere fra minus grader opp mot 60 grader, men vanligvis innenfor 5-30° C⁶⁹. De ulike soppartene angriper forskjellige deler av treet, som gir treet spesifikke kjennetegn.

Brunråte bryter ned cellulose og hemicellulose, mens ligning blir igjen. Dette gjør treet brunt og det sprekker på tvers av fiberretningen i kuber.

Hvitråte bryter også ned cellulose og hemicellulose, men det kan også bryte ned lignin. Nedbrytningen kan arte seg på forskjellige måter, hvor lignin og hemicellulose brytes ned først og cellulose tilslutt, eller så brytes alt ned samtidig. Denne ulike nedbrytningen forårsakes av samme type sopp og kan oppstå siden om side. Det gir en lys, svampaktig struktur på treet.

Gråråte/soft rot starter på overflaten og beveger seg langsomt inn i treet. Det bryter ned cellulose og hemicellulose og gir samme utseende som brunråte⁷⁰. Brun- og hvitråte er avhengig av oksygen for å vokse, så de opptrer ikke i marine miljø, mens gråråte trives bedre i miljø med lavt oksygeninnhold⁷¹. Av dette kan man slutte seg til at skader på arkeologisk vasstrukket tre forårsaket av brun- og hvitråte har oppstått før treet har blitt totalt dekket av vann. Skader forårsaket av gråråte kan oppstå etter at treet har blitt deponert i vannfylt miljø.

Alle soppangrep fører til en svekkelse av treet, noe som gjør det svakt og utsatt for skader som følge av mekanisk stress. Soppen bryter ned trestrukturen og det skjer ved at det avsettes sporer på overflaten til treet. Disse begynner å vokse under de

⁶⁸ Gunnar Almkvist, "The chemistry of the Vasa," *Doctoral thesis*, no. Sveriges lantbruksuniv. Uppsala (2008). s.20

⁶⁹ Studiemateriell Powerpoint TRE200, NMBU januar 2012, forelesing gitt av Holger Militz 22.01.2012

⁷⁰ Ibid.

⁷¹ Martin Nordvig Mortensen, "Stabilization of polyethylene glycol in archaeological wood," *Ph.D. Dissitation*, no. Danish Polymer Center, Lyngby (2009). s. 5

rette forholdene og danner hyfer, trådliggende forgreninger. Disse vokser inn i cellelumenet til trecellene og enzymaktivitet starter nedbrytningen. Hyfene sprer seg i trestrukturen via porene, slik kan soppen vokse fra celle til celle og gjøre stor skade over tid⁷². De har også evne til å trenge direkte gjennom celleveggen og gradvis bryte ned treet. De trenger inn i S₂-laget i celleveggen og vokser i cellens lengderetning. Disse borehullene etter hyfene kan tydelig sees i tverrsnitt av angrepne treceller. Etter hvert som nedbrytningen pågår vokser disse hullene i cellelaget, helt til det er fullstendig nedbrutt⁷³. Gråråte bryter normalt ikke ned midtlamellen, som er rik på lignin, men den blir gjennomboret. Lignininnholdet har betydning for omfanget av nedbrytningen og løvtre er mere utsatt enn bartre. Det er de celledelene med karbohydrater som i første omgang er utsatt for nedbrytning. Dette gjelder alle typer treceller i alle retninger i treet, både trakeider, karceller, margstråleceller, parakymeceller etc.⁷⁴. Et råteangrep kan derfor føre til stor skade på trevirket og tap av mekaniskstyrke.

2.3.3 Bakterier

I anaerobe miljø, som under sjøbunnen, er det bakterier som hovedsakelig står for nedbrytning av tre. I hovedsak dreier det seg om to typer bakterier, erosjons- og borende/tunnelingbakterier. Det er gjort antagelser om at det også finnes en tredje type, cavitation bakterier, men det finnes få rapporter om den. Fra enkelte hold hevdes det at det ikke er en egen type bakterier, men kun dreier seg om en type erosjonsbakterier under spesielle miljømessige forhold⁷⁵. De ulike bakteriene kan identifiseres av hvordan trecellene blir angrepet.

Nedbrytningen av erosjonsbakterier starter, i likhet med soppangrep, fra overflaten til tregjenstanden. I de ytterste cellene trenger bakteriene inn i

⁷² R. A. Blanchette, Roger M. Rowell, og R. James Barbour, "Biological degradation of wood Archaeological Wood," *Advances in Chemistry Series*, no. 225 (1990). s. 143

⁷³ N. B. Pedersen et al., "13 Bacterial Degradation of Archaeological Wood in Anoxic Waterlogged Environments," i *Stability of Complex Carbohydrate Structures: Biofuels, Foods, Vaccines and Shipwrecks* (The Royal Society of Chemistry, 2013). s.174

⁷⁴ Ibid. s.174

⁷⁵ Ibid. s. 172

cellelument hvor de fester seg til S₃ laget og trenger videre inn til S₂ laget, som gradvis brytes ned til det ikke er mere igjen. Cellen blir oppfylt av avfallsstoffer fra nedbrytningen av den og har ikke lengre noen fysisk styrke⁷⁶. Den ligning rike midtlamellen blir i hovedsak ikke brutt ned, så det er mulig å skille enkeltceller i treet, selv om det er kraftig nedbrutt⁷⁷. Nedbrytningen ser ut til å spre seg fra celle til celle og i moderat nedbrutt tre vil man i horisontale tverrsnitt finne hele celler blant helt nedbrutte⁷⁸. Studier av vertikale snitt viser derimot at en tilsynelatende frisk celle kan være angrepet i deler av den. Dette viser seg som stripete bånd eller V- og diamantformede spor i cellen⁷⁹.

«Tunneling» bakterier starter også nedbrytningen fra cellelumet og går via S₃ laget til S₂ laget hvor den borer ganger. Dette vises som små hull i tverrsnitt av treet. De kan også bore seg gjennom midtlamellen, men det er hovedsakelig celluloserike deler som angripes⁸⁰. Disse tunellene krysser ikke hverandre og inneholder kun en bakterie, men bakteriens celledeling fører til at tunellen forgrener seg. Ekstensiv nedbryting av cellen kan føre til at tunellene, og dermed cellen, kollapser. I tunellene er det ikke avfallsrester, noe som tyder på at bakterien forbruker alt cellematerial også lignin⁸¹.

Det som er bestemmende for hvilken type nedbryting som dominerer i tre avhenger av miljøet det er deponert i. Tilgang til oksygen ser ut til å være bestemmende for hva som dominerer i denne prosessen, og varierende forhold kan gi grunnlag for flere typer nedbryting i samme tregjenstand. Forsøk med moderne tre viser at grunnvannstanden påvirker de nedbrytingsspor man finner i treet⁸². Befinner treet seg over nivået for grunnvannet er det hovedsakelig utsatt

⁷⁶ C. G. Björdal, T. Nilsson, og G. Daniel, "Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden Applicable to archaeology and conservation," *International Biodeterioration & Biodegradation* 43, no. 1–2 (1999). s.65

⁷⁷ Pedersen et al., "13 Bacterial Degradation of Archaeological Wood in Anoxic Waterlogged Environments." s.169

⁷⁸ Ibid. s. 168

⁷⁹ Ibid. s. 170

⁸⁰ Robert A. Blanchette, "A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments," *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, no. 3 (2000). s. 194

⁸¹ Pedersen et al., "13 Bacterial Degradation of Archaeological Wood in Anoxic Waterlogged Environments." s. 172

⁸² A.C. Helms, *Bacterial Diversity in Waterlogged Archaeological Wood* (National Museum, 2008). s. 95

for nedbrytning av gråråte, som kan bryte ned treet relativt raskt. I et nivå som har varierende vannstand vil man finne spor etter flere typer nedbrytning, både sopp og bakterier. I fullstendig vannfylt miljø, tilnærmet oksygenfritt, er det hovedsakelig erosjonsbakterier som står for nedbrytningen⁸³. I et slikt miljø går også nedbrytningen vesentlig langsommere enn tilfellet er for oksygenrike miljø. De ulike organismene setter forskjellige spor på/i treet og gir derfor viktige spor om hvordan miljøet har vært i området treet har vært deponert, og om det har forekommet endringer i perioden.

2.4 Konserveringsmetoder

2.4.1 Historikk

Man har tidlig blitt klar over at arkeologisk tre byr på utfordringer i forhold til bevaring. Når man har funnet tregjenstander i jorden eller under vann, så har det i enkelte tilfeller vært et ønske om å ta vare på dem. Noen ganger har dette gått forholdsvis greit uten annen behandling enn tørking, men som regel vil man oppleve at det får skader og deformasjoner etter lufttørking. For å unngå dette, og sørge for at gjenstandene bevarer sin opprinnelige form, har man gjennom tiden forsøkt mange ulike metoder med dette som mål. Grunnen til at tre deformeres under vanlig lufttørking har sammenheng med nedbrytningsgraden til trevirket. Når vasstrukket tre tørker virker det sterke krefter på det, kjent som kapillarkraften. Celleoppbygningen i tre kan sammenlignes med lange, tynne rør, hvor væske transporteres rundt i treet. Disse er fylt med vann når treet graves opp fra et vått miljø, og samtidig begynner uttørking av fritt vann, om man ikke umiddelbart sørger for å hindre fordamping ved å lagre det i væske eller tett emballasje. Kapillarkraften virker som følge av vannets dipolare egenskaper. Det medfører at vannmolekyler har en sterk overflatespenning og vil organisere seg slik at det får en minst mulig overflate. Uten ytre påvirkninger vil vann anta kuleform. I tre derimot er celleveggen hydrofil, og vil trekke på vannmolekylene i

⁸³ Pedersen et al., "13 Bacterial Degradation of Archaeological Wood in Anoxic Waterlogged Environments." s.166

overflaten. På grunn av vannets overflatespenning, vil dette føre til at vannet trekkes opp langs cellene, noe som igjen trekker på vannmolekylene i væsken. Dette skaper et undertrykk i væsken og vannet stiger i tynne rør⁸⁴. I friskt trevirke er cellene sterke nok til å motstå dette trykket uten å kollapse, men er det svekket av nedbrytning, kan trykke få cellene til å falle sammen. Når treet er fullstendig vasstrukket virker ikke disse kreftene, men med en gang fordamping av vann begynner, vil vannet i cellene trekkes mot overflaten der fordampingen skjer. Volumet av vann minker, men det opprettholder overflaten og trykket stiger i cellerøret. Dette gir et kraftig press på celleveggene og klarer de ikke å motstå dette trykket, faller de sammen med deformasjon som resultat⁸⁵. Siden cellene er sterkest i lengderetning vil denne deformasjonen hovedsakelig gå på tvers av cellene i tangensial retning.

Krympingen av en nedbrutt tregjenstand er ulik i forskjellige plan, og det kan føre til at den fullstendig mister sin opprinnelige form og verdi som gjenstand. Det har derfor vært viktig å finne metoder som hindrer en slik deformering av arkeologiske tregjenstander og mange ulike teknikker er blitt prøvd i konservering av dem.

Før man utviklet konserveringsmetoder for vasstrukket tre var den eneste muligheten å la treet tørke naturlig. Det viste seg å være problematisk i mange tilfeller, men det kunne også gå relativt bra med tanke på formstabilitet. I 1867 ble Tune-skipet gravd ut og det som var bevart av skipet i gravhaugen, ble transportert til Kristiania. Der ble det henstilt utendørs en tid før man plasserte det i et skur. De bevarte delene fikk trolig tørke uten behandling og det var først senere at trevirke ble satt inn med kreosot og linolje⁸⁶. Gokstad-skipet fikk en lignende behandling etter utgraving i 1880. Det ble gravd ut og fraktet i to deler til Kristiania, hvor det også ble oppbevart i et skur i universitetshagen fram til

⁸⁴ Lars Møller Andersen, *Frysetørring af arkæologisk træ : og andre våde organiske materialer* ([Viborg]: Konservatorskolen, Det Kongelige Danske Kunstakademi, 1993). s.31-32

⁸⁵ Ibid. s. 33-34

⁸⁶ Knut Paasche, "Tuneskipet: dokumentasjon og rekonstruksjon" (Universitetet i Oslo, Institutt for arkeologi, konservering og historie, 2010). s.133

1929⁸⁷. Bevaringsforholdene til disse to skipene har vært gode, siden store deler av skipene har vært begravd i leire, noe som har hindret nedbrytning av dem og hindret deformering under tørking. Dette var også tilfellet med Oseberg-skipet, som ble utgravd i 1904. Skipet ble tatt fra hverandre og transportert fuktig til hovedstaden. Skipsdelene ble der rekonstruert/formet ved hjelp av varme og damp og satt inn med kreosot og linolje⁸⁸. Dette gjaldt skipsdelene av eik, men mye av gravgodset ble ansett som for skrøpelig til å lufttørkes. Mange av tregjenstandene var i tillegg utskåret og man ville derfor finne metoder for å bevare disse i sin opprinnelige form og ikke risikere at de ble ødelagt og deformert under tørking. I Skandinavia var bruken av alunkonservering av vått tre utbredt rundt 1900. Dette var en teknikk som var tatt i bruk i Danmark rundt midten av 1800-tallet og beskrevet av C.F. Herbst i 1861⁸⁹. Metoden som ble utviklet baserte seg på å koke treet i høykonsentrert løsning med alun, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ i omtrent to timer avhengig av trets tykkelse⁹⁰. Under denne kokeprosessen trengte alunløsningen inn i treet og fortrengte vannet i det. Gjenstanden ble så tatt opp og avkjølt, noe som lot alunsaltet krystallisere seg i trevirket. Dette gav styrke til treet og metoden gjorde det mulig å bevare tregjenstandene uten at de kollapset under tørking. Metoden har vært supplert med tilsetning av glyserol og overflatebehandling med linolje og lakk⁹¹. Det viste seg tidlig at alun var følsomt for varierende luftfuktighet og særlig i sammenheng med glyserol. Dette får saltet til å løse seg opp og rekrystallisere avhengig av varierende luftfuktighet⁹². Treet blir også tungt og sprøtt, noe som gjør det skadeutsatt ved mekanisk belastning. De utskjærte gjenstandene fra Osebergfunnet, som ble alunbehandlet, fikk en utflytende og utydelig overflate etter behandlingen var avsluttet. På grunn av dette resultatet besluttet man å oppbevare spesielle gjenstander med særlig fin dekor i vann i påvente av bedre konserveringsmetoder⁹³.

⁸⁷ Charlotte Blindheim, *Da Gokstadskipet ble gravet*, vol. 1979/1980, Gokstadfunnet: et 100-års minne = The Gokstad excavations : centenary of a Norwegian Viking find (Sandefjord1981). s. 7-8

⁸⁸ Anna M. Rosenqvist, "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part I," *Studies in Conservation* 4, no. 1 (1959). s.15

⁸⁹ C.F. Herbst, "Om Bevaring af Oldsager af Traefundet Torfemoser," *Antiquarisk tidsskrift 1858-60* (1861). s. 175

⁹⁰ David W Grattan og RW Clarke, "Conservation of waterlogged wood," i *Conservation of marine archaeological objects* (Butterworths, 1987). s. 168

⁹¹ Rosenqvist, "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part I." s.15

⁹² Grattan og Clarke, "Conservation of waterlogged wood." s. 168

⁹³ Rosenqvist, "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part I." s. 15-17

Andre metoder som ble brukt i konservering av tre tok utgangspunkt i å fjerne vannet i det med andre løsningsmidler, som alkohol, og impregnere det med voks eller harpiks. Dette ble utført ved gradvis å øke konsentrasjonen på løsningsbadet, til alt vann var fortrent i treet. Deretter senket man tregjenstanden i smeltet parafinvoks, hvor den ble oppbevart i flere timer slik at treet ble impregnert med voks⁹⁴.

Fra starten av 1900-tallet og fram til rundt 1950-tallet, skjedde det ingen større nyvinninger innenfor konservering av vått tre⁹⁵. Dette kan ha sammenheng med de historiske begivenhetene i perioden med to verdenskriger, men med utvikling av nye syntetiske stoffer og teknikker, skjøt forskningen innenfor trekonservering fart etter 1950⁹⁶. Det som har fått størst betydning er introduksjonen av polyetylen glykol i konserveringsøyemed og bruken av frysetørring. Disse har hver for seg og i kombinasjon brakt konserveringsmetodene et stort steg framover.

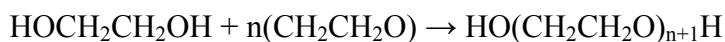
⁹⁴ Grattan og Clarke, "Conservation of waterlogged wood." s. 186

⁹⁵ Ibid. s.168

⁹⁶ Ibid.

2.4.2 Produksjon av PEG

Polyetylen glykol, PEG, produseres ved reaksjon av etylen glykol, etylen glykol oligomerer eller etylenoksid med vann. Det var Union Carbide som begynte å produsere det kommersielt i 1939⁹⁷. Utgangspunktet er gjerne en reaksjon av etyleneoksid og vann, som gir en blanding bestående av ulike deler mono-, di og tri etylen glykol, samt høyere etylen glykol oligomerer og vann. Denne blandingen blir separert ved destillering ved 5-10 hPa og ved 140° C⁹⁸. Dette er utgangspunktet for videre produksjon av PEG. Det tilsettes mere etyleneoksid og katalysatorer for prosessen, slik at ønsket polymer dannes⁹⁹. Etylene glykol og dets oligomerer er det foretrukne utgangspunktet for produksjonen, siden det tillater dannelse av polymerer med lav polaritet, i motsetning til vann som utgangspunkt. Prosessen er en såkalt «condensation polymerization» hvor det dannes et lite molekyl, som for eksempel vann, for hver forlengelse av polymeret¹⁰⁰. Katalysatorer i prosessen kan være enten syrer eller baser. Reaksjonen foregår etter formelen:



Hvor «n» står for det gjennomsnittlige repeterende antall etylenoksid molekyler i kjeden¹⁰¹.

Det er en eksotermisk reaksjon, som det er viktig å kontrollere. Overoppheting eller forurensing av etylenoksidet med katalysatorer som alkalier eller metalloksider kan føre til ukontrollert polymerisasjon. Kommer reaksjonen ut av kontroll kan det medføre eksplosjonsfare. Størrelsen til polymerene bestemmes av forholdet mellom reaktantene i løsningen, men kan variere fra noen få g/mol opp til 10000000 g/mol. Det er den gjennomsnittlige molekylvekten som angis i

⁹⁷ Colin Pearson, *Conservation of marine archaeological objects* (London: Butterworths, 1987), 169.

⁹⁸ Torsten Henning og Rainer Wagner. Polyethylene glycol and production of the same. United States, 2007.

⁹⁹ <http://www.freepatentsonline.com/y2007/0179199.html>

¹⁰⁰ Steven S Zumdahl, "Chemical Principles 3RD Edition," (1998): 996.

¹⁰¹ <http://www.chemicaland21.com/industrialchem/organic/POLYETHYLENE%20GLYCOL.htm>
20.04.2013

produktnavnet, PEG 400 vil for eksempel ha en molekylvekt på 400 daltons¹⁰².

PEG er også kjent under betegnelse polyetyleneoksid (PEO) eller polyoksyetylene (POE). Kjemisk er det det samme, men historisk sett betegner PEO polymerer med høy molekylvekt over 20000 g/mol. PEG har en molekylvekt under 20000 g/mol og POE refererer til polymerer uansett molekylvekt.

Til produksjon av høymolekylær PEG brukes magnesium-, aluminium-, eller kalsium-organoelementer som katalysatorer. Tilsvarende brukes alkaliske katalysatorer, som natriumhydroksid (NaOH), kaliumhydroksid (KOH), eller natrium karbonat (Na₂CO₃) til produksjon av lavmolekylær PEG¹⁰³.

2.4.3 PEG brukt i konservering

På grunn av PEGs løselighet i vann ble det ansett som et lovende stoff for å erstatte vann i nedbrutt arkeologisk tre. Man begynte å eksperimentere med det i arkeologisk sammenheng på 1950-tallet. Blant de første som gjorde dette var blant annet Stamm, Organ og Rosenqvist¹⁰⁴. De første forsøkene med PEG og arkeologisk tre utført av Stamm, viste gode egenskaper med tanke på formstabilitet¹⁰⁵. Han brukte PEG 200 og 1000, mens Rosenqvist eksperimenterte med PEG med molekylvekt på 3000-3700 på tre fra Osebergfunnet¹⁰⁶. Treet ble lagt i smeltet PEG i noen dager for impregnering. Dette ga et variert resultat med noe oppsprekking og vridning, men også gode resultat på mer velbevart tre. Det kan tenkes at den høye konsentrasjonen av PEG kan ha ført til kollaps i cellestrukturen på grunn av det osmotiske trykket trevirket ble utsatt for, noe som har ledet til oppsprekking ved tørking. Impregneringstiden var heller ikke lang nok til å sikre en fullstendig impregnering av treet. Eksperimentering viste at det var nødvendig å begynne impregnering av arkeologisk tre ved lave

¹⁰² http://chemindustry.ru/Polyethylene_Glycol.php. 16.06.2015

¹⁰³ Ibid

¹⁰⁴ Pearson, *Conservation of marine archaeological objects*, 169-70.

¹⁰⁵ A. J. Stamm, "The dimensional stability of wood," *Forest Products Journal* 10(1959).

¹⁰⁶ Anna M. Rosenqvist, "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part II," *Studies in Conservation* 4, no. 2 (1959): 72.

konsentrasjoner, som gradvis ble oppkonsentrert, for å oppnå gode resultat med tanke på krymping og vridning. En tidlig metode var å legge tregjenstandene i en løsning med 10-25 % PEG og la vannet langsomt fordampe slik at konsentrasjonen av PEG gradvis steg¹⁰⁷. En langsom oppkonsentrering minsker det osmotiske stresset på trevirket og gir et bedre sluttresultat av behandlingen.

PEG erstatter både fritt og bundet vann i treet. Disse egenskapene, til å kunne binde både kjemisk til cellestrukturen og fysisk fylle opp hulrom i arkeologisk tre, er viktig i behandling av slike tregjenstander. I motsetning til friskt trevirke, så kan treet være i alle faser av nedbrytning når det gjelder arkeologisk tre. Det betyr at store deler av selve mikrostrukturen i treet kan være ødelagt. Dette gir en veldig sårbar struktur som til dels holdes oppe av vann, når det gjelder vasstrukket tre. Fjernes dette vannet uten å erstattes, fører det som regel til store endringer i formen til gjenstanden. Alt etter nedbrytningsgrad, kan man oppleve tørkeskader som oppsprekking, vridning og at treet skrumper inn og mister opprinnelig form. Dette er en følge av blant annet kapillær kreftene, som suger treet sammen ved tørking og at cellene krymper når vannet tørkes ut.

Store skipsfunn på midten av 1900-tallet ga bruken av PEG i konservering et kraftig puff forover. Funn og konservering av Vasa i Sverige, Skuldelev-skipene i Danmark og Bremen-koggen i Tyskland har alle hatt, og har fremdeles stor innflytelse på forskning og bruk av PEG i konservering av arkeologisk tre^{108 109}¹¹⁰. Vasa, et stort krigsskip fra 1600-tall, ble hevet i 1961 og med det ble det satt i gang et stort prosjekt for konservering av skipet. Det ble vedtatt at det ikke skulle deles opp i mindre bestanddeler, men bevares som et helt skip, siden man fryktet problemer med en eventuell rekonstruksjon etter behandling¹¹¹. Flere behandlingsmetoder ble vurdert, og tilstanden til trevirket i skipet undersøkt.

¹⁰⁷ Pearson, *Conservation of marine archaeological objects*, 170.

¹⁰⁸ Lars Barkman, *The preservation of the Vasa* (Stockholm: Statens sjöhistoriska museum, 1965).

¹⁰⁹ Ole Crumlin-Pedersen og Olaf Olsen, *The Skuldelev ships I*, vol. vol. 4 (Roskilde: Viking Ship Museum in Roskilde, 2002), 69-81.

¹¹⁰ Per Hoffmann, "On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. II. Designing a two-step treatment for multiquality timbers," *Studies in Conservation* 31(1986).

¹¹¹ Emma Hocker, Gunnar Almkvist, og Malin Sahlstedt, "The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective," *Journal of Cultural Heritage* 13, no. 3, Supplement (2012): 176.

Undersøkelsene viste at treet var relativt velbevart, men kunne ha varierende grad av nedbrytning i de ytre delene. På bakgrunn av dette besluttet man å impregnere skipet med PEG 4000. Tidligere bergede deler fra skipet hadde blitt behandlet med det samme, med gode resultat¹¹². På grunn av skipets størrelse og beslutningen om å behandle det i et stykke, besluttet man å påføre PEG ved spraying. Dette ble først utført manuelt, men siden automatisert. Det automatiserte systemet fikk raskt problem med å pumpe PEG 4000 rundt i systemet, siden det var ganske tyktflytende. På bakgrunn av eksperiment med PEG 1500, som viste bedre impregneringsevne, gikk man over til å spraye skipet med en 10-15 % PEG 1500 løsning. Denne løsningen fikk noen år senere gradvis tilført PEG 600, som eksperiment hadde vist binder seg i celleveggen og sørger for dimensjonsstabilitet i trevirket¹¹³. Impregneringsløsningen ble gradvis oppkonsentrert med PEG til den inneholdt 45 % PEG. Skipet ble sprayet med PEG-løsning fram til 1979 og deretter gjennomgikk det en kontrollert niårig tørkeperiode¹¹⁴.

Omtrent samtidig med Vasa begynte behandlingen av skipsfunnene fra Roskildefjorden i Danmark. Dette var restene etter fem skip/båter fra vikingetid, rundt år 1000. Til behandling av disse skipene ble det valgt PEG 4000. Begrunnelsen for dette var at trevirket i skipene var mer nedbrutt enn skipstømmeret i Vasa, og trengte derfor PEG med større molekylvekt for å få tilstrekkelig styrke etter behandling¹¹⁵. Trevirket ble lagt i tanker med PEG 4000 10 % løsning ved romtemperatur. Temperaturen i løsningen ble hevet til 60°C og holdt på dette nivå gjennom hele prosessen. I løpet av syv måneder ble konsentrasjonen hevet til 95 % og impregneringen avsluttet. Denne behandlingsmetoden viste seg lite tilfredsstillende for større deler. Grunnen til dette viste seg å være problem med selve metoden. Analyse av treet påviste høyst forskjellige grader av nedbryting. Noe kunne være svært nedbrutt, annet delvis nedbrutt, mens noe var relativt velbevart, hovedsakelig kjerner i større deler¹¹⁶. Metoden med bruk av PEG 4000 til impregnering, viste seg utilstrekkelig for stabilisering av det velbevarte treet. Undersøkelser gjorde det klart at PEG

¹¹² Ibid.

¹¹³ Ibid., 177.

¹¹⁴ Ibid.

¹¹⁵ Crumlin-Pedersen og Olsen, *The Skuldelev ships I*, vol. 4, 70-71.

¹¹⁶ Ibid., 72.

molekylene ikke var i stand til å trenge inn i den velbevarte kjernen. Når PEG konsentrasjonen i de ytre trelagene nådde 40-60 % førte det til høyt osmotisk trykk i kjerne. Siden PEG ikke kunne erstatte vannet som diffundererte ut, ledet det til kollaps av cellestrukturen i kjernen¹¹⁷. Disse delene ble derfor lagt til side i påvente av nye behandlingsmetoder, mens tre som var mer nedbrutt ble behandlet med PEG 4000, men lengre impregneringstid og lavere konsentrasjon på 50 % PEG¹¹⁸. Etter behandling ble treet lufttørket mens det ble tilført PEG på overflaten under hele tørkeperioden.

Etter eksperimentering kom man fram til å behandle tre med velbevart kjerne med 2-metylpropan-2-ol og PEG 4000¹¹⁹. Tanken var at det ikke var mulig å impregnere kjerneveden med PEG, så 2-metylpropan-2-ol sørget for å erstatte vannet i kjernen, mens PEG 4000 sørget for styrke til den nedbrutte overflaten av treet. Etter behandlingen ble treet frysetørket og det gav et tilfredsstillende resultat.

Funnet av den såkalte Bremenkoggen fikk også stor betydning for bruk av PEG i konservering av tre. Skipet var fra ca. 1380 og et av veldig få kjente vrak av Hanseatiske kogger. Skipstømmeret var relativt velbevart, med nedbrutt overflate, men sunn kjerneved. I motsetning til behandlingen av tre fra Skuldelev, ble det antatt at det var mulig å impregnere trevirket fullstendig. Diffusjonen i kjerneveden antok man ville gå veldig sakte, så impregneringstiden var i utgangspunktet beregnet til 25 år¹²⁰. I likhet med Vasa ville man konservere skipet i et stykke. Det ble derfor rekonstruert etter utgravning, hvor det hadde blitt demontert. Dette foregikk mellom 1972-79. Det ble bestemt at skipet skulle impregneres fullstendig omsluttet av PEG-løsning, og ikke benytte spraymetoden¹²¹. Derfor bygget man i 1980 en spesialtilpasset tank, hvor det ble anbrakt under impregneringen. Tanken var konstruert med vinduer, slik at det var

¹¹⁷ Ibid.s. 73

¹¹⁸ Ibid., 74.

¹¹⁹ Pearson, *Conservation of marine archaeological objects*, 172.

¹²⁰ Ibid., 173.

¹²¹ Per Hoffmann, "Short note on the conservation program for the" (paper presented at the Conservation of waterlogged wood. International symposium on the conservation of large objects of waterlogged wood, Amsterdam, 24-28 sept. 1979, 1981). s. 41-43

mulig å se skipet nedsenket i impregneringsvæsken. Væsken ble kontinuerlig filtrert for å holde den klar og sikre innsyn. Således var skipet utstilt mens impregneringen pågikk.

I forbindelse med konserveringen av Bremen-koggen utviklet Hoffman den såkalte to-trinns metoden¹²². Metoden impliserer impregnering med lav- og høymolekylær PEG. Ved først å impregnere trevirket med lavmolekylær PEG, for eksempel PEG 200, var det meningen å stabilisere det velbevarte treet i kjernen, mens neste trinn med høymolekylær PEG ga stabilitet og styrke til nedbrutt tre i overflaten. Skipet ble behandlet etter denne metoden, med to impregneringsbad, og påfølgende kontrollert lufttørring. Resultatet ble ansett som tilfredsstillende, med et mørkt brunt og tørt trevirke. Hele prosessen fra utgraving til ferdig utstilt skip tok 38 år¹²³.

To-trinns metoden for behandling av tre med varierende nedbrytningsgrad, bredte seg som impregneringsmetode etter at den ble tatt i bruk i konserveringen av Bremen-koggen. Den er fremdeles utbredt, men med utvikling av frysetørring som tørkemetode, har det også vært en utvikling av impregneringsmetodene. Det har blitt mer vanlig med store frysetørringsanlegg, som er i stand til å tørke større gjenstander. Dette har gjort det mulig å konservere store tregjenstander tilfredsstillende med mindre impregneringsmiddel. Problem med en full-impregnering, som ble benyttet tidligere, var som nevnt ovenfor, behovet for oppvarming av løsningen for å holde den flytende. Ved konsentrasjoner over ca. 50 % oppstår også faren for kollaps på grunn av det osmotiske trykket. Treet blir dessuten mørkt og tungt etter en full-impregnering. Ved impregnering i konsentrasjoner opptil 40 % med påfølgende frysetørring, unngår man disse problemene, samtidig som man oppnår et stabilt resultat etter behandlingen¹²⁴.

¹²² "On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. II. Designing a two-step treatment for multiquality timbers."

¹²³ "To be and to continue being a Cog: the conservation of the Bremen Cog of 1380," *The International Journal of Nautical Archaeology* 30, no. 1 (2001).

¹²⁴ Kristiane Strætkvern et al., "Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames," i *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007*, red. K. Strætkvern og D. J. Huisman, *Nederlandse archeologische rapporten: NAR, 37* (Amersfoort Netherlands: Rijksdienst voor Archeologie Cultuurlandschap en Monumenten, 2009).

Når det benyttes frysetørring i forbindelse med PEG-impregnering, har man benyttet PEG 2000. Denne typen gir styrke til nedbrutt tre og den kan også stabilisere velbevart kjerneved¹²⁵. Frysetørring utsetter heller ikke treet for de sterke kapillær kreftene, som oppstår ved lufttørring og kan føre til skader på gjenstanden. Dessuten gir det også et lysere og mere naturlig sluttprodukt, hvor spor i overflaten er velbevart og synlig.

Ved full-impregnering av tre har man muligheten til å manipulere formen av gjenstanden etter behandling ved bruk av oppvarming. Treet er mere fleksibelt enn etter en frysetørring på grunn av større konsentrasjon av PEG i det. Det har vist seg at en slik varmebehandling fører til nedbrytning av PEG, men metoden har vært brukt i rekonstruksjon av båter og skip¹²⁶. Etter konservering med frysetørring kan man ikke forme treet ved bruk av varme uten fare for at det kollapser under behandlingen¹²⁷. Derfor må det på forhånd avgjøres om treet skal brukes i en rekonstruksjon, hvor formen er viktig, eller bevares for magasinerings. Er den tredimensjonale formen til treet viktig, må det formes før det frysetørres, siden man i liten grad kan gjøre det etter behandlingen, uten å risikere skader på treet.

¹²⁵ A. K. Tjelliden, Botfeldt, K. B. and Pilkjær, K., "Impregnation Depth of PEG in Wood from the Roskilde Ships, Denmark," *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam 2007*. (2007).

¹²⁶ Tim Padfield et al., "DECOMPOSITION OF POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) ON HEATING," *ICOM-CC (International Council of Museums - Conservation Committee) Conference, Dresden 1(1990)*. s.244

¹²⁷ Strætkvern et al., "Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames," 441.

2.4.4 Frysetørring

Frysetørring i konserveringssammenheng har blitt benyttet som metode i flere årtider og utviklingen har skjedd som følge av forbedring av selve utstyret. Det har gitt bedre muligheter til å overvåke og styre prosessen, men målet har vært det samme, nemlig å fjerne vann fra en gjenstand uten at den krymper, sprekker opp eller endrer form som følge av behandlingen. Dette oppnår man ved å redusere de kreftene som virker under en tørkeprosess og det skjer ved fordampning fra fast stoff. En tidlig form for frysetørring var å erstatte vannet med flyktige løsningsmiddel, med høyere frysepunkt enn vann, for eksempel trimethyl carbinol, som har et frysepunkt på $25,5^{\circ}\text{C}$ ¹²⁸. Dette gjør det mulig å utføre behandlingen under vakuum, men i romtemperatur. Denne tidlige formen for behandling ble utført uten at man tilførte gjenstanden impregneringsmiddel, men siden en arkeologisk gjenstand har mistet mye mekanisk styrke, som følge av nedbrytning, førte det lett til sprekkdannelser etter behandlingen¹²⁹. Etter hvert begynte man å kombinere impregnering, blant annet med PEG, og frysetørring. Det viste seg at resultatet ble bedre når impregneringen var utført før selve tørkeprosessen, som følge av at gjenstanden fikk tilført mekanisk styrke av impregneringsmiddelet¹³⁰. Dette bidro til å forhindre oppsprekking ved akklimatisering etter endt behandling.

Innenfor trekonservering har frysetørring av gjenstander vist seg å bli en svært viktig metode, som benyttes med gode resultater. Prosessen gir en muligheten til å fjerne vann fra et objekt ved å gå direkte fra fast stoff til damp, såkalt sublimasjon¹³¹. Dette gir mindre stress på strukturen enn ved fordampning fra væske, siden man unngår kapillarkreftene, og øker muligheten for å unngå tørkeskader på gjenstanden. Dette kan man oppnå ved å manipulere temperatur og trykk, og det foregår under frysepunktet for løsningen. Et fasediagram gir en skjematisk oversikt over løsningens egenskaper og det viser hvilken tilstand den

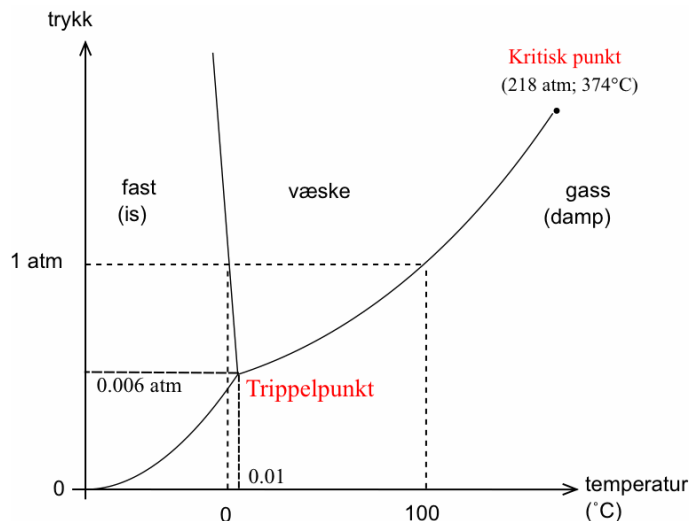
¹²⁸ Rosenqvist, "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part II." s. 65

¹²⁹ Ibid. s. 66

¹³⁰ Anna Rosenqvist og Helge-Bjørn Kirkedam, "Frysetørring og elektronikk tar vare på fortiden," *Årbok Sandefjordmuseene* (1976). s. 37

¹³¹ <https://snl.no/sublimasjon>. 15.06.2015

har ved ulike trykk og temperaturintervaller. Et slikt diagram for vann viser at det har et trippelpunkt på ca. 6 millibar og 0,01 °C, se figur 4.



figur 4. Fasediagram for vann. Fra <http://www.bitjungle.no/kjemiprosess/boka/5-kjemiteknikk/fasediagrammer/>

I dette punktet er de tre fasene fast, væske og damp i likevekt og opptrer samtidig. Blir likevekten forskjøvet som følge av trykk- eller temperaturendring, vil likevekten forskyve seg i henhold til diagrammet. En naturlig følge av dette, som man kan lese ut av diagrammet, er at vann får lavere kokepunkt etter høyden over havet, siden trykket minker. Fasediagrammet viser også at vann ikke kan være i væskefase ved trykk lavere enn 6 mbar, selv ved høyere temperaturer enn 0,01 °C. Det betyr at vann vil gå direkte over fra faststoff, is, til damp eller motsatt ved trykk lavere enn 6 mbar.

Når det gjelder andre løsninger, som vann og PEG, har de ikke samme egenskap ved lavt trykk. Faseendringen for en slik løsning går fra fast stoff til væske selv ved lavt trykk¹³². Derfor har temperaturen stor betydning for å unngå væskefase

¹³² Kristiane Strætkvern, *Freezing of Polyethyleneglycol-Compression strenghts and freezing curves for high-molecular weight PEGs with and without low-molecular weight PEGs added*, red.

under frysetørring med PEG-impregnerte gjenstander. En blanding som består av vann og høymolekylær PEG er et såkalt eutektisk system og har et frysepunkt, den eutektiske temperaturen, som ligger lavere enn frysepunktet for enkeltdelene i blandingen¹³³. Det er forskjøvet i forhold til rent vann, og bestemmes av molekylstørrelsen til PEG og konsentrasjonen til løsningen. Forsøk med ulike molekylstørrelser og konsentrasjoner viser at PEG-2000 har et frysepunkt på ca. -20°C¹³⁴.

Når man logger innfrysningen til en PEG-løsning, så vil man få en graf som viser hvordan denne prosessen forløper ved ulike temperaturer. I figur 5, som viser innfrysning og opptining av PEG-løsning fra impregneringsvæsken til BC06, ser man tydelig det eutektiske plataet på rundt -24 °C. I tillegg har kurven utflatinger på ca. -11,5 °C og fra -16 til -12 °C. Det som skjer ved -11,5 grader, er at den første innfrysningen av is starter, noe som fører til at kurven flater ut. Utfrysning av ren is fører til oppkonsentrering av løsningen og en videre nedkjøling gjør at den når sin eutektiske temperatur, hvor alt fryser¹³⁵. Fortsetter nedkjølingen vil kurven falle jevnt til minimumstemperaturen for omgivelsene er nådd. Ved oppvarming stiger kurven jevnt til den når opptiningspunktet for løsningen på rundt -16 °C. Utflatingene i kurven ved de ulike temperaturene skyldes reaksjonene som foregår ved disse intervallene. Faseendring fra væske til fast stoff er en eksotermisk reaksjon, som avgir varme og forsinker nedkjølingen, mens opptining er endotermisk og forsinker oppvarmingen¹³⁶.

Per Hoffmann, et al., Proceedings of the 8th ICOM group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001

(Bremerhaven: International Council of Museums, 2002). s. 348

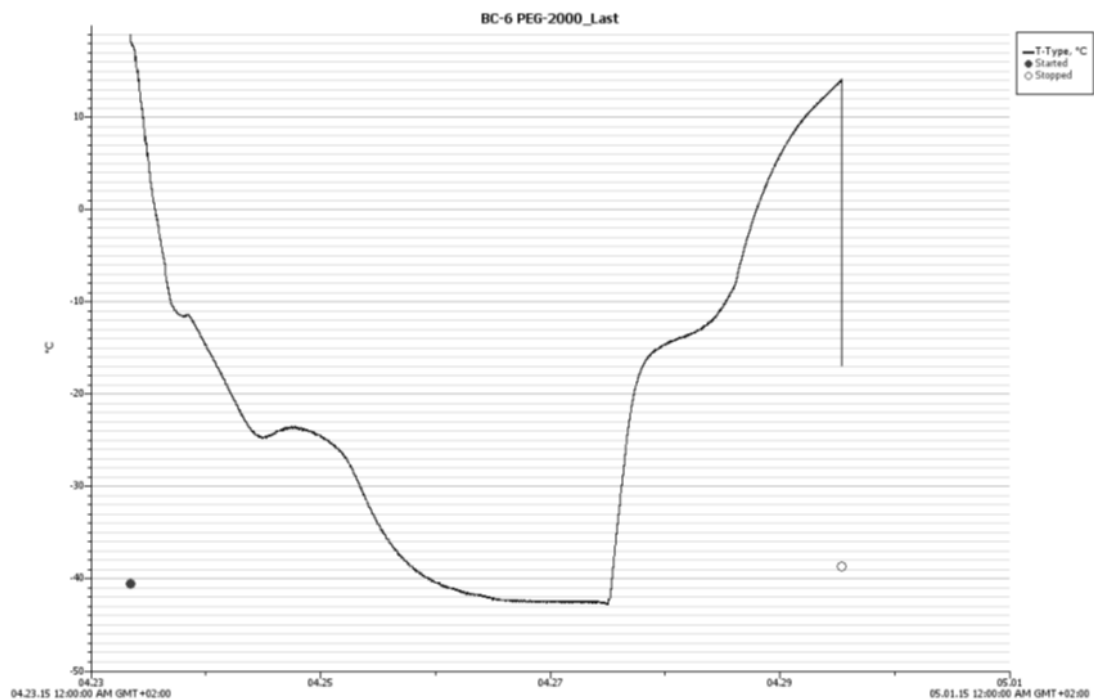
¹³³ https://snl.no/eutektisk_blanding. 09.02.2015

¹³⁴ Ulrich; Jensen Schnell, Poul;, "Determination of Maximum Freeze Drying Temperature for PEG-Impregnated Archaeological Wood," *Studies in Conservation, Volume 52, Number 1, p.50-58*. 2007. s. 56

¹³⁵ Ibid. s. 51-52

¹³⁶

http://www.denstoredanske.dk/It%2c_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Klassisk_mekanik_og_kv_antefysik/endoterm. 12.06.2015.



figur 5. Innfrysing og optningsgraf av impregneringsvæske fra BC06. PEG-2000 40 %.

I frysetørringsprosessen er sammenhengen mellom trykk og temperatur viktig. Når en PEG-løsning er helt frosset er det ikke lengre hydrogenbindinger mellom PEG og is. Metningstrykket over denne blandingen vil derfor være det samme som for vanddamp over is ved ulike temperaturer¹³⁷. Disse egenskapene gir dermed de fysiske forutsetningene for en frysetørringsprosess med PEG som impregneringsmiddel. Man trenger stor nok frysekapasitet for å kunne fryse gjenstand med impregneringsløsningen, og det er nødvendig med et trykk, som er lavere enn metningstrykket ved gitt temperatur. Lav nok temperatur er nødvendig for å unngå at impregneringsløsningen går over i væskefase, og trykket må ligge under metningstrykket for å holde sublimeringsprosessen i gang.

¹³⁷ Poul Jensen et al., "Technical specifications for equipment for vacuum freeze-drying of PEG impregnated waterlogged organic materials Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference" (2009). s. 5

Frysetørring av større gjenstander er en forholdsvis langsom prosess, som kan pågå i flere måneder av gangen. Når det foregår ved lavt trykk medfører det at overføring av energi går langsomt. Det er forholdsvis lite luftmolekyler til stede ved lavt trykk, så prosessen drives hovedsakelig via varmestråling, infrarød stråling, og bare i liten grad ved varmestrømming i gass¹³⁸. Sublimeringsprosessen krever energi for å holdes i gang og denne energien blir overført fra omgivelsene. Det fører til at selve gjenstanden vil holde en lavere temperatur enn omgivelsene så lenge prosessen pågår. En metode for å få prosessen til å gå hurtigere er å tilføre varmeenergi med direktekontakt til gjenstandene, noe oppvarming av hyller i frysetørringskammeret kan bidra med. Dermed overføres energi ved konduksjon, som gir en mere tidseffektiv frysetørringsprosess. Problemet med konduksjonsoverføring av energi, når man benytter PEG som impregneringsmiddel, er å holde temperaturen i gjenstanden under frysepunktet for impregneringsløsningen. Det krever god temperaturstyring ved bruk av denne formen for energioverføring, for å unngå tørkeskader på tregjenstanden.

Utvikling og forskning innenfor trekonservering har endret bruken av PEG, men det er fortsatt ansett som det viktigste impregneringsmiddelet i behandling av vasstrukket tre. Ulike sukkertyper er også brukt til impregnering med godt resultat, men det er hovedsakelig PEG som brukes i konservering av større tregjenstander. Teknikker og type PEG har endret seg fra de første eksperimentene ble utført, men det er fortsatt de spesielle egenskapene til PEG, som gjør det svært anvendelig i denne typen behandling.

I de senere årene har det begynt å melde seg bekymring for bruk av PEG i forbindelse med problematikken rundt jern og svovel^{139,140}. Under anaerobe forhold anvender bakterier sulfat fra sjøvannet i stedet for oksygen til nedbrytning av organisk materiale, som tre. Disse svovelreducerende bakteriene reduserer sulfat til hydrogensulfid som forblir løst i vannet som HS⁻ ioner og kan reagere

¹³⁸ Møller Andersen, *Frysetørring af arkæologisk træ : og andre våde organiske materialer*. s. 98-101

¹³⁹ Almkvist, "The chemistry of the Vasa."

¹⁴⁰ Yvonne Fors, "Sulfur-related conservation concerns for marine archaeological wood : the origin, speciation and distribution of accumulated sulfur with some remedies for the Vasa" (Stockholm university, 2008).

med lignin-komponenter, slik at det dannes organiske svovelforbindelser i treet¹⁴¹. Disse forbindelsene kan reagere videre og danne svovelsyre, som angriper trevirket. Det er også tegn på at PEG blir nedbrutt i reaksjonene mellom svovel og jern, og noe som fører til svekkelse av impregneringsmiddelet¹⁴². Dette kan vise seg å bli en utfordring innenfor konserveringen i tiden framover, siden mye vasstrukket tre er behandlet med PEG, men ennå har man ikke kommet opp med fullverdige erstatningsmiddel for å behandle vasstrukket tre¹⁴³. Det ser derfor ut til at PEG kommer til å spille en viktig rolle innenfor trekonservering i mange år framover.

¹⁴¹ Ibid. s.72

¹⁴² Gunnar Almkvist og Ingmar Persson, "Degradation of polyethylene glycol and hemicellulose in the Vasa," i *Holzforschung*, red. (2008). s. 69

¹⁴³ Per Hoffmann, "On the efficiency of stabilisation methods for large waterlogged wooden objects, and on how to choose a method," i *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007*, red. K. Strøtkvern og D. J. Huisman, *Nederlandse archeologische rapporten: NAR, 37* (Amersfoort Netherlands: Rijksdienst voor Archeologie Cultuurlandschap en Monumenten, 2009).

3 Metode

3.1 Forberedelse av rekonstruksjon

Målet med konservering av BC06 er å ende opp med en rekonstruert utgave av båten, som skal stilles ut i tilnærmet opprinnelig form. Det har blitt besluttet å benytte seg av PEG-impregnering med påfølgende frysetørring av de enkelte delene til BC06. Etter endt konserveringsprosess skal delene settes sammen til en rekonstruert utgave av båten, så godt det lar seg gjøre. Det er derfor viktig å gå gjennom de ulike stadiene i prosessen med dette målet for øye. Arkeologisk tre som skal rekonstrueres etter konservering med frysetørring, må formes før tørking. Siden gjenstanden, i dette tilfellet en båt, har vært overdekt av masser i århundrer, og trolig flatet ut før deponering i havnen, har de enkelte delene av den mistet mye av sin opprinnelige utforming¹⁴⁴. Det er derfor ikke mulig å sette båten sammen slik den opprinnelig har vært bygd, ut fra delen slik de ble gravd fram. Det er nødvendig med en rekonstruksjon av formen til de enkelte delene i den.

Formingen av trevirket til BC06 tar utgangspunkt i en fortolket modell av båten. Modellen er bygget av kyndig trebåtbygger utfra de oppmålte enkeltdelene til originalmaterialet. Oppmålingen er utført med FARAO-arm av arkeologer. En FARAO-arm er en avansert digital penn, som ved hjelp av dataprogrammet Rhino 4.0 gir et nøyaktig tredimensjonalt bilde av delene til BC06¹⁴⁵. Disse er så plottet ut i størrelse 1:5 og limt på papp, som har blitt skåret ut. Vanligvis benytter man målestokken 1:10 for slike modeller, men 1:5 er valgt for å få mere motstand i enkeltdelene. Dermed blir det ikke like enkelt å manipulere delene i ønsket form, men de blir selv til en vis grad bestemmende for utformingen¹⁴⁶. Noen større, mere omfangsrike deler, som kjø1, innved og stevner har blitt frest ut i plast basert på oppmålingen, såkalt 3D-print. Dermed har man en gjengivelse av enkeltdelene,

¹⁴⁴ Jostein Gundersen, "Barcode Project: fifteen Nordic clinker-built boats from the 16th and 17th centuries in the city centre of Oslo, Norway," (Istanbul: Ege Yayinlari, cop. 2012, 2012). s. 76-80

¹⁴⁵ <http://www.marmuseum.no/no/arkeologi/dokumentasjonslaboratoriet/Dokulab'en.d25-SwJnQ5s.ips> 18.04.2014

¹⁴⁶ Lars Stålegård, ""Barcode" bygges : av Lars Stålegård," *Kysten (Oslo : 1980)*. (2011).

som har blitt satt sammen til en helhetlig modell. I denne prosessen har det også vært mulig/nødvendig å rekonstruere manglende deler. Ut fra denne modellen får man et mål på den tredimensjonale formen til delene. Den viser hvordan delene må vrís og bøyes for å passe sammen i båten, se figur 6.



figur 6. Modell av BC06. Foto NMM.

Modellen har så blitt oppmålt på nytt med FARA0-arm, slik at man får mål på den tredimensjonale formen til de enkelte bordgangene i båten. Det er denne oppmålingen som gir den endelige utformingen til original delene. Tilpasning og forming av enkeltdelene må gjøres før treet frysetørres, og det oppnås ved å spenne opp delene i den formen de skal ha i den endelige rekonstruksjonen. Ved hjelp av profilsnitt med bestemte avstander i hudbordene, får man et mål på hvordan over-nedside og baug- akterende i hudbordene forholder seg til hverandre, og hvordan de skal bøyes og hvilken vridning de skal ha. Denne formen oppnås ved å spenne bordene fast i disse punktene og heve og/eller presse dem etter de målene man har kommet fram til ut fra rekonstruksjonen. Dette må gjøres før frysetørringen når treet er fullstendig vasstrukket og relativt fleksibelt. Etter prosessen er det begrenset hvor mye man kan manipulere formen uten å påføre skader på treet, enten på grunn av mekanisk stress eller kollaps av

trestrukturen ved bruk av varme¹⁴⁷. Det er også problematisk å bruke varmepåvirkning etter en frysetørring på grunn av impregneringsmiddelet, PEG, som brukes i behandlingen. Det er påvist at PEG nedbrytes hurtig ved oppvarming i luft, noe som svekker egenskapene til middelet¹⁴⁸. Dette gjelder særlig i overflaten av treet, hvor det normalt er mest nedbrutt og det er mest tilgjengelig oksygen. En nedbryting av PEG i de nedbrutte delene til treet svekker de områdene som har størst behov for styrke, og øker risikoen for skader som følge av blant annet mekanisk stress.

I planleggingsfasen av prosjektet for konservering og rekonstruksjon av BC06, ble det diskutert flere metoder for å kunne gjennomføre det med et tilfredsstillende resultat. Målet med konserveringen er å ende opp med en rekonstruert båt som skal stilles ut i DnBs nye hovedkontor i Bjørvika. Der er det konstruert ett spesialdesignet monter til dette formålet. Det var ansett som ytterst viktig å oppnå et resultat og forming av enkeltdelene, som lot seg rekonstruere til en akseptabel båtform. Det var særlig knyttet bekymring til behandlingen og forming av kjølen til BC06. Rekonstruksjon og modellering av båten viste at kjølen ikke hadde rett form, slik den var etter utgraving¹⁴⁹. Krumningen av den var trolig feil i forhold til hvordan den opprinnelig har vært formet. Dette var et alvorlig problem i forbindelse med resten av rekonstruksjonen, siden de andre delene bokstavelig talt hviler på kjølen. En feil utforming av den vil forplante seg opp i resten av båten og gjøre det vanskelig, om ikke umulig å oppnå et akseptabelt resultat og sammenføyning av enkeltdelene. En hovedbekymring rundt dette var problematikken med ulik nedbrytningsgrad mellom overflate og kjerne. Arkeologisk eik kan være nedbrutt i overflaten, men ha relativt velbevart kjerneved¹⁵⁰. Dette betyr at det kan være vanskelig å forme treet uten å skade overflaten, siden den er svekket av nedbrytningen. Dessuten er det problematisk å kontrollere formen til treet under tørkeprosessen på grunn av den velbevarte

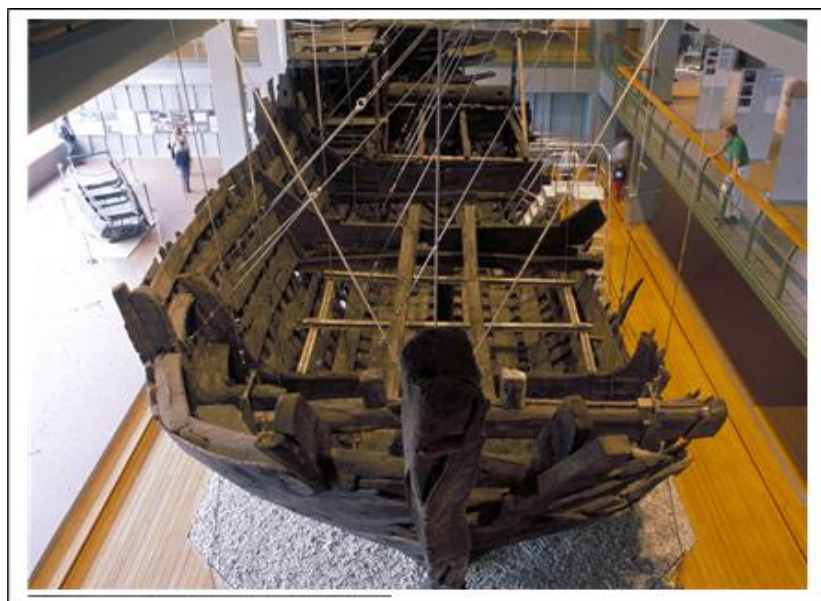
¹⁴⁷ Strætkvern et al., "Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames."

¹⁴⁸ Seongok Han, Chongyoun Kim, og Dongsook Kwon, "Thermal/oxidative degradation and stabilization of polyethylene glycol," *Polymer* 38, no. 2 (1997).

¹⁴⁹ <http://baatlaben.blogspot.no/search?updated-min=2010-05-01T00:00:00%2B02:00&updated-max=2010-06-01T00:00:00%2B02:00&max-results=19> 18.04.2014

¹⁵⁰ Crumlin-Pedersen og Olsen, *The Skuldelev ships I*, vol. 4.

kjernen, som kan reagere omtrent som friskt trevirke, med vridning og oppsprekking under tørking. Det finnes flere eksempler på at nettopp dette har blitt resultatet ved konservering av arkeologisk tre. Den kjente Bremen-koggen, som er impregnert med PEG og lufttørket som en hel konstruksjon, har fått vridning og oppsprekking i blant annet forstevnen, se figur 7.



figur 7. Forstevnen til Bremen-koggen. Foto: Hans-Jürgen Darlison/Archiv DSM.

Under konservering av Roskilde 6, som er et langskip datert til ca. 1025, besluttet man å dele opp kjølen på 32 m, for å kunne frysetørke den. Grunnen til denne beslutningen var frysetørkerens naturlige begrensning på 8 meters lengde. Det viste seg at de ulike delene begynte å vri seg under prosessen, noe som skapte utfordringer i arbeidet med å gjøre skipet klart til utstilling¹⁵¹. Det framgår av figur 8 at selv tusen år gammel eik ennå har kapasitet til å vri seg under tørking. Dette skjedde selv om de oppdelte kjøldelene var fastmontert på en stålbejelke. Monteringen var ikke tilstrekkelig sterk til å hindre treet i å bevege seg i sin naturlige retning, som man tydelig kan se i figur 8.

¹⁵¹ Personlig meddelelse Kristiane Strætkvern



figur 8. Del av kjøle til Roskilde 6 etter frysetørring. Foto: Pål Thome.

Diskusjonen om kjølen til BC06 dreide seg rundt akseptable løsninger på dette problemet. Det ble gjort vurderinger av ulike metoder som å splitte hele kjøle på langs, frese ut kjerneveden, eller frese ut deler av kjernen og erstatte det med stål. Dette ble vurdert for å bryte opp de krefter som virker i fiberretningen til treet under tørking.

Disse relativt drastiske inngrep på BC06 ble vurdert opp mot ønsket resultat, kontrollerbar form, og etiske prinsippl. Det kunne argumenteres for slike store inngrep med å sette hensyn til form og bevaring av ytterside, bearbeidet tre, på bekostning av innsiden til kjølen. Dessuten var det fare for at hele prosjektet ville bli ansett som mislykket om det ikke ville la seg gjøre å rekonstruere BC06. Etter omfattende diskusjoner og vurderinger, gikk man bort fra løsningen med å frese ut kjerneved fra kjølen, siden det ville medføre for store inngrep i den, noe som var etisk betenkelig. Dessuten var det utstyrskevende og komplisert å gjennomføre et slikt inngrep. Det ville heller ikke kunne garantere å fjerne eventuelle spenninger i kjølen og sikre et godt resultat av konserveringsprosessen. I verst fall kunne konsekvensen bli at kjølen sprakk helt opp og delene vri seg i forskjellige retninger. Beslutningen falt til slutt ned på å bore syv hull gjennom kjølen og

montere den til en stålbjelke ved hjelp av gjennomgående bolter. Denne løsningen gav mulighet til å manipulere krumning til ønsket form ved å presse kjølen opp eller ned i disse punktene. Dessuten kunne man med disse festepunktene hindre at kjølen begynte å vri seg ukontrollert, samtidig som det ville bli mulig å gi den rett vridning. Det var også en løsning som betød forholdsvis små inngrep på den og tap av originalmateriale, samtidig som metoden ga den ønskede kontroll på kjølen og et viktig utgangspunkt for den videre rekonstruksjonen av båten. Disse festepunktene var tenkt å skulle danne utgangspunkt for resten av støttesystemet til båten i rekonstruert form.

I sammenheng med diskusjonen rundt forming og kontrollering av form til treet i BC06, ble det diskutert hvordan man kunne minimere bruken av fysisk press på treet. Det var bekymring rundt spørsmålet til hvordan det skulle la seg gjøre å forme treet tilbake til opprinnelig utforming, uten å påføre det skader i prosessen. Denne bekymringen henger også sammen med forholdet rundt ulik nedbrytningsgrad i ytterdelene og kjerneved i trevirket til BC06. En velbevart kjerneved fordrer større bruk av press for å formes, noe som kan gå på bekostning av de ytre regionene av treet og lede til skader i overflaten. Det er kjent fra tradisjonell båtbygging og i forbindelse med rekonstruksjon, at man har brukt oppvarming av treet forut for forming av det. Derfor ble det ansett som en mulig metode for å redusere behovet for mekanisk press på treet. I båtbygging kan man bruke kokende vann direkte på treet eller dampe hele delen, slik at den enkelt lar seg forme. Dette er også metoder som er brukt i rekonstruksjon av arkeologiske båter/skip, som Klåstad-skipet¹⁵². I slike tilfeller har treet vært utsatt for temperaturer opp mot 100 °C, noe som ikke tilrådelig i konserveringssammenheng. Når det benyttes PEG som impregneringsmiddel i konserveringen av BC06, så oppstår faren for at det kan brytes ned ved høye temperaturer. Det er påvist at PEG brytes relativt hurtig ned ved høye temperaturer i oksygenrikt miljø¹⁵³. Dette er også et resultat man har kommet til ved rekonservering av Hjortespringbåten. Etter impregnering av den med PEG 4000, ble trefragmenter oppbevart i løsningen, som stivnet ved avkjøling. Disse

¹⁵² Arne Emil Christensen og Gunnar Leiro, *Klåstadskipet* (Tønsberg 1976). s. 12

¹⁵³ Han, Kim, og Kwon, "Thermal/oxidative degradation and stabilization of polyethylene glycol." s. 318

smeltet man siden ut igjen ved å varme dem opp til rundt 80 °C i luft. Det viste seg etter oppvarmingen at den smeltede PEGen hadde tre ulike konsistenser. Den forventede faste voksfasen til PEG 4000 ved romtemperatur, men også faser av myk og flytende PEG¹⁵⁴. Forsøk basert på denne observasjonen har vist at PEG er utsatt for rask nedbrytning ved temperaturer på 75 °C i luft. De har også vist at nedbrytningen blir hemmet om oksygenivået blir redusert. Oppvarming i nitrogengass viste ingen nedbrytning, og det er sannsynlig at en løsning med vann også har lignende hemmende effekt på nedbrytningen¹⁵⁵.

Bruk av oppvarming under konserveringsprosessen kan derfor ha både positiv og negativ effekt på henholdsvis treets fleksibilitet og forårsake nedbrytning av PEG brukt til impregnering av det. Kjennskap til dette gjorde det ønskelig å sette opp forsøk for å undersøke hvordan en oppvarming ville påvirke resultatet av konserveringen av BC06. Det ble besluttet å teste fleksibiliteten til både fersk og arkeologisk eik med og uten oppvarming. Likeledes ville man teste både ren PEG-2000 løsning og løsning brukt til impregnering, for eventuell nedbrytning, som følge av repetitivt oppvarming og avkjøling. Med dette mål for øye ble det utformet ulike forsøk for å gi svar på hvordan en oppvarming til 60°C ville påvirke treets fleksible egenskaper og hvordan PEG-2000 i vannløsning ville reagere på de samme forholdene. Dette er et temperaturnivå som ligger godt under de beskrevet ovenfor og har blitt benyttet ved full-impregnering i tidligere konserveringsprosjekt, som Skuldelev og rekonservering av Hjortspring^{156,157}. Det er derfor interessant å teste hvilken effekt en slik oppvarming får for tre og impregneringsmiddel.

¹⁵⁴ Jens Glastrup, "Degradation of polyethylene glycol. A study of the reaction mechanism in a model molecule: Tetraethylene glycol," *Polymer Degradation and Stability* 52, no. 3 (1996). s. 377

¹⁵⁵ Ibid. s. 377-380

¹⁵⁶ Crumlin-Pedersen og Olsen, *The Skuldelev ships I*, vol. 4. s. 72

¹⁵⁷ Ole Crumlin-Pedersen og Athena Trakadas, *Hjortspring : a pre-roman Iron-age warship in context*, vol. vol. 5, *Ships and boats of the North* (Roskilde: The Viking Ship Museum, 2003). s. 44

3.2 Eksperiment med tre

Eksperimentet for å teste eiks fleksibilitet ved ulike temperaturer er gjort med to ulike prøvemateriale. Det er gjort målinger av fleksibiliteten til fersk og arkeologisk eik. Bakgrunnen for eksperimentet er å få et mål på hva oppvarming av tre til 60°C har å si for fleksibiliteten til det. Det er også ønskelig å kunne vurdere hvilken innvirkning nedbrytningsgrad til treet har å si for dette. Med dette som utgangspunkt ble prøvematerialet til eksperimentet med fersk eik tatt fra samme planke. Begrunnelsen for det var for å få et så uniformt trevirke som mulig. Fra denne planken er det saget ut og høvlet til 16 prøver med målene 55 x 4 x 2 cm, L x B x H. De er nummerert 1a, 1b osv. Opprinnelig var det tatt ut 8 prøvelengder fra planken og disse er siden delt i to, som er gitt a og b nummerering. Det betyr at a og b prøver er tett på hverandre i treet. Alle prøvene har blitt oppbevart i vann i omtrent ni måneder før testing. Dette ble gjort for å sørge for at treet var fullstendig vannmettet før testen, siden trevirket fra BC06 er vasstrukket. Prøvene ble oppbevart i vann gjennom hele testperioden, både under og mellom oppvarming, for å sikre at de forble helt vannmettet under fleksibilitetsmålingene av dem. Det var kun under selve målingene at prøvene ikke lå i vann. En senkning av vanninnholdet i treet vil gi feil i resultatet av eksperimentet, siden fleksibilitet henger sammen med vanninnhold i tre¹⁵⁸.

Prøvematerialet for arkeologisk eik stammer fra samme utgravningsområde som Barcode 6 og det fra omtrent samme tidsepoke. Det er kasserte hudbord av arkeologiske båtfunn som har blitt stilt til rådighet for dette formålet. Disse hudbordene har blitt oppbevart i vann siden utgravningen av dem. Det arkeologiske prøvematerialet er testet under de samme forhold som de ferske prøvene, for å se om det er sammenlignbare resultat.

Det ble forsøkt å preparere prøver av tilsvarende størrelse som de ferske prøvene, men på grunn av materialets beskaffenhet, viste det seg å være vanskelig. Det arkeologiske treet var av ulik tykkelse, nedbrytningsgrad og varierende mengde

¹⁵⁸ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*, 25-26.

av gjennomgående sprekker. Det dreide seg om sagede og tilhuggede bordganger, så det var mange individuelle forskjeller mellom dem. For å få mest mulige like prøver, ble det besluttet å sage ut lengder på 55 cm i midten av bordgangene. Her var trevirket best bevart og det var mulig å unngå langs- og tverrgående sprekker. Nedbrytningen var størst i kant av bordene og i områder med naglehull og søm. Det ble ikke tatt prøver fra disse delene av bordgangene. Prøvene ble ikke høvlet til lik tykkelse på grunn av vanskeligheter med å få det gjennomført med tilgjengelig utstyr. Det er derfor varierende tykkelse mellom de enkelte prøvene, og tykkelsen kan variere innad på den enkelte prøven med opptil 0,8 cm. Tykkelsen på prøvene ble målt etter tørking. Det viste seg også vanskelig å få saget prøvene med nøyaktig 4 cm bredde siden det vastrukkete treet hadde en tendens til å styre sagbladet på båndsaen. Bredden er derfor ikke helt nøyaktig, men kan variere $\pm 0,5$ cm. Lengden på de arkeologiske prøvene tilsvarer de ferske med 55 cm.

Testene ble utført ved bestemte temperaturer på 20°C og 60°C for så å teste bøyefastheten med vektbelastning innenfor det elastiske området til eik. Temperaturene er valgt for å måle forskjellen mellom romtemperert tre på 20°C og oppvarmet tre på 60°C. Disse temperaturintervallet ligger innenfor det området som ansees for sikkert og vil normalt sett ikke føre til problemer med impregneringsvæske og trestruktur¹⁵⁹.

3.2.1 Oppsett av eksperiment

Under testing av treprøvene, var det viktig å unngå overbelastning av prøvene, siden de skulle belastes tre ganger ved hvert temperaturintervall. En overskridelse av treetts elastisitetnivå vil føre til en plastisk deformasjon av fibre og irreversibel skade, som vil gi feil i prøveresultatet. Vektbelastningen er regnet ut på grunnlag av prøvenes størrelse, og ligger innenfor 20 % av beregnet belastning til

¹⁵⁹ Crumlin-Pedersen og Olsen, *The Skuldelev ships I*, vol. 4, 72-73.

brudd, noe som gir en belastning på 20 kg¹⁶⁰. Nedbøyningene ble målt med et mikrometer med et maksimalt utslag på 10 mm. Selve vektbelastningen av enkeltprøvene ble utført tre ganger, for å kunne beregne en gjennomsnittsverdi og minimere sjansen for eventuelle feilmålinger. Prøvene ble belastet etter tur 1a, 1b, 2a osv. en gang gjennom hele prøverekken, før man tok måling nummer to, så tredje måling. Prøvene var oppbevart i vann med rett temperaturintervall i varmeskap mellom hver belastningstest. Belastningen ble påført i 15 sekunder før avlesing av verdi. Det er regnet ut et gjennomsnitt for hver prøve fra hvert temperaturintervall. Målværdiene føres i tabellformen som vist i vedlegg 2.

Utstyret for å gjøre selve målingene besto av et stålstativ montert til et bord, se figur 9 og 10. Stålstativet var tilvirket med to rør med diameter på 60 mm, som anlegg for prøvene. Det er viktig at prøven kan bevege seg fritt i anleggspunktene. Derfor brukes stålrør slik at prøvene ikke blir hengende på anleggene under belastning og gir feil verdi. Avstand var på 51 cm senter rør. Vekten ble påført midt på selve treprøven og besto av et lodd på 20 kg. Dette hang fritt i en stålwire som gikk gjennom et messingrør for å sikre jevn fordeling av vekt over hele prøvens bredde. Mikrometeret plasserte man på toppen av messingrøret og kalibrerte, før vektloppet ble hengt på. Den første målingen er ikke medregnet i gjennomsnittresultatet, siden prøven har en tendens til å sette seg i opplastingspunktet. Trevirket komprimeres i dette punktet. Dermed får man en større bevegelse i den første målingen, særlig ved oppvarming, siden det gjør treet mere plastisk¹⁶¹. Første måleresultat er oppgitt, men ikke brukt i snittberegningen, som er et gjennomsnitt av de to siste målingene. I vedlegg 1 og 2 er alle målingene oppført. Vedlegg 2 har også utregnet U_{\max} -verdier for de arkeologiske treprøvene.

¹⁶⁰ Personlig meddelelse Olav Høibø, Professor, NMBU.

¹⁶¹ Ibid



figur 9. Vektbelastningsstativ. Foto BS.



figur 10. Mikrometer. Foto BS.

3.3 Eksperiment med PEG

Siden oppvarming av treet ble ansett som en mulig metode for lettere å kunne forme det, har det også vært interessant å undersøke om oppvarming har noen påvirkning på impregneringsløsningen. Det er i den treet blir oppvarmet, så derfor er det viktig å undersøke om oppvarming har innvirkning på PEG i løsningen, med hensyn til nedbryting. Tidligere forsøk har vist at PEG brytes ned ved oppvarming i en oksygenrik atmosfære¹⁶². Det er også, som tidligere nevnt, påvist at PEG ble brutt ned ved oppvarming i luft, som var et ledd i rekonserveringen av Hjortespringbåten¹⁶³.

Ved bruk av oppvarming i forbindelse med PEG-impregnering av arkeologisk tre, kan man også få problemer med kollaps i trestrukturen, som følge av osmotisk

¹⁶² Han, Kim, og Kwon, "Thermal/oxidative degradation and stabilization of polyethylene glycol."

¹⁶³ Padfield et al., "DECOMPOSITION OF POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) ON HEATING." s. 244.

trykkforskjeller mellom kjerne og ytre deler¹⁶⁴. Dette skyldes at vann i velbevart kjerneved fordamper ved høye temperaturer og det skjer hurtigere enn PEG kan erstatte det. Bruk av høymolekylær PEG til impregnering forsterker denne problematikken, siden diffusjonen tar lengre tid. Dette leder til store trykkforskjeller og kan i verste fall føre til cellekollaps i kjernen med deformasjon og oppsprekking som resultat. Innen biokjemi er bruken av PEG polymer ansett for å være blant de beste for å skape osmotisk trykkforskjeller. Det er mulig å oppnå store trykkforskjeller ved bruk av PEG¹⁶⁵. Dette brukes blant annet i forskning hvor man bruker osmotisk stress for å undersøke hvordan levende celler reagerer på dette. Slikt stress oppstår ved store forskjeller i trykket mellom to sider av en membran, som for eksempel en cellevegg¹⁶⁶. Det er derfor viktig å ikke utsette treet for miljøer hvor en slik situasjon kan oppstå, enten det skyldes temperatur eller store sprang i oppkonsentreringen av impregneringsvæsken.

3.3.1 Analysemetoder

Det har blitt gjennomført flere analyser av PEG som har blitt brukt til impregneringen av Barcode 6. Med utgangspunkt i PEG-2000 i fast form, har det blitt gjort analyser ved hjelp av Nicolet iS50 FT-IR, Fourier transform infrared spektroskopi, med ATR, Attenuated Total Reflectance¹⁶⁷. Instrumentet tilhører prosjektet «Saving Oseberg» og avdelingsingeniør Calin Constantin Steindal har utført analysene. Det ble tatt 32 skanninger per prøve, alle med en oppløsning på 4 cm^{-1} . Det ble tatt målinger i frekvensområdet 4000-450 cm^{-1} .

Fordelen med dette apparatet, er at det er mulig å analysere både fast stoff, løsninger og gasser. Bruk av ATR gjør det lettere å analysere prøver, siden det ikke er nødvendig å gjennomlyse prøven som tidligere. Kontakt mellom krystall og stoff er tilstrekkelig for å analysere prøven, noe som eliminerer feilkilder med

¹⁶⁴ Personlig meddelelse Kristiane Strætkvern, konservator Nationalmuseet I København.

¹⁶⁵ Np Money, "Osmotic Pressure of Aqueous Polyethylene Glycols : Relationship between Molecular Weight and Vapor Pressure Deficit," *Plant Physiol.* 91, no. 2 (1989). s. 766-69

¹⁶⁶ http://www.oilgae.com/ref/glos/osmotic_shock.html. 12.06.2015

¹⁶⁷

http://web.archive.org/web/20070216065646/http://las.perkinelmer.com/content/TechnicalInfo/TCH_FTIRATR.pdf 20.05.2013

tanke på preparering av prøver. Ved gjennomlysning er det viktig med veldig tynne prøver, og tykkelsen påvirker resultatet. Med ATR er det tilstrekkelig at det er god kontakt mellom prøven og krystallet i apparatet, for å gi et godt analyseresultat. Ved hjelp av spekteret prøvene avgir, er det mulig å identifisere ulike molekylgrupper i dem. Det er disse spektrene som gjør det mulig å spore eventuelle endringer i sammensetningen til løsningene. Analysen med ATR er ikke en kvantitativ analyse av mengden til de enkelte molekylgruppene, men den kan gi en antydning om mengdeforholdet mellom stoffer som er til stede i prøven.

I tillegg til FT-IR har også prøvene blitt analysert med et Renishaw inVia Raman mikroskop. Det er brukt en 514 nm laser, 100 % styrke og 5x objektiv. Eksponeringstiden var 50 s gjentatt fem ganger per prøve.

Dette instrumentet komplimenterer FT-IR, siden det kan detektere endringer i molekylene, som ikke kommer fram med FT-IR og vis versa¹⁶⁸. Instrumentene er følsomme for vibrasjoner i molekylene når de blir utsatt for stråling. FT-IR absorberer energi, mens Raman baserer seg på emisjon av energi. Vibrasjonene ligger i samme bølgenummer for begge instrumentene, men har ikke samme intensitet¹⁶⁹. Spesifikke svingninger/frekvenser gjør det mulig å identifisere molekylgrupper og skille dem fra hverandre¹⁷⁰. Det er bare prøverekken med ubrukt PEG 2000, R1-R7, som er analysert med Raman, siden det viste seg vanskelig å analysere prøvene fra impregneringsvæsken til BC06. Dette skyldes sannsynligvis problemer med fluorescens forårsaket av de organiske bestanddelene i løsningen, som tre og tjære¹⁷¹.

Et utvalg av prøvene har blitt analysert av massespektrometrisk laboratorium ved Kjemisk institutt, UIO av avdelingsingeniør Osamu Sekiguchi. Der ble det benyttet en Micromass Q-Tof-2 MS, quadrupol time-of-flight mass spectrometry,

¹⁶⁸ <http://www.chemvista.org/ramanIR4.html>. 23.04.2015

¹⁶⁹ Mikkel Christensen, "Ramanspektroskopiske undersøgelser af vanddrukket arkæologisk træ.

Nedbrydning. PEG som konserveringsmiddel." (København, 2006). s.7

¹⁷⁰

http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/Infrared_Spectroscopy/How_an_FTIR_Spectrometer_Operates. 23.04.2015

¹⁷¹ Personlig meddelelse fra Calin Constantin Steindal, avdelingsingeniør, Saving Oseberg

for å analysere molekylstørrelsen til PEG¹⁷². Dette instrumentet kan ved hjelp av ionisering av molekyler, måle sammensetning og størrelse av dem. Dette oppnås ved hjelp av masse/ladnings forskjeller, som lar seg måle med bruk av detektorer i instrumentet. Geometrien til instrumentet, med TOF, gir en forlenget bane for molekylene og dermed høyere oppløsning, følsomhet og massenøyaktighet i målingene.

Elektrospray-MS var metoden som ble brukt for analysene av prøvene. PEG-2000 var løst i vann og ble fortynnet med metanol 1:1 og natriumklorid tilsatt som ioniseringsmiddel. Konsentrasjonen var ca. 20 mikrogram/ml. Løsningene ble innført i instrumentet med en hastighet på 5 micronliter/min. Instrumentet var innstilt med en capillart spenning på 3 kV, conespenning 100 V og kollisjonsenergi 10 eV. Målingene ble tatt i masseområdet 50-3000 m/z. Resultatene fra målingene har blitt behandlet i et dataprogram og framstilles i spekter.

3.3.2 Beskrivelse og preparering av prøver

Alle analysene med de forskjellige instrumentene er gjennomført fra to sett med prøver, ett sett med ren, ubrukt PEG-2000 i en 40 % vannløsning. Dette er den samme konsentrasjonen som ble brukt i impregneringen av Barcode 6.

Tilsvarende ble det testet ett sett prøver av impregneringsløsningen for Barcode 6, som båtdelene er impregnert i.

Prøvene ble oppvarmet til 60°C i en uke, med påfølgende avkjøling i 24 timer før ny oppvarmingssyklus. Hver prøve var på 20 ml og oppbevart i prøveglass på 25 ml med plastlokk.

Det var også planlagt å ta ut prøver fra selve impregneringsbadet etter hvert intervall med temperaturheving, som en ekstra kontroll. Dette for å teste om andre stoffer i løsningen, som tjære, tre etc. kan ha innvirkning på analyseresultatet over

¹⁷²

http://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/om/infrastruktur/ms/instrumenter/instrument_qtof.htm
| 10.03.2015

tid, men på grunn av kostnader for analysene, ble dette ikke gjennomført.

Analyser har blitt utført på uoppvarmede og oppvarmede prøver fra de to settene. De uoppvarmede fungerte som kontrollprøver. Oppvarmede prøver har gått gjennom 1 til 5 sykluser med oppvarming. Det har i tillegg til disse vært en prøve fra hvert sett, ren og brukt løsning, som har blitt holdt konstant oppvarmet på 60°C over seks måneder, for å analysere langtidseffekt ved oppvarming.

Ved bruk av varmeveksler tar det omtrent 48 timer for å varme impregneringsløsningen på 5500 l til 60 grader, og temperaturen holdes på dette nivået i 72 timer, for å sikre at treet har samme kjernetemperatur som løsningen. Deretter begynner man montering for frysetørring, som kan strekke seg over to dager, før man lar løsningen avkjøles. Impregneringsløsningen kan dermed være utsatt for oppvarming i syv dager før den avkjøles til romtemperatur.

Oppvarmingstiden av PEG-prøvene på en uke er basert på dette oppsettet for impregneringsløsningen til BC06 under konserveringsprosessen.

Oppvarmingen av prøvene ble utført i varmeskap innstilt på 60°C. Hver prøve på 20 ml ble oppbevart i prøveglassene med plastlokk gjennom hele testperioden, både under oppvarming og avkjøling, for å forhindre fordamping.

Ren løsning	Nr.R1	Nr.R2	Nr. R3	Nr. R4	Nr. R5	Nr. R6	Nr. R7
	uoppvarmet	1x	2x	3x	4x	5x	03.05- 22.11.13
Brukt løsning	Nr.B1	Nr. B2	Nr. B3	Nr.B4	Nr. B5	Nr. B6	Nr. B7
	uoppvarmet	1x	2x	3x	4x	5x	03.05- 22.11.13

Tabell 1. Oversikt over oppvarmingen, hvor x er antall oppvarminger á en uke på 60°C.

Det ble antatt at analyse av en slik prøverekke ville kunne avdekke eventuelle endringer i løsningene, som oppstår over tid under påvirkning av varme. Om det inntreffer en nedbrytning av PEG ved gjentatte oppvarmingssykluser, så er det mulig å se det i analysene som endringer i sammensetningen i løsningen. Dette kan være en indikasjon på en mulig nedbrytning av PEG. Før analyse med FT-IR og Raman ble 10 ml av løsningene tørket ut i vakuumbokse med silicagel ved romtemperatur. Analysene er dermed utført på fast stoff i begge instrumentene.

I tillegg til disse prøvene ble en prøve med ren PEG-2000 i fast form varmebehandlet på 85°C i luft over en periode på 72 timer. Dette ble gjort for å ha et sammenlikningsgrunnlag for resten av prøvene. Det er kjent fra tidligere forsøk at PEG brytes hurtig ned ved varmepåvirkning med oksygen tilstede¹⁷³. En sammenstilling av spektrene vil gi en god indikasjon på om PEG i løsning har blitt utsatt for nedbrytning, som følge av varmebehandlingen.

Resultatene fra FT-IR og RAMAN presenteres i form av spekter av prøvene, og en sammenlikning av de ulike spektrene danner grunnlaget for konklusjonen av resultatet. Ut fra dem kan det være mulig å spore eventuelle endringer i prøvene. Et slikt resultat vil gi behov for analyser med annet apparatur, for å få svar på om eventuelt endringer skjer som følge av at PEG forandrer struktur i løsningen, eller skyldes andre faktorer.

Uansett hva resultatet av analysene med FT-IR og RAMAN er, så vil det være behov for ytterligere analyse av prøvene med annet apparatur for å kunne si noe sikkert om eventuell nedbrytning av PEG i løsningene.

FT-IR og RAMAN kan gi en indikasjon på hvordan en eventuell nedbrytning av PEG arter seg for polymeret ved at det oppstår endringer i spektrene, som tyder på dannelse av nye molekylgrupper. Det kan brukes til å identifisere disse molekylgruppene, men ikke si noe om størrelsen på dem. Dermed er instrumentet ikke tilstrekkelig for å kunne utelukke nedbrytning av PEG som følge av varmepåvirkning. For å analysere molekylstørrelser og vekt, kan man benytte seg av et massespektrometer. Dette instrumentet gir informasjon om massen til

¹⁷³ Padfield et al., "DECOMPOSITION OF POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) ON HEATING."

molekylgruppene som analyseres, og dermed et svar på om PEG-2000 brytes opp i mindre enheter som følge av oppvarmingssykluser på 60°C. Prøvene som er analysert ved massespektrometrlaboratoriet, ble levert i løsning bortsett fra ren, ubrukt PEG-2000, som var i fast form. Før analyse ble prøvene fortynnet i metanol til konsentrasjoner som passet apparatet¹⁷⁴. Det var i alt seks prøver som ble analysert med massespektrometer. Dette var R1, R6, R7, B1, B6 og B7. Av disse var det tre ubrukte og tre brukte. To var kontrollprøver som ikke har vært oppvarmet, R1 og B1. To har vært oppvarmet fem ganger, R6 og B6, mens R7 og B7 har vært oppvarmet kontinuerlig i over seks måneder.

¹⁷⁴ Personlig meddelelse Jon Vedde, senioringeniør, Kjemisk institutt UiO.

3.4 Praktisk utførelse av konservering

I forberedelsene til den praktiske utførelsen av frysetørringen av BC06, var de involverte deltagerne i prosjektet på et studieopphold ved Bevaringsavdelingen til Nationalmuseet i København, lokalisert i Brede. Under dette oppholdet tok man blant annet del i prosessen med konserveringen av Roskilde 6, ett langskip fra vikingetiden. Dette gav en nyttig innføring i problemstillinger rundt frysetørring i form. Der gikk man gjennom prosedyrer med vask av bordganger, preparering og oppklossing før frysetørring.

Alle hudbordene ble vasket med varmt vann og børste. Deretter festet man løse deler med stålkremper, før det ble smurt ny PEG-løsning på bordgangene. De ble så plassert på hyllen til frysetørreren, hvor de ble kilet opp i rett vinkel og pakket i plast for å hindre uttørking av overflaten før og under innfrysing. Man plasserte sandsekker på hudbordene over kilene, for å holde dem nede i rett vinkel. De hudbordene som ble behandlet under oppholdet i Brede var fra skipets midtseksjon. Det betydde at de var forholdsvis rette i formen, uten store høydeforskjeller i krumning av det enkelte hudbord. I tillegg var eiken forholdsvis nedbrutt og fleksibel og det var derfor ikke behov for større pressmiddel enn sandsekker på 1 kg stykket, for å holde bordene på plass. Hudbordene ble plassert etter en oppsatt plan, som utnyttet plassen på hyllen best mulig, se figur 11.

En god planlegging og merking av kiler og klosser var dessuten nødvendig for å kunne gjennomføre en kontrollert vending av alle hudbordene omtrent midtveis i frysetørringsprosessen. Dette var nødvendig siden treet tørket hurtigst fra toppen og ned. Det hadde vist seg når sondene i treet indikerte at prosessen var over, så var det fremdeles is i treet under disse sondene. Grunnen til dette var at hyllen treet lå på hindret strålevarme fra kammerveggen å bidra med energi til tørking fra undersiden. Man kan si at undersidene til hudbordene ble liggende i skyggen av hyllen. På grunn av tidspress for å bli ferdig med frysetørringen var det nødvendig å snu dem midtveis i prosessen, for å holde progresjonen oppe og rekke å

gjennomføre all frysetørring innenfor tidsplanen¹⁷⁵.

Oppholdet i Brede gav mye viktig informasjon rundt den praktiske gjennomføringen av en frysetørringsprosess med rekonstruksjon som målsetning. Ikke minst fikk man belyst mange problemstillinger, som var viktig å vurdere før man gikk i gang med den praktiske gjennomføringen av konserveringsprosessen. Dette var en god erfaring å ha med seg, og det viste seg ganske tidlig i arbeidet med BC06 at selve materialet var av en annen kvalitet enn Roskilde 6. Eiken var mer velbevart og langt mer krevende å forme før frysetørring. Ganske tidlig ble man klar over at det ikke var mulig å bruke samme system som i Brede med sandsekker for å holde hudbordene på plass. Dermed var man nødt til å tilpasse et nytt system for å holde dem i form gjennom hele frysetørringsprosessen, fram til endelig rekonstruksjon av BC06.

3.4.1 Forming av hudbord

Det utgangspunktet man hadde var et frysetørringsanlegg med en tank på 6,2 meters lengde og 120 cm i diameter. Tilpasset denne var et hyllesystem bestående av tre separerte vogner med tre hyller i høyden. Den midterste hyllen var den bredeste og den øvre og nedre hadde lik bredde. Hver hylle var konstruert av en ramme med firkantstål montert med to avstivere i midten, som to rektangel. På denne rammen lå selve hyllen, som var laget av perforerte stålplater. Hver vogndel hadde fire massive stålstag som man monterte selve hyllerammen til og hylser på stagene holdt hyllene i riktig høyde, figur 12.

¹⁷⁵ Personlig meddelelse Kristiane Strætkvern, konservator Nationalmuseet i København.



figur 11. Forming av Roskilde 6. Foto Pål Thome.

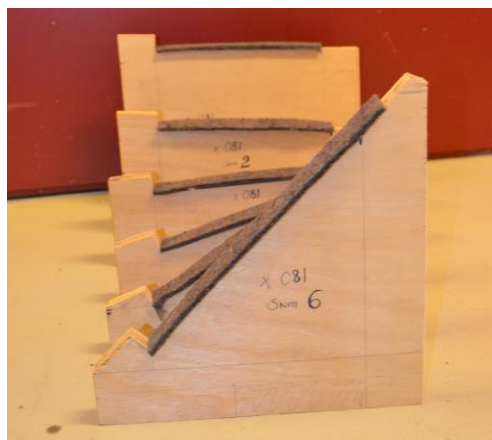


figur 12. Hyllesystemet. Foto Monika Hovdan.

Det tredelte systemet gjorde det mulig å benytte alle tre hyllehøyder i full lengde eller ta ut enkelte høyder ved behov. Siden det viste seg vanskelig å få spent fast hudbordene ved bruk av de perforerte stålplatene, ble de forkastet tidlig i prosessen. I stedet for tilpasset man tverrliggere skåret ut av kryssfiner, som utgjorde festepunkt for kiler og snitt i kryssfiner. Disse kunne man plassere med ønsket mellomrom, slik at de passet med snittene som anga vinklingen til hudbordene. Snittene var tatt ut fra oppmålingen av modellen av BC06 og var hovedsakelig fordelt med 50 cm mellomrom på hvert hudbord, men enkelte lå naturlig utenfor dette systemet på grunn av lengden til bordet. I slike tilfeller kunne man plassere inn tverrliggere der det var nødvendig å sette inne kiler. Dette gjorde systemet fleksibelt og tilpassingsdyktig ved de tilfellene som falt utenfor det standardiserte opplegget. Et annet moment med bruk av tverrliggere var at det skapte en åpnere struktur i frysetørreren og bedre overføring av stråleenergi i tanken under tørkeprosessen. Ved å ta ut hyllene reduserte man skyggefeltene man ellers ville fått ved bruk av perforerte plater. Dette gav en bedre energioverføring til treet fra alle kanter og sørget for jevn tørking.

Utformingen av det enkelte hudbord var gitt av den rekonstruerte modellen og alle vinkler var basert på oppmålingen av den. Dermed var det mulig å ta ut snitt av hvert hudbord, som anga hvordan den skulle formes tredimensjonalt, med bøyninger og vridninger. Siden det kunne være betydelig høydeforskjeller både i

og mellom de ulike snittene i samme hudbord, besluttet man å sage ut de fleste i kryssfiner, figur 13.



figur 13. Eksempel på snitt til hudbord x081. Foto Monika Hovdan.

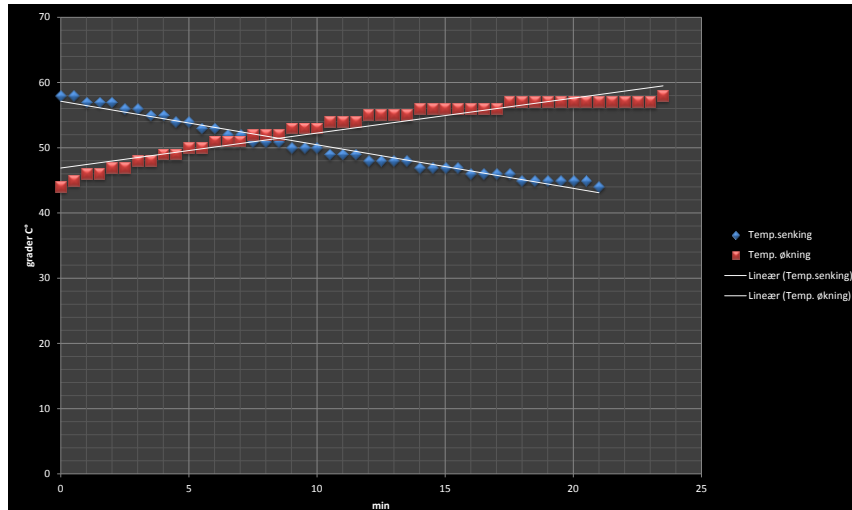
Disse var enkle å skru fast til tverrliggerne og gav godt hold for forming av hudbordene. I tillegg til disse benyttet man kiler der høyden over grunnlinjen tillot det. Ser man på figur 13, så gir den et bilde på hvordan et bestemt hudbord skulle formes. Det skulle både bøyes og gis vridning. Det viste seg at man måtte benytte relativt mye kraft på enkelte av hudbordene, som krevde mye forming, for å presse dem i stilling. Denne erfaringen gjorde det klart at man ikke kunne bruke vekt for å holde dem på plass, men de måtte festes til snittene med hjelp av overliggende treverk, som ble skrudd fast til snittet. Slik kunne man tvinge hudbordene i form og holde dem på plass under tørkeprosessen.

Forut for forming ble hudbordene tatt opp av impregneringstanken og rengjort med børste og lunket vann. Etter rens penslet man på et lag med ren PEG-2000 løsning, før de anbrakt i hyllesystemet. Under oppspenning ble det brukt filt mellom selve hudbordet og kryssfineren for å hindre trykkskader på det arkeologiske treet, men det var helt klart at det krevde mye pressmiddel for å få de mest kompliserte hudbordene tilpasset. Det var denne kjensgjerningen som førte til ønsket om å finne metoder for å kunne forme treet på en mere skånsom måte. Løsningen på problemet ble bruk av oppvarming av treet før forming av det.

Etter å ha gjennomført eksperiment med mål for å teste fleksibilitet til treet og eventuelle skadevirkninger på impregneringsmiddelet, ble dette valgt som metode for de mest krevende delene til BC06. Forut for oppspenning av disse delene benyttet man en varmeveksler for å heve temperaturen i impregneringskaret til 60°C, og det viste seg at det ble betydelig enklere å forme hudbordene. Ikke minst krevde det mindre kraft å sette de opp i ønsket form. Der man tidligere måtte bruke båtklemmer for å vri hudbordet ned på snittet, kunne man nå ganske enkelt presse den på plass for hånd før den ble festet til snittet. Det gjorde at oppspenningen kunne utføres på en mere kontrollert måte, som minsket faren for å påføre skader på trevirket til BC06 under arbeidet med formingen av det.

I forbindelse med oppvarming av treet var det også interessant å undersøke hvor hurtig treet ble avkjølt etter at det var tatt ut av impregneringskaret. Det ville gi en indikasjon på hvor lang arbeidstid som var til rådighet ved oppspenning av det enkelte hudbord. Til denne undersøkelsen brukte man et enkelt steketermometer, som ble satt inn i en passende del av et hudbord. Temperaturen ble avlest i 30 sekunders intervaller, fra trestykket ble tatt ut av løsningen og til temperaturen var falt til 44 grader. Trestykket ble så plassert tilbake i karet og temperatur avlest til den var lik utgangspunktet, se figur 14.

Etter at det enkelte hudbord var spendt fast i riktig form, ble det pakket inn i plast for å forhindre uttørking av overflaten. Når alle hudbordene var på plass, satte man inn termosonder i utvalgte hudbord, slik at man kunne følge utviklingen i hele tanken og i alle høyder. Trevirket ble så frosset ned til arbeidstemperatur i tanken på -30 °C. Når rett temperaturnivå var nådd for alt treet, tok man det ut og fjernet hurtig platen for å unngå opptining. Deretter fulgte en kort innfrysingsperiode, før frysetøringsprosessen ble satt i gang. Selve tørkeprosessen varierte fra gang til gang avhengig av mengde/størrelse på tregjenstandene, men i snitt tok hver kjøring omtrent seks måneder fra begynnelse til slutt.

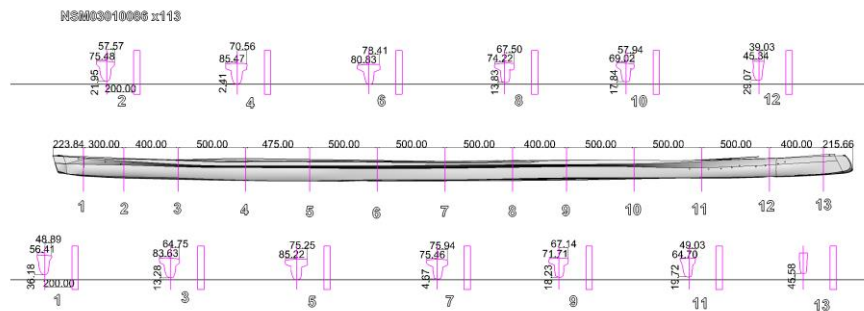


figur 14. Måling av temperaturendring. Foto BS.

Etter avslutning demonterte man hudbordene, men lot snittene med feste sitte på hvert enkelt bord. Dette systemet ble så overført til en hyllereol hvor hudbordene på ny ble satt fast i frysetørret form i påvente av rekonstruksjon. Alle hudbordene ble oppbevart oppspennet forut for rekonstruksjonen for å forhindre at de skulle miste formen før de kunne brukes til å gjenoppbygge BC06. I denne perioden renses man også alt trevirket for overflødig PEG. Dette lå som et hvitt lag på utsiden av treet og det meste av det lot seg fjerne med lett børstning, siden det var ganske porøst. Det som var mere kompakt, blant annet i sprekker, fjernet man mekanisk med egnede redskaper, før man gikk over overflaten med varmpistol og smeltet inn den PEG som ikke lot seg fjerne på annet vis. Overflaten fikk dermed en relativt lys gråbrun farge i de områder som ikke var innsatt med tjære, som var mørk brun/svart.

3.4.2 Kjøl

Problemstillingen rundt forming av kjølen fant til slutt sin løsning med beslutningen om å spenne den fast til en stålbjelke ved hjelp av gjennomgående bolter. Formen til kjølen var ikke rett i forhold til den rekonstruerte modellen av BC06. Derfor måtte den formes før frysetørring. Etter utgraving og opphold i impregneringstank var kjølen konveks på midten og med svai ut mot endene, som igjen sto litt opp, vedlegg 1. Modellen viste at kjølen skulle ha en svak buet form, lavest på midten og opp mot stevene, noe som betydde at den måtte bøyes motsatt av sin daværende form. Den hadde også sideveis krumning som måtte rettes inn, og en viss vridning i lengderetning. Det var nødvendig å utvikle et system som kunne håndtere og kontrollere alle oppretningene av kjølen, slik at den fikk samme form som den rekonstruerte modellen, se figur 15.



figur 15. Oppmåling av kjøel basert på modell av BC06. III: NMM

Støttesystemet måtte i utgangspunktet sørge for tilstrekkelig horisontal og vertikal stivhet, slik at kjølen kunne presses i ønsket form. Et flattjern på 100 x 10 mm gav horisontal stivhet, mens et firkantrør på 60 x 40 x 4 mm gav vertikal styrke. Disse delene ble skrudd sammen med firkantrør i senter av flatjernet, som var i bunn. Det ble ikke brukt sveis siden det ville få stålet til å slå seg, noe som var viktig å unngå for å holde konstruksjonen rett¹⁷⁶. I punktene hvor boltene skulle festes monterte man massive stålklosser på 30 x 30 mm i høyde med firkantrøret. Disse kunne punktsveises siden flattjern og firkantrør var skrudd sammen og motvirket deformasjon ved sveising. I disse klossene var det gjenget opp skruehull til feste for støttejern til bruk for boring av boltehull i kjølen, og forankring av den til stålbjelken, se figur 16. Det var også viktig at alt av stål brukt for å konstruere bjelken, bolter og støttesystemet var av syrefast kvalitet. Dette var nødvendig siden systemet vil følge kjølen gjennom konserveringsprosessen, og videre som en del av rekonstruksjonen og støttesystemet for BC06. Stålet må derfor tåle å bli utsatt for de korrosive egenskapene til PEG, uten å begynne å ruste, siden det vil være en permanent del av utstillingen.

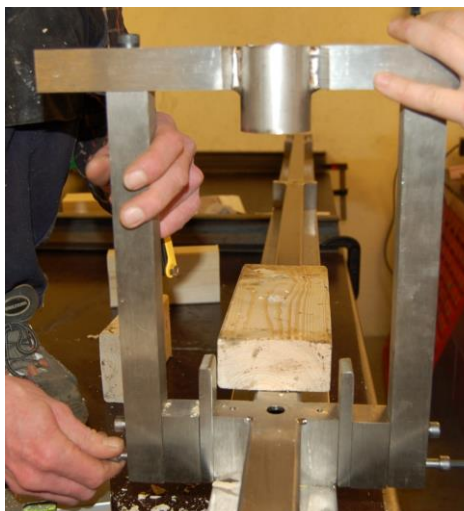
Kjølen måtte rettes inn før gjennomboring for boltene kunne utføres. Derfor ble den varmet i impregneringsløsningen forut for jobben med å få den i rett form. Dette for å få den mere fleksibel og lettere å jobbe med. Testbøyning av kjølen i romtemperatur hadde vist at den var rimelig fleksibel sideveis, men bød på motstand når den ble forsøkt bøyd vertikalt. For å forenkle arbeidet med å forme kjølen, ble det montert profiler av kjølen skjært ut i kryssfiner ved hvert snitt, hvor det skulle monteres bolter. Disse var målt inn og fungerte som mal for hvordan kjølen skulle vinkles. Med disse som utgangspunkt kunne man rette opp kjølen i riktig vinkel og høyde, og klargjøre for boring av hull til bolter. Gjengestag ble montert på toppen av støttejernene slik at man kunne montere en tverrplate mellom disse. Denne ble skrudd fast til gjengestagene med muttere og holdt kjølen fiksert i rett høyde og vinkel på treklosser i riktig høyde. Dette hindret kjølen i å bevege seg ut av stilling i disse festepunktene etter hvert som den ble presset inn i rett form, basert på den rekonstruerte modellen, med bøy ned på midten og opp mot stevnene. Etter at kjølen var montert og fiksert kunne man

¹⁷⁶ Personlig meddelelse Ragnar Løchen, støttemaker KHM.

kontrollert bore opp hull for gjennomføringer til boltene. Ved hjelp av en borejig montert over hvert borepunkt, sikret man at gjennomføringen var vinkelrett på stålbejelken og traff boltehullet i stålbejelken, se figur 17.



figur 16. Stålbejelke med støttejern og snitt montert. Foto Inger Marie Egenberg, NMM.

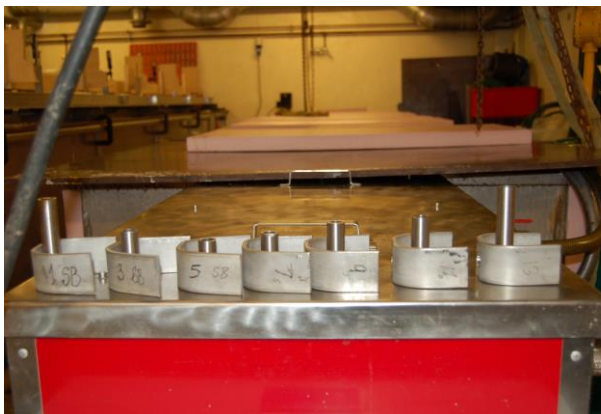


figur 17. Montering av borejig og prøveboring. Foto Pål Thome, NMM.

Hvert hull ble så boret opp og det ble innført en stålhylse i hvert hull med samme lengde som kjølenes tykkelse i snittet. Gjennomgående bolt ble montert med en ny hylse og stålboyle på undersiden av kjølen. Hylsene var av tilmålt lengde og

sørget for å holde stålbøylene i riktig høyde med tanke på bøyningen til kjølen, se figur 18.

Etter at alle boltene var på plass kunne man presse kjølen i form ved hjelp av disse festepunktene, ned på midten og opp mot stevnene. Kjølen ble som tidligere nevnt varmet opp i impregneringsløsningen forut for forming av den og ettersom selve arbeidet med å montere den til stålbjelken tok tid, ble den lagt tilbake i karet underveis, for å holde den oppvarmet og fleksibel. Etter at man var ferdig med alt arbeidet for å montere og justere krumningen til kjølen, var den klar for frysetørring. Hele konstruksjonen med stålbjelke, støttejern og kjølen ble montert fast til hyllesystemet i frysetørreren. Det viste seg under denne monteringen at kjølen hadde spenn og kraft nok til å bøye selve stålbjelken med omtrent 5 mm. Det var derfor nødvendig å spenne ned bjelken til hyllesystemet, for å opprettholde rett krumning av kjølen under frysetørringen. Dette var et tydelig tegn på at det fremdeles var mye styrke og spenning i treet, og at det derfor var nødvendig med en forholdsvis solid oppspenningsmetode for å holde kjølen i rett form.



figur 18. Støttebøyer og hylser for kjølen. Foto BS.



figur 19. Kjølen etter frysetørring. Foto BS.

3.4.3 Rekonstruksjon

Arbeidet med rekonstruksjonen av Barcode-6 hadde som utgangspunkt å gjenskape en båt basert på den rekonstruerte modellen. Et viktig kriterium i denne prosessen var å sette sammen alle delene i et system, som lot seg transportere fra Norsk Maritimt museum på Bygdøy til DnBs nye kontorbygg i Bjørvika. Selve rekonstruksjonsarbeidet blir utført på NMM og det er meningen å transportere båten i tre deler for montering i et spesialtilpasset monteret, som er plassert i kjelleren til DnBs bygg i Bjørvika. Grunnen til dette er at det ikke er mulig å få innplassert BC06 i ett stykke på grunn av adkomsten til bygget og monteret. Det er ikke plass nok for en slik løsning med det det krever av løfteutstyr og manøvreringsrom. Støttesystemet for BC06 er derfor planlagt og utføres for å løse to oppgaver, en som støtte for den utstilte rekonstruksjonen og et system for støtte under transport. Tanken er å konstruere støttesystemet slik at det er mulig å dele båten opp i tre deler for transportetappen fra Bygdøy til Bjørvika. En del består av kjølen med fire bordganger på hver side og de to andre delene blir styrbord og babord side fra fjerde bordgang og opp. De to sidene trenger et system for å holde de enkelte bordgangene sammen og gi dem stabilitet under transporten.

Det er ennå ikke utarbeidet en endelig løsning, men trolig vil det bli et system basert på utenpåliggende stålband, som kan demonteres i overgang mellom de ulike delene til båten. Det må også tilpasses et rammeverk som kan monteres til stålbandene på båtsidene, for horisontal stivhet. Stålbjelken kjølen er montert på sørger for dette i den nederste delen av båten, og vertikale stålband festet til bjelken sørger for vertikal støtte av bordgangene. Til disse stålbandene er det også festet stålstag, som kan festes til gulv eller stålbjelken, for å gi vektavlasting til stålbandene. Festepunktene for alle stålbandene til selve bjelken er ved boltene, som holder kjølen på plass. Dermed blir støttesystemet for frysetørringen av kjølen gjenbrukt i støttesystemet for hele rekonstruksjonen, se figur 20.



figur 20. Del av båt med støttesystem montert. Foto BS.

Etter at enkeltdelene til Barcode-6 var ferdig frysetørret og renset for overflødig PEG, var de klar for montering i rekonstruksjonen. Det ble konstruert et rammeverk for dette formålet, se figur 21. Denne rammen er vatret opp for å sikre et vannrett utgangspunkt for rekonstruksjonen. Over denne rammen satte man en såkalt skorstokk, en horisontal bjelke med T-form, som man setter skorer mot. Dette kan man bruke for å presse bordgangene i skroget ut i form¹⁷⁷. Dette er et konstruksjonsprinsipp som brukes i tradisjonell båtbygging og ble benyttet under konstruksjonen av modellen til Barcode-6.

Kjølen med stålbjelke er satt fast direkte til trerammen. Den er ikke løsnet fra festepunktene etter frysetørringen og vil være festet til bjelken permanent. Det er ennå mye spenning i kjølen og om den løsnes fra festepunktene, er det ikke sikkert at den lar seg forankre igjen. Den har blitt renset for PEG slik den er spent opp på stålbjelken.

¹⁷⁷ <http://www.arctandria.no/ordforklaringer/> 05.05.2015



figur 21. Kjøl på rammeverk. Foto BS.

Til hjelp i arbeidet med rekonstruksjonen har man igjen benyttet seg av oppmålingen av modellen til BC06. Basert på den er det tatt ut mål og saget ut profilsnitt av skroget i kryssfiner i hele båtens lengde og høyde. Disse er tatt ut med 100 cm avstand på begge sider av båten. I tillegg til disse snittene er det også to snitt i baug- og akterenden, som ligger 50 cm fra neste snitt. Totalt er det satt opp åtte profilsnitt, som er skrudd fast til rammeverket. Disse profilsnittene brukes både som støtte og retningsmal for rekonstruksjonen. Hvert hudbord er deretter plassert og passet inn i denne formen på sin opprinnelige plass, se figur 22.

Profilene har fungert som rettesnor og støttesystem, men det har også vist seg nødvendig å justere disse profilene underveis i rekonstruksjonsarbeidet¹⁷⁸. Man har tatt hensyn til original materialet og latt det til en viss grad få styre utformingen, istedenfor å presse det inn i formen gitt av profilsnittene. Dette har

¹⁷⁸ Monika Hovdan, Brynjar Sandvoll, og Pål Thome, "Conservation of a 17th century boat, Barcode 6, for exhibition," (2015).

viste seg å gi gode resultat med tanke på en helhetlig tilpassing av alle bordgangene i BC06. Ved å justere profilene litt i høyde og bredde, har bordgangene falt enklere på plass i rekonstruksjonen. De kan være flere grunner til at det har vært nødvendig med en slik tilpasning av den oppmålte formen til BC06, men en mulig forklaring kan være at hudbordene har krympet i bredden etter tørkeprosessen. Dermed stemmer ikke oppmåling av en modell basert på vasstrukket tre med de konserverte delene av BC06. Selv om det ikke dreier seg om store forskjeller, så bygger disse forskjellene på seg under rekonstruksjonen, slik at unøyaktighetene blir større for hver bordgang som tilpasses formen av BC06.



figur 22. Rekonstruksjon av BC06. Foto BS.

Utfordringen i arbeidet med rekonstruksjonen har vært å finne rett tilpassing ut fra opprinnelige hull etter nagler og spiker. Når man har funnet overenstemmelse mellom naglehull og søm i to overlappende hudbord, har disse blitt sammenføyd. Til disse sammenføringene har man brukt stålbolter der det opprinnelig har vært

bolter i båten og i sømmen har man brukt sveisetråd, for å holde bordene sammen. Dette har vist seg som en fleksibel metode for å finne rett plassering av hudbordene. Med utgangspunkt i de eksisterende gjennomboringer mellom ulike bord, har man funnet fram til en utforming av BC06, hvor innplassering av den enkelte del ikke krever bruk av store pressmidler. Sammenføyningene må gjøres mere permanent på et senere tidspunkt, men i rekonstruksjonsarbeidet fungerer disse hjelpemidlene og er enkle å justere om behovet melder seg.

De hudbordene som har vært splittet, eller har store sprekker er limt med smeltelim, for å holde delene samme i rekonstruksjonen. Det sørger også for at linjeføringen i skroget blir riktig uten at enkeltdeler blir stående ut fra det. De dendroprøver som er tatt fra hudbordene er også blitt satt på plass ved hjelp av lim, slik at de holdes i riktig posisjon.

Ut fra det foreløpige arbeidet som er gjort med rekonstruksjonen, så ser det ut til at den formen det enkelte hudbordet har fått gjennom konserveringsprosessen passer godt inn i helheten. Det har ikke vært store problem med å sette delene sammen og det virker som om trevirket ikke har blitt så stivt og sprøtt som fryktet på forhånd. Man har erfart at det finnes rom for å bøye og vri hudbordene uten fare for a de skal ta skade av en slik behandling. Dette har til nå ikke vært nødvendig, men muligheten finnes om behovet oppstår på et senere tidspunkt i arbeidet med å sette sammen BC06.

4 Resultat

4.1 Fleksibilitetsmålinger

Etter at gjennomføringen av alle målingene, og gjennomgang av resultatene var utført, viste det seg at oppvarming til 60°C gir en større fleksibilitet til treet, både for frisk og arkeologisk eik. En fullstendig oversikt over resultatene er gjengitt i vedlegg 1. Dette var ikke et overraskende resultat og målingene gir et bilde på hvilken effekt oppvarming har for formbarheten til eik. Ser man på forskjellen i de fysiske målingene, så er ikke utslagene veldig store. Differansen i fleksibilitet mellom 20 grader og 60 grader ligger mellom 0,70-1,59 mm for fersk eik og 0,12-1,87 mm for arkeologisk eik. Denne differansen er regnet om til prosentvis økning og viser en økningen av fleksibiliteten for fersk eik mellom 21,9-43,3 %, mens den ligger mellom 4,6-56,0 % for arkeologisk eik, 40,8-56,0 % om man ser bort fra prøve nr. 3. En oversikt over de gjennomsnittlige måleresultatene er gjengitt i tabell 2 og 3.

Nr.	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
Diff. mm	1,46	1,40	1,15	0,70	1,41	1,59	0,79	1,28
Diff. %	41,1	40,3	36,7	21,9	36,8	43,3	31,1	41,3
Nr.	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b
Diff. mm	0,73	0,75	0,96	0,86	1,09	0,74	1,16	0,94
Diff. %	25,0	26,3	27,4	27,6	36,6	25,3	33,7	30,3

Tabell 2. Måleresultat for fersk eik.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Diff. mm	1,67	4,41	0,12	1,74	1,87	1,25	x	1,31
Diff. %	49,3	x	4,6	42,6	51,5	40,8	x	56,0

Tabell 3. Måleresultat for arkeologisk eik.

Under testing av de arkeologiske prøvene viste det seg ved belastning at prøve nr. 7 måtte forkastes på grunn av langs- og tverrgående sprekker i hele prøven. Prøve nr. 2 fikk et utslag over 10 mm ved oppvarming, som ligger utenfor måleinstrumentets kapasitet. Derfor er disse resultatet ikke tatt med. Dermed inngår det bare seks måleresultat fra denne serien. Prøve nr. 3 gav dessuten et stort avvik i måleresultatet for arkeologisk eik, og bør forkastes i vurderingen av resultatene. Resultatene utover dette ligger forholdsvis godt samlet. Foretar man en direkte sammenligning mellom resultatene for fersk og arkeologisk eik, så viser det at fleksibiliteten til arkeologisk eik har en relativ større øking enn tilfellet er for fersk eik. Fersk eik ligger på 32,8 % økning i snittverdi og arkeologisk eik har et snitt på 48,0 %, når prøve nr. 3 er tatt ut.

4.2 PEG-analyser

Undersøkelse med FT-IR av alle prøvene viser ikke store endringer gjennom de to prøverekkerne, se vedlegg 4. Det eneste avviket finner man i analysene av de rene prøvene. Det oppstår en liten endring i området rundt bølgenummer 950 cm^{-1} på prøve R7, som har vært kontinuerlig oppvarmet. Denne endringen er også sporbar i prøve R3, men ikke like tydelig. Det er kun i dette området og bare med de rene prøvene at denne endringen viser seg. Denne endringen gjør R3 og R7 spektrene lik alle spektrene fra B1-B7, prøvene fra den brukte løsningen til BC06. Ellers ser prøvene av ren løsning identisk ut, og samsvarer med spektre av PEG-2000¹⁷⁹. Spektrene av de brukte prøvene er helt identisk gjennom hele rekken og det eneste som skiller dem fra de rene er som nevnt endringen i området rundt bølgenummer 950 cm^{-1} . Det området endringen oppstår kan ha sammenheng med O-H bindinger forbundet med karboksylsyrer, men en sterk topp i området rundt bølgelengde $1730\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ som har sammenheng med C=O bindinger mangler¹⁸⁰. Det tyder på at det ikke er dannet slike syrer.

Ser man derimot på spektret av prøven som er varmebehandlet på 85°C i luft, vedlegg 5, så ser man en tydelig endring med den nevnte toppen i området rundt $1750\text{-}1710\text{ cm}^{-1}$. Utslaget i dette området kan også være en indikasjon på aldehyder, som gir utslag på bølgenummer $1740\text{-}1725\text{ cm}^{-1}$ ¹⁸¹.

Prøven oppvarmet i luft skiller seg klart fra de andre prøvene, som har vært i løsning og dette spekteret viser tydelige tegn på endring i analysen av prøven sammenlignet med referanseprøven R1.

Alle prøvene ble også analysert med Raman, men det viste seg at det kun var mulig å få spekter av de rene/ubrukte prøvene med PEG-2000 med denne analyse metoden. Prøvene av impregneringsvæsken skapte som tidligere nevnt så mye

¹⁷⁹ <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/fluka/81321?lang=en®ion=NO> 19.03.2015

¹⁸⁰ Donald L. Pavia, *Introduction to spectroscopy*, 4th ed. utg. (Belmont, Calif: Brooks/Cole, 2009). s. 62-63

¹⁸¹ *Ibid.* s. 56

fluorescens, at det ikke var mulig å få til analyse av dem med dette apparatet. Resultatet av analysene av de rene prøvene er gjengitt i vedlegg 9, og de viser ingen endring gjennom prøverekken R1-R7.

Prøvene som ble analysert av massespektrometrlaboratoriet ved Kjemisk institutt, UiO var R1, R6, R7, B1, B6 og B7. Spektrene er lagt ved som vedlegg 7. Ut fra dem er det ikke mulig å spore vesentlige endringer i molekylstørrelsen til PEG-2000. Det viser seg at den er stabil fra de uoppvarmede prøvene, både i den ubrukte R1 og brukte B1 og til prøvene som har vært kontinuerlig oppvarmet, B7 og R7. Tar man utgangspunkt i de høyeste toppene, med tre ioneladninger, så viser de at det er en svak endring i mengden av massestørrelse fra kontrollprøven R1, som har toppen på 704,4 m/z, mot 689,7 m/z og 689,8 m/z for R6 og R7. Resultatet for de brukte prøvene viser at B1 og B6 har lik mengdetopp på 675,1 m/z, mens B7 har en topp på 689,8 m/z, som tilsvarer resultatet for R6 og R7.

Ser man på spektrene for R1, R6 og R7, så legger man også merke til at det kommer noen små topper rundt 350-500 m/z i spektrene til R6 og R7. Dette er en endring sammenlignet med spekteret for R1. Det er ikke mulig å se en tilsvarende tydelig endring av spektrene til B1, B6 og B7, siden disse toppene går igjen i alle spektrene, men de viser tegn til en økning i høyden fra B1 til B7. Se Kapittel 5.1 for diskusjon rundt resultatene.

4.3 Forming av tre

De metodene som ble valgt for å forme hudbord og kjøøl før selve frysetørringen, har vist seg å gi gode resultat med tanke på tilpasning i den rekonstruerte utgaven av Barcode-6. Støttesystemet, med stålbjelke og gjennomboringer av kjøølen, som ble utviklet for å holde den i ønsket posisjon gjennom prosessen, har vist seg å fungere tilfredsstillende. Det er ikke observert synlige skader på kjøølen som følge av behandlingen. Den holder ønsket form uten at det har oppstått vridninger, eller oppsprekninger. Dette tyder på at dette systemet har vært tilstrekkelig stabilt og motvirket kjøølen naturlige bevegelsesmønster uten at det har påført skader, bortsett fra de gjennomboringer som er gjort.

Formingen av hudbordene har også gitt et godt resultat. Oppspenningssystemet har vist seg å fungere med å holde hudbordene i ønsket posisjon og gi det enkelte hudbord den tiltenkte utformingen forut for rekonstruksjonen. Det har også vært et fleksibelt system å arbeide med, siden det har vært enkelt å tilpasse nye støttepunkt ved behov. Det har gitt muligheten til hurtig å kunne gjøre endringer i det planlagte oppsettet, når uforutsette behov har gjort seg gjeldene. Behovet for slike endringer har vist seg nødvendig blant annet når den teoretiske størrelsen av en gjenstand ikke har vist seg å holde mål med den fysiske størrelsen. Det har vært flere grunner til at det ikke har vært samsvar mellom oppmålte hudbord og det fysiske bordet. De fleste har skyldes uttak av dendroprøver, eller at splittede hudbord har blitt oppmålt som ett helt bord. Det har gitt noen uforutsette problem i det praktiske arbeidet med oppspenning av hudbord, men underveis har man funnet løsninger på de problem som har oppstått. Det har vært relativt enkelt å sette inn nye støttepunkt der behovet har meldt seg. Dermed har man klart å opprettholde planlagt framdrift i arbeidet med oppspenning av hudbord og unngått unødvendige forsinkelser. Det har vært viktig å kunne gjennomføre innplassering av tre i frysetørringstanken relativt raskt, for å unngå tørkeskader på trevirket i denne fasen, forut for innfrysning av treet.

Systemet har i tillegg sørget for å minimere skyggeeffekten under

frysetøringsprosessen. Relativt få og lite omfangsrike festepunkt har gitt en åpen struktur i frysetørringstanken og minimert tap i overføring av stråleenergi. Dermed har det ikke vært nødvendig å endre på plasseringen til båtdelene under tørkeprosessen, for å holde tidsskjemaet i konserveringen av BC06.

Bruk av oppvarming forut for forming av treet, har også gitt gode resultat i den praktiske gjennomføringen av prosjektet. De målinger og tester som er gjort viser at treet blir mere fleksibelt ved oppvarming, uten at det medfører nedbrytning av impregneringsmiddelet. Det viste seg også under arbeidet med å spenne opp hudbord at det var betydelig enklere å forme oppvarmede bord, enn det hadde vært med tilsvarende uoppvarmede bord. Dette ga en mere skånsom og kontrollerbar forming av treet. Oppvarmingen reduserte behovet for fysisk press på treet under forming, og var dermed med på å unngå skader som kunne oppstå som følge av dette. Resultatene diskuteres i kapittel 5.3.

5 Diskusjon

5.1 PEG-2000 analyser

De analysene som er gjennomført med både ATR-FTIR og Raman viser ingen signifikante endringer i de analyserte PEG-prøvene, se vedlegg 4 og 6. Den eneste endringen i disse spektrene ligger, som tidligere nevnt, i området rundt bølgenummer 950 cm^{-1} for analysene gjort med ATR-FTIR. Der oppstår en endring i de rene prøvene R3 og R7, som skiller dem fra de andre rene prøvene. Spektrene til R3 og R7 blir dermed lik spektrene til de brukte løsningene B1-B7. I disse er det ikke mulig å spore noen endringer gjennom prøverekken fra den uoppvarmede B1 til B7, som har vært oppvarmet i seks måneder.

Analysen av prøven med ren, fast PEG-2000 med ATR-FTIR, som har vært oppvarmet til 85°C i 72 timer i luft, ble gjort for å få et spekter av nedbrutt PEG, se vedlegg 5 hvor spekteret er stilt sammen med spektrene for PEG-2000 og impregneringsløsningen til BC06. Det er beskrevet tidligere at forsøk tydelig viser at PEG blir utsatt for nedbrytning ved oppvarming i luft, og dette spekteret viser tydelige endringer sammenlignet med spektrene av R1 og B1. Det er trolig at denne endringen er en indikasjon på dannelse av karboksylsyrer, som har en tydelig topp på bølgenummer $1700\text{-}1730\text{ cm}^{-1}$ ¹⁸². Eksperiment med aldring av Triethylene glycol, TEG, som er kjemisk sammenlignbart med PEG, viser den samme tendens som dette spekteret¹⁸³. Det påvises også at pH-verdien endres som følge av eksperimentet fra pH 5 til pH 2, noe som kan indikere dannelse av syrer.

Denne klare endringen oppstår ikke i spektrene til R1-R7 og B1-B7 og kan tolkes som at PEG-2000 ikke brytes ned og resulterer i dannelse av syrer, som følge av oppvarmingssyklusene det har vært utsatt for. Ut fra disse resultatene ser det ikke

¹⁸² Ibid. s. 62-63.

¹⁸³ Martin Nordvig Mortensen et al., "Tetraethylene glycol thermooxidation and the influence of certain compounds relevant to conserved archaeological wood," *Journal of Archaeological Science* 39, no. 11 (2012). s. 3341-3348.

ut som om oppvarming til 60°C har skadelig påvirkning på PEG-molekylet. Man kan derfor konkludere med at slik oppvarming av impregneringsvæsken ikke er skadelig for impregneringsmiddelet og vil ikke resultere i svekkede egenskaper til det.

Analyseresultatene av PEG-2000 gjort med massespektrometri tyder også på at det ikke er store endringer av molekylstørrelsen, som følge av oppvarmingen det har vært utsatt for. Det ser med andre ord ut til at det ikke har forekommet nedbrytning av PEG gjennom de eksperiment man har gjennomført. Selv med langvarig oppvarming til 60°C er det ikke mulig å spore større endringer av PEG molekylet.

Analysen med MS viser veldig små endringer gjennom prøverekkerne, se vedlegg 7. Det er en liten forskyvning i spektrene til de rene prøvene R1, R6 og R7. R1 har et toppunkt på 704,4 m/z, mens for de to andre prøvene ligger tilsvarende toppunkt på 689,8 m/z. Dette gjelder for PEG-molekyler ionisert med tre ladninger, som gir de høyeste toppene¹⁸⁴. I prøvene med den brukte impregneringsløsningen har B1 og B6 den høyeste toppen på 671,1 m/z, mens B7 har høyeste topp på 689,8 m/z, som tilsvarende R6 og R7.

Sammenligner man spektrene nærmere med hverandre, så ser man at det ikke er stor prosentforskjell mellom de høyeste toppene i alle spektrene, både for de rene løsningene og de brukte. Toppene 704,4 m/z og 689,8 m/z i spektrene for analysen av R1, R6 og R7, de rene løsningene, viser at de varierer lite i høyden. Det er en tilsvarende tendens i spektrene for de brukte løsningene, hvor den høyeste toppen på 675,1 m/z i spektrene for B1 og B6 er noe redusert i spekteret for B7 og blir liggende på linje med 689,8 m/z. Det er veldig lite som skiller dem fra hverandre gjennom de ulike spektrene.

Studerer man massespektrene nærmere, så kan man også legge merke til at det er en liten forskyvning i høydene til toppene. Denne bevegelsen går mot venstre i spektrene og kan antyde en svak forskyvning i molekylstørrelsen i prøvene. Tar man utgangspunkt i toppen på 674,7 m/z i spekteret til R1, så ligger den på ca. 92

¹⁸⁴ Personlig meddelelse Jon Vedde, senioringeniør, Kjemisk institutt UiO.

% forekomst, mens i spektrene for R6 og R7 ligger den på omtrent 95 % forekomst. Den har med andre ord en økning på 3 %. Tilsvarende kan man sammenligne topp 704, 5 m/z i spektrene for de brukte løsningene. Der ser man at toppen ligger på 94 % forekomst i spekteret for B1, 92 % i B6 og 90 % i B7. Det ser ut til å være en gradvis nedgang gjennom de tre analysene. Tendensen i spektrene for både de rene prøvene og de brukte, ser ut til å gli mot lavere molekylstørrelser. Dette vises også i en gradvis økning av topper i området rundt 350-500 m/z. Det er tydeligst i spektrene til de rene prøvene. Der ser man at det nesten ikke forekommer slike topper i spekteret for R1, som er av ren, uoppløst og ikke oppvarmet PEG-2000. I spektrene til B6 og B7 ser man en stadig økning av topper i dette området. Dette er ikke like tydelig når man studerer spektrene til de brukte løsningene, siden det finnes slike topper i området 300-500 m/z i alle spektrene, men det ser ut til å være en prosentvis økning i spekteret til B7.

En antydning til såkalt «tailing» i spektrene kan være en indikasjon på nedbrytning av PEG-2000, men det kan også skyldes ulike produsenter eller kvaliteter av PEG¹⁸⁵. Dette er ikke tilfellet for prøvene med ubrukt PEG-2000, som stammer fra samme produksjonsparti, men i prøvene av impregneringsvæsken kan det forekomme produkter fra flere produsenter. I den tidlige fasen av impregneringen har det også blitt brukt PEG-200 i en kort periode. Dette kan være en mulig forklaring på ulikhetene i spektrene mellom de rene prøvene og de brukte, siden det kan forekomme små mengder PEG-200 fra den tidligste fasen av impregneringen i tillegg til andre stoffer.

En annen åpenbar forskjell mellom de ulike prøvene er R1, som er en analyse av ubrukt PEG-2000. Den kommer direkte fra det innkjøpte partiet med PEG-2000 og har ikke vært oppløst i vann forut for analysen med MS. Dette spekteret kan man anse som referanse for de andre spektrene. Det viser ingen, eller veldig små, forekomster av topper i området 300-500 m/z. En mulig forklaring på at disse toppene viser seg i de andre spektrene kan dermed skyldes hydrolyse i løsningen, noe R1 ikke har vært utsatt for¹⁸⁶. Det kan tenkes at oppløsning i vann av kan ha ført til en viss endring i mengdeforholdet av molekylstørrelsen til PEG-2000

¹⁸⁵ Mortensen, "Stabilization of polyethylene glycol in archaeological wood." s. 17

¹⁸⁶ <https://snl.no/hydrolyse>. 29.05.2015

sammenlignet med fast stoff slik det framstår i spekteret til R1.

5.2 Test av treprøver

Målingene av fleksibiliteten til både fersk og arkeologisk eik ved ulike temperaturer, viste lovende resultat med tanke på fleksibiliteten. Like fullt er det en kjent sak at tre er et vanskelig materiale å gjøre sikre målinger på, siden det ikke er et homogent materiale. Det vil reagere ut fra de forutsetninger det har og hvordan det er oppbygd, behandlet og nedbrutt. Slik det er beskrevet tidligere, så er det mange faktorer som spiller inn i egenskapene til den enkelte tredelen i en konstruksjon, som en båt består av. Det blir derfor vanskelig å kunne trekke sikre konklusjoner basert på enkle eksperimenter, men man kan prøve å komme fram til sannsynlige hypoteser basert på dem.

Testingen av fersk eik tok utgangspunkt i en enkelt planke fra samme tre. Dette ble gjort for å få et så homogent utgangspunkt for prøvene som mulig. Fra denne planken, som målte omtrent fem meter, ble det tatt ut åtte prøver. Hver av disse prøvene var 110 cm lang. Det vil si at prøvene lå side om side, fire på hver side i plankens lengde. Disse åtte prøvene ble så delt i to, slik at hver prøve var 55 cm lang. Grunnen til dette var for å få et større testgrunnlag og dermed minimere eventuelle feilkilder i utførelsen av eksperimentet. Prøvene var i utgangspunktet nummerert fra en til åtte, men etter oppdelingen ble de inndelt i a og b i tillegg til sitt opprinnelige nummer. Det vil si at for eksempel 1a og 1b er to prøver som opprinnelig var prøve nummer 1, som målte 110 cm. Disse er med andre ord tatt ut i rimelig nærhet av hverandre fra den samme trestammen. Prøvene ble deretter bearbeidet, slik at alle var av lik lengde, tykkelse og bredde, før de ble brukt i testing av fleksibilitet.

Prøveresultatene viser at det hovedsakelig er godt samsvar mellom de ulike prøvene, men man ser at det er over 20 % forskjell mellom den minst fleksible prøven 2b til den mest fleksible prøven 3b. Sammenligner man resultatene mellom a og b prøver, så viser de også godt sammenfall bortsett fra 2 og 7. Disse

har henholdsvis 14,8 % og 11,3 % i forskjell, noe som tydelig viser at det kan være variasjoner i egenskapene til trevirket forholdsvis nært i den samme planken. Det betyr at man vanskelig kan forholde seg til tre som et homogent materiale, men at det må vurderes ut fra den enkelte delen, selv om alle delene er av samme tresort. Dette gjør seg særlig gjeldene når det dreier seg om arkeologisk tre. Her er det flere egenskaper som spiller inn på hvordan det vil reagere på behandlingen det blir utsatt for. I tillegg til de enkelte tresorters egenskaper, så må man også ta hensyn til hvordan treet er bearbeidet, deponert og nedbrutt. Dette fører naturlig nok til at det er svært vanskelig å generalisere på bakgrunn av tester utført på slikt materiale.

Det viste seg å være litt problematisk å få gjennomført tilsvarende fleksibilitetstester på arkeologisk eik, som på fersk eik på grunn av materialets beskaffenhet. Det arkeologiske prøvematerialet kom fra samme området som BC06 og hadde omtrent samme datering. Det var kasserte hudbord som ble stilt til rådighet for prøveuttak. Ganske tidlig ble det klart at det ville bli krevende å få bearbeidet prøvene, slik at de hadde samme størrelse som de av fersk eik. Dette gjør det vanskelig å trekke direkte sammenligninger mellom de to materialgruppene. Tilgjengelig prøvemateriale var også et problem, siden det viste seg vanskelig å få tatt ut mere enn en prøve i bredden per hudbord. Problemer med sprekker begrenset muligheten for å benytte store deler av hudbordene. Dette førte til at prøvegrunlaget er begrenset, og siden to av prøvene også måtte forkastes underveis i testen, har man bare fått testet seks prøver. Av disse seks har prøve nr. 3 et stort avvik i forhold til resten, og bør dermed utelukkes fra testresultatet. Dette gir et prøvegrunnlag på fem prøver, som er et tynt grunnlag for å kunne konkludere noe sikkert med tanke på effekten av oppvarming av arkeologisk eik.

Det man kan si, med utgangspunkt i de resultatene man oppnådde, så viser de at fleksibiliteten til arkeologisk eik øker mere enn hva tilfellet er for fersk eik. Gjennomsnittlige økning i bøyingsverdier ligger i området 40-50 %, mens de ligger på 20-40 % for fersk eik. Regner man gjennomsnitt av alle testene, så ser man at snittet for fersk eik ligger på 32,8 %, mens arkeologisk eik har et snitt på

48,0 % økning i fleksibiliteten fra 20°C til 60°C. Undersøkelse av nedbrytningsgraden til de arkeologiske treprøvene viser at det har U_{\max} verdier på 113,1 % til 143,2 %, se vedlegg 3. Disse prøvene er som sagt fra senter av hudbord og består av de best bevarte delene til hudbordene. Det er ikke gjort tester på et tverrsnitt av hudbordene hvor man får med tynnere deler, søm og gjennomboringer. Prøver fra disse områdene ville trolig vist en større nedbrytningsgrad, men siden områdene var uegnet til prøvetaking er de utelatt i denne sammenhengen. De delene som er benyttet til prøver viser gjennomgående en relativ lav nedbrytningsgrad¹⁸⁷.

Vurderingen av resultatene fra undersøkelsen av eiks fleksibilitet ved ulike temperaturer, må også ta hensyn til mulige feilkilder i oppsettet. Innenfor treforskning brukes spesial instrumenter med tilhørende dataprogram, for å utføre testing av egenskaper til tre. Dette kan for eksempel være en Instron universal testmaskin, som har standard oppsett for testing av prøver utformet etter skanorm¹⁸⁸. Innstilling og bruk av dette systemet, sikrer at prøvene testes under like forhold. Dette var utstyr som ikke var tilgjengelig under arbeidet med eksperimentene, men det er lagt vekt på å tilpasse utstyret basert på de samme prinsipp som benyttes innenfor treforskning. Selve testbenken er utformet for at den enkelte prøve skal kunne bevege seg fritt under belastning, se figur 7. Vekten påføres midt på prøven, ved hjelp av et vektlodd på 20 kg, som henger i en stålwire. Et messingrør fordeler vekten jevnt over prøven og hindrer at belastningen blir liggende på kanten av prøven. Målingene ble tatt med et mikrometer, som ble plassert på messingrøret og kalibrert mellom hver test. Avlesning av verdi ble gjort etter belastning i 15 sekunder.

I dette oppsettet er det mulighet for at det kan oppstå ulikheter i målingene. Ved opplasting og kalibrering av mikrometer, kan tiden variere noe fra uttak av vannbadet til målingen er gjennomført. Dette kan spille inn på varmetapet til den enkelte prøven når den er oppvarmet til 60°C. Ut fra de målingene som ble foretatt av varmetap, figur 14, så viser de at det er et varmetap på omtrent 1 grad i

¹⁸⁷ Grattan og Clarke, "Conservation of waterlogged wood." s. 64-67.

¹⁸⁸ Bohumil Kucera, *Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre* (Ås: Norges landbrukshøgskole, Institutt for treteknologi, 1988).

minuttet. Dette var gjort på en større tregjenstand enn tilfellet er for de testede treprøvene, så det er tenkelig at varmetapet kan ha vært større for prøvene.

Testing av treprøvene ble utført så hurtig som mulig, for å unngå forskjeller i varmetap og fordampning, men forskjeller kan ha oppstått. Et annet moment, som er nevnt tidligere, er viktigheten av å belaste på samme punkt på prøven. Det er viktig siden trestrukturen komprimeres mere ved første belastning, enn ved senere belastning i samme punkt. Det er derfor den første målingen ikke regnes med i resultatet, fordi verdien er relativ usikker. Siden prøvene ble testet etter tur med en belastning per gang, for å minimere varmetap og fordampning, betyr det at de ble montert i testbenken tre ganger. Det er derfor mulig at belastningspunktet ikke har vært nøyaktig det samme i hvert tilfelle, noe som gir rom for unøyaktige verdier.

Antall målinger burde ha vært større, siden den første målingen ikke regnes med i gjennomsnittsmålingen. Dette ville ha gitt et større grunnlag for å beregne en gjennomsnittsverdi. Med tanke på de arkeologiske prøvene, så kunne det med fordel ha vært flere prøver med i serien, men begrenset prøvemateriell satte en naturlig begrensning på antallet. Det hadde vært mulig å redusere den fysiske størrelsen på den enkelte prøve og dermed fått et større antall prøver. Dette ble ikke gjort siden størrelsen til de arkeologiske prøvene ble basert på prøvene av fersk eik. I ettertid burde det ha vært omvendt, siden det er vanskeligere å skaffe egnet arkeologisk prøvemateriell til slike eksperiment. Det er heller ikke tatt hensyn til retningen og bredden på åringene i de arkeologiske treprøvene. De varierer fra prøve til prøve, siden hudbordene de er tatt ut fra er saget ut fra stokken i forskjellige vinkler og tre. Fem av prøvene har «liggende» årringer i prøvens bredde, mens tre har «stående» årringer. Fem av prøvene har altså fått påført belastning i radial retning, mens tre er belastet i tangential retning. Dette er forskjeller som kan ha innvirkning på resultatet av målingene¹⁸⁹. Siden prøvene av fersk eik kom fra samme planke, så er retningen og bredden på åringene lik i disse prøvene. Belastningen har derfor vært påført i tangential retning på disse prøvene.

¹⁸⁹ Ibid. s. 4

Alle forskjeller mellom prøvene, særlig de arkeologiske, fører til at det er vanskelig å trekke sikre slutninger basert på dem. Man kan si at testene utført på fersk eik gir et sikrere resultat, ut fra antall og utforming av prøvene, mens resultatet for de arkeologiske er noe mere usikkert av sammen grunn. Et annet moment som problematiserer vurderingen av de arkeologiske prøvene, er at de er impregnert med PEG. Det kan påvirke de mekaniske egenskapene til eik, foruten nedbrytningsgraden¹⁹⁰. Forsøk har påvist en sammenheng mellom PEG innhold og svekkede mekaniske egenskaper, særlig i radial retning. Dette er et forhold som det ikke er tatt hensyn til i utvelgelsen av prøvemateriell, men som kan ha innvirkning på resultatet.

Basert på testene som er utført, så kan man se at både fersk og arkeologisk eik oppnår større fleksibilitet ved en oppvarming til 60°C. Den arkeologiske eiken, som er relativt lite nedbrutt, får størst påvirkning av oppvarmingen, sammenlignet med fersk eik. Det er naturlig å anta at effekten av oppvarming vil være større på hele lengder av hudbord, hvor man har varierende grad av nedbrytning i treet. Ut fra disse testene kan man slutte at det trolig vil være enklere å forme et oppvarmet hudbord kontra et bord ved romtemperatur. Det vil kreve mindre fysisk press på treet og trolig gi mindre deformasjon av overflaten til det, som følge av kompresjon ved forming.

¹⁹⁰ Ingela Bjurhager et al., "Towards improved understanding of PEG-impregnated waterlogged archaeological wood: A model study on recent oak," *Holzforschung* 64, no. 2 (2010). s. 244

5.3 Forming av tre

Et av hovedmålene med konserveringen av Barcode-6, var å klargjøre den for rekonstruksjon og utstilling. For å oppnå dette var det viktig å formgi enkeltdelene forut for frysetørring. Utformingen til BC06 er som tidligere nevnt basert på den rekonstruerte pappmodellen. Den er satt sammen av de oppmålte enkeltdelene av originalmaterialet fra utgravingen av en erfaren trebåtbygger. Oppmåling av denne modellen gav de nødvendige mål på utformingen til enkeltdelene og var bestemmende for det endelige resultatet. Det er med andre ord denne modellen som blir forsøkt rekonstruert med originaldelene til BC06. Det kan selvfølgelig diskuteres hva den originale utformingen til BC06 egentlig er, men det blir et tolknings spørsmål som faller litt på siden av denne oppgaven. Det kan nevnes i denne sammenhengen at den endelige utformingen vil bære med seg flere tolkningsnivå, eller omganger. Bruken av FRAO-arm som dokumentasjonsverktøy, både ved oppmåling av originaldelene og modellen i 1:5, gir rom for subjektive tolkninger¹⁹¹. Det samme gjelder byggingen av en modell basert på dokumenterte enkeltdeler. Tolkningene av hvordan delene passer sammen vil avhenge av båtbyggerens tradisjons- og erfaringsbakgrunn og den noe uvante materialbruken av papir limt på papp. Alle disse nivåene i produksjonen av dokumentasjon spiller inn på det endelige resultatet, som utgjør malen for rekonstruert form.

Det var dette bakgrunns materialet man hadde og måtte forholde seg til ved gjennomføringen av konserveringsprosessen. Utfordringen besto dermed i å tilpasse enkeltdelen den form de var tolket til å ha i rekonstruksjonen. Siden det meste av treet til BC06 var relativt velbevart, lå de største utfordringene i å få formet det og holde det i form under tørking. Arbeidet skulle utføres uten å gjøre for store inngrep i originalmaterialet, eller påføre det skader som følge av formingen. Dette var bakgrunnen for at oppvarming ble benyttet som metode under forming av krevende deler. På bakgrunn av eksperimentene på tre og PEG,

¹⁹¹ Andreas Kerr, "Det digitale båtvrak-En diskusjon om digitalisering av dokumentasjon og rekonstruksjon av arkeologiske båtdeler og båtvrak," (2014). s. 55

viste det seg at oppvarming gav lovende resultat med tanke på dette arbeidet. Opplevelsen man fikk under arbeid med oppvarmet tredeler, viste seg å stemme med resultatene fra fleksibilitetstestene. De var enklere å få satt i form, enn det hadde vært med tilsvarende uoppvarmede hudbord. Uten oppvarming hadde det vært nødvendig å bruke tretvinger, for å få vridd bordene i posisjon mot snittene. Dette er ikke en sikker og kontrollert måte å forme hudbordene på. Det måtte relativt mye kraft til for å klare å forme bordene på denne måten, og dermed øker risikoen for å påføre skader på trevirket, som følge av dette. Det viste seg å være mye enklere å forme oppvarmede bord og det var ikke behov for treklammer, for å få presset hudbord i form. Det var tilstrekkelig med håndkraft for å oppnå ønsket form på bordene, noe som både var enklere og en tryggere metode å sette opp utfordrende hudbord, med mye bøyning og vridning. Kraftbruken på treet var redusert i forhold til forming av uoppvarmet tre.

Det er ikke gjennomført noe sammenligning av eventuelle forskjeller i behandlingsresultatet mellom oppvarmet og uoppvarmet eik. Derfor kan man ikke på nåværende tidspunkt knytte synlige skader og ulikheter til forskjell i behandling. Det vil være mulig å skaffe informasjon om deler med synlige skader har vært oppvarmet eller ikke, men det er et tema som ikke har vært prioritert under arbeidet med rekonstruksjonen. Det man foreløpig kan fastslå er at det i enkelte tilfeller har oppstått trykkskader på trevirket som følge av oppspenningen av hudbord. Metoden med å skru fast bordene ved hjelp av en tverrligger til snitt i kryssfiner, eller bruk av kiler, har i noen tilfeller presset sammen overflaten til treet i disse festepunktene. Dermed har det blitt avtrykk i hudbordene etter kiler og polstring på grunn av dette, se figur 23. Det er ikke overraskende at det har oppstått slike avtrykk, siden det er brukt relativt mye mekanisk press på treet for å forme det, samtidig som overflaten er nedbrutt og mangler styrke til å motstå et slikt press. Det er gjerne også i kanten av bord at slike trykkskader har oppstått. Det kan være en følge av større nedbrytningsgrad av treet, men kan også skyldes selve utformingen til bordet. Det har en profil, som er tykkest på midten og smaler av mot kanten og sømmen i overlapping til neste bordgang. Dette har ført til at det kan bli mye press på midten og ytterpunktene av bordet. Det har ikke vært jevn fordeling av press over hele flaten, som i tillegg har vært ganske smal i snittene,

omtrent 4-5 cm. Dermed har forholdsvis små flatet tatt mye av trykket under oppspenning, noe som i enkelte tilfeller har ført til trykkskader.



figur 23. Eksempler på trykkskader. Av kryssfiner til venstre og kile uten filt til høyre. Foto NMM

Det er ikke observert mye sprekkdannelser i det behandlede trevirket, som følge av konserveringsprosessen. Det generelle inntrykket er at trevirket har beholdt sitt opprinnelige volum, uten oppsprekking av nevneverdig grad. Hudbordene har krympet noe i bredden, men ikke mere enn man kan forvente av en konserveringsprosess. Under rens og håndtering av hudbord ser det ikke ut til å ha oppstått nye, større sprekker, men det har ikke vært en inngående studie av dette i etterkant av frysetørringen. Dokumentasjonslaboratoriet har utført oppmåling av enkelte større deler etter frysetørring for å sammenligne formen til delene, se vedlegg 8. Denne oppmålingen viser liten endring i opprinnelig form, men det er observert en del nye sprekker. Det er uklart om disse nye sprekke er kommet til som følge av behandlingen, eller at det har blitt enklere å observere dem på tørt trevirke. Det dreier seg trolig om en kombinasjon av begge.

Forstevnen til BC06 viste seg å bli et unntak med tanke på å sikre en stabil form gjennom konserveringsprosessen. I denne delen har det oppstått vridninger under



Figur 24. Forstevn etter frysetørring. Foto NMM.

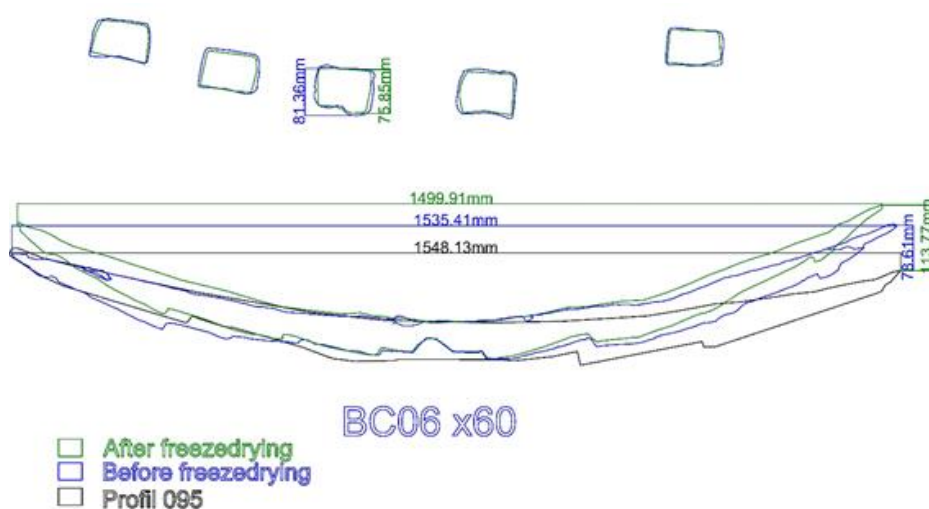
behandlingen. Vridningene er så stor, at det vil bli problematisk å tilpasse den inn i rekonstruksjonen, se figur 24.

Ut fra oppmåling før og etter frysetørring, så kan man se at endene på stevnet har vridd seg i hver sin retning, i forhold til den første oppmålingen, se vedlegg 8. Totalt sett utgjør dette en så stor formendring at det gir problem med innpassingen i BC06.

Forstevnet ble frysetørret sammen med kjølen og andre større deler til BC06. Av disse delene var det bare kjølen som var spendt opp i form. De andre delene ble plassert løst på hyllene i frysetørreren uten noen form for oppspenning. Grunnen til dette var at det hovedsakelig dreide seg om band og innved i båten og formen til disse ble ikke ansett som avgjørende for å oppnå en god rekonstruksjon. Derfor ble det ikke prioritert å investere mye arbeidsinnsats i å sikre formen til disse delene. Det viste seg å være en forhastet beslutning med tanke på forstevnen. Uten oppspenning har formendringen blitt ganske betydelig og skaper problem i arbeidet med rekonstruksjonen.

Ett annet eksempel på at deler har endret form er band BC06 x60, se figur 25. Dette bandet har blitt dokumentert tre ganger, først i felt, så etter innkomst til museet og til slutt etter frysetørring. Dokumentasjonen av denne delen viser en interessant utvikling av formen til bandet. Man kan legge merke til at banden har en tendens til å reise seg i profilen. Det blir kortere avstand mellom ytterkantene. Ut fra oppmålingene, så ser man at den største endringen inntreffer fra felt til oppmåling på museet. Dette kan skyldes unøyaktigheter ved selve oppmålingen, men det kan også være et tegn på at bandet har vært utsatt for stort press fra

massene før utgraving. Det fysiske presset på delen har flatet det ut i forhold til opprinnelig form, men etter at presset er tatt bort begynner delen å gå tilbake til utgangspunktet før deponering. Om dette er tilfellet, så viser det hvor problematisk det kan være å tolke og rekonstruere en arkeologisk båt. Formen til skroget på en båt kan tolkes ut fra vinklingen til band, og siden dette er blant de mest solide delene i en båt kan denne formen vektlegges som et stabilt utgangspunkt for skrogets bredde. Det kan gi seg utslag i hvordan en rekonstruert modell blir seende ut, noe som kan bli problematisk, om man baserer den på vinkler som er i utvikling.



Figur 25. Sammenligning av dokumentasjon til formen av BC06x60 i ulike stadier.
 Ill: S. Fawsitt/NMM

Det viser også at det ikke kun er konserveringsprosessen som påvirker formen til enkeltdeler i ett arkeologisk materiale. Ut fra dokumentasjonen kan man også legge merke til at bandet har en tendens til å løfte seg mere på den ene siden av senter. Dette fører til en noe ujevn vinkling av bandet, som i likhet med forstevnen, kan skape problemer med innplassering i rekonstruksjonen. Grunnen til at slike deler kan ha en uforutsett endring av formen, kan ha sammenheng med utvelgelsen av emner til disse delene av båten. Det brukes tradisjonelt naturgrodde emner med ønsket form som passer konstruksjonen. Det kan være krumvokste

trær eller overgang mellom stamme og greiner/rot, som brukes til disse delene. Dette gir emner som har andre egenskaper enn rette stammer. Som tidligere nevnt kan slike deler bestå av treceller, som reagerer annerledes på tørkeprosessen. Forhold som celluloseinnhold, vinkel på mikrofibriller i forhold til vekstretning og innhold av ungdomsved, kan alle spille inn på hvordan delen vil utvikle seg under tørkeprosessen. Reaksjonsved kan føre til større lengdekrymping enn normalt, på grunn av dårlig forbindelse til G-laget i cellene¹⁹². Trefiberretningen endrer seg også i overgang mellom stamme og greiner/rot. Dette endrer vinkelen til mikrofibrillene, som igjen påvirker i hvilken retning den største krympingen vil foregå ved tørking¹⁹³. Vanligvis oppstår det mest krymping i tangensial retning av treet¹⁹⁴, men når fiberretningen endres, endres også retningen av den største krympingen til treet.

Ut fra dette, og i sammenheng med at deler også kan være presset ut av form, så er det klart at man kan få seg noen overraskelser under konservering av dem. Det viser nødvendigheten av å sikre formen til vitale deler av båtkonstruksjonen, før de blir tørket. Dette ble særlig vektlagt under arbeidet med kjølen, siden man var bevist de problemene som kunne oppstå under prosessen. Kjølen viste seg også å besitte store krefter, som motsatte seg endring av form. Den krevde inngrep i originalmaterialet, men metoden som ble valgt betød forholdsvis lite tap av dette. Det er vanskelig å se hvordan kjølen skulle ha blitt formet uten disse inngrepene. En utvendig sikring ville ha ført til stort press på overflaten, som kunne ha ført til skader. Det ville heller ikke garantere at kjølen ikke kunne dra seg ut av stilling under frysetørringen. Siden den var i stand til å bøye stålbjelken den ble forankret til, så tyder det på at en utvendig sikring ville ha betydd massivt press på kjølen.

Arbeidet med forming av treet til BC06 kan sies å ha vært vellykket all den tid enkeltdelene ser ut til å finne sin plass i rekonstruksjonen. Kjølen har sin tiltenkte form og det har ikke oppstått skader på den, bortsett fra de inngrep som er foretatt. Hudbordene ser ut til å la seg plassere inn, uten behov for ytterligere former for press, noe som er med på å unngå skader på materialet. De problem som har

¹⁹² Haygreen og Bowyer, *Forest products and wood science: an introduction*. s. 34

¹⁹³ Kucera, *Treets oppbygning og vedanatomi*. s. 25-26

¹⁹⁴ <http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=58>. 11.06.2015

oppstått har tilknytning til deler hvor man ikke har forsøkt å kontrollere formen gjennom konserveringsprosessen. Dette har i de fleste tilfeller vært et bevist valg, men i tilfellet med forstevnen, så skyldes det at det omfattende arbeidet med kjølen har tatt fokus fra andre vitale deler i BC06. Hvor uforutsigbar slike deler kan oppføre seg viser også resultatene av oppmålingen av for- og akterstevnen. Begge har blitt behandlet uten oppspenning med det resultat at forstevnen har fått en problematisk vridning, mens akterstevnen har beholdt en tilnærmet opprinnelig form.

6 Konklusjon

De resultatene man har fått fra arbeidet med konserveringen av Barcode-6, viser at sykliske oppvarminger av impregneringsløsningen til 60°C gir et mere fleksibelt trevirke og det fører ikke til nedbrytning av PEG-2000. Dette er et resultat som førte til at metoden ble tatt i bruk under deler av konserveringsprosessen forut for oppspenning av hudbord og kjøll. Testing av tre og analyse av PEG viste at det var mulig å oppnå et enklere formbart materiale, uten at det hadde skadelig effekt på impregneringsmiddelet, noe man antok ville gi et bedre sluttresultat av hele prosessen med konservering og rekonstruksjon av BC06.

Det har også vist at det kan være utfordrerne å forme arkeologisk tre. Det stiller store krav til skånsomme metoder, samtidig som man er avhengig av til dels sterke pressmidler. Dette er to prinsippløse som er vanskelige å forene, men på grunn av en sterk kjerne og nedbrutt overflate, må man forsøke å forene dem på best mulig måte. Det metodevalget som ble tatt i forbindelse med konserveringen av BC06 har vist seg å fungere tilfredsstillende. Arbeidet utført på kjølen har gjort det mulig å kontrollere og formen den med minimalt tap av originalmateriale. Den har heller ikke fått trykkskader i overflaten, som følge av metoden, noe som sikrer og bevarer bruks- og verktøysspor. Oppspenning av hudbord ved hjelp av profiler i kryssfiner viste seg å være en forholdsvis enkel og effektiv metode for å forme bordene. Den sørget for et tilstrekkelig press, for å holde dem i form, og var fleksibel nok til å kunne justeres underveis i arbeidet. Det sørget for en god framdrift i kritiske faser av arbeidet med konserveringen, slik at man unngikk utilsiktet tørking av treet.

Resultatet av konserveringen ser ut til å ha vært relativt vellykket, så langt i prosessen. Rekonstruksjonen av originalmaterialet til BC06 lar seg utføre uten for store problemer med innpassing av delene til den. De har fått, og beholdt, den formen man i utgangspunktet ønsket å gi dem basert på den rekonstruerte modellen av båten. Det vil bli problemer med innplassering av forstevnen og det må utvikles løsninger for ett støtte/transportsystem for BC06 når den skal

settes inn i monteret. Dette er problemer som må løses, før arbeidet med rekonstruksjonen av Barcode-6 etter planen er ferdigstilt i slutten av 2015.

På bakgrunn av de erfaringer man har fått med dette arbeidet, så er det alltid rom for forbedringer. En av dem vil være å sørge for forbedringer når det kommer til polstringer i festepunkter for hudbord. En fordeling av trykket på større flater vil trolig redusere trykkskader på treoverflaten. Dette må naturlig nok avveies i forhold til tørkeeffekten, men det er mulig å gjøre forbedringer på dette punktet. Det hadde også vært ønskelig å undersøke nærmere hva oppvarming har å si på hvor mye fysisk press man må påføre en gjenstand under forming av den. Utvikling av et måleinstrument som kan måle fysisk trykkvil kunne gi svar på dette, og det er tenkt å utvikle instrumentet og prøve det ut ved senere konserveringsoppdrag. Det er også ønskelig å gjøre en undersøkelse på om omfanget av trykkskader har sammenheng med forming fra kald eller varm tilstand. En annen erfaring er å sørge for at alle viktige deler for formen til båten blir sikret i ønsket form, før tørkeprosessen. Skal delene brukes i en rekonstruksjon, så må man sørge for at delene er formet forut for tørking av dem. Slik vil man unngå problemer senere i prosessen. Arbeidet med kjølen har produsert løsninger, som har vist seg å løse flere utfordringer i samme prosess. Metoden har sørget for en stabil plattform for forming av den, samtidig som den gir utgangspunktet for et støttesystem til hele den rekonstruerte båten under transport og på utstilling.

Det gjenstår ennå mye arbeid med BC06, før den kan tilbakeføres til det området av Oslo hvor den ble deponert i tiden før 1624, og senere utgravd på begynnelsen av 2000-tallet. Det er utfordringer som må løses, men så langt i prosjektet har metodene som er valgt, sørget for at Barcode-6 vil finne sin endelige form, ankret opp i det havneområdet den var en del av for 400 år siden.

Litteraturliste

Internetsider

http://chemindustry.ru/Polyethylene_Glycol.php

<http://www.chemicaland21.com/industrialchem/organic/POLYETHYLENE%20GLYCOL.htm>

http://web.archive.org/web/20070216065646/http://las.perkinelmer.com/content/TechnicalInfo/TCH_FTIRATR.pdf

<http://pslc.ws/mactest/sec.htm>

<http://www.marmuseum.no/no/arkeologi/dokumentasjonslaboratoriet/Dokulab'en.d25-SwJnQ5s.ips>

[http://baatlaben.blogspot.no/search?updated-min=2010-05-](http://baatlaben.blogspot.no/search?updated-min=2010-05-01T00:00:00%2B02:00&updated-max=2010-06-01T00:00:00%2B02:00&max-results=19)

[01T00:00:00%2B02:00&updated-max=2010-06-01T00:00:00%2B02:00&max-](http://baatlaben.blogspot.no/search?updated-min=2010-05-01T00:00:00%2B02:00&updated-max=2010-06-01T00:00:00%2B02:00&max-results=19)

<http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/m/mikrofibriller.html>

<http://snl.no/cellulose>

<https://snl.no/hemicelluloser>

http://www.delebanken.no/ffr/info_om_paelemark_og_andre_boredyr.pdf
09.10.2014

http://wreckprotect.eu/fileadmin/site_upload/wreck_protect/pdf/shipwormspdfnew.pdf

<https://snl.no/sublimasjon>

https://snl.no/eutektisk_blanding

http://www.denstoredanske.dk/It%2c_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Klassisk_mekanik_og_kvantefysik/endoterm

http://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/om/infrastruktur/ms/instrumenter/instrument_qtof.html

http://www.oilgae.com/ref/glos/osmotic_shock.html

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/fluka/81321?lang=en®ion=NO>

<http://www.chemvista.org/ramanIR4.html>

http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/Infrared_Spectroscopy/How_an_FTIR_Spectrometer_Operates

<http://www.arctandria.no/ordforklaringer/>

<https://snl.no/hydrolyse>

<http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=58>

Studemateriell PowerPoint TRE200, NMBU januar 2012, forelesing gitt av Olav Høibø.

Forelesing gitt av Holger Militz 22.01.2012

Almkvist, Gunnar. "The chemistry of the Vasa." *Doctoral thesis*, no. Sveriges lantbruksuniv. Uppsala (2008).

Almkvist, Gunnar, og Ingmar Persson. "Degradation of polyethylene glycol and hemicellulose in the Vasa." I *Holzforschung*, 64, 2008.

Barkman, Lars. *The preservation of the Vasa*. Stockholm: Statens sjöhistoriska museum, 1965.

Bjurhager, Ingela, Jonas Ljungdahl, Lennart Wallström, Kristofer Gamstedt, Lars A. Berglund, Lennart Wallstrom, og E. Kristofer Gamstedt. "Towards improved understanding of PEG-impregnated waterlogged archaeological wood: A model study on recent oak." *Holzforschung* 64, no. 2 (2010): 243-50.

Björdal, C. G., T. Nilsson, og G. Daniel. "Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden Applicable to archaeology and conservation." *International Biodeterioration & Biodegradation* 43, no. 1-2 (//Spring 1999): 63-73.

Blanchette, R. A., Roger M. Rowell, og R. James Barbour. "Biological degradation of wood

Archaeological Wood." *Advances in Chemistry Series*, no. 225 (1990): 141-74.

Blanchette, Robert A. "A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments." *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, no. 3 (10// 2000): 189-204.

Blindheim, Charlotte. *Da Gokstadskipet ble gravet*. Gokstadfunnet: et 100-års minne = The Gokstad excavations : centenary of a Norwegian Viking find. Vol. 1979/1980, Sandefjord1981.

Christensen, Arne Emil, og Gunnar Leiro. *Klåstadskipet*. Tønsberg1976.

Christensen, Mikkel. "Ramanspektroskopiske undersøgelser

af vanddrukket arkæologisk træ.

Nedbrydning. PEG som konserveringsmiddel.", København, 2006.

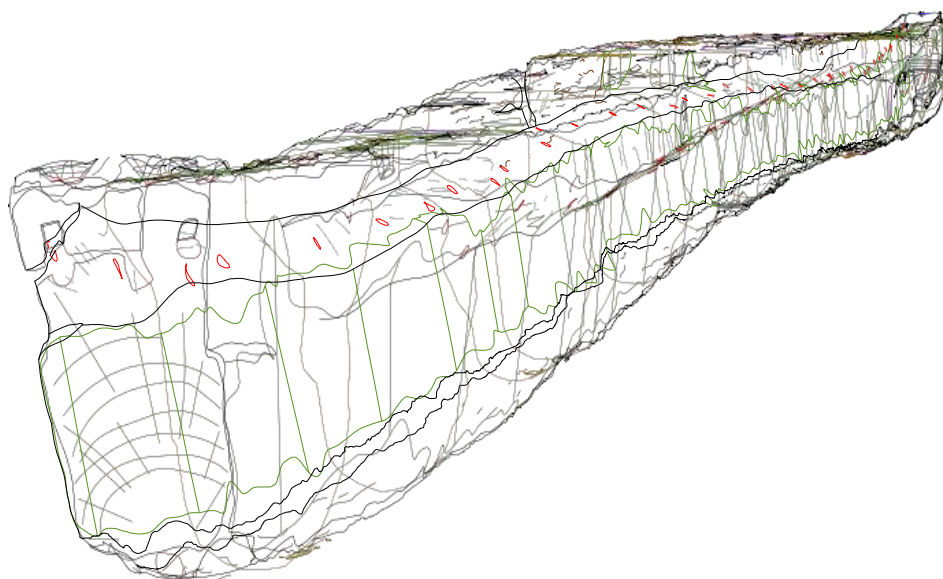
- Crumlin-Pedersen, Ole, og Olaf Olsen. *The Skuldelev ships I*. Vol. vol. 4, Roskilde: Viking Ship Museum in Roskilde, 2002.
- Crumlin-Pedersen, Ole, og Athena Trakadas. *Hjortspring : a pre-roman Iron-age warship in context*. Ships and boats of the North. Vol. vol. 5, Roskilde: The Viking Ship Museum, 2003.
- Fors, Yvonne. "Sulfur-related conservation concerns for marine archaeological wood : the origin, speciation and distribution of accumulated sulfur with some remedies for the Vasa." Stockholm university, 2008.
- Glastrup, Jens. "Degradation of polyethylene glycol. A study of the reaction mechanism in a model molecule: Tetraethylene glycol." *Polymer Degradation and Stability* 52, no. 3 (6// 1996): 217-22.
- Godal, Jon Bojer. *Tre til båtar*. Oslo: Landbruksforl., 2001.
- Grattan, David W, og RW Clarke. "Conservation of waterlogged wood." I *Conservation of marine archaeological objects*, 164-206: Butterworths, 1987.
- Gundersen, Jostein. "Barcode Project: fifteen Nordic clinker-built boats from the 16th and 17th centuries in the city centre of Oslo, Norway." Istanbul: Ege Yayinlari, cop. 2012, 2012.
- Han, Seongok, Chongyoun Kim, og Dongsook Kwon. "Thermal/oxidative degradation and stabilization of polyethylene glycol." *Polymer* 38, no. 2 (1// 1997): 317-23.
- Haygreen, John G., og J. L. Bowyer. *Forest products and wood science: an introduction*. Ames, IA: Iowa State University Press, 1996.
- Helms, A.C. *Bacterial Diversity in Waterlogged Archaeological Wood*. National Museum, 2008.
- Henning, Torsten , og Rainer Wagner. "Polyethylene glycol and production of the same." United States, 2007.
- Herbst, C.F. "Om Bevaring af Oldsager af Traefundet Torfemoser." *Antiquarisk tidsskrift 1858-60* (1861).
- Hocker, Emma, Gunnar Almkvist, og Malin Sahlstedt. "The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective." *Journal of Cultural Heritage* 13, no. 3, Supplement (9// 2012): S175-S82.
- Hoffmann, Per. "On the efficiency of stabilisation methods for large waterlogged wooden objects, and on how to choose a method." I *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007*, redigert av K. Strøtkvern og D. J. Huisman. Nederlandse archeologische rapporten: NAR, 37, 323-50. Amersfoort
- Netherlands: Rijksdienst voor Archeologie Cultuurlandschap en Monumenten, 2009.
- . "On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. II. Designing a two-step treatment for multiquality timbers." *Studies in Conservation* 31 (1986).
- . "Short note on the conservation program for the." Paper presented at the Conservation of waterlogged wood. International symposium on the conservation of large objects of waterlogged wood, Amsterdam, 24-28 sept. 1979, 1981.
- . "To be and to continue being a Cog: the conservation of the Bremen Cog of 1380." *The International Journal of Nautical Archaeology* 30, no. 1 (// 2001): 129-40.

- Hon, D.N.S., og N. Shiraishi. *Wood and Cellulosic Chemistry, Second Edition, Revised, and Expanded*. Taylor & Francis, 2000.
- Hovdan, Monika, Brynjar Sandvoll, og Pål Thome. "Conservation of a 17th century boat, Barcode 6, for exhibition." (In press 2015).
- Jensen, Poul, Kristiane Strætkvern, Ulrich Schnell, og Jan Bruun Jensen. "Technical specifications for equipment for vacuum freeze-drying of PEG impregnated waterlogged organic materials
- Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference." 2009.
- Kerr, Andreas. "Det digitale båtvrak-En diskusjon om digitalisering av dokumentasjon og rekonstruksjon av arkeologiske båtdeler og båtvrak." (2014).
- Kucera, Bohumil. *Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre*. Ås: Norges landbrukshøgskole, Institutt for treteknologi, 1988.
- . *Treets oppbygning og vedanatomi*. Ås: Norsk institutt for skogforskning, 1998.
- Money, Np. "Osmotic Pressure of Aqueous Polyethylene Glycols : Relationship between Molecular Weight and Vapor Pressure Deficit." *Plant Physiol.* 91, no. 2 (1989): 766-69.
- Mortensen, Martin Nordvig. "Stabilization of polyethylene glycol in archaeological wood." *Ph.D. Dissitation*, no. Danish Polymer Center, Lyngby (2009).
- Mortensen, Martin Nordvig, Helge Egsgaard, Søren Hvilsted, Yvonne Shashoua, og Jens Glastrup. "Tetraethylene glycol thermooxidation and the influence of certain compounds relevant to conserved archaeological wood." *Journal of Archaeological Science* 39, no. 11 (11// 2012): 3341-48.
- Møller Andersen, Lars. *Frysetørring af arkæologisk træ : og andre våde organiske materialer*. [Viborg]: Konservatorskolen, Det Kongelige Danske Kunstakademi, 1993.
- Paasche, Knut. "Tuneskipet: dokumentasjon og rekonstruksjon." Universitetet i Oslo, Institutt for arkeologi, konservering og historie, 2010.
- Padfield, Tim, Janne Winsløw, W.B .Pedersen, og Jens Glastrup. "DECOMPOSITION OF POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) ON HEATING." *ICOM-CC (International Council of Museums - Conservation Committee) Conference, Dresden 1* (1990 1990).
- Pavia, Donald L. *Introduction to spectroscopy*. 4th ed. utg. Belmont, Calif: Brooks/Cole, 2009.
- Pearson, Colin. *Conservation of marine archaeological objects*. London: Butterworths, 1987.
- Pedersen, N. B., C. G. Bjordal, P. Jensen, og C. Felby. "13 Bacterial Degradation of Archaeological Wood in Anoxic Waterlogged Environments." I *Stability of Complex Carbohydrate Structures: Biofuels, Foods, Vaccines and Shipwrecks*, 160-87: The Royal Society of Chemistry, 2013.
- Planke, Terje. *Sognebåten : bygging, formforståelse og kunnskap*. S.l.: s.n., 1997.
- . "Tradisjonsanalyse : en studie av kunnskap og båter." Det historisk-filosofiske fakultet, Universitetet i Oslo, 2001.
- Rosenqvist, Anna, og Helge-Bjørn Kirkedam. "Frysetørring og elektronikk tar vare på fortiden." *Årbok Sandefjordmuseene* (1976): 37-42.

- Rosenqvist, Anna M. "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part I." *Studies in Conservation* 4, no. 1 (1959): 13-22.
- . "The Stabilizing of Wood Found in the Viking Ship of Oseberg: Part II." *Studies in Conservation* 4, no. 2 (1959): 62-72.
- Schnell, Ulrich; Jensen, Poul;. "Determination of Maximum Freeze Drying Temperature for PEG-Impregnated Archaeological Wood." *Studies in Conservation, Volume 52, Number 1, p.50-58. 2007.* (
- Stamm, A. J. "The dimensional stability of wood." *Forest Products Journal* 10 (1959): 375-81.
- Strætkvern, Kristiane. *Freezing of Polyethyleneglycol-Compression strenghts and freezing curves for high-molecular weight PEGs with and without low-molecular weight PEGs added.* Proceedings of the 8th ICOM group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001
- redigert av Per Hoffmann, J.A. Spriggs, T. Grant, C. Cook og A. Recht Bremerhaven: International Council of Museums, 2002.
- Strætkvern, Kristiane, Anette Hjelm-Petersen, John Nørlem Sørensen, Ernst Jørgensen, Morten Gøthche, og Thorkild Thomassen. "Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames." I *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007*, redigert av K. Strætkvern og D. J. Huisman. Nederlandse archeologische rapporten: NAR, 37, 439-54. Amersfoort
- Netherlands: Rijksdienst voor Archeologie Cultuurlandschap en Monumenten, 2009.
- Stålegård, Lars. ""Barcode" bygges : av Lars Stålegård." *Kysten (Oslo : 1980).* (2011).
- Tjellden, A. K., Botfeldt, K. B. and Pilkjær, K. "Impregnation Depth of PEG in Wood from the Roskilde Ships, Denmark." *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam 2007.* (2007).
- Treteknisk håndbok.* Vol. nr. 4, Oslo: Norsk treteknisk institutt, 2009.
- Ullevålseter, R. O. *Trevirket i norske trefartøyer: undersøkelser over biologiske skader og beskyttelsesmetoder.* Bergen 1968.
- Vangstad, Hilde. "Bjørvika, et amfibiearkeologisk eldorado : eller da arkeologene fra Norsk Maritimt Museum krøp opp på land." I *Hundre år over og under vann*, redigert av E. Koren og F. Kvalø. Oslo: Novus forl., 2014, 2014.
- Zumdahl, Steven S. "Chemical Principles 3RD Edition." (1998): 1040.

Vedlegg:

Vedlegg 1



Oppmåling av kjølen til BC06

Vedlegg 2

Fleksibilitet for fersk eik ved ulike temperaturer

Prøve nr.	20°C	Snitt	60°C	Snitt	Differanse
1a	3,53/3,52/3,57 mm	3,55 mm	5,31/5,13/4,89 mm	5,01 mm	1,46 mm-41,1 %
1b	3,43/3,48/3,45 mm	3,47 mm	5,42/5,09/4,65 mm	4,87 mm	1,40 mm-40,3 %
2a	3,17/3,09/3,17 mm	3,13 mm	5,01/4,36/4,20 mm	4,28 mm	1,15 mm-36,7 %
2b	3,26/3,18/3,23 mm	3,19 mm	4,21/3,95/3,83 mm	3,89 mm	0,70 mm-21,9 %
3a	3,80/3,79/3,86 mm	3,83 mm	5,66/5,39/5,08 mm	5,24 mm	1,41 mm-36,8 %
3b	3,68/3,72/3,61 mm	3,67 mm	5,85/5,47/5,04 mm	5,26 mm	1,59 mm-43,3 %
4a	2,78/2,44/2,64 mm	2,54 mm	3,53/3,37/3,29 mm	3,33 mm	0,79 mm-31,1 %
4b	3,35/3,03/3,17 mm	3,10 mm	4,81/4,56/4,19 mm	4,38 mm	1,28 mm-41,3 %
5a	2,88/2,95/2,88 mm	2,92 mm	4,03/3,76/3,54 mm	3,65 mm	0,73 mm-25,0 %
5b	2,72/2,88/2,81 mm	2,85 mm	3,96/3,65/3,55 mm	3,60 mm	0,75 mm-26,3 %
6a	3,45/3,49/3,53 mm	3,51 mm	4,73/4,59/4,35 mm	4,47 mm	0,96 mm-27,4 %
6b	2,98/3,17/3,06 mm	3,12 mm	4,09/4,05/3,90 mm	3,98 mm	0,86 mm-27,6 %
7a	3,31/2,97/2,98 mm	2,98 mm	4,46/4,14/3,99 mm	4,07 mm	1,09 mm-36,6 %
7b	2,79/3,11/2,74 mm	2,93 mm	3,95/3,74/3,63 mm	3,67 mm	0,74 mm-25,3 %
8a	3,48/3,43/3,44 mm	3,44 mm	4,98/4,70/4,50 mm	4,60 mm	1,16 mm-33,7 %
8b	3,13/3,12/3,07 mm	3,10 mm	4,56/4,12/3,96 mm	4,04 mm	0,94 mm-30,3 %

Prøvene er av feilfri eik 55 x 4 x 2 cm, l x b x h. De har vært lagret i vann siden mai 2013 til målingene ble utført april 2014.

Vedlegg 3

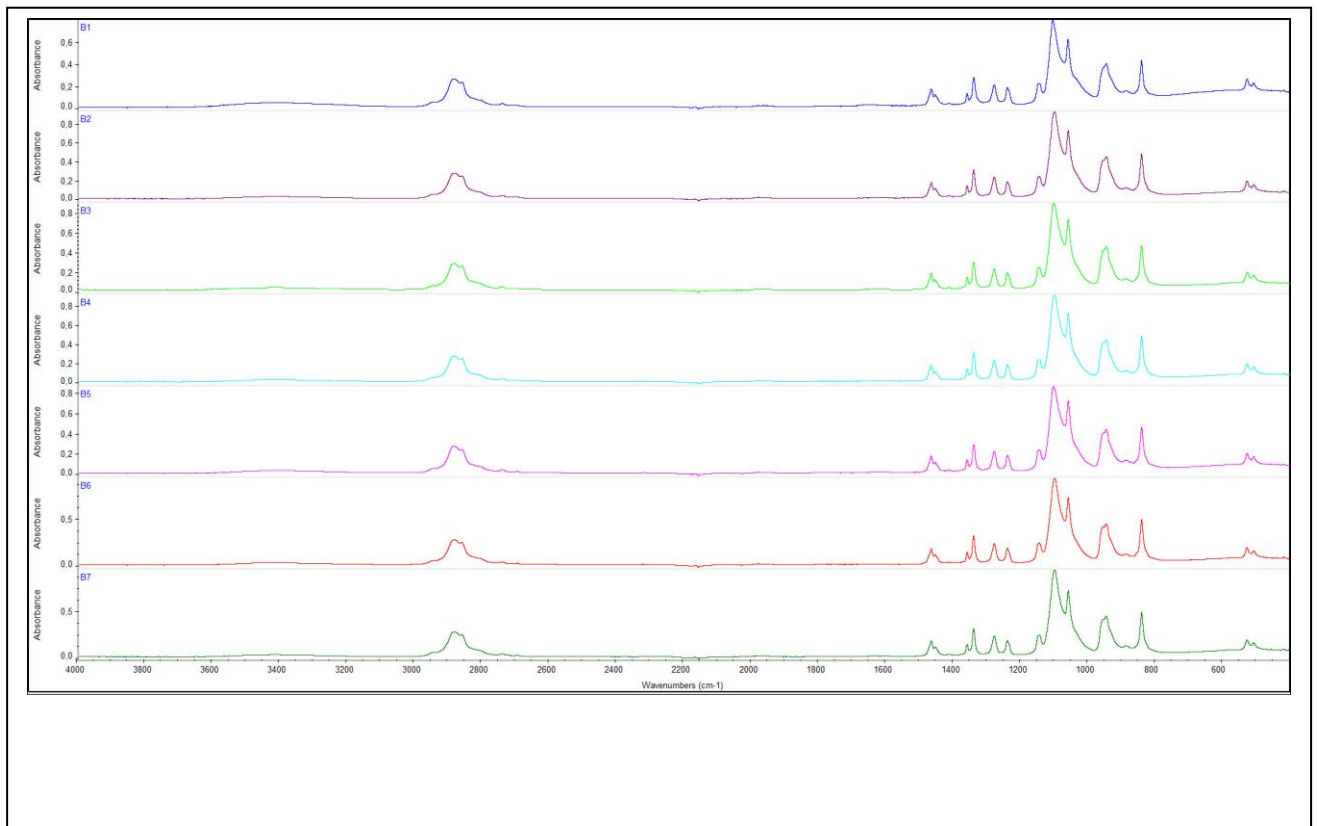
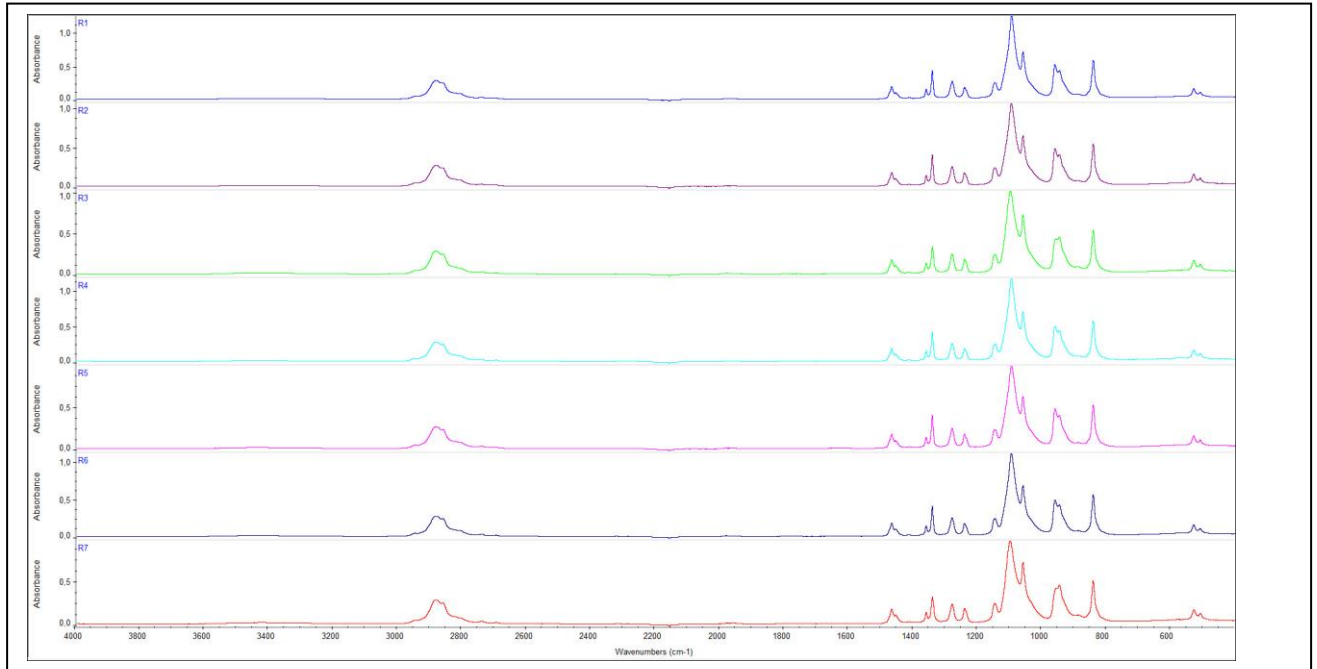
Oversikt arkeologiske treprøver

Nr	Opprinnelse	20°C	Snitt	60°C	Snitt	Diff.
Nr 1	Del av x 9-s 9	3,35/3,46/3,31	3,39 mm	5,18/5,06/5,02	5,06 mm	1,67-49,3 %
Nr 2	Del av x 9-s 9	4,48/4,58/4,23	4,41 mm	Over 10 mm		
Nr 3	Del av x 11-s 9	2,92/2,66/2,54	2,60 mm	3,12/2,87/2,56	2,72 mm	0,12-4,6 %
Nr 4	Del av x 11-s 9	4,03/4,32/3,84	4,08 mm	6,59/6,07/5,57	5,82 mm	1,74-42,6 %
Nr 5	Del av x 2-s 9	3,98/3,62/3,64	3,63 mm	5,93/5,67/5,33	5,50 mm	1,87-51,5 %
Nr 6	Del av x 2-s 9	3,84/3,19/2,92	3,06 mm	5,04/4,44/4,17	4,31 mm	1,25-40,8 %
Nr 7	Del av x 2-s 9- Utgår.					
Nr 8	Del av x 2-s 9	2,43/2,35/2,33	2,34 mm	3,53/3,66/3,63	3,65 mm	1,31-56,0 %

Nr	Vekt vasstrukket	Vekt Ovnstørket	Vekt 24 t	U _{max}
Nr 1	742,6 gr	326,5 gr	329,8 gr	127,4 %
Nr 2	717,2 gr	323,7 gr	328,5 gr	121,6 %
Nr 3	864,8 gr	356,4 gr	361,7 gr	142,6 %
Nr 4	790,6 gr	341,8 gr	347,6 gr	131,3 %
Nr 5	768,0 gr	354,7 gr	358,7 gr	116,5 %
Nr 6	966,9 gr	453,7 gr	457,4 gr	113,1 %
Nr 7	1014,7 gr	448,0 gr	455,7 gr	126,5 %
Nr 8	974,5 gr	400,7 gr	405,4 gr	143,2 %

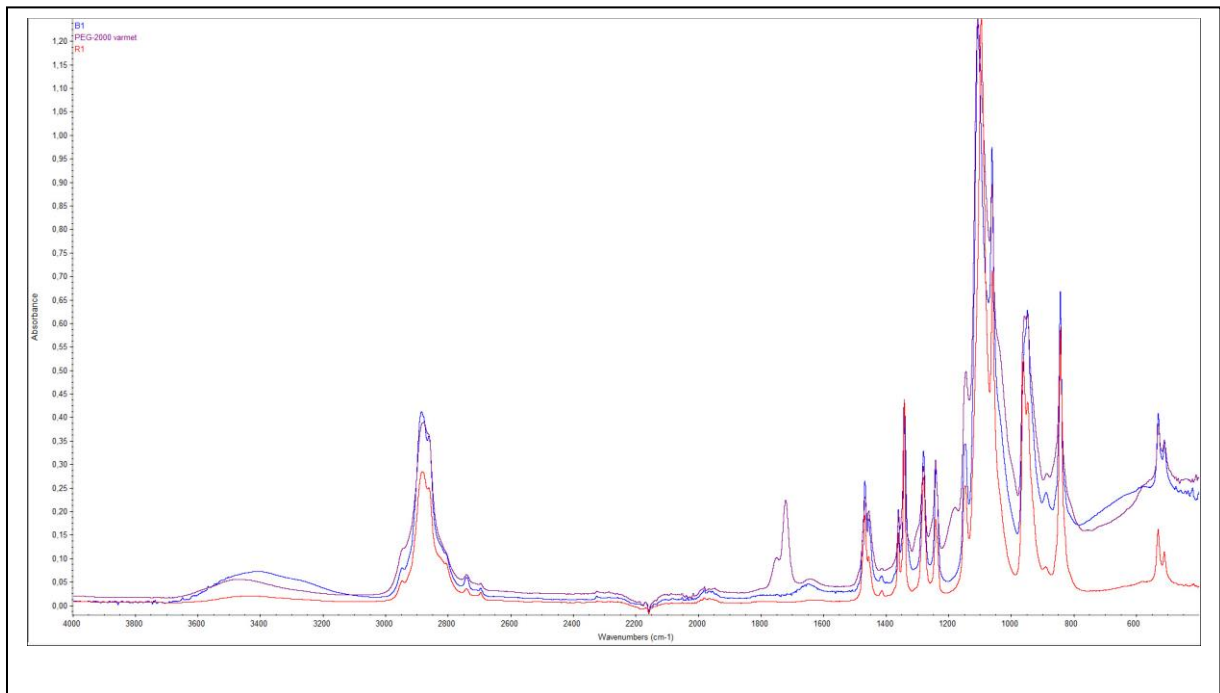
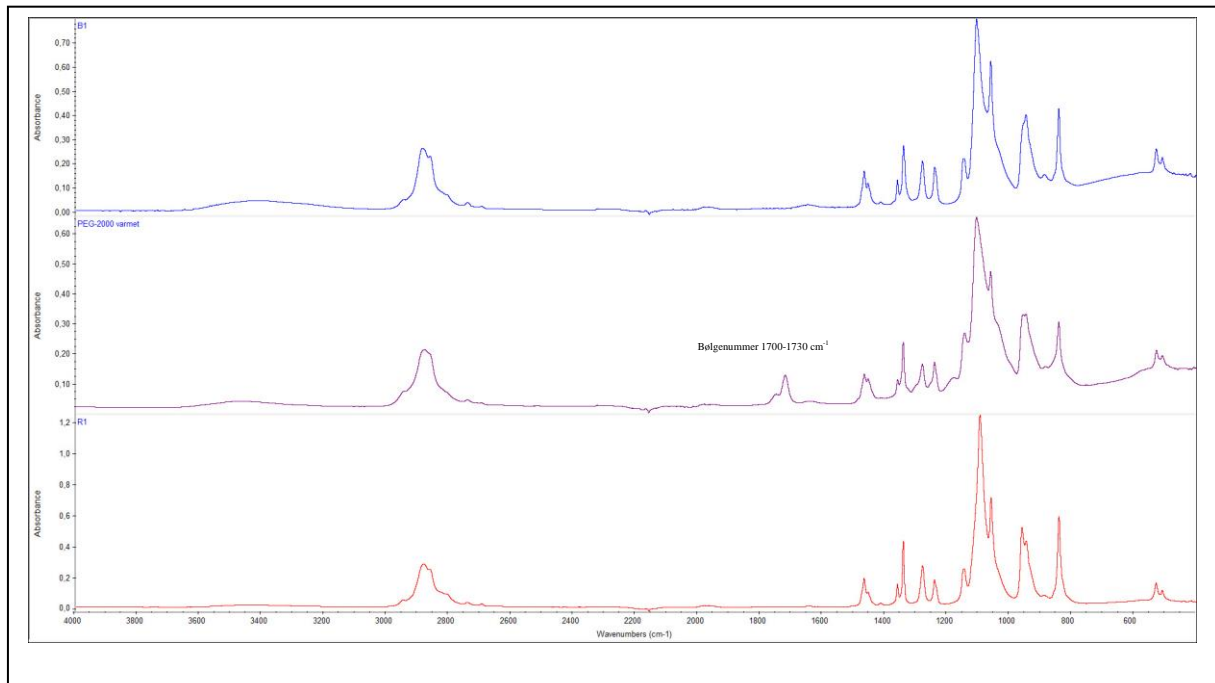
Vedlegg 4

ATR-FTIR spekter av PEG-2000 analysene



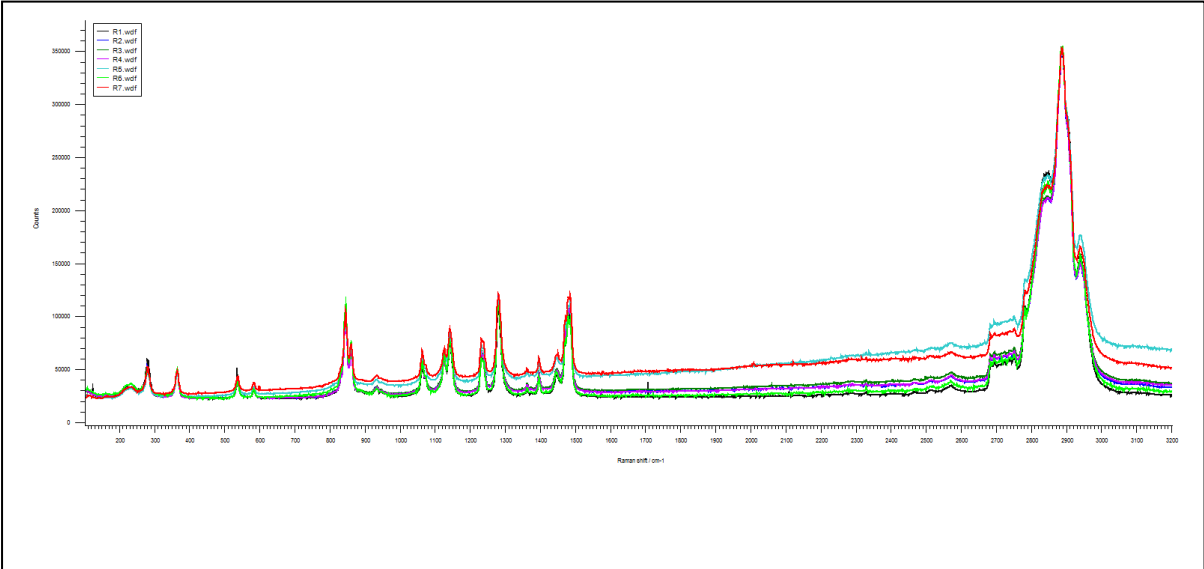
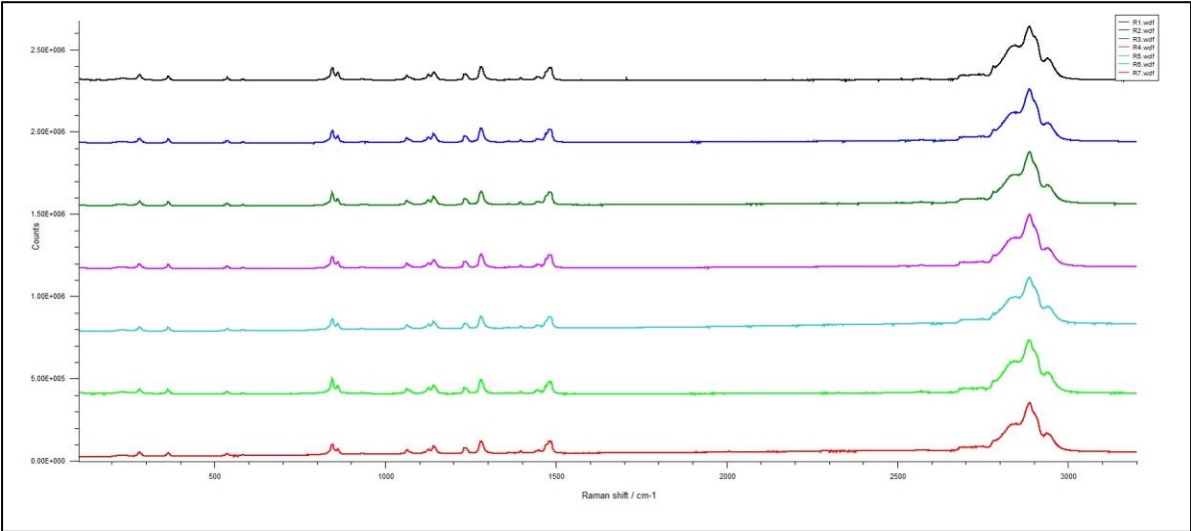
Vedlegg 5

ATR-FTIR spekter av B1, PEG-2000 varmt til 85°C og R1



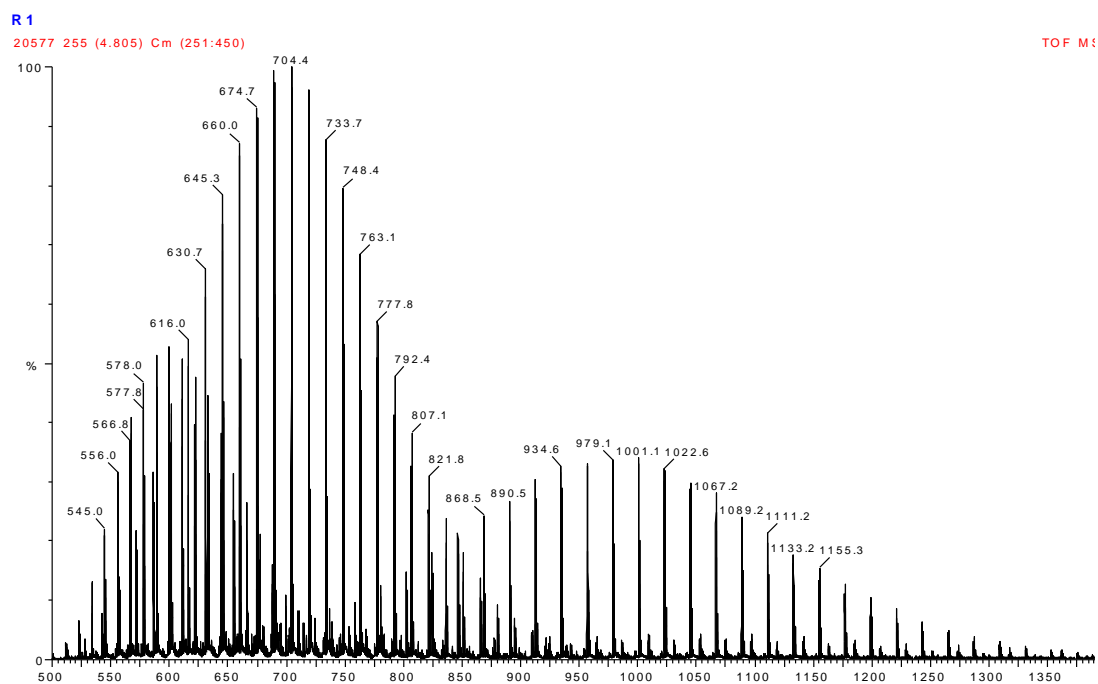
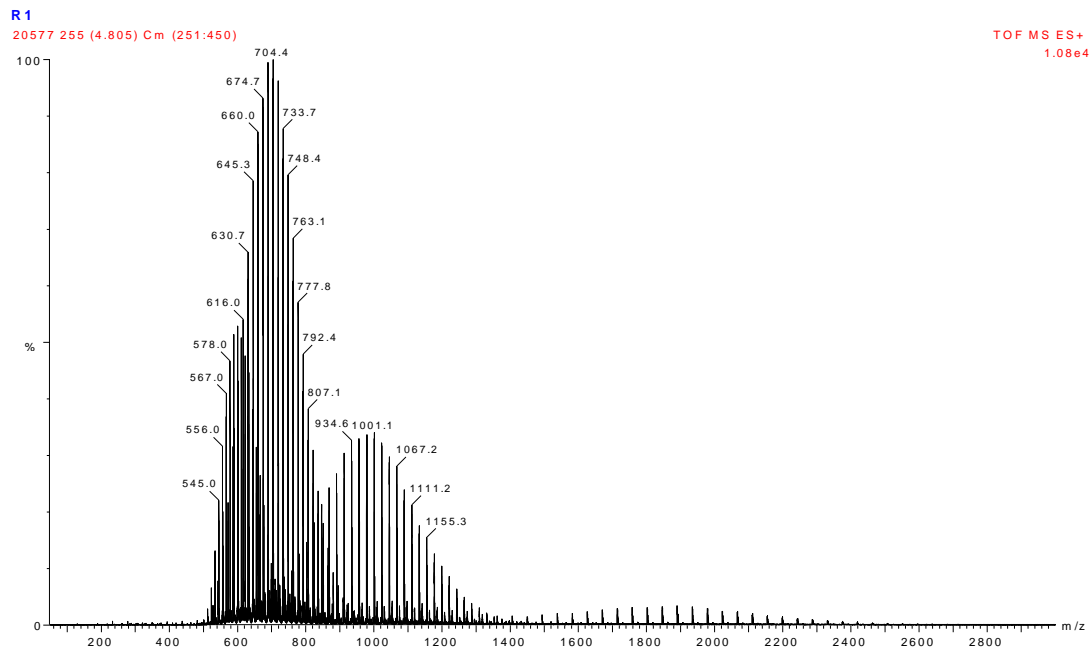
Vedlegg 6

Raman spektre av R1-R7



Vedlegg 7

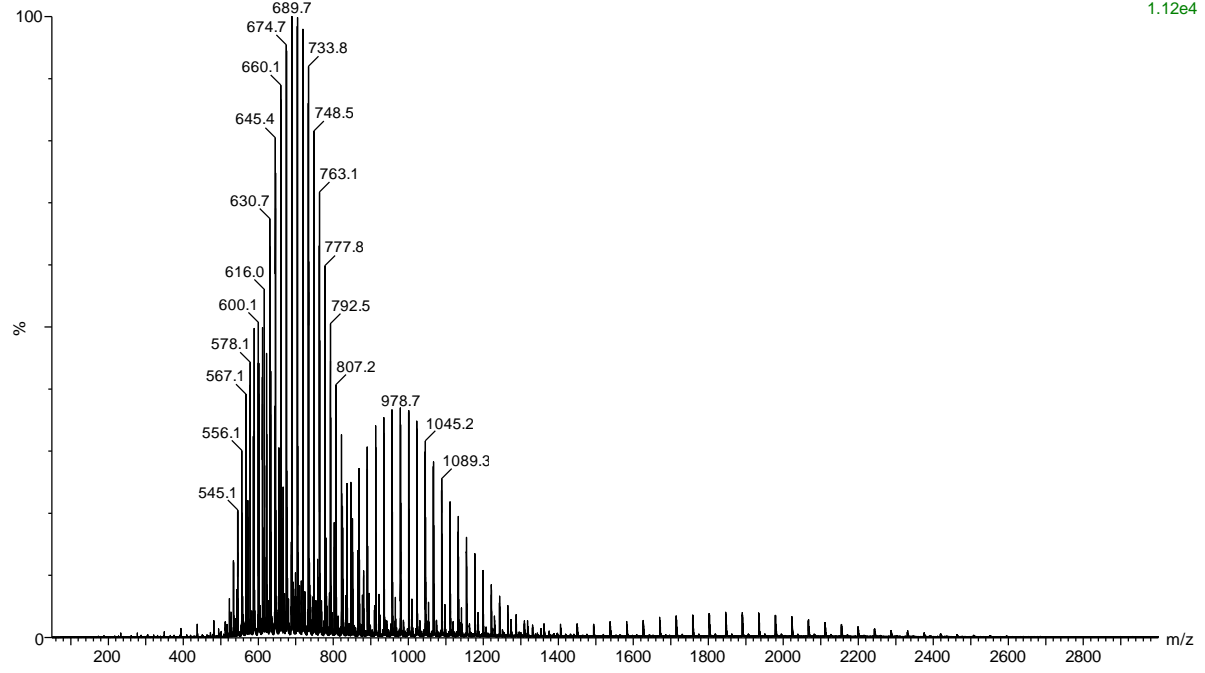
Massespektrometri spekter av R1, R6, R7, B1, B6 og B7



R6

20579 438 (8.259) Cm (251:450)

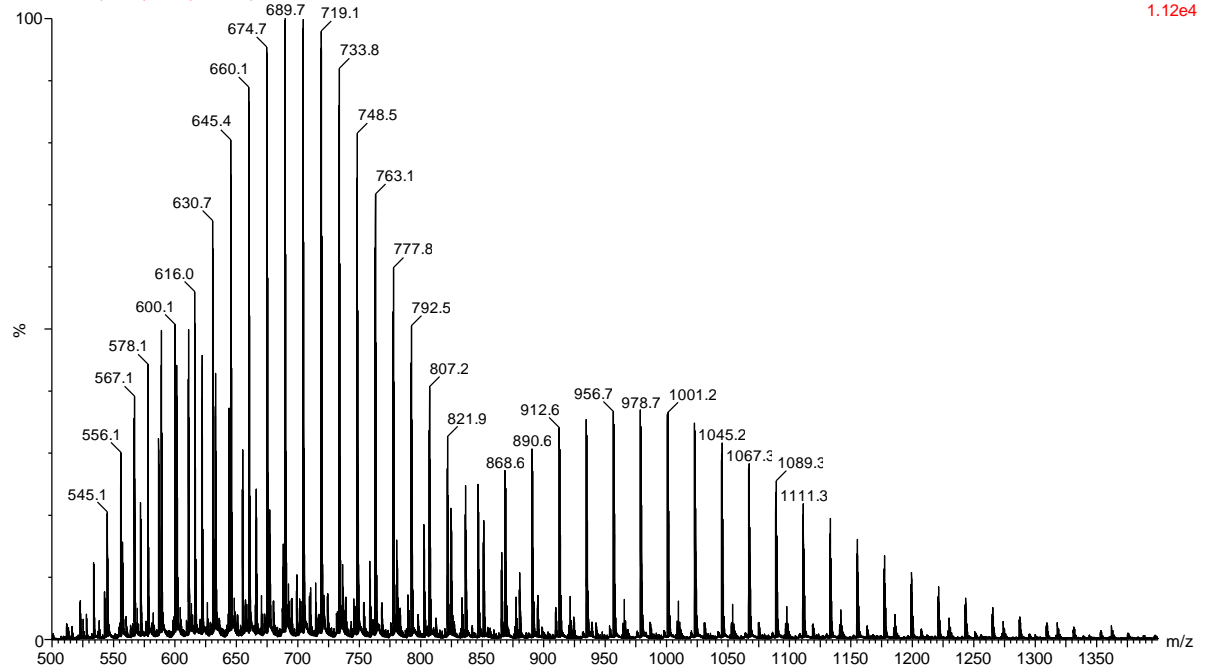
TOF MS ES+
1.12e4



R6

20579 438 (8.259) Cm (251:450)

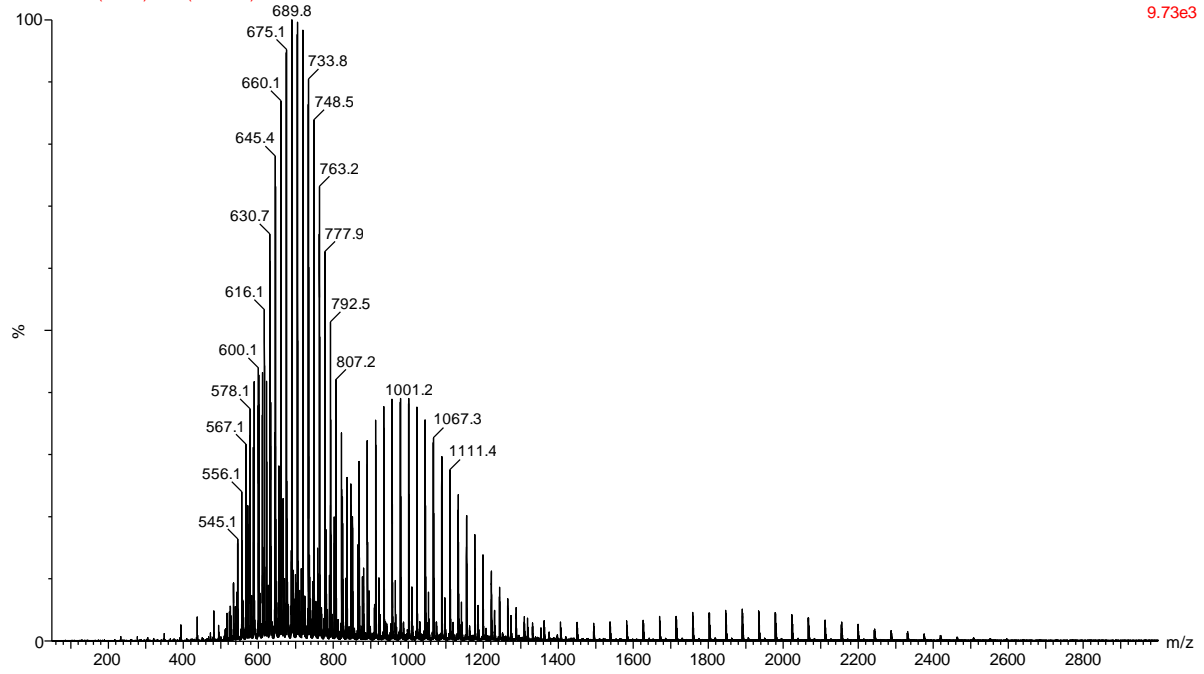
TOF MS ES+
1.12e4



R7

20581 449 (8.468) Cm (251:450)

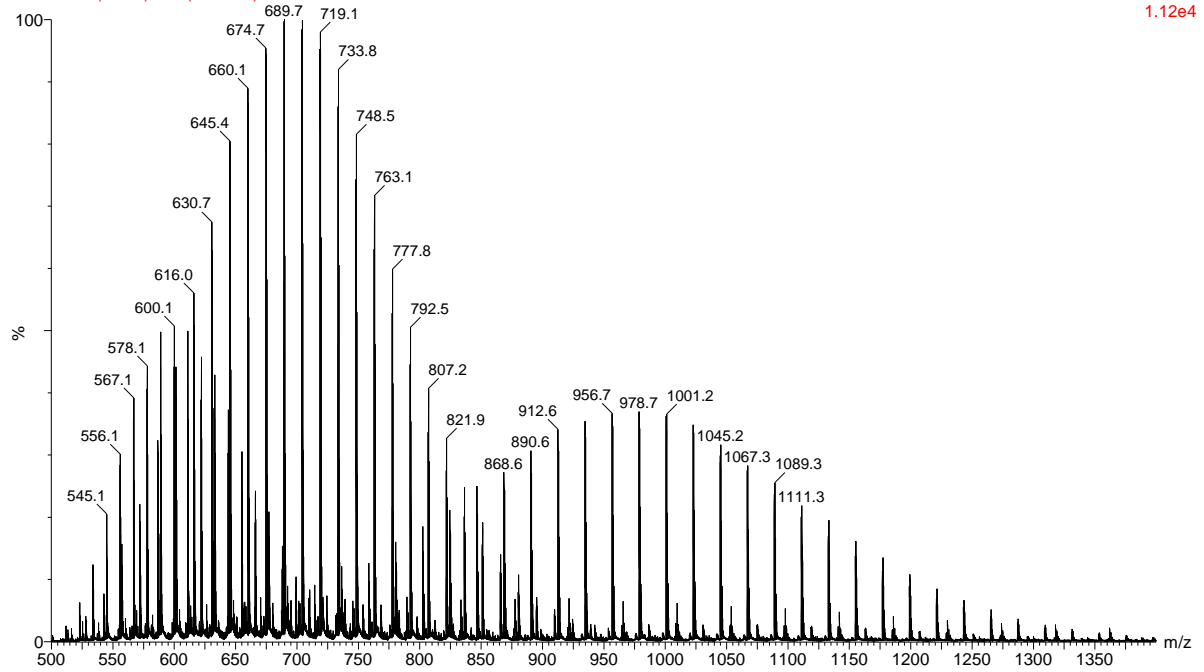
TOF MS ES+
9.73e3



R7

20579 438 (8.259) Cm (251:450)

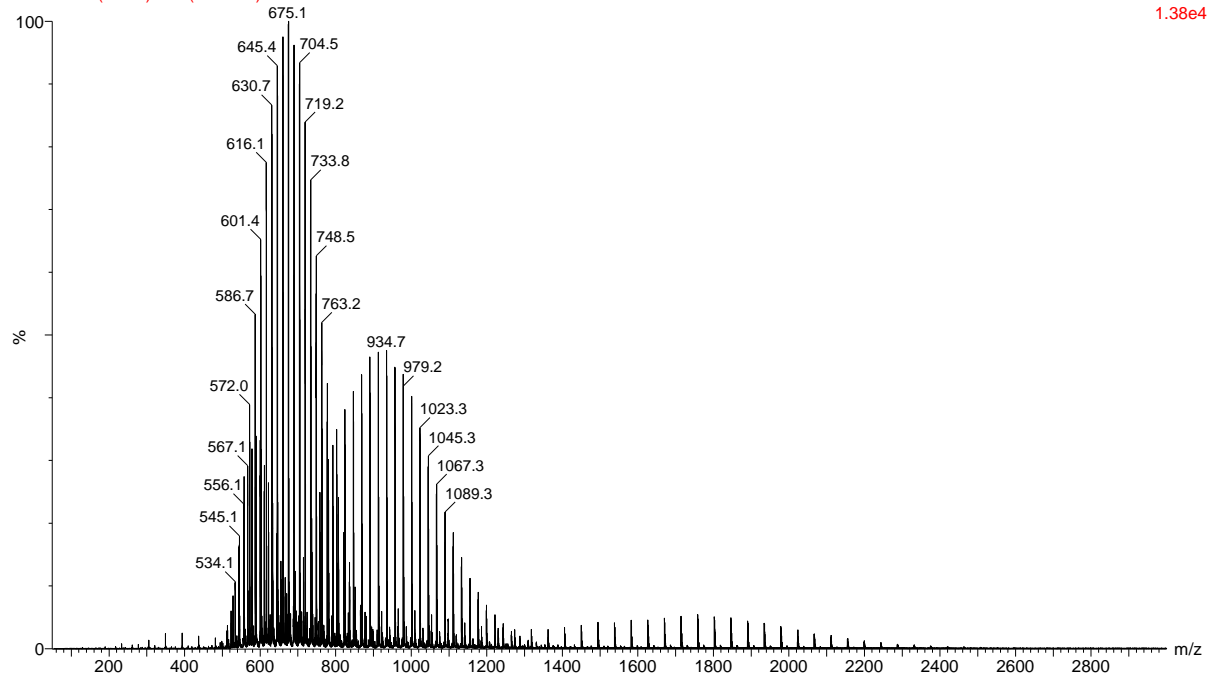
TOF MS ES+
1.12e4



B1

20583 263 (4.960) Cm (251:450)

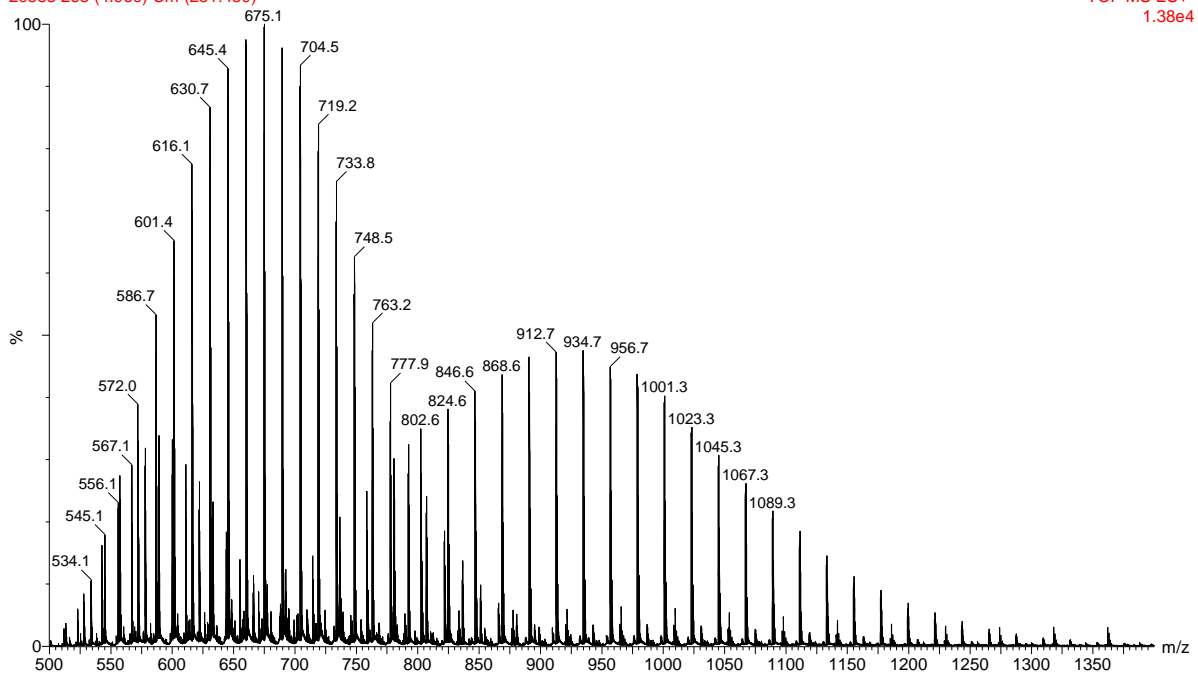
TOF MS ES+
1.38e4



B1

20583 263 (4.960) Cm (251:450)

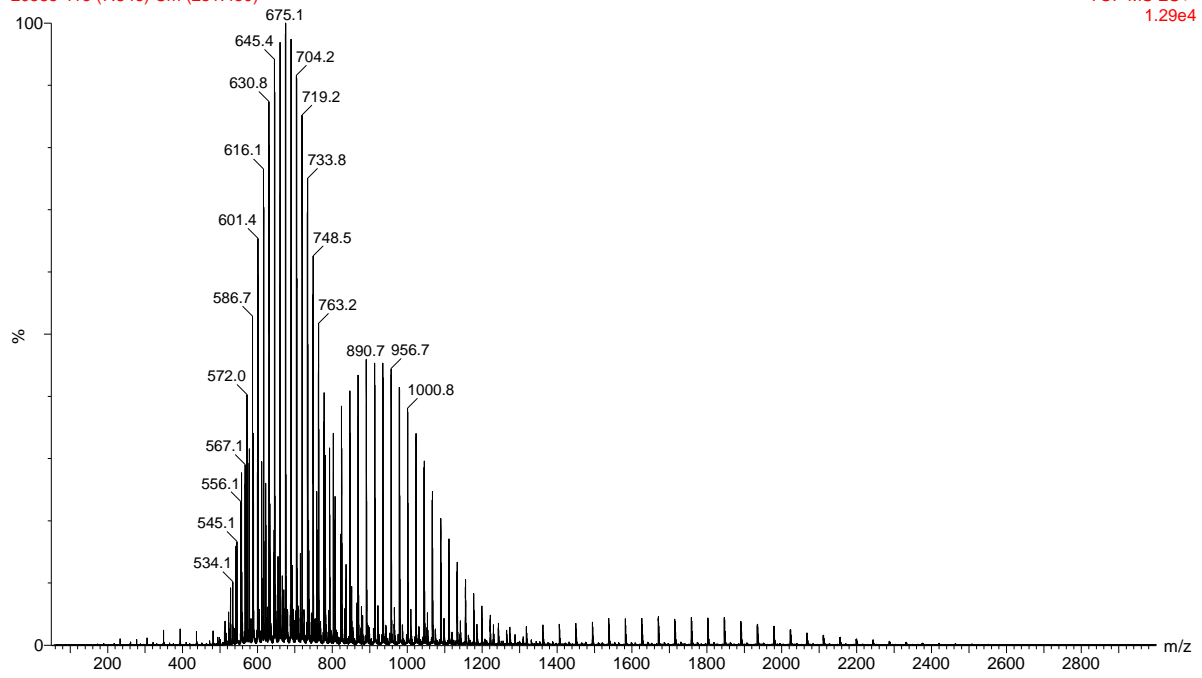
TOF MS ES+
1.38e4



B6

20585 416 (7.846) Cm (251:450)

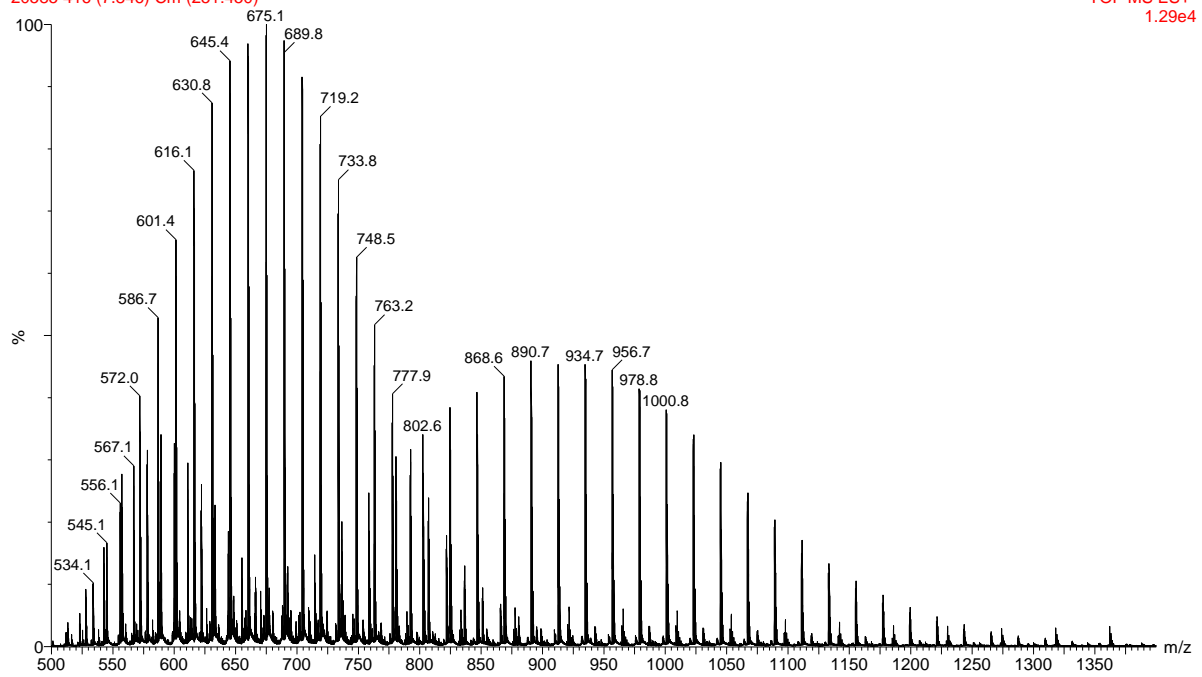
TOF MS ES+
1.29e4



B6

20585 416 (7.846) Cm (251:450)

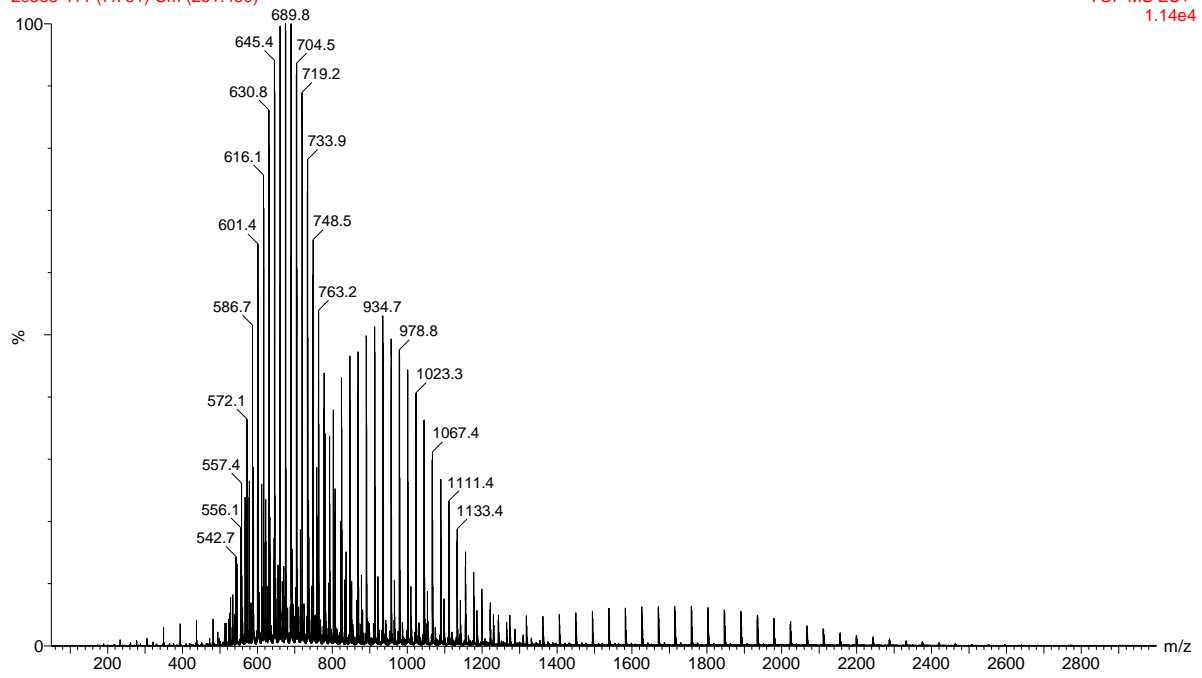
TOF MS ES+
1.29e4



B7

20588 411 (7.751) Cm (251:450)

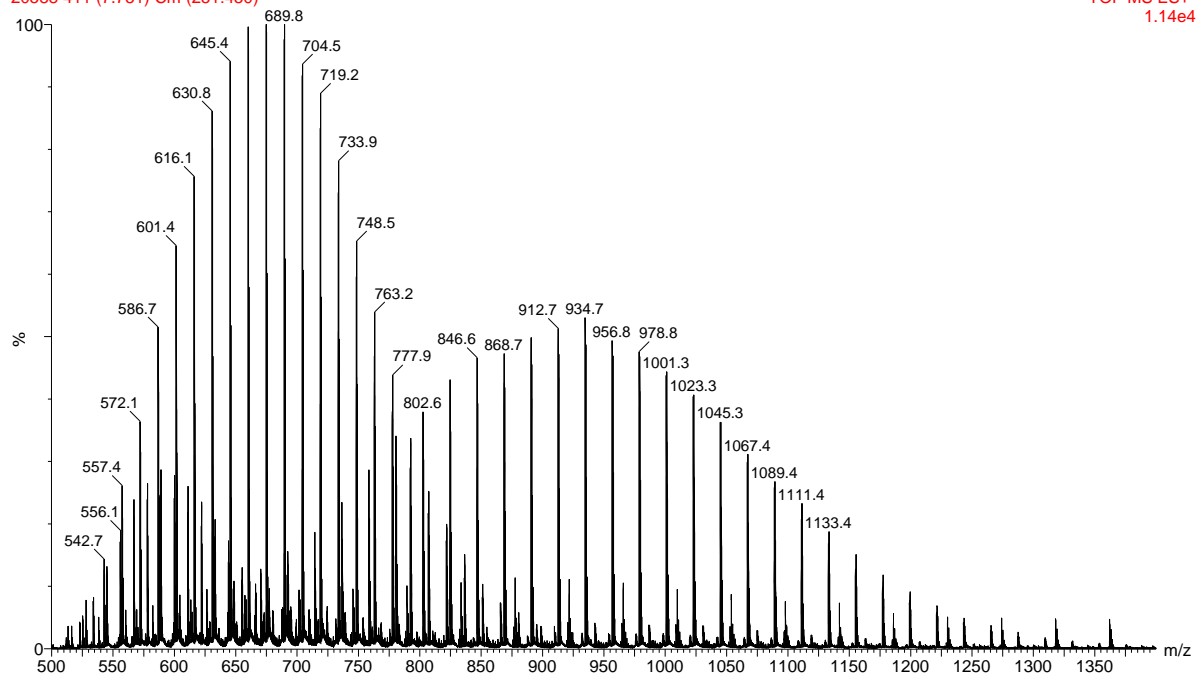
TOF MS ES+
1.14e4



B7

20588 411 (7.751) Cm (251:450)

TOF MS ES+
1.14e4



Vedlegg 8

Redokumentasjonen av frysetørrede deler til BC06

Dokumentert av dokumentasjonslaboratoriet ved NMM.

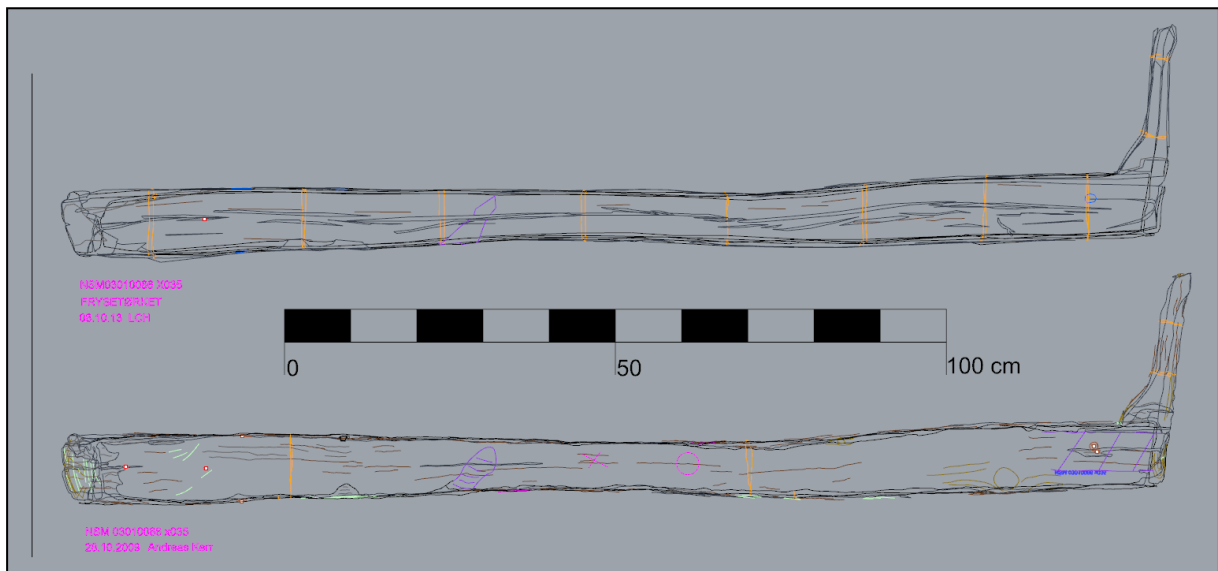
Redokumentasjonen av båtdelene viser at det er minimale forskjeller på de frysetørrede båtdelene sammenlignet med de samme originale delene før frysetørring. Noe krymping har forekommet. Her er maksimalt avvik på 1,5 cm. Her er det imidlertid noen usikkerhetsmomenter både i forhold til hvor dokumentøren har valgt å sette sine punkter samt hvor eksakt målene er tatt på de to delene. Her vil det uansett være snakk om millimeters avvik.

To av delene er betraktelig mer oppsprukket etter frysetørring og det har forekommet minimale vridninger på delene. Spesielt i tynne eller fragmenterte ender ser det ut til at det har forekommet mindre bøyninger under frysetørkeprosessen.

BC06 X035, Bjelke

Dokumentert 08.10.13

Redokumentasjonen av bjelke X035, se figur 1, viser at delen er relativt lik både i størrelse og fasong etter frysetørring. Mål tatt ved ca. samme punkter på den originale og frysetørkede delen viser et maksimalt avvik på 1 cm.



figur 1. Øverste tegning er bjelke X035 etter konservering. Den nederste er før konservering.

Sprekker

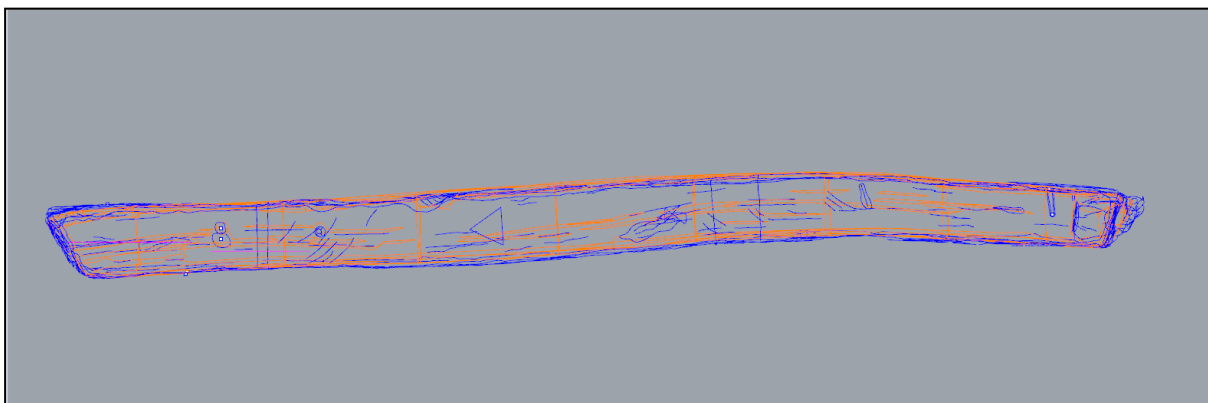
Tegningen av den frysetørkede delen (se figur 1) viser også at bjelken har mye mer sprekker i treet sammenlignet med den samme delen før frysetørring.

Målene tatt ved sammenligning viser:

Mål: cm	Før konservering	Etter konservering	Differanse
Lengde (ende til ende)	166,3	165,6	0,7
Bredde midt	7,6	7,4	0,2
Tykkelse midt	10,1	9,6	0,5
Bredde ende m utstikker	9,1	8,7	0,4
Tykkelse ende m utstikker	8,3	7,7	0,4
Bredde andre ende	8,7	9,0	0,3
Tykkelse andre ende	9,2	9,8	0,6

Undersøkelse av endring i form

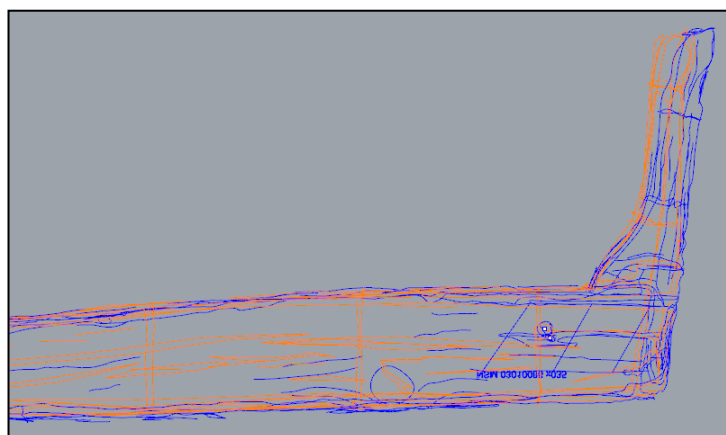
Den frysetørkede bjelken hadde en knekk/vridning på selve stammen. Det ble undersøkt om dette kunne ha skjedd under frysetørkeprosessen. Ved å legge tegningene over hverandre, viste det seg at begge bjelkene hadde den samme vridningen. Altså ingen endring i grunnform. De overlappende tegningene viser også en minimal krymping på lengden av den frysetørkede bjelken.



figur 2. Blå linjer viser BC06 X035 før konservering. Oransje linjer etter konservering.

Vridning i utstikkende del

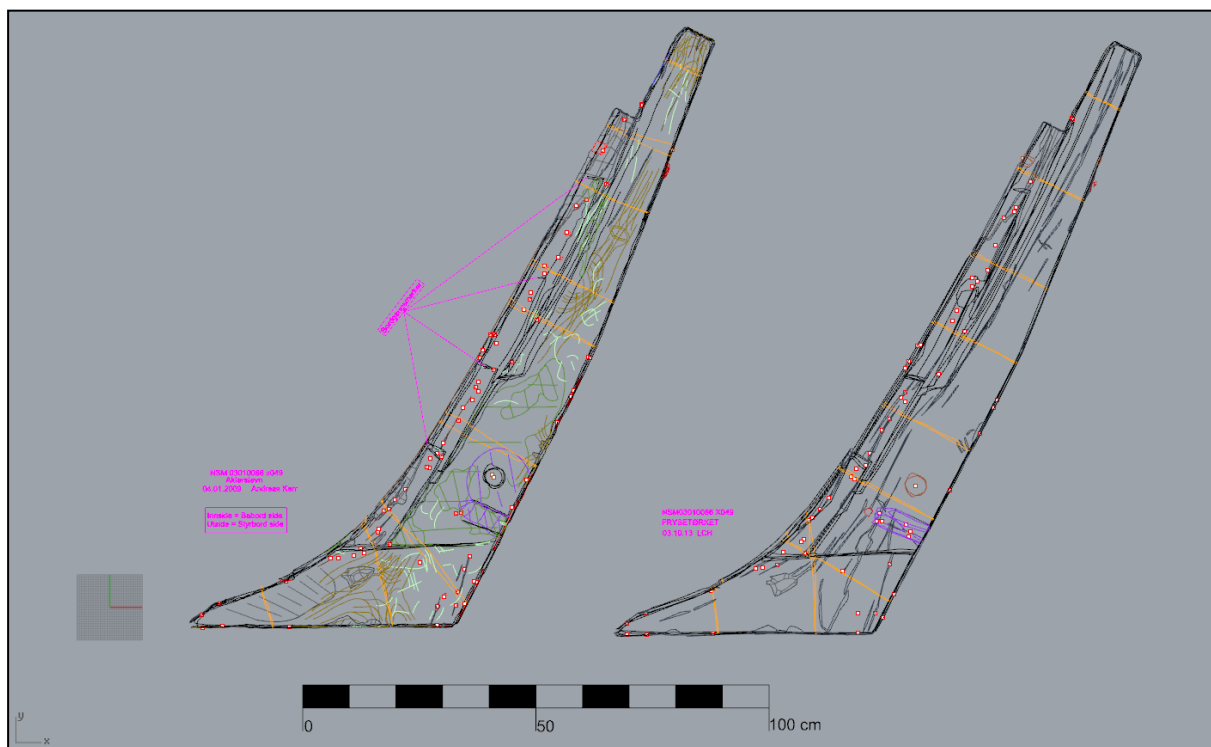
Det forsøket imidlertid viste var at den mindre krepsepiste utstikkende delen i den ene enden hadde fått en vridning der delen bøyde seg noe mer opp mot selve bjelkestammen. På tegningen ble dette avviket målt opp til 1,9 cm.



figur 3. Blå linjer før konservering. Oransje etter.

Dokumentert 03.10.13

Redokumentasjonen av akterstevn X049 (se figur 5) viste kun minimale avvik sammenlignet med den originale delen. Mål tatt ved ca. samme punkter på den originale og frysetørkede delen viser et maksimalt avvik på 0,7 cm.



figur 5. Tegning til venstre er original tegning, tegning til høyere etter frysetørring.

Målene tatt ved sammenligning viser:

Mål: cm	Før konservering	Etter konservering	Differanse
Lengde (ende til ende)	137,3	136,6	0,7
Bredde midt	20,1	19,5	0,6
Tykkelse midt	5,4	5,2	0,2
Bredde øverst	8,3	8,0	0,3
Tykkelse øverst	5,2	4,5	0,7
Bredde nederst	56,0	55,3	0,7
Tykkelse nederst	5,4	5,7	0,3

Ved å legge begge tegningene oppå hverandre viser delene ingen antydning til endring i form, men sammenligningen viser tydelig at den frysetørkede delen har sprukket opp noe under tørkeprosessen (se figur. 5).

BC06 X107 Forstevn

Før/etter impregnering og frysetørring. Dokumenter av dokumentasjonslaboratoriet ved NMM.

	Før	Etter	Differanse
Lengste lengde	2035mm	2013mm	-22mm
Bredde/høyde forut øvre	133mm/117mm	130mm/115	-3mm/-2mm
Bredde/høyde midt ca.	68mm/123mm	65mm/120mm	-3mm/-3mm
Største høyde akter med utstikker	95mm	98mm	+3mm

Sprekker

Ved sammenligning med tegning av delen fra før impregnering og frysetørring, samt foto, kan det ikke sies at noen betydelige sprekker har oppstått under konserveringsperioden.

Form og detaljer

En liten vridning har oppstått i delen. Se første bilde, hvor blå er delen etter konservering og oransje ved første tegning, 03.02.2010. Delen har vendt seg noe i hver sin retning i hver sin ende. Utstikkeren i bruddet ved nedre ende av stevnen har også vendt seg noe mer ut fra stevnen, se tabellen. Ellers ser det ut til at delen har bevart formen bra. Verktøyspor er synlige, men det er vanskelig å si om alle er like synlige siden de ikke er fotografert i detalj.

