

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ  
«ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ»



**Β' ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ:**  
**ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Διερεύνηση κριτηρίων και μεθόδων αποτίμησης καταλληλότητας υλικών και επεμβάσεων συντήρησης χαρτιού/αρχείων σε σχέση με τον σχεδιασμό των συνθηκών του περιβάλλοντος χώρου (Εφαρμογή στο ιστορικό αρχείο του ΚΚΕ)*

Σπυρίδων Ζερβός  
Χημικός – Συντηρητής Αρχειακού Υλικού

1999 – 2000

ΑΘΗΝΑ

Επιτροπή Επίβλεψης και Υποστήριξης:

*Αν. Καθ. Α. Μοροπούλου (Επιβλέποα)*

*Επικ. Καθ. Μ. Κουή*

*Δρ. Γ. Πατερμαράκης*

*Υπ. Δρ. Π. Μούνδουλας*

*Υπ. Δρ. Α. Μπακόλας*

Εξεταστική Επιτροπή

*Καθ. Α. Ανδρεόπουλος*

*Καθ. Εμ. Κούκιος*

*Καθ. Κ. Παπασπυρίδης*

*Αν. Καθ. Α. Μοροπούλου*

*Επικ. Καθ. Μ. Κουή*

## Πρόλογος

Η εργασία αυτή είναι το αποτέλεσμα μιας ευτυχούς συγκυρίας: Οι επιστημονικές αναζητήσεις ενός χημικού, επαγγελματία συντηρητή χαρτιού – του γράφοντος – και οι ανάγκες για την αποτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης ενός πολύ σημαντικού ιστορικού αρχείου – αυτού του ΚΚΕ – συναντήθηκαν και βρήκαν γόνιμο έδαφος για να καλλιεργηθούν στο εργαστήριο του Τομέα ΙΙΙ, Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ στα πλαίσια του ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β΄ κατεύθυνση «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης».

Οι στόχοι της εργασίας αυτής είναι:

- Η διερεύνηση κριτηρίων και μεθόδων κατάλληλων για την αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης χαρτιού.
- Η χρήση των κριτηρίων και μεθόδων αυτών για την αποτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης που εφαρμόζονται στο Αρχείο του ΚΚΕ – κύρια της αποξίνισης με υδροξείδιο του ασβεστίου – και η πιθανή τους αριστοποίηση.
- Η αξιολόγηση του σχεδιασμού των συνθηκών των χώρων φύλαξης του Αρχείου του ΚΚΕ.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μέσα στα πλαίσια του πιλοτικού προγράμματος (εξοπλισμού) του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του ΕΜΠ για την εκπαίδευση στη συντήρηση και διατήρηση των αρχείων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Την Αν. Καθ. Αντωνία Μοροπούλου για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την εργασία αυτή και για την συμπαράστασή της στις δυσκολίες που αντιμετώπισα.

Τα μέλη της επιτροπής Επίβλεψης και Υποστήριξης καθώς και όλο το προσωπικό του τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών για την βοήθειά που μου προσέφεραν.

Τους συναδέλφους στο ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» και ιδιαίτερα την υπ. Δρ. Κατερίνα Δελέγκου για τις χρήσιμες υποδείξεις τους.

Την Υπηρεσία μου για την χορήγηση της εκπαιδευτικής άδειας.

Την Εταιρεία «Αθηναϊκή Χαρτοποιία» και ιδιαίτερα την προϊσταμένη χημικό του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της Εταιρείας κα Κωρλέττη.

Την συντηρήτρια βιβλίων και βιβλιοδέτρια τέχνης Ευαγγελία Μπίζα, στο εργαστήριο της οποίας πραγματοποιήθηκαν συμπληρωματικές εργασίες συντήρησης για τις ανάγκες της εργασίας αυτής.

Και τέλος την σύζυγό μου Φωτεινή για την υπομονή που έδειξε.

## Περιεχόμενα

<b>Πρόλογος</b>	<b>2</b>
<b>Περιεχόμενα</b>	<b>3</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>8</b>
<b>1. Θεωρητικό Μέρος</b>	<b>9</b>
<i>1.1. Γενικό Θεωρητικό Μέρος</i>	9
1.1.1. Το Χαρτί: Ιστορία – Παραγωγή – Ιδιότητες – Αίτια Φθοράς – Μέθοδοι Συντήρησης	10
1.1.1.1. Συνοπτική Ιστορία του Χαρτιού	10
1.1.1.2. Παραγωγή του Χαρτιού	13
1.1.1.3. Ιδιότητες του Χαρτιού	18
1.1.1.3.1. Χημική Σύσταση και Δομή του Χαρτιού	18
1.1.1.3.1.1. Κυτταρίνη	18
1.1.1.3.1.2. Ημικυτταρίνες	23
1.1.1.3.1.3. Λιγνίνη	24
1.1.1.3.2. Ιδιότητες Κυτταρίνης - Χαρτιού	27
1.1.1.3.2.1. Επίδραση του Νερού - Υδατοαπορρόφηση	27
1.1.1.3.2.2. Επίδραση της Θερμοκρασίας	27
1.1.1.3.2.3. Επίδραση Οξέων	29
1.1.1.3.2.4. Επίδραση Αλκαλίων – Αλκαλικού pH	30
1.1.1.3.2.5. Μηχανικές Ιδιότητες	31
1.1.1.4. Βλάβες του Χαρτιού	32
1.1.1.4.1. Χημικές	32
1.1.1.4.1.1. Οξειδωση	32
1.1.1.4.1.2. Υδρόλυση	34
1.1.1.4.1.3. Επίδραση του Φωτός	36
1.1.1.4.2. Μηχανικές	37
1.1.1.4.3. Βιολογικές	38
1.1.1.5. Μέθοδοι Συντήρησης Χαρτιού	40
1.1.1.5.1. Βασικά Στάδια Συντήρησης Χαρτιού	40
1.1.1.5.2. Γενικές Προδιαγραφές Μεθόδων Αποξίνισης	44
1.1.1.5.3. Ειδικές Μέθοδοι Συντήρησης	45
1.1.1.5.3.1. Μέθοδοι Μαζικής Αποξίνισης	45

1.1.1.5.3.2. Μαζική Ολοκλήρωση και Στερέωση με Χαρτοπολτό (Leafcasting)	47
1.1.1.5.3.3. Διάσχιση του Χαρτιού και Στερέωση με Παρεμβολή Υγιούς Χάρτινου Πυρήνα (Paper Splitting)	48
1.1.1.5.4. Ξήρανση Υγρών Βιβλίων και Αρχείων	50
1.1.1.5.5. Δεοντολογία και Ηθική	52
1.1.2. Το Περιβάλλον – Σχεδιασμός – Διαχείριση	56
1.1.2.1. Εισαγωγή	56
1.1.2.2. Σχεδιασμός και Προτεραιότητες	57
1.1.2.2.1. Μέθοδοι Σχεδιασμού	57
1.1.2.2.2. Υπολογισμός Κινδύνων	57
1.1.2.2.3. Καθορισμός της Αξίας	58
1.1.2.2.4. Υπάρχοντες Πόροι	59
1.1.2.2.5. Θέματα Πολιτικής	59
1.1.2.2.6. Προληπτική Συντήρηση	60
1.1.2.2.7. Παρεμβατική Συντήρηση	61
1.1.2.3. Το Περιβάλλον – Φύλαξη και Έκθεση	62
1.1.2.3.1. Θερμοκρασία και Σχετική Υγρασία	62
1.1.2.3.2. Φωτισμός	64
1.1.2.3.3. Ποιότητα Αέρα	65
1.1.2.3.4. Κτιριακά Θέματα	67
1.1.2.3.5. Θέματα Ασφάλειας	68
1.1.2.3.5.1. Πυρκαγιά	68
1.1.2.3.5.2. Νερό	69
1.1.2.3.5.3. Βιολογικοί Παράγοντες	70
1.1.2.3.5.4. Κλοπή – Βανδαλισμός	71
1.2. Ειδικό Θεωρητικό Μέρος	72
1.2.1. Μεθοδολογία Αποτίμησης Καταλληλότητας Επεμβάσεων Συντήρησης	73
1.2.1.1. Περιγραφή Ερευνητικού Σχήματος	74
1.2.1.2. Μέθοδοι Διερεύνησης Ιδιοτήτων Χαρτιού	75
1.2.1.2.1. Μέθοδοι Ελέγχου της Αλλαγής της Υφής, Φύσης, Χημικής σύστασης και Δομής του Χαρτιού	79
1.2.1.2.1.1. Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (FOM)	79
1.2.1.2.1.2. Οπτική Μικροσκοπία (OM)	81
1.2.1.2.1.3. Ηλεκτρονική Μικροσκοπία – Χημική Μικροανάλυση (SEM – EDX)	82
1.2.1.2.1.4. Υπέρυθρη Φασματοσκοπία με Μετασχηματισμό Fourier σε Συνδυασμό με Μικροσκοπία (FTIR)	82
1.2.1.2.1.5. Μέτρηση pH του εν Ψυχρώ Υδατικού Εκχυλίσματος	83
1.2.1.2.1.6. Προσδιορισμός Αλκαλικού Αποθέματος (Alkali Reserve)	83
1.2.1.2.1.7. Προσδιορισμός Υδατοδιαλυτών Χλωριόντων	84
1.2.1.2.1.8. Ανίχνευση Προσθέτων και Λιγνίνης	84

1.2.1.2.1.9. Μέτρηση Βαθμού Πολυμερισμού της Κυτταρίνης	85
1.2.1.2.2. Μέθοδοι Ελέγχου της Αλλαγής Φυσικοχημικών και Φυσικομηχανικών Ιδιοτήτων	86
1.2.1.2.2.1. Υπολογισμός Αντοχής στις Αναδιπλώσεις (Folding Endurance)	86
1.2.1.2.2.2. Υπολογισμός Εκτατικών Ιδιοτήτων (Tensile Properties)	87
1.2.1.2.2.3. Υπολογισμός Αντίστασης στο Σκίσιμο (Tearing Resistance )	88
1.2.1.2.2.4. Μέτρηση της Υδατοαπορρόφησης	88
1.2.1.2.2.5. Υπολογισμός Χρωματικής Μεταβολής (CIE L*a*b*)	89
1.2.1.2.3. Τεχνητή Γήρανση	90
1.2.2. Η Συντήρηση στο Ιστορικό Αρχείο του ΚΚΕ	92

## **2. Πειραματικό Μέρος** **95**

2.1. Σχεδιασμός της Πειραματικής Διαδικασίας για την Αποτίμηση της Συντήρησης	96
2.2. Δείγματα: Περιγραφή, Ταξινόμηση, Κωδικοποίηση	100
2.3. Τεχνητή Γήρανση	105
2.4. Εξέταση Δειγμάτων ανά Μέθοδο	106
2.4.1. Εξέταση με το Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (F.O.M.)	106
2.4.1.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος	106
2.4.1.2. Αποτελέσματα – Συζήτηση	107
2.4.1.3. Μερικά Συμπεράσματα	110
2.4.2. Χρωματομετρία	111
2.4.2.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος	111
2.4.2.2. Αποτελέσματα	114
2.4.2.2.1. Δείγματα Αρχείου ΚΚΕ	114
2.4.2.2.1.1. Σειρά Δειγμάτων Α.	115
2.4.2.2.1.2. Σειρά Δειγμάτων Β.	118
2.4.2.2.1.3. Σειρά Δειγμάτων Δ.	121
2.4.2.2.2. Δείγματα που δεν ανήκουν στο Αρχείο του ΚΚΕ	124
2.4.2.2.3. Συνολική Χρωματική Μεταβολή κατά την Συντήρηση	126
2.4.2.3. Συζήτηση	128
2.4.2.4. Μερικά Συμπεράσματα	129
2.4.3. Μέτρηση Αντοχής στις Αναδιπλώσεις (Folding Endurance)	130
2.4.3.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος	130
2.4.3.2. Αποτελέσματα – Συζήτηση	132
2.4.3.3. Μερικά Συμπεράσματα	133
2.4.4. Μέτρηση pH του εν Ψυχρώ Υδατικού Εκχυλίσματος.	134
2.4.4.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος	134
2.4.4.2. Αποτελέσματα – Συζήτηση	135
2.4.4.3. Μερικά Συμπεράσματα	135
2.4.5. Μέτρηση Πάχους Χαρτιού και Ανίχνευση Λιγνίνης – Άλλες Παρατηρήσεις.	136

2.5. Στατιστική Επεξεργασία	137
2.6. Γενική Συζήτηση	140
2.7. Γενικά Συμπεράσματα	143
2.7.1. Για την Καταλληλότητα των Κριτηρίων και των Μεθόδων που Χρησιμοποιήθηκαν για την Αποτίμηση	143
2.7.2. Για την Καταλληλότητα των Υλικών και των Επεμβάσεων Συντήρησης	144
2.7.3. Για το Σχεδιασμό των Συνθηκών του Περιβάλλοντος Χώρου	145
2.8. Προοπτικές	146
2.8.1. Προτάσεις Αριστοποίησης των Επεμβάσεων Συντήρησης στο Ιστορικό Αρχείο του ΚΚΕ	146
2.8.2. Προοπτικές της Έρευνας για τη Διαμόρφωση Μεθόδων Αποτίμησης Επεμβάσεων Συντήρησης	148
<b>3. Βιβλιογραφία</b>	<b>150</b>
3.1. Ξενόγλωσση	150
3.2. Ελληνική	156
3.3. Πρότυπα	157
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</b>	<b>159</b>

## Περίληψη

Στην εργασία αυτή επιχειρείται για πρώτη φορά στην Ελλάδα η διερεύνηση κριτηρίων και μεθόδων για την αποτίμηση της καταλληλότητας επεμβάσεων συντήρησης χαρτιού, η εφαρμογή τους με στόχο την αποτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης του Αρχείου του ΚΚΕ μετά την πλημμύρα του 1994 και η αξιολόγηση των συνθηκών φύλαξης του Αρχείου.

Ο στόχος της συντήρησης χαρτιού είναι η επιβράδυνση της χημικής, μηχανικής και αισθητικής υποβάθμισης του. Στο αρχείο του ΚΚΕ επιλέχθηκε μετά από βιβλιογραφική έρευνα και την σύμφωνη γνώμη ειδικών ως μέθοδος για την επίτευξη του στόχου αυτού η αποξίνιση με υδατικό αιώρημα υδροξειδίου του ασβεστίου.

Τα κριτήρια και οι μέθοδοι που αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση της επέμβασης συντήρησης σχετίζονται άμεσα με τις βασικές ιδιότητες του χαρτιού των οποίων η βελτίωση αποτελεί στόχο της συντήρησης. Για τον έλεγχο των χημικών ιδιοτήτων επιλέχθηκε η μέτρηση του pH, των μηχανικών η αντοχή στις αναδιπλώσεις, των οπτικών η μέτρηση των χρωματικών συντεταγμένων  $L^*$  και  $b^*$  του συστήματος CIEL\*a\*b\* και για τον έλεγχο της δομής η εξέταση με το μικροσκόπιο οπτικών ινών. Τα κριτήρια που τέθηκαν ήταν αφ' ενός μεν η βελτίωση των μετρούμενων ιδιοτήτων σαν άμεσο αποτέλεσμα της συντήρησης αφ' ετέρου δε η επιβράδυνση της υποβάθμισης τους σαν έμμεσο αποτέλεσμα της συντήρησης μετά από τεχνητή θερμική γήρανση για 3 και 6 ημέρες στους 105°C. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν χαρτί που ανήκε στο Αρχείο του ΚΚΕ με σημαντικό περιεχόμενο λιγνίνης και άλλα δείγματα ιστορικού χαρτιού που δεν περιέχουν ανιχνεύσιμη ποσότητα λιγνίνης, σύγχρονα των δειγμάτων του αρχείου του ΚΚΕ.

Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση των μετρούμενων ιδιοτήτων και επιβράδυνση του ρυθμού της υποβάθμισης τους σαν αποτέλεσμα της συντήρησης, με εξαίρεση τις οπτικές ιδιότητες των δειγμάτων που περιέχουν λιγνίνη. Τα δείγματα αυτά παρουσίασαν αισθητό κιτρίνισμα, σαν συνέπεια της οξειδωσης της λιγνίνης στο έντονα αλκαλικό περιβάλλον του λουτρού αποξίνισης.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν και τα κριτήρια που τέθηκαν αποδείχτηκαν αποτελεσματικά, αφού έδωσαν ικανοποιητικές διαφοροποιήσεις των μετρούμενων ιδιοτήτων των δειγμάτων ανάλογα με τις διεργασίες που αυτά υπέστησαν. Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες έδειξε έντονο συσχετισμό των χρωματικών συντεταγμένων με την μηχανική αντοχή στα δείγματα που δεν περιέχουν λιγνίνη.

Όσον αφορά τις συνθήκες φύλαξης του αρχείου, η εργασία αυτή επιβεβαίωσε ότι είναι σε συμφωνία με τα διεθνή πρότυπα, εγγυούμενες έτσι την πλέον μακρόχρονη δυνατή διατήρησή του.



## Abstract

In this study, the investigation of criteria and methods for the evaluation of the suitability of paper conservation interventions, the application of them in order to evaluate the conservation interventions in the Historical Archives of KKE (Greek Communist Party) after the flood of 1994 and the assessment of the environmental conditions of its storage, are attempted for the first time in Greece.

The goal of paper conservation is to slow down its chemical, mechanical and esthetic deterioration. After bibliographical research and with experts' consensus, it was decided that in order to meet the conservation needs of the Archives of KKE, deacidification with calcium hydroxide suspension in water would be applied.

The criteria and the methods decided to be used for the evaluation of the conservation treatment are directly related to the fundamental properties of paper whose improvement or deceleration of deterioration is the target of conservation. For the examination of the chemical properties pH measurement was selected, for the mechanical folding endurance, for the optical the measurement of the colour coordinates  $L^*$  and  $b^*$  of the CIEL\*a\*b\* system and for the structure examination the fiber optics microscopy. The criteria set were on the one hand the improvement of the measured properties as a direct result of the treatment and on the other hand the deceleration of their deterioration as an indirect result after 3 and 6 days of accelerated ageing at 105°C. The samples used include papers that belong to the KKE Archives with a significant lignin content and other samples of historical paper that do not contain detectable quantities of lignin, contemporary to the KKE Archives.

The results showed improvement of the measured properties and deceleration of their deterioration as a result of the treatment with one exception: the optical properties of the samples containing lignin. These samples exhibited noticeable yellowing as a result of lignin oxidation in the highly alkaline environment of the deacidification bath.

The methods that were used and the criteria that were set proved to be effective since they differentiated the measured properties of the samples accordingly to the processes they were subjected. The principal component analysis revealed a strong relation between the colour coordinates and the mechanical strength of the samples that do not contain lignin.

With regard to storage conditions, this study has confirmed that they conform to the international standards, guaranteeing the longest possible preservation.

# 1. Θεωρητικό Μέρος

## 1.1. Γενικό Θεωρητικό Μέρος

### 1.1.1. Το Χαρτί: Ιστορία – Παραγωγή – Ιδιότητες – Αίτια Φθοράς – Μέθοδοι Συντήρησης

#### 1.1.1.1. Συνοπτική Ιστορία του Χαρτιού<sup>1</sup>

Τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο σαν υποστρώματα γραφής και καλλιτεχνικής δημιουργίας ήταν λίθοι στην φυσική τους μορφή και κατόπιν λίθοι κατεργασμένοι, πλίνθινες πλάκες και μέταλλα, τα οποία χαράσσονταν ή σκαλίζονταν με αιχμηρά αντικείμενα.

Τα φύλλα (π.χ. του φοίνικα) αλλά και ο φλοιός ορισμένων δέντρων εξυπηρέτησαν τον ίδιο σκοπό μετά από απλή επεξεργασία. Η εφεύρεση της περγαμηνής (parchment από επεξεργασία πρόβειου δέρματος και vellum από δέρμα μοσχαριού) αποδίδεται στον βασιλιά της Περγάμου (197-159 π.χ.), αλλά υπάρχουν στοιχεία ότι η χρήση της ξεκινά από το 1500 περίπου π.Χ. Ο Αιγυπτιακός πάπυρος αποτελεί ίσως το μέσο γραφής των αρχαίων που πλησιάζει περισσότερο στο χαρτί. Παρόλα αυτά, δεν θεωρείται πραγματικό χαρτί γιατί κατασκευαζόταν από αλλεπάλληλα στρώματα κοπανισμένου κορμού πάπυρου κολλημένα μεταξύ τους με αμυλόκολλα.

Το πρώτο πραγματικό χαρτί<sup>2</sup> εμφανίστηκε στην Κίνα. Ανακαλύφθηκε από τον Τσάι Λουν περί το 105 μ.Χ. Υπάρχουν ενδείξεις ότι πριν από 2000 χρόνια περίπου κατασκευαζόταν εκεί χαρτί από άχρηστα υφάσματα, δίχτυα, ίνες μπαμπού, ραμή (είδος φυτού σαν το λινάρι) και από φλοιό μουριάς (mulberry inner bark). Η τεχνική ήταν απλή. Μετά την πολτοποίηση της πρώτης ύλης, ακολουθούσε αραίωση του πολτού με νερό μέσα σε κάδους. Το χαρτί σχηματιζόταν με απόθεση του πολτού σε κόσκινα κατασκευασμένα από μπαμπού και μεταξωτά νήματα όπως αυτά σηκώνονταν μέσα από τούς κάδους. Το αρχαιότερο χαρτί (150 μ.Χ.) που έχει ανακαλυφθεί βρέθηκε στο Μεγάλο Σινικό Τείχος και ήταν κατασκευασμένο από κουρέλια.

---

<sup>1</sup> Κλασικό έργο σχετικό με την ιστορία του χαρτιού που θεωρείται βιβλιογραφία αναφοράς είναι το βιβλίο του Dard Hunter, *Papermaking, the history and technique of an ancient craft*, New York, 1974. Επίσης βλ.

- T. Barrett, *Early European Papers / Contemporary Conservation Papers - A Report On Research Undertaken From Fall 1984 Through Fall 1987*, *The Paper Conservator*, 13, 1989, σελ. 1-108.
- Thomas Collings, Derek Milner, *A New Chronology of Papermaking Technology*, *The Paper Conservator*, 14, 1990, σελ. 58-62.
- *The Oxford Papers, Proceedings of the British Association of Paper Historians Fourth Annual Conference held at St. Edmund Hall, Oxford, 17 – 19 September 1993*, *Studies in British Paper History*, 1, 1996.

<sup>2</sup> Πραγματικό χαρτί θεωρείται το υλικό που προέρχεται από σαφώς διαχωρισμένες ίνες, οι οποίες αποτιθέμενες υπό μορφή φύλλου από υδατικό αιώρημα πλέκονται μεταξύ τους.

Τον 4<sup>ο</sup> αιώνα κατασκευάζεται χαρτί από τα ίδια υλικά, αλλά εισάγεται το κολλάρισμα με φυτική κόλλα ή άμυλο. Τον 8<sup>ο</sup> αιώνα (751) Κινέζοι χαρτοποιοί έρχονται στην Σαμαρκάνδη. Το 793 παράγεται για πρώτη φορά χαρτί στην Βαγδάτη κολλαρισμένο με άμυλο. Τον 8<sup>ο</sup> και τον 9<sup>ο</sup> αιώνα κατασκευαζόταν χαρτί στην Αίγυπτο από πρώτη ύλη βαμβάκι ή λινό κολλαρισμένο με αμυλόκολλα. Από την Βόρεια Αφρική η τέχνη της χαρτοποιίας περνάει στην Ισπανία. Ο πρώτος Ευρωπαϊκός χαρτόμυλος που αναφέρεται στην ιστορία ήταν στην Χαντίνα κοντά στην Valencia (1151). Το 1276 λειτουργεί στο Fabriano της Ιταλίας ο πρώτος Ιταλικός χαρτόμυλος.

Από τον 13<sup>ο</sup> αιώνα το κολλάρισμα αρχίζει να γίνεται με ζωική κόλλα (ψαρόκολλα). Επίσης με την εισαγωγή μεταλλικών κόσκινων παρουσιάζονται στο τέλος του 13<sup>ου</sup> αιώνα τα υδατόσημα. Το 1228 έχουμε τα πρώτα Γερμανικά χειρόγραφα σε χαρτί και γύρω στο 1390 λειτουργεί ο πρώτος Γερμανικός χαρτόμυλος.

Η ανακάλυψη της τυπογραφίας (1448), η αναγέννηση και η μεταρρύθμιση (1517) δημιούργησαν μεγάλες ανάγκες σε χαρτί.

Μέχρι το τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα στη Δύση το χαρτί κατασκευαζόταν από άχρηστα υφάσματα. Οι χαρτοποιοί της εποχής, αφού τα έκοβαν σε μικρά κομμάτια τα άφηναν στο νερό από 5 έως 30 ημέρες να ζυμωθούν, πρόσθεταν ασβέστη και τα κοπάνηγαν μέχρι να χωριστούν σε ίνες. Αραιώναν τον πολτό με νερό και τον τοποθετούσαν σε ξύλινους κάδους, μέσα στους οποίους βύθιζαν κόσκινα. Σηκώνοντας τα κόσκινα οι ίνες κατακάθιζαν σ' αυτά και σχημάτιζαν το φύλλο του χαρτιού. Τα φύλλα αυτά τα τοποθετούσαν πάνω σε τεντωμένα υφάσματα (κετσέδες), τα πίεζαν για να φύγει το νερό και τα άφηναν να στεγνώσουν. Το κολλάρισμα γινόταν με ζωική κόλλα και στύψη και η λείανση των φύλλων με γυαλισμένες πέτρες, τεχνική που λίγο αργότερα αντικαταστάθηκε με μηχανικό σφυρί για μαζικότερη παραγωγή.

Από το 1680 η παραγωγή χαρτιού άρχισε να γίνεται με μηχανές. Τότε εμφανίζεται στην Ολλανδία η μηχανή Hollander, η οποία αντικαθιστά σταδιακά μέσα σε μια εκατονταετία την προηγούμενη διαδικασία πολτοποιήσης. Η μηχανή αυτή άλεθε με μηχανικό τρόπο την πρώτη ύλη και έτσι παρασκευαζόταν πολτός. Το 1798 παρουσιάζεται από τον Νικόλας-Λουίς Ρόμπερτς μια μηχανή για παραγωγή μακρών ρολών χαρτιού (15 μέτρα). Το κολλάρισμα με λουτρό ζωικής κόλλας αντικαθίσταται με κολλάρισμα από ρητίνη κωνοφόρων και στύψη. Το 1806 τελειοποιούνται οι υπάρχουσες μηχανές με την προσθήκη μακρών παραλληλόγραμμων ή κυκλικών κόσκινων (μηχανή Fourdiner), ενώ το 1820 εισάγεται το στέγνωμα των ρολών του χαρτιού με κυλίνδρους θερμαινόμενους με ατμό καθώς και διάφοροι αυτοματισμοί.

Το 1765 αρχίζει παράλληλα η έρευνα για πιο φτηνές πρώτες ύλες. Δοκιμές γίνονται με ξυλοπολτό από κωνοφόρα, αμπέλια και άχυρα και το 1774 χρησιμοποιείται άχρηστο χαρτί. Το 1780 στη Γαλλία κατασκευάζεται χαρτί από άχυρο. Γύρω στο 1840-1845 αρχίζει να χρησιμοποιείται ο ξυλοπολτός σαν πρώτη ύλη και το 1846 καθιερώνεται με την επικράτηση της μηχανής πολτοποιήσης του ξύλου. Έτσι ξεκινά η ιστορία της σύγχρονης χαρτοποιίας. Το 1851

παράγεται χαρτί με επεξεργασία του ξυλοπολτού με καυστικό νάτριο (soda process – Hugh Burgess & Charles Watt) και το 1857 επινοείται η όξινη μέθοδος πολτοποίησης (sulfite process – Benjamin & Richard Tilgham). Το 1884 χρησιμοποιούνται θειικά άλατα για επεξεργασία του πολτού (sulfate pulp – Kraft process – Carl Dahl). Από τότε η βιομηχανία χαρτιού ακολουθεί τις σύγχρονες εξελίξεις της τεχνολογίας, αυτοματοποιείται και αναπτύσσει μεθόδους συνεχούς και μαζικής παραγωγής χαρτιού.

### 1.1.1.2. Παραγωγή του Χαρτιού

Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η κατασκευή του χαρτιού έχει παραμείνει αναλλοίωτη από την αρχική σύλληψή της. Όλες οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της παραγωγής του χαρτιού είχαν και έχουν σαν στόχο την αύξηση της παραγωγής, την μείωση του κόστους και την εξεύρεση φτηνών και εύχρηστων πρώτων υλών, με όχι πάντα θετικό αποτέλεσμα στην ποιότητα του χαρτιού.

Οι σύγχρονες μέθοδοι παραγωγής χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη το ξύλο, το οποίο πολτοποιείται με διάφορες μεθόδους. Ο ξυλοπολτός, ανάλογα με την ποιότητα του χαρτιού που παράγεται υφίσταται διάφορες μηχανικές ή/και χημικές επεξεργασίες. Οι μέθοδοι πολτοποίησης καθορίζουν κατά μεγάλο ποσοστό τις ιδιότητες του παραγόμενου χαρτιού και τα κύρια είδη πολτών είναι τα εξής<sup>3</sup>:

Common name	Chemical treatment	Yield (%)
Groundwood	None	93-98
Refiner mechanical	None	93-98
Thermomechanical	Steam	91-95
Chemithermomechanical	Sulfite	86-92
Chemimechanical	NaOH, sulfite	85-90
Semichemical	Neutral sulfite	65-85
	NaOH + Na <sub>2</sub> S (kraft)	
	Na <sub>2</sub> S + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (green liquor)	
	NaOH + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (nonsulfur)	
	NaOH (soda)	
High-yield chemical	NaOH + Na <sub>2</sub> S, or sulfite	55-70
Full chemical		
Kraft	NaOH + Na <sub>2</sub> S	40-55
Polysulfide	NaOH + Na <sub>2</sub> S + S	45-60
Soda-AQ	NaOH + Anthraquinone	45-55
Acid sulfite	Acid sulfite (Ca, Na, Mg, NH <sub>3</sub> )	45-55
Bisulfite	Bisulfite (Na, Mg, NH <sub>3</sub> )	45-60
Multistage sulfite		
Stora	Sulfite-bisulfite; SO <sub>2</sub>	45-55
Sivola	Sulfite, alkaline sulfite	45-55
Dissolving	Prehydrolysis kraft or sulfite	35

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των κυριότερων μεθόδων πολτοποίησης με βάση την απόδοση<sup>4</sup>

<sup>3</sup> C. Dence, D. Reeve, *Pulp Bleaching, Principles and Practice*, Atlanta, Georgia, 1996, σελ. 27-52.

<sup>4</sup> Πηγή: Ibid. σελ. 34, πίνακας 3

1. **Μηχανικός Πολτός (Mechanical Pulp, MP)**<sup>5</sup>: Ο διαχωρισμός των ινών του ξύλου επιτυγχάνεται με μηχανική επεξεργασία του. Οι μηχανικοί πολτοί περιέχουν σημαντικές ποσότητες λιγνίνης και έτσι έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τους χημικούς πολτούς. Για τον ίδιο λόγο όμως παράγουν χαμηλότερης ποιότητας χαρτί που κιτρινίζει γρήγορα κατά την έκθεσή του στο φως.

1.1. **Groundwood Pulp**: Πολτοί που παρασκευάζονται από προσεκτικά καθαρισμένους και αποφλοιωμένους κορμούς δέντρων οι οποίοι πιέζονται πάνω σε μια ταχέως περιστρεφόμενη μυλόπετρα που αφαιρεί τις ίνες του ξύλου από τη θέση τους. Η αντοχή των ινών μπορεί να ρυθμιστεί χρησιμοποιώντας πέτρες διαφορετικών επιφανειών.

1.1.α. **Stone Groundwood Pulp (SG)**: Παραδοσιακοί πολτοί.

1.1.β. **Pressure Groundwood Pulp (PG)**: Νεότερη μέθοδος κατά την οποία χρησιμοποιείται πολύ μεγαλύτερη πίεση και θερμοκρασία από την παραδοσιακή. Έτσι παρασκευάζονται πολτοί μεγαλύτερης αντοχής.

1.2. **Refiner Wood Pulp**: Παρασκευάζεται με λειοτριβήση κομματιών ξύλου, πριονιδιών ή υπολειμμάτων άλλων επεξεργασιών ξύλου ανάμεσα από δύο περιστρεφόμενες μεταλλικές πλάκες.

1.2.α. **Refiner Mechanical Pulp (RMP)**: Η απλούστερη μέθοδος της κατηγορίας κατά την οποία η πρώτη ύλη προθερμαίνεται πριν την επεξεργασία, χωρίς άλλη προσφορά ενέργειας πλην της μηχανικής.

1.2.β. **Thermomechanical Pulp (TMP)**: Απαιτεί υψηλότερες θερμοκρασίες από την RMP.

1.2.γ. **Chemimechanical Pulp (CMP)**: RMP που παρασκευάζεται με την βοήθεια χημικών.

1.2.δ. **Alphabet Pulps**: Υπάρχουν τόσες πολλές παραλλαγές της επεξεργασίας RMP και τόσα πολλά ακρωνύμια (όπως CTMP: Chemithermomechanical Pulp) ώστε οι παραγόμενοι πολτοί έχουν γίνει γνωστοί σαν «alphabet pulps».

2. **Χημικός Πολτός (Chemical Pulp, CP)**: Πολτός που παρασκευάζεται από την επεξεργασία του ξύλου με διάφορα χημικά. Η χημική επεξεργασία αφαιρεί μεγάλα ποσοστά της μη ινώδους λιγνίνης και μειώνει την απόδοση. Το χαρτί που παρασκευάζεται από χημικούς πολτούς έχει γενικά καλύτερες μηχανικές αντοχές και οπτικές ιδιότητες από αυτό από μηχανικούς πολτούς. Οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής χημικών πολτών είναι οι εξής τρεις, των οποίων έχουν αναπτυχθεί πολλές παραλλαγές:

2.1. **Sulfite Process**: Όξινη μέθοδος πολτοποίησης κατά την οποία χρησιμοποιείται διθειώδες ασβέστιο και διαλυμένο διοξείδιο του θείου σε σχετικά χαμηλές

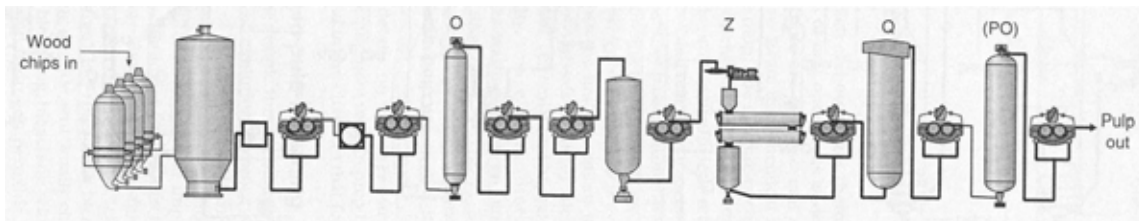
<sup>5</sup> R. Gordon, G. Collins, *Glossary of Printing and Papermaking Terms*, Tappi Press, 1996, σελ. 109.

θερμοκρασίες (135°C) ώστε να αποφευχθεί εκτεταμένη όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης. Οι πολτοί που παράγονται έχουν μικρότερη αντοχή από τους πολτούς kraft αλλά λευκαίνονται ευκολότερα.

**2.2. Soda Process:** Αλκαλική μέθοδος πολτοποίησης, πρόδρομος της μεθόδου kraft, κατά την οποία χρησιμοποιείται διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου σαν χημικό πολτοποίησης.

**2.3. Sulfate (Kraft) Process:** Εξέλιξη της soda process. Εκτός από υδροξείδιο του νατρίου χρησιμοποιείται και θειούχο νάτριο σαν χημικό πολτοποίησης. Η κατεργασία διαρκεί 1 – 2 ώρες και απαιτεί θέρμανση στους 150 με 180°C. Η μέθοδος kraft παράγει πολτούς με πολύ καλές μηχανικές αντοχές (kraft στα Γερμανικά σημαίνει δύναμη, αντοχή). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η δυσκολότερη λεύκανση του πολτού kraft.

**3. Ημιχημικοί πολτοί (Semichemical pulps):** Χημικοί πολτοί των οποίων η επεξεργασία σταματά σε υψηλότερες αποδόσεις και περιεκτικότητες λιγνίνης από των καθαρά χημικών πολτών. Οι πολτοί αυτοί συνήθως χρησιμοποιούνται αλεύκαστοι στα χαρτοκιβώτια συσκευασίας.

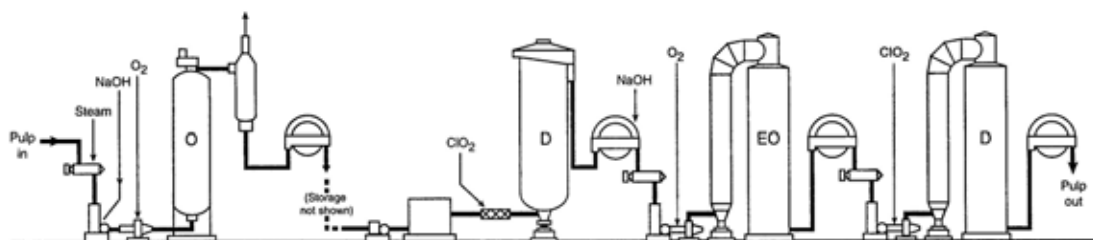


*Εικόνα 1: Σχηματικό διάγραμμα επεξεργασίας ξυλοπολτού. Στο αρχικό στάδιο πραγματοποιείται η πολτοποίηση και μετά η λεύκανση με οξυγόνο (O), όζον (Z) και υπεροξείδιο του υδρογόνου (P) σε 4 στάδια<sup>6</sup>*

Την πολτοποίηση συνήθως ακολουθεί η λεύκανση, η οποία είναι μια χημική επεξεργασία που έχει σαν σκοπό την αύξηση της λαμπρότητας (brightness) του παραγόμενου χαρτιού. Η λεύκανση επιτυγχάνεται είτε με την διαλυτοποίηση και απομάκρυνση των έγχρωμων συστατικών του πολτού (κύρια της λιγνίνης, σε φυσική ή τροποποιημένη μορφή από την χημική πολτοποίηση) είτε με τον αποχρωματισμό τους. Τα χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό μπορεί να είναι το χλώριο, τα υποχλωριώδη άλατα, το διοξείδιο του χλωρίου, το οξυγόνο, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, το όζον καθώς και συνδυασμοί τους σε διάφορες συνθήκες και με προσθήκη διαφόρων προσθέτων. Η πρακτική εφαρμογή απαιτεί επανάληψη των διαδικασιών με τροποποιημένες συνθήκες καθώς και συνδυασμούς μεθόδων (bleaching sequences).

<sup>6</sup> Πηγή: Ibid. σελ. 22, εικόνα 9α.





Εικόνα 2: : Διάγραμμα ροής μονάδας λεύκανσης χαρτοπολτού<sup>7</sup>

Oxidant	Function	Pulp Type <sup>a</sup>	Advantages	Disadvantages
Chlorine	Oxidize and chlorinate lignin	C	Effective, economical delignification; good particle removal	Organochlorine formation; highly corrosive
Hypochlorite	Oxidize, decolorize, and solubilize lignin	C	Easy to make and use; Low cost	Can cause loss of pulp strength; chloroform formation
Chlorine dioxide	1) Oxidize, decolorize, and solubilize lignin 2) In small amounts with Cl <sub>2</sub> , protects against cellulose degradation	C	Achieves high brightness without loss of pulp strength; good particle bleaching	Must be made on-site; cost; some organochlorine formation; highly corrosive
Oxygen	Oxidize and solubilize lignin	C	Low chemical cost; provides chloride-free effluent for recovery	Requires significant capital equipment when used in large amounts; potential loss of pulp strength
Hydrogen peroxide	Oxidize and decolorize lignin	C or M	Easy to use; low capital cost	High chemical cost; poor particle bleaching; can cause loss of pulp strength
Ozone	Oxidize, decolorize, and solubilize lignin	C	Effective; provides chloride-free effluent for recovery.	Must be made on-site; cost; poor particle bleaching and pulp strength
<u>Reductant</u> Hydrosulfite	Reduce and decolorize lignin in high-yield pulps	M	Easy to use; low capital cost	Decomposes readily; limited brightness gain
<u>Enzymes</u> Xylanase	Catalyze xylan hydrolysis and aid in lignin removal	C	Easy to use; low capital cost	Limited effectiveness; cost
<u>Alkali</u> Sodium hydroxide	Hydrolyze chlorolignin and solubilize lignin	C	Effective and economical	Darkens pulp
<u>Chelants</u> EDTA or DTPA	Remove metal ions	C	Improves peroxide selectivity and efficiency	Cost

<sup>a</sup>C = chemical; M = mechanical.

Πίνακας 2: Τρόπος δράσης, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων λεύκανσης χαρτοπολτού<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Πηγή: Ibid. σελ. 21, εικόνα 7.

<sup>8</sup> Πηγή: Ibid. σελ. 14, πίνακας 6.

Η δημιουργία του χαρτιού γίνεται στην χαρτοποιητική μηχανή (μηχανή Fourdiner). Ο πολτός μεταφέρεται με συνεχή ροή και αποτίθεται πάνω σε κινούμενο πλέγμα σχηματίζοντας ένα συνεχές φύλλο χαρτιού, το οποίο πιέζεται, στεγνώνεται και μετά τυλίγεται σε ρολό. Στο στάδιο αυτό προστίθενται υλικά επιβάρυνσης (fillers) και γίνεται και το κολλάρισμα (sizing) του χαρτιού.

Ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα του παραγόμενου χαρτιού, τροποποιείται η γραμμή παραγωγής και χρησιμοποιούνται μίγματα πολτών σε διάφορες αναλογίες. Έτσι επιτυγχάνονται διαφορετικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος που ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται παρουσιάζει διαφορετική αντοχή, υφή, χρωματισμό, υδατοαπορροφητικότητα κ.λπ.

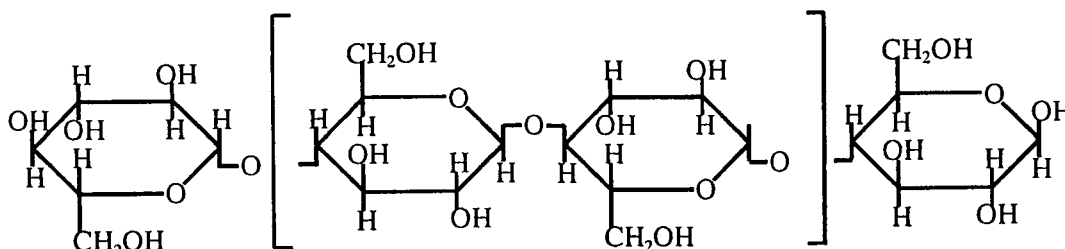
### 1.1.1.3. Ιδιότητες του Χαρτιού

Το βασικό συστατικό του χαρτιού είναι η κυτταρίνη. Απαραίτητη προϋπόθεση για την καλή ποιότητα του χαρτιού είναι η όσον το δυνατόν μεγαλύτερη περιεκτικότητά του σε κυτταρίνη. Τα πολύ καλής ποιότητας ιστορικά χαρτιά έχουν κατασκευαστεί από καθαρό λινό ή βαμβάκι που είναι σχεδόν καθαρή κυτταρίνη. Τα χαρτιά που κατασκευάστηκαν από τις αρχές του 1800 και μετά περιέχουν ημικυτταρίνες, λιγνίνη και διάφορα πρόσθετα (ρητίνες, στύψη κ.λπ.) λόγω της αλλαγής των πρώτων υλών (ξύλοπολτός) και των μεθόδων παραγωγής χαρτιού, με δυσμενείς συνέπειες στην ποιότητα του χαρτιού.

#### 1.1.1.3.1. Χημική Σύσταση και Δομή του Χαρτιού

##### 1.1.1.3.1.1. Κυτταρίνη

Η κυτταρίνη<sup>9</sup> (Εικόνα 3) είναι μια οργανική ένωση με χημικό τύπο  $[C_6H_{10}O_5]_n$ , και ανήκει στην κατηγορία των μη σακχαροειδών ομοπολυσακχαριτών. Η κυτταρίνη αποτελείται από  $n$  μόρια β-γλυκόζης  $C_6H_{12}O_6$  συνδεδεμένα με 1 → 4 β γλυκοζιτικούς δεσμούς με ταυτόχρονη απόσπαση  $n-1$  μορίων νερού<sup>10</sup> (Εικόνα 4).

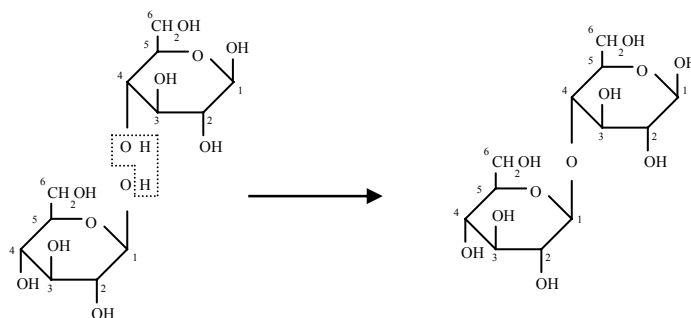


Εικόνα 3: Μακρομόριο κυτταρίνης

Το μοριακό της βάρος δεν είναι σαφώς καθορισμένο και κυμαίνεται μεταξύ 100.000 - 1.000.000. Άμεσα συνδεδεμένη με την ποιότητα της κυτταρίνης (άρα και του χαρτιού που παράγεται από αυτήν) είναι η έννοια του βαθμού πολυμερισμού. Όσο πιο μεγάλος είναι ο βαθμός πολυμερισμού, τόσο πιο μεγάλο είναι το μήκος του μακρομορίου της κυτταρίνης. Ο βαθμός πολυμερισμού για το βαμβάκι κυμαίνεται γύρω στο 7.700, για την κυτταρίνη από ξύλο γύρω στο 3.000 ενώ για τον επεξεργασμένο ξυλοπολτό από 600 έως 1.600.

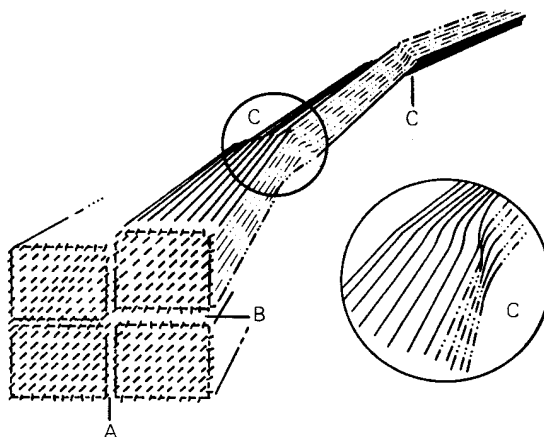
<sup>9</sup> Μ. Κούκιος, *Η Παραγωγή Χαρτοπολτού σε συνδυασμό με την Παραλαβή Ζυμώσιμων Σακχάρων από τα Ελληνικά Άχνηρα*, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1975, σελ. 15-20.

<sup>10</sup> Ν. Αλεξάνδρου, Γ. Βάρβογλη, *Μαθήματα Οργανικής Χημείας*, Θεσσαλονίκη 1981, (251 – 252)



Εικόνα 4: Σχηματισμός δεσμού ανάμεσα σε δύο μόρια γλυκόζης και απόσπαση ενός μορίου νερού (1→4 β-γλυκοζιτικός δεσμός)

Τα μικροϊνίδια του χαρτιού αποτελούνται από μακρομόρια κυτταρίνης διατεταγμένα παράλληλα μεταξύ τους. Στα σημεία εκείνα που ο παραλληλισμός των μορίων είναι μεγάλος σχηματίζονται οι κρυσταλλικές περιοχές. Οι υπόλοιπες περιοχές χαρακτηρίζονται σαν άμορφες<sup>11</sup>. Η κρυσταλλικότητα του φυσικού βαμβακιού είναι περίπου 70% και του σουλφωτικού ξυλοπολτού 65%. Η ευκινησία των αλυσίδων στις άμορφες περιοχές χαρίζει ευκαμψία στο χαρτί, ενώ η σταθεροποίηση των αλυσίδων στις κρυσταλλικές προσφέρει στην αντοχή και την ελαστικότητα. Οι άμορφες περιοχές είναι πιο ευάλωτες στη χημική προσβολή, επειδή οι κρυσταλλικές δεν επιτρέπουν την είσοδο των μορίων των αντιδραστηρίων σε αυτές<sup>12</sup>.<sup>13</sup> (Εικόνα 5, Εικόνα 6, Εικόνα 7, Εικόνα 8)



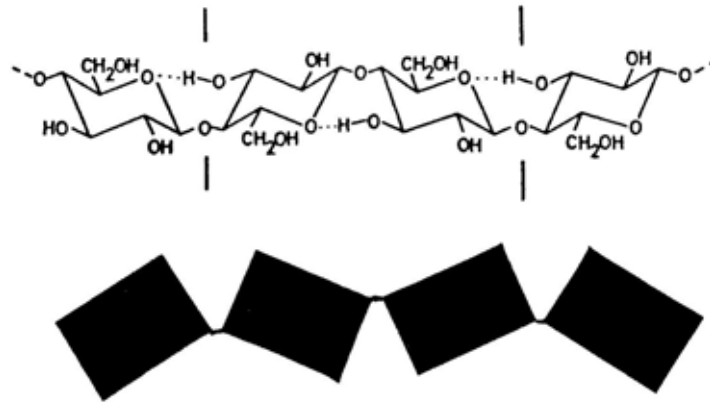
Εικόνα 5: Δομή της κυτταρίνης. Κάθε παύλα αναπαριστά τομή ενός μορίου κυτταρίνης. A: Κρυσταλλική περιοχή υψηλής τάξης. B: Άμορφη περιοχή μικρής αταξίας. C: Άμορφες περιοχές μεγάλης αταξίας<sup>14</sup>

<sup>11</sup> J.Poisson, *Script: Papierrestaurierung kurs I – II*, Centro del Bel Libro, Ascona (Σημειώσεις μαθημάτων συντήρησης χαρτιού της σχολής Centro del Bel Libro), α.χ.

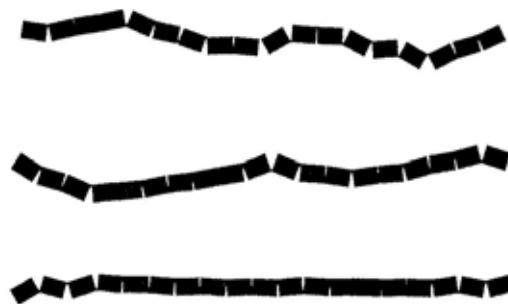
<sup>12</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, *Determination of the Cellulose Scission Route in the Hydrolytic and Oxidative Degradation of Paper*, Restaurator, 15:1, 1994 σελ. 28.

<sup>13</sup> V.Daniels, *A Study of the Crystallinity of Paper Before and After Conservation*, The Paper Conservator, 10, 1986, σελ. 70-72.

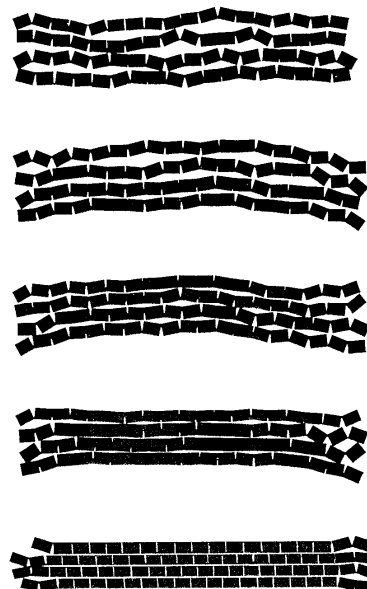
<sup>14</sup> Πηγή: H. Szczepanowska, *Biodeterioration of Art Objects on Paper*, The Paper Conservator, 10, 1986, σελ. 37, εικόνα 23.



Εικόνα 6: Μοντέλο δομής μακρομορίου κυτταρίνης<sup>15</sup>



Εικόνα 7: Διάφοροι βαθμοί τάξης της κυτταρινικής αλυσίδας<sup>16</sup>

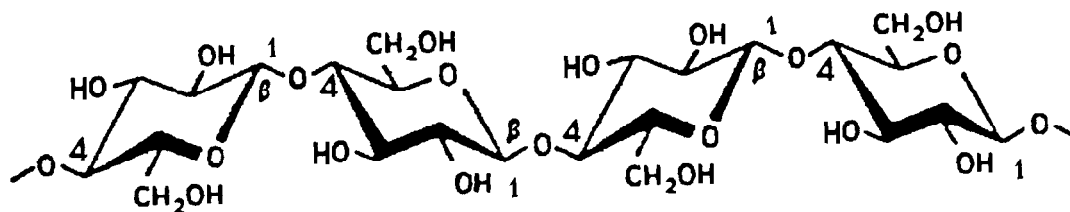


Εικόνα 8: Δομές κυτταρίνης με αυξανόμενη τάξη και κρυσταλλικότητα. Η διαδικασία της γήρανσης, φυσικής ή τεχνητής προκαλεί παρόμοια μεταβολή της δομής (από πάνω προς τα κάτω στο σχήμα)<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Πηγή: R. Atalla, *The Crystallinity of Cellulosic Fibers*, στο: Williams, J.C., ed., *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II*, *Advances in Chemistry Series*, 193, 1981, σελ. 171, εικ. 1.

<sup>16</sup> Πηγή: *Ibid.*, σελ. 171, εικ.2.

Στον κρύσταλλο της κυτταρίνης I, δηλαδή της φυσικής κυτταρίνης (η μερσερισμένη χαρακτηρίζεται σαν κυτταρίνη II και έχει άλλη κρυσταλλική δομή) η δομική μονάδα αποτελείται από 4 μόρια D-γλυκόζης. Στην κατεύθυνση της αλυσίδας, η επαναλαμβανόμενη μονάδα είναι ένα μόριο κελλοβιόζης (1,03 nm - 2 μόρια γλυκόζης) και κάθε μόριο γλυκόζης σχηματίζει γωνία 180° με τα διπλανά του, δίνοντας στη κυτταρίνη τη μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Αλυσίδα κυτταρίνης<sup>18</sup>

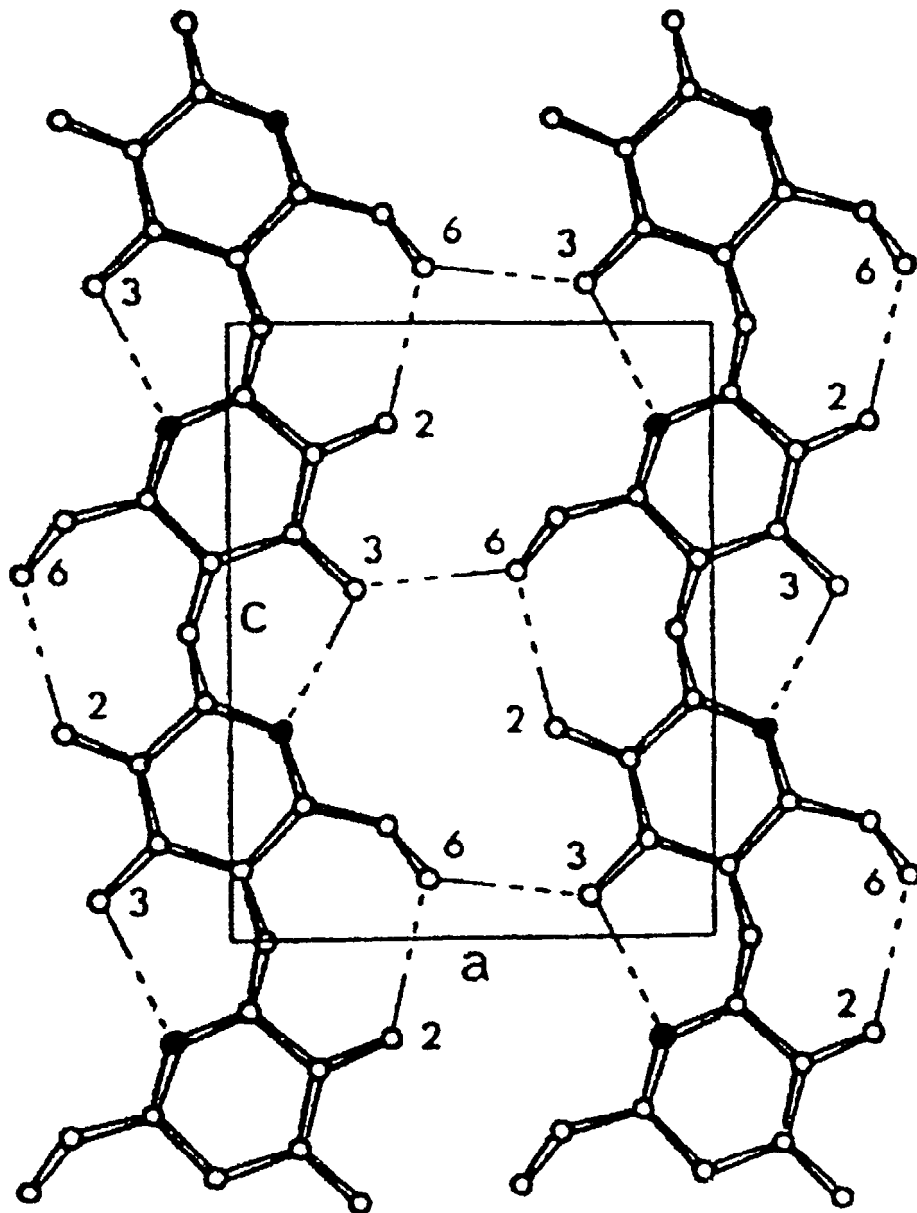
Γίνεται γενικά αποδεκτό ότι όλες οι αλυσίδες στα μικροϊνίδια της φυσικής κυτταρίνης έχουν τον ίδιο γενικό προσανατολισμό, είναι δηλαδή περίπου παράλληλα. Υπάρχουν 2 ενδομοριακοί δεσμοί υδρογόνου με τους οποίους κάθε μόριο γλυκόζης συνδέεται με το διπλανό του στην αλυσίδα, από το O(6) του ενός μορίου γλυκόζης στο O(2)H του διπλανού και ακόμα από το O(3)H του πρώτου στο O του δακτυλίου. Οι αλυσίδες δημιουργούν ένα επίπεδο (a-c κρυσταλλογραφικό επίπεδο), όπου συγκρατούνται μαζί με δεσμούς υδρογόνου από το O(3) της μιας αλυσίδας στο O(6)H της άλλης (Εικόνα 10). Δεν υπάρχουν δεσμοί υδρογόνου στην κυτταρίνη I ανάμεσα στα επίπεδα, μόνο ασθενείς δυνάμεις Wan der Vaals στην κατεύθυνση του b-άξονα<sup>19</sup>.

Η κάθε ίνα (fibre) του χαρτιού προκύπτει από ινίδια (fibrils) και αυτά από μικροϊνίδια (microfibrils) που αποτελούνται από πολλά παράλληλα τοποθετημένα μακρομόρια συνδεδεμένα μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου (Εικόνα 11).

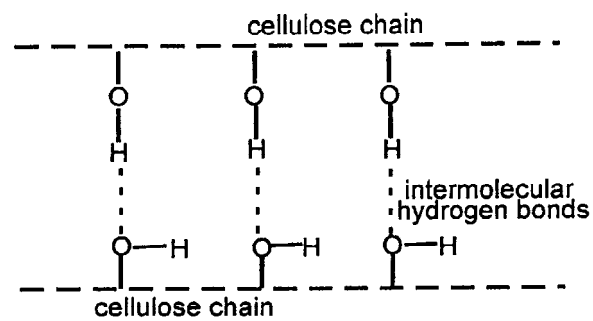
<sup>17</sup> Πηγή: Ibid., σελ. 172, εκκ.3.

<sup>18</sup> Πηγή: R. Guerra, J. Vives, J. Monmany, J. Carrido, *The Effect of Aqueous Solutions of Alkoxypolyethyleneglycols (ALKPG) on the Mechanical Properties of Paper*, Restaurator 19:4, 1998 σελ. 204, fig. 12.

<sup>19</sup> Ibid., σελ 202-204.



Εικόνα 10: Διαμοριακοί δεσμοί Η μεταξύ μορίων κυτταρίνης<sup>20</sup>



Εικόνα 11: Διαμοριακοί και ενδομοριακοί δεσμοί υδρογόνου<sup>21</sup>

<sup>20</sup> Πηγή: Ibid.

<sup>21</sup> Πηγή: Ibid.

#### 1.1.1.3.1.2. Ημικυτταρίνες<sup>22, 23, 24, 25</sup>

Ο όρος «ημικυτταρίνες», με την τεχνολογική του έννοια, περιλαμβάνει πολυσακχαρίτες πολλές φορές διακλαδισμένους με πολύ μικρότερα μοριακά βάρη από την α-κυτταρίνη που διαλύονται εν ψυχρώ σε 17,5% διάλυμα NaOH (η α-κυτταρίνη παραμένει αδιάλυτη). Με τον ορισμό αυτό, οι β- και γ- κυτταρίνες (κυτταρίνες με μικρά μοριακά βάρη) που διαλύονται στο διάλυμα NaOH 17,5% εν ψυχρώ κατατάσσονται στις ημικυτταρίνες.

Από χημική άποψη, οι ημικυτταρίνες χωρίζονται σε δύο υποομάδες:

*Πολυουρονικές ημικυτταρίνες:* Άμορφοι πολυσακχαρίτες μικρού σχετικά μοριακού βάρους που αποτελούνται από μεθοξουρονικά οξέα (γλυκουρονικό και γαλακτουρονικό), πεντόζες (ξυλόζη, αραβινόζη) και εξόζες (γλυκόζη, γαλακτόζη). Συμμετέχουν μαζί με τη λιγνίνη στο πορώδες σύστημα που σχηματίζει την μεσοκυτταρική ουσία και στηρίζει το φυτό.

*Κελλουλοζάνες:* Πολυσακχαρίτες μικρού μοριακού βάρους που αποτελούνται από ένα ή το πολύ δύο απλά σάκχαρα (ξυλόζη, γλυκόζη, μανόζη). Συμμετέχουν μαζί με την κυτταρίνη στο σχηματισμό των ινών.

Οι ημικυτταρίνες παίζουν σημαντικό ρόλο στη διασύνδεση των ινών του χαρτιού κατά την κατασκευή του αλλά ενεργούν σαν φωτοευαισθητοποιητές κατά την έκθεση του χαρτιού στο φως, απορροφώντας ενέργεια και πυροδοτώντας φωτοχημικές αντιδράσεις. Στο ξηρό ξύλο υπάρχουν σε ποσοστό 20-30%.

<sup>22</sup> H. Bansa, R. Ishii, *What Fiber for Paper Strengthening?*, Restaurator , 20:3+4, 1999 σελ 199.

<sup>23</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, *Permanence of Paper 1: Problems and Permanency of Alum-Rosin Sized Paper Sheets from Wood Pulp*, Restaurator 19:3, 1998 σελ. 158.

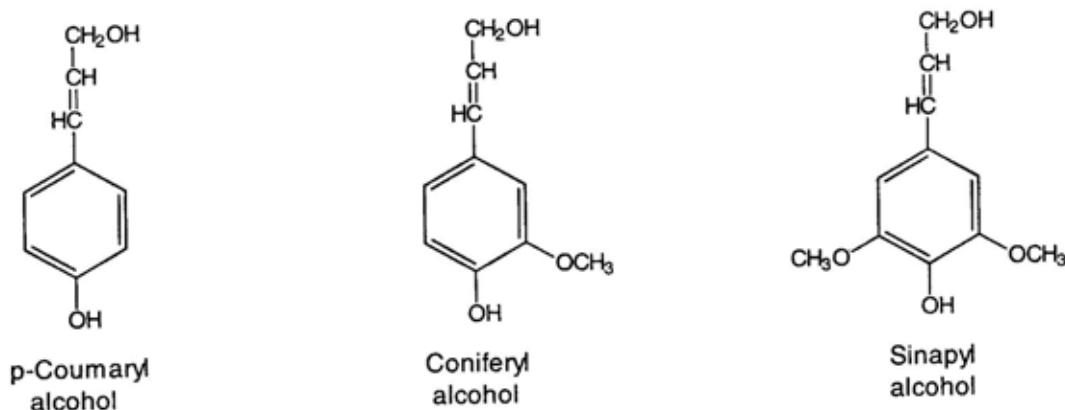
<sup>24</sup> C. Dence, D. Reeve, *op. cit.* , σελ. 9.

<sup>25</sup> M. Κούκιος,, *op. cit.* σελ. 24-28.



### 1.1.1.3.1.3. Λιγνίνη<sup>26, 27</sup>

Η φυσική λιγνίνη είναι ένα πολυμερές που σχηματίζεται από τον πολυμερισμό κονιφερλικής αλκοόλης (coniferyl alcohol – στα μαλακά ξύλα), και κονιφερλικής αλκοόλης και σιναπιλικής αλκοόλης (coniferyl alcohol, sinapyl alcohol – στα σκληρά ξύλα) με μικρή συμμετοχή της π-κουμαρλικής αλκοόλης (p-coumaryl alcohol) (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Τα κύρια μονομερή της λιγνίνης<sup>28</sup>

Ο τρόπος πολυμερισμού των αλκοολών αυτών στο κυτταρικό τοίχωμα οδηγεί σε ένα ετερογενές, διακλαδισμένο και ενδοδιασυνδεδεμένο πολυμερές στο οποίο οι ομάδες του φαινυλοπροπανίου συνδέονται με δεσμούς O – C και C – C (Εικόνα 13).

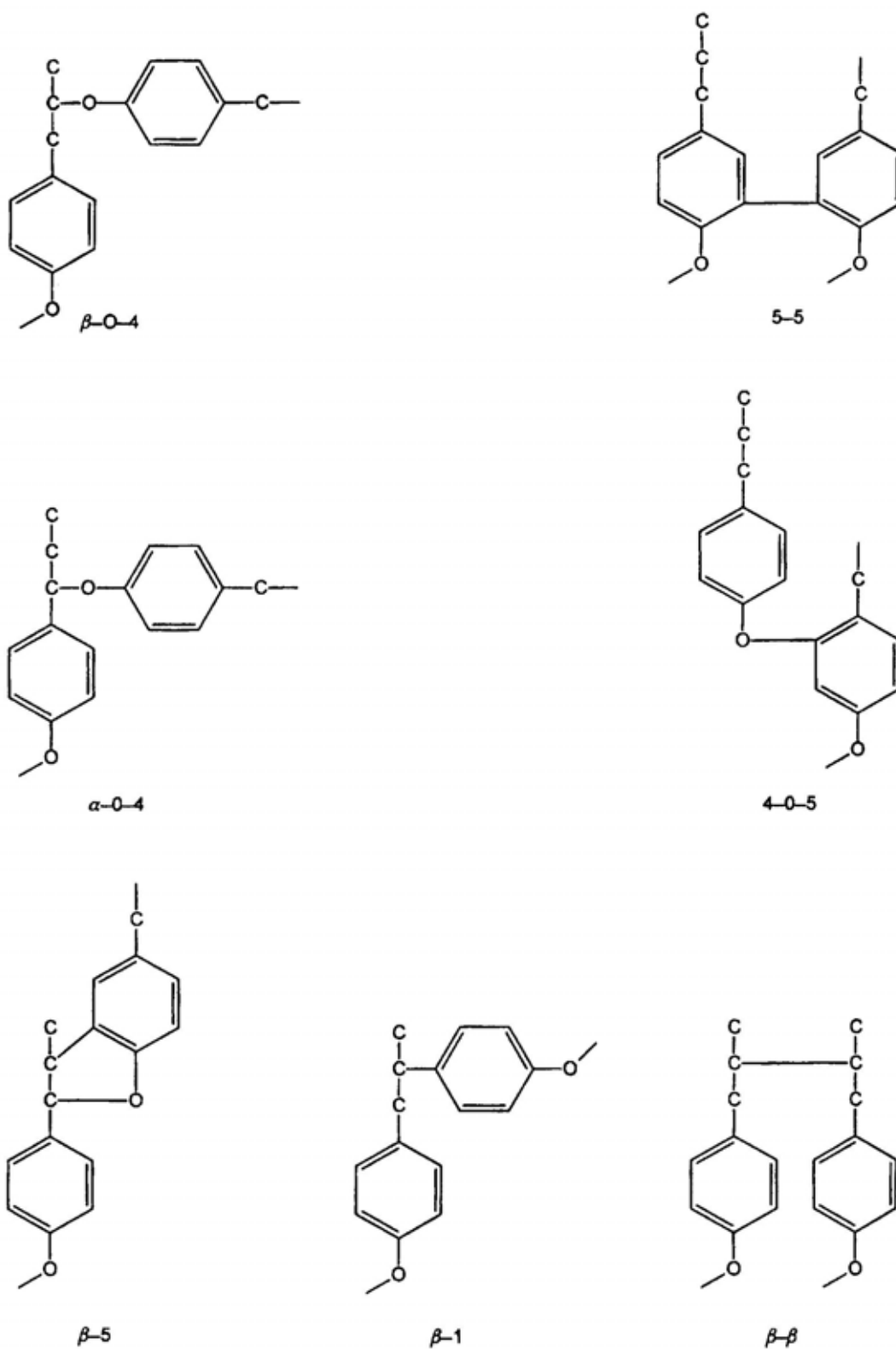
Ανάλογα με τον τρόπο διασύνδεσης τους στο πολυμερές της λιγνίνης, οι ομάδες φαινυλοπροπανίου εμφανίζουν διαφορετικές ευαισθησίες στην οξειδωτική δράση του οξυγόνου του αέρα που σε ελαφρά όξινες ή αλκαλικές συνθήκες οδηγεί στο σχηματισμό στυλβενίων, κινονών και άλλων ενώσεων με χρωμοφόρες ομάδες (Εικόνα 14). Οι ενώσεις αυτές εμφανίζουν έντονη απορρόφηση του μπλε φωτός με συνέπεια να εμφανίζονται κίτρινες. Η χρωματική αστάθεια της λιγνίνης στη γήρανση είναι από τους κύριους λόγους που επιβάλλουν την αφαίρεση της από τους χαρτοπολλτούς. Το ISO 9607 επιτρέπει την παρουσία μικρής ποσότητας λιγνίνης, που αντιστοιχεί σε k number<sup>29</sup> μικρότερο του 5.

<sup>26</sup> Ibid., σελ. 28-31.

<sup>27</sup> C. Dence, D. Reeve, op. cit. σελ. 93-97.

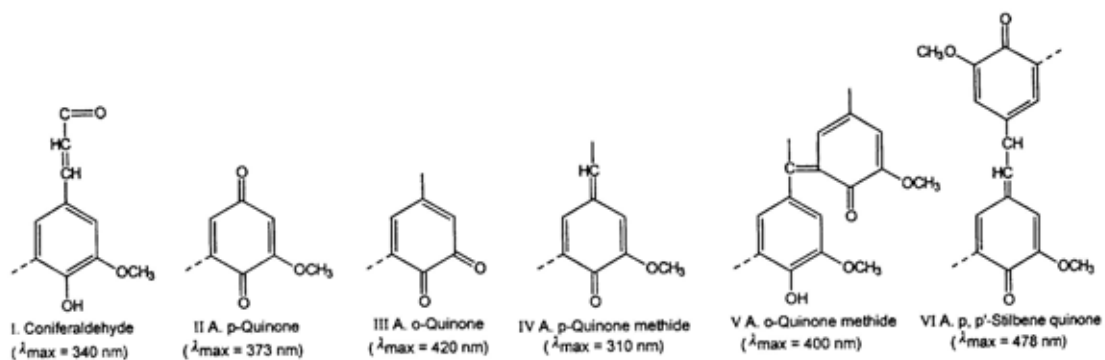
<sup>28</sup> Πηγή: ibid., σελ. 93, εικ. 1.

<sup>29</sup> Το k number είναι ένα μέτρο της περιεκτικότητας του χαρτιού σε λιγνίνη, βλ. ISO 302, Determination of kappa number και ISO 9706, Information and documentation – Paper for documents – Requirements for permanence.



Εικόνα 13: Τύποι δεσμών στη λιγνίνη<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Πηγή: C. Dence, D. Reeve, op. cit., σελ. 94, εικ. 2.



Εικόνα 14: Χρωμοφόρες ομάδες που είτε υπάρχουν στην φυσική ή μετασχηματισμένη από την πολυτοποίηση λιγνίνη είτε σχηματίζονται κατά την διάρκεια της γήρανσης του χαρτιού<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Πηγή: C. Dence, D. Reeve, op. cit., σελ. 164, εικ. 2.

### 1.1.1.3.2. Ιδιότητες Κυτταρίνης - Χαρτιού

#### 1.1.1.3.2.1. Επίδραση του Νερού - Υδατοαπορρόφηση

Το χαρτί σε συνηθισμένες συνθήκες (θερμοκρασία 20-25°C και σχετική υγρασία 50-60%) απορροφά περίπου 5-10% του βάρους του σε υγρασία, ποσοστό που μπορεί να φτάσει το 25-27% όταν η σχετική υγρασία γίνει 100%. Με την απορρόφηση υγρασίας, το χαρτί διογκώνεται. Σε υγρασία 100% η ίνα διογκώνεται περίπου κατά 25% και κατά τη βύθιση σε νερό κατά 25% ακόμη (η διόγκωση συμβαίνει με αύξηση της διαμέτρου της ίνας – το μήκος της παραμένει σχετικά ανεπηρέαστο)<sup>32</sup>. Η απορρόφηση του νερού γίνεται κυρίως στην άμορφη περιοχή της ίνας, το δε νερό συνδέεται με την ίνα με δεσμούς υδρογόνου. Στην συντήρηση χαρτιού πολλές φορές χρειάζεται πλύσιμο του χαρτιού με νερό ή χρήση του νερού σαν διαλύτη<sup>33, 34</sup>. Η μεγαλύτερη διόγκωση του χαρτιού επιτυγχάνεται μετά από 12ωρη παραμονή του στο λουτρό. Η δυνατότητα απορρόφησης νερού των ινών του χαρτιού ελαττώνεται μετά από επανειλημμένες διαβροχές και ξηράσεις.

#### 1.1.1.3.2.2. Επίδραση της Θερμοκρασίας

Η έκθεση του χαρτιού σε υψηλές θερμοκρασίες έχει μελετηθεί με τη μέθοδο της τεχνητής θερμικής γήρανσης σε κλιματικούς θαλάμους. Το αποτέλεσμα της έκθεσης έχει βρεθεί ότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ενδογενείς και εξωγενείς. Η υψηλή σχετική υγρασία επιταχύνει το ρυθμό της γήρανσης αλλά το χαμηλό pH του χαρτιού θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας που επιταχύνει τη θερμική γήρανσή του, ενώ η ύπαρξη λιγνίνης σε αλκαλικό χαρτί επηρεάζει μόνο τις οπτικές ιδιότητες (επιτείνει και επιταχύνει το κιτρίνισμα)<sup>35</sup>.

Η θερμική γήρανση του χαρτιού προκαλεί υδρόλυση (ειδικά στα όξινα χαρτιά) και οξείδωση<sup>36</sup> της κυτταρίνης με συνέπεια τη μείωση του βαθμού πολυμερισμού, την ελάττωση των μηχανικών αντοχών, την αύξηση του pH και την υποβάθμιση των οπτικών ιδιοτήτων (κιτρίνισμα)<sup>37</sup>.

<sup>32</sup> Ibid. σελ. 195

<sup>33</sup> J. Hanus., *Changes in Brittle Paper during Conservation Treatment*, Restaurator, 15:1, 1994, σελ 47

<sup>34</sup> Anne Lienardy, Philippe Van Damme, *Paper washing*, The Paper Conservator, 14, 1990, σελ.23-30

<sup>35</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, *The impact of Lignin on Paper Permanence*, Restaurator, 19:3, 1998 σελ. 135-154

<sup>36</sup> J. Havermans, J Dufour, *Photo Oxidation of Paper Documents - A Literature Review*, Restaurator, 18:3, 1997 σελ. 103-114

<sup>37</sup> Βλ. και παραπομπές τεχνητής γήρανσης

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται διάφορες εξαρτήσεις του ρυθμού γήρανσης από τη θερμοκρασία:

- αύξηση της θερμοκρασίας κατά 15°C πολλαπλασιάζει την ταχύτητα γήρανσης επί 4,8 (ενέργεια ενεργοποίησης 25,3 Kcal/mol)<sup>38</sup>.
- αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5°C διπλασιάζει την ταχύτητα γήρανσης<sup>39</sup>.
- Αύξηση της θερμοκρασίας από 80 (65% RH) σε 90°C (50% RH) πολλαπλασιάζει την ταχύτητα θραύσης της αλυσίδας της κυτταρίνης επί 2,5 και δίνει την τιμή των 25 Kcal/mol σαν ενέργεια ενεργοποίησης της υδρόλυσης της κυτταρίνης<sup>40</sup>.

Παρατεταμένη θέρμανση του χαρτιού στους 120°C προκαλεί κιτρίνισμα, ενώ σε μεγαλύτερη θερμοκρασία διάσπαση λόγω οξειδώσεων και τελικά καύση. Η θέρμανση του χαρτιού σε θερμοκρασίες άνω των 50 βαθμών κατά τις διεργασίες συντήρησης πρέπει να αποφεύγεται γιατί επιταχύνει την γήρανση του. Τον Σεπτέμβριο του 1990, όταν η βιβλιοθήκη του Κογκρέσου διενήργησε έρευνα σχετική με μεθόδους μαζικής αποξίνισης έθεσε μεταξύ των προδιαγραφών ότι η θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβεί τους 70°C και δεν πρέπει να παραμείνει στην περιοχή 60-70°C για περισσότερο από μια ώρα<sup>41</sup>.

---

<sup>38</sup> D. Robertson, *Permanence/Durability and Preservation. Research at the Barrow Laboratory, Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II*, Advances in Chemistry Series 193, 1981, σελ 48, 51.

<sup>39</sup> Preservation of Library & Archival Materials, *A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992 σελ. 1 monitoring.

<sup>40</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit. σελ. 39.

<sup>41</sup> L. Brandis, *Summary and Evaluation of the Testing Sponsored by the Library of Congress of Books Deacidified by the FMC, Akzo and Wei T'o Mass Deacidification*, Restaurator, 15:2, 1994 σελ. 119.

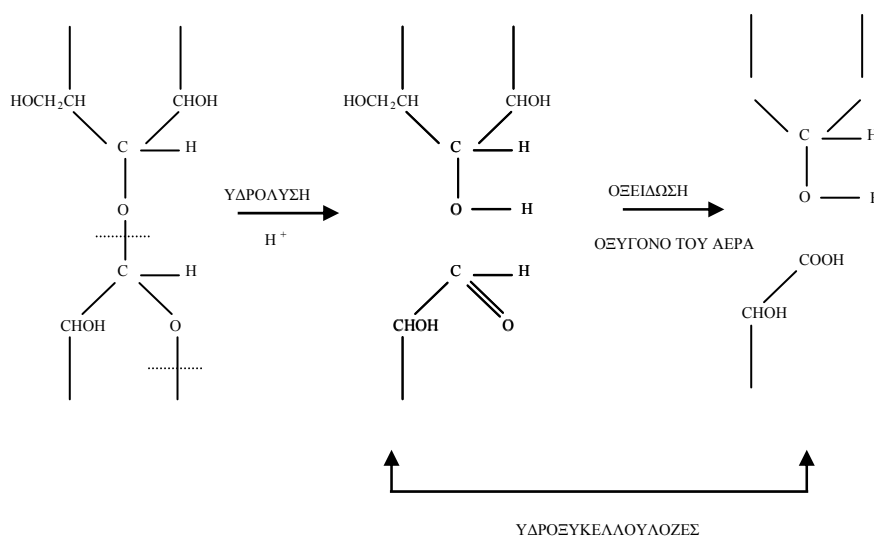
### 1.1.1.3.2.3. Επίδραση Οξέων

Τα ισχυρά ανόργανα οξέα όπως το υδροχλωρικό (HCl) και το θειικό (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) προσβάλλουν την κυτταρίνη και αν αυτά είναι πυκνά και θερμά η προσβολή μπορεί να φτάσει μέχρι την πλήρη υδρόλυση (όξινη υδρόλυση):



Αραιά ή ασθενή οξέα, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας, την ισχύ του οξέος και με την βοήθεια του οξυγόνου του αέρα μπορούν να υδρολύσουν μερικά την κυτταρίνη και έτσι να μειώσουν το μήκος των μακρομορίων της μειώνοντας παράλληλα την αντοχή του χαρτιού και κάνοντάς το σκληρό και εύθρυπτο<sup>42,43</sup>. Τα προϊόντα μερικής υδρόλυσης ονομάζονται υδροκελλουλόζες και μπορεί να έχουν αλδεϋδομάδα<sup>44</sup> (-CH=O) ή καρβοξυλομάδα (-COOH) σαν χαρακτηριστική ομάδα (Εικόνα 15).

Η υδρόλυση της κυτταρίνης λόγω αυξημένης οξύτητας του χαρτιού (όξινη υδρόλυση) είναι ο σημαντικότερος μηχανισμός φυσικής γήρανσής του, που θα οδηγήσει σύντομα στην καταστροφή μεγάλου μέρους του σύγχρονου υλικού που φυλάσσεται σε όλες τις βιβλιοθήκες και τα αρχεία όλου του κόσμου<sup>45,46,47</sup>. Το θέμα της μαζικής και αποτελεσματικής αποξίνισης συγκεντρώνει τις ερευνητικές προσπάθειες πολλών επιστημόνων παγκοσμίως.



Εικόνα 15: Μερική υδρόλυση κυτταρίνης σε όξινο περιβάλλον

<sup>42</sup> J. Poisson, op. cit.

<sup>43</sup> M. Carme Sistach Anguera, *Structure of Paper Fibres in Ancient Manuscripts: Acidic Decomposition and Deacidification*, Restaurator 17:2, 1996, σελ. 118,127.

<sup>44</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit. σελ. 31

<sup>45</sup> Jana Kolar, *Mechanism of Autoxidative Degradation of Cellulose*, Restaurator 18:4, 1997 σελ. 163.

<sup>46</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou op. cit. σελ. 155.

<sup>47</sup> J. Wittekind, *The Battelle Mass Deacidification Process: a New Method for Deacidifying Books and Archival Materials*, Restaurator, 15:4, 1994, σελ. 189, 190.

#### 1.1.1.3.2.4. Επίδραση Αλκαλίων – Αλκαλικού pH

Κυτταρίνη με βαθμό πολυμερισμού μεγαλύτερο από 350 επηρεάζεται ελάχιστα από τα αλκάλια. Μικρότερα μόρια μπορεί να καταστραφούν. Η α-κυτταρίνη υδρολύεται μόνο με πυκνά θερμά αλκάλια. Οι ημικυτταρίνες είναι ευαίσθητες και έναντι των ψυχρών αραιών αλκαλίων<sup>48</sup>. Η επίδραση αλκαλίων, κυρίως του καυστικού νατρίου (NaOH) διογκώνει την κυτταρίνη και προκαλεί αύξηση του ποσοστού των άμορφων περιοχών.

Για πολλά χρόνια χρησιμοποιείται σαν μέθοδος αποξίνισης η απόθεση αλάτων των αλκαλικών γαιών ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ), οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO, μέθοδος DEZ) ή υδροξειδίου του Ca ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) από διαλύματα ή αιωρήματα σε νερό ή οργανικούς διαλύτες. Το αποτέλεσμα είναι ότι το pH του χαρτιού που υφίσταται τέτοια επεξεργασία ανεβαίνει στην αλκαλική περιοχή (7 – 9). Μετά από πολύχρονη έρευνα αποδείχτηκε ότι σε ελαφρά αλκαλικό pH ένας άλλος μηχανισμός γήρανσης επικρατεί, αυτός της αυτοοξειδωσης της κυτταρίνης σε αλκαλικό περιβάλλον<sup>49</sup>. Η ανακάλυψη αυτή προκαλεί προβληματισμό όσον αφορά το βέλτιστο τελικό pH που πρέπει να αποκτά το χαρτί μετά την διαδικασία της αποξίνισης<sup>50</sup>.

---

<sup>48</sup> H. Bansa, R. Ishii, op. cit. σελ 199.

<sup>49</sup> J. Havermans, J Dufour, op. cit. και Jana Kolar, op. cit. σελ. 163-176.

<sup>50</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit. σελ. 26

#### 1.1.1.3.2.5. Μηχανικές Ιδιότητες<sup>51</sup>

Οι μηχανικές ιδιότητες του χαρτιού αφορούν στην αντοχή του σε διάφορων ειδών μηχανικές καταπονήσεις. Οι κύριες από αυτές είναι:

- Αντοχή στις αναδιπλώσεις (folding endurance)
- Εκτατικές ιδιότητες (tensile properties):
  - Εφελκυστική αντοχή (tensile strength)
  - Μέγιστη επιμήκυνση (stretch at break)
  - Απορρόφηση ενέργειας κατά τον εφελκυσμό (tensile energy absorption, TEA)
- Αντίσταση στο σκίσιμο (tearing resistance)
- Bursting strength

Η μηχανική αντοχή του χαρτιού εξαρτάται από τις διαστάσεις των ινών της κυτταρίνης (κυρίως από τον λόγο του μήκους προς τη διάμετρο), καθώς και από την ένταση των δεσμών υδρογόνου και από το ποσοστό απομάκρυνσης των υπολοίπων «συγκολλητικών» συστατικών της φυτικής ύλης. Η ένταση των δεσμών υδρογόνου αυξάνει όσο αυξάνει η επιφάνεια των ινών της κυτταρίνης – με την μετατροπή των θυσάνων των ινών σε λεπτότερα ινίδια (fibrillation) κατά το χτύπημα (beating) του πολτού – και όσο αυξάνει το ποσοστό απομάκρυνσης κυρίως της λιγνίνης και κατά δεύτερο λόγο των ημικυτταρινών. Όταν όμως εκτός της λιγνίνης απομακρυνθούν σε σημαντικό ποσοστό και οι ημικυτταρίνες, τότε η μηχανική αντοχή του χαρτιού μειώνεται.

---

<sup>51</sup> Βλ. Δ. Οικονομίδης, *Σημειώσεις Μαθήματος Οργανικών Χημικών Βιομηχανιών, 1. Τεχνολογία Βιομηχανικής Αξιοποίησης των Κυτταρινούχων Φυτικών Υλών*, Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 1987, σελ. 31. Επίσης σελ. 86, κεφάλαιο 1.2.1.2.2. Μέθοδοι Ελέγχου της Αλλαγής Φυτικοχημικών και Φυσικομηχανικών Ιδιοτήτων.



#### 1.1.1.4. Βλάβες του Χαρτιού

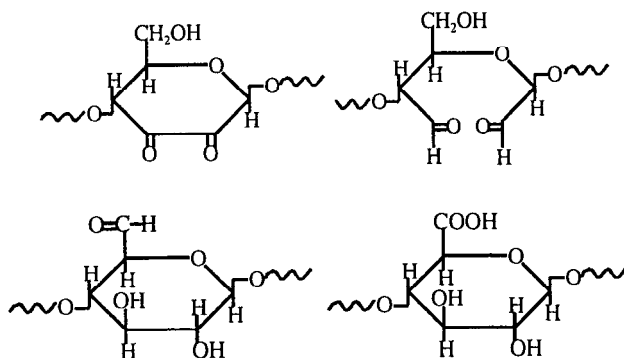
Οι βλάβες του χαρτιού μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Χημικές
- Μηχανικές
- Βιολογικές

##### 1.1.1.4.1. Χημικές

##### 1.1.1.4.1.1. Οξείδωση

Το οξυγόνο του αέρα καθώς και διάφορα οξειδωτικά μέσα (π.χ. λευκαντικά) προκαλούν οξείδωση των υδροξυλίων (-OH) της κυτταρίνης σε αλδεϋδομάδες (-CH=O) και κετονομάδες (>C=O) που συνεισφέρουν στο κιτρίνισμα του χαρτιού<sup>52</sup> ή σε καρβοξυλομάδες (-COOH) που είναι όξινες (Εικόνα 16). Οι όξινες καρβοξυλομάδες που παράγονται καταλύουν την υδρόλυση της κυτταρίνης και επιταχύνουν παραπέρα την υποβάθμιση του χαρτιού.



Εικόνα 16: Οξειδωμένες ομάδες στους C 2, 3 και 6

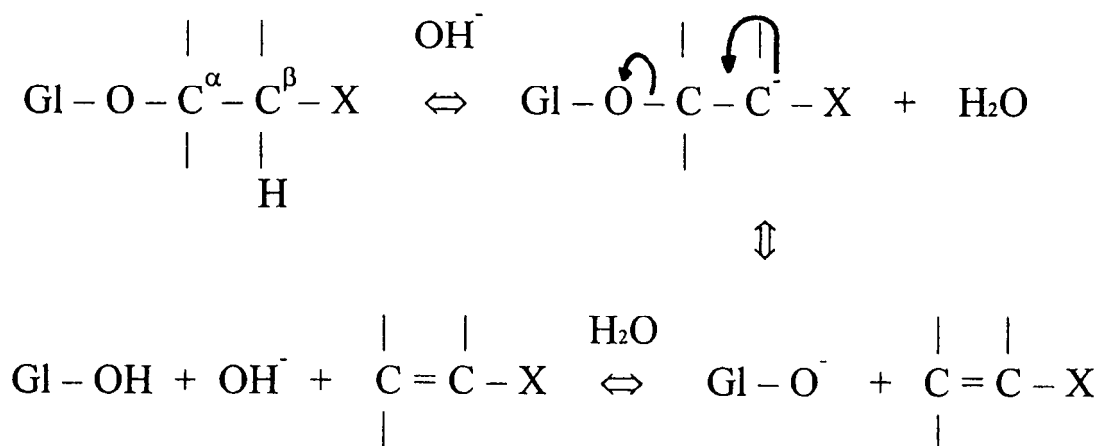
Στο όξινο χαρτί, όπως προαναφέρθηκε, ο κύριος μηχανισμός υποβάθμισης είναι η όξινη υδρόλυση ενώ στο ουδέτερο ή ελαφρά αλκαλικό χαρτί η οξείδωση, η οποία ευνοείται από την έκθεση στο φως (φωτοοξείδωση σε αλκαλικό περιβάλλον) και την παρουσία ιόντων Fe, Cu ή άλλων μετάλλων μετάπτωσης. Η οξείδωση προχωρά με μηχανισμό ελευθέρων ριζών και μέσω μιας β-αλκοξυ-απόσπασης<sup>53,54</sup> (Εικόνα 17) του H του C-2 οδηγεί σε υδρόλυση του γλυκοζιτικού δεσμού με αποτέλεσμα τη μείωση του μήκους της αλυσίδας της κυτταρίνης<sup>55</sup>.

<sup>52</sup> Οι ομάδες αυτές σε συζυγία με άλλες ομάδες που περιέχουν διπλούς δεσμούς (χρωμοφόρες ομάδες) προκαλούν μετατόπιση της απορρόφησης στην περιοχή του μπλε με αποτέλεσμα το χαρτί να εμφανίζεται κιτρινο.

<sup>53</sup> Marina Bicchieri, Sabrina Pepa, *The degradation of Cellulose with Ferric and Cupric Ions in a Low-acid Medium*, Restaurator, 17:3, 1996 σελ 166

<sup>54</sup> A., L. Dupont, *Degradation of Cellulose at the Wet/dry Interface, II. An Approach to the Identification of the Oxidation Compounds*. Restaurator, 17:3, 1996 σελ. 160.

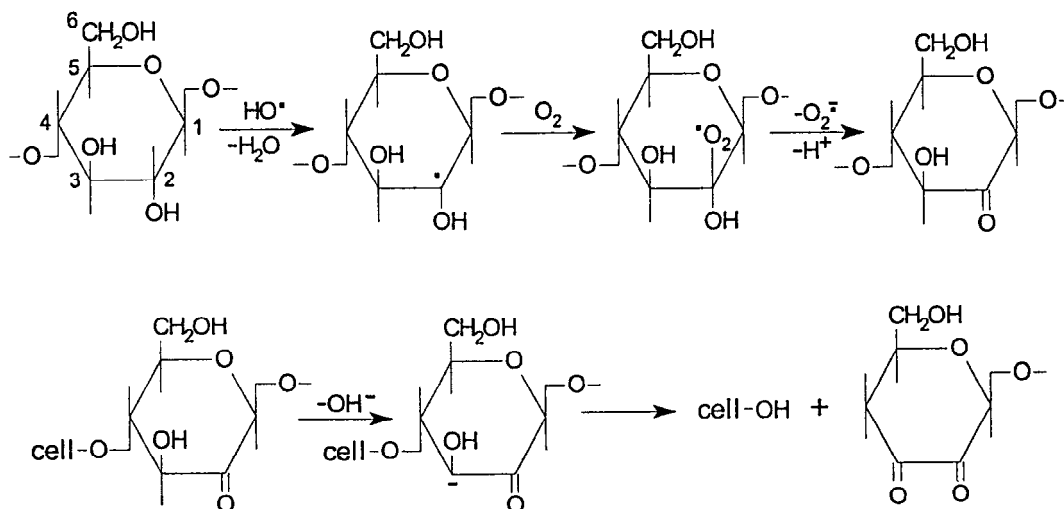
<sup>55</sup> Jana Kolar, op. cit. σελ. 167.



Εικόνα 17: Μηχανισμός β-αλκοζυ-απόσπασης

Αρχικά με την δράση του οξυγόνου του αέρα σχηματίζονται υπεροξειδία που προκαλούν τη δημιουργία ελευθέρων ριζών στον C-2, C-3 ή C-6 της γλυκόζης. Ακολουθεί η δημιουργία κετονομάδας σε ένα από τους παραπάνω άνθρακες του δακτυλίου η οποία οδηγεί στην απόσπαση του H και τη λύση του γλυκοζιτικού δεσμού ή σε θραύση του δακτυλίου μεταξύ των C-2 και C-3<sup>56,57,58</sup> (Εικόνα 18).

Η ύπαρξη λιγνίνης και ημικυτταρινών (και άλλων προσμίξεων) στο χαρτί ευνοεί την φωτοοξειδωσή του γιατί αυτές λειτουργούν σαν ευαισθητοποιητές (photosensitizer)<sup>59</sup> και επηρεάζουν αρνητικά τις οπτικές του ιδιότητες. Η λιγνίνη και οι ημικυτταρίνες αποτελούν και αυτές οξειδώσιμα συστατικά του χαρτιού που συνεισφέρουν στο κιτρίνισμα του.



Εικόνα 18: Αποπολυμερισμός της κυτταρίνης λόγω αυτοοξειδωσης σε αλκαλικό περιβάλλον

<sup>56</sup> Jana Kolar, op. cit. σελ. 167, 168.

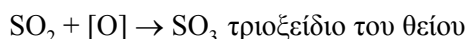
<sup>57</sup> Marina Bicchieri, Sabrina Pepa, op. cit. σελ. 165 – 167.

<sup>58</sup> J. Havermans, J Dufour, op. cit. σελ. 104 – 105, 108.

<sup>59</sup> Ibid. σελ. 109.

#### 1.1.1.4.1.2. Υδρόλυση

Η όξινη και αλκαλική υδρόλυση, καθώς και η υδρόλυση που ακολουθεί την οξείδωση της κυτταρίνης έχουν ήδη παρουσιαστεί. Στο κεφάλαιο αυτό θα εντοπιστούν οι κύριες αιτίες υψηλής οξύτητας του χαρτιού που προκαλούν την όξινη υδρόλυση, την βασικότερη αιτία χημικής υποβάθμισης αρχαιικού και βιβλιακού υλικού. Η όξινη υδρόλυση οφείλεται στο όξινο περιεχόμενο του χαρτιού, που μπορεί να έχει προέλθει είτε από οξείδωση της κυτταρίνης, όπως προαναφέρθηκε ή από μετανάστευση όξινων συστατικών από υλικά που γειτνιάζουν με το υλικό στους χώρους φύλαξης (migration effect). Αρχαιακό υλικό ή βιβλία που αποθηκεύονται σε ατμοσφαιρικά μολυσμένες περιοχές μπορεί να παρουσιάσουν αυξημένη οξύτητα λόγω απορρόφησης χημικών ρύπων από την ατμόσφαιρα<sup>60, 61</sup>. Τέτοιοι ρύποι μπορεί να είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) το οποίο μετατρέπεται με την βοήθεια του οξυγόνου του αέρα σε τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) και τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Τα παραπάνω με την υγρασία του αέρα ή του χαρτιού μετατρέπονται σε ισχυρά ανόργανα οξέα:



Τέλος η οξύτητα του χαρτιού μπορεί να οφείλεται σε υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί είτε στο κολλάρισμα (sizing) είτε σαν μέσα γραφής. Οι μικροοργανισμοί που τρέφονται με τη ζωική κόλλα παράγουν σαν μεταβολικά προϊόντα διάφορα οργανικά οξέα. Η στυπτηρία (διπλό ένυδρο θειικό άλας καλίου-αργιλίου: K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·24H<sub>2</sub>O, alum) που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα σαν μέσο απόθεσης της ρητίνης (rosin, abietic acid) για επικάλυψη του χαρτιού είναι όξινη<sup>62</sup>.

Επίσης, η μελάνη σιδήρου (iron-gall ink) που χρησιμοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά σαν μέσο γραφής στην Ευρώπη από τον 10<sup>ο</sup> έως τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (θειικός σίδηρος FeSO<sub>4</sub> + γαλλοτανίνες + αραβικό κόμμι + νερό, κρασί ή ξύδι) έχει όξινες ιδιότητες. Έτσι παρατηρείται

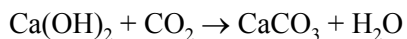
<sup>60</sup> Floreal Daniel, *A pollution Chamber for the Accelerated Deterioration of Materials*, Restaurator 17:3, 1996, σελ. 193.

<sup>61</sup> Marga De Feber, John Havermans, Eric Cornelissen, *The Positive Effects of Air Purification in the Dutch State Archives Part 1: Experimental Set up and Air Quality*, Restaurator 19:4, 1998, σελ. 212.

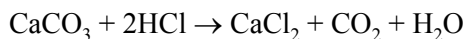
<sup>62</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou op. cit. σελ. 155, 156.

σε πολλά χειρόγραφα το χαρτί να έχει τρυπήσει ή να είναι εύθρυπτο πάνω στα γράμματα<sup>63, 64, 65, 66, 67</sup>.

Η υδρόλυση, όπως έχει προαναφερθεί, προκαλεί θραύση των μορίων της κυτταρίνης και έτσι χειροτερεύει τις μηχανικές ιδιότητες του χαρτιού. Είναι γνωστό ότι η μέθοδος κατασκευής χαρτιού κατά τον μεσαίωνα περιείχε ένα στάδιο επεξεργασίας του υφάσματος με ασβέστη. Ένα μέρος του ασβέστη ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) παρέμενε στο ύφασμα και με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα του αέρα μετατρεπόταν σε ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ):



Το παραγόμενο ανθρακικό ασβέστιο εξουδετερώνει τα οξέα όπως φαίνεται από την αντίδραση:



σχηματίζοντας ουδέτερα άλατα του ασβεστίου και ελευθερώνοντας διοξείδιο του άνθρακα. Η σκληρότητα του νερού ποταμών ή λιμνών που χρησιμοποιούνταν συνέβαλε επίσης στην απόθεση ανθρακικών αλάτων του Ca και Mg. Έτσι τα χαρτιά που κατασκευάστηκαν πριν το 1650-1700 προστατεύονταν από την οξύτητα γι' αυτό και διατηρούνται ακόμα και σήμερα σε πολύ καλή κατάσταση. Από το 1650 και μετά η παλιά μέθοδος πολτοποίησης εγκαταλείφθηκε και αντικαταστάθηκε σταδιακά με την μέθοδο Hollander, που δεν είχε ανάλογο στάδιο επεξεργασίας με ασβέστη. Έτσι, τα χαρτιά που έχουν κατασκευαστεί με την μηχανή Hollander, εκτός από το ότι είναι λεπτότερα άρα και πιο ευαίσθητα, δεν είχαν αντιόξινη προστασία (αλκαλικό απόθεμα) και γι' αυτό σήμερα είναι σε χειρότερη κατάσταση από τα προγενέστερα. Με την εισαγωγή της όξινης πολτοποίησης του ξύλου γύρω στο 1850 και των σύγχρονων μεθόδων τυπογραφίας που βασίζονται στο όξινο χαρτί η ποιότητα του χαρτιού χειροτέρευσε ακόμα περισσότερο, με συνέπεια βιβλίο 20 ετών να είναι σήμερα σε πολύ χειρότερη κατάσταση από ένα βιβλίο 300 ή 400.

Το φυσικό περιεχόμενο του χαρτιού σε όξινα συστατικά είναι και ο κύριος λόγος της φυσικής γήρανσης του.

<sup>63</sup> M. Carme Sistach, Josep M. Gilbert, Rogelio Areal, *Aging of Laboratory Iron-gall Inks Studied by Reflectance Spectrometry*, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ. 151-166.

<sup>64</sup> Birgit Reissland, Ink Corrosion, *Aqueous and Non-Aqueous Treatment of Paper Objects - State of The Art*, Restaurator 20:3+4, 1999, σελ. 167-180.

<sup>65</sup> *Iron – gall Ink Corrosion*, Proceedings European Workshop on Iron – gall Ink Corrosion, Rotterdam, June 16 & 17, 1977 (ISBN 90-6918-189-4).

<sup>66</sup> Ink corrosion homepage <http://www.knaw.nl/ecpa/ink/>

<sup>67</sup> R. Van Gulik & N. E. Kersten – Pampiglione, *A Closer Look at Iron Gall Ink Burn*, Restaurator 15:3, 1994, σελ.173-187.

#### 1.1.1.4.1.3. Επίδραση του Φωτός

Χαρτί που εκτίθεται στο άμεσο ηλιακό φως κιτρινίζει. Η αλλοίωσή εξαρτάται από την ποιότητα του, τον χρόνο έκθεσης, την υγρασία, την θερμοκρασία και την περιεκτικότητά του σε φωτοευαίσθητα συστατικά (κυρίως λιγνίνη). Η κύρια χημική μεταβολή αφορά στην οξειδωση των υδροξυλομάδων (-OH) σε καρβονυλομάδες (-CH=O) που δίνουν κίτρινο χρωματισμό ή καρβοξυλομάδες (-COOH), που αυξάνουν την οξύτητα του χαρτιού<sup>68, 69</sup>.

Στη βιβλιογραφία<sup>70</sup> αναφέρονται 3 μηχανισμοί επίδρασης του φωτός:

- *Άμεση φωτόλυση*: Προκαλείται από μήκη κύματος στην περιοχή του υπεριώδους, με ενέργεια μεγαλύτερη από 84 Kcal. Πειράματα με κυτταρίνη από βαμβάκι και ακτινοβολία 2537 Å σε 40°C έδειξαν όχι μόνο ελάττωση του βαθμού πολυμερισμού και σχηματισμό κετονομάδων, αλδεϋδομάδων και καρβοξυλομάδων αλλά και διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογόνου, ακεταλδεϋδης, προπιοναλδεϋδης, ακετόνης και μεθανόλης<sup>71</sup>. Ο μηχανισμός προχωρεί μέσω σχηματισμού ριζών υπεροξειδίων.
- *Αποικοδόμηση λόγω παρουσίας φωτοευαίσθητων προσμείξεων (photosensitized degradation)*: Η λιγνίνη, οι ημικυτταρίνες αλλά και τα διάφορα πρόσθετα του χαρτιού (fillers, TiO<sub>2</sub>, ZnO – μέταλλα μετάπτωσης) μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια και να την μεταφέρουν στη κυτταρίνη, πυροδοτώντας έτσι χημικές αντιδράσεις. Προκαλείται από μήκη κύματος 3500-7000 Å (εγγύς υπέρυθρο και ορατό). Ο μηχανισμός προχωρεί μέσω σχηματισμού ριζών υπεροξειδίων και η ρήξη της αλυσίδας προκαλείται από μια β-αλκοξυ-απόσπαση H<sup>72, 73</sup>.
- *Φωτοχημική δημιουργία ελευθέρων ριζών*: Προκαλείται από μήκη κύματος 3250-4000 Å. Για την ερμηνεία του φαινομένου έχει προταθεί ένα μοντέλο ημιαγωγού για την διεγερμένη κυτταρίνη<sup>74</sup>.

Η προστασία του υλικού αρχείων και βιβλιοθηκών από το φως και ειδικά από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι επιβεβλημένη. Επιβάλλεται ο αποκλεισμός του ηλιακού φωτός και η χρήση τεχνητού φωτισμού μικρής έντασης (έως 50 lux<sup>75</sup>) χωρίς υπεριώδη συνιστώσα – το

<sup>68</sup> Tim Padfield, *The Deterioration of Cellulose – A Literature Review: The Effects of Exposure to Light, Ultra-violet and High Energy Radiation*, Problems of Conservation in Museums, α.χ., σελ. 119-164.

<sup>69</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit. σελ. 36-42.

<sup>70</sup> J. Havermans, J Dufour, op. cit. 106.

<sup>71</sup> Ibid., σελ. 106-109.

<sup>72</sup> Tim Padfield, op. cit. σελ. 150.

<sup>73</sup> J. Havermans, J Dufour, op. cit. 108.

<sup>74</sup> J. Havermans, J Dufour, op. cit. 109.

<sup>75</sup> Τέση Σαλή, *Βασικές Αρχές Τήρησης Μουσειακών Συλλογών*, Αθήνα 1988, σελ. 18.

μέρος του φάσματος κάτω από 415 nm πρέπει να αποκόπτεται με φίλτρα (αποκλείεται η χρήση λυχνιών ατμών υδραργύρου, αλογόνου και φθορισμού)<sup>76</sup>.

#### 1.1.1.4.2. Μηχανικές

Θεωρούνται όλες οι καταστροφές που μπορούν να δημιουργηθούν με μηχανικό τρόπο (σχισίματα, τσαλακώματα, τρύπες κ.λπ.). Η φύλαξη και ο χειρισμός αρχαιικού και βιβλιακού υλικού πρέπει να εξασφαλίζουν προστασία από τέτοιου είδους βλάβες<sup>77, 78</sup>.

---

<sup>76</sup> Preservation of Library & Archival Materials: *A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992.

<sup>77</sup> Τέση Σαλή, *op. cit.*

<sup>78</sup> Preservation of Library & Archival Materials: *A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992.

#### 1.1.1.4.3. Βιολογικές

Η κυτταρίνη, καθώς και το άμυλο και η ζωική κόλλα που χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς για κολλάρισμα αλλά και το δέρμα και η περγαμινή αποτελούν εξαιρετικό υπόστρωμα ανάπτυξης μυκήτων και βακτηριδίων. Επίσης, αποτελούν τροφή για πολλά έντομα και τρωκτικά.

Οι μεν μύκητες προκαλούν στο χαρτί έγχρωμες κηλίδες (συνήθως μαύρες, κίτρινες, πράσινες ή μοβ), τα δε βακτηρίδια στίγματα. Οι μικροοργανισμοί αυτοί τρέφονται με το χαρτί και τα άλλα οργανικά υλικά που το συνοδεύουν και παράγουν σαν μεταβολικά προϊόντα οργανικά και ανόργανα οξέα, βάσεις, χηλικούς παράγοντες, ένζυμα και χρωστικές. Οι κυτταρινάσες, πρωτεάσες, ταννάσες, β-γλυκοσιδάσες και πολλά οργανικά και ανόργανα οξέα που παράγονται από τα κύτταρα των μικροοργανισμών παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην υδρόλυση της κυτταρίνης και των πρωτεϊνικών υλικών (δέρμα, περγαμινή, ζωική κόλλα). Η ανάπτυξη στιγμάτων και λεκέδων (foxing) συνήθως προκαλείται από συνδυασμένη δράση μυκήτων και οξειδωτικής δράσης μετάλλων μετάπτωσης, κύρια Fe και Cu<sup>79, 80</sup>. Η ανάπτυξη των μυκήτων και των βακτηριδίων ευνοείται σε σχετικά ψηλές θερμοκρασίες (28 βαθμούς) και μεγάλη σχετική υγρασία (80-90%). Έχει δειχθεί ότι χαρτί τύπου Whatman σε 50% RH και 22°C περιέχει 7,4% νερό, ποσότητα που δεν εγκυμονεί κινδύνους ανάπτυξης μικροοργανισμών. Σε 63% όμως RH και στους 20°C η ποσότητα νερού φθάνει το 7,9%, ποσοστό που θεωρείται επικίνδυνο για μικροβιακή ανάπτυξη<sup>81</sup>. Στους χώρους αποθήκευσης πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας και να ρυθμίζονται σε σταθερά επίπεδα όπως συνιστάται η μεν θερμοκρασία στους 16-18°C (μέγιστη 21) η δε σχετική υγρασία στο 50-55% (μέγιστη 60%) με κατάλληλα κλιματιστικά μηχανήματα<sup>82, 83</sup>. Στις συνθήκες αυτές οι μικροοργανισμοί δεν νεκρώνονται αλλά αδρανοποιούνται.

Εδώ, αναφέρονται ορισμένοι από τους πιο συνηθισμένους μύκητες που αναπτύσσονται στο χαρτί: *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus terreus*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium commune*. Επίσης τα ευρέως διαδεδομένα γένη μυκήτων *Rhizopus*, *Mortierella*, *Mucor* και *Cunningamella* έχουν

<sup>79</sup> Mary – Lou E Florian, Lesley Manning, *The Ecology of the Fungal Fox Spots in a Book Published in 1854*, *Restaurator* 20 :3 + 4, 1999, σελ. 137-150

<sup>80</sup> P. Choisy, A. De La Chapelle, D. Thomas & M.D. Legoy, *Non Invasive Techniques for the Investigation of Foxing Stains on Graphic Art Material*, *Restaurator*, 18:3, 1997, σελ. 131-152.

<sup>81</sup> N. Valentin, R. Garcia, O. De Luis, S. Maekawa, *Microbial Control in Archives, Libraries and Museums by Ventilation Systems*, *Restaurator*, 19:2, 1998, σελ. 85-88.

<sup>82</sup> *Preservation of Library & Archival Materials: A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992.

<sup>83</sup> Conservation Center For Art & Historic Artifacts, *Mold*, Technical Series No. 1, α.χ.

απομονωθεί από το περιβάλλον αρχείων και βιβλιοθηκών και τα *Alternaria*, *Acremonium*, *Cladosporium* και *Scopulariopsis* συναντώνται συχνά σε μολυσμένα βιβλία και αρχεία <sup>84</sup>.

Μικροοργανισμός	Θερμοκρασία (°)			RH (%)		Απαραίτητη υγρασία του χαρτιού για ανάπτυξη (%)	Ελάχιστη RH που επιτρέπει ανάπτυξη (%)	Ελάχιστος χρόνος απαραίτητος για ανάπτυξη στο χαρτί (ημέρες)
	Opt.	Min.	Max.	Opt.	Min.			
<i>Bacillus subtilis</i>	25-35	5	50	90-100	65	>10-12	90	2 σε 100% 5 σε 90%
<i>Penicillium commune</i>	24-30	-5	50	65-100	50	>7	83,5% στους 10°C 77,0% στους 15°C 72,5% στους 25°C	5 σε 100% 120 σε 70%
<i>Aspergillus niger</i>	24-30	-10	50	75-100	50	>7-8	95% στους 10°C 90% στους 15°C 85% στους 25°C	7 σε 100% 130 σε 85%

Πίνακας 3: Μικροοργανισμοί με υψηλή ενζυματική δραστηριότητα επί της κυτταρίνης που συνήθως απομονώνονται στο χαρτί και στο περιβάλλον. Απαραίτητες συνθήκες για την ανάπτυξή τους <sup>85</sup>

Τα έντομα, κυρίως το ψαράκι και το σαράκι τρέφονται με το χαρτί και δημιουργούν τρύπες που πολλές φορές διαπερνούν το βιβλίο ή διαδρομές σε πάχος πολλών φύλλων. Τα ποντίκια δημιουργούν τεράστια προβλήματα γιατί μπορούν να καταστρέψουν τα βιβλία ολοκληρωτικά. Αρχικά τρώνε τις άκρες των βιβλίων και τα λερώνουν με ούρα.

Στους χώρους αποθήκευσης πρέπει να τοποθετούνται παγίδες για έντομα και τρωκτικά, ώστε να διαπιστωθεί αμέσως η προσβολή του χώρου. Στο παρελθόν, η συνήθης τακτική ήταν οι απολυμάνσεις του υλικού είτε επί τόπου είτε σε θαλάμους απολύμανσης. Η χρήση ουσιών όπως το αιθυλενοξειδίο και το βρωμιούχο μεθύλιο ήταν γενική. Η επικινδυνότητα τους όμως προκάλεσε στροφή σε πιο ήπιες και ακίνδυνες μεθόδους (χρήση αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα, βαθιά ψύξη). Σήμερα πιστεύεται ότι η απόλυτη εξολόθρευση των βιολογικών παραγόντων φθοράς είναι ανέφικτη (σπόρια μυκήτων και βακτήρια είναι συνεχώς παρόντα στον αέρα και στα ρούχα των μελών του προσωπικού αρχείων και βιβλιοθηκών) και όλη η προσπάθεια έχει επικεντρωθεί στο σωστό έλεγχο των συνθηκών διατήρησης <sup>86</sup>.

<sup>84</sup> J. Nyuksha, V. Leonov, *Preservation of Collections at the Russian Academy of Sciences Library, A Retrospective Overview, Problems and solutions*, Restaurator, 18:4, 1997, σελ 204.

<sup>85</sup> Πηγή: N. Valentin, R. Garcia, O. De Luis, S. Maekawa, *op. cit.* σελ. 87, πίνακας 1.

<sup>86</sup> Richard D. Smith, *Fumigation Quandary: More Overkill or Common Sense?*, The Paper Conservator, vol. 10, 1986 σελ. 46-47.



### 1.1.1.5. Μέθοδοι Συντήρησης Χαρτιού

#### 1.1.1.5.1. Βασικά Στάδια Συντήρησης Χαρτιού

Τα βασικά στάδια της συντήρησης χαρτιού εκτίθενται περιληπτικά παρακάτω, με την σειρά που συνήθως εκτελούνται <sup>87</sup>.

1. Στο πρώτο στάδιο γίνεται εκτίμηση των ζημιών, μέτρηση του pH και μερικές προκαταρκτικές δοκιμές (σταθερότητα μελανιού, χρωμάτων, σφραγίδων στο νερό ή σε άλλους διαλύτες κ.λπ.) και αποφασίζεται η διαδικασία που θα ακολουθηθεί. Αν πρόκειται για βιβλίο πρέπει να ελεγχθεί για τυχόν ελλείψεις (φύλλα που μπορεί να λείπουν, χαρακτηριστικά, χάρτες, εσώφυλλα κ.λπ.). Η φωτογραφική αποτύπωση και τεκμηρίωση είναι απαραίτητη σε αυτό το στάδιο, αλλά και σε όλα τα υπόλοιπα ώστε να μην χαθούν πολύτιμες πληροφορίες για την αρχική κατάσταση αλλά και για την πορεία συντήρησης που ακολουθήθηκε.

2. Σε δεύτερη φάση, πρέπει το αντικείμενο από χαρτί που θα συντηρηθεί να απομονωθεί από ό,τι τυχόν το συνοδεύει. Αν πρόκειται για βιβλίο που απαιτεί μεγάλες επεμβάσεις, συνήθως πρέπει να χωριστεί σε φύλλα. Αν πρόκειται για χαρακτηριστικό πρέπει να ξεκολληθεί από τον μουσαμά, το χαρτί ή το χαρτόνι πάνω στα οποία μπορεί να είναι κολλημένο. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει προσεκτικά και χωρίς να δημιουργήσει φθορές.

3. Ξηρός καθαρισμός. Γίνεται με ένα σκληρό και φαρδύ πινέλο και αφαιρεί την σκόνη. Με ένα χειρουργικό νυστέρι μπορούν να ξυστούν τυχόν κολλημένα αντικείμενα. Με μια λευκή γόμα σβησίματος μπορεί να καθαριστεί πιο δύσκολη βρωμιά<sup>88</sup>.

4. Υγρός καθαρισμός. Μπορεί να είναι απλό πλύσιμο με νερό (καθαρό πόσιμο νερό χωρίς χλώριο και ιόντα μετάλλων μετάπτωσης ή εμφιαλωμένο - τα άλατα δεν ενοχλούν, αντίθετα είναι χρήσιμα - αλλά όχι απεσταγμένο<sup>89, 90</sup>) ή με διάφορους οργανικούς διαλύτες. Πριν εφαρμοστεί υγρή διεργασία, πρέπει να ελεγχθεί αν υπάρχουν μελάνια ή χρώματα διαλυτά στο νερό ή στον οργανικό διαλύτη, γιατί αυτά θα απλωθούν ή θα χαθούν. Αν πρέπει να προστατευτούν υδατοδιαλυτά χρώματα ή μελάνια πρέπει να γίνει στερέωση πριν το λουτρό<sup>91, 92</sup>.

<sup>87</sup> Julia Poisson, op. cit.

<sup>88</sup> Μερικά από τα ίχνη που μπορεί να φέρει ένα έγγραφο ή βιβλίο (π.χ. δακτυλικά αποτυπώματα, σταξίματα κεριού) μπορεί να είναι σημαντικά ιστορικά στοιχεία, γι' αυτό χρειάζεται περίσκεψη κατά τους καθαρισμούς ώστε αυτά να μην καταστραφούν. Σε πολλά βιβλία, οι δημοφιλέστερες σελίδες έχουν περισσότερα ίχνη χρήσης και δεν πρέπει να καθαρίζονται ώστε το στοιχείο αυτό να διατηρηθεί.

<sup>89</sup> Helmut Bansa, *Aqueous Deacidification - with Calcium or with Magnesium*, Restaurator, 19:1, 1998, σελ. 3, 5.

<sup>90</sup> Anne Lienardy, Philippe Van Damme, op. cit., σελ. 24.

<sup>91</sup> Agnes Bluher, Anna Haberditzl, Tanja Wimmer, *Aqueous Conservation Treatment of 20th Century Papers Containing Water-Sensitive Inks and Dyes*, Restaurator 20:3+4, 1999 σελ. 181-197.

<sup>92</sup> Marina Bicchieri, Barbara Mucci, *Hydroxypropyl Cellulose and Polyvinyl Alcohol on Paper as Fixatives for Pigments and Dyes*, Restaurator, 17:4, 1996, σελ. 238-251.

Το απλό πλύσιμο με νερό εκτός από το καθάρισμα του χαρτιού κάνει και ικανοποιητική αποξίνιση, γιατί διαλύει το υδατοδιαλυτό μέρος των όξινων συστατικών<sup>93</sup>. Επίσης αυξάνει την ελαστικότητα και τις μηχανικές αντοχές ψαθυρών χαρτιών επειδή προκαλεί αναδιάταξη των ινών της κυτταρίνης και επαναδημιουργία των δεσμών υδρογόνου που είχαν καταστραφεί<sup>94</sup>. Τοπικό υγρό καθάρισμα μπορεί να εφαρμοστεί σε τραπέζι κενού.

Στις υγρές διεργασίες συγκαταλέγεται και η λεύκανση. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές λεύκανσης αλλά όσες βασίζονται σε οξειδωτικά αντιδραστήρια τείνουν να εγκαταλειφθούν γιατί προκαλούν καταστροφή στις ίνες του χαρτιού.

5. Στερέωση και αποκατάσταση μηχανικών φθορών (τρύπες, σχισίματα, γωνίες φθαρμένες, ενίσχυση ασθενούς, φθαρμένου, τσαλακωμένου, μουχλιασμένου ή ψαθυρού χαρτιού). Γίνεται με δύο τρόπους, ανάλογα με τον εξοπλισμό και την έκταση της φθοράς.

α. Με γιαπωνέζικο χαρτί. Στα σχισίματα εφαρμόζεται μια στενή ταινία διαφανούς λεπτού γιαπωνέζικου χαρτιού (Tengujo 7 – 11 gr). Στα σημεία που υπάρχουν τρύπες ή λείπει χαρτί προστίθεται γιαπωνέζικο χαρτί ίδιου πάχους και χρωματισμού με το πρωτότυπο, προσέχοντας να μην υπάρχει αλληλοεπικάλυψη. Η σύνδεση γίνεται με τα ινίδια του γιαπωνέζικου χαρτιού και σαν κόλλες χρησιμοποιούνται συνήθως η μεθυλοκυτταρίνη, η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, η αμυλόκολλα ή ένα μείγμα τους. Λόγω καλύτερης βιοσταθερότητας και συμπεριφοράς στη γήρανση προτιμάται η μεθυλοκυτταρίνη<sup>95</sup>. Οι διαδικασίες αυτές μπορεί να γίνουν σε στεγνό ή σε βρεμένο χαρτί, προτιμάται όμως η υγρή μέθοδος όπου είναι δυνατόν για εκτεταμένες συμπληρώσεις γιατί μετά τη ξήρανση (που γίνεται υπό ελαφρά πίεση) δεν υπάρχει φόβος λόγω διαφορικής συρρίκνωσης των χαρτιών να δημιουργηθούν παραμορφώσεις.

β. Με χαρτοπολτό. Ο χαρτοπολτός παρασκευάζεται από γιαπωνέζικο χαρτί ή καθαρό λινό ή βαμβακερό ύφασμα (μη λευκασμένο και χωρίς πρόσθετα) και προστίθεται στα κενά ή με ειδική μηχανή (Leaf casting machine) για μαζική παραγωγή ή σε τραπέζι κενού για μικροεπισκευές. Πολλά εργαστήρια συντήρησης χρησιμοποιούν χημικό λευκασμένο πολτό που διατίθεται στο εμπόριο για το σκοπό αυτό, ο οποίος βέβαια πρέπει να έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές.

<sup>93</sup> Anne Lienardy, Philippe Van Damme, op. cit., σελ 23, 27.

<sup>94</sup> Ibid.

<sup>95</sup> Jirina Strnadova, Michael Durovic, *The Cellulose Ethers in Paper Conservation*, Restaurator, 15:4, 1994, σελ. 220-241.

Αν το χαρτί είναι αδύνατο ενισχύεται από την μια ή και από τις δυο πλευρές με λεπτό γιανωζέζικο χαρτί (tissue) που συγκολλάται με μεθυλοκυτταρίνη<sup>96, 97</sup> (lamination). Στο τέλος των παραπάνω διαδικασιών το χαρτί τοποθετείται ανάμεσα από λεία καθαρά σανίδια, μελινέξ (πολυεστερικό φιλμ), στυπόχαρτα και τελικά Holytex<sup>98</sup> και στεγνώνει υπό ελαφρά πίεση (σε πρέσα) για να αποφευχθούν παραμορφώσεις

6. Η τελευταία υγρή διεργασία είναι το κολλάρισμα (sizing). Συνίσταται στο άπλωμα κόλλας (μεθυλοκυτταρίνης, καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης, αμυλόκολλας ή ζελατίνας) σε μετρίως υγρό χαρτί με μαλακό πινέλο από ζωικές τρίχες. Με το κολλάρισμα μπορεί να συνδυαστεί η εξουδετέρωση των οξέων αν προστεθεί στο διάλυμα της κόλλας μικρή ποσότητα όξινου ανθρακικού ασβεστίου ή όξινου ανθρακικού μαγνησίου, που θα βοηθήσει στην προστασία του χαρτιού από την δράση των οξέων στο μέλλον (Alkali reserve).

7. Αποξίνιση-Εξουδετέρωση των οξέων. Αποτελεί ίσως το σημαντικότερο στάδιο στη συντήρηση χαρτιού, όσον αφορά τις μακροχρόνιες προοπτικές διατήρησής του. Όπως αναφέρθηκε ικανοποιητική αποξίνιση γίνεται με απλό πλύσιμο με νερό για 1 έως 2 ώρες<sup>99</sup>. Η συνήθης πρακτική είναι να προστίθεται στο τελευταίο λουτρό πλύσης μικρή ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου (ή όξινου ανθρακικού ασβεστίου ή μαγνησίου), συνήθως 2%, που θα εξουδετερώσει και τις όξινες ομάδες που έχουν σχηματιστεί στα μόρια της κυτταρίνης από υδρόλυση ή οξειδωση (μη υδατοδιαλυτό όξινο περιεχόμενο του χαρτιού). Επιπλέον, μια μικρή ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου θα παραμείνει στο χαρτί και με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας θα σχηματίσει ανθρακικό ασβέστιο, του οποίου η δράση είναι γνωστή. Όπως αναφέρθηκε, η εξουδετέρωση μπορεί να συνδυαστεί με το κολλάρισμα. Σε περίπτωση που δεν είναι επιθυμητό ή δυνατό να χρησιμοποιηθεί νερό σαν διαλύτης υπάρχουν μέθοδοι αποξίνισης που δεν χρειάζονται υδατικό διάλυμα. Υπάρχουν στην αγορά προϊόντα σε σπρέι ή υγρή μορφή που απλώνονται με πινέλο στο χαρτί (π.χ. WEI T'O, Archival aids) που περιέχουν οργανικές ενώσεις του μαγνησίου σε οργανικούς διαλύτες που απελευθερώνουν στο χαρτί ανθρακικό μαγνήσιο. Η αποξίνιση με ενώσεις του μαγνησίου θεωρείται ότι επιτυγχάνει υψηλότερο τελικό pH του χαρτιού, αλλά σύμφωνα με τελευταίες έρευνες προκαλεί χειροτέρευση των οπτικών ιδιοτήτων, κυρίως των χαρτιών με υψηλό περιεχόμενο σε λιγνίνη<sup>100</sup>.

<sup>96</sup> D. G. Suryawanshi, P. M. Nair M. V. Sinha, *Evaluation of Adhesives and Supporting Materials for the Process of Lamination of Old Documents*, Restaurator, 17:4, 1996, σελ. 229-237.

<sup>97</sup> Julia Poisson, op. cit.

<sup>98</sup> Πολυεστερικό υδατοδιαπερατό υλικό σε φύλλα, μη υφασμένο, ώστε να μην αφήνει ίχνη της δομής του πάνω στο χαρτί ούτε και μετά από πίεση.

<sup>99</sup> Anne Lienardy, Philippe Van Damme, op. cit., σελ 23, 27

<sup>100</sup> Helmut Bansa, op. cit.



#### 1.1.1.5.2. Γενικές Προδιαγραφές Μεθόδων Αποξίνισης <sup>101, 102</sup>

Η ιδανική μέθοδος αποξίνισης πρέπει να εξασφαλίζει:

- Πλήρη απομάκρυνση του διαλυτού όξινου περιεχομένου
- Πλήρη εξουδετέρωση παραμένουσας οξύτητας
- Απομάκρυνση όσο το δυνατόν περισσότερων προϊόντων της εξουδετέρωσης
- Απόθεση μιας χημικής ουσίας στο χαρτί που μπορεί να ανεβάσει το pH του στην περιοχή 8 - 8,5 (alkali reserve) και να το κρατήσει στην αλκαλική περιοχή για μεγάλο διάστημα
- Ομοιόμορφη απόθεση του παράγοντα αποξίνισης, ακόμα και στο εσωτερικό ολόκληρου βιβλίου
- Η διαδικασία αποξίνισης (κυρίως ο διαλύτης) δεν πρέπει να έχει παρενέργειες πάνω στα υλικά που εφαρμόζεται (χαρτί, δέρμα, μελάνι, χρωστικές κ.λπ.) και πρέπει αποδεδειγμένα να μην επηρεάζει αρνητικά τη διάρκεια της γήρανσής τους
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να μην είναι τοξικά για το προσωπικό και τους χρήστες και να είναι φιλικά προς το περιβάλλον
- Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας δεν πρέπει να εφαρμόζονται ακραίες συνθήκες που καταπονούν το υλικό (έντονη ξήρανση, υψηλές θερμοκρασίες, μηχανικές καταπονήσεις κ.λπ.)
- Δεν πρέπει να αλλοιώνεται η εικόνα του αντικειμένου και να υπάρχουν παραμένουσες οσμές και υπολείμματα

Η ιδανική μέθοδος αποξίνισης πρέπει να μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε είδους βιβλιακό και αρχειακό υλικό χωρίς να απαιτείται προεπιλογή και ειδική προετοιμασία.

---

<sup>101</sup> J. Wittekind, op. cit. σελ. 191

<sup>102</sup> L. Brandis, op. cit.

### 1.1.1.5.3. Ειδικές Μέθοδοι Συντήρησης

#### 1.1.1.5.3.1. Μέθοδοι Μαζικής Αποξίνισης

Έχουν αναπτυχθεί οι εξής κύριες μέθοδοι μαζικής αποξίνισης<sup>103, 104</sup>, οι οποίες με μια μόνο εξαίρεση βασίζονται σε οργανικούς (μη υδατικούς) διαλύτες<sup>105</sup>:

##### 1. Μέθοδος *Wei T'o*<sup>106</sup>

Εφαρμόζεται στα Εθνικά Αρχεία του Καναδά. Το πρώτο στάδιο είναι η αφυδάτωση του υλικού σε 58°C για 26 ώρες. Η διαδικασία διαρκεί 25 min, ο παράγοντας αποξίνισης είναι το ανθρακικό μεθοξυ-μεθυλο-μαγνήσιο (methoxy magnesium methyl carbonate) και για διαλύτης χρησιμοποιείται μίγμα μεθανόλης και ενός χλωροφθοράνθρακα. Μετά το υλικό παραμένει σε θερμοκρασία δωματίου για να στεγνώσει.

##### 2. Μέθοδος *Archival Aids*

Εφαρμόζεται στο Κέντρο Συντήρησης της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Γαλλίας. Το υλικό ξηραίνεται στους 60°C στον αέρα για 12 h και μετά σε κενό στην ίδια θερμοκρασία για 20 h. Η διαδικασία διαρκεί 15 – 30 min και χρησιμοποιείται ανθρακικό αιθοξυ-μαγνήσιο (ethoxy magnesium carbonate). Μετά την ανάκτηση του διαλύτη το υλικό αφήνεται για 24 h σε θερμοκρασία δωματίου.

##### 3. Μέθοδος *Bookkeeper*

Εφαρμόζεται από την εταιρεία Preservation Technologies Inc. Το υλικό αφού παραμένει σε κενό για 15 min υφίσταται αποξίνιση με οξείδιο του μαγνησίου για 10 min. Ο διαλύτης ανακτάται με ξήρανση σε κενό για 60 min.

##### 4. Μέθοδος *Akzo* ή *DEZ*<sup>107</sup>

Η εταιρεία Akzo Chemicals Inc συνεχίζει την μέθοδο με DEZ (διαιθυλικός ψευδάργυρος) που τελειοποιήθηκε από τους J.C. Williams και G.B. Kelly της βιβλιοθήκης του Κονγκρέσου. Ο παράγοντας αποξίνισης είναι αέριο: ο διαιθυλικός ψευδάργυρος. Μετά 30 min ξήρανση η διαδικασία αποξίνισης γίνεται υπό ελαττωμένη πίεση σε 40 – 55°C για 8 h. Το υλικό αφήνεται σε θερμοκρασία δωματίου και κανονική πίεση για 22 h.

<sup>103</sup> Ibid.

<sup>104</sup> A. Lienardy, *Evaluation of Seven Mass Deacidification Treatments*, *Restaurator*, 15:1, 1994, σελ. 1-25.

<sup>105</sup> R. Smith, *Non-Aqueous Deacidification: Its Philosophies, Origin, Development and Status*, *The Paper Conservator*, 12, 1988, σελ. 31-34.

<sup>106</sup> G. Morrow, *Mass Deacidification: Operational Experience at the National Archives and the National Library of Canada*, *The Paper Conservator*, 12, 1988, σελ. 40-46.

<sup>107</sup> J. Havermans, R. Van Deventer, T. Steemers, *Mass Deacidifications of Archival Materials using Diethyl Zinc*, *Restaurator*, 16:3, 1995, σελ. 123-142.

##### 5. Μέθοδος FMC

Τα βιβλία αρχικά ξηραίνονται με διηλεκτρική θέρμανση (dielectric heating – radio frequency drying) υπό ελαττωμένη πίεση στους 50°C για 3 ώρες. Η αποξίνιση γίνεται με βουτοξυτριγλυκολικό μαγνήσιο (magnesium butoxytriglycolate) και διαρκεί 10 min. Ο διαλύτης (freon 113) ανακτάται και τα βιβλία ξηραίνονται για 3 ώρες με διηλεκτρική θέρμανση.

##### 6. Μέθοδος εταιρείας Book Preservation Associates (BPA)

Η μέθοδος δεν περιλαμβάνει αφυδάτωση. Διαρκεί 21 ώρες, η θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους 37°C και χρησιμοποιούνται μόνο, δι και τριαιθανολαμίνες. Το υλικό πρώτα εμποτίζεται με αέρια αμμωνία και μετά αντιδρά με αέριο οξείδιο του αιθυλενίου.

##### 7. Μέθοδος της Βιέννης

Βιβλία χωρίς εξώφυλλα βυθίζονται σε υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου και μεθυλοκυτταρίνης. Κατόπιν πρεσάρονται πριν καταψυχθούν (- 30°C για 1 ώρα) και μετά αφήνονται να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση για 3 ημέρες.

##### 8. Μέθοδος του Ινστιτούτου Battelle<sup>108, 109</sup>

Εφαρμόζεται στην Deutsche Bibliothek. Το υλικό ξηραίνεται (έως κάτω του 1% υγρασία) σε θάλαμο κενού με τη βοήθεια μικροκυμάτων. Η ξήρανση κρατά για 1-2 ώρες και η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 60°C. Ο εμποτισμός γίνεται με διπλά αλκοξείδια του Mg και του Ti [Ti(OR)<sub>4</sub>Mg(OR)<sub>2</sub>] και για διαλύτης χρησιμοποιείται εξαμεθυλδισιλοξάνιο (HMDO). Ακολουθεί ξήρανση υπό κενό με μικροκύματα. Ο κύκλος κρατά περίπου 3 ώρες. Από τη δημοσίευση της μεθόδου από τους δημιουργούς της (1994) δεν έχει δημοσιευθεί αξιολόγησή της από ανεξάρτητους ερευνητές.

Καμία από τις παραπάνω μεθόδους δεν είναι απόλυτα αποτελεσματική για όλους τους τύπους του υλικού (για την Battelle δεν υπάρχει αξιολόγηση). Κάποιες από τις μεθόδους αυτές προκαλούν προβλήματα όπως τρέξιμο μελανιών, παραμόρφωση των βιβλίων, δημιουργία αποθέσεων και παραμένουσα οσμή ενώ άλλες δεν δημιουργούν επαρκές αλκαλικό απόθεμα λόγω μικρής διεισδυτικότητας του μέσου αποξίνισης. Οι πιο αποδεκτές σύμφωνα με την βιβλιογραφία<sup>110, 111</sup> είναι οι DEZ και η Bookkeeper.

<sup>108</sup> J. Wittekind, op. cit. σελ. 189-207.

<sup>109</sup> J. Liers, P. Schwerdt, *The Battelle Deacidification Process Equipment and Technology*, Restaurator, 16:1, 1995, σελ. 1-9.

<sup>110</sup> A. Lienardy, op. cit.

<sup>111</sup> L. Brandis, op. cit.

#### 1.1.1.5.3.2. Μαζική Ολοκλήρωση και Στερέωση με Χαρτοπολτό (Leafcasting)<sup>112, 113</sup>

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για συμπλήρωση κομματιών χαρτιού που λείπουν (ολοκλήρωση) και για στερέωση ασθενών και ψαθυρών χαρτιών με χαρτοπολτό. Η συσκευή που χρησιμοποιείται (leafcasting machine) μπορεί να είναι από πολύ απλή έως πολύ σύνθετη. Αποτελείται από ορθογώνια μεταλλική λεκάνη ικανού βάθους η οποία μπορεί να αδειάζει με τη βοήθεια αντλίας, ο πυθμένας της οποίας είναι κατασκευασμένος από μεταλλική σχάρα. Τα προς συμπλήρωση φύλλα χαρτιού τοποθετούνται στην επιφάνεια της σχάρας και το αιώρημα χαρτοπολτού σε νερό στη λεκάνη. Η αντλία αναρροφά με κατάλληλη ταχύτητα το αιώρημα του χαρτοπολτού και οι ίνες αποτίθενται στα κενά. Φύλλα πολυεστέρα (melinex) τοποθετούνται γύρω από τις περιοχές που θα συμπληρωθούν ώστε να περιορίσουν την απόθεση των ινών στις επιθυμητές περιοχές. Σε σύνθετες συσκευές ο υπολογισμός της ποσότητας και του χρώματος των ινών (ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος και χρώμα) και της ταχύτητας αναρρόφησης γίνεται με υπολογιστή που διαθέτει κατάλληλο λογισμικό.

---

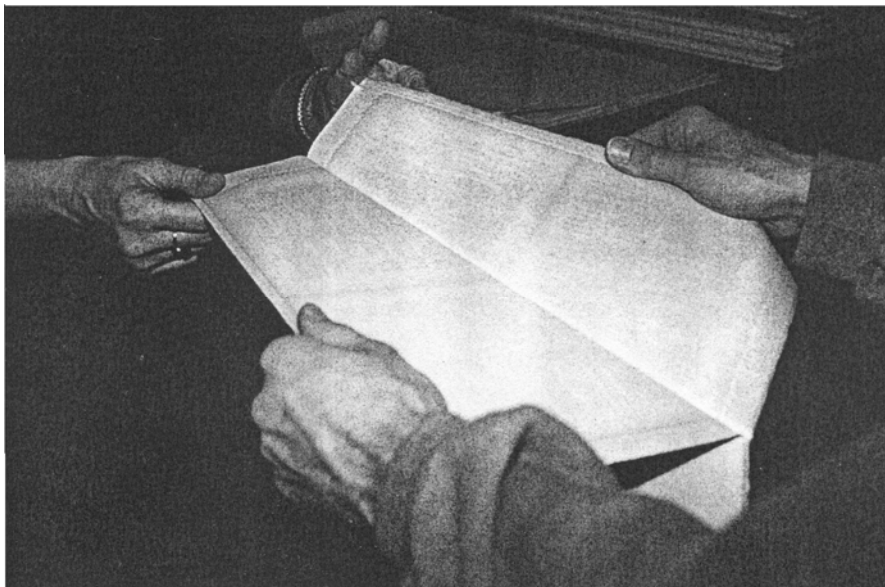
<sup>112</sup> H. Bansa, R. Ishii, *The Effect of Different Strengthening Methods on Different Kinds of Paper Restaurator* , 18:2, 1999 σελ, 51-72.

<sup>113</sup> H. Bansa, R. Ishii, *What Fiber for Paper Strengthening?*, *Restaurator* , 20:3+4, 1999 σελ. 198-224



### 1.1.1.5.3.3. Διάσχιση του Χαρτιού και Στερέωση με Παρεμβολή Υγιούς Χάρτινου Πυρήνα (Paper Splitting)<sup>114, 115</sup>.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη στερέωση ασθενούς και ψαθυρού χαρτιού. Παρουσιάζεται σε πολλές παραλλαγές, αλλά η αρχή της μεθόδου συνίσταται στην διαίρεση ενός φύλλου χαρτιού στη μέση, την τοποθέτηση ενισχυτικού υλικού στον πυρήνα και την επανασυγκόλληση των δύο κομματιών. Η διάσχιση του φύλλου επιτυγχάνεται με συγκόλληση 2 φύλλων ανθεκτικού χαρτιού από τις δύο πλευρές του με ζελατίνη. Με μια γρήγορη αλλά σταθερή κίνηση τα δύο φύλλα-φορείς αποχωρίζονται και οι δύο όψεις του φύλλου παραμένουν συγκολλημένες σε αυτά. Το ενισχυτικό υλικό (χαρτί) συγκολλάται ανάμεσα από τις δύο όψεις του φύλλου και τα 2 φύλλα-φορείς αποκολλώνται (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Διάσχιση φύλλου χαρτιού. Διακρίνονται τα φύλλα-φορείς<sup>116</sup>

Στη Γερμανική Βιβλιοθήκη του Leipzig έχει αναπτυχθεί πλήρως μηχανοποιημένο σύστημα που αφ' ενός επιτρέπει μαζική εφαρμογή<sup>117</sup>, αφ' ετέρου μειώνει τον κίνδυνο καταστροφών λόγω κακού χειρισμού.

<sup>114</sup> J. Liers, W. Wachter, G. Muller, *Results of the Paper Splitting Process*, *Restaurator*, 17:3, 1996, σελ.184-192.

<sup>115</sup> W. Wachter, J Liers, E Becker, *Paper Splitting at the German Library in Leipzig – Development from Craftsmanship to Full Mechanization*, *Restaurator*, 17:1, 1996, σελ.32-45.

<sup>116</sup> Πηγή: *ibid.*, σελ.35, fig. 3.

<sup>117</sup> *Ibid.*

Η μέθοδος αυτή, παρ' ότι ενισχύει σημαντικά την αντοχή και την χρηστικότητα ψαθυρών και ασθενών χαρτιών αλλοιώνει σημαντικά την φύση και την υφή του χαρτιού, εισάγει το στοιχείο της κιβδηλείας στο αυθεντικό υλικό και η αντιστρεπτότητά της είναι αμφισβητήσιμη. Επιπλέον, η χρήση πολυακρυλικών διασπορών (Acrymul) σαν συστατικό του υλικού συγκόλλησης του πυρήνα πιθανόν να επηρεάζει αρνητικά τη πορεία γήρανσης των συντηρημένων με αυτό τον τρόπο χαρτιών, παρόλο που σχετικές μελέτες δεν δείχνουν να συμβαίνει κάτι τέτοιο σε ανησυχητικό βαθμό<sup>118</sup>.

---

<sup>118</sup> H. Bansa, R. Ishii, *The Effect of Different Strengthening Methods on Different Kinds of Paper Restaurator*, 18:2, 1999 σελ. 51-72

#### 1.1.1.5.4. Ξήρανση Υγρών Βιβλίων και Αρχείων<sup>119,120</sup>

Δεδομένου ότι η μελέτη αυτή αφορά τη συντήρηση του ιστορικού αρχείου του ΚΚΕ, της οποίας το σημαντικότερο και πιο επείγον στάδιο ήταν η ξήρανση του υλικού το οποίο είχε βραχεί από την πλημμύρα του 1994, θεωρείται απαραίτητο να γίνει μια αναφορά στις μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ξήρανση αρχειακού και βιβλιακού υλικού.

Πρέπει να αναφερθεί ότι καμία μέθοδος στεγνώματος δεν αποκαθιστά το υλικό στην αρχική του κατάσταση. Οι βλάβες που αυτό έχει υποστεί από την διαβροχή και αυτές που θα υποστεί από την ξήρανση είναι αναντίστρεπτες. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι σε περίπτωση που χρειάζεται χρόνος για να ληφθούν αποφάσεις και να προγραμματιστούν ενέργειες, το υλικό πρέπει άμεσα να καταψυχθεί προσωρινά για να εμποδιστεί η παραμόρφωσή του και η ανάπτυξη μυκήτων.

- *Ξήρανση σε ρεύμα αέρα:*

Είναι κατάλληλη κυρίως για μικρή ποσότητα υλικού που είναι ελαφρώς υγρό. Επειδή δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό φαίνεται να είναι η φθηνότερη μέθοδος. Είναι όμως και η πιο απαιτητική σε εργατόρες, μπορεί να καταλάβει πολύ μεγάλο χώρο και πολλές φορές έχει σαν αποτέλεσμα παραμορφωμένες βιβλιοδεσίες και έγγραφα. Σπανίως είναι αποτελεσματική σε δεμένο επικαλυμμένο (ή γυαλιστερό) χαρτί. Η χρήση εκβιασμένης κυκλοφορίας αέρα<sup>121</sup> (ανεμιστήρων κ.λπ.) βοηθάει στη γρήγορη ξήρανση και την αποφυγή ανάπτυξης μυκήτων. Τα χειρόγραφα πρέπει να τοποθετούνται μεμονωμένα πάνω σε ξηρά υπόβαθρα (πολυεστερικά φιλμ κ.λπ.) για να μην κολλάνε μεταξύ τους ενώ στα βιβλία πρέπει να τοποθετούνται στυπόχαρτα ανά μερικές σελίδες. Οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του χώρου ξήρανσης πρέπει να είναι κάτω από 21°C και 50%.

- *Χρήση αφυγραντήρων:*

Μεγάλης ισχύος αφυγραντήρες του εμπορίου τοποθετούνται στο χώρο που φυλάσσεται η συλλογή, χωρίς αυτή ή τα έπιπλα να μετακινηθούν. Η θερμοκρασία και η υγρασία ρυθμίζονται σε χαμηλά επίπεδα, χαμηλότερα από αυτά που προβλέπονται για την διατήρηση. Μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το υλικό δεν χρειάζεται να μετακινηθεί.

<sup>119</sup> Preservation of Library & Archival Materials, *A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992.

<sup>120</sup> Α. Μοροπούλου, *Σημειώσεις Μαθήματος 3.5.2. Συντήρηση Χαρτιού – Διατήρηση Αρχείων* του ΔΠΜΣ ΕΜΠ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, α.χ.

<sup>121</sup> Παραλλαγή της μεθόδου με μεγάλη αποτελεσματικότητα περιγράφεται στο: J. Nyuksha, V. Leonov, *Preservation of Collections at the Russian Academy of Sciences Library, A Retrospective Overview, Problems and solutions*, Restaurator, 18:4, 1997, σελ. 204.

- *Ξήρανση σε αυτόματα αποψυχόμενο καταψύκτη*

Ο καταψύκτης πρέπει να έχει τη δυνατότητα να κατεβεί πολύ γρήγορα σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από  $-20^{\circ}\text{C}$ . Επίσης πρέπει να διαθέτει σύστημα αυτόματης απόψυξης ώστε να απομακρύνεται ο πάγος που σχηματίζεται από το νερό που αποβάλλεται από το υλικό. Η μέθοδος λειτουργεί για μετρίως υγρά υλικά. Τα βιβλία στεγνώνουν καλύτερα (με μικρότερη παραμόρφωση) αν οι βιβλιοδεσίες τους υποστηρίζονται σταθερά. Ο χρόνος που απαιτείται μπορεί να είναι από μερικές εβδομάδες έως αρκετούς μήνες, ανάλογα με τη θερμοκρασία και την έκταση της διαβροχής.

- *Ξήρανση σε κενό εν θερμώ ( $\theta > 0^{\circ}\text{C}$ )*<sup>122</sup>

Βιβλία και αρχαιακό υλικό μπορούν να στεγνώσουν σε θερμαινόμενο θάλαμο υπό κενό, στον οποίο τοποθετούνται υγρά ή κατεψυγμένα. Δημιουργείται κενό και με την προσφορά θερμότητας η ξήρανση γίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των  $0^{\circ}\text{C}$ , που σημαίνει ότι το υλικό παραμένει υγρό κατά την διάρκεια της ξήρανσης. Παρόλο που η μέθοδος είναι αποδεκτή, συνήθως δημιουργεί παραμορφώσεις και σχεδόν πάντα προκαλεί συγκόλληση επικαλυμμένων χαρτιών. Για μεγάλες ποσότητες υλικού είναι ευκολότερη από την ξήρανση σε ρεύμα αέρα και σχεδόν πάντοτε φθηνότερη. Πάντως, εκτεταμένη αναβιβλιοδεσία του υλικού πρέπει να αναμένεται. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε υλικό με εκτεταμένες βλάβες από νερό.

- *Ξήρανση σε κενό υπό ψύξη ( $\theta < 0^{\circ}\text{C}$ )*

Η μέθοδος αυτή απαιτεί περίπλοκες συσκευές και εξοπλισμό και είναι κατάλληλη ειδικά για πολύ υγρά βιβλία και αρχεία όπως επίσης και για επικαλυμμένο χαρτί. Το υλικό τοποθετείται στο θάλαμο κατεψυγμένο, δημιουργείται κενό και το υλικό ξεπαγώνει κάτω από τους  $0^{\circ}\text{C}$  με την προσφορά θερμότητας. Η ξήρανση γίνεται με εξάχνωση του πάγου και αφού το νερό περνά από τη στερεά στην αέρια κατάσταση χωρίς να περάσει από την υγρή αποφεύγονται επιπλέον παραμορφώσεις. Επικαλυμμένο χαρτί μπορεί να στεγνώσει ικανοποιητικά αν τοποθετηθεί στο θάλαμο το πολύ μετά από 6 ώρες από την διαβροχή του. Κίνδυνος υπάρχει για το δέρμα, την περγαμνή και τις φωτογραφίες. Η μέθοδος απαιτεί μεγάλη αρχική δαπάνη αλλά το αποτέλεσμα της είναι καλύτερο από άλλες μεθόδους. Το κόστος της ελαττώνεται αν ληφθεί υπ' όψη ότι συνήθως δεν χρειάζονται επιπλέον δαπάνες για αναβιβλιοδεσία.

---

<sup>122</sup> J. Gibson, D. Reay, *Drying Rare Books Soaked by Water*, The Paper Conservator, 7, 1982/83, σελ. 28-34.

#### 1.1.1.5.5. Δεοντολογία και Ηθική

Όλες οι μέθοδοι συντήρησης που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να εφαρμοστούν σωστά και να περισώσουν την πνευματική και πολιτιστική μας κληρονομιά. Μπορούν όμως και να την υποβαθμίσουν, στερώνοντας της πολύτιμα στοιχεία τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της.

Η διατήρηση της πληροφορίας είναι ο σημαντικότερος και ο πιο φανερός λόγος των επεμβάσεων της συντήρησης σε αρχαιολογικό ή βιβλιακό υλικό. Εκ πρώτης όψεως φαίνεται ότι όλη η πληροφορία βρίσκεται υπό μορφή κειμένου ή γραφικών, και ότι το αντικείμενο που συντηρείται εξυπηρετεί απλώς σαν υπόστρωμα. Αυτή είναι η κρατούσα άποψη μεταξύ των ανυποψίαστων υπαλλήλων των αρχείων και βιβλιοθηκών στη χώρα μας, αλλά και σε πολλά άλλα μέρη του κόσμου. Όλοι αναγνωρίζουν την ιστορική αξία ενός παλιού βιβλίου, αλλά οι περισσότεροι την αντιλαμβάνονται μόνον ως αξία του περιεχομένου και ίσως ως οικονομική ή συναισθηματική.

Όμως ένα παλιό βιβλίο ή χειρόγραφο μεταφέρει πολύ περισσότερες πληροφορίες από αυτές που υπάρχουν στο κείμενο ή τα γραφικά του. Πληροφορίες αρχαίας τεχνολογίας και επιστήμης για την κατασκευή του χαρτιού, του δέρματος, και του μελανιού της εποχής του. Ένας αρχαιομέτρης θα μπορούσε να συγκεντρώσει πολύτιμα στοιχεία από τα οποία θα μπορούσαν να βγουν συμπεράσματα για το τότε εμπόριο, τις μετακινήσεις πληθυσμών, την παραγωγή πρώτων υλών, το κλίμα κ.λπ. Ένας ξυλόδετος Βυζαντινός κώδικας μπορεί να χρονολογηθεί από τους δακτυλίους του ξύλου και ταυτόχρονα να εξαχθούν συμπεράσματα για το κλίμα μιας περιοχής την συγκεκριμένη εποχή. Από την τεχνική βιβλιοδεσίας μπορεί να φανούν επιρροές από άλλες περιοχές και έτσι να βγουν συμπεράσματα για το εμπόριο και τις μετακινήσεις πληθυσμών. Από τα χημικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία του δέρματος φαίνονται οι γνώσεις χημείας της συγκεκριμένης εποχής και περιοχής, αλλά και η διαθεσιμότητα πρώτων υλών. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά εμπεριέχουν τις τότε καλλιτεχνικές απόψεις αλλά και το επίπεδο, την πείρα και την ικανότητα των τεχνιτών. Τα παραδείγματα που αναφέρθηκαν είναι ενδεικτικά. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει όριο στον πλούτο των πληροφοριών που θα μπορούσε να φέρει ένα αρχαίο βιβλίο ή χειρόγραφο. Πρέπει έτσι να αναγνωριστεί ότι ένα αρχαίο βιβλίο ή χειρόγραφο είναι ένα αντικείμενο αρχαιολογικής αξίας και ότι πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν τέτοιο.

Σε όλες τις επεμβάσεις συντήρησης ο πρώτος στόχος παραμένει η διατήρηση της γραπτής πληροφορίας. Πρέπει όμως ο στόχος αυτός να μην επιτυγχάνεται εις βάρος των άλλων, ενδογενών πληροφοριών που φέρει το αντικείμενο. Έτσι, μια επέμβαση συντήρησης πρέπει να είναι πρωτίστως μια διαδικασία λήψης σωστών αποφάσεων σχετικά με τις πληροφορίες που πρέπει να διατηρηθούν. Η λήψη των αποφάσεων αυτών δεν είναι εύκολη, γιατί οι σκοποί που πρέπει να υπηρετηθούν πολλές φορές είναι αντικρουόμενοι και οι υπάρχουσες πληροφορίες

ελλιπείς. Επεμβάσεις ρουτίνας όπως η αποξίνιση και το κολλάρισμα, αν ιδωθούν με το παραπάνω πνεύμα μπορεί να θεωρηθεί ότι συσκοτίζουν τις χημικές πληροφορίες που φέρει ένα αντικείμενο και να απορριφθούν. Έτσι όμως ο χρόνος ζωής του αντικειμένου περιορίζεται και το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι η ολοκληρωτική καταστροφή του.

Αν στο παραπάνω παράδειγμα η απόφαση φαίνεται εύκολη, υπάρχουν περιπτώσεις που δεν είναι. Είναι πολύ συνηθισμένη η περίπτωση να ζητείται από τον συντηρητή η αναβιβλιοδεσία μισοκατεστραμμένων μεσαιωνικών κωδίκων. Από τα υπολείμματα της παλιάς βιβλιοδεσίας δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν όλες οι πληροφορίες για την αρχική του κατάσταση. Τα δέρματα και τα ξύλα είναι κατεστραμμένα και σαθρά και τα φύλλα είναι σε κάποια σημεία μισοκαμένα και λεκιασμένα. Η ράχη έχει ξεκολλήσει και το ράψιμο έχει καταστραφεί. Ποια είναι η καλύτερη επέμβαση συντήρησης και σε ποια μορφή πρέπει να αποκατασταθεί το βιβλίο; Οι διεθνείς συνθήκες για την αρχιτεκτονική πολιτιστική κληρονομιά (Χάρτης της Βενετίας) προβλέπουν ότι η αποκατάσταση γίνεται κατ' εξαίρεση σε ειδικές περιπτώσεις μόνο και δεν μπορεί να είναι ο κανόνας και ο στόχος των επεμβάσεων συντήρησης. Αν όμως ο περί ου ο λόγος μεσαιωνικός κώδικας δίνεται για μελέτη στους ερευνητές πολύ σύντομα θα καταστραφεί, εξ ου και το αίτημα προς τον συντηρητή για αναβιβλιοδεσία, η οποία θεωρείται ότι προστατεύει τα φύλλα και την δομή του. Αν ο συντηρητής αποδεχτεί το αίτημα για αναβιβλιοδεσία, σαφώς θα πρέπει να αυθαιρετήσει, γιατί τα στοιχεία που έχει είναι ελλιπή. Αν προβεί και σε αλλαγή δέρματος και ξύλινων εξώφυλλων, ο κώδικας σαν αρχαιολογικό αντικείμενο έχει πλέον καταστραφεί.

Αυτού του είδους οι επεμβάσεις συντήρησης είναι ίσως ο μεγαλύτερος πραγματικός κίνδυνος που διατρέχουν τα αρχαιακά και βιβλιακά μας κειμήλια. Έχουν προκληθεί αμέτρητες καταστροφές από ακατάλληλες επεμβάσεις συντήρησης, οι οποίες στην αρχή θεωρείται ότι αναβαθμίζουν το αντικείμενο γιατί αυτό παρουσιάζεται καθαρό και τακτοποιημένο. Η σύγχρονη τάση παγκοσμίως περιγράφεται από ένα δόκιμο όρο, την «αρχαιολογία των βιβλίων». Η αρχαιολογία των βιβλίων συνίσταται στην συνολική και πολυεπιστημονική θεώρηση των αξιών και των πληροφοριών που φέρει το αντικείμενο. Αφορά ειδικότητες όπως τους ιστορικούς τέχνης, αρχειονόμους, βιβλιοθηκονόμους, συντηρητές, χημικούς, μηχανικούς, βιολόγους αλλά και αρχιτέκτονες, μηχανολόγους και όλους γενικά τους κλάδους που εμπλέκονται στο θέμα της μελέτης, της διαχείρισης και της διατήρησης των συλλογών<sup>123</sup>. Οι αποφάσεις σχετικά με τις επεμβάσεις συντήρησης είναι πολλές φορές τόσο περίπλοκες που χρειάζεται η συνεισφορά όλων των παραπάνω επιστημονικών κλάδων.

<sup>123</sup> Πολύ ενδιαφέρουσες απόψεις για την δεοντολογία και την ηθική της συντήρησης και τους κινδύνους που διατρέχουν σπάνια βιβλιακά και αρχαιακά κειμήλια από λανθασμένες επεμβάσεις συντήρησης υπάρχουν στο: C. Clarkson, *The Conservation of Early Books in Codex Form, A Personal Approach: Part I*, *The Paper Conservator*, 3, 1978, σελ.33-50

Αρχές της συντήρησης αρχαιακού και βιβλιακού υλικού όπως η αντιστρεπτότητα και η συμβατότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται δεν έχουν πάψει να ισχύουν, αλλά τα πράγματα πλέον είναι πολύ πιο πολύπλοκα.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν δώσει καινούργια υλικά και τεχνικές συντήρησης. Τα υλικά αυτά ελέγχονται πλέον όσον αφορά τις επιδράσεις τους στο χαρτί και τα άλλα υλικά που εμπλέκονται, αλλά και όσον αφορά την αντοχή τους στο χρόνο. Έτσι, δύσκολα πλέον συναντώνται σε χρήση τεχνικές συντήρησης που χρησιμοποιήθηκαν πολύ πριν από 30 – 40 χρόνια και που με την πάροδο του χρόνου αποδείχτηκε ότι προκαλούσαν αντίθετα αποτελέσματα (πλαστικοποίηση, θερμοπλαστικά υλικά, λεύκανση του χαρτιού κ.λπ.). Σήμερα, κυριαρχούν θέματα όπως η αποφυγή της κιβδηλείας με την εισαγωγή υλικών ακίνδυνων μεν αλλά που αλλοιώνουν την υφή και την αισθητική εικόνα του αντικειμένου. Ειδικά στην συντήρηση αρχείων, επεμβάσεις αισθητικής αποκατάστασης πρέπει να αποφεύγονται, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν απαιτείται προσοχή και ευαισθησία από τον συντηρητή ώστε οι επεμβάσεις να είναι μεν ορατές αλλά χωρίς να αγγίζουν τα όρια της κακοτεχνίας.

Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, η παρεμβατική συντήρηση πρέπει να ενσωματώνεται στο γενικότερο σχέδιο διατήρησης. Μέρος του γενικού σχεδιασμού διατήρησης αφορά αποφάσεις για το τμήμα του υλικού που θα συντηρηθεί ή/και θα μεταφερθεί η πληροφορία του σε άλλο υπόστρωμα, την τελική μορφή κάθε αντικειμένου και την πολιτική που αφορά την πρόσβαση στα αντικείμενα αυτά. Αν ένα αντικείμενο κριθεί (μετά από πολυεπιστημονική θεώρηση) ότι έχει αρχαιολογική αξία, συνήθως πολιτική είναι η μεταφορά της πληροφορίας σε άλλο υπόστρωμα ώστε αυτή να μπορεί να διανεμηθεί εύκολα και ακίνδυνα για το πρωτότυπο. Γίνεται προσπάθεια για την χημική σταθεροποίηση του πρωτοτύπου με την λογική των ελαχίστων δυνατών επεμβάσεων και μετά αυτό φυλάσσεται στις καλύτερες δυνατές συνθήκες. Ταυτόχρονα αποσύρεται από την καθημερινή χρήση.

Πολλές φορές, ειδικά σε βιβλία ή δεμένα έγγραφα, χρειάζεται να αποκατασταθεί η λειτουργικότητα της βιβλιοδεσίας, εφόσον κριθεί ότι το αντικείμενο παραμένει σε χρήση. Τότε, μετά από μελέτη και έρευνα της τεχνικής που έχει χρησιμοποιηθεί και με τη λογική της ελάχιστης δυνατής επέμβασης γίνεται καθαρισμός των υπαρχόντων στοιχείων, συμπλήρωσή τους με σύγχρονα συμβατά υλικά και ανακατασκευή της βιβλιοδεσίας σύμφωνα με την αρχική τεχνική. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε αντικείμενα χωρίς μεγάλη αρχαιολογική αξία, αφού συνιστά αλλοίωση τους.

Κάθε επέμβαση συντήρησης πρέπει να τεκμηριώνεται και να καταγράφεται γραπτά αλλά και φωτογραφικά. Στοιχεία τα οποία θα καταστραφούν ή θα αλλοιωθούν κατά την επέμβαση πρέπει να διασωθούν με την καταγραφή τους, γιατί πολλές φορές αποτελούν πολύτιμη πληροφορία.

Μέσα σε ένα κόσμο που αλλάζει ταχύτατα, η ηθική και η δεοντολογία της συντήρησης πρέπει να ακολουθήσουν τις σύγχρονες τάσεις. Είναι καθήκον όλων των εμπλεκομένων να παρακολουθούν τις εξελίξεις, ώστε να πάντουν να εφαρμόζονται πρακτικές βασισμένες σε παρωχημένες λογικές που έχουν προκαλέσει καταστροφές. Πρέπει όλοι να συνειδητοποιήσουν ότι η συντήρηση πρωτίστως είναι θέμα λήψης αποφάσεων, οι οποίες για να είναι σωστές χρειάζεται συνεργασία πολλών ειδικοτήτων, επιστημονική έρευνα, ευαισθησία και αξιοποίηση της διεθνούς εμπειρίας. Η δυσκολία της λήψης κρίσιμων αποφάσεων δεν πρέπει να οδηγεί στην αδράνεια, αλλά στην ενεργοποίηση όλου του υπάρχοντος δυναμικού και την συνειδητοποίηση από όλους ότι χρειάζεται αλλαγή νοοτροπίας.

Τέλος, πρέπει να γίνει συνείδηση ότι υπάρχει μια παγκόσμια τάση για τυποποίηση των διαδικασιών, μεθόδων και υλικών που αφορούν την συντήρηση αρχειακού και βιβλιακού υλικού, αλλά και πολλών λειτουργιών των συναφών ιδρυμάτων που αφορούν την διατήρηση και διαχείριση του υλικού τους. Η γνώση και η εφαρμογή των υπαρχόντων προτύπων, παρ' όλον ότι δεν μπορεί να δώσει έτοιμες λύσεις σε κάθε περίπτωση, εγγυάται την αξιοποίηση της διεθνούς εμπειρίας. Πολλοί διεθνείς και εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης έχουν εκδώσει ή επεξεργάζονται προς έκδοση σχετικά πρότυπα. Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO), μέχρι το καλοκαίρι του 1998 έχει παρουσιάσει τα εξής<sup>124</sup>:

*ISO 9706: (1994) Information and documentation -- Paper for documents -- Requirements for permanence.*

*ISO 11108: (1996) Information and documentation -- Archival paper -- Requirements for permanence and durability*

*ISO 11800: (1998) Information and documentation -- Requirements for binding materials and methods used in the manufacture of books*

*ISO/FDIS 11798 - Permanence and durability of writing, printing and copying on paper - Requirements and testing methods*

*ISO/DIS 11799 - Document storage requirements*

*ISO/DIS 14416 - Requirements for binding of books, periodicals, serials and other paper documents for archive and library use - Methods and materials*

*ISO/CD 15659 - Archival boards - Migration test*

*ISO/WD 16245 - Archives boxes and file covers for paper documents*

---

<sup>124</sup>Ivar Hoel, *Standards for permanent paper*, 64 IFLA General Conference (Πρακτικά) <http://www.ifla.org/IV/ifla64/115-114e.htm>



### 1.1.2. Το Περιβάλλον – Σχεδιασμός – Διαχείριση <sup>125,126,127</sup>

#### 1.1.2.1. Εισαγωγή

Βιβλιοθήκες και αρχεία σε όλο τον κόσμο απειλούνται από το τεράστιο πρόβλημα της υποβάθμισης και καταστροφής των συλλογών τους. Τα αίτια του προβλήματος είναι πολλά και αλληλεξαρτώμενα: ενδογενής χημική αστάθεια των υλικών των συλλογών, ακατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος, λανθασμένες πρακτικές φύλαξης και χειρισμού, φυσικές καταστροφές, κλοπή και βανδαλισμός.

Η συντήρηση του συνόλου των συλλογών ενός ιδρύματος από επαγγελματίες συντηρητές είναι συνήθως στόχος ανέφικτος, κυρίως για οικονομικούς λόγους λόγω της τεράστιας ποσότητας του υλικού. Είναι επίσης άχρηστος αν το υλικό φυλάσσεται σε ακατάλληλες συνθήκες. Ο σωστός σχεδιασμός του περιβάλλοντος των συλλογών και η σωστή διαχείριση του όμως αποτελούν ένα εφικτό στόχο που πρέπει να επιδιώκεται από τα συναφή ιδρύματα, γιατί επηρεάζει άμεσα την κατάσταση του υλικού τους.

Ο όρος «διατήρηση», όπως προτείνεται από την Αμερικανική Ένωση Βιβλιοθηκών (American Library Association, ALA), αναφέρεται σε «δραστηριότητες σχετικές με την διαχείριση βιβλιακού, αρχειακού ή μουσειακού υλικού για χρήση, είτε στην αρχική τους φυσική κατάσταση ή σε άλλη μορφή» και περιλαμβάνει μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων, από τον έλεγχο του περιβάλλοντος έως τις διαδικασίες συντήρησης. Η «συντήρηση», πάλι σύμφωνα με την ALA, αναφέρεται στις «διαδικασίες που εφαρμόζονται σε βιβλιακό, αρχειακό ή μουσειακό υλικό με σκοπό τη σταθεροποίηση της κατάστασής του, επιμηκύνοντας τη διάρκεια ζωής του όσο είναι δυνατό στην αρχική του κατάσταση».

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν πρακτικές που αφορούν τη διατήρηση του υλικού και σχετίζονται με τον σωστό σχεδιασμό και διαχείριση του περιβάλλοντος του.

---

<sup>125</sup> Preservation of Library & Archival Materials, *A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992.

<sup>126</sup> Α. Μοροπούλου, *op. cit.*

<sup>127</sup> Α. Μοροπούλου, *Συντήρηση και διατήρηση των Αρχείων του ΚΚΕ*, Σεμινάριο Επιμόρφωσης Υπαλλήλων των Γενικών Αρχείων του Κράτους, Αθήνα, 10/5 – 21/5/1999.

### 1.1.2.2. Σχεδιασμός και Προτεραιότητες

Ένα σχέδιο διατήρησης του υλικού ενός ιδρύματος απορρέει από και συνδέεται άμεσα με τους στόχους του ιδρύματος, όπως αυτοί διατυπώνονται μέσα στο καταστατικό του. Περιλαμβάνει δύο τομείς δραστηριοτήτων:

- Προληπτική συντήρηση, που εστιάζει στη παρεμπόδιση της υποβάθμισης του υλικού σαν σύνολο.
- Παρεμβατική συντήρηση, που επεμβαίνει σε επιλεγμένο μέρος του υλικού, εκτελείται από συντηρητή και έχει στόχο τη διακοπή ή τη μερική αναστροφή της μηχανικής ή της χημικής υποβάθμισης.

Ο σχεδιασμός ενός ιδρύματος πρέπει να ενσωματώνει και τους δύο τομείς, σύμφωνα με ένα πρόγραμμα διατήρησης που λαμβάνει υπ' όψη του τα παρακάτω:

#### 1.1.2.2.1. Μέθοδοι Σχεδιασμού.<sup>128</sup>

Απαραίτητη είναι η εφαρμογή μιας μεθοδολογίας για την εκτίμηση των αναγκών και την επιλογή προτεραιοτήτων. Έχουν αναπτυχθεί ειδικά εργαλεία που τυποποιούν την διαδικασία λήψης αποφάσεων όσον αφορά το σχεδιασμό της διατήρησης σε αρχαιακά ιδρύματα και βιβλιοθήκες. Τα εργαλεία αυτά είναι συνήθως προγράμματα υπολογιστών και συμπεριλαμβάνουν ερωτηματολόγια που καθοδηγούν τον χρήστη ανάλογα με τις απαντήσεις του.

#### 1.1.2.2.2. Υπολογισμός Κινδύνων

Αξιοπίστα δεδομένα για τις διαστάσεις του προβλήματος διατήρησης πρέπει να συγκεντρωθούν ώστε να τεθούν προτεραιότητες. Πρέπει να συγκεντρωθούν πληροφορίες:

- Για την παρούσα κατάσταση του υλικού. Εκτελείται έρευνα σε δείγμα του υλικού για να διαπιστωθεί η χημική και μηχανική του υποβάθμιση.
- Για τις περιβαλλοντικές συνθήκες των χώρων φύλαξης. Συγκεντρώνονται δεδομένα που αφορούν την θερμοκρασία, την σχετική υγρασία, τον φωτισμό, τον αερισμό κ.ά.. Τα δεδομένα πρέπει να καλύπτουν μεγάλες χρονικές περιόδους (μεγαλύτερες του ενός έτους αν είναι δυνατόν) και να λαμβάνονται με καταγραφικά μηχανήματα ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχειά τους.
- Για τις μικροκλιματικές συνθήκες της θέσης που βρίσκεται το κτίριο του ιδρύματος.

<sup>128</sup> Βλ. *Papers from the Survey Workshop on Books, Archives and Art on Paper, Oxford, 25 September 1992*, The Paper Conservator, 17, 1993, σελ 32-55.

- Για τις πρακτικές που ακολουθούνται όσον αφορά το χειρισμό και την αποθήκευση του υλικού. Η παρακολούθηση της πορείας επιλεγμένων αντικειμένων της συλλογής από την στιγμή της απόκτησής τους και μετά, δηλαδή πρακτικές φύλαξης σε φακέλους, κουτιά, ράφια ή συρταριέρες, καταλογογράφησης, δανεισμού, διακίνησης κ.λπ. μπορούν να δώσουν πολύτιμες πληροφορίες για τους κινδύνους που αυτά διατρέχουν κατά τις καθημερινές λειτουργίες του ιδρύματος.
- Για τα συστήματα και τις πρακτικές ασφαλείας που εφαρμόζονται (συναγερμός, πυρασφάλεια και πυρόσβεση, κ.λπ.).
- Για την κατάσταση του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και τους κινδύνους που εγκυμονούν για το υλικό.
- Για την στατική κατάσταση του κτιρίου, τη στεγανότητα του και την κατάσταση των τοίχων όσον αφορά στην ύπαρξη ρωγμών και κακοτεχνιών που θα μπορούσαν να αποτελέσουν εστίες συγκέντρωσης βιολογικών κινδύνων.
- Για το αν και σε ποιο βαθμό έχουν μολυνθεί οι συλλογές από βιολογικούς παράγοντες (μύκητες, βακτήρια, έντομα και τρωκτικά) και κατά πόσον αυτοί είναι ενεργοί.

Πρέπει επίσης να εξεταστεί η εκπαίδευση του προσωπικού στη φροντίδα και τον χειρισμό των συλλογών διαφόρων τύπων (βιβλιακό και αρχειακό υλικό, μικροφίλμ κ.λπ.), καθώς και η γνώση και συμμόρφωση του στα σχέδια έκτακτης ανάγκης, τα οποία πρέπει να επαναξιολογηθούν.

#### 1.1.2.2.3. Καθορισμός της Αξίας

Παρ' όλον ότι όλο το υλικό που φυλάσσεται σε βιβλιοθήκες και αρχεία θεωρείται κατ' αρχήν αξιόλογο, υπάρχουν σαφώς τμήματα των συλλογών των οποίων η αξία θεωρείται μεγαλύτερη. Για να γίνει δυνατός ο σχεδιασμός προτεραιοτήτων, πρέπει να εκτιμηθεί η αξία των διαφόρων συλλογών, ώστε να ληφθούν αποφάσεις και μέτρα καλύτερης διατήρησης των πολυτιμότερων (π.χ. με την ένταξή τους σε ένα πρόγραμμα παρεμβατικής συντήρησης ή την εξασφάλιση των βέλτιστων συνθηκών). Έτσι, εκτιμάται η καλλιτεχνική, οικονομική, συμβολική, ιστορική και συναισθηματική αξία των αντικειμένων των συλλογών με την βοήθεια των εργαλείων που προαναφέρθηκαν και συντάσσεται αξιολογικός κατάλογος. Αυτό δεν σημαίνει επ' ουδενί ότι για το λιγότερο αξιόλογο υλικό δεν λαμβάνεται μέριμνα, αλλά ότι οι υπάρχοντες πόροι θα διατεθούν ιεραρχικά.

#### 1.1.2.2.4. Υπάρχοντες Πόροι

Οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν για τη κατάσταση των συλλογών, την αξία τους και τους ελλοχεύοντες κινδύνους πρέπει να ζυγιστούν έναντι των υπάρχοντων πόρων. Ο προγραμματισμός των μέτρων που πρέπει να ληφθούν πρέπει να γίνει ρεαλιστικά και η κατανομή των πόρων να έχει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, ανάλογα με την ιεράρχηση των αναγκών που έχει γίνει. Πάρα πολλές βελτιώσεις εξάλλου μπορούν να γίνουν χωρίς οικονομική επιβάρυνση αν ληφθεί υπ' όψη ότι το υπάρχον προσωπικό είναι ένας από τους σημαντικότερους πόρους ενός ιδρύματος. Η εκπαίδευση του προσωπικού στις σωστές πρακτικές χρήσης του υλικού, στη σωστή χρήση των κλιματιστικών μέσων και στα μέτρα έκτακτης ανάγκης μπορεί να βελτιώσει πολύ την υπάρχουσα κατάσταση. Ο προϋπολογισμός ενός ιδρύματος επιβαρύνεται πολύ κυρίως από εκτεταμένες κτιριακές παρεμβάσεις, εγκαταστάσεις ελέγχου κλιματικών συνθηκών, εγκαταστάσεις πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης και αγορές επίπλων και υλικών αποθήκευσης, γι' αυτό και ο σωστός σχεδιασμός είναι απαραίτητος.

#### 1.1.2.2.5. Θέματα Πολιτικής

Κατά το σχεδιασμό πρέπει να ληφθεί υπ' όψη το πολιτικό περιβάλλον μέσα στο οποίο θα εκτελεστεί το σχεδιαζόμενο πρόγραμμα. Πολιτικές δυσκολίες μπορεί να δημιουργήσουν εξίσου σοβαρά προβλήματα με οικονομικές δυσκολίες ή τεχνικά προβλήματα. Η επιτυχία ενός προγράμματος θα εξαρτηθεί από την υποστήριξη της διοικητικής ιεραρχίας του ιδρύματος, η οποία πρέπει να έχει εξασφαλιστεί από την αρχή. Εκθέσεις προόδου σε τακτά διαστήματα και αποδοχή προτάσεων μπορούν να κρατήσουν σταθερό το ενδιαφέρον των εμπλεκομένων. Η συμμετοχή του προσωπικού και των εξωτερικών συνεργατών θα είναι πιο ενεργή και αποδοτική, εφόσον όλοι έχουν πειστεί απόλυτα για τους στόχους του προγράμματος και την αναγκαιότητά του. Ένα πρόγραμμα ενημέρωσης των εμπλεκομένων πρέπει να εφαρμοστεί. Έγκυρα επιχειρήματα πρέπει να παρουσιαστούν ώστε να επιτευχθεί η έγκριση του προγράμματος, το οποίο πρέπει να αποτελείται από σειρά στόχων υπό μορφή αυτόνομων βημάτων που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

#### 1.1.2.2.6. Προληπτική Συντήρηση

Το πρώτιστο καθήκον ενός αρχαιακού ιδρύματος, μιας βιβλιοθήκης ή ενός μουσείου είναι η μέγιστη δυνατή επιμήκυνση του χρόνου ζωής των συλλογών του. Είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί ότι ο αποτελεσματικότερος και οικονομικότερος τρόπος επίτευξης του παραπάνω στόχου είναι το να παρεμποδιστεί η υποβάθμιση του υλικού στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, δηλαδή η προληπτική συντήρηση. Οι περισσότερες δραστηριότητες που αυτή περιλαμβάνει αφορούν καθημερινές ενέργειες που εκτελούνται στο ίδρυμα, δηλαδή αγορές υλικού, πρακτικές φύλαξης σε φακέλους, κουτιά, ράφια ή συρταριέρες, καταλογογράφηση, δανεισμό, διακίνηση, καθαρισμό του υλικού και των χώρων, φωτοτύπηση και αναπαραγωγή, μικροεπισκευές, βιβλιοδεσία ή τέλος απόσυρση αν η κατάσταση του υλικού δεν επιτρέπει τη χρήση του. Επίσης περιλαμβάνει εργασίες συντήρησης, επισκευών και βελτιώσεων του κτιρίου. Οι δραστηριότητες αυτές πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και οδηγίες και με την συνείδηση της σπουδαιότητάς τους μέσα στο γενικό σχέδιο διατήρησης. Ένα σύστημα κλιματικού ελέγχου (air conditioning system) που θα παρέχει τις βέλτιστες συνθήκες διατηρώντας σταθερές μέσα σε στενά όρια τη θερμοκρασία και την σχετική υγρασία και παρέχοντας τον κατάλληλο αερισμό σε σταθερή βάση, μέρα και νύχτα όλο το χρόνο, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας προληπτικής συντήρησης. Οποιοδήποτε άλλο μέτρο δεν θα τελεσφορήσει αν οι συλλογές φυλάσσονται σε ακατάλληλο περιβάλλον, γι' αυτό η εγκατάσταση ενός συστήματος κλιματισμού ή η βελτίωση του υπάρχοντος ώστε να εξασφαλίζονται οι συνθήκες που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα θεωρείται ζήτημα προτεραιότητας.

#### 1.1.2.2.7. Παρεμβατική Συντήρηση

Επί του παρόντος, υπάρχουν περιορισμένες επιλογές που μπορούν να επιμηκύνουν τον χρόνο ζωής του συνόλου των συλλογών ενός ιδρύματος, και αρκετές από αυτές αφορούν μεθόδους που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Το μεγάλο πρόβλημα του όξινου χαρτιού μπορεί να αντιμετωπιστεί με αποξίνιση του υλικού, είτε σε μεμονωμένα αντικείμενα των συλλογών είτε μαζικά, με την εγκατάσταση ενός συστήματος μαζικής αποξίνισης. Τα προβλήματα όμως των συστημάτων αυτών και το υψηλό κόστος τους, καθώς και η πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων που απαιτούν και η υψηλή εκπαίδευση και τεχνογνωσία που χρειάζονται για να λειτουργήσουν δεν επιτρέπουν την ευρεία αποδοχή τους. Τα ίδια ισχύουν και για τις μεθόδους μαζικής ενίσχυσης ψαθυρού χαρτιού.

Με τη χάραξη κατάλληλης στρατηγικής, επιλεγμένα αντικείμενα μπορούν να ενταχθούν σε προγράμματα συντήρησης ή/και αποκατάστασης, εφόσον το μέγεθος και η σημασία του ιδρύματος δικαιολογούν την ύπαρξη επαγγελματία συντηρητή στο προσωπικό του ιδρύματος. Η συντήρηση είναι δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία και δεν μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο των συλλογών. Μερικές φορές μπορεί να επιλεγεί η λύση της συνεργασίας με ιδιωτικά εργαστήρια συντήρησης, εφόσον δεν λειτουργεί εργαστήριο στο ίδρυμα. Η επιλογή του προς συντήρηση υλικού, η διάγνωση της βλάβης του και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συντήρησης είναι μερικά από τα θέματα που πρέπει να απασχολούν τη διεύθυνση ενός ιδρύματος που επιθυμεί να προβεί σε συντήρηση μέρους του υλικού του. Η λήψη των σχετικών αποφάσεων απαιτεί ειδικές γνώσεις και πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό, ώστε να μην υπάρξουν αρνητικά αποτελέσματα.

Τέλος, στην παρεμβατική συντήρηση υπάγεται και η μεταφορά της πληροφορίας σε άλλο υπόστρωμα (reformatting) με την ταυτόχρονη απόσυρση του πρωτοτύπου από την καθημερινή χρήση. Η δημιουργία αρχειακών φωτοαντιγράφων σε αρχειακών προδιαγραφών χαρτί είναι παλιά και τυποποιημένη μέθοδος. Το ίδιο ισχύει για την μικροφωτογράφιση, παρόλο που απαιτείται μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού και ειδικές συνθήκες φύλαξης των αρχειακών μικροφίλμ. Η ψηφιοποίηση της πληροφορίας είναι σχετικά καινούργια μέθοδος που δεν έχει προτυποποιηθεί απόλυτα, αλλά μπορεί να είναι η καλύτερη μέθοδος όσον αφορά την επεξεργασία και διανομή της πληροφορίας. Σε κάθε περίπτωση, εξειδικευμένο προσωπικό πρέπει να κρίνει την καταλληλότητα της μεθόδου αλλά και το κατά πόσο υπάρχει σημαντική απώλεια πληροφοριών από την αλλαγή του υποστρώματος. Εδώ σημειώνεται ότι το πρωτότυπο είναι αναντικατάστατο, ειδικά όταν πρόκειται για πληροφορίες μεγάλης σημασίας και πρέπει πάντα να γίνεται προσπάθεια διατήρησής του. Αυτή ακριβώς την έννοια έχει και η απόσυρσή του από την καθημερινή χρήση.

### 1.1.2.3. Το Περιβάλλον – Φύλαξη και Έκθεση

#### 1.1.2.3.1. Θερμοκρασία και Σχετική Υγρασία

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας είναι παράγοντας μέγιστης σημασίας στη διατήρηση αρχειακών ή βιβλιακών συλλογών γιατί μη αποδεκτά επίπεδά τους συντελούν σημαντικά στην υποβάθμιση των υλικών. Η υψηλή θερμοκρασία επιταχύνει την γήρανση της κυτταρίνης και των άλλων υλικών. Η υψηλή σχετική υγρασία παρέχει το νερό που απαιτείται για την πραγματοποίηση βλαπτικών χημικών αντιδράσεων στα υλικά και μαζί με την υψηλή θερμοκρασία ενθαρρύνει την ανάπτυξη μυκήτων (μούχλας) και τη δραστηριότητα εντόμων. Πολύ χαμηλή σχετική υγρασία που μπορεί να προκληθεί το χειμώνα σε κεντρικά θερμαινόμενα κτίρια οδηγεί στην ξήρανση και ψαθυροποίηση των υλικών.

Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας μπορεί να είναι ακόμα πιο βλαπτικές από τις ακραίες τιμές τους. Τα υλικά που φυλάσσονται σε αρχεία ή βιβλιοθήκες είναι υγροσκοπικά και βρίσκονται σε συνεχή ισορροπία με το περιβάλλον τους, απορροφώντας ή αποβάλλοντας υγρασία. Ανταποκρίνονται στις ημερήσιες και εποχιακές αλλαγές της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας με τη διαστολή ή συστολή τους. Οι αλλαγές αυτές στις διαστάσεις τους επιταχύνουν την υποβάθμισή τους και οδηγούν σε εμφανείς βλάβες όπως ζάρωμα του χαρτιού, απολεπισμό μελανιών, παραμορφωμένα εξώφυλλα βιβλίων και ρηγμάτωση επιστρώσεων φωτογραφιών.

Η εγκατάσταση επαρκούς συστήματος κλιματισμού και η σωστή λειτουργία του ώστε να επιτευχθούν βέλτιστες συνθήκες μπορεί να επιβραδύνει σημαντικά την υποβάθμιση των υλικών. Υπάρχουν κλιματιστικά συστήματα που μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες, ξεκινώντας από ένα απλό κλιματιστικό ενός δωματίου που μπορεί να ρυθμίζει σχετική υγρασία και θερμοκρασία και φτάνοντας σε κεντρικά συστήματα που φιλτράρουν, ψύχουν ή θερμαίνουν, υγραίνουν ή αφυγραίνουν και ανανεώνουν τον αέρα ολόκληρου του κτιρίου. Η επιλογή και εγκατάσταση του κατάλληλου κλιματιστικού συστήματος απαιτούν μελέτη από ειδικό μηχανολόγο που θα συνεκτιμήσει διάφορους παράγοντες, με βάση τις προδιαγραφές που περιγράφονται στα διεθνή πρότυπα. Πρόσθετα μέτρα πρέπει να λαμβάνονται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Το κτίριο πρέπει να συντηρείται σχολαστικά και ρωγμές που μπορεί να εμφανιστούν να σφραγίζονται αμέσως. Πόρτες και παράθυρα πρέπει να παραμένουν κλειστά ώστε να παρεμποδίζεται η είσοδος μη κλιματισμένου αέρα και στους αποθηκευτικούς χώρους να σφραγίζονται ολοκληρωτικά.

Οι ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας σε αρχειακά ιδρύματα ή βιβλιοθήκες καθορίζονται από διάφορα διεθνή ή εθνικά πρότυπα και κυμαίνονται για την θερμοκρασία μεταξύ 16 και 21°C και για την σχετική υγρασία μεταξύ 45-55%. Το Αγγλικό πρότυπο BS 5454-1989 αυτή τη στιγμή είναι υπό αναθεώρηση κάνοντας στροφή σε αυστηρότερες συνθήκες

φύλαξης. Το Αυστραλιανό πρότυπο AS 4390-1996<sup>129</sup> προβλέπει για το αρχειακό υλικό διαρκούς διατήρησης τις εξής βέλτιστες συνθήκες φύλαξης:

- *Θερμοκρασία: σταθερή 20°C με διαφορά ελάχιστης από μέγιστη μικρότερη από 2°C*
- *Σχετική Υγρασία: σταθερή 50% με διαφορά ελάχιστης από μέγιστη μικρότερη από 5%*

Οι ιδανικές συνθήκες φύλαξης αποτελούν σήμερα θέμα διεθνούς συζήτησης, με τάση θέσπισης πιο αυστηρών συνθηκών. Είναι γεγονός ότι χαμηλότερη θερμοκρασία και σχετική υγρασία (υπάρχουν προτάσεις για θερμοκρασίες από 13°C έως 18°C και σχετική υγρασία που κυμαίνεται από 30-50%) συντελούν στη μακρόχρονη διατήρηση, αλλά πρέπει να ληφθούν υπ' όψη παράγοντες όπως το κόστος διατήρησης τέτοιων συνθηκών, ο μηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτείται, η πιθανή βλαπτική επίδραση στο κτίριο, οι τοπικές κλιματικές συνθήκες, η συνύπαρξη υλικών με άλλες απαιτήσεις βέλτιστης αποθήκευσης (δέρμα, περγαμινή) κ.λπ.. Πρέπει να ληφθεί επίσης υπ' όψη η καταπόνηση του υλικού όταν αυτό μεταφέρεται από τους χώρους αποθήκευσης στα αναγνωστήρια, τα οποία έχουν άλλες συνθήκες (21-23°C και 50-60% RH, συνθήκες άνετης διαμονής για το προσωπικό και τους επισκέπτες). Για να αποφεύγεται η συμπίκνωση υδρατμών πάνω στο υλικό, απαραίτητος θεωρείται ο σταδιακός εγκλιματισμός του κατά τις μετακινήσεις αυτές. Γενική αρχή είναι ότι αν δεν μπορούν να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες σε σταθερή βάση με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, είναι καλύτερο να τεθούν ως στόχος λιγότερο αυστηρές συνθήκες που να μπορούν να διατηρηθούν σταθερές.

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς. Τα δεδομένα που θα συγκεντρωθούν μπορούν:

- Να τεκμηριώσουν τις υπάρχουσες συνθήκες
- Να υποδείξουν την ανάγκη εγκατάστασης κλιματικού ελέγχου
- Να δείξουν αν το ήδη εγκατεστημένο σύστημα κλιματισμού λειτουργεί σωστά και παράγει τις επιθυμητές συνθήκες

Κατά τη ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπ' όψη η στενή αλληλεξάρτηση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Η προσπάθεια βελτίωσης του ενός παράγοντα μπορεί να οδηγεί στην χειροτέρευση του άλλου, γι' αυτό απαραίτητη είναι η συμβολή ειδικού.

<sup>129</sup> Australian Standard, AS 4390—1996, *Records Management*, Part 6, *Storage*, Appendix C, (<http://www.records.nsw.gov.au/publicsector/rk/storage/app02.htm>).



### 1.1.2.3.2. Φωτισμός

Το φως επιταχύνει τη υποβάθμιση του αρχαιακού και βιβλιακού υλικού προκαλώντας φωτοχημικές αντιδράσεις οξειδωσης και αποπολυμερισμού της κυτταρίνης. Ταυτόχρονα, ενεργοποιεί και τον κύκλο των φωτοχημικών αντιδράσεων στο χώρο, ο οποίος θα οδηγήσει στη δημιουργία επικίνδυνων ρύπων για τα υλικά των συλλογών<sup>130</sup>. Οδηγεί στην εξασθένηση και ψαθυροποίηση του χαρτιού και προκαλεί χρωματικές αλλαγές (λεύκανση ή κιτρίνισμα). Μπορεί επίσης να προκαλέσει αποχρωματισμό ή αλλαγή του χρώματος χρωστικών ουσιών και μελανιών, μειώνοντας την αναγνωσιμότητα και αλλοιώνοντας την εμφάνιση εγγράφων, φωτογραφιών, έργων τέχνης και βιβλιοδεσιών. Κάθε έκθεση στο φως, ακόμα και μικρής διάρκειας, είναι βλαπτική, και η βλάβη που προκαλείται είναι αθροιστική και αναντίστρεπτη.

Παρόλο που όλα τα μήκη κύματος είναι βλαβερά, το υπεριώδες μέρος του φάσματος (UV light, κάτω από τα 415 nm) είναι το πιο καταστροφικό για το αρχαιακό και βιβλιακό υλικό λόγω του υψηλού ενεργειακού του περιεχομένου. Ο ήλιος και οι λάμπες υδραργύρου, αλογόνου και φθορισμού είναι οι πιο καταστρεπτικές πηγές φωτός γιατί εκπέμπουν μεγάλα ποσά υπεριώδους ακτινοβολίας.

Τα παράθυρα πρέπει να καλύπτονται με βαριές κουρτίνες και παντζούρια, ώστε το ηλιακό φως να εμποδίζεται απόλυτα να διεισδύσει στους αποθηκευτικούς χώρους. Το μέτρο αυτό βοηθά επίσης στον έλεγχο της θερμοκρασίας ελαχιστοποιώντας τις απώλειες θερμότητας και περιορίζοντας τη δημιουργία θερμότητας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε παράθυρα που πρέπει να μένουν ακάλυπτα (όχι σε αποθηκευτικούς χώρους) μπορούν να τοποθετηθούν φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας. Φίλτρα πρέπει να τοποθετηθούν και σε λάμπες φθορισμού που υπάρχουν σε σημεία που υπάρχει υλικό. Οι αποθηκευτικοί χώροι πρέπει να φωτίζονται μόνο όταν είναι απαραίτητο (για την πρόσβαση του προσωπικού) και με φωτισμό χαμηλής έντασης. Τον υπόλοιπο χρόνο το υλικό πρέπει να φυλάσσεται σε απόλυτο σκοτάδι. Οι λάμπες πυρακτώσεως συνήθως προτιμώνται γιατί δεν παράγουν υπεριώδη ακτινοβολία, αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι παράγουν θερμότητα και πρέπει να τοποθετούνται μακριά από το υλικό.

Μόνιμες εκθέσεις αρχαιακού και βιβλιακού υλικού πρέπει να αποφεύγονται, και ο φωτισμός που θα χρησιμοποιηθεί στις εκθέσεις πρέπει να είναι από λάμπες πυρακτώσεως και χαμηλής έντασης.

---

<sup>130</sup> Ζιώμας, *Σημειώσεις του μαθήματος 3.1.3: Επιπτώσεις της Ρύπανσης στα Εκθέματα των Μουσείων, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ α.χ. σελ.3.*

### 1.1.2.3.3. Ποιότητα Αέρα

Η μόλυνση της ατμόσφαιρας συμβάλλει σημαντικά στην υποβάθμιση του αρχαιακού και βιβλιακού υλικού. Αέριοι ρυπαντές, όπως το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα περοξυακετυνιτρίλια (PAN) και το όζον αυξάνουν την οξύτητα του χαρτιού και του δέρματος ή/και καταλύουν καταστροφικές οξειδωτικές δράσεις. Τα σωματίδια (ειδικά τα προϊόντα καύσεων) διαβρώνουν, λερώνουν και παραμορφώνουν.

Ο έλεγχος της ποιότητας του αέρα είναι πολύπλοκος, δύσκολος και δαπανηρός. Διάφορα πρότυπα έχουν προταθεί, αλλά μέχρις ότου αποκτηθεί η απαραίτητη εμπειρία η λογικότερη αντιμετώπιση βρίσκεται στη προσπάθεια ελάττωσης των ρυπαντών στα κατώτερα δυνατά επίπεδα. Αέριοι ρύποι μπορούν να απομακρυνθούν με χημικά φίλτρα, υγρούς συλλέκτες (wet scrubbers) ή με συνδυασμό και των δύο. Τα σωματίδια απομακρύνονται με μηχανικά φίλτρα. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα είναι καλύτερο να αποφεύγονται γιατί παράγουν όζον.

Η μελέτη του εξοπλισμού πρέπει να γίνει από ειδικό μηχανολόγο, ο οποίος θα συνεκτιμήσει τα επίπεδα μόλυνσης της περιοχής και τις συγκεντρώσεις των εσωτερικά παραγόμενων ρύπων – τοξίνες και σπόρια (που οφείλονται στην εσωτερική μικροχλωρίδα), μύκητες, βακτήρια, αέρια και σωματίδια που μπορεί να εκπέμπονται από το υλικό (πτητικά οργανικά οξέα, αλδεΐδες και κετόνες), τον μηχανολογικό εξοπλισμό (π.χ. όζον από εκτυπωτές laser), τα υλικά κατασκευής (π.χ. φορμαλδεΐδη από κόντρα-πλακέ, VOCs) ή τέλος από το προσωπικό και τον ρουχισμό του (αμμωνία) – το μέγεθος και τη διαρρύθμιση των χώρων, την εγγύτητα της θάλασσας άρα την ύπαρξη αλατονέφωσης και το κόστος λειτουργίας σε σχέση με τις προσδοκώμενες αποδόσεις. Ελαφρώς μεγαλύτερη πίεση στο εσωτερικό του κτιρίου – που μπορεί να επιτευχθεί με την άντληση, καθαρισμό και κλιματισμό εξωτερικού αέρα με ρυθμούς λίγο μεγαλύτερους των απωλειών – μπορεί να εμποδίσει την διείσδυση των ρυπαντών. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ αποτελεσματική, απαιτεί όμως μεγάλες δαπάνες εγκατάστασης και συντήρησης και είναι ενεργειοβόρα.

Το σύστημα ελέγχου της ποιότητας του αέρα πρέπει σχεδιαστικά και λειτουργικά να ενσωματώνεται στο σύστημα κλιματισμού και εξαερισμού το οποίο μετά από την αρχική του ρύθμιση με αυτόματο τρόπο:

- Θα ανακυκλώνει ένα μέρος του εσωτερικού αέρα
- Θα φιλτράρει τον ανακυκλούμενο αέρα
- Θα κλιματίζει τον ανακυκλούμενο αέρα (ύγρανση ή αφύγρανση, θέρμανση ή ψύξη, ανάλογα με τις συνθήκες και τις ρυθμίσεις του συστήματος)
- Θα αντλεί φρέσκο εξωτερικό αέρα τον οποίο θα αναμιγνύει σε κατάλληλο ποσοστό με τον εσωτερικό αφού τον φιλτράρει και τον κλιματίζει

- Θα κρατάει συνεχώς και παντού τον αέρα σε κίνηση<sup>131</sup>

Η άντληση του φρέσκου εξωτερικού αέρα δεν πρέπει να γίνεται από σημεία που έχουν ειδική επιβάρυνση από ρυπαντές, όπως χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, λιμάνια, εθνικές οδούς κ.λπ. και κάθε ανεξέλεγκτη είσοδος αέρα πρέπει να αποκλειστεί.

Ταυτόχρονα, διάφορα πρόσθετα μέτρα μπορούν να αποδειχθούν αποτελεσματικά. Η φύλαξη του υλικού σε ειδικούς φακέλους και κουτιά αρχειακών προδιαγραφών, που περιέχουν υλικά ικανά να εξουδετερώσουν τους ρυπαντές είναι πολύ αποτελεσματική. Ο περιορισμός των εσωτερικών πηγών ρύπανσης – κάπνισμα, φωτοτυπικά μηχανήματα, διάφορα είδη από οικοδομικά υλικά, χρώματα, στεγανωτικά, υλικά καθαρισμού, επίπλωση, μοκέτες και χαλιά – είναι επιβεβλημένος. Όλες οι ρυπογόνες δραστηριότητες πρέπει να περιορίζονται σε ειδικούς αεριζόμενους χώρους μακριά από τους αποθηκευτικούς χώρους.

Τέλος, η σωστή επιλογή του κατάλληλου τύπου εγκατάστασης μιας βιβλιοθήκης ή ενός αρχειακού ιδρύματος, μακριά από επιβαρημένες περιβαλλοντικά αστικές ή βιομηχανικές περιοχές, με τις καλύτερες δυνατές κλιματικές συνθήκες καθώς και η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος χώρου – σωστές πολεοδομικές και κυκλοφοριακές ρυθμίσεις – αποτελούν τα καλύτερα μέτρα για την προληπτική συντήρηση του υλικού και την οικονομικότερη αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με τις συνθήκες φύλαξης.

---

<sup>131</sup> Μελέτες δείχνουν ότι ακόμα και με χαμηλό ρυθμό εξαερισμού που κρατάει τον αέρα σε κίνηση (της τάξης των 0,48-1,2 ACH (air changes per hour) μπορεί να ελεγχθεί η ανάπτυξη των μυκήτων, ακόμα και σε αυξημένες σχετικές υγρασίες, βλ. N. Valentin, R. Garcia, O. De Luis, S. Maekawa, op. cit. σελ. 85-107.

#### 1.1.2.3.4. Κτιριακά Θέματα

Πολλά από τα θέματα που έχουν θιχτεί έως τώρα αφορούν την κατάσταση του κτιρίου που στεγάζει το αρχειακό ίδρυμα ή την βιβλιοθήκη και τις παρεμβάσεις σε αυτό. Το κεφάλαιο αυτό συμπληρώνει και ανακεφαλαιώνει τα θέματα αυτά.

Αρκετά προβλήματα που αφορούν την διατήρηση του υλικού ξεκινούν από και καταλήγουν στο κτιριακό<sup>132</sup>. Το σημαντικότερο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί αρχικά είναι το αν το υπάρχον κτίριο πληροί τις γενικές και ειδικές προδιαγραφές φύλαξης αρχειακού και βιβλιακού υλικού. Αυτές είναι:

- Στατική επάρκεια, αντισεισμική κατασκευή
- Στεγανότητα και μόνωση
- Καθαρό περιβάλλον με καλής ποιότητας αέρα, μακριά από την θάλασσα για την αποφυγή της αλατονέφωσης
- Επάρκεια και καταλληλότητα χώρων
- Σωστή διαρρύθμιση για την προβλεπόμενη χρήση
- Κατάλληλα υλικά κατασκευής
- Εγκατεστημένο σύστημα κλιματισμού ή δυνατότητα παρέμβασης στο κτίριο για την εγκατάστασή του

Αν η παρούσα κατάσταση και θέση του κτιρίου δεν εξασφαλίζει τα παραπάνω, πρέπει να εξεταστεί σοβαρά η περίπτωση της μεταστέγασης του ιδρύματος. Εκτεταμένες παρεμβάσεις θα μπορούσαν ίσως να βελτιώσουν την κατάσταση, αλλά πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι ιστορικά κτίρια, κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία και χωρίς μόνωση μπορεί να υποστούν σοβαρές βλάβες από εκτεταμένες παρεμβάσεις όπως είναι π.χ. η εγκατάσταση κεντρικού συστήματος κλιματισμού.

Ζητήματα που δεν θίχτηκαν προηγουμένως αλλά που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη και αφορούν το κτιριακό θα αναφερθούν και στο κεφάλαιο το σχετικό με την ασφάλεια

---

<sup>132</sup> A. Baynes-Cope, *Creating Buildings for Rare Books and Archival Documents*, *Restaurator*, 17:1, 1996, σελ. 23.

### 1.1.2.3.5. Θέματα Ασφάλειας

#### 1.1.2.3.5.1. Πυρκαγιά

Η καταστροφή από φωτιά είναι ίσως ο σοβαρότερος κίνδυνος που απειλεί ένα αρχείο ή μια βιβλιοθήκη. Αν οι συλλογές στο τέλος επιβιώσουν, πιθανότατα θα είναι σε πολύ κακή κατάσταση, μερικά κατεστραμμένες από τη φωτιά, λερωμένες από την καπνιά, υγρές από το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την κατάσβεση της φωτιάς, μουχλιασμένες από την υγρασία και με οσμή καπνού. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι προστασίας από φωτιά και το κάθε ίδρυμα θα πρέπει να έχει σε χρήση τουλάχιστον μια από αυτές.

Το καλύτερο υπάρχον σύστημα βασίζεται στην αυτόματη πυρανίχνευση σε συνδυασμό με την αυτόματη πυρόσβεση. Αισθητήρες θερμότητας και καπνού (χρησιμοποιούνται μαζί, ώστε να μπορούν να ανιχνευτούν και φωτιές που σιγοκαίνε χωρίς να προκαλούν αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας) μπορούν αυτόματα να θέσουν σε λειτουργία ένα σύστημα πυρόσβεσης με καταιονιστήρες. Το υλικό κατάσβεσης μπορεί να είναι διοξείδιο του άνθρακα ή χλωροφθοράνθρακες (οι οποίοι όμως καταργούνται σταδιακά λόγω επιβλαβών περιβαλλοντικών επιπτώσεων), αλλά και νερό, το οποίο φυσικά αποτελεί την χειρότερη αλλά φθηνότερη λύση. Πυράντοχες πόρτες οι οποίες κλείνουν αυτόματα σε περίπτωση πυρκαγιάς, ώστε να απομονώνουν το χώρο που αυτή έχει εκδηλωθεί και έξοδοι κινδύνου πρέπει να έχουν προβλεφθεί στο σχεδιασμό του κτιρίου. Το σύστημα πυρανίχνευσης πρέπει να είναι συνδεδεμένο με την Πυροσβεστική υπηρεσία, και το προσωπικό του ιδρύματος πρέπει σε συνεργασία με αυτή να εκπονήσει ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης για περίπτωση πυρκαγιάς. Πυροσβεστήρες τύπου ABC (ξηρού χημικού τύπου) πρέπει να συνυπάρχουν με άλλα συστήματα και το προσωπικό πρέπει να εκπαιδευτεί στη χρήση τους.

#### 1.1.2.3.5.2. Νερό

Η προστασία του αρχειακού και βιβλιακού υλικού από το νερό είναι ουσιώδης για τη διατήρησή του. Ακόμα και μια μικροδιαρροή της υδραυλικής εγκατάστασης μπορεί να δημιουργήσει αναντίστρεπτες καταστροφές στο υλικό. Μερικά από τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν είναι:

- Έλεγχος και επισκευή αν απαιτείται των υδραυλικών και αποχετευτικών εγκαταστάσεων.
- Έλεγχος και επισκευή αν είναι απαραίτητο των σωληνώσεων και των μονώσεων του συστήματος κλιματισμού. Στις σωληνώσεις που μεταφέρουν ψυκτικό υγρό ή κρύο νερό στα σώματα ψύξης (fan coils) μπορεί να συμβεί συμπύκνωση υδρατμών αν η μόνωσή τους δεν είναι κατάλληλη. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο σύστημα που μεταφέρει το νερό που συμπυκνώνεται λόγω ψύξης στα κλιματιστικά σώματα.
- Πλήρης στεγάνωση του κτιρίου και κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων εξωτερικά, τα οποία πρέπει να ελέγχονται και να συντηρούνται τακτικά για την αποφυγή πλημμύρας.
- Επιθεώρηση και επισκευή της οροφής, εφόσον αυτή είναι απαραίτητη.

Γενική αρχή που πρέπει να τηρείται απαρέγκλιτα είναι η απαγόρευση αποθήκευσης του υλικού σε επαφή ή σε μικρή απόσταση από το δάπεδο, καθώς και κάτω από σωληνώσεις ή υδραυλικές εγκαταστάσεις γενικότερα. Η αποθήκευση σε υπόγεια μπορεί να παρουσιάσει πλεονεκτήματα (κυρίως όσον αφορά τον εύκολο έλεγχο της θερμοκρασίας με μικρή κατανάλωση ενέργειας) αλλά σε τέτοια περίπτωση πρέπει να εγκατασταθεί σύστημα ανίχνευσης νερού και συναγερμός.

Ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης είναι απαραίτητο να εκπονηθεί για την περίπτωση πλημμύρας. Ένα συστηματικά οργανωμένο και επίσημα διατυπωμένο γραπτό σχέδιο επιτρέπει την άμεση και αποτελεσματική επέμβαση σε περίπτωση επείγουσας ανάγκης, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους για το προσωπικό και τις ζημιές στο υλικό και το κτίριο και πρέπει να περιλαμβάνει προληπτικά μέτρα αλλά και διαδικασίες ανάκαμψης. Η εκπαίδευση στην εφαρμογή του σχεδίου είναι ζωτικής σημασίας και ασκήσεις πρέπει να εκτελούνται τουλάχιστον ετησίως. Όλο το προσωπικό πρέπει να γνωρίζει τη θέση και τη λειτουργία των μηχανολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων – ειδικά των κεντρικών διακοπών ύδρευσης. Το σχέδιο πρέπει να περιλαμβάνει καταλόγους ενεργειών που πρέπει να γίνουν, καθώς και υλικά και μέσα που είναι απαραίτητα. Αντίγραφα του πρέπει να τηρούνται εντός και εκτός του κτιρίου από μέλη του προσωπικού που τους έχουν ανατεθεί συγκεκριμένα καθήκοντα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

### 1.1.2.3.5.3. Βιολογικοί Παράγοντες

Οι κύριοι βιολογικοί παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές σε βιβλιακό και αρχειακό υλικό είναι οι μύκητες, τα τρωκτικά και τα έντομα. Ο κίνδυνος από τους μύκητες μπορεί να είναι πολύ σοβαρός, ειδικά σε ιδρύματα που βρίσκονται σε περιοχές με ζεστό και υγρό κλίμα ή κοντά σε μεγάλες εκτάσεις νερού που η υγρασία είναι υψηλή. Τα σπόρια των μυκήτων βρίσκονται παντού στο περιβάλλον. Μόνο η διατήρηση της σωστής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, η καλή κυκλοφορία του αέρα και η καθαριότητα και τάξη μπορούν να εμποδίσουν την ανάπτυξη μούχλας στους αποθηκευτικούς χώρους. Η θερμοκρασία δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνά τους 21°C και η σχετική υγρασία το 55%. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος προσβολής των συλλογών από την μούχλα. Σε περίπτωση πλημμύρας ή φωτιάς άμεσα μέτρα πρέπει να ληφθούν για το υγρό υλικό, πριν την ανάπτυξη μούχλας.

Αν διαπιστωθεί προσβολή από μύκητες, το μολυσμένο υλικό πρέπει να απομονωθεί από την υπόλοιπη συλλογή. Για τον χειρισμό του μολυσμένου υλικού πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας του προσωπικού (μάσκες, γάντια και ειδικές στολές). Μετά το στέγνωμα του, το υλικό πρέπει να καθαριστεί από τη μούχλα, υπό την επίβλεψη επαγγελματία συντηρητή ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι φθορές και ο κίνδυνος μόλυνσης της υπόλοιπης συλλογής αλλά και του προσωπικού.

Έντομα και τα τρωκτικά μπορούν να τραφούν από τα οργανικά υλικά που αποτελούν τις συλλογές. Προσελκύονται από τα υπολείμματα τροφών και την ακαταστασία, γι' αυτό η καθαριότητα και η τάξη των αποθηκευτικών χώρων είναι παράγοντες πρόληψης πρωταρχικής σημασίας. Το φαγητό πρέπει να απαγορεύεται στους αποθηκευτικούς χώρους και να επιτρέπεται μόνο σε ειδικό χώρο για το προσωπικό. Οι κάδοι ακρήστων πρέπει να απομακρύνονται σε καθημερινή βάση, ειδικά αν περιέχουν υπολείμματα τροφών. Η υψηλή θερμοκρασία και υγρασία ευνοούν την δραστηριότητα εντόμων και τρωκτικών. Παράθυρα, πόρτες και άλλα ανοίγματα (π.χ. εξαερισμού) πρέπει να παραμένουν κατά το δυνατόν κλειστά γιατί έντομα μπορεί να εισχωρήσουν. Οι τοίχοι του κτιρίου πρέπει να επιθεωρούνται και να συντηρούνται όταν χρειάζεται γιατί πιθανές ρωγμές μπορεί να αποτελέσουν σημεία εισόδου ή εστίες συγκέντρωσης εντόμων και τρωκτικών. Ο χώρος γύρω από το κτίριο σε απόσταση τουλάχιστον μισού μέτρου πρέπει να είναι αποψιλωμένος. Αντικείμενα που εισέρχονται στο κτίριο πρέπει να ελέγχονται για έντομα και τρωκτικά, συμπεριλαμβανομένων των νεοαποκτούμενων συλλογών, επιστροφών δανεισμένων αντικειμένων, εξοπλισμού, προμηθειών και υλικών συσκευασίας.

Αν διαπιστωθεί προσβολή από τρωκτικά, άμεσα μέτρα πρέπει να ληφθούν. Συνιστάται η χρήση επαγγελματιών στην εξολόθρευση τρωκτικών για λόγους αποτελεσματικότητας αλλά και ασφάλειας προσωπικού και συλλογών. Σε περίπτωση προσβολής από έντομα, τα

προσβεβλημένα αντικείμενα και τα γειτονικά τους πρέπει να απομονωθούν και το είδος των εντόμων πρέπει να προσδιοριστεί ώστε να διευκολυνθεί η καταπολέμησή του. Η χρήση χημικών εντομοκτόνων δεν συνιστάται γιατί μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο υλικό. Η ταχεία κατάψυξη των προσβεβλημένων αντικειμένων στους  $-20^{\circ}\text{C}$  είναι μια από τις μεθόδους που προτιμάται σήμερα γιατί έτσι αποφεύγεται η χρήση επικίνδυνων χημικών. Άλλη ήπια μέθοδος που βρίσκεται σε χρήση είναι ο αεροστεγής εγκλεισμός του μολυσμένου υλικού, η αφαίρεση του αέρα και η διοχέτευση αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα<sup>133</sup>. Μετά από παραμονή του υλικού για μερικές μέρες στις συνθήκες αυτές τα έντομα νεκρώνονται.

#### 1.1.2.3.5.4. Κλοπή – Βανδαλισμός

Η μεγάλη οικονομική αξία αρχαιικών και βιβλιακών συλλογών, παρ' όλων ότι δεν είναι ευρέως γνωστή στη χώρα μας, αποτελεί το κίνητρο για μια άλλη μορφή αρχαιοκαπηλίας. Ο κίνδυνος κλοπής πολύτιμου αρχαιικού και βιβλιακού υλικού δεν πρέπει να υποτιμάται. Επαρκή μέτρα ασφάλειας πρέπει να λαμβάνονται. Το καλύτερο σύστημα προστασίας αποτελείται από περιμετρικά τοποθετημένο συναγερμό διάρρηξης σε συνδυασμό με εσωτερικά τοποθετημένους αισθητήρες κίνησης που μπορούν να ενεργοποιήσουν σύστημα συναγερμού στο κτίριο. Το σύστημα συναγερμού πρέπει να είναι συνδεδεμένο με την αστυνομία

Η πρόσβαση στους αποθηκευτικούς χώρους πρέπει να περιορίζεται σε εξουσιοδοτημένα μέλη του προσωπικού. Η χρήση του υλικού από ερευνητές πρέπει να είναι ελεγχόμενη και να παρακολουθείται στενά. Οι ερευνητές δεν πρέπει να παραμένουν μόνοι τους στα αναγνωστήρια και δεν πρέπει να έχουν μαζί τους τίποτα άλλο εκτός από μολύβι και χαρτί. Παλλά, τσάντες και προσωπικά βιβλία απαγορεύονται. Οι ερευνητές πρέπει να υπογράφουν σε ένα μητρώο και να παραδίδουν την ταυτότητά τους στην είσοδο. Οι αιτήσεις πρέπει να είναι γραπτές και να διατηρούνται ώστε να υπάρχει ένα αρχείο που να καταγράφει τη χρήση του υλικού. Μόνο ένα αντικείμενο την φορά πρέπει να δίνεται σε κάθε ερευνητή και αφού αυτό έχει προσεκτικά επιθεωρηθεί από το υπεύθυνο μέλος του προσωπικού. Η επιθεώρηση πρέπει να ακολουθεί και την επιστροφή του αντικειμένου, προκειμένου να διαπιστωθούν βανδαλισμοί ή κλοπές.

---

<sup>133</sup> M. Rust, V. Daniel, J. Druzik, F. Preusser, *The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums*, *Restaurator* 17:1, 1996, σελ. 43-60



## 1.2. Ειδικό Θεωρητικό Μέρος

### 1.2.1. Μεθοδολογία Αποτίμησης Καταλληλότητας Επεμβάσεων Συντήρησης

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα βιβλιογραφικής έρευνας σχετικής με μεθόδους αποτίμησης της καταλληλότητας διεργασιών που εφαρμόζονται στο χαρτί. Οι μέθοδοι που θα παρουσιαστούν περιληπτικά παρακάτω περιλαμβάνουν τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για ποιοτικό έλεγχο στη βιομηχανία χαρτιού και που ταυτόχρονα έχουν χρησιμοποιηθεί σε παρόμοια ερευνητικά προγράμματα. Εκτός από τις τυποποιημένες μεθόδους – που περιγράφονται σε διεθνή και εθνικά πρότυπα π.χ. ISO, ASTM, TAPPI, CPPA, DIN<sup>134</sup> κ.λπ. – παρουσιάζονται και μέθοδοι καθαρά ερευνητικές που δεν χρησιμοποιούνται ευρέως και δεν είναι τυποποιημένες.

Περιγράφεται επίσης ένα ερευνητικό σχήμα το οποίο συναντάται συχνότατα στη βιβλιογραφία και το οποίο δεν αφορά μόνο στην αποτίμηση διεργασιών και υλικών συντήρησης αλλά και κάθε επέμβαση στη διαδικασία παραγωγής χαρτιού (π.χ. πρόσθετα, καινούργιες τεχνικές κ.λπ.) που θα μπορούσε να έχει επίπτωση στο χρόνο ζωής του όταν αυτό προορίζεται για αρχειακή χρήση, δηλαδή για διατήρηση στο διηνεκές. Βασικό στοιχείο αυτού του ερευνητικού σχήματος αποτελεί η τεχνητή γήρανση (accelerated aging), στην οποία υποβάλλονται κατεργασμένα και ακατέργαστα δείγματα, που κατά τα άλλα είναι όμοια. Ο συσχετισμός των καμπυλών μεταβολής των μετρούμενων ιδιοτήτων μετά την τεχνητή γήρανση κατεργασμένου και ακατέργαστου δείγματος δείχνει την αποτελεσματικότητα ή μη της διεργασίας.

Παρόλο που η βιβλιογραφική έρευνα έδειξε ότι έχει δημιουργηθεί μια μεθοδολογία για την αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης χαρτιού, δανεισμένη κυρίως από τον ποιοτικό έλεγχο στη βιομηχανία χαρτιού, η μεθοδολογία αυτή δεν έχει προτυποποιηθεί. Οι μέθοδοι εξέτασης της δομής του χαρτιού είναι καταστρεπτικές και απαιτούν μεγάλες ποσότητες χαρτιού. Στην μελέτη αυτή θα επιχειρηθεί, εκτός των άλλων μεθόδων, η χρήση μη καταστρεπτικών μεθόδων διάγνωσης της φθοράς<sup>135</sup> και αποτίμησης επεμβάσεων συντήρησης που χρησιμοποιούνται στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του Τομέα ΙΙΙ του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π, κύρια του μικροσκοπίου οπτικών ινών για την μη καταστρεπτική εξέταση της δομής του χαρτιού και της χρωματομετρίας για την μέτρηση των οπτικών ιδιοτήτων και την εξαγωγή χημικών πληροφοριών που συσχετίζονται με τις χρωματικές αλλαγές.<sup>136</sup>

<sup>134</sup> ISO: International Organization for Standardization, ASTM: American Society for Testing and Materials, TAPPI: Technical Association of the Pulp and Paper Industry, CPPA: Canadian Pulp and Paper Association, DIN: Deutsche Institut für Normung.

<sup>135</sup> Α. Μοροπούλου, σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», *Μεθοδολογία και τεχνική διάγνωσης και χαρτογράφησης της φθοράς*, α.χ.

<sup>136</sup> Βλ. και παραπομπές μικροσκοπίου οπτικών ινών, σελ. 80.

### 1.2.1.1. Περιγραφή Ερευνητικού Σχήματος

Το διάγραμμα ροής εργασιών που ακολουθεί (Διάγραμμα 1) παρουσιάζει τα στάδια του συνηθέστερου ερευνητικού σχήματος που συναντάται στη βιβλιογραφία<sup>137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145</sup>.

Η δειγματοληψία (1) καθορίζεται από το ISO 186 και τις συνολικές απαιτήσεις των πειραμάτων σε δείγμα. Το κάθε δείγμα πρέπει να περιλαμβάνει ικανοποιητική ποσότητα χαρτιού που να είναι αρκετή για όλες τις μετρήσεις που απαιτούνται (ο αριθμός των σελίδων προκύπτει από τον αριθμό των πειραμάτων, τον αριθμό των μετρήσεων κατά την διάρκεια της τεχνητής γήρανσης και από τις απαιτούμενες ποσότητες για κάθε πείραμα και από το αν τα πειράματα είναι καταστρεπτικά ή όχι).

Το στάδιο (2) περιλαμβάνει μετρήσεις χαρακτηριστικών παραμέτρων του χαρτιού που θα αποτελέσουν την «αρχική» κατάσταση των δειγμάτων, αλλά και που θα επιβεβαιώσουν την ομοιογένεια του δείγματος. Περιλαμβάνει επίσης τον χαρακτηρισμό του κάθε είδους χαρτιού σύμφωνα με τα ISO 9184.

Στο στάδιο (3) η σειρά των φύλλων χαρτιού που αποτελεί ένα δείγμα χωρίζεται σε δύο ομάδες. Η ομάδα Α υφίσταται τεχνητή γήρανση (A4) και σε τακτά χρονικά διαστήματα λαμβάνονται μετρήσεις ιδιοτήτων του χαρτιού (A5). Η ομάδα Β υφίσταται την κατεργασία (στη προκειμένη περίπτωση συντήρηση ρουτίνας στο εργαστήριο συντήρησης του ΚΚΕ) (B4), κατόπιν λαμβάνονται μετρήσεις ιδιοτήτων (B5) και μετά ακολουθεί τεχνητή γήρανση (B6) των δειγμάτων αυτών με παράλληλη λήψη μετρήσεων (B7).

Τα αποτελέσματα των δύο κλάδων (A6 και B8) συγκρίνονται και έτσι εξάγονται συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της κατεργασίας που υπέστησαν τα δείγματα. Συγκρίσεις των αποτελεσμάτων μετά την συντήρηση μπορούν να γίνουν με τις προδιαγραφές που προβλέπονται από τα ISO 9706 (permanent paper) και 11108 (archival paper), που είναι τα πιο αποδεκτά πρότυπα όσον αφορά τις ιδιότητες χαρτιού που προορίζεται για διατήρηση στο διηνεκές.

<sup>137</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit.

<sup>138</sup> Marina Bicchieri, Sabrina Pepa, op. cit.

<sup>139</sup> Chandru Shahani, *Accelerated aging of paper: Can it really foretell the permanence of paper*, Preservation Research and Testing Series, 9503, 1995, <ftp://ftp.loc.gov/pub/preservation/doc/rt9503.txt>

<sup>140</sup> T. Uyeda, K. Saito, M. Inaba, A. Okawa, *The effect of Cooking Agents on Japanese Paper*, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ. 119-125.

<sup>141</sup> M. Carme Sistach, Josep M. Gilbert, Rogelio Areal, op. cit.

<sup>142</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit.

<sup>143</sup> Meta Cernic Letnar, Jedert Vodopivec, *Protection and Conservation of Materials on Paper, Evaluation of Permanence and Durability of the Laminated Material on Paper*, Restaurator, 18:4, 1997 σελ. 177-190.

<sup>144</sup> A. Lienardy, op. cit.

### 1.2.1.2. Μέθοδοι Διερεύνησης Ιδιοτήτων Χαρτιού

Ο Πίνακας 4 συγκεντρώνει τις μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις ιδιοτήτων του χαρτιού σε παρόμοιες μελέτες και παρουσιάζει τα διεθνή πρότυπα που χρησιμοποιούνται<sup>146</sup>, τις συσκευές και τις ποσότητες δείγματος που απαιτούνται. Στο τέλος του πίνακα συγκεντρώνονται μέθοδοι προετοιμασίας και προσδιορισμών που προαπαιτούνται για εκτέλεση των βασικών πειραμάτων.

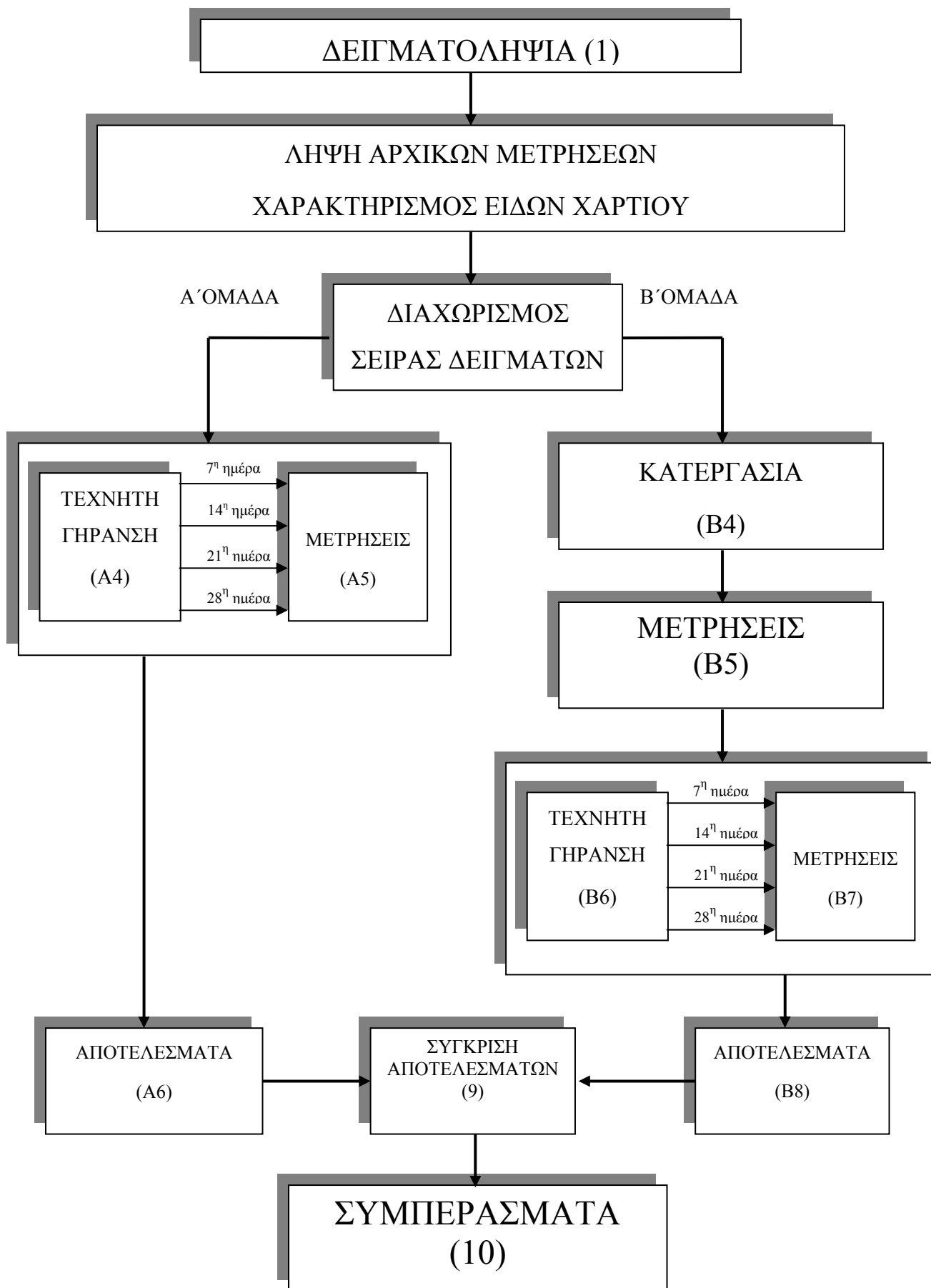
Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση μεθόδων κατάλληλων για την εξέταση των ιδιοτήτων του χαρτιού με αναφορές στις δυνατότητες και περιορισμούς τους, η υπάρχουσα σχετική βιβλιογραφία<sup>147</sup> και η απαραίτητη οργανολογία για κάθε μέθοδο.

---

<sup>145</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit.

<sup>146</sup> Κατάλογος με περιληπτικές αναφορές στις μεθόδους ανάλυσης και ελέγχου χαρτιού και πολτού κατά ISO. (<http://www.rpeurope.com/Website/pbanlys.htm>).

<sup>147</sup> Οι βιβλιογραφικές παραπομπές αφορούν περιπτώσεις χρήσεις των αναφερόμενων μεθόδων.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής εργασιών ερευνητικού σχήματος

Πίνακας 4: Μέθοδοι διερεύνησης ιδιοτήτων χαρτιού

A/A	ΜΕΘΟΔΟΣ	ISO	ΣΥΣΚΕΥΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΆΛΛΟ ΣΧΕΤ. ΠΡΟΤΥΠΟ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	Tearing Resistance	1974	Elmendorf	4 x (60 mm x 80mm) MxΠ	CPPA D. 9	
2	Folding Endurance	5626	Kohler Molin ή Lhomargy ή MIT ή Schopper	210 mm x 15 mm MxΠ	CPPA D. 17P TAPPI T511 TAPPI T 423 su-68	Αναφέρεται ότι απαιτούνται τουλάχιστον 10 δείγματα λόγω μεγάλης διακύμανσης
3	Tensile Properties: 1 Constant Load 2 Constant Elongation	1924-1 1924-2	Instron (model 1011)	70 mm x 15 mm MxΠ	CPPA D. 34 DIN 63112 TAPPI T494	Υπολογισμός: stress/strain curve, tensile strength, stretch, tensile energy absorption (TEA), Young modulus
4	Zero span tensile strength (dry)		Pulmac			
5	ISO Brightness (Blue Reflectance Factor)	2470	VIS, λ = 457 nm		CPPA E. 1	Μόνο για λευκά χαρτιά, δεν χρησιμοποιείται σε ιστορικά χαρτιά
6	Χρωματομετρία (CIE Lab)		Χρωματόμετρο	Λίγα cm <sup>2</sup>	ASTM D 2244 - 93	
7	DTA – TG (Διαφορική Θερμική Ανάλυση – Θερμοβαρυνμετρία)		Όργανο μέτρησης DTA - TG	< 1 gr		
8	TMA (Θερμομηχανική Ανάλυση)		Όργανο μέτρησης TMA	2 cm x 3 cm		
9	Water Absorption	5637				
10	pH of aqueous extracts	6588	pH meter	2 gr oven dry paper	CPPA G. 25P, TAPPI T435 om 88, TAPPI T509, TAPPI T-428, DIN 53124, NEN 2151, ASTM D-542	Cold or warm extraction
11	Alkali Reserve	10716	Ογκομέτρηση	1gr	TAPPI T 428 ASTM D 4988 – 89 ASTM D 548 ANSI PH 1.53 - 1978	
12	Προσδιορισμός λιγνίνης (K number)	302		10 gr		
13	Βαθμός Πολυμερισμού (DP) Standard test method for intrinsic viscosity of cellulose		Ιξωδόμετρο		ASTM 1795 – 90 Afnor NFT 12-005	
14	Οπτική Μικροσκοπία (OM)		Οπτικό Μικροσκόπιο	Λίγα cm <sup>2</sup>		
15	SEM – EDX (Ηλεκτρονική Μικροσκοπία - Χημική Μικροανάλυση)		SEM - EDX			
16	Υπέρυθρη Φασματοσκοπία (FTIR)		FTIR	Λίγα cm <sup>2</sup>		
17	Water soluble Cl <sup>-</sup>	9197-1	Ποτενσιομετρική Ογκομέτρηση	4 gr		
18	TLC Χρωμ. Λεπτής στοιβάδας			Λίγα gr		

19	Fibre furnish Analysis (Προσδιορισμός είδους ινών) Staining guide	9184-1 -2, -3, -4, -5, -6, -7	Οπτικό Μικροσκόπιο	0,5 gr	TAPPI T401, om-88, TAPPI T263 om-82, TAPPI T259 om-33 ASTM D1030	
20	Carboxyl content				ASTM 1926 - 89	
21	Copper Number (i cu)				Afnor NFT 12-004 TAPPI T 430 ASTM D919	
22	Lignin content				TAPPI T 222	
23	Περιεχόμενη α-κυτταρίνη				TAPPI T 203 os-74 TAPPI T-429 ASTM D-588	
24	Τεχνητή Γήρανση (Accelerated Aging)	5630 – 1, 2, 3, 4	Θάλαμος τεχνητής γήρανσης με έλεγχο Θ, RH (π.χ. Heraeus-Votsch VLK 02/500 [14 σελ 8])		TAPPI T 453 ts-63 ASTM D 776	
25	Conditioning	187	Θάλαμος Ύγρανσης – ελέγχου Θ		ASTM D685-87 TAPPI T 402	Απαραίτητη διαδικασία πριν κάθε μέτρηση (23°, 50% RH)
26	Grammage Determination	536				Χρειάζεται για αναγωγές σε $gr/m^2$
27	Sampling	186			TAPPI T 400 ASTM D 585	
28	Dry matter determination	287				Απαιτείται από άλλα ISO
29	Moisture content				ASTM D1348-89	
30	Thickness				TAPPI T411	

### 1.2.1.2.1. Μέθοδοι Ελέγχου της Αλλαγής της Υφής, Φύσης, Χημικής σύστασης και Δομής του Χαρτιού

#### 1.2.1.2.1.1. Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (FOM)

Πρόκειται για ένα εύχρηστο φορητό μικροσκόπιο, με το οποίο μπορεί να εξεταστεί ολόκληρη η επιφάνεια ενός αντικειμένου χωρίς να απαιτείται προκατεργασία ή αλλοίωση των υλικών<sup>148</sup>.

Το Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών όπως και το οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί ως φωτεινή πηγή λευκό φως που προέρχεται από λάμπα αλογόνου. Το λευκό φως χαρακτηρίζεται από μήκη κύματος από 400 nm έως 760 nm περίπου. Επειδή τα χαρακτηριστικά μεγέθη του πλέγματος των κρυστάλλων κυμαίνονται από 0,15 μέχρι 2 nm, είναι δηλαδή 3 τάξεις μεγέθους μικρότερα, οι κρύσταλλοι φαίνονται σαν συνεχές μέσο όταν φωτίζονται από λευκό φως. Οι οπτικές ιδιότητες των άμορφων και των κρυσταλλικών σωμάτων οφείλονται στην αλληλεπίδρασή τους με το προσπίπτον φως. Τα κύρια φαινόμενα που καθορίζουν αυτή την αλληλεπίδραση είναι η ανάκλαση, η διάθλαση και η απορρόφηση. Τα φαινόμενα αυτά αντιμετωπίζονται στην οπτική μικροσκοπία με βάση τις εξισώσεις του Maxwell για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η φωτεινή πηγή περιγράφεται σαν ένας αρμονικός ταλαντωτής που χαρακτηρίζεται από τις μεταβολές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στο χώρο και στο χρόνο. Όλες οι σχέσεις που διέπουν την οπτική μικροσκοπία βασίζονται στην πόλωση του φωτός που επιτυγχάνεται με τα πρίσματα Nicols. Στη μικροσκοπία οπτικών ινών χρησιμοποιείται όμως λευκό φως που δεν είναι ούτε πολωμένο ούτε μονοχρωματικό. Το γεγονός αυτό κάνει αδύνατη την ποσοτικοποίηση των συμπερασμάτων που εξάγονται με την μικροσκοπία οπτικών ινών. Αυτό φυσικά δεν αναιρεί τη σημασία των ποιοτικών παρατηρήσεων.

Τα κυριότερα τμήματα της συσκευής είναι:

- Λάμπα αλογόνου 100 W.
- Έλεγχος έντασης φωτός. Η ποσότητα φωτός που ανακλάται από το αντικείμενο εξαρτάται από το χρώμα και το υλικό του αντικειμένου. Το μικροσκόπιο προσαρμόζει αυτόματα την ένταση του φωτός της λάμπας έτσι ώστε να υπάρχει ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στην λαμβανόμενη εικόνα.
- Σύστημα εστίασης
- Αντικειμενικοί φακοί. Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής των φακών ώστε να λαμβάνονται εικόνες διαφορετικών μεγεθύνσεων. Οι φακοί συνδέονται με το σύστημα μετάδοσης εικόνας μέσω οπτικών ινών.

<sup>148</sup> Ι. Αναστασοπούλου, Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής, Δ. Δημοτίκαλη, Μ. Κουή, Α. Μπακόλας, *Ενότητα 1.2.3, Μεθοδολογία και Τεχνικές Διάγνωσης: Επίδειξη στο Εργαστήριο του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών - Εργαστηριακές Μέθοδοι – Επί τόπου μη καταστρεπτικές Μέθοδοι – Χρωματόμετρο – Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών, Σημειώσεις Εργαστηρίων. α.χ.*



Κατά την διαδικασία της μικροσκοπικής εξέτασης το φως πρέπει να πέφτει κάθετα στην επιφάνεια του δείγματος και ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών.

Το μικροσκόπιο οπτικών ινών διαθέτει έξοδο τυποποιημένου σήματος βίντεο (PAL), παρέχοντας τη δυνατότητα σύνδεσης με video μόνιτορ και συσκευή εγγραφής. Οι εικόνες καταγράφονται σε μαγνητικό μέσο και έτσι μπορούν να αναπαραχθούν ανά πάσα στιγμή με ευκολία στο βίντεο. Η τυποποιημένη έξοδος σήματος επιτρέπει την εισαγωγή της εικόνας και σε υπολογιστή και κατ' επέκταση σε σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας (η ψηφιακή ανάλυση εικόνας Pal είναι 768 x 576 pixels), παρέχοντας δυνατότητες περαιτέρω επεξεργασίας.

Η μικροσκοπία οπτικών ινών αποτελεί νέα μέθοδο εξέτασης επιφανειών, η οποία βρίσκεται ακόμα στη φάση της ερμηνείας και προτυποποίησης. Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του Τομέα ΙΙΙ του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.<sup>149, 150, 151, 152</sup>, για την επί τόπου αναγνώριση των τύπων φθοράς, την εκτίμηση των αποτελεσμάτων εφαρμογών μεθόδων συντήρησης, καθαρισμού και προστασίας επιφανειών. Επίσης χρησιμοποιείται για την αρχική εκτίμηση της μικροδομής των υλικών (μεγέθυνση έως και x 600), την επί τόπου παρατήρηση σύνθετων υλικών (κονιαμάτων, χαρτιού κ.α.), διεπιφανειακών φαινομένων κ.λπ.

Το μικροσκόπιο οπτικών ινών χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στην εργασία αυτή για την αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης χαρτιού. Έτσι, μεταξύ των στόχων της εργασίας αυτής, συγκαταλέγεται και η διερεύνηση των δυνατοτήτων του FOM να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης.

---

<sup>149</sup> Α. Μοροπούλου, Σημειώσεις για τις εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος «Υλικά», 7<sup>ο</sup> Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, *Μη καταστρεπτικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών – εφαρμογή στο εργαστήριο και επί τόπου*, ΕΜΠ, Αθήνα 1996

<sup>150</sup> Α. Μοροπούλου, Σημειώσεις για το μάθημα «Υλικά Ι», 9<sup>ο</sup> Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, *Φυσικοχημεία της φθοράς και τεχνική της συντήρησης των δομικών υλικών*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1995.

<sup>151</sup> Α. Moropoulou, M. Kouï, Th. Tsiourva, Ch. Kourteli, D. Papasotiriou, *Macro – and micro non destructive tests for environmental impact assessment an architectural surfaces*, Materials Issues in Art and Archaeology IV, edited by J.R. Druzik and P.B. Vandiver, Publ. Materials Research Society, (1996), in press. (ci: AATA)

<sup>152</sup> Α. Moropoulou, G. Biscontin, Th. Tsiourva, K. Bisbikou, P. Longega, V. Tsantila, M. Groggia, E. Dalaklis, A. Petritaki, *Evaluation of cleaning procedures on the facades of the Bank of Greece historical building in the centre of Athens*, 4<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Conference Proceedings, edited by A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias, I. Papachristodoulou, Publ. Technical Chamber of Greece, Rhodes, Vol. 4, (1997), σελ. 343 – 354.

#### 1.2.1.2.1.2. Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

Με την οπτική μικροσκοπία μπορεί να εκτιμηθεί η ποιότητα, να καθοριστεί το είδος και η προέλευση των ινών του χαρτιού και να προσδιοριστεί η μέθοδος πολτοποίησης και οι επεξεργασίες που έχει υποστεί ο πολτός (π.χ. λεύκανση).

Η μέθοδος συνίσταται στη παρατήρηση με μικροσκόπιο κατάλληλα προετοιμασμένων ινών δείγματος χαρτιού (0,25 gr περίπου) μετά την επίδραση διαφόρων αντιδραστηρίων που βάφουν επιλεκτικά τις ίνες. Υπάρχει δυνατότητα σε περίπτωση μίγματος ινών διαφόρων ειδών να γίνει και ποσοτικός προσδιορισμός της αναλογίας του μίγματος με μικροσκοπική καταμέτρηση. Συνηθίζεται σε παρόμοιες έρευνες να χαρακτηρίζεται ο τύπος του χαρτιού από την αναλογία των διαφόρων ειδών πολτών που έχουν χρησιμοποιηθεί (π.χ.. 30% χημικός πολτός, 40% ξυλοπολτός και το υπόλοιπο πολτός από λινά κουρέλια), γιατί κάποιες μέθοδοι συντήρησης είναι αποτελεσματικότερες σε χαρτιά συγκεκριμένων τύπων.

Μπορεί επίσης να γίνει εκτίμηση της υφής του χαρτιού και πώς αυτή αλλοιώνεται από διαδικασίες όπως υπερβολικό πρεσάρισμα και να προσδιοριστεί ο τρόπος απόθεσης του μέσου αποξίνισης.

Με την ΟΜ μπορούν να αναγνωριστούν αποικίες μυκήτων και να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης του υλικού με μικροσκοπική παρατήρηση του χαρτιού αλλά και καλλιιεργειών ξύσματος μολυσμένων περιοχών.

Η μέθοδος ανάλυσης και προσδιορισμού προέλευσης των ινών του χαρτιού περιγράφεται στο ISO 9184-1 (γενικό μέρος) και στα ISO 9184-2, -3, -4, -5, -6, -7 (μέθοδοι βαφής ινών για αναγνώριση των διαφόρων τύπων τους). Απαιτείται βιβλιογραφία με βάση δεδομένων από εικόνες ινών διαφόρων τύπων χαρτιού η οποία υπάρχει στο παράρτημα Β του ISO 9184-1, π.χ. COTE W.A.: *Papermaking Fibers. A Photomicrographic Atlas*, Syracuse University Press, Syracuse, NY 1980.

#### 1.2.1.2.1.3. Ηλεκτρονική Μικροσκοπία – Χημική Μικροανάλυση (SEM – EDX)<sup>153, 154, 155, 156</sup>

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία δρα συμπληρωματικά και ενισχυτικά στην οπτική και πρέπει να την ακολουθεί χρονικά, δίνοντας εικόνες καλύτερης ανάλυσης. Επειδή το κόστος της μεθόδου είναι μεγάλο και χρειάζεται προετοιμασία των δειγμάτων (επιγραφίτωση ή επιχρύσωση) χρησιμοποιείται μόνον εφόσον η υψηλότερη ανάλυση που προσφέρει κριθεί απαραίτητη. Η χημική μικροανάλυση (EDX) έχει χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση προσμίξεων και ακαθαρσιών στο χαρτί και για την εύρεση της κατανομής παραγόντων αποξίνισης.

#### 1.2.1.2.1.4. Υπέρυθρη Φασματοσκοπία με Μετασχηματισμό Fourier σε Συνδυασμό με Μικροσκοπία (FTIR)<sup>157, 158</sup>

Η υπέρυθρη φασματοσκοπία έχει χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση των προϊόντων διάβρωσης του χαρτιού (θραύσματα της κυτταρινικής αλυσίδας και τελικά προϊόντα οξειδωσης αυτών) μετά από εκχύλιση δειγμάτων χαρτιού. Σε συνδυασμό με την μικροσκοπία, αποτελεί μια ιδανική μέθοδο για την εξέταση της χημικής σύστασης του χαρτιού, γιατί απαιτεί πολύ μικρό δείγμα. Δίνεται έτσι η δυνατότητα εξέτασης συγκεκριμένων περιοχών που μπορεί να έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

---

<sup>153</sup> Mary – Lou E Florian, Lesley Manning, op. cit.

<sup>154</sup> M. Carme Sistach, Nuria Ferrer, M. T Romero, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy Applied to the Analysis of Ancient Manuscripts*, Restaurator, 19:4, 1998 σελ. 173-186.

<sup>155</sup> Jan Michaels, John Boyd, *Damage and Conservation: A Book Conservator Borrows an SEM*, The Paper Conservator, 10, 1986, σελ. 73-94

<sup>156</sup> M. Carme Sistach Anguera, *Structure of Paper Fibres in Ancient Manuscripts: Acidic Decomposition and Deacidification*, Restaurator 17:2, 1996, σελ. 117-129.

<sup>157</sup> A., L. Dupont, op. cit.

<sup>158</sup> M. Carme Sistach, Nuria Ferrer, M. T Romero, op. cit.

#### 1.2.1.2.1.5. Μέτρηση pH του εν Ψυχρώ Υδατικού Εκχυλίσματος<sup>159, 160, 161, 162, 163</sup>

Είναι γνωστή η αρνητική επίδραση όξινων συστατικών στο χαρτί (κατάλυση της υδρόλυσης των μακρομορίων της κυτταρίνης, υποβοήθηση οξειδωτικής δράσης μεταλλικών ιόντων, φωτός και άλλων οξειδωτικών συστατικών). Η μέτρηση του pH θα δώσει ένα μέτρο του όξινου ή αλκαλικού περιεχομένου του χαρτιού<sup>164</sup>, επιτρέποντας την εκτίμηση της διεργασίας της αποξίνισης.

Το παραπάνω πείραμα περιγράφεται στο ISO 6588.

#### 1.2.1.2.1.6. Προσδιορισμός Αλκαλικού Αποθέματος (Alkali Reserve)<sup>165, 166, 167</sup>

Το σημαντικότερο ίσως στάδιο στη διαδικασία συντήρησης χαρτιού είναι η εξουδετέρωση των οξέων που περιέχονται σε αυτό. Επειδή το χαρτί κατά την διαδικασία της φύλαξής του μπορεί να αποκτήσει ξανά όξινο pH (λόγω οξείδωσης ομάδων σε  $-COOH$ , λόγω μόλυνσης του περιβάλλοντος του χώρου φύλαξης με όξινους ρύπους – π.χ.  $SO_2$  ή  $NO_2$  – ή λόγω μετανάστευσης όξινων συστατικών από γειτονικά χαρτιά ή ακατάλληλα υλικά συσκευασίας και φύλαξης) θεωρείται απαραίτητο το υλικό που προστίθεται για εξουδετέρωση να βρίσκεται σε περίσσεια. Επιδιώκεται να παραμείνει μια ποσότητα πάνω στο χαρτί η οποία να μπορεί να εξουδετερώσει όσα όξινα συστατικά παραχθούν στο μέλλον. Η ποσότητα αυτή ονομάζεται αλκαλικό απόθεμα (alkali reserve). Το υλικό εξουδετέρωσης είναι συνήθως  $Ca(OH)_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ,  $Mg(HCO_3)_2$  ή  $Ca(HCO_3)_2$ .

Η μέθοδος συνίσταται στην ογκομέτρηση με διάλυμα  $NaOH$  της περίσσειας διαλύματος  $HCl$  που έχει προστεθεί σε αιώρημα 1 gr χαρτιού σε νερό και περιγράφεται στο ISO 10716.

<sup>159</sup> Marina Bicchieri, Sabrina Pepa, op. cit.

<sup>160</sup> A. Lienardy, op. cit.

<sup>161</sup> J. Hanus, op. cit.

<sup>162</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit.

<sup>163</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit.

<sup>164</sup> Αν δεν χρησιμοποιηθεί το αντίστοιχο ISO, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άλλη μέθοδος μεγαλύτερης ακρίβειας με την οποία υπολογίζεται το πραγματικό όξινο περιεχόμενο του χαρτιού, βλ. Joachim Liers, *Determination of the Content of Alkalis and Acids in Paper*, Restaurator, 20: 3+4, 1999, σελ. 126-136.

<sup>165</sup> A. Lienardy, op. cit.

<sup>166</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit.

<sup>167</sup> Α. Μοροπούλου, op. cit.

#### 1.2.1.2.1.7. Προσδιορισμός Υδατοδιαλυτών Χλωριόντων <sup>168</sup>

Η ύπαρξη χλωριόντων στο χαρτί είναι μια από τις αιτίες που προκαλούν την πρόωρη γήρανσή του, κυρίως λόγω οξειδωσης. Ο προσδιορισμός των χλωριόντων που πιθανόν παρέμειναν στο χαρτί μετά την διαδικασία της έκπλυσης με το νερό της βρύσης συνεκτιμάται με τα υπόλοιπα αποτελέσματα του ποιοτικού ελέγχου <sup>169</sup>.

Ο προσδιορισμός εκτελείται με ποτενσιομετρική ογκομέτρηση του εν θερμώ εκχυλίσματος 4 τουλάχιστον gr χαρτιού με νιτρικό άργυρο παρουσία ακετόνης και οξικού χαλκού, όπως περιγράφεται στο ISO 9197-1.

#### 1.2.1.2.1.8. Ανίχνευση Προσθέτων και Λιγνίνης <sup>170, 171, 172, 173</sup>

A. Ανίχνευση ιόντων  $Al^{3+}$ : spot test με alizarin-S, θετικό τεστ δίνει έντονο κόκκινο χρώμα. Δηλώνει χρήση στυπτηρίας αργιλίου (Alum) για καθίζηση της ρητίνης.

B. Ανίχνευση ρητίνης (rosin = abietic acid  $C_{20}H_{30}O_2$ ) : spot test με κορεσμένο διάλυμα ζάχαρης +θειικό οξύ, θετικό τεστ δίνει ροζ χρώμα (Raspail test). Δηλώνει sizing με ρητίνη (rosin).

Γ. Ανίχνευση αμύλου: spot test με διάλυμα ιωδίου, θετικό τεστ δίνει μωβ χρώμα. Δηλώνει sizing με αμυλόκολλα.

Δ. Ανίχνευση λιγνίνης: spot test με phloroglucinol, θετικό τεστ δίνει έντονο κόκκινο χρώμα.

---

<sup>168</sup> ibid.

<sup>169</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>170</sup> Leanne Brandis, Jan Lyall, *Properties of Paper in Naturally Aged Books*, Restaurator, 18:3, 1997, σελ. 124.

<sup>171</sup> Preservation Service – Conservation & Binding, *Conservation skills development module*, Book and Archive Preservation. α.χ.

<sup>172</sup> D. G. Suryawanshi, O. P. Agrawal, *Evaluation of Hand-made Nepalese Paper for Lining Paintings*, Restaurator, 16:2, 1995, σελ 70.

<sup>173</sup> J.N. Stephenson, *Preparation of stock for Paper Making*, New York, McGraw-Hill, 1951, σελ 405-416

#### 1.2.1.2.1.9. Μέτρηση Βαθμού Πολυμερισμού της Κυτταρίνης<sup>174, 175, 176, 177, 178, 179</sup>

Ο βαθμός πολυμερισμού (ΒΠ) της κυτταρίνης μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό δείκτη της κατάστασης του χαρτιού, γιατί συνδέεται με το μήκος των μορίων της κυτταρίνης. Η μέθοδος αυτή, για να έχει μετρήσιμο αποτέλεσμα θα πρέπει να εφαρμοστεί μετά την τεχνητή γήρανση ασυντήρητου και συντηρημένου δείγματος, γιατί ο βαθμός πολυμερισμού της κυτταρίνης ελαττώνεται με την γήρανση. Αν το συντηρημένο δείγμα έχει μεγαλύτερο ΒΠ από το ασυντήρητο, τότε η συντήρηση είχε καλό αποτέλεσμα.

Υπολογίζεται από το ιξώδες διαλύματος χαρτιού (συνήθως σε χαλκοαιθυλενοδιαμίνη, CED) με χρήση ιξωδομέτρου με τη βοήθεια τύπων που συνδέουν το ιξώδες με το ΒΠ.

---

<sup>174</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit.

<sup>175</sup> Marina Bicchieri, Sabrina Pepa, op. cit.

<sup>176</sup> Ingrid Schwarz, Agnes Bluher, Gerhard Banik, Elisabeth Thobois, Karl-Heinz Mauer, *Developing a Ready-for-Use Pad to Locally Remove Starch With Enzymes*, Restaurator, 20:3+4, 1999 σελ. 237.

<sup>177</sup> A. Lienardy, op. cit.

<sup>178</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit.

<sup>179</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit.

### 1.2.1.2.2. Μέθοδοι Ελέγχου της Αλλαγής Φυσικοχημικών και Φυσικομηχανικών Ιδιοτήτων

#### 1.2.1.2.2.1. Υπολογισμός Αντοχής στις Αναδιπλώσεις (Folding Endurance) <sup>180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187</sup>

Μετράται ο αριθμός των πλήρων αναδιπλώσεων μέχρι τη θραύση του δείγματος και υπολογίζεται ο δεκαδικός λογάριθμός του, ο οποίος ονομάζεται folding endurance. Η μέθοδος παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση αλλά είναι πολύ ευαίσθητη στην επίδραση της φυσικής και τεχνητής γήρανσης του χαρτιού<sup>188</sup>, γιατί η αντοχή στο δίπλωμα είναι ανάλογη της 8<sup>ης</sup> δύναμης της αντοχής των ινών<sup>189</sup>. Είναι η μόνη μέθοδος μέτρησης μηχανικών ιδιοτήτων που συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο “ISO 11108: Archival paper” που αφορά αρχαιακό χαρτί, δηλαδή χαρτί που προορίζεται για διατήρηση στο διηνεκές. Από πολλούς ερευνητές θεωρείται ότι η FE εκφράζει καλύτερα από άλλες μηχανικές ιδιότητες την χρηστικότητα του χαρτιού. Για τους παραπάνω λόγους είναι και η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης μηχανικών ιδιοτήτων σε παρόμοιες μελέτες.

Διάφοροι τύποι οργάνων αναφέρονται στο πρότυπο ISO 5626 που περιγράφει τη διαδικασία μέτρησης: *Kohler Molin*, *Lhomargy*, *MIT* ή *Schopper*. Η ποσότητα δείγματος που χρειάζεται είναι λωρίδα χαρτιού διαστάσεων 100 mm x 15 mm (ΜxΠ) – εξαρτάται από τη συσκευή που χρησιμοποιείται – και τουλάχιστον 10 δείγματα, λόγω της πολύ μεγάλης διακύμανσης. Η ποσότητα των δειγμάτων που χρειάζεται για τη μείωση του σφάλματος είναι ίσως απαγορευτική για ένα ιστορικό αρχείο. Κατά την χρήση αυτής της μεθόδου μετά την τεχνητή γήρανση υπάρχει περίπτωση να μειωθεί η αντοχή του χαρτιού σε σημείο που να μην μπορεί να παρθεί μέτρηση (δηλαδή το φύλλο του χαρτιού να σπάει κατά την πρώτη αναδίπλωση), γι’ αυτό και η χρήση της μεθόδου σε ιστορικά χαρτιά μειωμένης αντοχής χρειάζεται σωστό υπολογισμό του χρόνου παραμονής στο φούρνο καθώς και των συνθηκών της γήρανσης.

<sup>180</sup> H. Bansa, R. Ishii, op. cit.

<sup>181</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit. σελ. 139.

<sup>182</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit. σελ. 166.

<sup>183</sup> Meta Cernic Letnar, Jedert Vodopivec, op. cit. σελ. 185

<sup>184</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>185</sup> J. Hanus, op. cit.

<sup>186</sup> R. Guerra, J. Vives, J. Monmany, J. Carrido, op. cit. σελ. 194

<sup>187</sup> L. Brandis, *Summary and Evaluation of the Testing Sponsored by the Library of Congress of Books Deacidified by the FMC, Akzo and Wei T'o Mass Deacidification*, Restaurator, 15:2, 1994 σελ.114.

<sup>188</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>189</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit. σελ. 139.

#### 1.2.1.2.2.2. Υπολογισμός Εκτατικών Ιδιοτήτων (Tensile Properties)<sup>190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197</sup>

Μετρούνται οι εκτατικές ιδιότητες των δειγμάτων χαρτιού:

- *Εφελκυστική αντοχή (Tensile strength)*: Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη ανά μονάδα εμβαδού πριν την θραύση του δείγματος.
- *Μέγιστη επιμήκυνση (Stretch at break)*: Η μέγιστη επιμήκυνση πριν την θραύση του δείγματος.
- *Απορρόφηση ενέργειας κατά τον εφελκυσμό (Tensile Energy Absorption, TEA)*: Το συνολικό έργο που απορροφάται μέχρι τη θραύση.

Οι εκτατικές ιδιότητες είναι εύκολο να υπολογιστούν, αλλά οι τιμές τους δίνουν ελάχιστες πληροφορίες όσον αφορά τη χρησιμότητα του χαρτιού σαν φορέα πληροφορίας. Ακόμα και το πιο ψαθυρό (brittle) χαρτί μπορεί να έχει υψηλή τιμή εφελκυστικής αντοχής, υψηλότερη ίσως από ένα εύκαμπτο χαρτί που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άφοβα<sup>198, 199</sup>. Οι ιδιότητες αυτές του χαρτιού θεωρείται ότι δεν περιγράφουν ικανοποιητικά την «χρηστικότητα» (usability) του, γι' αυτό και συνήθως δεν υπολογίζονται σε ιστορικά χαρτιά.

Υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού, με σταθερό ρυθμό αύξησης φορτίου ή με σταθερό ρυθμό επιμήκυνσης. Η μέθοδος περιγράφεται στο ISO 1924 – 1 (Constant load), 1924 – 2 (Constant elongation) και ένας τύπος οργάνου που εμφανίζεται στη βιβλιογραφία είναι το: *Instron model 1011*. Η ποσότητα δείγματος που συνήθως χρησιμοποιείται είναι λωρίδα χαρτιού διαστάσεων 70 mm x 15 mm (ΜxΠ).

<sup>190</sup> H. Bansa, R. Ishii, op. cit. σελ. 210

<sup>191</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit. σελ. 139.

<sup>192</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit. σελ. 166.

<sup>193</sup> Meta Cernic Letnar, Jedert Vodopivec, op. cit. σελ. 185

<sup>194</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>195</sup> J. Hanus, op. cit.

<sup>196</sup> R. Guerra, J. Vives, J. Monmany, J. Carrido, op. cit. σελ. 194

<sup>197</sup> L. Brandis, *Summary and Evaluation of the Testing Sponsored by the Library of Congress of Books Deacidified by the FMC, Akzo and Wei To Mass Deacidification*, Restaurator, 15:2, 1994 σελ.114.

<sup>198</sup> H. Bansa, R. Ishii, op. cit. σελ. 210.

<sup>199</sup> L. Brandis, op. cit. σελ. 115.



#### 1.2.1.2.2.3. Υπολογισμός Αντίστασης στο Σκίσιμο (Tearing Resistance) <sup>200, 201, 202, 203, 204</sup>

Η μέθοδος είναι ευαίσθητη σε ένα αριθμό από παράγοντες, όπως το μήκος και η αντοχή των ινών καθώς και η αποτελεσματικότητα των διασυνδέσεων τους. Για χαρτιά με καλή διασύνδεση ινών είναι ανάλογη του τετραγώνου της αντοχής των ινών<sup>205</sup>. Η μέτρηση γίνεται με την μέθοδο Elmendorf, με το ομώνυμο όργανο, όπως περιγράφεται στο ISO 1974. Η ποσότητα δείγματος που χρειάζεται είναι 4 λωρίδες χαρτιού διαστάσεων 60 mm x 80 mm (ΜxΠ). Αποτελεί συνήθως κριτήριο για χαρτιά που προορίζονται για τυπογραφία ή γράψιμο.

#### 1.2.1.2.2.4. Μέτρηση της Υδατοαπορρόφησης

Υπολογισμός της επί τοις % αύξησης της μάζας δείγματος χαρτιού μετά από ολοκληρωτική βύθιση σε νερό για ορισμένο χρόνο, όπως περιγράφεται στο ISO 5637.

---

<sup>200</sup> H. Bansa, R. Ishii, op. cit.

<sup>201</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit. σελ. 139.

<sup>202</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit. σελ. 166.

<sup>203</sup> Meta Cernic Letnar, Jedert Vodopivec, op. cit. σελ. 185

<sup>204</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>205</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit. σελ. 139.

#### 1.2.1.2.2.5. Υπολογισμός Χρωματικής Μεταβολής (CIE L\*a\*b\*)<sup>206, 207, 208, 209</sup>

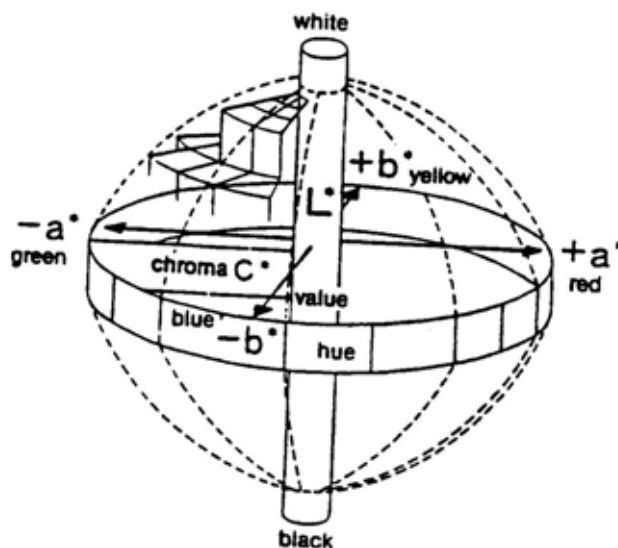
Μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων με χρωματόμετρο σύμφωνα με το ASTM standard D 2244-93, για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της συντήρησης από αισθητική άποψη. Σε συνδυασμό με την τεχνητή γήρανση ελέγχεται αν οι διεργασίες συντήρησης θα έχουν επίδραση στο χρωματισμό των δειγμάτων (κιτρίνισμα) με την πάροδο του χρόνου.

Χρησιμοποιείται ο ενιαίος χρωματικός χώρος CIEL\*a\*b\* του 1976: Οι πολικές συντεταγμένες L\* (λαμπρότητα), a\* (θέση στον άξονα κόκκινο – πράσινο) και b\* (θέση στον άξονα κίτρινο – μπλε) θεωρούνται διανύσματα κάθετα μεταξύ τους.

Η συνολική χρωματική διαφορά δύο δειγμάτων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta E = \left( \Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2 \right)^{1/2}$$

όπου το  $\Delta L^*$  : διαφορά λαμπρότητας,  $\Delta a^*$ : διαφορά στο κόκκινο – πράσινο και  $\Delta b^*$ : διαφορά στο κίτρινο – μπλε



Εικόνα 21: Ο τρισδιάστατος χρωματικός χώρος CIE L\*a\*b\*

Το χρωματόμετρο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών του Τομέα ΙΙΙ του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π, για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων εφαρμογών μεθόδων συντήρησης, καθαρισμού και προστασίας επιφανειών<sup>210</sup>.

<sup>206</sup> M. Carme Sistach, Josep M. Gilbert, Rogelio Areal, op. cit. σελ. 153-157

<sup>207</sup> Ι. Αναστασοπούλου, Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής, Δ. Δημοτίκαλη, Μ. Κουή, Α. Μπακόλας, op. cit.

<sup>208</sup> A. Lienardy, op. cit. σελ. 6

<sup>209</sup> M. Bicchieri, P. Brusa, *The Bleaching of Paper by Reduction with the Borane Tert-Butylamine Complex*, Restaurator, 18:1, 1997, σελ. 1-11.

<sup>210</sup> Βλ. και παραπομπές μικροσκοπίου οπτικών ινών, σελ.80

### 1.2.1.2.3. Τεχνητή Γήρανση <sup>211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225</sup>

Για να γίνει δυνατή η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της συντήρησης θα πρέπει μέρος των δειγμάτων να υποβληθούν σε δοκιμή τεχνητής γήρανσης πριν από την συντήρηση και άλλο μέρος παρόμοιων δειγμάτων μετά την συντήρηση. Από τα 4 πρότυπα που υπάρχουν για τη τεχνητή γήρανση, συνήθως προτιμάται το ISO 5630-3 (γήρανση στους 80°C και 65% RH), γιατί προσομοιάζει καλύτερα στην φυσική γήρανση του χαρτιού ή το ISO 5630-1 για την ευκολία εφαρμογής του. Μετρήσεις με τις παραπάνω μεθόδους μπορεί να ληφθούν πριν και κατά τη διάρκεια της γήρανσης σε τακτά διαστήματα (π.χ. την 7<sup>η</sup>, 14<sup>η</sup>, 21<sup>η</sup> και 28<sup>η</sup> ημέρα, όπως συναντάται συχνά στη βιβλιογραφία για γήρανση στους 80°C και 65% RH).

Η τεχνητή γήρανση, παρόλα τα προβλήματα που παρουσιάζει<sup>226</sup>, αποτελεί αναντικατάστατο εργαλείο στην εκτίμηση της καταλληλότητας μεθόδων που εφαρμόζονται στο χαρτί και έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε παρόμοιες μελέτες. Πολλές μέθοδοι συντήρησης που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν, ενώ προκαλούσαν άμεση βελτίωση των ιδιοτήτων του χαρτιού, με την πάροδο του χρόνου αποδείχτηκε ότι προκαλούσαν σημαντικές και αναντίστροφες βλάβες. Η τεχνητή γήρανση είναι το μέσο που μπορεί να δείξει ποια θα είναι τα αποτελέσματα της παρόδου πολλών ετών.

Η σύγκριση πριν και μετά την συντήρηση των καμπυλών μεταβολής των ιδιοτήτων του χαρτιού με το χρόνο κατά τη διάρκεια της γήρανσης και η σύγκριση των εναπομεινασών

<sup>211</sup> P. Begin., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Woods, X. Zou, op. cit. σελ. 138.

<sup>212</sup> H. El-Saied, A. Basta, M. Afdou, op. cit. σελ. 157,158.

<sup>213</sup> Meta Cernic Letnar, Jedert Vodopivec, op. cit. σελ. 180

<sup>214</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>215</sup> L. Brandis, op. cit.

<sup>216</sup> Marina Bicchieri, Sabrina Pepa, op. cit. σελ. 168.

<sup>217</sup> T. Uyeda, K. Saito, M. Inaba, A. Okawa, op. cit. σελ. 120.

<sup>218</sup> M. Carme Sistach, Josep M. Gilbert, Rogelio Areal, op. cit. σελ. 153.

<sup>219</sup> Ingrid Schwarz, Agnes Bluher, Gerhard Banik, Elisabeth Thobois, Karl-Heinz Mauer, op. cit. σελ. 231.

<sup>220</sup> A. Lienardy, op. cit. σελ. 8

<sup>221</sup> P. Whitmore, J. Bogaard, op. cit. σελ. 29.

<sup>222</sup> Helmut Bansa, *Accelerated Aging Tests in Conservation Research: Some Ideas for a Future Method*, Restaurator, 13:3, 1992 σελ. 114-137.

<sup>223</sup> A.M.A Nada, A.A.Abd El Hakim, A.S. Badran, *Treatment of Deteriorated Paper with Emulsified Copolymer*, Restaurator, 20:1, 1999, σελ. 20-38.

<sup>224</sup> G. B. Kelly, J. C. Williams, G. D. Mendenhall, *The Application of Several Empirical Equations to Describe the Change of Properties of Paper on Accelerated Aging*, Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II, Advances in Chemistry Series 193, 1981, σελ. 177-188.

<sup>225</sup> J. S. Arney, A. H. Chapdelaine, *A Kinetic Study of the Influence of Acidity on the Accelerated Aging of Paper*, Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II, Advances in Chemistry Series 193, 1981, σελ. 189-204.

ιδιοτήτων του χαρτιού στο τέλος αυτής θα δείξει την καταλληλότητα ή όχι των διαδικασιών συντήρησης που εφαρμόστηκαν.

Η θερμική τεχνητή γήρανση, που είναι η συχνότερα χρησιμοποιούμενη για την αποτίμηση των μεθόδων συντήρησης χαρτιού, βασίζεται στο γεγονός ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα των αντιδράσεων που υποβαθμίζουν το χαρτί σύμφωνα με την εξίσωση του Arrhenius:

$$K = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

όπου  $K$  = σταθερά ταχύτητας,  $A$  = παράγοντας συχνότητας συγκρούσεων,  $E_a$  = ενέργεια ενεργοποίησης,  $R$  = παγκόσμια σταθερά των αερίων και  $T$  = απόλυτη θερμοκρασία.

Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι η παραπάνω εξίσωση εφαρμόζεται στην περίπτωση της τεχνητής γήρανσης του χαρτιού με ορισμένες παραδοχές και επιφυλάξεις. Η εξίσωση του Arrhenius χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένη αντίδραση που αφορά ορισμένη χημική ένωση σε καθορισμένες συνθήκες. Το χαρτί δεν αποτελείται από μια χημική ένωση, ούτε η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι μια. Πολύ δε περισσότερο, η παραπάνω εξίσωση δεν περιγράφει την μεταβολή κάποιας ιδιότητας του χαρτιού, αλλά την εξάρτηση της αύξησης ή της ελάττωσης της συγκέντρωσης χημικών ενώσεων. Για τους παραπάνω λόγους, στην εργασία αυτή δεν επιχειρήθηκε να αντιστοιχηθεί η διάρκεια της τεχνητής γήρανσης με έτη φυσικής γήρανσης. Η τεχνητή γήρανση χρησιμοποιείται μόνο σαν μέθοδος διαφοροποίησης των ιδιοτήτων συντηρημένου – ασυντήρητου δείγματος και όχι σαν απόλυτη μέθοδος πρόβλεψης του ρυθμού γήρανσης ενός συγκεκριμένου τύπου χαρτιού<sup>227</sup>.

Η εφαρμογή του ISO 5630-3 απαιτεί ειδικό θάλαμο τεχνητής γήρανσης – climatic chamber – με έλεγχο θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (ένας τύπος θαλάμου που εμφανίζεται στη βιβλιογραφία είναι ο Heraeus-Votsch VLK 02/500<sup>228</sup>) ενώ του ISO 5630-1 ένα απλό θερμοστατούμενο πυριατήριο. Η μέθοδος περιγράφεται στα ISO 5630 – 1, 2, 3, 4.

<sup>226</sup> Chandru Shahani, op. cit.

<sup>227</sup> Helmut Bansa, op. cit. σελ 114, 115, 135, 136.

<sup>228</sup> A. Lienardy, op. cit. σελ. 8.

### 1.2.2. Η Συντήρηση στο Ιστορικό Αρχείο του ΚΚΕ

Το Ιστορικό Αρχείο του Κ.Κ.Ε. στεγάζεται στα κεντρικά γραφεία του Κ.Κ.Ε. στον Περισσό. Αποτελείται από 30.000.000 σελίδες περίπου και περιλαμβάνει κάθε είδους έντυπο και χειρόγραφο υλικό – βιβλία, εφημερίδες, περιοδικά, αφίσες, προκηρύξεις, πολυγραφήμενα κείμενα, χειρόγραφα, επιστολές κ.λπ..

Τον Οκτώβριο του 1994, ως αποτέλεσμα καταρρακτώδους βροχής, το υπόγειο του κτιρίου στο οποίο φυλασσόταν το αρχείο πλημμύρισε. Λάσπη και σκουπίδια, φερμένα από το νερό της βροχής, κάλυψαν το υλικό του αρχείου και ο κίνδυνος ολοκληρωτικής καταστροφής του ήταν ορατός.

Μετά από άμεση κινητοποίηση των μελών του Κ.Κ.Ε., στήθηκε μια γιγαντιαία επιχείρηση διάσωσης του υλικού του αρχείου. Τα βρεγμένα και λασπωμένα φύλλα χαρτιού καθαρίστηκαν κατά το δυνατόν και αμέσως τοποθετήθηκαν σε καταψύκτες, ώστε να μην προχωρήσει η ανάπτυξη μυκήτων, μέχρι τουλάχιστον να αποφασιστεί πως θα αντιμετωπιστεί η κατάσταση. Το διάγραμμα ροής (Διάγραμμα 2) που ακολουθεί<sup>229</sup> περιγράφει σχηματικά την διαδικασία που ακολουθήθηκε τελικά.

Ακολούθησε σταδιακή έξοδος από τις συνθήκες ψύξης ( $-10^{\circ}\text{C}$ ), υγρός καθαρισμός από τις λάσπες, απολύμανση του υλικού με T-gas (οξείδιο του αιθυλενίου 90% και διοξείδιο του άνθρακα 10%) και τελικά αποθήκευση του υλικού σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στον οποίο έχουν εξασφαλιστεί συνθήκες συντήρησης ( $\text{RH} = 50\text{-}60\%$  και  $\Theta = 16\text{-}18^{\circ}\text{C}$ ). Τα παραπάνω έχουν εφαρμοστεί στο 100% του υλικού του αρχείου, ενώ ένα σημαντικό μέρος του (πάνω από 15%) έχει αποξινωθεί.

Η διαδικασία αποξίνισης (εξουδετέρωσης), όπως περιγράφεται από τον υπεύθυνο του ΚΚΕ για θέματα συντήρησης Κο Π. Μαυραντώνη έχει ως εξής:

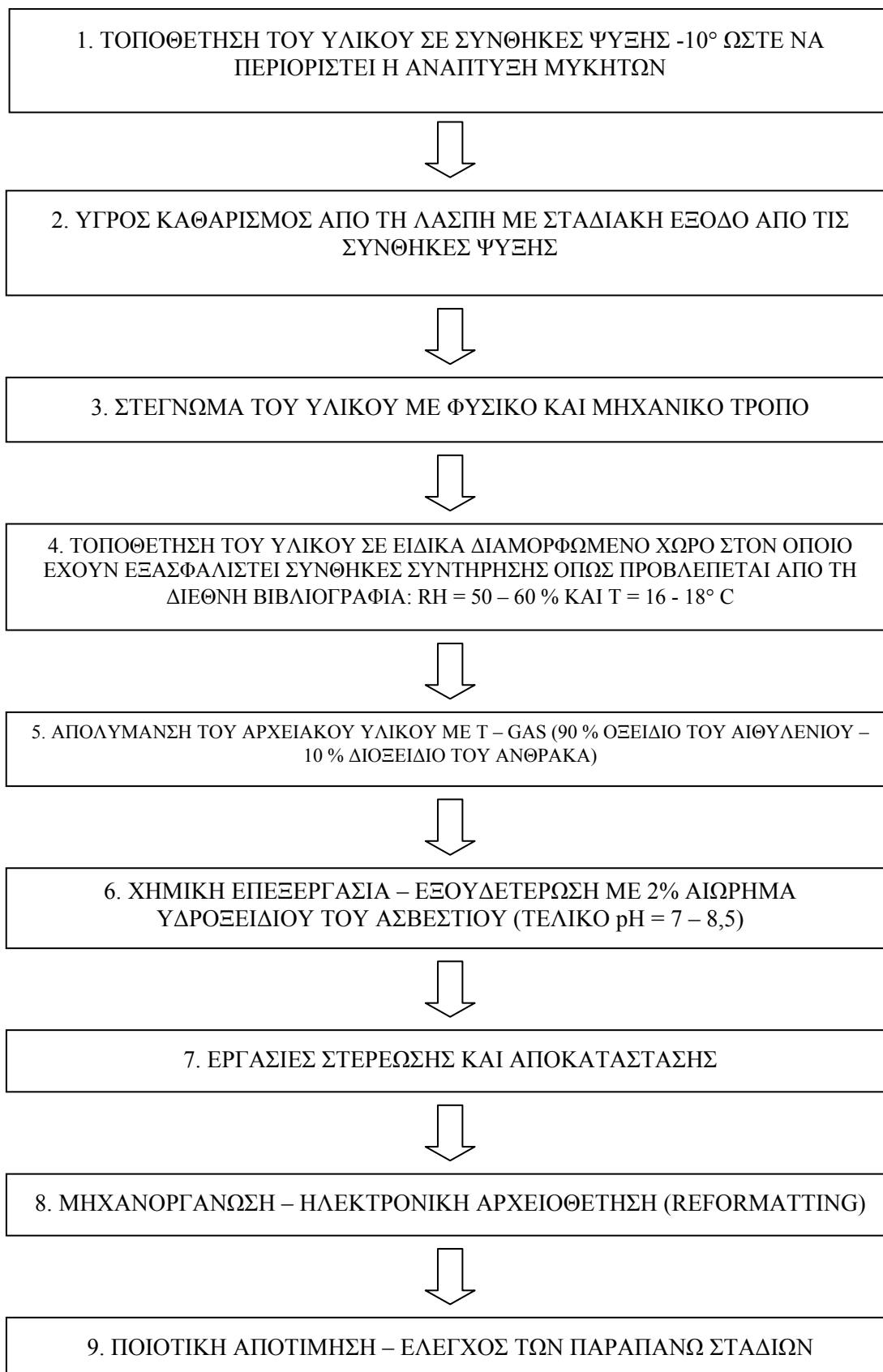
- Έκπλυση του χαρτιού με συνεχή ροή χλιαρού νερού της βρύσης (μέχρι  $40^{\circ}\text{C}$ ), μέχρις ότου το νερό πάψει να χρωματίζεται κίτρινο (τουλάχιστον για 45 λεπτά).
- Εμβάπτιση του χαρτιού σε αιώρημα υδροξειδίου του ασβεστίου (υψηλής καθαρότητας – MERCK) 2 – 3% για 20 περίπου λεπτά.
- Ξήρανση του χαρτιού στον αέρα.
- Δειγματοληπτική μέτρηση του pH, το οποίο πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή 8-8,5.

<sup>229</sup> Στοιχεία που δόθηκαν από το ΚΚΕ, βλ. Α. Μοροπούλου, *Σημειώσεις Μαθήματος 3.5.2. Συντήρηση Χαρτιού – Διατήρηση Αρχείων* του ΔΠΜΣ ΕΜΠ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, α.χ.

- Τοποθέτηση του χαρτιού σε αντιόξινο φάκελο και αποθήκευση στο χώρο συντήρησης, σε συνθήκες θερμοκρασίας 16-18°C και σχετικής υγρασίας 50-60%.
- Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται σε πολλά φύλλα χαρτιού ταυτόχρονα μέσα σε μεγάλες ανοξείδωτες λεκάνες και για υποστήριξη των υγρών χαρτιών στο λουτρό χρησιμοποιείται πλαστικό πλέγμα.

Η επέμβαση συντήρησης που θα αποτιμηθεί με την παρούσα εργασία είναι η διαδικασία της αποξίνισης. Θα διερευνηθεί επίσης η καταλληλότητα του υδροξειδίου του ασβεστίου ως παράγοντα αποξίνισης.

*Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής εργασιών συντήρησης του Αρχείου του ΚΚΕ*



## 2. Πειραματικό Μέρος



## 2.1. Σχεδιασμός της Πειραματικής Διαδικασίας για την Αποτίμηση της Συντήρησης

Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται κάθε εργασία αποτίμησης της καταλληλότητας μεθόδων και υλικών συντήρησης είναι η σύγκριση του ρυθμού υποβάθμισης των μηχανικών, χημικών και οπτικών ιδιοτήτων του ασυντήρητου και του συντηρημένου χαρτιού με την πάροδο του χρόνου. Η αρχή αυτή είναι εγγενώς συνδεδεμένη με την έννοια της συντήρησης όπως αυτή έχει οριστεί και παραπάνω, αφού σκοπός της είναι η διακοπή ή η επιβράδυνση της υποβάθμισης του χαρτιού.

Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση αυτή, απαραίτητη είναι μια διαδικασία επιτάχυνσης του ρυθμού υποβάθμισης των ιδιοτήτων του χαρτιού, ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σε σύντομα χρονικά διαστήματα, χωρίς να χρειάζεται αναμονή πολλών ετών μέχρις ότου ο φυσικός ρυθμός γήρανσης ασυντήρητου και συντηρημένου χαρτιού διαφοροποιηθεί.

Η μέθοδος αυτή είναι η τεχνητή γήρανση, που συνίσταται στην επίδραση εχθρικού περιβάλλοντος πάνω στο χαρτί σε ελεγχόμενες συνθήκες. Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η θερμική ξηρή ή υγρή τεχνητή γήρανση, η επίδραση υπεριώδους φωτός, η επίδραση ρυπασμένης ατμόσφαιρας ή συνδυασμός των παραπάνω.

Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η εφαρμογή της ξηρής τεχνητής θερμικής γήρανσης στους 105°C, κυρίως λόγω της απλότητας της εφαρμογής της, αφού οποιαδήποτε άλλη επιλογή απαιτούσε τη χρήση πολύπλοκων συσκευών οι οποίες δεν ήταν διαθέσιμες. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται στο ISO 5630-01 «Paper and board – Accelerated aging – Part 1: Dry heat treatment at 105°C».

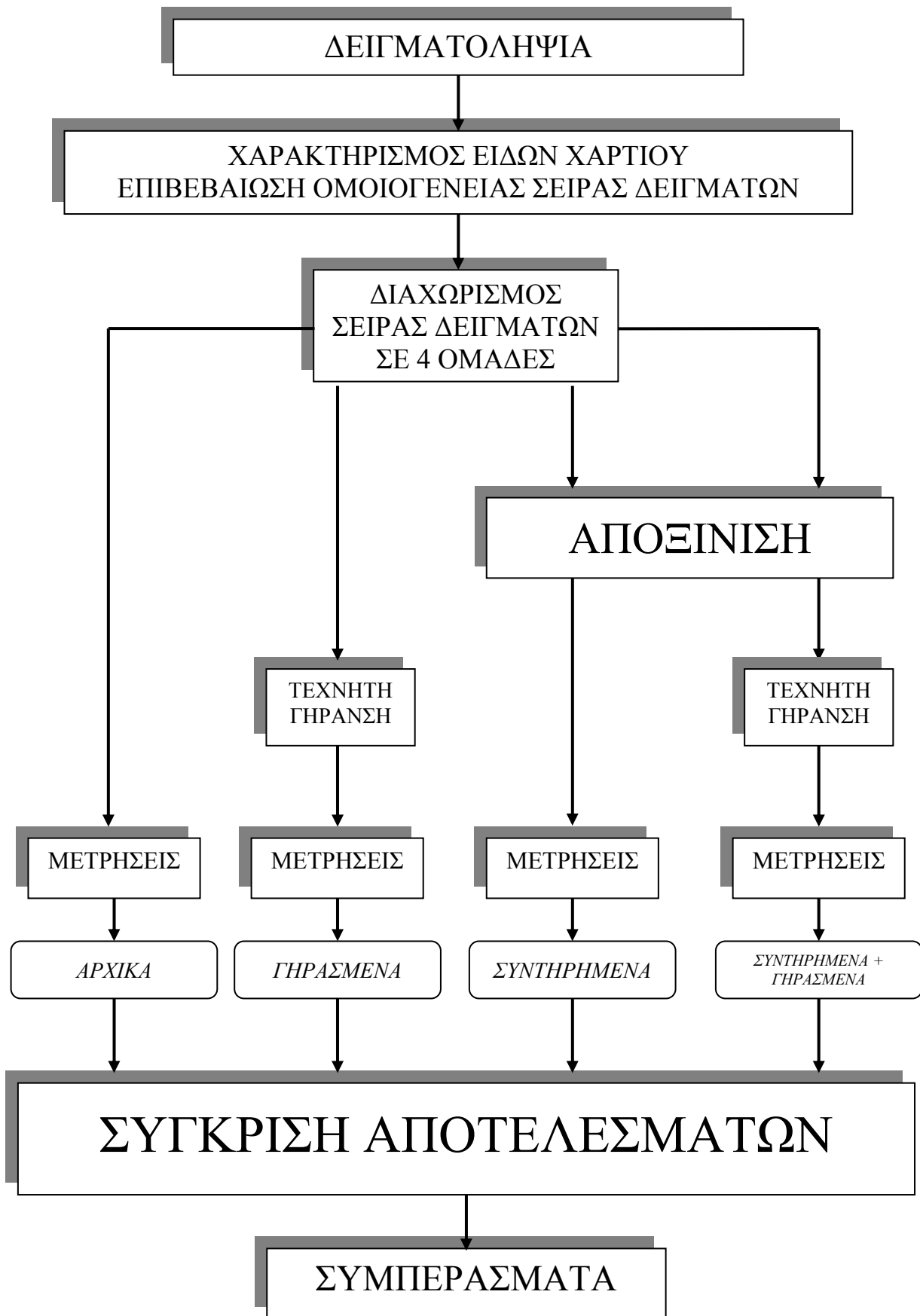
Οι ιδιότητες του χαρτιού που επιλέχθηκαν να συγκριθούν πριν και μετά την τεχνητή γήρανση είναι: Από τις μηχανικές η αντοχή στις αναδιπλώσεις (ISO 5626), από τις χημικές το pH (ISO 6588) και από τις οπτικές η λαμπρότητα ( $L^*$ ) και η τιμή της συντεταγμένης  $b^*$  (που δείχνει την αύξηση ή ελάττωση του κίτρινου χρώματος) στο σύστημα CIE  $L^*a^*b^*$  (1976). Εκτελέστηκε επίσης ποιοτικός προσδιορισμός λιγνίνης για τον χαρακτηρισμό των ποιοτήτων του χαρτιού, μέτρηση του πάχους των δειγμάτων και λήφθηκαν εικόνες με μικροσκόπιο οπτικών ινών για να ελεγχθεί ο τρόπος απόθεσης του παράγοντα αποξίνισης.

Για την εκτέλεση των παραπάνω πειραμάτων χρειάστηκε το κάθε δείγμα να χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες, που υπέστησαν τις ανάλογες διεργασίες: Α - Αρχικό (reference), Γ - Γηρασμένο (aged), Σ - Συντηρημένο (treated) και ΣΓ - Συντηρημένο και Γηρασμένο (treated and aged). Έτσι λήφθηκαν 4 σειρές μετρήσεων, μία για κάθε κατηγορία. Κατά τη διάρκεια της γήρανσης δεν λήφθηκαν ενδιάμεσες μετρήσεις γιατί οι ποσότητες των δειγμάτων ήταν οριακές. Τα πειράματα εκτελέστηκαν με την σειρά: CIE  $L^*a^*b^*$   $\Rightarrow$  Folding endurance  $\Rightarrow$  pH ώστε να γίνει η μέγιστη δυνατή οικονομία χαρτιού, αφού το χαρτί που τεμαχίστηκε κατά τις μετρήσεις

της folding endurance επαναχρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του pH. Η πειραματική διαδικασία φαίνεται σχηματικά στα διαγράμματα 3 και 4.

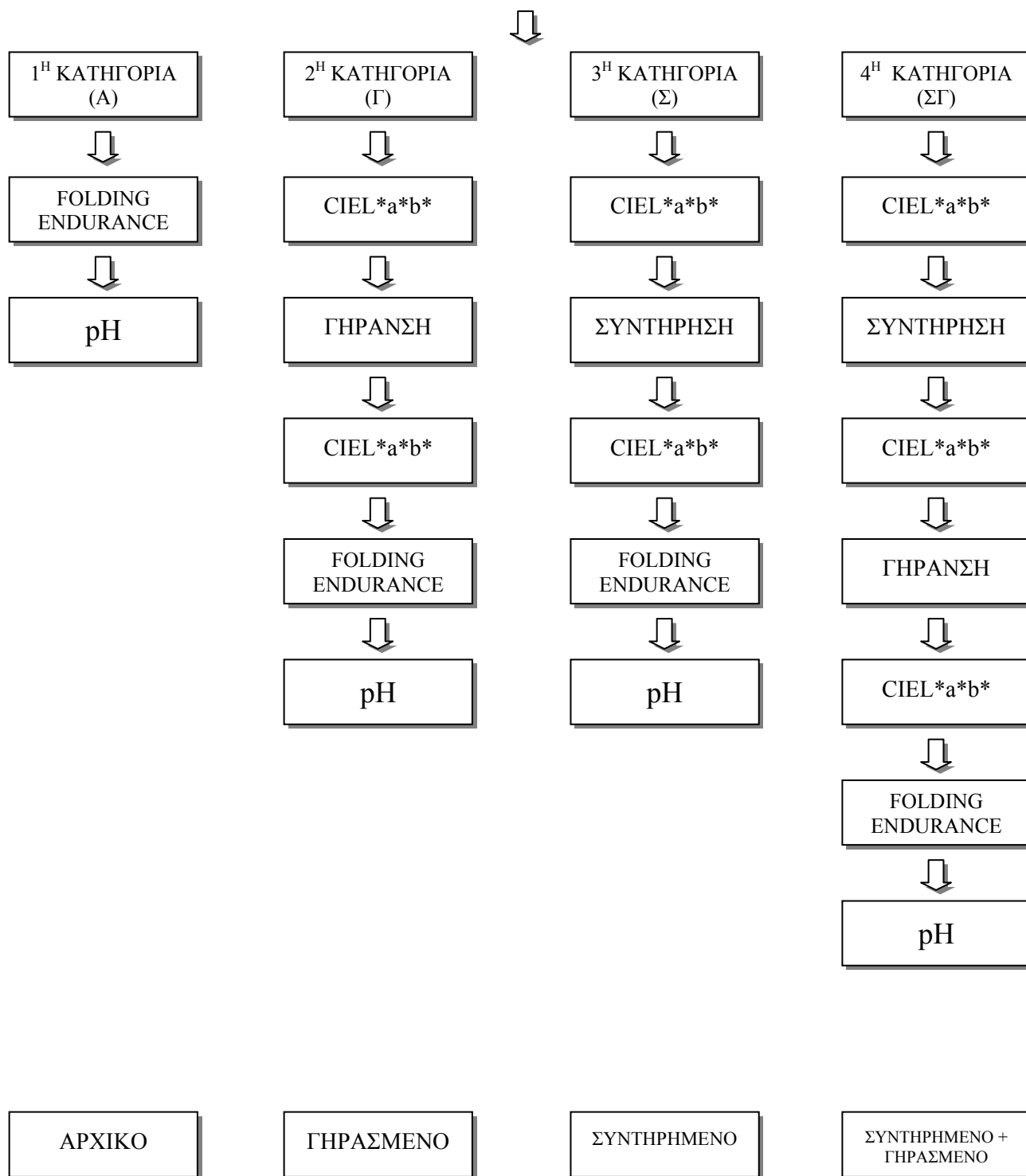
Τα παραπάνω καθόρισαν τις ανάγκες δειγματοληψίας ως εξής: 2 όμοια φύλλα χαρτί για κάθε κατηγορία x 4 κατηγορίες = 8 όμοια φύλλα χαρτιού για κάθε ένα δείγμα, για τις 3 ποιότητες χαρτιού και τις 3 χρονικές περιόδους,  $3 \times 3 \times 8 = 72$  φύλλα χαρτί. Η ομοιότητα των 8 φύλλων χαρτιού εξασφαλίστηκε με τη λήψη τους από τον ίδιο φάκελο ή σύνολο εγγράφων και διαπιστώθηκε με έλεγχο των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών του κάθε φύλλου.

Τελικά, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, από το ΚΚΕ παραλήφθηκαν μόνο 30 φύλλα χαρτιού, τα οποία αποτέλεσαν 4 δείγματα. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν άλλα 3 δείγματα από το χαρτί 3 βιβλίων. Το κάθε βιβλίο χωρίστηκε σε 4 κατηγορίες φύλλων οι οποίες υπέστησαν τις ανάλογες διεργασίες όπως και το υλικό του αρχείου του ΚΚΕ.



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής εργασιών ερευνητικού σχήματος (προσαρμογή του διαγράμματος 1)

ΤΑ 8 ΦΥΛΛΑ ΚΑΘΕ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ 4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ 2 ΦΥΛΛΩΝ Η ΚΑΘΕ ΜΙΑ.  
ΤΟ ΚΑΘΕ ΒΙΒΛΙΟ ΧΩΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ 4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΥΛΛΩΝ.



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ροής πειραμάτων

## 2.2. Δείγματα: Περιγραφή, Ταξινόμηση, Κωδικοποίηση

Από το ΚΚΕ, σε σχέση με τα δείγματα που θα παρείχε ζητήθηκαν τα εξής:

- Τρεις ποιότητες χαρτιού από 3 διαφορετικές χρονολογίες, συνολικά 9 διαφορετικοί τύποι δειγμάτων.
- Οι τρεις χρονολογίες να χωρίζουν το χρονικό διάστημα της ιστορίας του αρχείου του ΚΚΕ σε περίπου ίσα μέρη.
- Το κάθε δείγμα να αποτελείται από 8 όμοια φύλλα χαρτιού μεγέθους Α4 ή ισοδύναμης ποσότητας χαρτιού.
- Τα φύλλα να είναι κατά το δυνατόν ακέραια, ώστε να μπορεί να γίνει μέτρηση μηχανικών ιδιοτήτων.
- Τα φύλλα να είναι κενά (άγραφα) ώστε να μετρηθούν οι ιδιότητες του χαρτιού χωρίς την επίδραση άλλων παραγόντων<sup>230</sup>. Εξ άλλου, λόγω της ιστορικής αξίας του αρχείου, το ΚΚΕ μόνο τέτοια θα μπορούσε να διαθέσει.

Συνολικά δηλαδή ζητήθηκαν 72 φύλλα χαρτιού διαστάσεων Α4 που ανά 8 να είναι ίδια. Το αίτημα αυτό αντιπροσώπευε την καλύτερη δυνατή προοπτική δειγματοληψίας, με ένα δείγμα 8 φύλλων για κάθε είδος χαρτιού, χωρίς να γίνουν ενδιάμεσες μετρήσεις κατά την τεχνητή γήρανση. Το ΚΚΕ, παρ' όλη την προσπάθεια που καταβλήθηκε, δεν μπόρεσε να ανταποκριθεί στο αίτημα αυτό, βρίσκοντας μεγάλη δυσκολία στον εντοπισμό οκτάδων όμοιων φύλλων. Από το ΚΚΕ παραλήφθηκαν συνολικά 30 φύλλα χαρτιού, τα οποία από μόνα τους δεν ήταν επαρκή για τις μετρήσεις που απαιτούνται, άλλα λόγω μικρού μεγέθους και άλλα λόγω φθορών που παρουσίαζαν.

Έτσι, κρίθηκε αναγκαία η χρήση δειγμάτων χαρτιού από την ίδια περίπου χρονική περίοδο που δεν ανήκουν στο υλικό του αρχείου του ΚΚΕ, τα οποία όμως θα υποβάλλονταν στις ίδιες διαδικασίες συντήρησης που υποβάλλεται το υλικό του αρχείου στο εργαστήριο συντήρησης του ΚΚΕ. Τα δείγματα αυτά είναι σίγουρα ομοιογενή και η ποσότητά τους είναι αρκετή για όλες τις μετρήσεις που απαιτούνται. Η λύση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στις περιπτώσεις που αποτιμάται η συντήρηση πολύτιμου αρχειακού ή βιβλιακού υλικού, που πάντα υπάρχει πρόβλημα εξεύρεσης αρκετής ποσότητας χαρτιού. Τα δείγματα αυτά επιλέχθηκαν με κριτήριο την χρονική περίοδο αλλά και την σχετικά καλή τους κατάσταση. Η καλή κατάσταση των δειγμάτων θα επιτρέψει συγκρίσεις μηχανικών ιδιοτήτων, που δεν θα ήταν δυνατές αν κάθε

φύλλο είχε το δικό του τύπο φθοράς σε διαφορετικές θέσεις. Τα δείγματα αυτά κόπηκαν από τα κενά περιθώρια 3 βιβλίων που αγοράστηκαν για τον σκοπό αυτό.

**Δείγμα Α (1935):** Από το αρχείο του ΚΚΕ. 7 Δίφυλλα 28,0 cm x 20,2 cm για τα πλήρη, στη μέση κάθε δίφυλλου υπάρχουν φθορές και τρύπες από ράψιμο. Κίτρινο χαρτί μέτριου πάχους, σε σχετικά καλή κατάσταση. Υπάρχουν σκόρπιοι λεκέδες και γραμμές από παλιά τσαλακώματα που είναι τονισμένα χρωματικά.

A1: πλήρες, A2: μισό, A3: πλήρες, A4: μισό, A5: το μισό τσαλακωμένο ανεπανόρθωτα (δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση μηχανικών ιδιοτήτων) και μέρος του άλλου μισού (τα 2/3) λείπουν, A6: μισό, A7: πλήρες.

**Δείγμα Β (1940):** Από το αρχείο του ΚΚΕ. 8 μονόφυλλα 29,7 cm x 21,0 cm. Υπάρχουν εκτεταμένοι σκούροι λεκέδες και σε κάποια φύλλα τρύπες από καρφίτσες και γύρω τους λεκέδες από σκουριά που έχει μεταναστεύσει. Κίτρινο χαρτί, μέτριου πάχους σε κακή κατάσταση. Σε μερικά σημεία υπάρχουν ροζ λεκέδες, πιθανότατα από μύκητες. Όλα τα φύλλα είναι πλήρη αλλά το 1/3 του πλάτους τους περίπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω εκτεταμένης φθοράς από την οξειδωση και τις τρύπες που έχουν προκληθεί από τις καρφίτσες.

B1: Δεν έχει τρύπες, υπάρχει ένας λεκές γκρίζος και ένας ροζ, B2: Τρύπες και λεκέδες σκουριάς κατά μήκος της μεγάλης διάστασης, το 1/3 του χαρτιού μη χρησιμοποιήσιμο, B3: Δεν έχει τρύπες, μεγάλος λεκές κατά μήκος της μεγάλης διάστασης, το 1/3 του χαρτιού μη χρησιμοποιήσιμο, B4: Όμοιο με B2, B5: Όμοιο με B2, B6: Όμοιο με B2, B7: Μικρό σχίσιμο, λεκές και τρύπα σε μια γωνία, B8: Όμοιο με B2.

**Δείγμα Γ (1950):** Από το αρχείο του ΚΚΕ. 7 φύλλα 20,9 cm x 16 cm. Το χαρτί είναι πολύ λεπτό και διαφανές. Σε σχετικά καλή κατάσταση. Δυστυχώς η διαφάνειά τους δεν επιτρέπει τη λήψη μετρήσεων χρώματος και η ποσότητα του τη λήψη μετρήσεων pH.

**Δείγμα Δ (1965):** Από το αρχείο του ΚΚΕ. 8 φύλλα 29,5 cm x 20,9 cm. Πολύ λεπτό και ημιδιαφανές χαρτί με εμφανή σημάδια μελανιού που έχει περάσει από άλλα γειτονικά φύλλα κατά την πλημμύρα. Το χαρτί είναι σε κακή κατάσταση και το κάθε φύλλο έχει 2 τρύπες από διατρητικό κατά μήκος της μεγάλης διάστασης. Όλα έχουν ένα παράθυρο κομμένο στη μέση του φύλλου, διαστάσεων 5 cm x 1 cm περίπου. Γύρω από τις τρύπες του διατρητικού υπάρχουν σκούροι λεκέδες, πιθανόν από σκουριά που έχει μεταναστεύσει. Με παρατήρηση στο φως φαίνεται ότι το χαρτί κάθε φύλλου είναι ανομοιογενές, παρουσιάζοντας κάποιες περιοχές

---

<sup>230</sup> Στα σημεία που υπάρχει μελάνι, από την πίεση κατά το γράψιμο ή την εκτύπωση αλλά και λόγω χημικής επίδρασης του μελανιού η αντοχή του χαρτιού θα μεταβαλλόταν ανεξέλεγκτα, εισάγοντας ένα αστάθμητο παράγοντα. Κατά την μέτρηση του pH εξ άλλου τα αποτελέσματα θα αλλοιώνονταν από την ύπαρξη του μελανιού. Η επίδραση της συντήρησης στη κατάσταση του μελανιού δεν θα μπορούσε έτσι κι' αλλιώς να αποτιμηθεί γιατί λόγω της πλημμύρας τα μελάνια σε πολλά σημεία είχαν απλωθεί ενώ αλλού είχε αλλοιωθεί το χρώμα τους, χωρίς η αναγνωσιμότητα του κειμένου να ελαττωθεί αισθητά στις περισσότερες περιπτώσεις..

πυκνότερες από άλλες και όπως θα αναφερθεί και αργότερα το πάχος του παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ακόμα και μέσα στο ίδιο φύλλο.

**Δείγμα E (1909):** Βιβλίο 102 σελίδων με τίτλο «Αγόρευσις εν τη Βουλή» του Αθ. Ευταξίου διαστάσεων 21 cm x 14 cm. Δεν ανήκει στο αρχείο του ΚΚΕ. Χαρτί χαμηλής ποιότητας σε καλή κατάσταση. Φέρει υδατόσημο «ΧΑΡΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ».

**Δείγμα Z (1944):** Βιβλίο 131 σελίδων με τίτλο «Παράλληλα Κείμενα», Έκδοση του Συλλόγου των εξ Αιγύπτου Σπουδαστών διαστάσεων 25 cm x 17,6 cm. Δεν ανήκει στο αρχείο του ΚΚΕ. Χαρτί μέτριας ποιότητας σε καλή κατάσταση.

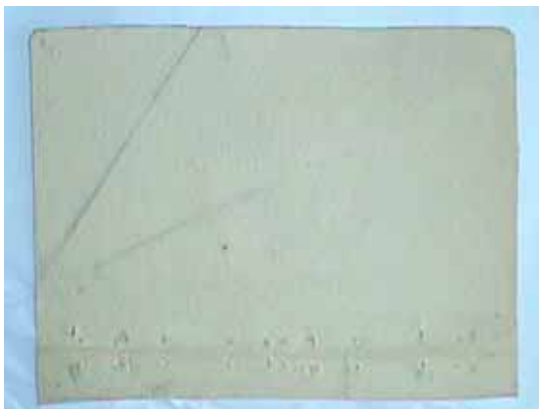
**Δείγμα H (1956):** Βιβλίο 249 σελίδων με τίτλο «Ποιητικά» του Κώστα Βάρναλη, διαστάσεων 23,3 cm x 15,2 cm. Δεν ανήκει στο αρχείο του ΚΚΕ. Χαρτί καλής ποιότητας σε καλή κατάσταση.

Τα δείγματα από την παραλαβή τους φυλάσσονται χωριστά το κάθε φύλλο σε μεγάλους φακέλους κατασκευασμένους από χαρτί πιστοποιημένο κατά ISO 9706 (permanent paper – αλκαλικού pH από καθαρή κυτταρίνη), εκτός από τα βιβλία τα οποία φυλάσσονται σε ίδιο τύπο φακέλων αλλά χωρισμένα σε 4 ομάδες φύλλων το καθένα. Διατηρούνται στο απόλυτο σκοτάδι σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Η κατηγοριοποίηση των δειγμάτων ανά διεργασία που υπέστησαν φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 5).

	1 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	2 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	3 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	4 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΡΧΙΚΑ (R: REFERENCE)	ΓΗΡΑΣΜΕΝΑ (A: AGED)	ΣΥΝΤΗΡΗΜΕΝΑ (T: TREATED)	ΣΥΝΤΗΡΗΜΕΝΑ + ΓΗΡΑΣΜΕΝΑ (TA: TREATED + AGED)
ΦΥΛΛΑ ΠΟΥ ΥΠΕΣΤΗΣΑΝ ΤΗΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	1 και 2	3 και 4	5 και 6	7 και 8
A (1935)	AR	AA	AT	ATA
B (1940)	BR	BA	BT	BTA
Γ (1950)	GR	GA	GT	GTA
Δ (1965)	DR	DA	DT	DTA
E (1909)	ER	EA	ET	ETA
Z (1944)	ZR	ZA	ZT	ZTA
H (1956)	HR	HA	HT	HTA

*Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση δειγμάτων ανά διεργασία. Οι αριθμοί των φύλλων που υπέστησαν την διεργασία αναφέρονται στα δείγματα A, B, Γ και Δ του Αρχείου του ΚΚΕ. Έτσι το δείγμα Δ7 ή ΔΤΑ7 είναι το 7<sup>ο</sup> φύλλο της σειράς Δ που έχει υποστεί συντήρηση (T) και γήρανση (A)*



Δείγμα Α7



Δείγμα Β8



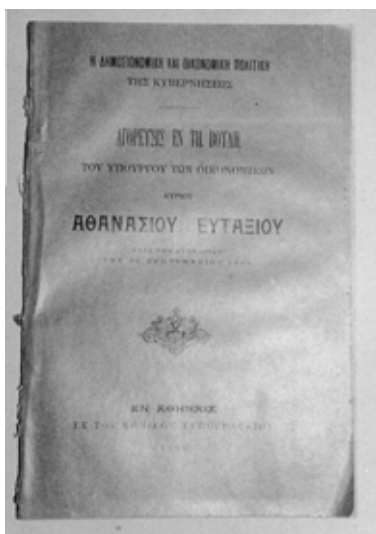
Δείγμα Δ4



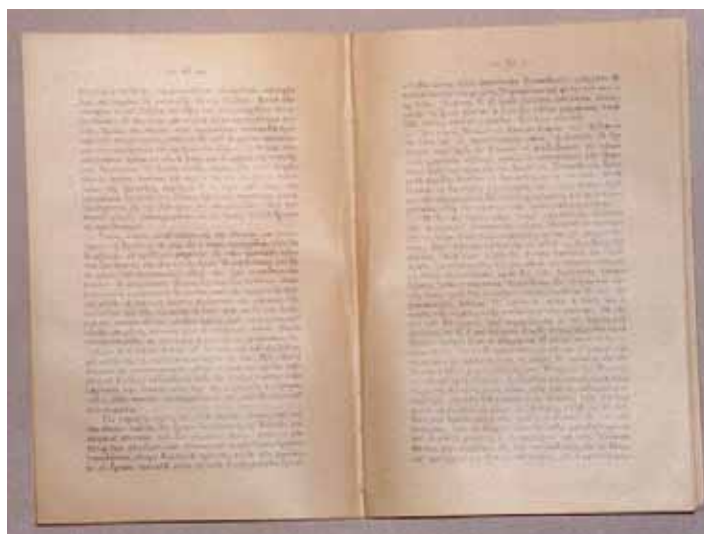
Δείγμα Δ7

*Εικόνα 22: Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις δειγμάτων Αρχείου ΚΚΕ*





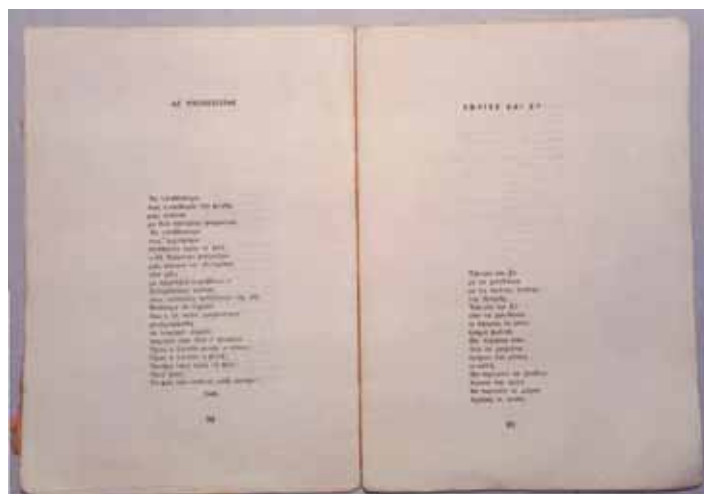
1909-Ε: ΕΞΩΦΥΛΛΟ



1909-Ε: ΦΥΛΛΟ



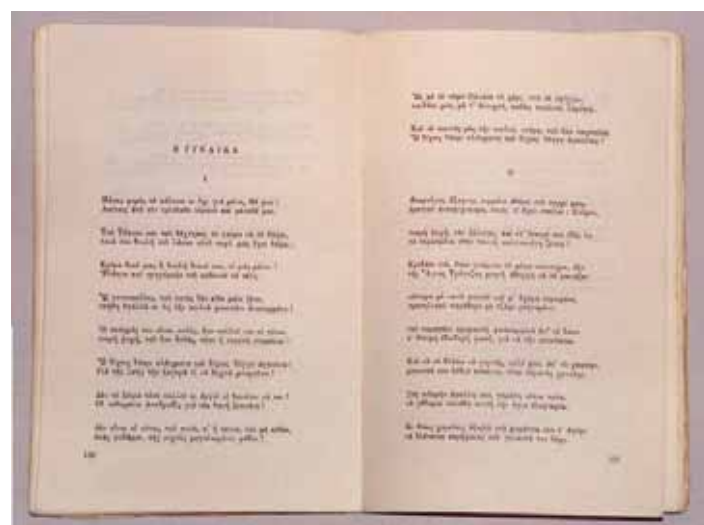
1944-Ζ: ΕΞΩΦΥΛΛΟ



1944-Ζ: ΦΥΛΛΟ



1956-Η: ΕΞΩΦΥΛΛΟ



1956-Η: ΦΥΛΛΟ

Εικόνα 23: Τα 3 βιβλία – δείγματα που αγοράστηκαν

### 2.3. Τεχνητή Γήρανση

Παρόλον ότι έγινε προσπάθεια εξεύρεσης κλιματικού θαλάμου τεχνητής γήρανσης με δυνατότητα ρύθμισης της υγρασίας και της θερμοκρασίας, ώστε να εφαρμοστεί η πιο αξιόπιστη μέθοδος της υγρής θερμικής γήρανσης ( $\theta = 80^{\circ}\text{C}$  και  $\text{RH}=65\%$ ), τελικά αυτό δεν κατέστη δυνατόν. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε ένα απλό πυριατήριο τύπου Heraeus το οποίο θερμοστατήθηκε στους  $105\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Τα δείγματα αναρτήθηκαν από σύρματα, αφήνοντας κενό τουλάχιστον ενός cm μεταξύ τους ώστε να κυκλοφορεί ο αέρας.



Εικόνα 24: Το πυριατήριο και ο τρόπος ανάρτησης των δειγμάτων

Η χρονική διάρκεια της γήρανσης ήταν το κρίσιμότερο σημείο της όλης πειραματικής διαδικασίας. Έπρεπε να είναι τόση ώστε να διαφοροποιήσει τα συντηρημένα από τα ασυντήρητα δείγματα, χωρίς όμως να υποβαθμίσει σε τέτοιο σημείο τις μηχανικές ιδιότητες των ασυντήρητων που να μη μπορούν να ληφθούν μετρήσεις. Έτσι, αποφασίστηκε σε πρώτη φάση η γήρανση να διαρκέσει 3 ημέρες (72 ώρες)<sup>231</sup>. Το διάστημα αυτό κρίθηκε σαν το μικρότερο δυνατό που θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαφοροποίηση με τις συγκεκριμένες συνθήκες γήρανσης. Αποφασίστηκε επίσης η χρήση της χρωματομετρίας σαν δείκτης της αποτελεσματικότητας της γήρανσης, γιατί είναι η μόνη μη καταστρεπτική μέθοδος που μπορεί να δώσει ενδείξεις για την κατάσταση των δειγμάτων. Μετά την περίοδο των 3 ημερών έγιναν μετρήσεις χρώματος των γηρασμένων δειγμάτων. Η σύγκριση των τιμών με αυτές προ της γήρανσης έδειξε ότι η διαφοροποίηση δεν ήταν σημαντική. Λήφθηκε τότε η απόφαση να επαναληφθεί η διαδικασία της γήρανσης στις ίδιες συνθήκες για 72 ακόμα ώρες. Οι μετρήσεις χρώματος μετά την δεύτερη φάση έδειξαν ότι ο επιθυμητός βαθμός διαφοροποίησης είχε επιτευχθεί, όπως φαίνεται και από τα υπόλοιπα πειραματικά αποτελέσματα.

<sup>231</sup> Το χρονικό διάστημα των 3 ημερών αντιστοιχεί σύμφωνα με διάφορους ερευνητές σε: 68 έτη (Robertson), 25 έτη (Barrows – που είναι και η επικρατέστερη άποψη), 25 έτη (Bansa), 28 έτη (van Royen), 18,5 και 20,5 (Wilson και Rasch) και 306 έτη (Browning και Wink), βλ. D. Robertson, *Permanence/Durability and Preservation. Research at the Barrow Laboratory*, στο: Williams, J.C., ed., *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II*, Advances in Chemistry Series, 193, 1981, σελ. 51.

## 2.4. Εξέταση Δειγμάτων ανά Μέθοδο

Κατά τη διάρκεια όλων των χειρισμών των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν ελαστικά γάντια. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο χειρισμό τους και τηρήθηκε μεγάλη τάξη και καθαριότητα, ώστε να αποφευχθεί η μόλυνσή τους από ιδρώτα και ξένες ουσίες.

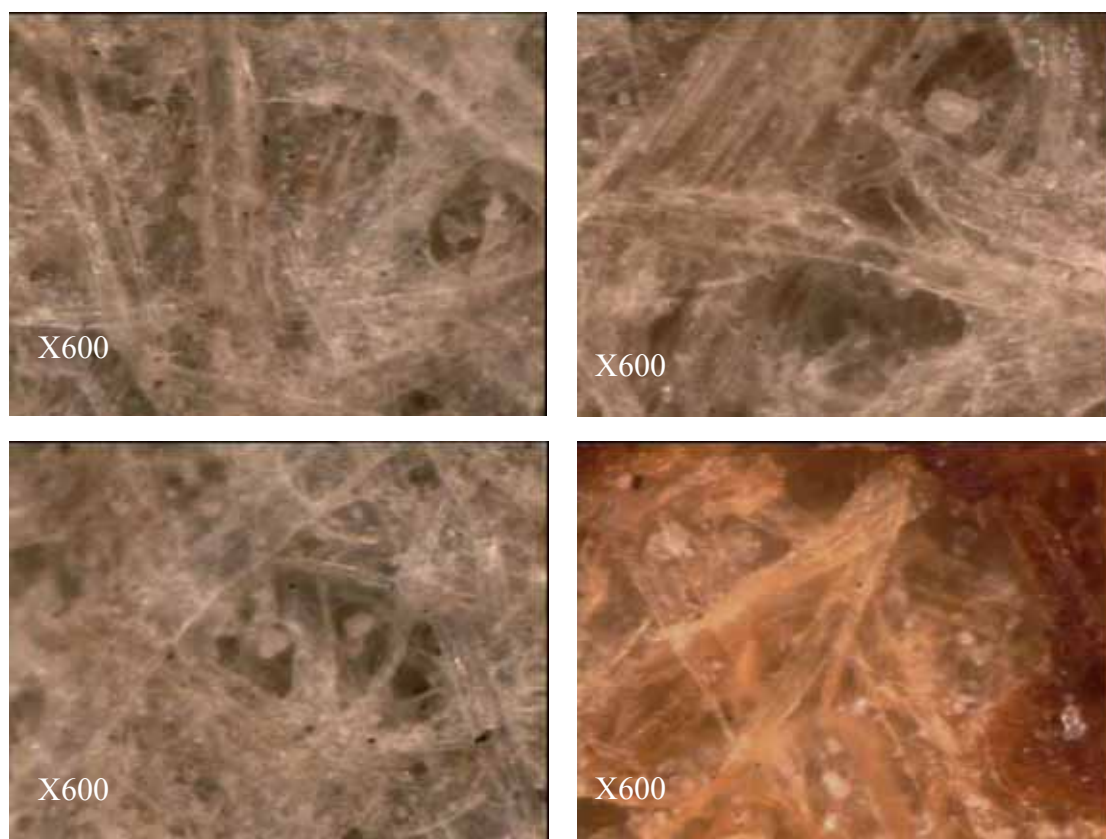
### 2.4.1. Εξέταση με το Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (F.O.M.)

#### 2.4.1.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος

Η εξέταση των διαφόρων τύπων δειγμάτων έγινε χωρίς καμία ειδική προετοιμασία και χωρίς να χρειαστεί να καταστραφεί το φύλλο του χαρτιού. Απλώς εφαρμόστηκε το μικροσκόπιο οπτικών ινών πάνω στο κάθε φύλλο χαρτιού και ακολούθησε η εξέτασή του. Χρησιμοποιήθηκαν φακοί διαφόρων μεγεθύνσεων, ανάλογα με τον τύπο της εξέτασης. Το μικροσκόπιο οπτικών ινών συνδέθηκε σε Η/Υ μέσω μιας κάρτας σύλληψης εικόνας βίντεο (video capture interface) και έτσι οι εικόνες αποθηκεύτηκαν στον υπολογιστή. Οι εικόνες αποθηκεύονται σε format **jpg** και ενώ έχουν ικανοποιητική ανάλυση και διακριτικότητα καταλαμβάνουν χώρο μόλις μερικών KB (τυπικό μέγεθος αρχείου εικόνας ήταν τα 60 KB).

Η αρχική πρόθεση της εξέτασης με το FOM ήταν να ελεγχθεί ο τρόπος απόθεσης του παράγοντα αποξίνισης. Εξετάζοντας όμως περιοχές των φύλλων χαρτιού με διάφορους τύπους φθοράς, οι εικόνες ήταν τόσο εύγλωττες και ενδιαφέρουσες που αποφασίστηκε να συμπεριληφθούν στην παρούσα μελέτη παρόλο που δεν συσχετίζονται άμεσα με την αποτίμηση της συντήρησης. Έτσι, παρουσιάζονται εικόνες που δείχνουν δύο κύριους τρόπους φθοράς του χαρτιού: Φθορά από οξείδια του σιδήρου και μηχανική φθορά από τσαλάκωμα του χαρτιού.

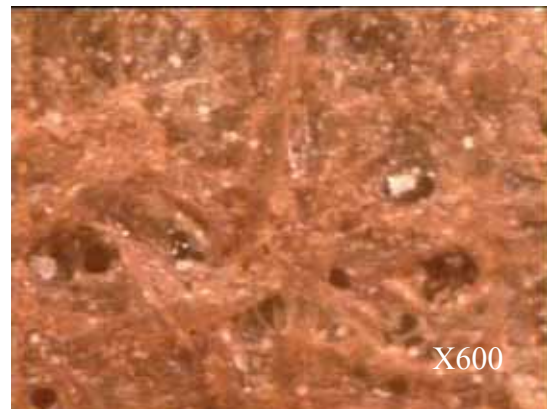
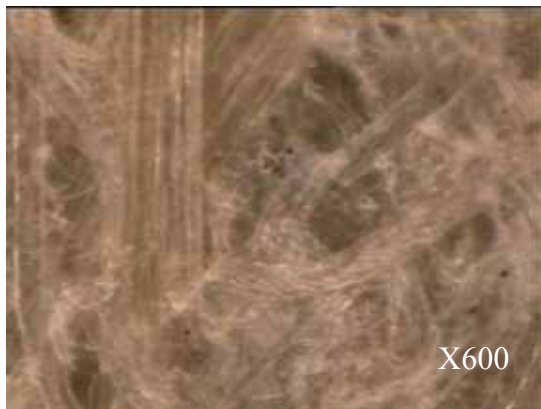
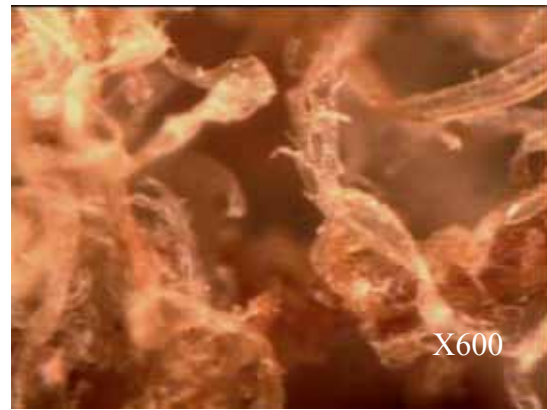
## 2.4.1.2. Αποτελέσματα – Συζήτηση



*Εικόνα 25: Ο παράγοντας αποζίνισης αποτίθεται υπό μορφή μεγάλων κρυστάλλων*

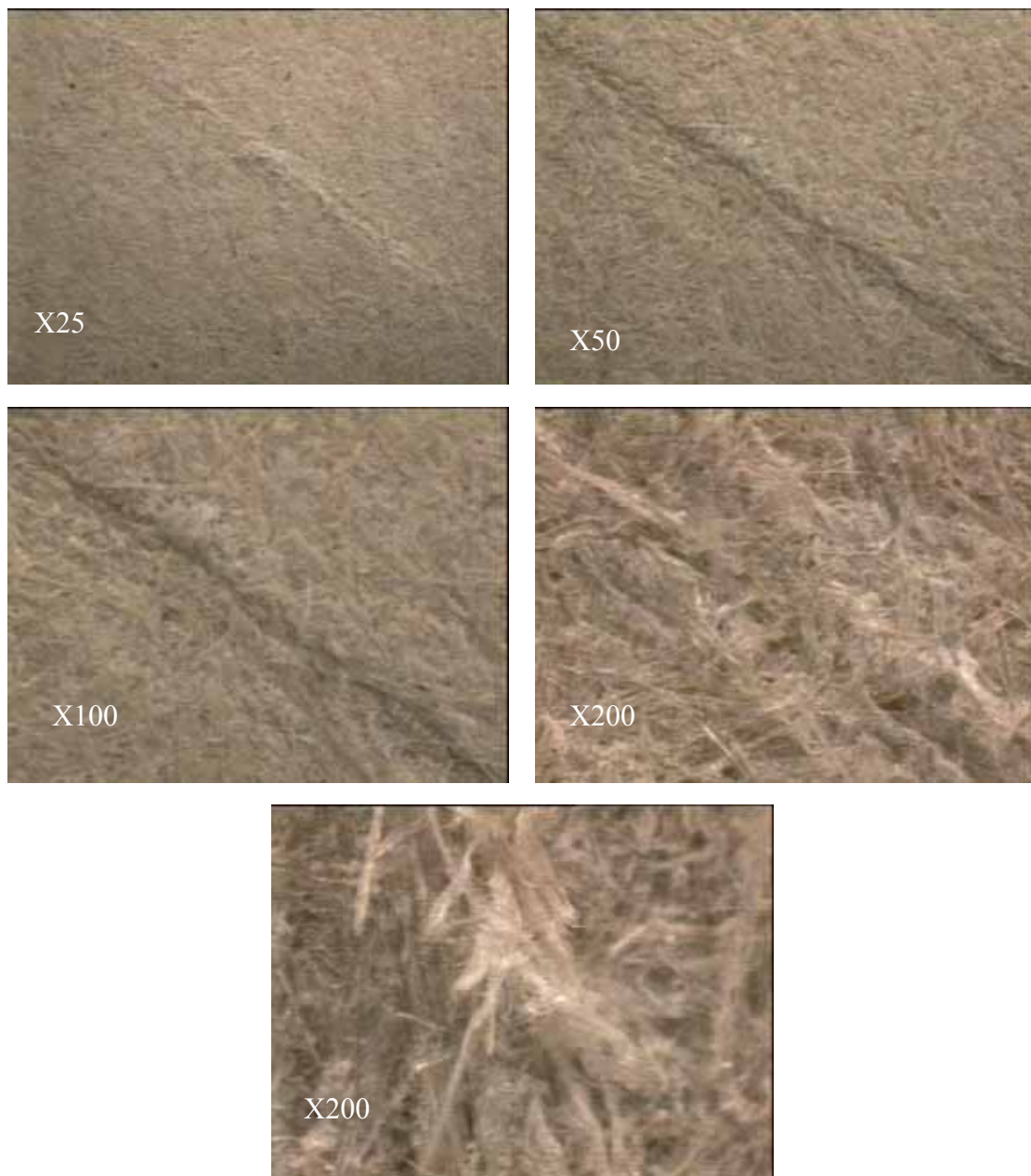


*Εικόνα 26: Απόθεση σκουριάς στις ίνες του χαρτιού*



*Εικόνα 27: Υγιείς ίνες χαρτιού*

*Εικόνα 28: Ίνες χαρτιού υποβαθμισμένες από σκουριά.*



*Εικόνα 29: Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται η βλάβη που παθαίνει το χαρτί από μια απλή αναδίπλωση*

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 25, ο παράγοντας αποξίνισης αποτίθεται ανομοιόμορφα υπό μορφή μεγάλων κρυστάλλων. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα της μεθόδου αποξίνισης και μπορεί στο μέλλον να δημιουργήσει περιοχές διαφορετικού χρωματισμού, αφού στα σημεία όπου η απόθεση είναι μεγαλύτερη το pH του χαρτιού, άρα και η αντίστασή του στη γήρανση είναι διαφορετική. Το γεγονός αυτό επηρεάζει και τις μηχανικές αντοχές, αφού έτσι με την πάροδο του χρόνου θα δημιουργηθούν περιοχές μειωμένης αντοχής. Στις επόμενες εικόνες (Εικόνα 26, Εικόνα 27 και Εικόνα 28) φαίνεται η βλαπτική επίδραση των οξειδίων του σιδήρου (που προέρχονται από οξειδωμένα σιδερένια αντικείμενα που βρέθηκαν σε επαφή με το χαρτί) στη δομή του χαρτιού σε επίπεδο ινών. Οι ίνες του χαρτιού εμφανίζονται καμένες, κοντές και

ψαθυρές. Στην Εικόνα 29 φαίνεται η βλάβη σε επίπεδο δομής που μπορεί να προκαλέσει μια απλή αναδίπλωση του χαρτιού. Η εικόνα μεγάλης μεγέθυνσης δείχνει κομμένες ίνες, αλλά και μια γενικότερη αποδιοργάνωση της δομής του χαρτιού με απώλεια της συνοχής του και ίνες να προεξέχουν από το επίπεδο.

#### 2.4.1.3. Μερικά Συμπεράσματα

Το Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (F.O.M.) αποδεικνύεται εξαιρετικό εργαλείο για την διερεύνηση της δομής του χαρτιού και την αποτίμηση της καταλληλότητας μεθόδων συντήρησης του. Χωρίς ειδική προετοιμασία και μη καταστρεπτικά, μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για τον τρόπο απόθεσης του μέσου αποξίνισης και για την κατάσταση και τον τρόπο διασύνδεσης των ινών του χαρτιού.

Στην παρούσα μελέτη, η χρήση του F.O.M. έδειξε ανομοιόμορφη απόθεση του παράγοντα αποξίνισης, γεγονός που αποτιμάται αρνητικά για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

## 2.4.2. Χρωματομετρία

### 2.4.2.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος

Έχουν ήδη αναφερθεί οι συνέπειες του αλκαλικού περιβάλλοντος (έστω και ασθενούς) σε χαρτί με λιγνίνη. Το ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον καταλύει την οξείδωση της λιγνίνης από το οξυγόνο του αέρα και προκαλεί την δημιουργία χρωμοφόρων ομάδων, οι οποίες απορροφούν φως στην περιοχή του μπλε, άρα προκαλούν κιτρίνισμα του χαρτιού και μείωση της λαμπρότητας.

Η έκπλυση του χαρτιού, από την άλλη μεριά, εκχυλίζει τα υδατοδιαλυτά προϊόντα της διάβρωσής του τα οποία έχουν κίτρινο χρώμα αλλά και διαλύει έγχρωμα συστατικά των λεκέδων, άρα προκαλεί ελάττωση του κίτρινου χρώματος και αύξηση της λαμπρότητας.

Για τους παραπάνω λόγους, σημαντικά μεγέθη θεωρούνται η λαμπρότητα  $L$  και η θέση στον άξονα κίτρινο – μπλε  $b$ , γιατί ποσοτικοποιούν τις μεταβολές αυτές. Αύξηση του  $L$  σημαίνει αύξηση της λαμπρότητας, που είναι επιθυμητό αποτέλεσμα της συντήρησης εφόσον αυξάνει την αντίθεση κειμένου – υποστρώματος και ευνοεί την αναγνωσιμότητα. Σε σημεία που υπάρχουν λεκέδες, αύξηση του  $L$  σημαίνει μερική ή ολική αφαίρεση του λεκέ. Όσον αφορά τις μεταβολές του  $b$ , αύξηση του  $b$  σημαίνει χρωματική μετατόπιση προς το κίτρινο, άρα κιτρίνισμα του χαρτιού. Γενικά, η ελάττωση του  $b$  είναι επιθυμητή κατά την συντήρηση ενώ η αύξησή του όχι. Θέμα αισθητικά αποδεκτού ανώτερου ορίου στην αύξηση της λαμπρότητας και την ελάττωση του  $b$  δεν τίθεται στην έκπλυση του χαρτιού (εννοείται χωρίς επίδραση λευκαντικών παραγόντων), γιατί οι μεταβολές ποτέ δεν είναι τόσο σημαντικές όπως σε άλλους τομείς της συντήρησης.

Στα χαρτιά από χημικό πολτό (ελεύθερα λιγνίνης), αναμένεται ότι η έκπλυση και η αποξίνιση θα προκαλέσουν αύξηση της λαμπρότητας και ελάττωση του  $b$ . Σε χαρτιά από μηχανικό πολτό (με λιγνίνη) θα δράσουν οι δύο ανταγωνιστικές διαδικασίες που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Το αλκαλικό περιβάλλον του λουτρού αποξίνισης (pH 12 – 13) αλλά και η παρουσία του αλκαλικού αποθέματος στο χαρτί θα ελαττώσουν το  $L$  και θα αυξήσουν το  $b$  (ΟΞΕΙΔΩΣΗ). Η έκπλυση όμως των υδατοδιαλυτών κίτρινων προϊόντων διάβρωσης, καθώς και των αποθέσεων λάσπης, θα αυξήσει το  $L$  και θα ελαττώσει το  $b$  (ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ). Το τελικό αποτέλεσμα δεν μπορεί να προβλεφθεί, και θα εξαρτηθεί από την περιεκτικότητα του χαρτιού σε λιγνίνη, την παρουσία ιόντων μετάλλων μετάπτωσης που επιτείνουν το κιτρίνισμα και το αν το υπό συζήτηση σημείο είναι λεκές ή το χαρτί έχει το φυσικό του χρώμα.

Η τεχνητή γήρανση, όπως έχει ήδη αναφερθεί προσομοιώνει ως ένα βαθμό την φυσική. Κατά την φυσική αλλά και την τεχνητή γήρανση η κύρια αιτία υποβάθμισης του χαρτιού είναι η όξινη υδρόλυσή του. Επίσης, διάφορες οξειδωτικές χημικές αντιδράσεις καταλύονται από το ελαφρά όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον του χαρτιού προκαλώντας υποβάθμιση των χημικών



ιδιοτήτων του χαρτιού. Από αυτές τις χημικές αντιδράσεις παράγονται χρωμοφόρες ομάδες που προκαλούν το κιτρίνισμα του χαρτιού. Έτσι, η παρακολούθηση των χρωματικών συντεταγμένων L και b δίνει ένα μέτρο της χημικής υποβάθμισης, που συμβαδίζει γενικά με την αύξηση του b και την ελάττωση του L.

Με την χρωματομετρία θα ελεγχθούν:

- A. Αν μεταβάλλεται η ταχύτητα της χρωματικής αλλοίωσης με την γήρανση λόγω της συντήρησης. Θα συγκριθούν οι τιμές του L και του b συντηρημένων και ασυντήρητων δειγμάτων μετά από γήρανση 3 και 6 ημερών. Σαν αρχική κατάσταση των συντηρημένων δειγμάτων θα θεωρηθεί η μετά την αποξίνιση. Η σύγκριση αυτή δίνει στοιχεία για την χημική υποβάθμιση των δειγμάτων και την πιθανή προστασία που παρέχει το αλκαλικό απόθεμα από αυτή, γιατί δείχνει το βαθμό της υδρόλυσης της κυτταρίνης και της οξειδωσης των προϊόντων της υδρόλυσης αλλά και των πρωτογενών συστατικών του χαρτιού – κύρια της λιγνίνης – (άρα και της δημιουργίας χρωμοφόρων ομάδων) που συμβαίνει σε αυτά.
- B. Αν υπάρχει χρωματική μεταβολή και πόση, σαν άμεσο αποτέλεσμα της αποξίνισης. Θα συγκριθούν οι τιμές του L και του b πριν και μετά την αποξίνιση, χωρίς την επίδραση της τεχνητής γήρανσης. Η σύγκριση αυτή θα δείξει αν υπάρχει αισθητική υποβάθμιση ή αναβάθμιση των δειγμάτων λόγω της έκπλυσης και της αποξίνισης.

Για την μέτρηση των χρωματικών συντεταγμένων  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  του συστήματος CIEL\*a\*b\* χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο Dr. Lange Color Pen LMG 159/160 (ver. 1.13), με ακρίβεια μέτρησης  $\pm 0,1$ .

Για να ληφθούν μετρήσεις χρώματος στα δείγματα από το αρχείο του ΚΚΕ κόπηκαν μάσκες από άλλο χαρτί οι οποίες εφαρμόστηκαν στο δείγμα πριν από την μέτρηση (Εικόνα 30). Αυτό έγινε γιατί η μεγάλη χρωματική ανομοιομορφία των δειγμάτων αυτών επέβαλε να οριστούν τα σημεία λήψης των μετρήσεων με μεγάλη ακρίβεια. Σε κάθε φύλλο λήφθηκαν 5 μετρήσεις σε δύο σημεία ( $\alpha$  και  $\beta$ ) και υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε σημείο. Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν είτε γιατί αντιπροσώπευαν το φυσικό χρώμα του χαρτιού είτε γιατί παρουσίαζαν ενδιαφέρον λόγω παρουσίας λεκέδων. Στους λεκέδες σκουριάς, οι μετρήσεις δεν έγιναν στο κέντρο που υπήρχε απόθεση σκουριάς, αλλά περιφερειακά, σε μια ζώνη βαθύτερου χρωματισμού του χαρτιού δημιουργημένη από μετανάστευση ιόντων σιδήρου.

Στα δείγματα που δεν ανήκαν στο ΚΚΕ λήφθηκαν πολλές μετρήσεις σε συγκεκριμένα φύλλα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος για το κάθε βιβλίο, αφού η διακύμανση του χρώματος ήταν μικρή. Πριν από την λήψη κάθε σειράς μετρήσεων προηγούνταν βαθμονόμηση του οργάνου.



*Εικόνα 30: Λήψη μετρήσεων με το χρωματόμετρο στα δείγματα του αρχείου του ΚΚΕ*

## 2.4.2.2. Αποτελέσματα

## 2.4.2.2.1. Δείγματα Αρχείου ΚΚΕ

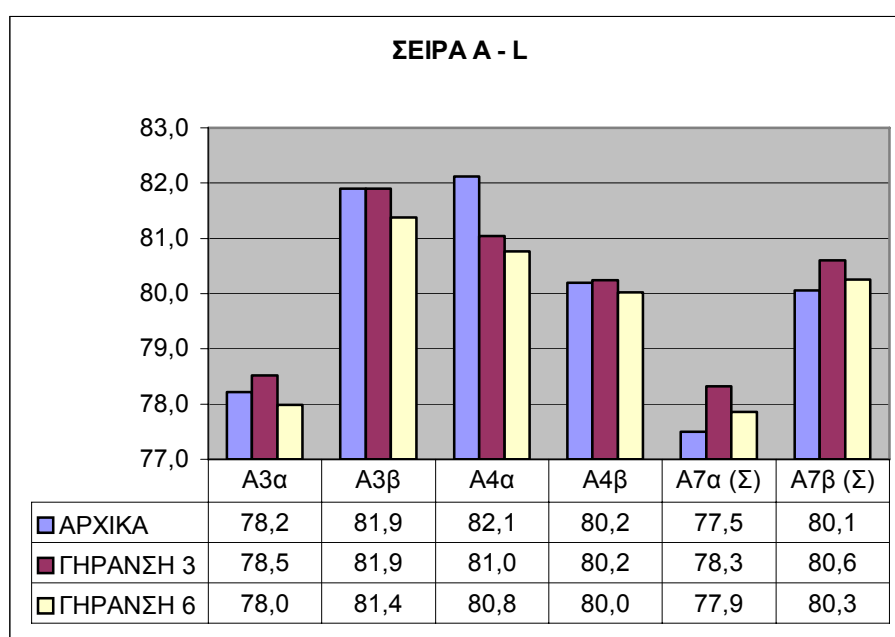
		ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ						
					3 ημέρες			6 ημέρες						3 ημέρες			6 ημέρες			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
A	3	α	78,2	3,0	22,5	78,5	3,5	23,6	78,0	3,9	25,1									
		β	81,9	2,7	20,2	81,9	3,0	21,5	81,4	3,5	23,0									
	4	α	82,1	1,9	19,2	81,0	2,4	20,2	80,8	2,8	21,7									
		β	80,2	2,7	20,4	80,2	3,1	21,6	80,0	3,6	23,1									
	5	α	81,9	2,3	19,2							81,9	2,2	20,7						
		β	Λ	79,5	2,5	18,6						80,2	2,6	20,8						
	6	α	81,1	2,3	19,2							81,4	2,5	21,1						
		β	81,6	3,1	21,1							82,0	2,9	22,6						
	7	α	Λ	77,2	3,7	22,3						77,5	3,8	23,8	78,3	3,8	23,8	77,9	4,2	24,9
		β	79,6	2,8	19,3							80,1	3,1	22,1	80,6	3,1	22,8	80,3	3,3	23,1
B	3	α	82,6	1,3	18,3	82,6	2,0	20,0	82,1	2,5	20,8									
		β	ΣΚ	75,2	1,5	16,5	74,8	1,9	18,4	74,4	2,3	19,0								
	4	α	82,7	2,4	19,6	82,2	3,1	21,2	81,3	3,7	22,3									
		β	ΣΚ	72,6	2,3	16,0	71,7	2,6	17,1	70,4	2,9	17,8								
	5	α	83,0	2,5	19,3							81,5	2,6	21,3						
		β	ΣΚ	73,2	2,2	15,9						74,3	4,2	18,8						
	6	α	85,0	1,7	17,6							84,3	1,9	18,6						
		β	ΣΚ	77,8	1,6	14,6						78,1	3,4	17,4						
	7	α	81,0	2,0	18,8							80,3	2,2	20,4	80,8	2,3	21,5	80,6	2,5	21,9
		β	ΣΚ	73,8	3,0	17,5						75,7	3,9	19,8	75,9	3,4	20,5	75,5	3,4	20,5
	8	α	82,9	2,3	18,7							81,1	2,5	20,5	81,6	2,5	21,3	81,2	2,8	21,7
		β	76,2	1,5	15,3							74,1	4,1	18,0	74,1	3,3	18,4	73,7	3,3	18,6
Δ	3	α	M	83,1	-0,1	17,8	83,2	0,6	19,9	82,8	1,0	21,2								
		β	M	76,1	1,7	17,5	76,2	2,2	19,4	75,6	2,5	20,8								
	4	α	ΤΣΑ	73,1	3,1	18,6	72,6	3,8	19,8	72,6	3,9	21,0								
		β	ΤΣΑ	78,6	0,7	19,4	77,5	1,7	21,3	76,5	2,5	23,0								
	5	α	M	78,3	1,1	19,9						77,7	1,4	21,4						
		β	M	80,4	-0,8	17,7						79,3	0,6	19,0						
	6	α		79,6	-3,6	13,3						79,7	-2,3	16,4						
		β		79,3	-2,8	15,0						78,8	-1,6	18,2						
	7	α		80,0	0,0	20,9						78,5	2,1	24,0	78,8	2,8	24,6	78,7	3,1	25,3
		β	ΣΚ	68,6	2,2	18,9						69,3	5,5	23,5	69,2	5,4	23,5	69,0	5,1	23,3
	8	α		80,3	-0,3	17,2						79,5	0,9	19,4	79,8	1,7	20,9	80,3	2,1	22,2
		β		73,5	2,2	19,5						73,4	4,5	23,2	73,8	5,1	23,9	73,5	4,9	24,3

Πίνακας 6: Αποτελέσματα χρωματομετρίας στα δείγματα του Αρχείου του ΚΚΕ (ΣΚ: Λεκές σκουριάς, Μ: Μελάνι, ΤΣΑ: Τσαλακωμένο, Λ: Λεκές)

#### 2.4.2.2.1.1. Σειρά Δειγμάτων Α.

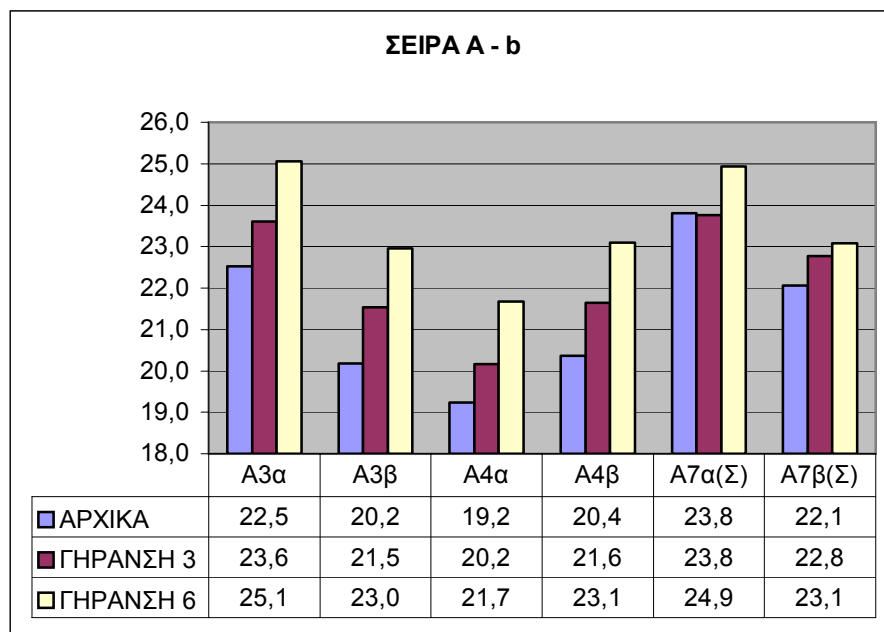
Τα δείγματα της σειράς Α περιέχουν την μικρότερη ποσότητα λιγνίνης από τα δείγματα Α, Β και Δ, στα οποία αυτή ανιχνεύτηκε. Από την άλλη μεριά, παρουσιάζουν απόθεση λάσπης από την πλημμύρα σε πολλά σημεία τους.

Α. Ακολουθούν πίνακες και γραφικές παραστάσεις του L και του b συντηρημένων και ασυντήρητων δειγμάτων μετά από γήρανση 3 και 6 ημερών. Αρχική κατάσταση των συντηρημένων δειγμάτων θεωρείται η μετά την συντήρηση.



*Γράφημα 1: Λαμπρότητα (L) πριν και μετά την γήρανση για 3 και 6 ημέρες ασυντήρητων και συντηρημένων (Σ) δειγμάτων της σειράς Α*

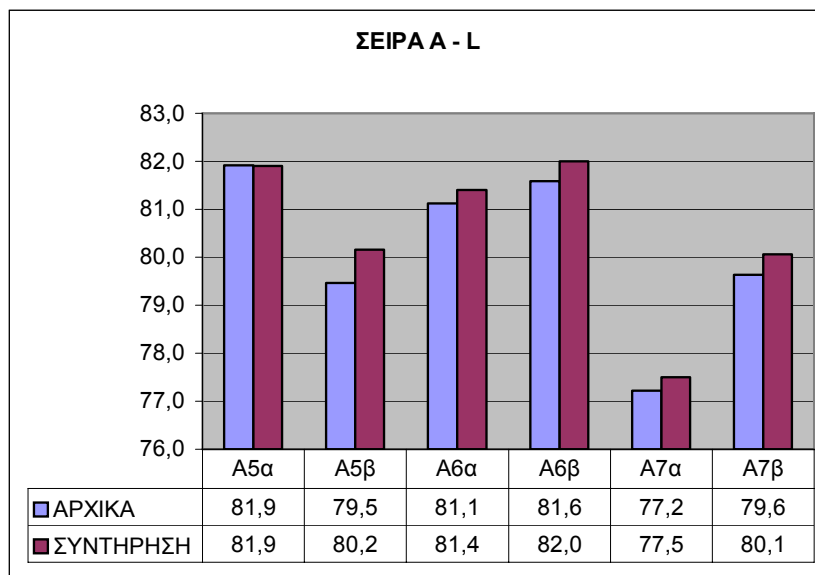
Τα ασυντήρητα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ελάττωση της λαμπρότητας από τα συντηρημένα κατά την γήρανση (Γράφημα 1). Η διαδικασία της αποξίνισης είχε θετικό αποτέλεσμα στο ρυθμό γήρανσης των συντηρημένων δειγμάτων.



*Γράφημα 2: Τιμές του b πριν και μετά την γήρανση για 3 και 6 ημέρες ασυntήρητων και συντηρημένων (Σ) δειγμάτων της σειράς Α*

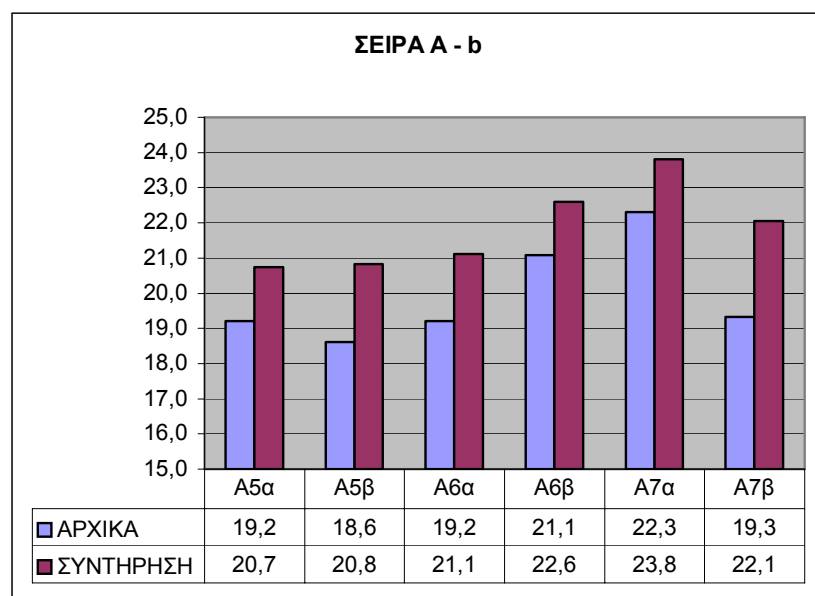
Η αύξηση του κίτρινου χρώματος είναι μεγαλύτερη στα δείγματα που δεν έχουν υποστεί συντήρηση (Γράφημα 2). Αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία έγχρωμων (κίτρινων) συστατικών που οφείλεται στην όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης και την οξείδωση των συστατικών του χαρτιού (κύρια της λιγνίνης) συμβαίνει με αργότερο ρυθμό στα συντηρημένα δείγματα. Το αλκαλικό απόθεμα παρείχε μια σχετική προστασία στο χαρτί, επιβραδύνοντας την υδρόλυση και την οξείδωσή των συστατικών του κατά την διαδικασία της γήρανσης.

Β. Οι πίνακες και οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν αφορούν το L και το b δειγμάτων πριν και μετά την συντήρηση, χωρίς την επίδραση της τεχνητής γήρανσης.



Γράφημα 3: Λαμπρότητα (L) δειγμάτων σειράς Α πριν και μετά την συντήρηση

Παρατηρείται αύξηση της λαμπρότητας με την συντήρηση σε όλα τα δείγματα. Οι διαφορές είναι πολύ μικρές και η αισθητική αναβάθμιση αδιόρατη. Παρόλον ότι τα δείγματα περιέχουν λιγνίνη, φαίνεται όσον αφορά το L να επικρατεί ο καθαρισμός από τις αποθέσεις της λάσπης (Γράφημα 3).



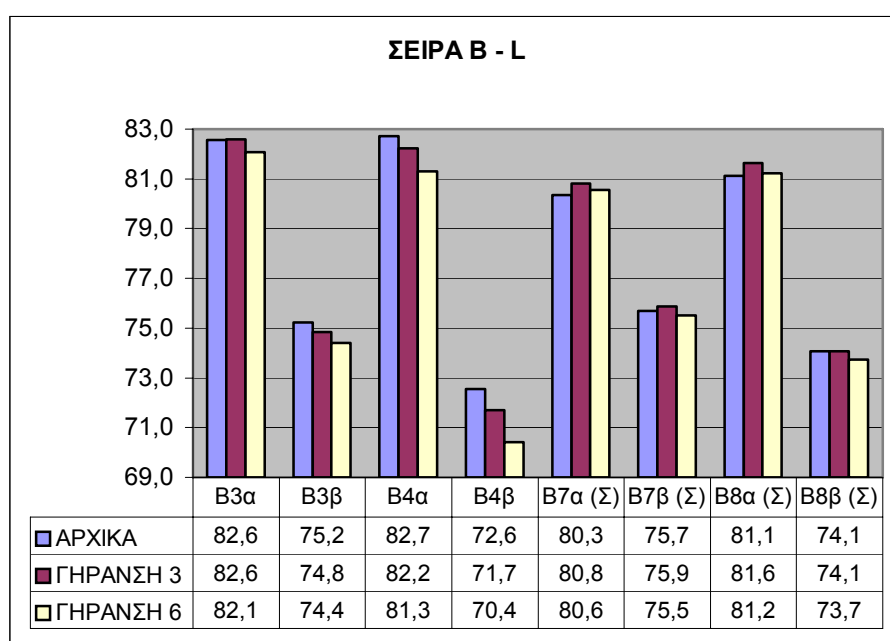
Γράφημα 4: Θέση στον άξονα μπλε – κίτρινο (b) συντηρημένων και ασυντηρητων δειγμάτων της σειράς Α

Η αποξίνιση προκάλεσε μετατόπιση προς το κίτρινο όπως αναμενόταν, αφού το δείγμα περιείχε λιγνίνη (Γράφημα 4).

#### 2.4.2.2.1.2. Σειρά Δειγμάτων Β.

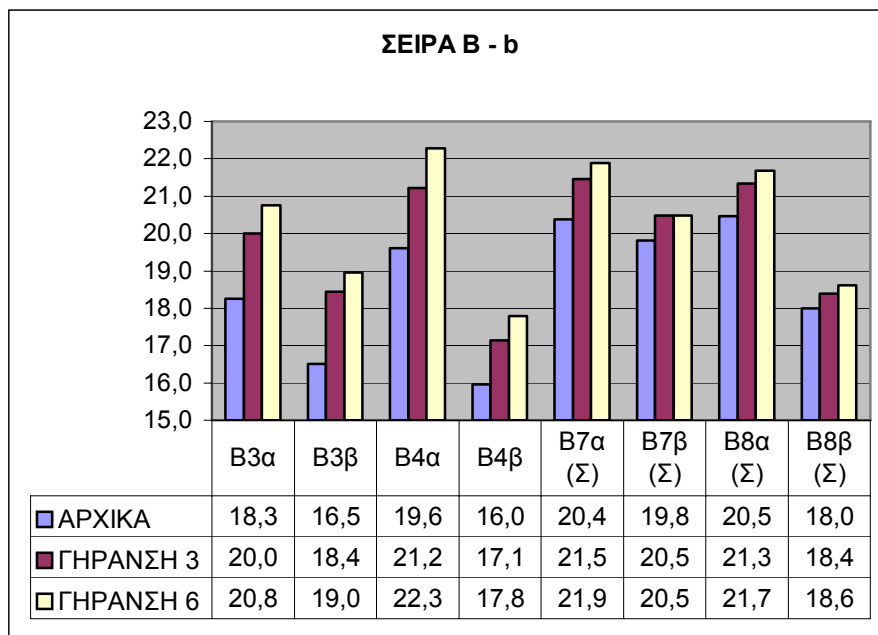
Τα δείγματα της σειράς Β περιέχουν την μεγαλύτερη ποσότητα λιγνίνης από τα δείγματα Α, Β και Δ, στα οποία αυτή ανιχνεύτηκε. Από την άλλη μεριά, παρουσιάζουν λεκέδες από σκουριά σε πολλά σημεία τους.

Α. Ακολουθούν πίνακες και γραφικές παραστάσεις του L και του b συντηρημένων και ασυντήρητων δειγμάτων μετά από γήρανση 3 και 6 ημερών. Αρχική κατάσταση των συντηρημένων δειγμάτων θεωρείται η μετά την συντήρηση.



*Γράφημα 5: Λαμπρότητα (L) πριν και μετά την γήρανση για 3 και 6 ημέρες ασυντήρητων και συντηρημένων (Σ) δειγμάτων της σειράς Β*

Τα ασυντήρητα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ελάττωση της λαμπρότητας από τα συντηρημένα κατά την γήρανση (Γράφημα 5). Η διαδικασία της αποξίνισης είχε θετικό αποτέλεσμα στο ρυθμό γήρανσης των συντηρημένων δειγμάτων.

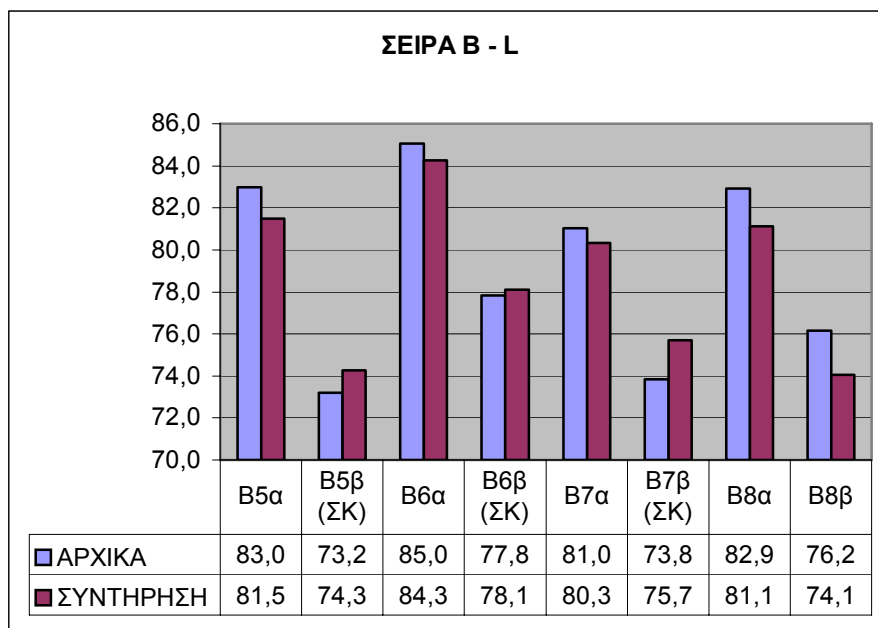


*Γράφημα 6: Τιμές του b πριν και μετά την γήρανση για 3 και 6 ημέρες ασυντήρητων και συντηρημένων (Σ) δειγμάτων της σειράς Β*

Η αύξηση του κίτρινου χρώματος είναι μεγαλύτερη στα δείγματα που δεν έχουν υποστεί συντήρηση (Γράφημα 6). Αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία έγχρωμων (κίτρινων) συστατικών που οφείλεται στην όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης και την οξείδωση των συστατικών του χαρτιού (κύρια της λιγνίνης) συμβαίνει με αργότερο ρυθμό στα συντηρημένα δείγματα. Το αλκαλικό απόθεμα παρείχε μια σχετική προστασία στο χαρτί, επιβραδύνοντας την όξινη υδρόλυση και την οξείδωσή των συστατικών του κατά την διαδικασία της γήρανσης.

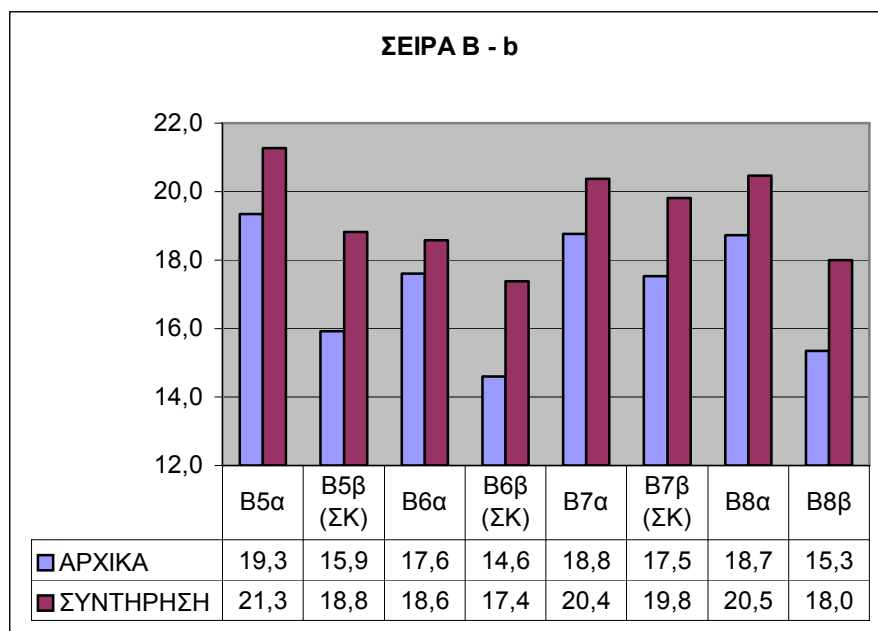


**B.** Οι πίνακες και οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν αφορούν το L και το b δειγμάτων πριν και μετά την συντήρηση, χωρίς την επίδραση της τεχνητής γήρανσης.



*Γράφημα 7: Λαμπρότητα (L) δειγμάτων σειράς Β πριν και μετά την συντήρηση*

Παρατηρείται αύξηση της λαμπρότητας με την συντήρηση στα σημεία που υπάρχουν λεκέδες από σκουριά (ΣΚ), γιατί εκπλένονται τα υδατοδιαλυτά συστατικά των λεκέδων. Στα υπόλοιπα σημεία η λαμπρότητα ελαττώνεται γιατί επικρατεί η οξείδωση (Γράφημα 7).



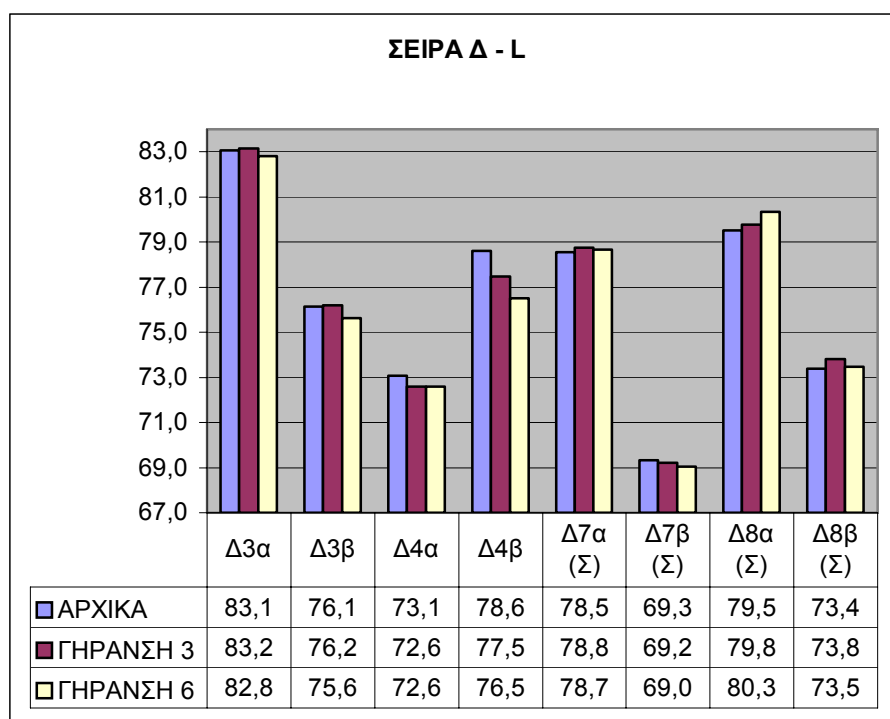
*Γράφημα 8 Θέση στον άξονα μπλε – κίτρινο (b) συντηρημένων και ασυντηρητων δειγμάτων της σειράς Β*

Η αποξίνιση προκάλεσε μετατόπιση προς το κίτρινο, όπως αναμενόταν αφού το δείγμα περιείχε λιγνίνη (Γράφημα 8).

### 2.4.2.2.1.3. Σειρά Δειγμάτων Δ.

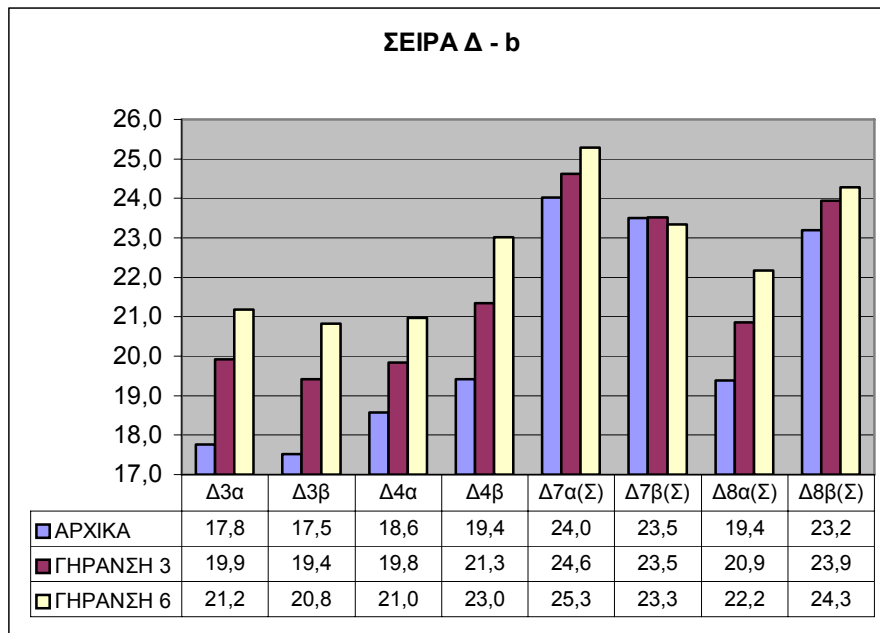
Τα δείγματα της σειράς Δ περιέχουν ενδιάμεση ποσότητα λιγνίνης από τα δείγματα Α, Β και Δ, στα οποία αυτή ανιχνεύτηκε. Παρουσιάζουν επίσης ορατά ίχνη μελανιού που έχει τρέξει από γειτονικά φύλλα χαρτιού κατά την πλημμύρα.

Α. Ακολουθούν πίνακες και γραφικές παραστάσεις του L και του b συντηρημένων και ασυντήρητων δειγμάτων μετά από γήρανση 3 και 6 ημερών. Αρχική κατάσταση των συντηρημένων δειγμάτων θεωρείται η μετά την συντήρηση.



Γράφημα 9: Λαμπρότητα (L) πριν και μετά την γήρανση για 3 και 6 ημέρες ασυντήρητων και συντηρημένων (Σ) δειγμάτων της σειράς Δ

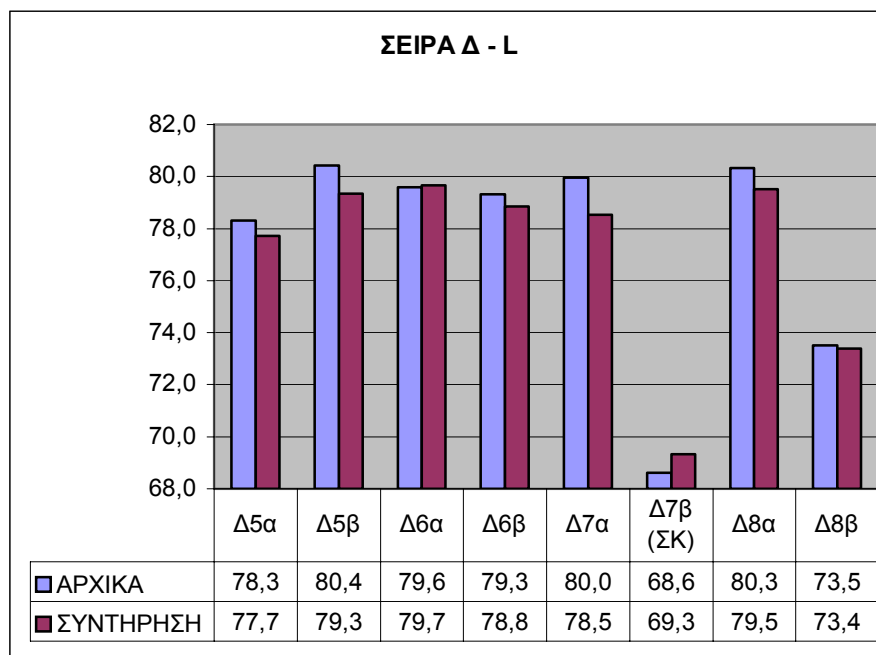
Τα ασυντήρητα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ελάττωση της λαμπρότητας από τα συντηρημένα κατά την γήρανση (Γράφημα 9). Η διαδικασία της αποξίνισης είχε θετικό αποτέλεσμα στο ρυθμό γήρανσης των συντηρημένων δειγμάτων.



*Γράφημα 10: Τιμές του b πριν και μετά την γήρανση για 3 και 6 ημέρες ασυντήρητων και συντηρημένων (Σ) δειγμάτων της σειράς Δ*

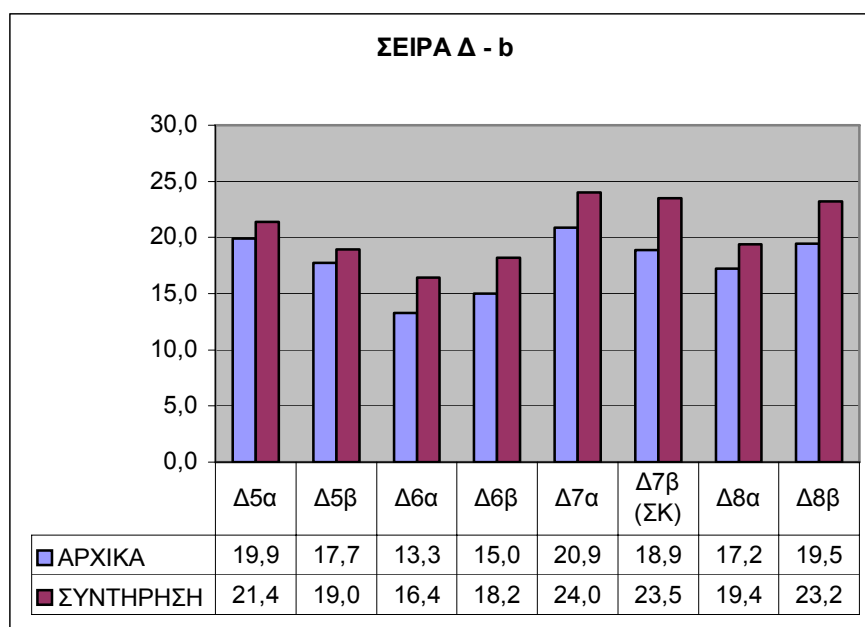
Η αύξηση του κίτρινου χρώματος είναι μεγαλύτερη στα δείγματα που δεν έχουν υποστεί συντήρηση (Γράφημα 10). Αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία έγχρωμων (κίτρινων) συστατικών που οφείλεται στην όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης και την οξείδωση των συστατικών του χαρτιού (κύρια της λιγνίνης) συμβαίνει με αργότερο ρυθμό στα συντηρημένα δείγματα. Το αλκαλικό απόθεμα παρείχε μια σχετική προστασία στο χαρτί, επιβραδύνοντας την όξινη υδρόλυση και την οξείδωσή των συστατικών του κατά την διαδικασία της γήρανσης.

B. Οι πίνακες και οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν αφορούν το L και το b δειγμάτων πριν και μετά την συντήρηση, χωρίς την επίδραση της τεχνητής γήρανσης.



Γράφημα 11: : Λαμπρότητα (L) δειγμάτων σειράς Δ πριν και μετά την συντήρηση

Εκτός από ένα σημείο που υπάρχει λεκές από σκουριά (ΣΚ) και επικρατεί ο καθαρισμός, στα άλλα σημεία παρουσιάζεται ελάττωση της λαμπρότητας γιατί επικρατεί η οξείδωση (Γράφημα 11).



Γράφημα 12: Θέση στον άξονα μπλε – κίτρινο (b) συντηρημένων και ασυντηρητων δειγμάτων της σειράς Δ

Η αποξίνιση προκάλεσε μετατόπιση προς το κίτρινο, όπως αναμενόταν αφού το δείγμα περιείχε λιγνίνη (Γράφημα 12).

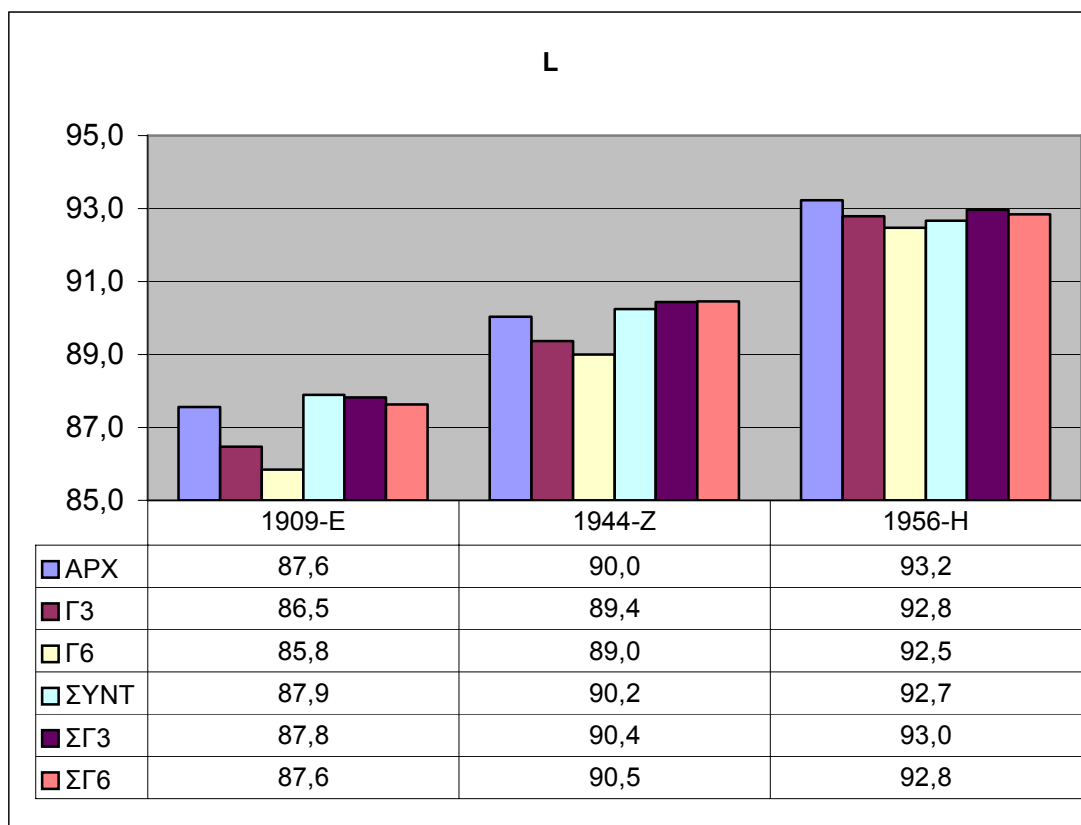
## 2.4.2.2.2. Δείγματα που δεν ανήκουν στο Αρχείο του ΚΚΕ

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
	L*	a*	b*	3 ημέρες			6 ημέρες			L*	a*	b*	3 ημέρες			6 ημέρες		
				L*	a*	b*	L*	a*	b*				L*	a*	b*	L*	a*	b*
1909-E	87,6	2,2	15,5	86,5	2,0	16,8	85,8	2,1	17,9	87,9	1,5	14,9	87,8	1,4	15,4	87,6	1,4	16,1
1944-Z	90,0	1,0	13,1	89,4	1,0	14,6	89,0	1,1	15,2	90,2	0,9	12,9	90,4	0,7	13,5	90,5	0,8	13,8
1956-H	93,2	-0,2	14,6	92,8	0,0	15,2	92,5	-0,1	15,2	92,7	0,1	13,4	93,0	-0,1	12,9	92,8	-0,2	13,0

Πίνακας 7: Αποτελέσματα χρωματομετρίας στα δείγματα που δεν ανήκουν στο Αρχείο του ΚΚΕ

Τα δείγματα των σειρών E, Z και H δεν περιέχουν λιγνίνη σε ανιχνεύσιμη ποσότητα. Το χαρτί κάθε σειράς δειγμάτων παρουσιάζει χρωματική ομοιομορφία και έλλειψη λεκέδων.

Ακολουθούν πίνακες και γραφικές παραστάσεις του L και του b συντηρημένων και ασυντηρητών δειγμάτων μετά από γήρανση 3 και 6 ημερών.

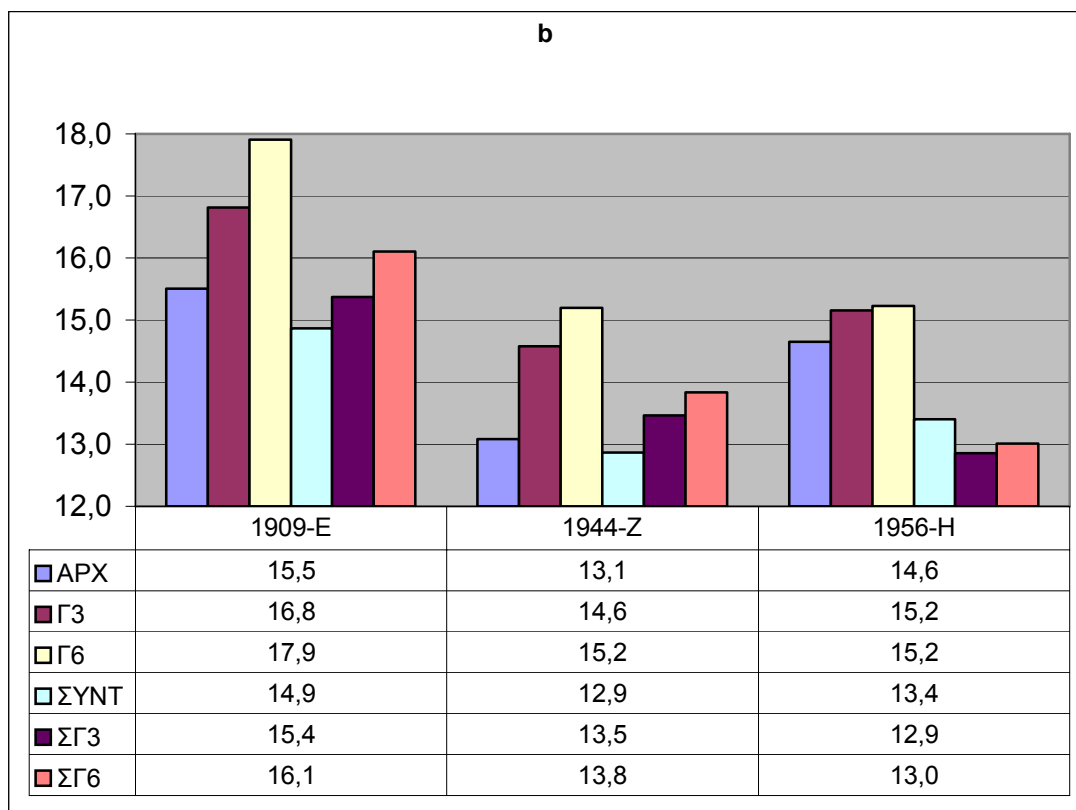


Γράφημα 13: Λαμπρότητα (L) συντηρημένων και ασυντηρητών δειγμάτων των σειρών E, Z, και H πριν την γήρανση και μετά από 3 και 6 ημέρες τεχνητή γήρανση

Η λαμπρότητα των συντηρημένων δειγμάτων ελαττώνεται κατά την γήρανση με μικρότερο ρυθμό από αυτό των μη συντηρημένων. Η διαδικασία της αποξίνισης είχε θετικό αποτέλεσμα (Γράφημα 13).

Από την σύγκριση APX και ΣΥΝΤ στο Γράφημα 13 φαίνεται ότι με την συντήρηση η λαμπρότητα αυξάνεται οριακά σε δύο δείγματα και ελαττώνεται οριακά σε ένα. Δεν

παρατηρείται η ελάττωση της λαμπρότητας που βρέθηκε στα δείγματα των σειρών Α, Β και Δ γιατί τα δείγματα Ε, Ζ και Η δεν περιέχουν λιγνίνη σε ανιχνεύσιμη ποσότητα.



Γράφημα 14: Θέση στον άξονα μπλε – κίτρινο (b) συντηρημένων και ασυντήρητων δειγμάτων των σειρών Ε, Ζ, και Η πριν την γήρανση και μετά από 3 και 6 ημέρες τεχνητή γήρανση

Ο ρυθμός της αύξησης του κίτρινου χρώματος λόγω της τεχνητής γήρανσης είναι μεγαλύτερος στα δείγματα που δεν έχουν υποστεί συντήρηση. Το αλκαλικό απόθεμα παρείχε προστασία στο χαρτί όσον αφορά στην υποβάθμιση λόγω της όξινης υδρόλυσης (Γράφημα 14).

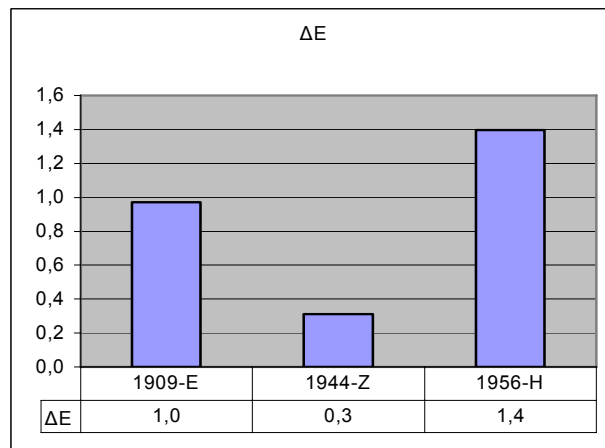
Η σύγκριση APX και ΣΥΝΤ στο Γράφημα 14 δείχνει ότι η αποξίνιση προκάλεσε ελάττωση του κίτρινου, δηλαδή καθαρισμό, όπως αναμενόταν αφού τα δείγματα είναι ελεύθερα λιγνίνης.

### 2.4.2.2.3. Συνολική Χρωματική Μεταβολή κατά την Συντήρηση

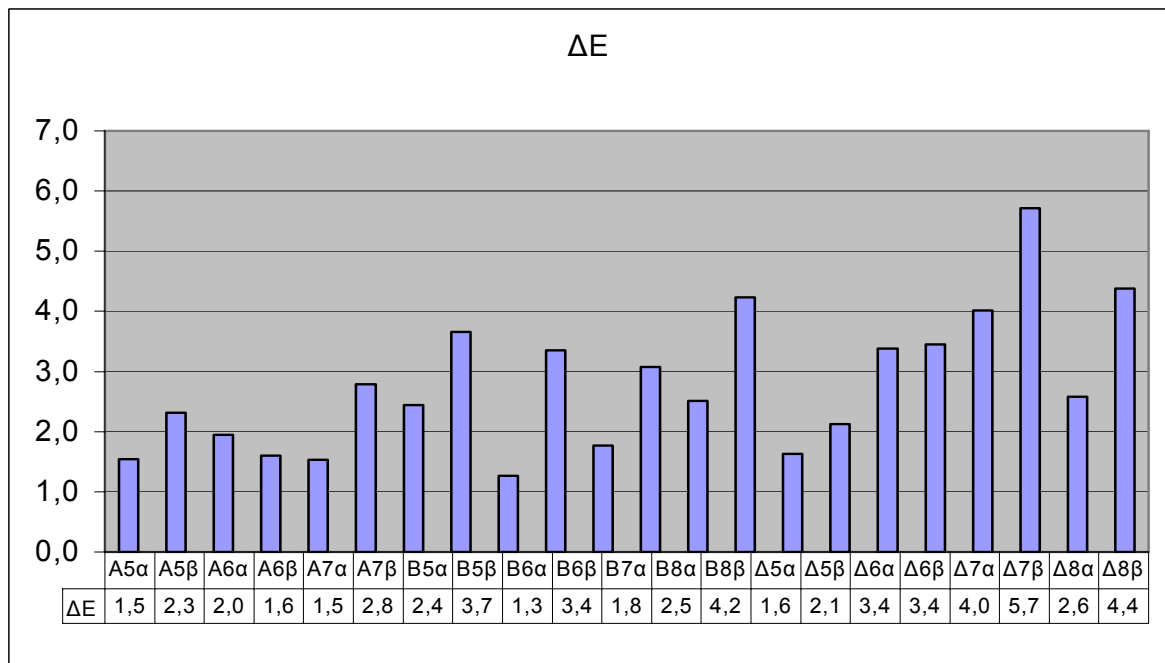
Οι πίνακες και τα γραφήματα που ακολουθούν αφορούν την συνολική χρωματική μεταβολή των δειγμάτων λόγω της αποξίνισης. Η συνολική χρωματική  $\Delta E$  μεταβολή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta E = \left( \Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2 \right)^{1/2}$$

όπου το  $\Delta L^*$ : διαφορά λαμπρότητας,  $\Delta a^*$ : διαφορά στο κόκκινο – πράσινο και  $\Delta b^*$ : διαφορά στο κίτρινο – μπλε του συντηρημένου από το ασυντήρητο δείγμα.



Γράφημα 15: Συνολική χρωματική μεταβολή λόγω της αποξίνισης των δειγμάτων των σειρών E, Z και H



Γράφημα 16: Συνολική χρωματική μεταβολή λόγω της αποξίνισης των δειγμάτων των σειρών A, B και Δ

Από το Γράφημα 15 φαίνεται ότι η συνολική χρωματική μεταβολή των δειγμάτων των σειρών E, Z και H είναι πολύ μικρή, μικρότερη του 2, που είναι η ελάχιστη μεταβολή που μπορεί να αντιληφθεί το μάτι του μέσου παρατηρητή. Δεν συμβαίνει το ίδιο για τα δείγματα των σειρών A, B και Δ (Γράφημα 16), όπου η συνολική χρωματική μεταβολή κυμαίνεται μεταξύ του 1,3 και 5,7 και σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά κατά πολύ την ελάχιστη τιμή 2 που μπορεί να γίνει αντιληπτή<sup>232</sup>. Έτσι, για τις σειρές δειγμάτων A, B και Δ η συνολική χρωματική μεταβολή πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά την αποτίμηση γιατί είναι σημαντική. Οι λόγοι της διαφοροποίησης της συμπεριφοράς των δύο σειρών δειγμάτων θα μπορούσαν να οφείλονται:

- Στην λιγνίνη, που αποτελεί συστατικό των δειγμάτων των σειρών A, B και Δ (προκαλεί ανεπιθύμητη χρωματική μεταβολή).
- Στην ύπαρξη λεκέδων (των οποίων ο καθαρισμός θεωρείται επιθυμητός) στα δείγματα των σειρών A, B και Δ.

Η τιμή της συνολικής χρωματικής μεταβολής δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για την κατεύθυνσή της, για το αν δηλαδή οδηγεί σε λευκότερο χαρτί ή όχι. Αυτό μπορεί να γίνει από την ανάλυση των επιμέρους χρωματικών συντεταγμένων.

---

<sup>232</sup> T. Schaeffer, V. Blyth-Hill, J. Druzik, *Aqueous Light Bleaching of Modern Rag Paper: An Effective Tool for Stain Removal*, The Paper Conservator, 21, 1997, σελ. 5



### 2.4.2.3. Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας υποδεικνύουν μια σαφή διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των δειγμάτων από μηχανικό πολτό από αυτά από χημικό πολτό. Η διαφοροποίηση αυτή ήταν αναμενόμενη από τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Τα δείγματα των σειρών E, Z και H που έχουν κατασκευαστεί από χημικό πολτό και δεν περιέχουν ανιχνεύσιμες ποσότητες λιγνίνης, με την έκπλυση και την αποξίνιση παρουσιάζουν αύξηση της λαμπρότητας και ελάττωση του κίτρινου χρώματος. Τα δείγματα των σειρών A, B και Δ που έχουν κατασκευαστεί από μηχανικό πολτό και περιέχουν σημαντικές ποσότητες λιγνίνης, με την έκπλυση και την αποξίνιση παρουσιάζουν ελάττωση της λαμπρότητας (εκτός από σημεία που υπάρχουν λεκέδες και επικρατεί ο καθαρισμός) και αύξηση του κίτρινου χρώματος.

Φαίνεται ότι με το αλκαλικό λουτρό της αποξίνισης, ευοξειδωτες ομάδες φαινολοπροπανίου στο πλέγμα της λιγνίνης οξειδώνονται σε έγχρωμα συστατικά (στιλβένια, κινόνες κ.λπ.), τα οποία παραμένουν συνδεδεμένα στο πλέγμα της λιγνίνης και δεν μπορούν να εκχυλιστούν από το νερό του λουτρού. Αντίθετα, τα έγχρωμα προϊόντα διάβρωσης της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών (φουράνια, υποκατεστημένες αρωματικές ενώσεις με συζυγείς διπλούς δεσμούς, αλδεΐδες και κετόνες με συζυγείς διπλούς δεσμούς) προέρχονται από υδρόλυση της αλυσίδας των πολυσακχαριτών και οξείδωση των μονομερών που προκύπτουν. Έτσι, λόγω των υδρόφιλων ομάδων που περιέχουν αλλά και της έλλειψης διασύνδεσής τους με τα δομικά στοιχεία του χαρτιού μπορούν να εκχυλιστούν από το νερό του λουτρού αποξίνισης.

Τα δείγματα που περιέχουν λιγνίνη, σαν άμεσο αποτέλεσμα της αποξίνισης, παρουσιάζουν έντονη χρωματική αλλαγή (κιτρίνισμα). Κατά την διαδικασία της γήρανσής τους όμως, τα συντηρημένα δείγματα κιτρινίζουν με μικρότερο ρυθμό από ότι τα ασυντήρητα. Τα δείγματα που δεν περιέχουν λιγνίνη παρουσιάζουν ελάττωση του κίτρινου χρώματος κατά την αποξίνιση λόγω της απομάκρυνσης των έγχρωμων προϊόντων διάβρωσης. Κατά την διαδικασία της γήρανσής τους κιτρινίζουν και αυτά με μικρότερο ρυθμό από τα ασυντήρητα.

Η αποξίνιση σε σχέση με την τεχνητή γήρανση φαίνεται να έχει παρόμοια δράση και στις δύο κατηγορίες δειγμάτων, ανεξάρτητα αν περιέχουν λιγνίνη ή όχι. Το αλκαλικό απόθεμα επιβραδύνει το κιτρίνισμα και στις δύο κατηγορίες. Το σύνολο των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την γήρανση και των δύο κατηγοριών δεν είναι ακριβώς γνωστό, αλλά από την παραπάνω παρατήρηση φαίνεται ότι το όξινο περιβάλλον τις επιταχύνει. Έτσι, τα πειραματικά αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη ότι ο κύριος μηχανισμός χημικής υποβάθμισης του χαρτιού είναι η όξινη υδρόλυση.

#### 2.4.2.4. Μερικά Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη, η χρωματομετρία έδωσε σημαντικότερες πληροφορίες για τους ρυθμούς γήρανσης των διαφόρων κατηγοριών δειγμάτων, για την αποτελεσματικότητα της αποξίνισης και για την πιθανή αισθητική αναβάθμιση ή υποβάθμιση των δειγμάτων. Έδωσε όμως και χημικές πληροφορίες που σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη διευκρίνιση των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την αποξίνιση αλλά και κατά την τεχνητή γήρανση.

Με την χρωματομετρία διαπιστώνεται ένα μειονέκτημα της μεθόδου αποξίνισης που χρησιμοποιήθηκε: Η ανεπιθύμητη χρωματική μεταβολή (κιτρίνισμα) των χαρτιών που περιέχουν λιγνίνη, η οποία δυστυχώς μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να γίνει αντιληπτή από τον παρατηρητή. Σε χαρτιά που δεν περιέχουν λιγνίνη, η μέθοδος αποξίνισης με υδροξείδιο του ασβεστίου δεν προκαλεί αισθητική υποβάθμιση.

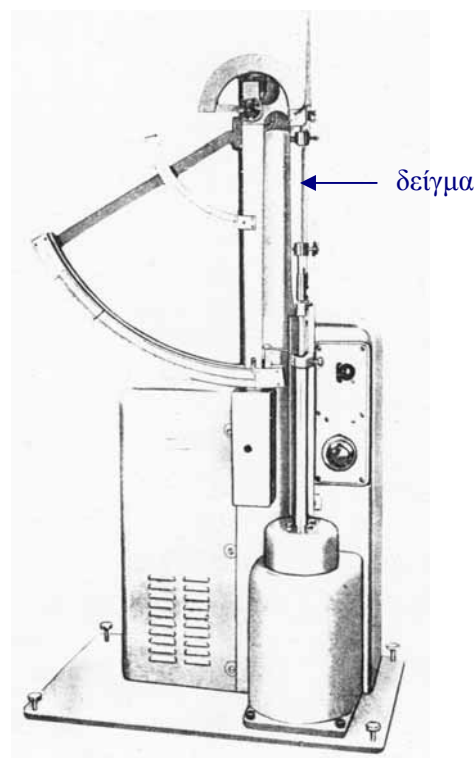
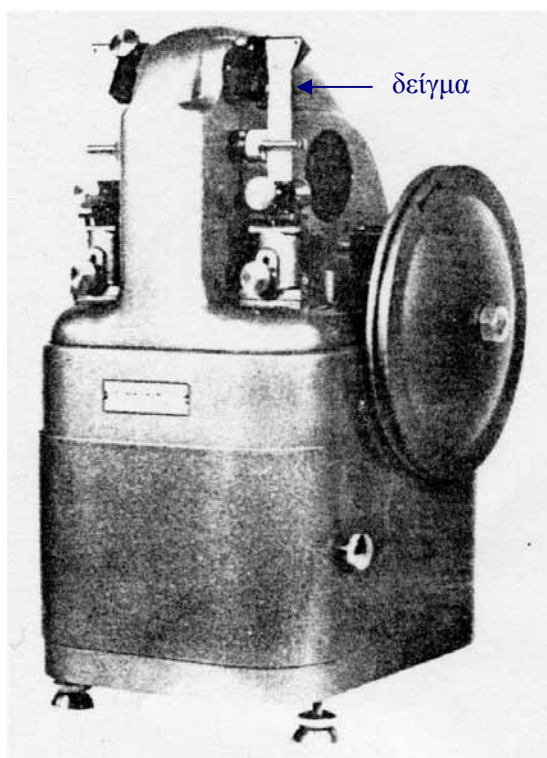
Μεταφράζοντας τις χρωματικές μεταβολές σε χημικές μεταβολές, φαίνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αποξίνισης βελτιώνει το ρυθμό γήρανσης του χαρτιού, ανεξάρτητα αν αυτό περιέχει λιγνίνη ή όχι.

### 2.4.3. Μέτρηση Αντοχής στις Αναδιπλώσεις (Folding Endurance)

#### 2.4.3.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος

Η μέτρηση της folding endurance έγινε στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου της Αθηναϊκής Χαρτοποιίας (Softex). Χρησιμοποιήθηκε όργανο τύπου Kolher – Molin της εταιρείας Lorentzen & Wettres με ταχύτητα αναδιπλώσεων 200 πλήρεις αναδιπλώσεις ανά λεπτό και γωνία αναδίπλωσης 312°. Το όργανο αυτό παρέχει τη δυνατότητα επιλογής του φορτίου που ασκείται στο δείγμα μεταξύ 200 και 950 gr με βήμα 50 gr. Οι μετρήσεις έγιναν με φορτίο 600 gr, παρ' όλον ότι μικρότερο φορτίο θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα, διότι στη συγκεκριμένη συσκευή τα βάρη ήταν κολλημένα στον άξονά τους και δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής τους.

Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν λωρίδα χαρτιού 10 cm x 1,5 cm και η απόσταση των δύο σφιγκτήρων που συγκρατούσαν την λωρίδα 6,3 cm. Τα δείγματα αφέθηκαν να προσαρμοστούν στις συνθήκες του χώρου μερικές ώρες πριν από την λήψη των μετρήσεων. Όλες οι μετρήσεις έγιναν στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.



*Εικόνα 31: Συσκευές μέτρησης folding endurance και tensile strength*

Για τα δείγματα των σειρών Γ και Δ, λόγω πολύ μικρής αντοχής του χαρτιού δεν κατέστη δυνατή η λήψη μετρήσεων folding endurance, γιατί το δείγμα έσπαγε με την τοποθέτησή του στη συσκευή κάτω από την τάση που του ασκούσαν. Έτσι, λήφθηκαν μετρήσεις άλλης

μηχανικής αντοχής, της μέγιστης εφελκυστικής δύναμης που οδηγούσε στη θραύση του δείγματος (tensile strength). Χρησιμοποιήθηκε όργανο της εταιρείας Lorentzen & Wettres που λειτουργεί με σταθερό ρυθμό αύξησης του φορτίου στη κλίμακα από 0 – 3 Kgr. Το δείγμα είχε διαστάσεις 8 cm x 1,5 cm και η απόσταση των δύο σφικτήρων που συγκρατούσαν την λωρίδα ήταν 5,4 cm.

Για την κάθε σειρά δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η κατεύθυνση του χαρτιού που μπορούσε να δώσει τη μεγαλύτερη ποσότητα λωρίδων<sup>233</sup>. Γι' αυτό κάποια δείγματα μετρήθηκαν κατά την κατεύθυνση των «νερών» (MD) ενώ κάποια άλλα κάθετα στα «νερά» του χαρτιού (CD)<sup>234</sup>. Έγινε προσπάθεια να ληφθούν 10 μετρήσεις για κάθε κατηγορία δείγματος, αλλά αυτό δεν κατέστη δυνατόν σε όλες τις περιπτώσεις γιατί κάποιες φορές το δείγμα έσπαγε μέσα στους σφικτήρες και η μέτρηση έπρεπε να απορριφθεί. Η σημαντική διασπορά των τιμών οφείλεται κυρίως στην μεγάλη διακύμανση του πάχους των δειγμάτων ακόμα και μέσα στο ίδιο φύλλο χαρτιού, αλλά και στην ανομοιογένειά τους. Στο ISO 5626, στο οποίο περιγράφεται η μέθοδος, αναφέρεται ότι για μικρό αριθμό αναδιπλώσεων η επαναληψιμότητα της μεθόδου είναι μεγαλύτερη από 8%.

---

<sup>233</sup> Η κατάσταση πολλών δειγμάτων ήταν τέτοια που επέβαλε την απόρριψη μεγάλου μέρους του κάθε φύλλου. Περιοχές με τσαλακώματα, τρύπες και λεκέδες δεν συμπεριελήφθησαν στις λωρίδες των δειγμάτων.

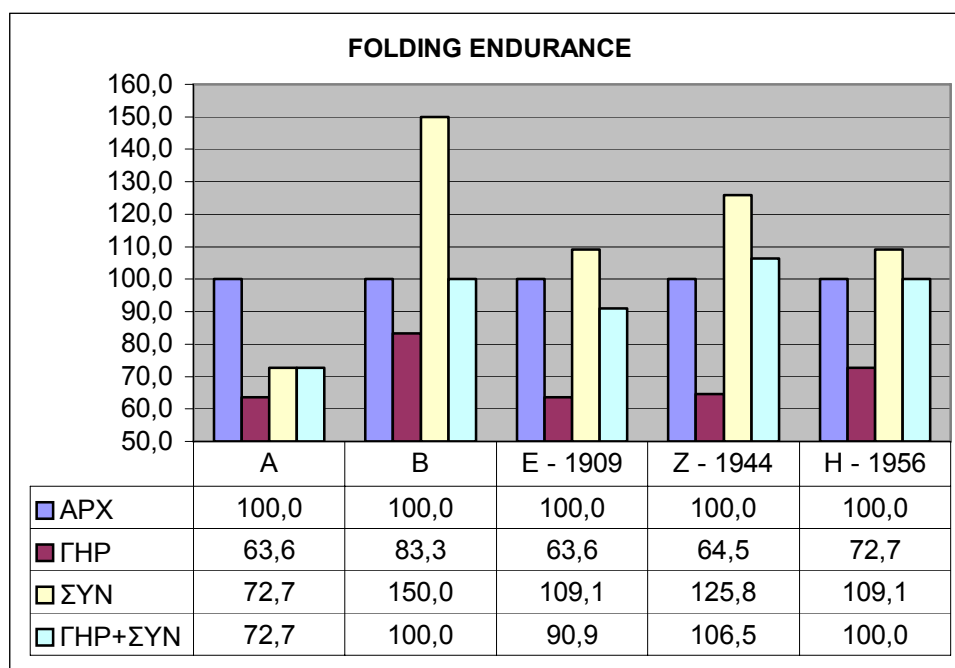
<sup>234</sup> MD: machine direction, κατεύθυνση των «νερών» του χαρτιού, CD: cross direction, κάθετα στα «νερά». Το βιομηχανικό χαρτί παρουσιάζει μικρή ανισοτροπία στις δύο του διαστάσεις, γιατί οι ίνες παρουσιάζουν μεγαλύτερο παραλληλισμό προς την κατεύθυνση της κίνησης του κόσκινου της μηχανής παραγωγής. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε και οι 4 κατηγορίες ενός δείγματος να μετρηθούν στην ίδια κατεύθυνση του χαρτιού.

## 2.4.3.2. Αποτελέσματα – Συζήτηση

	ΑΡΧΙΚΑ	ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΜΕΘΟΔΟΣ
A	1,10	0,70	0,80	0,80	FE
B	1,20	1,00	1,80	1,20	FE
Γ	0,91	0,57	0,57	0,74	TS
Δ	1,14	1,29	1,10	0,96	TS
E - 1909	1,10	0,70	1,20	1,00	FE
Z - 1944	3,10	2,00	3,90	3,30	FE
H - 1956	3,30	2,40	3,60	3,50	FE

Πίνακας 8: Αποτελέσματα μέτρησης μηχανικών αντοχών

Οι μονάδες για τη FE είναι αριθμός πλήρων αναδιπλώσεων (τα δεκαδικά ψηφία οφείλονται στο ότι έχει ληφθεί μέσος όρος 10 μετρήσεων), ενώ για την TS είναι Kp (Πίνακας 8). Τα αποτελέσματα της TS δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση γιατί δεν εκφράζουν την χρηστική αντοχή του χαρτιού.



Γράφημα 17. Αντοχή στις αναδιπλώσεις των σειρών δειγμάτων A, B, E, Z και H. Οι τιμές (αριθμός πλήρων αναδιπλώσεων) έχουν κανονικοποιηθεί (αρχική = 100) ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα

Η απώλεια της αντοχής με την γήρανση είναι μεγαλύτερη για τα δείγματα που δεν έχουν υποστεί συντήρηση. Τέσσερα από τα πέντε δείγματα παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή σαν άμεσο αποτέλεσμα της συντήρησης, λόγω της αναδιάταξης των μακρομορίων της κυτταρίνης και της επαναδημιουργίας δεσμών υδρογόνου.

#### 2.4.3.3. Μερικά Συμπεράσματα

Η μέθοδος αποξίνισης με υδροξείδιο του ασβεστίου βελτίωσε σαφώς την συμπεριφορά των δειγμάτων κατά την γήρανση όσον αφορά στις μηχανικές αντοχές. Η απώλεια της αντοχής στις αναδιπλώσεις των συντηρημένων δειγμάτων είναι μικρότερη από των ασυντήρητων. Τέσσερα από τα πέντε δείγματα παρουσίασαν αυξημένη αντοχή μετά την συντήρηση και τελική αντοχή μετά την συντήρηση και γήρανση πολύ κοντά στην αρχική.

Η ευαισθησία της συγκεκριμένης μεθόδου μέτρησης μηχανικών αντοχών σε σχέση με την τεχνητή γήρανση ήταν επαρκέστατη. Η συμπεριφορά των δειγμάτων παρουσίασε ικανοποιητική διαφοροποίηση ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Μειονέκτημα της μεθόδου μπορεί να θεωρηθεί η μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων, η οποία μπορεί όμως να μειωθεί με λήψη πολλών μετρήσεων.

#### 2.4.4. Μέτρηση pH του εν Ψυχρώ Υδατικού Εκχυλίσματος.

##### 2.4.4.1. Περιγραφή Μεθόδου – Εκτέλεση Πειράματος

Οι λωρίδες που κόπηκαν για τις ανάγκες των μετρήσεων μηχανικών ιδιοτήτων μετά τη θραύση τους κατά τις μετρήσεις αυτές επαναχρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση του pH. Για κάθε κατηγορία δείγματος κόπηκε ποσότητα χαρτιού 2 gr (επί ξηρού βάρους χαρτιού) σε μικρά κομμάτια περίπου 5 x 5 mm. Η ποσότητα αυτή ζυγίστηκε (με ακρίβεια 0,01 gr) μετά την ξήρανση μέχρι σταθερού βάρους σε πυριατήριο που είχε ρυθμιστεί στην θερμοκρασία των 105°C.

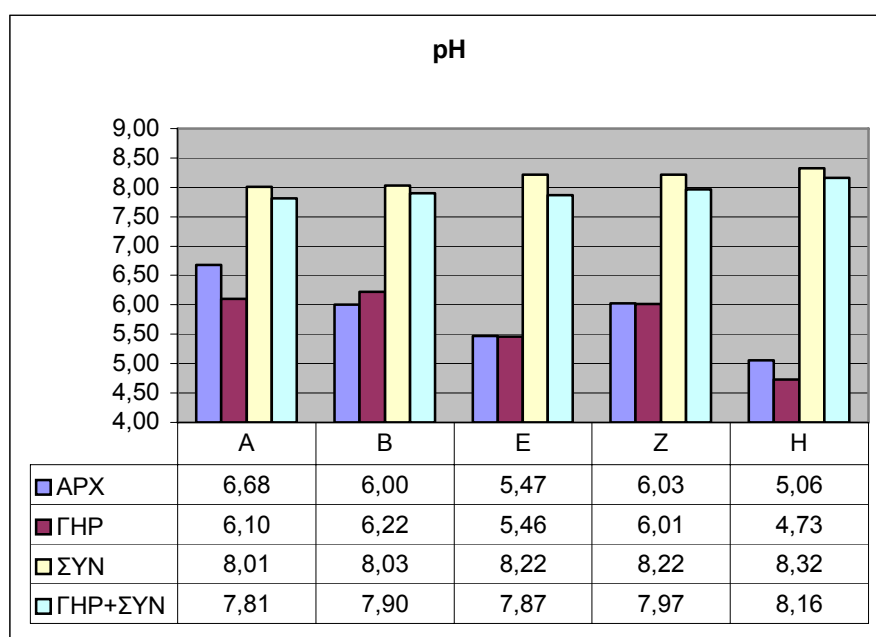
Τα 2 γραμμάρια χαρτιού αφέθηκαν για εκχύλιση για 1 ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σε 100 ml δις απεσταγμένου νερού (αναλυτικής καθαρότητας – MERCK). Κατόπιν, το εκχύλισμα μεταφέρθηκε σε ποτήρι ζέσης και μετρήθηκε το pH του. Έγιναν όσες μετρήσεις ήταν απαραίτητες έως ότου ληφθεί η ίδια τιμή σε 3 συνεχόμενες μετρήσεις. Η θερμοκρασία του εκχυλίσματος σε όλες τις περιπτώσεις ήταν μεταξύ 29 και 31°C. Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου με πρότυπα διαλύματα με pH 4 και 7. Το ηλεκτρόδιο του οργάνου πριν από κάθε μέτρηση και όλα τα σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν ξεπλύθηκαν σχολαστικά πρώτα με απιονισμένο και μετά με δις απεσταγμένο νερό.

Χρησιμοποιήθηκε όργανο μέτρησης pH της Mettler Toledo τύπου MPC 227 pH/Conductivity Meter με ακρίβεια  $\pm 0,01$  και διακριτικότητα 0,01.

## 2.4.4.2. Αποτελέσματα – Συζήτηση

	ΑΡΧΙΚΑ	ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
A	6,68	6,10	8,01	7,81
B	6,00	6,22	8,03	7,90
E	5,47	5,46	8,22	7,87
Z	6,03	6,01	8,22	7,97
H	5,06	4,73	8,32	8,16

Πίνακας 9: Αποτελέσματα μέτρησης pH



Γράφημα 18: Τιμές pH των σειρών δειγμάτων A, B, E, Z και H

Η αποξίνιση αυξάνει το pH των δειγμάτων από 1,5 έως 3,5 περίπου μονάδες. Η τεχνητή γήρανση προκαλεί μικρή ελάττωση του pH, αφήνοντας το στην αλκαλική περιοχή.

## 2.4.4.3. Μερικά Συμπεράσματα

Η μέτρηση του pH δείχνει ότι η απόθεση του παράγοντα αποξίνισης είναι ικανοποιητική. Οι τιμές του pH που μετρήθηκαν μετά την αποξίνιση δεν ξεπερνούν το 8,5, τιμή που θεωρείται το κατώφλι κινδύνου για την πρόκληση της αυτοοξειδωσης της κυτταρίνης σε αλκαλικό περιβάλλον. Η γήρανση προκάλεσε μικρή πτώση του pH, αφήνοντάς το όμως στην αλκαλική περιοχή.



#### 2.4.5. Μέτρηση Πάχους Χαρτιού και Ανίχνευση Λιγνίνης – Άλλες Παρατηρήσεις.

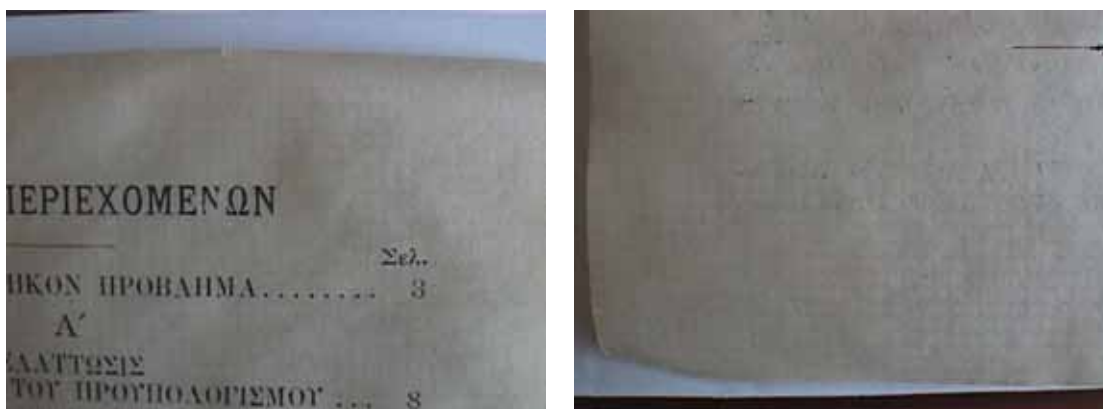
Η μέτρηση του πάχους του χαρτιού έγινε στην Αθηναϊκή Χαρτοποιία. Χρησιμοποιήθηκε παχύμετρο με ακρίβεια μέτρησης 1  $\mu\text{m}$ . Λήφθηκαν μετρήσεις σε τυχαία σημεία και σημειώθηκε η ελάχιστη και μέγιστη τιμή.

Η ανίχνευση της λιγνίνης έγινε με σημειακή σταγονοδοκίμασία. Χρησιμοποιήθηκε φλορογλυκίνη (phloroglucinol), η οποία παρουσία λιγνίνης δίνει έντονο κόκκινο χρώμα. Από την ένταση του χρωματισμού μπορούν να εξαχθούν ημιποσοτικά συμπεράσματα. Η εύρεση λιγνίνης σημαίνει ότι το χαρτί έχει παραχθεί από μηχανικό πολτό (MP: mechanical pulp). Τα χαρτιά στα οποία δεν ανιχνεύτηκε λιγνίνη έχουν παραχθεί από χημικό πολτό (CP: chemical pulp).

ΔΕΙΓΜΑ	ΛΙΓΝΙΝΗ	ΠΑΧΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ (σε $\mu\text{m}$ )	ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
A	+	140 – 149	CD
B	+++	110 – 136	CD
Γ	-	50 – 65	MD
Δ	++	60 – 95	CD
E	-	80 - 85	MD
Z	-	95 – 105	CD
H	-	125 - 140	CD

*Πίνακας 10: Πάχος χαρτιού, αποτελέσματα ανίχνευσης λιγνίνης και κατεύθυνση ελέγχου μηχανικών ιδιοτήτων*

Κατά τον οπτικό έλεγχο των συντηρημένων φύλλων χαρτιού παρατηρήθηκε μια ανεπιθύμητη παρενέργεια του πλαστικού πλέγματος που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη των υγρών φύλλων χαρτιού κατά τη διάρκεια της έκπλυσης. Το ίχνος του πλέγματος βρέθηκε αποτυπωμένο σε αρκετά φύλλα χαρτιού. Το γεγονός αυτό συνιστά μια αισθητική υποβάθμιση που θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί αν χρησιμοποιούνταν το πολύ καταλληλότερο Holytex για το ίδιο σκοπό.



*Εικόνα 32: Ίχνη από το πλέγμα που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη των υγρών φύλλων χαρτιού κατά την έκπλυση και την αποξίνιση*

## 2.5. Στατιστική Επεξεργασία

Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (PCA: Principal Component Analysis) από τις μεθόδους πολυπαραμετρικής ανάλυσης για να ελεγχθεί κατά πόσον οι μεταβλητές που μετρήθηκαν στην παρούσα μελέτη συσχετίζονται μεταξύ τους.

Η PCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στα δείγματα που δεν ανήκουν στο αρχείο του ΚΚΕ (δείγματα E, Z, H). Στα δείγματα αυτά, υπάρχει μια σειρά μετρήσεων των μεταβλητών L, b, pH και FE για κάθε δείγμα. Στα δείγματα που ανήκουν στο αρχείο του ΚΚΕ, οι μεταβλητές pH και FE χαρακτηρίζουν κάθε φύλλο αλλά για τις χρωματικές μεταβλητές L και b δεν υπάρχουν χαρακτηριστικές τιμές κάθε φύλλου, δεδομένης της χρωματικής ανομοιομορφίας του. Η αδυναμία αυτή δεν αποτελεί μειονέκτημα της PCA ή της πειραματικής διαδικασίας αλλά είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την χρωματική ανομοιογένεια των δειγμάτων A, B και Δ και γενικά των ιστορικών χαρτιών.

	L	b	pH	FE
ER	87,60	15,50	5,47	1,10
ZR	90,00	13,10	6,03	3,10
HR	93,20	14,60	5,06	3,30
EA	85,80	17,90	5,46	0,70
ZA	89,00	15,20	6,01	2,00
HA	92,50	15,20	4,73	2,40
ET	87,90	14,90	8,22	1,20
ZT	90,20	12,90	8,22	3,90
HT	92,70	13,40	8,32	3,60
ETA	87,60	16,10	7,87	1,00
ZTA	90,50	13,80	7,97	3,30
HTA	92,80	13,00	8,16	3,50

Πίνακας 11: Μεταβλητές (L, b, pH, FE), περιπτώσεις (E, Z, H δείγματα, R: Reference, A: Aged, T: Treated και TA: Treated + Aged) και τιμές εισόδου στην PCA

Number of components extracted: 2

### Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	2,74547	68,637	68,637
2	0,988339	24,708	93,345
3	0,189197	4,730	98,075
4	0,0769912	1,925	100,000

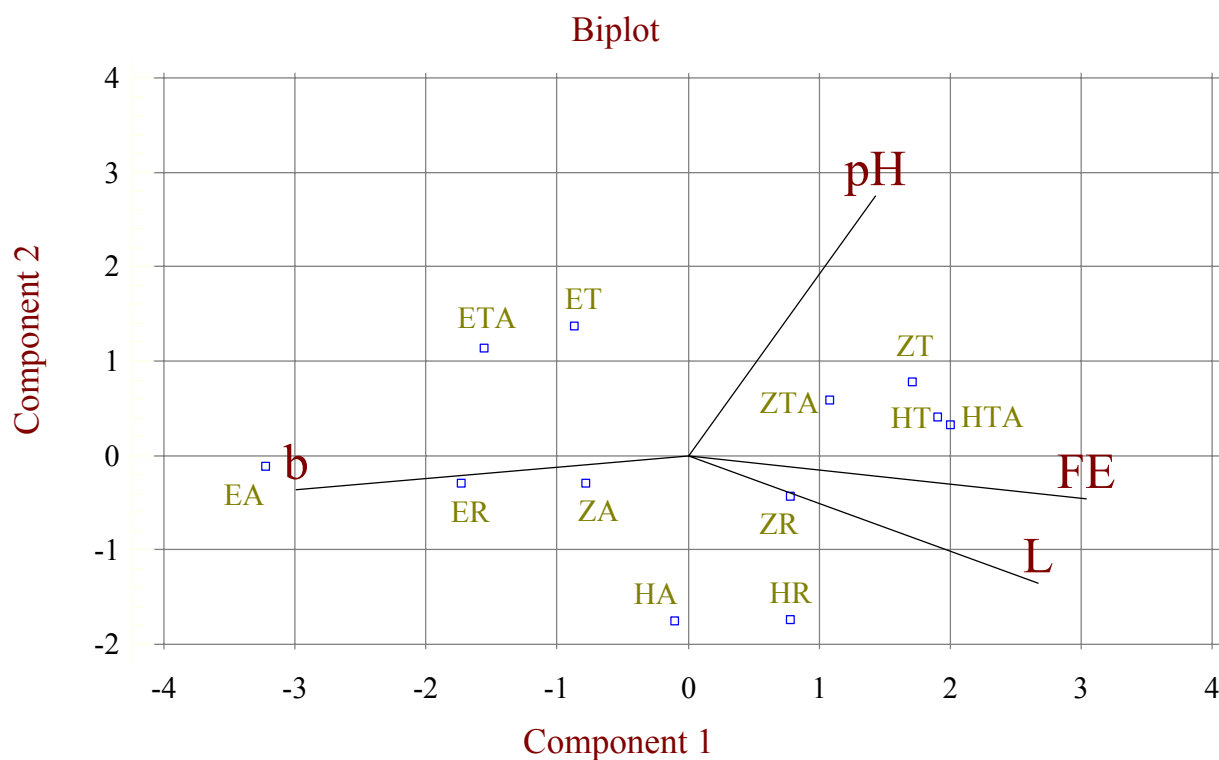
Οι δύο πρώτες κύριες συνιστώσες ερμηνεύουν το 93% περίπου της συνολικής διασποράς, ποσοστό λίαν ικανοποιητικό.

Table of Component Weights

	Component 1	Component 2
L	0,511539	-0,434979
b	-0,571497	-0,117049
pH	0,273747	0,880577
FE	0,580328	-0,147227

Table of Principal Components

Row	Label	Component 1	Component 2
1	ER	-1,73463	-0,289363
2	ZR	0,779046	-0,434342
3	HR	0,78531	-1,73652
4	EA	-3,22748	-0,11492
5	ZA	-0,780654	-0,296214
6	HA	-0,0978913	-1,7486
7	ET	-0,870211	1,37405
8	ZT	1,70932	0,785053
9	HT	1,90879	0,402314
10	ETA	-1,55738	1,14409
11	ZTA	1,08298	0,583802
12	HTA	2,00281	0,33066



Γράφημα 19: Γραφική παράσταση των μεταβλητών pH, b, FE και L με άξονες τις 2 κύριες συνιστώσες (E, Z, H: σειρές δειγμάτων, R: reference, T: treated, A: Aged)

Για την εξαγωγή των κυρίων συνιστωσών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα STATGRAPHICS Plus for Windows Version 2.1.

Από το διάγραμμα των 2 κυρίων συνιστωσών (Γράφημα 19) φαίνεται ότι οι μεταβλητές L και FE παρουσιάζουν έντονο θετικό συσχετισμό μεταξύ τους (αύξηση της μιας συνεπάγεται αύξηση της άλλης), ενώ και οι δύο συσχετίζονται αρνητικά με την μεταβλητή b (αύξηση της συνεπάγεται μείωση των άλλων δύο). Η μεταβλητή pH δεν συσχετίζεται έντονα με καμία από τις άλλες μεταβλητές. Παρατηρείται επίσης ομαδοποίηση των δεδομένων σε δύο μεγάλες ομάδες, μια στο 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> τεταρτημόριο με τα συντηρημένα δείγματα και μια στο 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> τεταρτημόριο με τα ασυντήρητα.

Ο συντελεστής συσχέτισης των FE και b είναι ίσος με  $-0,882645$  και η P-value =  $0,0001$ , μικρότερη από το  $0,01$ . Τα παραπάνω δηλώνουν ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών FE και b σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.

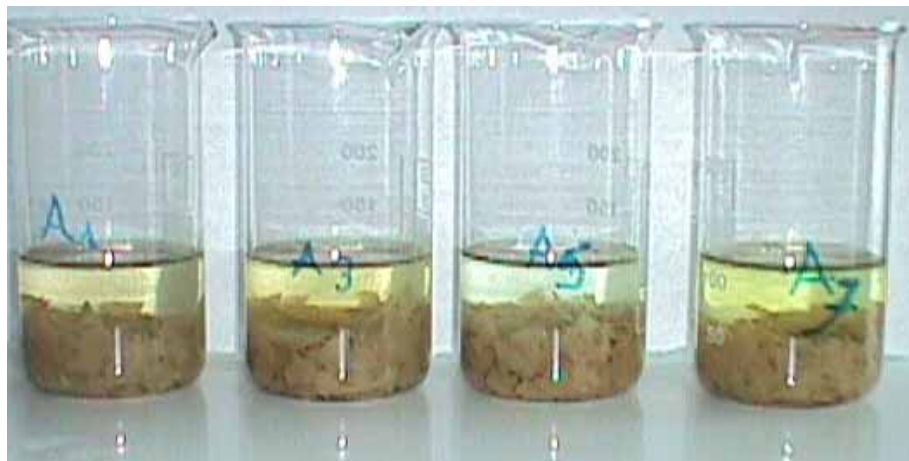
## 2.6. Γενική Συζήτηση

Από τη μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός της συμπεριφοράς των δειγμάτων. Τα χαρτιά από μηχανικό πολτό που περιέχουν σημαντική ποσότητα λιγνίνης συμπεριφέρονται διαφορετικά από τα χαρτιά από χημικό πολτό που δεν περιέχουν ανιχνεύσιμη ποσότητα λιγνίνης. Όλα τα δείγματα παρουσίασαν βελτίωση του ρυθμού υποβάθμισης των μηχανικών αντοχών και των οπτικών ιδιοτήτων και σημαντική αύξηση του pH σαν αποτέλεσμα της αποξίνισης. Τα δείγματα όμως που περιείχαν λιγνίνη, αμέσως μετά την αποξίνιση παρουσίασαν μια ανεπιθύμητη χρωματική μεταβολή που είχε σαν κύριο χαρακτηριστικό της την μετατόπιση του χρώματος τους προς το κίτρινο και δευτερευόντως και κατά περίπτωση τη μείωση της λαμπρότητας. Υπεύθυνη για τις μεταβολές αυτές είναι η οξειδωση της λιγνίνης στο έντονα αλκαλικό περιβάλλον του λουτρού αποξίνισης. Οι μεταβολές αυτές βέβαια δεν είναι τόσο σημαντικές και δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές από έναν παρατηρητή, άρα δεν συνιστούν σημαντική αισθητική υποβάθμιση. Παρ' όλα αυτά όμως πρέπει να καταγραφούν για δύο λόγους. Πρώτον, γιατί συσχετίζονται με την χημεία της αποξίνισης του χαρτιού και επιτρέπουν την εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων. Δεύτερον, γιατί η έρευνα μπορεί να υποδείξει καλύτερες μεθόδους που δεν παρουσιάζουν το μειονέκτημα αυτό. Τα παραπάνω ευρήματα συμφωνούν απόλυτα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα και ήταν, τουλάχιστον εν μέρει αναμενόμενα.

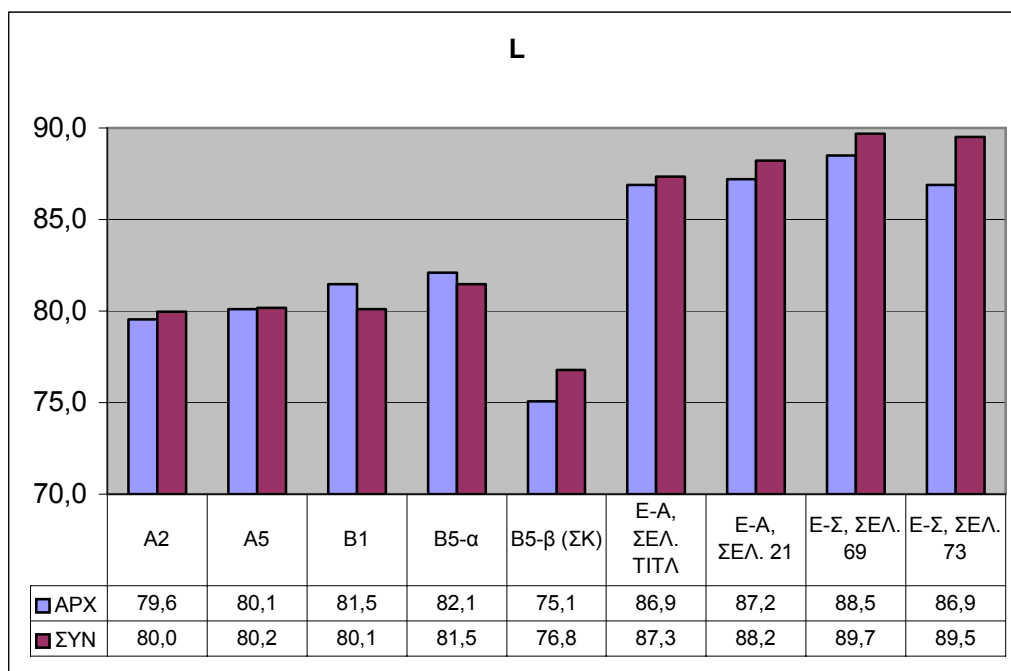
Όσον αφορά τα αποτελέσματα της Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες, πρέπει να τονιστεί ότι αφορούν χημικούς πολτούς χωρίς ανιχνεύσιμη ποσότητα λιγνίνης και κατ' επέκταση και χειροποίητα ιστορικά χαρτιά από κουρέλια (rag paper). Υπό αυτή την προϋπόθεση, φαίνεται ότι η μέτρηση μιας από τις τρεις παραμέτρους που συσχετίζονται (L, b ή FE) μπορεί να δώσει στοιχεία για την μεταβολή των άλλων δύο. Η μέτρηση με χρωματόμετρο π.χ. της παραμέτρου b γίνεται πολύ εύκολα και μη καταστρεπτικά, ενώ των μηχανικών αντοχών απαιτεί χρόνο και κυρίως, είναι καταστρεπτική. Ελάττωση του b κατά την συντήρηση συμβαδίζει με αύξηση των μηχανικών αντοχών. Αύξηση του b με την γήρανση δείχνει ελάττωση των μηχανικών αντοχών.

Κατά την εκχύλιση των δειγμάτων (που πραγματοποιήθηκε για την μέτρηση του pH), παρατηρήθηκε ότι στα συντηρημένα δείγματα το χρώμα του εκχυλίσματος ήταν υποκίτρινο. Αυτό δημιούργησε την υπόνοια ότι η διαδικασία της έκπλυσης και αποξίνισης θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί περαιτέρω. Έτσι, αυτή επαναλήφθηκε σε επιλεγμένα δείγματα σε άλλο εργαστήριο συντήρησης. Χρησιμοποιήθηκε αιώρημα υδροξειδίου του ασβεστίου 1% και έγιναν 4 προπλύσεις με νερό βρύσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος και διάρκειας μισής ώρας η κάθε μία. Σημαντικότερο στάδιο στην όλη διαδικασία αποτέλεσε ο ψεκάσμος των φύλλων χαρτιού με διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης σε νερό (50%) για τη διευκόλυνση της διαβροχής του χαρτιού πριν από τα λουτρά πρόπλυσης. Ακολούθησε παραμονή στο αιώρημα του υδροξειδίου για μισή ώρα και έκπλυση της επιφανειακής απόθεσης του υδροξειδίου με απλή στιγμαία εμβάπτιση σε

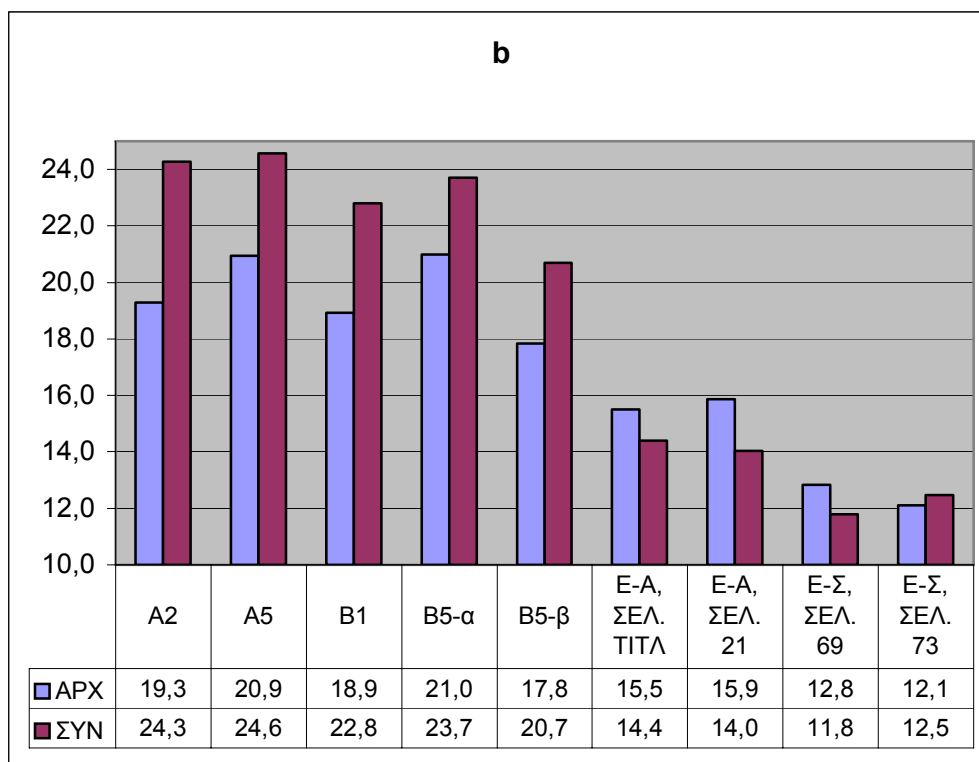
νερό. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ασυντήρητα αλλά και συντηρημένα. Στα συντηρημένα δείγματα φάνηκε ότι υπήρχαν περιθώρια μεγαλύτερης χρωματικής βελτίωσης, όπως φαίνεται από τις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν, λόγω του παρατεταμένου σταδίου της πρόπλυσης. Επιβεβαιώθηκαν επίσης τα αρχικά ευρήματα, όσον αφορά την επίδραση της λιγνίνης στο χρώμα του χαρτιού κατά την αποξίνιση.



Εικόνα 33: Φωτογραφία εκχυλίσμάτων σειράς δειγμάτων Α. Το εκχύλισμα του δείγματος Α5, παρόλο που έχει υποστεί συντήρηση εμφανίζεται υποκίτρινο



Γράφημα 20: Αύξηση της λαμπρότητας παρατηρείται στα δείγματα της σειράς Ε (ελεύθερα λιγνίνης) ανεξάρτητα από το αν έχουν υποστεί συντήρηση ή όχι και στο δείγμα Β5-β που περιέχει μεν λιγνίνη αλλά αφορά λεκέ σκουριάς



*Γράφημα 21: Στα δείγματα της σειράς E παρατηρείται ελάττωση του κίτρινου χρώματος, ανεξάρτητα του αν έχουν υποστεί συντήρηση. Στα άλλα δείγματα έχουμε αύξηση του κίτρινου, γιατί επικρατεί η οξείδωση της λιγνίνης*

## 2.7. Γενικά Συμπεράσματα

### 2.7.1. Για την Καταλληλότητα των Κριτηρίων και των Μεθόδων που Χρησιμοποιήθηκαν για την Αποτίμηση

Οι μέθοδοι και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση φάνηκε ότι μπορούν να διαφοροποιήσουν τα κατεργασμένα από τα ακατέργαστα δείγματα. Οι επιλογή τους βασίστηκε στο γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν τις κύριες ιδιότητες του χαρτιού που η βελτίωσή τους αποτελεί στόχο της συντήρησης. Από τις μηχανικές ιδιότητες, η επιλογή της αντοχής στις αναδιπλώσεις σαν μεθόδου μέτρησής τους φάνηκε ιδιαίτερα ικανοποιητική όσον αφορά τη διαφοροποίηση των δειγμάτων. Ίδιου βαθμού διαφοροποίηση φάνηκε και στις μετρήσεις pH, την σημαντικότερη από τις χημικές ιδιότητες όσον αφορά στην μακροχρόνια διατήρηση του χαρτιού. Τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας παρ' όλο που δεν έδωσαν έντονες διαφοροποιήσεις επέτρεψαν την σύγκριση των δειγμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων, παρέχοντας και άλλες σημαντικές πληροφορίες. Η εξέταση των δειγμάτων με το μικροσκόπιο οπτικών ινών έδωσε σημαντικές πληροφορίες για την δομή του χαρτιού και τον τρόπο απόθεσης του παράγοντα αποξίνισης, χωρίς να χρειαστεί ιδιαίτερη προετοιμασία των δειγμάτων και μάλιστα μη καταστρεπτικά. Η επιλογή των συνθηκών και του χρόνου της τεχνητής γήρανσης ήταν ορθή, γιατί διαφοροποίησε τα κατεργασμένα από τα ακατέργαστα δείγματα στο σωστό βαθμό, όπως φάνηκε εξάλλου από τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Η πειραματική διαδικασία που εφαρμόστηκε έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα για τη αποτίμηση της καταλληλότητας των επεμβάσεων συντήρησης στο αρχείου του ΚΚΕ. Δεν χρειάστηκε μεγάλη ποσότητα δείγματος, άρα σχεδιάστηκε με σεβασμό στην ιστορική αξία του αρχείου. Βρίσκεται σε συμφωνία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα και δεν απαιτεί υψηλή τεχνολογία, άρα μπορεί εύκολα να εφαρμόζεται σε ελέγχους ρουτίνας σε ένα οργανωμένο αρχειακό ίδρυμα.

Προτείνεται ανεπιφύλακτα η χρήση της χρωματομετρίας και του μικροσκοπίου οπτικών ινών σε παρόμοιες μελέτες, γιατί αφ' ενός πρόκειται για μη καταστρεπτικές μεθόδους, αφ' ετέρου δίνουν σημαντικότερες πληροφορίες.



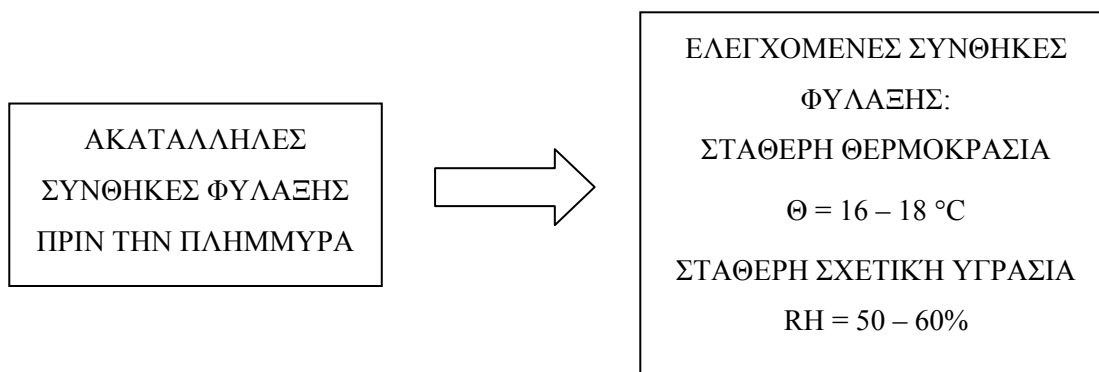
### 2.7.2. Για την Καταλληλότητα των Υλικών και των Επεμβάσεων Συντήρησης

Τα γενικά αποτελέσματα της αποτίμησης είναι θετικά. Όσον αφορά τις μηχανικές και χημικές ιδιότητες, η βελτίωση που μετρήθηκε σαν αποτέλεσμα της συντήρησης ήταν σημαντική. Ο ρυθμός της υποβάθμισης των ιδιοτήτων αυτών με την τεχνητή γήρανση παρουσίασε βελτίωση μετά την συντήρηση. Όσον αφορά τις οπτικές ιδιότητες τα αποτελέσματα εμφανίζονται αντικρουόμενα. Ο ρυθμός της υποβάθμισης τους βελτιώθηκε με την συντήρηση και τα δείγματα από χημικό πολτό παρουσίασαν άμεση βελτίωση των οπτικών τους ιδιοτήτων. Όλα τα δείγματα από μηχανικό πολτό (που περιείχαν σημαντική ποσότητα λιγνίνης) παρουσίασαν σαν άμεσο αποτέλεσμα της συντήρησης μετατόπιση του χρωματισμού τους προς το κίτρινο και πολλά από αυτά ελάττωση της λαμπρότητας. Το αρνητικό αυτό αποτέλεσμα οφείλεται στη χρήση του υδροξειδίου του ασβεστίου, του οποίου το υψηλό pH καταλύει την οξείδωση της λιγνίνης. Πάντως, οι ανεπιθύμητες αυτές μεταβολές του χρωματισμού δεν είναι εύκολα ορατές και δεν συνιστούν σημαντική αισθητική υποβάθμιση. Σημαντικότερη αισθητική υποβάθμιση αποτελούν τα ίχνη του πλέγματος που βρέθηκαν σε πολλά σημεία των συντηρημένων φύλλων χαρτιού.

### 2.7.3. Για το Σχεδιασμό των Συνθηκών του Περιβάλλοντος Χώρου

Το σύνολο του υλικού του Ιστορικού Αρχείου του ΚΚΕ, μετά τον αρχικό καθαρισμό από τις λάσπες και την απολύμανση του φυλάγεται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο 600 περίπου τ.μ. Ο χώρος αυτός πληροί τις προϋποθέσεις που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα φύλαξης αρχειακού υλικού που προορίζεται για διατήρηση στο διηνεκές. Η θερμοκρασία διατηρείται συνεχώς μεταξύ 16 και 18°C και η σχετική υγρασία μεταξύ 50 και 60% με κατάλληλα κλιματιστικά μηχανήματα. Όπως προκύπτει από τις καταγραφές των θερμοϋγρομέτρων, που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των συνθηκών φύλαξης, από τις 9-5-2000 έως τις 16-6-2000 η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία κινήθηκαν μέσα σε αυτά τα όρια, με μικρές διακυμάνσεις γύρω από τους 17°C και το 57%. Ο χώρος φύλαξης διαθέτει ικανοποιητικό σύστημα αερισμού και καθαρισμού του αέρα. Επιπρόσθετα, τα έγγραφα φυλάσσονται μέσα σε φακέλους από χαρτί αρχειακών προδιαγραφών (αντιόξινο, από 100% α-κυτταρίνη, αντιμυκητιακό) που δημιουργεί ένα μικροαλκαλικό περιβάλλον που παρέχει επιπλέον προστασία από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Οι συνθήκες φύλαξης του αρχείου κρίνονται πολύ ικανοποιητικές και εγγυώνται την πλέον μακρόχρονη δυνατή διατήρησή του.



*Διάγραμμα 5: Μεταβολή των συνθηκών φύλαξης*

## 2.8. Προοπτικές

### 2.8.1. Προτάσεις Αριστοποίησης των Επεμβάσεων Συντήρησης στο Ιστορικό Αρχείο του ΚΚΕ

Η μέθοδος αποξίνισης που χρησιμοποιείται σήμερα στο Ιστορικό Αρχείο του ΚΚΕ παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα. Το χαμηλό της κόστος και η ευκολία εφαρμογής της είναι τα δύο βασικά της πλεονεκτήματα. Η χαμηλή διαλυτότητα του υδροξειδίου του ασβεστίου (1,63 g/l στους 20°C), το υψηλό pH του λουτρού αποξίνισης και ο τρόπος απόθεσης του (ανομοιόμορφα, σε μεγάλους κρυστάλλους) από το αιώρημα που χρησιμοποιείται είναι τα κύρια μειονεκτήματά του.

Η βιβλιογραφική έρευνα <sup>235</sup> έδειξε ότι υπάρχουν δύο άλλες μέθοδοι αποξίνισης με υδατικά διαλύματα. Στην πρώτη χρησιμοποιείται κορεσμένο διάλυμα όξινου ανθρακικού μαγνησίου (και πολλές φορές μαζί με διάλυμα όξινου ανθρακικού ασβεστίου). Η πειραματική έρευνα έχει δείξει ότι η μέθοδος αυτή προκαλεί σημαντικό κιτρίνισμα των χαρτιών από μηχανικό πολτό. Γι' αυτό και δεν συνιστάται για το αρχείο του ΚΚΕ που η πλειοψηφία των χαρτιών που περιλαμβάνει είναι χαρτιά των αρχών του αιώνα κατασκευασμένα από μηχανικό πολτό. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί κορεσμένο διάλυμα όξινου ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο παράγεται επί τόπου διοχετεύοντας διοξείδιο του άνθρακα υπό πίεση σε αιώρημα ανθρακικού ασβεστίου. Τότε, η διαλυτότητα του  $\text{CaCO}_3$  αυξάνεται από 0,06 g/l σε περίπου 1g/l (αλλά και μέχρι 3,8 g/l για κορεσμένο διάλυμα), και το pH φτάνει το 5,9. Με το στέγνωμα του χαρτιού και την μετατροπή του  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  σε  $\text{CaCO}_3$  το pH ανεβαίνει έως το 8,1. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η πιο ομοιόμορφη απόθεση του παράγοντα αποξίνισης (αφού αποτίθεται από διάλυμα και όχι αιώρημα) και το σχετικά χαμηλό pH του λουτρού. Έτσι, η μέθοδος αυτή προκαλεί λιγότερο κιτρίνισμα των χαρτιών από μηχανικό πολτό. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλότερο κόστος και η δυσκολότερη διαδικασία εφαρμογής της από την ήδη εφαρμοζόμενη μέθοδο.

Πάντως, από τα πειραματικά αποτελέσματα φάνηκε ότι υπάρχει περιθώριο βελτίωσης των αποτελεσμάτων της ήδη χρησιμοποιούμενης μεθόδου, αν εφαρμοστούν οι εξής τροποποιήσεις:

- Το πλαστικό πλέγμα να αντικατασταθεί με Holytex, το οποίο είναι αρκετά ακριβότερο αλλά δεν αφήνει ίχνη κατά το στέγνωμα και προστατεύει πολύ καλύτερα τα φύλλα του χαρτιού από μηχανικές καταπονήσεις στο λουτρό.
- Να μειωθεί η ποσότητα των φύλλων που πλένονται σε κάθε κύκλο
- Να αυξηθεί ο χρόνος παραμονής στο λουτρό πρόπλυσης

<sup>235</sup> Helmut Bansa, *Aqueous Deacidification - with Calcium or with Magnesium*, Restaurator, 19:1, 1998, σελ.1-40.

- Να προηγείται της πρόπλυσης ψεκασμός των φύλλων χαρτιού με διάλυμα αιθανόλης 30 - 50% σε νερό για να διευκολύνεται η διαβροχή τους από το νερό
- Το στέγνωμα των φύλλων χαρτιού να γίνεται υπό ελαφρά πίεση ώστε να αποφεύγονται παραμορφώσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν 4 βάρη της τάξης του 0,5 - 1 κιλού το καθένα στις τέσσερις γωνίες λείας καθαρής ξύλινης πλάκας, η οποία δεν θα έρχεται σε επαφή με τα χαρτιά, αφού θα μεσολαβούν ένα φύλλο χαρτόνι, melinex, στυπόχαρτο και Holytex. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να στεγνώνουν 20 περίπου φύλλα χαρτιού στην ίδια στοίβα με διαχωριστικά Holytex και στυπόχαρτα, αφού αφεθούν αρχικά στον αέρα ώστε να εξατμιστεί η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού. Χρειάζεται προσοχή η ρύθμιση της υγρασίας του χώρου στεγνώματος, ώστε αυτό να γίνεται σχετικά γρήγορα και αλλαγή των διαχωριστικών κάθε 12 ώρες περίπου για να μην αναπτυχθούν μύκητες στη στοίβα κατά το στέγνωμα.

Οι τροποποιήσεις αυτές θα αυξήσουν μεν το κόστος και την πολυπλοκότητα της διαδικασίας συντήρησης, αλλά θα βελτιώσουν αισθητικά την εικόνα των συντηρημένων εγγράφων και θα μειώσουν τους κινδύνους καταστροφών κατά τις υγρές διεργασίες. Θα αυξήσουν επίσης την ποσότητα των εκπλενόμενων όξινων υδατοδιαλυτών συστατικών του χαρτιού, επιμηκύνοντας έτσι το χρόνο ζωής των εγγράφων του αρχείου.

Οι μέθοδοι αποξίνισης από υδατικά διαλύματα έχουν τα σημαντικά πλεονεκτήματα της απομάκρυνσης της υδατοδιαλυτής οξύτητας, του μικρού κόστους, της εύκολης εφαρμογής και της μη τοξικότητας. Όμως, δεν μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση υδατοδιαλυτών μελανιών. Έτσι, καλό θα ήταν να υπάρχει και μια εναλλακτική μέθοδος μη υδατικής αποξίνισης για ειδικές περιπτώσεις (π.χ. Wei T' O σε σπρέι <sup>236</sup>).

---

<sup>236</sup> Βλ. σελ. 45 παρ.1 για περιγραφή του συστήματος των χημικών που χρησιμοποιούνται.

### 2.8.2. Προοπτικές της Έρευνας για τη Διαμόρφωση Μεθόδων Αποτίμησης Επεμβάσεων Συντήρησης

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση της συντήρησης παρουσιάζουν τα εξής μειονεκτήματα:

- Είναι καταστρεπτικές και χρειάζονται μεγάλες ποσότητες δείγματος (εκτός της χρωματομετρίας και του μικροσκοπίου οπτικών ινών). Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα για τις χαρτοβιομηχανίες όταν κάνουν ποιοτικό έλεγχο της παραγωγής τους, αλλά μπορεί να δημιουργήσει αζεπέραστα προβλήματα σε ερευνητικά προγράμματα που αφορούν το ιστορικό χαρτί. Όλα τα ιδρύματα είναι απρόθυμα να θυσιάσουν έστω και ένα μικρό μέρος του υλικού τους, πράγμα άλλωστε κατανοητό. Παρ' όλα αυτά, επί του παρόντος τουλάχιστον δεν υπάρχουν άλλες αξιόπιστες μέθοδοι που να μπορούν να υποκαταστήσουν αυτές που χρησιμοποιήθηκαν.
- Όλες οι μέθοδοι μέτρησης μηχανικών ιδιοτήτων παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Αυτό οφείλεται στη φύση του χαρτιού ως υλικού, αφού λόγω της κατασκευής του παρουσιάζει μεγάλη ανομοιογένεια. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται όταν οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται σε ιστορικό ή χειροποίητο χαρτί, του οποίου η ανομοιογένεια είναι σαφώς μεγαλύτερη από του σύγχρονου και το πάχος του παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση.

Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά χρειάζεται έρευνα πάνω στις μεθόδους ελέγχου των ιδιοτήτων των ιστορικών χαρτιών, κυρίως των μη καταστρεπτικών ή/και αυτών που απαιτούν μικρές ποσότητες δείγματος. Πρέπει επίσης να διερευνηθεί η δυνατότητα μείωσης της μεγάλης διασποράς κατά την μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων με την χρήση πιο εξελιγμένων μεθόδων που δεν επηρεάζονται από την σημαντική ανομοιογένεια του χαρτιού.

Μέθοδοι που υπόσχονται πολλά είναι η θερμομηχανική ανάλυση για την μελέτη των μικρομηχανικών ιδιοτήτων του χαρτιού και η υπερηχοσκόπηση για την μελέτη των μηχανικών αντοχών και του μέτρου ελαστικότητας.

Οι μέθοδοι τεχνητής γήρανσης που χρησιμοποιούνται σήμερα, δέχονται σφοδρή κριτική από πολλούς ερευνητές με το πολύ λογικό επιχείρημα ότι δεν προσομοιάζουν την φυσική γήρανση του χαρτιού. Η βελτίωση των μεθόδων τεχνητής γήρανσης προς την κατεύθυνση αυτή, αποτελούν άλλο ένα πεδίο επιστημονικής έρευνας.

Ένα άλλο θέμα που θα έπρεπε να διερευνηθεί, καθώς δεν υπάρχει αναφορά σε αυτό στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι η εξέλιξη της ενανθράκωσης του υδροξειδίου του ασβεστίου μετά την απόθεσή του στο χαρτί. Είναι γνωστό ότι αυτό μετατρέπεται τελικά σε ανθρακικό ασβέστιο αλλά δεν είναι γνωστός ο ρυθμός της μετατροπής. Δεν είναι γνωστό αν ενδιάμεσα περνάει από την φάση του όξινου ανθρακικού ασβεστίου και για πόσο καιρό παραμένει σε αυτή. Τα θέματα αυτά επηρεάζουν την απόφαση του πότε πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις pH μετά την

αποξίνιση, αλλά και την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου τεχνητής γήρανσης ώστε να μην αλλάζει η μορφή του αλκαλικού αποθέματος κατά την εφαρμογή της. Το θέμα θα μπορούσε να προσεγγιστεί μεθοδολογικά με την χρήση διαφορικής θερμικής ανάλυσης σε συνδυασμό με θερμοβαρυμετρία (DTA – TG) και με την χρήση περίθλασης ακτίνων X (XRD) σε συμπυκνωμένο υδατικό εκχύλισμα αποξινισμένου χαρτιού. Με την πρώτη μέθοδο θα εξακριβωθεί ο ρυθμός της ενανθράκωσης και με την δεύτερη η κατάσταση του αλκαλικού αποθέματος, αφού όλες οι ενώσεις (υδροξείδιο του ασβεστίου, όξινο ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό ασβέστιο) είναι κρυσταλλικές.

Τέλος, η συσχέτιση που βρέθηκε με την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες μεταξύ του χρώματος και της αντοχής στις αναδιπλώσεις πρέπει να επιβεβαιωθεί και από άλλους ερευνητές.

### 3. Βιβλιογραφία

#### 3.1. Ξενόγλωσση

- “Papers from the Survey Workshop on Books, Archives and Art on Paper, Oxford, 25 September 1992”, The Paper Conservator, 17, 1993, σελ 32-55.
- “The Oxford Papers, Proceedings of the British Association of Paper Historians Fourth Annual Conference held at St. Edmund Hall, Oxford, 17 – 19 September 1993”, Studies in British Paper History, 1, 1996, σελ. 1-108.
- Arney, J. S., Chapdelaine, A. H., “A Kinetic Study of the Influence of Acidity on the Accelerated Aging of Paper”, στο: Williams, J.C., ed., *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II*, Advances in Chemistry Series, 193, 1981, σελ. 189-204.
- Atalla, R., “Conformational Effects in the Hydrolysis of Cellulose, Hydrolysis of Cellulose – Mechanisms of Enzymatic and acid Catalysis”, στο: Williams, J.C., ed., Advances in Chemistry Series, 181, 1979 σελ. 55-69.
- Bansa, Helmut, “Accelerated Aging Tests in Conservation Research: Some Ideas for a Future Method”, Restaurator, 13:3, 1992, σελ. 114-137.
- Bansa, Helmut, “Aqueous Deacidification - with Calcium or with Magnesium”, Restaurator, 19:1, 1998, σελ. 1-40.
- Bansa, Helmut, Ishi, Ritsuko, “The Effect of Different Strengthening Methods on Different Kinds of Paper”, Restaurator, 18:2, 1999 σελ, 51-72.
- Bansa, Helmut, Ishi, Ritsuko, “What Fiber for Paper Strengthening?”, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ. 198-224.
- Barrett D. Timothy, “Early European Papers / Contemporary Conservation Papers - A Report On Research Undertaken From Fall 1984 Trough Fall 1987”, The Paper Conservator, 13, 1989, σελ. 1-108.
- Barrett, Timothy, Lang, Patricia, Waterhouse, John, Cook, J. Cullison, S., Fuller, B., Telles, S., Pullman, J. “Non-Destructive Measurement of Gelatin and Calcium Content of European Papers: 1400 – 1800”, International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials, Pre-prints, Erice, 1996, σελ. 517-534.
- Baynes-Cope, A., “Creating Buildings for Rare Books and Archival Documents”, Restaurator, 17:1, 1996, σελ. 22-24.
- Begin, P., Deschatelets, S., Grattan, D., Gurnagul, N., Iraci, J., Kaminska, E., Woods, D., Zou, X., “The impact of Lignin on Paper Permanence”, Restaurator, 19:3, 1998, σελ. 135-154.

- Bicchieri, M., Brusa, P., "The Bleaching of Paper by Reduction with the Borane Tert-Butylamine Complex", Restaurator, 18:1, 1997, σελ. 1-11.
- Bicchieri, Marina, Mucci, Barbara, "Hydroxypropyl Cellulose and Polyvinyl Alcohol on Paper as Fixatives for Pigments and Dyes", Restaurator, 17:4, 1996, σελ. 238-251.
- Bicchieri, Marina, Pepa, Sabrina, "The degradation of Cellulose with Ferric and Cupric Ions in a Low-acid Medium", Restaurator, 17:3, 1996, σελ. 172
- Birgit, Reissland, "Ink Corrosion, Aqueous and Non-Aqueous Treatment of Paper Objects - State of The Art", Restaurator, 20:3+4,1999, σελ.167-180
- Bluher, Agnes, Haberditzl, Anna, Wimmer, Tanja, "Aqueous Conservation Treatment of 20th Century Papers Containing Water-Sensitive Inks and Dyes", Restaurator 20:3+4, 1999, σελ. 181-197.
- Brandis, L., "Summary and Evaluation of the Testing Sponsored by the Library of Congress of Books Deacidified by the FMC, Akzo and Wei T'o Mass Deacidification", Restaurator, 15:2, 1994, σελ.109-127.
- Brandis, Leanne, Lyall, Jan, "Properties of Paper in Naturally Aged Books", Restaurator, 18:3, 1997, σελ. 115-130.
- Choisy, P., De La Chapelle, A., Thomas D., Legoy, M.D. "Non Invasive Techniques for the Investigation of Foxing Stains on Graphic Art Material", Restaurator, 18:3, 1997, σελ. 131-152.
- Clarkson, C., "The Conservation of Early Books in Codex Form, A Personal Approach: Part I", The Paper Conservator, 3, 1978, σελ.33-50
- Collings, Thomas, Milner, Derek, "A New Chronology of Papermaking Technology", The Paper Conservator, 14, 1990, σελ. 58-62.
- Conservation Center For Art & Historic Artifacts, *Mold*, Technical Series, 1, α.χ.
- Daniel, Floreal, "A pollution Chamber for the Accelerated Deterioration of Materials", Restaurator, 17:3, 1996, σελ.193-202.
- Daniels Vincent, "A Study of the Crystallinity of Paper Before and After Conservation", The Paper Conservator, 10, 1986, σελ. 70-72.
- Dence, C., Reeve, D., *Pulp Bleaching, Principles and Practice*, Atlanta, Georgia, Tappi Press, 1996.
- Dupont, A.- L., "Degradation of Cellulose at the Wet/dry Interface, II. An Approach to the Identification of the Oxidation Compounds", Restaurator, 17:3, 1996, σελ. 145-164.



- El-Saied, Houssni, Basta, Altaf H, Afdou, Mona M., “Permanence of Paper 1: Problems and Permanency of Alum-Rosin Sized Paper Sheets from Wood Pulp”, Restaurator, 19:3, 1998 σελ. 155-171.
- Feber, Marga De, Havermans, John, Cornelissen, Eric, “The Positive Effects of Air Purification in the Dutch State Archives Part 1: Experimental Set up and Air Quality”, Restaurator, 19:4, 1998, σελ.212-222.
- Florian, Mary – Lou E., Manning, Lesley, “The Ecology of the Fungal Fox Spots in a Book Published in 1854”, Restaurator , 20 :3 + 4, 1999 σελ. 137-150.
- Gibson, J., Reay, D., “Drying Rare Books Soaked by Water” The Paper Conservator, 7, 1982/83, σελ. 28-34.
- Guerra, R., Vives, J., Monmany, J., Carrido, J., “The Effect of Aqueous Solutions of Alkoxy polyethyleneglycols (ALKPG) on the Mechanical Properties of Paper”, Restaurator, 19:4, 1998, σελ. 187-211.
- Hanus, J., “Changes in Brittle Paper during Conservation Treatment”, Restaurator, 15:1, 1994, σελ. 46-54.
- Havermans, J., Van Deventer, R., Steemers, T., “Mass Deacidifications of Archival Materials using Diethyl Zinc” , Restaurator, 16:3, 1995, σελ. 123-142.
- Havermans, John B. G. A., Dufour, Javier, “Photo Oxidation of Paper Documents - A Literature Review”, Restaurator, 18:3, 1997 σελ. 103-114.
- Hoel, Ivar, “Standards for permanent paper”, Πρακτικά της 64 IFLA General Conference, <http://www.ifla.org/IV/ifla64/115-114e.htm>
- Hunter, Dard, *Papermaking, the history and technique of an ancient craft*, New York, Dover Publications, Inc, 1974.
- Ink corrosion homepage, <http://www.knaw.nl/ecpa/ink/>
- Iron – gall Ink Corrosion*, Proceedings, European Workshop on Iron – gall Ink Corrosion, Rotterdam, June 16 & 17, 1977 (ISBN 90-6918-189-4).
- Johnson, W. Arthur, *Book Repair and Conservation*, London, Thames and Hudson, 1988.
- Kelly, G. B., Williams, J. C., Mendenhall G. D., “The Application of Several Empirical Equations to Describe the Change of Properties of Paper on Accelerated Aging”, στο: Williams, J.C., ed., *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II*, Advances in Chemistry Series, 193, 1981, σελ. 177-188.
- Kolar, Jana, “Mechanism of Autoxidative Degradation of Cellulose”, Restaurator 18:4, 1997, σελ. 163-176.

- Letnar, Meta Cernic, Vodopivec, Jedert, “Protection and Conservation of Materials on Paper, Evaluation of Permanence and Durability of the Laminated Material on Paper”, Restaurator, 18:4, 1997 σελ. 177-190.
- Letnar, Meta Cernic, Vodopivec, Jedert, “Influence of Paper Raw Materials and Technological Conditions of Paper Manufacture on Paper Aging”, Restaurator, 18:2, 1997, σελ. 73-91.
- Lienardy, A. “Evaluation of Seven Mass Deacidification Treatments”, Restaurator, 15:1, 1994, σελ. 1-25.
- Lienardy, Anne, Van Damme, Philippe “Paper washing”, The Paper Conservator, 14, 1990, σελ. 23-30.
- Liers, J., Schwerdt, P., “The Battelle Deacidification Process Equipment and Technology”, Restaurator, 16:1, 1995, σελ. 1-9
- Liers, J., Wachter, W., Muller, G., “Results of the Paper Splitting Process”, Restaurator, 17:3, 1996, σελ.184-192.
- Liers, Joachim, “Determination of the Content of Alkalis and Acids in Paper”, Restaurator, 20: 3+4, 1999, σελ. 126-136.
- Michaels, Jan, Boyd, John, “Damage and Conservation: A Book Conservator Borrows an SEM”, The Paper Conservator, 10, 1986, σελ. 73-94.
- Moropoulou A., Biscontin G., Tsiourva Th., Bisbikou K., Longega P., Tsantila V., Groggia M., Dalaklis E., Petritaki A., “Evaluation of cleaning procedures on the facades of the Bank of Greece historical building in the centre of Athens”, 4<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Conference Proceedings, edited by A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias , I. Papachristodoulou, Publ. Technical Chamber of Greece, Rhodes, Vol. 4, (1997), σελ. 343 – 354
- Moropoulou A., Kouli M., Tsiourva Th., Kourteli Ch., Papatiririou D., “Macro – and micro non destructive tests for environmental impact assessment an architectural surfaces”, Materials Issues in Art and Archaeology IV, edited by J.R. Druzik and P.B. Vandiver, Publ. Materials Research Society, (1996), in press. (ci: AATA)
- Morrow, G., “Mass Deacidification: Operational Experience at the National Archives and the National Library of Canada”, The Paper Conservator, 12, 1988, σελ. 40-46.
- Nada, A.M.A, El Hakim, A.A.Abd, Badran, A.S., “Treatment of Deteriorated Paper with Emulsified Copolymer”, Restaurator, 20:1, 1999, σελ. 20-38.
- Nyuksha, J., Leonov, V., “Preservation of Collections at the Russian Academy of Sciences Library, A Retrospective Overview, Problems and solutions”, Restaurator, 18:4, 1997, σελ 201-217.

- Padfield, Tim, “The Deterioration of Cellulose – A Literature Review: The Effects of Exposure to Light, Ultra-violet and High Energy Radiation”, Problems of Conservation in Museums, α.χ., σελ. 119-164.
- Poisson, Julia, *Script: Papierrestaurierung kurs I – II, Centro del Bel Libro, Ascona (Σημειώσεις μαθημάτων συντήρησης χαρτιού της σχολής Centro del Bel Libro)*, α.χ.
- Preservation of Library & Archival Materials, *A Manual*, Northeast Document Conservation Center, Andover, Massachusetts, 1992.
- Preservation Service – Conservation & Binding, *Conservation skills development module*, Book and Archive Preservation. α.χ.
- Priest, D.J., Sule, A. “Measuring the Physical Properties of Paper Within Books”, The Institute of Paper Conservation, Conference Papers, Manchester, 1992, σελ. 146-152.
- R. Gordon, G. Collins, *Glossary of Printing and Papermaking Terms*, Tappi Press, 1996.
- Reissland, Birgit, “Ink Corrosion Aqueous and Non-Aqueous Treatment of Paper Objects - State of The Art”, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ.167-180.
- Robertson, D., “Permanence/Durability and Preservation. Research at the Barrow Laboratory”, στο: Williams, J.C., ed., *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II*, Advances in Chemistry Series, 193, 1981, σελ. 45-55.
- Rust, M., Daniel, V., Druzik, J., Preusser, F., “The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums”, Restaurator, 17:1, 1996, σελ. 43-60.
- Schaeffer T., Blyth-Hill V., Druzik J., “Aqueous Light Bleaching of Modern Rag Paper: An Effective Tool for Stain Removal”, The Paper Conservator, 21, 1997, σελ. 5
- Schwarz, Ingrid, Blucher, Agnes, Banik, Gerhard, Thobois, Elisabeth, Mauer, Karl-Heinz, “Developing a Ready-for-Use Pad to Locally Remove Starch With Enzymes”, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ. 225-244.
- Shahani, Chandru, “Accelerated aging of paper: Can it really foretell the permanence of paper”, στο Preservation Research and Testing Series, 9503, 1995, <ftp://ftp.loc.gov/pub/preservation/doc/rt9503.txt>
- Sistach Anguera, M. Carme, “Structure of Paper Fibres in Ancient Manuscripts: Acidic Decomposition and Deacidification”, Restaurator, 17:2, 1996, σελ. 117-129.
- Sistach, M. Carme, Ferrer, Nuria, Romero, M. T, “Fourier Transform Infrared Spectroscopy Applied to the Analysis of Ancient Manuscripts”, Restaurator, 19:4, 1998, σελ. 173-186.
- Sistach, M. Carme, Gilbert, Josep M, Areal, Rogelio, “Aging of Laboratory Iron Gall Inks Studied by Reflectance Spectrometry”, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ. 151-166.

- Smith, R., “Fumigation Quandary: More Overkill or Common Sense?”, The Paper Conservator, 10, 1986 σελ. 46-47.
- Smith, R., “Non-Aqueous Deacidification: Its Philosophies, Origin, Development and Status”, The Paper Conservator, 12, 1988, σελ. 31-34.
- Stephenson, J.N., *Preparation of stock for Paper Making*, New York, McGraw-Hill, 1951.
- Strnadova, Jirina, Durovic, Michael “The Cellulose Ethers in Paper Conservation”, Restaurator, 15:4, 1994, σελ. 220-241.
- Suryawanshi, D. G., Agrawal, O. P., “Evaluation of Hand-made Nepalese Paper for Lining Paintings”, Restaurator, 16:2, 1995, σελ 65-76.
- Suryawanshi, D. G., Sinha, P. M., Nair, M. V., “Evaluation of Adhesives and Supporting Materials for the Process of Lamination of Old Documents”, Restaurator, 17:4, 1996, σελ. 229-237.
- Szczepanowska, H., “Biodeterioration of Art Objects on Paper”, The Paper Conservator, 10, 1986, σελ. 31-39.
- Uyeda, Tanya T., Saito, Kyoko, Inaba, Masamitsu, Okawa, Akinori, “The effect of Cooking Agents on Japanese Paper”, Restaurator, 20:3+4, 1999, σελ. 119-125.
- Valentin, N., Garcia, R., De Luis, O., Maekawa, S., “Microbial Control in Archives, Libraries and Museums by Ventilation Systems”, Restaurator, 19:2, 1998, σελ. 85-107.
- Van Gulik, R., Kersten – Pampiglione, N. E., “A Closer Look at Iron Gall Ink Burn”, Restaurator, 15:3, 1994, σελ.173-187.
- Wachter, W., Liers, J, Becker, E, “Paper Splitting at the German Library in Leipzig – Development from Craftsmanship to Full Mechanization”, Restaurator, 17:1, 1996, σελ.32 - 42.
- Whitmore, P. M., Bogaard, J., “Determination of the Cellulose Scission Route in the Hydrolytic and Oxidative Degradation of Paper”, Restaurator, 15:1, 1994 σελ. 26-45.
- Wittekind. J., “The Battelle Mass Deacidification Process: a New Method for Deacidifying Books and Archival Materials”, Restaurator, 15:4, 1994, σελ. 189-207.

### 3.2. Ελληνική

- Αλεξάνδρου, Ν. Ε., Βάρβογλη, Α. Γ., *Μαθήματα Οργανικής Χημείας*, Θεσσαλονίκη 1981.
- Αναστασοπούλου, Ι., Μοροπούλου, Α., Μπατής, Γ., Δημοτίκαλη, Δ., Κουή, Μ., Μπακόλας, Α, σημειώσεις του ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», *Ενότητα 1.2.3, Μεθοδολογία και Τεχνικές Διάγνωσης: Επίδειξη στο Εργαστήριο του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών - Εργαστηριακές Μέθοδοι – Επί τόπου μη καταστρεπτικές Μέθοδοι – Χρωματόμετρο – Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών, Σημειώσεις Εργαστηρίων, α.χ.*
- Ζιώμας, *Σημειώσεις του μαθήματος 3.1.3: Επιπτώσεις της Ρύπανσης στα Εκθέματα των Μουσείων*, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, α.χ.
- Κούκιος Μ., *Η Παραγωγή Χαρτοπολυτού σε Συνδυασμό με την Παραλαβή Ζυμόσιμων Σακχάρων από τα Ελληνικά Άχυρα*, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1975.
- Μοροπούλου Α, *Σημειώσεις Μαθήματος 3.5.2. του ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Συντήρηση Χαρτιού – Διατήρηση Αρχείων. α.χ.*
- Μοροπούλου Α., Σημειώσεις για τις εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος «Υλικά», 7<sup>ο</sup> Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, *Μη καταστρεπτικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών – εφαρμογή στο εργαστήριο και επί τόπου*, ΕΜΠ, Αθήνα 1996.
- Μοροπούλου Α., Σημειώσεις για το μάθημα «Υλικά Ι», 9<sup>ο</sup> Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, *Φυσικοχημεία της φθοράς και τεχνική της συντήρησης των δομικών υλικών*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1995.
- Μοροπούλου Α., σημειώσεις του ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», *Μεθοδολογία και τεχνική διάγνωσης και χαρτογράφησης της φθοράς*, α.χ.
- Μοροπούλου, Α., *Συντήρηση και διατήρηση των Αρχείων του ΚΚΕ*, Σεμινάριο Επιμόρφωσης Υπαλλήλων των Γενικών Αρχείων του Κράτους, Αθήνα, 10/5 – 21/5/1999.
- Μπούρας, Χ, *Οδηγίες για την σύνταξη επιστημονικών μελετών*, Αθήνα, 1998.
- Οικονομίδης Δ., *Σημειώσεις Μαθήματος Οργανικών Χημικών Βιομηχανιών, Ι. Τεχνολογία Βιομηχανικής Αξιοποίησης των Κυτταρινούχων Φυτικών Υλών*, Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 1987.
- Σαλή Τέση, *Βασικές Αρχές Τήρησης Μουσειακών Συλλογών*, Αθήνα 1988.
- Σιάρδος, Γ., *Μέθοδοι Πολυμεταβλητής Στατιστικής Ανάλυσης, Μέρος Α', Διερεύνηση Σχέσεων Μεταξύ Μεταβλητών*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.

### 3.3. Πρότυπα

ASTM STANDARD D 2244 – 93: Standard Test Method for Calculation of Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates, 1993.

Australian Standard, AS 4390—1996, *Records Management*, Part 6, *Storage*, Appendix C, (<http://www.records.nsw.gov.au/publicsector/rk/storage/app02.htm>).

ISO STANDARDS, Κατάλογος με περιληπτικές αναφορές στις μεθόδους ανάλυσης και ελέγχου χαρτιού και πολτού κατά ISO.  
(<http://www.rpeurope.com/Website/pbanlys.htm>).

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 287: Paper and board – Determination of moisture content – Oven –drying method, 1985.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 302: Pulps - Determination of kappa number, 1981.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 536: Paper and board – Determination of grammage, 1995.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 1924-1: Paper and board – Determination of tensile properties – Part 1: Constant rate of loading method, 1992.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 1924-2: Paper and board – Determination of tensile properties – Part 2: Constant rate of elongation method, 1992.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 1974: Paper – Determination of tearing resistance (Elmendorf method), 1990.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 5626: Paper – Determination of folding endurance, 1993.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 5630-1: Paper and board – Accelerated ageing – Part 1: Dry heat treatment at 105 °C, 1991.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 5630-2: Paper and board – Accelerated ageing – Part 2: Moist heat treatment at 90 °C and 25% relative humidity, 1985.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 5630-3: Paper and board – Accelerated ageing – Part 3: Moist heat treatment at 80 °C and 65% relative humidity, 1996.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 5630-4: Paper and board – Accelerated ageing – Part 4: Dry heat treatment at 120 or 150 °C, 1986.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 5637: Paper and board – Determination of water absorption after immersion in water, 1989.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 6588: Paper, board and pulps – Determination of pH of aqueous extracts, 1981.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-1: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 1: General method, 1990.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-2: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 2: Staining guide, 1990.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-3: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 3: Herzberg staining test, 1990.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-4: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 4: Graff “C” staining test, 1990.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-5: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 5: Lofton-Merritt staining test (modification of Wisbar), 1990.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-6: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 6: Determination of fibre coarseness, 1994.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9184-7: Paper, board and pulps – Fibre furnish analysis – Part 7: Determination of weight factor, 1994.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9197-1: Paper, board and pulps – Determination of water – soluble chlorides, 1989.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 9706: Information and documentation – Paper for documents – Requirements for permanence, 1994.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 10716: Paper and board – Determination of alkali reserve, 1994.

INTERNATIONAL STANDARD: ISO 11108: Information and documentation – Archival paper – Requirements for permanence and durability, 1996.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ -  
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ - ΒΙΒΛΙΑ				
Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΡΧΙΚΑ	Ε - 1909		ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
		ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	2	0	2	1
4	1	1	1	1
5	1	1	2	0
6	1	0	1	2
7	1	1	1	0
8	1	1	1	1
9	1	1	1	1
10	1	0	1	2
ΜΤ	1,10	0,70	1,20	1,00
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,32	0,48	0,42	0,67
CONFIDENCE	0,20	0,30	0,26	0,41
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	1,10± 0,20	0,70± 0,30	1,20± 0,26	1,00± 0,41

Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΡΧΙΚΑ	Ζ - 1944		ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
		ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	
1	3	2	4	2
2	3	2	4	4
3	3	2	4	4
4	3	2	4	4
5	4	2	3	2
6	3	3	3	2
7	3	2	4	5
8	3	2	4	4
9	3	1	5	2
10	3	2	4	4
ΜΤ	3,10	2,00	3,90	3,30
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,32	0,47	0,57	1,16
CONFIDENCE	0,20	0,29	0,35	0,72
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	3,10± 0,20	2,00± 0,29	3,90± 0,35	3,30± 0,72

Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΡΧΙΚΑ	Η - 1956		ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
		ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	
1	5	2	2	3
2	3	2	4	4
3	4	3	4	2
4	3	2	4	5
5	2	3	3	4
6	4	2	2	3
7	4	2	4	3
8	3	2	5	4
9	2	2	4	3
10	3	4	4	4
ΜΤ	3,30	2,40	3,60	3,50
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,95	0,70	0,97	0,85
CONFIDENCE	0,59	0,43	0,60	0,53
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	3,30± 0,59	2,40± 0,43	3,60± 0,60	3,50± 0,53

## ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ – ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΤΟΥ ΚΚΕ

Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΕΙΡΑ Α			
	ΑΡΧΙΚΑ	ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
1	1	1	0	1
2	2	1	1	1
3	1	1	1	0
4	1	1	0	1
5	1	0	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	1	0	1	0
9	1	1	1	1
10	1	0	1	1
ΜΤ	1,10	0,70	0,80	0,80
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,32	0,48	0,42	0,42
CONFIDENCE	0,20	0,30	0,26	0,26
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	1,10± 0,20	0,70± 0,30	0,80± 0,26	0,80± 0,26

Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΕΙΡΑ Β			
	ΑΡΧΙΚΑ	ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
1	1	1	2	2
2	2	1	1	1
3	1	1	2	1
4	1	1	3	1
5	2	1	2	1
6	1	1	1	1
7	1	1	2	1
8	1	1	1	2
9	1	1	2	1
10	1	1	2	1
ΜΤ	1,20	1,00	1,80	1,20
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,42	0,00	0,63	0,42
CONFIDENCE	0,26		0,39	0,26
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	1,20± 0,26	1,00	1,80± 0,39	1,20± 0,26

ΣΕΙΡΑ Γ				
Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΡΧΙΚΑ	ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
1	0,89	0,52	0,60	0,73
2	0,98	0,56	0,59	0,69
3	0,91	0,60	0,56	0,80
4	0,90	0,54	0,59	0,73
5	0,88	0,61	0,55	0,81
6	0,91		0,52	0,61
7	0,89		0,61	0,89
8	0,89		0,54	0,57
9	0,91		0,57	0,84
10				
ΜΤ	0,91	0,57	0,57	0,74
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,03	0,04	0,03	0,11
CONFIDENCE	0,02	0,03	0,02	0,07
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	0,91± 0,02	0,57± 0,03	0,57± 0,02	0,74± 0,07

ΣΕΙΡΑ Δ				
Α/Α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΡΧΙΚΑ	ΓΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΓΗΡ. + ΣΥΝΤ.
1	1,16	1,41	0,99	0,65
2	1,11	1,57	1,14	1,15
3	1,05	1,38	1,22	0,72
4	0,93	1,20	1,07	0,90
5	0,78	1,11	1,06	1,02
6	1,44	1,11	1,12	1,09
7	1,31	1,23	1,10	0,89
8	1,15	1,37		1,14
9	1,31	1,06		1,04
10	1,18	1,48		1,03
ΜΤ	1,14	1,29	1,10	0,96
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,19	0,17	0,07	0,17
CONFIDENCE	0,12	0,11	0,05	0,11
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	1,14± 0,12	1,29± 0,11	1,10± 0,05	0,96± 0,11

Στα δείγματα των σειρών Γ και Δ μετρήθηκε η αντοχή στον εφελκυσμό (Tensile Strength) ενώ σε όλα τα υπόλοιπα η αντοχή στις αναδιπλώσεις (Folding Endurance).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

1909 - Ε																			
σελ.	ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ						
	L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες			L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες			
				L	a	b	L	a	b				L	a	b	L	a	b	
5	87,1	2,7	16,1	86,2	2,5	17,4	85,4	2,6	18,8										
	86,9	2,6	16,3	86,5	2,4	17,0	85,6	2,6	18,6										
	87,3	2,6	15,9	86,4	2,5	17,4	85,8	2,3	18,3										
MT	87,1	2,6	16,1	86,4	2,5	17,3	85,6	2,5	18,6										
25	87,3	2,2	15,3	86,5	2,0	16,7	85,9	2,1	17,7										
	87,5	2,1	15,6	86,4	1,9	16,9	85,9	1,9	17,8										
	87,6	2,1	15,4	86,5	1,9	16,9	86,0	2,1	18,0										
MT	87,5	2,1	15,4	86,5	1,9	16,8	85,9	2,0	17,8										
43	87,4	2,0	15,3	86,3	1,8	16,5	85,8	2,0	17,4										
	87,8	1,8	15,0	86,8	1,6	16,1	86,2	1,7	17,2										
	87,5	2,0	15,3	86,6	1,7	16,4	86,0	1,8	17,4										
MT	87,6	1,9	15,2	86,6	1,7	16,3	86,0	1,8	17,3										
67	88,0	1,8	15,0							88,2	1,2	14,8	88,4	1,1	14,7	87,7	1,3	15,8	
	88,1	1,8	15,0							87,9	1,3	14,7	88,3	1,2	14,9	88,0	1,0	15,7	
	88,3	1,7	14,8							88,6	1,2	14,1	88,0	1,3	15,3	88,1	1,1	15,7	
MT	88,1	1,8	14,9							88,2	1,2	14,5	88,2	1,2	15,0	87,9	1,1	15,7	
85	87,6	2,4	15,8							87,4	1,8	15,4	87,4	1,6	15,8	87,3	1,6	16,4	
	87,5	2,3	15,8							87,7	1,8	15,0	87,4	1,6	15,9	87,4	1,5	16,4	
	87,6	2,4	16,0							87,6	1,8	15,2	87,4	1,6	15,6	87,3	1,6	16,6	
MT	87,6	2,4	15,9							87,6	1,8	15,2	87,4	1,6	15,8	87,3	1,6	16,5	
ΓΕΝΙΚΗ ΜΤ	87,6	2,2	15,5	86,5	2,0	16,8	85,8	2,1	17,9	87,9	1,5	14,9	87,8	1,4	15,4	87,6	1,4	16,1	
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,6	0,4	0,3	0,5	0,5	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	
CONFIDENCE	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	87,6±0,2	2,2±0,2	15,5±0,2	86,5±0,1	2,0±0,2	16,8±0,3	85,8±0,2	2,1±0,2	17,9±0,4	87,9±0,4	1,5±0,3	14,9±0,4	87,8±0,4	1,4±0,2	15,4±0,4	87,6±0,3	1,4±0,2	16,1±0,3	

1944 - Z																		
σελ.	ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
	L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες			L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες		
				L	a	b	L	a	b				L	a	b	L	a	b
17	89,9	1,3	13,0	89,7	1,0	14,9	89,1	1,2	15,1									
	90,0	1,1	13,6	89,2	1,1	14,7	88,9	1,3	15,3									
	90,1	1,2	12,9	89,3	1,1	14,5	89,0	1,3	15,3									
	90,0	1,2	13,0	89,1	1,1	14,6	88,6	1,4	15,6									
	90,0	1,2	13,4	88,9	1,2	14,9	88,4	1,4	15,8									
	89,6	1,3	13,4															
MT	89,9	1,2	13,2	89,2	1,1	14,7	88,8	1,3	15,4									
51	90,3	0,9	12,6	89,5	0,9	14,8	89,3	1,0	15,2									
	90,2	0,9	13,0	89,3	1,0	14,6	89,1	1,0	15,1									
	90,3	0,8	12,4	89,6	0,8	14,3	89,3	0,9	14,8									
	90,4	0,9	12,6	89,5	0,8	14,3	89,1	1,0	14,9									
	90,4	1,0	12,6	89,5	0,8	14,2	89,2	0,9	14,9									
	90,2	0,9	12,7															
MT	90,3	0,9	12,7	89,5	0,9	14,4	89,2	1,0	15,0									
81	90,0	1,1	12,4							90,4	1,0	12,9	90,7	0,7	13,8	90,6	0,8	14,1
	90,1	1,0	13,6							90,2	0,9	13,0	90,0	0,7	14,1	90,6	0,8	13,9
	90,1	1,0	13,0							90,4	0,9	12,5	90,6	0,8	13,7	90,4	0,8	13,9
	90,7	1,1	13,4							90,3	1,0	12,8	90,6	0,8	13,3	90,4	0,8	13,9
	89,6	1,1	13,0							89,9	0,8	13,3	90,6	0,7	13,4	90,2	0,8	14,0
	89,8	1,1	13,0															
MT	90,1	1,1	13,1							90,2	0,9	12,9	90,5	0,7	13,7	90,4	0,8	14,0
113	89,7	1,1	13,9							90,2	1,0	13,0	90,3	0,8	13,4	90,5	0,8	13,5
	89,9	0,9	13,4							90,5	0,9	12,6	90,5	0,7	13,2	90,5	0,9	13,9
	90,0	0,8	13,2							90,3	0,8	12,8	90,5	0,6	13,0	90,5	0,7	13,7
	90,0	0,8	13,3							90,2	0,9	12,7	90,3	0,7	13,3	90,5	0,7	13,7
	89,9	0,9	13,2							90,0	0,8	13,1	90,2	0,7	13,4	90,3	0,9	13,8
	89,8	0,9	13,3															
MT	89,9	0,9	13,4							90,2	0,9	12,8	90,4	0,7	13,3	90,5	0,8	13,7
ΓΕΝΙΚΗ ΜΤ	90,0	1,0	13,1	89,4	1,0	14,6	89,0	1,1	15,2	90,2	0,9	12,9	90,4	0,7	13,5	90,5	0,8	13,8
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,3	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2
CONFIDENCE	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	90,0±01	1,0±01	13,1±0,2	89,4±0,2	1,0±0,1	14,6±0,2	89,0±0,2	1,1±0,1	15,2±0,2	90,2±0,1	0,9±0,1	12,9±0,1	90,4±0,1	0,7±0,0	13,5±0,2	90,5±0,1	0,8±0,0	13,8±0,1

1956 - Η																		
σελ.	ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
	L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες			L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες		
				L	a	b	L	a	b				L	a	b	L	a	b
1 εκτός αρ.	93,3	-0,5	13,4	93,3	-0,3	14,1	92,6	-0,1	14,4									
2 εκτός αρ.	93,7	-0,4	13,8	93,0	-0,4	14,7	92,8	-0,2	14,3									
65	93,1	-0,1	15,3	92,9	0,0	15,0	92,5	-0,1	15,2									
	93,1	0,1	15,1	92,5	0,2	15,6	92,3	0,0	15,3									
	93,4	0,0	15,0	92,5	0,1	15,7	92,3	-0,1	15,8									
MT	93,2	0,0	15,1	92,6	0,1	15,4	92,4	-0,1	15,4									
107	93,0	0,0	14,6	93,0	-0,1	15,2	92,6	-0,1	15,2									
	93,0	0,0	14,6	92,4	0,2	15,3	92,2	-0,1	15,7									
	93,1	0,1	15,0	92,7	0,4	15,6	92,5	0,1	15,9									
MT	93,0	0,0	14,7	92,7	0,2	15,4	92,4	0,0	15,6									
175	93,2	-0,1	14,8							93,2	0,0	12,8	93,4	-0,2	12,5	92,4	-0,3	12,6
	93,3	-0,3	14,9							93,1	-0,1	12,9	93,1	-0,3	12,8	93,2	-0,4	13,0
	93,5	-0,3	14,7							92,8	0,0	13,6	92,9	0,0	13,2	93,0	-0,1	13,4
MT	93,3	-0,2	14,8							93,0	0,0	13,1	93,1	-0,2	12,8	92,9	-0,3	13,0
237	93,5	-0,2	14,1							92,5	0,3	13,3	92,9	0,1	12,4	92,9	-0,1	12,9
	93,3	-0,3	14,1							92,2	0,2	13,6	92,7	0,0	12,8	92,8	-0,1	13,2
	93,1	0,0	14,7							92,4	0,3	14,0	92,9	0,0	13,3	92,7	-0,1	13,2
	93,1	-0,1	14,5							92,3	0,2	14,0	92,7	0,1	13,4	92,7	0,0	13,3
MT	93,3	-0,2	14,4							92,4	0,3	13,7	92,8	0,1	13,0	92,8	-0,1	13,2
περιεχ.	93,3	-0,3	15,0							92,8	0,1	13,2	93,1	-0,1	12,6	92,9	-0,3	12,9
	93,1	-0,2	14,9							92,7	0,1	13,4	92,9	-0,1	12,6	92,9	-0,3	12,8
	93,0	-0,2	15,1							92,6	0,1	13,2	93,1	0,0	13,0	92,9	-0,2	12,8
MT	93,1	-0,2	15,0							92,7	0,1	13,3	93,0	-0,1	12,7	92,9	-0,3	12,8
ΓΕΝΙΚΗ ΜΤ	93,2	-0,2	14,6	92,8	0,0	15,2	92,5	-0,1	15,2	92,7	0,1	13,4	93,0	-0,1	12,9	92,8	-0,2	13,0
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,5	0,2	0,1	0,6	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,3
CONFIDENCE	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.	93,2±0,1	-0,2±0,1	14,6±0,2	92,8±0,2	0,0±0,2	15,2±0,4	92,5±0,1	-0,1±0,1	15,2±0,4	92,7±0,2	0,1±0,1	13,4±0,3	93,0±0,1	-0,1±0,1	12,9±0,2	92,8±0,1	-0,2±0,1	13,0±0,2







ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΚΕ – Α (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)																					
ΦΥΛΛΟ		ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ							
					3 ημέρες			6 ημέρες						3 ημέρες				6 ημέρες			
		L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b		
7	α	77,3	3,7	22,4							77,7	3,6	23,5	78,4	3,9	23,9	78,1	4,0	24,7		
		77,2	3,6	22,3							77,7	3,7	23,5	78,4	3,9	23,9	78,0	4,1	24,9		
		77,3	3,6	22,1							77,3	3,9	24,0	78,3	3,7	24,0	77,1	4,7	25,6		
		77,0	4,0	22,6							77,3	3,9	24,1	78,3	3,8	22,9	77,9	4,1	25,0		
		77,3	3,7	22,1							77,5	3,9	23,9	78,2	3,9	24,1	78,2	4,1	24,5		
ΜΤ		77,2	3,7	22,3							77,5	3,8	23,8	78,3	3,8	23,8	77,9	4,2	24,9		
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,2	0,2							0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,5	0,4	0,3	0,4		
CONFIDENCE		0,1	0,1	0,2							0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,4	0,2	0,4		
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		77,2±0,1	3,7±0,1	22,3±0,2							77,5±0,2	3,8±0,1	23,8±0,2	78,3±0,1	3,8±0,1	23,8±0,4	77,9±0,4	4,2±0,2	24,9±0,4		
7	β	79,8	2,7	19,5							80,1	3,1	22,0	80,5	3,1	22,7	80,3	3,4	23,1		
		79,8	2,7	19,4							80,1	2,9	22,2	80,6	3,0	22,9	80,4	3,3	23,1		
		79,6	2,8	19,3							80,0	3,1	22,0	80,6	3,1	22,8	80,2	3,3	23,1		
		79,5	2,8	19,2							80,0	3,2	22,0	80,6	3,1	22,7	80,2	3,2	23,2		
		79,5	2,8	19,2							80,1	3,1	22,1	80,7	3,1	22,6	80,2	3,4	22,9		
ΜΤ		79,6	2,8	19,3							80,1	3,1	22,1	80,6	3,1	22,8	80,3	3,3	23,1		
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,2	0,1	0,1							0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1		
CONFIDENCE		0,1		0,1								0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1		
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		79,6±0,1	2,8	19,3±0,1							80,1	3,1±0,1	22,1±0,1	80,6±0,1	3,1	22,8±0,1	80,3±0,1	3,3±0,1	23,1±0,1		



ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΚΕ – Β (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)																			
ΦΥΛΛΟ		ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
					3 ημέρες			6 ημέρες						3 ημέρες			6 ημέρες		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
5	α	83,0	2,5	19,3							81,4	2,6	21,2						
		83,0	2,5	19,4							81,4	2,6	21,3						
		83,0	2,4	19,4							81,5	2,6	21,4						
		83,0	2,6	19,2							81,5	2,6	21,3						
		82,9	2,5	19,4							81,7	2,8	21,2						
		83,0	2,5	19,3							81,5	2,6	21,3						
		0,0	0,1	0,1							0,1	0,1	0,1						
			0,1	0,1							0,1	0,1	0,1						
		83,0	2,5±0,1	19,3±0,1							81,5±0,1	2,6±0,1	21,3±0,1						
5	β	73,2	2,2	15,9							74,3	4,2	18,7						
		73,1	2,3	15,8							74,3	4,1	19,0						
		73,2	2,2	15,9							74,3	4,1	18,8						
		73,2	2,2	16,0							74,3	4,2	18,8						
		73,3	2,2	16,0							74,2	4,3	18,8						
		73,2	2,2	15,9							74,3	4,2	18,8						
		0,1	0,0	0,1							0,0	0,1	0,1						
		0,1		0,1							0,1	0,1	0,1						
		73,2±0,1	2,2	15,9±0,1							74,3	4,2±0,1	18,8±0,1						
6	α	85,0	1,8	17,5							84,3	1,9	18,6						
		85,1	1,6	17,7							84,3	1,9	18,6						
		85,0	1,8	17,6							84,2	1,9	18,5						
		85,0	1,8	17,6							84,3	2,0	18,5						
		85,1	1,7	17,6							84,2	1,9	18,7						
		85,0	1,7	17,6							84,3	1,9	18,6						
		0,1	0,1	0,1							0,1	0,0	0,1						
			0,1	0,1									0,1						
		85,0	1,7±0,1	17,6±0,1							84,3	1,9	18,6±0,1						
6	β	77,9	1,5	14,7							78,0	3,5	17,5						
		77,8	1,6	14,6							78,1	3,4	17,4						
		77,8	1,6	14,6							78,2	3,4	17,3						
		77,8	1,5	14,6							78,1	3,4	17,4						
		77,8	1,6	14,5							78,1	3,4	17,3						
		77,8	1,6	14,6							78,1	3,4	17,4						
		0,0	0,1	0,1							0,1	0,0	0,1						
				0,1							0,1		0,1						
		77,8	1,6	14,6±0,1							78,1±0,1	3,4	17,4±0,1						

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΚΕ – Β (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)																			
ΦΥΛΛΟ		ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
		L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες			L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες		
					L	a	b	L	a	b				L	a	b	L	a	b
7	α	81,0	1,9	18,9							80,4	2,1	20,4	80,8	2,3	21,5	80,6	2,6	21,9
		81,0	2,1	18,7							80,4	2,2	20,3	80,8	2,3	21,5	80,5	2,6	21,9
		81,0	2,0	18,8							80,3	2,3	20,4	80,8	2,3	21,4	80,5	2,5	21,8
		81,1	2,0	18,7							80,3	2,2	20,4	80,8	2,3	21,4	80,6	2,5	21,9
		81,0	2,0	18,7							80,3	2,2	20,4	80,8	2,2	21,5	80,6	2,5	21,9
MT		81,0	2,0	18,8						80,3	2,2	20,4	80,8	2,3	21,5	80,6	2,5	21,9	
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,0	0,1	0,1						0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	
CONFIDENCE			0,1	0,1							0,1								
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		81,0	2,0±0,1	18,8±0,1						80,3	2,2±0,1	20,4	80,8	2,3	21,5	80,6	2,5	21,9	
7	β	73,7	3,0	17,6							75,7	3,9	19,8	75,9	3,4	20,4	75,5	3,4	20,4
		73,9	3,0	17,4							75,7	4,0	19,8	75,9	3,4	20,5	75,4	3,5	20,4
		73,9	3,0	17,6							75,7	3,8	19,9	75,9	3,4	20,4	75,6	3,5	20,7
		73,9	2,9	17,5							75,7	3,9	19,9	75,9	3,4	20,5	75,4	3,4	20,4
		73,8	3,1	17,6							75,7	3,9	19,7	75,7	3,5	20,6	75,6	3,3	20,5
MT		73,8	3,0	17,5						75,7	3,9	19,8	75,9	3,4	20,5	75,5	3,4	20,5	
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,1	0,1						0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	
CONFIDENCE		0,1	0,1	0,1							0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1		
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		73,8±0,1	3,0±0,1	17,5±0,1						75,7	3,9±0,1	19,8±0,1	75,9±0,1	3,4	20,5±0,1	75,5±0,1	3,4±0,1	20,5±0,1	
8	α	82,9	2,4	18,7							81,1	2,6	20,5	81,7	2,5	21,1	81,2	2,8	21,7
		83,0	2,3	18,7							81,1	2,5	20,5	81,7	2,5	21,2	81,3	2,8	21,7
		82,9	2,3	18,8							81,1	2,5	20,5	81,6	2,5	21,5	81,3	2,8	21,6
		82,9	2,3	18,7							81,2	2,5	20,4	81,6	2,4	21,5	81,2	2,8	21,7
		82,9	2,3	18,7							81,1	2,6	20,4	81,6	2,4	21,4	81,1	2,9	21,7
MT		82,9	2,3	18,7						81,1	2,5	20,5	81,6	2,5	21,3	81,2	2,8	21,7	
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,0	0,0	0,0						0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	
CONFIDENCE														0,2	0,1				
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		82,9	2,3	18,7						81,1	2,5	20,5	81,6	2,5	21,3±0,2	81,2±0,1	2,8	21,7	
8	β	76,1	1,5	15,3							74,0	4,0	18,1	74,2	3,4	18,4	73,7	3,2	18,6
		76,2	1,6	15,3							74,0	4,1	18,0	74,3	3,2	18,4	73,7	3,2	18,7
		76,3	1,5	15,4							74,1	4,0	18,0	74,2	3,3	18,4	73,8	3,4	18,5
		76,2	1,5	15,3							74,1	4,1	17,9	73,9	3,3	18,4	73,9	3,4	18,5
		76,0	1,5	15,4							74,1	4,1	18,0	73,8	3,4	18,4	73,6	3,4	18,8
MT		76,2	1,5	15,3						74,1	4,1	18,0	74,1	3,3	18,4	73,7	3,3	18,6	
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,0	0,1						0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	
CONFIDENCE		0,1										0,1	0,2	0,1		0,1	0,1		
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		76,2±0,1	1,5	15,3						74,1	4,1	18,0±0,1	74,1±0,2	3,3±0,1	18,4	73,7±0,1	3,3±0,1	18,6±0,1	



ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΚΕ – Δ (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)																		
ΦΥΛΛΟ	ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
	L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες			L	a	b	3 ημέρες			6 ημέρες		
				L	a	b	L	a	b				L	a	b	L	a	b
5	α	78,3	1,1	19,8							78,1	1,7	21,6					
		78,2	1,1	19,9							77,4	1,5	21,5					
		78,3	1,2	19,8							77,6	1,2	21,4					
		78,4	1,2	20,0							77,8	1,4	21,0					
		78,3	1,1	19,9							77,7	1,4	21,4					
ΜΤ		78,3	1,1	19,9						77,7	1,4	21,4						
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,1	0,1						0,3	0,2	0,2						
CONFIDENCE		0,1		0,1						0,2	0,2	0,2						
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		78,3±0,1	1,1	19,9±0,1						77,7±0,2	1,4±0,2	21,4±0,2						
5	β	80,6	-0,8	17,5							79,3	0,8	18,8					
		80,5	-0,8	17,8							79,3	0,5	19,0					
		80,3	-0,6	17,8							79,3	0,6	18,9					
		80,3	-0,8	17,9							79,4	0,6	19,0					
		80,4	-0,8	17,7							79,4	0,5	19,1					
ΜΤ		80,4	-0,8	17,7						79,3	0,6	19,0						
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,1	0,2						0,1	0,1	0,1						
CONFIDENCE		0,1		0,1							0,1	0,1						
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		80,4±0,1	-0,8±0,1	17,7±0,1						79,3	0,6±0,1	19,0±0,1						
6	α	79,6	-3,7	13,3							80,2	-2,1	16,9					
		79,7	-3,5	13,4							80,0	-2,2	16,7					
		80,2	-3,5	13,9							79,5	-2,4	16,3					
		78,9	-3,7	12,7							78,6	-2,5	15,5					
		79,5	-3,5	13,2							80,0	-2,2	16,7					
ΜΤ		79,6	-3,6	13,3						79,7	-2,3	16,4						
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,5	0,1	0,4						0,6	0,2	0,6						
CONFIDENCE		0,4		0,4						0,6	0,1	0,5						
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		79,6±0,4	-3,6±0,1	13,3±0,4						79,7±0,6	-2,3±0,1	16,4±0,5						
6	β	79,5	-2,7	15,0							78,9	-1,6	18,2					
		79,2	-2,7	14,8							78,9	-1,7	18,3					
		79,3	-2,7	14,9							78,8	-1,6	18,2					
		79,3	-2,9	15,1							78,8	-1,7	18,3					
		79,3	-2,9	15,1							78,8	-1,6	18,0					
ΜΤ		79,3	-2,8	15,0						78,8	-1,6	18,2						
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,1	0,1						0,1	0,1	0,1						
CONFIDENCE		0,1		0,1								0,1						
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		79,3±0,1	-2,8±0,1	15,0±0,1						78,8	-1,6	18,2±0,1						

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΚΕ – Δ (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)																			
ΦΥΛΛΟ		ΑΡΧΙΚΑ			ΓΗΡΑΝΣΗ						ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΓΗΡΑΝΣΗ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
					3 ημέρες			6 ημέρες						3 ημέρες			6 ημέρες		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
7	α	80,1	0,0	20,9							78,6	2,1	24,0	78,5	2,7	24,7	78,6	3,1	25,4
		80,0	0,0	20,9							78,5	2,2	24,2	78,7	2,8	24,7	78,6	3,2	25,2
		79,9	0,1	20,7							78,5	2,1	24,1	78,7	2,8	24,7	78,7	3,1	25,2
		79,9	0,0	21,0							78,6	2,0	23,9	78,9	2,9	24,5	78,6	3,2	25,3
		79,9	0,0	20,9							78,5	2,0	23,9	79,0	2,8	24,5	78,8	3,1	25,3
ΜΤ		80,0	0,0	20,9							78,5	2,1	24,0	78,8	2,8	24,6	78,7	3,1	25,3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,0	0,1							0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CONFIDENCE		0,1		0,1							0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1		0,1
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		80,0±0,1	0,0	20,9±0,1							78,5	2,1±0,1	24,0±0,1	78,8±0,2	2,8±0,1	24,6±0,1	78,7±0,1	3,1	25,3±0,1
7	β	68,8	2,1	18,8							69,5	5,5	23,5	69,1	5,5	23,6	68,9	5,0	23,4
		68,7	2,2	18,8							68,9	5,4	23,5	69,2	5,4	23,5	68,9	5,1	23,3
		68,4	2,3	18,9							69,5	5,4	23,5	69,3	5,2	23,6	69,0	5,1	23,3
		68,7	2,3	18,8							69,5	5,4	23,5	69,5	5,2	23,4	69,2	5,0	23,4
		68,5	2,1	19,0							69,3	5,6	23,5	69,0	5,5	23,5	69,2	5,1	23,3
ΜΤ		68,6	2,2	18,9							69,3	5,5	23,5	69,2	5,4	23,5	69,0	5,1	23,3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,2	0,1	0,1							0,3	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
CONFIDENCE		0,1	0,1	0,1							0,2	0,1		0,2	0,1	0,1	0,1		
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		68,6±0,1	2,2±0,1	18,9±0,1							69,3±0,2	5,5±0,1	23,5	69,2±0,2	5,4±0,1	23,5±0,1	69,0±0,1	5,1	23,3
8	α	80,2	-0,3	17,2							79,5	0,9	19,3	79,8	1,7	20,7	80,8	2,1	21,9
		80,3	-0,3	17,0							79,5	0,9	19,4	79,9	1,7	21,0	80,2	2,1	22,2
		80,3	-0,4	17,2							79,5	0,9	19,4	79,7	1,8	21,0	80,6	1,9	22,6
		80,4	-0,4	17,5							79,6	0,8	19,3	80,0	1,7	20,8	80,2	2,1	22,3
		80,4	-0,2	17,3							79,5	0,9	19,5	79,5	1,5	20,8	79,9	2,1	21,9
ΜΤ		80,3	-0,3	17,2							79,5	0,9	19,4	79,8	1,7	20,9	80,3	2,1	22,2
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,1	0,2							0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3
CONFIDENCE		0,1	0,1	0,2									0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		80,3±0,1	-0,3±0,1	17,2±0,2							79,5	0,9	19,4±0,1	79,8±0,2	1,7±0,1	20,9±0,1	80,3±0,3	2,1±0,1	22,2±0,3
8	β	73,7	2,1	19,6							73,3	4,6	23,2	74,0	5,3	24,1	73,5	5,1	24,4
		73,5	2,2	19,3							73,4	4,5	23,1	73,8	5,0	23,9	73,6	5,0	24,5
		73,4	2,2	19,2							73,6	4,4	23,2	73,7	5,2	24,0	73,6	4,9	24,3
		73,5	2,2	19,7							73,6	4,3	23,2	73,9	5,0	23,8	73,4	4,9	24,1
		73,4	2,3	19,5							73,0	4,6	23,3	73,7	4,9	23,9	73,2	4,8	24,1
ΜΤ		73,5	2,2	19,5							73,4	4,5	23,2	73,8	5,1	23,9	73,5	4,9	24,3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.		0,1	0,1	0,2							0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
CONFIDENCE		0,1	0,1	0,2							0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
ΔΙΑΣΤ.ΕΜΠ.		73,5±0,1	2,2±0,1	19,5±0,2							73,4±0,2	4,5±0,1	23,2±0,1	73,8±0,1	5,1±0,1	23,9±0,1	73,5±0,1	4,9±0,1	24,3±0,2

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα Microsoft Excel 97. Για τον υπολογισμό της Μέσης Τιμής (MT) χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση AVERAGE(). Για τον υπολογισμό της Τυπικής Απόκλισης η συνάρτηση STDEV() και για το Διάστημα Εμπιστοσύνης (CONFIDENCE) η συνάρτηση CONFIDENCE().

Όταν το Διάστημα εμπιστοσύνης στα αποτελέσματα της χρωματομετρίας είναι μικρότερο από το 0,1 δεν αναφέρεται, γιατί είναι μικρότερο από την ευαισθησία του χρωματομέτρου (0,1).

Στα αποτελέσματα της χρωματομετρίας, στα βιβλία που δεν ανήκουν στο ΚΚΕ, η Γενική Μέση Τιμή έχει ληφθεί από το σύνολο των μετρήσεων και όχι από τις μερικές Μέσες Τιμές.

Για τον υπολογισμό του διαστήματος εμπιστοσύνης λήφθηκε ως επίπεδο εμπιστοσύνης το 95%.