

Μηχανισμοί και Τυπολογία της Φθοράς του Χαρτιού

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ & ΒΙΒΛΙΩΝ II

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ

- ✘ Με τον όρο μηχανισμοί φθοράς, αναφερόμαστε στις διεργασίες που συντελούν στη χημική αλλοίωση και ως εκ τούτου στη βαθμιαία δομική και αισθητική υποβάθμιση των χάρτινων αντικειμένων. Οι μηχανισμοί φθοράς ενεργοποιούνται και επιταχύνονται από πλήθος ενδογενών και εξωγενών παραγόντων.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ

✘ Οι βασικοί μηχανισμοί χημικής αλλοίωσης του χαρτιού είναι οι εξής:

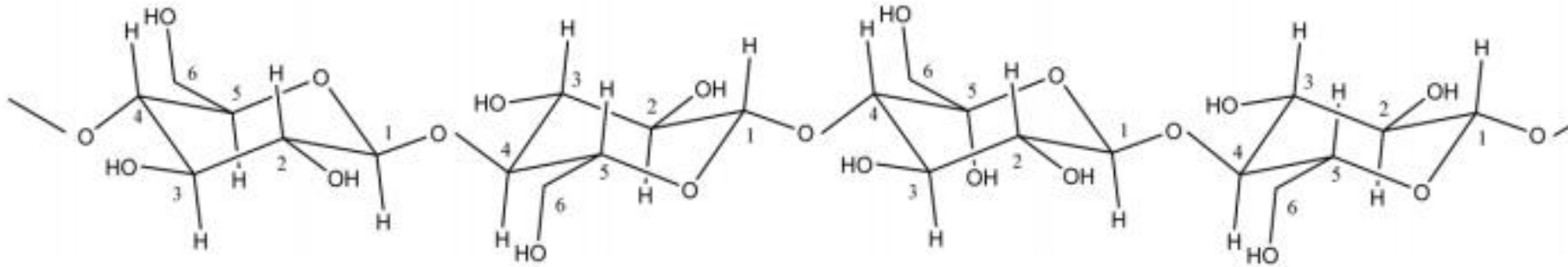
- Η υδρόλυση της κυτταρίνης
- Η οξείδωση (των υδροξυλίων) της κυτταρίνης

Η υδρόλυση και η οξείδωση μπορεί να προέρχονται ή να ενισχύονται από διαφορετικούς παράγοντες και να εκκινούν ανεξάρτητα, όμως σε μεταγενέστερα στάδια δρουν, όχι μόνο παράλληλα, αλλά και συμπληρωματικά, ειδικά η δεύτερη προς την πρώτη.

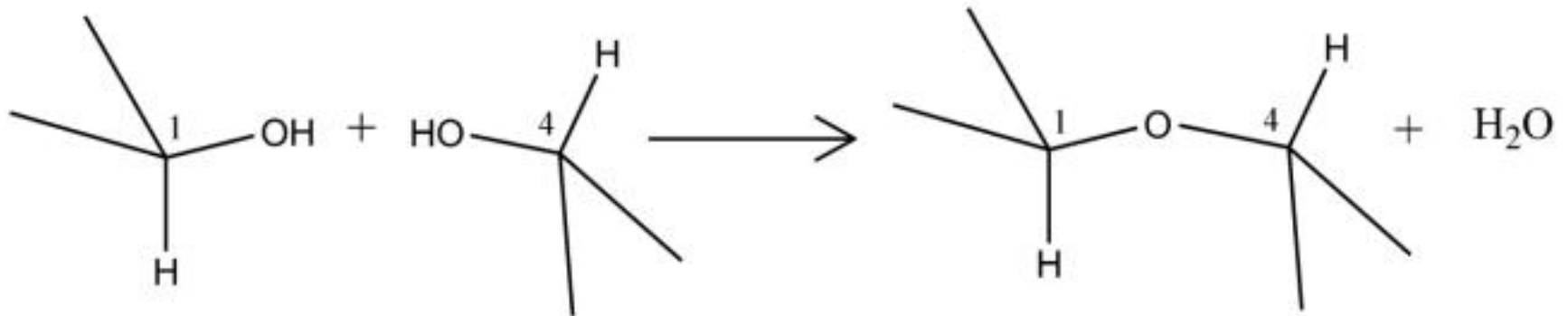
ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

- ✘ Η υδρόλυση της κυτταρίνης συνίσταται στη διάσπαση των γλυκοζιτικών δεσμών που συνδέουν τα μόρια γλυκόζης, δηλαδή στον σταδιακό αποπολυμερισμό των μακρομορίων της κυτταρίνης.
- ✘ Διακρίνεται, με βάση τις ουσίες που την καταλύουν, σε όξινη, αλκαλική και ενζυματική.

ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ



Εικόνα 1.14 Μακρομόριο κυτταρίνης. Η κυτταρίνη θεωρείται ότι προκύπτει από n μόρια β -γλυκόζης $C_6H_{12}O_6$ που συνδέονται μεταξύ τους με $1 \rightarrow 4$ β γλυκοζιτικούς δεσμούς με ταυτόχρονη απόσπαση $n-1$ μορίων νερού.



Η υδρόλυση της κυτταρίνης είναι η αντίστροφη διαδικασία από την εικονιζόμενη δημιουργία του γλυκοζιτικού δεσμού, δηλαδή η διάσπασή του με την πρόσληψη ενός μορίου νερού για κάθε διασπώμενο δεσμό.

ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

- ✘ Η - μερική έστω - υδρόλυση της κυτταρίνης είναι μια αναπόφευκτη διαδικασία κατά τη φυσική γήρανση του χαρτιού. Με βάση τους παράγοντες που την καταλύουν, και επομένως την επιταχύνουν, διακρίνεται σε όξινη, αλκαλική και ενζυματική υδρόλυση.
- ✘ Η επίδραση της υδρόλυσης και η ανθεκτικότητα ή μη του χαρτιού σε αυτή, γενικά εξαρτάται από ενδογενή χαρακτηριστικά (ποιότητα πρώτης ύλης και μέθοδος κατασκευής, βαθμός κρυσταλλικότητας κυτταρίνης, κλπ.) και εξωγενείς παράγοντες (περιβαλλοντικές συνθήκες, συνθήκες φύλαξης και μεταχείρισης).

ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

- ✘ Η όξινη υδρόλυση είναι η επικρατέστερη και με τις σοβαρότερες συνέπειες στην υποβάθμιση της κατάστασης διατήρησης του χαρτιού.
- ✘ Προκαλείται κυρίως από τη δράση ανόργανων οξέων και ευνοείται από την υψηλή υγρασία και υψηλή θερμοκρασία.
- ✘ Επιδρά πρωτίστως στις άμορφες περιοχές των ινών κυτταρίνης.
- ✘ Όταν έχει προχωρήσει σημαντικά, μειώνει τις μηχανικές αντοχές και την ελαστικότητα του χαρτιού. Ένα χαρτί που έχει υποστεί εκτεταμένη όξινη υδρόλυση είναι ψαθυρό και συνήθως χρωματικά αλλοιωμένο.

ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

Η οξείδωση του χαρτιού προκαλείται από την επίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου ή άλλων οξειδωτικών μέσων (π.χ. λευκαντικές ουσίες).

Συνίσταται στην οξείδωση των ομάδων υδροξυλίου (-OH) της κυτταρίνης σε αλδεϋδομάδες (-CH=O) και κετονομάδες (>C=O) ή καρβοξυλομάδες (-COOH).

Συνοδεύεται συνήθως από χρωματικές αλλοιώσεις, διάσπαση της αλυσίδας της κυτταρίνης και απόσπαση μικρότερων μορίων. Πολλά από αυτά έχουν όξινη δράση, ενισχύοντας την όξινη υδρόλυση.

ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

- ✘ Η οξείδωση της κυτταρίνης ευνοείται από την επίδραση του φωτός και άλλων ακτινοβολιών, το αλκαλικό περιβάλλον, καθώς και την παρουσία ιόντων μετάλλων μετάπτωσης (π.χ. Fe ή Cu) που καταλύουν την αντίδραση. Αυτά, όπως και άλλες οξειδωτικές ουσίες, μπορεί να βρίσκονται ενδογενώς στο χαρτί από τη διαδικασία κατασκευής του (ακατάλληλο νερό ή άλλα πρόσθετα).

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ

- ✘ Άλλοι μηχανισμοί που δρουν ενισχυτικά ή και συμπληρωματικά στους προηγούμενους είναι:
- ✘ Το φως και οι ακτινοβολίες. Δρουν κυρίως ενισχυτικά προς την οξειδωση. Σε μικρότερο βαθμό προκαλούν και τον αποπολυμερισμό της κυτταρίνης.
- ✘ Η θερμότητα. Οι υψηλές θερμοκρασίες γενικά επιταχύνουν τις αντιδράσεις, είτε της οξειδωσης είτε της υδρόλυσης, προκαλώντας πρόωρη γήρανση του χαρτιού. Η αρνητική επίδραση γίνεται εντονότερη όταν συνδυάζεται με συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ

- ✘ Με τον όρο τυπολογία της φθοράς εννοούμε τα αποτελέσματα της ενεργοποίησης ενός ή περισσότερων μηχανισμών φθοράς ή της δράσης άλλων εξωγενών φθοροποιών παραγόντων, όπως αυτά γίνονται αντιληπτά με απλή εξέταση-παρατήρηση ή με μετρήσεις με ειδικά όργανα. Η έγκαιρη επισήμανσή των γνωρισμάτων της είναι σημαντική για την επιλογή των ενδεδειγμένων ενεργειών που θα εξυγιάνουν, θα επιβραδύνουν την εξέλιξη της φθοράς και θα επιμηκύνουν το χρόνο ζωής του αντικειμένου.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ

- ✘ **Αλλοίωση και υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του χαρτιού** (μείωση ελαστικότητας, ψαθυρότητα, μειωμένη αντοχή στις αναδιπλώσεις, κλπ).
- Είναι αποτέλεσμα αποπολυμερισμού της κυτταρίνης που γενικά οφείλεται σε υδρόλυση (συνήθως όξινη), οξειδωση ή συνδυασμό αυτών.
- Μπορεί να οφείλεται σε φυσιολογική γήρανση χαρτιού χαμηλής ποιότητας με ενδογενή ελαττώματα, αλλά πολλές φορές επιδρούν και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες όπως:
 - Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε αστικά περιβάλλοντα.
 - Οι ακατάλληλες συνθήκες φύλαξης.
 - Λανθασμένοι χειρισμοί ή παλαιότερες ακατάλληλες επεμβάσεις συντήρησης.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ

- ✘ **Χρωματικές αλλοιώσεις:** Ανεπιθύμητες μεταβολές χρώματος που εκδηλώνονται είτε ως συνολική ομοιόμορφη αλλαγή (κιτρίνισμα) είτε με μορφή λεκέδων και στιγμάτων. Σε αυτές περιλαμβάνονται:
 - Χρωματική αλλοίωση λόγω οξειδωσης (φωτοοξειδωση ή/και αυτοοξειδωση) της κυτταρίνης και της λιγνίνης.
 - Λεκέδες από έγχρωμα υγρά και ίχνη μερικής διαβροχής από νερό ή διαφανείς διαλύτες.
 - Έγχρωμοι λεκέδες που οφείλονται σε βιολογική δραστηριότητα.
 - Αλωπεκίαση.

ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ



Λεκέδες μερικής διαβροχής από νερό. Στα όρια της βρεγμένης με τη στεγνή επιφάνεια κυρίως, παράγονται έγχρωμα προϊόντα οξείδωσης της ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ.



Λεκέδες σε χαρτί προσβεβλημένο από μύκητες

ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΑΠΟ ΜΥΚΗΤΕΣ

- ✘ Ένα από τα συνηθέστερα είδη φθοράς που ευνοείται από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας.
- ✘ Οι μύκητες τρέφονται από την κυτταρίνη και τις αμυλούχες ή/και πρωτεϊνικές κόλλες και παράγουν μεταβολικά προϊόντα που αφενός προκαλούν χρωματικές αλλοιώσεις, αφετέρου δρουν καταλυτικά στην ενζυματική υδρόλυση της κυτταρίνης.

ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΑΠΟ ΜΥΚΗΤΕΣ

(Συνθήκες που τους ευνοούν)

Μικροοργανισμός	Θερμακρασία (°)			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%

ΑΛΩΠΕΚΙΑΣΗ (foxing)



ΑΛΩΠΕΚΙΑΣΗ (foxing)

- ✘ Εμφανίζεται με τη μορφή στιγμάτων κίτρινου έως καφέ χρώματος.
- ✘ Ο μηχανισμός δημιουργίας τους διχάζει τους επιστήμονες, με τις δύο βασικές ερμηνείες να την αποδίδουν είτε σε δράση μυκήτων, είτε σε επιταχυνόμενη οξείδωση που καταλύεται από την παρουσία μετάλλων, κυρίως ιόντων σιδήρου.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΑΝΗ ΣΙΔΗΡΟΥ

- ✘ Μερικές συνθέσεις της μελάνης σιδήρου (μεταλλογαλλικής μελάνης), προκαλούν σοβαρή διάβρωση του χαρτιού με ιδιαίτερα καταστρεπτικά αποτελέσματα.
- ✘ Εμφανίζεται στα αρχικά στάδια ως ξεθώριασμα του χρώματος, εμφάνιση του κειμένου στην πίσω πλευρά του φύλλου και δημιουργία άλω. Ακολουθεί η ψαθυροποίηση και ολοκληρωτική καταστροφή-απώλεια του χαρτιού πάνω στα σημεία της γραφής.
- ✘ Θεωρείται ότι αποτελεί το συνδυαστικό αποτέλεσμα όξινης υδρόλυσης από την υψηλή οξύτητα του μελανιού και οξειδωσης που καταλύεται από τα ιόντα σιδήρου.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΑΝΗ ΣΙΔΗΡΟΥ

Y HIS EXCELLENCY
LORD

Provinciale, buono
per
P. Diullo
P. Solini

Handwritten text with a large, dark, irregular stain obscuring a portion of the script.

Handwritten text with a large, dark, irregular stain obscuring a portion of the script.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΦΘΟΡΑΣ (άλλοι τύποι)

- ✘ Μηχανική φθορά (απώλειες, σχισίματα, κλπ προερχόμενα από κακό χειρισμό).
- ✘ Προσβολή από έντομα και τρωκτικά: Σε χώρους που παραμελείται η καθαριότητα και η συχνή εποπτεία εμφανίζονται έντομα και τρωκτικά που τρέφονται από το χαρτί και τις οργανικές κόλλες των βιβλίων, ενώ λερώνουν με τις εκκρίσεις και τα περιττώματά τους.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΦΘΟΡΑΣ



Προσβολή από σαράκι

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΦΘΟΡΑΣ



Προσβολή από τρωκτικά

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΦΘΟΡΑΣ



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ζερβός, Σ. (2015). *Συντήρηση και Διατήρηση Χαρτιού, Βιβλίων και Αρχειακού Υλικού*, Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. www.kallipos.gr