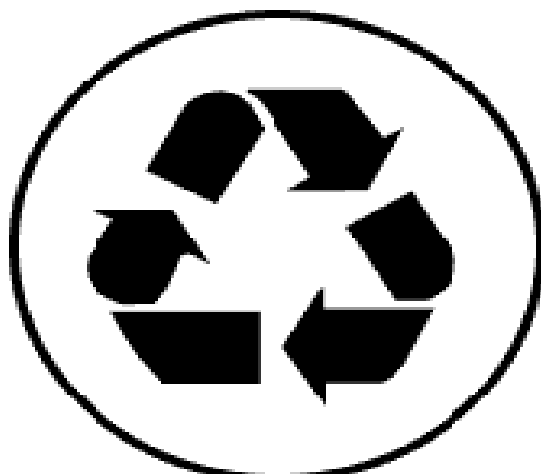




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΞΥΛΟΥ & ΕΠΙΠΛΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΧΑΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ»**



της σπουδάστριας
ΟΛΓΑΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΝΤΑΝΗΣ
Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας

ΚΑΡΔΙΤΣΑ - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004

Πρόλογος

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της παρούσας κατάστασης της ανακύκλωσης χαρτιού στην Ελλάδα. Είναι εργασία έρευνας και καταγραφής, που περιγράφει αναλυτικά τη βιομηχανική διαδικασία της ανακύκλωσης και την παρουσιάζει όπως εφαρμόζεται στην πράξη σε δύο από τις μεγαλύτερες χαρτοβιομηχανίες της Ελλάδας. Αυτή η εργασία μπορεί επιπλέον να αποτελέσει αναφορά στην ελληνική αγορά στον κλάδο του χαρτιού, καθώς περιέχει πλήρη κατάλογο των ελληνικών επιχειρήσεων που έχουν ως αντικείμενό τους το χαρτί.

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν και υπήρξαν καταλύτες στη σύνταξη και στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος, Δρ. Γεώργιο Μαντάνη, ο οποίος ανταποκρίθηκε στην επιθυμία μου να ασχοληθώ με το θέμα του χαρτιού και στάθηκε αρωγός στην προσπάθειά μου να διαπραγματευτώ το συγκεκριμένο θέμα που μου πρότεινε, αυτό της ανακύκλωσης του χαρτιού στη χώρα μας.

Επίσης, ευχαριστώ τον κύριο Καραπατάκη Σ. από τη Μακεδονική Εταιρία Χάρτου ΜΕΛ Α.Ε., τον κύριο Αλεξιά Π. από τη Χαρτοποιία Φθιώτιδος και τους κυρίους Τζοβάρα Ε. και Παντελή Θ. από την ΚΥΚΛΟΣ Ο.Ε., για την πολύτιμη συνεργασία τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στην κυρία Παπαδοπούλου Εριέττα για τη φιλολογική επιμέλεια των κειμένων. Και φυσικά, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, ειδικά στους γονείς μου, που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



Η παρούσα εργασία έχει και έναν έμμεσο σκοπό: να μεταδώσει ένα μήνυμα:

ΜΗΝΥΜΑ

Με το σύνθημα «Ανακυκλώνω, Επαναχρησιμοποιώ, Ελαττώνω» (ή στα αγγλικά τα γνωστά τρία R – Recycle, Reuse, Reduce) οι οικολογικές οργανώσεις προσπαθούν να κάνουν εμάς τους απλούς ανθρώπους να καταλάβουμε ότι είναι υποχρέωσή μας προς τη μητέρα-Γη να τη φροντίζουμε. Θέλουν να συνειδητοποιήσουμε ότι δεν πρέπει να καταναλώνουμε αλόγιστα τα αγαθά που μας προσφέρει η Γη, γιατί η πηγή της δεν είναι αστείρευτη. Επιχειρούν μέσα από τη δράση τους να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε την ανάγκη να εξαντλούμε τη χρησιμότητα των αγαθών μας πριν αποφασίσουμε να τα πετάξουμε οριστικά, ώστε να μειώνουμε απορρίμματα και κατανάλωση ταυτόχρονα. Πασχίζουν μέσα από τους αγώνες τους να κάνουν τρόπο ζωής το διαχωρισμό των απορριμμάτων μας σε κατηγορίες ανακυκλώσιμων υλικών (χαρτί, γυαλί, πλαστικό, αλουμίνιο).

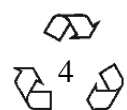
«Ελαττώνω» την καταναλωτική μου μανία και τα σκουπίδια μου,
«Επαναχρησιμοποιώ» ό,τι δεν έχει εξαντλήσει τη χρησιμότητά του,
«Ανακυκλώνω» το κάθε υλικό στην κατηγορία του,

Ζω σε ένα καλύτερο παρόν,
Προσπαθώ για ένα ακόμη καλύτερο μέλλον.

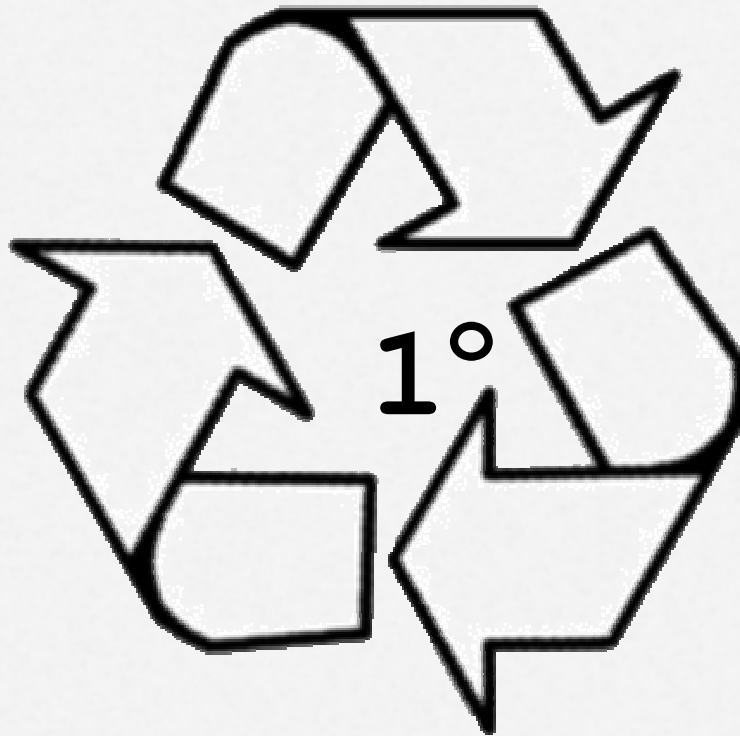


Περιεχόμενα

| | σελ. |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Εισαγωγή | 8 |
| 2. Το χαρτί | 9 |
| 2.1. Χαρτί και χρήσεις | 9 |
| 2.2. Παραγωγή χαρτιού από ξύλο | 13 |
| 2.2.1. Πρώτη ύλη | 14 |
| 2.2.2. Αποφλοίωση | 15 |
| 2.2.3. Πολτοποίηση | 15 |
| 2.2.4. Διήθηση – Καθαρισμός – Συμπύκνωση | 17 |
| 2.2.5. Λεύκανση | 18 |
| 2.2.6. Μηχανική κατεργασία ινών | 18 |
| 2.2.7. Χημικά πρόσθετα | 18 |
| 2.2.8. Στρωμάτωση ινών | 20 |
| 3. Χαρτί και ανακύκλωση | 24 |
| 3.1. Ιστορική αναδρομή | 24 |
| 3.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ανακύκλωσης | 30 |
| 3.3. Το σύμβολο της ανακύκλωσης του χαρτιού | 34 |
| 4. Η βιομηχανική διαδικασία της ανακύκλωσης χαρτιού | 38 |
| 4.1. Πηγές παλαιοχάρτου | 39 |
| 4.2. Συλλογή παλαιοχάρτου | 39 |
| 4.3. Έμποροι παλαιοχάρτου | 41 |
| 4.4. Διαλογή και δεματοποίηση | 42 |
| 4.5. Απομάκρυνση ξένων υλών | 44 |
| 4.6. Απομελάνωση | 44 |
| 4.7. Έτοιμος πολτός | 46 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 47 |



Κεφάλαιο



1. Εισαγωγή

Οι εξελίξεις στην οικολογία του πλανήτη μας κατά τον προηγούμενο αιώνα ήταν ως επί το πλείστον δραματικές. Εμφανίστηκε το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ανακαλύφθηκε η τρύπα του όζοντος και διαπιστώθηκε ότι συνεχώς αυξάνεται. Φυτικά και ζωικά είδη απειλούνται με εξαφάνιση. Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου αλλά και καταστρέφει τα έργα των αρχαίων πολιτισμών. Τα απορρίμματα από τις βιομηχανίες μολύνουν νερό και γη και συνεπώς ό,τι καλλιεργείται και καταναλώνεται. Τα τροπικά δάση του Αμαζονίου και άλλα παρθένα δάση αφανίζονται από την ανεξέλεγκτη υλοτομία. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, η αλματώδης αύξηση της παραγωγής και όλη αυτή η αλόγιστη κατανάλωση πρώτων υλών και προϊόντων οδήγησαν στην διαταραχή της αρμονίας της φύσης και της ισορροπίας του οικολογικού συστήματος.

Οι επιστήμονες και άλλοι ευσυνείδητοι πολίτες που οργανώθηκαν σε οικολογικές ενώσεις αντιλήφθηκαν πόσο άμεσος ήταν ο κίνδυνος και άρχισαν να ερευνούν τρόπους και μεθόδους, ώστε να ελαχιστοποιήσουν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η γη. Εφηύραν φίλτρα κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μεθόδους βιολογικού καθαρισμού για τα απορρίμματα των βιομηχανιών. Έθεσαν φυτικά και ζωικά είδη υπό την προστασία οργανώσεων και απαγόρευσαν την άγρα τους. Διαπίστωσαν ποια προϊόντα προκαλούν την τρύπα του όζοντος και τα απέσυραν από την παραγωγή. Η πιο σημαντική τους εφεύρεση όμως είναι η ανακύκλωση.

Η ανακύκλωση σώζει τα αγαθά που προσφέρει η φύση από την τελική εξάντλησή τους. Με την ανακύκλωση μπορούμε ξανά και ξανά να χρησιμοποιήσουμε κάποιο υλικό. Έτσι αποφεύγουμε την κατάχρηση πρώτων υλών που μας προσφέρει η γη και τη γλιτώνουμε επίσης από επιπλέον απορρίμματα. Με αυτόν τον τρόπο και η ανακύκλωση χαρτιού προσφέρει πολλά στο περιβάλλον. Σώζει τα δάση από αποψίλωση, μειώνει τα απορρίμματά μας, αφού χρησιμοποιεί πεταμένο χαρτί, και με την προηγμένη τεχνολογία μας ξαναδίνει καινούριο, ανακυκλωμένο χαρτί, έτοιμο για χρήση.



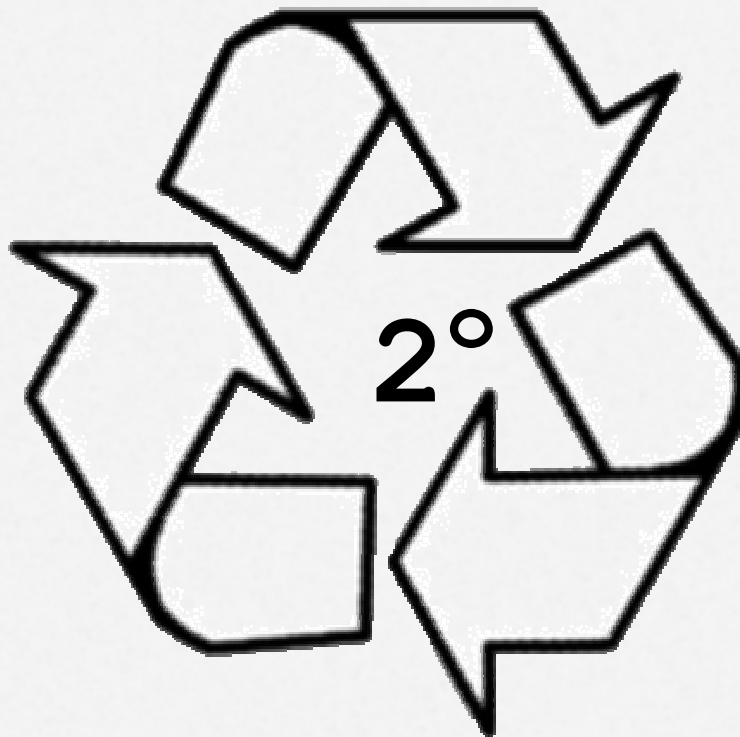
Στις αναπτυγμένες χώρες η ανακύκλωση του χαρτιού έχει πάρει σχεδόν τη διάσταση που της αξίζει. Γίνονται έρευνες και μελέτες για την ανάπτυξη καλύτερων μεθόδων ανακύκλωσης, επενδύονται αξιόλογα ποσά στη βιομηχανία της ανακύκλωσης, υπάρχουν νόμοι που συνιστούν την ανακύκλωση και απαγορεύουν την απόρριψη ανακυκλώσιμων υλικών.

Η Ελλάδα είναι από τις χώρες που προσπαθούν να ακολουθήσουν αυτό το παράδειγμα. Γίνονται αξιοσημείωτες προσπάθειες και από τις χαρτοβιομηχανίες και από οικολογικές οργανώσεις να κάνουν συνήθεια και τρόπο ζωής στον Έλληνα πολίτη την ανακύκλωση. Πολλοί δήμοι έχουν υιοθετήσει το πρόγραμμα ανακύκλωσης χαρτιού και έχουν τοποθετήσει τους ειδικούς κάδους σε κεντρικά σημεία. Πολλά είναι και τα σχολεία που διδάσκουν και προσπαθούν να περάσουν τη νοοτροπία της ανακύκλωσης στους μαθητές με διάφορους τρόπους, με μαθήματα, με συμμετοχή σε προγράμματα και οργανώσεις.

Αυτό είναι και το θέμα που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια, μια μελέτη και καταγραφή της παρούσας κατάστασης της ανακύκλωσης χαρτιού στη χώρα μας.



Κεφάλαιο



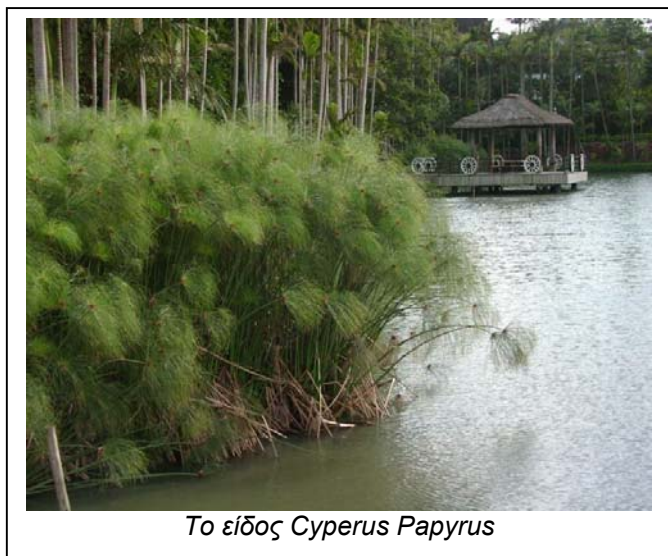
2. Το χαρτί

2.1. Χαρτί και χρήσεις

Για να ξεκινήσουμε σωστά τη μελέτη της ανακύκλωσης χαρτιού, θα πρέπει να αναλύσουμε τις έννοιες που εμπεριέχει ο όρος και πρώτα αυτήν, του χαρτιού. Χαρτί είναι ένα προϊόν που αποτελείται από ίνες (που έχουν διαχωριστεί με ανάδευση σε νερό και μετατραπεί σε χαρτοπολτό), κυρίως κυτταρίνης και άλλες φυτικής προέλευσης ή μερικές φορές ακόμη και από ανόργανες, ζωικές ή συνθετικές ίνες. Παράγεται όταν ο χαρτοπολτός, μετά από τις κατάλληλες διεργασίες, απλώνεται σε επιφάνεια διαστρώσεως, περνάει από σύστημα πρεσαρίσματος και, στεγνό πλέον, τυλίγεται σε ρολά [5].

Συγκολλητικές ουσίες δε χρησιμοποιούνται. Η αυτοσυγκόλληση των ινών βασίζεται στη μηχανική πλοκή και στην ικανότητα που έχουν για χημικούς δεσμούς οι γνωστές από τη Χημεία *γέφυρες υδρογόνου*. Η απόλυτη ελαστικότητα και δύναμη του χαρτιού σε σχέση με την πυκνότητά του μπορεί να ξεπεράσει και αυτή του χάλυβα. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα, για να βελτιώσουν μια ή περισσότερες ιδιότητες του (αντοχή στην υγρασία, διαφάνεια, εκτύπωση, χρώμα κ.α.).

Η αγγλική λέξη για το χαρτί, “paper”, προέρχεται από τη λέξη πάπυρος, το υδροχαρές φυτό *Cyperus Papyrus* που αναπτύσσεται στις όχθες του Νείλου και φτάνει σε ύψος 1-3 μέτρα. Η ελληνική λέξη χαρτί προήλθε ως υποκοριστικό από την αρχαιοελληνική λέξη χάρτης. Η λέξη χάρτης ήταν που εισχώρησε στο λατινικό



Το είδος Cyperus Papyrus

λεξιλόγιο ως charta και έχουμε σήμερα την ιταλική και ισπανική λέξη carta. Αλλά

και στην ελληνική γλώσσα έχουμε λέξεις που έχουν αυτές τις ρίζες: χαρτόνι, κάρτα, καρτέλα κτλ.

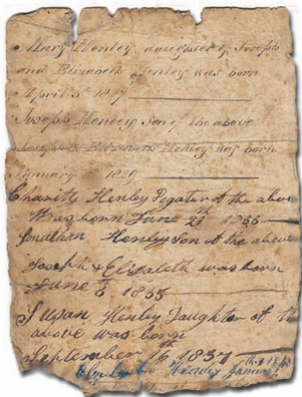
Για να χαρακτηρίσουμε ένα είδος χαρτιού είναι πολλές οι ιδιότητες που προσέχουμε [8]. Κυρίως προσέχουμε τη λευκότητα, την υφή και το βάρος σε γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο, που συνεπάγεται ότι προσέχουμε τη φωτεινότητα, το χρώμα, τη γυαλάδα, το πάχος και την πυκνότητα. Επίσης προσέχουμε την υγρασία και την ικανότητα προσρόφησης υγρασίας, τη διαφάνεια, το πορώδες, την ελαστικότητα ή ακαμψία, την εκτυπωτικότητα και την ποιότητα της εκτύπωσης, τις αντοχές και τις συμπεριφορές σε πίεση, σε σχίση, σε κάμψη και σε εφελκυσμό, την ευφλεκτότητα, τη σκληρότητα και τη διαστασιακή σταθερότητα.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους παρασκευής, διακρίνουμε πολλά είδη χαρτιού και συνεπώς πολλές και διάφορες χρήσεις. Έτσι έχουμε το απλό χαρτί, το βαμβακερό χαρτί (με 25%, 50%, ή και 100% βαμβάκι), το ανακυκλωμένο χαρτί, το ριζόχαρτο, το χαρτόνι, το καρμπόν (χαρτί για αντιγραφές), το τσιγαρόχαρτο, το απορροφητικό χαρτί (χαρτί υγείας, κουζίνας, χαρτοπετσέτες, χαρτομάντιλα), το μονωτικό χαρτί (για ηλεκτρικές μονώσεις) κ.α. Το χαρτί χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές και διαφορετικές περιπτώσεις. Σε βιβλία, εφημερίδες, περιοδικά, τετράδια, αφίσες, ταπετσαρίες, εκτυπώσεις, συσκευασίες αλλά και στα χαρτονομίσματα, στους χάρτες, στη χαρτοπαιξία, στις ταυτότητες και διαβατήρια, αποδείξεις, γραμματόσημα, στις φωτογραφίες. Ακόμη και σε αντικείμενα που μπορεί εκ πρώτης όψεως να μη

Είδη παλαιού χαρτιού:



α. από πάπυρο



β. από ίνες ξύλου

φαίνεται ότι αποτελούνται από χαρτί: στις επικαλύψεις με μελαμίνη, σε ρούχα και υφάσματα, σε φωτιστικά, σε διάφορα φίλτρα, σε χημικά εργαλεία.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι ο σύγχρονος κόσμος βασίζεται ιδιαίτερα σε αυτό το πολύπλευρο και τόσο παράδοξο προϊόν. Άλλοτε είναι μόνιμο, άλλοτε εφήμερο, μπορεί να είναι εύθραυστο ή δυνατό, φθηνό ή ακριβό, σε αφθονία ή σπάνιο. Μπορούμε να το δούμε σε μουσεία ή στα σκουπίδια. Άλλοτε αποσυντίθεται και άλλοτε διαρκεί και μέσα σε νερό. Κατασκευάζεται βιομηχανικά αλλά μπορεί εύκολα να παραχθεί και χειροποίητα. Έχει βρει εφαρμογή σε τόσους τομείς στη σύγχρονη ζωή – λογοτεχνία, επικοινωνία, εκπαίδευση, εμπόριο, υγιεινή, οικονομία, φαρμακευτική και πολλούς ακόμη – που είναι πραγματικά αδύνατο να φανταστούμε έναν κόσμο χωρίς χαρτί...

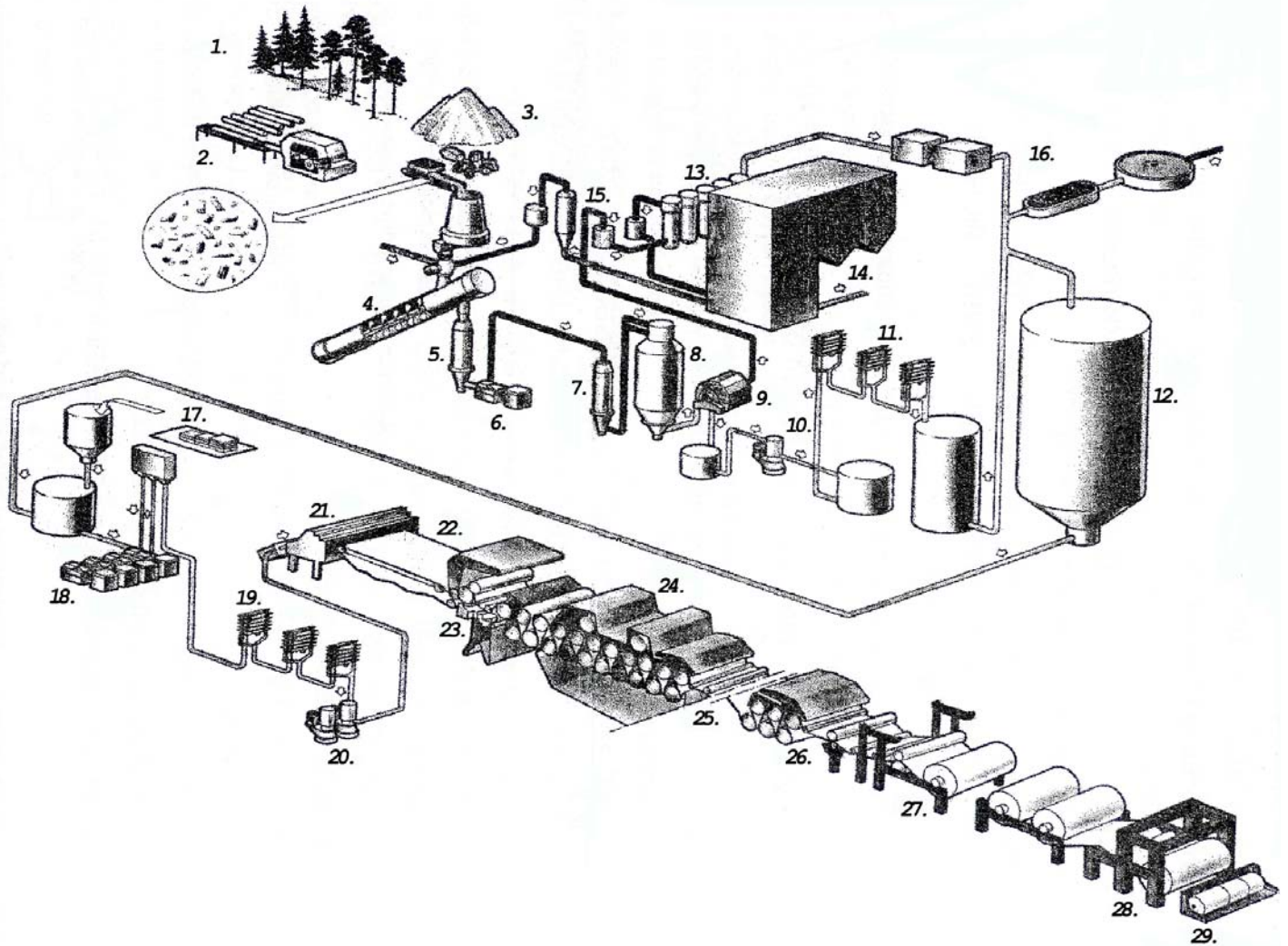
2.2. Παραγωγή χαρτιού από ξύλο

Σε αυτό το σημείο θα περιγράψουμε πιο αναλυτικά τα στάδια παραγωγής χαρτιού όταν προέρχεται από ξύλο. Συνοπτικά είναι τα εξής:

- Ξύλο
- Αποφλοιώση
- Πολτοποίηση
- Διήθηση – καθαρισμός – συμπύκνωση
- Λεύκανση
- Μηχανική κατεργασία ινών
- Πρόσθετα
- Στρωμάτωση
- Χαρτί

Οι παραγωγικές διαδικασίες καθορίζονται και βελτιστοποιούνται ανάλογα με το είδος χαρτιού που θέλουμε να παραχθεί. Τα στοιχεία που παίζουν ρόλο είναι:

- Πρώτη ύλη
- Τρόπος πολτοποίησης
- Διαστάσεις μηχανημάτων
- Τύπος εξοπλισμού
- Χημικά πρόσθετα
- Επίπεδο αυτοματισμού



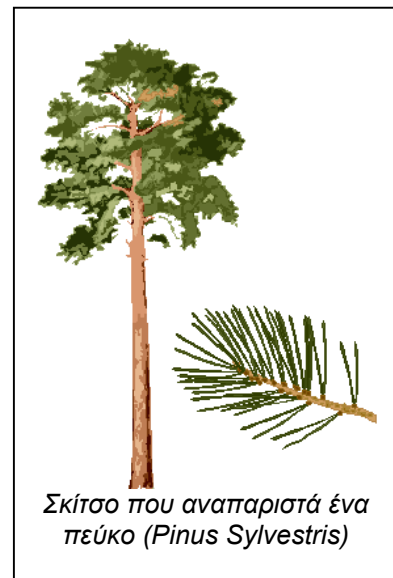
Ροή παραγωγής χαρτοπολτού και χαρπιού Kraft. (1-17: Παραγωγή χαρτοπολτού & 18-29: Παραγωγή χαρπιού)

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1. Δάσος (πεύκης, ερυθρελάτης) | 18. Μονάδα διήθησης πολτού |
| 2. Αποφλοιώση | 19. Καθαρισμός πολτού με φυγοκέντριση |
| 3. Παραγωγή ξυλοτεμαχιδίων και πριονιδιού | 20. Συμπύκνωση πολτού με πίεση |
| 4-5. Διάλυση λιγνίνης σε χωνευτήριο με το διάλυμα πολτοποίησης (1 ^η φάση) | 21. Έλεγχος ροής πίεσης |
| 6. Αποϊνωτής | 22. Τμήμα στρωμάτωσης ινών σε συνεχές φύλλο χάρτου |
| 7. Διάλυση λιγνίνης (2 ^η φάση) | 23. Τμήμα πίεσης |
| 8. Εκτόνωση πολτού | 24. Τμήμα ξήρασης |
| 9. Καθαρισμός | 25-26. Τμήμα λείανσης |
| 10. Συμπύκνωση πολτού | 27-29. Δημιουργία ρολών χάρτου |
| 11. Φυγοκέντριση πολτού | |
| 12. Αποθήκη χαρτοπολτού | |
| 13. Μονάδα εξάτμισης | |
| 14. Λέβητας | |
| 15. Προετοιμασίας διαλύματος πολτοποίησης | |
| 16. Τμήμα αναερόβιου χειρισμού | |
| 17. Χαρτοπολτός εμπορίου | |

2.2.1. Πρώτη ύλη

Πρώτη ύλη για παραγωγή χαρτιού μπορεί να είναι η ξυλεία από δέντρα που καλλιεργούνται ειδικά για το σκοπό αυτό (*τεχνητές φυτείες*) ή από δέντρα που υλοτομήθηκαν με σκοπό την αραίωση του δάσους. Επίσης, μπορεί να είναι υπολείμματα κατεργασίας ξύλου από πριστήρια και εργοστάσια. Μπορεί ακόμη να είναι φυτικές ίνες, όπως από βαμβάκι, ζαχαροκάλαμο, μπαμπού, άχυρο, σιτάρι ή ρύζι. Σε αυτές τις περιπτώσεις, επειδή οι ίνες είναι μακριές και ελαφριές, το χαρτί που παράγεται έχει μεγάλες αντοχές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ειδικές χρήσεις όπως χαρτονομίσματα, καρμπόν, τσιγαρόχαρτα κ.ά.

Στο παρελθόν η βιομηχανία χρησιμοποιούσε κυρίως κωνοφόρα είδη όπως ελάτη, πεύκη, ερυθρελάτη και κέδρο, αλλά τώρα σχεδόν οποιοδήποτε είδος – πλατύφυλλα και κωνοφόρα – μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Πολλές φορές παράγοντας για την επιλογή είναι η διαθεσιμότητα και το κόστος. Κύριος παράγοντας επιλογής όμως είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα στο χαρτί. Τα κωνοφόρα ξύλα, λόγω του σχετικά μεγάλου μήκους ινών (*τραχεΐδων*) που διαθέτουν, δίνουν χαρτί με μεγάλες αντοχές και γι' αυτό προτιμούνται



Σκίτσο που αναπαριστά ένα πεύκο (*Pinus Sylvestris*)

ως πρώτη ύλη σε χαρτιά συσκευασίας, σε χαρτοκιβώτια και όπου αναζητούνται καλές μηχανικές ιδιότητες. Αντιθέτως, τα πλατύφυλλα ξύλα διαθέτουν κοντές ίνες, πράγμα που επιτρέπει να παράγουν χαρτί με λεία επιφάνεια και πολύ καλή ποιότητα για γραφή και εκτύπωση. Το πιο συνηθισμένο είναι να χρησιμοποιούνται τα είδη εκείνα που σε συνδυασμό δίνουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που κάθε φορά απαιτούνται.

2.2.2. Αποφλοιώση

Όταν η πρώτη ύλη προέρχεται από κορμούς δέντρων υλοτομημένων στο δάσος συνήθως μεταφέρονται αυτούσια στη βιομηχανική μονάδα. Είναι κατηγοριοποιημένα ανάλογα με τις διαμέτρους και τα μήκη τους. Πολλές φορές, επειδή σε μερικά είδη ο τεμαχισμός είναι τρομερά δύσκολος μαζί με τον φλοιό, προηγείται αποφλοιώση αυτών των ειδών πριν προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο που είναι η πολτοποίηση.



Αποφλοιώση και τεμαχισμός κορμοτεμαχιδίου

2.2.3. Πολτοποίηση

Η πολτοποίηση είναι καθοριστικό στάδιο καθώς υπάρχουν τρεις μέθοδοι πολτοποίησης και επιλέγεται αυτή που θα δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Οι τρεις μέθοδοι είναι η **μηχανική**, η **χημική** και η **ημιχημική**. Ας σημειωθεί ότι στη φάση της πολτοποίησης γίνεται η προσθήκη παλαιού χαρτιού, όταν το τελικό προϊόν παράγεται από πρώτη ύλη ξύλο και ποσοστό ανακυκλωμένου χαρτιού. (Η περίπτωση που το τελικό προϊόν αποτελείται από 100% ανακυκλωμένο χαρτί αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο).

2.2.3.α. Μηχανική Πολτοποίηση

Με αυτή τη μέθοδο η πολτοποίηση γίνεται δια της αποτριβής των κορμών σε δίσκους με ανώμαλη επιφάνεια και υπό συνεχή διαβροχή με νερό. Η υγρασία του ξύλου πρέπει να είναι πάνω από 40-50%. Η απόδοση είναι μεγαλύτερη από

όλες τις μεθόδους, διότι δεν απομακρύνεται κανένα από τα χημικά συστατικά του ξύλου [5].

Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται συνήθως ξύλο ελάτης ή ερυθρελάτης και το τελικό χαρτί χρησιμοποιείται για εφημερίδες, χαρτόνια και παρόμοια προϊόντα. Τέτοιο χαρτί έχει μικρή μηχανική αντοχή, έχει όμως καλές τυπωτικές ιδιότητες, αν και, επειδή διατηρεί τη λιγνίνη και εξαιτίας της αντίδρασής της στην υπεριώδη ακτινοβολία, κιτρινίζει όταν εκτεθεί στο ηλιακό φως.

Μια σημαντική μέθοδος μηχανικής πολτοποίησης είναι η **θερμομηχανική**, κατά την οποία η πολτοποίηση ξυλοτεμαχιδίων με δισκοτριβείς γίνεται με επίδραση κορεσμένου ατμού.

2.2.3.β. Χημική Πολτοποίηση

Η χημική πολτοποίηση δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε μηχανικές αντοχές αλλά είναι πιο δαπανηρή μέθοδος από τη μηχανική. Με αυτή τη μέθοδο, στην οποία χρησιμοποιούνται ξυλοτεμαχίδια μικρών διαστάσεων, διαλύεται η λιγνίνη από τις μεσοκυττάρειες στρώσεις και έτσι αποχωρίζονται οι ίνες. Η διάλυση της λιγνίνης γίνεται με δύο τρόπους, γι' αυτό δύο είναι οι μέθοδοι χημικής πολτοποίησης: η *όξινη* και η *αλκαλική*. Μετά τη διάλυση της λιγνίνης, και χωρίς κάτι να συγκρατεί τις ίνες μεταξύ τους πλέον, η αποϊνώση γίνεται μέσα σε ειδικά κυλινδρικά χωνευτήρια με εκτόνωση.

2.2.3.β.1 Όξινη μέθοδος

Το διάλυμα πολτοποίησης παρασκευάζεται με διάλυση διοξειδίου του θείου σε νερό, μαζί με όξινο θειώδες ασβέστιο ή όξινο θειώδες μαγνήσιο ή νάτριο ή αμμώνιο. Οι μέγιστες τιμές για τις συνθήκες πολτοποίησης είναι: πίεση 6-7 Atm, θερμοκρασία 125-160°C και χρόνος 6-12 ώρες. Η απόδοση της μεθόδου είναι 45-50%. Ο παραγόμενος πολτός λευκαίνεται ευκολότερα από τον αλκαλικό πολτό, αλλά έχει μικρότερη μηχανική αντοχή και όταν χρησιμοποιείται όξινο θειώδες ασβέστιο περιέχει λιγνίνη 2-5% [3].

2.2.3.β.ii Αλκαλική μέθοδος

Είναι η λεγόμενη μέθοδος KRAFT, από τη γερμανική λέξη Kraft που σημαίνει δύναμη, και είναι η μέθοδος που παράγει το πολτό με τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Το διάλυμα πολτοποίησης αποτελείται από καυστικό νάτριο και θειούχο νάτριο. Η πολτοποίηση γίνεται σε χωνευτήρια απλά ή συνεχή, που είναι και μεγαλύτερα. Όλα τα είδη ξύλου μπορούν να πολτοποιηθούν με τη μέθοδο KRAFT, είναι όμως πιο κατάλληλη για κωνοφόρα. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι προκαλεί ρύπανση της ατμόσφαιρας με τις ενώσεις θείου που παράγονται (βλ. *ενώσεις μερκαπτανών*) και ότι ο πολτός έχει σκοτεινό χρώμα και η λεύκανση είναι δαπανηρή.

2.2.3.γ. Ημιχημική Πολτοποίησηση

Αυτή η μέθοδος αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω. Πρώτα, με χημική πολτοποίηση σε χωνευτήριο διαλύεται ένα μέρος της λιγνίνης, και έπεται μηχανική πολτοποίηση με τριβή σε δίσκους. Η απόδοση της μεθόδου είναι 65-85%, και επιτυγχάνεται ένας συνδυασμός στις ιδιότητες του παραγόμενου πολτού. Γι' αυτό και με αυτήν τη μέθοδο παράγονται τα κυματοειδή χαρτόνια συσκευασίας που έχουν καλές αντοχές και χαμηλότερο κόστος.

2.2.4. Διήθηση – καθαρισμός – συμπύκνωση

Με αυτές τις κατεργασίες ο πολτός απαλλάσσεται από ξένες ύλες, ρόζους κλπ και αυξάνεται η περιεκτικότητα του διαλύματος σε ίνες ξύλου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κόσκινα και συσκευές καθαρισμού, στις οποίες ο καθαρισμός επιτυγχάνεται με φυγοκέντρωση. Το αιώρημα που λαμβάνεται μετά τον καθαρισμό έχει περιεκτικότητα 0,1-0,6% σε ίνες ξύλου. Στη συνέχεια το υλικό συμπυκνώνεται σε ειδικές συσκευές συμπύκνωσης, στις οποίες επιτυγχάνεται πυκνότητα διαλύματος 3-5%.

2.2.5. Λεύκανση

Η ποιότητα συνίσταται εκτός των άλλων στη διατήρηση του χρώματος κατά την αποθήκευση και στο μη κιτρίνισμα από την έκθεση στον ήλιο. Σε αυτό βοηθάει το στάδιο της λεύκανσης, στο οποίο διαλύονται τα απομεινάρια της λιγνίνης από το προηγούμενο στάδιο. Η λεύκανση πραγματοποιείται με χλώριο και διάφορες ενώσεις του, όπως υποχλωριώδες οξύ ή υποχλωριώδες νάτριο. Μετά την επιστημονική διαπίστωση ότι το χλώριο και οι ενώσεις του όταν αντιδρούν με τη λιγνίνη απελευθερώνουν ουσίες βλαβερές για το περιβάλλον, η χαρτοβιομηχανία ερευνά και χρησιμοποιεί ενώσεις που είναι μερικώς ή εντελώς χωρίς χλώριο, όπως το υπεροξειδίο του υδρογόνου. Το τελικό προϊόν δεν είναι μόνο λευκότερο αλλά και με μεγαλύτερες αντοχές και μεγαλύτερη απορροφητικότητα.



Λευκασμένος και μη-λευκασμένος πολτός

2.2.6. Μηχανική κατεργασία ινών

Σε αυτό το στάδιο επιτυγχάνεται σύνθλιψη ή και εξαφάνιση των κυτταρικών κοιλοτήτων, διόγκωση των κυτταρικών τοιχωμάτων, ελάττωση του μήκους των ινών και μεγαλύτερη ευκαμψία των ινών. Ο πολτός διέρχεται ανάμεσα από δύο τραχιές επιφάνειες, οι οποίες βρίσκονται σε ρυθμιζόμενη απόσταση μεταξύ τους. Η μία επιφάνεια είναι ακίνητη και η άλλη περιστρέφεται με αποτέλεσμα ο πολτός να γίνεται ένα ομοιόμορφο διάλυμα.

2.2.7. Χημικά πρόσθετα

Η βασική χημική «πρώτη ύλη» που χρησιμοποιείται – χωρίς να είναι πρόσθετο – στη χαρτοποιία είναι η *κυτταρίνη*. Η κυτταρίνη είναι ένας πολυσακχαρίτης και είναι το κύριο συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων των

φυτών. Είναι η πιο κοινή οργανική ένωση, η αφθονότερη που υπάρχει στη φύση, και έχει παρόμοια δομή με αυτή της ζάχαρης. Η κυτταρίνη υπάρχει σε όλα τα φυτά και είναι σημαντική στη χαρτοποιία χάρη στην ικανότητά της να δημιουργεί συγκολλητικούς δεσμούς μόλις έρθει σε επαφή με νερό και έτσι σχηματίζεται η βάση για τα φύλλα χαρτιού. Η πολυτοποίηση βοηθά την κυτταρίνη να διαχωριστεί από τα κύτταρα, καθώς δεν είναι υδατοδιαλυτή λόγω της κρυσταλλικής δομής της.

Επιπλέον χημικές ουσίες προστίθενται στον πολτό για να αποκτήσει το χαρτί επιθυμητές ιδιότητες. Προστίθενται για παράδειγμα:

- Κολοφώνιο, άσφαλτος, συνθετικές ουσίες: προσδίδουν στο χαρτί ανθυγροσκοπικές ιδιότητες.
- Καολίνης, διοξείδιο τιτανίου, ανθρακικό ασβέστιο, άλατα μαγνησίου, θειικό βάριο: μειώνουν την επιφανειακή ανομοιογένεια του χαρτιού, βελτιώνουν λευκότητα, αδιαφάνεια και εκτυπωτικότητα.
- Άμυλο, φυσικές και συνθετικές ρητίνες: βελτιώνουν την επιφανειακή αντοχή και τη συγκολλητικότητα των ινών.

Στην περίπτωση που τα πρόσθετα εφαρμοστούν μετά την παραγωγική διαδικασία και πάνω στην επιφάνεια του έτοιμου χαρτιού, αυτό γίνεται στο στάδιο της επικάλυψης και η μέθοδος ονομάζεται *επίχριση*.

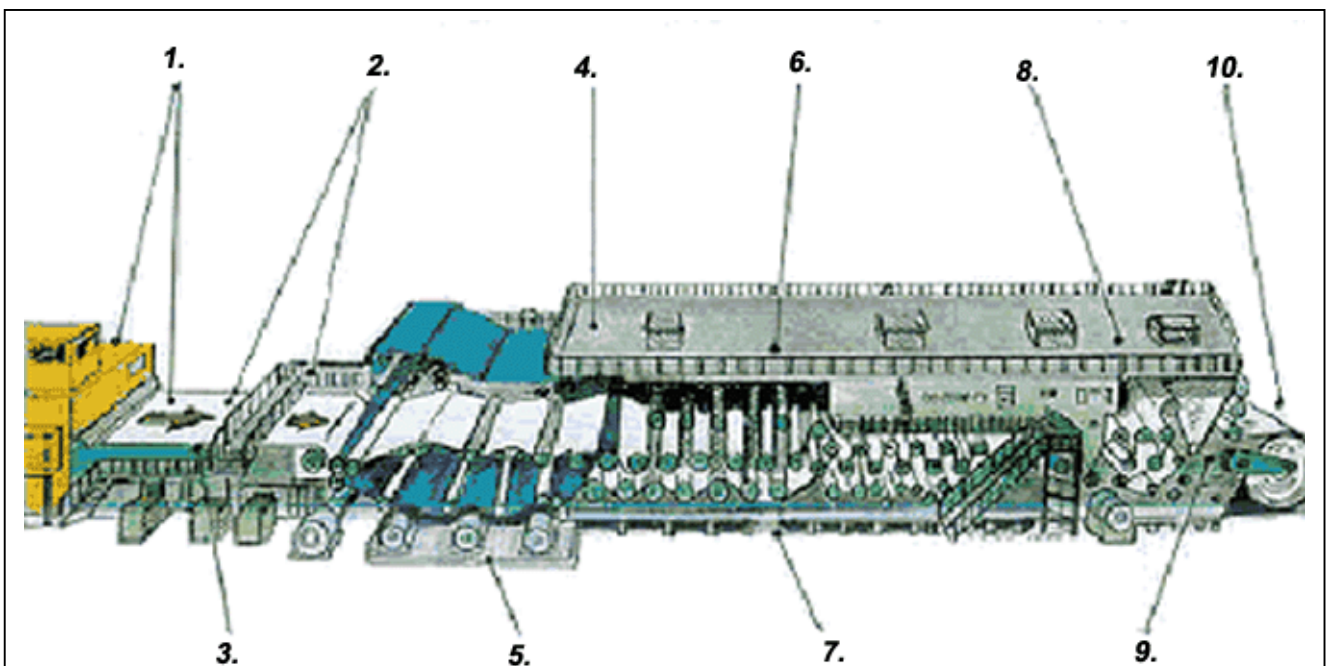


Έτοιμος χαρτοπολτός

2.2.8. Στρωμάτωση ινών

Αυτό είναι το βασικό στάδιο για την παραγωγή του χαρτιού, γι' αυτό και αναλύεται ιδιαίτερα. Όλα τα μηχανήματα παραγωγής χαρτιού και χαρτονιού βασίζονται στην ίδια βασική διαδικασία: αυτήν της πρωταρχικής μεθόδου **Fourdrinier**. Σε αυτήν τη διαδικασία υπάρχουν έξι τμήματα που ξεχωρίζουν:

- Έλεγχος ροής (headbox)
- Επιφάνεια διάστρωσης (wire section ή wet end)
- Τμήμα πίεσης (press section)
- Τμήμα ξήρανσης (drier section)
- Τμήμα λείανσης (calender)
- Ρολά (reel-up)



Ροή παραγωγής χαρτιού και απαιτούμενες εγκαταστάσεις

- | | |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1. Έλεγχος ροής | 6. Τμήμα ξήρανσης |
| 2. Επιφάνεια διάστρωσης | 7. Κύλινδροι ξήρανσης |
| 3. Δικτυωτός ιμάντας που συγκρατεί τις ίνες | 8. Τμήμα λείανσης |
| 4. Τμήμα πίεσης | 9. Το χαρτί ψύχεται, λειαίνεται και τυλίγεται σε ρολά |
| 5. Κύλινδροι πίεσης | 10. Έτοιμα ρολά χαρτιού |

Ο χαρτοπολτός που παρήχθη στις προηγούμενες φάσεις μαζί με τα χημικά πρόσθετα εισέρχονται σε ένα σιλό που με το σύστημα ελέγχου ροής που διαθέτει τροφοδοτεί την επιφάνεια διάστρωσης ομοίως καθ' όλο το πλάτος της.

Η επιφάνεια διάστρωσης αποτελείται από ένα μεταλλικό ή πλαστικό δικτυωτό σε μορφή ιμάντα (στις μηχανές τύπου Fourdrinier) ή κυλινδρικής κατασκευής (στις κυλινδρομηχανές). Ο δικτυωτός ιμάντας μπορεί να είναι 35 μέτρα μακρύς και πλατύς όσο το μηχάνημα. Καθώς το διάλυμα του χαρτοπολτού ρέει από το σιλό πάνω στον ιμάντα, το δικτυωτό επιτρέπει να αποστραγγίζεται το νερό, που μέχρι τότε αποτελούσε περίπου το 99% του διαλύματος, αφήνοντας πάνω του ένα χαλί από μπλεγμένες μεταξύ τους μικροσκοπικές ίνες. Το νερό που απομακρύνεται διέρχεται από μια σειρά φίλτρων, ώστε να ξαναχρησιμοποιηθεί ή να επιστραφεί στη φύση. Η μηχανή μπορεί να λειτουργεί με ταχύτητες μέχρι και 2000m/min. Καθώς ο χαρτοπολτός διανύει την απόσταση πάνω στον ιμάντα, μεγάλες ποσότητες νερού αποστραγγίζονται, και στο τέλος της διαδρομής οι μπλεγμένες ίνες έχουν μετατραπεί σε ένα τεράστιο φύλλο χαρτιού με πολλή υγρασία και μικρή αντοχή.

Το επόμενο στάδιο είναι το τμήμα πίεσης και αποτελείται από κυλίνδρους βαρέως τύπου τοποθετημένους σε ζευγάρια ανάμεσα από τους οποίους περνάει το υγρό χαρτί. Εκεί το φύλλο συμπιέζεται με αποτέλεσμα να αφαιρείται επιπλέον υγρασία.

Επόμενη φάση είναι το τμήμα ξήρανσης που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κυλίνδρων ξήρανσης θερμαινόμενων με ατμό, με τη θερμοκρασία τους να φτάνει ελαφρώς πάνω από τους 100°C. Ο ιμάντας από συνθετικό υλικό που συμβάλλει στην ξήρανση μεταφέρει το χαρτί ανάμεσα από τους κυλίνδρους μέχρι να γίνει ξηρό (5-8% περιεχόμενη υγρασία).

Στο τέλος αυτού του τμήματος μπορεί να είναι ενσωματωμένο ένα άλλο τμήμα, όπου ένα διάλυμα από νερό και άμυλο προστίθεται για να βελτιωθεί η επιφάνεια για εκτυπωτικούς σκοπούς αλλά και για να καλυφθούν τυχόν κενά. Είναι το ίδιο τμήμα που αναλαμβάνει την επικάλυψη της επιφάνειας του χαρτιού με διάφορες επικαλύψεις, όταν αυτό είναι το επιθυμητό τελικό προϊόν (φωτογραφικό χαρτί, χαρτιά συσκευασίας κτλ).

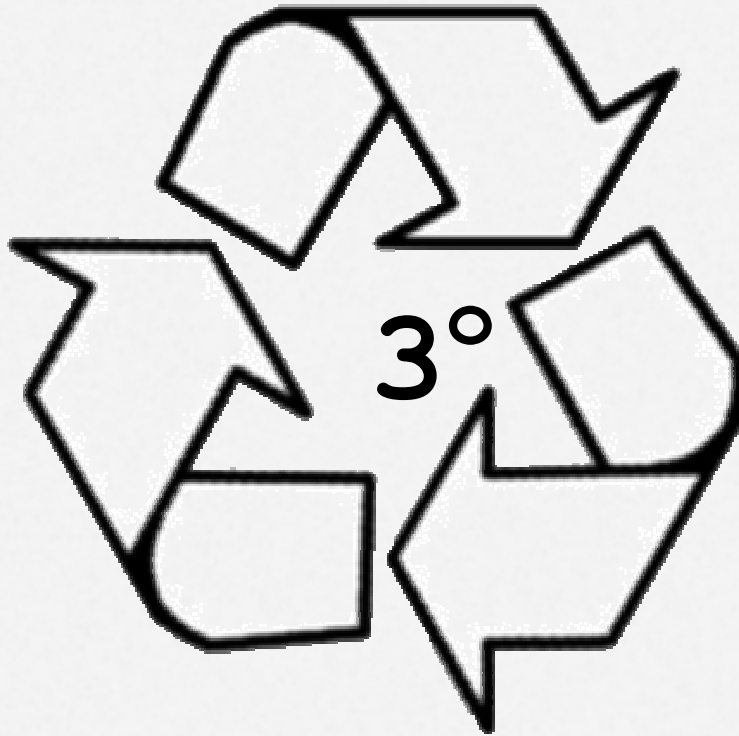
Μετά το τμήμα ξήρανσης (ή και το τμήμα επικάλυψης) το χαρτί λειαίνεται με μια μέθοδο «σιδερώματος», όπου χρησιμοποιούνται ζεστοί λείοι μεταλλικοί κύλινδροι τοποθετημένοι σε ζευγάρια, ο ένας πάνω στον άλλον. Η μεγάλη πίεση που ασκούν οι κύλινδροι καθορίζουν επίσης το πάχος, την πυκνότητα και, συνεπώς, τις αντοχές του χαρτιού, αλλά και τη στιλπνότητα και γυαλάδα του χαρτιού ή της επικάλυψής του.

Το χαρτί είναι έτοιμο και τυλίγεται σε μεγάλα ρολά (μέχρι 9 μέτρα πλάτος και βάρος 25 τόνων). Τα μεγάλα ρολά μπορούν να περάσουν από ειδικά μηχανήματα για να κοπούν σε μικρότερα, ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς και της μεταφοράς.

Όταν πρόκειται για χαρτί εκτύπωσης υψηλής ποιότητας, το χαρτί επικαλύπτεται αρκετές φορές με το κατάλληλο υλικό στο τμήμα επικάλυψης. Αυτά τα επικαλυμμένα χαρτιά υψηλής ποιότητας είναι πολύ λεία και γυαλιστερά επειδή για τη λείανσή τους χρησιμοποιούνται ειδικά μεταλλικά τύμπανα (supercalenders). Όταν το τελικό προϊόν είναι το χαρτόνι, η μηχανή διαθέτει περισσότερα σιλό, ώστε να παράγει αρκετά φύλλα που ενώνονται στον ιμάντα και στο τμήμα πίεσης. Το βασικό βάρος στα χαρτόνια είναι έως και 500g/m^2 , ενώ στο απλό χαρτί είναι συνήθως $40\text{-}120\text{g/m}^2$.

Αυτή λοιπόν είναι η βασική διαδικασία παραγωγής για όλους τους τύπους χαρτιού. Θα πρέπει να τονίσουμε όμως ότι στην Ελλάδα δεν παράγεται χαρτί από ξύλο, επειδή δεν καλλιεργούνται τα είδη που είναι κατάλληλα για παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού αλλά και γιατί δεν υπάρχουν οι κατάλληλες οικονομικές και επιχειρηματικές συνθήκες. Π.χ. η μοναδική βιομηχανία χαρτιού (Softex A.E.) έκλεισε πρόσφατα εξαιτίας οικονομικών λόγων και κακής διαχείρισης. Οι Ελληνικές επιχειρήσεις του κλάδου χαρτιού στηρίζονται σε ανακυκλωμένο χαρτί ή εισαγόμενο χαρτοπολτό (βλ. Κεφάλαιο 5).

Κεφάλαιο



3. Χαρτί και ανακύκλωση

3.1. Ιστορική αναδρομή

Από την αρχαιότητα οι άνθρωποι ένιωθαν την ανάγκη να καταγράφουν τη ζωή και τον πολιτισμό τους. Αυτό φαίνεται σε τοίχους σπηλαίων, σε πέτρινες και κεραμικές πλάκες, σε δέρματα ζώων κ.α. Κάπου το 2400 π.Χ. οι Αιγύπτιοι άρχισαν να χρησιμοποιούν τον πάπυρο. Η παραγωγή του πάπυρου γινόταν με τεμαχισμό των στελεχών (όπως γινόταν και με το μπαμπού στην Κίνα) και σταυροειδή τοποθέτησή τους με πίεση, ώστε να κολλήσουν από τον ίδιο το χυμό του φυτού, πράγμα που σήμαινε ότι τεχνικά ο πάπυρος δεν αποτελούσε χαρτί (που παράγεται από ίνες).

Κατά τη δυναστεία των Χαν στην Κίνα (202 π.Χ - 220 μ.Χ.) και με διαταγές των αυτοκρατόρων, πολλοί χειροτέχνες προσπαθούσαν να βρουν ένα υλικό καταλληλότερο για γραφή, ελαφρύτερο, μεγαλύτερης διάρκειας και ευκολότερο στη μεταφορά και στην αποθήκευση. Αυτό το κατάφερε ο Τσάι Λουν (Ts'ai Lun) το 105 μ.Χ. αναμιγνύοντας ίνες φλοιού μουριάς και υπολείμματα από σχοινιά, δίχτυα ψαρέματος και ράκη [2]. Ίσως ο Τσάι Λουν να στηρίχτηκε σε μελέτες και πειράματα άλλων προγενέστερων

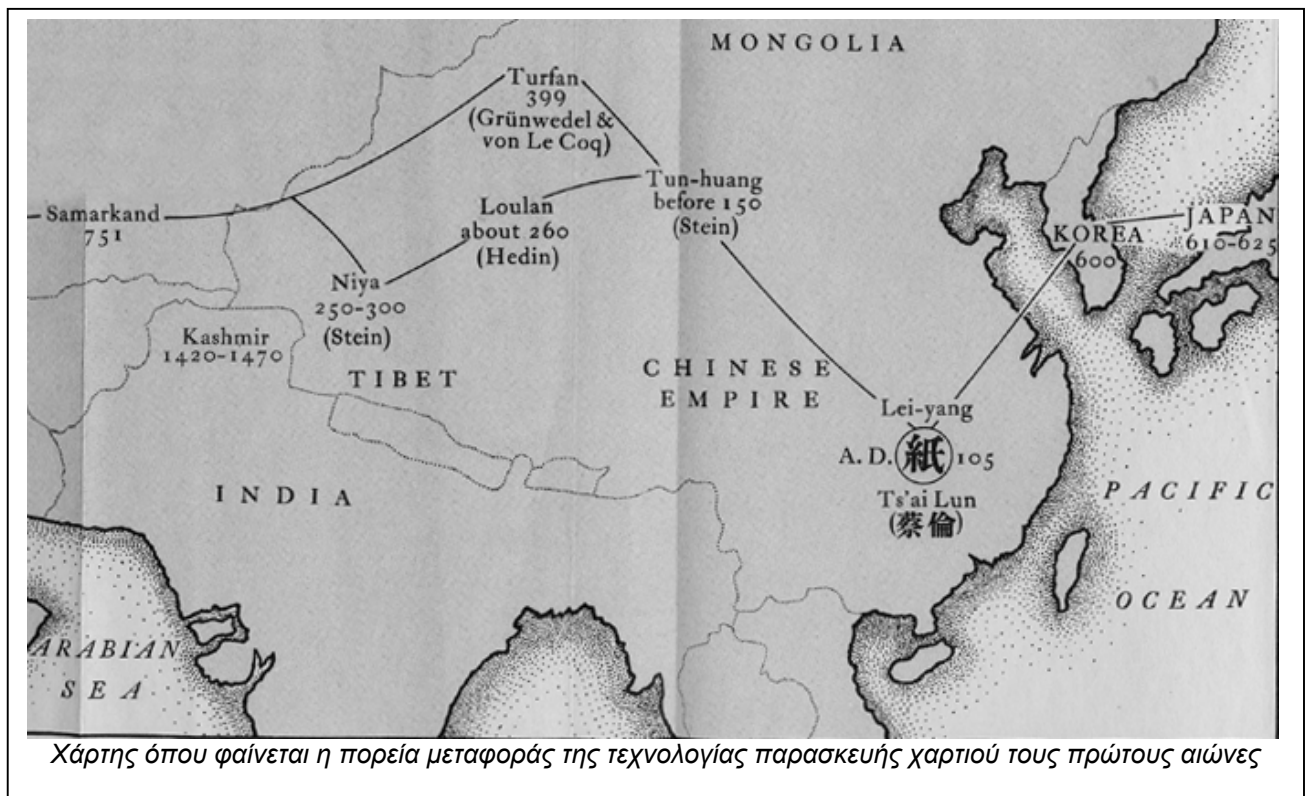


Σχέδιο που απεικονίζει τον τρόπο κατασκευής χαρτιού στην Κίνα

συναδέλφων του, αλλά τουλάχιστον αυτός ήταν που το δήλωσε και σε αυτόν αποδόθηκε η παρασκευή του πρώτου είδους χαρτιού στην Ιστορία. Ο Τσάι Λουν θεοποιήθηκε και σήμερα θεωρείται ο άγιος των κατασκευαστών χαρτιού στην Κινεζική κουλτούρα.

Από την Κίνα η τέχνη διαδόθηκε στην Ιαπωνία και την Κορέα στις αρχές του 7^{ου} αιώνα. Στη Δύση μεταφέρθηκε μέσω των Αράβων της τότε Σαμαρκανδής (σημερινό Ουζμπεκιστάν), οι οποίοι σε μια πολεμική σύγκρουση το 751 μ.Χ. με

Κινέζους έπιασαν αιχμαλώτους, ανάμεσα στους οποίους βρέθηκαν δύο κατασκευαστές χαρτιού, τους οποίους ανάγκασαν να τους διδάξουν την τέχνη. Σύντομα ιδρύθηκαν εργοστάσια στη Βαγδάτη (793μ.Χ.), όπου ο Χαρούν-ελ-Ρασίντ χρησιμοποίησε Κινέζους εργάτες, στη Δαμασκό, που ήταν η κύρια πηγή προμήθειας χαρτιού στην Ευρώπη για αρκετούς αιώνες, κατόπιν στην Αίγυπτο, στο Μαρόκο (11^{ος} αιώνας μ.Χ.) και από εκεί στην Ισπανία. Στην Ιταλία (Σικελία) έφτασε μέσω θαλάσσης από τη Μέση Ανατολή [6].



Μέχρι το τέλος του 14ου αιώνα η τέχνη της παρασκευής χαρτιού είχε πια εξαπλωθεί σε όλη την Ευρώπη. Στην εδραίωσή της αποφασιστικά βοήθησε και η εφεύρεση της τυπογραφίας από το Γουτεμβέργιο το 1446 μ.Χ. και η κυκλοφορία της Βίβλου τυπωμένης σε χαρτί το 1455 μ.Χ. Η τυπογραφία εκσφενδόνισε στα ύψη τη ζήτηση τυπωμένων έργων και συνεπώς τη ζήτηση σε χαρτί. Ίσως όχι τυχαία η ανάπτυξη της τυπογραφίας και η κυκλοφορία τυπωμένων έργων συνέπεσε με την περίοδο της Αναγέννησης.

Καθώς η τυπογραφία κατανάλωνε μεγάλους όγκους χαρτιού, η πρώτη ύλη, που μέχρι τότε ήταν φυτικές και συνθετικές ίνες κυρίως από βαμβάκι και

λινάρι, άρχισε να μειώνεται αισθητά με αποτέλεσμα να αναζητηθούν άλλες πηγές πρώτης ύλης. Και τότε ήταν που για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν ίνες ξύλου στην παραγωγή χαρτιού. Την ιδέα έδωσε το 1719 ο Γάλλος Rene Antoine Ferchault de Reaumur, όταν παρατήρησε ένα συγκεκριμένο είδος σφήκας να φτιάχνει τη φωλιά του. Αυτές οι σφήκες μασουλούσαν κομμάτια ξύλου και τα χρησιμοποιούσαν για να δομήσουν τις φωλιές τους, οι οποίες έμοιαζαν χαρτονένιες. Το 1774 ανακαλύφθηκε η *χλωρίνη*, ένα χημικό που αργότερα χρησιμοποιήθηκε για τη λεύκανση του χαρτιού.

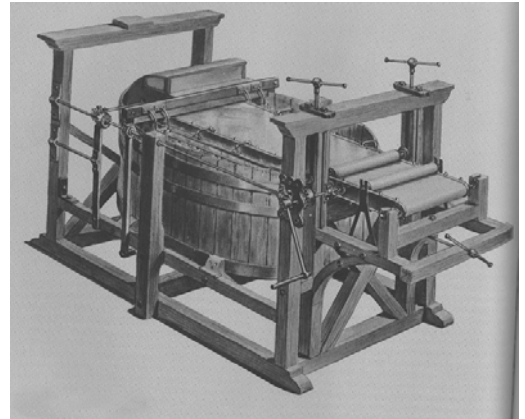
Το 1798 ο Γάλλος Nicholas-Louis Robert εφηύρε μια μηχανή παραγωγής χαρτιού, βασική αρχή της οποίας ήταν να παράγει λείο συνεχόμενο χαρτί σε ρολά και όχι πια σε μεμονωμένα φύλλα [6]. Δυστυχώς όμως δε βρήκε επενδυτές να χορηγήσουν τις μελέτες του και το σχέδιο εγκαταλείφθηκε, μέχρι που οι αδερφοί Fourdrinier άκουσαν γι' αυτό το σχέδιο και αποφάσισαν να κατασκευάσουν τη δική τους μηχανή παραγωγής χαρτιού, για την οποία κατοχύρωσαν παγκόσμιο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (πατέντα) το 1807. Αν και δεν τη χρησιμοποίησαν τελικά ποτέ, η μηχανή παραγωγής χαρτιού σε ρολά έμεινε στην ιστορία με το όνομά τους.

Γύρω στα 1850 ο Γερμανός Friedrich Gottlob Keller σκέφτηκε να συνθλίψει ξύλο με

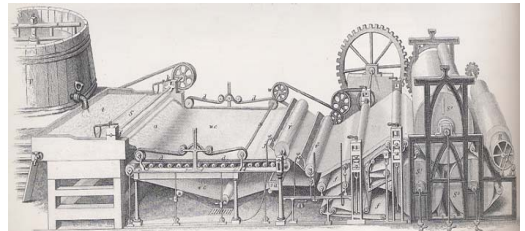
Η εξέλιξη του μηχανολογικού εξοπλισμού για την παρασκευή χαρτιού:



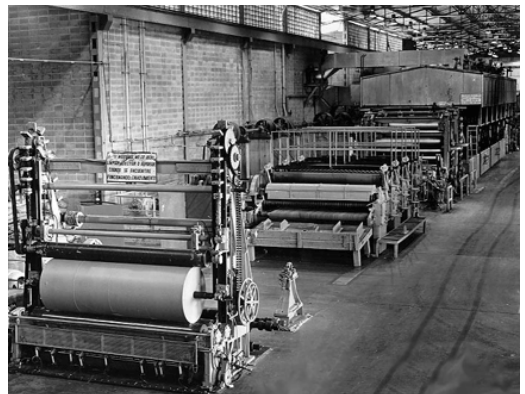
α. κατά το Μεσαίωνα



β. 17ος-18ος αιώνας



γ. Πρωταρχική μηχανή Fourdrinier



δ. κατά τη βιομηχανική επανάσταση

μια βρεγμένη μυλόπετρα μετατρέποντάς το σε ξυλοπολτό χαμηλής όμως ποιότητας. Αυτόν τον τρόπο χρησιμοποίησε και ο Charles Fenerty. Εκείνη την εποχή, μέσα 19^{ου} αιώνα, η ξυλεία ήταν άφθονη και φθηνή, αποτελούσε το πλέον κατάλληλο υλικό για την παραγωγή χαρτιού όντας πλούσια σε κυτταρίνη και έλυσε το πρόβλημα της έλλειψης πρώτων υλών που είχε αρχίσει να παρουσιάζεται. Γι' αυτόν το λόγο πολλοί επιστήμονες ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα. Το 1851 ο Άγγλος Hugh Burgess χρησιμοποίησε για πρώτη φορά χημικά για τη διάλυση του ξύλου σε πολτό. Μαζί με τον Charles Watt ανέπτυξαν την αλκαλική μέθοδο για την παραγωγή χαρτιού από ξυλοπολτό. Ακολουθώντας το παράδειγμα του Hugh Burgess, το 1866 ο Αμερικανός χημικός C.B. Tilghman βελτίωσε τη μέθοδο χρησιμοποιώντας θειικά οξέα. Το 1879 ο Σουηδός C.F. Dahl εισήγαγε επιπλέον θειικά οξέα στη μέθοδο, από όπου προήλθε η συνταγή για την παραγωγή χαρτιού Kraft (από τη γερμανική λέξη για τη δύναμη). Η μέθοδος Kraft εφαρμόστηκε στην Αμερική το 1907, όπου πλέον η μαζική παραγωγή χαρτιού ήταν πραγματικότητα (η παραγωγή χαρτιού διπλασιάστηκε και έφτασε τα 2,5 δισεκατομμύρια τόνους το χρόνο).

Σε αυτή τη φάση, το παγκόσμιο δυναμικό που στηριζόταν στη χρήση ξυλείας κυριάρχησε στην παραγωγή χαρτιού του 20^{ου} αιώνα, καθώς οι βιομηχανικές παραγωγικές διαδικασίες εξαπλώθηκαν γρήγορα. Σύντομα πολλοί άνθρωποι συνειδητοποίησαν ότι με αυτόν το ρυθμό που προχωρούσε η παραγωγή θα έπρεπε να βρεθεί εναλλακτική πρώτη ύλη εκτός από το ξύλο. Ένας από αυτούς ήταν και ο Henry Ford, υπέρμαχος της χρήσης γεωργικών υπολειμμάτων για την παραγωγή αγαθών. Κάθε αυτοκίνητο μάρκας Ford

Φωτογραφίες από το Γερμανικό Μουσείο, από το τμήμα της ιστορίας του χαρτιού [12]:



α. Holländer (Westphalia, 1845).



β. Haynsburg paper mill.



γ. Γαλλική μηχανή Fourdrinier (1820 περίπου).

χρησιμοποιούσε μεγάλη ποσότητα σόγιας μέχρι το 1934. Παρόλα αυτά οι βιομήχανοι αποδείχτηκαν ανίκανοι να ξεκινήσουν μια βιομηχανία βασισμένη εξ' ολοκλήρου σε γεωργικά υπολείμματα.

Παράλληλα, καθώς η χρήση του χαρτιού είχε φτάσει στα ύψη, παρατηρήθηκε μεγάλη χάρτινη μάζα στα απορρίμματα και τότε γεννήθηκε η ιδέα να χρησιμοποιηθούν αυτά τα απορρίμματα εξαιτίας της έλλειψης πρώτης ύλης ιδιαίτερα κατά τους δύο παγκόσμιους πολέμους. Έτσι βρέθηκε μια λύση σε αυτό το πρόβλημα που βοήθησε και στον τομέα της οικολογίας. Μόλις διαπιστώθηκε ότι με την ανακύκλωση του χαρτιού σώζονται χιλιάδες δέντρα, η ανακύκλωση έγινε ένας από τους στόχους των οικολογικών οργανώσεων μαζί με την απάλειψη του χλωρίου που χρησιμοποιούνταν για τη λεύκανση του χαρτοπολτού.

Σήμερα στην Ευρώπη το ποσοστό ανακύκλωσης έχει ξεπεράσει αισίως το 50% (συγκεκριμένα το 2002 έφτασε το 52,7%) και η Ομοσπονδία των Ευρωπαϊκών Χαρτοβιομηχανιών (CEPI: Confederation of European Paper Industries) δηλώνει με αυτοπεποίθηση ότι το 2005 τα ποσοστά θα ξεπεράσουν το 55%. Η Ελλάδα συγκέντρωσε ένα ποσοστό ανακύκλωσης 30,6% το 2002, που είναι ιδιαίτερα χαμηλό αν το συγκρίνουμε με αυτό της Σουηδίας, για παράδειγμα, που ήταν 86,4% [1,4,9] (βλ. σχετικό πίνακα, σελ. 30).

| Ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης χαρτιού στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2000 και το 2002 | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Χώρες | 2000 | | 2002 | |
| | % Συλλογής | % Ανακύκλωσης | % Συλλογής | % Ανακύκλωσης |
| Αυστρία | 65,8 | 96,7 | 61,4 | 94,3 |
| Βέλγιο | 51,6 | 19,1 | 48,1 | 17,6 |
| Δανία | 48,0 | 28,6 | 55,7 | 29,2 |
| Φιλανδία | 67,3 | 62,8 | 71,7 | 65,8 |
| Γαλλία | 46,1 | 50,2 | 49,7 | 60,8 |
| Γερμανία | 69,8 | 56,5 | 72,2 | 63,4 |
| Ελλάδα | 34,9 | 31,1 | 34,1 | 30,6 |
| Ιρλανδία | 18,6 | 10,3 | 33,8 | 9,4 |
| Ιταλία | 37,4 | 42,2 | 44,9 | 47,2 |
| Ολλανδία | 59,5 | 65,9 | 64,8 | 66,8 |
| Πορτογαλία | 50,5 | 39,2 | 45,8 | 32,6 |
| Ισπανία | 48,0 | 56,1 | 52,1 | 62,9 |
| Σουηδία | 63,3 | 78,8 | 68,8 | 86,4 |
| Ηνωμένο Βασίλειο | 41,1 | 37,9 | 47,6 | 37,1 |
| Συνολικά Ε.Ε. | 52,0 | 49,7 | 55,9 | 52,7 |

3.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ανακύκλωσης

Όπως φάνηκε και στην ιστορική ανάλυση, η ανακύκλωση βασίστηκε κυρίως στη πληθώρα υλικών που μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν. Οι ανάγκες δηλαδή που οδήγησαν στην ανάπτυξη της ανακύκλωσης οφείλονταν στην έλλειψη χώρου στις χωματερές όπου κατέληγαν τα σκουπίδια. Καθώς ο πληθυσμός αυξανόταν, αυξανόταν εξίσου και η κατανάλωση, επομένως και τα απορρίμματα. Με αυτόν το ρυθμό οι χωματερές θα ξεχείλιζαν.

Η ανακύκλωση βοήθησε να μην καταλήγουν όλα τα απορρίμματα στις χωματερές. Τα υλικά που μπορούν να κατεργαστούν και να χρησιμοποιηθούν εκ νέου ξεχωρίζονται, συλλέγονται και αποτελούν πρώτη ύλη για ανακυκλωμένα προϊόντα.

Έπειτα διαπιστώθηκε πως η ανακύκλωση των υλικών σώζει τον πλανήτη από την εξαφάνιση των αποθεμάτων μη ανανεώσιμων πρώτων υλών. Ακόμη και στην περίπτωση του χαρτιού, όπου ως πρώτη ύλη θεωρείται το ξύλο και συνεπώς τα δέντρα, τα οποία είναι μια ανανεώσιμη πηγή πρώτων υλών, η ανακύκλωση ήταν σωτήρια. Κάποιοι θεωρούν ότι η ανακύκλωση δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην σωτηρία των δασών, καθώς για την παρασκευή χαρτιού από ξύλο χρησιμοποιούνται πριονίδια και άλλα υπολείμματα της βιομηχανίας ξύλου για κατασκευή επίπλων και δεν κόβονται επιπλέον δέντρα. Κι όμως η χρήση χαρτιού και χαρτονιού έχει γίνει τόσο διαδεδομένη που, αν δεν γινόταν ανακύκλωση, τότε θα υπήρχε πραγματικό πρόβλημα αφανισμού των δασών.

Όσον αφορά την περιβαλλοντική μόλυνση και την κατανάλωση ενέργειας, το ανακυκλωμένο χαρτί υπερέχει σημαντικά της παραγωγής χαρτιού από ξυλοπολτό με χημικά ή μηχανικά μέσα. Με τη χημική μέθοδο πολτοποίησης ενδέχεται να μένουν ρυπογόνα κατάλοιπα από τις χημικές αντιδράσεις, ανάλογα με τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται, ενώ με τη μηχανική μέθοδο πολτοποίησης ξοδεύονται πολλές ποσότητες ενέργειας, πολύ περισσότερες από όσες ξοδεύονται με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην ανακύκλωση.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της βιομηχανίας ανακύκλωσης είναι οι πολλές νέες θέσεις εργασίας που έχει δημιουργήσει και οι νέες τεχνολογικές και

επιστημονικές ειδικότητες που έχουν αναπτυχθεί στον επαγγελματικό και στον εκπαιδευτικό τομέα. Η Χαρτοβιομηχανία έχει προσφέρει πολλές θέσεις εργασίας και έχει δώσει μια ανάσα στην ανεργία που ταπεινώνει τον άνθρωπο. Επίσης, είναι μια πολλά υποσχόμενη και σίγουρη επένδυση για νέους επιχειρηματίες. Χάρη στη διάδοση της ανακύκλωσης η επιστήμη έχει προχωρήσει σε αυτόν τον τομέα και έχει μελετήσει τις ιδιότητες του χαρτιού, ώστε να εφεύρει οικονομικότερους και οικολογικότερους τρόπους ανακύκλωσης. Αυτό προσφέρει καινούρια ερεθίσματα στη νεολαία για μάθηση και εθελοντική ενασχόληση για την προστασία του περιβάλλοντος.

Συνοψίζοντας, τα ζωτικά πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης είναι τα εξής:

- Μείωση της χρησιμοποιούμενης καθαρής πρώτης ύλης
- Αύξηση χώρου και διάρκειας ζωής των χωματερών
- Νέες θέσεις εργασίας και ευκαιρίες επενδύσεων
- Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης, κατανάλωσης νερού και περιβαλλοντικής μόλυνσης
- Καινούρια ερεθίσματα για τη νεολαία

Η ανακύκλωση βέβαια έχει και ένα άλλο πρόσωπο. Ευτυχώς όμως τα μειονεκτήματα είναι λιγότερα από τα πλεονεκτήματα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι παύουν να ισχύουν.

Μπορεί με την παρασκευή χαρτιού από ξύλο να έχουμε περισσότερη μόλυνση περιβάλλοντος και κατανάλωση νερού και ενέργειας, αλλά και η ανακύκλωση έχει αυτές τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η πολτοποίηση του παλιόχαρτου απαιτεί τεράστιες ποσότητες νερού, το οποίο νερό μετά πηγαίνει για βιολογικό καθαρισμό, ώστε να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί. Η χημική κατεργασία που υπόκειται το παλιόχαρτο για να πολτοποιηθεί σκοπό έχει τον καθαρισμό του χαρτοπολτού από ξένες ουσίες (πλαστικά, μεταλλικά κτλ), οι οποίες ξένες ουσίες απομακρύνονται και, αν δε χρησιμοποιηθούν για καύση προς ενέργεια, καταλήγουν ως απορρίμματα στις χωματερές. Επίσης η απομελάνωση του χαρτοπολτού μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αν δε γίνει σωστός βιολογικός καθαρισμός στο νερό που

απομακρύνεται, ενώ έχει δεσμεύσει το μελάνι. Γι' αυτό χρειάζεται οργάνωση και συνέπεια στη διατήρηση της καθαριότητας σε χώρους όπου γίνεται η ανακύκλωση και σε χώρους όπου συλλέγεται το παλιόχαρτο, ώστε αυτοί οι χώροι να μην καταντήσουν ανθυγιεινοί.

Το χαρτί δεν μπορεί να ανακυκλώνεται έπ' αόριστον. Οι ίνες του χαρτιού με αυτή την επεξεργασία, ξανά και ξανά, χάνουν σιγά-σιγά τη μορφή τους και τη σταθερότητα των δεσμών που τις συγκρατούν, οπότε διαλύονται και καταρρέουν. Μία ποσότητα χαρτιού μπορεί να ανακυκλωθεί περίπου 5-6 φορές. Μόνο με την ανακύκλωση το διαθέσιμο χαρτί θα ελαττωνόταν κατά 20% κάθε φορά που θα ανακυκλωνόταν, ώσπου μετά από 5 φορές ανακύκλωσης θα διαλυόταν εξ' ολοκλήρου. Γι' αυτό χρειαζόμαστε τροφοδοσία από φρέσκιες ίνες που θα αντικαθιστούν κάθε φορά αυτές που έχουν καταρρεύσει.

Επιπλέον δεν μπορούν να ανακυκλωθούν όλα τα είδη χαρτιού. Χαρτί που έχει συνδυαστεί με άλλα υλικά, πχ αλουμίνιο, πλαστικό, δεν μπορεί να ξεχωριστεί και να ανακυκλωθεί. Χαρτί που έχει χρησιμοποιηθεί για συσκευασία τροφίμων δεν είναι ανακυκλώσιμο, επειδή οι ουσίες των τροφίμων που έρχονται σε επαφή με το χαρτί καθιστούν τις ίνες ακατάλληλες για ανακύκλωση. Χαρτί που χρησιμοποιήθηκε για βιβλία, για έργα τέχνης, για λογιστικά και άλλα επίσημα έγγραφα, δεν ανακυκλώνονται, γιατί διατηρούνται για συλλεκτικούς και πολιτιστικούς λόγους. Χαρτιά υγείας, χαρτιά κουζίνας, χαρτοπετσέτες και χαρτομάντιλα δεν ανακυκλώνονται, αλλά αφού χρησιμοποιηθούν καταλήγουν αμέσως στα σκουπίδια. Τα τσιγαρόχαρτα καίγονται και άλλα χαρτιά χρησιμοποιούνται μόνιμα, όπως για οικοδομικές χρήσεις, για ταπετσαρίες, για ιατρικές και άλλες επιστημονικές χρήσεις κτλ. Το ποσοστό αυτών των χαρτιών που δεν είναι ανακυκλώσιμα υπολογίζεται σε 18-20% του συνόλου.

Με την ανακύκλωση χάνεται αρκετή από την ποιότητα του χαρτιού. Εξαιτίας της φύσης της επεξεργασίας στην οποία υποβάλλεται το χαρτί, οι οπτικές ιδιότητες και η ακαμψία χειροτερεύουν και οι ίνες γίνονται βραχύτερες, λεπτότερες και λιγότερο άκαμπτες. Αυτό επηρεάζει τις αντοχές του νέου τελικού προϊόντος και ειδικότερα σε υλικά συσκευασίας και λεπτά χαρτιά. Δεν μπορούμε να παράγουμε χαρτί εξαιρετικής ποιότητας μόνο από 100% ανακυκλωμένο χαρτί.

Συνήθως από 100% ανακυκλωμένο χαρτί παράγονται εφημερίδες, χαρτιά συσκευασίας, χαρτόνια Kraft κτλ. Χαρτί που επιβάλλεται να είναι καλής ποιότητας μπορεί μόνο να παραχθεί από καινούριο πολτό και όχι ανακυκλωμένο.

Συνοψίζοντας, τα αναπόφευκτα μειονεκτήματα της ανακύκλωσης χαρτιού είναι τα εξής:

- Μερική επιβάρυνση της ποιότητας του περιβάλλοντος, κατανάλωση ενέργειας
- Αποδυνάμωση της ίνας μέχρι τελικής κατάρρευσης
- Περιορισμός ανακύκλωσης σε ορισμένες χρήσεις του χαρτιού
- Χειροτέρευση της ποιότητας του ανακυκλωμένου χαρτιού

Συμπεραίνουμε ότι μπορούμε να κρατήσουμε μια μέση οδό με τις καλύτερες επιδόσεις σε ανακυκλωμένο χαρτί, αν:

- Διατηρούμε οργάνωση και καθαριότητα στους χώρους που συλλέγεται και ανακυκλώνεται το χαρτί.
- Ενισχύουμε τον ανακυκλωμένο χαρτοπολτό με φρέσκες ίνες για να αντικαθιστώνται αυτές που διαλύονται.
- Καθορίζουμε τις ποιότητες χαρτιού που θέλουμε να παράγουμε κάθε φορά και χρησιμοποιούμε τις σωστές αναλογίες ανακυκλωμένου και νέου χαρτιού.
- Και φυσικά, αν ανακυκλώνουμε οτιδήποτε μπορεί να ανακυκλωθεί.

3.3. Το σύμβολο της ανακύκλωσης του χαρτιού

Όλα ξεκίνησαν από ένα διαγωνισμό που διεξήγαγε η εταιρία Container Corporation of America (CCA) ως ξεχωριστό γεγονός για την πρώτη Ημέρα του Περιβάλλοντος το 1970 [10]. Η CCA ήταν τότε η μεγαλύτερη βιομηχανία ανακύκλωσης χαρτιού. Ο διαγωνισμός απευθυνόταν σε σπουδαστές από τμήματα καλών τεχνών και είχε ως ζητούμενο ένα σχέδιο που θα συμβόλιζε τη διαδικασία της ανακύκλωσης και θα εμφανιζόταν στα ανακυκλωμένα προϊόντα της εταιρίας.



Συμμετείχαν πάνω από 500 σχέδια και το βραβείο πήγε στον Gary Anderson, τότε σπουδαστή του Τμήματος Καλών Τεχνών του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνιας. Το σχέδιο του, τρία τόξα σε κυκλική πορεία, βασίστηκε στην ανακάλυψη του August Ferdinand Möbius, μαθηματικού του 19^{ου} αι., πως μια λωρίδα χαρτιού διπλωμένη μια φορά και ενωμένη στις άκρες της σχηματίζει μια συνεχόμενη μονογωνική, μονόπλευρη επιφάνεια. Γι' αυτό το σύμβολο της ανακύκλωσης αναφέρεται ως «κύκλος του Möbius». Ο ίδιος ο Gary Anderson λέει σε μια συνέντευξή του το Μάιο του 1999 στο εμπορικό περιοδικό Resource Recycling: «Το σύμβολο σχεδιάστηκε ως μια ταινία του Möbius, για να συμβολίσει τη συνέχεια μέσα σε μια πεπερασμένη οντότητα. Χρησιμοποίησα τα βέλη για να δώσω κατεύθυνση στο σύμβολο. Το οραματίστηκα με την άκρη του τριγώνου στο κάτω μέρος. Ήθελα να συνδυάζει τη δυναμικότητα (τα πράγματα αλλάζουν) αλλά και τη στατικότητα (είναι μια στατική ισορροπία, κάτι το μόνιμο). Τα βέλη, όσο ανοιχτά κι αν είναι, επανέρχονται πίσω στη στατική πλευρά».



Ένα πρόχειρο σχέδιο από το χέρι του Gary Anderson, όπως το οραματίστηκε ο ίδιος

Αργότερα το πρωτότυπο σχέδιο του Anderson βελτιώθηκε από τον Bill Lloyd, τον διευθυντή δημοσίων σχέσεων της CCA. Ώξυνε τις γραμμές και περιέστρεψε το σύμβολο, ώστε στο κέντρο του να εμφανίζεται το περίγραμμα ενός δέντρου (έλατο). Η CCA ήθελε να κατοχυρώσει το σύμβολο ως εμπορικό σήμα της, αλλά τελικά το άφησε για δημόσια χρήση.

Έτσι, κάποια στιγμή την δεκαετία του '70, η American Forest & Paper Association (AF&PA) άρχισε να προωθεί τη χρήση του για να περιγράψει ανακυκλώσιμα και ανακυκλωμένα προϊόντα χαρτιού. Η χρήση του εξαπλώθηκε ραγδαία και διαδόθηκε και σε άλλα προϊόντα, όπως το γυαλί, το πλαστικό, το αλουμίνιο κτλ.

Αν και είναι πολλοί αυτοί που αγνοούν τη διαφορά, έχει παρατηρηθεί και η χρήση ενός άλλου παρόμοιου συμβόλου. Η μόνη διαφορά είναι η εναλλακτική στροφή ενός από τα βέλη του συμβόλου. Η προέλευση αυτής της εκδοχής είναι άγνωστη, αλλά πιθανότατα προήλθε κατά λάθος.



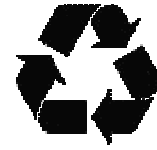
Εναλλακτική (λανθασμένη;) απόδοση του συμβόλου

Το πιο εντυπωσιακό σε όλα αυτά είναι πώς ένα γεωμετρικό σχήμα, προϊόν καθαρά μαθηματικής έρευνας του μαθηματικού του 19^{ου} αιώνα Augustus Ferdinand Möbius (1790-1868), έχει γίνει σήμερα ένα σύγχρονο πολιτιστικό σύμβολο.

Η εξέλιξη του συμβόλου της ανακύκλωσης

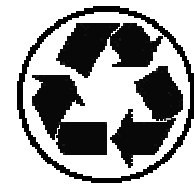
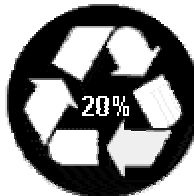
Το πρωτότυπο σχέδιο του Anderson εξελίχθηκε, ώστε να έχουμε σήμερα διάφορες εκδοχές που αναλογούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες:

1. Σύμβολο για τα **ανακυκλώσιμα** προϊόντα, αποτελούμενα από υλικά κατάλληλα για ανακύκλωση.



Το σχέδιο που παριστάνει το περίγραμμα των βελών αποτελεί το παραδοσιακό σύμβολο για τα ανακυκλώσιμα χαρτιά, ενώ το δεύτερο σχέδιο με τα γεμάτα βέλη αποτελεί μια παραλλαγή, επίσης για τα ανακυκλώσιμα προϊόντα.

2. Σύμβολο για τα **ανακυκλωμένα** προϊόντα, αποτελούμενα από υλικά που έχουν ανακυκλωθεί.



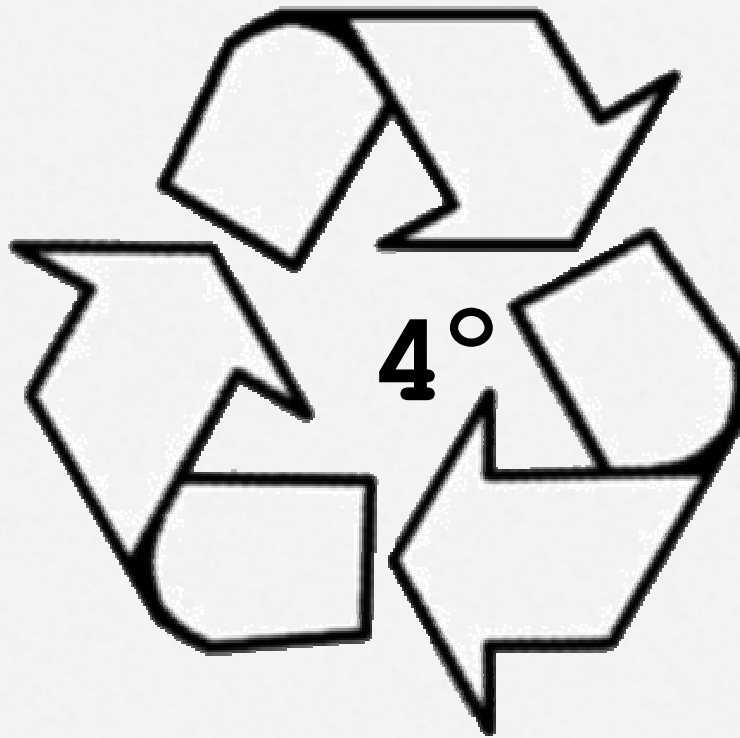
Ο γεμάτος κύκλος με τα λευκά βέλη αποτελεί το κατεξοχήν σύμβολο για τα προϊόντα που αποτελούνται από 100% ανακυκλωμένο υλικό.

Όταν ο γεμάτος κύκλος με τα λευκά βέλη περιέχει έναν αριθμό με ποσοστό στο κέντρο του, αυτό σημαίνει ότι το προϊόν αποτελείται από κάποιο ποσοστό ανακυκλωμένου υλικού και ο συγκεκριμένος αριθμός δηλώνει το ποσοστό αυτό.

Υπάρχει και ο λευκός κύκλος με γεμάτα τα βέλη και μαύρο κυκλικό περίγραμμα που χρησιμοποιείται για να συμβολίζει τα ανακυκλωμένα προϊόντα γενικά.

Σήμερα, όλα τα παραπάνω σύμβολα μπορεί να συναντηθούν σε διάφορα χρώματα. Δυστυχώς, ο συμβολισμός δεν τηρείται αυστηρά, οπότε τα σύμβολα συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά και τυχαία.

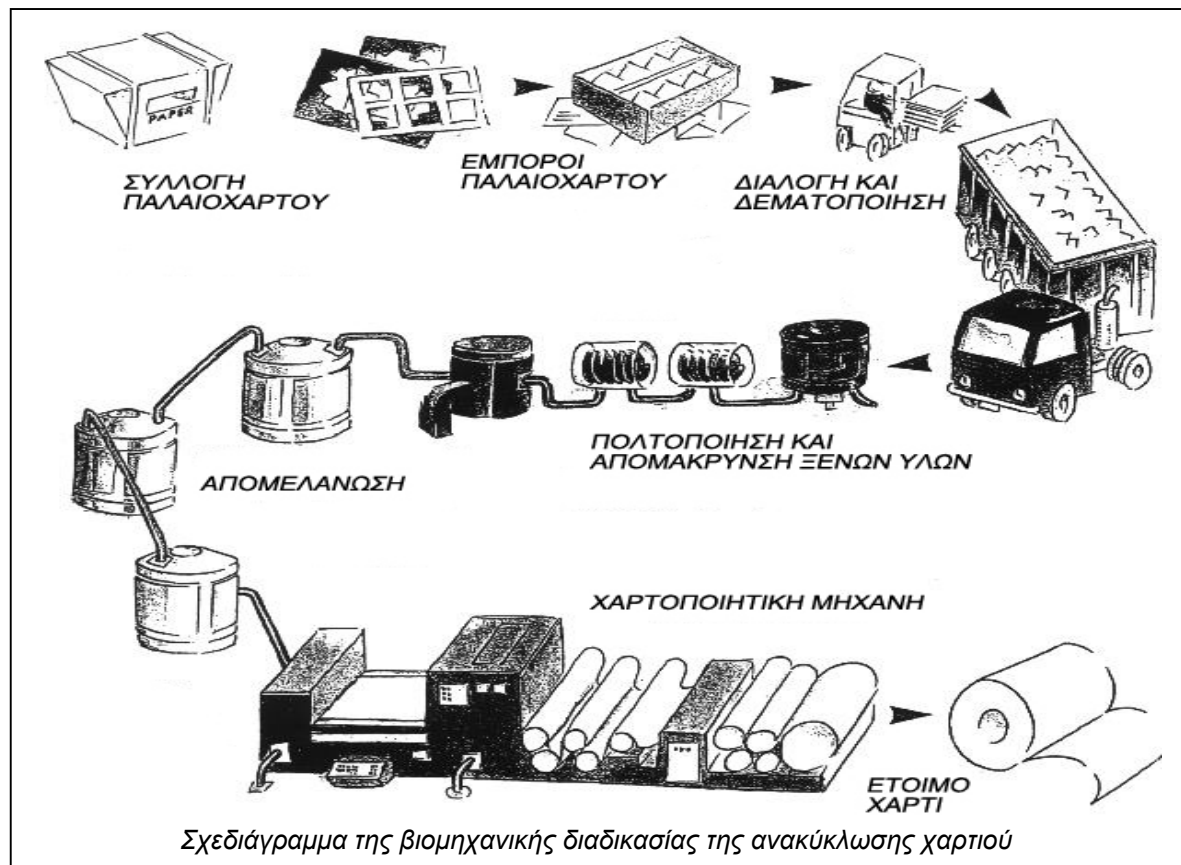
Κεφάλαιο



4. Η βιομηχανική διαδικασία της ανακύκλωσης χαρτιού

Η βιομηχανική διαδικασία της ανακύκλωσης χαρτιού λαμβάνει χώρα ως ακολούθως:

- Πηγές παλιοχάρτου
- Συλλογή παλιοχάρτου
- Έμποροι παλιοχάρτου
- Διαλογή σε βαθμίδες
- Δεματοποίηση παλιοχάρτου
- Πολτοποίηση
- Απομάκρυνση ξένων υλών
- Απομελάνωση
- Μηχανή χαρτοποιίας
- Χαρτί



4.1. Πηγές παλαιοχάρτου

Σχεδόν κάθε χαρτί μπορεί να ανακυκλωθεί, χρησιμοποιημένες εφημερίδες, χαρτοκιβώτια, συσκευασίες, γραφικά είδη, αλληλογραφίες, περιοδικά, κατάλογοι, κάρτες. Κύριοι προμηθευτές παλαιοχάρτου αποτελούν τα σουπερμάρκετ με χαρτοκιβώτια και χαρτιά συσκευασίας, οι μετατροπείς (εταιρίες που παίρνουν ρολά χαρτιού και το μετατρέπουν σε τελικά προϊόντα) με χάρτινα υπολείμματα, τα τυπογραφεία με λανθασμένες και αχρηστεμένες εκτυπώσεις, τα σχολεία και οι μαθητές με βιβλία και τετράδια περασμένων ετών, τα γραφεία με χαρτιά αλληλογραφίας, καταλόγους και αχρηστεμένα έγγραφα, και φυσικά τα νοικοκυριά με χαρτιά από την καθημερινή χρήση.

Στατιστικά τη μεγαλύτερη πηγή παλαιοχάρτου αποτελεί η βιομηχανία και οι επαγγελματίες με 52% ποσοστό, το οποίο καλύπτει απώλειες από την επεξεργασία (ψήγματα, κοψίδια) και τις επιστροφές από ανεκπλήρητες εφημερίδες και περιοδικά. Περίπου 10% προέρχεται από γραφεία και το υπόλοιπο 38% προέρχεται από τα νοικοκυριά. Ένα ξεχωριστό 20% του ανακτημένου χαρτιού είναι χαρτί «προ-κατανάλωσης» (αυτό που ποτέ δεν φτάνει στους καταναλωτές), όπως είναι οι λανθασμένες εκτυπώσεις από τα τυπογραφεία και τα υπολείμματα από τις μετατροπείς εταιρίες.

4.2. Συλλογή παλαιοχάρτου

Η συλλογή παλαιοχάρτου εξαρτάται από την πηγή του. Από μεγάλες βιομηχανικές και εμπορικές πηγές ο όγκος του παλαιοχάρτου είναι τόσο μεγάλος που έχουν δικό τους συλλεκτικό εξοπλισμό. Στα νοικοκυριά το χαρτί που προορίζεται για ανακύκλωση συλλέγεται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα απορρίμματα, καθώς μολυσμένο χαρτί δεν είναι κατάλληλο για ανακύκλωση. Το μολυσμένο χαρτί μπορεί να εισάγει ακαθαρσίες και βακτήρια στη διαδικασία της ανακύκλωσης.

Σε μερικές χώρες τα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως το χαρτί και το χαρτόνι, το πλαστικό, το αλουμίνιο κτλ συλλέγονται μαζί. Σε άλλες χώρες τα παλιά

περιοδικά και εφημερίδες συλλέγονται ξεχωριστά από το υπόλοιπο χαρτί και χαρτόνι.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος συλλογής εφαρμόζεται με κοντέινερ, μεγάλα και μικρά, τοποθετημένα σε διάφορα σημεία της πόλης, τα οποία φέρουν το σύμβολο της ανακύκλωσης και παροτρύνουν τον κόσμο να πετάξει εκεί το χαρτί που έχει προς ανακύκλωση. Μεγάλα κοντέινερ υπάρχουν έξω από σουπερμάρκετ και βιομηχανίες, ενώ μικρά υπάρχουν διάσπαρτα στις γειτονιές. Μεγάλα φορηγά περνούν από αυτά τα σημεία και αδειάζουν το περιεχόμενο των μικρών κοντέινερ στη μεγάλη καρότσα τους, ενώ για τα μεγάλα κοντέινερ κυκλοφορούν ειδικά φορηγά στα οποία το κοντέινερ φορτώνεται και μεταφέρεται



Κάδοι συλλογής απορριμμάτων προς ανακύκλωση



Μεγάλο κοντέινερ για συλλογή παλαιοχάρτου

αυτούσιο. Αυτά τα φορηγά με τη σειρά τους πηγαίνουν στον τόπο όπου θα γίνει η διαλογή του χαρτιού, είτε αυτός είναι ο ίδιος όπου γίνεται και η ανακύκλωση είτε είναι οι αποθήκες των εμπόρων παλαιοχάρτου. Ο τόπος καθορίζεται από τους ιδιοκτήτες των κοντέινερ.

4.3. Έμποροι παλαιοχάρτου

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η συλλογή του παλαιοχάρτου είναι το πρώτο βήμα στη διαδικασία της ανακύκλωσης. Υπάρχουν διάφορα εθνικά και τοπικά δίκτυα συλλογής χαρτιού και χαρτονιού. Οι κατασκευαστές χαρτιού συνήθως αγοράζουν την πρώτη ύλη από εμπόρους παλαιοχάρτου. Αυτοί οι έμποροι μπορεί να ανήκουν και να είναι ένα ολοκληρωμένο τμήμα του εργοστασίου χαρτοποιίας ή μπορεί να αποτελούν αυτόνομη εταιρία που ειδικεύεται σε συγκεκριμένες βαθμίδες ή λειτουργεί σε μια μικρότερη γεωγραφική περιοχή. Στην Ευρώπη μια μικρή αλλά συνεχώς αυξανόμενη ποσότητα παλαιοχάρτου παρέχεται από εταιρίες διαχείρισης απορριμμάτων που μάλιστα βρίσκουν οικονομικά προσοδοφόρο να διαχωρίζουν το χαρτί προς ανακύκλωση. Αυτό φυσικά βοηθάει στο να μειωθούν οι ποσότητες χαρτιού που καταλήγουν στις χωματερές.



Φορηγό που χρησιμοποιείται ειδικά για την συλλογή χαρτιού και χαρτονιού προς ανακύκλωση

Ο ρόλος των εμπόρων παλαιοχάρτου και των εταιριών διαχείρισης απορριμμάτων είναι σημαντικός. Το σύστημα συλλογής σε λειτουργία πρέπει να είναι οικονομικά αποτελεσματικό και καλά οργανωμένο έτσι, ώστε να εξασφαλίζονται οι απαιτούμενοι όγκοι και ποσότητες ανακτημένου χαρτιού και να ανακυκλώνονται κατάλληλα. Εκείνα τα εργοστάσια χαρτοποιίας που εξαρτώνται από το ανακτημένο χαρτί πρέπει να έχουν εξασφάλιση για τακτικό εφοδιασμό πρώτης ύλης (χαρτιού).

4.4. Προετοιμασία χαρτιού προς ανακύκλωση: Διαλογή και δεματοποίηση

Όταν σε αυτήν την πορεία του ανακτημένου χαρτιού προς ανακύκλωση περιλαμβάνονται και οι έμποροι παλαιοχάρτου, αυτοί είναι που πραγματοποιούν και την προετοιμασία του χαρτιού για ανακύκλωση: τη διαλογή και τη δεματοποίηση.

Η **διαλογή** είναι σκόπιμη, γιατί συγκεκριμένες βαθμίδες ανακτημένου χαρτιού είναι κατάλληλες για συγκεκριμένα τελικά ανακυκλωμένα προϊόντα. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατόν να πάρουμε εφημερίδες και χαρτοκιβώτια για να παράγουμε λευκό φωτοαντιγραφικό χαρτί. Οι



Διαλογή με το χέρι σε περιστρεφόμενο ιμάντα

ίνες που προέρχονται από εφημερίδες και χαρτοκιβώτια είναι πιο κατάλληλες για παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού συσκευασίας. Υπάρχουν διάφορες βαθμίδες ανακτημένου χαρτιού και χαρτονιού, για να ικανοποιούν τις ανάγκες των διαφόρων παραγωγών σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές.

Παραπάνω από 50 βαθμίδες ανακτημένου χαρτιού και χαρτονιού ορίζονται στην «*Ευρωπαϊκή Λίστα Τυποποιημένων Βαθμίδων Ανακτημένου Χαρτιού και Χαρτονιού*», η οποία παρατίθεται στο Παράρτημα [7].

Περιληπτικά, οι βαθμίδες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Χαμηλές βαθμίδες (μικτά χαρτιά, παλιά αυλακωτά χαρτοκιβώτια, χαρτόνια, κτλ) απαρτίζουν το κύριο ποσοστό του ανακτημένου χαρτιού που καταναλώνεται. Αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού συσκευασίας.
- Απομελανωμένες βαθμίδες (εφημερίδες και περιοδικά, γραφικό χαρτί, κτλ) θεωρούνται συνήθως και χαμηλές βαθμίδες. Αυτά χρησιμοποιούνται για γραφικές και υγειονομικές χρήσεις.
- Υψηλές βαθμίδες (ψήγματα, λευκές κόλλες, τυπογραφικά υπολείμματα) απαιτούν ελάχιστο ή καθόλου καθαρισμό. Μπορούν να

χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή οποιουδήποτε προϊόντος χαρτιού ως υποκατάστατο πολτού.

Η **δεματοποίηση** συνιστάται όταν πρόκειται για μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ανακτημένου χαρτιού από τον τόπο της διαλογής στον τόπο της ανακύκλωσης. Αφού το χαρτί έχει διαχωριστεί σε βαθμίδες, περνάει μέσα από μια ειδική πρέσα δεματοποίησης και βγαίνει σε **μπάλες**, όπως λέγονται, αν και είναι κυβικού σχήματος. Το χαρτί έχει πιεστεί για να καταλαμβάνει λιγότερο χώρο κατά τη μεταφορά, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας χαρτιού. Όταν δεν πρόκειται για μεγάλες ποσότητες, η χρήση της πρέσας δεματοποίησης δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα.



*Πρέσα δεματοποίησης
(μπάλες από χαρτί)*



*Πρέσα δεματοποίησης
(μπάλες από χαρτόνι)*

Στην περίπτωση που το ανακτημένο χαρτί μεταφέρεται απευθείας από τους τόπους συλλογής στα εργοστάσια ανακύκλωσης, χωρίς να παρεμβαίνουν οι έμποροι παλαιοχάρτου, η διαλογή είναι πιο δαπανηρή και χρονοβόρα, αφού γίνεται χειρωνακτικά από το προσωπικό του εργοστασίου, με ζημία των υπολοίπων εργασιών, ενώ η δεματοποίηση είναι περιττή.

4.5. Απομάκρυνση ξένων υλών

Πολλά από τα χαρτιά που στέλνονται στο εργοστάσιο περιέχουν ξένες ουσίες, που πρέπει να αφαιρεθούν, για να είναι το χαρτί κατάλληλο για ανακύκλωση. Τέτοιες ξένες ύλες είναι συρραπτικά, καρφίτσες, συνδετήρες, κολλητικές ταινίες, πλαστικά, γυαλί κτλ. Για να γίνει αυτό, το ανακτημένο χαρτί τοποθετείται σε μια μεγάλη δεξαμενή μαζί με μεγάλη ποσότητα νερού και πολτοποιείται ελαφρώς τόσο, ώστε οι ξένες ύλες να ξεχωρίσουν από το υπόλοιπο διάλυμα. Οι ξένες ύλες ή ασύμβατες, όπως συνηθίζεται να λέγονται,

απομακρύνονται με μηχανικό τρόπο και με χρήση συρμάτων πλεγμάτων. Ο όγκος των απομακρυσμένων υλικών αποτελεί ένα γλοιώδη πολτό που είτε καταλήγει στις χωματερές είτε διαχειρίζεται με άλλους τρόπους, που έχουν αναπτύξει οι εταιρίες διαχείρισης απορριμμάτων. Μπορεί να καεί για παραγωγή



Υπολείμματα μετά από την απομάκρυνση των ξένων υλών

ενέργειας, να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή να αποτελεί συστατικό στην ασφαλτόστρωση ή στην τοιχοποιία.

4.6. Απομελάνωση

Για συγκεκριμένες χρήσεις του τελικού προϊόντος (π.χ. για την παραγωγή γραφικών και υγειονομικών χαρτιών) η απομελάνωση είναι αναγκαία. Διαφορετικά, η μελάνη θα διασκορπιστεί μέσα στον πολτό και το ανακυκλωμένο χαρτί που θα παραχθεί θα έχει ένα μουντό γκριζο χρώμα και έγχρωμες κηλίδες, καταστρέφοντας έτσι όλη την παρτίδα. Η απομελάνωση εφαρμόζεται σε εκτυπωμένα χαρτιά, όπως εφημερίδες και έγγραφα γραφείων.

Υπάρχουν δύο κύριες διαδικασίες για την απομελάνωση του ανακτημένου χαρτιού: η πλύση και η επίπλευση.

- 1. Πλύση.** Αφού απομακρυνθούν οι ξένες ύλες, αποστραγγίζεται και το περισσότερο νερό που περιέχει διασπασμένη μελάνη μέσω μικρών οπών και κοσκίνων που επιτρέπουν σε μικρά σωματίδια να περάσουν αλλά όχι στο χαρτοπολτό. Προστίθεται ξανά νερό για να ξεπλυθούν οι ίνες και αποστραγγίζεται, για να απομακρυνθεί και άλλη μελάνη. Σχεδόν το 80% των ινών επανακτάται μετά από αυτή τη διαδικασία, ενώ το υπόλοιπο 20% αποτελούν η μελάνη, οι ξένες ύλες και τα πρόσθετα που αφαιρέθηκαν. Η μέθοδος της πλύσης χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία σε βαθμίδες χαρτιού προς παραγωγή γραφικών και υγειονομικών χαρτιών και σε παλιές εφημερίδες προς παραγωγή νέας πρώτης ύλης για τη δημοσιογραφική βιομηχανία. Είναι πιο αποτελεσματική από τη μέθοδο της επίπλευσης όσον αφορά την απομάκρυνση μικρών σωματιδίων μελάνης.
- 2. Επίπλευση.** Αφού απομακρυνθούν οι ξένες ύλες, προστίθενται ειδικά απολυμαντικά χημικά, τα οποία δημιουργούν έναν κολλώδη αφρό στην επιφάνεια του πολτού. Φυσαλίδες αέρα διαπερνούν τον πολτό και μεταφέρουν τη μελάνη στην επιφάνεια. Καθώς οι φυσαλίδες φτάνουν στην επιφάνεια, ο κολλώδης αφρός παγιδεύει τη μελάνη. Ο αφρός πρέπει να απομακρυνθεί πριν σκάσουν οι φυσαλίδες, αλλιώς η μελάνη θα επιστρέψει στον πολτό. Επειδή η μελάνη αφαιρείται από την δεξαμενή επίπλευσης σε συμπυκνωμένη μορφή, το σύστημα επίπλευσης δεν απαιτεί μεγάλες εγκαταστάσεις διαχείρισης νερού. Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος επίπλευσης για την απομελάνωση παλιών εφημερίδων, συνήθως προστίθενται επίσης και γύρω στο 30% χρησιμοποιημένα περιοδικά. Ο πηλός που υπάρχει στα επικαλυμμένα χαρτιά μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της απομελάνωσης, καθώς η μελάνη προσκολλάται από μόνη της στα σωματίδια πηλού, πριν επιπλεύσουν στην επιφάνεια. Η αποδοτικότητα της απομελάνωσης με επίπλευση αναφέρεται μέχρι 90-95%, αλλά τα πρόσθετα δεν απομακρύνονται στον ίδιο βαθμό όπως στην απομελάνωση με πλύση.

Από τη στιγμή που ο πολτός έχει απομελανωθεί, είναι έτοιμος να μετατραπεί σε χαρτί. Οι πιο κοινές μετρήσεις απόδοσης της διαδικασίας απομελάνωσης είναι η λευκότητα του χαρτιού, εκτιμημένη με μέτρο λευκότητας, και ο αριθμός των κηλίδων μελάνης πάνω στην επιφάνεια του χαρτιού, εκτιμημένο με οπτικό έλεγχο και χρήση μεγεθυντικού φακού. Παρόλα αυτά και οι μηχανικές ιδιότητες του χαρτιού, όπως η αντοχή σε σχίση, πρέπει να καθοριστούν. Γραφικά και υγειονομικά χαρτιά, δημοσιογραφικά χαρτιά (για εφημερίδες και περιοδικά) και χαρτιά γραφείου παράγονται από απομελανωμένο ανακυκλωμένο χαρτί και η έρευνα συνεχίζεται, ώστε οι μέθοδοι απομελάνωσης να βελτιωθούν περαιτέρω.

4.7. Έτοιμος πολτός

Μετά την απομελάνωση, ο πολτός μπορεί να λευκανθεί, συνήθως με υπεροξειδίο του υδρογόνου (οξυζενέ). Ο πολτός είναι έτοιμος για την παραγωγή χαρτιού και η διαδικασία είναι η ίδια, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2.2.8. *Στρωμάτωση ινών.* Στην περίπτωση που δεν προορίζεται για παραγωγή 100% ανακυκλωμένου χαρτιού, αναμειγνύεται με πρωτογενή (φρέσκο) πολτό μετά τη φάση της πολτοποίησης αυτού, ώστε να εισέλθει ανάμικτος πολτός στις δεξαμενές με έλεγχο ροής της χαρτοποιητικής μηχανής και να αρχίσει η στρωμάτωση των ινών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δικτυακός τόπος <http://www.paperonline.org>
2. Δικτυακός τόπος <http://www.inveresk.co.uk>
3. Κακαράς Ιωάννης, Σημειώσεις στην Τεχνολογία Ξύλου II, κεφ. 7 Χαρτί, ΤΕΙ Λάρισας (Καρδίτσα, 2000)
4. Δικτυακός τόπος <http://www.erga.info>
5. Τσουμής Γεώργιος Θ., Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, κεφ. Γ.26. Χαρτί, Α.Π.Θ. (Θεσσαλονίκη, 1983)
6. Δικτυακός τόπος <http://www.aifq.qc.ca>
7. CEPI (Confederation of European Paper Industries), European List of Standard Grades of Recovered Paper and Board (Βρυξέλες, 2002)
8. Δικτυακός τόπος http://www.edu.pe.ca/belfast/Grade4T/pap_art
9. Αγγουράκη Κλειώ, περιοδικό Ξύλο και Έπιπλο, άρθρο Η Βιομηχανία Επεξεργασίας Ξύλου, Χαρτιού και Επίπλου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Αθήνα, 2002)
10. Δικτυακός τόπος <http://www.maa.org/mathland/mathtrek>
11. Δικτυακός τόπος <http://www.m-real.com/v2/environment>
12. Δικτυακός τόπος http://www.deutches_museum.de
13. Δικτυακός τόπος <http://www.biltpaper.com>