

Evaluering av tørkemetoder for vannskadet papir

En sammenliknende studie med fokus på å forebygge vekst av muggsopp under tørkeprosessen og hvis materialet senere blir utsatt for fuktighet.

Solveig Schytz



Prosjektbasert masteroppgave i konservering

Institutt for arkeologi, konservering og historiske studier (IAKH)

Det humanistiske fakultet

Universitetet i Oslo

Vår 2009

Sammendrag

Siden 1960-tallet har det vært utviklet en rekke høyteknologiske metoder for tørking av vannskadet arkiv- og bibliotekmateriale. Fra 1970-tallet og utover, har vakuum-frysetørking vært den anbefalte metoden ved større mengder vannskadet papirmateriale. Vakuum-frysetørking og andre høyteknologiske metoder, som f.eks vakuumpakking, er imidlertid svært kostbart, og utstyret er vanskelig tilgjengelig. I denne studien er det lagt vekt på å dokumentere metoder for lufttørking av vannskadet papirmateriale, tørkemetoder som kan gjennomføres ved hjelp av billig og lett tilgjengelig utstyr. Hovedfokus i studien er å minimere faren for vekst av muggsopp gjennom tørkeforløpet.

Denne studien består av en litteraturstudie og en eksperimentell studie. I den eksperimentelle studien er det valgt ut tre ulike papirkvaliteter, og to ulike tørkeforløp med lufttørking er dokumentert. Det er lagt vekt på å dokumentere og diskutere følgende forhold: Temperatur og RF i tørkekammeret, luftsirkulasjon/ lufthastighet i tørkekammeret, utvikling/ vekst av muggsopp i løpet av tørkeforløpet, tørkerate i papirbunkene, opptak og avgivelse av vann gjennom oppfukning og tørking, og vannaktivitet på papirets overflate. Papirmaterialet som har vært gjennom disse forsøkene har deretter blitt evaluert med hensyn på kjemisk nedbrytning (analyse av 'degree of polymerisation' (DP), pH og colometriske målinger), biologisk nedbrytning (analyse av overflate ved hjelp av tapeavtrekk) og endring av fysiske egenskaper (endring i papirets format og tykkelse, analyse av sorpsjonskurver, vannaktivitetsmålinger, visuelle vurderinger med og uten mikroskop). Papiret som har vært lufttørket har blitt sammenliknet både med referanseprøver og med identisk materiale som har vært tørket i vakuum-frysetørker.

Det blir også vurdert om endrede fysiske egenskaper på grunn av vakuum-frysetørking kan ha en mykologisk effekt.

Resultatene viser at en ved å kontrollere temperatur, luftsirkulasjon og fordampingsoverflater på en god måte, samt overvåke og dokumentere tørkeprosessen, vil en kunne minimere faren for vekst av muggsopp gjennom tørkeforløpet, slik at lufttørking vil være et reelt og godt alternativ til vakuum-frysetørking av vannskadet papirmateriale.

Summary

Since the nineteen sixties several 'hightech' methods for drying water damaged archive- and library material have been developed. From the nineteen seventies vacuum freeze-drying has been the recommended method for drying larger quantity of water damaged paper. Vacuum freeze-drying and other 'high-tech' methods such as vacuum packing is expensive and the equipment is not easy accessible. This study focuses on methods for air drying of water damaged paper. The chosen methods are based on cost effective and easy accessible equipment. The main aim is to minimise the probability of mould growth throughout the drying process.

This study consists of a literature study and an experimental study. The experimental study is testing three different paper qualities and two different air drying processes. The focus is on the documentation and discussion of the following factors: Temperature, RH, circulation/air velocity in the drying chamber, development/growth of mould throughout the drying process, rate of drying in the stacks of paper, adsorption and desorption of water during wetting and drying of the paper stacks, and water activity on the surface of the paper.

The paper material used in the tests have thereafter been evaluated with regard to chemical degradation (analysing DP, pH and colorimetric measurements), biological degradation (analysing the surface of the paper using tape sampling) and alteration of physical properties (change of paper format and thickness, analysis of sorption curves, measurements of water activity, visual assessments with and without microscope). The air dried paper samples have been compared to both reference test samples, and identical materials dried with vacuum freeze-drying. In addition the change in physical properties due to vacuum freeze-drying has been evaluated with regard to probability of mould growth.

The test results shows that by controlling temperature, air circulation and evaporation rate, the probability of mould growth can be minimised throughout the drying process. The test result confirms air drying as a good alternative to vacuum freeze-drying of water damaged paper.

Forord

Prosjektet 'Evaluering av tørkemethoder for vannskadet papir' som denne oppgaven i hovedsak bygger på ble til som et samarbeidsprosjekt mellom Riksarkivet og Mycoteam as. Teknisk museum, Kulturhistorisk museum ved Universitetet i Oslo og Nasjonalbiblioteket har også vært samarbeidsparter og viktige bidragsytere i prosjektet. I tillegg til økonomiske bidrag, tid og fagressurser både fra Mycoteam og Riksarkivet, har prosjektet vært delfinansiert av prosjektmidler fra ABM-utvikling.

Det har vært mange parter involvert i prosjektet, og mange fortjener stor takk:

Papirkonservator Kristin Ramsholt ved Riksarkivet har vært en god samarbeidspartner og uvurderlig faglig støtte gjennom hele prosjektet. Hun har særlig bidratt med pH-målinger på materialet, måling av dimensjonsendringer og med hjelp til tolking av colorometriske målinger og depolymerisasjonsgrad (DP). Johan Mattsson og Kolbjørn Mohn Jenssen ved Mycoteam har også vært helt avgjørende for utviklingen og gjennomføringen av prosjektet. En stor takk til min veileder ved Universitetet i Oslo, Douwtje van der Meulen, for gode råd og tilbakemeldinger underveis i prosessen.

En stor takk til Harald Schytz for hjelp til korrekturlesing og for stor tålmodighet med prosjektet.

I tillegg vil jeg gjerne takke:

- Anne Sommer-Larsen, Vegard Vike og Anders Helset Nilsson ved Kulturhistorisk museum, universitetet i Oslo, for lån av utstyr, hjelp og veiledning ved frysetørring av papirprøver.
- Cathrine Whist, Ingrid Grønli, Malin Siljedal, Kristine Rolland Behn og Marianne Berdal, Mycoteam for analyser av luftanalyser, totalsoppanalyser, tapeavtrekk/ Mycotape combi og mikroskopering av overflater.
- Trond Karlsen og Kristin Stensønes ved Papir- og fiberinstituttet (PFI) som har gjort kunstig aldring, laget sorpsjonskurver og målt polymerisasjonsgrad på utvalgte papirprøver.
- Lars Christiansen ved Jotun AS for colorometriske undersøkelser av utvalgte prøver.

- Knut Magnar Sandland, dr. Scient, avdelingsleder ved avdeling for kvalitet og prosessutvikling ved Treteknisk institutt for leie av tørkekammer og gode diskusjoner ved oppsett av forsøkene samt hjelp til tolking av sorpsjonskurvene.
- Olav Høibø, professor ved institutt for naturforvaltning, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, for gode diskusjoner ved oppsett av forsøkene.
- Kjell Lindrupsen ved Treteknisk institutt for råd og veiledning ved bruk av tørkekammeret.
- Svein Olav Bøe, fagsjef ved Polygon AS for velvillig utlån av tørkerom for innledende forsøk og samtaler rundt praksis for tørking av vannskadet papirmateriale hos Polygon.
- Tina Grette Poulsson og Kari Greve, papirkonservatorer ved Nasjonalmuseet i Oslo som velvillig lot meg slippe til med presentasjon av prosjektet og spørreundersøkelse blant deltagerne å Nordisk konservatorforbunds Papirmøte på Nasjonalbiblioteket i Oslo den 23.-24. oktober 2008.
- Øyvind Gregersen, professor ved institutt for kjemisk prosessteknologi ved Norges Teknisk- Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) for gode litteraturtips og for hjelp til å tolke analyseresultater.
- Isabella Børja, forsker ved Institutt for Skog og Landskap, for god hjelp med oversettelse av artikkel fra tjekkisk til norsk.

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG	2
SUMMARY	3
FORORD	4
1. INTRODUKSJON	13
1.1 NÅR VANNET KOMMER	13
1.2 BAKGRUNN FOR VALG AV PROBLEMSTILLING	14
1.3 TIDLIGERE SAMMENLIGNENDE STUDIER AV TØRKEMETODER FOR VANNSKADET PAPIR	17
1.4 BESKRIVELSE AV STUDIEN	19
1.4.1 Studie I	19
1.4.2 Studie II	20
1.4.3 Studie III	21
1.6 AVGRENSING AV PROBLEMSTILLINGER	21
2. MATERIALE: PAPIR	22
2.1 PAPIR SOM MATERIALE	22
2.1.1 Kjemisk sammensetning og fysiske egenskaper	22
2.1.2 Historikk	23
2.2 NEDBRYTNING AV PAPIR	24
2.2.1 Kjemisk nedbrytning	24
Hydrolyse av cellulosepolymeren	25
Oksidasjon	25
Cross-linking	26
2.2.2 Biologisk nedbrytning av papir	27
2.3 NÅR PAPIR BLIR VÅTT	27
2.4 NÅR PAPIR TØRKER	29
3. FORUTSETNINGER FOR BIOLOGISK NEDBRYTNING AV PAPIR	31
3.1 VANN	34
3.2 LIKEVEKTSFUKTIGHET (EMC)	34
3.3 VANNAKTIVITET (A_w) OG RELATIV LUFTFUKTIGHET (RF)	34
3.4 FORHOLDET MELLOM VANN OG MATERIALENE	37
3.5 TEMPERATUR (T)	37
3.6 TID	39
3.7 SMITTEPRESS	40
3.8 ANDRE FAKTORER: O ₂ , CO ₂ , pH OG SPORSTOFFER	40
3.9 MIKROMILJØ	40
3.10 KOMPLEKSITET	41
3.11 HVILKE FAKTORER KAN VI STYRE?	41
4. TØRKING AV VANNSKADET PAPIRBASERT MATERIALE	43
4.1 TØRKETEORI	43
4.1.1 Lufttørring: fordampning	44
Modell for tørkeprosessen	45
4.1.2 Frysetørring: sublimasjon	49
4.2 STABILISERING AV VÅTT PAPIRMATERIALE	50
4.3 AKTUELLE TØRKEMETODER FOR VANNSKADET PAPIR	52
5. INTRODUKSJON TIL EKSPERIMENTELL STUDIE	58
5.1 METODIKK FOR UTVALG AV PRØVEMATERIALE	58
Papir A	58
Papir B	58
Papir C	58
5.2 FORSØKSOPPSETT	58

5.3 KRITERIER FOR METODEVALG	60
5.4 VALG AV METODER	61
5.5 BENYTTETE METODER, INNLEDENDE STUDIER.....	62
5.5.1 Litteraturstudier.....	62
5.5.2 Spørreundersøkelse.....	62
5.5.3 Personlige meddelelser.....	62
5.6 EVALUERINGSKRITERIER.....	63
5.7 VURDERTE METODER	64
6. INNLEDENDE FORSØK	66
6.1 Innledende forsøk I.....	66
6.2 Innledende forsøk II.....	67
6.3 Innledende forsøk III.....	71
6.4 Innledende forsøk IV.....	71
6.5 Oppsummering av innledende forsøk.....	72
7. STUDIE I.....	73
7.1 INNLEDNING	73
7.2 METODE FOR GJENNOMFØRING AV TØRKEFORSØKENE.....	73
7.3 OVERVÅKING AV TØRKEPROSESSEN OG PRØVETAKING UNDERVEIS I TØRKEFORLØPET. METODEBESKRIVELSER, RESULTATER OG DISKUSJON	77
7.3.1 Relativ luftfuktighet (RF) og temperatur (T).....	77
7.3.2 Lufthastighet	82
7.3.3 Vannaktivitet (a_w).....	83
7.3.4 Luftanalyser: Måling av mengde muggsoppспорer i tørkekammeret ved lufttørring.....	84
7.4 EVALUERING AV TØRKERESULTATER. METODEBESKRIVELSER OG RESULTATER.....	91
7.4.1 Visuell evaluering.....	91
7.4.2 Vekt: vannmengde fjernet ved tørking.....	92
7.4.3 Dimensjonsendringer.....	98
7.4.4 Overflateprøver: tapeavtrekk med Mycotape Combi.....	99
7.4.5 Depolymerisasjonsgrad (DP).....	102
7.4.6 Kunstig aldring	103
7.4.7 Colorimetriske målinger / Spektrofotometermålinger.....	104
7.4.9 pH.....	105
7.5 DISKUSJON / KONKLUSJON STUDIE I.....	108
7.5.1. Risiko for vekst av muggsopp ved lufttørring av vannskadet papir.	108
7.5.2 Valg av temperatur og RF ved lufttørring av papir.....	109
7.5.3 Tørkemål ved tørking av vannskadet papir.....	112
7.5.4 Endring i papirs materialeegenskaper ved vannskade og påfølgende tørking.....	114
7.5.5 Kriterier ved valg av metode for tørking av vannskadet papir.....	115
7.5.6 Kommunikasjon mellom fagmiljøene	116
8. STUDIE II	117
8.1 INNLEDNING	117
8.2 METODE.....	117
8.2.1 Vannaktivitet	118
8.2.2 Sorpsjonskurver	121
8.2.3 Mikroskopi	124
8.3 DISKUSJON OG OPPSUMMERING STUDIE II.....	126
9. STUDIE III.....	127
9.1 INNLEDNING	127
9.2 METODE OG RESULTATER.....	127
9.3 DISKUSJON OG OPPSUMMERING STUDIE III.....	128
10. OPPSUMMERING OG FORSLAG TIL VIDERE FORSKNING.....	129
10.1 MODELL FOR ANBEFALT FRAMGANGSMÅTE FOR HÅNDTERING AV VANNSKADER/ BRUK AV LUFTTØRKNING AV VANNSKADET PAPIR	129
10.2 FORSLAG TIL VIDERE STUDIER	131
BIBLIOGRAFI.....	133

APPENDIX A	141
GRAFISK FRAMSTILLING AV TØRKEFORLØPENE.....	141
APPENDIX B	153
<i>Resultater, totalsoppanalyser</i>	153
<i>Resultater luftanalyser med hensyn på antall spiredyktige muggsoppспорer</i>	155
APPENDIX C	159
RESULTATER ANALYSER FRA PFI.....	159
<i>DP: Depolymerisasjonsgrad:</i>	159
<i>Sorpsjonskurver</i>	160
APPENDIX D	163
RESULATER COLOROMETRISKE MÅLINGER.....	163
APPENDIX E	164
SPØRREUNDERSØKELSE VEDR VANNSKADER I MUSEER, BIBLIOTEKER OG ARKIVER:.....	164
APPENDIX F	165
GASSLOVER.....	165
APPENDIX G	167
<i>Aw-målinger underveis i tørkeforløpene</i>	167
<i>Aw-målinger, tverrsnitt i papirbunker</i>	167
APPENDIX H	170
MÅLEDATA LUFTHASTIGHET.....	170
APPENDIX I	171
RESULATER MÅL- OG VEKT/ VANNOPPTAK.....	171

Liste over figurer

1. Oppbygging av cellulosefibreren. Diagonalt kryssende lag av fibriller omkring fiberlumen. Fra: Nordstrand 1981.....	22
2. Figur 2. Detalj av mikrofibrill i cellulose som viser adsorpsjon av vann i amorfe områder. Fra:Reyden 1992, s.....	25
3. Illustrasjon av hvordan cross-linking gjør at de amorfe områdene i cellulosepolymeren blir nedbrutt. Fra Reyden 1992, s 121.....	26
4. Modeller av vanlige cellulose-reaksjoner: hydrolyse, oksidasjon og cross-linking. Fra Reyden 1992, s. 118	27
5. Tidsakse, nedbrytning av papir ved oppfukting.....	29
6. Forutsetninger for vekst av muggsopp. Fra Mattsson 2004, s 6.....	31
7. Illustrasjon av nanoklima. Fra Mattsson 2004, s 39.....	33
8. Muggsopps temperaturkrav (Kilde: Mattsson 2004 , s.10).....	38
9. Psykrometrisk kart. Fra Thomson 1986, s 211.....	39
10. Fasediagram for vann. Fra Mniere 2008, s 11.....	43
11. Stadier i tørkeprosessen. Fra Sugerman og Vitale 1992, avsnitt 5.4.....	48
12. Flytskjema for forsøksoppsett.....	59
13. Oppsug av vann. Kurver for bok 11A og 10B.....	66
14. T og RF inni bok 6A. Tørking med luftskifte og høy lufthastighet.....	68
15. T og RF inni bok 6B. Tørking uten luftskifte og lufthastighet.....	68
16. Temperatur og RF inni bok 5a. Tørking i Polygons tørkerom.....	69
17. Temperatur og RF inne i bok 5b. Tørking i Polygons tørkerom.....	69
18. Diagram viser uttørking av bøker m hhv høy og lav luftsirkulasjoan.....	70
19. Diagram viser uttørking av bøker i Polygons tørkekammer, med høy temperatur.....	70
20. Illustrasjon av oppfuktingstid for bunker a 100 A4-ark.....	71
21. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 3.1. Målepunkt: Luft midt i tørkekammeret.....	78
22. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Luft midt i tørkekammeret.....	79
23. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Papirbunke lagt oppe i stabelen (A31).....	79
24. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Papirbunke langt nede stabelen (B29).....	80
25. Grafisk framstilling av alle totalsoppanalyser.....	86
26. Grafisk framstilling av luftanalyser med Micro Bio.....	87

27. Figur over mengde vann (antall gram) som ble tatt opp i papirbunkene ved oppfukting.....	93
28. Figur over mengde vann (% av utgangsvekt) som ble tatt opp i papirbunkene ved oppfukting.	94
29. Figur over avvik fra utgangsvekt av papiret etter tørking (antall gram avvik).....	94
30. Figur over avvik fra utgangsvekt av papiret etter tørking (% av utgangsvekt).....	95
31. Vekt etter tørking, avvik fra utgangsvekt i %, relatert til tørkemetode, papir A.....	95
32. Vekt etter tørking, avvik fra utgangsvekt i %, relatert til tørkemetode, papir B.....	96
33. Kurver Resultater a_w -målinger papir A.....	119
34. Resultater a_w -målinger papir B.....	119
35. Resultater a_w -målinger papir C.....	120
36. Sorpsjonskurve A33 referanseprøve A.....	122
37. Sorpsjonskurve B36 referanseprøve B.....	122
38. Sorpsjonskurve A6 Lufttørk tørkekammer 20-40 °C.....	122
39. Sorpsjonskurve B1 Lufttørk tørkekammer 20-40 °C	122
40. Sorpsjonskurve A2 Frysetørket.....	123
41. Sorpsjonskurve A36 Frysetøket.....	123

Liste over tabeller

1. Oversikt over vanlige tørkemetoder for vannskadet papir.....	57
2. Oversikt over prøver utvalgt for analyser for evaluering.....	62
3. Resultater, endringer i format.....	97
4. Resultater, endringer i papirtykkelse.....	99
5. Resultater av prøveanalyser, tapeavtrekk.....	101
6. Resultater DP.....	102
7. Resultater Colorometriske målinger.....	104
8. Resultater pH.....	106

Liste over bilder

Dersom ikke annet er angitt, er det undertegnede som er fotograf.

1. Vannfront på bøker kategori B etter forsøk.....	67
2. Vannfront på bøker kategori A etter forsøk.....	67
3. Frosne papirbunker lagt utover på stativet som skal inn i frysetørkeren.....	74
4. Frysetørkeren ved Kulturhistorisk museum, universitetet i Oslo.....	74
5. Hygrologg Rotronic med standard sensor.....	74
6. Hygrologg Rotronic med 'papirsverd'.....	74

7. Papirbunker i tørkekammeret under tørking. Forsøk 3.1.....	76
8. a_w -måler.....	83
9. Underside av probe for a_w -måler.....	83
10. Apparat og kassett for å ta totalsoppanalyser.....	85
11. Micro Bio for å ta luftanalyser med hensyn på spiredyktige muggsoppsspore.....	85
12. Dimensjonsendringer i papiret etter tørking.....	92
13. Mycotape.....	100
14. Mikroskopibilde A33 Referanseprøve. 12 x forstørrelse.....	125
15. Mikroskopibilde B36 Referanseprøve. 12 x forstørrelse.....	125
16. Mikroskopibilde C41 Referanseprøve. 12 x forstørrelse.....	125
17. Mikroskopibilde A6 Lufttørket 20-40 °C. 12 x forstørrelse.....	125
18. Mikroskopibilde B1 Lufttørket 20-40 °C. 12 x forstørrelse.....	125
19. Mikroskopibilde C33 Lufttørket 20-40 °C. 12 x forstørrelse.....	125
20. Mikroskopibilde A2 Frysetørket 12 x forstørrelse.....	125
21. Mikroskopibilde B2 Frysetørket 12 x forstørrelse.....	125
22. Mikroskopibilde C 32 Frysetørket 12 x forstørrelse.....	125

Oversikt over forkortelser

Forkortelse	Betydning
AF	Absolutt luftfuktighet
A_w	Vannaktivitet
EMC	Likevektsfuktighet (Equibrillium moisture content)
RF	Relativ luftfuktighet
Å	Ångstrøm (måleenhet for måling av avstand. I Å=10 ⁻¹⁰ meter))
DP	'Degree of polymerisation', på norsk depolymerisasjonsgrad; tall som angir gjennomsnittlig lengde på en polymer.
UIO	Universitetet i Oslo
UMB	Universitetet for Miljø og Biovitenskap, Ås
IFLA	International Federation of Library Associations and Institutions
KHM	Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo
PFI	Paper and Fibre Research Institute, på norsk Papir- og Fiberinstituttet AS, Trondheim

NTNU
DTU

Norges Teknisk- Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim
Danmarks tekniske universitet, København

1. Introduksjon

1.1 Når vannet kommer...

Når et arkiv, bibliotek eller museum opplever en vannskade er det helt avgjørende at det finnes en plan for hvordan situasjonen skal håndteres. For større institusjoner er det avgjørende at det er en skriftlig plan som ledelsen har eierskap til og som de ansatte er godt kjent med. For mindre institusjoner er gode rutiner, klare linjer og arbeidsfordeling trolig tilstrekkelig. Tidsfaktoren; tiden det tar fra vannskaden oppstår til de riktige tiltakene settes inn, er en svært viktig faktor i forhold til å lykkes med å oppnå gode tørkeresultater. En god plan vil redusere tidsfaktoren, og sørge for at de riktige tiltakene settes inn så raskt det er mulig.

Papir fuktes raskt opp, og dette fører til en rekke effekter: Papiret sveller, intermolekylære bindinger brytes og papiret kan lett deformeres. Avhengig av type materiale kan blekk flyte utover og papiret klistre seg sammen. Allerede et par døgn etter at vannskaden har inntruffet (ca 48-72 timer) vil det kunne oppstå vekst av muggsopp på vått materiale. Dersom det går flere dager fra vannskaden inntreffer til det blir satt inn tiltak, er det stor fare for vekst av muggsopp på materialet. Dette innebærer ikke bare at papiret og bøkene kan få omfattende skader som fører til tidkrevende og kostbar restaurering i etterkant, men det kan også bety en helserisiko for personalet som skal håndtere materialet, dersom det er snakk om store mengder materiale, og store mengder muggsopp. Litteraturen refererer til at selv om lufttørking av materialet kan virke som den enkleste og billigste metoden, så er det en metode som krever svært store arealer og som er svært arbeidsintensiv og tidkrevende, og med utstrakt bruk av trekkpapir. Litteraturen beskriver videre at lufttørking også er en metode hvor det alltid vil være fare for at det oppstår vekst av muggsopp i de deler av materialet hvor det blir tilstrekkelig høy fuktighet over tid. (Buchnan 1988, s 80-84; Cunha 1977, s.97). Å dokumentere en metode for lufttørking som er mindre arbeidskrevende enn de metoder som er beskrevet i litteraturen, og som samtidig minimerer faren for at det oppstår vekst av muggsopp vil derfor være svært viktig.

1.2 Bakgrunn for valg av problemstilling

Den store flommen i Firenze i 1966 har hatt stor betydning for utviklingen av konserveringsteknologi og tørkemeter for vannskadet papir (Ray 2006, s 381). Katastrofen i Firenze viste at restaurering av enkeltobjekter som primær metode for bevaring av arkiv- og bibliotekmateriale kom til kort, og at bevaring måtte sees i et større perspektiv: I løpet av de neste tiårene dreiet fokuset fra å handle om bevaring av enkeltobjekter til å handle om bevaring av samlinger. Arkiver og biblioteker er nettopp samlinger, - ofte svært store samlinger.

Utover 1970-tallet ble det gjort en rekke undersøkelser for å evaluere hvilke tørkemeter som kunne være egnet til massetørrking av vannskadet papirmateriale. Fokus var å finne metoder som var økonomisk gjennomførbare og som gav gode tørkeresultater slik at papiret etter tørrking både var estetisk tilfredsstillende og hadde mest mulig av sine materialeegenskaper i behold (Cunha 1977, s. 95-96). Blant metodene som ble testet ut var ulike former for lufttørrking, vakuamtørrking, vakuum-frysetørrking, tørrking med mikrobølger og dielektrisk energi, og tørrking ved hjelp av løsemidler (Cunha 1977, s. 97-99; Flink og Høyer 1971, s 420; Fischer 1977, s 105-123; Fischer 1977, s.124-137).

Store og små vannskader med påfølgende tørke- og muggsoppsproblematikk er stadig en svært aktuell problematikk for museer, arkiver og biblioteker over hele verden. Det er også gjort sammenliknende studier av eksisterende tørkemeter og utvikling av nye tørkemeter det siste tiåret: Fra årtusenskiftet har man brukt en vakuumpakkingsteknikk utviklet i England. En gjennomgang av aktuelle tørkemeter, som er eller har vært i bruk, blir gjort i kapittel 4.3.

Ingen av tørkemeterne som er i bruk og som tidligere er beskrevet og evaluert i litteraturen er ”best” i den forstand at ingen av tørkemeterne er godt egnet for alle typer arkiv- og bibliotekmateriale. Alle metodene har sine fordeler og ulemper, og noen er bedre egnet enn andre for ulike typer materiale.

Allikevel er det slik at mye av litteraturen som er skrevet de siste tiåra omkring håndtering av vannskader i arkiv-, bibliotek- og museumssektoren henviser relativt ukritisk til frysetørrking som den foretrukne metoden, særlig når det dreier seg om større mengder med vannskadet

papir. Det beskrives i stor grad en ”Nordamerikansk virkelighet” hvor situasjonen best løses ved å kontakte firmaer som tilbyr tjenester i form av fryselager og frysetørking. Disse firmaene er kommersielle aktører, men noen av dem har spesialisert seg på arkiv- og bibliotekmateriale (Kaplan og Ludwig 2005, s.149-160; Wise 2003, s.106; Bush og Lunde 2000, s. 71-72; Mc Clearly 1987). Firmaer som tilbyr frysetørkingstjenester finnes imidlertid ikke tilgjengelig over hele verden. I Norge er det p.t. ingen firma som tilbyr slike tjenester. Noen få større museer i Norge (Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Tromsø Museum og Vitenskapsmuseet i Trondheim) har egne frysetørkere, men disse er dimensjonert for frysetørking av arkeologisk og naturhistorisk materiale i museenes samlinger. Vitenskapsmuseet i Trondheim, Tromsø museum og Kulturhistorisk museum Universitetet i Oslo tar fra tid til annen inn oppdrag med å frysetørke små mengder med vannskadet papir og bøker, men de har ikke kapasitet til å ta inn større kvanta med vannskadet papir. Situasjonen i Norge er dermed den at kulturinstitusjoner som opplever vannskader av en viss størrelse er henvist til å gjøre lufttørking av vannskadet materiale hos kommersielle skadebegrensningsfirma som har svært begrenset kompetanse i forhold til å vurdere og behandle materiale av kulturhistorisk verdi.

Fra 1970-tallet og utover er det også gjort en rekke studier hvor det er prøvd ut ulike tørkemetoder for vannskadet papir, og hvor en har sammenliknet ulike tørkemetoder. Disse studiene drøfter fordeler og ulemper ved ulike tørkemetoder. Noen av studiene går vitenskapelig til verks og analyserer de ulike metodenes effekt på papiret i form av kjemisk nedbrytning og påvirkning av mekaniske egenskaper, andre har mest fokus på det estetiske aspektet ved tørkeresultatet og praktiske og økonomiske fordeler og ulemper ved de ulike metodene. Et par av de sammenliknende studiene som er gjort i løpet av de siste årene, har mykologiske forhold som en del av en større vurdering (Kohl 2005; Bacilková, Durovič, Neuvirt, Paulusová, Polišensky, Součová, Straka, Šimenčová, Vnouček og Weberová 2003). Undertegnede har imidlertid ikke funnet sammenliknende studier som har hovedfokus på biologisk nedbrytning, og har derfor funnet det viktig å gjøre en sammenliknende studie med biologisk nedbrytning som innfallsvinkel.

I 2002 opplevde man en stor flom i Praha i Tsjekia, hvor flere store biblioteker og arkiver fikk massive flomskader. Situasjonen i Praha i 2002 illustrerer godt hvordan man i de fleste situasjoner ikke har anledning til å velge de mest ideelle og høyteknologiske metodene for tørking når det er snakk om store mengder vannskadet materiale. En vil som regel velge ulike

metoder for ulike materialer, og en vil som regel ha anledning til å benytte de mest ressurskrevende og beste metodene bare på en liten del av materialet. Ray (2002, s.389) beskriver situasjonen i Praha i 2002 på følgende måte: ”If the librarians and restorers were unprepared in Florence in 1966, in Prague in 2002 the Czech librarians were prepared but found contemporary state-of-the-art methods such as vacuum packing, vacuum drying and vacuum freeze-drying to be insufficient for meeting their large-scale needs in a reasonable and affordable time frame. They decided instead to try an experimental method to treat the majority of the damaged materials”.

Selv om det finnes flere spesialiserte og høyteknologiske metoder for tørking av vannskadet papir som viser svært gode tørkeresultater, er det utilstrekkelig å bare fokusere på de metodene som har dokumentert ’best resultat’ i aktuelle publikasjoner over de siste tiåra: Når en vannskadet oppstår har man ikke alltid tilgang på den teknologien og de ressursene som man skulle ønske seg. Derfor er det viktig at de tørkemethodene som er billige, og ikke krever spesialisert utstyr blir undersøkt, vurdert og godt dokumentert, slik at også disse metodene er reelle og gode alternativer når vannskaden oppstår.

International Federation of Library Associations and Institutions (IFLA) peker betimelig på ”the continuing need for affordable and accessible recovery techniques and technologies, (and) the recognition that accepted response measures are often not possible when disaster strikes especially in the developing world” (Wellheiser og Gwinn 2005, s.9). Derfor er det så viktig å undersøke videre om enkle (mindre arbeidskrevende), billige og lett tilgjengelige metoder for tørking av vannskadet papirbasert materiale kan gi tilfredsstillende resultater. Aller mest nærliggende er det å forsøke å gå videre inn i problematikken, og om mulig dokumentere om og hvordan lufttørking av bøker eller bunker med papir kan gjøres på en måte som både er overkommelig når det gjelder økonomi, arbeidsmengde og utstysbehov, som er konserveringsfaglig forsvarlig og gir tilfredsstillende tørkeresultater, og hvor faren for vekst av muggsopp underveis i tørkeprosessen er minimal.

Disse vinklingene på problematikken rundt tørking av vannskadet papir er valgt i overbevisning om at det å benytte metoder som er enkle og ikke minst tilgjengelige, øker sjansen for at en faglig forsvarlig uttørking virkelig kan bli og blir gjennomført.

1.3 Tidligere sammenlignende studier av tørkemetoder for vannskadet papir

Det er tidligere gjort en rekke studier for å sammenlikne aktuelle tørkemetoder for vannskadet papir. Her er en oversikt over de sammenliknende studiene som er konsultert i forbindelse med denne oppgaven. I tillegg til de studiene som er nevnt her, finnes det generelle omtaler og vurderinger av alternative tørkemetoder i 'disaster management-litteraturen'. Det tas forbehold om at det finnes andre sammenliknende studier som undertegnede ikke har funnet fram til i dette arbeidet.

- En diplomoppgave levert ved Fachhochschule Köln i 2005 (Kohl 2005) beskriver forsøk med tre ulike former for varmluftstørking, hvor resultatene ble sammenliknet med tilsvarende materiale som ble frysetørket. Tørkemethodene ble evaluert ut fra visuelle endringer (bokling, blokking, volumendring, partikkelvandring), endringer i mekaniske egenskaper (endringer i oppslagsvinkel på bøkene, E-modul (elstisitetsmodul), bruddstyrke, strekkstyrke og rivestryke og luftanalyser med hensyn på spiredyktige muggsoppspor. Kohl konkluderer med at verken varmluftstørking eller frysetørking gir optimale resultater, men at varmluftstørking kan være et alternativ til frysetørking i en del tilfeller.
- En studie gjort ved National Archives and Records Administration (NARA), Washington DC i 2003 (Kaplan og Ludwig 2005) sammenlikner fire ulike tørkemetoder: Lufttørking ved romtemperatur, tørking ved bruk av tørr luft ('dehumidification drying'), vakuump-frysetørking og vakuump-tørking. Studien vurderer både hvordan metoder beskrevet i litteraturen stemmer med deres erfaringer, og også hvordan bruk av eksterne tilbydere av tørketjenester gir noen ekstra utfordringer i forhold til pakking av materialet, gjenfinning (beholde original rekkefølger) og i forhold til kommunikasjon rundt og dokumentasjon av tørkeprosessen. Tørkeresultatene ble evaluert med hensyn på estetikk, fysiske egenskaper (endret volum, grad av bokling, blokking og bøkens evne til å la seg åpne), samt grad av kontroll og tilgang til materialet under tørkeprosessen.
- I Tjekkia ble det i etterkant av flommen i 2002 gjort vitenskapelige tester av ulike tørkemetoder (Bacilková, Durovič, Neuvirt, Paulusová, Polišenský, Součová, Straka,

Šimenčová, Vnouček og Weberová 2003). Følgende metoder ble evaluert: Vakuum-frysetørring, vakuumtørring, vakuumpakking, lufttørring ved romtemperatur, lufttørring med tørr luft (60 °C, ca 20 %RF), lufttørring med varm luft (110-120 °C, ca) og mikrobølgetørring. Metodene ble vurdert ut fra pris, effektivitet, arbeidsmengde, skader som oppstår i tørkeforløpet (fysiske, estetiske og biologiske). Studien konkluderer med at vakuumpakking gir det beste resultatet estetisk sett, men at denne metoden er så arbeidskrevende og dyr at den ikke er et reelt alternativ for store mengder vannskadet papir. Studien konkluderer videre med at lufttørring ved høy temperatur (110-120 °C) ikke kan anbefales for materiale som en ønsker skal ha lang levetid, fordi de mekaniske egenskapene svekkes.

- En studie gjort ved Det Kongelige Bibliotek i København (Carlsen 1998) fokuserer på vakuum-frysetørring som metode for tørring av vannskadet papir. To ulike former for vakuum-frysetørring ble sammenliknet med tilsvarende papirmateriale som var lufttørket. Studien er gjort på enkeltark med papir, og det er brukt tre ulike papirkvaliteter. Studien går vitenskapelig til verks, og evaluerer tørkeresultatene med hensyn på endrede styrkeegenskaper og aldringsstabilitet. Analysemetoder som er brukt i studien er analyse av papirets sammensetning, analyse av alkali reserve, falsestyrke, rivestyrke, strekkstyrke (zero span index) og bruk av Scanning Elektronmikroskop (SEM). Carlsen konkluderer med at Vakuum-frysetørring endrer styrkeegenskapene og aldringsegenskapene til papir ulikt i forhold til hvilken papirtype det er snakk om. Han konkluderer videre med at vakuum-frysetørring særlig er egnet til å tørke bomullspapir / andre papirer med høy initialstyrke, og anbefaler at såfremt mikrobiologiske angrep, farger og blekk mm ikke utgjør en trussel, så bør vakuum frysetørring ikke anvendes på bestrøket papir og treholdig papir (som har dårlige styrkeegenskaper i utgangspunktet), fordi styrkeegenskapene og aldringsstabiliteten påvirkes kritisk.
- Fischer (1977, s 105-123; 1977, s 124-137)), gjorde en systematisk studie hvor følgende tørkemotoder ble evaluert: Fryse/tine/ vakuum-tørring, lufttørring med og uten bruk av trekkpapir, ekstraksjon av vann ved hjelp av løsemidler (med etterfølgende lufttørring eller vakuumtørring), vakuumtørring med varmluft, tørring med bruk av mikrobølger, og dielektrisk tørring. Studien evaluerer tørkeresultatene med hensyn på både visuelle forhold (ødeleggelse av bokstrukturen; ryggen,

papirblokk og innbindinga) og papirets fysiske egenskaper: strekkstyrke (tensile strength), rivestyrke (tear strength), tykkelse på det tørkede papiret og surhetsgrad (pH) på det tørkede papiret.

1.4 Beskrivelse av studien

Oppgaven har to deler, litteraturstudie (kapittel 1-4) og eksperimentell studie (kapittel 5-9).

Hovedmålet er å belyse om man med en god metodikk for lufttørring med stor sirkulasjon av luft kan ha en tilfredsstillende tørkemetode for vannskadet papirbasert materiale, hvor faren for at det oppstår vekst av muggsopp minimeres, og som er mindre arbeidskrevende enn tradisjonell passiv lufttørring med utstrakt bruk av trekkpapir.

Prosjektets tre arbeidshypoteser belyses i tre ulike studier:

1.4.1 Studie I

Arbeidshypotese:

’Ved bruk av lufttørring med stor sirkulasjon av tørr luft kan man unngå vekst av muggsopp på papirmaterialet i tørkeprosessen.’

Erfaring fra arbeid med muggsopp-skader i bygninger (Mycoteam) og på innbo generelt viser at dersom luftsirkulasjonen er stor, slik at materialet raskt blir overflatetørt, vil det ikke oppstå muggsopp-skader på materialet, uavhengig av relativ luftfuktighet (RF) og temperatur i lokalet, og uavhengig av vanninnhold i gjenstanden / papiret for øvrig. Hovedårsaken til at det er slik er trolig sammensatt, men viktige faktorer er at det er hovedsakelig på overflater at muggsopp-sporene akkumuleres, og det er på overflater at forholdene ellers ligger til rette for vekst av muggsopp. Dette utdypes videre i kapittel 3. Denne kunnskapen er viktig å ta med inn i dette prosjektet med evaluering av tørkemetoder.

Metoder som er brukt for å belyse arbeidshypotesen er:

- Litteraturstudier.
- Samtaler med fagpersoner og forskere samt med institusjoner som har erfaring med vannskader.

- Spørreundersøkelse blant papirkonservatorer vedrørende evalueringskriterier for tørking av vannskadet papir.
- To ulike tørkeforsøk med lufttørking i lukket tørkekammer med følgende dokumentasjon og analyser: Logging av T og RF gjennom hele tørkeforløpet, totalsoppanalyser på utvalgte tidspunkter gjennom tørkeforløpet, luftanalyser med hensyn på spiredyktige muggsopp sporer på utvalgte punkter i tørkeforløpet, måling av lufthastighet over det våte papiret gjennom tørkeforløpet, måling av vannaktivitet (A_w) på aktuelle overflater og utvalgte tidspunkter gjennom tørkeforløpet og tapeavtrekk for analyse av overflater etter tørking.

Resultatene ble sammenliknet med referanseprøver og med tilsvarende materiale som var tørket i vakuum-frysetørker. Etter tørking ble resultatet evaluert ved hjelp av visuelle vurderinger, mikroskopi, mål og vekt, analyse av DP, kunstig aldring, colorometriske målinger, pH-målinger og måling av dimensjonsendringer.

I kapittel 5 og 7 er det gjort nærmere greie for valg av metoder.

1.4.2 Studie II

Arbeidshypotese:

'Frysetørking vil endre papirets fysiske egenskaper slik at det har en mykologisk effekt på materialet'

De fysiske egenskapene som vil ha betydning er i hovedsak papirets hygroskopiske egenskaper og dets struktur. Dette vil igjen ha betydning for hvor raskt vekst av muggsopp vil etableres på overflaten og hvilke arter av muggsopp som vil vokse på materialet når klimaet rundt gjenstanden er gunstig for vekst av muggsopp.

Metoder som er brukt for å belyse arbeidshypotesen er:

- a_w -målinger på referanseprøver og på papir som har gjennomgått de ulike tørkemethodene beskrevet i studie I.
- Sorpsjonskurver av referanseprøver og papir som har gjennomgått ulike tørkemethodene beskrevet i studie I, samt kunstig aldring.

- Mikroskopering av overflater på referanseprøver og papir som hadde gjennomgått de ulike tørkemetodene beskrevet i studie I.

I kapittel 5 og 8 er det gjort nærmere greie for valg av metoder i studien.

1.4.3 Studie III

Arbeidshypotese:

'Frysetørring vil i mindre grad enn lufttørring gi opphoping av næringssalter i overflaten på gjenstanden, noe som vil minke faren for gjentatt biologisk vekst når de klimatiske forholdene ligger til rette for vekst av muggsopp'.

Ved lufttørring vil vannet trekke ut mot bokas/ papirbunkens overflate i vannfase og vil ta med seg partikler og næringssalter til overflaten (Mc. Clearly 1988, kap. 2.1.3). En opphoping av næringssalter i overflaten vil i teorien kunne føre til økt biologisk vekst når temperatur og luftfuktighet ligger til rette for dette på et senere tidspunkt. Det er tidligere gjort undersøkelser av dette fenomenet på treverk ("karamelliseringseffekten"), uten at det er påvist noen mykologisk effekt (pers. meddelelse K.M. Sandland, NTI).

Metoder som er brukt for å belyse arbeidshypotesen er de samme som i studie II.

Valg av metoder for å belyse problemstillingene blir videre drøftet i kapittel 5 og 9.

1.6 Avgrensing av problemstillinger.

Gjennom arbeidet med denne oppgaven, har undertegnede i flere omganger måttet legge til side spennende problemstillinger som er relatert til temaet fuktig arkiv- og bibliotekmateriale og muggsopp, men som ligger på siden av problemstillingene som er beskrevet i avsnitt 1.4 og 1.5.

Denne oppgaven fokuserer på papir som materiale, og en har derfor brukt bunker med papir, og ikke bøker i forsøkene som er gjort. Problematikk rundt bokstruktur og innbinding berøres ikke. Problematikk rundt bruk av arkivbokser berøres heller ikke.

2. Materiale: Papir

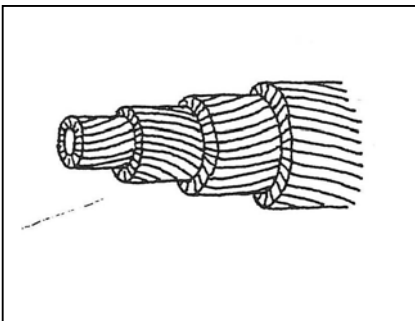
2.1 Papir som materiale

Dette kapittelet er basert på en litteraturstudie omkring papir som materiale.

2.1.1 Kjemisk sammensetning og fysiske egenskaper

Papir er et syntetisk materiale, og hovedbestanddelen i papir er cellulose. I tillegg består papir av bl.a fyllstoffer og lim. Cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n, er et polysakkarid. Kjedelengden kan variere fra noen hundre enheter til flere titalls tusen enheter. Jo lengre cellulosepolymerene er, og jo flere, desto bedre kvalitet har papiret. Lengden på cellulosepolymeren kan måles, og benevnes 'Degree of polymerisation' (DP). Ved å måle DP på et ubehandlet kontra et behandlet papir kan man derfor si noe om grad av nedbrytning.

De lineære cellulosekjedene bunter seg og ordner seg krystallinsk, 10-25 bunter danner en mikrofibrill og ca 50 mikrofibriller danner en fibrill. En fiber består av sjikt med fibriller (se figur 1).



Figur nr. 1 Oppbygging av cellulosefiberen. Diagonalt kryssende lag av fibriller omkring fiberlumen
Kilde Cellulosefiber diagonalkryssende lag av fibriller omkring fiberlumen. Fra: Nordstrand 1981

Cellulosen har både amorfe og krystallinske områder. De amorfe områdene er fleksible, tilfeldige og vannabsorberende, de krystallinske områdene er planmessige, ubevegelige, inerte og hydrofobe. Andelen krystallins vs amorfe områder endres ved nedbrytning. Dette forholdet er helt avgjørende for cellulosens kjemiske og fysiske egenskaper over tid (Timar 1995, s 33).

De mekaniske egenskapene til papiret er avhengig av både materialegenskapene til papirråstoffet, og av framstillingsprosessen (Timar 1995, s 33).

- Lengde på cellulosepolymeren (DP) og antall/ styrke på sekundære bindinger mellom cellulosekjedene (intra-fiber-bindinger) påvirkes i stor grad av papirråstoffets egenskaper, men også i noen grad av de kjemiske modifikasjoner som skjer ved papirframstillinga (koking, tilsetning av ulike kjemikalier).
- Antall/ styrke på bindinger mellom cellulosefibrene (inter-fiber-bindinger) er i stor grad avhengig av hvordan papiret tørker, bl.a fri tørking kontra tørking under press/ strekk. Lobben (1970, s 19-23) viser hvordan papirs tørkemetode (ved produksjon) har stor betydning for papirets egenskaper. Dette forholdet beskrives nærmere i avsnitt 4.1.

2.1.2 Historikk

Overgangen fra pergament til papir skjedde gradvis fra 1400-tallet. Det eldste papiret, fra 1400-tallet og frem til midten av 1800-tallet var laget av tekstilfibre. Det ble hovedsakelig brukt fibre fra bomull og lin. Papir som er laget av tekstilfibre kalles klutepapir. Bomull og lin inneholder nærmere 98% ren cellulose med en høy andel alpha-cellulose og lange molekylkjeder, polymerisasjonsgrad mellom 7000DP (ubehandlet) og 3000 DP behandlet (Trobas 1980, s 143).

Etter 1850 ble behovet for mer papir så stort at man begynte å se seg om etter andre råvarer. Etter inspirasjon av hvordan vepsen bygde sine bol ved hjelp av trefibermasse, ble det gjort forsøk med bruk av treslip i papirmasse. Treslippapiret var laget av en mekanisk bearbeiding av trestokken ved hjelp av en slipemaskin, og uten noen form for kjemisk modifisering av råmaterialet. Trefiber består av cellulose (ca. 38 %) med DP 1000-2000 (ubehandlet), hemicellulose (ca.34%) med DP 50-250 og lignin (ca. 22%) (Trobas 1982).

Man fikk derfor et kortfibret papir med selvnedbrytende substanser (lignin). Man antar at ligninet er en aromatisk forbindelse, i motsetning til cellulose og hemicellulose og at ligninkomplekset er ansvarlig for misfarging og sprøhet i papiret. I dag er avispapiret kvalitetsmessig å sammenligne med treslippapiret, både i forhold til lignininnholdet og i forhold til lengden på molekylkjedene.

Mot slutten av 1800-tallet begynte man å bearbeide slipemassen kjemisk for å få et mer holdbart papir, bl.a. ved å fjerne ligninet. Man fikk sulfitt/sulfatpapiret, såkalt 'kjemisk masse'. Den kjemiske modifiseringen av tremassen som skjer ved papirproduksjon i dag er sammenlignbar med metoden utviklet på begynnelsen av 1900-tallet, bortsett fra at en i dag

ikke bruker sulfitt men bare sulfat. På 60-70-tallet benyttet man seg fortsatt av både sulfitt og sulfat og papir fra denne perioden kan derfor sammenlignes med eldre materiale som finnes i arkivene (Bøhmer 1996, s 11-14). Nærmere 90% av Riksarkivets papirmaterial er av sulfitt/sulfat-cellulose.

2.2 Nedbrytning av papir

Nedbrytning av papir er komplekst. Lagringsbestandigheten til papir bestemmes av et samspill som oppstår ved at fibre blir stadig svakere, og bindingene mellom dem blir sterkere (Bøhmer 1996, s 24). Kjemisk, fysisk og biologisk nedbrytning av papir er ikke separate prosesser; de henger sammen:

- Hastigheten på de kjemiske prosessene er avhengig av temperaturen, og også i noen grad av RF (Bøhmer 1996, s 28; Timar 1995, s 33).
- Oppfukning medfører en svelling i fibre. Cellolytisk virksomme mikroorganismer vil syntetisere enzymet cellulase, som bryter ned cellulosemolekylene til glukosemonomere som er lett tilgjengelig for muggsopp.
- Mikroorganismer og muggsopp produserer i tillegg organiske syrer i sin metabolisme som igjen vil aktivere en hydrolytisk nedbrytning av cellulosemolekylet (Timar 1995, s 33).

2.2.1 Kjemisk nedbrytning

Kjemisk nedbrytning av cellulose skjer primært ved tre typer prosesser: hydrolyse, oksidasjon og cross-linking.

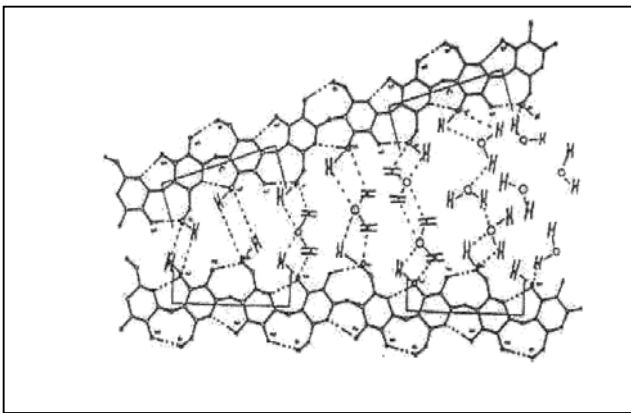
Ved en moderat grad av nedbrytning vil det være en hydrolytisk forandring i cellulosepolymerkjeden på grunn av sure forbindelser (lav pH). Ved depolymerisasjon dannes det hydrofile grupper, noe som medfører at vannet trenger fortere og bedre inn i papiret. I videre nedbrytningsforløp vil metallkomponenter i papiret eller oksydativ bleking av papirmassen (eks. ved bruk av klor) forårsake en oksidasjon av cellulosepolymerkjeden. I videre nedbrytningsforløp vil det være en økende grad av cross-linking (se fig.3 og 4) mellom cellulosemolekylkjedene noe som medfører en økende hydrofob tendens, fordi en oksidasjon i første omgang vil bryte de amorfe områdene. Det vil si at cellulosekjedens

krystallinske områder blir værende igjen og vannet trenger vanskeligere inn i papiret (Reyden 1992, s 121).

Hydrolyse av cellulosepolymeren.

Ved hydrolyse av cellulosepolymeren brytes oksygenbindingene mellom glukosidene i cellulosepolymerene. Det innebærer at kjedene blir kortere (DP synker), og at de blir flere (gir flere reduserende kjedeender; aldehydgrypper som virker som katalysator for basisk hydrolyse) (Timar 1995, s 34).

Barrow (1955) innførte begrepet pH i papirkonservering. Barrow viste hvordan papiret tapte sin styrke ettersom pH sank og konkluderte med at syre er den viktigste årsak til nedbrytning av papir. Glukosidbindingene mellom glukosemonomerene er stabile under nøytrale og moderat alkaliske forhold. Under sure forhold brytes bindingene. Den hastigheten dette skjer med øker proporsjonalt med økende syrekonsentrasjon i papiret, dvs. hydrogen-ion aktiviteten. Dette er en katalytisk reaksjon, det betyr at hydrogenionet (H^+) som forårsaker nedbrytningsreaksjonen ikke selv brukes opp men fortsetter å være aktive så lenge det finnes bindinger å bryte.



Figur 2. Detalj av mikrofibrill i cellulose som viser adsorpsjon av vann i amorfe områder. Fra : Reyden 1992, s 120.

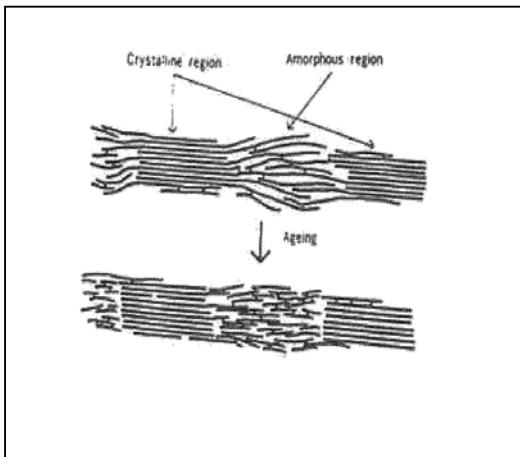
Oksidasjon

Hydrolytisk nedbrytning katalysert av syre er ikke den eneste årsak til nedbrytning av cellulosepolymeren, da en har påvist fortsatt aktiv nedbrytning etter at papiret har blitt avsyret.

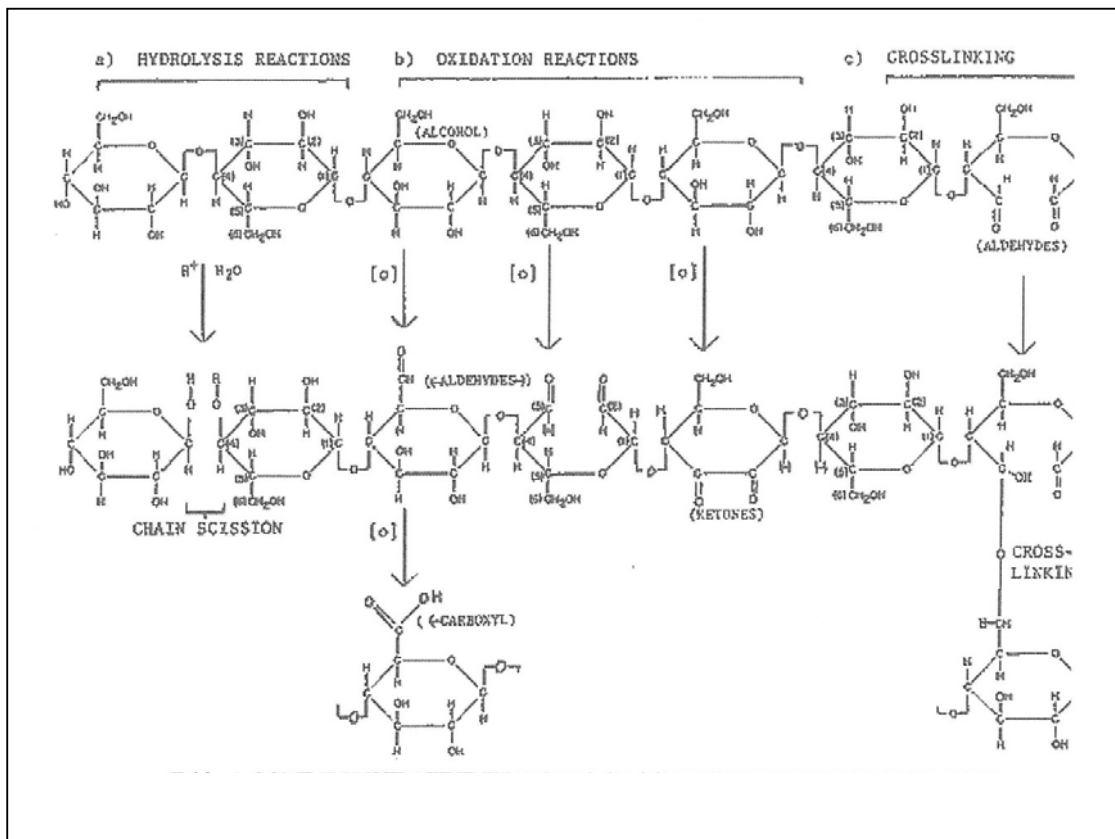
Papirteknologen D. Entwistle undersøkte alt i 1949 nedbrytningen av alkaisk cellulose og påviste at oksidasjonsprosessen primært startet på cellulosekjedens aldehyd-ende grupper. Oksidasjonsprosessen angriper både de funksjonelle gruppene og glukosid-oksygenbindingene. Resultatet blir en lav-molekylær polysakkarid (lavere DP) med et høyt antall karbonyl- og karboksyl grupper, dvs. kromofore grupper. Man kan derfor si at oksidativ nedbrytning av cellulosepolymeren medfører dannelse av gulbrune nedbrytningsprodukter (Entwistle, Cole, Wooding 1949, s 527-544; Ramsholt 1999, s. 23-24; Timar 1995, s 34).

Cross-linking

Cross linking er dannelse av irreversible bindinger mellom cellulosepolymerene og medfører at papiret får en økende hydrofob tendens.



Figur 3. Illustrasjon av hvordan cross-linking gjør at de amorfe områdene i cellulosepolymeren blir nedbrutt. Fra: Reyden 1992, s 121.



Figur 4. av vanlige cellulose-reaksjoner: hydrolyse, oksidasjon og cross-linking. Fra Reyden 1992, s 118.

2.2.2 Biologisk nedbrytning av papir

Biologisk nedbrytning vil bidra kjemisk dekomponering, og til misfarging av papir. Bøhmer (1996, s 25) mener at dette betyr lite for lagringsbestandigheten til papir i forhold til de bidragene som gis av sur hydrolyse, høy RF og høy temperatur. Bøhmer skriver imidlertid om lagringsbestandighet under tørre forhold. I denne studien handler det derimot nettopp om hva som skjer ved vannskader, og da er biologisk nedbrytning, særlig ved vekst av muggsopp nettopp en dominerende nedbrytningsfaktor, som vil ha hovedfokus i denne studien.

2.3 Når papir blir vått

Papir er svært hygroskopisk, det vil si at det har stor kapasitet til å ta opp vann. Papir som er laget før ca 1850 (klutepapir) har en større kapasitet enn annet papir på grunn av at det er brukt vannløselig lim i papiret. Denne typen papir kan ta opp vann tilsvarende ca 80% av sin egen vekt. Papir laget etter ca 1850 (mekanisk masse og kjemisk masse) er ofte behandlet

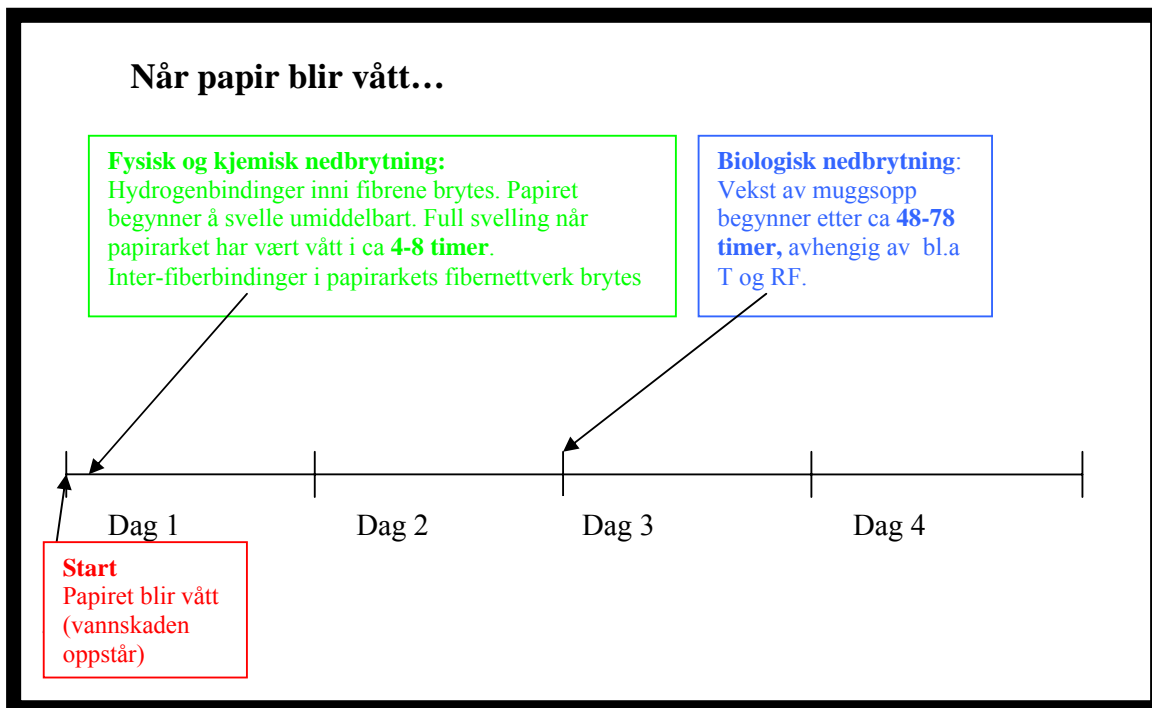
med vannavisende lim, og denne typen papir kan ta opp vann tilsvarende ca 60% av sin egen vekt (Mc Clearly 1987, kap. 2.1.1).

Typiske skader som oppstår når papir blir vått er (Mc Clearly kap 2.1.5; Buchanan 1988, s 71; Kaplan og Ludwig 2005, s.150; Mattsson 2004):

- Papiret sveller. Siden papiret sveller mye de første timene, og siden papiret og innbindingen på bøker sveller i ulik grad, vil ryggen på bøker bli konkav, og sidepermene konvekse etter kun få timer. Spenningsene vil gjøre at bøker går mer eller mindre fra hverandre.
- Blekk og farger kan være vannløselige, og vil da flyte utover; både ved oppfukning, og gjennom tørkeprosessen. Jo lengre papiret er vått før det blir stabilisert, jo større er dette problemet.
- Urenheter i vannet eller oppløste nedbrytningsprodukter i papiret beveger seg rundt i papiret og skaper skjolder og linjer.
- Bokling: Deformasjon i makroskala: Siden papiret tar opp ulik mengde vann ulike steder i arket/ papirbunken/ boka , vil det oppstå spenninger mellom ulike soner i arket/ bunken, og dermed deformasjon av arket i form av bølger og bretter (bokling).
- Vekst av muggsopp vil oppstå på vått papirmateriale etter ca 48-72 timer dersom papiret ikke blir stabilisert ved frysing eller det blir satt i gang tørking med stor luftsirkulasjon, slik at overflatene raskt tørker.

På mikronivå skjer følgende når papiret blir vått (Porck og Teygeler 2000; Sugerman og Vitale 1992 s. 176):

- Hydrogenbindinger inni fibre (intra-fiberbindinger) brytes.
- Fiber- til fiber- hydrogenbindinger (inter-fiberbindinger) i papirarkets fibernettsverk brytes, noe som fører til at fibernettsverkets struktur blir endret og ødelagt.



Figur 5. Tidsakse, nedbrytning av papir ved oppfukting

2.4 Når papir tørker

Forstyrrelsene som skapes når papiret blir vått blir reversert når papiret tørker (Buchnan 1988, s 72).

- Blokking: Papirarkene klister seg sammen, og papirbunker og bøker kan ”blokke seg” ved at alle ark klister seg sammen og ikke kan løsnes igjen. Denne problemstillingen er særlig aktuell for bestrøket papir, men det vil i noen grad også oppstå sammenklistring av ark også for andre papirkvaliteter.
- Bokling skjer også i tørkeprosessen. Ulike tørkeprosesser gir ulik grad av bokling i papiret. I framstillingsprosessen til papir hurtigtørkes papiret på ruller, og dette etterlater spenninger i papiret. Disse spenningene utløses når papiret senere blir vått og tørker, og er trolig en årsak til bokling (Cunha 1977, 2 101). I tillegg til dette er fuktgradienter som oppstår i papiret / boka/ papirbunkene ved oppfukting og under tørking årsak til bokling.

I kapittel 4 følger en gjennomgang av de kjemiske og fysiske mekanismene som fører til disse tørkeskadene.

På mikronivå skjer følgende når papir tørker:

For at det skal dannes (nye) interfiber-hydrogenbindinger mellom cellulosefibrene når papir tørker, må det være en vannfilm av fritt vann mellom fibrene som ved den sterke overflatespenningen trekker fibrene tett nok sammen til at interfiber -H-bindingene kan dannes. Fenomenet kalles Campbells krefter. Sammentrekningskraften øker ettersom vannet fjernes, og kraften i siste fase, som etter Campbell er ansvarlig for å bringe fiberoverflatene så nær hverandre at kjemiske interfiber-hydrogenbindinger etableres, kan bli opptil 100-200 atm. (Lobben 1970, s 9).

Campbells teori ble først lansert på 1930-tallet, og var fra 1960-tallet generelt akseptert i papirforskningsmiljøet (Lobben 1970, s 9). Senere forskning har også vist at hvis det er fibriller og finstoff til stede vil kreftene i vannfilmen mellom fibrene øke kraftig (Lobben 1970, s 11).

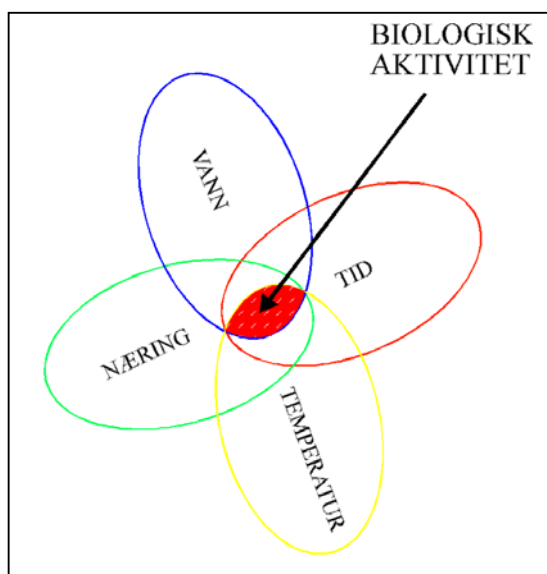
Campbells teori og Lobbens utgreiing omkring teorien baserer seg på tørking av papir i framstillingsprosessen, og ikke papir som er refuktet med vann og deretter skal retørkes. Noen av forsøkene fra 1950- og 60-tallet viste at slitstyrken ble redusert med så mye som 70% når papir ble frysetørket (Lobben 1970, s 35-79). Professor Øyvind Gregersen ved Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) i Trondheim, bekrefter at det er gjort lite forskning omkring hva som skjer på molekylnivå og mikronivå ved tørking av papir som er refuktet (f.eks ved en vannskade), men at grunnprinsippene, som Campbells krefter vil være avgjørende også her, selv om effekten ikke vil være like sterk som ved første gangs tørking i produksjonsfasen (personlig meddelelse professor Øyvind Gregersen).

I kapittel 3 følger en gjennomgang av forutsetningene for biologisk nedbrytning av papir. Dette er viktig bakgrunnskunnskap som er en forutsetning for å forstå både oppsettet av forsøkene som er beskrevet i kapittel 5, og tolkinga av resultatene som gjøres i kapittel 7, 8 og 9.

3. Forutsetninger for biologisk nedbrytning av papir

Dersom vått eller fuktig papirmateriale ikke blir tørket (igangsetting av tørkeprosessen/ tørking til overflatetørt) eller stabilisert ved frysing innen 48-72 timer, er det stor fare for at det oppstår vekst av muggsopp på overflaten. For å forstå mer av hvorfor og hvordan dette skjer, er det viktig å ha god oversikt over alle faktorene som påvirker hvor, hvordan og når vekst av muggsopp skjer.

Vekst av muggsopp er avhengig av en rekke faktorer. De viktigste faktorene er fuktighet, næringstilgang, temperatur og smittepress. I tillegg kommer faktorer som pH, tilgang på O₂, CO₂ og sporstoffer, men disse har i praksis betydelig mindre betydning. Hvor stor den biologiske aktiviteten er, er også avhengig av hvor lang tid disse faktorene er gunstige på samme tidspunkt (Mattsson 2004, s.6-13, Florian 2002, s.41) (se figur 6).

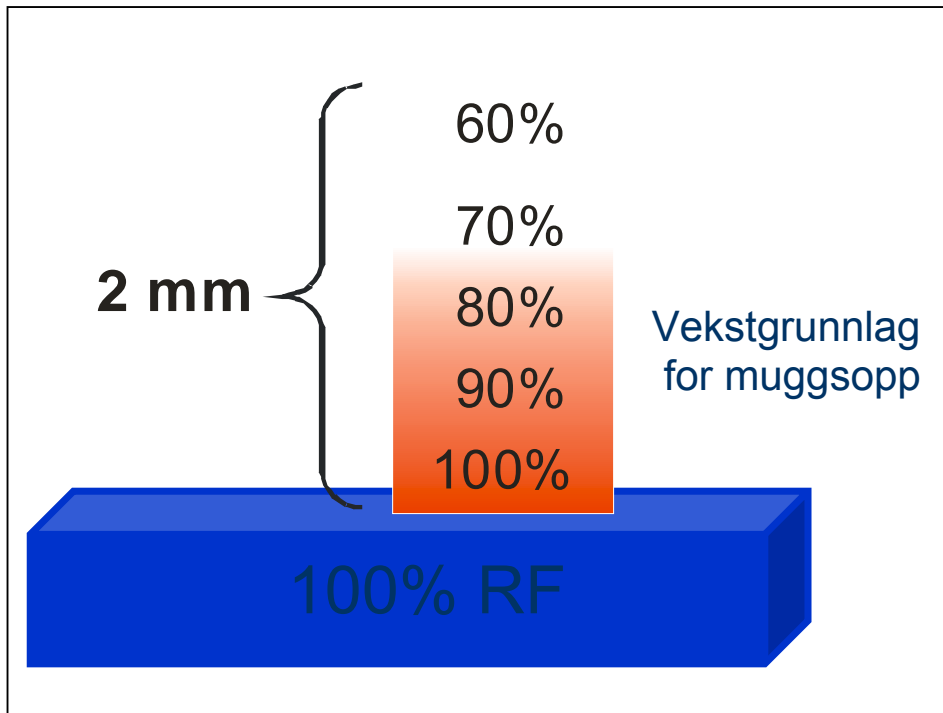


Figur 6. Forutsetninger for vekst av muggsopp. Fra Mattsson 2004, s 6

Noen av disse faktorene kan man styre og måle, andre er vanskelige å kontrollere og/ eller kan ikke måles. Tilstrekkelig mengde næringsstoffer for vekst av muggsopp er tilgjengelig på så og si alle overflater, både på bygningsmaterialer, kunst og andre gjenstander. Denne faktoren kan vanskelig styres. Muggsopp sporer finnes i lufta overalt, dog varierer mengden gjennom årstidene. "Smittepress", dvs. mengden sopp sporer som finnes i lufta og på overflater kan i noen grad styres, og kan for så vidt også måles, men dette krever tilgang på spesielt måleutstyr, og må avleses i laboratorium av en soppkyndig person. Normalt antas det at en

viss mengde sporer finnes på alle overflater. Lagring uten god styring på spredning av sporer via luft og uten god inntakskontroll med rengjøringsrutiner øker mengden sporer på aktuelle overflater. Både temperatur og fuktighet er enkelt målbare faktorer, og dette gjør det mulig å identifisere risikoområder og forutsi utvikling av muggsoppskader (Florian 2002, s. 41-61). Vekst av muggsopp på bygningsdeler eller gjenstander er i noen tilfeller den direkte årsaken til at man blir oppmerksom på at de klimatiske forholdene i et lokale eller deler av et lokale ikke er tilfredsstillende.

Begrepet mikroklima beskriver vanligvis klimaet i et område som er fra noen få meter til noen kilometer stort (Haagenrud 1997). Klimaet i et rom eller en bygning vil typisk bli beskrevet som et mikroklima. Når en konservator snakker om mikroklima refererer han eller hun ofte til et lite område som et rom, et skap eller området bak et bilde som henger på veggen. Begrepet brukes da i betydningen ”et område hvor man mistenker at temperatur og/ eller relativ luftfuktighet er forskjellig fra de nærliggende omgivelsene på grunn av mangel på luftsirkulasjon og / eller temperaturgradienter på kalde overflater”. Begrepet nanoklima refererer til klimaet på en overflate (Haagenrud 1997). Det har blitt vist at det kan være stor forskjell på temperatur og relativ luftfuktighet innen bare noen få centimeter eller millimeter (Mattsson 2004, s. 39) (figur 7). Siden muggsopp vokser på overflater er det viktig å forstå mikroklimaet på overflater, dvs. nanoklimaet. Begrepet Mycoklima brukes om området der soppen vokser: området rundt hyfen, i vedcellen, på papirfiberen; noen tusendels til hundredels millimeter som er helt avgjørende for hva som vil skje av mikrobiell utvikling (van Brunswijk 1981, s 24).



Figur 7. Illustrasjon av nanoklima. (Fra Mattsson 2004, s. 39)

Kunnskaper og holdninger til hvordan et muggsoppangrep best håndteres har endret seg gjennom historien, og er også geografisk og kulturelt betinget. Ved et muggsoppangrep i et magasin eller en utstilling vil en del museumsansatte reagere nærmest panikkaktig og ønske seg en rask og effektiv metode som kan 'drepe og fjerne muggsoppen'. Dette er trolig årsaken til at man tradisjonelt har benyttet store mengder kjemikalier både for å forebygge og å bekjempe muggsoppangrep. Utover 1900-tallet, da en rekke nye, syntetiske pesticider ble utviklet, ble disse tatt i bruk også i museer. Det ble særlig brukt mye kjemikalier til forebygging og bekjempning av insektangrep, men også til bekjemping av mikroorganismer som f. eks muggsopp. Utover 1970- og 1980-tallet var det en stigende bekymring for helseeffektene og miljøeffektene av denne ekstensive kjemikaliebruken generelt, og fra 1980-tallet begynte man i museene sakte men sikkert å redusere kjemikaliebruken. Fokuset skiftet i stedet til forebyggende tiltak for å hindre angrep av mikroorganismer og skadedyr. Integrated Pest Management (IPM), med fokus på forebygging og bruk av minst mulig giftige bekjempingsmidler, er i dag kommet for å bli, og kan virke som en selvfølge for yngre konservatorer. Det er imidlertid fortsatt store forskjeller når det gjelder i hvilken grad kjemikalier brukes aktivt til forebygging og bekjempelse av insekter og mikroorganismer.

Mens man i USA og Vest-Europa har høyt fokus på helsefarer forbundet med utstrakt kjemikaliebruk, er det fortsatt svært vanlig med en relativt ukritisk bruk av kjemikalier i andre deler av verden. F.eks ble det brukt store mengder med ulike kjemikalier for desinfeksjon av bøker og papir etter flommen i Praha i 2002, selv om man visste at bruk av disse fungicidene var forbudt i USA og EU (Rogers 2003, s 3; Vichra 2005, s 2). Det er også store forskjeller mellom institusjonene i Norge når det gjelder hvilket fokus man har på å jobbe forebyggende eller om man tyr til kjemikalier for å 'løse problemet'.

3.1 Vann

Det er tre ulike aspekter ved vannforhold når det gjelder muggsoppvekst på overflater (Florian 2002, s. 42):

- Vanndamp i lufta (oftest målt som relativ luftfuktighet, RF).
- Likevektsfuktigheten (Equilibrium Moisture Content, EMC) i materialet og dets vannaktivitet (a_w).
- Fuktigheten i sporer og hyfer (Moisture Content, MC).

Disse tre aspektene er innbyrdes avhengige av hverandre, og særlig forholdet mellom RF, EMC og a_w er komplekst, men viktig å forstå.

3.2 Likevektsfuktighet (EMC)

Likevektsfuktigheten i materialet (EMC) vil si den fuktigheten materialet inneholder (adsorbent vanndamp) når det er i likevekt med lufta som omslutter det ved gitt temperatur og trykk. Mengden vanndamp et materiale tar opp avhenger av materialets struktur, RF, temperaturen i grader Celsius (t) og materialets a_w (Florian 2002, s. 43).

3.3 Vannaktivitet (a_w) og relativ luftfuktighet (RF)

Vann kan ha tre ulike lokaliseringer i materialer (Florian 2002, s. 45):

- Bundet vann: vann som er kjemisk bundet til materialet som del av den molekylære strukturen i polymerene i organiske materialer.

- 'multilayered water': vann på overflaten av polymerer, bundet med svake hydrogenbindinger. Dette vannet beveger seg fritt ved RF-endringer, og det kan utnyttes av noen arter av muggsopp.
- Fritt vann: vann som ikke er bundet, finnes i store kapilærer, og er lett tilgjengelig til bruk for mikroorganismer.

De tre ulike lokaliseringene av vannet innebærer tre ulike 'frihetsgrader' for vannet.

Vannaktiviteten, a_w , er et mål på hvor mye av vannet som er fritt og ubundet i materialet, det vil si hvor tilgjengelig vannet i et materiale/ på en overflate er for mikroorganismer (Florian 2002, s. 47). Banalt sagt; muggsopp vokser ikke i lufta, men på overflater, derfor er det i realiteten ikke RF, men a_w som avgjør om vekst av muggsopp på overflaten er mulig.

a_w er definert som forholdet mellom vandamptrykket over en prøve og vandamptrykket over rent vann ved en gitt temperatur. a_w kan derfor måles som RF i luften over en prøve som er i likevekt med atmosfæren i et lukket kammer (Nygaard 2005, s.1). a_w i et materiale er den RF (oppgett i en desimalbrøk) som materialet står i likevekt med. F. eks vil et materiale med en vannaktivitet på 0,50 være i likevekt med luft som har 50% RF. Materialet vil da ta opp fuktighet fra lufta hvis RF er over 50%, og avgi fuktighet til lufta hvis RF er under 50% (Mattsson 2004, s. 8, Florian 202, s. 42-43).

Også kjemikalier som er til stede i materialet påvirker vannaktiviteten. Dette prinsippet brukes mye i konservering av matvarer, hvor tilsetning av salt, sukker, sorbitol etc. senker matvarenes a_w ved at det frie vannet blir bundet til disse saltene og polymerene, og dermed ikke lenger er tilgjengelig for mikroorganismer på overflaten (ref. konservering av frukt og bær ved hjelp av store mengder sukker). Kulturhistoriske gjenstander av organisk materiale inneholder ofte vannløselige kjemikalier som har kommet til gjennom produksjon, bruk eller konserveringsbehandling. Disse kjemikaliene kan endre gjenstandens a_w . En tilsetning av f. eks glyserin for å gjøre lær mykt og smidig vil senke a_w i læret. Vannet vil være sterkt bundet til glyserinmolekylene, og vil ikke bevege seg i takt med endringer i RF og temperatur i lufta rundt gjenstanden (Florian 2002, s. 47).

Litteratur innen forebyggende konservering de siste tiårene gir relativt samstemte anbefalinger når det gjelder grenseverdi for RF før det er fare for vekst av muggsopp. Både 'Bevaringshåndboken' (Nissen 1986, s 62), Garry Thomsons 'The Museum environment' (Thomson 1986, s.86-87), magasinhandboken 'Tidens Tand' (Ekroth Edebo 1999, s.333) og

Norsk Museumsutviklings publikasjon 'Ta vare på gjenstandene' (Røskar, Hernes og Vingelsgaard 1998, s.13) anbefaler 65-70% RF som grenseverdi, og 'Bevaringshåndboken' argumenterer sågar for at man for å være på den sikre siden bør holde RF på 50-60%.

Florian peker på at å velge 70% RF som grenseverdi for å kontrollere muggsoppangrep er skjønnsmessig, men at å senke RF og EMC er det beste vi kan gjøre inntil vi kan måle a_w i gjenstandene (Florian 2002, s. 54). a_w kan måles. En rekke institusjoner og bedrifter både innen næringsmiddelindustrien og rådgivende bedrifter innen fuktmeikk og fuktproblematikk har slikt utstyr. Utstyret koster noen tusenlapper, målemetoden er nondestruktiv, og målinger kan gjøres på overflater med størrelse fra ca 1 cm^2 . For forebyggende tiltak og overvåking av store samlinger vil måling av a_w på enkeltgjenstander ha begrenset verdi, men dette aspektet bør tas med i betraktning når a_w påvirkes gjennom ulike konserveringsbehandlinger, og ved planlegging av magasiner og utstilling av gjenstandsgrupper hvor denne problematikken er særlig aktuell.

For at et muggsoppangrep skal etableres må det være tilstrekkelig fuktighet i overflaten av materialene, hvor sopp sporer deponeres når de har blitt fraktet dit med luftstrømmer. Mikroklima og kondensering på en overflate vil derfor utgjøre en større risiko for etablering av muggsopp enn fuktighet innover i materialene. For de vanligste forekommende muggsoppene ved skader innendørs er det behov for $0,85 a_w$, og helst over $0,90 a_w$. I praksis er det derfor hensiktsmessig å regne et skille for vekst av muggsopp ved 85% RF (Mattsson 2004, s. 9, Samson, Hoekstra, Frisvald og Filtenborg 2004, s. 304). Siden de fleste måleinstrumenter opererer med en måleusikkerhet på 5% RF. Det vil derfor være hensiktsmessig å operere med en veiledende norm på 80% RF. Jo nærmere 100% RF man kommer, jo flere arter av muggsopp vil få gode vekstbetingelser. Veksthastigheten vil også øke med fuktnivået.

Muggsopp omfatter en svært stor, heterogen gruppe sopp med svært ulike økologiske behov når det gjelder vann og temperatur. Dette sees tydelig i praksis når en sammenlikner grenseverdier for RF for vekst av noen av de mest vanlige muggsoppartene. Praktisk erfaring fra undersøkelser på skadesteder stemmer godt overens med grenseverdier som beskrives i litteraturen (Samson, Hoekstra, Frisvald og Filtenborg 2004, s. 304). I skader hvor RF i lengre perioder ligger rundt 80-85% finner en ofte muggsopp innen slektene *Aspergillus*, *Eurotium* og *Wallemia*. I tilfeller hvor RF har ligget rundt 85-95%, finner en mange arter i

slektene *Cladosporium* og *Penicillium*, mens slektene *Chaetomium*, *Phoma*, *Stachybotrys* og *Trichoderma* ofte vokser i området hvor RF er over 95%. Mycoteams erfaring med laboratorietester av soppvekst på ulike materialer tyder på at mange muggsopparter trenger fritt vann på overflaten for å kunne spire (initiering av veksten).

3.4 Forholdet mellom vann og materialene

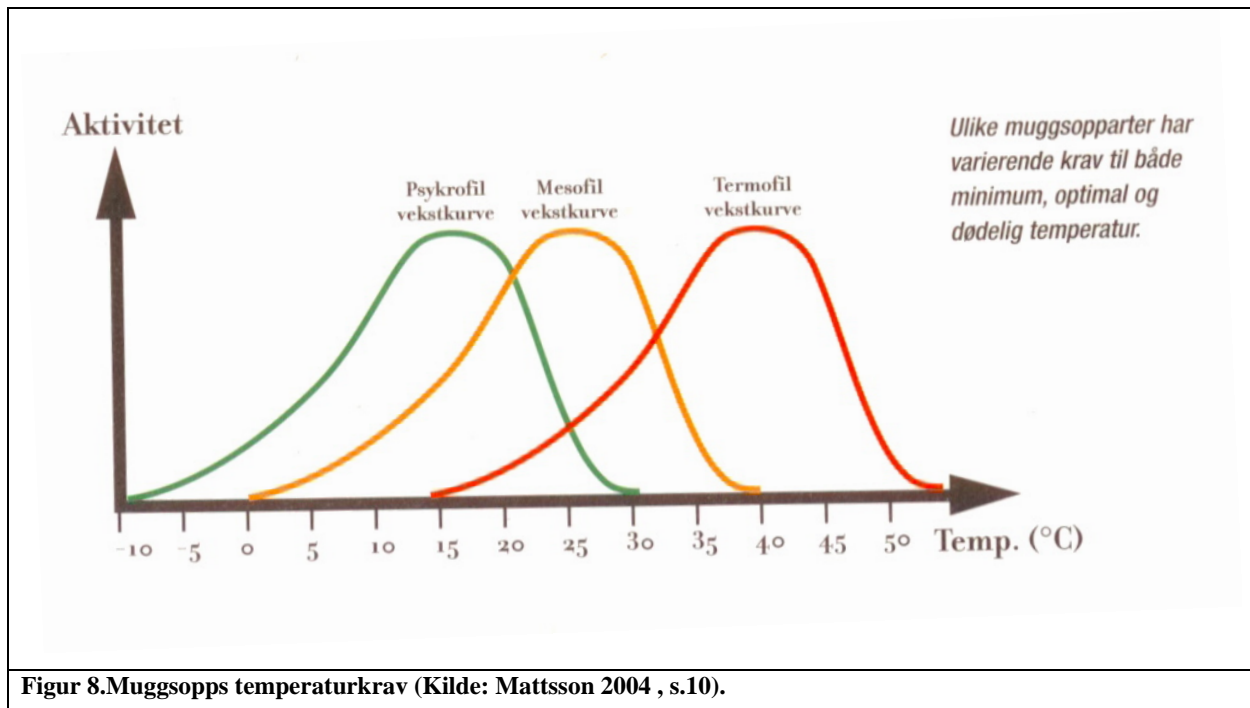
Over tid vil organisk materiale ta opp og avgi vanndamp avhengig av svingninger i RF i omgivelsene. Hver gang organisk materiale avgir vanndamp vil noen av molekylbindingene som vanligvis inneholder vann, binde seg til hverandre i stedet ('cross linking'). Dette tapet av bundet vann fører til at materialet etter hvert blir hardt og stivt (Sugerman og Vitale 1992; Florian 2002, s. 48). Når fuktighet blir tatt opp på overflaten i organisk materiale pga økt RF (adsorpsjon), og deretter avgis til omgivelsene på grunn av synkende RF (desorpsjon), er hastigheten på desorpsjonen lavere enn hastigheten av adsorpsjonen. Dette fenomenet kalles hysteres, og er en karakteristisk egenskap for alle organiske materialer (Mattsson 2004, s. 9, Kollmann 1968, s. 189-195). Det betyr at ved desorpsjon vil EMC (mengden vann/ vanndamp gjenstanden inneholder) ligge høyt nok til å tillate vekst av muggsopp ved mye lavere RF enn ved adsorpsjon. Dette er særlig relevant ved tørking av vått materiale: f.eks vil en bok som har blitt våt og deretter blitt tørket ned til 50% RF fortsatt ha en mye høyere EMC enn den samme boka hadde ved 50% RF før boka ble våt. Mer forskning trengs for å klargjøre om denne forskjellen er stor nok til å danne grunnlag for vekst av muggsopp (Florian, s. 50).

I denne studien er det laget sorpsjonskurver på utvalgte prøver, for å se om disse kan si noe om ulike tørkemetoder endrer papirets evne til å ta opp og avgi fuktighet. Metodikken er nærmere beskrevet i kapittel 5 og 8.

3.5 Temperatur (t)

Muggsopp er avhengig av en gunstig temperatur for å vokse og trives.

Normalt trenger muggsopp noen plussgrader for å kunne utvikle seg. Hva som er optimal temperatur for muggsoppen, er avhengig av hvilken muggsopp det er snakk om (se figur 8).

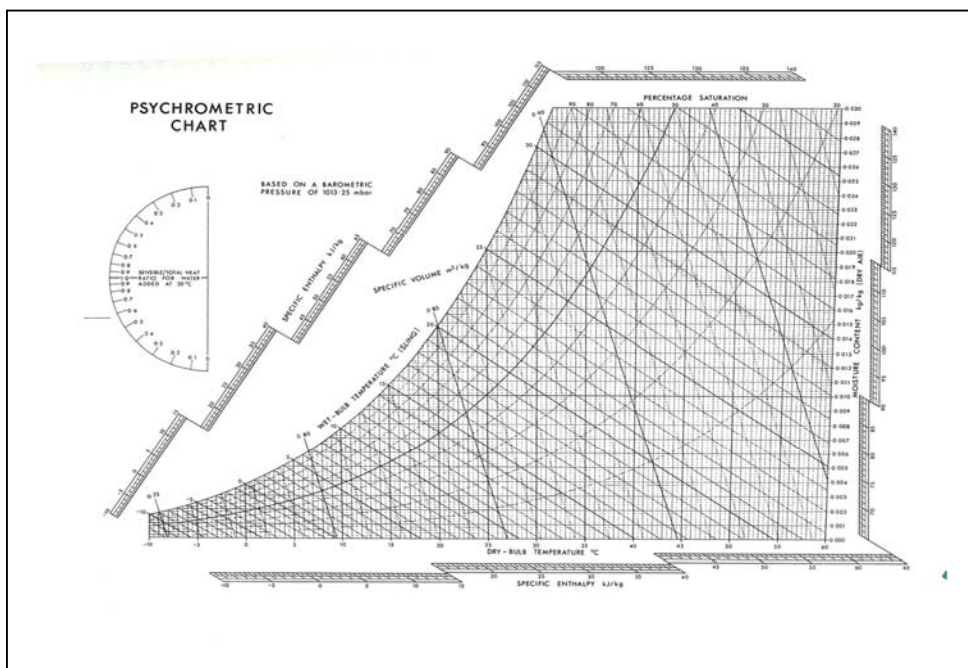


Figur 8. Muggsopps temperaturkrav (Kilde: Mattsson 2004, s.10).

Aktiviteten øker når temperaturen stiger, og er høyest ved en optimaltemperatur på omkring 25-30° C. Ved temperaturer høyere enn dette avtar aktiviteten, og ved ca 40-50° C dør soppene (Mattsson 2004, s. 9; Florian 2002, s. 55). Veksthastigheten reduseres når temperaturen nærmer seg 0 °C, men soppene dør ikke. Nedfrysing ved oppbevaring i flytende nitrogen er en vanlig måte å oppbevare muggsoppkulturer på. Oppbevaring av muggsoppskadet materiale ved lave temperaturer (f.eks kjøleskapstemperatur) vil senke veksthastigheten for muggsoppen, men vil ikke stanse veksten. Ved nedfrysing vil sporer og muggsopp vanligvis ikke dø men bare gå i dvale. Florian mener at dersom innfrysningen av muggsoppskadet materiale skjer sakte, slik at det bygges iskrystaller i materialet, vil muggsoppen kunne dø på grunn av at iskrystallene vil ødelegge soppene fysisk (Florian 2002, s.58). Denne teorien vil innebære at store mengder sopp dør i naturen hver høst og vinter. Dette skjer trolig noen grad, men uttørring er en vel så viktig årsak til at muggsopp dør i naturen. Ved en sakte innfrysing hvor det dannes iskrystaller i materialet vil disse samme iskrystallene også virke nedbrytende på gjenstanden / papiret.

Et annet viktig aspekt ved temperatur er sammenhengen mellom temperatur og RF. Når temperaturen ikke er konstant men svinger, - enten i lufta, (pga f.eks døgn- og årstidsvariasjoner) eller på overflater (pga kuldebroer i konstruksjoner), så vil alltid faren for kondensering på overflater være til stede. Et Mollierediagram / psykrometrisk diagram (figur

4) er et godt hjelpemiddel for å ha oversikten over sammenhengene mellom temperaturen og vanninnholdet i lufta. Her kan en lese forholdet mellom temperatur og vanninnholdet i lufta, og dermed finne duggpunktet: temperaturen hvor det med et gitt vanninnhold i lufta vil oppstå kondensasjon. Det er trolig ikke mange konservatorer som har et Mollierediagram i lomma når de har sine faste runder for å sjekke klimaforhold, men det er en nyttig øvelse å alltid sjekke hva duggpunkttemperaturen i det aktuelle lokalet er, samt tenke ut hvilke punkter eller overflater som potensielt kan være kalde punkter hvor denne temperaturen lett kan nå slik at det oppstår kondensasjon. Man kan også lage et regneark som automatisk regner ut duggpunkttemperaturen når temperatur i lufta og RF er gitt.



Figur 9. Psykrometrisk diagram. Fra Thomson 1986, s. 211

3.6 Tid

Ved dyrking av muggsopp under optimale forhold er det mulig for flere arter å oppnå vekst fra spore til ny sporeproduksjon (en livssyklus) i løpet av ca et døgn. I praksis trengs det som regel flere dager med gunstig fuktbelastning før skader oppstår. Det betyr at i realiteten har man noen få dager på seg fra en vannlekkasje oppstår til å få satt inn de riktige tiltakene, før det oppstår muggsopp-skader. I tillegg til de fysiske forholdene som vanninnhold, luftfuktighet

og temperatur, er hastigheten for etablering av muggsopp også avhengig av hvor stort 'smittetrykk' det er av spiredyktige sporer.

3.7 Smittetrykk

Hvis det allerede er deponerte sporer på den aktuelle overflaten kan veksten starte umiddelbart ved gunstig fuktighet, temperatur og næringstilgang (Mattsson 2004, s.9). Risikoen for etablering av muggsopp øker med tilførsel av nye, spiredyktige sporer i lufta. Mengden sporer som naturlig finnes i lufta varierer med årstidene: Om sommeren når det er store mengder muggsoppsporer i lufta skjer en etablering av muggsoppvekst på fuktige overflater mye raskere enn om vinteren når det er svært få muggsoppsporer i utelufta. Denne teorien er omdiskutert. Konservative mykologer vil hevde at det ikke spiller noen rolle om det ligger 10, 100 eller 1000 sporer på den aktuelle overflaten når gunstige vekstforhold inntreffer. I prinsippet vil 1 spiredyktig muggsoppspore være nok til å etablere vekst av muggsopp. Svært mange sporer dør i lufta pga UV-bestråling eller på grunn av uttørring, og i praksis vil det ha større betydning hvilke arter som er til stede enn antall sporer som er til stede.

3.8 Andre faktorer: O₂, CO₂, pH og sporstoffer

Muggsopp trenger nok O₂, passende mengde CO₂, sporstoffer og en pH mellom ca 2 og 9 for å kunne vokse. Disse faktorene er stort sett til stede over alt, og er ofte lite hensiktsmessig å regulere.

3.9 Mikromiljø

Det mest typiske eksempelet på mikromiljø som øker sannsynligheten for vekst av muggsopp er støv på overflaten av materialene. Muggsoppen vil gro fordi støvet inneholder sporer og andre partikler, f.eks animalske fiber, hudceller, stivelseskorn med mer, som skaper et mikromiljø hvor det adsorberes nok fuktighet til at muggsoppsporene kan spire (Florian 2002, s. 55). Deponering av muggsoppsporer på en overflate er avhengig av egenskapene til den aktuelle overflaten og av hvor stor luftsirkulasjon det er over overflaten. Klissete, ru overflater 'fanger' mer soppsporer enn glatte, tørre overflater og, gitt at overflaten er tørr, vil overflater med konstant luftbevegelse samle færre soppsporer enn der hvor luften står stille (Florian

2002, s.29). I forhold til å forebygge vekst av muggsopp, vil imidlertid den viktigste effekten av økt luftsirkulasjon over en fuktig overflate være at det vil øke uttørkingen av overflaten (materialet blir raskere overflatetørt) og dermed hindre at det dannes mikroklima, - og nanoklima med for høy RF og fare for kondensasjon på overflaten.

3.10 Kompleksitet

Florian (2002, s. 54) peker på at variasjoner i a_w er den viktigste grunnen til at noen gjenstander har vekst av muggsopp på overflaten og andre ikke har det, under like RF – og temperaturforhold. Florians forklaring av hvordan mykgjørere som tilsettes f.eks lær binder vannet og senker a_w stemmer ikke med mange konservatorers praktiske erfaring med at det nettopp er lærvesker og skinnstøvler som først viser vekst av muggsopp når RF blir for høy i museumsmagasinet (personlig meddelelse fra Anne Sommer-Larsen, Anne Bjørke og Tanja Reed; trolig de tre konservatorene i Norge som har saumfart og kartlagt flest museumsmagasiner). I mange av disse tilfellene vil det være andre faktorer som fremmer vekst av muggsopp, og som veier sterkere enn vannaktiviteten: på en fettet læroverflate vil støv og sporer feste seg lett, og tilstrekkelig med næringsstoffer vil være lett tilgjengelig. Nok en kompliserende faktor er at dersom tilsetting av et konserveringsmiddel gjør at overflaten på gjenstanden blir tett og glatt hvor den før var porøs og pustende og hadde en viss buffereffekt ved endring i RF, vil dette trolig kunne føre til at kondensasjon, og dermed fritt vann, lettere enn før oppstår på overflaten.

3.11 Hvilke faktorer kan vi styre?

Mykologisk litteratur konkluderer med at det i praksis bare er tilgangen på vann som kan begrense vekst av muggsopp. Tilgangen på vann er også en faktor som lar seg styre og måle. Det er imidlertid også gjort en del forsøk med å regulere de andre faktorene som spiller en rolle:

Luftbevegelser har blitt testet ut som et mulig preventivt tiltak for å hindre vekst av muggsopp (Valentin, Garcia, De Luois, Maekawa 1998). Luftsirkulasjon vil jevne ut forskjellene i temperatur og RF rundt i et rom, og minke faren for at det oppstår mikroklima som har gunstige vekstbetingelser for muggsopp. Luftsirkulasjon vil også hindre at sporer fester seg til overflaten, det vil øke uttørkingen av overflaten og hindre at det dannes ugunstig nanoklima

på overflaten. God luftsirkulasjon er et godt forebyggende tiltak i lokaler hvor det er vanskelig å oppnå akseptabelt RF-nivå i hele lokalet.

Smittepress: Siden utelufta om sommeren inneholder store mengder muggsoppспорer, mens den om vinteren inneholder svært lite muggsoppспорer bør en ikke slippe inn ufiltrert uteluft i magasiner og utstillinger om sommeren; - både på grunn av den store mengden muggsoppспорer, men også fordi varm uteluft som slippes inn vil øke faren for kondensasjon på kalde overflater. Det er også viktig å isolere gjenstander som har synlig muggsoppvekst, slik at sporeproduksjonen fra disse muggsoppkoloniene ikke belaster tilstøtende gjenstander.

Temperatur er en faktor som enkelt kan styres og overvåkes. Senket temperatur vil senke veksthastigheten, men ikke stanse den. Dersom RF ligger under 85 % vil senking av romtemperatur være en tilleggsfaktor som vil minske sannsynligheten for vekst av muggsopp ytterligere. Dersom RF ligger over 85% vil imidlertid senking av romtemperatur bare være aktuelt som et kortsiktig tiltak, og vil ikke kunne hindre vekst av muggsopp. Ved tørking av vått materiale vil senket temperatur redusere fordampingen og dermed uttørkingen, og gi en lengre tidsperiode hvor materialet er vått nok til å gi grobunn for muggsopp. I et lukket system hvor den absolutte fuktigheten er konstant, vil RF øke når temperaturen senkes, og dermed vil senking av temperaturen ytterligere øke faren for vekst av muggsopp.

Næringsgrunnlag; Næringsgrunnlaget i materialene kan ikke styres, men en kan unngå at næringsstoffer deponeres på overflaten i form av støv. Enkelt renhold er et tilstrekkelig tiltak.

Tid: Tiden materialet/ overflaten er våt kan styres indirekte og avhenger av luftsirkulasjon, RF og temperatur.

O₂ og CO₂: Muggsopp kan overleve svært lave nivåer av O₂ og svært høye nivåer av CO₂, så i praksis er det vanskelig å kontrollere vekst av muggsopp ved hjelp av disse faktorene. Det har vært gjort forsøk med å kontrollere vekst av muggsopp ved hjelp av senket O₂-nivå og økt CO₂-nivå (Florian 2002, s.59). Valentin (Valentin, Lidstrom, Preisser 1990) har vist at lav RF er mer effektivt enn redusert O₂-nivå for å redusere vekst av muggsopp. Florian peker på at bruk av endret luftsammensetning er en usikker metode, hvor man ikke er klar over hvilken effekt tiltakene har på gjenstandene, og hvor bruken utgjør en helserisiko (Florian 2002, s.60).

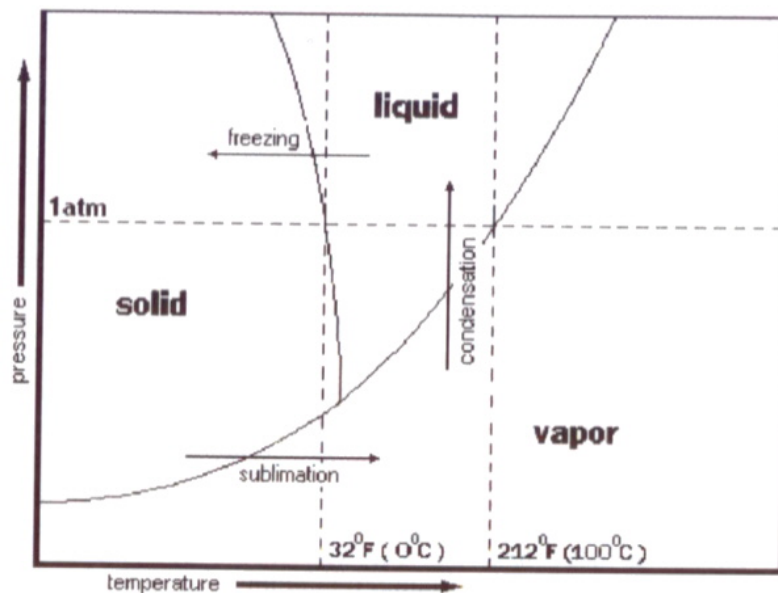
4. Tørring av vannskadet papirbasert materiale

Dette kapittelet er basert på en litteraturstudie omkring ulike tørkemethoder for vannskadet papirmateriale. I avsnitt 4.1 følger en kort redegjørelse for hva som skjer, fysisk og kjemisk, når papir tørker.

Gjennom de siste tiårene er det gjort en del erfaringer rundt tørring av vannskadet papir, mye eksperimentering er gjort både av private firmaer, konservatorer og andre. Avsnitt 4.2 tar for seg stabilisering av vått papirmateriale, og i avsnitt 4.3 følger en oversikt over de tørkemethodene som er mest vanlig brukt.

4.1 Tørrketeori

Et stoff har som regel tre faser (aggregattilstander): fast form (solid), væskefase (liquid state) og gassform (gas). Forskjellen på de ulike tilstandene ligger i den kinetiske energien (bevegelsesenergien) som atomene eller molekylene har. Noen stoff har også en fjerde aggregattilstand: plasma. Plasma innebærer at protoner og elektroner 'flyter fritt' uten molekylære bindinger. De ulike fasene for et stoff kan framstilles i et fasediagram hvor det fremgår i hva slags fase stoffet er avhengig av trykk og temperatur. Fasediagrammet for vann er vist i figur 10:



Figur 10; Fasediagram for vann. Fra Mniere 2008, s. 11

Fasediagrammet viser damptrykket mellom de tre aggregattilstandene. Damptrykket er et uttrykk for det trykket som mettede gasser av et stoff danner ved likevekt mellom to aggregattilstander (mellom fast stoff og gass og mellom væske og gass) ved en gitt temperatur.

Vann avgis fra et materiale som vanndamp: Vanndamp er vann i gassfase, og kan dannes på to måter;

- ved at vann i væskefase fordampes, eller
- ved at vann i fast form (is) sublimerer.

Av fasediagrammet for vann ser en at om trykket senkes til under 6,1 mBar (trippelpunktet), så vil det skje en sublimasjon.

I dette avsnittet følger en teoretisk utgreiing om de kjemiske og fysiske mekanismene som er i virksomhet ved hhv lufttørring (fordampning) og frysetørring (sublimasjon)

4.1.1 Lufttørring: fordampning

Fordampning er en faseovergang der et vannmolekyl ved overflaten i vannet får nok energi til å gå fra væskefase til gassfase. For at vannet skal fordampe må det ha nok energi til å vinne over overflatespenningen i vannet. På grunn av de sterke hydrogenbindingene mellom vannmolekylene har vann høy overflatespenning og det kreves derfor relativt mye energi for at vann skal fordampe fra væskefase til gassfase.

Gasslovene (se appendix F) viser at fordampingshastigheten er avhengig av:

- Temperaturen: jo høyere temperaturen er, jo raskere skjer fordampningen, fordi flere molekyler får nok energi til å kunne forlate væskefasen.
- Overflatearealet: jo større areal, jo raskere skjer fordampningen.
- Damptrykket (som også er avhengig av temperaturen).
- Luftens hastighet.

Dette betyr at det i prinsippet er fire måter å øke tørkehastigheten på:

1. Å øke temperaturen på vannet (dvs. på det våte materialet).
2. Å øke overflatearealet.
3. Å senke trykket.
4. Å øke lufthastigheten.

Hvor stor fordampningen er, vil i tillegg være avhengig av hvor mye vann den omgivende lufta kan ta opp: Luft med lav relativ luftfuktighet vil ha større kapasitet til å ta opp vandamp enn luft med høy relativ luftfuktighet.

Modell for tørkeprosessen

Sugerman og Vitale (1992) definerer prosessen når papir (luft)tørker i sju stadier.

Tørkeprosessen skjer ikke jevn over hele papirarket, men i ulike soner på arket vil på samme tid befinne seg i ulike stadier. Figur 10 gir en oversikt over de ulike tørkestadiene.

Stadie 1:

Når papirarket tas opp fra vannet, er det mettet av vann, og har et 'glossy' utseende. Vannet ligger i en kontinuerlig film over papiret. Fibrenes lumen, porer og mikroporer er fulle av vann.

Stadie 2:

Denne innledende tørkefasen innebærer fjerning av overskuddsvann ('excess water').

Overskuddsvann, utover det frie vannet som holdes i papirets porer minker uten at luft trekker inn i materialet. Når overskuddsvannet fortsetter å fordampe gjenstår fritt vann i alle porer, og overflaten har ikke lenger en kontinuerlig film av vann. Det 'glossy' utseendet blir brukket opp av mørke, matte områder. Den matte teksturen er forårsaket av fibre på overflaten som ikke lenger er dekket av overskuddsvann. Metting av porene i fiberen (som vanligvis er 'lommer' fylte av luft) med væske skaper et mørkt utseende; papiret er svært transparent: ikke noe lys brytes i kontaktpunktet mellom vannet og fiberen. Mye lys slipper gjennom papirarket, og lysbrytningen er på et minimum.

Stadie 3:

I stadie 1 og 2 omgav vannet alle fibre, og alle fiber-fiber- kontaktpunkter. I stadie 3 er fibre og porene i papiret fulle av fritt vann, men det er ikke noe overskuddsvann. Når vannets volum minker på grunn av fordamping, begynner de store porene å minste noe vann, og luft begynner å trekke inn i papirarket. Papirarket har et noe lysere utseende, på grunn av økt lysbrytning i kontaktpunktene mellom lufta og papirfibrenes overflate.

Stadie 4:

I begynnelsen av dette stadiet er det fritt vann i mesteparten av porene. Etter hvert som tørkeprosessen går, tømmes først de store porene. Papiret blir lyst og matt siden mer og mer luft trekker inn i porestrukturen i papiret og skaper flere luft/cellulose-kontaktpunkter. Mot slutten av dette stadiet er det bare de minste porene som inneholder vann. Det økende antallet steder hvor det er en forskjell i brytningsindeks mellom cellulose og luft øker lysbrytningen og minker mengden lys som slipper gjennom papirarket. Dette gjør at papirarket får et mer og mer opakt utseende. Når mengden luft i papirets porer øker, stanser den del av fordampinga som har en konstant hastighet/stigning. Fritt vann eksisterer fortsatt, men mobiliteten er begrenset til et lite område definert av sonen hvor det er kontakt mellom to fibre. Kapillærkreftene holder vannet på plass i de små porene som omgir fiber-fiber-bindingsregionen. Lys matt-fasen varer fra stadie 4 t.o.m. stadie 6.

Stadie 5: Fysisk endring /fibermetningspunktet

Dette stadiet er ikke en fase men ett bestemt punkt i tørkeprosessen (se figur 11). Stadie 5 tilsvarer det *punktet* i 'lys matt-fasen' (som begynner i stadie 4) hvor danningen av hydrogenbindinger og krymping starter.

Når det frie vannet i et område befinner seg bare i de små porene (de mellom fiber i fiber-fiber-kontakt-områder), resulterer overflatespenningen i vannet og størrelsen på kapillærene mellom fibre i en kapillærkraft som drar fiberes overflater sammen. Fiberne dras fysisk tett nok sammen til at hydrogenbindinger kan formes, dette er ca 2,7Å (overflate-overfalte avstand). Fiber-til fiber-hydrogenbindinger begynner omtrent ved 45% tørrvekt i et papirark som aldri har vært tørket. Sugerman og Vitale (1992) fant at bindingene oppstår ved ca 63±3% tørrvekt på papir som er tørket én gang.

Fibre krymper fordi de mister bundet vann. Fordampning av bundet vann kan skje først når det frie vannet som er på overflaten av fibre er borte. Når det begynner å dannes hydrogenbindinger, er det ved definisjon ikke noe fritt vann tilgjengelig. Vanninnholdet passerer gjennom fibermetningspunktet. Fibermetningspunktet er en betegnelse på punktet når alt fritt vann er borte, og før bundet vann begynner å fordampe. På dette tidspunktet er hulrommene i fiberen tomme, mens celleveggene i fiberen fortsatt er mettet med vann. Fibermetningspunktet for papir er ca 19±5% vann (vektprosent). På dette punktet begynner også transparensen av fiberen å minke, siden mikroporene i fiberen ikke lenger er mettet med vann.

Hydrogenbindingene og krympingen av fibrene skaper forstyrrelser i fibernetverket. Med kontaktpunktene mellom fibrene som er fiksert av hydrogenbindinger, begynner de krympende fibre å forstyrre fibernetverket, og flytte områder ut av deres originale x-y-plan, ut i z-retningen (papirets tykkelse). Når nok forskyvning til z-retningen har skjedd, kan forstyrrelser sees i papirets overflate.

Ujevn tørking fører alltid til forstyrrelser i papirarket. Hvis papiret får tørke uten press i z-retningen, vil bokling oppstå fordi kantene tørker raskere enn senter av arket. Hydrogenbindingsprosessen fortsetter etter den første etableringen av hydrogenbindinger. Dette kan sees av at strekkfastheten (tensile strenght) i papiret øker gjennom fordampingsprosessen. Krymping av fibre fortsetter inntil det bundne vannet kommer i likevekt med fuktinnholdet i lufta omkring.

Stadie 6:

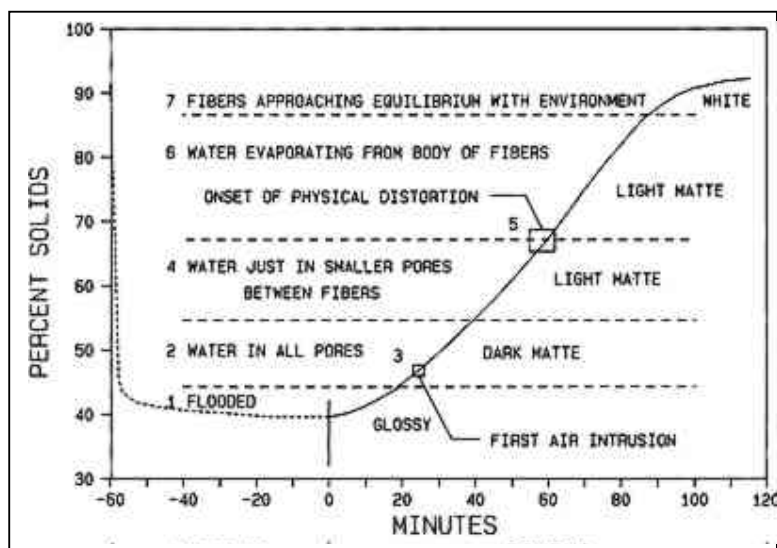
Denne fasen er den siste halvdel av lys matt-fasen (som begynte i stadie 4, hvor stadie 5 utgjør det punktet som er skillet mellom stadie 4 og 6). Dette stadiet er ikke synlig forskjellig fra stadie 4, men i stadie 6 er vanninnholdet passert fibermetningspunktet, og vannet som fordamper er ikke fritt, men bundet.

Fibre kan miste nok vann til at vannets plastiske effekt på fibrene minker. Den økte fiberrigiditeten gjennom dette steget er reflektert i økt e-modul (elastic modulus) i de senere stadiene i tørkingen.

Papirarket fortsetter å ha en lys matt tone. Den viktigste grunnen til at arket blir lysere er økt lysbrytning i luft-cellulose-kontaktpunktene mellom fibrene. Mer luft slipper inn, og arket blir mer opakt.

Stadie 7:

Når fibrene nærmer seg likevekt med klimaet i den omkringliggende lufta, ser papiret hvitt/opakt ut pga nesten total luftinntrenging. Små mengder vann fortsetter å diffundere gjennom fiberen til en fordampingsoverflate. Fordampingen fortsetter til det er oppnådd en likevekt med fuktigheten i lufta som omgir papiret. Under normale forhold vil vanninnholdet i papiret alltid være større enn 0, hvis man ikke har gjort tiltak for å fjerne det bundne vannet (tørking i oven). 50% RF tilsvarer ca 7% vanninnhold.



Figur 11: Stadier i tørkeprosessen. Fra Sugerman og Vitale 1992, avsnitt 5.4.

Både når en tørker enkeltark,- og særlig når en tørker bunker med papir eller bøker, vil det oppstå fuktgradienter i papiret. Dette skjer fordi avdampingen av vann er størst langs kantene av papiret/ i overflaten av bunken, fordi det er her størst overflate er eksponert mot (tørr) luft, det er her temperaturen er høyest. Fordampning er en endoterm reaksjon: det vil si at den krever energi, og dette fører til at overflaten som fordampingen skjer fra, blir avkjølt. Fordampinga skjer også raskere enn diffusjonen av vann/ vanndamp inni papirbunken/ boka som gjør at mer og mer fuktighet trekker mot overflaten for så å fordampe derfra. Papiret blir dermed tørrere langs kanten/ overflaten på bunken enn på midten / kjernen av bunken, noe som fører til at det oppstår spenninger i papiret. Dette fører igjen til deformasjon i form av bokling.

Stamm og Tarkow presiserer at i lignocellulosisk materiale som tre hvor, cellulosen holdes sammen i en kontinuerlig struktur i form av en midtlamell av lignin, begynner krympingen normalt først når vanninnholdet synker under fibermetningspunktet. Hvis fjerningen av vann er for stor/ går for raskt kan krympingsspenninger oppstå på overflaten også før den totale vanninnholdet synker under fibermetningspunktet. For mindre strukturert bundet cellulosemateriale (papir og tekstiler) kan krymping begynne særlig i originalsyklen av krymping over fibermetningspunktet som et resultat av at fibre trekket sammen (Stamm og Tarkow 1950, s 747).

4.1.2 Frysetørking: sublimasjon

Frysetørking ved sublimasjon vil si at vannmolekylene går direkte fra fast form (is) til gassform (vanndamp) uten å gå via væskefasen.

Frysetørking kan enten skje som naturlig frysetørking; en sakte avdamping ved lav temperatur, eller det kan skje raskere ved at trykket i et lukket kammer holdes under trippelpunktet (6,1 mBar) ref. fasediagrammet i figur 10). Da kalles prosessen vakuum-frysetørking, og sublimasjon kan skje uavhengig av temperaturen; ved lav temperatur vil sublimasjonen da skje sakte, eller en kan øke temperaturen; da vil sublimasjonen skje raskere (Carlsen 1998, s 10; Mnerie 2008, s. 9).

I et lukket system er trykket en funksjon av mengden vanndamp som er til stede. Dette kan uttrykkes slik:

$$RF = \frac{X \text{ aktuell}}{X \text{ maksimal}} \times 100 = \frac{P \text{ aktuell}}{P_{\text{maksimal}}} \times 100$$

P aktuell er det faktiske trykket som vanndampen utøver, og P maksimal er det maksimale trykk mettet vanndamp utøver ved den aktuelle temperaturen. Ved hjelp av denne formelen kan en ved å regulere trykket og temperaturen i vakuumkammeret, også regulere RF i systemet (Carlsen 1998, s. 8).

Vakuum-frysetørking skjer i tre trinn (Mnerie 2008, s.7):

1. Innfrysing
2. Første tørkefase: sublimasjon
3. Andre tørkefase: desorpsjon.

Innfrysing er gjort nærmere greie for i kapittel 4.2, og vil derfor ikke beskrives nærmere her. I den første tørkefasen skjer en sublimasjon av fritt vann. I den andre tørkefasen skjer en desorpsjon: vann som er bundet i materialet (i cellevegger etc.) blir fjernet. Når det gjelder frysetørking av næringsmidler vil det være et poeng å få vanninnholdet så lavt som mulig, men for frysetørking av arkiv- bibliotek- og museumsgjenstander vil det tvert imot være et poeng å bare fjerne overskuddsvannet men beholde det bundne vannet i materialet, slik at materialet etter frysetørking har et 'normalt vanninnhold', og ikke blir 'overtørket'.

For at det skal skje en sublimasjon må trykket i vakuum-frysetørkingskammeret holdes under trippelpunktet (6.1 mBar). Temperaturen som deretter brukes i kammeret, kan variere (Mc Clearly kap 4.1). Carlsen definerer to ulike former for vakuum-frysetørrking (Carlsen 1998 s. 10):

- Vakuum-frysetørrking med kald kammervegg (under 0 °C) og
- Vakuum-frysetørrking med varm kammervegg (over 0 °C), hvor det allikevel skjer en sublimasjon fordi trykket holdes under trippelpunktet.

4.2 Stabilisering av vått papirmateriale

Litteraturen omkring 'disaster management' er entydig når det gjelder stabilisering av vått papir: for å unngå vekst av muggsopp på det våte papirmaterialet må det tørkes eller fryses ned raskest mulig (Buchnan 1988, s 71; Ray 2006 s. 385; Bush og Lunde 2000 s. 71; Rogers 2003, s.1; Balik 2003, s. 68; Mc. Clearly 1987, kap 2.1.5).

Fordelene med stabilisering ved frysing er mange:

- Alle biologiske nedbrytningsprosesser stanser.
- Papiret slutter å svulle.
- Vannløselige farger og blekk stabiliseres.
- Sammenklistring av papirark forebygges.
- Forebygger vekst av muggsopp.
- og ikke minst: man kjøper seg tid for å kunne legge en plan for hvordan tørkinga av materialet best mulig skal kunne foregå.

Senking av temperatur og relativ luftfuktighet samt økt luftsirkulasjon og impregnering med fungicider har også vært anbefalt og har vært mye brukt for å unngå vekst av muggsopp på vannskadet papirmateriale (Buchnan 1981, s 248; Buchnan 1988 s 79; Carslen 1998, s 1; Fischer 1977, s 139; Cunha 1977, s. 105; Mc Clearly 1987, kap 16.1).

Mc. Clearly og Buchnan (Mc. Clearly 1987, kap 2.1.2; Buchnan 1982, s. 248) viser til senket temperatur og RF som viktige tiltak for å minske faren for vekst av muggsopp i de første dagene etter at materialet har blitt vått. Så lenge materialet i seg selv er vått vil det imidlertid ikke ha noen preventiv effekt å bare senke RF og temperatur i rommet. Det vil ikke hjelpe at lufta er tørr, når materialet er vått, siden muggsopp vokser på fuktige overflater, og ikke i luft.

Det er derfor viktig at en senket RF kombineres med en stor luftsirkulasjon og evt. økt temperatur slik at fordampingen øker og materialet raskt blir overflatetørt. Vannaktivitet (a_w) er et mål på mengden vann som er tilgjengelig på en gjenstands overflate. Måling av vannaktivitet har derfor vært et viktig parameter i denne studien.

I denne sammenhengen er fysisk stabilisering av materialet også en svært viktig problemstilling: Hvor lenge materialet får svulle i vann og hvordan materialet håndteres og pakkes før det tørkes eller evt. blir frosset ned, er helt avgjørende for tørkeresultatet. Dersom materialet skal frysetørkes etter innfrysing, vil det etter frysetørring ha samme form (samme kanter, bretter og bokling) som da det ble lagt i fryseren. Derfor er det svært viktig å sikre at papiret ligger flatt og har god støtte under innfrysing, slik at en unngår denne typen deformasjon. Med en god fysisk stabilisering av materialet vil også risikoen for skader når en involverer eksterne tilbydere/ aktører (f.eks skadebegrensningsfirma) i tørkeprosessen minske vesentlig.

Når vann fryser til is skjer det en volumekspansjon på 9-10%, og dette gir grunnlag for spekulasjoner rundt om selve frysingen av materialet kan ha en innvirkning på materialenes egenskaper:

Cunha (1977, s. 101) viser til at det ikke er kjent at nedfrysing av papir gir skader i materialet. Nyere litteratur omkring 'disaster management' referer til at innfrysingshastigheten (og dermed indirekte innfrysingstemperaturen) er avgjørende fordi at ved en sakte innfrysing vil det dannes større iskrystaller i materialet enn ved en rask innfrysing. Langvarig lagring i frossen tilstand vil også føre til at det bygges større iskrystaller i materialet som kan skade materiale og struktur (Florion 2002; Kaplan og Ludwig 2005).

Forskning fra papirindustrien (Lobben 1970, s 36-40) antyder at selve innfrysingen endrer fibernes egenstyrke eller bindingsegenskaper, og viser til at innfrysingstemperaturen er en vesentlig faktor i denne sammenhengen: Synkende innfrysingstemperatur ser ut til å gi større styrkereduksjon. Resultatene indikerer videre at mye vann er ufrosset ved $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, og at noe vann kan være ufrosset selv ved $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lobben forklarer dette ved at vannets frysepunkt nedsettes i fine kapillærer.

4.3 Aktuelle tørkemetoder for vannskadet papir

Her følger en kort oversikt over de mest aktuelle metodene som er eller har vært i bruk, og litt om de fordeler og ulemper ved metodene som litteraturen beskriver. Teknikkene gir ikke likeverdig godt tørkeresultat for alle typer materiale, men alle representerer en mulighet til å tørke vannskadet papirmateriale.

4.3.1 Lufttørking

Lufttørking i romtemperatur

Metoden innebærer å tørke papir ved romtemperatur, gjerne 'in house' på den aktuelle institusjonen. Typisk innebærer det at papirmaterialet spres ut over bord og benker, og blir lagt på absorberende papir, av og til med absorberende papir mellom papirbladene, eller at enkeltark og små dokumenter blir hengt på snorer til tork. Materialer kan også tørkes i bunker, med absorberende papir innimellom, og med et lodd/ vekter på toppen, og det anbefales som regel å bruke vifter for å sirkulere lufta rundt papiret.

Lufttørking av vannskadet papirbasert materiale anbefales i litteraturen når det dreier seg om små mengder vannskadet materiale, fortrinnsvis fuktig, ikke klissvått materiale og ikke materiale som har vannløselig blekk eller bestrøket papir, fordi vannløselig blekk vil flyte (mer) utover, og bestrøket papir vil klistre seg sammen (blokke seg). Fordeler med metoden er at den krever lite utstyr, og det som trengs av utstyr og fasiliteter er som regel lett tilgjengelig. Ulemper med metoden er at den er svært arbeidskrevende, tidkrevende og plasskrevende (Waters 1975; Walsh 1997; Minter 2002; Kaplan og Ludwig 2005, s.150).

Lufttørking med varmluft

For å øke tørkehastigheten ved lufttørking kan en gjøre tørkinga med varmluft. Tørking med varmluft ble bl.a prøvd ut etter flommen i Praha i 2002. Tørkingen foregikk da i et tørkekammer beregnet for tørking av tre, og det ble brukt luft som holdt 110-120° C.

Litteraturen omtaler metoden som egnet for rask tørking av store kvanta med papir, men den anbefales kun til materiale som ikke har lang tidshorison for oppbevaring, siden de mekaniske egenskapene ved papiret svekkes vesentlig (Vichra 2005, s.2, Balik 2003, s.68). Undertegnede er ikke kjent med at varmluftstørking i stor skala har vært forsøkt i Norge.

Lufttørking med tørr luft ('dehumidification drying')

Metoden innebærer at avfuktet, svært tørr luft sirkuleres i et tørkekammer med vifter. Kaplan og Ludwig beskriver at RF ca 15% og temperaturer i området 26-37 °C er vanlige tørkeforhold med denne metoden (Kaplan og Ludwig s 151-154).

Litteraturen beskriver at metoden er best egnet for fuktig materialet, som ikke er for vått (Kaplan og Ludwig 2005 s.151-154). Fordelene ved denne metoden er at utstyr og teknologi er svært lett tilgjengelig, og at materialet er tilgjengelig underveis i tørkeprosessen slik at en enkelt kan justere parametere som temperatur og luftsirkulasjon samt press på materialet underveis i tørkeprosessen. Ulemper er at dersom ikke tørkehastigheten er høy nok eller luftsirkulasjonen stor nok, så vil det være fare for vekst av muggsopp på materialet. Det kreves derfor tett oppfølging av parametre som temperatur og relativ luftfuktighet på utvalgte målepunkter, og av bokling, deformering og volumendringer.

4.3.2 Vakuamtørking

Vakuamtørking blir ofte forvekslet med vakuum-frysetørking. Ved vakuamtørking skjer tørkingen også i et vakuumkanter, men det er en vanlig fordampingsprosess der vannet trekkes ut av materialet i vannfase, altså ikke en sublimasjonsprosess. Metoden innebærer at materialet ved temperaturer over 0 °C og et trykk som ligger over trippelpunktet (6,1 mBar).

Litteraturen anbefaler metoden for fuktig eller vått materiale. Metoden er anbefalt for papir som ikke er bestrøket, og omtales som en metode som er kosteffektiv for materiale som har liten kulturhistorisk verdi. En ulempe ved metoden er at den er kjent for å gi store fysiske endringer (stor volumendring) i papiret, og gjør at vannløselig blekk flyter utover og at bestrøket papir blokker seg. En annen ulempe med metoden er at tilgangen på vakuumkanter er begrenset. (Kaplan og Ludwig 2005, s.151, Tremain 2008, s. 4; Buchnan 1988, s. 86, McClearly 1987, kap. 6).

4.3.3 Vakuumpakking

Vakuumpakking innebærer at det våte papiret/boka vakuumpakkes i en plastpose sammen med absorberende papir. I en vakuumpresse blir fuktigheten i papiret/boka trukket ut i det absorberende papiret. Prosessen gjentas til papiret/ boka er tørr (Hadgraft og Welch 1999, s.1-5; Vnoucek 2005, s.103; Rogers 2003, s 1-4).

Fordeler ved metoden er at den tillater god kontroll med tørkeprosessen, og gjør at papiret/bøkene beholder formen relativt bra. Det blir også hevdet at bestrøket papir ikke blokker seg, selv om metoden altså baserer seg på at vannet trekkes ut ved hjelp av kapillærkrefter (Hadgraft og Welsh 1999). Metoden er relativt ny og ble utviklet i England på slutten av 1990-tallet. Den ble brukt på det mest sårbare og mest verdifulle materialet etter flommen i Praha i 2002. Ulemper med denne metoden er at den krever spesialisert utstyr som er vanskelig tilgjengelig, og at den er tidkrevende og kostbar.

4.3.4 Naturlig frysetørking

'Naturlig frysetørking' vil si sublimasjonsprosesser som skjer uten at materialet legges i et vakuumkanter. Når temperaturen er lav så vil det foregå en viss sublimasjon også ved atmosfærisk trykk. Sublimasjonsprosessen vil da skje mye saktere enn det som er tilfelle under vakuu. Naturlig frysetørking kan skje enten i fryseren ('deep freeze drying'), eller 'ute i naturen'. I arktiske strøk vil en naturlig frysetørking utendørs (med naturlig vind og svært lav temperatur) gi effektiv frysetørking (Buchnan 1988, s 84; McClearly kap 5.2-5.3).

4.3.5 Vakuu-frysetørking

Stabilisering av vannskadet papir ved frysing, og deretter tørking ved påfølgende vakuu-frysetørking er i dag en svært utbredt metode for tørking av vannskadet papirmateriale. Det ble gjort spede forsøk med tørking av papirmateriale i vakuu-frysetørker i Canada allerede på 1950- og 60-tallet (Mc Clearly 1987, kap 8), men første virkelig vellykkede forsøk med bruk av vakuu-frysetørking til å tørke vannskadet arkiv- og bibliotekmateriale var i 1970, da James Flink og Henrik Høyer ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU) i København gjorde vellykkede eksperimenter med vakuu-frysetørking av vannskadet bibliotekmateriale fra Godthåb på Grønland (Flink og Høyer 1971). Papiret må være frossent når det legges i vakuu-frysetørkingskammeret, og forblir frossent gjennom prosessen; vannet fjernes i vakuu ved sublimasjon. Utover 1970- og 80-tallet ble vakuu-frysetørking gjennom flere studier vist å være en god metode for tørking av store mengder vannskadet papirmateriale (Chunha 1977, s 98; McClearly 1987; Buchnan 1988, s.85).

Litteraturen omkring 'disaster management' anbefaler denne metoden særlig når det dreier seg om store mengder fuktig eller vått materiale. Litteraturen beskriver også at metoden gir gode tørkeresultater med liten volumendring, og kan også brukes til materiale som har

vannløselig blekk (en unngår at blekket flyter utover) og for papir som er bestrøket (det vil ikke blokke seg) (Buchnan 1988, s 85-86; Kaplan og Ludwig 2005, s151; Mc. Clarly 1987; Vichra 2005, s. 1; Walsh 1997; Waters 1975).

Papir og bøker vil komme ut igjen av vakuum-frysetørkingskammeret i samme stand som de var da de ble lagt inn: med like mye volumøking, bokling og misfarging som papiret hadde mens det var vått. Det er derfor avgjørende at en unngår deformering ved håndtering før innfrysing, og at evt. justeringer av form må gjøres før innfrysing (Mc Clearly 1987, kap 14; Mnerie 2008, s 8-9).

Umiddelbare ulemper ved vakuum-frysetørrking er at metoden er arbeidsskrevende og dyr, og utstyr eller tjenesten er vanskelig tilgjengelig mange steder i verden. Materialet er ikke tilgjengelig underveis i prosessen, noe som gjør det vanskeligere å kontrollere tørkeprosessen.

En rekke studier peker også på at frysetørrking i stor grad endrer papirets fysiske egenskaper:

En studie gjort av Søren Carlsen ved Nasjonalbiblioteket i København viser at frysetørrking endrer papirs fysiske egenskaper (Carlsen 1998, s. 67-70). Studien indikerer at frysetørrking er godt egnet til bomullspapir/ papir med høy initialstyrke siden bomullspapirs styrkeegenskaper og aldringsstabilitet endres relativt lite i forhold til lufttørrking, men at treholdigpapir/ papir med liten initialstyrke samt bestrøket papir bør lufttørkes, siden styrkeegenskaper og aldringsstabilitet kan påvirkes kritisk ved frysetørrking. Studien indikerer videre at frysetørrking særlig påvirker papirets vanninnhold, falsestyrke og rivestyrke, og at frysetørrking og kunstig aldring påvirker disse faktorene forskjellig i forskjellige papirkvaliteter.

Studien som ble gjort i Tjekkia i 2003, har imidlertid ikke dokumentert denne effekten (Bacilková, Durovič, Neuvirt, Paulusová, Polišensky, Součová, Straka, Šimenčová, Vnouček og Weberová 2003).

Carlsens anbefalinger om at vakuum-frysetørrking ikke bør brukes på bestrøket papir fordi styrkeegenskaper og aldringsegenskaper blir vesentlig svekket (1998, s.68) er en tydelig korleksjon til annen litteratur på feltet (Buchnan 1988, s 85-86; Kaplan og Ludwig 2005, s151; Mc. Clarly 1987; Vichra 2005, s. 1; Walsh 1997, Waters 1975) som framhever at vakuum-frysetørrking er den beste metoden for å tørke bestrøket papir, fordi den hindrer at papiret kleber seg sammen og 'blokker seg'.

Carlsen understreker også at det er ønskelig å utføre frysetørkingen av papirmateriale ved lav temperatur (- 20 °C, som gir mettet vandamptrykk 1,04 mBar), siden man da kan regulere RF i kammeret f.eks til 50% , noe som til svare til papirs EMC hvor papir naturlig vil ha et vanninnhold på 5-7% .En frysetørking ved høyere temperatur vil gå raskere, men ved en temperatur på f.eks 18 °C, vil RF i kammeret ligge på ca 6%, noe som er svært lavt, og som vil være en høy belastning på materialet, og vil føre til at papiret mister en del av sitt 'naturlige vanninnhold' (Carslen 1998, s.10-11).

Denne bekymringen deles av en studie gjort i 2004 (Capolongo og Barresi 2004, s 126) som viser at første tørkefase (sublimasjon) og andre tørkefase (desorpsjon) overlapper, og at en dermed i praksis ikke kan unngå at papiret blir overtørket.

Forskning gjort av papirindustrien forklarer hvorfor papirs mekaniske egenskaper svekkes ved sublimasjon:

De første forsøk med sublimasjonstørking av papir i forskningsøyemed ble gjort på 50-tallet, og hensikten var å forsøke å kontrollere at Campbells teori (ref. avsnitt 2.2.2) var riktig: at en er avhengig av en film av fritt vann mellom fibrene i tørkeprosessen for at H-bindingene mellom fibrene skal dannes. Det innebærer at ved sublimasjon vil en få dannet vesentlig færre H-bindinger mellom fibrene. Campbells teori har en rekke konsekvenser i forhold til frysetørking av papir: Teorien innebærer at mengden H-bindinger som dannes mellom fibrene er avhengig av fuktnivået i papiret på det tidspunktet det ble frosset:

- Sublimasjon av papir med høyt vanninnhold (dvs at Campbell-kreftene bare i liten grad har rukket å virke før papiret blir frosset) gir et papir med vesentlig svekkede mekaniske egenskaper.
- Sublimasjon av papir med relativt lavt vanninnhold (f.eks 20%) gir vesentlig mindre svekkelser av de mekaniske egenskaper fordi Campbell-kreftene da har virket en periode før papiret blir frosset og sublimert (Lobben 1970, s 35-79).

Andre metoder

En rekke andre metoder har vært forsøkt som alternativer til lufttørking og frysetørking. Bl.a er mikrobølgeenergi, dielektrisk energi, ekstraksjon med løsemidler forsøkt som alternativer,

men ingen av disse metodene har vist seg som gode for formålet (Cunha 1977, s 98-99; Fischer 1977, s 124-127).

En oppsummering av litteraturstudiene omkring de ulike tørkemetodene er gitt i tabell 1.

Metode	Nødvendig utstyr	Fordeler	Ulemper
Lufttørring ved romtemperatur	Vifter, trekkpapir	Kan skje på egen institusjon. Krever lite utstyr.	Krever mye tid og plass. Fare for vekst av muggsopp. Fare for at bestrøket papir blokker seg. Vannløselig blekk vil flyte ytterligere utover.
Tørring med varmluft	Tørkekammer eller tørkehall, f.eks fra treindustrien	Tørring skjer raskt. Kan tørke store mengder papir av gangen.	Jobben gjøres hos/ av ekstern leverandør av tørketjenester. Hvis temperaturen er for høy vil papirets mekaniske egenskaper svekkes. Fare for at bestrøket papir blokker seg. Vannløselig blekk vil flyte ytterligere utover.
Tørring med tørr luft	Vifter, avfukter	Kan skje på egen institusjon. Krever lite utstyr. Kan tørke store mengder papir av gangen. Faren for vekst av muggsopp kan minimeres med enkle grep.	Fare for vekst av muggsopp. Fare for at bestrøket papir blokker seg. Vannløselig blekk vil flyte ytterligere utover.
Vakuamtørring	Vakuum-kammer	Tørring skjer relativt kosteffektivt.	Fare for at bestrøket papir blokker seg. Vannløselig blekk vil flyte ytterligere utover
Vakuumpakking	Vakuumpakke-maskin	Lite bokling. Bestrøket papir blokker seg ikke.	Krever dyrt og avansert utstyr som er vanskelig tilgjengelig. Svært kostbart og tidkrevende. Vannløselig blekk vil flyte ytterligere utover
Naturlig frysetørring	Fryser	Krever lite utstyr; evt en fryser.	Langsom prosess. Papirets fysiske egenskaper endres.
Vakuum-Frysetørring	Vakuum-frysetørker	Resultatene blir estetisk sett tilfredsstillende: Egnet når store mengder materiale skal tørkes.	Krever dyrt og avansert utstyr som er vanskelig tilgjengelig. Kostbart og tidkrevende. Papirets fysiske egenskaper endres vesentlig.

Tabell 1. Oversikt over vanlige tørkemetoder for vannskadet papir.

Denne oversikten over tørkemetoder som har vært og er i bruk tjener som oppsummering av litteraturstudien og danner bakgrunn for den eksperimentelle studien som følger.

Gitt problemstillingene som ble presentert i kapittel 1, vil den videre eksperimentelle studien konsentrere seg om ulike former for lufttørring, og frysetørket papirmateriale er et naturlig sammenlikningsgrunnlag, i tillegg til referanseprøvene.

5. Introduksjon til eksperimentell studie

I dette kapittelet er det beskrevet metodikken bak utvalget av prøvematerialer og forsøksoppsettet er forklart og vist skjematisk. Videre er det gjort rede for kriterier for metodevalg og evalueringskriterier for å evaluere tørkeresultatene. Dette er ment som en kort introduksjon til forutsetningene for den eksperimentelle studien som følger i kapittel 6- 9.

5.1 Metodikk for utvalg av prøvemateriale

Når testpapir er valgt ut, er det valgt tre forskjellige papirtyper som kvalitetsmessig, og sett i et historisk perspektiv, kan sammenlignes med det en vil finne i et arkiv eller bibliotek:

Papir A

Klug foto-arkivpapir, ubufret, er laget av hovedsakelig Alpha-cellulose, har en naturlig nøytral pH og er langfibret. Dette papiret brukes som et substitutt for klutepapiret.

Papir B

Papir B er et resirkulert papir som er ligningholdig og har kortfibret masse. Dette papiret er sammenlignbart med papir av mekanisk masse produsert fra ca 1850.

Papir C

Papir C er sulfitt/sulfatpapir (kjemisk masse, rensed for lignin) som stammer fra kassasjonsmateriale fra Riksarkivet. Dette betyr at papiret er av ulik tykkelse og kvalitet samt ulik alder. Det er derfor gjort en randomisering av dette materialet, for å spre papiret med ulike egenskaper/ ulik alder ut i alle de aktuelle forsøksseriene.

5.2 Forsøksoppsett

Papirprøvene bestod av bunker med 100 stk ark i A-4-størrelse i hver. Det ble laget følgende serier:

Serie 1: Referanseprøver (7 papirbunker a 100 ark fra hver av papirkvalitetene).

Serie 2: Frysetørking: To tørkeprosesser, kjørt så like som mulig (serie 2.1 og 2.2):

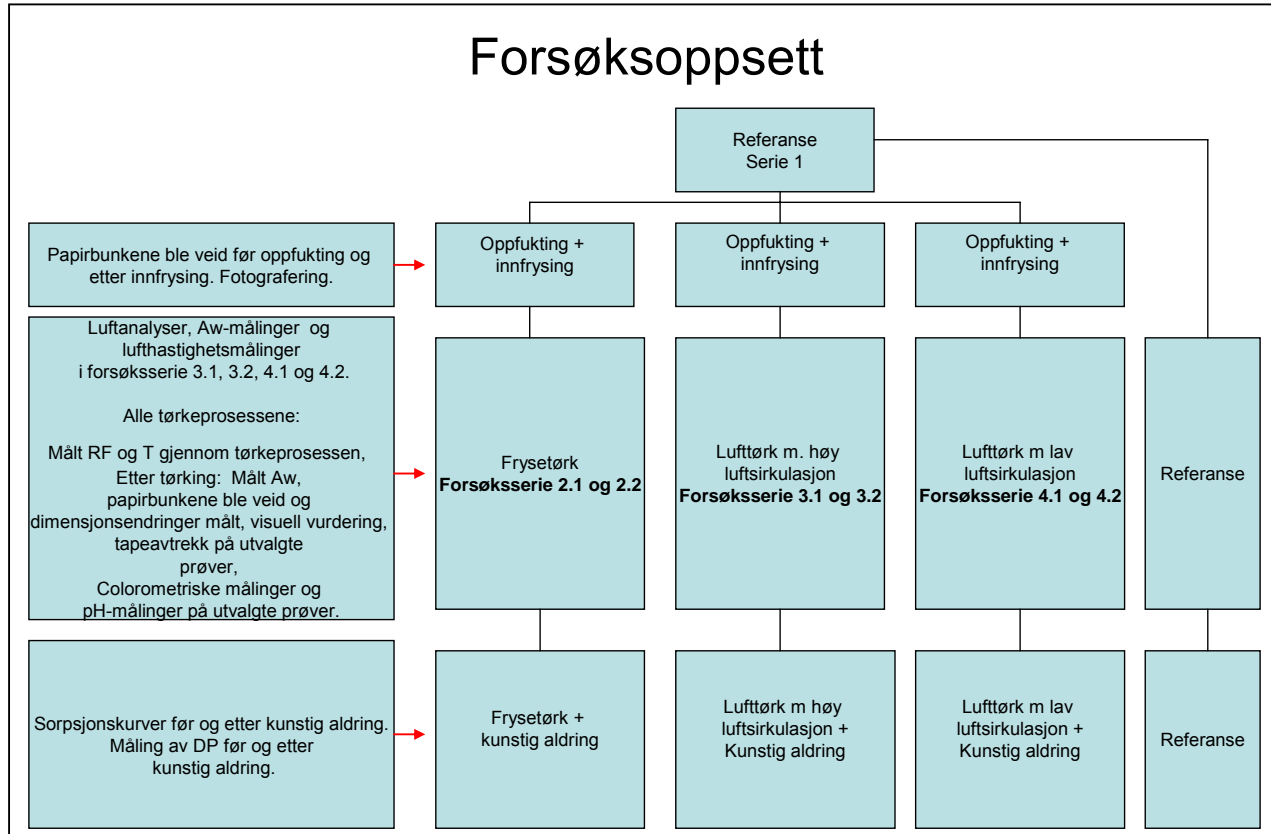
5 papirbunker a 100 ark fra hver av papirkvalitetene i hvert tørkeforsøk.

Serie 3: Lufttørking med høy lufthastighet: To tørkeprosesser, kjørt så like som mulig (serie

3.1 og 3.2): 7 papirbunker a 100 ark fra hver av papirkvalitetene i hvert av tørkeforsøkene.

Serie 4: Lufttørking med lav lufthastighet: To serier, kjørt så like som mulig (serie 4.1 og 4.2):

7 papirbunker a 100 ark fra hver av papirkvalitetene i hvert av tørkeforsøkene.



Figur nr 12. Flytskjema for forsøksoppsettet.

Referanseprøvene ble lagt til side, og ble lagt til kondisjonering ved 45 % RF, og 20 °C, hos Riksarkivet.

Alle tørkeserier ble kjørt med 2 gjentak, så like som mulig. Hver serie bestod av 5-7 prøver av hver papirtype. I tillegg ble det i lagt inn en kontrollprøve som ikke hadde vært frosset i kjøringene med lufttørking. Dette ble gjort for å ha mulighet til å se på om det var mulig å detektere noen målbare endringer i papiret som kunne relateres til infrysingen.

5.3 Kriterier for metodevalg

Utgangspunktet for valg av metoder har vært at metodene skulle være vitenskaplig anerkjente, og at en størst mulig grad skulle unngå subjektiv vurdering.

- Et grunnleggende kriterium ved oppsett av forsøkene og ved valg av antall prøver som skulle inngå i studien var at det skulle være mulig å anvende statistisk metode på resultatene i ettertid (de måleresultatene som skulle omfatte alle prøvene: måling av vannaktivitet, og beregninger av vannmengder som ble tatt opp og avgitt). Det ble derfor valgt å gjøre 2 gjentak av hver tørkeprosedyre, og det ble laget 5-7 prøver av hver materialkategori i hvert tørkeforsøk. I tillegg ble det ved lufttørkingen lagt inn en kontrollprøve som ikke hadde vært frosset. På grunn av at det av ulike årsaker ikke var anledning til å gjøre fulle måleserier verken når det gjelder måling av vannaktivitet eller vannopptak/ uttørking av vann, ble det allikevel ikke benyttet statistisk metode på resultatene, selv om forsøkene var designet for at det skulle være mulig.
- Hver prøve bestod av 100 ark i A4-størrelse. Størrelsen på prøvene ble valgt ut fra en tanke om at dette er den reelle størrelsen på enheter som skal tørkes etter en vannskade.
- De tre papirtypene som inngår i forsøkene ble valgt ut med tanke på å være representative i forhold til det papiret som befinner seg i våre arkiver og biblioteker.
- Temperatur i tørkekammeret ved lufttørking ble valgt å i utgangspunktet ligge på romtemperatur, da det ansees at dette vil være de reelle forholdene i en situasjon hvor store mengder vannskadet papirmateriale skal tørkes enten 'in house' på en institusjon eller hos en ekstern leverandør.
- RF i tørkekammeret ble innstilt på 20 % RF, da det vurderes at dette er en RF som en relativt lett kan oppnå ved bruk av enkle avfuktere og vifter.
- Når det gjelder evaluering av tørkeresultatene (etter tørking) så måtte en av økonomihensyn gjøre et utvalg av prøvene fra de ulike tørkeprosessene som gjennomgikk ulike analysemetodene. Det ble gjort et utvalg av prøver for å fange opp:
 - Variasjoner i forhold til papirtype.
 - Variasjoner i forhold til tørkeprinsipp (sublimasjon eller fordamping via væskefase).
 - Temperaturens rolle (om det ville være mulig å påvise en nedbrytning på grunn av en moderat temperaturøkning).

- Variasjoner i forhold til aldringsbestandighet.

Resultatene fra disse analysene er altså på ingen måte statistisk holdbare, men gir kun en indikasjon om endringer i materialegenskaper.

5.4 Valg av metoder

Analysemetodene som er brukt ved overvåking av tørkeforløpet er primært valgt ut med sikte på å kartlegge de faktorene som har betydning for den biologiske nedbrytningen av materialet:

- Logging av temperatur og RF i tørkekammer/ vakuumkanter og inni en eller flere papirbunker gjennom hele tørkeforløpet.
- Måling av lufthastighet i tørkekammeret.
- Måling av a_w på utvalgte overflater og tidspunkter.
- Måling av forekomst av muggsopp sporer i tørkekammeret på utvalgte tidspunkter.
- Dokumentasjon av utvalgte overflater med tapeavtrekk etter tørking.

I tillegg er det valgt ut analysemetoder som evaluerer kjemisk nedbrytning. Disse analysene er av økonomiske hensyn og tidshensyn kun gjort på utvalgte prøver:

- pH-målinger.
- Måling av papirtykkelse og format.
- Analyser av depolymerisasjonsgrad (DP) før og etter kunstig aldring.
- Colorometriske målinger.

I studie II og III er det også gjort følgende analyser:

- Måling av a_w på overflatene av papirbunkene.
- Mikroskopi av overflater.
- Sorpsjonskurver.

I tabell 2 er det laget en oversikt over hvilke prøver som ble plukket ut for analysene, og hvilke analyser som er utført på de ulike prøvene. De tre prøvene i materialgruppe C er like i den forstand at de har samme proveniens, og samme materialegenskaper, slik at resultatene er innbyrdes sammenlignbare.

Prøve nr	Papirtype	Tørkem metode	Analyser som er utført:
A33	Klug fotopapir, alfacellulose	Ingen oppfukning og tørking. Referanseprøve.	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring. Colorometriske målinger. pH-målinger. Dimensjonsendringer.
A6	Klug fotopapir, alfacellulose	Tørket i tørkekammer ved 20-40 °C.	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring. Colorometriske målinger. pH-målinger. Dimensjonsendringer.
A2	Klug fotopapir, alfacellulose	Frysetørket	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring. Colorometriske målinger. pH-målinger. Dimensjonsendringer.
A50	Klug fotopapir, alfacellulose	Tørket ved romtemperatur, 20 °C.	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring.
B36	Resirkulert papir, mekanisk masse	Ingen oppfukning og tørking. Referanseprøve.	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring. Colorometriske målinger. pH-målinger. Dimensjonsendringer.
B1	Resirkulert papir, mekanisk masse	Tørket i tørkekammer ved 20-40 °C.	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring. Colorometriske målinger. pH-målinger. Dimensjonsendringer.
B2	Resirkulert papir, mekanisk masse	Frysetørket	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring. Colorometriske målinger. pH-målinger. Dimensjonsendringer.
B50	Resirkulert papir, mekanisk masse	Tørket ved romtemperatur, 20 °C.	Sorpsjonskurver før og etter kunstig aldring. DP før og etter kunstig aldring.
C41	Sulfat/sulfittcellulose, kjemisk masse	Ingen oppfukning og tørking. Referanseprøve.	pH, dimensjonsendringer
C33	Sulfat/sulfittcellulose, kjemisk masse	Tørket i tørkekammer ved 20-40 °C.	pH, dimensjonsendringer
C32	Sulfat/sulfittcellulose, kjemisk masse	Frysetørket	pH, dimensjonsendringer

Tabell nr 2. Oversikt over prøver utvalgt for analyser for evaluering.

5.5 Benyttede metoder, innledende studier

5.5.1 Litteraturstudier

Som bakgrunn for den eksperimentelle studien er det gjort brede litteraturstudier for å undersøke praksis og erfaringer med ulike tørkem etoder for vannskadet papir som har vært i bruk siden 1960-tallet samt sammenliknende studier fra 1970-tallet og fram til i dag. Det er også gjort studier av generell mykologisk litteratur, forskningsrapporter fra papirindustrien/ Papir-og fiberinstituttet, litteratur om papirs materialeegenskaper (kjemisk/ fysisk) og om aktuelle analysemetoder.

5.5.2 Spørreundersøkelse

Det ble gjennomført en spørreundersøkelse ved Nordisk Konservatorforbunds Papirmøte i oktober 2008, vedrørende papirkonservatorers vurdering av evalueringskriterier for tørking av vannskadet papir. Denne er videre omtalt i avsnitt 5.6.

5.5.3 Personlige meddelelser

Det har vært e-postkorrespondanse og samtaler med sentrale fagpersoner i aktuelle fagmiljøer:

- Treteknisk Institutt (NTI): Avdelingsleder, avdeling for kvalitet og prosessutvikling, Dr. Scient Knut Magnar Sandland.
- Papir- og fiberinstituttet (PFI): Ingeniør Trond Karlsen.

- Norges Teknisk-Naturfaglige Universitet (NTNU), Institutt for kjemisk prossteknologi: Professor Øyvind Gregersen.
- Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB), Institutt for Naturforvaltning : Professor Olav Høibø.
- Konservatorene Anne Sommer-Larsen, Anne Bjørke og Tanja Reed som alle vært aktive i feltarbeid i forbindelse med ABM-utviklings prosjekt med tilstandsvurdering av utstillinger og magasiner i alle landets museer og Riksrevisjonens tilsvarende kartlegging av universitetsmuseene. I den forbindelse har de trolig besøkt flere museumsmagasiner enn de fleste andre konservatorer i Norge har.

5.6 Evalueringskriterier

Et svært viktig spørsmål ved evaluering av tørkemetoder er følgende:

Hva er en vellykket tørkeprosess?

Svaret på dette spørsmålet vil i noen grad være subjektivt, og vil trolig variere både mellom ulike faggrupper og mellom personer. Det vil også avhenge av hva slags materiale det er snakk om og hvor omfattende skadene er.

For å få et inntrykk av hva papirkonservatorer i Norden ville vurdere som en vellykket tørkeprosess, og hvilke evalueringskriterier de ville vektlegge ved en tørking av vannskadet papir, ble det gjort en spørreundersøkelse blant deltagerne ved Nordisk konservatorforbunds 'Papirmøte' som ble avholdt i Oslo 23.-24. oktober 2008.

Møtet samlet 40 papirkonservatorer fra hele Norden, og 10 av dem svarte på spørreskjemaet som ble delt ut. Spørreskjemaet som ble brukt er gjengitt i appendix E. De som svarte på spørreskjemaet representerte mange store kulturinstitusjoner i Norden, bl.a Det kongelige Bibliotek, København, Nordisk forskningsinstitut, Københavns Universitet; Stockholms stadsmuseum, Stockholm Nasjonalmuseet, Oslo og Nasjonalbiblioteket, Oslo.

Svarene som kom inn viste at det var bred enighet om at følgende kriterier var viktigst (i prioritert rekkefølge) for at en skulle vurdere tørkeprosessen som vellykket:

1. Etter tørkeprosessen har materialet ikke vekst av muggsopp.

2. Etter tørkeprosessen har bunken med ark ikke blokket seg: dvs at arkene henger ikke sammen.
3. Det er dokumentert hva slags tørkeprosess materialet har vært utsatt for (dokumentert metode, utstyr, RF/T gjennom tørkeforløpet med mer).
4. Etter tørkeprosessen har blekk ikke flytt utover.
5. Etter tørkeprosessen har papirbunken/ boka liten volumendring.

Svarene viste også at følgende kriterier ble vurdert som vesentlig mindre viktige enn de som er nevnt over:

- Etter tørkeprosessen er innbindingen ikke skadet.
- Etter tørkeprosessen er opprinnelig merking og gjenfinning av materiale i riktig rekkefølge mulig.
- Etter tørkeprosessen har materialet ikke bokler, dvs at papirarkene er flate.
- Etter tørkeprosessen er papiret ikke tørt og sprøtt.

Oppsummeringen fra denne spørreundersøkelsen viser at papirkonservatorene er veldig redde for at det skal oppstå muggsoppkader på papiret under tørking: dette hadde høyest prioritet for alle som besvarte spørreundersøkelsen. Papirets styrkeegenskaper og hygroskopiske egenskaper blir derimot ikke tillagt stor vekt i evaluering av resultatene etter en tørkeprosess for vannskadet papir.

5.7 Vurderte metoder

I startfasen av prosjektet var det planlagt å gjøre en test av de ulike papirmaterialene (som hadde gjennomgått ulike tørkeprosesser) i fuktammer hvor papiret ble utsatt for ulik relativ luftfuktighet (eksempelvis 50%, 75% og 90% RF) for så å observere visuelt og dokumentere med tapeavtrekk hvilke arter av muggsopp som vokste på de ulike prøvene. Tanken med å gjøre en slik test var å dokumentere om de ulike tørkemethodene hadde endret papirets hygroskopiske egenskaper og/ eller struktur slik at det hadde konsekvenser for om/ når vekst av muggsopp på overflaten var mulig. Denne metoden ble valgt bort til fordel for bruk av a_w -målinger og mikroskopi av overflaten på papirprøvene og konstruksjon av sorpsjonskurver, som undertegnede mener at til sammen gir et bedre bilde av faktiske strukturendringer i overflaten og endrete hygroskopiske egenskaper i papiret, og som er faktorer som er lettere å kvantifisere enn det en (unøyaktig) tidsangivelse for når vekst av muggsopp oppstår i en

fuktkammertest. Ingen av de metodene som er valgt sier noe direkte om endringer i papirets styrkeegenskaper i form av endring i mengden interfiberbindinger. Dette kunne vært gjort i form av slite- og rivetester, eller kunne illustreres ved bilder fra scanning elektronmikroskop (SEM), slik Lobben har gjort i sin avhandling (Lobben 1970, s 59-63). Vurdering av de mekaniske egenskapene til papiret har imidlertid ikke vært hovedfokus i denne studien, en har i stedet støttet seg til litteratur fra forskningsmiljøet rundt papirindustrien når det gjelder dette temaet, og har heller valgt å fokusere på analysemetoder som sier noe om de parametre som er viktig i forbindelse med lufttørring av papir: vannmengder i papiret, lufthastighet, temperatur, RF, a_w og mengden muggsoppsporere i lufta. I tillegg er det prioritert å gjøre analyser som indirekte sier noe om konsekvensen av valg av temperatur i tørkeforløpet, ved måling av DP, pH og colorometriske målinger, samt analyser som sier noe om strukturendring i materialet, og dermed indirekte de hygroskopiske egenskapene til papiret som har vært gjennom de ulike tørkeprosessene; sorpsjonskurver, visuelle betraktninger, mikroskopi av overflater og måling av dimensjonsendringer.

6. Innledende forsøk

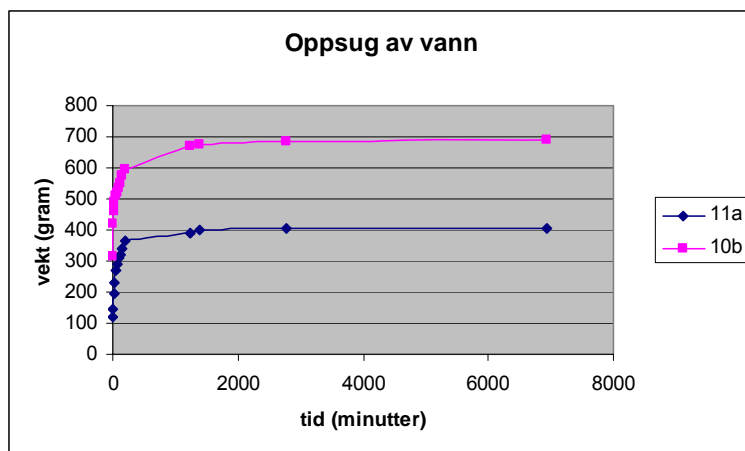
Før tørkeforsøkene som er beskrevet i kapittel 7 kunne gjennomføres, ble det gjort en rekke innledende studier for å danne grunnlag for oppsettet av denne studien. Følgende innledende forsøk ble gjennomført:

6.1 Innledende forsøk I

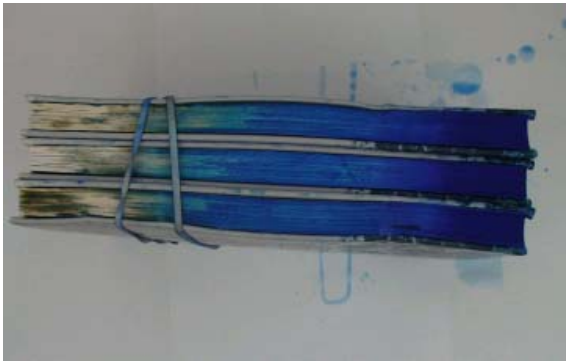
Metode

2 grupper a 12 bøker som var identiske (gruppe A: ligninholdig papir, paperback bøker, og gruppe B; bestrøket papir, stiv perm) ble satt vertikalt i vannbad (ca 5 cm høyt vannspeil) som var tilsatt blekk. Bøkene var modifisert på ulike måter: noen var buntet sammen, andre stod enkeltvis. Noen bøker hadde løs perm og noen hadde plastfilm (melinex) mellom permen og bokblokkene. Bøkene ble veid ca hvert 10. minutt for å observere hvordan vannet trakk opp i papiret. Oppfukningsforløpet ble logget med temperatur/ RF-logger i utvalgte bøker.

Resultater



Figur 13. Oppsug av vann. Kurver for bok 11 A og 10 B. Kurvene er representative for bøker i hhv kategori A og B.



Bilde 1. Vannfront på bøker i kategori B etter forsøk.



Bilde 2. Vannfront på bøker i kategori A etter forsøk.

Diskusjon

Figur 13 viser utvalgte, representative resultater for innledende forsøk 1, hvor en ser forskjellen på hvor mye vann bøkene i kategori A og B tok opp, og hvor lang tid vannopptaket tok. Der hvor bøkene var buntet sammen, var det en svakt lavere oppsugingshastighet av vannet. De bøkene som hadde lagt inn Melinex mellom perm og papir hadde også en svakt lavere oppsugingshastighet av vannet, men effekten av disse to modifikasjonene var mye lavere enn forventet på forhånd. Etter tre dager begynte bøkene av kategori B å bokle i overkant (fordi det oppstod spenninger mellom svellede og usvellede deler av papiret), mens underkant (som stod i vann) ikke boklet, fordi papiret har var mettet med vann, og det altså ikke oppstod spenninger i papiret på samme måten som i overkant av boka. Bøkene i kategori A boklet ikke: disse var av et porøst papir hvor papiret tok opp jevn vannmengde, slik at det ikke oppstod spenninger i papiret. Målinger av RF inni utvalgte bøker i oppfuktingsforløpet; se figur 14, 15, 16 og 17.

For bøkene i kategori A gav bruk av blekk i vannet et 'kromatografisk' bilde av hvordan vannet trakk opp og inn i papiret. For bøkene i kategori B, som hadde bestrøket papir, ble det ikke observert noen kromatografisk effekt (se bilde 1 og 2).

6.2 Innledende forsøk II

Metode

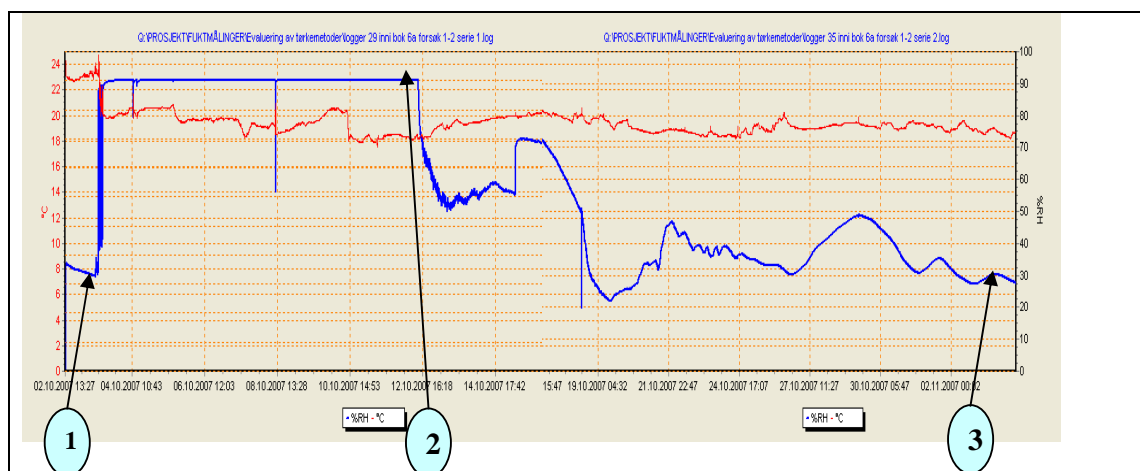
Bøkene som ble fuktet opp i innledende forsøk I ble satt til tørking under 3 ulike betingelser:

- Ingen luftsirkulasjon (ventilasjonen i rommet ble sperret av).
- Stor luftsirkulasjon (aktiv bruk av vifter).

- Høy temperatur (Polygons tørkerom med 40 °C og avfuktere).

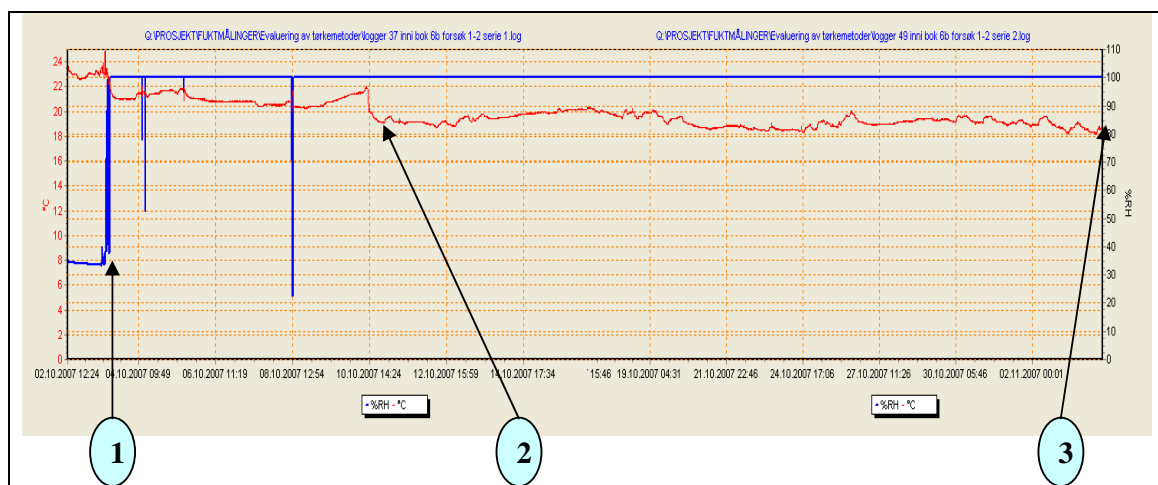
Bøkene ble veid med jevne mellomrom for å se på vektkurven til bøkene. Temperatur og RF ble logget inni utvalgte bøker.

Resultater



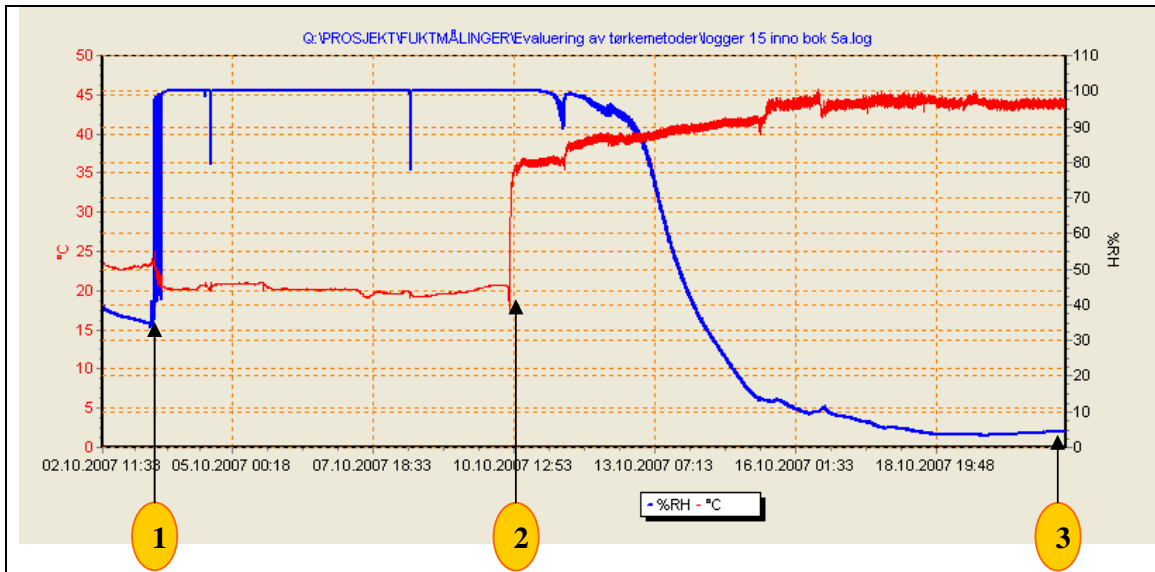
Figur 14. T og RF inni bok 6A. tørking med luftskifte og høy lufthastighet, ca 2,5 m/s. Innledende forsøk 1 og 2. Figuren er satt sammen av kurver fra to loggere. Skifte av loggere ble gjort pga at minnet i loggeren ble fullt.

- 1: Start innledende forsøk 1: oppfukting
- 2: Avslutning innledende forsøk I / start innledende forsøk II
- 3: Avslutning innledende forsøk II



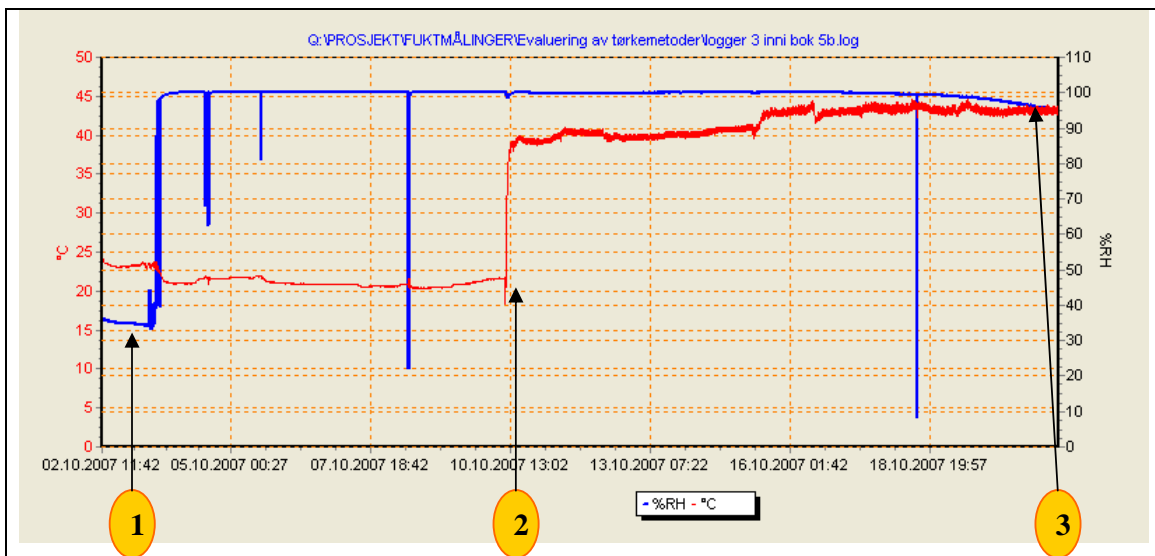
Figur 15. T og RF inni bok 6B. Tørking uten luftskifte og lufthastighet. Innledende forsøk 1 og 2. Figuren er satt sammen av kurver fra to loggere. Skifte av loggere pga at minnet i loggeren ble fullt.

- 1: Start innledende forsøk 1: oppfukting
- 2: Avslutning innledende forsøk I / start innledende forsøk II
- 3: Avslutning innledende forsøk II



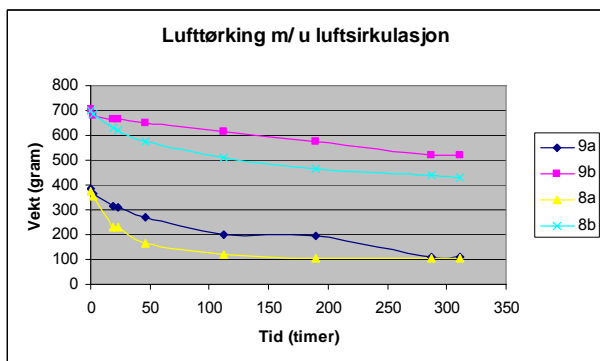
Figur 16. Temperatur og RF inni bok 5a. Tørking i polygons tørkerom, forsøk I og II

1. Start oppfukting av bok 5a
2. Start tørking av bok 5a. Tørking i polygons tørkerom ved 40 °C.
3. Avslutning av tørkeforløp.

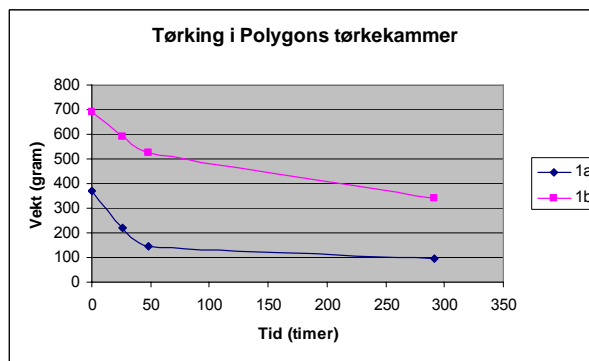


Figur 17. Temperatur og RF inne bok 5b. Tørking i Polygons tørkerom , forsøk I og II

1. Start av oppfukting av bok 5b
2. Start tørking av bok 5b. Tørking i Polygons tørkerom ved 40 °C
3. Avslutning av tørkeforløp



Figur 18. Diagram viser uttørring av bøker m hhv høy (bok 8a og 8b) og lav luftsirkulasjon (bok 9a og 9b).



Figur 19. Diagram som viser uttørring av bøker i Polygons tørkekammer, med høy temperatur.

Diskusjon

Figur 14-17 viser hvordan de to ulike bokkategoriene tok opp vann og tørket ved høy/ lav lufthastighet, og ved høy temperatur. Papirkvaliteten og type perm spilte en avgjørende rolle både for vannopptaket og for tørkeraten.

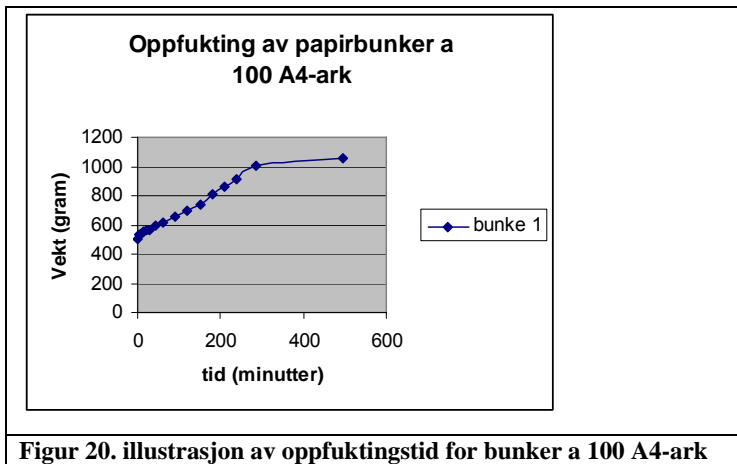
Figur 18 og 19 viser utvalgte, representative kurver for uttørring av bøkene med/ uten luftsirkulasjon. De to øverste kurvene viser bøker av kategori B, og viser forskjellen i uttøringshastigheten uten luftsirkulasjon over overflatene (9b) og med luftsirkulasjon (8b). De to nederste kurvene viser bøker av kategori A, og viser forskjellene i uttøringshastigheten uten luftsirkulasjon (9a) og med luftsirkulasjon (9b). Tørkeforsøket ble avsluttet før bøkene av kategori B var tørre. Effekten av sammenbunting av bøker sees bedre i tørkeforsøkene enn i oppfuktingen. De bøkene som var buntet sammen tørker markant senere enn de som står enkeltvis og dermed har luftsirkulasjon på alle sider. Det ble ikke registrert noen forskjell i tørkehastighet på de bøkene som hadde melinex-folie mellom permen og papiret. På de bøkene som ikke hadde luftstrøm over flatene utviklet det seg vekst av muggsopp ca ett døgn etter at tørkingen ble igangsatt. For bøkene som hadde stor luftsirkulasjon gikk det ei uke før det ble registrert vekst av muggsopp på overflaten. Bøker av kategori B brukte svært lang tid på å tørke, selv med høy luftsirkulasjon. Dette skyldes trolig en svært tett perm, hvor lite fuktighet slapp ut, samt at papiret er bestrøket, og overflaten i papiret er derfor 'forseglet'. Bøker av kategori A tørket vesentlig raskere, trolig på grunn av de ikke hadde perm samt at papiret var langt mer porøst enn i kategori B. Tørkeforsøket ble avsluttet etter to uker.

6.3 Innledende forsøk III

Metode

Det ble gjort forsøk med oppfukning av et utvalg bunker med 100 A4-ark, for se på tiden det tok for en papirbunke av denne størrelsen å ta opp vann til den var 'mettet'.

Resultater



Figur 20. illustrasjon av oppfukningstid for bunker a 100 A4-ark

Diskusjon

Figur 20 viser at etter ca 4,5 timer flater kurven helt ut, og mengden vann som tas opp videre er svært liten. Denne observasjonen stemmer godt overens med Peter Waters (1975, s 3) beskrivelser av at papir er fullt svellet etter ca 4 timer. Det er ikke kjent om Peter Waters beskrivelser bygger på forsøk med enkeltark med papir eller bunker med papir, eller hva slags papirmateriale som er brukt i forsøkene som ligger til grunn.

6.4 Innledende forsøk IV

Metode

Det ble også gjort en testkjøring med vått papir i et tørkekammer hos Tret teknisk institutt (NTI) før hovedforsøkene som er beskrevet i kapittel 7 startet. Tørkekammeret var innstilt på 20 °C og 20% RF ved testkjøringa. Papirbunker a 100 A4-ark hadde vært fuktet i vann i 4 timer, og deretter frosset. Det ble lagt en tykk trekk-kartong på hver side av papirbunkene for å gi støtte og beskyttelse til papiret. Mellom bunkene ble det lagt flate trepinner ('strø') for å gi luftsirkulasjon mellom papirbunkene.

Resultater

Testkjøringa viste at trekk-kartongen i seg selv ikke gir nok støtte; den blir for myk når papirbunkene tiner og vannet trekker ut. Papirbunkene ble derfor delvis formet av trepinnene som lå mellom bunkene. Testkjøringa viste videre at det tok relativt lang tid før RF i tørkekammeret sank til den RF som kammer var innstilt på å levere.

Diskusjon

Testkjøringa i tørkekammeret gav noen bekymringer i forhold til de videre forsøkene, da avfuktingskapasiteten ikke var så høy som en hadde forventet. Det ble allikevel vurdert at avfuktingskapasiteten var god nok, og det ble besluttet å gå videre med bruk av dette tørkekammeret fordi at det ble ansett som viktig å bruke et lukket tørkekammer hvor en kunne regulere både temperatur, RF og lufthastighet.

6.5 Oppsummering av innledende forsøk

På bakgrunn av de innledende forsøkene beskrevet over, ble det gjort følgende avgjørelser som ligger til grunn for forsøkene som er beskrevet i kapittel 7:

- Innledende forsøk I gav et godt bilde av hva en kunne forvente av ulikt vannopptak og avgivelse av vann i forhold til ulike papirtyper.
- Innledende forsøk II gav gode indikasjoner på hvilken effekt en kunne forvente av å regulere hhv temperatur og luftsirkulasjon. Det ble besluttet å gjøre tørkeforsøkene i studie I ved to ulike lufthastigheter, hhv liten lufthastighet (tilnærmet lik null) og høy lufthastighet (2-3 m/s).
- På bakgrunn av innledende forsøk III ble det besluttet å legge papirbunkene i vann i 4 timer før de ble lagt i fryseren. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 7.2.
- På bakgrunn av innledende forsøk IV ble det besluttet å legge metallrister i tillegg til flate trepinner ('strø') og tykk trekk-kartong mellom papirbunkene ved lufttørring i tørkekammer. Dette for å gi god støtte til hver enkelt papirbunke under tørking, samtidig som en sikret god luftsirkulasjon. Tørketiden fra denne testkjøringa av tørkekammeret var en viktig forutsetning for oppsett av forsøkene beskrevet i kapittel 7, ikke minst med tanke på valg av målepunkter i kammeret/ i papirbunkene for å logge temperatur og RF i kammerlufta samt tørkeforløpet inne i papirbunkene.

7. Studie I

7.1 Innledning

Arbeidshypotesen for studie I er

' Ved bruk av lufttørring med stor sirkulasjon av tørr luft kan man unngå vekst av muggsopp på papirmaterialet i tørkeprosessen'

I dette kapittelet blir det gjort en beskrivelse av forsøksprosedyren som ble brukt i de ulike tørkeforløpene, de ulike analysemetodene som er brukt, og resultatene av disse analysene.

7.2 Metode for gjennomføring av tørkeforsøkene

Bløtlegging og innfrysing

Papiret som skulle brukes i forsøksserie 2, 3 og 4 ble bløtlagt i vann og deretter frosset inn i en vanlig husholdningsfryser ved ca -20 °C.

Papirbunkene a 100 ark ble lagt i vann i 4 timer (ref. innledende forsøk), og deretter lagt i poser (en bunke a 100 ark i hver pose) i fryseren. Det viste seg imidlertid at siden det ble lagt flere bunker med papir i vann samtidig, varierte vannopptaket i de ulike bunkene mye. Dette er gjort videre rede for i avsnitt 7.4.2

Det ble gjort bestrebelser for å unngå at papiret krøllet seg og brettet seg da det ble tatt opp av vannet og da det ble lagt i poser, og det ble lagt vinn på å legge papirbunkene så rett og flatt som mulig i fryseren. Papiret ble lagt i vann og frosset inn 'porsjonsvis' slik at en kunne legge en allerede frossen papirbunke mellom hver våte bunke, slik at innfrysingstida ble kortere.

Papiret ble lagt i fryseren på ettermiddagen, og var gjennomfrossent neste morgen.

Serie 2: Frysetørring

Papirbunkene ble tatt ut av fryseren, og lagt inn i frysetørkeren på Kulturhistorisk museum. Styringen av frysetørkingsprosessen ble utført av konservatorene Anders Helset Nilsson og Vegard Vike ved Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Vakuumkanmeret har en dimensjon på 200 x 75 cm, og kondensatorene er 60 x 30 cm. Pumpa har en kapasitet på 100 m³ per time, og den kan nå et sluttvakuum på 0,5 mBar.

Prøvene med papirtype A ble lagt på midterste hylle inni tørkekammeret, prøvene med papirtype B ble lagt på nederste hylle, og prøvene av papirtype C ble lagt på øverste hylle.

Det ble satt inn to dataloggere i kammeret: den ene hadde en vanlig sensor (bilde 5), og målte T og RF i kammerlufta gjennom tørkeprosessen, mens den andre var koblet til et papirsverd' ; en flat sensor som målte T og RF i midten av en bunke (bilde 6). I en av bunkene ble det boret et hull og lagt inn en temperatursensor. To bunker ble lagt på ei mekanisk vekt inni kammeret. Tørkeprosessen ble avsluttet da vekta hadde stabilisert seg og ca nådd den vekta som papirbunkene hadde før de ble lagt i bløt.



Bilde 3. Frosne papirbunker lagt utover på stativet som skal inni frysetørkeren. Start forsøk 2.1.



Bilde 4. Frysetørkeren ved Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.



Bilde 5. Hygrologg Rotronic med standard sensor.



Bilde 6. Hygrologg Rotronic med 'papirsverd': flat sensor som kan stikkes inn i papirbunken og måle RF der.

Serie 3 og 4: Lufttørking

Papirbunkene ble tatt ut av fryseren og lagt i et tørkekammer ved NTI i fire omganger:

Serie 3 (forsøk 3.1 og 3.2) ble kjørt med høy lufthastighet, og

Serie 4 (forsøk 4.1 og 4.2) ble kjørt ved lavere lufthastighet. Lufthastigheten ble målt. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 7.3.2.

Tørkekammeret er av typen 'Heraus Vötsch Climatic Test Chamber HC 4055'. Kammeret kan opereres fra -40 °C til $+180\text{ °C}$ og fra 10% til 90% RF. Tørkekammeret er 85,5 x 80,0 x 79,5cm, dvs at det har et volum på 544 liter. Avfukningskapasiteten er 0,7 liter per døgn ved 40 °C og 92% RF.

I dette tørkekammeret, som er et lukket system som inneholdt en avfukter, kan både temperatur og RF reguleres. Ved start av begge forsøkene ble tørkekammeret stilt inn på 20 °C og 20 % RF. Inni kammeret er en rist, type "stekerist" som papirprøvene ble lagt oppå. Den kondisjonerte lufta blir blåst inn i bunn av kammeret, og trekkes ut gjennom en vifte på bakveggen.

Ved forsøk 3.1 og 3.2 var det satt inn metallplater på hver side av vifta i bakkant som gjorde at det volumet luft som ble trukket ut gjennom vifta passerte over et mindre luftvolum, dvs at lufthastigheten var relativt høy over papiret. Ved forsøk 4.1 og 4.2 var disse platene ikke med, slik at luftvolumet som til enhver tid ble trukket ut av vifta hadde sirkulert i hele kammerets luftvolum, dvs med lavere hastighet over papiret.

Det ble besluttet å bruke et lukket system for å kunne gjøre målinger av mengde soppsporer i lufta i kammeret, for å påvise eventuell sporeproduksjon eller innsmitting av muggsoppsporer i løpet av tørkeprosessen. Fordi det nødvendigvis skjer utskifting av luft i tørkekammeret i det en åpner døra for å sette inn måleutstyret, ble det også tatt prøver i laboratoriet hvor tørkekammeret står, og i utelufta, slik at denne informasjonen kunne benyttes ved tolkinga av resultatene. Dette er videre beskrevet i avsnitt 7.3.4. For å dokumentere om det oppstod vekst av muggsopp på papirmaterialet underveis i tørkeprosessen, ble det også tatt overflateprøver i form av tapeavtrekk på utvalgte overflater etter at tørkeprosessen var avsluttet. Dette er beskrevet i avsnitt 7.4.4.

De frosne papirbunkene ble tatt ut av fryseren, og det ble lagt et stykke trekkartong (Klug trekkpapir, 700 g/m^2) på hver side av den papirbunken. Bunkene ble deretter lagt i to stabler inne i tørkekammeret. Bunkene var horisontalt separert med metallrister og trepinner ('strø', vanlig brukt ved tørking av treverk, se bilde 7). For å sørge for at det var noe luftsirkulasjon mellom de enkelte papirbunkene.

Da tørkeforløpene startet, var tørkekammeret innstilt på 20° C og 20% RF. På grunn av alt vannet som var i papiret, og som ble frigjort i løpet av de første timene da papiret tinte, så hadde avfukteren i tørkekammeret problemer med å ta unna alt vannet i første del av tørkeforløpet. Selv om avfukteren var innstilt på 20% RF, klarte ikke tørkekammeret å levere lavere enn ca 60-80% RF til å begynne med. Dette var enda dårligere effekt enn det som ble observert i de innledende forsøkene. Etter to døgn var RF i kammeret nede i rundt 50%. Ved det første tørkeforløpet (serie 3.1) ble det vurdert at dette ikke gav en effektiv nok tørking til at materialet ville bli overflatetørt raskt nok, og for å få tørkeprosessen til å gå raskere ble det derfor vurdert at når overflaten på de øverste bunkene var overflatetørre (målt a_w under ca 0,6), så ville det være forsvarlig å øke temperaturen en periode for å få ned RF og for å øke tørkehastigheten. Temperaturen ble derfor økt til 40° C i ett døgn, før den igjen ble stilt inn på 20 ° C. Etter ett døgn hadde RF i kammerlufta kommet ned på et akseptabelt nivå, og RF inni papirbunken som hadde RF-måler inni seg hadde sunket drastisk. Klimakammeret var hele tiden innstilt på 20 % RF. For sammenlikningens skyld ble det valgt å kjøre tørkeforløp 3.2, 4.1 og 4.2 likt som kjøring 3.1; temperaturen ble økt når de øverste papirbunkene var overflatetørre (ikke samme tidspunkt for serie 3 og 4), og temperaturøkningen varte i ett døgn.



Bilde 7. Papirbunker i tørkekammeret under tørking, forsøk 3.1. Til høyre i bildet sees anamometeret.

Etterbehandling: kondisjonering

Etter at tørkingen var avsluttet ble alt papiret lagt til kondisjonering i Riksarkivets arkiver, som holder ca 15 °C og ca 45 % RF.

7.3 Overvåking av tørkeprosessen og prøvetaking underveis i tørkeforløpet.

Metodebeskrivelser, resultater og diskusjon

7.3.1 Relativ luftfuktighet (RF) og temperatur (T)

Innledning

Å måle den relative luftfuktigheten (RF) og temperaturen på ulike steder i tørkekammeret/ vakuumbrysektørkingskammeret og i utvalgte punkter inne i papirbunkene, gir en god oversikt over tørkeforløpene både ved at en kunne følge tørkeprosessen i papirbunkene, og ved at RF og T i kammerlufta (og dermed luftas kapasitet til / potensial for å ta opp vanndamp) ble overvåket gjennom tørkeprosessene. For tørkeforsøkene i tørkekammeret var dette vesentlig for å kunne gjøre de nødvendige justeringer i temperatur underveis i tørkeforløpet, og for å evaluere tiltakene for å minimere risikoen for vekst av muggsopp.

Metodebeskrivelse

Måleinstrumentene som ble benyttet var Rotronic Hygrologg. De logget temperatur og RF med 6 minutters mellomrom. Det ble benyttet en 'standardsensor' til å logge T og RF i lufta midt i tørkekammeret (bilde 5). I tillegg var hhv. 1 (serie 2 og 3) og 2 (serie 4) flate prober 'papirsverd' (bilde 6) stukket inn på ett eller flere ulike steder i papirbunken for å måle RF inne i papirbunkene. 'Papirsverdene' er flate, og er designet for papirindustrien, for måling av RF i papirbunker ved produksjon av papir.

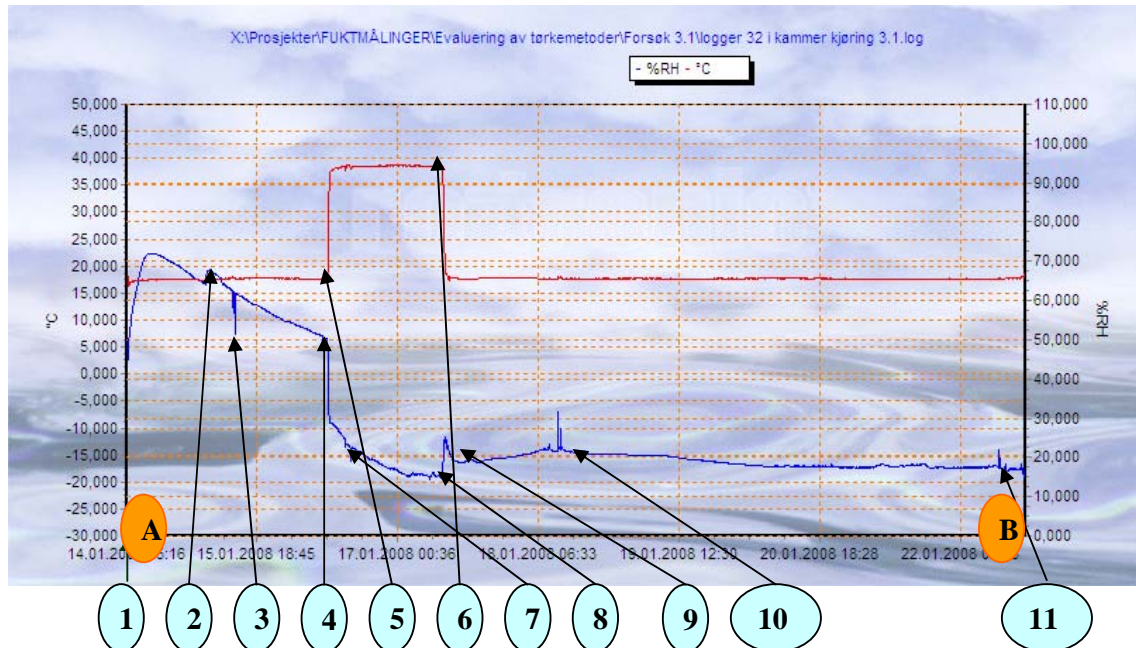
I tørkeserie 3 ble papirsverdet plassert i den bunken som ble antatt å tørke seinest (bunke som inneholdt mye vann). I tørkeserie 4 ble det plassert et papirsverd i den antatt våteste bunken, som var antatt å tørke seinest, og ett i den antatt tørreste bunken, som var antatt å tørke raskest.

I tørkeserie 4.2 ble det også satt inn 2 loggere ekstra: en som logget RF og T der hvor lufta ble blåst inn i kammeret, og en som logget RF og T ved vifta hvor lufta ble trukket ut av kammeret.

Resultater

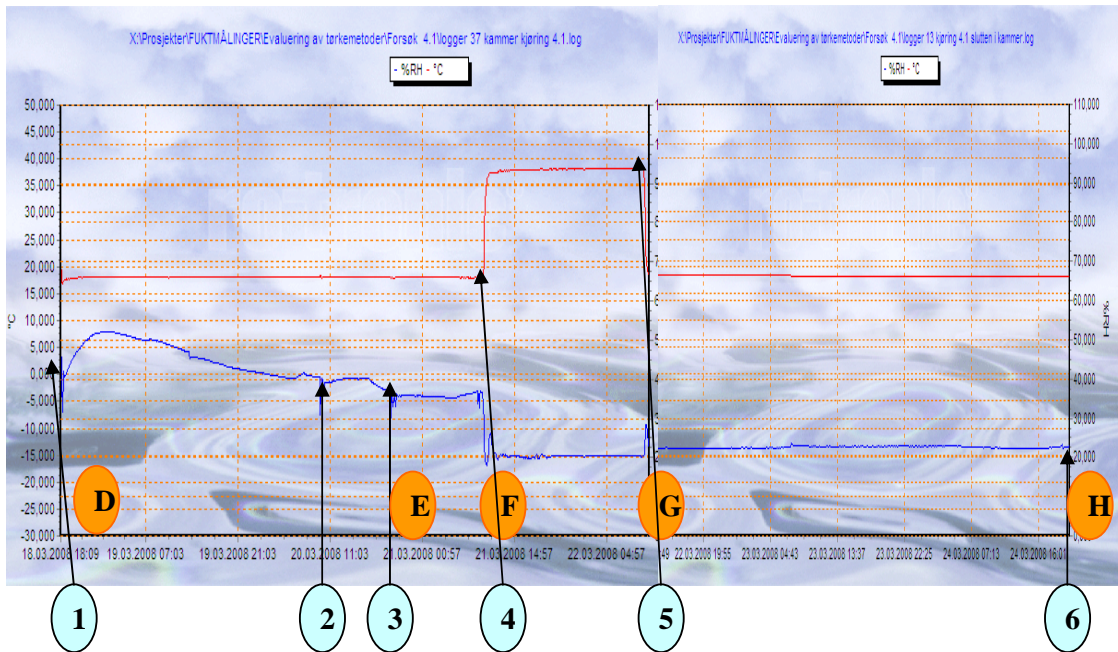
Her presenteres et uvalgt av grafer for å illustrere poengene i diskusjonen. En fullstendig oversikt over alle grafene med kommentarer og forklaringer finnes i appendix A.

Bokstavene som er angitt på grafene refererer til luftanalyser tatt underveis i tørkeforløpet, og korresponderer med bokstavangivelse i tabellene med resultatene fra luftanalysene i appendix B og i de grafiske framstillingene av resultatene av luftanalysene i kapittel 7.3.4.



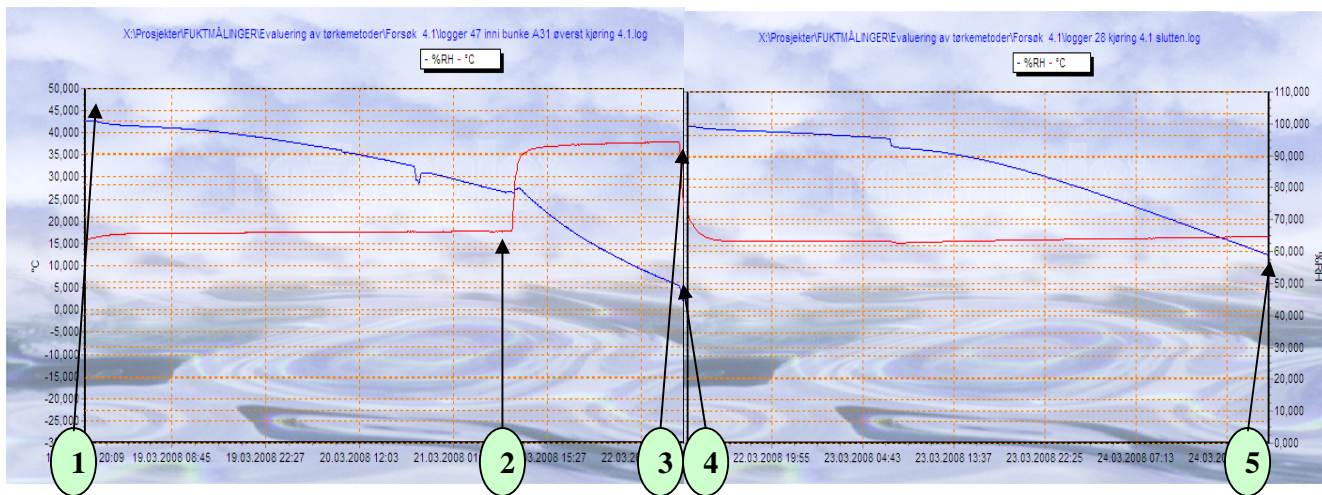
Figur 21. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 3.1. Målepunkt; lufta midt i tørkekammeret

1. start forsøksserie 3.1. Totalsoppanalyse 323:1-5
2. Åpnet kammer og hevet risten
3. Åpnet kammer, satte inn Aw-måler
4. Åpnet kammer, satte inn Aw-måler
5. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
6. Senket innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C
7. Satt inn Aw-måler
8. Lest av Aw-måler
9. Satte inn Aw-måler
10. Satte inn Aw-måler
11. Avslutning av forsøksserie 3.1. Totalsoppanalyse 324:1-3



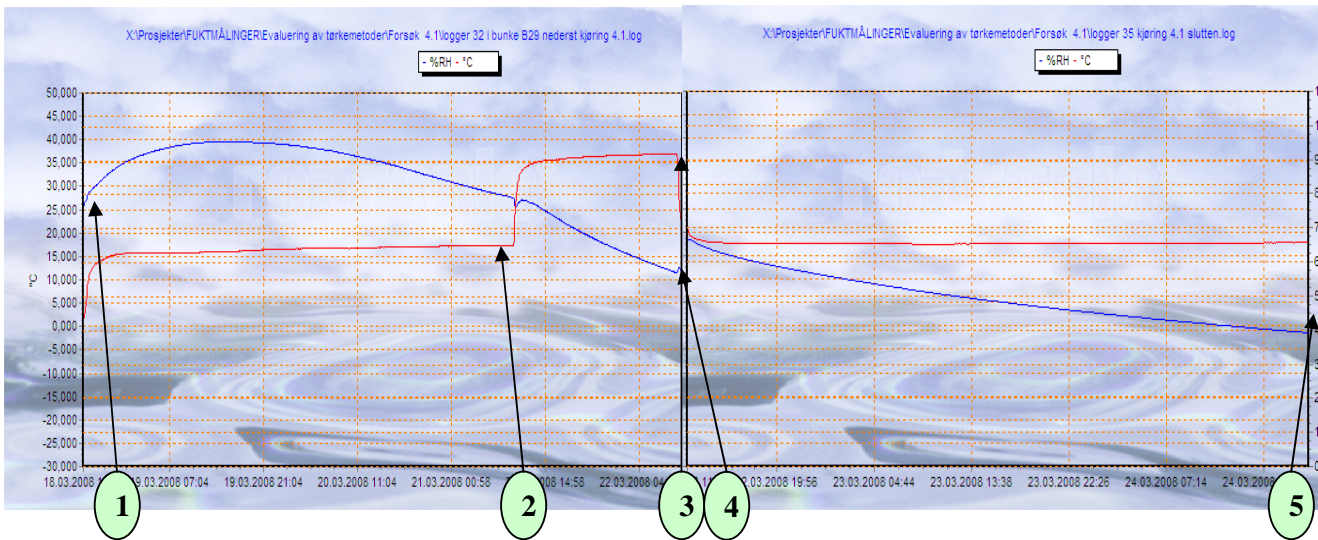
Figur 22. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Luft midt i tørkekammeret
Figuren er satt sammen av to grafer. Se forklaring i teksten til figur 23.

1. Start forsøk 4.1. Totalsoppanalyser 328:1-4
2. Aw-måling.
3. Aw-måling. Totalsoppanalyser 329:1. Luftanalyser MB 5883:1-6
4. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C. Aw-måling. Totalsoppanalyser 330:1Luftanalyser MB 5885:1-12
5. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C. Totalsoppanalyser 331:1-2. Luftanalyser MB 5886:1-6
6. Avslutning av forsøk 4.1. Aw-måling. Totalsoppanalyser 332:1-3. Luftanalyser MB 5889:1-10



Figur 23. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Papirbunke langt oppe i stabelen (A31). Figuren er satt sammen av to grafer.

1. Start forsøk 4.1
2. Økt innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C-
3. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C.
4. Tørkeforsøk ble avsluttet fordi RF inni bunken var på 45%. Etter å tatt papirbunkene ut av tørkekammeret og begynt arbeidet med å veie dem, ble det klart at målepunktet i bunke nr A31 ikke var veldig representativt: øvrige bunker var vesentlig våtere. Papiret ble derfor lagt inn igjen i tørkekammeret, og tørkingen fortsatte, nå med nytt målepunkt for sensoren.
5. Forsøk 4.1 avsluttet.



Figur 24. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Papirbunke langt nede i stabelen (B 29). Figuren er sammen av to grafer.

1. Start forsøk 4.1
2. Økt innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C-
3. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C.
4. Tørkeforsøk ble avsluttet fordi RF inni bunken var på 45%. Etter å tatt papirbunkene ut av tørkekammeret og begynt arbeidet med å veie dem, ble det klart at målepunktet i bunke nr A31 ikke var veldig representativt: øvrige bunkers var vesentlig våtere. Papiret ble derfor lagt inn igjen i tørkekammeret, og tørkingen fortsatte, nå med nytt målepunkt for sensoren
5. Forsøk 4.1 avsluttet.

Grafene for RF og T gjennom tørkeforløpene i vakuumsfrysetørkingskammeret viser at:

- Temperaturen i kammeret ble holdt på ca -20 °C det første døgnet, før den gradvis ble øket oppover mot 10 °C.
- Temperaturen inne i papirbunkene var gjennomgående ca 3 °C lavere enn temperaturen i vakuumskammeret.

Grafene for RF og T gjennom tørkeforløpene i tørkekammeret viser at:

- RF på luft som ble blåst ut av kammeret var bare minimalt høyere enn den som ble blåst inn (se graf nr 54 og 55 i appendix A).
- Temperaturen inni de våte papirbunkene lå gjennomgående ca 10% lavere enn lufttemperaturen i kammeret. Differansen var noe større (ca 15%) ved den høyeste kammertemperaturen.
- Fra temperaturen i kammer ble regulert fra 20 °C til 40 °C, tok det bare 1,5 timer før temperaturen inni papirbunkene hadde steget 15 °C.
- Da T økte fra 20 °C til 40 °C i kammeret, falt RF i kammeret umiddelbart fra ca 50% til ca 30 %, og i løpet av ett døgn hadde den stabilisert seg på ca 20%.

- Fram til T ble økt fra 20 °C til 40 °C, var RF inni papirbunken fortsatt på om lag 100 %. Da T ble økt, og RF i kammeret sank drastisk, begynte en effektiv uttørking av papiret (se figur 47, 49, 50 og 53 i appendix A).
- Tørkeprosessen ble avsluttet da RF inni den antatt våteste papirbunken var ca 50%.
- Det var stor forskjell på RF inni papirbunkene avhengig av luftsirkulasjonen rundt papirbunken, se figur 52 og 53 i appendix A.

Diskusjon

Det første døgnet av tørkeforløpet greide ikke avfukteren i tørkekammeret å ta unna all fuktigheten. Selv om kammeret var stilt inn på 20% RF, holdt lufta som ble blåst inn i kammeret 60-80% RF. Etter to dager var RF på lufta som ble blåst inn i kammeret kommet ned i 45-50% RF, men dette ble heller ikke ansett å være tilstrekkelig for en god nok tørking til at papiret kunne bli raskt nok overflatetørt. Det derfor besluttet å øke temperaturen for en periode, for å senke RF (øke luftas kapasitet til å ta opp fuktighet) og øke fordampingen fra det våte papiret (ref. gasslovene). Dette fungerte meget godt. RF i tørkekammeret sank drastisk, og med økt temperatur og økt avdamping gav dette en tydelig effekt i form av senket fuktighet også inne i papirbunkene. Avfuktigskapasiteten i tørkekammeret var ikke god nok. Avfukteren var ikke beregnet for å ta unna så store vannmengder som det var snakk om i disse forsøkene.

Det var et avvik på ca 3 °C i forskjell på sensoren i vakuumkanter og sensoren inne i papirbunken i forsøk 2.1 og 2.2. Ved kontroll og kalibrering av sensorene til dataloggerne i romluft etter forsøkene, viste disse et avvik på ca 1 °C. det vil si at den reelle forskjellen i temperatur mellom lufta i vakuumkanteret og kjernen av papirbunken var ca 2 °C.

Figur nr 52 og 53 (Appendix A) illustrerer godt at når temperaturen økes for å øke fordampingen, så er uttørkingseffekten fortsatt helt avhengig av god luftsirkulasjon: uttørkinga i den nederste papirbunken (som hadde stor overflate eksponert mot den tørre, varme lufta i tørkekammeret) var vesentlig bedre enn i papirbunken som lå midt i stabelen og hadde vesentlig lavere luftsirkulasjon rundt seg. Da forsøk 4.2 ble avsluttet var RF inni den nederste papirbunken kommet under 40 % RF, - altså var papiret i tørreste laget, mens i papirbunken som lå midt i stabelen, var RF ennå ikke nådd ned til 60%; altså var den egentlig litt for våt til å avslutte tørkinga. Forskjellene er med andre ord store mellom papirbunkene, og årsaken er trolig en kombinasjon at det er ulik mengde vann som skal fjernes fra de

respektive papirbunkene, og at størrelsen på overflaten som var eksponert for tørr luft var ulik.

7.3.2 Lufthastighet

Innledning

Serie 3 og 4 er tørket i tørkekammer med henholdsvis høy og lav lufthastighet.

Lufthastigheten ble målt for å se hvilken effekt denne hadde på tiden det tok før papiret ble overflatetørt.

Metodebeskrivelse

Lufthastigheten ble målt med et anemometer. Instrumentet målte luftens hastighet i kammeret, målt i m/s. Måleren hadde ikke loggerfunksjon, men displayet ble avlest flere ganger daglig gjennom tørkeforløpet. Lufthastigheten ble notert hver gang tørkekammeret ble inspisert. Antall målinger varierer noe mellom de ulike forsøksseriene.

Resultater

Alle målingene er gitt i tabellform i appendix H.

For serie 3.1 og 3.2, hvor det var satt inn plater i kammeret for å øke lufthastigheten over materialet, varierte lufthastigheten fra 1.5 m/s til 2,5 m/s. Gjennomsnittlig lufthastighet for serie 3.1 var 2.0 m/s, og for serie 3.2 var den 1,9 m/s.

For serie 4.1 og 4.2, hvor lufta sirkulerte i hele kammeret, varierte lufthastigheten fra 0 m/s til 0,8 m/s. Gjennomsnittlig lufthastighet for serie 4.1 var 0,2 m/s, og for serie 4.2 var den 0,1 m/s.

Diskusjon

I begge tørkeserier måtte en legge lodd på toppen av papirbunkene for å unngå at den sirkulerende lufta skulle "blåse av" de øverste papirarkene når de tørket.

Effekten av lufthastigheten må sees i sammenheng med måling av vannaktiviteten på overflatene gjennom tørkeforløpet, se neste avsnitt.

7.3.3 Vannaktivitet (a_w)

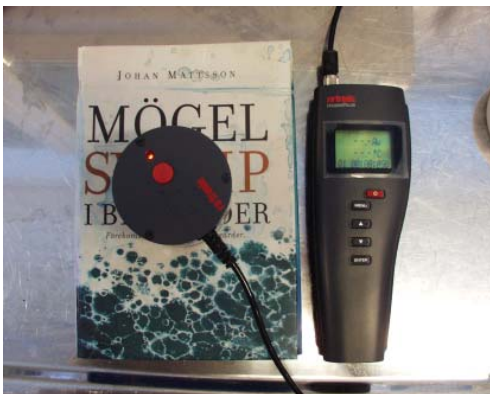
Innledning

Å måle vannaktivitet på en overflate er et mål på hvor mye vann som er tilgjengelig på overflaten. Metoden er derfor egnet til å vurdere om et materiale er overflatetørt. Tiden det tok før papiret ble overflatetørt var et viktig parameter i denne studien, gitt hypotesen om at muggsopp ikke vil vokse på materiale som er overflatetørt, selv om materialet har en fuktig kjerne (ref. avsnitt 1.5). Det ble derfor målt vannaktivitet på utvalgte overflater gjennom tørkeforløp 3 og 4.

Metodebeskrivelse

Måleinstrumentet som ble brukt er en Rotronic HygroPalm AW1. Instrumentet er et håndholdt displayinstrument for måling av vannaktivitet (A_w). Målingen foretas med en Aw-probe HygroClip AW-DIO. Proben måler alltid RF, og alle A_w -verdier som vises er kalkulert basert på RF og temperatur. A_w -måleren ble kalibrert før bruk: Det ble gjort en 2-punkts kalibrering ved bruk av Rotronic humidity standards, 10% RF, og 90% RF.

Underveis i tørkeprosessen ble det gjort A_w -målinger på de øverste papirbunkene i tørkekammeret over de første døgnene i tørkeforsøkene, for å kunne vurdere om papiret var overflatetørt. Målingene ble gjort på overflaten av de øverste papirbunkene. Tidspunkt for målingene er angitt på grafene i figur 44, 46, 48 og 51 i appendix A.



Bilde 8. A_w -måler.



Bilde 9. Underside av probe for A_w -måler.

Resultater

Tabell med alle måleresultater er gitt i appendix G. I serie 3 (høy lufthastighet, ca 2 m/s) var Aw på overflatene sunket til under 0,6 (tilsvarer 60% RF) etter hhv 43 timer (serie 3.1) og 46 timer (serie 3.2) Tilsvarende tall for serie 4 (lav lufthastighet, ca 0,2 m/s) er 64 timer (serie 4.1) og 65 timer (serie 4.2).

Diskusjon

Ved lav lufthastighet tok det ca ett døgn lenger, eller ca 33% lenger tid før papiret var overflatetørt enn ved høy lufthastighet.

7.3.4 Luftanalyser: Måling av mengde muggsoppспорer i tørkekammeret ved lufttørking

Innledning

Inni tørkekammeret ble det gjort to typer luftanalyser: Totalsoppanalyser og luftanalyser med hensyn på spiredyktige soppспорer.

Totalsoppanalyser er en egnet prøvetakingsmetode for å kvantifisere det totale antallet muggsoppспорer (levende og døde) og mengde / type av ulike støvpartikler i lufta. Metoden gir en kvantitativ analyse av antall muggsoppспорer og/eller støvpartikler, og ved å sammenligne luftanalyser tatt inne i tørkekammeret med prøver tatt i laboratoriet og i utelufta kan en eventuell sporeproduksjon i tørkekammeret avsløres. Metoden gir ikke en fullgod kvalitativ analyse av hvilke muggsoppспорer som forekommer i prøven men gir en god oversikt over hvilken type støvpartikler som finnes, dersom prøven analyseres med hensyn på støv.

Luftanalyser med Micro Bio er en egnet prøvetakingsmetode for å registrere forekomst av spiredyktige muggsoppспорer- og fragmenter i lufta. Metoden gir god kvalitativ analyse av spiredyktige muggsoppспорer (Kilde: Mycoteam).

Metodebeskrivelse totalsoppanalyser

Totalsoppanalyser ble tatt med en pumpe (Buck BioAir) med tilkoblet kassett (Allergenco-D), (se bilde 10), som samler muggsoppспорer og støv som finnes i lufta. 100 liter luft ble sugd inn i måleapparatet. Soppспорer, støv og materialfiber som finnes i lufta ble avsatt på en

glassflate med et klebrig stoff inne i kassetten. Denne glassflaten ble deretter preparert og analysert i mikroskop. Totalt antall soppsporer/fragmenter/fibre pr. kubikkmeter luft beregnes (= antall sporer/m³) (Kilde: Mycoteam). Mikroskopering av prøvene ble utført av Cathrine Whist, Mycoteam.

Totalsoppanalyse ble gjort i alle fire tørkeforløp (lufttørring). I tillegg ble det i kjøring 4.1 og 4.2 utvidet med luftanalyser med tanke på spiredyktige muggsoppsporer for å se om det var mulig å påvise at sporer ble drept/inaktivert eller aktivert ved økt temperatur.

Metodebeskrivelse luftanalyser – spiredyktige muggsoppsporer

Luftanalyser ble tatt med ei pumpe (MicroBio 2) som suger lufta inn over ei petriskål som inneholder et dyrkningsmedium (se bilde 11). 100 liter luft ble sugd inn i måleapparatet. Soppsporer og fragmenter av sopp i denne lufta festet seg på dyrkningsmediet. For å fange opp flest mulig ulike muggsopptyper ble det benyttet to typer dyrkningsmedier (MEA og DG18). Etter ca. 7 dagers dyrking ved 20°C ble kolonidannende enheter talt opp og omregnet til å gjelde pr. kubikkmeter luft (= antall kde/m³). Dominerende muggsoppslekter/arter, gjær-sopp og bakterier identifiseres ved bruk av lupe og mikroskop. Nedre og øvre tellegrense for instrumentet er henholdsvis 25 kde/m³ og 5300 kde/m³. Det betyr at det kan forekomme høyere verdier enn 5300 kde/m³, men at dette normalt ikke kan tallfestes ved denne metoden (Kilde: Mycoteam).

Tidspunkt for prøvetaking i tørkekammer/ referanseprøver er angitt på grafene i Appendix H. Analysene av prøvene er gjort av: Ingrid Grønli, Malin Siljedal, Kristine Rolland Behn og Marianne Berdal, alle Mycoteam.



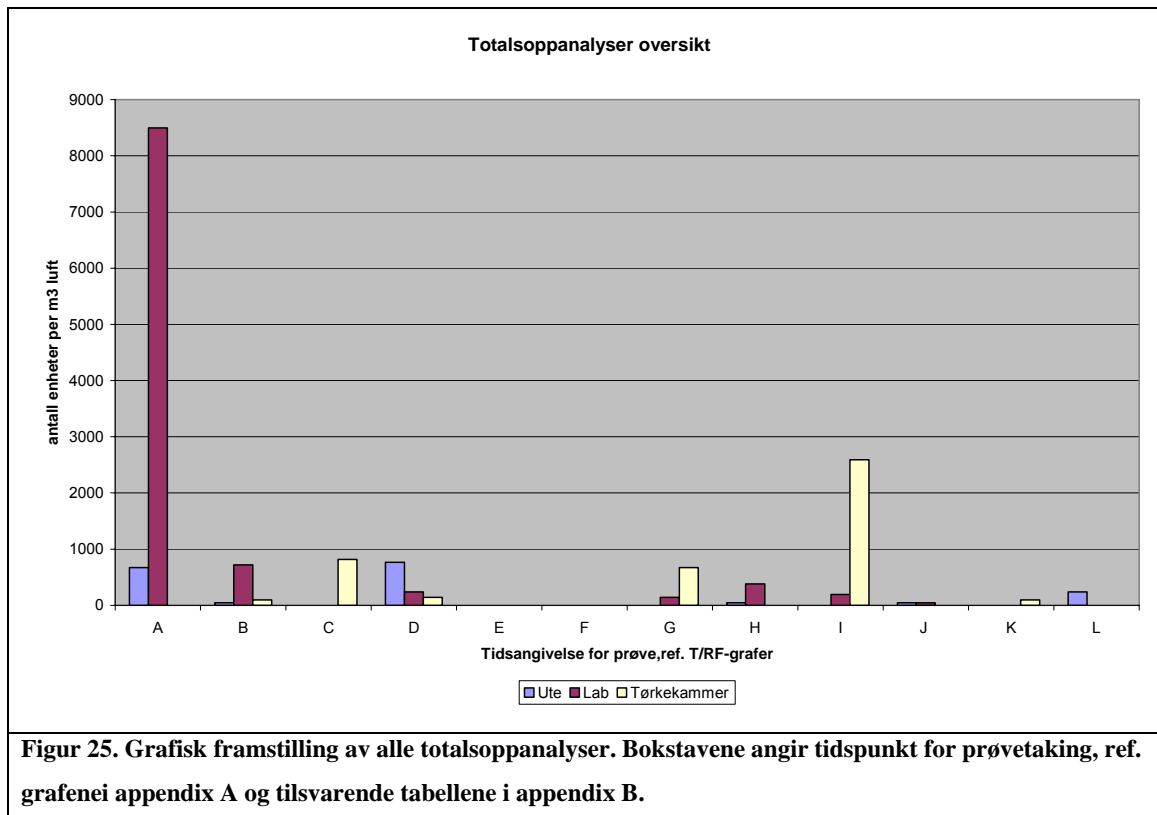
Bilde 10. Apparat og kassett for å ta totalsoppanalyser.



Bilde 11. Microbio for å ta luftanalyser med hensyn på spiredyktige muggsoppsporer. Foto: Mycoteam.

Resultater luftanalyser

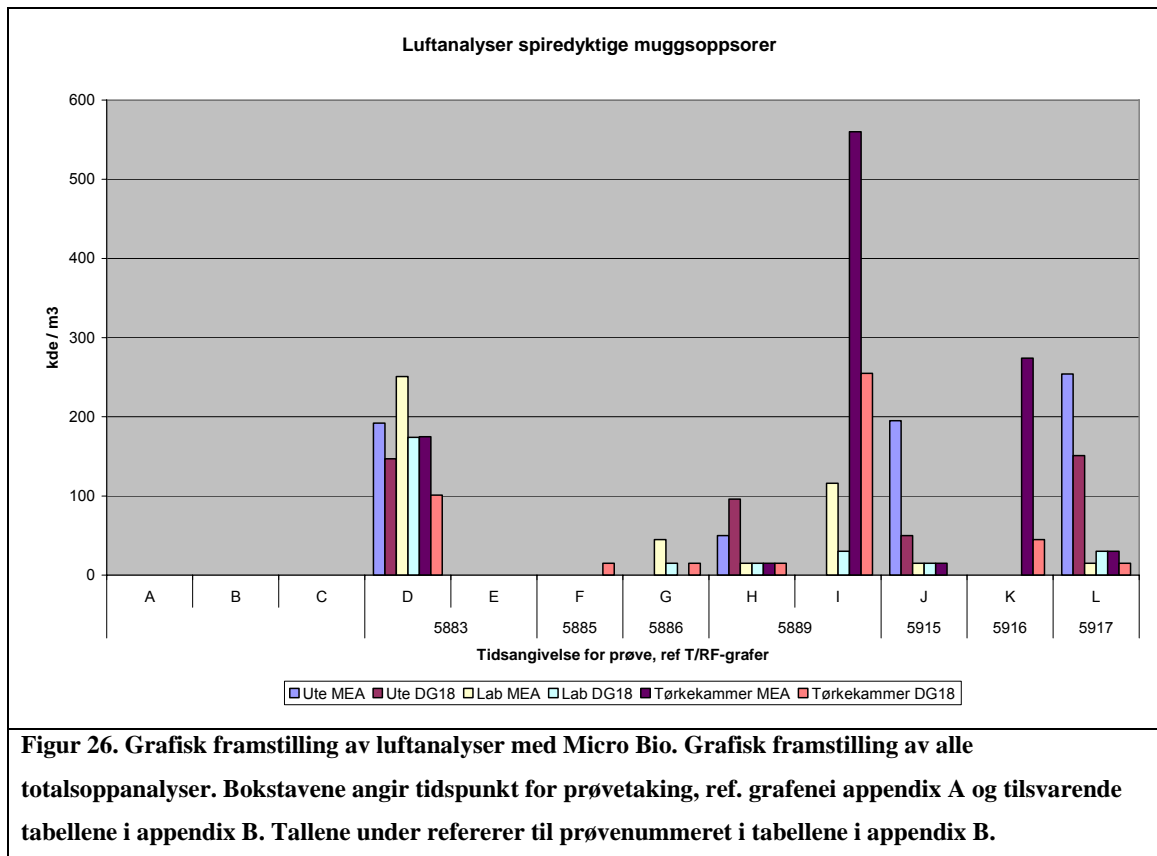
Totalsoppanalysene ble analysert med hensyn på mengde og type muggsoppспорer, ikke med hensyn på støv og partikler. Tabellene som viser mengde og type soppспорer som ble detektert i prøvene finnes i Appendix B. Her følger grafiske framstillinger av de kvantitative resultatene:



Figur 25. Grafisk framstilling av alle totalsoppanalyser. Bokstavene angir tidspunkt for prøvetaking, ref. grafene i appendix A og tilsvarende tabellene i appendix B.

Resultater Luftanalyser – spiredyktige muggsoppспорer

Resultatene fra luftanalysene med hensyn på spiredyktige muggsoppспорer er gitt i tabellform og i appendix B. Under følger grafiske framstillinger av de kvantitative resultatene.



Diskusjon

Tolking av luftanalyser er gjort av undertegnede i samråd med Johan Mattsson, fagsjef hos Mycoteam.

Å bruke et lukket tørkekammer ble valgt som metode for å kunne ta luftanalyser underveis i tørkeforløpet, og dermed påvise evt. vekst av muggsopp som ville kunne oppstå i løpet av tørkeprosessen. Imidlertid vil det alltid bli noe utskifting av lufta i tørkekammeret når kammer døra åpnes for å sette inn måleinstrumenter. Det var derfor viktig å ta referanseprøver av lufta ute og av lufta i laboratoriet hvor tørkekammeret stod. Laboratoriet er et tretørke-laboratorium hvor det tidvis ble oppbevart store mengder treprøver, og potensialet for at lufta i laboratoriet kunne inneholde store mengde soppсорer var derfor til stede. Ved tørking av tre er det særlig tre muggsoppсорer som er utbredt: *Rhizopus microsporus*, *Paecilomyces variotii* og *Aspergillus fumigatus* (Wijnand, Melbostad, Sandven, Toftegaard, 1996). Disse muggsoppсорer tåler høy varme og vil derfor kunne vokse ved ca 40 °C.

Det understrekes at luftanalyser gir et øyeblikksbilde av hvilke mengder av muggsopp som finnes i luften ved prøvetakingen og at variasjonen kan være stor over tid.

På bakgrunn av figur 25 og 26 samt tabellene i appendix B ser en at:

- Da forsøk 3.1 startet (tidspunkt angitt som A i temperatur/ RF-grafen i appendix A) ble det ikke detektert noen soppsporer i tørkekammeret, etter at papir og strø var lagt inn i kammeret. Det ble imidlertid detektert relativt store mengder soppsporer tilhørende slektene *Penicillium* og *Paecilomyces* i referanseprøven fra lufta i laboratoriet. Dette stemmer godt overens med hva arbeidstilsynet beskriver som typiske muggsopper ved tretørking (Wijnand, Eduard, Melbostad, Erik, Sandven, Per, Toftegaard, Lars 1996). Referanseprøven tatt ute viste lave verdier av soppsporer, noe som var å forvente i forhold til årstiden (januar). Ved avslutning av forsøk 3.1 (tidspunkt B) ble det detektert en svært liten mengde (96 enheter/m^3) sporer fra muggsopp av slektene *Aspergillus* og *Penicillium*. Denne mengden er så liten at den trolig skyldes forurensing fra laboratrielufta i det øyeblikket døra på tørkekammeret ble åpnet for å sette inn prøvetakingsutstyret, og ikke en lokal spreproduksjon i tørkekammeret.
- Da forsøk 3.2 startet (tidspunkt B) ble det detektert en liten mengde (96 enheter/m^3) sporer fra muggsoppslektene *Aspergillus* og *Penicillium*. Ved avslutning av forsøk 3.2 (tidspunkt C) ble det detektert noe (816 enheter/m^3) muggsoppsporer i lufta i tørkekammeret, primært soppsporer fra slektene *Aspergillus*, *Penicillium* og *Paecilomyces*. Dette kan skyldes forurensing fra lufta i laboratoriet, men mengdene er såpass store at en ikke kan utelukke at noe, særlig forekomsten av slekten *Paecilomyces* kan være forårsaket av en lokal sporeproduksjon inne i tørkekammeret, enten fra vekst på papiret eller på strø. Det er også mulig at den økte forekomsten ved slutten av tørkeforløpet skyldes at sporer som har vært akkumulert på strø har blitt virvlet opp.
- Da forsøk 4.1 startet (tidspunkt D) ble det ved totalsoppanalyse detektert en svært liten mengde (144 enheter/m^3) av muggsoppsporer i lufta i tørkekammeret. Etter at strø ble lagt inn i kammeret (før tørkeprosessen startet) ble det tatt en ny totalsoppanalyse, noe som viste en større mengde (5856 enheter/m^3) av muggsoppsporer, primært av slekten *Aspergillus* og *Penicillium*. Ved målepunkt E, (to dager etter start av tørkeforsøk 4.1) ble det tatt ny totalsoppanalyse. Denne gangen ble det ikke detektert noen muggsoppsporer. Luftanalyser med Micro Bio på samme tidspunkt viste en svært liten

mengde spiredyktige muggsopp sporer ($175/101 \text{ kde/m}^3$) av slektene *Cladosporium* og *Penicillium*, lavere nivå enn det som samtidig ble detektert i referanseprøvene i laboratorielufta og utelufta. Det vurderes derfor at det som ble detektert kun var en forurensing fra laboratorielufta. Det samme er tilfelle ved målepunkt F, ca 2,5 døgn etter at tørkeprosessen ble startet, rett før temperaturen ble økt fra $20 \text{ }^\circ\text{C}$ til $40 \text{ }^\circ\text{C}$: totalsoppanalysene viste ingen muggsopp sporer, mens luftanalysene med microbio viste ingen/en svært liten mengde muggsopp av slekten *Penicillium* ($0/15 \text{ kde/m}^3$). Ved målepunkt G, ca 3,5 døgn etter at tørkeprosessen startet, rett etter at temperaturen ble redusert fra $40 \text{ }^\circ\text{C}$ til $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ble det ved totalsoppanalyser detektert noe muggsopp sporer (672 enheter/m^3) av slektene *Penicillium* og *Aspergillus*. På samme tid ble det også detektert de samme artene, men i noe mindre mengder, i referanseprøven fra laboratorielufta. Samtidige luftanalyser med Micro Bio viste ingen/ minimale mengder ($0/15 \text{ kde/m}^3$) spiredyktige muggsopp sporer av slekten *Penicillium*. Da tørkeforsøk 4.1 ble avsluttet (tidspunkt H) ble det ikke detektert noen muggsopp sporer i lufta inne tørkekammeret med totalsoppanalyser. Luftanalysene med MicroBio viste det samme som ved målepunkt G og H ($0/15 \text{ kde/m}^3$). Totalt må en ut fra totalsoppanalysene og luftanalysene med Micro Bio gjennom tørkeforløp 4.1, konkludere med at det ikke var noen vekst av muggsopp og sporeproduksjon i løpet av tørkeforløpet, og at de muggsopp sporene som ble detektert med totalsoppanalyser ved målepunkt F, trolig var en forurensing fra laboratorielufta.

- Ved starten av forsøk 4.2 (I) ble det ved totalsoppanalyser detektert en relativt stor mengde muggsopp sporer (2592 enheter/m^3), hovedsaklig av slektene *Penicillium* og *Aspergillus* inne i tørkekammeret. Samtidig prøvetaking med microbio viste forekomst ($560/255 \text{ kde/m}^3$), hovedsakelig muggsopp sporer av slektene *Penicillium* og *Paecilomyces*. Disse prøvetakingene ble gjort etter at strø var lagt inn i kammeret, noe som kan forklare det høye tallet på detekterte sporer. Ved målepunkt J, ca 2,5 døgn etter at tørkeprosessen startet, og før temperaturen ble økt fra $20 \text{ }^\circ\text{C}$ til $40 \text{ }^\circ\text{C}$, ble det gjort nye prøvetakninger. Ved denne prøvetakningen ble det ikke detektert noen muggsopp sporer i tørkekammeret ved totalsoppanalysene, og ingen/minimale mengder ($0/15 \text{ kde/m}^3$) ved luftanalyser med Micro Bio, mens det var små mengder med muggsopp sporer av slektene *Aspergillus* og *Penicillium* i referanseprøvene som ble tatt i laboratorielufta. Ved målepunkt K, ca 3.5 døgn etter at tørkeforsøket startet, og rett etter at temperaturen igjen var redusert fra $40 \text{ }^\circ\text{C}$ til $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ble det gjort totalsoppanalyser som viste en liten mengde (96 enheter /m^3) muggsopp sporer av

slekten *Cladosporium*. Samtidig prøvetaking med *microbio* viste en liten mengde (274/45 kde/m³) muggsopp sporer hovedsakelig av slekten *Penicillium*. Ved avslutning av tørkeforsøk 4.2 (L) ble det ikke detektert noen sopp sporer i tørkekammeret ved totalsoppanalyser, mens luftanalyser med *Micro Bio* viste minimale mengder med muggsopp sporer (30/15 kde/m³).

Strø hadde ingen synlig vekst av muggsopp. For å kontrollere denne observasjonen, burde det ha vært tatt tapeavtrekk av overflaten på strø som ble brukt i tørkekammeret, men dette ble ikke gjort. Dette innebærer derfor en potensiell kilde til feiltolking. Eventuell lokal innsmitting fra muggsopp sporer på strø hadde ingen konsekvenser i de tørkeforløp som er beskrevet her, men vil potensielt kunne ta det i tørkeprosesser som ikke går raskt nok til at en unngår vekst av muggsopp på overflatene. Erfaringen som dras fra dette må være at en helt bør unngå bruk av organisk materiale til støttematerialer (med unntak for trekkartong) i tørkeprosessen, for unngå usikkerhet om evt. mulighet for innsmitting med muggsopp sporer fra en lokal kilde.

Tørkeforholdene med temperaturer opp til 40 °C har redusert antall spiredyktige sporer; en mengde sporer har blitt drept ved denne oppvarmingen. Sporer virvles opp ved luft sirkulasjon. Ved åpning av kammerdøra, og ved prøvetaking der 100 l luftsuges inn i hvert av måleapparatene for hver prøvetaking, vil antall sporer i tørkekammeret raskt reduseres.

De ovenstående vurderinger kan oppsummeres i følgende:

- De målte verdiene av muggsopp sporer i tørkekammeret (både totalsoppanalyser og luftanalyser med hensyn på spiredyktige muggsopp sporer) er generelt lave.
- Det kan ikke utelukkes at det har skjedd en begrenset sporeproduksjon i tørkekammeret i løpet av tørkeprosess 3.2 og 4.1, som kan skyldes vekst av muggsopp enten på strø eller papir.
- Lufta i tørkekammeret kan være forurenset både av akkumulerte sporer på strø som har blitt virvlet opp, og av luft fra laboratoriet som inneholdt store mengder muggsopp sporer.

Å bruke et klimakammer som var plassert i et tretørkelaboratorium var ikke et heldig valg. Det innebar en stor kilde til potensiell spredning av muggsopp sporer fra lufta i laboratoriet til

lufta i tørkekammeret, og luftsirkulasjonen i kammeret når døra på kammeret ble åpnet, innebar derfor en stor fare for forurensing av luftprøvene i tørkekammeret.

Avslutningsvis må det konkluderes med at å gjøre de luftanalyser som her er gjort for å dokumentere utvikling i forhold til muggsoppспорer i tørkekammeret underveis i tørkeprosessen ikke var ideell. Resultatene er vage, og forteller ikke det som det var intensjonen at de skulle vise.

7.4 Evaluering av tørkeresultater. Metodebeskrivelser og resultater

7.4.1 Visuell evaluering

Innledning

Det ble gjort en generell visuell evaluering som tok sikte på å gi en generell beskrivelse av dimensjonsendringer, deformasjon, bokling, blokking/sammenklistring av ark og eventuell synlig partikkelvandring eller vekst av muggsopp.

Metodikk visuell evaluering

Vurderingene er å betrakte som subjektive vurderinger, og er gjort av papirkonservator Kristin Ramsholt, Riksarkivet og undertegnede i fellesskap.

Resultater visuell evaluering

Følgende generelle tendenser ble funnet:

- Papirark som har vært lufttørket i tørkekammer har større bokler enn papir tørket i frysetørker.
- Papirbunker som har vært frysetørket har en større volumøkning enn papir som har vært lufttørket i tørkekammer.
- Det ble ikke observert partikkelvandring på noen deler av materialet.
- Det ble ikke observert synlig vekst av muggsopp noen prøver.
- Det ble observert noe sammenklistring av papirark i det lufttørkede materialet. Dette gjaldt alle papirkvaliteter, men omfanget var svært begrenset i alle tre papirkategorier.



Bilde 12. Dimensjonsendringer i papiret etter tørking. Bildet viser 4 x 100 ark av papir B i hver bunke. Bunken til venstre er referanseprøver. Bunken i midten er lufttørket papir, og bunken til høyre er frysetørket. Mørk farge på papiret skyldes skygge på bildet, ikke vekst av muggsopp.

Diskusjon

Carlsen (1998, s, 54) har i sin studie observert at papir som har blitt fuktet opp og deretter frysetørket, er planere enn papir som har blitt fuktet opp og deretter lufttørket. Dette er stikk i strid med de observasjoner som er gjort i denne studien. Carlsens studie er basert på enkeltark med papir, mens denne studien baserer seg på papirbunker a 100 ark. Det gjør trolig en stor forskjell i denne sammenhengen. Se for øvrig avsnitt 7.4.3 hvor dimensjonsendringer i papiret er målt.

Dersom det hadde vært vekst av muggsopp på papiret, ville denne vært synlig: Alle de aktuelle muggsoppartene (*Aspergillus fumigatus*, *Paecilomyces variotii*, og arter innen slekten *Penicillium*) har alle grønn farge (*Paecilomyces variotii* er gulgrønn, de andre sterkt grønne), og det ville derfor ha vært lett å se dersom det hadde oppstått vekst av disse på papiret.

7.4.2 Vekt: vannmengde fjernet ved tørking

Innledning

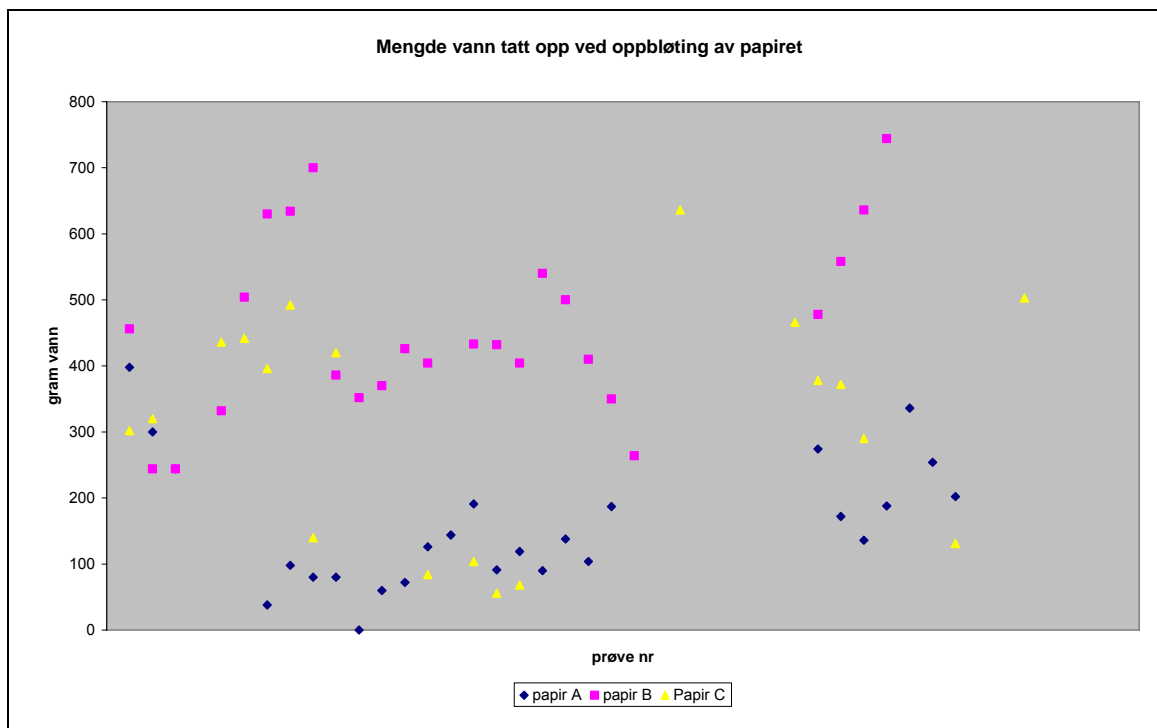
For å dannet et bilde av hvor mye vann som ble tatt opp i de enkelte papir bunkene, og hvor mye som ble fjernet i tørkeprosessen, ble papirbunkene veid før og etter bløtlegging/ tørking.

Metodikk

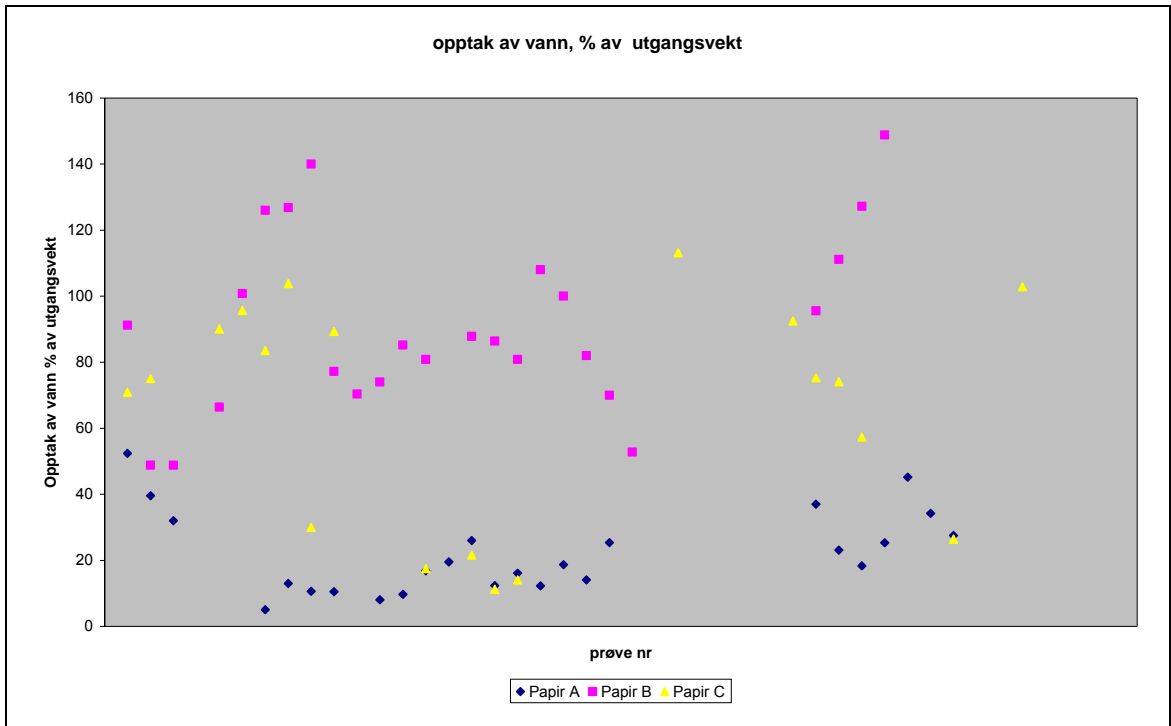
Papirbunkene ble veid før bløtlegging, etter bløtlegging og frysing og umiddelbart etter at tørkeprosessen var avsluttet.

Resultater

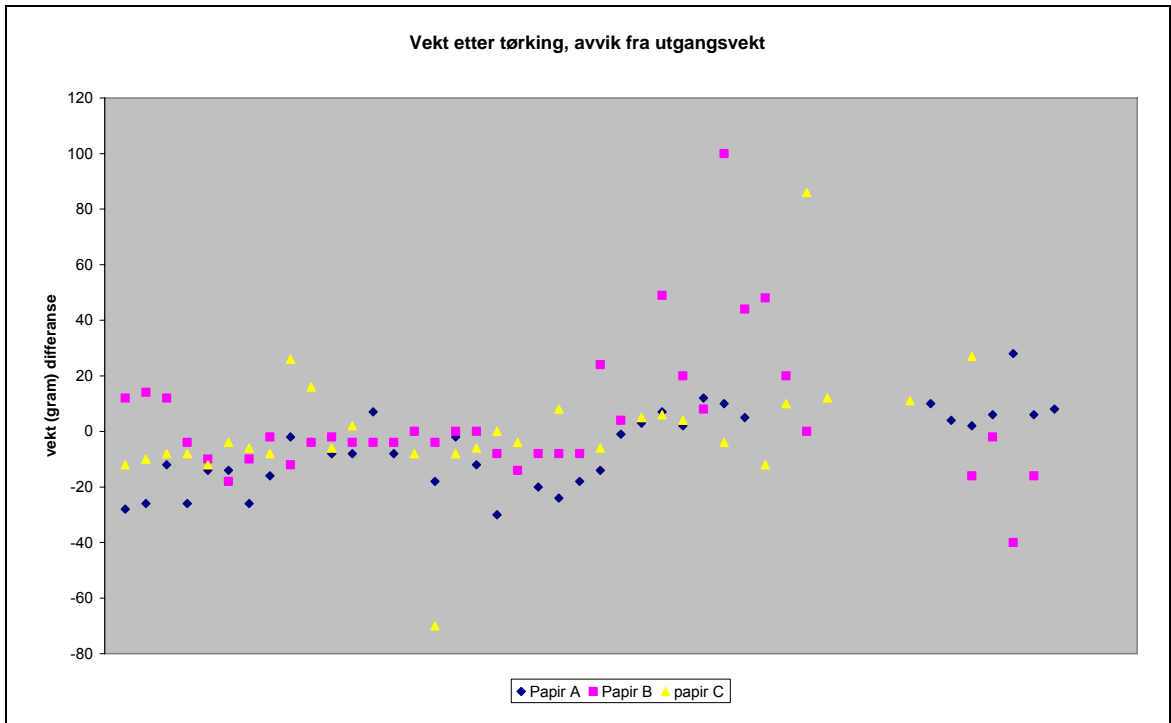
Tabell med måledata er gjengitt i appendix I.



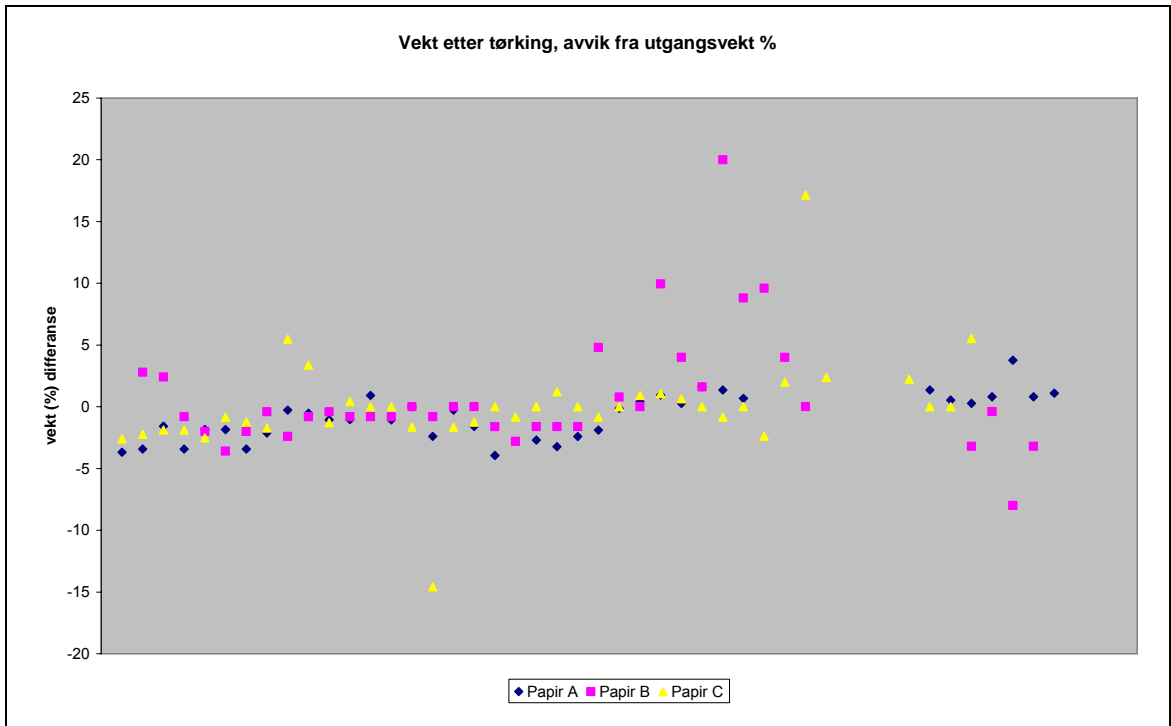
Figur 27. Figuren viser mengden vann (antall gram vann) som ble tatt opp i papirbunkene ved oppfukning. En ser at Papir A har tatt opp minst vann, papir B har tatt opp mest vann, og papir C har svært store variasjoner. Alle disse tre observasjonene var som forventet ut fra den enkelte papirtypens egenskaper.



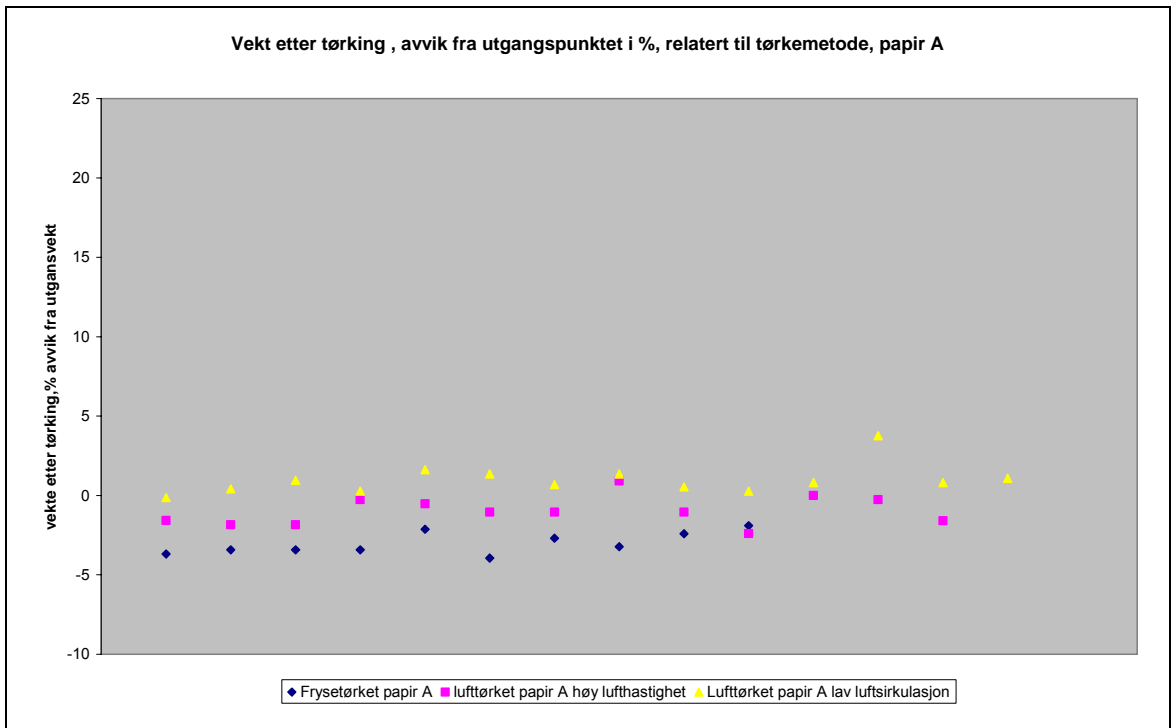
Figur 28. Figuren viser mengden vann som ble tatt opp i papirbunkene ved oppfukning (angitt i % av opprinnelig vekt på papirbunken).



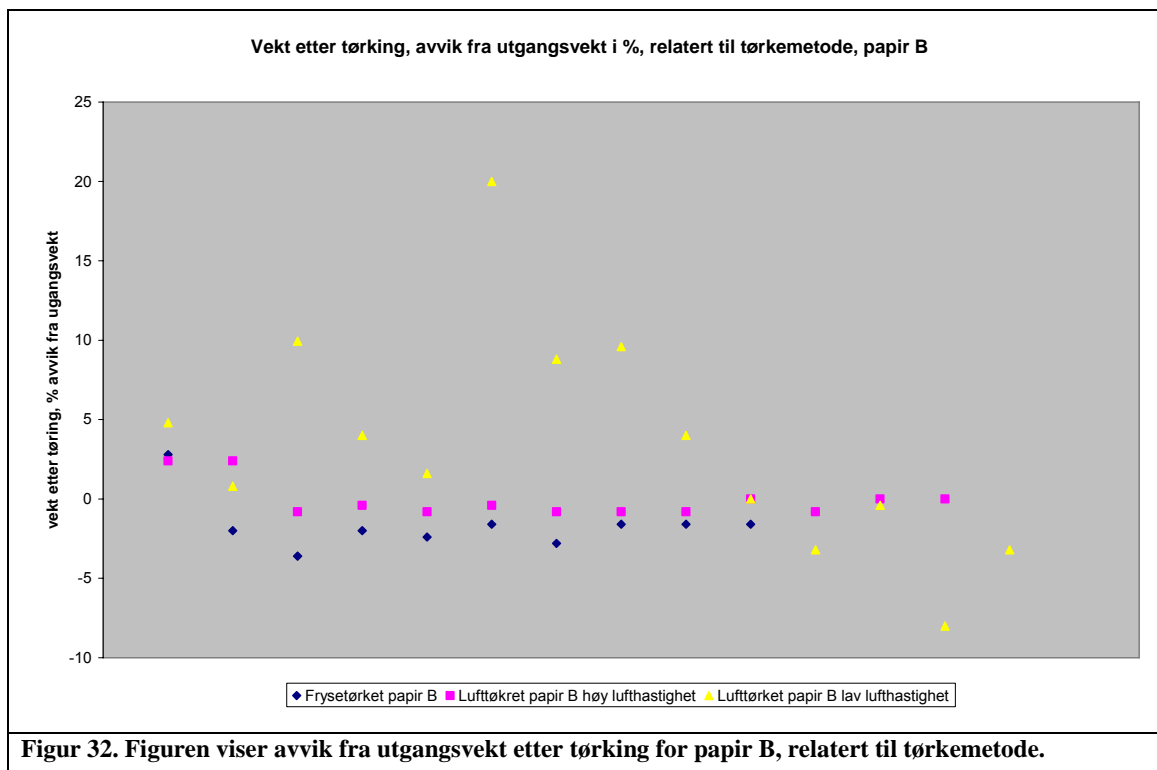
Figur 29. Figuren viser papirprøvenes avvik fra originalvekt etter tørking (antall gram avvik). Verdier over 0 angir at papirets sluttvekt var høyere enn utgangsvekten, dvs at papiret ikke var helt tørt. Verdier under 0 angir at papiret ble for tørt.



Figur 30. Figuren viser papirprøvenes avvik fra originalvekt etter tørking, angitt som % av originalvekt.



Figur 31. Figuren viser avvik fra utgangsvekt etter tørking for papir A, relatert til tørkem metode.



Figur 32. Figuren viser avvik fra utgangsvekt etter tørking for papir B, relatert til tørkemetode.

Diskusjon

Referanseprøvene til papir A hadde en vekt på 734-762 g per papirbunke a 100 A4-ark. Referanseprøvene til papir B hadde en vekt på 493-500 g, mens papir C hadde store variasjoner, da dette prøvematerialet var svært inhomogent. Årsaken til differansene i papir A og B kan være at noen av bunkene kan ha manglet ett ark, og at vekta i noen grad kan være avhengig av RF på tidspunktet på veiing. Papiret var oppbevart i samme lokale i ca 4 uker før veiing, og burde derfor i utgangspunktet være klimatisert til samme nivå, slik at denne faktoren nok ikke er stor. Vekta som ble brukt har en nøyaktighet på +/- 1 g. Det var ønskelig å bruke en mer nøyaktig vekt, men det lot seg ikke gjøre å finne en vekt med større nøyaktighet som kunne veie så store materialprøver som det som er brukt i disse forsøkene. +/- 1 g utgjør imidlertid bare 0,1-0,2 % av utgangsvekta, og det ble derfor vurdert at dette var en tilfredsstillende nøyaktighet for disse prøvene. Veiing av papirbunkene da de ble tatt ut av fryseren, før de ble lagt i tørkekammeret, ble ved en inkurie ikke gjennomført i tørkeforsøk 3.1 og 2.2. Figur nr 27 og 28 har derfor bare tall fra 2/3 av materialet som ble lagt i bløt. Disse figurene baserer seg dermed på kun 27 papirbunker av hver papirtype.

Mengden av vann som ble tatt opp i papiret, varierte svært mye. Dette kan skyldes at det lå for mange papirbunker i hver vannbale da papiret lå til oppbløting. Siden mengden vann som ble tatt opp varierte så mye, så varierte naturlig nok også mengden vann som ble tørket ut av hver bunke svært mye. Figur 27 viser at papir A generelt har tatt opp minst vann, og papir B har tatt opp vesentlig mer vann, mens papir C har større variasjoner. Dette resultatet er som forventet ut fra materialsammensetningen i hhv papir A, B og C. 29 og 30 viser at papir B, som tok opp mest vann, også har størst avvik i forhold til om alt vannet ble tørket ut. Fra figur 31 og 32 ser det ut som at det er i tørkeforsøk 3.1 og 3.2 (med høy lufthastighet) at en har lykkes best med å avslutte tørkeprosessen på riktig tidspunkt: til tross for store ulikheter i vanninnholdet i papirbunkene, er avviket i forhold til originalvekt svært små på hele prøvematerialet. I tørkeforsøk 4.1 og 4.2 (lav lufthastighet) er utslagene mye større, særlig i papir B, som i utgangspunktet har større opptak vann, og også har større forskjeller i opptak av vann. Figur 31 og 32 viser også at både papir A og papir B generelt har blitt litt overtørket i frysetørkingsprosessen (3-5 % lavere vanninnhold enn utgangsvekta).

Av tabellen i appendix I ser en at de prøvene som avviker mest med hensyn på å få tørket ut alt vannet, er alle prøver som i utgangspunktet hadde høyt vanninntak. Hvilken plassering prøven har hatt i stabelen i tørkkammeret har trolig også noe betydning, men dette gir ikke entydig forklaring.

I virkeligheten, når en vannskade rammer, vil det være en realitet at den skadede samlingen er sammensatt av papir med svært ulike egenskaper, og som har tatt opp svært ulike mengder med vann. Det er derfor viktig å kunne overvåke tørkeraten og tørkeprosessen på en slik måte at det lar seg gjøre å avslutte tørkeprosessen 'på riktig tidspunkt', det vil si å finne det tidspunktet hvor papiret ikke er overtørket, og hvor en kan plukke ut de volumene som trenger ettertørking for å bli tilstrekkelig tørre. Ved lufttørking har man en mye større mulighet til å vurdere 'det riktige tidspunktet' for å avslutte tørkeprosessen enn det man har ved frysetørking.

7.4.3 Dimensjonsendringer

Innledning

På bakgrunn av visuelle vurderinger av tørkeresultatene med til dels store volumendringer på papirbunkene, ble det gjort nærmere målinger av format og papirtykkelse på utvalgte papirprøver, for å få et bedre inntrykk av hvordan disse dimensjonsendringene arter seg.

- **Endringer i format**

Metode

Formatet på utvalgte papirprøver ble målt ved at det ble lagt en glassplate oppå papirprøven, og at formatet deretter ble målt med en metall-linjal. Tallverdiene i tabellen under er snitt av 3 målinger. Målingene ble utført av Kristin Ramsholt, Riksarkivet.

Resultater

Prøve nr	Behandling	Format	Endring i format
A33	Referanseprøve	297 mm x 210 med mer	Referanse
A6	Tørkekammer 20-40 °C	296 mm x 209 med mer	-1 mm i begge retninger
A2	Frysetørket	294 mm x 209 med mer	- 3 mm i høyden/ - 1 mm i bredden
B36	Referanseprøve	297 mm x 210 med mer	Referanse
B1	Tørkekammer 20-40 °C	292 mm x 210 med mer	- 5 mm i høyden
B2	Frysetørket	291 mm x 210 med mer	- 6 mm i høyden
C41	Referanseprøve	297 mm x 210 med mer	Referanse
C33	Tørkekammer 20-40 °C	295 mm x 206 med mer	- 2 mm i høyden og - 4 mm i bredden
C32	Frysetørket	291 mm x 204 med mer	- 6 mm i begge retninger

Tabell 3. Resultater, endring i format.

- **Endringer i papirtykkelse**

Metode

Papirtykkelsen ble målt med et Micrometer Compact L.W Type: 12-1 No. 1764. Verdiene i tabellen under snitt av 5 målinger ulike steder på arkene. Målingene ble utført av Kristin Ramsholt, Riksarkivet og undertegnede i fellesskap.

Resultater

Prøve nr	Behandling	Papirtykkelse (mm)	Prosentvis endring
A33	Referanseprøve	0,01315	0
A6	Tørkekammer 20-40 °C	0,01542	17%
A2	Frysetørket	0,016	22%
B36	Referanseprøve	0,0077	0
B1	Tørkekammer 20-40 °C	0,00977	27%
B2	Frysetørket	0,0104	35%
C41	Referanseprøve	0,00772	0
C33	Tørkekammer 20-40 °C	0,00863	12%
C32	Frysetørket	0,00853	10%

Tabell 4. Resultater, endring i tykkelse

Diskusjon

Det understrekes at måling av dimensjonsendringer kun er gjort på et lite utvalg prøver, og slik sett kan ikke resultatene gjøres gjeldene for hele prøvematerialet, men gir en indikasjon på noen tendenser:

Det er målbare endringer i papirets format etter oppfukning og tørking. Endringene er størst for papir B og papir C. Endringene er større for frysetørket papir enn for lufttørket papir. Papir av alfacellulose (papir A) og papir av resirkulert cellulose (papir B) var tykkere etter frysetørking enn etter lufttørking. For papir C var tykkelsen på prøven som hadde vært frysetørket og prøven som hadde vært lufttørket relativt lik, men alle papirtyper hadde en økning i tykkelse etter oppfukning og tørking sammenlignet med referanseprøvene.

På bakgrunn av målinger av endringer i format og papirtykkelse, kan følgende tendenser sees:

- Frysetørket papir har større dimensjonsendringer (blir tykkere, men med redusert format) enn papir som har vært lufttørket.
- Volumendringene i bunkene er både relatert til bokling og til en endring av tykkelse i hvert enkelt papirark (se bilde 12).

7.4.4 Overflateprøver: tapeavtrekk med Mycotape Combi

Innledning

De visuelle vurderingene (avsnitt 7.4.1) viste ingen synlige tegn til vekst av muggsopp.

Muggsopp kan være vanskelig å se med det blotte øyet, særlig hvis det dreier som om arter som har farger som ligner underlaget de vokser på. Å ta tapeavtrekk er derfor en god metode for å dokumentere om det finnes muggsopp på en overflate; -også når en ikke kan se vekst av

muggsopp med det blotte øye. Det ble derfor tatt tapeavtrekk med Mycotape combi på utvalgte overflater for å dokumentere om det var oppstått vekst av muggsopp på prøvematerialet i løpet tørkeforløpet.

Metodikk tapeavtrekk

Det ble gjort tapeavtrekk på et utvalg av overflatene på alle tre typer papir.

Tapeavtrekk er en egnet måte å vurdere om det forekommer vekst eller forekomst av muggsopp/muggsoppssporene på en overflate. Ved prøvetaking presses en klebrig tape mot overflaten og denne kan senere mikroskoperes. Ved å kvantifisere mengden hyfer (sopptråder) og telle antall sporer i tapeavtrekket kan man vurdere mengden av soppvekst/sporer på overflaten av prøvestedet (kvantifisering). Tilstedeværelsen av hyfer viser at det har forekommet vekst på selve materialet. Hvis det kun finnes forekomst av sporer skyldes dette at disse har blitt deponert på overflaten sammen med støv. Eventuelt kan det skyldes en unormal spredning av sporer fra tilstøtende områder med vekst av muggsopp. Det skilles mellom ingen, liten, moderat og rik forekomst eller vekst.

Det er i mange tilfeller vanskelig å skille ut spesielle arter eller slekter av muggsopp i et tapeavtrekk, men noen slekter/grupper kan identifiseres hvis sporene er særlig karakteristiske (kvalifisering). I tillegg til den kvalitative analysen gjennom mikroskopering, kan Mycotape Combi brukes i et måleinstrument (BM-Dustdetecotor) som benyttes ved støvdekkemåling. Ved en lasergjennomlysning av prøven kan man måle hvor mye lys som stanses. Ut fra dette beregner instrumentet hvor stor andel av tapens overflate som er dekket med støv. Resultatet er gitt i % støvdekke(kilde: Mycoteam). Tapeavtrekkene ble analysert av Cathrine Whist, Mycoteam.



Bilde 13. Mycotape.

Resultater

Prøvenr	Prøvested	Type	Resultater	% støvdekke
16754: 1	A30 4.1	mycotape combi	Hudceller - Sparsom forekomst Ingen tegn til soppvekst organisk materiale - Sparsom forekomst Papirfibere - Sparsom forekomst Tekstilfibere - Sparsom til moderat forekomst Uorganiske partikler - Sparsom forekomst	8,2%
16754: 2	B30 4.1 kant	mycotape combi	Hudceller - Meget sparsom forekomst Ingen tegn til soppvekst Tekstil og papirfibere - Meget sparsom forekomst Uorganiske partikler - Sparsom forekomst	1,3%
16754: 3	A39 4.2	mycotape combi	Hudceller - Sparsom forekomst Ingen tegn til soppvekst organisk materiale - Sparsom forekomst Tekstil og papir fibre - Sparsom forekomst Uorganiske partikler - Meget sparsom forekomst	1,0%
16754: 4	B28 4.2	mycotape combi	Ingen tegn til soppvekst organisk materiale - Meget sparsom forekomst Tekstil og papirfibere - Sparsom forekomst uorganisk materiale - Sparsom forekomst Uorganiske partikler - Meget sparsom forekomst	0,8%
16754: 5	A18 3.2	mycotape combi	cf. Gipsstøv - Sparsom forekomst Hudceller - Sparsom forekomst Ingen tegn til soppvekst organisk materiale - Meget sparsom forekomst Tekstil og papirfibere - Sparsom forekomst Uorganiske partikler - Sparsom forekomst	1,3%
16754: 6	B14 3.2	mycotape combi	Hudceller - Meget sparsom forekomst organisk materiale - Meget sparsom forekomst Soppfragmenter/sporer - Meget sparsom vekst Tekstilfibere - Sparsom forekomst Uorganiske partikler - Meget sparsom forekomst	1,0%
16754: 7	A14 3.1	mycotape combi	Hudceller - Meget sparsom forekomst Ingen tegn til soppvekst organisk materiale - Meget sparsom forekomst Tekstilfibere - Sparsom forekomst Uorganiske partikler, cf gips - Sparsom til moderat forekomst	1,7%
16754: 8	A13 3.1	mycotape combi	Hudceller - Sparsom forekomst Ingen tegn til soppvekst organisk materiale - Meget sparsom forekomst Tekstil og papirfibere - Meget sparsom forekomst	1,4 %

Tabell 5. Resultater av prøveanalyser, tapeavtrekk

Diskusjon

Resultatene viser at det ikke er detekterbar vekst av muggsopp på overflatene på papiret. Dette bekrefter de visuelle observasjonene (avsnitt 7.4.1) og støtter oppunder at det er gjort en rimelig tolkning av luftanalysene (avsnitt 7.3.4); at det som er detektert av muggsopp sporer i tørkekammeret underveis i tørkeforløpene kan tilskrives forurensing fra lufta i laboratoriet og/eller sporer akkumulert på strø som er blitt virvlet opp.

7.4.5 Depolymerisasjonsgrad (DP)

Innledning

Å måle depolymerisasjon (gjennomsnittlig kjedelengde på cellulosepolymeren) er en metode for å få et mål på grad av kjemisk nedbrytning i papiret. Både hydrolyse og oksidasjon vil føre til redusert DP.

Metodikk DP

Polymerisasjonsgrad ble testet hos PFI. Testene ble utført i henhold til standarden ISO 5351/1 (Karlsen og Stensønes 2008).

Resultater

Prøve nr	Behandling	DP
A33	Referanseprøve	610
A6	Tørkekammer 20-40 °C	870
A6A	Tørkekammer 20-40 °C, + kunstig aldret	860
A2	Frysetørket	890
A2A	Frysetørket + kunstig aldret	880
A50	Lufttørket ved 20 °C	650
B36	Referanseprøve	440
B1	Tørkekammer 20-40 °C	440
B1A	Tørkekammer 20-40 °C, + kunstig aldret	390
B2	Frysetørket	430
B2A	Frysetørket + kunstig aldret	420
B50	Lufttørket ved 20 °C	470

Tabell 6. Resultater analyse av DP.

Diskusjon

Analyser av DP ble kun gjort på et utvalg prøver, og de resultatene som er gitt vil derfor ikke være gyldig for hele prøvematerialet, men kun gi en indikasjon.

Papirpolymerene i papiret i serie A har forholdsvis lav kjedelengde for en kjemisk masse. PFI tolker dette til at papiret enten har vært gjennom tøffe blekebetingelser eller at kjedelengden har blitt noe nedbrutt under lagring. Prøve A33 (referanseprøven) og A50 (lufttørket ved 20 °C) ligger ca 250 enheter under de andre i serien. I følge profeser Øyvind Gregersen er det ikke mulig at kjedelengden øker ved oppfukning og tørking. Gregersen mener derfor at referanseprøven og prøven som har vært tørket ved romtemperatur ligger ca 250 enheter under resten av serien trolig skyldes feil ved analysen (Pers.meddelelse Øyvind Gregersen).

PFI mener at fukting i vann og tørking ved 'normale temperaturer' (angitt til under 120 °C) ikke burde påvirke kjedelengden i nevneverdig grad (Karlsen og Stensønes 2008).

Papirpolymerene i serie B har svært lave viskositetstall. PFI påpeker at de har liten erfaring med viskositetsmåling på papir som inneholder mekanisk masse. De lave tallene kan enten bety at det relativt høye innholdet av kortkjedet hemicellulose og nedbrutt lignin trekker ned gjennomsnittet, eller at kjedelengden har blitt redusert ved lagring. De ulike tørkebehandlingene hadde ikke noen tydelig effekt på kjedelengden (Karlsen og Stensønes 2008).

Ut fra disse analysene drar undertegnede de negative slutningene at det:

- Ikke er mulig å påvise at de to tørkeprinsippene, hhv lufttørking og frysetørking, påvirker kjedelengden i papir A eller B.
- Ikke er mulig å påvise at økte temperaturen til 40 °C over et døgn har hatt noen effekt på kjedelengden verken i papir A eller papir B.

7.4.6 Kunstig aldring

Innledning

Det ble utført kunstig aldring på et utvalg (se tabell nr 2) av prøvene som ble sendt til PFI. Kunstig aldring er en mye brukt metode for å undersøke materialers aldringsegenskaper. Det har imidlertid vært brukt en rekke ulike parametre når det har vært gjort kunstig aldring på papir, og mange benytter ikke de standarder som finnes på området. Flere forskere har det siste tiåret stilt spørsmålsteget ved verdien av å gjøre kunstig aldring (Bansa 1992), men metoden er fortsatt svært utbredt. Kunstig aldring ble benyttet i forbindelse med måling av DP (avsnitt 7.4.5) og ved konstruksjon av sorpsjonskurver (se avsnitt 8.2.2).

Metodikk

Kunstig aldring ble utført ved PFI etter standarden ISO 5630-1, ved 105° C i 1 time (Karlsen og Stensønes 2008). PFI anbefalte å bruke denne standarden fordi det er den som er mest brukt i papirindustrien.

Resultater

Resultatene er angitt i tabell 6 (over).

Diskusjon

Ut fra tallene i tabellen i avsnitt 7.4.5, trekkes den negative konklusjonen at det ikke kan påvises at kunstig aldring etter den standarden som er gjort her påvirker kjedelengden.

7.4.7 Colorometriske målinger / Spektrofotometermålinger

Innledning

Colorometriske målinger / spektrofotometri innebærer å måle gulhetsgraden og hvithetsgraden på papir. Fargeendringer i papir skyldes oksidativ nedbrytning. Colorometriske målinger gir dermed indirekte et mål på oksidativ nedbrytning i papiret.

Metodikk

De colorometriske målingene ble utført av Jotun AS i Sandefjord ved Lars Christiansen. Målingene ble utført den 07.11.2008. Instrumentet som ble benyttet var et Macbeth Ci5 spektrofotometer. Målegeometrien i forsøkene var diffus belysning/ 8° avlesning, glansfelle lukket og UV inkludert. Belysningen var D65, og det ble brukt stor måleåpning, 2,54 cm. i diameter. Målingene ble gjort på 2 papirark av hver prøve, og verdiene på hver utførte måling et gjennomsnitt av tre målte punkter på hvert ark (d.v.s. et gjennomsnitt av 6 punkter). Prøvene er utført med hensyn på gulhetsindeks og hvithetsindeks. Resultatene er angitt i to ulike verdier: Den ene beskriver gulhetsindeksen (ASTM std. E313) og den andre beskriver hvithetsindeksen. Det ble også målt refleksjonsverdier.

Resultater

NLD65 10GR GM (4,0) Different color difference formulas		
Name (R-values)	YI313	WE-BAS
A33, REFERANSEPRØVE A	5,39	63,99
A6 Tørkekammer 20-40 °C	5,9	62,44
A2 Frysetørket	5,93	62,4
B36, REDERANSEPRØVE B	0,83	73,62
B1 Tørkekammer 20-40 °C	0,49	73,4
B2 Frysetørket	-0,19	77,54

Tabell 7. Resultater colorometriske målinger.

Hele regnearket med resultater finnes i appendix D

Diskusjon

Papir type A.

Gulhetsindeks (Y 1313) viser at begge papirene, både det som er tørket i tørkekammer (A 6) og det som er tørket ved frysetørring (A2) er gulere enn referanseprøven (A 33). Papir tørket ved frysetørring er gulere enn papir tørket i tørkekammer.

Hvithetsindeks (W – BAS) viser at begge papirene, både det som er tørket i tørkekammer (A 6) og det som er tørket ved frysetørring (A2) er mørkere enn referanseprøven. Papiret som er tørket ved frysetørring er mørkere enn papiret som er lufttørket i tørkekammer.

Papir type B

Gulhetsindeks (Y1313) viser at begge papirene, både det som er tørket i tørkekammer (B1) og det som er frysetørket (B2) er mindre gult enn referanseprøven. Papir tørket ved frysetørring har lavest gulhetsindeks (store forskjeller).

Hvithetsindeks (WE – CIE) viser at papiret tørket i tørkekammer (B 1) har blitt mørkere enn referanseprøven og papiret tørket ved frysetørring (B 2) har blitt hvitere enn referanseprøven.

Av disse analyseresultatene kan det dras slutningen at papir laget av tilnærmet ren cellulose (gruppe A) og papir laget av ligninholdig mekanisk masse (gruppe B) får en colorimetrisk registrerbar fargeforandring ved de to ulike tørkeprosessene, tørking i tørkekammer og tørking ved frysetørring. Cellulosepapiret blir gulere og mørkere(høyere gulhetsindeks og lavere hvithetsindeks) både ved tørking i tørkekammer og ved frysetørring. Ved frysetørring mørkner og gulner det i større grad enn ved tørking i tørkekammer.

Papir laget av ligninholdig, mekanisk masse tørket ved frysetørring, lysner og får en betydelig lavere gulhetsindeks og høyere hvithetsindeks enn referanseprøven. Papir tørket ved tørkekammer får en lavere gulhetsindeks (det vil si blir mindre gult)og men får samtidig en litt lavere hvithetsindeks enn referanseprøven.

For begge papirtypene kan en se at frysetørring påvirker papiret colorimetrisk i større grad enn lufttørring i tørkekammer.

7.4.9 pH

Innledning

Å måle pH vil indirekte gi et mål på grad av hydrolytisk nedbrytning (hydrolyse)gjennom dannelse av syre i papiret.

Metodikk

Først ble det gjort forsøk med å måle overflate pH på ett ark fra hver papirprøve i studien. Måleapparatet som ble brukt var et SENTRON 2001 pH system, med flat elektrode (IFSET). Målingene ble gjort i henhold til 'Guidelines for pH Measurement in Conservation' (Tse 2007). Alle verdier ble gitt som snittet av tre målinger. Man fant at overflate pH målingene ga usikre resultat og varierte forholdsvis mye i forhold til hvor på arket målingene ble tatt. Mange målinger pr ark ville være nødvendig for å få statistisk signifikante resultat. En mulig årsak kan være at papirene er tynne og en dråpe med destillert vann hurtig blir absorbert inn i papiret. Målingene ville derfor ikke være relatert til overflaten. For å kunne sammenligne måleresultatene ble det foretatt kald ekstrakt uttrekk av utvalgte papirprøver (TAPPI 1977b): En papirprøve på 0,11 gram ble fibrillert og suspendert i 20 ml. destillert vann ved romtemperatur. Måling av pH ble utført med en kombinasjonselektrode og etterprøvd ved hjelp av pH strips (Type pHix Baker 4395-01, pH 4,5-10) etter en uke og gjentatt etter to uker. Fordelen ved denne metoden er at inhomogenitet i papiret vil bli utjevnet og gjennomsnitts-pH for papiret vil bli mer pålitelig. Målingene ble utført av Kristin Ramsholt, Riksarkivet.

Resultater

Prøve nr	Behandling	pH overflate	pH kald ekstrakt
A33	Referanseprøve	6,7	6,9
A6	Tørkekammer 20-40 °C	6,9	6,9
A2	Frysetørket	6,9	6,9
B36	Referanseprøve	6,3	6,4
B1	Tørkekammer 20-40 °C	6,0	6,1
B2	Frysetørket	6,1	6,1
C41	Referanseprøve	5,3	4,9
C33	Tørkekammer 20-40 °C	5,1	4,6
C32	Frysetørket	5,0	4,6

Tabell 8. Resultater pH-målinger

Diskusjon

Siden pH-analyser kun er gjort på et utvalg av prøvene, er resultatene ikke gjeldene for hele prøvematerialet, men gir kun en indikasjon.

Papir A har i utgangspunktet en tilnærmet nøytral pH (referanseprøve A 33). Måling av pH etter oppfukning, frysing og tørking i tørkekammer ved 20 – 40 °C (papirprøve A 6) viste ingen endring ved kald ekstrakt pH- målinger, overflate pH- målingene viste en svak økning i

pH ($\text{pH} = -\log 10^{-0.2}$) sammenlignet med referanseprøven. Måling av pH etter oppfukning, frysing og frysetørking (papirprøve A 2) viser tilsvarende pH resultat som papir tørket i tørkekammer.

Papir B er i utgangspunktet surt og har en pH under 7 (referanseprøve B 36). Målinger av pH etter oppfukning og tørking i tørkekammer ved 20 – 40 °C (papirprøve B1) viser en nedgang i pH (pH endring $-\log 10^{-0.3}$) sammenlignet med referanseprøven. Resultatene er gjennomgående lavere både for overflate pH-målinger og kald ekstrakt pH-målinger. Målinger av pH etter oppfukning, frysing og frysetørking (papirprøve B2) viser tilnærmet tilsvarende resultat som for papir tørket i tørkekammer

Papir C har i utgangspunktet en lav pH (referanseprøve C 41). Målinger av pH etter oppfukning, frysing og tørking i tørkekammer ved 20 - 40° C (papirprøve C 33) viser en svak nedgang i pH sammenlignet med referanseprøven (pH endring $-\log 10^{-0.2}$). Resultatene er gjennomgående lavere både ved overflate pH målinger og ved kald ekstrakt målinger. Måling av pH etter oppfukning, frysing og frysetørking (papirprøve C 32) viser tilnærmet tilsvarende resultat som papir tørket i tørkekammer.

Nedbrytning av papir ved hydrolyse og dannelsen av syre er direkte relatert til fuktighet i papiret. Oppfukningen av papiret var kortvarig og papiret er etter oppfukning, frysing og tørking oppbevart under stabile klimatiske forhold på Riksarkivet. Det er derfor usikkert om man kan påvise en økt grad av hydrolyse relatert til oppfukningen. Endringer i pH på inntil $10^{-0.3}$ er svært små endringer, unøyaktighet som kan relateres til måleinstrumentet, endringer i temperatur i rommet og unøyaktighet ved kalibrering av måleinstrument kan være mulige feilkilder.

Resultatene av pH målinger kan likevel tyde på en tendens til at det er mindre endring i pH for papir som i utgangspunktet er av god kvalitet. Ved å sammenligne referanseprøven med papirprøver som hadde blitt oppfuktet, frosset og tørket i hhv. tørkekammer og ved frysetørking var det tilnærmet ingen endring i pH. Ligninholdig papir og papir av kjemisk masse viser en sammenlignbar nedgang i pH etter oppfukning, frysing og tørking. Resultatene viser svært liten forskjell i pH for papir tørket i tørkekammer sammenlignet med papir som er frysetørret.

7.5 Diskusjon / konklusjon studie I

I dette kapitlet oppsummeres diskusjonen rundt de viktigste funnene i dette prosjektet gjennom seks punkter.

7.5.1. Risiko for vekst av muggsopp ved lufttørking av vannskadet papir.

Arbeidshypotesen for studie I er 'ved bruk av lufttørking med stor sirkulasjon av tørr luft kan man unngå vekst av muggsopp på papirmaterialet i tørkeprosessen'. Stor luftsirkulasjon og høy lufthastighet er viktige tiltak for å øke tørkehastigheten slik at materialet raskt blir overflatetørt. En grunnleggende tese som har ligget i bunn av dette prosjektet har vært at det gjelder å få overflaten raskt tørr, for da vil det ikke vokse muggsopp på overflaten selv om kjernen i materialet fortsatt er vått.

Tolkningen av luftanalysene tyder på at det kan ha vært noe lokal sporeproduksjon i tørkekammeret i forsøk 3.2 og 4.2, alternativt kan sporene som ble detektert skyldes forurensing fra lufta i laboratoriet og/eller akkumulerte sporer på strø som har blitt virvlet opp. Tapeavtrekkene på overflaten etter tørking viser ingen tegn til vekst av muggsopp på de kontrollerte overflatene, og dette bekrefter de visuelle observasjonene (avsnitt 7.4.1) og støtter oppunder at det er gjort en rimelig tolkning av luftanalysene (avsnitt 7.3.4).

Tesen om at man unngår vekst av muggsopp når materialet blir raskt overflatetørt er verken bevist eller motbevist i denne eksperimentelle studien. Den blir fortsatt stående som en påstand basert på biologiske grunnprinsipper (ref. kapittel 3) og over 20 års praktisk erfaring i Mycoteam med arbeid med muggsoppskader i bygninger.

Videre har det vært en grunnleggende forutsetning at materialet raskere blir overflatetørt når det er stor luftsirkulasjon og høy lufthastighet rundt materialet. At dette stemmer er vist ved å gjøre målinger av vannaktiviteten (a_w) på utvalgte overflater av papiret gjennom tørkeprosessen: I tørkeserie 4 (lav lufthastighet) tok det ca 30% lenger tid enn i tørkeserie 3 (høy lufthastighet) før materialet var overflatetørt. At materialet var overflatetørt ble her definert som at A_w ble målt til under 0,6, noe som tilsvarer at materialet er i likevekt med en relativ luftfuktighet på 60%, altså tørt nok til at det ikke er fare for vekst av muggsopp.

I en tørkeprosess er det vesentlig å ha god oversikt over hvordan tørkingen forløper, - for å kunne sette inn tiltak i tide, - f.eks øke temperaturen eller øke luftsirkulasjonen i tide, slik at

tørkeprosessen går raskt nok til at materialet blir overflatetørt innen 2-3 døgn, - og at en dermed unngår vekst av muggsopp på overflatene.

Med god luftsirkulasjon, god avfukterkapasitet og riktig temperaturvalg vil lufttørring være svært effektivt, og en metode hvor faren for vekst av muggsopp er minimert på en slik måte at f.eks bruk av fungicider vil være unødvendig. En normal romtemperatur på omkring 20 °C, bruk av avfuktere og vifter til å sirkulere lufta vil gi tilfresstillende tørk for materiale som inneholder begrensede vannmengder, slik at materialet kan bli tørt/ overflatetørt innen 2-3 døgn. Dersom materialet er klissvått bør en vurdere mulighetene for å tørke materialet ved høyere temperaturer. Valg av RF og tørketemperatur blir diskutert i neste avsnitt.

7.5.2 Valg av temperatur og RF ved lufttørring av papir.

Et helt sentralt spørsmål når det gjelder lufttørring av papir er valg av temperatur og RF. Også den eksperimentelle delen av denne studien viser dette med all tydelighet. Hvilken temperatur og RF som velges har både fysiske, kjemiske og biologiske konsekvenser: Ved å øke temperaturen i tørkeprosessen ble det oppnådd en langt raskere tørking, og denne tidsfaktoren er svært viktig når det gjelder å unngå biologisk nedbrytning av papiret. Ved å velge temperaturer som gir optimale vekstforhold for muggsopp økes risikoen for vekst av muggsopp underveis i tørkinga. Hva som er optimal temperatur for vekst av muggsopp vil variere noe med hvilke arter av muggsopp det er snakk om (se figur 8). Velger man en temperatur som ligger under minimum for vekst av muggsopp vil tørkinga skje svært sakte, og velger man en temperatur som ligger over maksimum for vekst av muggsopp vil en være på relativt høye tørketemperaturer.

I de forsøk som er gjort her er det ikke eksperimentert med variasjon i RF. Litteraturstudier og diskusjoner med fagpersoner med kompetanse innen fuktmeikk gir imidlertid en pekepinn på at en nok bør vurdere å gjøre tørkinga ved en ikke alt for lav RF. Dersom en kan tørke ved ca 50-60% RF i stedet for f.eks 20%, slik en har gjort i disse forsøkene, vil en trolig få mindre fuktgradienter i papirbunkene, og dermed mindre bokling. Dersom en skal tørke med såpass høy RF bør også temperaturen være relativt høy (f.eks 60 °C), slik at fordampninga er høy, og materialet blir overflatetørt innen relativt kort tid.

Konservatorer eier en dyp skepsis mot å anvende høye temperaturer på materiale med kultur- og kunsthistorisk verdi: Økt temperatur fører til at de kjemiske nedbrytningsprosessene går raskere, og en kan risikere at en tilfører nok energi til at en kommer over terskelen for aktiveringsenergien som setter i gang ytterligere nedbrytningsprosesser som så senere vil foregå ved en lavere temperatur. Man er imidlertid ikke like trent i å tenke på tidsfaktoren når det gjelder temperatur: Når det regnes på lysenergier så har konservatorer lært å tenke på luxtimer: det er energi ganger tid som utgjør den totale belastningen for materialet. Slik må det også være når det gjelder temperatur. Varmestråling har også langt lavere frekvens, og dermed også langt lavere energi enn synlig lys. Når det gjelder langtidslagring (som jo er stort sett det man driver med i ABM-sektoren) så vil altså en liten temperaturredifferanse ha store konsekvenser for papirets levetid, men når det gjelder en tørkeprosess som kun varer i noen få timer eller døgn, vil ikke en dramatisk temperaturøkning over en kort periode ha de samme konsekvensene for papirets levetid, med mindre en kommer opp på temperaturer som setter i gang kjemiske nedbrytningsprosesser som ikke finner sted ved lavere temperaturer.

Innen produksjon, foredling og lagring av matvarer, brukes begrepet døgngrader (antall grader x antall døgn). I samband med matvareindustrien relateres døgngrader både til biologiske prosesser (f.eks vekst-tid for korn) og til kjemiske prosesser/ kjemisk nedbrytning (f.eks mörning av kjøtt). Det kunne være en mulighet å se på om begrepet og konseptet døgngrader er relevant å bruke også i konserveringssammenheng, på lik linje med begrepet luxtimer.

Etter flommen i Praha i 2002 ble deler av materialet (som ikke hadde høy kulturhistorisk eller kunsthistorisk verdi) tørket ved 110- 120 °C (Bacilková, Durovič, Neuvirt, Paulusová, Polišensky, Součová, Straka, Šimenčová, Vnouček og Weberová 2003). Vichra (2005) og Balik (2003) kommenterer at denne tørkemetoden gir svekkede mekaniske egenskaper i papiret, og ikke kan anbefales for papir hvor langtidslagring er forventet. Flink og Høyer (1971, s 420) mener på den annen side at "Temperatures up to at last 110 °C can be tolerated for several hours without discoloration of the paper".

Analysene som er gjort i denne studien viser at det ikke er mulig å påvise noen reduksjon i kjedelengden (DP) hos cellulosemolekylene ved oppvarming til 40 °C i ett døgn, og heller ikke ved 105 °C i én time (ved kunstig aldring). Colorometriske målinger viser at det har skjedd oksidativ nedbrytning i papiret, men disse resultatene kan ikke direkte relateres til temperaturøkning.

Også i analyserapporten fra PFI framgår det at ingeniører og kjemikere ved PFI legger til grunn at ”Fukting med vann og tørking ved normale temperaturer (under 120 grader) burde ikke påvirke kjedelengden noe særlig” (Karlsen og Stensønes 2008). Derimot er det andre nedbrytningsmekanismer som akselererer når temperaturen passerer ca 100 °C. Når temperaturen passer 100 °C går en over fra en fordamping til en at det gradvis vil skje kondensasjonsreaksjoner: Funksjonelle grupper på cellulosemolekylet (hydroksylgrupper og syregrupper) reagerer ved kondensasjonsreaksjoner, vann spaltes av og det dannes kovalente bindinger; crosslinking, - som vil gjøre papiret sprøtt og som er irreversibel. Det finnes ingen skarp grense for når kondensasjonsreaksjonene begynner, men PFI opererer med ei praktisk grense på 105 °C, og regner at under denne temperaturen skjer det svært lite kondensasjonsreaksjoner (personlig meddelelse fra professor Øyvind Gregersen, PFI).

På dette grunnlaget gjøres det følgende vurderinger:

- Valget av ISO-standard til kunstig aldring som ble valgt i dette forsøket var ikke heldig. Bakgrunnen for at ISO 5630-1 ble valgt var at det er denne standarden som er mest brukt i industrien, muligens fordi at ved denne standarden er det enklest å holde konstante betingelser (T/RF) i testkammeret (personlig meddelelse, Ingeniør Trond Karlsen, PFI). I denne studien burde det ha vært valgt en standard for kunstig aldring med høyere temperatur.
- Det er grunn til å tro at det hovedsakelig var cross-linking på grunn av kondensasjonsreaksjoner, og i liten grad oksidasjon og hydrolyse som var årsak til at man ved tørkeprosessene (lufttørking ved 110-120 °C) etter flommen i Praha i 2002 opplevde at papiret fikk svekkede mekaniske egenskaper.

På bakgrunn av de litteraturstudier som er gjort, de eksperimentelle studiene og diskusjoner med fagpersoner innen treteknologi/ tretørkemiljøet, mykologi og papirkjemi, vurderes det at for å gjøre en effektiv lufttørking av papir som inneholder store mengder vann, så bør man velge en temperatur som er

- Høyere enn maksimumsgrensen for termofile muggsopparter (dvs. over ca 50 °C).
- Lavere enn det temperaturområdet hvor mengden kondensasjonsreaksjoner tiltar vesentlig (ca 105 °C).

På dette grunnlaget anbefales det at tørking av vannskadet papir kan skje effektivt, med minimal fare for vekst av muggsopp, og med minimal kjemisk nedbrytning ved ca 60-80 °C. Dette er det temperaturområdet som brukes i de fleste anlegg for tørking av trelast; det vil si at det finnes en rekke anlegg rundt i Norge,- og i resten av verden, hvor denne typen tørkefasiliteter er tilgjengelig. Om det er bøker med innbinding som tørkes må en selvsagt også ta hensyn til hvilke temperaturer innbindingsmaterialene tåler. Skinn, pergament og plast bør tørkes ved lavere temperaturer.

7.5.3 Tørkemål ved tørking av vannskadet papir

Når er papiret tørt? – og hvordan ble dette målt? Dette er viktig informasjon for å kunne styre og evaluere en tørkeprosess. Betrachtingene som følger i dette avsnittet er bygget på kunnskap om, - og erfaringer med bruk av måleutstyr, både fra dette prosjektet, og fra andre studier.

Litteraturen om tørking av vannskadet papir problematiserer i liten grad når tørkeprosessen skal avsluttes: når er papiret tørt? Buchanan og Walsh skriver ganske enkelt at man avslutter tørkeprosessen når papiret føles ”dry to the touch” (Buchnan 1988, s 81; Walsh 1998, s 11). Cunha foreslår at man veier papiret/ bøkene jevnlig, og avslutter tørkeprosessen når papiret har samme vekt som før det ble vått (Cunha 1977, s 108). Problemet er at når vannskaden inntreffer vet man som regel ikke hva papirbunken eller boka veide før den ble våt. Alternativt kan man veie papiret og avslutte tørkingen når vekta har stabilisert seg over noe tid.

Peter Waters angir at 7% vanninnhold i papiret ansees som tørt (Waters 1975, s 3). 7% vanninnhold korresponderer med ca 50% RF. I de fleste tørkeprosesser vil papiret til slutt bli ”klimatisert” i ca 50% RF, enten det har blitt overtørket og trenger å ta opp noe fuktighet, eller er en anelse for fuktig, og trenger å avgi de siste grammene med vann. Det er derfor naturlig å avslutte tørkeprosessen når papiret har et vanninnhold på 5-7 % , eller er i likevekt med luft med ca 50% RF.

På grunn av store fuktgradienter vil det å måle RF ved overflaten på ei bok eller en papirbunke vil ikke gi noe riktig inntrykk av hvilke fuktnivåer som er på ulike punkter inne i boka eller papirbunken. Vanninnholdet i materialet vil holde seg høyt lenge etter at RF i lufta

rundt papiret har sunket til et akseptabelt nivå. Det er derfor viktig å bruke en målemetode som sier noe om vanninnholdet i papirbunken/ boka underveis i tørkeprosessen.

For å vite noe om tørkeraten og tørkehastigheten i papiret trengs det målepunkter inni papirbunkene/ bøkene. Å måle temperatur og RF på utvalgte punkter inni papirbunker/ bøker er det viktigste oppfølgingskriteriet for å kunne vurdere hvordan fuktnivået i papiret utvikler seg.

Det er imidlertid ikke likegyldig hva slags målemetode man velger, og hvilke målepunkter som velges ut: Motstandsmålere (av den non-destruktive typen, uten pigger) er egnet til å gjøre raske sjekker av fuktinnholdet i papiret. De fleste målere av denne typen som er å få kjøpt er imidlertid kalibrert for å angi fuktighet i tre (som regel furu). Målerne er også sensitive for temperatur, og målinger bør foretas ved ca 20 °C. Det finnes også motstandsmålere som har kurver kalibrert for å måle vanninnholdet i papir, både for å måle overflater og i midten av bunker. Om man skal bruke en motstandsmåler til å kontrollere fuktighet i en papirbunke eller bok, må en være sikker på at en bruker en måler som har målekurve kalibrert for nettopp papir. Dersom en måler på toppen av bunken vil en da måle den gjennomsnittlige fuktigheten i bunken. En bør derfor også alltid måle i midten av papirbunken/ boka for å få et riktig bilde av hvor vått papiret er. Dersom det er ei bok med innbinding som skal kontrolleres, vil en måling utenpå boka gi et misvisende resultat fordi permen vil ha et annet vanninnhold (og oftest være av et annet materiale) enn papiret i boka.

RF-loggere med flat sensor som kan stikkes inn i en papirbunke/ bok gir et godt bilde av hvordan tørkeforløpet utvikler seg. Dette er et viktig verktøy for å overvåke tørkeprosessen, og gir mulighet til å justere tørkeparameterne underveis dersom det viser seg nødvendig. Slike RF-sensorer trenger relativt lang tid på å stille seg inn, og er derfor ikke så godt egnet til enkeltmålinger og raske sjekkpunkter, men er best egnet for logging av tørkeforløpet.

Fordi en som regel har begrenset mengde måleutstyr og arbeidskapasitet, må en i tørkeprosesser i stor skala velge sine målepunkter med omhu. Logging av vanninnhold (med RF-sensor som stikkes inn i papirbunken) bør skje på minimum to, helst flere punkter: Velg den papirbunken som antas å inneholde mest vann og den papirbunken som antas å inneholde minst vann, og helst minimum en bunke til med antatt vanninnhold midt mellom disse. Plasser sensoren midt i papirbunken.

I tillegg til å logge RF og å gjøre kontrollmålinger på enkeltobjekter med en motstansmåler er det svært nyttig å måle vannaktivitet (A_w) på papirbunkenes/ bøkens overflater. Å måle A_w gir et godt bilde av fuktigheten på overflaten, som altså er det som er kritisk i forhold til fare for vekst av muggsopp, og en vil få et bilde av hvor stor fuktgradienten i papirbunkene er. Når A_w måles til under 0,6 er faren for vekst av muggsopp minimert. Også når A_w skal måles må målepunktene velges med omhu: velg ut målepunkter både på det antatt våteste materialet og det antatt tørreste materialet. A_w -målere trenger ofte lang tid på å stabilisere seg for å gi et korrekt svar. I praksis blir en derfor nødt til å begrense antallet målepunkter.

Viktigheten av å velge gode målepunkter for logging av RF i tørkeprosessen kan illustreres av tørkeforløp nr 4.1 hvor tørkeprosessen først ble avsluttet umiddelbart etter at temperaturen var justert ned til 20 °C igjen, fordi RF-loggeren inni en av papirbunkene viste under 40% RF. Da tørkekammeret ble stanset og man begynte veiing av papiret, ble det imidlertid raskt klart at store deler av materialet var for vått. papirbunkene ble derfor lagt inn igjen i tørkekammeret, nytt målepunkt ble valgt, og tørkeprosessen fortsatte i ca 2 døgn til. Dette er godt illustrert i figur 48, 49 og 50 i appendix A.

7.5.4 Endring i papirs materialegenskaper ved vannskade og påfølgende tørking.

Litteraturstudien viser at Carlsen (1998) konkluderer med at de mekaniske egenskapene til papir svekkes vesentlig ved frysetørking i forhold til ved lufttørking, og Lobben (1970) gir en forklaring på hvorfor dette skjer: Campbell-effekten som er ansvarlig for å trekke fibrene tett nok sammen til at det kan dannes interfiberbindinger i papiret, er avhengig av overflatespenningen i en vannfilm mellom fibrene. Når tørkingen skjer ved sublimasjon vil ikke denne effekten inntreffe, og det vil dannes færre interfiberbindinger, noe som medfører svekkede mekaniske egenskaper i papiret.

Den eksperimentelle studien viser videre at både frysetørking og lufttørking av papir gir målbare dimensjonsendringer; både endringer i format og i papirets tykkelse, og at frysetørking gir større endringer i tykkelse og format enn lufttørking. Endringer i fiberstruktur gjenspeiles også i at det er målbare forskjeller i vannaktiviteten i papiret etter tørking og kondisjonering. Dette blir videre omtalt i kapittel 8 og 9.

Den eksperimentelle studien viser videre at

- Papir som er hhv lufttørket og frysetørket har forskjellig form for og grad av bokling etter tørking:
- Det kan ikke påvises endringer i DP basert på de tørkeforsøk som er gjort.
- Det er påvist målbare colorometriske endringer i papiret etter oppfukning og tørking, og at det er størst colorometriske endringer i papiret som har vært frysetørket.
- Den målte endringen i pH i papiret etter oppfukning og tørking er så liten at den ikke er tillagt vekt.

Vannbehandling av papir er svært vanlig innen papirkonservering. Vannløselige nedbrytingsprodukter transporteres bort og det skjer en reorganisering av fibre og nye inter-fiber bindinger dannes. At vannbehandling av papir har en positiv innvirkning på fleksibilitet og mekanisk styrke har lenge vært kjent innen papirkonservering. En diffusjon av vannløselige substanser/avfallsprodukter baserer seg imidlertid på at vannløslige produkter diffunderer ut i vaskevannet, og papiret blir deretter blir tørket under press for å unngå bokling. Ved en vannskade, dvs. hurtig oppfukning uten noe omkringliggende vann som avfallsstoffene kan diffundere ut i, vil man oppnå en forflytning av avfallsstoffer til papirets overflater og kanter, men liten eller ingen diffusjon av avfallsprodukter ut i omkringliggende vaskevann. De positive effektene som en vanligvis forbinder med vannbehandling av papir finner derfor ikke sted ved en vannskade.

7.5.5 Kriterier ved valg av metode for tørking av vannskadet papir.

Å velge metode for tørking av vannskadet papirmateriale er et spørsmål om kompromiss. Ingen av tørkemethodene som er tilgjengelig er 'best'. Alle har sine fordeler og ulemper. I praksis vil tilgjengelighet, pris og arbeidsomfang legge viktige premisser for valg av metode. Heldigvis vil imidlertid de fleste som kommer i situasjonen at de må velge tørkemetode for vannskadet papir også måtte vurdere de andre premissene: hvilke konsekvenser har tørkemethoden for:

- Bokling.
- Blokking.
- Utflyting av blekk.
- Fare for vekst av muggsopp.
- Endringer i materialegeneskaper.
- Kjemisk nedbrytning.

- Bevaringsperspektiv.
- Endringer i utseende.

Det at det i den foreliggende litteraturen innen 'disaster management' stadig vises til vakuumpfrysing som den foretrukne metoden, og at lufttøking stort sett refereres til som "arbeidskrevende, plasskrevende og innebærer alltid en fare for vekst av muggsopp" gjør at undertegnede sitter igjen med inntrykket at fordi en er så livredd for at det skal oppstå vekst av muggsopp i løpet av tørkeforløpet, så er en villig til å akseptere at papiret etter tørking har stor grad av endret fiberstruktur og vesentlig svekkede mekaniske egenskaper. Dette inntrykket ble bekreftet i spørreundersøkelsen som ble gjort blant nordiske konservatorer høsten 2008.

Muggsopp kan gi pigmentflekker som er vanskelig/ umulig å fjerne, men grunnen til at man i årtier har godtatt frysetøking som den foretrukne metoden, med dertil hørende endrede materialeegenskaper, er trolig begrenset kunnskap blant konservatorer om muggsopp generelt, om forebyggende tiltak for å hindre vekst av muggsopp, og aktuelle tiltak for å fjerne vekst av muggsopp fra materialet. Mange mykologer er undrende til at konservatorer aksepterer store svekkelser i mekaniske egenskaper fordi en er redd for vekst av muggsopp,- som i følge de med stor kunnskap innen mykologi lett kan forebygges, ikke er farlig, og lett kan fjernes dersom det oppstår.

7.5.6 Kommunikasjon mellom fagmiljøene

Gjennom litteraturstudier og eksperimentelle studier i dette prosjektet har det blitt klart at kommunikasjonen mellom fagmiljøene innen arkiv og bibliotek / papirkonservatorer og forskningsmiljøet rundt papirindustrien langt fra har vært godt nok. Det er tankevekkende at mens papirforskere i inn- og utland fra 1950-tallet var enige om at Campbell-effekten ved tøking av papir var viktig, og at frysetøking av vått papir dermed ville gi papir med vesentlig svekkede mekaniske egenskaper (særlig reduksjon i strekk-styrke), så har papirkonservatorer over hele verden fra 1970-tallet og utover gang på gang konkludert med at vakuumpfrysing er den foretrukne metoden for tøking av (større kvanta) vannskadet papir. Dette bør være en sterk påminnelse til konservatorer som faggruppe på at det er behov for å bli flinkere til å konsultere ekspertisen: konservatorer kan litt om mye, men bør være raske til å kontakte ekspertene og forskerne på feltet når man selv går over i ren synsing.

8. Studie II

8.1 Innledning

Arbeidshypotesen for studie II er

'Frysetørring vil endre papirets fysiske egenskaper slik at det har en mykologisk effekt på materialet'

Hvordan og hvor raskt papir tar opp og avgir vann, dvs. hvor lang tid det tar før papiret blir vått, og hvordan/ hvor raskt det tørker er viktige faktorer i forhold til faren for vekst av muggsopp på papirmaterialet i en vannskadesituasjon. De fysiske forholdene som har betydning for vannopptaket og avgivelsen av vann i papiret, og dermed muligens kan ha en mykologisk effekt, er i hovedsak papirets hygroskopiske egenskaper og dets struktur. Dette kan ha betydning for hvor raskt det vil etableres vekst av muggsopp på overflaten og hvilke arter av muggsopp som evt. vil etableres når klimaet rundt gjenstanden er gunstig for vekst av muggsopp, enten i form av forhøyet RF over tid i et magasin, eller i form av en ny vannskade.

8.2 Metode

For å belyse hvordan frysetørring og lufttørring av vannskadet papirmateriale fører til endrede hygroskopiske egenskaper i papiret, er det gjort tre typer analyser:

- Vannaktivitet (A_w) er målt på overflaten av papirprøvene; både referanseprøver, prøver som har vært lufttørket og prøver som har vært frysetørket (materiale fra studie I).
- Det ble laget sorpsjonskurver på tre utvalgte prøver fra materialgruppe A og fra materialgruppe B (se tabell 2).
- Det ble gjort overflatemikroskopi på utvalgte prøver fra alle tre materialgruppene fra studie I (se tabell 2).

8.2.1 Vannaktivitet

Innledning

Vannaktivitet (a_w) er et mål for hvor mye vann som er tilgjengelig på en overflate.

Vannaktiviteten vil påvirkes av materialets struktur og av eventuelle tilsetningsstoffer (vannløselige næringsstoffer/ salter, konserveringsmidler etc). A_w er avhengig av temperatur og RF. Nærmere beskrivelse av dette er gitt i kapittel 3.3.

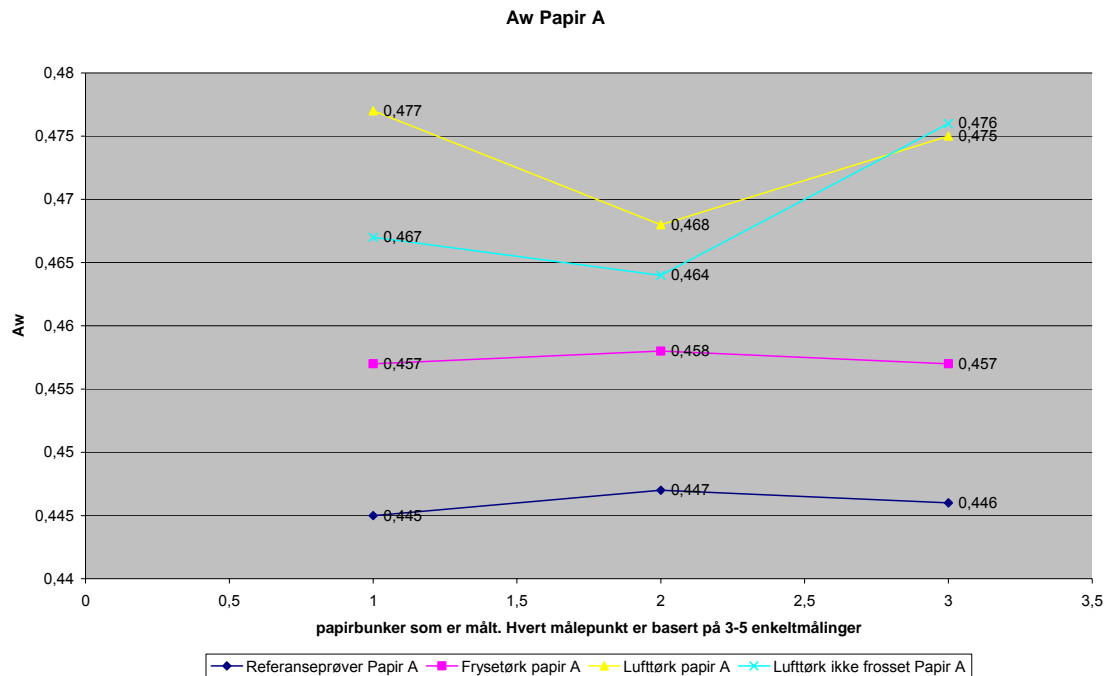
Metodikk

Apparaturen som ble brukt til å gjøre vannaktivitetsmålinger er den samme som er beskrevet i kapittel 7.3.3. Opprinnelig var det planlagt å gjøre a_w -målinger på hele prøvematerialet etter at det var tørket og kondisjonert i magasinene hos Riksarkivet. Dette viste seg vanskelig å gjennomføre, da det ikke var mulig å rekke å gjøre målinger på hele materialet i løpet av en arbeidsdag. Temperatur og RF i lokalet hvor målingene skjedde varierte med hhv ca 1-2 °C og 1-2 % RF i løpet av dagen selv om rommet var klimaregulert. Dette er store nok variasjoner til at måleresultatene fra A_w -målingene ikke ville være sammenlignbare. Det ble derfor valgt å gjøre målingene i flere tversgående serier, slik at måleresultatene på de ulike materialgruppene hadde sammenliknbare målinger i de prøvegruppene de skulle sammenliknes med, selv om ikke hele materialet ble målt på en gang. Referanseprøvene ble målt hver gang. Til halvparten av målingene ble benyttet Aw Quick mode. Dette er en raskere målemetode, som gir en nøyaktighet på +/-0,005 A_w . Halvparten av målingene (gjennomgående serie/ randomisert) er gjort med standard modus, som gir større nøyaktighet enn dette.

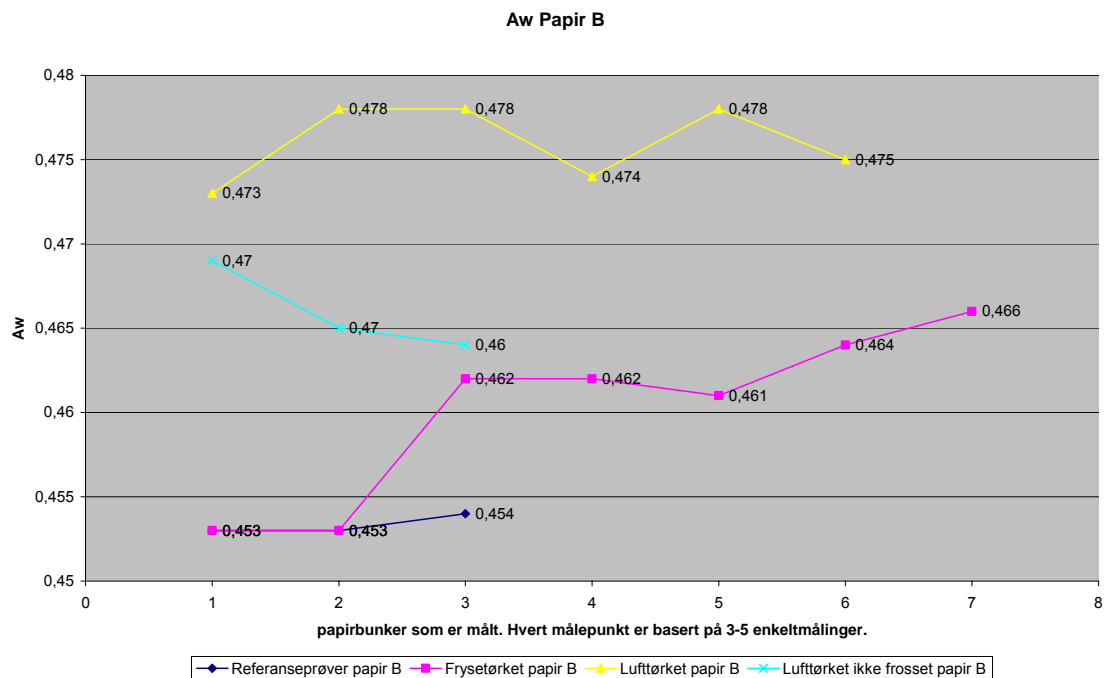
Resultater

Tabeller med oversikt over alle målinger finnes i tabell i appendix G.

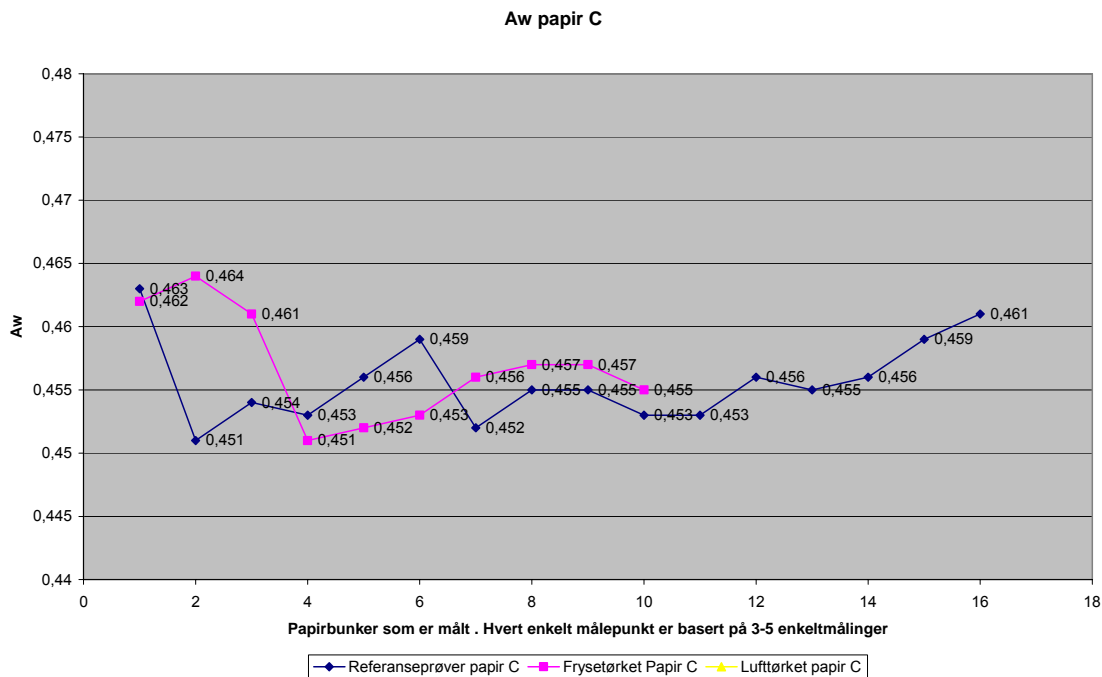
Under følger en grafisk framstilling av resultatene.



Figur 33 . a_w -målinger Papir A.



Figur 34 . a_w -målinger Papir B



Figur 35. a_w -målinger papir C

Diskusjon

Da målingene ble gjort hadde papiret ligget til kondisjonering hos Riksarkivet i noe over et halvt år, og det antas at alle papirbunker var gjennomklimatisert til ca 40-45% RF.

Det er mulig at a_w vil variere noe gjennom bunken. Dette kan enten skyldes påvirkning fra temperatur og RF i rommet hvor analysene foregikk, eller det kan skyldes at a_w varierer gjennom bunken etter tørking (pga fuktvandring/ vandring av salter). Innledningsvis ble det derfor gjort forsøk med å gjøre målinger på 5 ulike punkter (i tverrsnittet av bunken) i 3 bunker + en referanseprøve. Disse forsøkene viste at variasjonen på a_w gjennom bunken var så liten at den kan sees bort fra i dette forsøket. En tabell med resultatene fra disse forsøkene finnes i appendix G.

Det er også en mulighet at det ikke ble helt tett rundt proben, siden arkene var boklete (bortsett fra på referanseprøvene). På noen bunker ble det derfor også målt ulike steder rundt på arket for å se om det var forskjell. Det ble lagt et lodd oppå proben for å sørge for at den sluttet best mulig ned til papiret.

Selv om bare noen av målepunktene sees i den grafiske framstillinga over, viser tabellen i appendix G tydelige tendenser i målingene for papir A og B:

- Referanseprøvene har gjennomgående de laveste a_w -verdiene.
- Papiret som har vært oppfuktet i vann, frosset og deretter frysetørket (serie 2.1 og 2.2) har høyere a_w enn referanseprøvene, men lavere enn materialet som har vært lufttørket. Verdiene ligger ca 0,01 enheter høyere enn referanseprøvene.
- Papiret som har vært oppfuktet i vann, frosset og deretter lufttørket (serie 3.1, 3.2, 4.1 og 4.2) har høyere a_w enn både referanseprøvene og papiret som har vært frysetørket. Verdiene ligger ca 0,02- 0,025 enheter høyere enn referanseprøvene.
- Papiret som har vært oppfuktet i vann og deretter lufttørket uten å bli frosset først, har verdier mellom det frysetørkede materialet og det lufttørkede materialet som har vært frosset.

For papir C sees det ingen tydelig sammenheng mellom a_w -målingene for referanseprøvene og de ulike tørkemetodene. Dette var som forventet, da testmaterialet i materialgruppe C ikke er ensartet.

En forskjell på 0,001 enheter på a_w -måleren er ekvivalent til 1% RF. En økt a_w på 0,01-0,025 vil dermed tilsvare en endring på 1-2,5 % RF i forhold til hvilken RF materialet er i likevekt med. Denne forskjellen er så liten at den ikke har noen praktisk betydning når det gjelder fare for vekst av muggsopp.

8.2.2 Sorpsjonskurver

Innledning

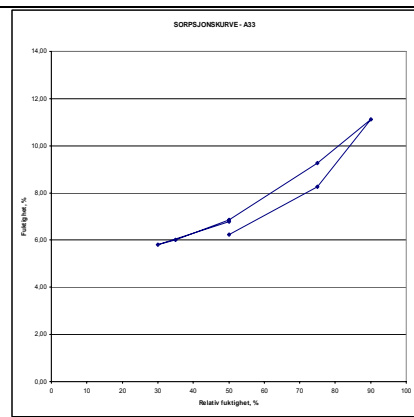
Sorpsjonskurvene er kurver som viser vanninnholdet i papiret (materialfuktighet, EMC) ved ulike RF i lufta. Sorpsjonskurvene framstår som en 'loop' hvor mengden vann som er adsorbert i materialet ved en gitt RF ikke er lik ved adsorpsjon (vann tas opp) og desorpsjon (vann avgis). Denne effekten kalles hysteres, og er karakteristisk for alle organiske materialer. Dette er forklart nærmere i kapittel 3.4. En sorpsjonskurve sier derfor mye om et materiales evne til å ta opp og avgi vann.

Metodikk

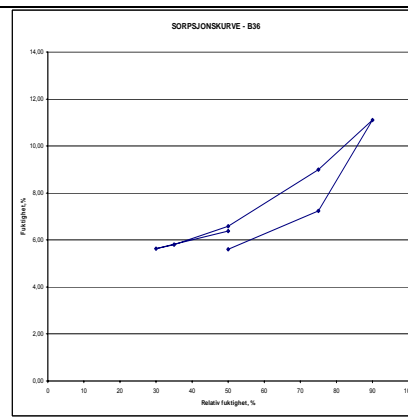
Sorpsjonskurvene ble laget av papir- og fiberinstituttet i Trondheim (PFI), av Trond Karlsen og Kristin Stensønes. Sorpsjonskurvene er kjørt i følgende rekkefølge 50, 75, 90, 75, 50, 35, 30 og 50 % relativ fuktighet. Fuktigheten (EMC) i papiret er målt etter minst fire timer på hvert RF- nivå (Karlsen og Stensønes 2008).

Resultater.

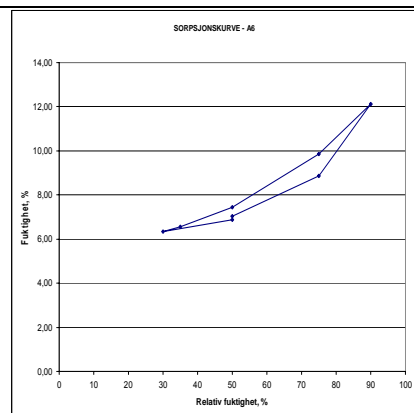
I figur 36-41 er det vist et utvalg av sorpsjonskurvene. Sorpsjonskurvene for alle prøvene som ble analysert finnes i appendix C.



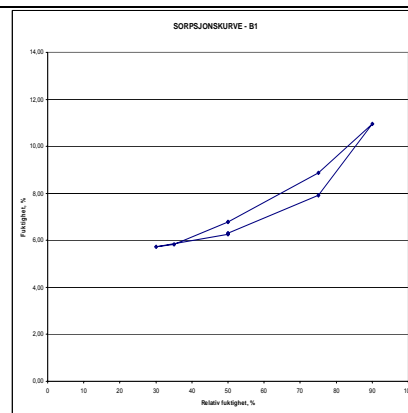
Figur 36. A33 Referanseprøve



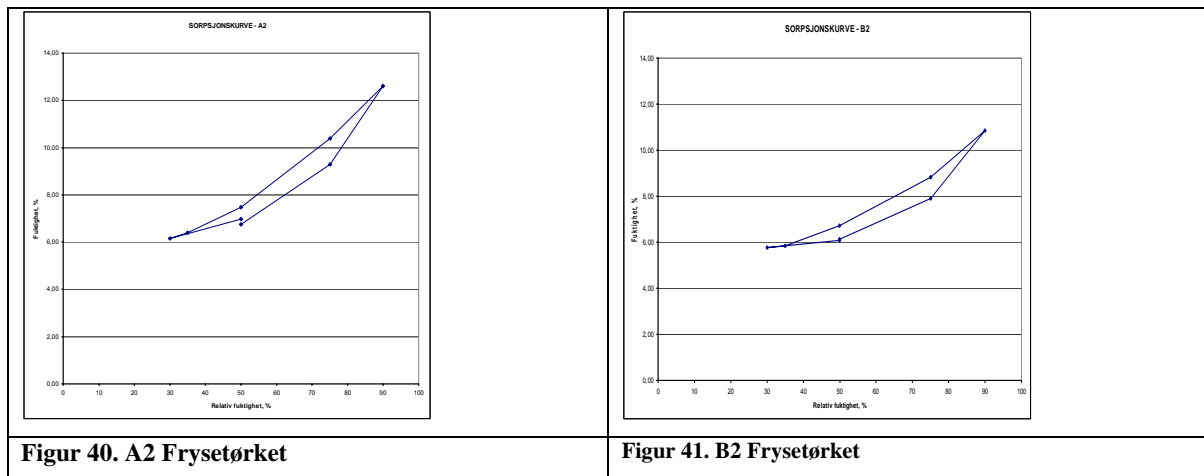
Figur 37. B36 Referanseprøve



Figur 38. A6 Lufttørk tørkekammer 20-40 °C



Figur 39. B1 Lufttørk tørkekammer 20-40 °C



Diskusjon

Siden sorpsjonskurvene kun er laget på utvalgte prøver, gir de ikke et bilde av hele testmateriale, men de illustrerer like fullt at det gjennom oppfukning, frysing og tørking skjer en strukturendring i papiret.

Papir A legger seg på høyere verdier for fuktinnhold etter oppfukning og følgende lufttørking eller frysetørking i forhold til referanseprøven. Jo tøffere tørkebetingelser (høyere temperatur) jo lavere fuktinnhold. Dette kan forklares med at papiret har fått en viss 'forhorning' ved første gangs produksjon og påfølgende lagring. Forhorning er definert som irreversibelt tap av svelningsevne i vann. Den viktigste årsaken til slikt tap er dannelse av kjemiske bindinger ved første gangs tørking som ikke brytes ved senere oppfukning (pers. meddelelse professor Øyvind Gregersen).

For papiret i serie B er det svært liten effekt av de ulike fuktings- og tørkemethodene på fuktinnholdet i sorpsjonskurven. Dette er forventet på papir basert på mekanisk masse (pers. meddelelse Øyvind Gregersen). I mekanisk masse vil ligninet hindre at det oppstår irreversible bindinger mellom cellulosekjeder under tørkingen og dermed blir det lite forhorning.

8.2.3 Mikroskopi

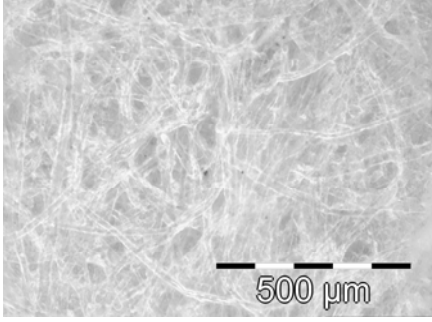
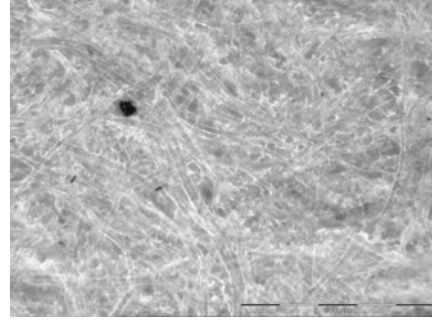
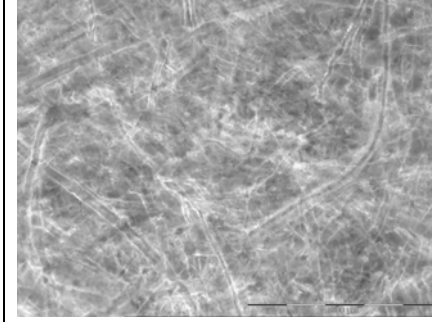
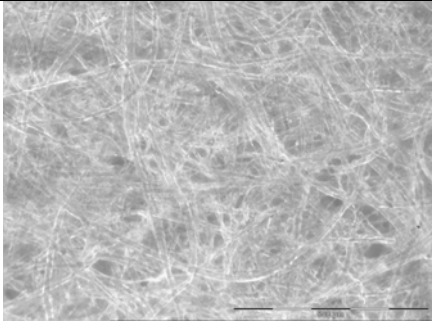
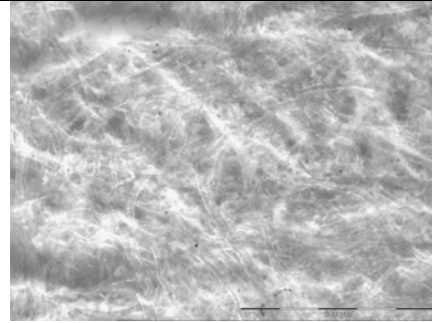
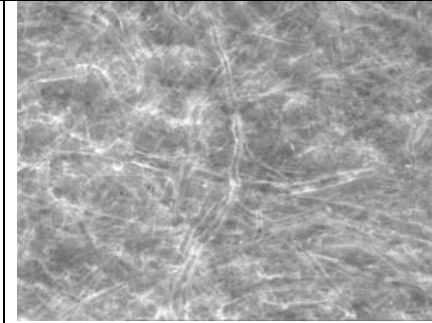
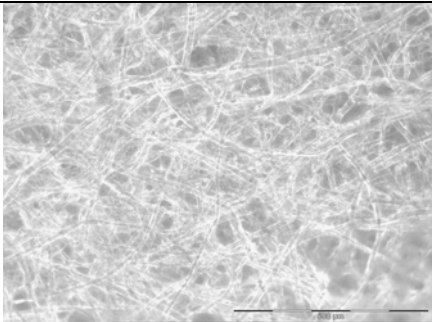
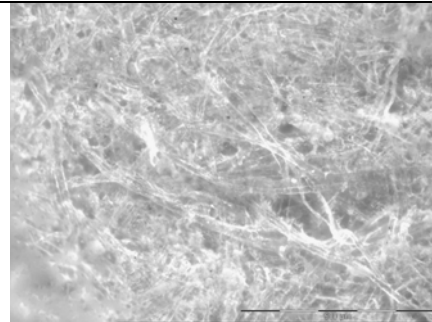
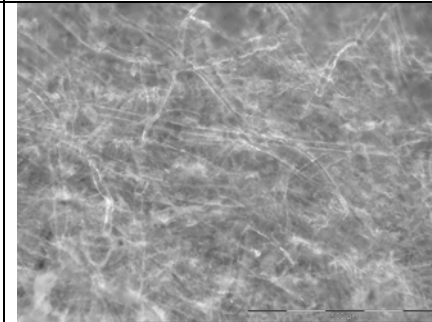
Innledning

Det ble gjort en mikroskopering av overflatstrukturen på utvalgte papirprøver, for å undersøke om det var mulig å se en synlig endring av strukturen i papiret ved hhv lufttørring og frysetørring.

Metodikk

Det ble tatt bilder i sirkulært sidelys ved tre ulike forstørrelser; x 1,2, x 6 og x12. Mikroskopet som ble brukt var et Olympus MV X10. Bildene som ble tatt var sort/hvitt og i EFI-kvalitet, dvs. at mange bilder er lagt oppå hverandre for å gi stor dybdeskarphet. Mikroskoperingen ble utført av Marianne Berdal ved Mycoteam.

Resultater

		
Bilde 14. A33 Referanseprøve papir A. 12x forstørrelse.	Bilde 15. B36 Referanseprøve papir B. 12x forstørrelse.	Bilde 16. C 41. Referanseprøve, papir C. 12x forstørrelse.
		
Bilde 17. A6 Lufttørket 20-40 °C, 12x forstørrelse.	Bilde 18. B1 Lufttørket 20-40 °C, 12x forstørrelse.	Bilde 19. C 33. Lufttørket 20-40 °C, 12x forstørrelse.
		
Bilde 20. A2, Frysetørket, 12x forstørrelse.	Bilde 21. B2 Frysetørket, 12x forstørrelse	Bilde 22. C 32 Frysetørket, 12x forstørrelse

Diskusjon

Siden fotografiene er tatt på utvalgte papirark gir de ikke et bilde av hele testmaterialet.

Bildene er imidlertid gode illustrasjoner på at det ved oppfukning av papir og ved tørking skjer en reorganisering av fibrene og en strukturendring i fibernetverket. For alle tre papirkvaliteter kan det observeres i bildene hvordan prøvene som er lufttørket og frysetørket har fått en større høydeforskjell (reorganisering i z-aksen) i papirarket enn referanseprøven (som er tørket under strekk og press på en wire). Disse observasjonene stemmer med resultatene i avsnitt 7.4.3 hvor det er dokumentert økt tykkelse, og minsket format på papiret etter oppfukning og tørking.

8.3 Diskusjon og oppsummering studie II

Mikroskopibildene, sammen med målingene av dimensjonsendringer i kapittel 7.4.3, viser at det har skjedd en strukturendring i papiret gjennom oppfukning og tørking.

Dimensjonsmålingene i kapittel 7.4.3 viser at dimensjonsendringene er større ved frysetørking enn ved lufttørking for papir A og B, mens det for papir C er omtrent like store dimensjonsendringer.

Sorpsjonskurvene viser at det er en endring på hvordan papiret tar opp og av gir vann før og etter oppfukning og tørking for papir A. Papiret tar opp mer fuktighet (høyere EMC) etter oppfukning og tørking enn det referanseprøven gjør. Det er imidlertid liten forskjell på endringene som skjer ved lufttørking og frysetørking. Selv om de enkelte målepunktene er et gjennomsnitt av flere målinger, så understrekes det at analysen kun er gjort på et lite utvalg papirprøver, og at en derfor ikke kan trekke sterke konklusjoner ut fra disse analysene.

Vannaktivitetsmålingene som er gjort i denne studien viser at det helt konsekvent er en målbar økning i a_w på testmaterialet i forhold til referanseprøvene. I papiret som har vært fuktet, frosset og lufttørket har a_w økt mest, og i papir som har vært fuktet, frosset og frysetørket har økningen i a_w vært noe mindre. Forskjellen er imidlertid liten, ca 0.001- 0,002 enheter, noe som korresponderer med en endring på ca 1-2% RF forhold til hvilken RF overflaten på papiret er i likevekt med. Dette er så lite at det i praksis ikke har noen konsekvenser i forhold til risiko for vekst av muggsopp.

En endring i A_w kan skyldes to forhold: endret struktur i materialet eller endring i innhold av salter / polymerer som kan binde vann, og dermed endre frihetsgraden på vannet i overflaten på materialet.

På grunnlag av de analyser som er gjort i denne studien er det ikke grunnlag for å bekrefte arbeidshypotesen om at 'frysetørking vil endre papirets fysiske egenskaper slik at det har en mykologisk effekt på materialet'. Hypotesen er imidlertid heller ikke avkreftet.

9. Studie III

9.1 Innledning

Arbeidshypotesen for denne studien er:

'Frysetørking vil i mindre grad enn lufttørking gi opphoping av næringsalter i overflaten på gjenstanden, noe som vil minke faren for gjentatt biologisk vekst når de klimatiske forholdene ligger til rette for vekst av muggsopp'

'Karamelliseringseffekten' er en kjent effekt ved tørking av tre; det dannes et brunfarget, næringsrikt sjikt på overflaten av tømmeret etter tørking. Studier på denne effekten på treverk har ikke påvist noen mykologisk effekt (personlig meddelelse K.M. Sandland) men i denne sammenhengen er det likevel svært relevant å undersøke om det er mulig å påvise i hvilken grad det er skjedd en opphoping av næringsstoffer i overflaten på papiret/ papirbunkene.

Mc. Clearly (kap 2.1.3) skriver om fuktgradienter: hvordan bunker med papir eller bøker vil miste vannet fra overflaten, og at kapillærkreftene vil dra med seg ulike former for vannløselige substanser, slik som fargestoffer, pigmenter, lim og syrer. I bøker vil konsentrasjon av disse stoffene i ytterkantene av papirblokka føre til at papiret blir sprøtt og at sidene klistrer seg sammen. Mc.Clearly mener også at dette vil øke hastigheten på cellulose nedbrytning.

Ingrid Kohl (2005, s. 72) viser hvordan det på gamle bøker som har vært oppfuktet og lufttørket, dannes en gulbrun rand langs kanten på bokblokka, mens denne effekten ikke oppstår på en identisk prøve som har vært fuktet opp, frosset og tørket i vakuum-frysetørker.

Både endrede fysiske egenskaper (belyst i studie II) og opphoping av nedbrytningsprodukter/ næringsalter i overflaten/ randsonen av papirbunker kan i teorien ha en mykologisk effekt.

9.2 Metode og resultater

Vurdering av i hvilken grad det er skjedd en opphoping av næringsalter i overflaten er gjort på bakgrunn av Aw-målingene, sorpsjonskurvene og overflatemikroskopi som er beskrevet i kapittel 8.2.

9.3 Diskusjon og oppsummering Studie III

Arbeidshypotesene i Studie II og Studie III er vanskelig å belyse, fordi effektene i noen grad kan oppveie hverandre: En opphoping av næringssalter vil teoretisk sett kunne måles som en senket vannaktivitet i materialet, men en målbar senket vannaktivitet kan også være konsekvens av en strukturendring i materialet.

Måling av a_w viste imidlertid en konsekvent og målbar økning i vannaktiviteten i papirbunkenes overflater etter oppfukning og tørking, og at det materialet som hadde vært lufttørket hadde den største økningen. Dersom arbeidshypotesen i studie III skulle være riktig, burde en ha påvist en senket vannaktivitet i papirmaterialet som hadde vært lufttørket. Det er derfor grunn til å tro at den økte vannaktiviteten som er påvist skyldes strukturendringen alene, og ikke påvirkning fra vannløselige stoffer fraktet til overflaten gjennom kapillærkreftene i en tørkeprosess.

Det understrekes at testpapiret i denne studien består for det meste av nytt papir (papir A og B) og, det ble brukt springvann til å fukte opp papirmaterialet. En kunne derfor ikke forvente å detektere effekten av store mengder salter eller andre vannløselige produkter i papiret.

I en reell vannskadesituasjon vil papiret ofte også forurenses av vannløselige stoffer i vannet som flommer over papiret og bøkene. Særlig dersom vannet kommer fra en flom, vil vannet trolig inneholde mye næringsstoffer (mat for muggsoppen) som blir fraktet inn i papiret med flomvannet. Problemstillingen er derfor svært relevant, særlig i forhold til hvilken betydning det vil ha å vaske bøkene før tørking etter en flom. Denne studien kunne imidlertid ikke påvise en slik sammenheng bare ved å sammenlikne tørkemethodene i seg selv. Ingrid Kohls forsøk (2005, s.72) viser imidlertid at det tydelig er forskjell på dannelsen av misfargede rander av nedbrytningsprodukter avhengig av tørkemethode (kappilærkrefter vs sublimasjon). Det er derfor grunn til å undersøke denne sammenhengen videre med hensyn på opphoping av næringsstoffer.

10. Oppsummering og forslag til videre forskning

10.1 Modell for anbefalt framgangsmåte for håndtering av vannskader/ bruk av lufttørking av vannskadet papir

Her presenteres en modell for håndtering av vannskader i arkiv, biblioteker og museer, basert på litteraturstudien og den eksperimentelle studien som er presentert i denne oppgaven. Det overordnede målet for denne metodikken er å oppnå et tørkeresultat hvor en har

- Minst mulig vekst av muggsopp.
 - Minst mulig kjemisk nedbrytning.
 - Best mulig mekaniske egenskaper.
 - Best mulig estetisk resultat.
-

1. Avklare vannskade:

- Avklare hvor vannet kommer fra.
- Stoppe vanntilførselen.
- Fjerne mest mulig vann fra de rommene som er oversvømmet.

2. Sett inn avfuktere og vifter snarest mulig:

Holde RF og T lav (under hhv 20 % og 20 °C) samt luftsirkulasjonen høy (sørg for god sirkulasjon rundt hele materialet, unngå 'lommer' hvor det oppstår mikroklima, gjerne lufthastighet over 2 m/s)

3. Rask avklaring av omfang av skadet arkiv-/ bibliotek-/ musealt materiale.

4. Første sortering av skadet materiale:

- a. Kunst- og kulturhistorisk viktig materiale som har høy prioritet: skille mellom materiale hvor tiltak må settes inn med en gang, og tilfeller hvor det trengs tid til å utrede hva en skal gjøre (stabilisere/ fryse disse).
- b. Kulturhistorisk viktig materiale av lavere prioritet (i.e: trenger tørkemetode hvor estetikken ivaretas og mekaniske egenskaper ikke svekkes)

- c. Materiale som kan erstattes/ har lav prioritet: Evt. stabilisere/ fryse eller kaste med en gang. Evt. frysing for å kjøpe tid til finsortering. Materiale som kan erstattes/ er lett tilgjengelig andre steder, bør en ikke bruke tid og ressurser på å tørke ved metodene beskrevet under. (Ref dagens muligheter for lån mellom biblioteker og rask informasjonsutveksling/ digitalisering)

5. Materiale i kategori a og b over sorteres videre:

- Bestrøket papir og papir med vannløselig blekk (+ andre kategorier som ikke bør lufttørkes) legges til side: stabilisering ved frysing og videre vakuum-frysetørring.
- Øvrig materiale: stabilisering evt. ved frysing, eller start lufttørk umiddelbart:
 - i. Høy temperatur (60-80 °C)
 - ii. Høy luftsirkulasjon og lufthastighet

Arbeidsprinsipper:

- Et skadebegrensningsfirma kan gjøre en god del av den jobben som er beskrevet over, men sorteringen av hvilket materiale som skal håndteres og tørkes på hvilken måte MÅ gjøres av kvalifisert personell.
- Det er svært viktig å dokumentere måleverdier underveis i tørkeforløpet: RF og T i rommet, RF og T inni utvalgte bunker, vannaktivitet på overflater og målt fuktinnhold må dokumenteres godt.

10.2 Forslag til videre studier

Denne studien har gitt noen svar, men har også dratt opp en del problemstillinger som bør undersøkes videre:

1. Temperatur og RF ved lufttørring

Det bør gjøres videre studier av lufttørring med hensyn på valg av temperatur og RF. Det bør gjøres grundigere studier, både litteraturstudier (nedbrytningsskjemi) og eksperimentelle studier for å søke å bekrefte teorien om at det skjer minimalt med kjemisk nedbrytning når tørketemperaturen legges velges i intervallet mellom øvre grense for vekst av muggsopp og nedre grense for kondensasjonsreaksjoner/ cross-linking. Det bør også gjøres videre undersøkelser rundt valg av RF i tørkeprosessen, og dennes innvirkning på fuktgradienter i papirbunkene. Det bør videre undersøkes hvor mye RF stiger inne i papiret ved avkjøling etter endt tørkeprosess, dersom tørkinga skjer ved høye temperaturer.

2. Mykologiske konsekvenser av endret papirstruktur / opphoping av næringsstoffer i overflaten.

På bakgrunn av resultatene fra studie II og III, og de resultatene som Ingrid Kohl viser i sin oppgave fra 2005, bør det gjøres en studie rundt opphoping av næringsstoffer i vannskadet arkiv- og bibliotekmateriale, og hvilken effekt ulike tørkemetoder (kapillærkrefter vs sublimasjon) har. Studien bør gjøres på bøker og papir som har vært oversvømmet av forurenset vann, og en bør benytte eksempelvis mikroskopi og a_w -målinger for å belyse både den estetiske effekten (dannelsen av misfargede rander), og en eventuell mykologisk effekt ved at mengden næringsstoffer i overflaten øker, og dette dermed vil øke sannsynligheten for at det vil oppstå vekst av muggsopp hvis materialet på senere tidspunkt blir utsatt for vannskade eller for at RF i magasin eller utstilling blir for høy over noe tid. En slik studie vil også være viktig for å vurdere verdien av vasking av flomskadet papirmateriale.

3. Campells krefter

På bakgrunn av resultatene i studie I og II, og den forskningen som papirindustrien har gjort rundt hvordan papirark formes i produksjonen, bør det gjøres en studie på hvor sterk Campbell-effekten er på papir som blir refuktet, og deretter tørket ved hhv

lufttørring og frysetørring. En slik studie bør gjøres i tett samarbeid med forskningsmiljøet rundt NTNU og PFI eller andre forskningsmiljøer med tilsvarende kompetanse.

4. Innfrysingens effekt på materialet

Konserveringslitteraturen omkring 'disaster management' er uklar når det kommer til om frysing av papir og andre materialer har en effekt for materialet i seg selv.

Innfrysingstemperatur, innfrysingshastighet og tiden papiret/ gjenstanden lagres i frossen tilstand blir nevnt som aktuelle faktorer, uten at det gis noen entydige svar på hvilken effekt dette har på materialet. Papirindustriens forskning på papir som materiale antyder at frysing i seg selv har en irreversibel effekt enten på cellulosefibren eller på bindingsstrukturen mellom fibrene. Dette bør undersøkes nærmere, og en slik studie bør gjøres i tett samarbeid med forskningsmiljøet rundt NTNU og PFI eller andre forskningsmiljøer med tilsvarende kompetanse.

5. Andre metoder for stabilisering av vått papirmateriale.

Det bør undersøkes videre om det kan finnes andre alternativer til stabilisering av vått papirmateriale ved frysing eller ved bruk av fungicider. Bl.a bør det undersøkes om å lagre papiret i vann kan være en mulig strategi for stabilisering.

6. Reversering av strukturendring

På bakgrunn av de funn som er gjort i alle tre studiene, bør det undersøkes om strukturendringen og de påfølgende dimensjonsendringene som skjer i papiret (i større grad ved vakuum-frysetørring enn ved lufttørring) i noen grad er reversibelt ved ny oppfukning og tørring under press. Dette vil være viktig i forhold til å vurdere mulighetene for konservering og pressing/ forming av papir og bøker etter endt tørkeprosess.

7. Effekten av hysteres

Studie II kunne ikke vise at hystereseffekten gir store nok forskjeller i vanninnhold i papiret til at det kan ha en praktisk betydning når det gjelder fare for vekst av muggsopp. Dette bør imidlertid undersøkes nærmere på et større materiale som er statistisk holdbart, og også på andre typer papir enn de som her er brukt.

Bibliografi

Bacilková, Bronislava, Durovič, Michael, Neuvirt, Jiří, Paulusová, Hana, Polišenský, Jiří, Součová, Magda, Straka, Roman, Šimenčová, Jitka, Vnouček, Jiří og Weberová, Lucie(2003): *Studium vlivu sušicích metod na fyzikálně-chemiké a mikrobiologické vlastnosti různých druhů papíru*. Národní knihovna České republiky, Praha. Státní ústřední archiv v Praze. Leden 2003.

Banik, Gerhard (1995): *Ageing of paper*. I: ICCROM Paper Conservation Course 1995, Volume 2; Review on Paper Chemistry. ICCROM 1995, Roma.

Balik, Vojtech (2003): *Floods in Czech libraries: steps to recovery*. Sconul Newsletter 28 spring 2003. Side 68-70.

Barrow, W. J.(1955): *Manuscripts and Documents. Their Deterioration and Restoration*. Charlottesville, Virginia: University of Virginia Press, Virginia 1955.

Bronswijk, Johanna E.M.H van (1981): *House Dust Biology*, 1981.

Buchnan, Sally (1981): *Disaster, prevention and awareness*. Library Trends, Fall 1981.

Buchnan, Sally (1988): *Disaster Planning and Recovery for Library and Archives*, UNESCO, Paris 1988.

Bush, Carmel og Lunde, Diane (2000): *The Disaster-Recovery Process for Collections*. I: Alire, Camilla (red):Library Disaster Planning and Recovery Handbook. Neal-Schuman Publishers Inc. New York 2000. side 58-90.

Bøhmer, Einar (1996): *Kulturarv i fare? Om papirets lagringsbestandighet og forhold som påvirker denne*. Papirindustriens forskningsinstitutt, Oslo 1996.

Capolongo, Antonio, og Berresi, Antonello (2004): *Freeze-drying of water-damaged Paper Material*. Restaurator nr 25, 2004, s. 119-128.

Carlsen, Søren (1998): *Effekter af frysetørring på papir, en undersøgelse af frysetørrings indvirkning på papirs styrkeegenskaber og ældningsstabilitet*. Forskningsrapporter bd..6, Det Kongelige Bibliotek, København 1998.

Cunha, G.M (1977): *An Evaluation of Recent Developements for the Mass Drying of Books*. I: Williams, John C. :Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value. Advances in Chemistries Series 164, American Chemical Society, Washington D.C.1977.

Ekroth Edebo, Margareta (1999): *Mikroorganismer i: Tidens tand, Förebyggande konservering*. Fjæstad, Monika (red). Riksantikvarieämbetet, Stockholm 1999.

Entwistle D., Cole E.H, Wooding, N.S: *The Autooxidation of Alkali Cellulose I*, I: Textile Conservation Journal 19, 1949, s 527-544.

Fisher, D.J (1977): *Conservation Research: Fumigation and Sterilisation og Flood-Contaminated Library-, Office-, Photographic-, and Archival Material*. I: Williams, John C. :Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value. Advances in Chemistries Series 164, American Chemical Society, Washington D.C.1977.

Fischer, J.D (1977): *Conservation Research: Use of Dielectric and Microwave Energy to Thaw and Dry Frozen Library Materials*. I: Williams, John C.:Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value. Advances in Chemistries Series 164, American Chemical Society, Washington D.C.1977.

Fischer, J.D. (1977): *Simulation of Flood for Preparing reproducible Water-Damaged Books and Evaluation of Traditional and New Drying Processes*. I: Williams, John C. :Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value. Advances in Chemistries Series 164, American Chemical Society, Washington D.C.1977.

Flink, James og Høyer, Henrik (1971): *Conservation of Water-damaged Written Documents by Freeze-drying*. Nature Vol. 234 Dec.1971.

Florian, Mary-Lou E. (2002): *Fungal Facts, Solving fungal problems in heritage collections*. Archetype publications, London 2002.

Haagenrud S. E (1997): *Environmental Characterisation including Equipment for Monitoring*, CIB W80/RILEM 140-PSL, Sub Group 2 Report, Norwegian Institute for Air Research (NILU), Norway.

Hadgraft, Nicholas og Welch, Stuart (1999): *Vakuum Packing and its implications for Conservation and Preservation of library, Archive and Related materials*. Paper Conservation News. No 89, march 1999.

Kaplan, Hillary A. og Ludwig, Kathleen A.(2005): *Comparison of Drying Methods*. I: Preparing for the worst, planning for the best; protecting our cultural heritage from disaster; proceedings of a conference sponsored by the IFLA Preservation and Conservation section. 2005 Saur Verlag GmbH, side 149-157.

Kollman, Franz F.P; Côté, Wilfred A (1968): *Principles of wood science and Technology Volum I: Solid Wood*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1968. Retrykk/ kompendium fra Pensumtjeneste, pb 2914 Tøyen, 0608 Oslo.

Lobben, Thor Hugo (1970): *Studier over faktorer som kontrollerer papirs styrke*. Norges Tekniske Høgskole, Meddelelse nr.70 fra Institutt for treforedlingskjemi. Trondheim 1970.

Mattsson, Johan (2004): *Muggsopp i bygninger*, Mycoteam Oslo 2004.

Mc.Clary, John M.(1987): *Vacuum freeze drying, a method used to salvage water damaged archival and library materials: a RAMP study with guidelines*. UNESCO Publishing 1987.

Minter, Bill (2002): *Water Damaged Books; washing intact and air drying, a novel (?) approach*. The Book & Paper Group annual 21 (2002).

Mnerie, Dumitru (2008): *Lyophilization*. University of Timisoara, Romania, Erasmus programme 2008.

Nissen, T. Vincent (1986): *Bakterier og svampe i: Alkærsig, Ole; Garff, Ole; Lundbæk, Morten: Bevaringshåndbogen, København 1986.*

Nordstrand, Ove K.(1981): *Forelesningsrekke II for papirkonservatorer, København 1981.*

Nygaard, Halvor (2005): *Måling av vannaktivitet: i publikasjon: Utsikt til Havbruk nr 19 2005.*

Porck, Henk J. og Teygeler, Renè (2000): *Preservation Science Service; An Overview of Recent Developments in Research om the Conservation of Selected Analog Library and Archival Materials*. Council on Library and Information Resources, 2000.

Ramsholt, Kristin Josefine (1999): *Papir skadet av Jerngallusblekk*. Oppgave levert for avsluttende eksamen i papirkonservering Oslo 1999.

Ray, Emily (2006): *The Prague Library Floods of 2002: Crisis and Experimentation*. *Libraries & the Cultural Record*, Vol 41, No 3, Summer 2006. University of Texas Press, Austin Texas 2006, side 381-391.

Rehak, Tomas(2003): *Municipal Library of Prague: One year after the floods*. Presentasjon holdt på International Association of metropolitan Libraries 2003 Conference, 21.-26. September 2003, Rotterdam.
(<http://www.ifla.org/VII/s46/conf/praguepa.pdf>)

Reyden, Dianne van der (1992); *Recent research in paper Conservation* , Japico 1992 voum 31 number 1.

Rogers, Lisa (2003): *Prague – Saving the Books*. *Humanities*, Volume 24, Number 2, March/ April 2003.

Røskar, Tanja.; Hernes, Espen.; Vingelsgaard, Vigdis (1998): *Ta vare på gjenstandene!*
NMU 8:1998.

Samson, Robert; Hoekstra, Ellen; Frisvad J.C.; Filtenborg, O. (2004) *Introduction to Food- and Airborne Fungi*, CBS, Utrecht 2004.

Stamm, Alfred J, og Tarkow, Harold (1950): *Penetration of Cellulose fibers*. The Journal of Physical Chemistry, Volume 54, Issue 6, s. 745 -753. Juni 1950.

Sugerman, Jane E. og Vitale, Thomothy V. (1992): *Observations on the drying of paper: five drying methods and the drying process*. Journal of the American Institute of Conservation 1992, Volume 31, nr 2, Artikkkel 3, side 175 -197.

Thomson, Garry (1986): *The Museum Environment*, London 1986 (2nd edition).

Timår-Balázs (1995): *Structure and deterioration of cellulose and vegetable fibers*. I: ICCROM Paper Conservation Course 1995, Volume 2; Review on Paper Chemistry. ICCROM 1995, Roma.

Tremain, David (2008): *Note on Emergency Drying of Coated Papers Damaged by Water*.
<http://cool-pampliest.stanford.edu/byauth7tremain/coated.html>

Trobas, Karl (1982): *ABC des Papiers, die Kunst Papier zu Machen*. Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz, Østerrike 1982.

Tse, Season (2007): *Guidelines for pH Measurement in Conservation*. Technical Bulletin No 28, Canadian Conservation Institute Ottawa, Canada 2007.

Valentin, Nieves; Lidstrom, Mary.; Preisser, Frank. (1990): *Microbial Control by Low Oxygen and Low Relative Humidity Environment*. Studies in Conservation 35, s 222 -230.

Valentin, Nieves; Garcia, Rafael; De Luis, Oscar; Maekawa, Shin (1998): *Microbial control in archives, libraries and museums by ventilation systems*. Restaurator:

International journal for the preservation of library and archival material 19, no2 (1998) s 85-107.

Vichra, Jan (2005): Prague City Archives – Recovery of archived materials after the floods. Presentasjon holdt på Workshop 4 I Setric-prosjektet, 8. og 9. desember 2005 i Praha. (<http://www.setric.org/workshops/recovery/presentations/plonearticle.2006-04-34.html>)

Vnoucek, Jiri (2005): *The Prague Flood Diary*. I: Preparing for the worst, planning for the best; protecting our cultural heritage form disaster; proceedings of a conference sponsored by the IFLA Preservation and Conservation section. 2005 Saur Verlag GmbH, side 103-108.

Walsh, Betty (1997): *Salvage operations for water damaged archival collections: a second glance*. Newsletter (Western Association for Art Conservation) 19, no 2 ,1997.

Waters, Peter (Other) and Waters, Peter (1975); *Procedures for salvage of water-damaged library materials*. Library of Congress 1975.

Wellheiser, Johanna G. og Gwinn, Nancy E.(2005): *Introduction*. I: Preparing for the worst, planning for the best; protecting our cultural heritage form disaster; proceedings of a conference sponsored by the IFLA Preservation and Conservation section. 2005 Saur Verlag GmbH, side 9-10.

Wise, Christine (2003): *Flood prevention and recovery*. I: Matthews, Graham og Feather, John (red): Disaster management for libraries and archives, Ashgate Publishing Limited Hampshire, England 2003. Side 95-116.

Wijnand, Eduard, Melbostad, Erik, Sandven, Per, Toftegaard, Lars (1996): *Helserisiko ved muggvekst på trelast*. Revidert 2002 av Skogstad, Marit og Wijnand, Eduard. Brosjyre. Direktoratet for arbeidstilsynet 2002.

Analyseresultater:

- Karlsen, Trond og Stensønes, Kristin (2008): *Oppdragsrapport 1573296*, Papir- og fiberinstituttet (PFI), Trondheim 2008
- Christiansen, Lars (2008): *Papirmåling riksarkivet*, Jotun AS , Sandefjord 2008.

Andre skriftlige kilder:

Mycoteam sine standardbeskrivelser av analysemetoder som brukes i deres laboratorium:

- Tapeavtrekk/ Mycotape combi
- Totalstøvanalyse
- Luftanalyse, spiredyktige muggsoppsspore
- Mikroskopi

Muntlige kilder:

Muntlige meddelelser og e-postkorrespondanse med

- Trond Karlsen, ingeniør ved Papir- og fiberinstituttet (PFI) i Trondheim
- Øyvind Gregersen, professor ved Norges tekniske- og naturvitenskaplige universitet (NTNU) og PFI
- Vegard Vike, konservator ved Kulturhistorisk museum, Universitet i Oslo
- Anders Helset, konservator ved Kulturhistorisk museum, universitetet i Oslo.
- Anne Sommer-Larsen, leder for konserveringsseksjonen konservator ved Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo
- Svein Olav Bøe, fagsjef ved Polygon AS.
- Tanja Reed, kulturhistorisk konservator ved Aust-Agder Kulturhistoriske senter
- Anne Bjørke, kulturhistorisk konservator ved Bevaringstenestene, Museumssenteret i Hordaland.

Spørreundersøkelse:

Spørreundersøkelse gjort blant deltagerne ved Nordisk konservatorforbunds ”Papirmøte” i Oslo 23.-24. oktober 2008. Spørreskjema er gjengitt i appendix E.

APPENDIX

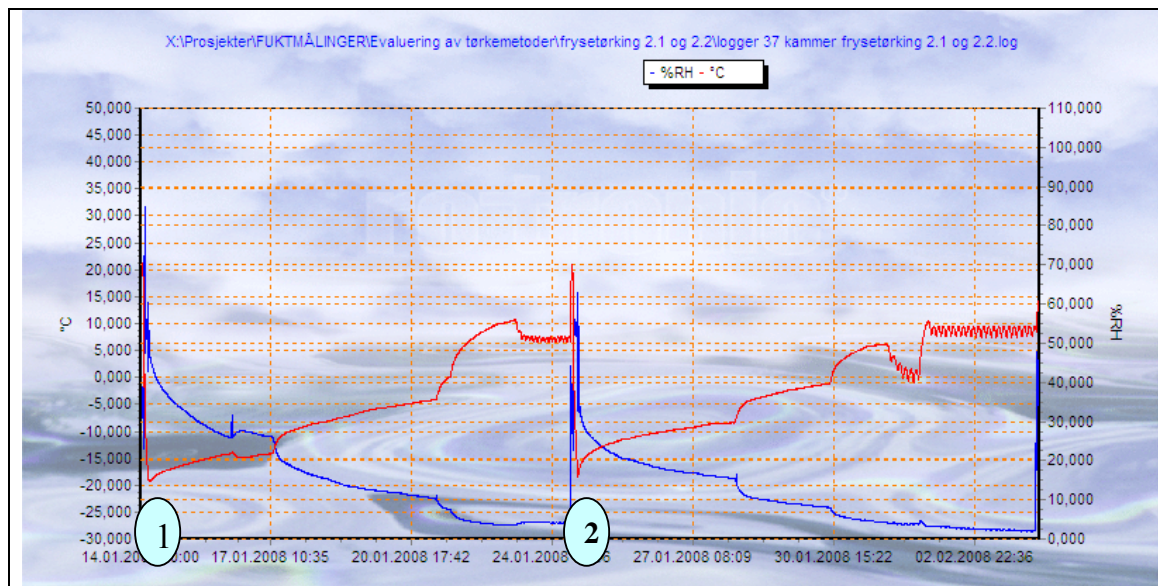
Appendix A-I.

**Tabeller og figurer er nummerert fortløpende.
Nummerrekkene for figurene og tabellene i appendix
begynner der nummerrekken i hoveddelen slutter,
slik at all nummerering er entydig.**

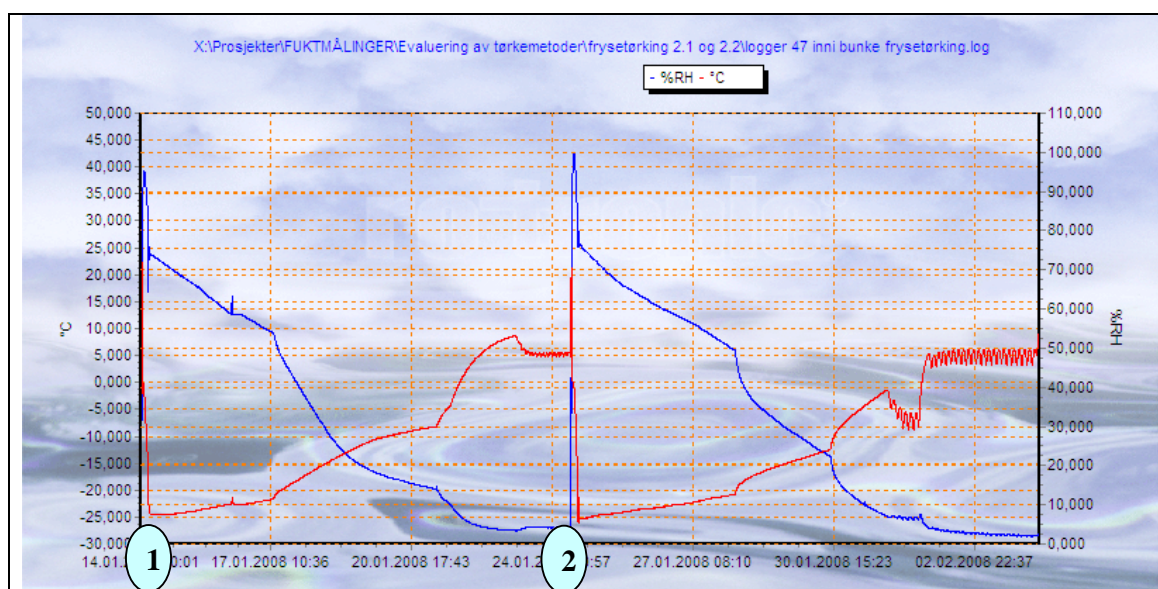
APPENDIX A

Grafisk framstilling av tørkeforløpene

Serie 2: Frysetørking

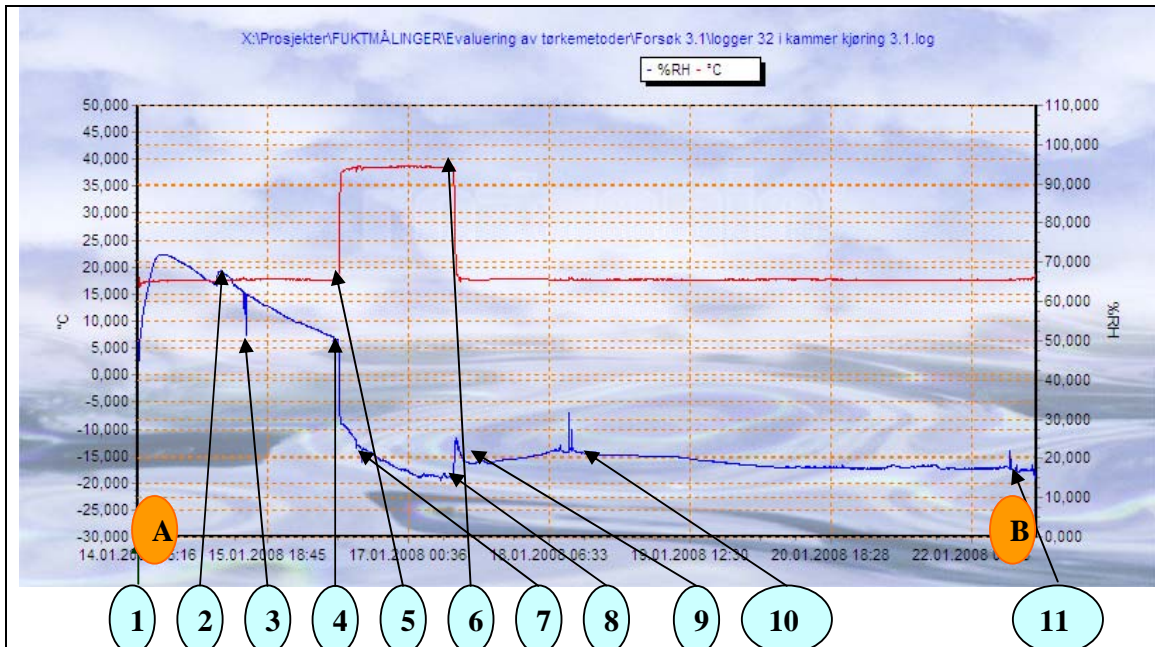


Figur nr 42. Tørkeforløp i frysetørker. Serie 2.1 og 2.2. Målepunkt; lufta i vakuumkanmeret
6. start forsøksserie 2.1
7. Avslutning forsøksserie 2.1. Start forsøksserie 2.2



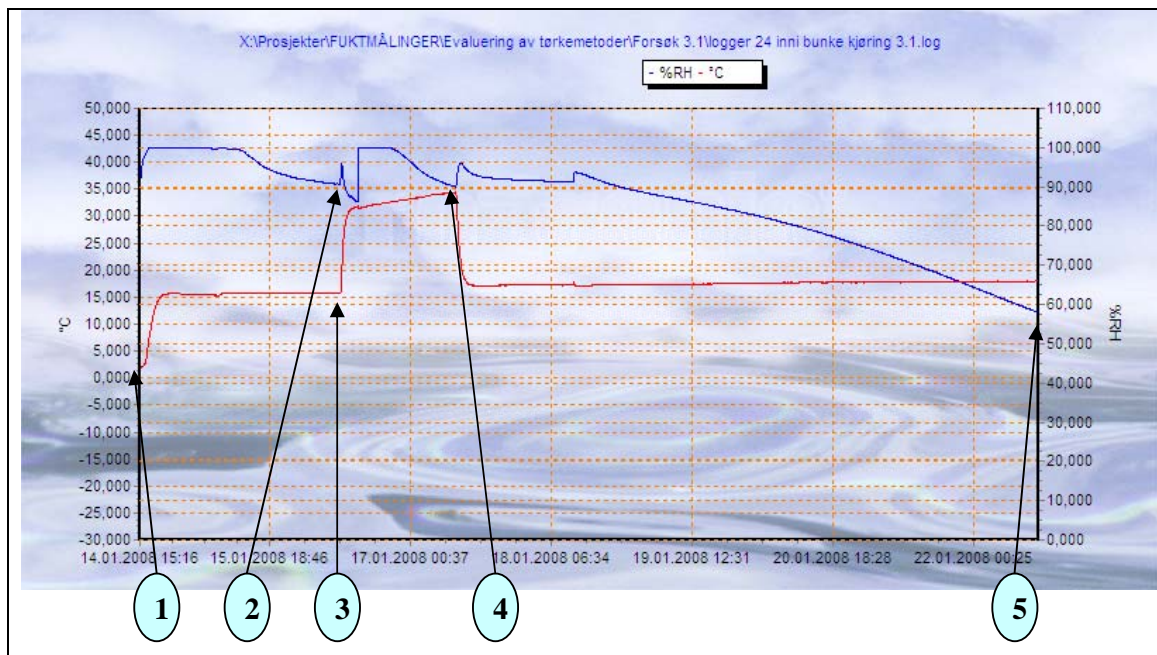
Figur nr 43. Tørkeforløp i frysetørker. Serie 2.1 og 2.2. Målepunkt; inni papirbunke i vakuumkanmeret
1. start forsøksserie 2.1
2. Avslutning forsøksserie 2.1. Start forsøksserie 2.2

Serie 3: Lufttørk med høy luftsirkulasjon



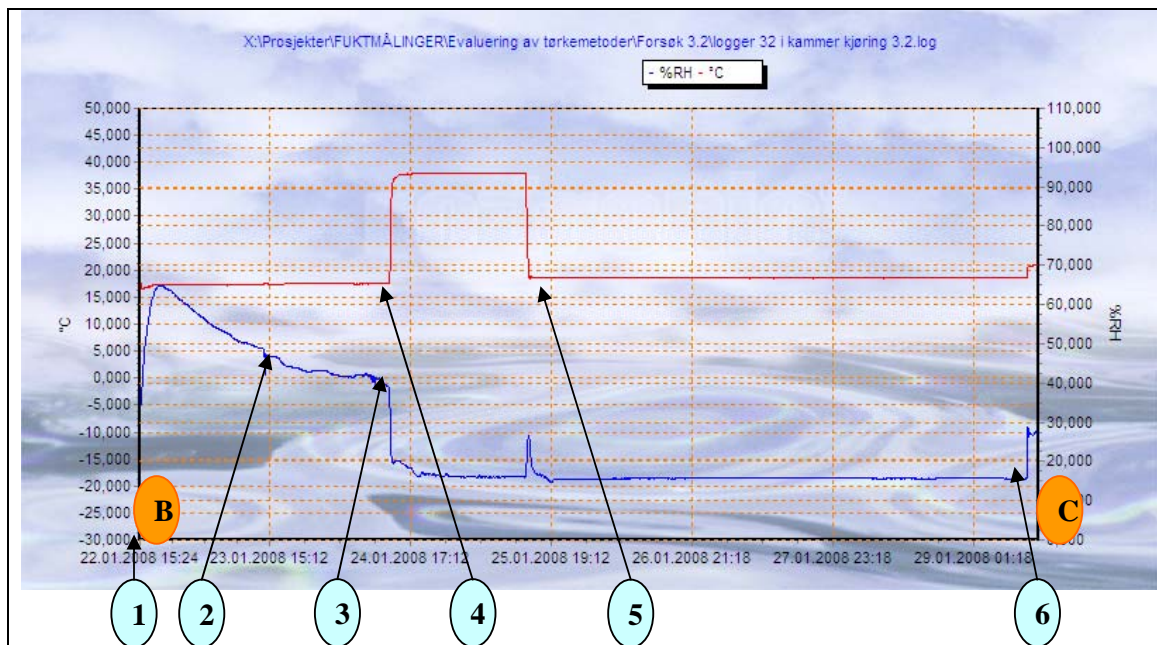
Figur nr 44. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Serie 3.1. Målepunkt; lufta midt i tørkekammeret

1. start forsøksserie 3.1. Totalsoppanalyse 323:1-5 **A**
2. Åpnet kammer og hevet risten
3. Åpnet kammer, satte inn Aw-måler
4. Åpnet kammer, satte inn Aw-måler
5. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
6. Senket innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C
7. Satt inn Aw-måler
8. Lest av Aw-måler
9. Satte inn Aw-måler
10. Satte inn Aw-måler
11. Avslutning av forsøksserie 3.1. Totalsoppanalyse 324:1-3 **B**



Figur nr 45. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 3.1. Målepunkt; midt inni papirbunke

1. start forsøk 3.1.
2. Flytta papirsverd litt lenger inn i bunken.
8. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
9. Senket innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
10. Avslutning forsøk 3.1.

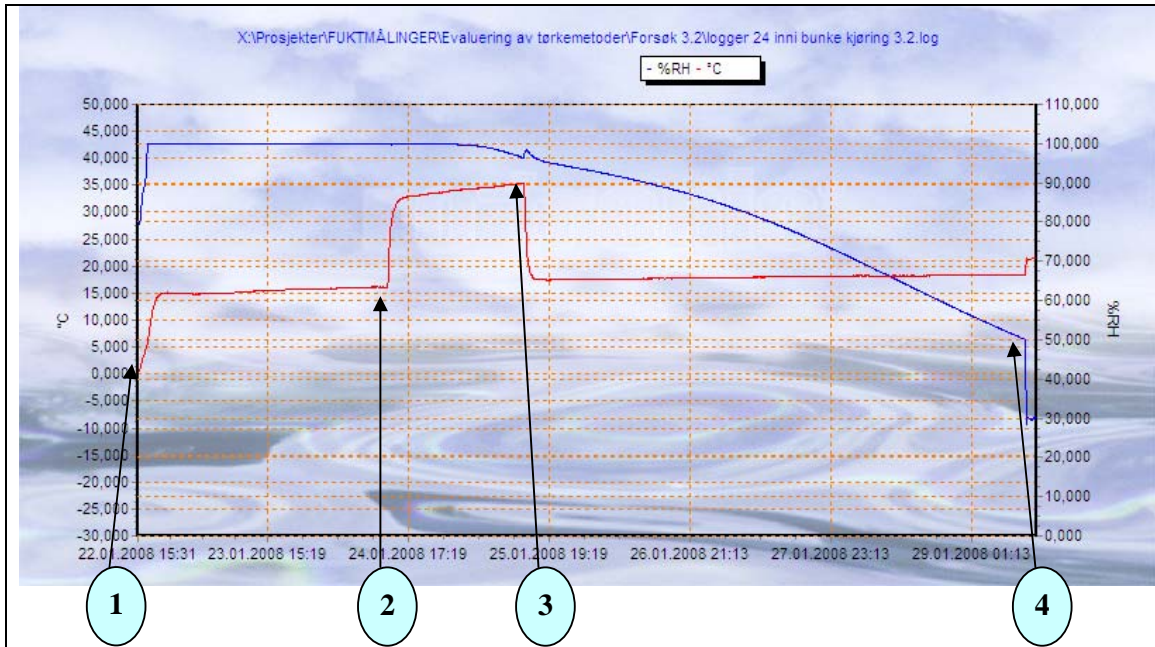


Figur nr 46. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 3.2. Målepunkt; lufta midt i tørkekammeret

1. Start forsøk 3.2. Totalsoppanalyser 324.1-3
2. Satt inn Aw-måler
3. Satt inn Aw-måler
4. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
5. Senket innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
6. Avslutning av forsøk 3.2. Totalsoppanalyse 324:4-5

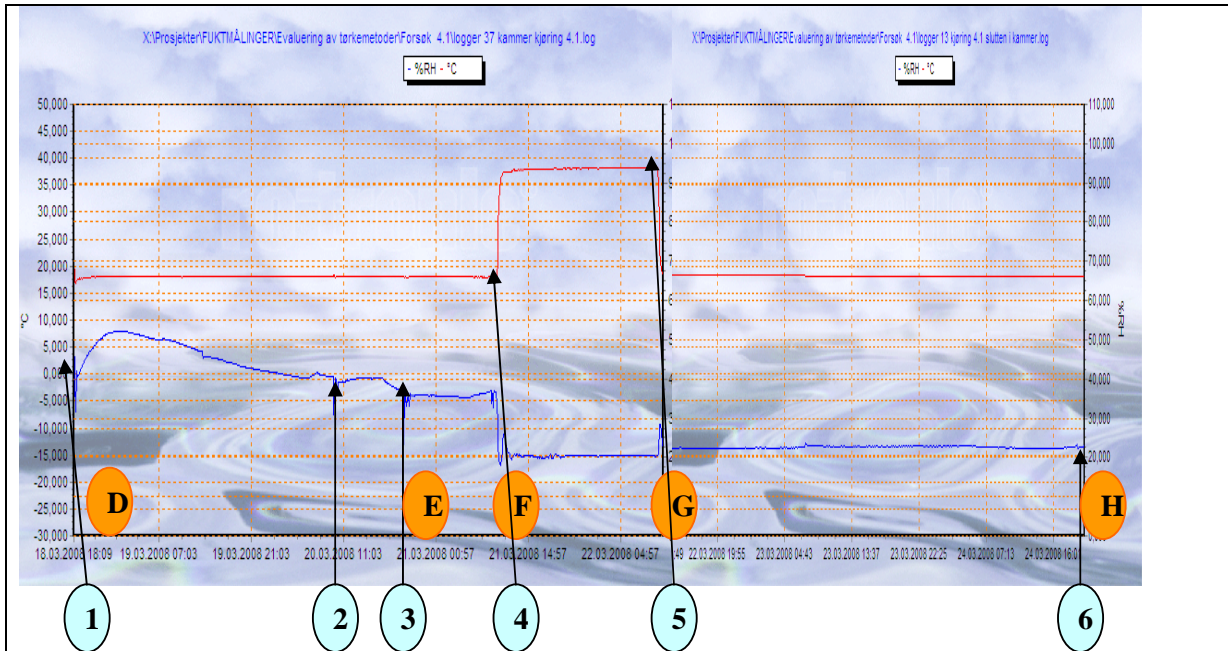
B

C



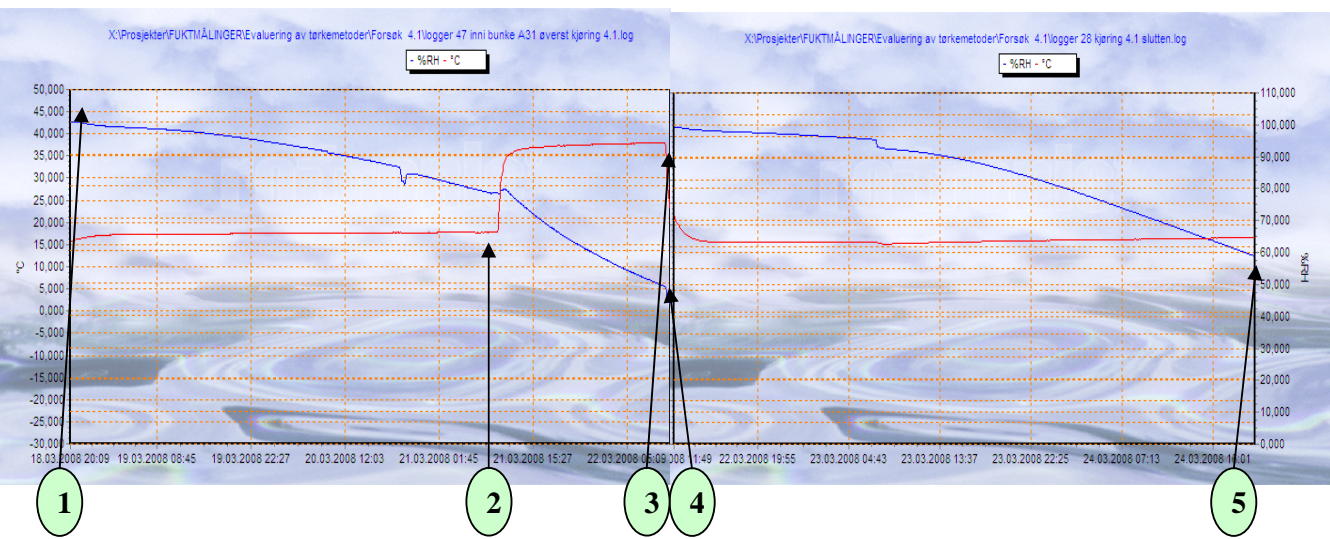
Figur nr 47. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 3.2. Målepunkt; midt inni papirbunke

1. Start forsøksserie 3.2
2. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C.
3. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C.
4. Forsøk 3.2 avsluttet



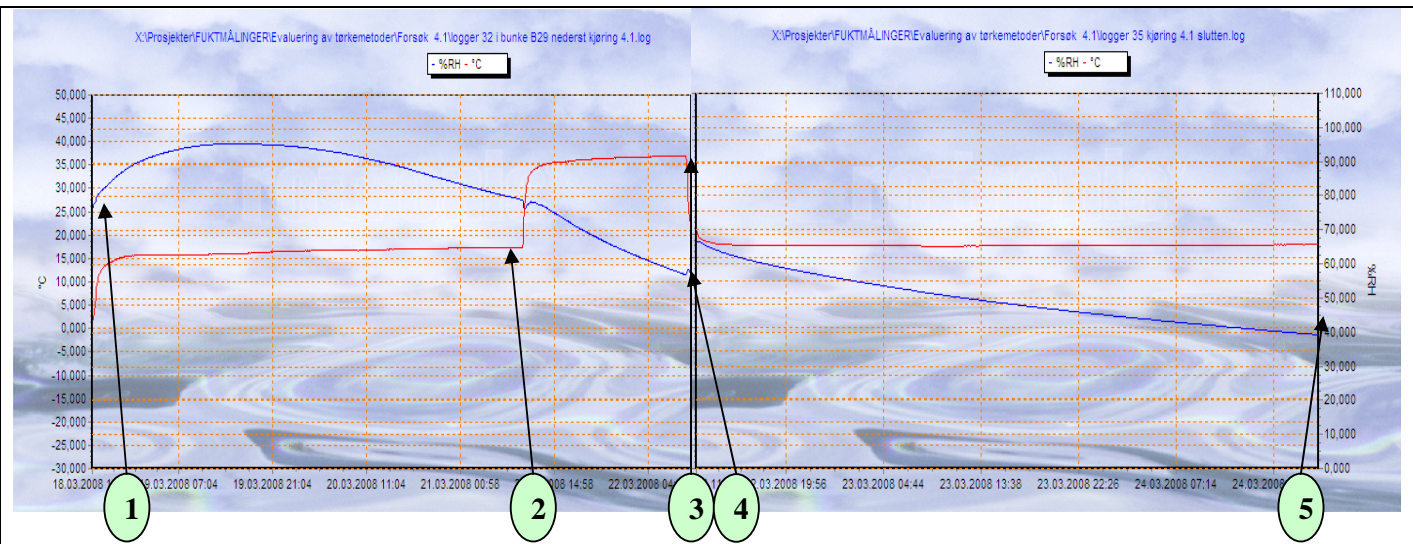
Figur nr 48 Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Luft midt i tørkekammeret Figuren er satt sammen av to grafer. Se forklaring under.

1. Start forsøk 4.1. Totalsoppanalyser 328:1-4
2. Aw-måling. Totalsoppanalyser 329:1. Luftanalyser MB 5883:1-6
3. Aw-måling. Totalsoppanalyser 330:1
4. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C. Aw-måling. Luftanalyser MB 5885:1-2
5. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C. Totalsoppanalyser 331:1-2. Luftanalyser MB 5886:1-6
6. Avslutning av forsøk 4.1. Aw-måling. Totalsoppanalyser 332:1-3. Luftanalyser MB 5889:1-10



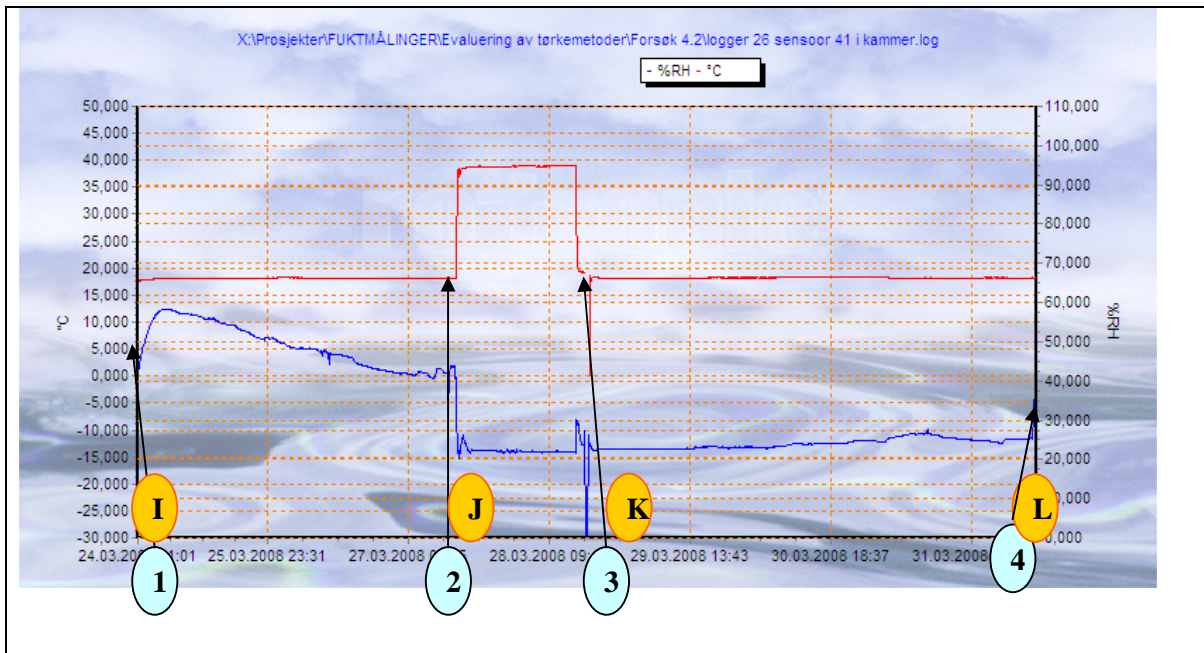
Figur nr 49. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Papirbunke langt oppe i stabelen (A31). Figuren er satt sammen av to grafer.

1. Start forsøk 4.1
2. Økt innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C-
3. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C.
4. Tørkeforsøk ble avsluttet fordi RF inni bunken var på 45%. Etter å tatt papirbunkene ut av tørkekammeret og begynt arbeidet med å veie dem, ble det klart at målepunktet i bunke nr A31 ikke var veldig representativt: øvrige bunker var vesentlig våtere. Papiret ble derfor lagt inn igjen i tørkekammeret, og tørkingen fortsatte, nå med nytt målepunkt for sensoren.
5. Forsøk 4.1 avsluttet.



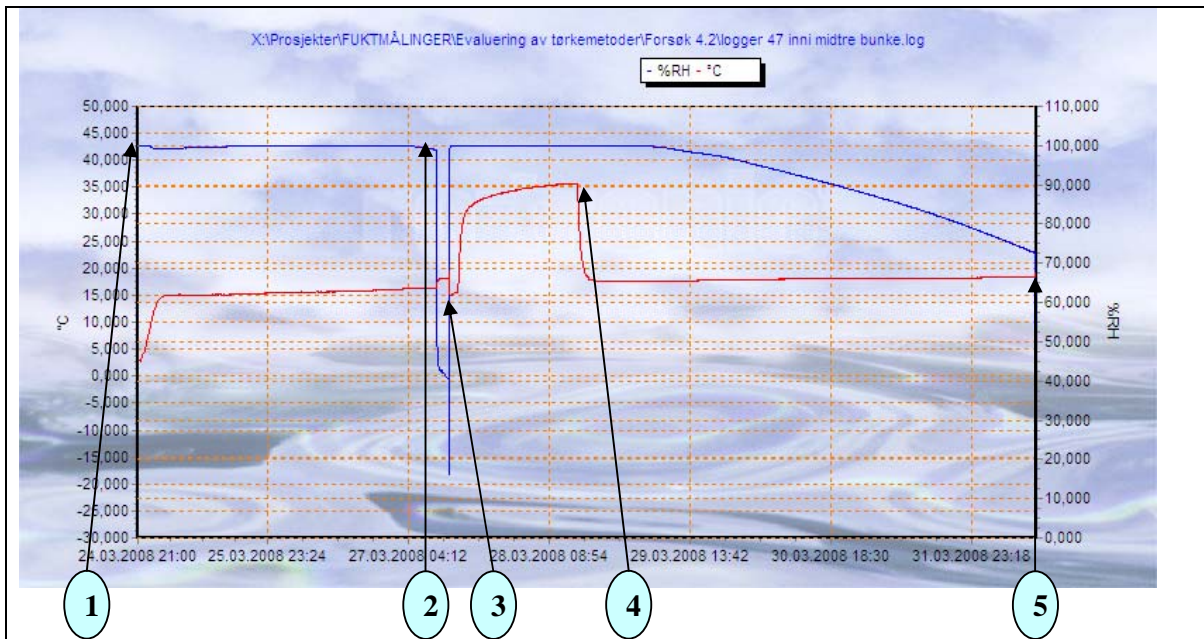
Figur nr 50. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.1. Målepunkt: Papirbunke langt nede i stabelen (B 29). Figuren er satt sammen av to grafer.

1. Start forsøk 4.1
2. Økt innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C-
3. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C.
4. Tørkeforsøk ble avsluttet fordi RF inni bunken var på 45%. Etter å tatt papirbunkene ut av tørkekammeret og begynt arbeidet med å veie dem, ble det klart at målepunktet i bunke nr A31 ikke var veldig representativt: øvrige bunker var vesentlig våtere. Papiret ble derfor lagt inn igjen i tørkekammeret, og tørkingen fortsatte, nå med nytt målepunkt for sensoren
5. Forsøk 4.1 avsluttet.



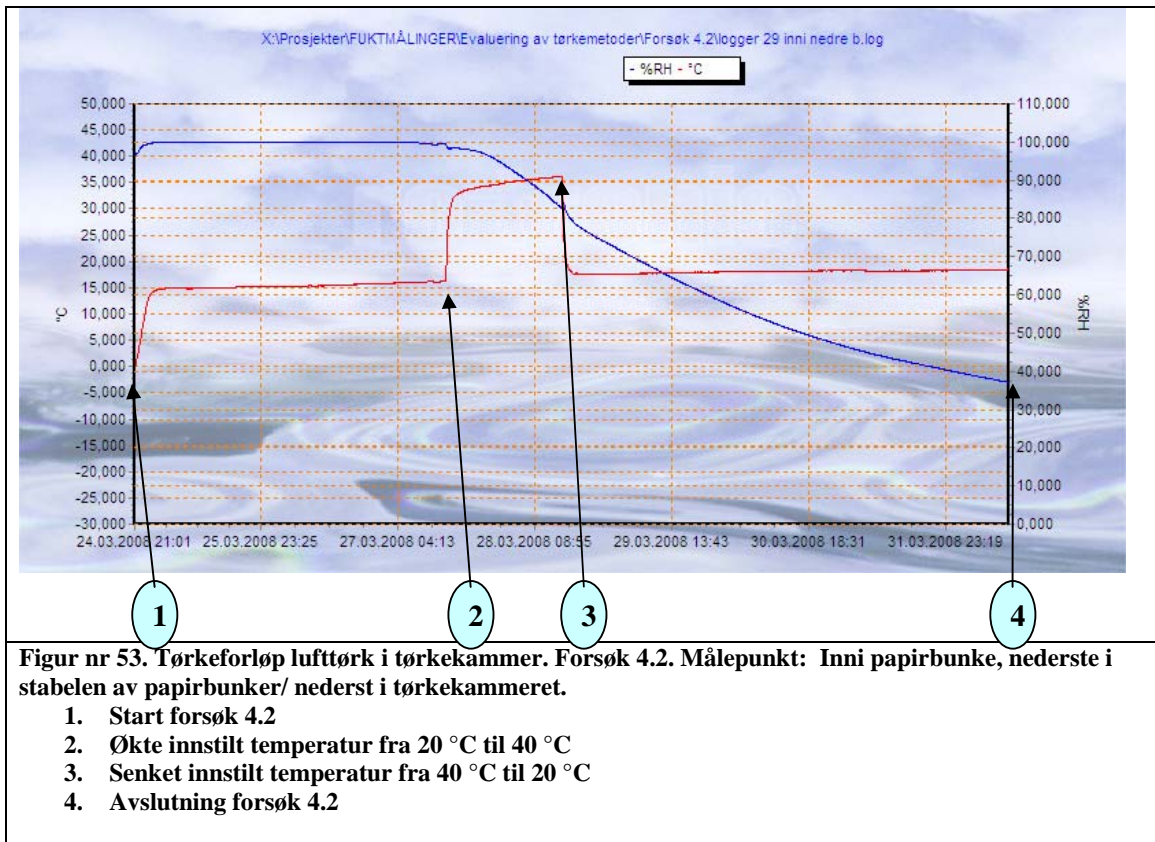
Figur nr 51. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.2. Målepunkt: Lufta midt i tørkekammeret.

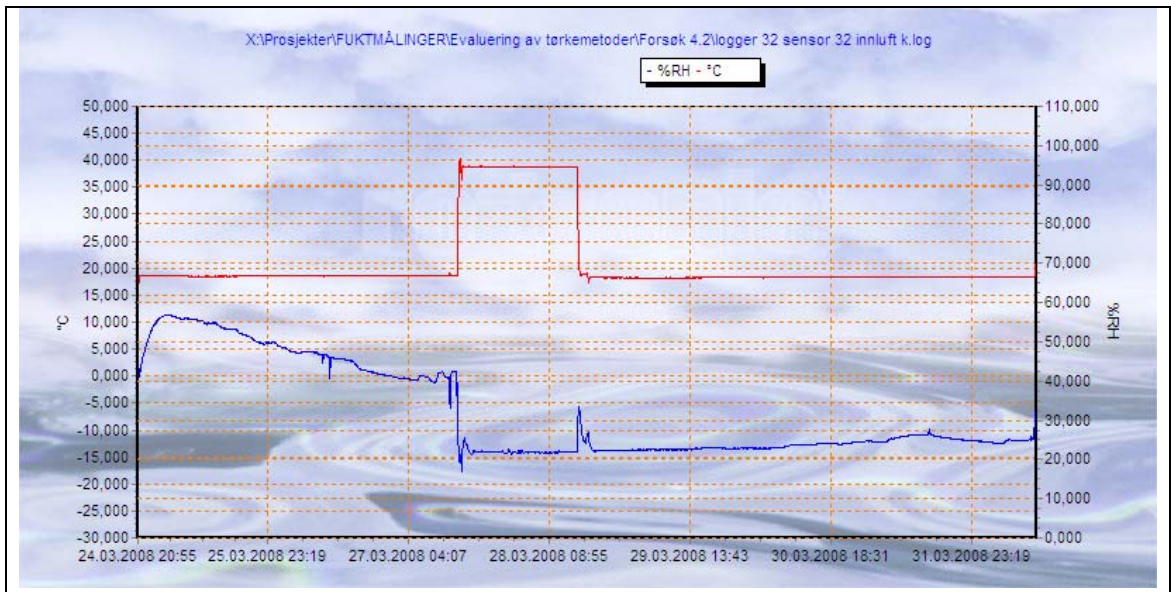
1. Start forsøk 4.2. Totalsoppanalyser 333:1-2, Luftanalyser MB 5889:1-10 I
2. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C. Totalsoppanalyser 336:1-3, Luftanalyser MB 5915:1-6 J
3. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C. Totalsoppanalyser 337:1, Luftanalyser MB 5916:1-2 K
4. Avslutning forsøk 4.2. Totalsoppanalyser 338:1-4, Luftanalyser MB 5917:1-6 L



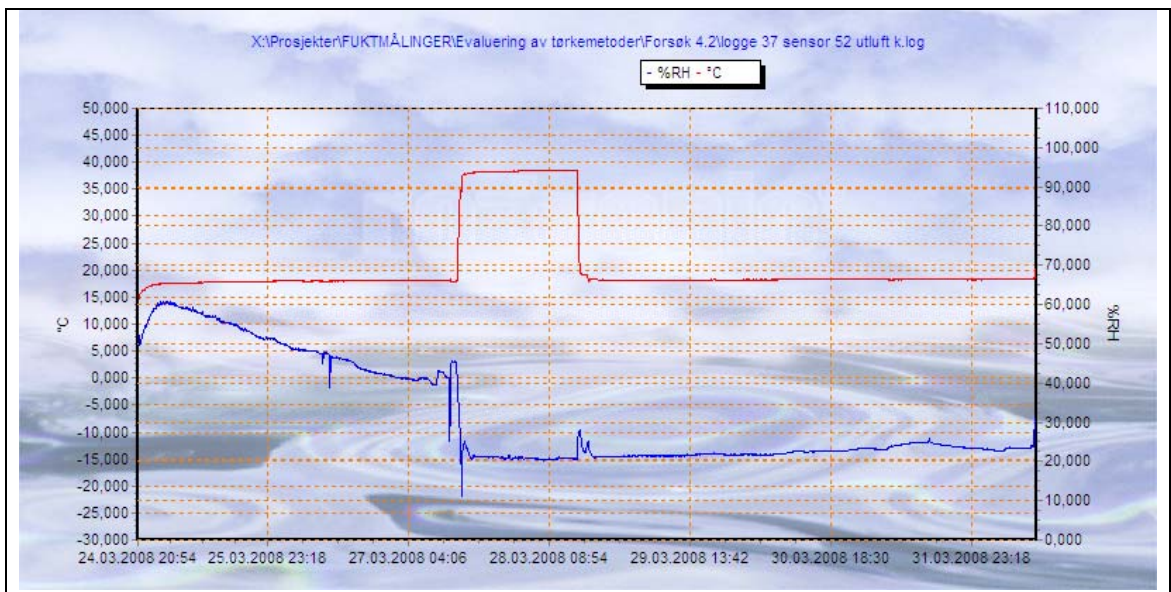
Figur nr 52. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.2. Målepunkt: Inni papirbunke, midt i stabelen av papirbunker/ midt i tørkekammeret.

1. Start forsøk 4.2
2. Stabelen med papirbunker inni tørkekammeret veltet (øverste del av papirbunker veltet til siden). Ble oppdaget etter noen timer, og rettet opp i .
3. Økte innstilt temperatur fra 20 °C til 40 °C
4. Senket innstilt temperatur fra 40 °C til 20 °C
5. Avslutning forsøk 4.2





Figur nr 54. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.2. Målepunkt: Luftinntak. Luft inn i tørkekammer.



Figur nr 55. Tørkeforløp lufttørk i tørkekammer. Forsøk 4.2. Målepunkt: Vifta hvor lufta blåses ut av tørkekammeret.

APPENDIX B

Resultater Luftanalyser:

Resultater, totalsoppanalyser

Tabell 9. Resultater av Air-O-Cell analyser, 323: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 14.01.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
323: 1	Ute	Basidiomycetes = 288 (43%) Uidentifiserte sopp sporer = 240 (36%) Cladosporium sp. = 96 (14%) Gjærsopp = 48 (7%)	Før kjøring 3.1
323: 2	Lab	Penicillium sp./Paecilomyces sp. = 8496 (100%)	Før kjøring 3.1
323: 3	Klimakammer	Sopp sporer = 0	Før kjøring 3.1

A

Tabell 10. Resultater av Air-O-Cell analyser, 324: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 22.01.2008 og 29.01.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
324: 1	Ute	Uidentifiserte sopp sporer = 48 (100%)	22.01.2008. Etter Kjøring 3.1
324: 2	Lab	Cladosporium sp. = 720 (100%)	22.01.2008. Etter Kjøring 3.1
324: 3	Klimakammer	Uidentifiserte sopp sporer = 48 (50%) cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 48 (50%)	22.01.2008. Etter Kjøring 3.1/ Før kjøring 3.2
324: 4	Klimakammer	cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 2208 (74%) Paecilomyces sp. = 672 (23%) Uidentifiserte sopp sporer = 96 (3%)	29.01.2008 Etter kjøring 3.2
324: 5	Klimakammer	Paecilomyces sp. = 816 (100%)	29.01.2008 Etter kjøring 3.2

B

C

Tabell 11. Resultater av Air-O-Cell analyser, 326: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 12.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
326: 1	Lab	cf. Penicillium sp. = 144 (100%)	Referanseprøve lab

Tabell 12. Resultater av Air-O-Cell analyser, 328: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 18.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
328: 1	Ute	Cladosporium sp. = 720 (94%) Basidiomycetes = 48 (6%)	Referanseprøve før Kjøring 4.1
328: 2	Lab	Uidentifiserte sopp sporer = 144 (60%) Cladosporium sp. = 48 (20%) cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 48 (20%)	Referanseprøve før kjøring 4.1
328: 3	Klimakammer	cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 96 (67%) Uidentifiserte sopp sporer = 48 (33%)	før forsøk 4.1 ble satt i gang
328: 4	Klimakammer	cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 4992 (85%) Uidentifiserte sopp sporer = 864 (15%)	før forsøk 4.1 ble satt i gang. Med strø liggende i kammeret.

D

Tabell 13. Resultater av Air-O-Cell analyser, 329: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 20.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
329: 1	klimakammer	Soppsporer = 0	20.03.2008 kl 20.30

E

Tabell 14. Resultater av Air-O-Cell analyser, 330: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 21.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
330: 1	klimakammer	Soppsporer = 0	21.03.2008 kl 09.30 kjøring 4.1, før T ble økt.

F

Tabell 15. Resultater av Air-O-Cell analyser, 331: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 22.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
331: 1	Lab	Uidentifiserte soppsporer = 48 (33%) Grønnalger = 48 (33%) cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 48 (33%)	i lab 22.03.2008 kl 11.20 Referanseprøve lab
331: 2	klimakammer	cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 672 (100%)	i tørkekammer 22.03.2008 kl 11.25. Kjøring 4.1 Etter at T ble redusert igjen.

G

Tabell 16. Resultater av Air-O-Cell analyser, 332: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 24.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
332: 1	Ute	Uidentifiserte soppsporer = 48 (100%)	kl 18.50 Referanseprøve
332: 2	Lab	Cladosporium sp. = 288 (75%) Uidentifiserte soppsporer = 48 (13%) cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 48 (13%)	kl 19.00 Referanseprøve
332: 3	klimakammer	Soppsporer = 0	kl 19.10. Tørking kjøring 4.1 slutt. Papir fortsatt i kammer

H

Tabell 17. Resultater av Air-O-Cell analyser, 333: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 24.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
333: 1	Lab	Uidentifiserte soppsporer = 96 (50%) cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 96 (50%)	kl 21.00 Referanseprøve
333: 2	klimakammer	cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 2448 (94%) Cladosporium sp. = 96 (4%) Uidentifiserte soppsporer = 48 (2%)	kl 20.45. Med strø i kammeret Før Kjøring 4.2

I

Tabell 18. Resultater av Air-O-Cell analyser, 336: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 27.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
336: 1	Ute	Uidentifiserte soppsporer = 48 (100%)	kl 14.30 Referanseprøve
336: 2	Lab	cf. Aspergillus sp./Penicillium sp. = 48 (100%)	kl 14.15 Referanseprøve
336: 3	klimakammer	Soppsporer = 0	kl 14.10 Kjøring 4.2 Før T ble økt

J

Tabell 19. Resultater av Air-O-Cell analyser, 337: 1-1, Evaluering av tørkemethoder den 28.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
337: 1	klimakammer	Cladosporium sp. = 96 (100%)	Kjøring 4.2 Etter at T var redusert igjen.

K

Tabell 20. Resultater av Air-O-Cell analyser, 338: 1-1, Evaluering av tørkemotoder den 01.04.2008

Prøvenr	Prøvested	Resultat (enhet / m3)	Kommentar
338: 1	Ute	Uidentifiserte sopp sporer = 192 (80%) Cladosporium sp. = 48 (20%)	Referanseprøve
338: 2	Lab	Sopp sporer = 0	Referanseprøve
338: 3	klimakammer	Sopp sporer = 0	Kjøring 4.2 Slutt
338: 4	klimakammer	Sopp sporer = 0	Kjøring 4.2 Slutt

L

Resultater luftanalyser med hensyn på antall spiredyktige muggsopp sporer

Tabell 21. Resultater av luftanalyser, 5883: 1-1, Evaluering av tørkemotoder den 20.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5883: 1	Ute	MEA	192	Cladosporium sp. (47%) Bakterier og gjærsopp (35%) Penicillium sp. (12%) Moniliella sp. (6%)	Referanseprøve ute. 2 dager etter start på kjøring 4.1
5883: 2	Ute	DG18	147	Cladosporium sp. (77%) Bakterier og gjærsopp (15%) Penicillium sp. (8%)	20.03.2008 kl 20.45
5883: 3	i kammer under tørk	MEA	175	Cladosporium sp. (88%) Bakterier og gjærsopp (13%)	0.03.2008 kl 20.40
5883: 4	i kammer under tørk	DG18	101	Cladosporium sp. (78%) Penicillium sp. (22%)	--
5883: 5	Lab	MEA	251	Cladosporium sp. (73%) Penicillium sp. (14%) Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (5%) Botrytis sp. (5%) Bakterier og gjærsopp (5%)	20.03.2008 kl 20.40 Referanseprøve laboratorie
5883: 6	Lab	DG18	174	Cladosporium sp. (75%) Penicillium sp. (25%)	--

D

Tabell 22. Resultater av luftanalyser, 5885: 1-2, Evaluering av tørkemotoder den 21.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5885: 1	i kammer	MEA	0	Ingen vekst	21.02.2008 kl 09.40 Kjøring 4.1, Før T ble økt
5885: 2	i kammer	DG18	15	Penicillium sp. (100%)	--

F

Tabell 23. Resultater av luftanalyser, 5886: 1-6, Evaluering av tørkemetoder den 22.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5886: 1	Ute	MEA		--	Ikke tatt referanseprøve ute. Utgår
5886: 2	Ute	DG18		--	--
5886: 3	klimakammer	MEA	0	Ingen vekst	22.03.2008 kl 11.20Kjøring 4.1 Etter at T ble redusert igjen.
5886: 4	klimakammer	DG18	15	Penicillium sp. (100%)	--
5886: 5	Lab	MEA	45	Penicillium sp. (33%) Cladosporium sp. (33%) Bakterier og gjærsopp (33%)	22.03.2008 kl 11.30 Referanseprøve lab
5886: 6	Lab	DG18	15	Cladosporium sp. (100%)	--

G

Tabell 24. Resultater av luftanalyser, 5889: 1-10, Evaluering av tørkemeter den 24.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	Kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5889: 1	Ute	MEA	50	Cladosporium sp. (75%) Gjærsopp (25%)	kl 1850 Referanseprøve ute
5889: 2	Ute	DG18	96	Cladosporium sp. (75%) Penicillium sp. (13%) Gjærsopp (13%)	
5889: 3	Lab	MEA	15	Cladosporium sp. (100%)	kl 1855 Referanseprøve lab.
5889: 4	Lab	DG18	15	Cladosporium sp. (100%)	--
5889: 5	klimakammer	MEA	15	Bakterier (100%)	kl 1900. kjøring 4.1 slutt
5889: 6	klimakammer	DG18	0	Ingen vekst	--
5889: 7	klimakammer	MEA	560	Penicillium sp. (82%) Paecilomyces sp. (16%) Svertesopp (2%)	kl 20.40 start kjøring 4.2. Strø i kammer, ikke papir
5889: 8	klimakammer	DG18	255	Penicillium sp. (87%) Paecilomyces sp. (9%) Cladosporium sp. (4%)	--
5889: 9	Lab	MEA	116	Bakterier og gjærsopp (70%) Penicillium sp. (20%) Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (10%)	kl 21.05. Referanseprøve. Skålen var delvis overvokst av uidentifisert sopp (steriel hyfer). Dette kan føre til noe usikkerhet i beregningen av antall kde.
5889: 10	Lab	DG18	30	Penicillium sp. (50%) Cladosporium sp. (50%)	--

H

I

Tabell 25. Resultater av luftanalyser, 5915: 1-6, Evaluering av tørkemetoder den 27.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5915: 1	Ute	MEA	195	Bakterier og gjærsopp (78%) Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (22%)	kl 14.15 Referanseprøve Ute
5915: 2	Ute	DG18	50	Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (75%) Cladosporium sp. (25%)	--
5915: 3	Lab	MEA	15	Penicillium sp. (100%)	kl 14.10 Referanseprøve lab
5915: 4	Lab	DG18	15	Aspergillus sp. (100%)	--
5915: 5	klimakammer	MEA	15	Penicillium sp. (100%)	kl 14.10 Kjøring 4.2, før T ble satt opp.
5915: 6	klimakammer	DG18	0	Ingen vekst	--

J

Tabell 26. Resultater av luftanalyser, 5916: 1-2, Evaluering av tørkemetoder den 28.03.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5916: 1	klimakammer	MEA	274	Penicillium sp. (96%) Bakterier (4%)	Kjøring 4.2. etter at T ble satt ned
5916: 2	klimakammer	DG18	45	Penicillium sp. (100%)	--

K

Tabell 27. Resultater av luftanalyser, 5917: 1-6, Evaluering av tørkemetoder den 01.04.2008

Prøvenr	Prøvested	Medium	kde/m3	Artsutvalg (%)	Kommentar
5917: 1	Ute	MEA	254	Basidiomycetes (43%) Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (26%) Bakterier og gjærsopp (26%) Penicillium sp. (4%)	Referanseprøve uteluft
5917: 2	Ute	DG18	151	Basidiomycetes (46%) Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (38%) Penicillium sp. (8%) Cladosporium sp. (8%)	--
5917: 3	Lab	MEA	15	Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (100%)	Referanseprøve lab
5917: 4	Lab	DG18	30	Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (50%) Gjærsopp (50%)	--
5917: 5	klimakammer	MEA	30	Uidentifisert sopp (sterile hyfer) (50%) Penicillium sp. (50%)	Kjøring 4.2 slutt
5917: 6	klimakammer	DG18	15	Penicillium sp. (100%)	--

L

APPENDIX C

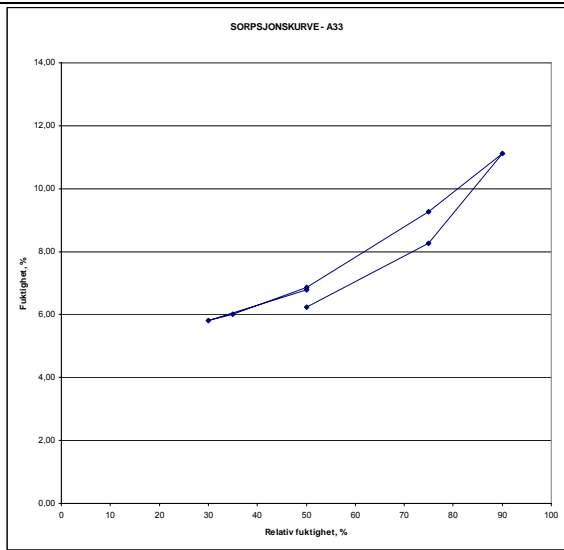
Resultater analyser fra PFI

DP: Depolymerisasjonsgrad:

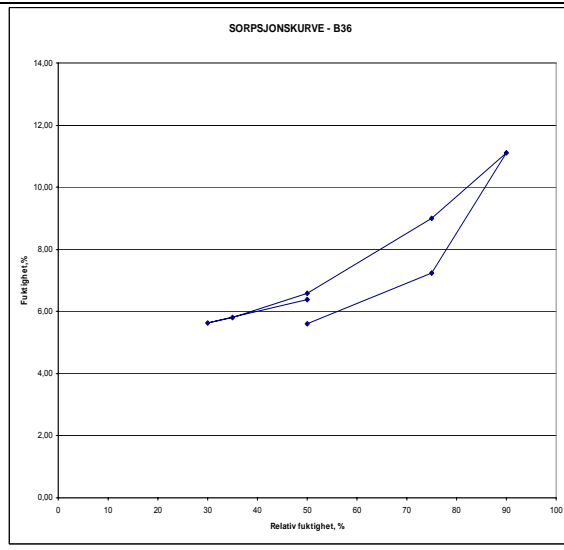
1573296 – Depolymerisasjonsgrad	
Prøve:	Resultat (mL/g):
B1	440
B1A	390
B2	430
B2A	420
A2	890
A2A	880
A6	870
A6A	860
A33	610
A50	650
B36	440
B50	470
08.10.2008 / KSt	

Tabell 28

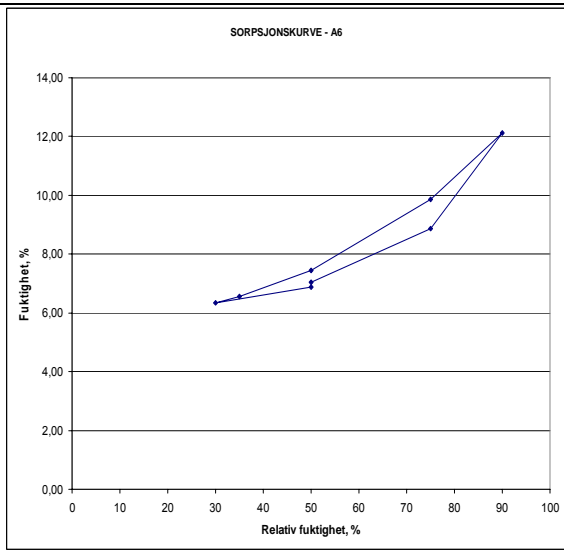
Sorpsjonskurver



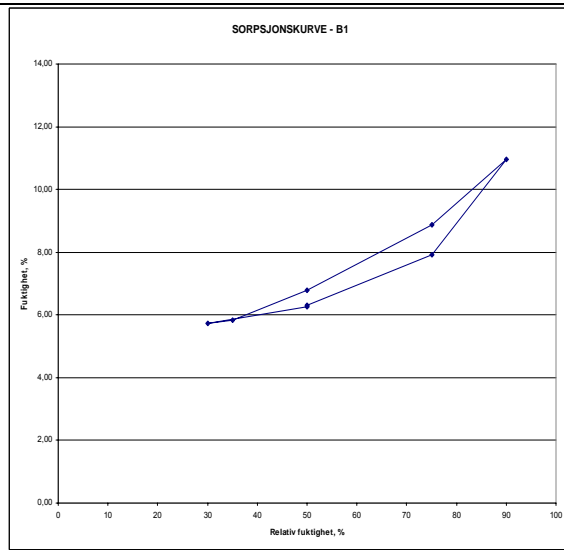
Figur 57. A33 Referanseprøve



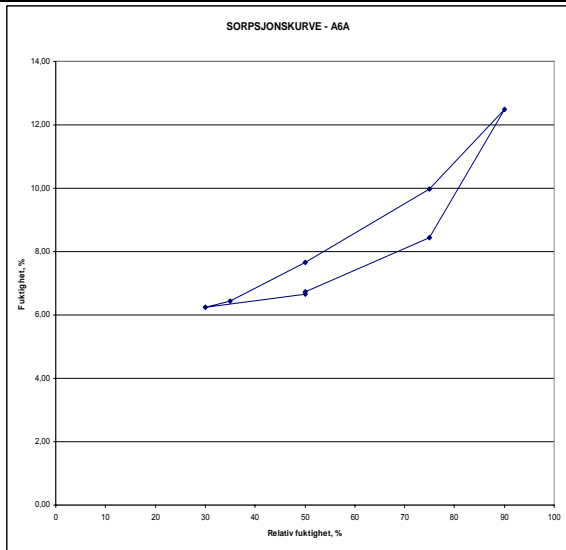
Figur 58. B36 Referanseprøve



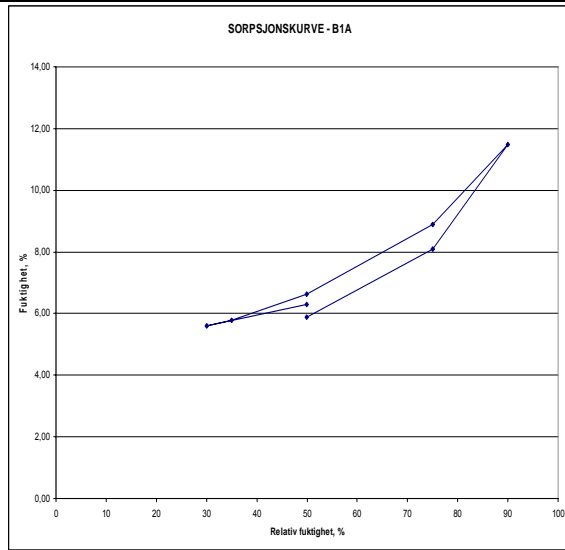
Figur 59. A6 Lufttørk tørkekammer 20-40 °C



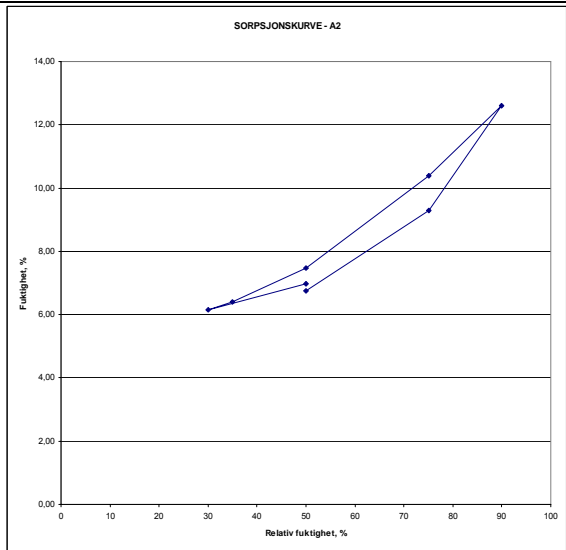
Figur 60. B1 Lufttørk tørkekammer 20-40 °C



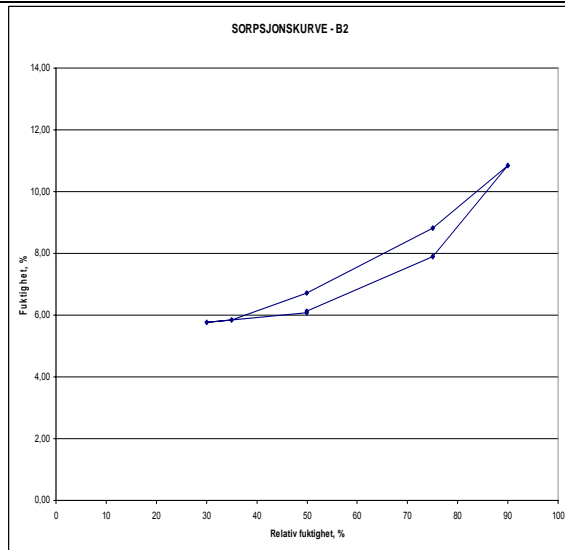
**Figur 61. A6A Lufttørk tørkekammer 20-40 °C.
Kunstig aldre**



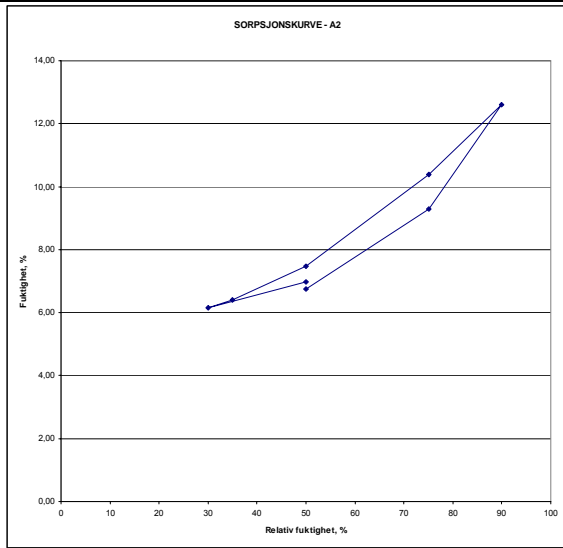
Figur 62. B1A Lufttørk tørkekammer 20-40 °C. Kunstig aldre



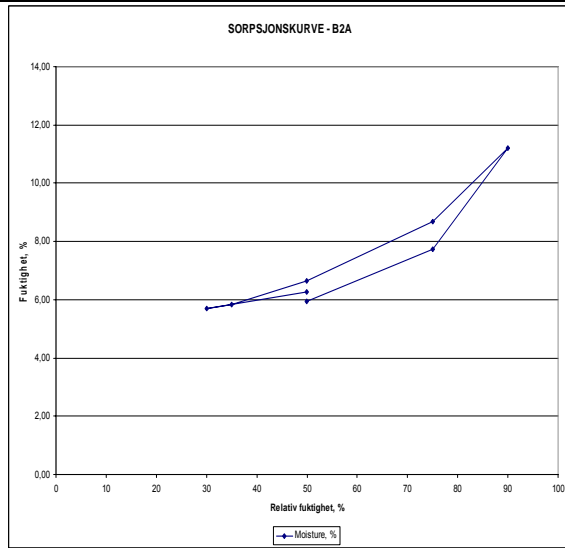
Figur 63. A2 Frysetørket



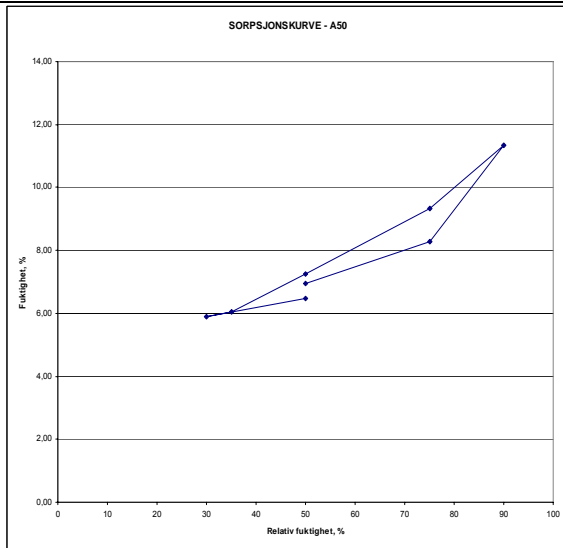
Figur 64. B2 Frysetørket



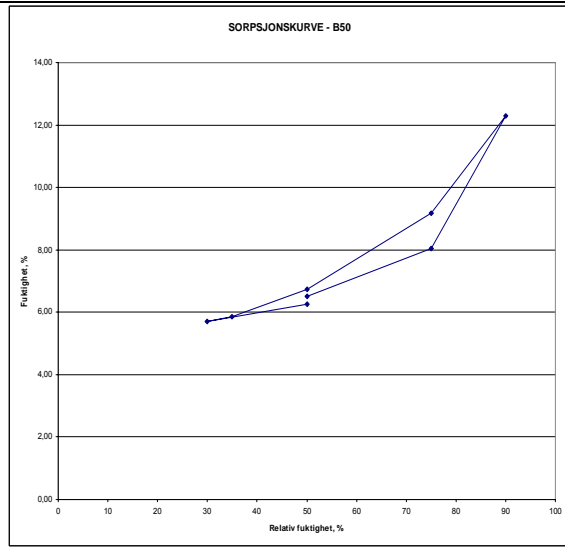
Figur 65. A2A Frysetørket. Kunstig aldrete.



Figur 66. B2A Frysetørket. Kunstig aldrete.



Figur 67. A50 Lufttørket 20 °C



Figur 68. B50 Lufttørket 20 °C

APPENDIX D

Resulater Colorometriske målinger

NLD65 10GR GM (4,0) Different color difference formulas		
Name (R-values)	YI313	WE-BAS
A33 REFERANSEPRØVE A	5,39	63,99
A6	5,9	62,44
A2	5,93	62,4

Tabell 29

NLD65 10GR GM (4,0) Different color difference formulas		
Name (R-values)	YI313	WE-CIE
B36 REFERANSEPRØVE B	0,83	73,62
B1	0,49	73,4
B2	-0,19	77,54

Tabell 30

MACBETH Ci5	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
GM	74,16	77,94	80,11	82,2	83,65	84,8	85,55	85,73	85,85	85,98	86,23	86,48	87,48	88,56	87,94	87,89
GM	74,45	77,4	79,4	81,8	84,68	85,31	85,47	85,42	86,03	86,49	86,61	86,63	87,52	88,85	89,33	90,15
GM	74,49	77,39	79,37	81,84	84,89	85,39	85,59	85,45	86,02	86,54	86,67	86,82	87,73	89,05	89,45	90,17
GM	44,01	73,77	82,02	80,3	80,56	80,82	80,47	79,77	79,32	79,65	79,84	80,18	81,75	83,23	83,11	83,12
GM	45,69	76,05	84,06	81,87	81,84	81,95	81,46	80,64	80,27	80,58	80,75	81,04	82,34	83,72	83,59	83,58

Tabell 31

Appendix E

Spørreundersøkelse vedr vannskader i museer, biblioteker og arkiver:

1. Har du/dere opplevd vannskader i bibliotek/arkiv siste 10 år?, evt hvor mange?
2. Hvor store mengder papir ble skadet? (ca antall hyllemeter)?
3. Hvor lang tid tok det fra vannskaden ble oppdaget til tiltak ble satt inn?
4. Ble det observert vekst av muggsopp på deler av materialet før kontrollerte tørkeprosesser ble satt i gang?
5. Hvilke rutiner har institusjonen når det oppstår vannskader? (ring rundt de alternativene som passer)
 - Ingen skriftlige rutiner
 - Skriftlig sikringsplan som inkluderer vannskader
6. Hva gjorde dere siste det oppstod vannskader?(ring rundt det som passer)
 - Vi ringte skadebegrensningsfirma ("saneringsfirma")
 - Vått papir ble sortert etter skadegrad og det ble valgt ulike tørkemetoder avhenging av skadegrad og materiale.
 - Alt vått materiale ble fjernet fra rommet hvor skaden har skjedd
 - Alt/ store deler av det våte papiret ble lagt i fryseren i påvente av frysetørrking
 - Det ble installert avfuktere og vifter
 - Vi kontaktet tilbyder av frysetørrkingstjenester
 - Annet:
7. Hvilke tørkemetoder ble brukt?
 - Vakuum frysetørrking
 - Vakuomtørrking
 - Vakuumpakking
 - Lufttørrking i romluft med bruk av trekkpapir
 - Lufttørrking med vifter og avfuktet luft
 - Lufttørrking med varmluft
 - Forsøke å tørke/ avfukte papiret på stedet (uten å fjerne det fra hyller og arkivbokser).
 - Annet:
8. Hva vil du/dere gjøre neste gang det oppstår en vannskade (ref punkt 6 og 7)?
9. Hvilke kriterier må være oppfylt for at du skal vurdere en tørkeprosess for vått papirmateriale/bøker som vellykket? Rangerer kriteriene nedenfor i prioritert rekkefølge, 1 = viktigste kriterium, 12 = mindre viktig.
 - Etter tørkeprosessen har materialet ikke vekst av muggsopp.
 - Etter tørkeprosessen har bunken med ark ikke blokket seg: dvs at arkene ikke er klistret sammen.
 - Etter tørkeprosessen har blekk ikke flytt utover
 - Etter tørkeprosessen har papirbunken/ boka liten volumendring.
 - Etter tørkeprosessen er det ikke fuktskjolder på materialet.
 - Etter tørkeprosessen er innbindingen ikke skadet.
 - Etter tørkeprosessen er opprinnelig merking og gjenfinning av arkivmateriale i riktig rekkefølge mulig.
 - Etter tørkeprosessen har materialet ikke bokler, dvs at papirarkene er slette.
 - Etter tørkeprosessen er papiret ikke tørt og sprøtt.
 - Etter tørkeprosessen har papiret ikke endret farge
 - Etter tørkeprosessen har papiret ikke endret pH
 - Vi har dokumentert hva slags tørkeprosess materialet har vært utsatt for (dokumentert metode, utstyr, RF/T/ trykk gjennom tørkeforløpet med mer)
 - Annet viktig kriterium:
10. Ring rundt påstandene som passer
 - Tørkeposessen skjer helst på egen institusjon eller ved en annen kulturinstitusjon som har riktig utstyr og kompetanse.
 - Tørkeposessen skjer helst på egen institusjon/ med tilsyn av en av våre egne medarbeidere
 - Tørkeposessen skal skje under oppsyn / ledelse av person med konserveringskompetanse og/ eller materialkunnskap
 - Vi stoler på at skadebegrensningsfirma løser jobben effektivt og faglig forsvarlig.
 - Vi vet hvilke metoder aktuelle tilbydere av tørketjenester/ frysetørrking bruker.

Sett kryss:

- Jeg vil levere dette spørreskjemaet anonymt
- Jeg kan kontaktes for ytterligere spørsmål rundt håndtering av vannskadet papir

Navn: _____

E-post: _____

Tlf. _____

Tusen takk for hjelpa!

Appendix F

Gasslover

(kilde: <http://www.nt.ntnu.no/users/ystenes/pedagogikk/tmt4105/gasslover.htm>)

Boyle's lov

Trykket av en gass ved en bestemt temperatur er omvendt proporsjonal med volumet av gassen.

$$P \propto 1/V \quad \text{eller} \quad PV = \text{konstant}$$

Charles lov

Ved konstant trykk er volum og temperatur proporsjonale.

$$V \propto T \quad \text{eller} \quad V = \text{konstant} \propto T$$

Ved konstant volum er trykk og temperatur proporsjonale.

$$P \propto T \quad \text{eller} \quad P = \text{konstant} \propto T$$

Avogadros lov

Når temperatur og trykk er konstant, er volumet som blir okkupert av gassen proporsjonal med antall mol gass (n).

$$V \propto n \quad \text{eller} \quad V = \text{konstant} \propto n$$

Ideell gasslov

Ved å kombinere Boyle, Charles og Avogadros lov, får man ideell gasslov :

$$PV = nRT$$

Temperaturen settes inn i Kelvin der $K = ^\circ\text{C} + 273.15$

Gasskonstanten R finnes i tabell 2 (side 3) i SI-CD. Velg riktig R -verdi ved å se på benevnelsene. Benevnelsene til det som står på høyre side i ligningen skal alltid være lik

benevnelsen til det som står på venstre side i ligningen. Hvis volumet er i liter, trykket i atm og temperaturen i Kelvin, velges $R = 0.082058 \text{ (L} \cdot \text{atm)/(K} \cdot \text{mol)}$.

Dalton's lov

Totaltrykket (P_{tot}) i en blanding av gasser er lik summen av partialtrykkene til de ulike gassene: $P_{\text{tot}} = P_a + P_b + P_c + P_d + \dots$

Henry's lov

Løseligheten av en gass i en væske er proporsjonal med partialtrykket over væsken :

$$\text{Løselighet} = k \cdot \text{partialtrykk}$$

Appendix G

Aw-målinger

Aw-målinger underveis i tørkeforløpene

Tørkeforsøk	Tidspunkt, ref figur	Verdi
3.1	Figur 44, punkt 3	Aw 0,798
	Figur 44, punkt 4	Aw 0,577
	Figur 44, punkt 7	Aw 0,433/ T 38,7
	Figur 44, punkt 9	Aw 0,214/ T 38,5
	Figur 44, punkt 10	Aw 0,215/ T 19,6
3.2	Figur 46, punkt 2	Aw 0,825 / T 18,7
	Figur 46, punkt 3	Aw 0,540 / T 19,4
4.1	Figur 48, punkt 2	Aw 0,627
	Figur 48, punkt 3	Aw 0,649/ T 18,8
	Figur 48, punkt 4	Aw 0,552/ T 18,7
	Figur 48, punkt 6	Aw 0,239 / T 22,1
4.2	Figur 52, punkt 2	Aw 0,513/ T 18,9
	Figur 52, punkt 4	Aw 0,205 / 18,6

Tabell 32

Aw-målinger, tverrsnitt i papirbunker

Snitt av bunker

Ref 42,3-42,8 % RF og T = 21,6-21,7

Prøve type	Prøve nr	øverste ark Aw	1/5. Aw	Midten Aw	3/5. Aw	Bakside Aw
Referanseprøve	A33	0,457333333	0,451666667	0,454333333	0,454666667	0,457
Referanseprøve	B36	0,449	0,45	0,447666667	0,449666667	0,448333333
Lufttørk 3.1	A9	0,451333333	0,451	0,458	0,465333333	0,466666667
Lufttørk 3.1	B8	0,458	0,460666667	0,469333333	0,463666667	0,462333333
Frysetørk	A8	0,455	0,457333333	0,457666667	0,460666667	0,460333333

Tabell 33

Aw-målinger hele prøvematerialet

Aw-målinger, etter kondisjnering							
Q =Aw quick mode							
Serie	Bunke nr	Aw	T	Serie	Bunke nr	Aw	T
1.1 Referans	A33	0,45	21,3	2.1 Frysetørking	A4	0,457	21,7
Q	A33	0,41	22,6		A7	0,458	21,4
	A35	0,45	21,3		A8	0,457	21,3
	A.35	0,41	22,6		A2		
	A35	0,41	22,7		A1		
	A34	0,45	21,2		B7	0,453	21,8
	A34	0,39	22,5	Q	B7	0,443	21,7
	A34	0,41	23		B2	0,462	21,8
Q	A38	0,41	23		B2	0,462	21,9
Q	A36	0,41	23		B9	0,461	21,8
Q	A37	0,41	23		B6	0,464	21,8
Q	A32	0,41	23		B5	0,466	21,7
	A32	0,41	23	Q	C1	0,462	22
Q	B 36	0,45	21,6	Q	C1	0,464	22,1
	B36	0,44	23,1	Q	C1	0,461	22,1
Q	B 35	0,45	21,7	Q	C2	0,451	22,1
	B35	0,43	23,2	Q	C2	0,452	22,1
Q	B 37	0,45	21,8	Q	C2	0,453	22,1
Q	B37	0,43	23,1	Q	C22	0,456	22,1
Q	B38	0,43	23,1	Q	C22	0,457	22,1
Q	B39	0,43	23,1	Q	C22	0,457	22,1
Q	B40	0,43	23,1	Q	C28	0,455	22,1
Q	B41	0,43	23,2				
	C14	0,46	21,9	2.2 Frysetørking	A24	0,435	23,2
	C14	0,45	22	Q	A29	0,427	23,3
Q	C14	0,46	23,2	Q	A23	0,424	23,3
	C13	0,45	22	Q	A22	0,432	23,2
Q	C13	0,45	22	Q	A21	0,426	23,2
Q	C13	0,44	23,2	Q	A19	0,438	23,2
Q	C21	0,46	22,1	Q	B23	0,401	23,2
	C21	0,46	22,1	Q	B22	0,429	23,2
Q	C21	0,42	23,2	Q	B21	0,428	23,3
Q	C29	0,45	22,1	Q	B20	0,425	23,3
Q	C29	0,46	22,1	Q	B19	0,433	23,3
Q	C29	0,46	22,1		C3	0,422	22,3
Q	C29	0,45	23,2	Q	C3	0,427	23,4
Q	C40	0,45	22,1		C4	0,427	23,4
Q	C40	0,45	22,1		C16	0,429	23,4
Q	C40	0,46	22		C32	0,441	23,4
Q	C40	0,46	23,2				
Q	C41	0,46	22				
Q	C41	0,46	22				
Q	C41	0,46	22				
	C41	0,46	22				

3.1 Lufttørring	A14	0,477	21,3
	A13	0,468	21,3
	A9	0,475	21,3
	A6		
	A5		
	A3		
	B11	0,473	21,9
	B10	0,478	21,9
	B8	0,478	21,9
	B4	0,474	21,9
	B3	0,478	21,9
	B1	0,475	21,9
	C30		
	C24		
	C17		
	C15		
	C6		
	C5		

Ikke frosset, men lufttørket

3.1.	A15	0,467	21,4
	A15	0,464	21,3
	A15	0,476	21,4
	B15	0,469	22
	B15	0,465	22
	B15	0,464.	21,9

APPENDIX H

Måledata lufthastighet

Måledata, lufthastighet (m/s)

forsøksserie	3.1.		3.2.		4.1.		4.2.	
	Fra	Til	Fra	Til	Fra	Til	Fra	Til
			1,3	1,5	0,7	1	0,4	0,5
			1,5	1,5	0,6	0,7	0	0
	2	2,2	2,5	2,5	0	0,4	0	0
	2	2,25	2,4	2,5	0	0	0	0
	2,05	2,1	1,5	1,5	0	0,6	0	0
	2	2,2			0	0	0	0
	2	2,2			0	0	0	0
	2,16	2,25			0	0	0	0
	2,25	2,27			0	0	0	0
	1,8	2,2			0	0	0	0,4
	2	2,22			0	0	0	0
	2,1	2,2			0	0		
	2,1	2,2			0	0		
	1,7	1,9			0	0		
	1,6	1,8			0,5	0,7		
	1,7	2			0,5	0,8		
	1,65	2			0,7	0,7		
	1,8	1,9						
	1,5	2						
	1,5	2						
	2	2						
sum	35,91	39,89	9,2	9,5	3	4,9	0,4	0,9
totalt	75,8		18,7		7,9		1,3	
snitt	2		1,9		0,23		0,06	

Tabell 35

APPENDIX I

Resulater mål- og vekt/ vannopptak

A: Klug foto arkivpapir		Før oppfukting	Etter frys	Etter tørk	Før kondisjonering				
Prøve nr	Kjøring nr	Vekt	Vekt	Vekt	Vekt	vann tatt opp	vann tatt opp %	Diff e tørk	Diff %
1	2.1.	760		732				-28	-3,684210526
2	2.1.	760		734				-26	-3,421052632
3	3.1.	762		750				-12	-1,57480315
4	2.1.	760		734				-26	-3,421052632
5	3.1.	760		746				-14	-1,842105263
6	3.1.	760		746				-14	-1,842105263
7	2.1.	758		732				-26	-3,430079156
8	2.1.	752		736				-16	-2,127659574
9	3.1.	758		756				-2	-0,263852243
10	3.2.	760	1158	756		398	52,36842105	-4	-0,526315789
11	3.2.	758	1058	750		300	39,57783641	-8	-1,055408971
12	3.2.	762	1006	754		244	32,02099738	-8	-1,049868766
13	3.1.	760		767				7	0,921052632
14	3.1.	760		752				-8	-1,052631579
15	3.1.	760		760				0	0
16	3.2.	752	790	734		38	5,053191489	-18	-2,393617021
17	3.2.	754	852	752		98	12,99734748	-2	-0,265251989
18	3.2.	752	832	740		80	10,63829787	-12	-1,595744681
19	2.2.	760	840	730		80	10,52631579	-30	-3,947368421
20	3.2.					0			
21	2.2.	742	802	722		60	8,086253369	-20	-2,69541779
22	2.2.	744	816	720		72	9,677419355	-24	-3,225806452
23	2.2.	748	874	730		126	16,84491979	-18	-2,406417112
24	2.2.	738	882	724		144	19,51219512	-14	-1,89701897
25	4.1.	735	926	734	732	191	25,98639456	-1	-0,136054422
26	4.1.	737	828	740	740	91	12,34735414	3	0,407055631
27	4.1.	737	856	744	741	119	16,14654003	7	0,949796472
28	4.1.	734	824	736	737	90	12,26158038	2	0,272479564
29	4.1.	740	878	752	745	138	18,64864865	12	1,621621622
30	4.1.	738	842	748	746	104	14,09214092	10	1,35501355
31	4.1.	737	924	742	739	187	25,37313433	5	0,678426052
32	1.1.								
33	1.1.								
34	1.1.								
35	1.1.								
36	1.1.								
37	1.1.								
38	1.1.								
39	4.2.	740	1014	750	744	274	37,02702703	10	1,351351351
40	4.2.	744	916	748	746	172	23,11827957	4	0,537634409
41	4.2.	742	878	744	744	136	18,32884097	2	0,269541779
42	4.2.	742	930	748	747	188	25,33692722	6	0,808625337
43	4.2.	744	1080	772	750	336	45,16129032	28	3,76344086
44	4.2.	742	996	748	747	254	34,23180593	6	0,808625337
45	4.2.	734	936	742	742	202	27,52043597	8	1,089918256

Tabell 36. Vekt og vannopptak papir A

B: Resirkulert papir		Før oppfukning	Etter frys	Etter tørk	Før kondisjonering			
	Kjøring nr	Vekt	Vekt	Vekt	Vekt	vann tatt opp	vann tatt opp %	diff e tørk
1	3.1.	500		512				12
2	2.1.	500		514				14
3	3.1.	500		512				12
4	3.1.	500		496				-4
5	2.1.	500		490				-10
6	2.1.	500		482				-18
7	2.1.	500		490				-10
8	3.1.	500		498				-2
9	2.1.	500		488				-12
10	3.1.	500		496				-4
11	3.1.	500		498				-2
12	3.2.	500	956	496		456	91,2	-4
13	3.2.	500	744	496		244	48,8	-4
14	3.2.	500	744	496		244	48,8	-4
15	3.1.	500		500				0
16	3.2.	500	832	496		332	66,4	-4
17	3.2.	500	1004	500		504	100,8	0
18	3.2.	500	1130	500		630	126	0
19	2.2.	500	1134	492		634	126,8	-8
20	2.2.	500	1200	486		700	140	-14
21	2.2.	500	886	492		386	77,2	-8
22	2.2.	500	852	492		352	70,4	-8
23	2.2.	500	870	492		370	74	-8
24	4.1.	500	926	524	499	426	85,2	24
25	4.2.	500	904	504	503	404	80,8	4
26	3.2.	500						
27	4.1.	493	926	542	494	433	87,8296146	49
28	4.2.	500	932	520	505	432	86,4	20
29	4.1.	500	904	508	501	404	80,8	8
30	4.1.	500	1040	600	501	540	108	100
31	4.1.	500	1000	544	500	500	100	44
32	4.1.	500	910	548	499	410	82	48
33	4.1.	500	850	520	504	350	70	20
34	4.2.	500	764	500	501	264	52,8	0
35	1.1.	500						
36	1.1.	500						
37	1.1.	500						
38	1.1.	500						
39	1.1.	500						
40	1.1.	500						
41	1.1.	500						
42	4.2.	500	978	516	494	478	95,6	-16
43	4.2.	502	1060	504	501	558	111,1553785	-2
44	4.2.	500	1136	540	494	636	127,2	-40
45	4.2.	500	1244	516	494	744	148,8	-16

Tabell 37. Vekt og vannopptak papir B

C: Sulfit/sulfatcellulose									
		Før oppfukting	Etter frys	Etter tørking					
	kjøring nr	Vekt	Vekt	Vekt	Før kond	vann tatt opp	vann tatt opp % av startvekt	diff e tørk	diff %
1	2.1.	462		450				-12	2,597402597
2	2.1.	450		440				-10	2,222222222
3	2.2.	426	728	418		302	70,89201878	-8	1,877934272
4	2.2.	426	746	418		320	75,11737089	-8	1,877934272
5	3.1.	476		464				-12	2,521008403
6	3.1.	462		458				-4	0,865800866
7	3.2.	484	920	478		436	90,08264463	-6	1,239669421
8	3.2.	462	904	454		442	95,67099567	-8	1,731601732
9	4.1.	474	870	500	472	396	83,5443038	26	5,485232068
10	4.1.	474	966	490	470	492	103,7974684	16	3,375527426
11	4.2.	466	606	460	464	140	30,04291845	-6	1,287553648
12	4.2.	470	890	472	467	420	89,36170213	2	0,425531915
13	1.1.	464							0
14	1.1.	478							0
15	2.1.	484		476				-8	1,652892562
16	2.2.	480	564	410		84	17,5	-70	14,58333333
17	3.1.	480		472				-8	1,666666667
18	3.2.	482	586	476		104	21,57676349	-6	1,244813278
19	4.1.	498	554	498	495	56	11,24497992	0	0
20	4.2.	484	552	480	481	68	14,04958678	-4	0,826446281
21	1.0.	490							0
22	2.1.	656		664				8	1,219512195
23	2.2.	678							0
24	3.1.	708		702				-6	0,847457627
25	3.2.?	662							0
26	4.1.	548	1098	553	542	550	100,3649635	5	0,912408759
27	4.2.	562	1198	568	559	636	113,1672598	6	1,067615658
28	2.1.	618		622				4	0,647249191
29	1.0	514							0
30	3.1.	474		470				-4	0,843881857
31	2.2.	478							0
32	2.2.	504	970	492		466	92,46031746	-12	2,380952381
33	3.2.?	502	880	512		378	75,29880478	10	1,992031873
34	4.1.	502	874	588	501	372	74,10358566	86	17,1314741
35	4.2.	506	796	518	508	290	57,31225296	12	2,371541502
36	til disp	508							
37	til disp	504							
38	3.1.								
39	4.1.	495	626	506	500	131	26,46464646	11	2,222222222
40	1.0.	490							0
41	1.0.	490							0
42	4.2.	489	992	516	497	503	102,8629857	27	5,521472393

Tabell 38. Vekt og vannopptak papir C.