

Χαρτί: Μηχανικές ιδιότητες – Ανισοτροπία - Υγροσκοπικότητα

## **ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ & ΒΙΒΛΙΩΝ II**

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Οι μηχανικές ιδιότητες του χαρτιού εξαρτώνται αρχικά από τη μέθοδο παραγωγής του και επηρεάζονται σημαντικά από την κατάσταση διατήρησης στην οποία βρίσκεται.
- ✘ Οι μέθοδοι προσδιορισμού τους συνίσταται σε μετρήσεις της αντοχής δειγμάτων χαρτιού σε μηχανικές καταπονήσεις διαφόρων τύπων.
- ✘ Είναι καταστρεπτικές μέθοδοι που σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη συντήρηση, εκτός των περιπτώσεων που η λήψη δειγμάτων είναι εφικτή και απαιτούνται εκτεταμένες συμπληρώσεις.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Οι μηχανικές ιδιότητες του χαρτιού προσδιορίζονται με μετρήσεις που αφορούν:
  - Την αντοχή στις αναδιπλώσεις.
  - Τις εφελκυστικές ιδιότητες.
  - Την αντίσταση στη διάσχιση.
  - Την αντοχή στη διάρρηξη.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

## ✘ Αντοχή στις αναδιπλώσεις:

Μετριέται ο μέγιστος αριθμός των πλήρων αναδιπλώσεων που μπορεί να αντέξει ένα δοκίμιο χαρτιού που βρίσκεται υπό τάση μέχρι τη θραύση του. Ως «αντοχή στις αναδιπλώσεις» ορίζεται ο δεκαδικός λογάριθμος αυτού του αριθμού. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι  $\log 10 = 1$ ,  $\log 100 = 2$ ,  $\log 1000 = 3$ , κλπ.

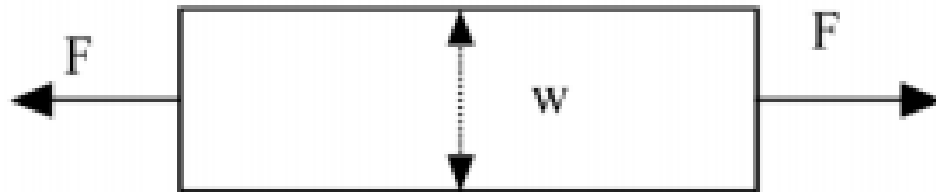
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Εφελκυστικές ιδιότητες:
  - Εφελκυστική αντοχή: Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να ασκηθεί στα άκρα μια στενής λωρίδας χαρτιού προκαλώντας τη θραύση του, προς το πλάτος της λωρίδας. Όταν το μήκος της λωρίδας ελαχιστοποιείται, ορίζεται ως «μηδενικής έκτασης» εφελκυστική αντοχή.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

Υπολογισμός εφελκυστικής αντοχής

$$\sigma = \frac{F}{w}$$



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

## ✘ Εφελκυστικές ιδιότητες:

Μετριέται επίσης η επιμήκυνση του χαρτιού κατά τη στιγμή της θραύσης και η απορρόφηση ενέργειας κατά τον εφελκυσμό.

Οι εφελκυστικές ιδιότητες δίνουν ένα μέτρο της αντοχής των ινών κυτταρίνης αλλά και της ελαστικότητας του χαρτιού.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ



Εικόνα 1.29 Μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής. Το δείγμα (λωρίδα χαρτιού) στερεώνεται από τα δύο άκρα του με δύο σφιγκτήρες, οι οποίοι απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον με σταθερή ταχύτητα, έως ότου η λωρίδα χαρτιού κοπεί. Τότε το όργανο καταγράφει τη δύναμη με την οποία κόπηκε το δείγμα καθώς και την επιμήκυνσή του τη στιγμή της θραύσης.



# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Αντοχή στη διάσχιση: Συνίσταται στη μέτρηση των απαιτούμενων δύο αντίθετων δυνάμεων που ασκούνται με ειδική διάταξη κάθετα στην επιφάνεια του χαρτιού, προκαλώντας το σκίσιμό του κατά μήκος.
- ✘ Αντοχή στη διάρρηξη: Μετριέται η πίεση που ασκείται κάθετα στην επιφάνεια του χαρτιού και προκαλεί διάτρησή του.

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Η μηχανική αντοχή του χαρτιού εξαρτάται γενικά από τις διαστάσεις των ινών της κυτταρίνης, τον αριθμό των δεσμών υδρογόνου και από το ποσοστό απομάκρυνσης των υπολοίπων «συγκολλητικών» συστατικών της φυτικής πρώτης ύλης (ημικυτταρίνες, λιγνίνη). Σε χημικούς πολτούς που, εκτός της λιγνίνης, έχουν αφαιρεθεί σε σημαντικό ποσοστό και οι ημικυτταρίνες, η μηχανική αντοχή εμφανίζεται μειωμένη.

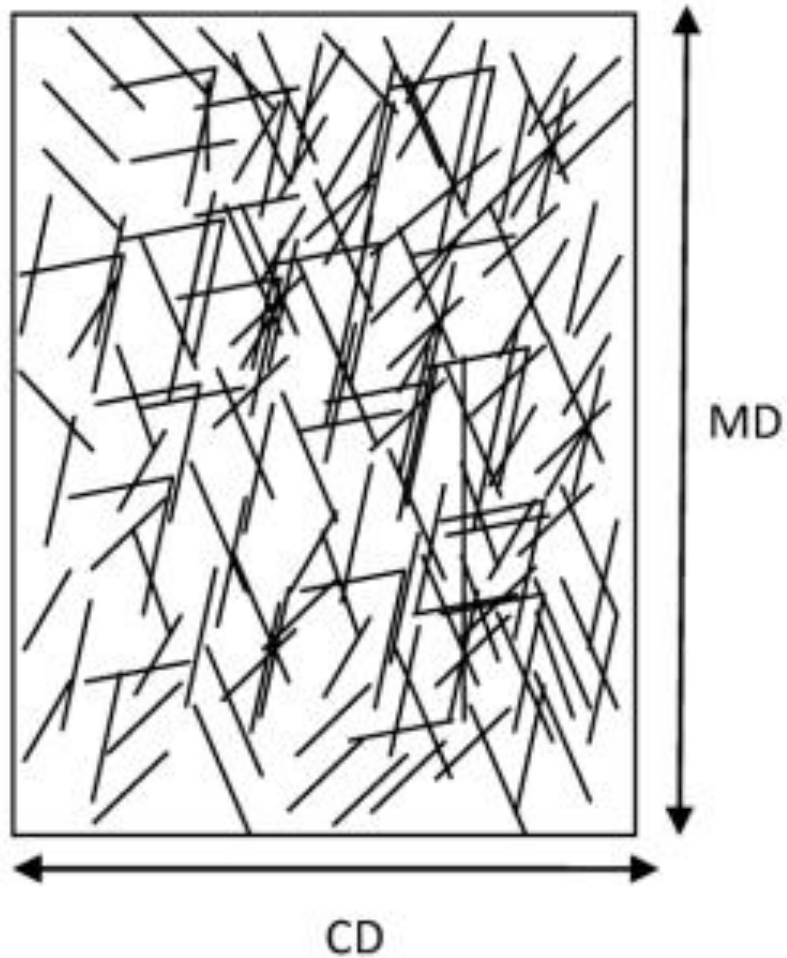
# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Οι διαστάσεις των ινών κυτταρίνης (λόγος μήκους προς διάμετρο), καθώς και το πλήθος και η ισχύς των δεσμών υδρογόνου μεταξύ τους, καθορίζονται ουσιαστικά από το βαθμό «χτυπήματος» του χαρτοπολτού. Το χτύπημα αφενός αυξάνει τη διάμετρο και την επιφάνεια επαφής των ινών, αφετέρου απελευθερώνει λεπτότερα ινίδια. Και τα δύο αυτά γεγονότα συντελούν στην αύξηση του πλήθους και της ισχύος των δεσμών υδρογόνου, που συνεπάγονται αυξημένη μηχανική αντοχή του χαρτιού. Υπερβολικό χτύπημα από την άλλη, μπορεί να έχει αρνητική επίδραση σε ορισμένες ιδιότητες (αντοχή στις αναδιπλώσεις, αντίσταση στη διάσχιση)

# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Η ανισοτροπία του χαρτιού συνίσταται στις διαφορετικές τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων του όταν αλλάζει ο προσανατολισμός του φύλλου.
- ✘ Οφείλονται στον στατιστικά συχνότερο τρόπο προσανατολισμού των ινών κυτταρίνης.
- ✘ Είναι αποτέλεσμα του τρόπου κατασκευής του χαρτιού.

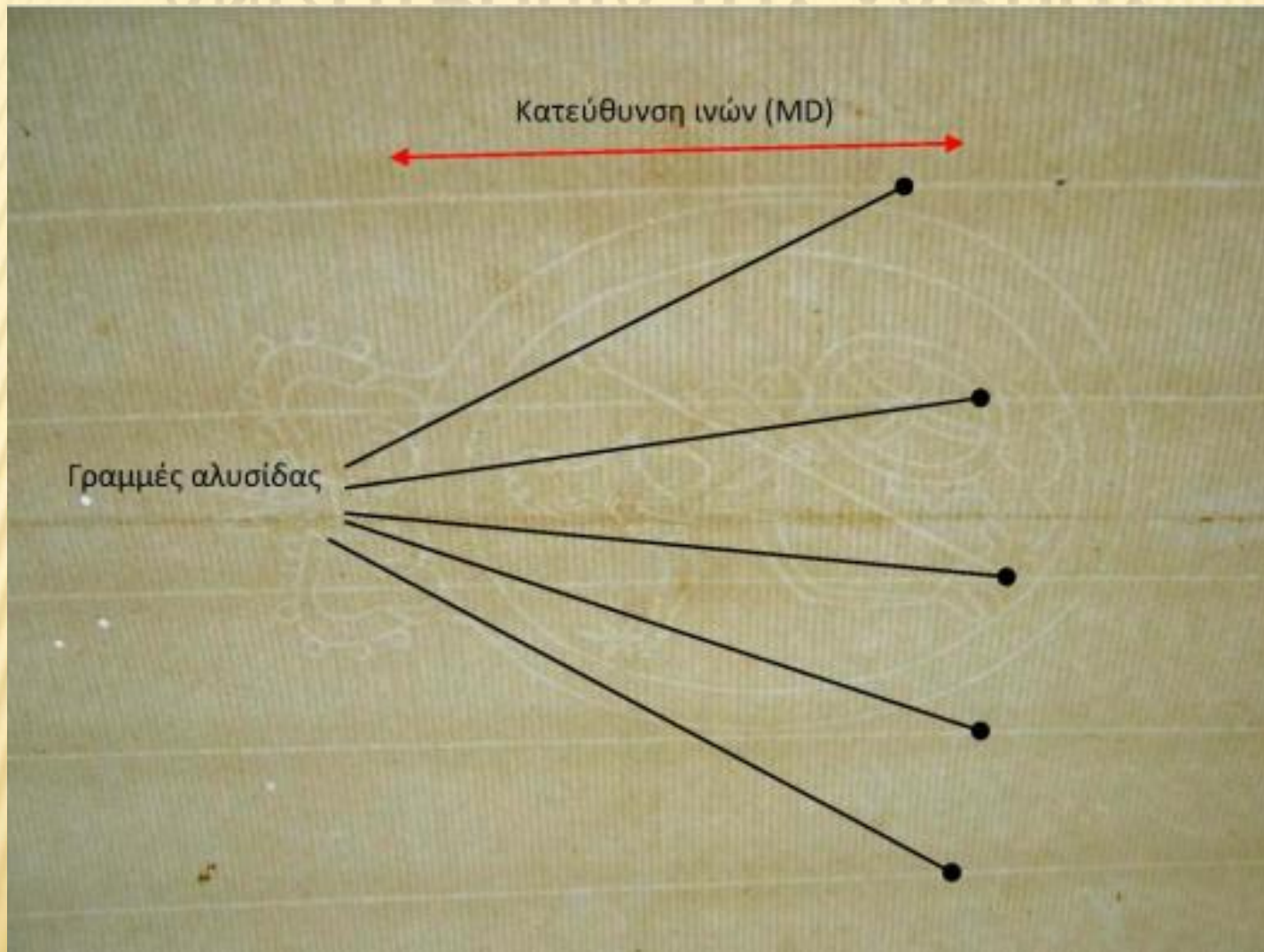
# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ



# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Κατά την απόθεση του χαρτοπολτού στο κόσκινο της μηχανής παραγωγής, περισσότερες ίνες προσανατολίζονται προς μια ορισμένη κατεύθυνση (Machine Direction, MD) η οποία ταυτίζεται με τη μεγάλη πλευρά του κόσκινου στο χειροποίητο χαρτί ή με την κατεύθυνση κίνησης της λωρίδας παραγωγής στις αυτόματες μηχανές. Σχηματίζονται έτσι τα λεγόμενα «νερά» του χαρτιού.

# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ



# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

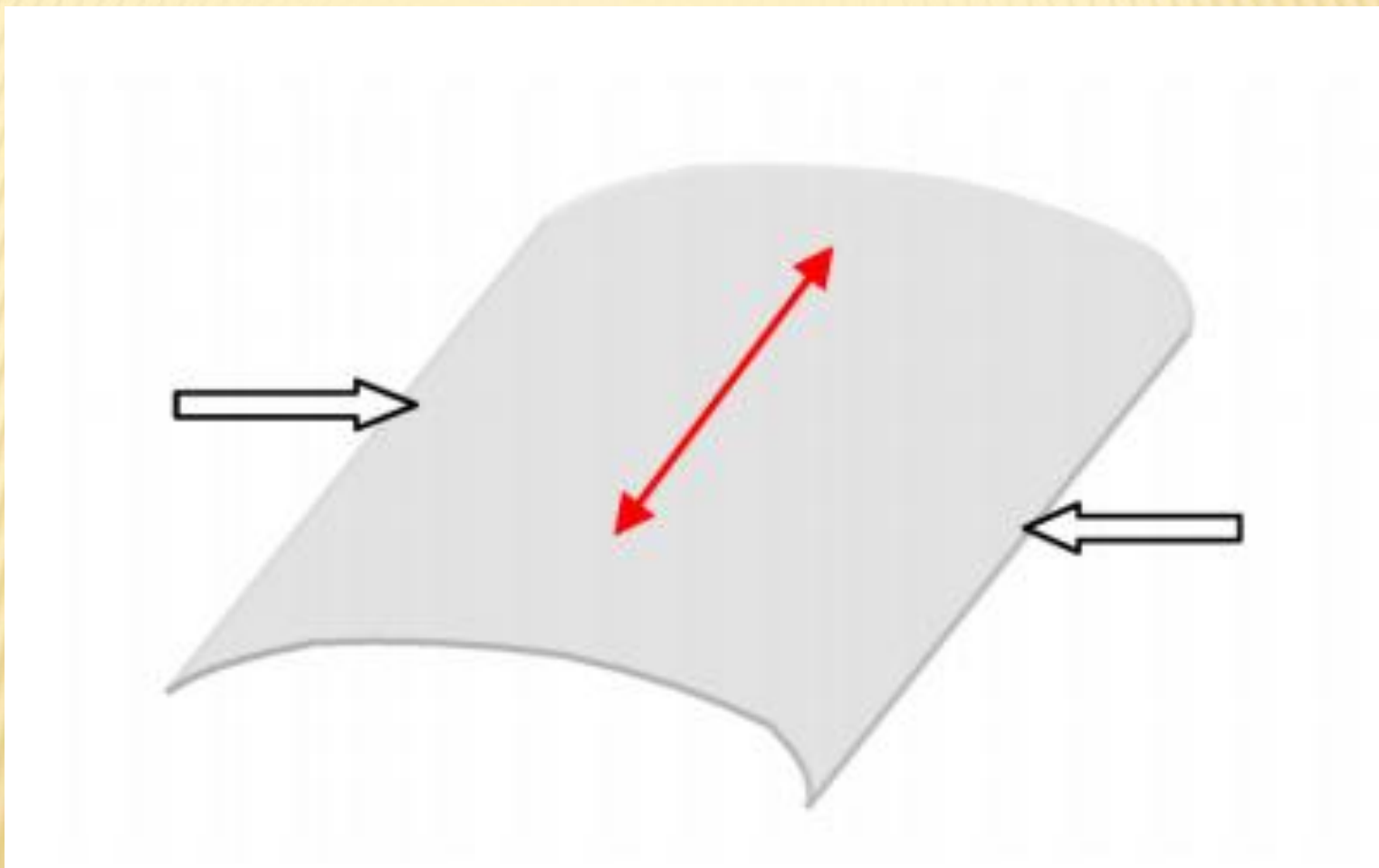
- ✘ Η εφελκυστική αντοχή ενός χαρτιού είναι μεγαλύτερη κατά την κατεύθυνση των ινών (MD).
- ✘ Η αντοχή στη διάσχιση είναι μικρότερη κατά την κατεύθυνση των ινών (MD).
- ✘ Η αντοχή στις αναδιπλώσεις είναι μικρότερη κατά την κατεύθυνση των ινών (MD).
- ✘ Ένα φύλλο χαρτιού έχει μεγαλύτερη σταθερότητα διαστάσεων κατά την κατεύθυνση των ινών του (MD).



# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Γενικά σε ένα φύλλο χαρτιού, τα «νερά» είναι παράλληλα προς τη μεγαλύτερη διάστασή του.
- ✘ Ένα τετράγωνο κομμάτι χαρτιού που ισορροπεί πάνω στο δείκτη λυγίζει περισσότερο στην κάθετη προς τα νερά διεύθυνση (CD).
- ✘ Ένα βρεγμένο κομμάτι χαρτιού διαστέλλεται και «σκεβρώνει» περισσότερο στην κάθετη προς τα νερά διεύθυνση (CD).

# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ



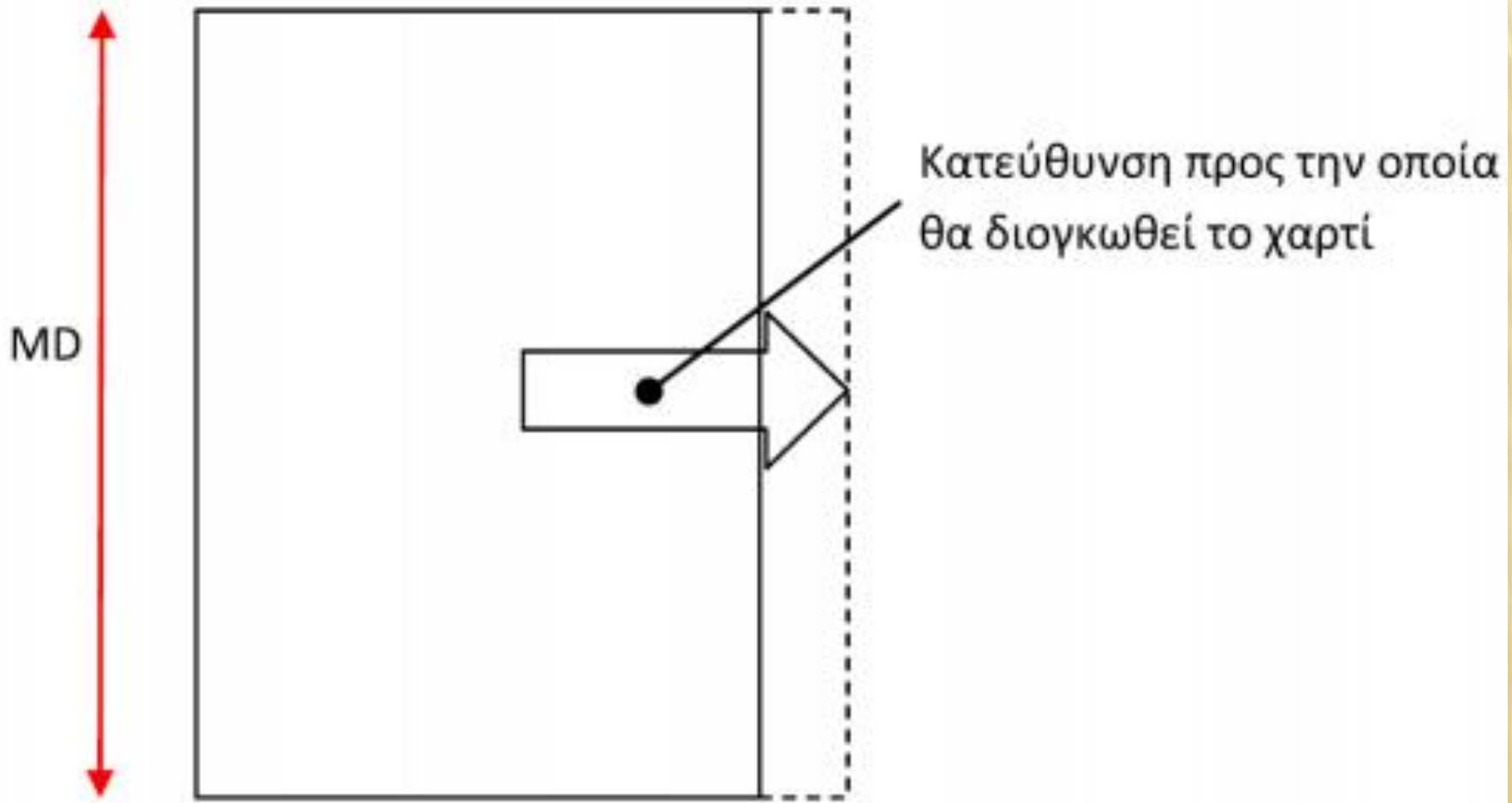
# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Η κατεύθυνση των «νερών» του χαρτιού είναι ιδιαίτερα σημαντική και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη:
- Στην κατασκευή βιβλίου και τη βιβλιοδεσία: Όλα τα φύλλα χαρτιού, αλλά και τα υπόλοιπα υλικά (χαρτόνια, υφάσματα, κλπ) πρέπει να έχουν τα νερά τους παράλληλα προς τη ράχη του βιβλίου.
- Στις συμπληρώσεις με γιαπωνέζικο χαρτί κατά τη συντήρηση ώστε να γίνονται με τρόπο που τα συμπληρώματα να έχουν τα νερά τους παράλληλα με αυτά των αυθεντικών φύλλων.

# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ - ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ

- ✘ Ο λόγος που επιβάλλονται τα παραπάνω είναι διότι κατά την απορρόφηση υγρασίας οι ίνες της κυτταρίνης διογκώνονται κατά πλάτος, δηλαδή κάθετα στο μήκος τους που συμπίπτει με την κατεύθυνση των ινών (MD). Έτσι όλα τα μέρη του βιβλίου θα παραμορφώνονται ομοιόμορφα προς την κατεύθυνση που υπάρχει περιθώριο μεταβολής διαστάσεων χωρίς την παρεμπόδιση των συνδέσεων της βιβλιοδεσίας.

# ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ - ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ



# ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Το χαρτί είναι υγροσκοπικό υλικό, διότι απορροφά και αποβάλλει υγρασία διαρκώς ώστε να βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του.
- ✘ Σε συνηθισμένες συνθήκες ( $25^{\circ}\text{C}$ , RH 50% - 60%), το χαρτί απορροφά ένα 5-10% του βάρους του σε νερό.
- ✘ Σε συνθήκες ατμοσφαιρικού υδατοκορεσμού (RH 100%) αυτό φτάνει περίπου το 25%, ενώ κατά τη βύθιση σε νερό έως και 50% του βάρους του.

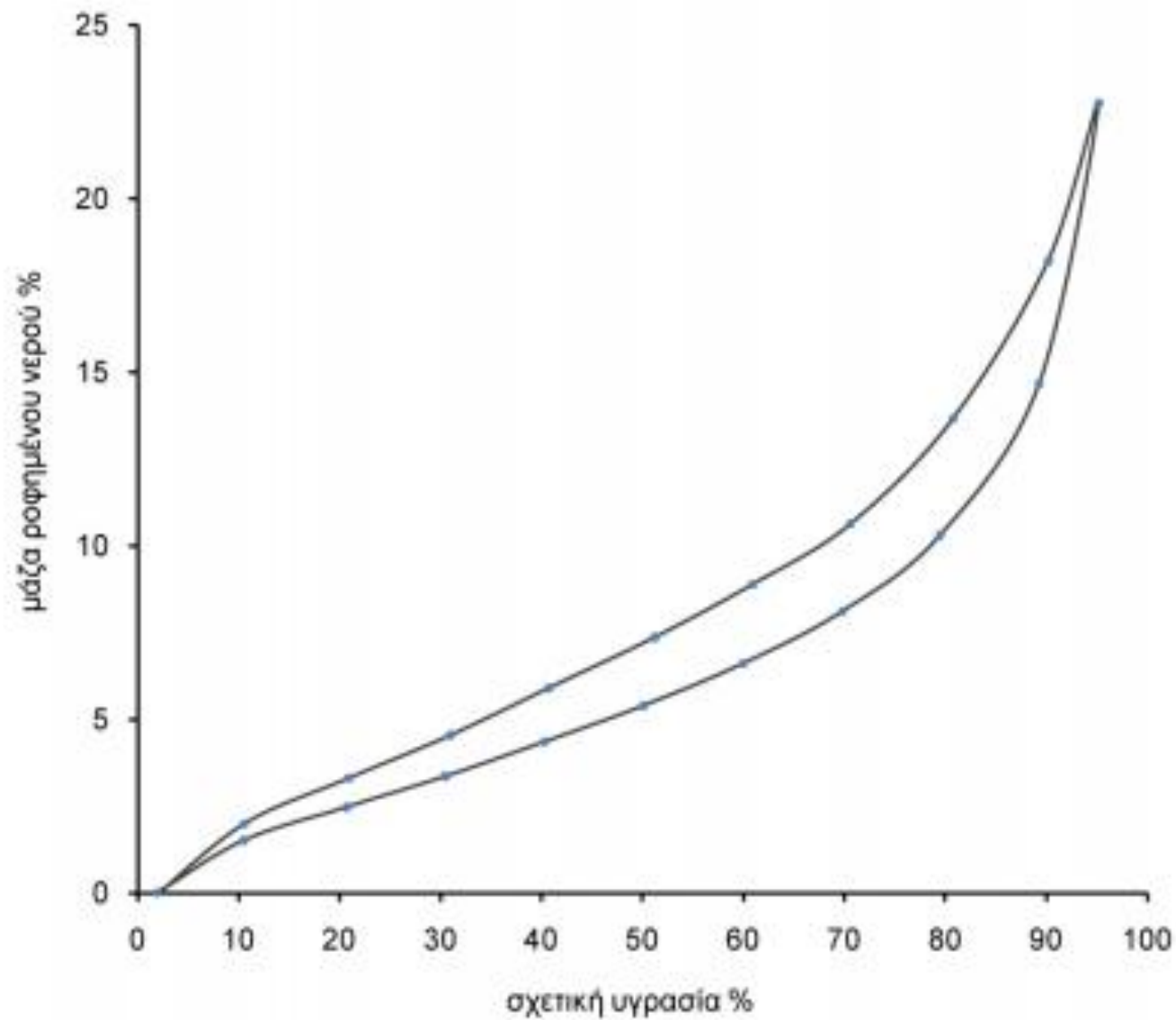
# ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Η απορρόφηση νερού γίνεται στις άμορφες και όχι στις κρυσταλλικές περιοχές των ινών. Επίσης στο σύστημα πόρων και κενών μεταξύ των ινών.
- ✘ Τα μόρια νερού σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια της κυτταρίνης, ανταγωνιζόμενα τους δεσμούς υδρογόνου που σχηματίζουν τα μόρια κυτταρίνης μεταξύ τους.
- ✘ Οι μεταβολές που προκαλούνται στο σύστημα διασύνδεσης των μορίων κυτταρίνης με δεσμούς υδρογόνου, κατά την απορρόφηση και την αποβολή μορίων νερού δεν είναι πλήρως αντιστρεπτές. Έχουμε έτσι μεταβολές της σχετικής θέσης των μακρομορίων ή τμημάτων τους.

# ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Η δυνατότητα απορρόφησης νερού των ινών του χαρτιού ελαττώνεται μετά από επανειλημμένες διαβροχές και ξηράνσεις.
- ✘ Το φαινόμενο κατά το οποίο η ρόφηση και η εκρόφηση υδρατμών ακολουθούν διαφορετική πορεία ονομάζεται υστέρηση και παριστάνεται γραφικά στο ακόλουθο διάγραμμα.





*Ισόθερμη ρόφησης (κάτω καμπύλη) – εκρόφησης (πάνω καμπύλη) υδρατμών από την κυτταρίνη.*

# ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

- ✘ Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι συνεχείς μεταβολές της σχετικής υγρασίας, επηρεάζουν τη χημική και μηχανική σταθερότητα και αντοχή του χαρτιού, πέρα από το γεγονός ότι η αυξημένη υγρασία καθιστά το χαρτί ευάλωτο σε προσβολή από βιολογικούς παράγοντες και επιταχύνει τις αντιδράσεις υδρόλυσης.
- ✘ Σταθερές συνθήκες σχετικής υγρασίας με τιμή μεταξύ 30% και 55% και μικρό εύρος διακύμανσης θεωρούνται κατάλληλες για την μακροχρόνια διατήρηση των αντικειμένων από χαρτί.

- 
- ✦ Ζερβός, Σ. (2015). *Συντήρηση και Διατήρηση Χαρτιού, Βιβλίων και Αρχειακού Υλικού*. Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. [www.kallipos.gr](http://www.kallipos.gr)