

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ  
ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΙΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΑΡΑΧΡΗΣΤΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ (Α.Μ. 5248)  
ΣΦΕΤΣΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ (Α.Μ. 5278)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2013**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη βιομηχανική παραγωγή και ανακύκλωση του χαρτιού καθώς και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τις διεργασίες αυτές. Επιπλέον αναλύονται όλες οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές με γνώμονα πάντα τη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος.

Είναι υποχρέωσή μας να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Παναγιωτάρα Διονύσιο για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Η φωτογραφία του εξωφύλλου είναι από τις εγκαταστάσεις της χαρτοβιομηχανίας ΜΕΓΑ στις Αχαρνές Αττικής.

Καραχρήστος Θεόδωρος  
Σφέτσος Στυλιανός  
Ιούνιος 2013

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σαν θέμα την τεχνολογία παραγωγής και ανακύκλωσης του χαρτιού καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά σε βασικά ζητήματα σχετικά με τις ιδιότητες, την παραγωγή και την κατανάλωση χαρτιού. Επίσης παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορική εξέλιξη του χαρτιού.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι διεργασίες και ο απαιτούμενος εξοπλισμός σε κάθε στάδιο της παραγωγής χαρτιού σε μία σύγχρονη χαρτοβιομηχανία.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των χαρτοβιομηχανιών. Παρουσιάζονται αναλυτικά η κατανάλωση πρώτων υλών, νερού και ενέργειας καθώς και η προκαλούμενη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται θέματα που σχετίζονται με την ανακύκλωση του χαρτιού. Δίνεται έμφαση στα οφέλη που προκύπτουν από την ανακύκλωση χαρτιού καθώς και στα εμπόδια που συναντά στην Ελλάδα. Ακόμη περιγράφεται αναλυτικά η βιομηχανική διαδικασία της ανακύκλωσης χαρτιού

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής προϊόντων χάρτου από παρθένες ίνες και από ανακυκλωμένο παλαιόχαρτο.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα από τη μελέτη του θέματος.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
<b>1. ΤΟ ΧΑΡΤΙ</b>	
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Σύσταση και Ιδιότητες του Χαρτιού.....	6
1.3 Κατηγορίες Χαρτιού.....	7
1.4 Η Ιστορία του Χαρτιού.....	8
1.5 Ο Κλάδος της Χαρτοβιομηχανίας στην Ελλάδα.....	15
<b>2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΙΟΥ</b>	
2.1 Πρώτες Ύλες.....	19
2.2 Προετοιμασία της Φυτικής Ύλης.....	20
2.3 Πολτοποίηση.....	24
2.4 Μηχανική Πολτοποίηση.....	25
2.4.1 Γενικά.....	25
2.4.2 Πολτοποίηση σε Κυλινδροτριβείς.....	26
2.4.3 Πολτοποίηση σε Δισκοτριβείς.....	29
2.5 Χρήσεις του Μηχανικού Χαρτοπολτού.....	31
2.6 Βελτιωμένες Μέθοδοι Μηχανικής Πολτοποίησης.....	32
2.6.1 Γενικά.....	32
2.6.2 Θερμομηχανική Πολτοποίηση.....	32
2.6.3 Χημικομηχανική Πολτοποίηση.....	34

2.6.4 Πολτοποίηση με Εκτόνωση.....	34
2.7 Χημική Πολτοποίηση.....	35
2.7.1 Γενικά.....	35
2.7.2 Αλκαλική Μέθοδος.....	38
2.7.3 Όξινη Μέθοδος.....	41
2.8 Ημιχημική Πολτοποίηση.....	41
2.9 Χειρισμός του Πολτού.....	42
2.9.1 Διήθηση-Καθαρισμός.....	42
2.9.2 Συμπύκνωση.....	43
2.9.3 Λεύκανση.....	43
2.9.4 Μηχανική Κατεργασία Ινών.....	43
2.10 Χημικά Πρόσθετα.....	45
2.11 Στρωμάτωση των Ινών.....	46
2.12 Τελειωτικές Κατεργασίες.....	49
2.13 Ποιοτικός Έλεγχος του Χαρτιού.....	50
2.13.1 Ποιοτικός Έλεγχος Πρώτων Υλών και Πρόσθετων Ουσιών.....	50
2.13.1 Ποιοτικός Έλεγχος Ιδιοτήτων Χαρτιού.....	51

### **3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΑΡΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ**

3.1 Γενικά.....	55
3.2 Η Οδηγία 96/61/ΕΚ.....	57
3.3 Κατανάλωση Νερού.....	61
3.4 Αέριες Εκπομπές.....	62
3.5 Υγρά Απόβλητα.....	62
3.6 Στερεά Απόβλητα.....	64
3.7 Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για τις Εγκαταστάσεις Παραγωγής Χαρτοπολτού.....	65
3.7.1 Γενικά.....	65
3.7.2 Τεχνικές Ενσωματωμένες στην Παραγωγική Διαδικασία.....	66
3.7.3 Τεχνικές Περιορισμού των Εκπομπών.....	69

3.8 Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για τις Εγκαταστάσεις Παραγωγής Χαρτιού και Χαρτονιού.....	72
3.8.1 Τεχνικές Ενσωματωμένες στην Παραγωγική Διαδικασία.....	72
3.8.2 Τεχνικές Περιορισμού των Εκπομπών.....	75

#### **4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ**

4.1 Γενικά.....	77
4.2 Ιστορική Εξέλιξη της Ανακύκλωσης του Χαρτιού.....	77
4.3 Η Αναγκαιότητα της Ανακύκλωσης του Χαρτιού.....	80
4.4 Η Ανακύκλωση Χαρτιού στην Ελλάδα.....	83
4.5 Η Διαδικασία της Ανακύκλωσης του Χαρτιού.....	86
4.5.1 Πολτοποίηση.....	87
4.5.2 Καθαρισμός Δευτερογενούς Χαρτομάζας.....	92
4.5.3 Απομελάνωση.....	94

#### **5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΡΤΙΟΥ**

5.1 Γενικά.....	101
5.2 Χρήση Πρώτων Υλών.....	101
5.3 Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων.....	102
5.4 Κατανάλωση Ενέργειας.....	103
5.5 Υγρά Απόβλητα.....	104
5.6 Αέριες Εκπομπές.....	104
5.7 Λεύκανση.....	104

#### **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>107</b>
--------------------------	------------

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χαρτί είναι ένα από τα βασικά στοιχεία του σύγχρονου πολιτισμού. Η κατανάλωση χαρτιού, ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες συνεχώς αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Η αύξηση της ζήτησης, αλλά και οι απαιτήσεις για προϊόντα χάρτου με συγκεκριμένες ιδιότητες και για συγκεκριμένες εφαρμογές οδηγεί στην έρευνα και δοκιμή νέων μεθόδων και τεχνικών στη διαδικασία παραγωγής χαρτιού. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός και στο σύνολό της η βιομηχανική διεργασία παραγωγής χαρτιού συνεχώς εξελίσσονται.

Φυσικά, η αυξημένη ζήτηση και παραγωγή χαρτιού έχει και την αρνητική της διάσταση που σχετίζεται κυρίως με την εξάντληση των πρώτων υλών, την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Η λύση που προτείνεται είναι η ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου.

Η ανακύκλωση σώζει τα αγαθά που προσφέρει η φύση από την τελική εξάντλησή τους προστατεύοντας συγχρόνως το περιβάλλον. 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.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των διεργασιών και του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σήμερα στις χαρτοβιομηχανίες καθώς επίσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους. Επίσης, τίγονται ζητήματα που σχετίζονται με την ανακύκλωση του χαρτιού και τα οφέλη που προκύπτουν από αυτήν σε όλα τα επίπεδα.



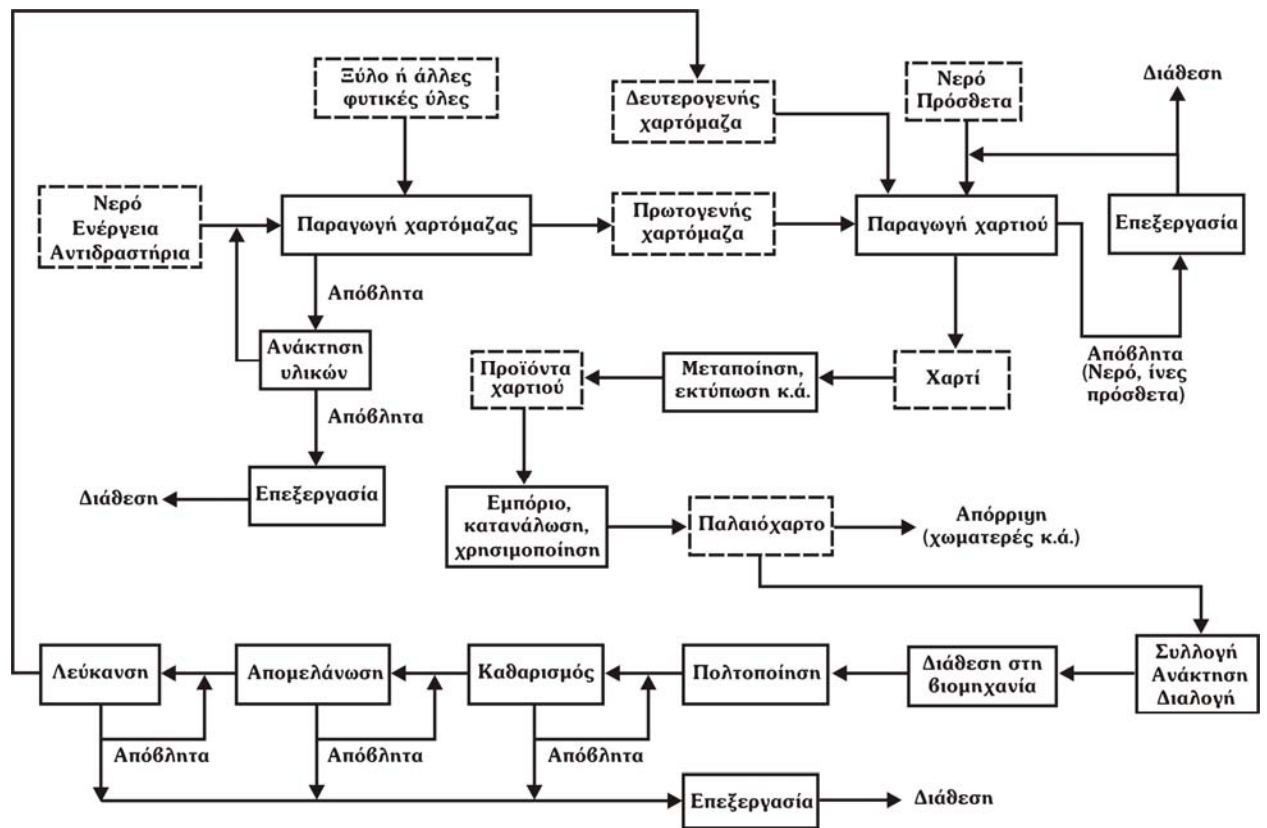
# 1. ΤΟ ΧΑΡΤΙ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Χαρτί είναι το προϊόν της διαμόρφωσης ενός αιωρήματος χαρτοπολτού σε ξηρό ιστό, συνήθως με παράλληλη προσθήκη χημικών ουσιών που βελτιώνουν τις ιδιότητές του. Ως χαρτοπολτός ή χαρτομάζα (pulp) χαρακτηρίζεται μια μάζα από σχετικά καθαρές απελευθερωμένες ίνες κυτταρίνης με τυχαία διευθέτηση και με μικρό ποσοστό υγρασίας. Το προϊόν που λαμβάνεται είναι ένα δίκτυο αλληλοσυνδεόμενων ινών που αποτελείται από διαδοχικά επίπεδα συνολικού πάχους 30-300 μm. Το πλάτος κάθε ίνας κυμαίνεται από 10 έως 50 μm και ένα φύλλο χαρτιού γραφής πάχους 100 μm αναμένεται να έχει πάχος 5 με 10 ίνες.

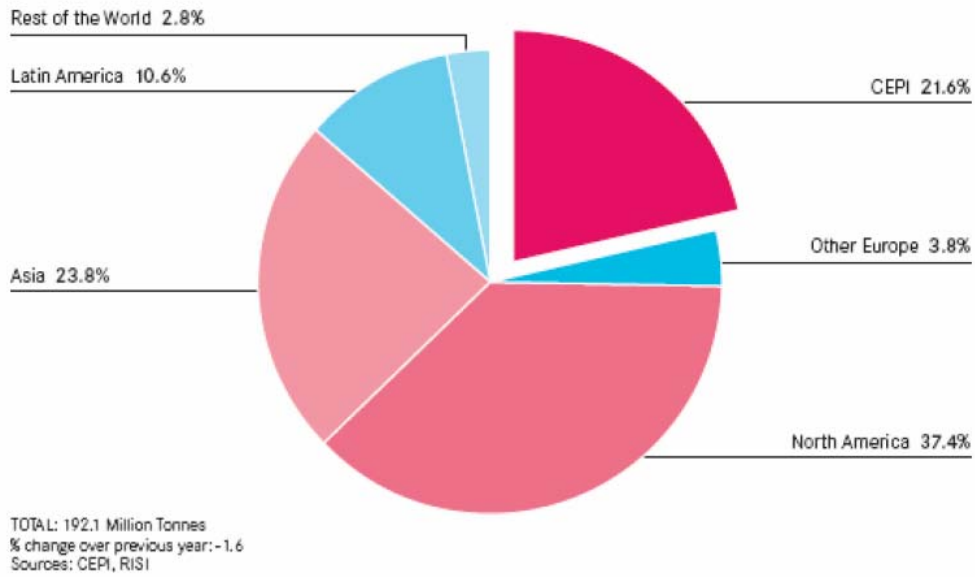
Η χαρτομάζα διακρίνεται σε πρωτογενή (virgin pulp) και δευτερογενή ή ανακυκλωμένη χαρτομάζα (secondary ή recycled pulp). Η πρωτογενής παράγεται με πολτοποίηση φυτικών ινών, ενώ η δευτερογενής με επαναπολτοποίηση του ήδη διαμορφωμένου χαρτιού (χρησιμοποιημένου ή μη) και καθαρισμό, απομελάνωση ή λεύκανση του αιωρήματος χαρτομάζας που προκύπτει από την επαναπολτοποίηση. Η χαρτομάζα που χρησιμοποιείται για χημική μετατροπή σε άλλα προϊόντα εκτός του χαρτιού, ονομάζεται διαλυόμενη χαρτομάζα (dissolving pulp).

Το χαρτί και τα προϊόντα του είναι υλικά μεγάλης σπουδαιότητας στη σύγχρονη βιομηχανική κοινωνία. Οι παραδοσιακές χρήσεις του είναι η διακίνηση πληροφοριών (επιφάνεια γραφής), η συσκευασία υλικών και η παραγωγή προϊόντων προσωπικής υγιεινής, αλλά συνεχώς διαμορφώνεται μεγάλος αριθμός νέων και εξειδικευμένων χρήσεων του. Ο μεγάλος αριθμός και η ποικιλομορφία των χρήσεων του χαρτιού βασίζεται στην ευρύτητα και ποικιλότητα των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των παραγόμενων προϊόντων, οι οποίες διαμορφώνονται μέσω της εφαρμογής διάφορων φυσικών και χημικών διεργασιών στις κύριες (φυτικές ύλες, χαρτομάζα) και στις βοηθητικές (χημικά αντιδραστήρια, πρόσθετα) πρώτες ύλες. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ο κύκλος του χαρτιού που αρχίζει με την παραγωγή της χαρτομάζας και ολοκληρώνεται με την ανακύκλωσή του.

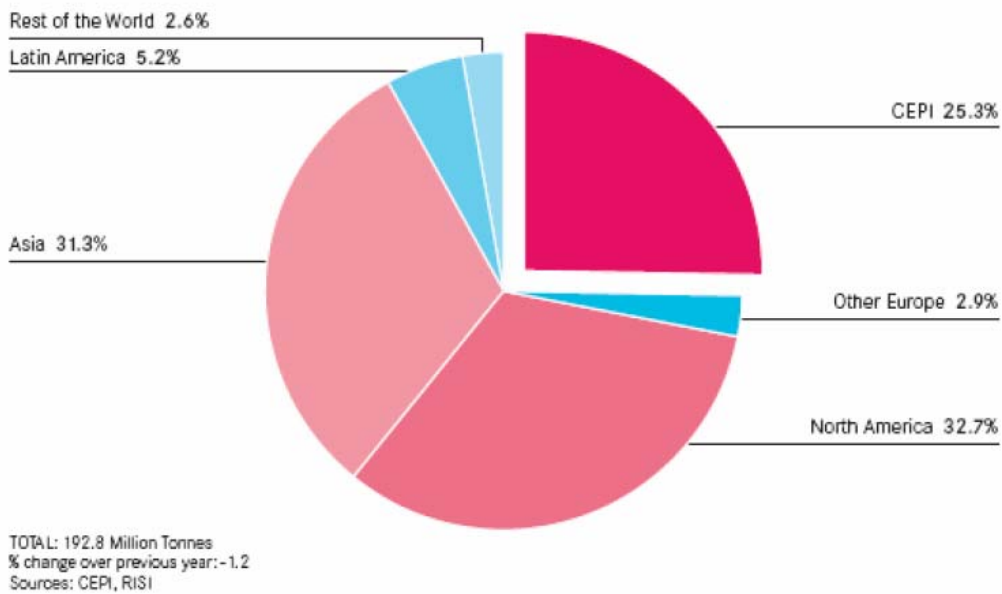


Σχήμα 1.1 Ο κύκλος του χαρτιού [10].

Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή χαρτιού είναι περίπου 355 εκατομμύρια τόνοι. Πάνω από το μισό της παγκόσμιας παραγωγής παράγεται στις Η.Π.Α. ενώ στην Αφρική παράγονται μόλις 1,2 εκατομμύρια τόνοι. Οι ανεπτυγμένες χώρες καταναλώνουν σχεδόν το σύνολο της παγκόσμιας παραγωγής. Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής χαρτοπολτού για το έτος 2008. Τα στοιχεία έχουν ληφθεί από την CEPI (Confederation of European Paper Industry). Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο της παγκόσμιας παραγωγής προέρχεται από τις Η.Π.Α. και ακολουθεί η Ασία και οι χώρες που απαρτίζουν την CEPI. Στο σχήμα 1.3 φαίνεται αντίστοιχα η γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας κατανάλωσης χαρτοπολτού για το έτος 2008. Είναι φανερό ότι οι χώρες που παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες χαρτιού είναι και οι μεγαλύτεροι καταναλωτές αυτού.



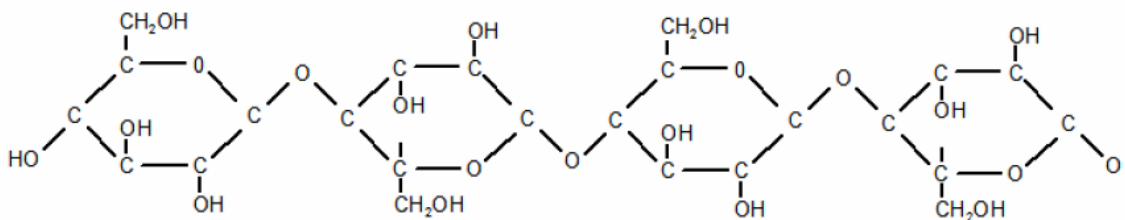
Σχήμα 1.2 Γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής χαρτοπολτού για το έτος 2008 [7].



Σχήμα 1.3 Γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας κατανάλωσης χαρτοπολτού για το έτος 2008 [7].

## 1.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

Το βασικό συστατικό του χαρτιού είναι η κυτταρίνη (Cellulose). Η κυτταρίνη συνιστά την πλέον διαδεδομένη οργανική ένωση στη φύση. Είναι ένα γραμμικό πολυμερές με μεγάλο βαθμό πολυμερισμού και έχει εμπειρικό τύπο  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Παρουσιάζει μεγάλη χημική και μηχανική αντοχή και στην καθαρή της μορφή έχει χρώμα λευκό και ειδικό βάρος ίσο με 1,5. Πήρε το όνομά της από τον Anselme Payen (από το κύτταρο=cell) γιατί αποτελεί το βασικό συστατικό όλων των φυτικών κυττάρων.



Σχήμα 1.4 Μακρομόριο κυτταρίνης [7].

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 (ξυλοπολτός) και των μεθόδων παραγωγής χαρτιού, με δυσμενείς συνέπειες στην ποιότητα του χαρτιού.

Η ημικυτταρίνη είναι διακλαδισμένο πολυμερές που προκύπτει από ανυδρίτες διαφόρων σακχάρων, καθώς και από ανυδρίτες ουρανικών οξέων. Παρουσιάζει μικρό βαθμό πολυμερισμού και μικρή μηχανική και χημική αντοχή. Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ημικυτταρινών.

Η λιγνίνη (από το λατινικό lignum=ξύλο) είναι το αφθονότερο και σπουδαιότερο, μετά την κυτταρίνη, συστατικό της φυτικής βιομάζας. Εν αντιθέσει με την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη, δεν αποτελείται από υδατάνθρακες, αλλά προκύπτει από την συνένωση μονάδων φαινυλοπροπανίου.

Τα διάφορα είδη φυτικής ύλης διαφέρουν ως προς την περιεκτικότητά τους σε κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη. Για παράδειγμα, η κυτταρίνη περιέχεται κατά 40-50% στο ξύλο και στο μπαμπού, κατά 95-99% στο βαμβάκι και κατά 20-30% στο φλοιό των δένδρων. Η ημικυτταρίνη είναι περισσότερη στα σκληρά ξύλα (περίπου

36%) απ' ότι στα μαλακά (περίπου 28%). Αντίθετα η λιγνίνη είναι περισσότερη στα μαλακά ξύλα (περίπου 30%) απ' ότι στα σκληρά (περίπου 20%).

Οι κυριότερες ιδιότητες του χαρτιού είναι:

- Φυσικές ιδιότητες: επιφανειακή πυκνότητα ( $\text{g/m}^2$ ), πάχος, πυκνότητα, επιφανειακή υφή, πορώδες, χρώμα, λευκότητα, αδιαφάνεια, εκτυπωτική ικανότητα.
- Μηχανικές ιδιότητες: αντοχή σε εφελκυσμό, σχίσιμο, διάρρηξη και κάμψη.
- Χημικές ιδιότητες: οξύτητα, αντοχή στην παλαίωση ή γήρανση (aging), εύφλεκτο.

### 1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΑΡΤΙΟΥ

Τα χαρτιά διακρίνονται σε 4 μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το είδος της χρήσης τους:

#### *A. ΓΡΑΦΗΣ-ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ*

Τα χαρτιά γραφής - εκτύπωσης διακρίνονται σε επιχρισμένα και μη επιχρισμένα. Περιλαμβάνουν τις παρακάτω υποκατηγορίες:

1. Δημοσιογραφικό (εφημερίδων, περιοδικών, καταλόγων και βιβλίων μικρής διάρκειας, κ.ά.).
2. Τυπογραφίας (βιβλίων, εντύπων, φυλλαδίων, φωτοτυπικό, εκτυπωτικό χαρτί, κομπιούτερ, πόστερ κ.ά.).
3. Γραφής (τετραδίων, φυλλαδίων, βιβλίων και εντύπων καλής ποιότητας, αλληλογραφίας, περγαμηνής κ.ά.).

#### *B. ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ - ΠΕΡΙΤΥΛΙΞΗΣ*

Περιλαμβάνουν κυρίως προϊόντα χαρτιού, τα οποία συσκευάζουν ή προφυλάσσουν άλλα προϊόντα:

1. Χαρτοκιβωτίων (Κυματοειδές χαρτόνι).
2. Χαρτόσακκοι
3. Περιτύλιξης
4. Αδιαβροχοειδή

#### *Γ. ΧΑΡΤΟΝΙ*

Χρησιμοποιούνται ως εκτυπωμένα εξώφυλλα βιβλίων, καθώς και ως υλικό για τη συσκευασία προϊόντων όπως τσιγάρα, φάρμακα αρώματα, πίτσες, γλυκά κ.τ.λ. Δηλαδή, πρόκειται κυρίως για προϊόντα χαρτιού, τα οποία χρησιμοποιούνται για συσκευασία άλλων προϊόντων, αλλά παράλληλα διαθέτουν επιφάνειες με άριστες εκτυπωτικές ιδιότητες.

Διακρίνονται στις παρακάτω υποκατηγορίες:

1. Λεπτό ( $< 600 \text{ g/m}^2$ )
2. Χονδρό ( $> 600 \text{ g/m}^2$ )
3. Χαρτοσανίδες

#### *Δ. ΧΑΡΤΙ ΥΓΕΙΑΣ - ΚΑΘΑΡΙΟΤΗΤΑΣ*

Περιλαμβάνουν προϊόντα, τα οποία σχετίζονται με την οικιακή ή ατομική υγιεινή όπως:

1. Χαρτί υγείας
2. Χαρτί κουζίνας
3. Χαρτομάνδηλα
4. Χαρτοπετσέτες

Τα διάφορα είδη και οι ποιότητες του χαρτιού παράγονται με κατάλληλη μίξη χαρτομάζας διαφορετικής σύνθεσης σε ίνες και με επιμέρους διαδικασίες παραγωγής, τις οποίες εξασφαλίζουν διάφοροι τύποι παραγωγικού εξοπλισμού. Έτσι επιτυγχάνονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος όπως απορροφητικότητα και αντοχή.

Ακόμη οι διάφορες ποιότητες χαρτιού καλύπτουν ένα αρκετά μεγάλο φάσμα βάρους/εμβαδού. Για παράδειγμα το απορροφητικό χαρτί ζυγίζει συνήθως  $10\text{-}40 \text{ g/m}^2$ , το χαρτί εφημερίδας  $40\text{-}50 \text{ g/m}^2$ , το χαρτί γραφής και εκτύπωσης περίπου  $60\text{-}90 \text{ g/m}^2$  και τα χαρτόνια πάνω από  $100 \text{ g/m}^2$ .

Περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής χαρτιού χρησιμοποιείται για συσκευασία. Το 40% περίπου για επικοινωνιακούς σκοπούς και το υπόλοιπο περίπου 10% καλύπτει τις υπόλοιπες εφαρμογές.

## **1.4 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ**

Η αγγλική λέξη paper προέρχεται από την ονομασία του φυτού “πάπυρος” (Cyperus papyrus) που φυόταν στις όχθες του Νείλου (το φυτό δεν υπάρχει σήμερα στην Αίγυπτο) και αποτέλεσε σημαντική επιφάνεια γραφής από την 3<sup>η</sup> χιλιετηρίδα π.Χ. και μετέπειτα. Περίφημοι ήταν οι πάπυροι της Βύβλου (πόλης των Φοινίκων), από την οποία προήλθε η λέξη “βιβλίο”. Ο αρχαιότερος πάπυρος που έχει διασωθεί χρονολογείται περίπου στο 2200 π.Χ.

Η ελληνική λέξη χαρτί προέρχεται από τη λέξη «χάρτης», η οποία σημαίνει «λεπτό φύλλο πάνω στο οποίο γράφουμε», είναι άγνωστης ετυμολογίας και ίσως αποτελεί δάνειο από την αιγυπτιακή.

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι κατασκεύαζαν μια επιφάνεια γραφής, όχι όμως πραγματικό χαρτί (το οποίο προϋποθέτει απελευθέρωση των ινών), με τον ακόλουθο τρόπο: Το στέλεχος του παπύρου σχιζόταν σε λεπτές λωρίδες, οι οποίες τοποθετούνταν παράλληλα η μία στην άλλη. Ακολουθούσε δεύτερη στρώση λωρίδων με διεύθυνση κάθετη στην προηγούμενη και ίσως και περισσότερες στρώσεις (με εναλλαγή των διευθύνσεων). Η στοιβάδα που σχηματιζόταν διαβρεχόταν με νερό, οπότε διαλυόταν η φυτική κόλλα που περιείχε ο πάπυρος. Η κόλλα αυτή με τη συμπίεση και την ξήρανση στον ήλιο που ακολουθούσαν, συγκολλούσε τις λωρίδες μεταξύ τους. Τέλος η επιφάνεια του παπύρου τριβόταν με ελαφρόπετρα ή κόκκαλο, ώστε να γίνει λεία και να δεχτεί το μελάνι της γραφής. Επειδή ένα φύλλο παπύρου δεν αρκούσε για τη γραφή ενός κειμένου, κολλούσαν με άμυλο φύλλα (περίπου 20) και δημιουργούσαν ένα πολύ μακρύ φύλλο παπύρου, τον κύλινδρο, το μήκος του οποίου κυμαινόταν από 6 m (το συνηθέστερο) έως 40 m (ο μακρύτερος που έχει διασωθεί). Όμως ο κύλινδρος (λόγω του μήκους του) ήταν ιδιαίτερα δύσχρηστος, σκιζόταν εύκολα, ενώ σάπιζε από την υγρασία.

Ο πάπυρος παρέμεινε σε χρήση στην Αίγυπτο έως τον 9<sup>ο</sup> μ.Χ., οπότε άρχισε η αντικατάστασή του από το χαρτί.



Σχήμα 1.5 Πάπυρος [14].

Πραγματικό χαρτί (με τη μορφή απελευθερωμένων ινών) αναφέρεται ότι παρασκευάστηκε για πρώτη φορά το 105 μ.Χ. στην Κίνα από τον Ts'ai Lun, αξιωματούχο του αυτοκράτορα. Η τεχνική κρατήθηκε μυστική, αλλά μάλλον χρησιμοποιήθηκαν φυτικές ίνες από το εσωτερικό του φλοιού ενός είδους μουριάς (*Broussonetia papyrifera*) και ίνες κάνναβης (από δίκτυα ψαρέματος, σχοινιά και υφάσματα). Αργότερα χρησιμοποίησαν και άλλες φυτικές ίνες, όπως κινέζικο χόρτο, μπαμπού, άχυρο ρυζιού κ.ά.

Η παραδοσιακή αυτή τεχνική παραγωγής χαρτιού στην πιο κλασική μορφή της περιγράφεται συνοπτικά στη συνέχεια. Τα ράκη ή οι φυτικές ίνες διαβρέχονταν, αφήνονταν για ορισμένο χρόνο, βράζονταν με αλισίβα, τοποθετούνταν σε υφασμάτινες δικτυωτές τσάντες και πλένονταν με τρεχούμενο νερό, ώστε να απομακρυνθούν τα αλκαλικά συστατικά και οι ακαθαρσίες. Στη συνέχεια, χτυπούσαν με ξύλινες ράβδους μικρές ποσότητες του υλικού πάνω σε ξύλινους πάγκους.

Ακολουθούσε η αραίωση του πολτού με νερό σε μια δεξαμενή και η βύθιση ενός ορθογώνιου κόσκινου (mould) στη δεξαμενή. Το νερό αποστράγγιζε μέσω των ανοιγμάτων του κόσκινου και οι ίνες διαμόρφωναν το φύλλο του χαρτιού στην επιφάνεια του κόσκινου. Τα φύλλα απομακρύνονταν από το κόσκινο κι αφήνονταν να στεγνώσουν στον αέρα. Στο τέλος λείαιναν τη στεγνή επιφάνεια και πρόσθεταν κόλλα (συνήθως από σπόρους δημητριακών), για να μην ποτίζει το μελάνι.

Η τέχνη του χειροποίητου χαρτιού ασκείται ακόμη και σήμερα σε αρκετές περιοχές της Ασίας (Ιμαλία, Ιαπωνία, Κορέα κ.α.), ακόμη και σε Δυτικές χώρες (κυρίως για διακοσμητικές και καλλιτεχνικές χρήσεις).

Το χαρτί χρησιμοποιούταν όχι μόνο ως επιφάνεια γραφής, αλλά και για διακοσμητικούς λόγους στα σπίτια και στους ναούς των Κινέζων. Η τεχνική του χαρτιού διαδόθηκε και επικράτησε σε όλη την επικράτεια της Κίνας μέχρι τον 3<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Τον 5<sup>ο</sup> αιώνα αναφέρεται και η χρησιμοποίηση κόλλας από σπόρους δημητριακών για αδιαβροχοποίηση (sizing) του χαρτιού. Για πέντε αιώνες οι Κινέζοι κράτησαν μυστική την τεχνική της χαρτοποιίας και διατήρησαν το μονοπώλιο παραγωγής χαρτιού.

Οι Κινέζοι ήταν οι πρώτοι που κατασκεύαζαν χάρτινο χρήμα, χαρτί τουαλέτας και βιβλία από χαρτί. Οι Κινέζοι έτρεφαν πάντα βαθύ σεβασμό για το χαρτί και τους τεχνίτες του και χρησιμοποιούσαν το χαρτί για λατρευτικούς σκοπούς. Αμέσως μετά την επινόησή του στην Κίνα, το χαρτί άρχισε να τοποθετείται στους τάφους, ως υποκατάστατο των μεταλλικών νομισμάτων που αφιέρωναν στους νεκρούς. Πρόκειται για την αρχή της χρήσης του χαρτιού για θρησκευτικούς σκοπούς (spirit ή sacred paper). Στα πρώτα φύλλα χαρτιού που παρασκευάστηκαν γράφτηκαν οι σκέψεις του Κομφούκιου και πολλά άλλα θρησκευτικά κείμενα των λαών της Ανατολής.

Η τεχνική της χαρτοποιίας έγινε γνωστή στην Ιαπωνία μέσω της Κορέας, η οποία τότε ήταν τμήμα της Κίνας. Η παρασκευή του χαρτιού ξεκίνησε στην Ιαπωνία περίπου το 610 μ.Χ. από το βουδιστή μοναχό Dokyo. Οι Ιάπωνες τη βελτίωσαν ακόμη περισσότερο και παρασκεύαζαν χαρτί εξαιρετικής ποιότητας από διάφορες φυτικές ίνες σε πολλά εργαστήρια, σε όλη την επικράτεια της χώρας. Το 1320 χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά χαρτονομίσματα στην Ιαπωνία. Οι Ιάπωνες, όπως οι Κινέζοι, έτρεφαν βαθύ σεβασμό για το χαρτί και το



χρησιμοποιούσαν για λατρευτικούς σκοπούς. Ακόμη και σήμερα επιβιώνει στην Ιαπωνία η παραδοσιακή τέχνη του χειροποίητου χαρτιού, το οποίο αποτελεί την πρώτη ύλη για το τελετουργικό ένδυμα κιμονό, τις παραδοσιακές ομπρέλες, τα χειροτεχνήματα «οριγκάμι», τα ημιδιαφανή χάρτινα παράθυρα των σπιτιών, τις σκεπές κάρων, διάφορα έπιπλα, καπέλα και σακούλες.

Αρχικά στο χαρτί γράφονταν χειρόγραφα κείμενα. Το χαρτί που έφτιαχναν οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες χρησιμοποιώντας φυτικές ίνες και κόσκινα από μπαμπού ήταν λεπτό, μαλακό, εύκαμπτο και απορροφητικό, κατάλληλο για τη σχεδίαση με πινέλο των συμβόλων των γλωσσών των δύο λαών. Επειδή το χαρτί ήταν λεπτό και όχι αρκετά αδιαφανές, έγραφαν στη μια μόνο επιφάνειά του. Στην Κίνα και στην Ιαπωνία η πρώτη μορφή εκτύπωσης σε χαρτί, ύφασμα ή δέρμα (πριν τη χρήση ξύλινων στοιχείων) μπορεί να θεωρηθεί η χρήση ανάγλυφων σφραγίδων.

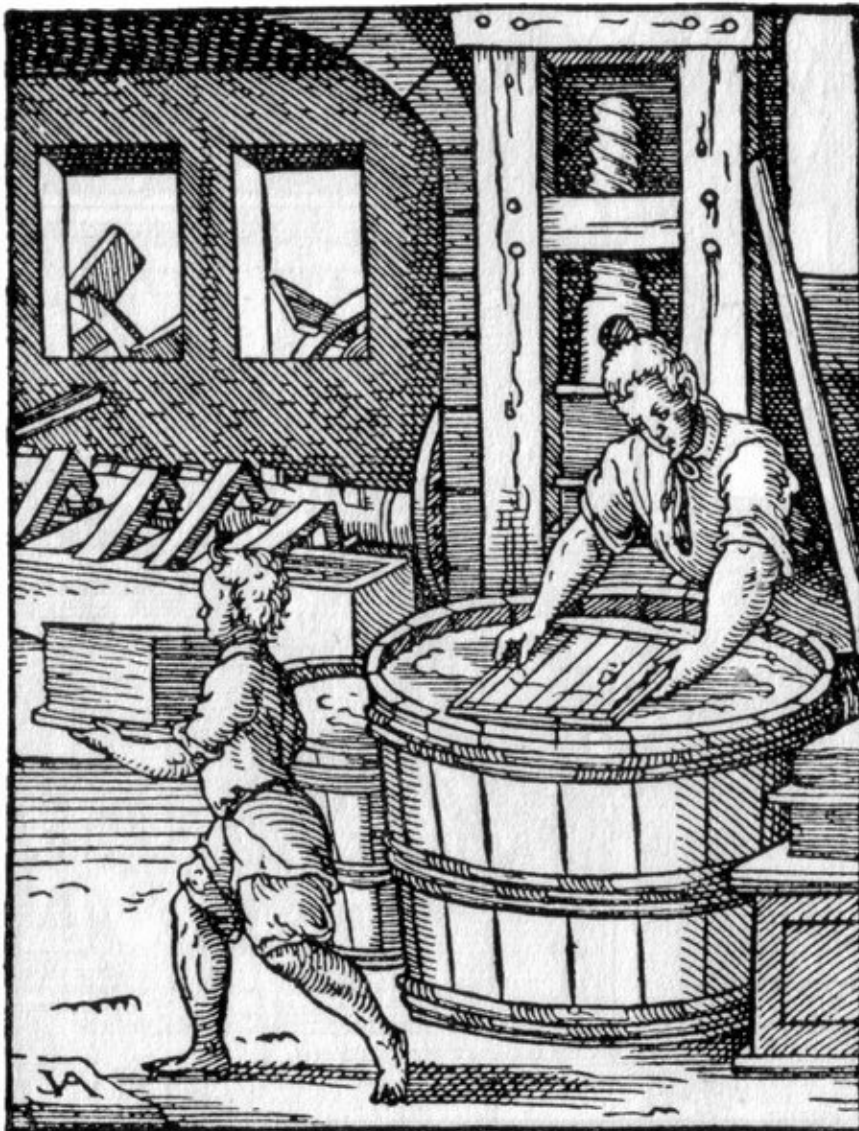
Στη Δύση μεταφέρθηκε μέσω των Αράβων της Σαμαρκάνδης (πόλη στο σημερινό Ουζμπεκιστάν) οι οποίοι σε μια μάχη το 751 μ.Χ. με τους Κινέζους έπιασαν αιχμαλώτους ανάμεσα στους οποίους βρέθηκαν δύο τεχνίτες χαρτιού, τους οποίους και ανάγκασαν να τους διδάξουν την τέχνη. Σύντομα ιδρύθηκαν εργαστήρια στη Βαγδάτη (793 μ.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 και στο Μαρόκο (11<sup>ος</sup> αιώνας).

Η χρήση του χαρτιού έγινε γνωστή μέσω του εμπορίου στην Ισπανία το 950 και στη Σικελία το 1102. Το πρώτο ευρωπαϊκό χειρόγραφο σε χαρτί χρονολογείται το 1109 στη Σικελία. Τον 12<sup>ο</sup> αιώνα οι Άραβες έφθασαν ως κατακτητές στην Ισπανία, όπου ίδρυσαν χαρτοποιίες. Η πρώτη από αυτές λειτούργησε το 1150 στην πόλη Xativa. Χρησιμοποιούσε ράκη υφασμάτων και σύστημα αποΐνωσης με σφυριά κινούμενα μέσω τροχών (stampers).

Από εκεί η τεχνική παραγωγής του χαρτιού διαδόθηκε στην υπόλοιπη Ευρώπη. Στην Ιταλία το 1154 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά χαρτί που είχε εισαχθεί από την Ανατολή, αλλά η πρώτη χαρτοποιία (η περίφημη Fabriano) λειτούργησε στη χώρα αυτή το 1276. Το 1228 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το χαρτί στη Γερμανία, το 1309 στην Αγγλία και το 1322 στην Ολλανδία. Μέχρι το τέλος του 14<sup>ου</sup> αιώνα η τέχνη της παρασκευής χαρτιού είχε πια εξαπλωθεί σε όλη την Ευρώπη. Στη εδραίωσή της βοήθησε αποφασιστικά η εφεύρεση της τυπογραφίας από τον Γουτεμβέργιο το 1446 μ.Χ. και η κυκλοφορία της Βίβλου τυπωμένης σε χαρτί το 1455 μ.Χ.

Στη συνέχεια λειτούργησαν χαρτοποιίες το 1340 στη Γαλλία, το 1390 στη Γερμανία, το 1495 στη Βρετανία, το 1576 στη Ρωσία, το 1586 στην Ολλανδία και το 1635 στη Δανία. Οι χαρτοποιίες συνήθως χτίζονταν δίπλα σε ποτάμια, ώστε να έχουν αφθονία νερού, το οποίο

αξιοποιούσαν για τη μεταφορά των κορμών των δένδρων, ως υδραυλική ενέργεια για την κίνηση των μηχανημάτων και ως πρώτη ύλη κατά τη διεργασία (αποΐνωση, χαρτοποίηση κ.ο.κ). Στην αρχή το χαρτί στην Ευρώπη αντιμετωπίστηκε με δυσπιστία, όχι μόνο γιατί ήταν ακριβότερο και ευπαθέστερο από την περγαμηνή, αλλά και γιατί οι χριστιανοί αποδοκίμαζαν, ακόμη και κατάστρεφαν, ότι είχε σχέση με τον ισλαμικό πολιτισμό. Παρόλα αυτά, οι γραφείς σύντομα κατάλαβαν ότι το καινούριο υλικό θα αντικαθιστούσε στο άμεσο μέλλον την περγαμηνή.



Σχήμα 1.6 Παραγωγή χαρτιού στον Μεσαίωνα [14].

Για περισσότερα από 700 χρόνια (από τον 12<sup>ο</sup> έως τα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα) στις Δυτικές χώρες (Ευρώπη και Αμερική) το χαρτί παραγόταν από παλιά υφάσματα (ράκη), τα οποία απλώς είχαν υφανθεί και δεν περιείχαν χημικές ή λευκαντικές ενώσεις. Στη διάρκεια του Μεσαίωνα το

επάγγελμα του ρακοσυλλέκτη γνώρισε μεγάλη άνθηση. Φτωχοί άνθρωποι μάζευαν τα παλιά πανιά και ρούχα και τα έδιναν στις χαρτοποιίες για παραγωγή χαρτιού. Η δουλειά τους ήταν ανθυγιεινή και συχνά αρρώσταιναν και πέθαιναν από παθογόνες ασθένειες, καθώς πολλές φορές αναγκάζονταν να ανασύρουν τα ράκη από τα σκουπίδια.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν λινά ράκη, ενώ από τα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα (όταν εξαπλώθηκε η χρήση των βαμβακερών υφασμάτων) επιπλέον και βαμβακερά. Καθώς το βαμβάκι περιέχει πάνω από 90% κυτταρίνη και το λινάρι περίπου 80%, τα χαρτιά αυτά είχαν μεγάλη αντοχή και διάρκεια ζωής. Η μεγάλη ζήτηση του χαρτιού, καθώς αυξανόταν συνεχώς η έκδοση βιβλίων και η κυκλοφορία εφημερίδων και περιοδικών, σύντομα προκάλεσε έλλειψη πάνινων ρακών. Το 1666 η Αγγλική βουλή εξέδωσε διάταγμα που επέτρεπε τη χρήση μάλλινων μόνο υφασμάτων και απαγόρευε τη χρήση λινών και βαμβακερών υφασμάτων για τον ενταφιασμό των νεκρών, με στόχο να εξοικονομηθούν τα τελευταία για τις χαρτοποιίες. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομήθηκαν 90 τν ρακών σε ένα χρόνο. Χαρακτηριστικό της κατάστασης είναι η επιδημία πανούκλας που σημειώθηκε το 1636 στην Αγγλία, λόγω της εισαγωγής από τους χαρτοποιούς λινών και βαμβακερών ρακών αμφίβολης προέλευσης.

Το 1680 στην Ολλανδία επινοήθηκε ο πρόδρομος των σύγχρονων μηχανημάτων αποϊνώσης (beater), ο οποίος έως και σήμερα ονομάζεται «Ολλανδός» (Hollander). Αποτελείτο από έναν μακρύ ξύλινο κάδο στρογγυλεμένο στα δύο άκρα, στο εσωτερικό του οποίου περιστρεφόταν συμπαγής ξύλινος κύλινδρος, ο οποίος έφερε σιδερένια μαχαίρια για την αποϊνώση των ρακών. Η κινητήρια δύναμη του συστήματος παρεχόταν από την ενέργεια του ανέμου ή του νερού. Η συνεχής παροχή νερού στο μηχανήμα επιτύγχανε ταυτόχρονα με την αποϊνώση πλύσιμο και καθαρισμό των ινών από τις ακαθαρσίες. Ο «Ολλανδός» αντικατέστησε σταδιακά τα παλιότερα συστήματα αποϊνώσης (stamping mills). Τα τελευταία όμως έδιναν χαρτόμαζα με μεγαλύτερη αντοχή, καθώς δεν τεμάχιζαν, αλλά απλώς «έτριβαν» τις ίνες.

Η χρησιμοποίηση του ξύλου ως πρώτης ύλης για την παραγωγή χαρτιού είναι σχετικά πρόσφατη. Χρονικά, κατά τα εννέα δέκατα της ιστορίας του το χαρτί παραγόταν αποκλειστικά από μη ξυλώδεις ίνες (non-wood plant fibers) (στελέχη φυτών ή λινά και βαμβακερά ράκη). Ο πρώτος που πρότεινε τις ίνες του ξύλου για την παραγωγή χαρτιού ήταν ο Γάλλος φυσιοδίφης Rene de Reaumur το 1719. Αυτός παρατήρησε ότι οι σφήκες κατασκεύαζαν τις φωλιές τους με ένα χυλώδες υλικό που προέκυπτε από τη ζύμωση του ξύλου στο στόμα τους και αφού στέγνωσε είχε τη μορφή χαρτιού. Έτσι, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ξύλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαρτιού. Το 1751 ο

Guettard πρότεινε τη χρήση ξύλου κωνοφόρων δένδρων για την παραγωγή χαρτιού.



Σχήμα 1.7 Ο αποϊνωτής Hollander [14].

Ο Schaeffer την περίοδο 1765-72 ανάμεσα στις φυτικές ύλες που χρησιμοποίησε για παραγωγή χαρτιού ήταν και διάφορα ξύλα δένδρων, όπως οξιάς, ιτιάς, λεύκας, μουριάς, ερυθρελάτης κ.ά. Το χαρτί αυτό βέβαια δεν είχε τη σημερινή μορφή, αλλά ήταν ένα πλέγμα ινών (fibres matting) όχι πλήρως διαχωρισμένων μεταξύ τους. Αντίγραφα βιβλίων που τυπώθηκαν πειραματικά πάνω σε τέτοια χαρτιά, διατηρούνται σε καλή κατάσταση ακόμη και σήμερα. Το βιβλίο που εξέδωσε ο Koops το 1801 περιείχε ορισμένες σελίδες που είχαν παραχθεί από ξύλο μετά από εμποτισμό του σε ασβέστη. Ο Koops υποστήριζε ότι οι ίνες του ξύλου μπορούν να μετατραπούν σε χαρτί υψηλής αντοχής, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και ως δομικό υλικό μετά από ειδική επεξεργασία.

Το 1840 στη Γερμανία ο Friedrich Gottlob Keller κατασκεύασε ένα μηχάνημα εκτριβής (grinding) ξύλου. Ο Keller κατόρθωσε να ξεχωρίσει τις ίνες από τη δομή του ξύλου συνθλίβοντας κομμάτια ξύλου με τη βοήθεια μιας περιστρεφόμενης και διαβρεχόμενης με νερό πέτρας. Έτσι, για πρώτη φορά παρασκεύασε μηχανικό χαρτοπολτό, προσθέτοντας όμως και ένα ποσοστό 40% ίνες από ράκη, για να αυξήσει την αντοχή της. Το 1846 ο Γερμανός Heinrich Voelter, ιδιοκτήτης χαρτοποιίας, αγόρασε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Keller, σχεδίασε και

κατασκεύασε (με τη βοήθεια του μηχανικού Voith) μηχανήματα εκτριβής σε εμπορική κλίμακα. Έτσι, τελικά το 1852 ο Voelter παρήγαγε την πρώτη μηχανική χαρτόμαζα σε βιομηχανική κλίμακα, η οποία περιείχε και ένα ποσοστό ινών από ράκη. Ταυτόχρονα, αλλά ανεξάρτητα από τον Keller, ο Fenerty περίπου το 1840 ήταν ο πρώτος που έφτιαξε μηχανικό χαρτοπολτό στην Αμερική (συγκεκριμένα στο Halifax του Καναδά) από ξύλο ερυθρελάτης. Ο Stanwood το 1863 παρήγαγε στη χαρτοποιία του χαρτί με εκτριβή ξύλου. Όμως η πρώτη βιομηχανικής κλίμακας παραγωγή μηχανικού χαρτοπολτού στην Αμερική πραγματοποιήθηκε το 1867 στη Μασαχουσέτη, χρησιμοποιώντας μηχανήματα εκτριβής που είχαν εισαχθεί από τη Γερμανία και βασιζόνταν στα σχέδια του Voelter. Σύντομα κατασκευάστηκαν στην Αμερική παρόμοια μηχανήματα. Το 1863 τυπώθηκε δοκιμαστικά για πρώτη φορά αμερικάνικη εφημερίδα (η «Boston Weekly Journal») σε μηχανικό χαρτοπολτό. Το 1866 λειτούργησε στον Καναδά η πρώτη μονάδα μηχανικής χαρτομάζας, η οποία χρησιμοποιούσε ξύλο σφενδάμνου. Στην αρχή η μηχανική χαρτομάζα αντιμετωπίστηκε με αρκετή δυσπιστία. Σύντομα όμως έγινε αποδεκτή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτιού εκτύπωσης. Παρουσίαζε μάλιστα καλύτερη συμπεριφορά στην απορρόφηση του μελανιού και στις γρήγορες μηχανές, συγκριτικά με το χαρτί που παραγόταν από τις μακριές ίνες καθαρής κυτταρίνης των ρακών και είχε μικρότερο κόστος. Η ανακάλυψη του μηχανικού χαρτοπολτού είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική πτώση της τιμής του χαρτιού.

Το 1851 ο Άγγλος Χιου Μπάρτζες χρησιμοποίησε για πρώτη φορά χημικά αντιδραστήρια για τη διάλυση του ξύλου σε πολτό και μαζί με τον Τσαρλς Βατ ανέπτυξαν την αλκαλική μέθοδο για την παραγωγή χαρτιού από ξυλοπολτό. Ο Αμερικανός Κ. Τίλμαν και ο Σουηδός Κ. Νταλ βελτίωσαν τη μέθοδο αυτή τα επόμενα χρόνια χρησιμοποιώντας θεικό οξύ. Από τις προσπάθειες αυτές προήλθε η συνταγή του χαρτιού Kraft (από τη γερμανική λέξη για τη δύναμη). Η μέθοδος Kraft εφαρμόστηκε στις Η.Π.Α. το 1907 όπου πλέον η μαζική παραγωγή χαρτιού ήταν πραγματικότητα.

## **1.5 Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Το πρώτο «χαρτοποιείο», στην Ελλάδα, λειτούργησε στο Μυστρά το 1827, από τον ιατροφιλόσοφο Αρχιμανδρίτη Διονύσιο Πύρο. Οι παραγωγικές εγκαταστάσεις του «χαρτοποιείου» καταστράφηκαν κατά τη διάρκεια της επιδρομής των Αιγυπτίων, με επικεφαλής τον Ιμπραήμ, στη Λακωνία, μερικούς μήνες αργότερα. Ο Αρχιμανδρίτης συνέχισε τις προσπάθειές του, και με την συνδρομή του στρατηγού Νικηταρά, έθεσε σε λειτουργία νέο «χαρτοποιείο» σε έναν από τους μύλους του ποταμού



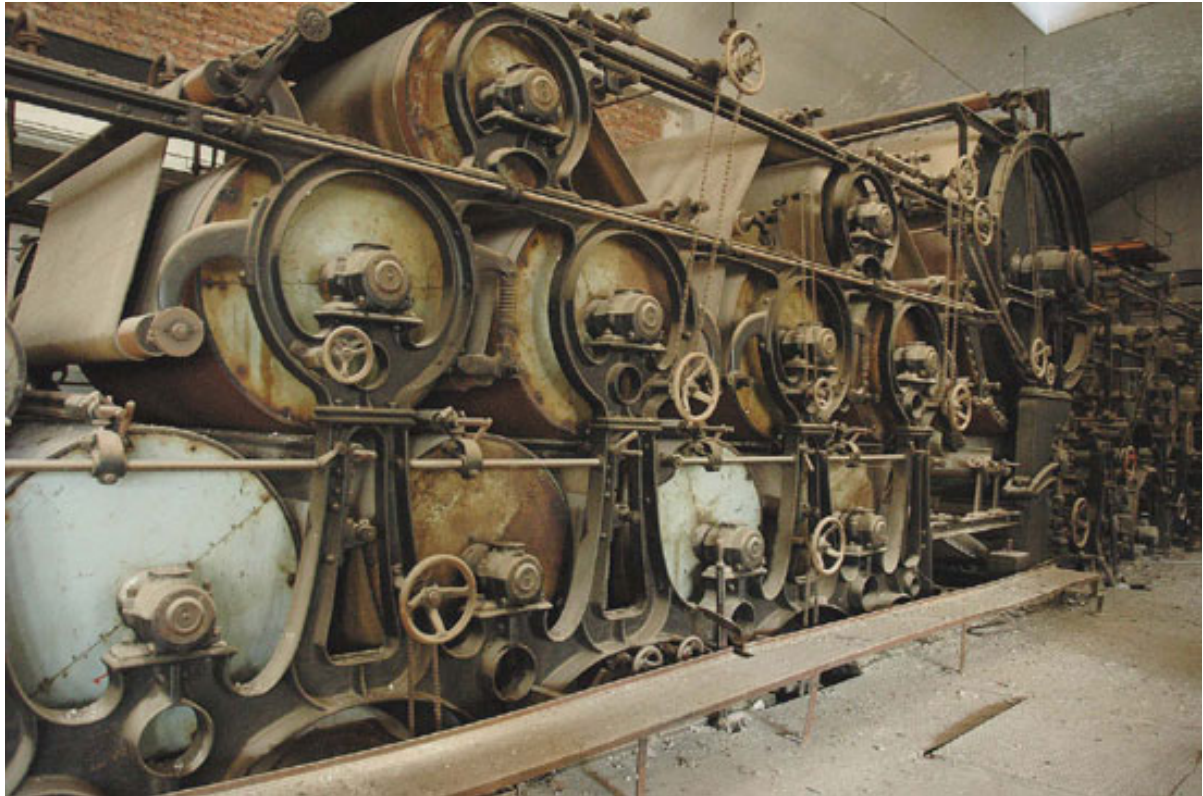
Ερασίνου, στο Κεφαλάρι του Άργους, το 1829. Η λειτουργία του «χαρτοποιείου» αναστάλη σε μερικούς μήνες λόγω ελλείψεως επαρκών κεφαλαίων κινήσεως. Ο Αρχιμανδρίτης Διονύσιος Πύρος συνέχισε τις προσπάθειές του για την ίδρυση νέου χαρτοποιείου, αλλά οι προτάσεις του για κρατική ενίσχυση, προσέκρουσαν στις αντιδράσεις των χαρτεμπόρων του Ναυπλίου.

Το πρώτο οργανωμένο εργοστάσιο λειτούργησε στον Πειραιά το 1877, από τον Βασίλειο Βαρουζάκη. Το εργοστάσιο λειτούργησε μέχρι το 1904, οπότε καταστράφηκε από πυρκαγιά. Το 1905, τίθεται σε λειτουργία, στις Ροβιές Ευβοίας, το εργοστάσιο της Αωνόμου Εταιρείας «Οροβιά», το οποίο λειτουργεί μέχρι σήμερα με την επωνυμία Γενική Χάρτου Α.Ε. Το 1912, τίθεται σε λειτουργία, από τον Ευγένιο Κατακουζηνό, το «Χαρτοποιείο Ερμής» στον Πειραιά. Τα έτη 1923 και 1924 τέθηκαν σε λειτουργία δύο μικρά «χαρτοποιεία» στην Κέρκυρα, με τις επωνυμίες «Κέρκυρα» και «Πάπυρος», αντίστοιχα.

Η πρώτη οργανωμένη χαρτοβιομηχανία στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί το 1924 στο Αίγιο από Έλληνες και Σουηδούς επιχειρηματίες, η οποία λειτούργησε μέχρι το 1989, με την επωνυμία Χαρτοποιία Αιγίου. Το 1928 άρχισε η λειτουργία της μεγάλης χαρτοβιομηχανίας ΕΓΛ (Χαρτοποιία Λαδόπουλου), στην Πάτρα η οποία εξελίχθηκε σε μία από τις μεγαλύτερες χαρτοβιομηχανίες των Βαλκανίων, μέχρι το 1991 που έκλεισε οριστικά.



Σχήμα 1.8 Τα κτίρια της χαρτοποιίας Λαδόπουλου [11].



Σχήμα 1.9 Μέρος των εγκαταστάσεων παραγωγής χάρτου της χαρτοβιομηχανίας Λαδόπουλου που σώζονται σήμερα [11].

Στη χώρα μας, χαρτομάζα παραγόταν μέχρι πρόσφατα μόνο στη Δράμα (Αθηναϊκή Χαρτοποιία, δυστυχώς έκλεισε το καλοκαίρι του 2012). Όταν το εργοστάσιο ήταν σε λειτουργία η ποσότητα της παραγόμενης χαρτομάζας (μηχανικός πολτός), εξαρτιόταν από τη διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης (ξύλο λεύκης), αλλά και από τις τιμές που διαμορφώνονται για τις πρώτες ύλες, στις διεθνείς αγορές.

Η εγχώρια παραγωγή σε προϊόντα χάρτου υπολείπεται σημαντικά των αναγκών της εγχώριας κατανάλωσης η οποία μάλιστα εμφανίζει αυξητικές τάσεις. Η παρατηρούμενη μείωση της εγχώριας παραγωγής οφείλεται κυρίως στη διείδυση εισαγωγών, σε ποιότητες χαρτιού που παραδοσιακά παράγονταν στον Ελλαδικό χώρο από βιομηχανίες, οι οποίες ανέστειλαν τη λειτουργία τους τα τελευταία χρόνια.

Στον κλάδο δραστηριοποιούνταν μέχρι το 2003 συνολικά 151 επιχειρήσεις, με έντονη την παρουσία των πολυεθνικών, οι οποίες απασχολούν περισσότερους από 8.000 εργαζομένους. Από αυτές μόνο οι 15 είναι χαρτοποιίες, παράγουν δηλαδή χαρτί και χαρτόνι, ενώ οι υπόλοιπες ασχολούνται με την παραγωγή προϊόντων από τα παραπάνω.

Η κατανάλωση χαρτιού στην Ελλάδα έχει ξεπεράσει τους 1.200.000 τόνους το χρόνο, όταν το 1976 δεν ξεπερνούσε τους 400.000 τόνους. Κάθε χρόνο συγκεντρώνονται προς ανακύκλωση 350.000 τόνοι

χρησιμοποιημένου χαρτιού (250.000 τόνοι από μεγάλους παραγωγούς, όπως σούπερ μάρκετ, βιομηχανίες, τυπογραφεία, βιβλιοδετεία, επιστροφές εφημερίδων και περιοδικών και άλλοι 100.000 τόνοι από σπίτια, γραφεία κ.τ.λ.).



## 2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΙΟΥ

### 2.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Πρώτες ύλες για την παραγωγή χαρτιού είναι το ξύλο, κάποιες φυτικές ή συνθετικές ίνες οι οποίες έχουν όμως δευτερεύουσα σημασία, χημικές ουσίες (που χρησιμοποιούνται στην πολτοποίηση) και διάφορα πρόσθετα για βελτίωση των ιδιοτήτων του πολτού και του χαρτιού. Επίσης χρειάζεται άφθονο και καλής ποιότητας νερό.

Αρχικά για την παραγωγή χαρτιού χρησιμοποιούσαν μόνο ξύλο ελάτης και ερυθρελάτης. Σήμερα όμως, είναι τεχνικά δυνατή η χρήση σχεδόν οποιουδήποτε είδους κωνοφόρου ή πλατύφυλλου. Αποφασιστικοί παράγοντες για την επιλογή είναι η διαθεσιμότητα στις αναγκαίες ποσότητες και το κόστος.

Φυτικές ίνες κατάλληλες για χαρτί προέρχονται και από άλλα φυτά όπως στελέχη δημητριακών (άχυρο), υπολείμματα κατεργασίας σακχαροκάλαμου, μπαμπού, καλάμι, λινάρι, κάνναβι, βαμβάκι. Οι πηγές αυτές έχουν το μειονέκτημα ότι είναι εποχιακές, δηλαδή είναι διαθέσιμες μόνο σε ορισμένες εποχές του έτους και το υλικό είναι ογκώδες (έχει μεγάλο όγκο και μικρό βάρος) γεγονός που καθιστά αντικοινομική τη μετακίνησή του σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον οι ίνες αυτές διαφέρουν από τις ίνες του ξύλου όσον αφορά τη χημική σύσταση και τη μορφολογία. Με εξαίρεση το βαμβάκι που περιέχει κυτταρίνη σε ποσοστό περίπου 95%, οι άλλες φυτικές ίνες περιέχουν λιγότερη κυτταρίνη.

Οι φυτικές ίνες παρουσιάζουν μειονεκτήματα όπως ετερογένεια στο μέγεθος και στο σχήμα, μεταβολή διαστάσεων με την επίδραση υγρασίας, περιορισμένη διάρκεια (προσβάλλονται από μικροοργανισμούς, χημικές ουσίες και μεγάλες θερμοκρασίες). Για τους λόγους αυτούς θα ήταν επιθυμητή η αντικατάστασή τους από συνθετικές ίνες. Και οι συνθετικές ίνες έχουν όμως με τη σειρά τους μια σειρά από μειονεκτήματα με σημαντικότερο το πολύ μεγάλο κόστος (10-20 φορές σε σύγκριση με τις ίνες ξύλου). Επίσης οι συνθετικές ίνες δεν έχουν την ικανότητα αυτοσυγκολλησεως (πρέπει να προστεθούν συγκολλητικές ουσίες). Έτσι η χρήση τέτοιων ινών είναι περιορισμένη σε πολύ ειδικά προϊόντα.

Στην παραγωγή χαρτιού χρησιμοποιούνται αρκετές χημικές ουσίες. Οι ουσίες αυτές προστίθενται σε διάφορα στάδια της παραγωγής με σκοπό την πολτοποίηση (αποϊνώση), λεύκανση του πολτού, βελτίωση της συγκολλητικότητας των ινών και βελτίωση των ιδιοτήτων του χαρτιού.

Η παραγωγή χαρτιού απαιτεί την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού (για πολτοποίηση, επεξεργασία του πολτού και στρωμάτωση των ινών). Το νερό αυτό μπορεί να προέρχεται από ποταμούς, λίμνες ή υπόγειες πηγές και η διαθεσιμότητά του αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα επιλογής της θέσης εγκατάστασης μιας χαρτοβιομηχανίας. Ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής και τον τύπο του προϊόντος οι απαιτούμενες ποσότητες νερού κυμαίνονται από 40 έως 400 m<sup>3</sup>/τόνο χαρτιού. Το νερό πρέπει να είναι καλής ποιότητας γιατί άλατα (ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), αέρια (οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα) και ξένες ύλες ή χρώματα δημιουργούν προβλήματα στην παραγωγή προκαλώντας απόφραξη ή διάβρωση στα μηχανήματα.

## **2.2. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ**

Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτοπολτού (χαρτομάζας) χρησιμοποιείται συνήθως ξύλο σε μορφή στρογγυλής ξυλείας, τεμαχιδίων (chips), εξακριδίων και άλλων υπολειμμάτων της μηχανικής κατεργασίας του. Χρησιμοποιείται κυρίως ξύλο κωνοφόρων δένδρων (σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80%). Στις χώρες με εκτεταμένα δάση και μεγάλη παραγωγή χαρτοπολτού (Σκανδιναβικές χώρες, Καναδάς και εν μέρει στις ΗΠΑ) οι υλοτομημένοι κορμοί μεταφέρονται στις χαρτοβιομηχανίες μέσω των ποταμών (με διάφορα μεταφορικά μέσα, όπως σχεδίες, βάρκες, πλοία κ.ά.) ή μέσω υδάτινων ρευμάτων. Στις ευρωπαϊκές χώρες και εν μέρει στις ΗΠΑ η μεταφορά των (συχνά ήδη αποφλοιωμένων στην περιοχή υλοτόμησης) κορμών γίνεται με χερσαία μέσα μεταφοράς. Οι κορμοί παραδίδονται στο χώρο προετοιμασίας (woodyard) της χαρτοβιομηχανίας, όπου προετοιμάζονται για να πολτοποιηθούν και αποθηκεύονται. Η αποθήκευση των ξύλων δεν πρέπει να είναι παρατεταμένη, γιατί παρατηρείται μείωση της απόδοσης και υποβάθμιση των οπτικών ιδιοτήτων του παραγόμενου χαρτοπολτού.

Η προετοιμασία πριν την πολτοποίηση περιλαμβάνει την κοπή των κορμών σε κατάλληλο μήκος, την αποφλοιώση, τη μετατροπή σε ξυλοτεμαχίδια (chips) και την αποθήκευσή τους. Πριν την παραγωγή χαρτοπολτού πραγματοποιείται πλήρης αποφλοιώση του κορμού, δηλαδή απομάκρυνση του εξωτερικού και εσωτερικού φλοιού του δένδρου.

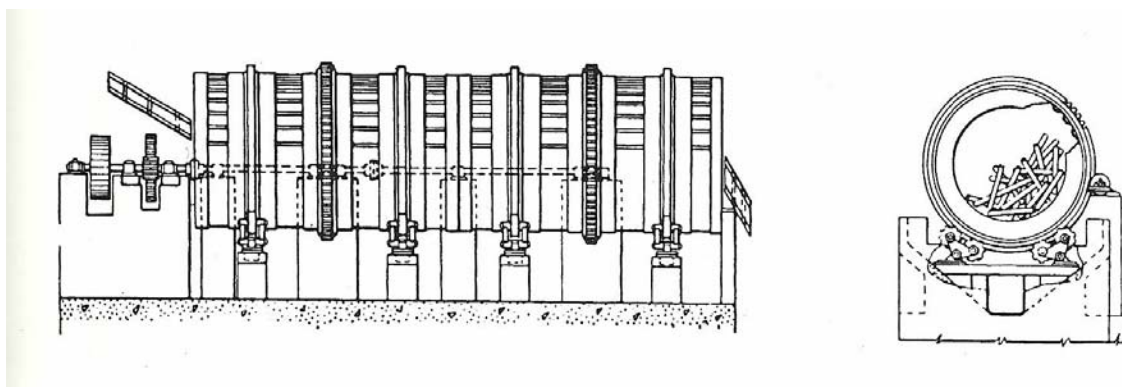
Ο φλοιός αποτελεί περίπου το 10% της μάζας του κορμού. Περιέχει υψηλά ποσοστά τέφρας, εκχυλίσμων συστατικών, λιγνίνης και χαμηλότερα ποσοστά ολοκυτταρίνης σε σύγκριση με το ξύλο. Ο φλοιός είναι συνήθως έντονα χρωματισμένος, περιέχει μικρό ποσοστό ινών με μέτρια αντοχή, δεν πολτοποιείται εύκολα και καταναλώνει σχετικά μεγάλες ποσότητες αντιδραστηρίων.



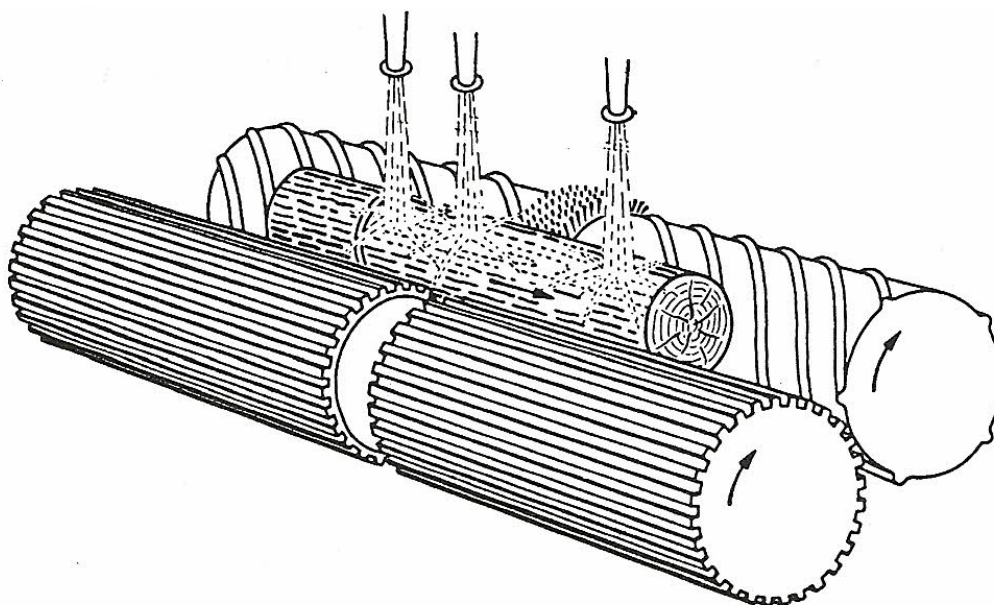
Σχήμα 2.1 Μεταφορά πρώτης ύλης [13].

Η αποφλοιώση μπορεί να παραλειφθεί, όταν το προϊόν προορίζεται για την παραγωγή χαρτιού χαμηλής ποιότητας ή κατά την παραγωγή θερμομηχανικού χαρτοπολτού, καθώς επίσης και για ορισμένα είδη ξύλου, ο φλοιός των οποίων περιέχει σημαντικό ποσοστό ινών.

Η αποφλοιώση πραγματοποιείται με ή χωρίς τη χρήση νερού (υγρή ή ξηρή). Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσκευής μηχανικής αποφλοιώσης αποτελείται από τύμπανο, μέσω της περιστροφής του οποίου οι κορμοί τρίβονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση των φλοιών. Άλλες συσκευές αποφλοιώσης αποτελούνται από δακτυλίους ή κεφαλές που φέρουν λεπίδες ή τριβεία. Τα μαλακά ξύλα αποφλοιώνονται ευκολότερα από τα σκληρά. Κατά την υγρή αποφλοιώση μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για νερό, το υγρό από το στάδιο της αλκαλικής εκχύλισης της διαδικασίας λεύκανσης, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης του νερού και του όγκου των αποβλήτων.



Σχήμα 2.2 Αποφλοιώση με περιστρεφόμενο τύμπανο. Δεξιά φαίνεται η εγκάρσια τομή του τυμπάνου [6].

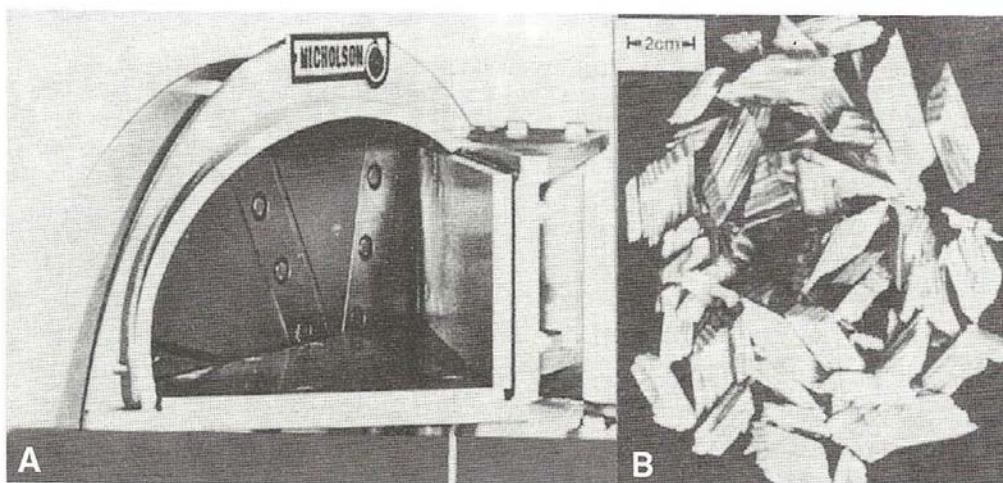


Σχήμα 2.3 Αποφλοιώση με νερό [6].



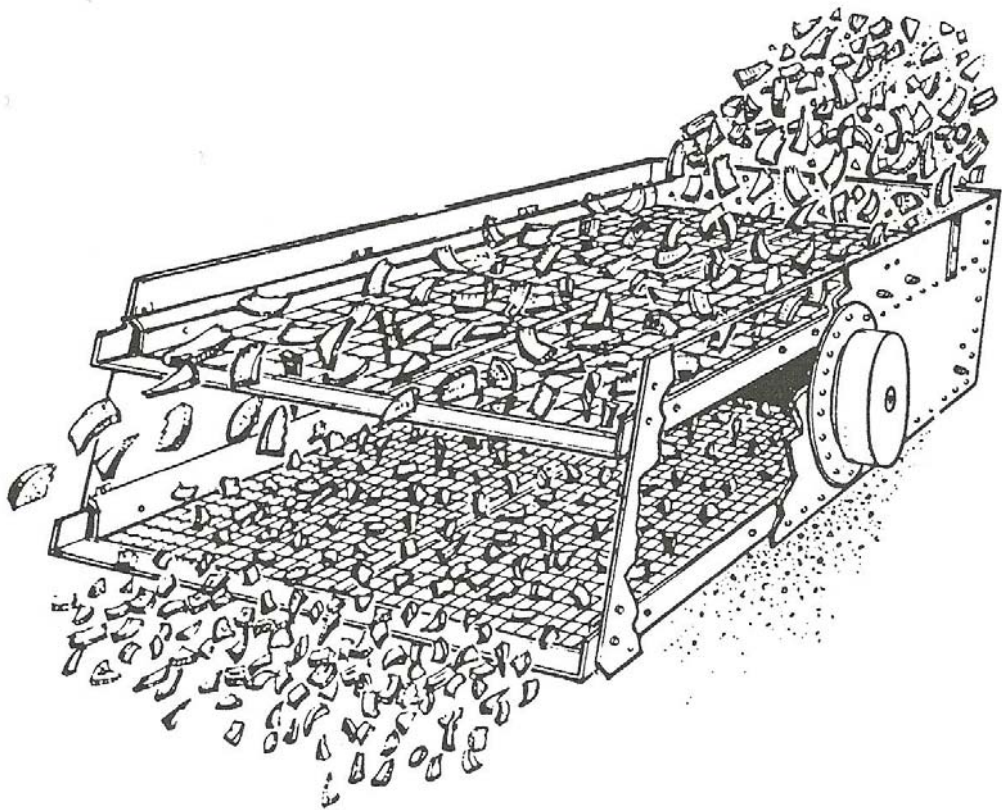
Οι απορριπτόμενοι φλοιοί μπορούν να αξιοποιηθούν με καύση για παραγωγή ενέργειας στη μονάδα της πολτοποίησης, για παραγωγή φελλού, διαφόρων χημικών προϊόντων, για λιπασματοποίηση, για διάφορες γεωργικές χρήσεις κ.ά.

Για να είναι αποτελεσματικότερη η χημική κατεργασία του ξύλου (ομοιόμορφος εμποτισμός με τα διαλύματα των αντιδραστηρίων), είναι απαραίτητος ο θρυμματισμός του σε ξυλοτεμαχίδια ορισμένων διαστάσεων. Οι τεμαχιστές (chippers) αποτελούνται συνήθως από περιστρεφόμενους δίσκους ή τύμπανα που φέρουν μαχαίρια στη διεύθυνση της ακτίνας τους. Ο κορμός κόβεται από τα μαχαίρια σε εγκάρσιες φέτες πάχους μέχρι 2 cm και η κοπτική ενέργεια του δίσκου θρυμματίζει τις φέτες σε ραβδάκια (chips, που μοιάζουν με σπιρτόξυλα), συνήθως διαμέτρου 0,3-0,6 cm και μήκους μέχρι 2 cm.



Σχήμα 2.4 A) μηχανήμα τεμαχισμού με δίσκο (τα μαχαίρια είναι τοποθετημένα ακτινικά), B) ξυλοτεμαχίδια [6].

Τα ξυλοτεμαχίδια που έχουν το επιθυμητό μέγεθος, διαχωρίζονται από τα υπερμεγέθη και τα πολύ μικρά με τη βοήθεια κόσκινων. Τα υπερμεγέθη υποβάλλονται πάλι σε τεμαχισμό, ενώ τα μικρά συνήθως καίγονται μαζί με τους φλοιούς για παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 2.5 Σύστημα κοσκινίσματος ξυλοτεμαχιδίων [6].

Τα ξυλοτεμαχίδια αποθηκεύονται συνήθως σε σωρούς σε εξωτερικό χώρο, η διαμόρφωση και η διαχείριση των οποίων πρέπει να είναι κατάλληλη, ώστε να περιορίζεται η υποβάθμιση των χαρακτηριστικών των ξυλοτεμαχιδίων. Ξυλοτεμαχίδια χρησιμοποιούνται εκτός από την παραγωγή χημικού χαρτοπολτού, στην παραγωγή μηχανικού χαρτοπολτού με δισκοτριβείς, ενώ κατά την παραγωγή μηχανικού χαρτοπολτού με κυλινδροτριβείς χρησιμοποιούνται αποφλοιωμένοι κορμοί κατάλληλου μήκους.

### 2.3 ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ

Ανάλογα με τα μέσα (μηχανικά ή χημικά) που χρησιμοποιούνται για την αποϊνώση του ξύλου, οι μέθοδοι πολτοποίησης διακρίνονται σε μηχανικές (μηχανικός χαρτοπολτός) και χημικές (χημικός χαρτοπολτός). Σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμόζεται συνδυασμός μηχανικών και χημικών διεργασιών (χημικομηχανική πολτοποίηση, ημιχημική πολτοποίηση κ.ά.), ώστε να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων και να παραχθούν προϊόντα με μεγάλο εύρος ιδιοτήτων και με



μικρότερο κόστος. Κατά το συνδυασμό χημικών και μηχανικών διεργασιών εφαρμόζονται ηπιότερες συνθήκες χημικής ή μηχανικής πολτοποίησης από ότι στις αμιγείς χημικές ή μηχανικές μεθόδους.



Σχήμα 2.6 Χαρτοπολτός [13].

## 2.4. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ

### 2.4.1. Γενικά

Σκοπός της μηχανικής πολτοποίησης είναι η απελευθέρωση των ινών με όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση σε χαρτοπολτό, δηλαδή με μικρή απώλεια συστατικών. Ουσιαστικά ο χαρτοπολτός έχει την ίδια σύσταση με το ξύλο από το οποίο προέρχεται, αφού απομακρύνεται μικρό μόνο ποσοστό υδατοδιαλυτών υλικών του ξύλου (κυρίως των εκχυλίσμων συστατικών). Η μηχανική χαρτομάζα είναι χαρτομάζα υψηλής απόδοσης (high yield pulp) και μικρού κόστους, επειδή κατά τις διάφορες μεθόδους μηχανικής πολτοποίησης η απόδοση του ξύλου σε ίνες είναι 90-98%. Στη μηχανική πολτοποίηση η αποϊνώση του ξύλου δεν γίνεται υποχρεωτικά κατά μήκος της μεσοκυττάριας στρώσης, αλλά στα επίπεδα ασυνέχειας της δομής των κυτταρικών τοιχωμάτων, με αποτέλεσμα η παραγόμενη χαρτομάζα να αποτελείται από αθροίσματα ή θραύσματα ινών. Κατά τη μηχανική πολτοποίηση επιτυγχάνονται:

1. απελευθέρωση των ινών ή αποϊνώση (fiberization) από τη δομή του ξύλου και
2. ανάπτυξη των ινών ή νηματοποίηση (fibrillation ή brushing out), δηλαδή επιφανειακή τράχυνση των ινών και μερική αποκόλληση ινιδίων από την εξωτερική επιφάνεια των ινών, χωρίς όμως να αποχωρίζονται από αυτές (οπτικά η ίνα μπορεί να παρομοιαστεί με σχοινί που περιβάλλεται από μικροσκοπικά τριχίδια), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα ανάπτυξης δεσμών υδρογόνου μεταξύ των ινών. Ο όρος ανάπτυξη ουσιαστικά δηλώνει την αύξηση της ειδικής επιφάνειας των ινών.

Στις μηχανικές μεθόδους πολτοποίησης η αποϊνώση γίνεται με εκτριβή:

1. κορμοτεμαχίων σε κυλινδροτριβείς (grinders) ή
2. ξυλοτεμαχιδίων (chips) σε δισκοτριβείς (disk refiners) παρουσία μεγάλης ποσότητας νερού.

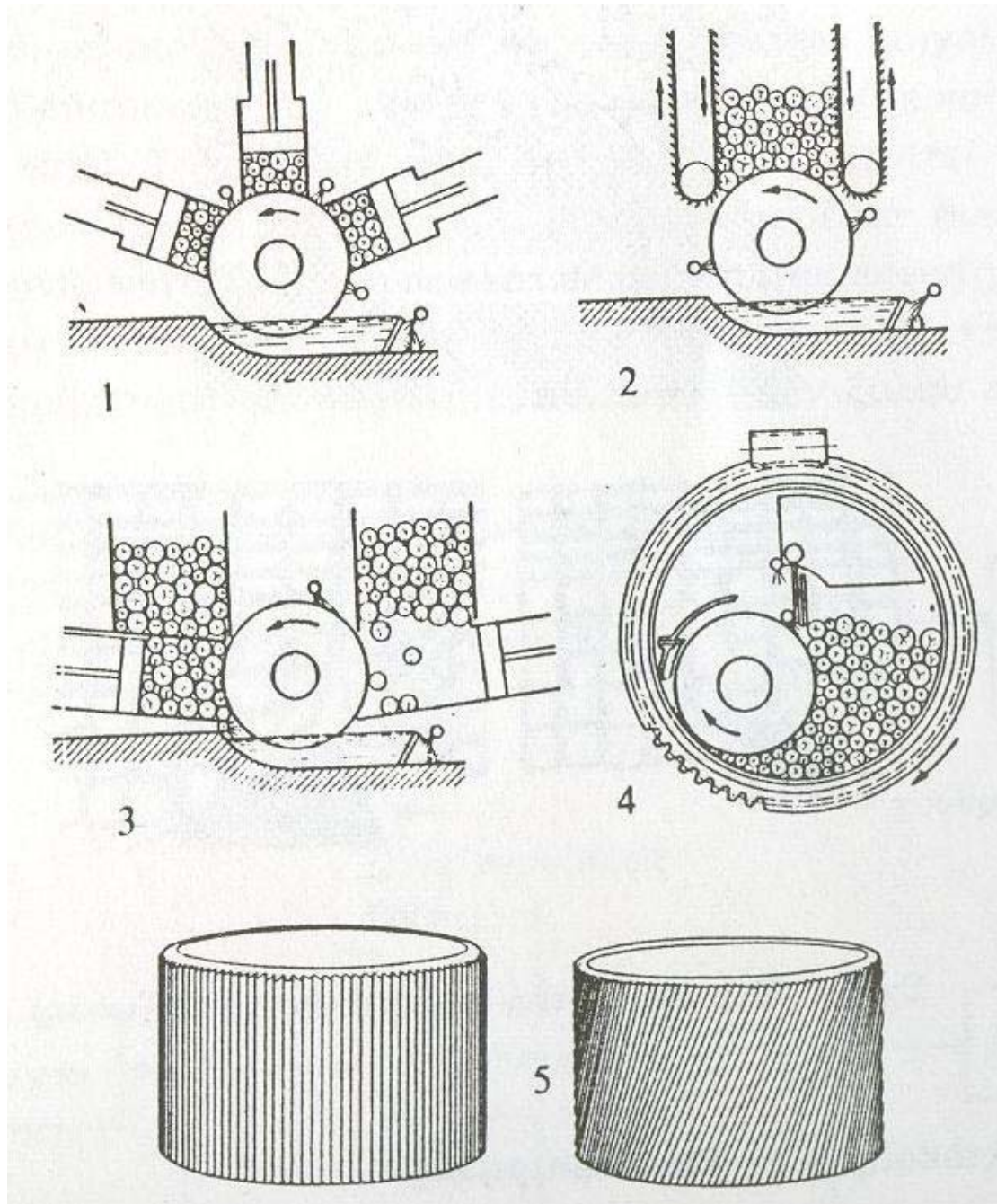
Μέχρι το 1960 όλη σχεδόν η ποσότητα της μηχανικής χαρτόμαζας παραγόταν σε κυλινδροτριβείς. Τη δεκαετία του 1960 η χαρτοβιομηχανία άρχισε να στρέφει το ενδιαφέρον της προς τους δισκοτριβείς, στην προσπάθειά της να αξιοποιήσει στην παραγωγή χαρτόμαζας διάφορα υπολείμματα ξυλείας (ξυλοτεμαχίδια, πριονίδια κ.ά.). Κατά τις επόμενες δεκαετίες άρχισε η αντικατάσταση των κυλινδροτριβέων από δισκοτριβείς, ενώ σήμερα στις νέες μονάδες εγκαθίστανται συνήθως δισκοτριβείς. Οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις με κυλινδροτριβείς, αλλά και ορισμένες νέες που δημιουργούνται, εκσυγχρονίζονται, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα της παραγόμενης χαρτομάζας. Η μηχανική χαρτομάζα παράγεται συνήθως από ξύλο κωνοφόρων δένδρων, γιατί οι κοντύτερες και λεπτότερες ίνες των πλατύφυλλων τραυματίζονται περισσότερο κατά τη μηχανική πολτοποίηση, με αποτέλεσμα η χαρτομάζα να εμφανίζει μικρότερη μηχανική αντοχή. Όμως, επειδή ορισμένα πλατύφυλλα δένδρα (όπως η λεύκα), παράγουν μηχανική χαρτομάζα με πολύ υψηλότερο βαθμό ανάκλασης απ' ό,τι τα κωνοφόρα, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μηχανικής χαρτομάζας, η οποία αναμιγνύεται με μηχανική χαρτόμαζα κωνοφόρων. Έτσι, παράγεται χαρτί που συνδυάζει ικανοποιητικές οπτικές και μηχανικές ιδιότητες.

#### **2.4.2. Πολτοποίηση σε Κυλινδροτριβείς**

Κατά την πολτοποίηση σε κυλινδροτριβείς (grinding) χρησιμοποιούνται αποφλοιωμένα κορμοτεμάχια (ξύλου κωνοφόρων ή ορισμένων πλατύφυλλων δένδρων που έχουν σχετικά μεγάλο μήκος ινών), μήκους 40-250 cm. Στο Σχήμα 3.1. παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι κυλινδροτριβέων. Το κύριο μέρος του κυλινδροτριβέα (grinder) είναι ο κύλινδρος εκτριβής (grindstone, pulpstone), ο οποίος φέρει στην επιφάνειά του ειδικές ραβδώσεις εκτριβής (διαφόρων σχημάτων, όπως



κάθετων ή οριζόντιων αυλακιών, έλικας, ρόμβου κ.ά.) και περιστρέφεται με ταχύτητα 200-250 rpm.



Σχήμα 2.7 Μέθοδοι αποτριβής σε περιστρεφόμενο κύλινδρο για παραγωγή μηχανικού πολτού. 1) και 3) πίεση με έμβολα, 2) με μηχανισμό τροφοδοσίας, 4) μέσα σε τύμπανο, 5) στην επαπτομενική επιφάνεια ο κυλινδροτριβέας φέρει ειδικές ραβδώσεις αποτριβής [13].

Τα κορμοτεμάχια συμπιέζονται πάνω στον κύλινδρο, έχοντας τον κατά μήκος άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια του κυλίνδρου, ενώ ταυτόχρονα εκτοξεύεται νερό (θερμοκρασίας 50-90 °C). Μέρος του κυλίνδρου είναι βυθισμένο σε μια λεκάνη με νερό, η στάθμη του οποίου ρυθμίζεται με υπερχειλίση. Το παραγόμενο αιώρημα των ινών υπερχειλίζει από τη λεκάνη, συγκεντρώνεται στη δεξαμενή υποδοχής και στη συνέχεια υποβάλλεται σε κοσκίνισμα.

Η κύρια δράση στη ζώνη εκτριβής (grinding zone) είναι η συμπίεση και η ακόλουθη απελευθέρωση των ινών, λόγω της τριβής μεταξύ των ξύλων και του κυλίνδρου, των ξύλων μεταξύ τους και των ξύλων με το νερό. Οι παραπάνω μορφές τριβής παράγουν θερμότητα, η οποία μαλακώνει τη λιγνίνη που συγκρατεί τις ίνες μεταξύ τους και βοηθά στο διαχωρισμό των ινών. Το νερό βοηθά το ξύλο να μαλακώσει, εμποδίζει την ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας λόγω τριβής, καθαρίζει την επιφάνεια του κυλίνδρου και διευκολύνει την απομάκρυνση των ινών από τη ζώνη εκτριβής.

Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν ανάφλεξη των κορμών ή παραγωγή χαρτοπολτού με υποβαθμισμένες οπτικές και μηχανικές ιδιότητες. Συχνά οι κύλινδροι ψύχονται και καθαρίζονται με την εκτόξευση νερού από ψεκαστήρες, χωρίς να είναι μερικώς βυθισμένοι σε λεκάνη νερού (pitless grinding), ενώ το αιώρημα των ινών ρέει κατευθείαν από την επιφάνεια του κυλίνδρου στη δεξαμενή υποδοχής. Στην περίπτωση αυτή μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας, αλλά απαιτείται προσεκτικός έλεγχος της λειτουργίας των ψεκαστήρων.

Ο κύλινδρος εκτριβής αποτελείται από έναν κεντρικό πυρήνα από σκυρόδεμα, στον οποίο συγκρατείται με τη βοήθεια χαλύβδινων πείρων το επιφανειακό στρώμα (πάχους περίπου 7 cm) με το υλικό εκτριβής. Παλαιότερα το υλικό εκτριβής ήταν από αμμόλιθο, αλλά σήμερα κατασκευάζεται από τεμαχίδια SiC ή Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, τα οποία συγκρατούνται από μια υαλοποιημένη συγκολλητική ύλη. Με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχή λειτουργία του κυλίνδρου φθείρεται το υλικό εκτριβής, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός παραγωγής και να αυξάνεται η κατανάλωση της ενέργειας κατά την πολτοποίηση. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η περιοδική εκτράχυνση (sharpening) της επιφάνειας εκτριβής με τη βοήθεια ειδικών μεταλλικών κυλίνδρων (burrs).

Η ποιότητα της παραγόμενης χαρτομάζας εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του κυλίνδρου. Το μέγεθος των προεξοχών της επιφάνειας και η ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου καθορίζουν το μέγεθος των ινών που θα ελευθερωθούν. Όταν το μέγεθος των ανωμαλιών είναι μεγάλο παράγονται κυρίως συσσωματώματα ινών, ενώ όταν είναι μικρό παράγονται περισσότερες λεπτές, ξεχωριστές ίνες, οι οποίες μάλιστα είναι και κοντύτερες (γιατί υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός προεξοχών ανά μονάδα επιφάνειας του

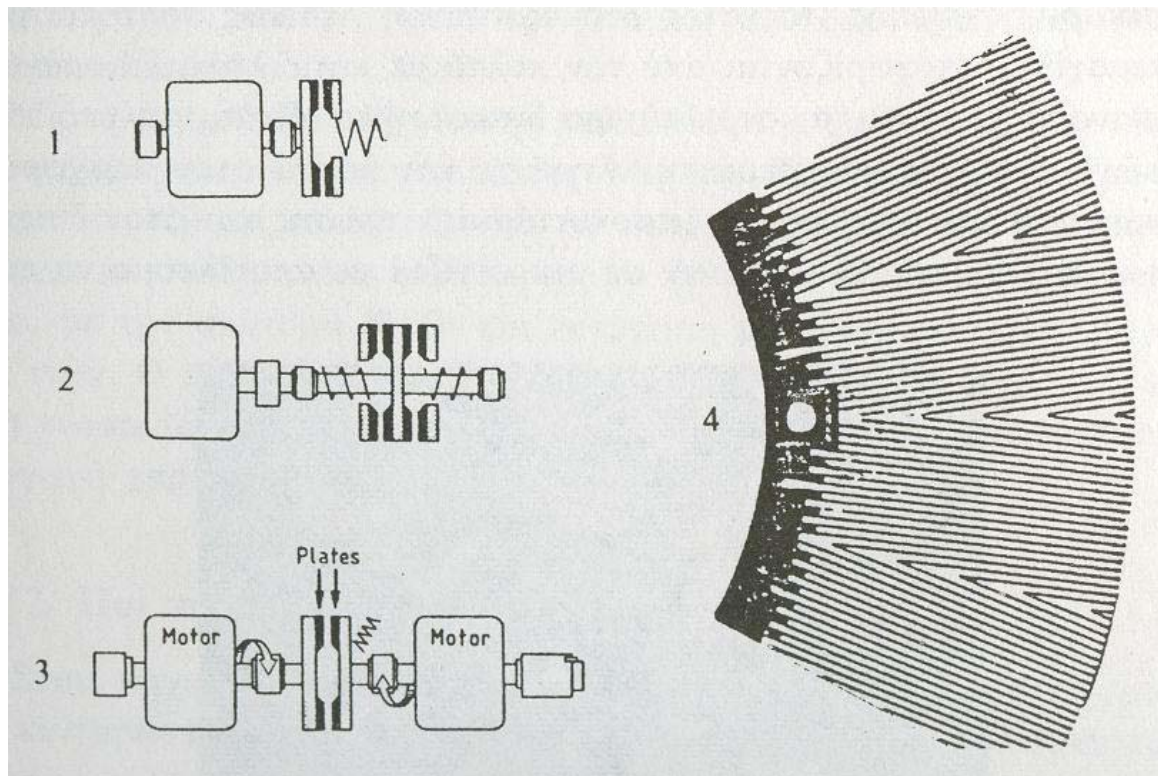
κυλίνδρου). Άλλη παράμετρος που καθορίζει την ποιότητα της παραγόμενης χαρτομάζας είναι η πίεση εκτριβής, δηλαδή η πίεση με την οποία τα κορμοτεμάχια συμπιέζονται πάνω στον κύλινδρο.

Η πολτοποίηση σε κυλινδροτριβείς είναι η παλαιότερη μέθοδος πολτοποίησης του ξύλου (χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1843 από τον Keller). Η παραγόμενη χαρτομάζα (stone groundwood, SGW, παραδοσιακή μηχανική χαρτομάζα) αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από δέσμες ινών, σπασμένες ίνες και ίνες μικρού μήκους. Τα προϊόντα χαρτιού από χαρτομάζα που παράγεται σε κυλινδροτριβείς έχουν μικρή μηχανική αντοχή, γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά σε ανάμιξη με χημική χαρτομάζα. Παρουσιάζουν όμως τη μεγαλύτερη αδιαφάνεια από όλα τα άλλα είδη μηχανικής χαρτομάζας, ενώ η απόδοση του ξύλου σε χαρτομάζα είναι πολύ μεγάλη (95-98%). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους μηχανικής πολτοποίησης, εξηγεί τη διατήρηση της εφαρμογής της μεθόδου σήμερα και την προσπάθεια βελτίωσής της μέσω κατάλληλων τροποποιήσεων.

Το 1986, η γερμανική εταιρεία Voith, με κατάλληλο σχεδιασμό, έκανε δυνατό τον έλεγχο της θερμοκρασίας στη ζώνη εκτριβής, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου χαρτοπολτού (θερμική πολτοποίηση, thermal grinding, TG). Βελτίωση της μεθόδου αποτελεί και η μηχανική πολτοποίηση υπό πίεση.

#### **2.4.3. Πολτοποίηση σε Δισκοτριβείς**

Η πολτοποίηση ξύλου σε δισκοτριβείς (disk refiners) για την παραγωγή χαρτιού άρχισε να αναπτύσσεται κατά τη δεκαετία του 1950, ενώ τέθηκε σε βιομηχανική εφαρμογή στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1920 είχε αρχίσει η πολτοποίηση ξύλου με δισκοτριβείς για την παραγωγή ινοσανίδων (hardboards) και (σε περιορισμένη έκταση) κυματοειδούς χαρτονιού. Κατά τη διεργασία αυτή το ξύλο (κυρίως κωνοφόρων δένδρων) θρυμματίζεται σε ξυλοτεμαχίδια (chips), ενώ ως πρώτη ύλη μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν πριονίδια ή άλλα υπολείμματα ξυλουργικών εργασιών. Τα ξυλοτεμαχίδια είναι ομοιόμορφου μεγέθους και μετά από έκπλυση (για να απαλλαχθούν από σκόνες και ακαθαρσίες) και σε ορισμένες περιπτώσεις προεπεξεργασία για τη μείωση της περιεκτικότητας σε ρητινώδη και έγχρωμα συστατικά, οδηγούνται στους δισκοτριβείς. Αυτοί λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση. Οι κυριότεροι τύποι δισκοτριβέων φαίνονται στο σχήμα 2.9 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.8 Κυριότεροι τύποι δισκοτριβέων: 1) απλός δισκοτριβέας με ένα σταθερό και ένα κινούμενο δίσκο, 2) διπλός δισκοτριβέας, 3) απλός δισκοτριβέας με δύο αντίθετα περιστρεφόμενους δίσκους, 4) η επιφάνεια των δίσκων φέρει ειδικές ραβδώσεις αποτριβής [8].

Οι δίσκοι έχουν διάμετρο έως και 1,8 m, φέρουν στην επιφάνειά τους ειδικές ακτινικές ραβδώσεις, η απόστασή τους ρυθμίζεται κατάλληλα με ηλεκτρομηχανικό ή υδραυλικό σύστημα, ενώ η απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία τους φθάνει τα 22 MW. Τα ξυλοτεμαχίδια τροφοδοτούνται στο κέντρο των δίσκων και κατά την κίνησή τους προς την περιφέρεια υφίστανται καταπονήσεις, λόγω της επαφής τους με τους δίσκους και των μεταξύ τους συγκρούσεων. Καθώς μετακινούνται προς την περιφέρεια μετατρέπονται σταδιακά σε μικρότερα τεμαχίδια και τελικά σε ελεύθερες ίνες, με σύγχρονη δράση άφθονου νερού (για τη ρύθμιση της περιεκτικότητας, η οποία συνήθως κυμαίνεται από 16 έως 30%), ενώ υπάρχει και η δυνατότητα προσθήκης διαφόρων χημικών αντιδραστηρίων (π.χ. λευκαντικών μέσων).

Ο ατμός που σχηματίζεται στη ζώνη εκτριβής απομακρύνεται, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στην ομαλή τροφοδοσία των ξυλοτεμαχιδίων. Η λειτουργία των δισκοτριβέων απαιτεί ελαφρώς υψηλότερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας από ότι των κυλινδροτριβέων.



Το κλειστό σύστημα των δίσκων επιτρέπει την ταυτόχρονη θερμική και χημική κατεργασία της παραγόμενης χαρτομάζας.

Η πολτοποίηση πραγματοποιείται σε δύο ή σπανιότερα σε περισσότερους διαδοχικούς δισκοτριβείς (στάδια). Στο πρώτο στάδιο τα ξυλοτεμαχίδια μετατρέπονται σε χονδρές δέσμες ινών και στο δεύτερο σε ελεύθερες ίνες.

## **2.5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΟΠΟΛΤΟΥ**

Ο μηχανικός χαρτοπολτός αποτελεί περίπου το 22% του χαρτοπολτού που παράγεται από ξύλο δένδρων. Χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού, συνήθως ενισχυμένος με χημικό χαρτοπολτό (π.χ. με την προσθήκη 20-25% ημιλευκασμένης θεικής χαρτομάζας), ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική μηχανική αντοχή κατά την εκτύπωση. Επειδή η λιγνίνη παραμένει στη μηχανική χαρτομάζα, το χαρτί εμφανίζει μικρή μηχανική αντοχή, μικρό βαθμό ανάκλασης και μικρή σταθερότητα στο χρόνο (κιτρινίζει και χάνει τη μηχανική αντοχή του με την πάροδο του χρόνου), περιορισμένη ικανότητα ενυδάτωσης, αλλά υψηλή αδιαφάνεια και υψηλή απορροφητικότητα ως προς τα τυπογραφικά μελάνια. Τα διάφορα είδη μηχανικής χαρτομάζας, που παράγονται με διαφορετικές μεθόδους μηχανικής πολτοποίησης, έχουν διαφορετικές ιδιότητες.

Η παρουσία στη χαρτομάζα μεγάλου ποσοστού μακριών ινών εξασφαλίζει στο χαρτί ικανοποιητική μηχανική αντοχή (και επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας και της παραγωγικότητας της χαρτοποιητικής μηχανής, paper machine runnability), η παρουσία ινιδίων (fines) εξασφαλίζει ικανοποιητική αδιαφάνεια και καλή συμπεριφορά κατά την εκτύπωση, ενώ η παρουσία δύσκαμπτων ινών εξασφαλίζει υψηλό ειδικό όγκο. Έτσι, με κατάλληλη επιλογή της μεθόδου και των συνθηκών πολτοποίησης παράγεται μηχανική χαρτομάζα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή πλήθους προϊόντων χαρτιού με διάφορες επιθυμητές ιδιότητες. Η μηχανική χαρτομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού (newsprint), υπερστιλβωμένου χαρτιού (supercalendered, SC) και επικαλυμμένου χαρτιού χαμηλού βάρους (lightweigh coated, LWC) για περιοδικά. Μηχανική χαρτομάζα λευκασμένη με υπεροξειδίο του υδρογόνου χρησιμοποιείται στην παραγωγή χαρτιού υγιεινής-καθαριότητας.

Η μηχανική χαρτομάζα (παρά τη μεγάλη κατανάλωση σε ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί) έχει σημαντικά μικρότερο κόστος παραγωγής από τη χημική και η παραγωγή της προκαλεί λιγότερη ρύπανση στο περιβάλλον.

Ήδη από τη δεκαετία του 1970, κρίσιμα οικονομικά και οικολογικά προβλήματα οδήγησαν στην ανάγκη διεύρυνσης των εφαρμογών της χαρτομάζας υψηλής απόδοσης, με στόχο τη μείωση του βαθμού εξάρτησης της χαρτοβιομηχανίας από τη χημική χαρτομάζα.

Προϋπόθεση για την πραγματοποίηση της επιδίωξης αυτής είναι η ποιοτική αναβάθμιση της παραδοσιακής μηχανικής χαρτομάζας, ώστε να διεκδικήσει, πέρα από την αδιαφιλονίκητη θέση που κατέχει στην παραγωγή του δημοσιογραφικού χαρτιού, ουσιαστική συμμετοχή στη σύνθεση και άλλων ειδών χαρτιού και χαρτονιού. Έτσι, η παραγωγή χαρτομάζας μέσω βελτιωμένων μεθόδων μηχανικής πολτοποίησης (όπως αυτών που αναφέρονται στην επόμενη παράγραφο), έδωσε τη δυνατότητα συμμετοχής της μηχανικής χαρτομάζας στη σύνθεση διαφόρων προϊόντων χαρτιού, όπως χαρτιού υγιεινής - καθαριότητας, επιθεμάτων, χαρτιών γραφής-εκτύπωσης, χαρτιού μηχανογράφησης κ.ά.

## **2.6 ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗΣ**

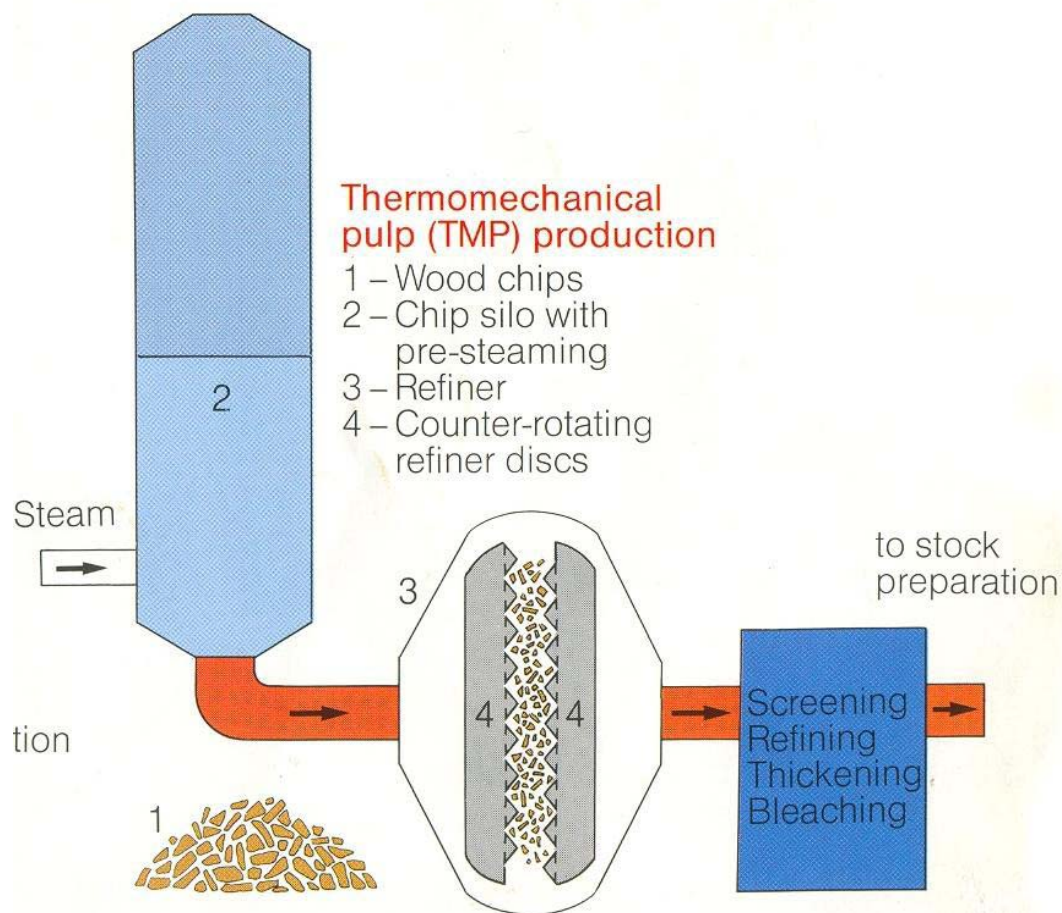
### **2.6.1 Γενικά**

Για να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα της μηχανικής χαρτομάζας (μικρό κόστος, πλήρης αξιοποίηση της φυτικής ύλης, υψηλή απόδοση, μικρή ρύπανση περιβάλλοντος) με αυτά της χημικής (υψηλή μηχανική αντοχή), αναπτύχθηκαν μέθοδοι που συνδυάζουν τη μηχανική με τη θερμική και τη χημική επεξεργασία. Οι διεργασίες γίνονται συνήθως σε κλειστά δοχεία, που επιτρέπουν την παροχή ατμού και χημικών αντιδραστηρίων. Παράγουν χαρτομάζα καλύτερης ποιότητας, απαιτούν λιγότερη ενέργεια, αλλά έχουν μικρότερη απόδοση, συγκριτικά με τη συμβατική μηχανική πολτοποίηση. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές είναι η θερμομηχανική, η χημικομηχανική πολτοποίηση και η μηχανική πολτοποίηση με εκτόνωση που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### **2.6.2 Θερμομηχανική Πολτοποίηση**

Η θερμομηχανική πολτοποίηση (thermomechanical pulping, TM pulping) αποτελεί τη σημαντικότερη τροποποίηση της μηχανικής πολτοποίησης σε δισκοτριβείς. Αρχικά αναπτύχθηκε στη Σουηδία το 1932 ως μια μέθοδος πολτοποίησης ξυλοτεμαχιδίων με άτμιση, σε θερμοκρασία 170 °C και πίεση 6,9 atm, χρησιμοποιώντας μικρή ποσότητα μηχανικής ενέργειας (160-200 kWh/t). Το παραγόμενο υλικό

ήταν σκουρόχρωμο (λόγω της υψηλής θερμοκρασίας) και χρησιμοποιούταν μόνο για παραγωγή ινοσανίδων (hardboard), ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1960 άρχισε να χρησιμοποιείται για παραγωγή ινοσανίδων MDF (Medium-Density Fiberboard). Η πρώτη μονάδα παραγωγής θερμομηχανικής χαρτόμαζας (thermomechanical pulp, TMP) λειτούργησε το 1964 στη Σουηδία, αλλά η μέθοδος άρχισε να υιοθετείται ευρέως από τη δεκαετία του 1970. Αρκετές μονάδες παραγωγής SGW ή χημικής χαρτόμαζας μετατράπηκαν, συνολικά ή εν μέρει, σε μονάδες παραγωγής TMP. Σήμερα η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή χαρτόμαζας με υψηλή αντοχή στο σχίσιμο, κατάλληλης για παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού και χαρτονιών.



Σχήμα 2.9 Παραγωγή θερμομηχανικού πολτού [13].

### 2.6.3 Χημικομηχανική Πολτοποίηση

Η ιδέα της ήπιας χημικής προεπεξεργασίας των ξυλοτεμαχιδίων για την παραγωγή μηχανικής χαρτομάζας υψηλής απόδοσης εμφανίστηκε το 1919, αλλά άρχισε να διερευνάται κατά τη δεκαετία του 1950. Το 1965 ο Richardson έδειξε ότι είναι δυνατή η παραγωγή υψηλής ποιότητας χαρτομάζας κατάλληλης για παραγωγή επιχρισμένου χαρτιού, με εμποτισμό ξυλοτεμαχιδίων λεύκας σε διάλυμα  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  και  $\text{NaOH}$  (για περίπου 15 min σε θερμοκρασία  $77^\circ\text{C}$  και πίεση 410 KPa) και ακόλουθη πολτοποίηση σε δισκοτριβείς. Ο εμποτισμός των ξυλοτεμαχιδίων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας στους δισκοτριβείς για την παραγωγή χαρτομάζας συγκεκριμένου βαθμού άλεσης. Δείχθηκε ότι οι ιδιότητες της χαρτομάζας μεταβάλλονταν σημαντικά κατά τη μεταβολή των προστιθέμενων ποσοτήτων των δύο αντιδραστηρίων. Κατά τη δεκαετία του 1970 άρχισαν να διαδίδονται διάφορες παραλλαγές της μηχανικής πολτοποίησης (προσαρμοσμένες κυρίως στα σκληρά ξύλα) που χρησιμοποιούσαν μικρές ποσότητες χημικών αντιδραστηρίων κατά την αποϊνωση σε δισκοτριβείς (χημικομηχανική πολτοποίηση σε δισκοτριβείς, chemirefiner mechanical pulping, CRM pulping ή συντομότερα chemimechanical pulping, CM pulping). Η προσθήκη χημικών αντιδραστηρίων κατά την άτμιση των ξυλοτεμαχιδίων στη θερμομηχανική πολτοποίηση (χημικοθερμομηχανική πολτοποίηση, chemithermomechanical pulping, CTM pulping) πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1980. Η CRM και η CTM πολτοποίηση επιτρέπουν την πλήρη αξιοποίηση του ξύλου των φυλλοβόλων δένδρων. Το ξύλο των φυλλοβόλων δένδρων δίνει μηχανική και θερμομηχανική χαρτομάζα με κατώτερες μηχανικές αντοχές. Όταν όμως αυτό πολτοποιηθεί εφαρμόζοντας τη CRM ή τη CTM μέθοδο, η χαρτομάζα που προκύπτει έχει εξαιρετικές ιδιότητες. Επίσης, πολύ καλής ποιότητας χαρτομάζα παράγεται κατά τη CRM και CTM πολτοποίηση μίγματος σκληρών (π.χ. λεύκας, ευκάλυπτου κ.ά.) και μαλακών ξύλων. Τα σκληρά ξύλα ανταποκρίνονται ευκολότερα στη χημική επεξεργασία και απαιτούν μικρότερη ποσότητα ενέργειας κατά τη μηχανική επεξεργασία που ακολουθεί, σε σύγκριση με τα μαλακά ξύλα.

### 2.6.4 Πολτοποίηση με Εκτόνωση

Μια άλλη μέθοδος μηχανικής πολτοποίησης ξυλοτεμαχιδίων είναι η πολτοποίηση με εκτόνωση (μέθοδος Mason). Τα ξυλοτεμαχίδια τοποθετούνται σε λέβητα και ατμίζονται σε υψηλή πίεση. Η πίεση αφαιρείται απότομα με άνοιγμα του λέβητα και τα ξυλοτεμαχίδια, που έχουν μαλακώσει, με την απότομη έξοδο και εκτόνωση μεταβάλλονται σε ίνες ή δέσμες ινών. Ο παραγόμενος πολτός χρησιμοποιείται όπως είναι για παραγωγή ινοσανίδων ή μετά από μηχανική κατεργασία σε δισκοτριβείς για παραγωγή χαρτοσανίδων και χαρτοκιβωτίων.

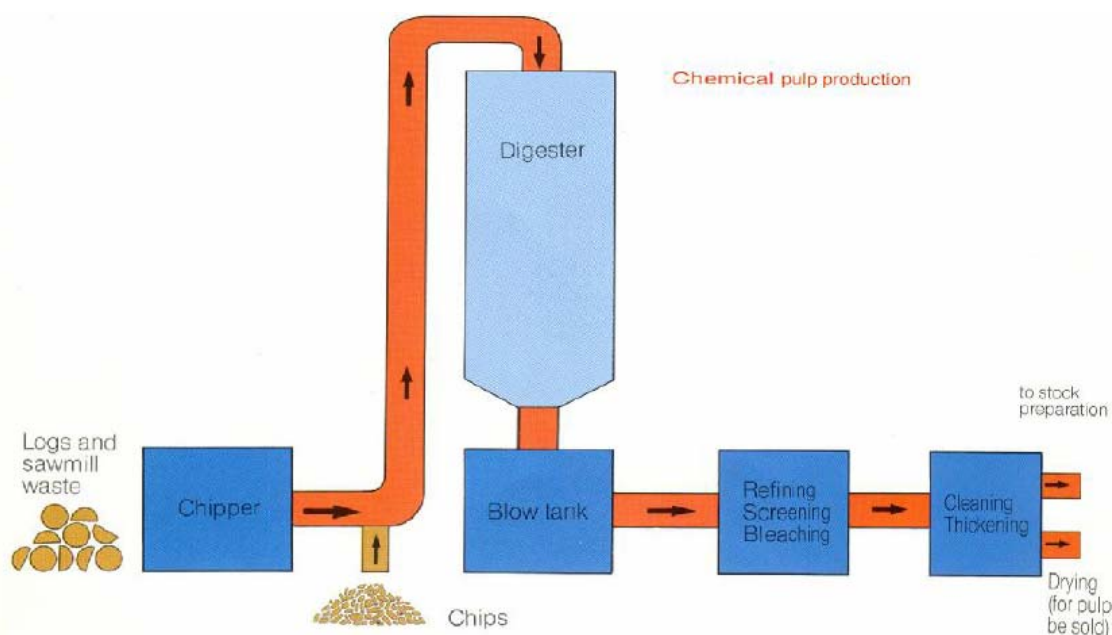


## 2.7 ΧΗΜΙΚΗ ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ

### 2.7.1. Γενικά

Μέσω της χημικής πολτοποίησης επιδιώκεται η απελευθέρωση των ινών της κυτταρίνης με τον ελάχιστο δυνατό τραυματισμό τους. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλες χημικές αντιδράσεις, οι οποίες διαλύουν και απομακρύνουν τη συνδετική ύλη μεταξύ των ινών (κυρίως τη λιγνίνη). Η χημική χαρτομάζα είναι χαρτομάζα χαμηλής απόδοσης (low-yield pulp), επειδή στις διάφορες μεθόδους χημικής πολτοποίησης η απόδοση του ξύλου σε ίνες είναι 40-60%.

Η χημική χαρτομάζα έχει πολύ μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τη μηχανική χαρτομάζα, επειδή αποτελείται από μακρύτερες και περισσότερο εύκαμπτες ίνες. Αυτό οφείλεται στον μικρότερο μηχανικό τραυματισμό των ινών και στην απομάκρυνση μεγάλου ποσοστού λιγνίνης κατά τη χημική πολτοποίηση.

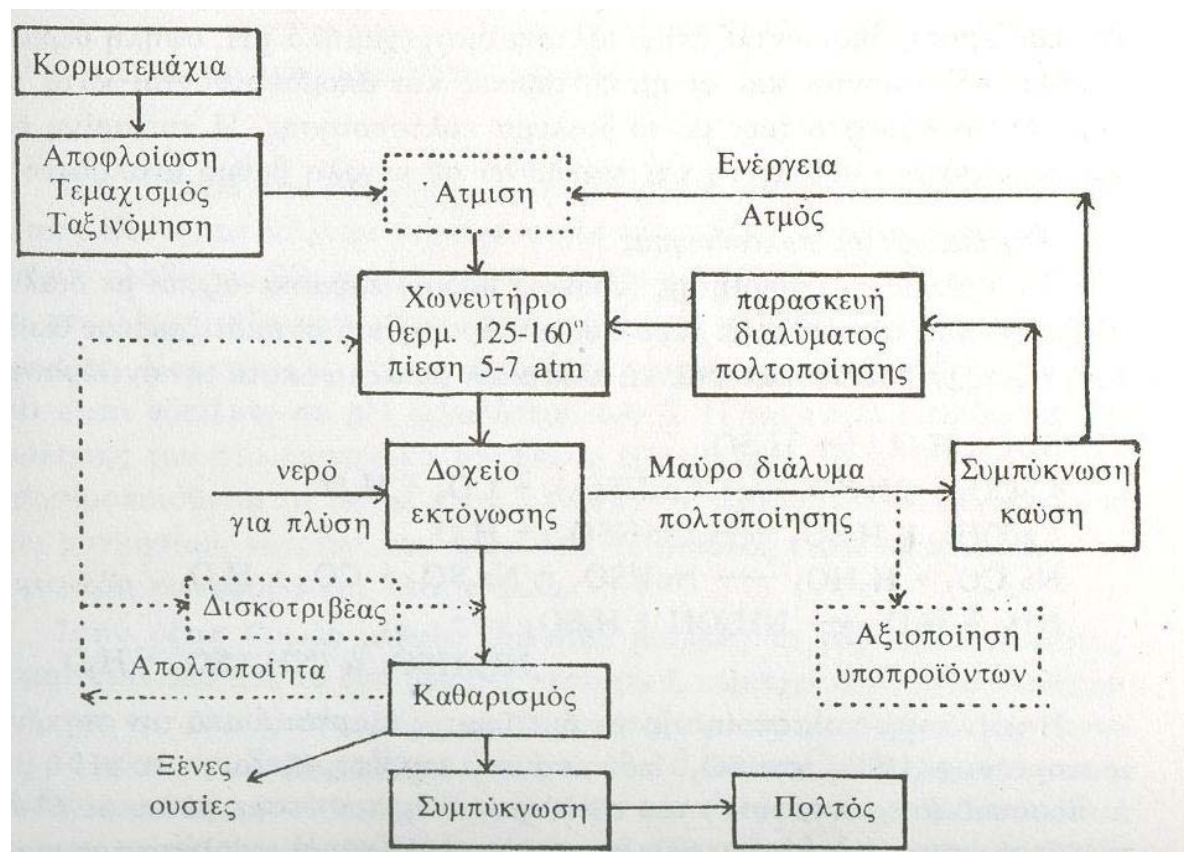


Σχήμα 2.10 Παραγωγή χημικού πολτού [13].

Οι μονάδες παραγωγής χημικής χαρτομάζας έχουν πολύ υψηλότερο κόστος επένδυσης από τις μονάδες μηχανικής χαρτομάζας. Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα παραγόμενης χημικής χαρτομάζας μειώνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται η δυναμικότητα της

εγκατάστασης. Γι' αυτό οικονομικά βιώσιμες είναι συνήθως οι μονάδες μεγάλης δυναμικότητας.

Χημική χαρτομάζα μπορεί να παραχθεί με την επίδραση πολλών χημικών ενώσεων που μετατρέπουν τη λιγνίνη σε διαλυτά παράγωγα. Για τη βιομηχανική παραγωγή χημικής χαρτομάζας χρησιμοποιούνται ως αντιδραστήρια απολιγνίνωσης σχετικά φθηνές ανόργανες ενώσεις, όπως θειώδες οξύ, όξινα και ουδέτερα θειώδη άλατα, υδροξείδιο του νατρίου, θειούχο νάτριο.



Σχήμα 2.11 Στάδια παραγωγής χημικού πολτού [13].

Τα ξυλοτεμαχίδια, μετά από ένα στάδιο άτμισης, υφίστανται κατεργασία με υδατικά διαλύματα χημικών αντιδραστηρίων, σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, μέσα σε ειδικά χωνευτήρια. Κατά την κατεργασία αυτή διαλύεται η λιγνίνη και το ξύλο αποϊνώνεται με απότομη μείωση της πίεσης (εκτόνωση) μετά την έξοδο των ξυλοτεμαχιδίων από το χωνευτήριο. Δεν χρησιμοποιείται μηχανική εκτριβή, παρά μόνο σε μεγάλα συσσωματώματα ινών και μερικώς πολτοποιημένα ξυλοτεμαχίδια (ιδιαίτερα κατά την παραγωγή χημικής χαρτομάζας υψηλής απόδοσης), τα οποία αποχωρίζονται από τον πολτό

και αποϊνώνονται σε δισκοτριβέα. Τα στάδια παραγωγής χημικού πολτού φαίνονται στα σχήματα 2.10 και 2.11.

Σε πολλές εγκαταστάσεις δεν χρησιμοποιείται δισκοτριβέας αλλά τα μερικώς πολτοποιημένα ξυλοτεμαχίδια οδηγούνται για επαναπολτοποίηση στο χωνευτήριο.

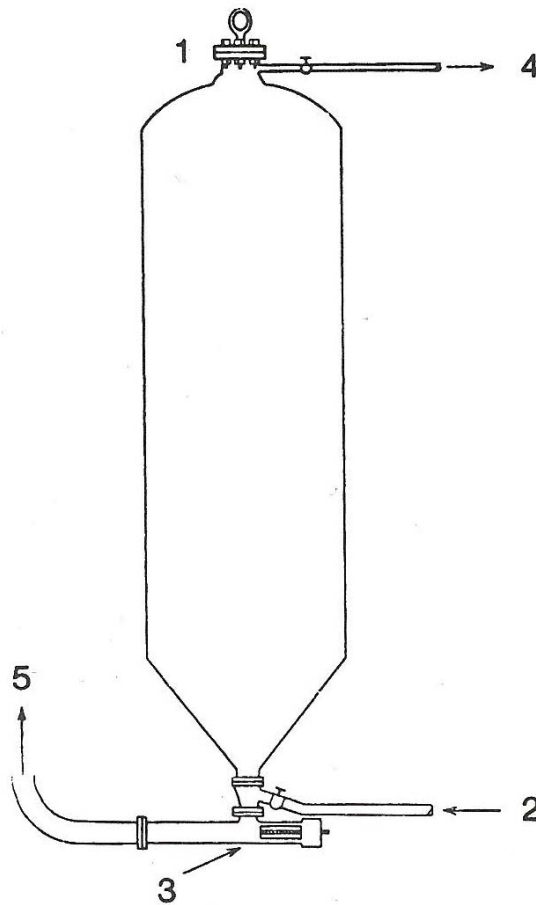
Στις σύγχρονες μονάδες χημικής πολτοποίησης εκτός από χαρτομάζα παράγεται και ενέργεια, καθώς το ποσοστό της μάζας του ξύλου (περίπου 50%) που διαλυτοποιείται στο διάλυμα πολτοποίησης καίγεται και παράγει ενέργεια, στο στάδιο της ανάκτησης των χημικών αντιδραστηρίων. Έτσι, μειώνεται το κόστος της παραγόμενης χαρτομάζας.



Σχήμα 2.12 Σύγχρονη μονάδα παραγωγής χημικού πολτού [13].

Ανάλογα με τη σύσταση του διαλύματος πολτοποίησης, διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι χημικής πολτοποίησης: (α) η αλκαλική μέθοδος και (β) η θειώδης μέθοδος, οι οποίες περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους. Η χημική χαρτομάζα αποτελεί περίπου το 72% της χαρτομάζας που παράγεται από ξύλο δένδρων. Περίπου το 95% της χημικής χαρτομάζας παράγεται με τη θειική μέθοδο.





Σχήμα 2.13 Ο πιο συνηθισμένος τύπος χωνευτηρίου (όρθιο, μόνιμο). Τα ξυλοτεμαχίδια και οι χημικές ουσίες πολτοποίησης εισάγονται από άνοιγμα στο πάνω μέρος (1) και ο ατμός από κάτω (2). Φαίνονται ακόμη η βαλβίδα εκτόνωσης (3), η έξοδος των αερίων (4) και η έξοδος του πολτού (5) [6].

### 2.7.2. Αλκαλική Μέθοδος

Η χρήση αλκαλίων για το διαχωρισμό της κυτταρίνης από τα υπόλοιπα συστατικά διαφόρων μη ξυλωδών ινών εφαρμόστηκε ήδη από τα πρώτα χρόνια της ανακάλυψης του χαρτιού. Στο ξύλο άρχισε να εφαρμόζεται από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

Η αλκαλική μέθοδος πολτοποίησης της φυτικής ύλης βασίζεται στην αλκαλική υδρόλυση της λιγνίνης. Διακρίνονται δύο μέθοδοι αλκαλικής πολτοποίησης, η μέθοδος της σόδας και η θειική μέθοδος. Η αλκαλική πολτοποίηση πραγματοποιείται σε pH 13-14, θερμοκρασία 160-180 °C, πίεση 7-11 atm, με αναλογία διαλύματος/ξύλου ίση με 3-5/1, για χρονικό διάστημα 1,5-6 hr.

Ο μηχανισμός της αλκαλικής απολιγνίνωσης είναι ο ακόλουθος: το αλκάλιο ( $\text{Na}^+$ ) εισχωρεί στη μάζα του ξύλου και ενώνεται με τα ελεύθερα φαινολικά υδροξύλια της λιγνίνης, ενώ το  $\text{OH}^-$  προσβάλλει και διασπά αιθερικούς δεσμούς μεταξύ των μονάδων φαινυλοπροπανίου και προκαλεί διάλυση του μεγαλομορίου της λιγνίνης στο διάλυμα πολτοποίησης. Το διάλυμα πολτοποίησης απομακρύνει γρήγορα τη λιγνίνη από τη μεσοκυττάρια στρώση και προκαλεί αποϊνώση, πριν ακόμη τα ενεργά συστατικά του διαλύματος αρχίσουν να προσβάλλουν τη λιγνίνη που περιέχεται στα κυτταρικά τοιχώματα.

Αντίθετα, στη θειώδη μέθοδο το διάλυμα πολτοποίησης προσβάλλει σχεδόν ταυτόχρονα τη λιγνίνη στη μεσοκυττάρια στρώση και στα κυτταρικά τοιχώματα. Το αλκαλικό διάλυμα προσβάλλει επίσης τους πολυσακχαρίτες του ξύλου και προκαλεί μερική υδρόλυση των ημικυτταρινών και της κυτταρίνης.

Η εκλεκτική επίδραση του αλκαλικού διαλύματος στη λιγνίνη της μεσοκυττάριας στρώσης έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή χαρτοπολτού που περιέχει μακρύτερες ίνες και μεγαλύτερο ποσοστό λιγνίνης και ημικυτταρινών και έχει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή, αλλά σκούρο χρωματισμό (σε σύγκριση με τη θειώδη χαρτομάζα). Το σκούρο χρώμα της χαρτομάζας κατά την αλκαλική πολτοποίηση οφείλεται στην παρουσία κάποιων χρωμοφόρων ομάδων. Για να παραχθεί ανοιχτόχρωμη χαρτομάζα απαιτείται η απομάκρυνση αυτών των χρωμοφόρων ομάδων.

#### 2.7.2.1. Μέθοδος της Σόδας

Η μέθοδος της σόδας χρησιμοποιεί ως χημικό αντιδραστήριο πολτοποίησης το υδατικό διάλυμα  $\text{NaOH}$ , ενώ συνήθως προστίθεται και  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Οι δραστικές ομάδες είναι το  $\text{Na}^+$  και το  $\text{OH}^-$ . Τα τεμαχίδια του ξύλου υφίστανται κατεργασία με διάλυμα  $\text{NaOH}$ , ενώ συγχρόνως διοχετεύεται με πίεση υπέρθερμος ατμός. Το  $\text{NaOH}$  διασπά τη λιγνίνη σχηματίζοντας 1,2-διόλες ή μεθίδια της κινόνης.

Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την παραγωγή χαρτομάζας από ράκη και μη ξυλώδεις ίνες, ενώ από το 1880 χρησιμοποιείται βελτιωμένη για την πολτοποίηση ξύλου πεύκου, ελάτου και πλατύφυλλων δένδρων. Πραγματοποιείται κατεργασία με  $\text{NaOH}$  σε αναλογία 18-24% κ.β.ξ. και θερμοκρασία περίπου 140 °C. Η προσβολή της λιγνίνης στους 140 °C είναι 28 φορές ταχύτερη από αυτή της κυτταρίνης, ενώ στους 270 °C είναι ίδια με αυτή της κυτταρίνης. Για να μην υπάρξει απώλεια σε κυτταρίνη, η θερμοκρασία της κατεργασίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 140 °C, αλλά ούτε και αρκετά χαμηλότερη, γιατί στους 120 °C απαιτείται τριπλάσιος χρόνος για το ίδιο ποσοστό απολιγνίνωσης. Η παραγόμενη χαρτομάζα έχει σκούρο καστανό χρώμα και απαιτεί λεύκανση. Είναι δυνατή η ανάκτηση των χημικών

αντιδραστηρίων (του NaOH) με διαδικασία ανάλογη με αυτήν της μεθόδου Kraft.

Το υγρό πολτοποίησης απομακρύνεται από τη χαρτομάζα, συμπυκνώνεται με εξάτμιση και καίγεται. Η τέφρα, η οποία περιέχει κυρίως  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , διαλύεται σε νερό και με την προσθήκη  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  σχηματίζεται NaOH και ίζημα  $\text{CaCO}_3$ . Μετά την απομάκρυνση, με διήθηση, του στερεού  $\text{CaCO}_3$ , το διάλυμα του NaOH επαναχρησιμοποιείται στην διεργασία της πολτοποίησης. Στη μέθοδο της σόδας, η ανάκτηση αντιδραστηρίων και ενέργειας από το υγρό πολτοποίησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης (wet air oxidation). Το 95-98% του οργανικού υλικού οξειδώνεται (προς  $\text{CO}_2$  και νερό) σε αντιδραστήρα υπό πίεση 200 atm και χρόνο αντίδρασης 100 min, ενώ η τέφρα περιέχει  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και  $\text{NaHCO}_3$ . Η μέθοδος της σόδας λίγες δεκαετίες μετά την ανακάλυψή της το 1850, έπαψε βαθμιαία να χρησιμοποιείται, επειδή υποκαταστάθηκε από τη θεική μέθοδο, η οποία παράγει χαρτομάζα πολύ καλύτερης ποιότητας. Σήμερα χρησιμοποιείται σε μικρή κλίμακα για την παραγωγή χαρτομάζας από άχυρο, βαμβάκι, μπαμπού και σε πολύ μικρή κλίμακα από ορισμένα πλατύφυλλα δένδρα με χαμηλή περιεκτικότητα σε ρητίνες. Επίσης, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ημιχημικής χαρτομάζας.

#### 2.7.2.2. Θεική Μέθοδος

Η θεική μέθοδος πολτοποίησης ή μέθοδος των θεικών ή μέθοδος Kraft αποτελεί την κυριότερη και οικονομικότερη μέθοδο παραγωγής χημικής χαρτομάζας. Στην πράξη εφαρμόζεται από το 1880 και σήμερα παράγεται μέσω αυτής περίπου το 95% της συνολικής χημικής χαρτομάζας. Χρησιμοποιούνται όλα τα είδη ξύλου (και αυτά που περιέχουν σημαντικό ποσοστό ρητινωδών συστατικών), ακόμη και έμφλοια υπολείμματα μηχανικής κατεργασίας και συγκομιδής του ξύλου, γεγονός που ευνοεί την ευρεία εφαρμογή της σε χώρες με εκτεταμένη παραγωγή ξυλείας (Σκανδιναβία, ΗΠΑ, Καναδάς).

Συχνά χρησιμοποιείται μίγμα ξύλου κωνοφόρων και φυλλοβόλων δένδρων για την παραγωγή θεικής χαρτομάζας. Όμως, κάθε μεταβολή στη σύσταση της χρησιμοποιούμενης ξυλείας απαιτεί κατάλληλες τροποποιήσεις στις συνθήκες της πολτοποίησης, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη παραγωγικότητα.

Η θεική μέθοδος απαιτεί μικρούς χρόνους πολτοποίησης, επιτρέπει την ανάκτηση των αντιδραστηρίων και την αξιοποίηση των υποπροϊόντων (κολοφωνίου, λιπαρών οξέων, λιγνίνης). Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι η μεγάλη μηχανική αντοχή της παραγόμενης χαρτομάζας στην οποία οφείλει και το όνομα μέθοδος Kraft (η λέξη “Kraft” σημαίνει στα γερμανικά και στα σουηδικά “ισχύς, δύναμη”). Μειονεκτήματα της θεικής μεθόδου, σε σύγκριση με τη θειώδη, είναι το

σχετικά μεγάλο κόστος επένδυσης της μονάδας, οι μικρότερες αποδόσεις σε χαρτομάζα (συνήθως 45-50%), ο έντονα σκούρος (καστανοπράσινος) χρωματισμός της χαρτομάζας και η ρύπανση του περιβάλλοντος με δύσσομες αέριες ουσίες (μερκαπτάνες  $\text{CH}_3\text{SH}$ , θειαιθέρες  $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ , δισουλφίδια  $\text{CH}_3\text{SSCH}_3$ ) που σχηματίζονται από την ένωση του  $\text{HS}^-$  με προϊόντα διάσπασης της λιγνίνης.

### 2.7.3 Όξινη Μέθοδος

Η όξινη ή θειώδης μέθοδος (Sulfite process) αποτελούσε την κύρια μέθοδο χημικής πολτοποίησης κατά την περίοδο από το 1890 έως το 1930, οπότε άρχισε να εκτοπίζεται από τη θειική μέθοδο. Ενώ το 1960 η θειώδης αποτελούσε το 20% της παγκόσμια παραγόμενης χαρτομάζας, το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 8% το 1990 και στο 4,5% το 2001. Σήμερα η θειώδης μέθοδος έχει μικρή διάδοση, όμως συνεχίζει να εφαρμόζεται εξαιτίας της ελαστικότητάς της ως προς τις συνθήκες κατεργασίας και επειδή παράγει ανοιχτόχρωμη χαρτομάζα, η οποία λευκαίνεται ευκολότερα από τη θειική. Ορισμένες παραλλαγές της μεθόδου (ιδιαίτερα αυτές σε αλκαλικές συνθήκες) είναι δημοφιλείς και υφίστανται συνεχώς βελτιώσεις. Οι κυριότερες μονάδες παραγωγής θειώδους χαρτομάζας βρίσκονται στις ΗΠΑ, στη Σουηδία και στη Γερμανία.

Η θειώδης μέθοδος πολτοποίησης περιλαμβάνει κατεργασία άφλοιων ξυλοτεμαχιδίων με υδατικά διαλύματα θειώδους οξέος, όξινων και ουδέτερων θειωδών αλάτων του ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου ή αμμωνίου σε θερμοκρασία 110-180 °C και πίεση 5-8 atm. Σε αυτές τις συνθήκες η λιγνίνη αντιδρά με τα  $\text{HSO}_3^-$  και σχηματίζει λιγνινοσουλφονικά οξέα ή άλατα, τα οποία σε όξινο pH υδρολύονται σε μικρότερα μοριακά τμήματα που είναι διαλυτά στο διάλυμα πολτοποίησης και απομακρύνονται από το ξύλο.

## 2.8 ΗΜΙΧΗΜΙΚΗ ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η ημιχημική πολτοποίηση εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε βιομηχανική κλίμακα το 1925. Πρόκειται για συνδυασμό χημικής και μηχανικής πολτοποίησης. Σκοπός της είναι η παραγωγή χαρτοπολτού με υψηλότερη απόδοση από αυτή που επιτυγχάνεται με τις χημικές μεθόδους, αλλά με βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το μηχανικό χαρτοπολτό, δηλαδή με ιδιότητες ενδιάμεσες μεταξύ αυτών του μηχανικού και του χημικού χαρτοπολτού. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις (λόγω των απαιτούμενων ιδιοτήτων των τελικών προϊόντων) είναι επιθυμητή η διατήρηση μεγαλύτερου ποσοστού λιγνίνης ή ημικυτταρινών στη χαρτομάζα από αυτό που επιτρέπουν οι χημικές μέθοδοι πολτοποίησης, πράγμα που επιτυγχάνεται με τις ημιχημικές

μεθόδους. Η ημιχημική χαρτομάζα αποτελεί περίπου 5% της χαρτομάζας που παράγεται από ξύλο δένδρων.

Η ημιχημική μέθοδος παρουσιάζει πολύ ενδιαφέρον από την άποψη της ελαττώσεως του κόστους και της καλύτερης αξιοποίησης του ξύλου.

Το ξύλο αποφλοιώνεται και τεμαχίζεται αλλά τα τεμαχίδια είναι μικρότερα σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους (έχουν μήκος 1,2 cm ή μικρότερο) για να διευκολύνεται η διείδυση των χημικών ουσιών και η μηχανική αποϊνώση που ακολουθεί. Ο χειρισμός μέσα στα χωνευτήρια είναι λιγότερο δραστικός σε σύγκριση με τη χημική πολτοποίηση. Χρησιμοποιούνται μικρότερες ποσότητες χημικών ουσιών σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Συνήθως ως δρώσα χημική ουσία χρησιμοποιείται το θειώδες νάτριο στο οποίο προστίθεται ανθρακικό νάτριο ή όξινο ανθρακικό νάτριο ή πράσινο υγρό (green liquor) για να αποφεύγεται σημαντική πτώση του pH. Η απόδοση της ημιχημικής μεθόδου είναι μεγαλύτερη από την απόδοση της χημικής μεθόδου γιατί μόνο ένα μέρος της λιγνίνης και των ημικυτταρινών διαλύονται μέσα στα χωνευτήρια. Στην έξοδο τα τεμαχίδια εξακολουθούν να διατηρούν στερεά μορφή και η αποϊνώση γίνεται μηχανικά με δυσκολίες.

Κυριότερη χρήση του ημιχημικού πολτού είναι η παραγωγή κυματοειδών χαρτονιών για συσκευασίες. Επίσης χρησιμοποιείται για χαρτί εφημερίδων και συσκευασίας, απορροφητικό χαρτί αλλά και για βιβλία ή περιοδικά μετά από λεύκανση παρόλο που αυτή είναι δαπανηρή γιατί περιέχονται μεγάλα ποσά λιγνίνης και ημικυτταρινών.

## **2.9 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΛΤΟΥ**

### **2.9.1 Διήθηση-Καθαρισμός**

Με τις κατεργασίες αυτές ο πολτός απαλλάσσεται από ξένες ύλες, ρόζους κ.τ.λ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κόσκινα και συσκευές καθαρισμού, στις οποίες ο καθαρισμός επιτυγχάνεται με φυγοκέντριση. Η φυγοκέντριση εκμεταλεύεται τις διαφορές στην πυκνότητα μεταξύ του χαρτοπολτού και των ξένων υλών για να επιτύχει το διαχωρισμό. Το αιώρημα που λαμβάνεται έχει περιεκτικότητα 0,1 - 0,6 % σε ίνες ξύλου.

Η διήθηση διακρίνεται σε χονδροειδή και σε λεπτή ανάλογα με το άνοιγμα των οπών διόδου του πολτού. Η ανάγκη διήθησης και καθαρισμού περιορίζεται όταν δίνεται προσοχή στην καθαρότητα της πρώτης ύλης.



### **2.9.2 Συμπύκνωση**

Στη συνέχεια το υλικό συμπυκνώνεται σε ειδικές συσκευές συμπυκνώσεως, στις οποίες επιτυγχάνεται πυκνότητα διαλύματος 3-5 %. Αυτό γίνεται με διάφορες συσκευές και συνήθως με κυλινδρικό πλαίσιο που καλύπτεται από λεπτό δικτυωτό και περιστρέφεται μέσα σε δεξαμενή με αραιό αιώρημα ινών. Πολτός συγκρατιέται πάνω στο δικτυωτό και αφαιρείται νερό (όσο περίπου είχε προστεθεί πριν από τη διήθηση). Το νερό αυτό επαναχρησιμοποιείται για αραίωση πολτού που πρόκειται να διηθηθεί. Η συσκευή συμπύκνωσης ονομάζεται συσκευή Decker από το όνομα του εφευρέτη της.

### **2.9.3 Λεύκανση**

Το επόμενο στάδιο κατεργασίας είναι η λεύκανση του πολτού, η οποία επιτυγχάνεται με απομάκρυνση της λιγνίνης, που παρέμεινε μετά την πολτοποίηση. Η λεύκανση πραγματοποιείται με χλώριο και διάφορες ενώσεις του, όπως υποχλωριώδες οξύ (HOCl), υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl) κ.α. καθώς και με υπεροξείδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

Με την λεύκανση συμπληρώνονται οι φάσεις παραγωγής και επεξεργασίας πολτού, που σε πολλές περιπτώσεις πραγματοποιούνται από ολόκληρα εργοστάσια. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο πολτός ξηραίνεται και πιέζεται σε φύλλα ή ρολά, για να είναι εύκολη η μετακίνησή του. Στη συνέχεια μεταφέρεται σε άλλες μονάδες για παραγωγή χαρτιού, συνθετικών ινών (RAYON) ή άλλων προϊόντων κυτταρίνης.

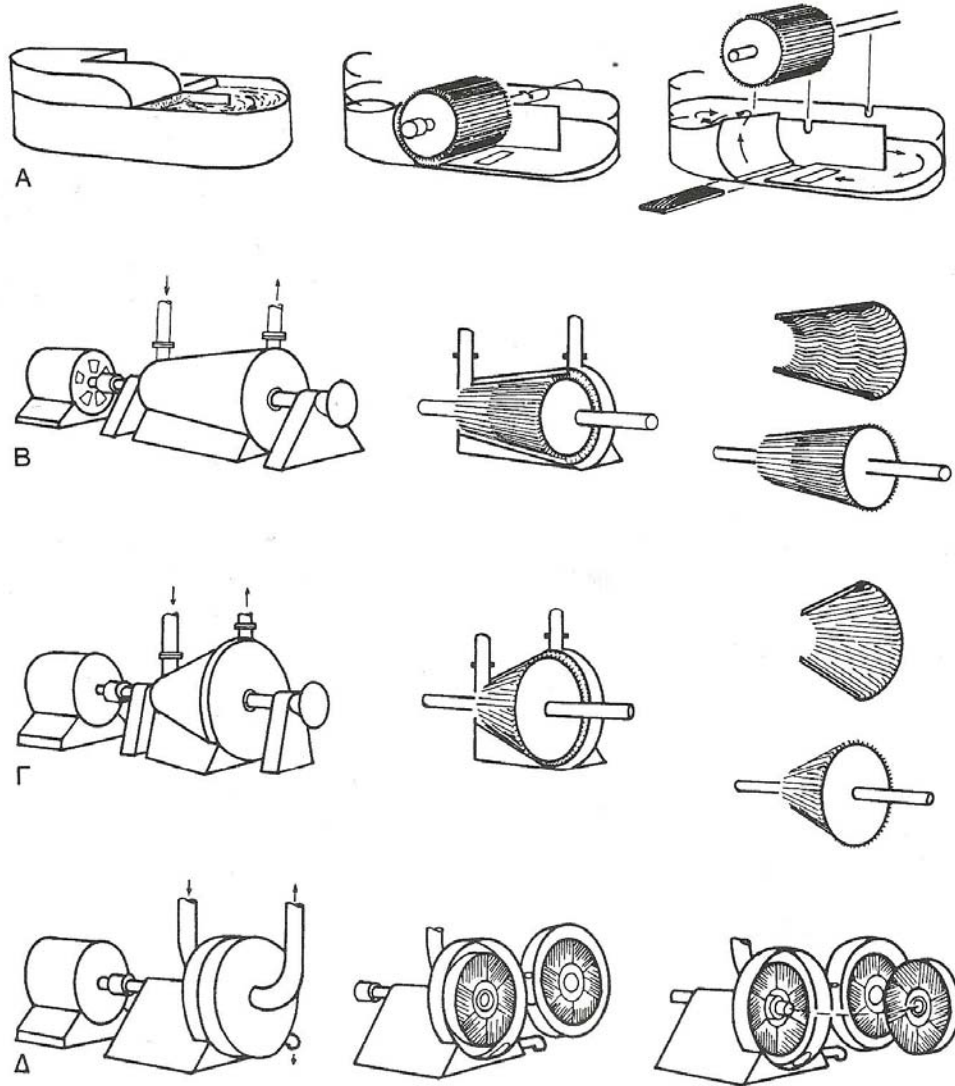
### **2.9.4 Μηχανική Κατεργασία Ινών**

Η μηχανική κατεργασία των ινών είναι ένα ουσιαστικό στάδιο της παραγωγής χαρτιού. Κατ' αυτή αιώρημα ινών διέρχεται ανάμεσα από δύο τραχιές επιφάνειες, οι οποίες βρίσκονται σε ρυθμιζόμενη απόσταση μεταξύ τους. από τις δύο επιφάνειες η μία είναι ακίνητη και η άλλη περιστρέφεται. Με την κατεργασία αυτή επιτυγχάνεται σύνθλιψη ή εξαφάνιση των κυτταρικών κοιλοτήτων, διόγκωση των κυτταρικών τοιχωμάτων, ελάττωση του μήκους των ινών και μεγαλύτερη ευκαμψία των ινών.

Οι μεταβολές αυτές που ελέγχονται από τη μορφολογία των επιφανειών τριβής και τη διάρκεια και το ρυθμό κατεργασίας επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις ιδιότητες του πολτού και του χαρτιού που θα παραχθεί από αυτόν. Γι' αυτόν το λόγο η μηχανική κατεργασία γίνεται με πολλή προσοχή και λαμβάνεται υπόψη σχετική εμπειρία αλλά και τα αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων δειγμάτων του πολτού.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανημάτων για την μηχανική κατεργασία των ινών τα οποία είναι δυνατό να καταταγούν σε τέσσερις γενικούς τύπους (Σχήμα 2.14):

- Ολλανδικό (Hollander beater)
- Jordan
- Κωνικό
- Με δίσκους



Σχήμα 2.14 Μηχανήματα κατεργασίας ινών: Α) Ολλανδικό, Β) Jordan, Γ) κωνικό, Δ) με δίσκους [6].

## 2.10 ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Στην παραγωγική διαδικασία της χαρτοποιίας χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός βοηθητικών υλών, σε ποσότητες, οι οποίες εξαρτώνται από το παραγόμενο προϊόν και τις ιδιότητες που θέλουμε να έχει αυτό. Οι συνήθεις βοηθητικές ύλες είναι:

**Άμυλο:** Τα πολυμερή αμύλου χρησιμεύουν για την αύξηση της αντοχής του χαρτιού, τη συγκράτηση του καολίνη στις ίνες, την εξασφάλιση ευλυγισίας στο χαρτί και τη βελτίωση της μορφοποίησής του.

**Καολίνης ( $Al_2O_3$  και  $SiO_2$ ):** Χρησιμοποιείται ως υλικό πληρώσεως στη μάζα του πολτού αλλά και για την επικάλυψη της επιφανείας των χαρτονιών.

**Τάλκης ( $MgO_2$  και  $CaO$ ):** Χρησιμεύει στην μορφοποίηση του χαρτιού, στο οποίο, συγκρατείται μετά την ξήρανσή του.

**Θεικό αργίλιο:** Χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση της κόλλας κολοφωνίου στο χαρτί καθώς και ως κροκιδωτικό στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

**Κόλλα κολοφωνίου:** Χρησιμοποιείται για την ελάττωση της υγρασίας του χαρτιού.

**Βελτιωτικά υδροαντοχής:** Υδατικά διαλύματα πολυαμινών που χρησιμοποιούνται στα χαρτιά κουζίνας για την αύξηση της υδροαντοχής του χαρτιού.

**Οπτικά λευκαντικά:** Ενώσεις 2,3-Azyl-amino-stilbene που προσδίδουν στο χαρτί αυξημένη λευκότητα.

**Αντιαφριστικά:** Γλυκόλες που χρησιμοποιούνται, περιοδικά, σε ελάχιστες ποσότητες (σταγόνες), για την διάσπαση των αφρών στο νερό.

**Βακτηριοκτόνα:** Υδατικά διαλύματα του Methylene,2,Thiocyanate που χρησιμοποιούνται περιοδικά, σε μικρές ποσότητες για την πρόληψη ανάπτυξης μικροοργανισμών στο ανακυκλούμενο νερό.

**Πολυηλεκτρολύτες:** Πολυμερή σαπώνων και γαλακτωματοποιητή που χρησιμοποιούνται ως κροκιδωτικό ή ως σάπωνες στην απομελάνωση, για την απομάκρυνση των μελανιών από τις ίνες.

**Υδροθειώδες νάτριο ( $Na_2S_2O_4$ ):** Χρησιμοποιείται για την λεύκανση του μηχανικού πολτού σε αλκαλικό περιβάλλον.

**Υδροξείδιο του νατρίου ( $NaOH$ ):** Χρησιμοποιείται στη λεύκανση του πολτού για την δημιουργία αλκαλικού περιβάλλοντος.

**Υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ):** Χρησιμοποιείται για την λεύκανση του μηχανικού ή απομελανωμένου πολτού, σε αλκαλικό περιβάλλον.

**Κατιονικά άμυλα:** Τροποποιημένο άμυλο με κατιονική ενεργό ομάδα που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της αντοχής της μάζας του χαρτιού.

**Ανιονικά άμυλα:** Τροποποιημένα άμυλα με ανιονική ενεργό ομάδα, που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση των οπτικών και εκτυπωτικών ιδιοτήτων της επιφανείας του χαρτιού και χαρτονιού.

**Χρώματα:** Στις λευκασμένες χαρτομάζες συνήθως χρησιμοποιούνται χρώματα του τύπου azo metal complex ενώ στις μη λευκασμένες χαρτομάζες και τους πολτούς από χρησιμοποιημένο χαρτί χρησιμοποιούνται χρώματα direct.

**Υδρύαλος (NaSiO<sub>3</sub>):** Χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια λεύκανσης των απομελανωμένων πολτών.

**DTPA:** Πρόκειται για σύμπλοκο σιδήρου και χρησιμοποιείται για την δέσμευση μετάλλων στη λεύκανση του απομελανωμένου πολτού με H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Σάπωνες:** Πρόκειται για ενώσεις γενικής σύνθεσης alkylphenol, ethoxylate, linear alcohol ethoxylate και fatty acid ethoxylate, που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των μελανιών από την επιφάνεια των ινών στις διαδικασίες απομελάνωσης.

**CMC (carboxymethyl cellulose):** Χρησιμοποιείται για την ρύθμιση του ιξώδους στα διαλύματα των επιχρίσεων.

**Calcon:** Πρόκειται για ενώσεις, που χρησιμοποιούνται ως διασκορπιστές για τη ρύθμιση του ιξώδους στα διαλύματα επιχρίσεων. Η σύνθεση των ουσιών αυτών ποικίλει.

**Latex:** Αποτελείται από μείγμα βουταδιένιου και στυρένιου που χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό για τις επιχρίσεις του χαρτονιού και πολυμερίζεται κατά την διάρκεια της ξήρανσης.

**Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>):** Πληρωτικό επιφάνειας, σε μορφή σκόνης, το οποίο χρησιμοποιείται στις επιχρίσεις χαρτονιού.

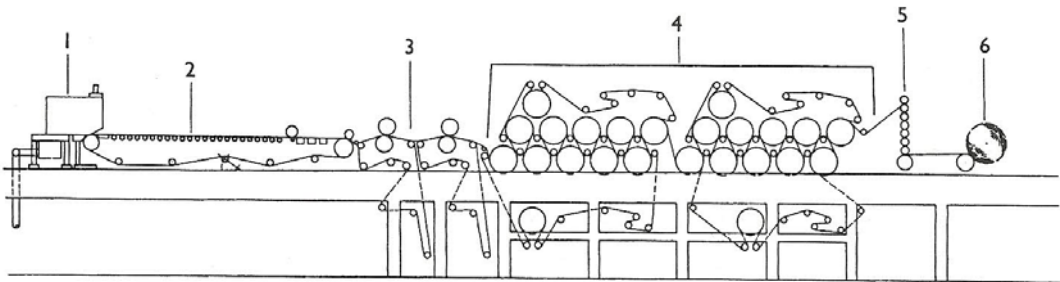
## 2.11 ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΙΝΩΝ

Μετά την προσθήκη χημικών ουσιών στον πολτό, γίνεται η στρωμάτωση των ινών σε ένα συνεχόμενο φύλλο ορισμένου πάχους και στη συνέχεια απομακρύνεται το περίσσειμα του νερού με εφαρμογή πίεσεως και θερμότητας για να σχηματισθεί το χαρτί.

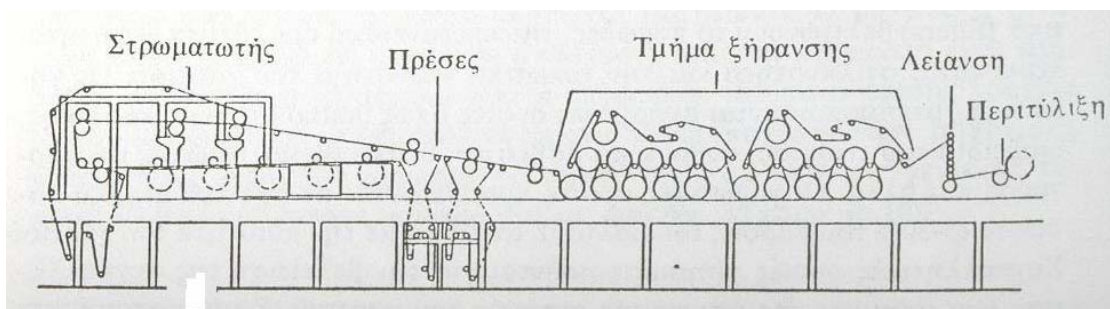
Για την σειρά αυτή των εργασιών υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανών. Η πιο διαδεδομένη είναι η μηχανή Fourdrinier (Σχήμα 2.15) και ακολουθεί η κυλινδρομηχανή (cylinder machine, Σχήμα 2.16) Σε όλες τις μηχανές υπάρχουν τα ίδια περίπου στάδια κατεργασίας. Τα στάδια κατεργασίας σε μια μηχανή Fourdrinier είναι τα ακόλουθα:

- Τμήμα ελέγχου ροής, στο οποίο ελέγχεται η ποσότητα διαλύματος που ρέει προς διάστρωση πάνω στην επιφάνεια διαστρώσεως.
- Επιφάνεια διαστρώσεως, που μπορεί να είναι μεταλλικό δικτυωτό σε μορφή ατέρμονα ιμάντα ή κυλινδρικής κατασκευής.

- Τμήμα πίεσης, όπου το διαστρωμένο υλικό πιέζεται για να ελαττωθεί η υγρασία του.
  - Τμήμα ξηράνσεως, στο οποίο οι στρωματωμένες ίνες περνάνε ανάμεσα από περιστρεφόμενα τύμπανα, που θερμαίνονται με ατμό,
  - Τμήμα λειάνσεως, στο οποίο το χαρτί περνάει από μια σειρά λειαντικών τυμπάνων, όπου ασκείται μεγάλη πίεση για την λείανση της επιφάνειας και τον έλεγχο πάχους και πυκνότητας του χαρτιού.
- Στη συνέχεια το χαρτί τυλίγεται σε ρολά (Σχήμα 2.18).



Σχήμα 2.15 Σχηματικό διάγραμμα μιας μηχανής Fourdrinier. 1. έλεγχος ροής, 2. δικτυωτό στρωματώσεως, 3. τμήμα πίεσης, 4. τμήμα ξήρασης, 5. λειαντικά τύμπανα, 6. ρολό χαρτιού [13].

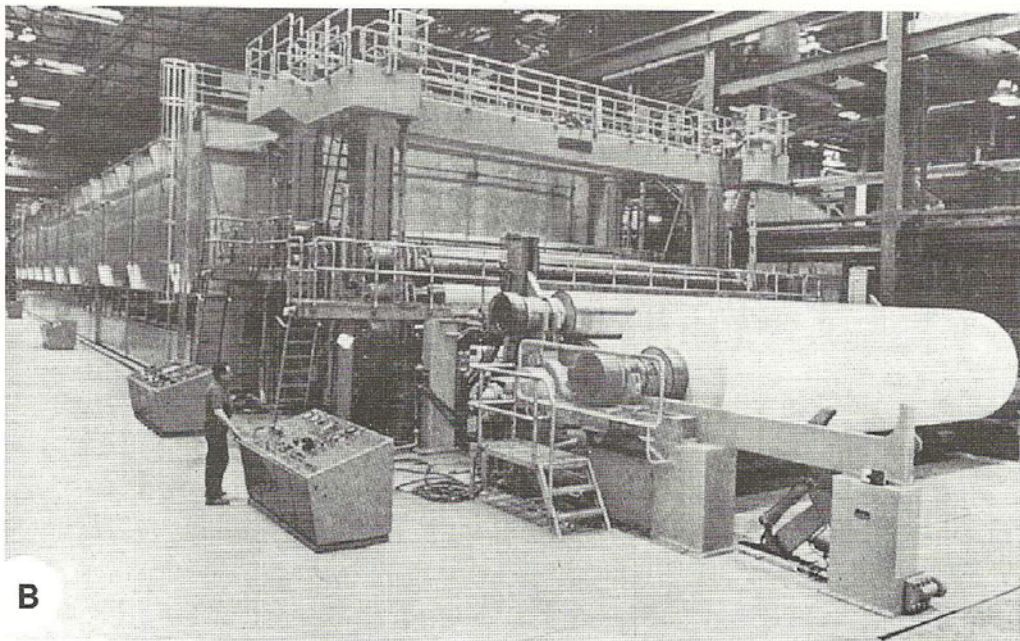
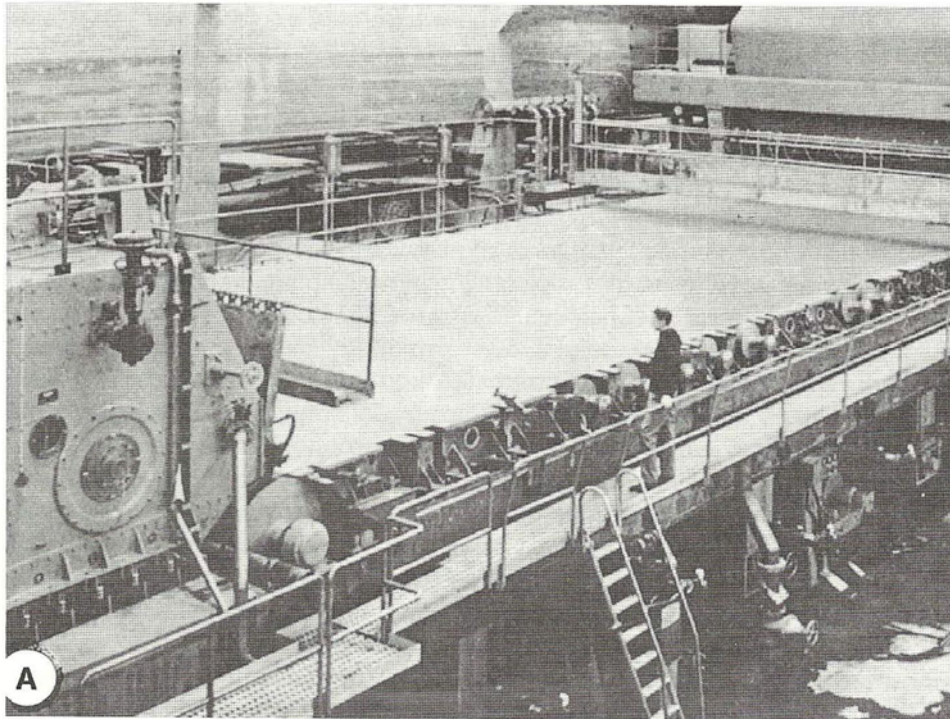


Σχήμα 2.16 Παραγωγή χαρτιού με κυλινδρομηχανή [6].

Η κυλινδρομηχανή διαφέρει από τη μηχανή Fourdrinier κυρίως γιατί η στρωμάτωση των ινών γίνεται στην επιφάνεια μιας ή περισσοτέρων πορωδών κυλινδρικών κατασκευών που η περιφέρειά τους καλύπτεται με δικτυωτό. Η στρωμάτωση γίνεται με περιστροφή του κυλίνδρου, εν μέρει βυθισμένου σε αιώρημα ινών και με δημιουργία υποπίεσης στο εσωτερικό του. Το στρώμα των ινών παραλαμβάνεται από



υφασμάτινη ταινία και οδηγείται για πίεση και ξήρανση με τρόπο γενικά όμοιο με αυτόν της μηχανής Fourdrinier.



Σχήμα 2.17 Μηχανή Fourdrinier. A) αρχή μηχανής-σύστημα ελέγχου ροής και στρωμάτωση, B) τέλος μηχανής [6].



Σχήμα 2.18 Στο τέλος της διαδικασίας παραγωγής το χαρτί τυλίγεται σε ρολά [13].

Εκτός από αυτούς τους δύο τύπους μηχανών (που κατασκευάζονται με διάφορες παραλλαγές) τα τελευταία χρόνια έχουν σχεδιαστεί και άλλοι. Αυτοί διαφέρουν κυρίως στη μέθοδο στρωμάτωσης των ινών π.χ. με οριζόντια κινούμενο δικτυωτό, δύο παράλληλα δικτυωτά όπου η στρωμάτωση γίνεται με μορφή «σάντουιτς» μεταξύ τους κ.ά.

Το χαρτί που προορίζεται για ειδικές χρήσεις, κυρίως εκτύπωση και γραφή, υφίσταται συμπληρωματική επιφανειακή βελτίωση, κατά την οποία, επιστρώνονται στην επιφάνεια του χαρτιού χημικές ουσίες από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

## 2.12 ΤΕΛΕΙΩΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

Το χαρτί προτού διατεθεί στην κατανάλωση συνήθως υποβάλλεται σε μια σειρά άλλων κατεργασιών όπως είναι: συμπληρωματική λείανση της επιφάνειας με δίοδο μεταξύ τυμπάνων, σκίσιμο και επανατύλιξη για παραγωγή ρολών επιθυμητού μεγέθους και τομή σε φύλλα. Άλλες κατεργασίες περιλαμβάνουν βελτίωση των ιδιοτήτων με επάλειψη ή εμποτισμό με χημικές ουσίες, αλληλοεπικόλληση φύλλων (π.χ. για παραγωγή τρίστρωμων κυματοειδών χαρτονιών) και τέλος μεταποίηση σε διάφορα προϊόντα. Οι κατεργασίες αυτές διεξάγονται με ποικίλα ειδικά μηχανήματα.

Μία από τις σπουδαιότερες κατεργασίες είναι η επίστρωση (coating) της επιφάνειας του χαρτιού για βελτίωση της εμφάνισης και κυρίως της των ιδιοτήτων εκτύπωσης και γραφής. Η κατεργασία γίνεται με τοποθέτηση υδατοδιαλύματος πάνω στο χαρτί και δίοδό του ανάμεσα



από ένα ζεύγος πιεστικών τυμπάνων. Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι καολίνη, διοξείδιο του τιτανίου, ανθρακικό ασβέστιο ή συνδυασμοί τους. Χρησιμοποιούνται με μορφή υδατοδιαλύματος σε συνδυασμό με φυσική ή συνθετική ουσία με συγκολλητικές ιδιότητες (π.χ. άμυλο). Μερικές φορές η κατεργασία αυτή γίνεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής του χαρτιού κοντά στο τέλος του τμήματος ξήρανσης.

Επίσης συνιστάται επικάλυψη με πλαστικό που αδιαβροχοποιεί το χαρτί (ή χαρτόνια) και το κάνει κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις συσκευασίας.

## **2.13 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ**

### **2.13.1 Ποιοτικός Έλεγχος Πρώτων Υλών και Πρόσθετων Ουσιών**

Κάθε χαρτί θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλες ιδιότητες ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση του. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζονται από τις πρώτες ύλες και τις βοηθητικές ύλες αλλά και από την τεχνολογία κατασκευής του χαρτιού.

Ο όρος πρώτες ύλες αναφέρεται στο είδος του πολτού και τις αναλογίες μίξης (μηχανικός, ημιχημικός, χημικός πολτός, πολτός από ανακυκλωμένο χαρτί) στα είδη ξύλου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πολτοποίηση και στο βαθμό λεύκανσης.

Για τον ποιοτικό έλεγχο των πρώτων υλών χρησιμοποιούνται ειδικά χημικά αντιδραστήρια. Έτσι για την πιστοποίηση του μηχανικού πολτού χρησιμοποιείται διάλυμα φλωρογλυκερίνης το οποίο βάφει τις ίνες του πολτού κόκκινες (ύπαρξη μεγάλων ποσοστών λιγνίνης). Για αλεύκαστο χημικό πολτό γίνεται βρασμός του με διάλυμα μαλαχίτη ο οποίος βάφει τις ίνες του έντονα πράσινες. Για λευκασμένη κυτταρίνη χρησιμοποιείται διάλυμα ιώδιο-χλωριούχου-ψευδαργύρου το οποίο βάφει τις ίνες του πολτού κυανοϊώδεις.

Προϋπόθεση του ελέγχου της σύστασης του χαρτιού είναι η αποϊνώσή του. Για το σκοπό αυτό μικρά τεμάχια χαρτιού βράζονται με διάλυμα NaOH μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα. Μετά την πολτοποίηση του χαρτιού (αποϊνώση) η μάζα των ινών ξεπλένεται με νερό προκειμένου να απομακρυνθεί το νάτριο και ένα δείγμα των ινών φέρεται για μικροσκοπική παρατήρηση σε αντικειμενοφόρο. Με την προσθήκη μερικών σταγόνων των χημικών αντιδραστηρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω εκτιμάται ανάλογα με το χρωματισμό των ινών το είδος του πολτού. Επίσης στο μικροσκόπιο εξετάζεται η μορφολογία των κυττάρων του πολτού και προσδιορίζονται τα φυτικά είδη προέλευσής τους.

Ο όρος βοηθητικές ύλες ή πρόσθετα αναφέρεται, όπως έχει ήδη γραφεί, σε διάφορες ανόργανες και οργανικές ενώσεις που προστίθενται

είτε στον πολύ ή κατά την κατασκευή του χαρτιού προκειμένου να τον προσδώσουν συγκεκριμένες ιδιότητες.

Για τον έλεγχο των ανόργανων συστατικών μετά την αποτέφρωση δειγμάτων χαρτιού αναλύεται η τέφρα. Με υδατικό διάλυμα καλιοϊωδίου διαπιστώνεται η χρησιμοποίηση ή όχι αμύλου, ενώ με άλλα ειδικά αντιδραστήρια η παρουσία συνθετικών ρητινών. Με υπεριώδεις ακτίνες ταυτοποιείται η χρήση υπερλευκαντικού. Με την τοποθέτηση υγρού ηλεκτροδίου στην επιφάνεια του χαρτιού προσδιορίζεται το pH του.

Εκτός των παραπάνω ελέγχων γίνεται και έλεγχος της ικανότητας του χαρτιού να υποδέχεται με επιτυχία τη γραφή και εκτύπωση με υδατικά ή ελαιώδη μελάνια. Για το σκοπό αυτό χαράζονται στο χαρτί γραμμές από μελάνια με κοινή πέννα γραφής και παρατηρείται εάν σκορπίζει το μελάνι στον περίγυρο της γραμμής.

Όπως είναι ευνόητο πρόκειται για μια σημαντική ιδιότητα όλων σχεδόν των τύπων χαρτιού επειδή σχεδόν όλα τα χαρτιά παίρνουν επάνω τους διάφορες επιγραφές ή εικόνες· εάν λοιπόν το χαρτί δεν έχει συνεκτικότητα και ομοιογένεια (δεν είναι καλά κολλαρισμένο), οπότε δεν εκπληρώνει το αίτημα του αδιαπότιστου, τότε απορρίπτεται. Επίσης το pH του χαρτιού πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην επηρεάζει και αλλοιώνει τα διάφορα μελάνια που χρησιμοποιούνται για τις έγχρωμες και πολύχρωμες εκτυπώσεις.

### **2.13.2 Ποιοτικός Έλεγχος Ιδιοτήτων Χαρτιού**

Εκτός των παραπάνω χημικών ελέγχων προβλέπεται κατά τον ποιοτικό έλεγχο του χαρτιού ο προσδιορισμός ορισμένων ιδιοτήτων του οι κυριότερες από τις οποίες περιγράφονται στη συνέχεια.

#### **Αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile strength)**

Είναι η αντοχή που παρουσιάζει το χαρτί κατά την καταπόνησή του σε εφελκυσμό. Η ιδιότητα αυτή προσδιορίζεται με κατάλληλο δυναμόμετρο εκφράζεται σε μέτρα και εκφράζει το μήκος μιας λωρίδας χαρτιού η οποία εξαρτημένη από κάπου κόβεται με το βάρος της. Η μέτρηση της ιδιότητας αυτής γίνεται παράλληλα και κάθετα στη διεύθυνση κατασκευής του χαρτιού, επειδή η διαφορά αντοχής στις δύο αυτές κατευθύνσεις μπορεί να κυμαίνεται από 1:2 έως 1:5 η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο ότι οι ίνες του χαρτιού, λόγω πολικού προσανατολισμού των ινών κατά τη στρωμάτωση του πολτού, έχουν στο μεγαλύτερο ποσοστό τους κατεύθυνση παράλληλη προς τη διεύθυνση κατασκευής του χαρτιού. Η αντοχή αυτή είναι καθοριστικής σημασίας για όλους τους τύπους χαρτιού αλλά ιδιαίτερα για χαρτιά συσκευασίας.

### **Επιμήκυνση (Allongation, Stretch)**

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει την ικανότητα του χαρτιού να επιμηκύνεται κατά την καταπόνησή του με εφελκυσμό και μετριέται συγχρόνως με τον προσδιορισμό της αντοχής του χαρτιού σε εφελκυσμό. Η ιδιότητα αυτή έχει τη μεγαλύτερη τιμή της κάθετα και όχι παράλληλα προς την κατεύθυνση κατασκευής του χαρτιού.

Σε ορισμένους τύπους χαρτιού η ιδιότητα αυτή πρέπει να έχει υψηλή τιμή π.χ. χαρτιά συσκευασίας. Αντίθετα σε άλλους τύπους χαρτιού π.χ. χαρτιά πολύχρωμης εκτύπωσης είναι μειονέκτημα η υψηλή τιμή της επειδή κατά την εκτύπωση από την πίεση που δέχονται τα χαρτιά στα πιεστήρια αλλάζουν λόγω διαστολής οι διαστάσεις τους με αποτέλεσμα τη μη σημειακή επίπτωση των διαφόρων χρωμάτων στα προκαθορισμένα μέρη.

### **Αντοχή σε σχίσιμο (Tearing resistance)**

Η ιδιότητα αυτή απαιτείται από χαρτιά μεγάλων καταπονήσεων είτε αυτά είναι της συσκευασίας, είτε της εκτύπωσης που υπόκεινται σε μεγάλες καταπονήσεις κατά την εκτύπωση, είτε της εκτύπωσης και μετέπειτα μετατροπής τους στην εμπορεύσιμη μορφή (βιβλία, τετράδια, σακούλες, πολύχρωμες εκτυπώσεις). Η αντοχή σε σχίσιμο προσδιορίζεται παράλληλα και κάθετα στη διεύθυνση παραγωγής του χαρτιού.

### **Αντοχή σε αναδιπλώσεις (Folding endurance)**

Η υψηλή αντοχή της ιδιότητας αυτής είναι αναγκαία στα χαρτιά συνεχούς χρήσης και καταπόνησης, στα χαρτιά που αντιπροσωπεύουν επίσημους τίτλους και που διπλώνονται πολλές φορές στο ίδιο σημείο π.χ. χαρτονομίσματα.

### **Αντοχή συνοχής των ινών, αντοχή στη διάτρηση (Bursting strength)**

Αυτή η αντοχή είναι αναγκαία στα χαρτιά συσκευασίας και ειδικά σε εκείνα από τα οποία κατασκευάζονται οι χαρτόσακοι οι οποίοι καταπονούνται όχι μόνο ως προς το βάρος του υλικού που υποδέχονται αλλά και σημειακά π.χ. όταν το υλικό είναι σε μορφή τεμαχιδίων τα οποία πιέζουν τοπικά τη χαρτοσακούλα με κίνδυνο να την τρυπήσουν.

### **Επιφανειακή συνοχή των ινών (Surface strength, Dennison)**

Είναι η ιδιότητα του χαρτιού να παρουσιάζει ή όχι χνούδιασμα δηλαδή να ξεκολλάνε ή όχι οι ίνες από την επιφάνειά του η οποία είναι σημαντική στα χαρτιά που υπόκεινται σε εκτύπωση.

### **Λευκότητα (Whiteness)**

Μετριέται με φωτόμετρο η ποσότητα του ανακλώμενου φωτός στο χαρτί από κατάλληλη πηγή εκπομπής φωτός και ανάγεται σε βαθμό λευκότητας.

### **Αδιαφάνεια (Opacity)**

Πρόκειται για ιδιότητα σημαντική στα χαρτιά εκτύπωσης και γραφής επειδή στα χαρτιά αυτά γράφουμε και τυπώνουμε και στις δύο πλευρές τους.

### **Τραχύτητα (Roughness)**

Είναι η ιδιότητα που παίρνει το χαρτί μετά το γυάλισμά του στα στιλβωτικά μηχανήματα. Με κατάλληλη συσκευή μετριέται ο χρόνος διέλευσης ορισμένων κυβικών εκατοστών αέρος και η τιμή αυτή ανάγεται σε βαθμό τραχύτητας.

### **Πορώδες (Porosity)**

Σημαντική ιδιότητα στα χαρτιά συσκευασίας και κυρίως στα χαρτιά κατασκευής χαρτόσακων συσκευασίας διαφόρων προϊόντων ανόργανης ή οργανικής σύστασης. Μετριέται με ειδική συσκευή ο χρόνος που χρειάζεται για να περάσουν από τους πόρους του χαρτιού ορισμένα κυβικά εκατοστά αέρα.

### **Απορροφητικότητα (Absorbency)**

Είναι η ιδιότητα που πρέπει να έχει το χαρτί να απορροφά γρήγορα το υγρό μελάνι έτσι ώστε κατά την ταχεία εκτύπωσή του να στεγνώσει γρήγορα η γραφή αλλιώς δεν είναι ικανό να εκπληρώσει την αποστολή του. Μετριέται ο χρόνος σε sec που απαιτείται για να απορροφήσει το χαρτί μια σταγόνα νερού.

### **Πάχος (Thickness)**

Μετριέται με παχύμετρο και εκφράζεται σε εκατοστά του mm. Ο προσδιορισμός του απαιτείται για χαρτιά ειδικής χρήσης.

### **Υγρασία (Moisture)**

Προσδιορίζεται με ξήρανση του χαρτιού στους 105 °C μέχρι απόλυτα ξηρού βάρους. Ιδανική υγρασία είναι 5 έως 7%, πολύ μεγάλη υγρασία καθιστά το χαρτί άχρηστο αλλά και πολύ μικρή υγρασία προσδίνει στο χαρτί αρνητικές ιδιότητες επειδή τσακίζεται και σχίζεται πολύ εύκολα.

### **Τέφρα (Ash)**

Πρόκειται για το ποσοστό των ανόργανων συστατικών του χαρτιού τα οποία προστίθενται για να βελτιώσουν συγκεκριμένες ιδιότητές του. Η αποτέφρωση δειγμάτων του χαρτιού γίνεται σε κλίβανο θερμοκρασίας 800-900 °C, και μετρείται το βάρος της τέφρας το οποίο εκφράζεται εκατοστιαία με βάση το αρχικό βάρος του δείγματος.

### **3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΧΑΡΤΟΥ**

#### **3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η αυξημένη ζήτηση σε προϊόντα χάρτου ωθεί σε συνεχή αύξηση της παραγωγής, γεγονός που αναγκάζει την επιστημονική κοινότητα να ανησυχεί τόσο για την καταστροφή των φυσικών πόρων (π.χ. δάση), όσο και για τις επιπτώσεις των αποβλήτων των χαρτοβιομηχανιών στο περιβάλλον.

Τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την παραγωγή προϊόντων χάρτου είναι η μεγάλη κατανάλωση νερού, η κατανάλωση ενέργειας, η δημιουργία υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο, τα στερεά απόβλητα, οι αέριοι ρύποι και οι οργανοαλογονωμένες ενώσεις.

Στις βιομηχανίες παραγωγής χάρτου το νερό χρησιμοποιείται κυρίως για την διάλυση των πρώτων υλών και τη δημιουργία αιωρήματος ινών, για τον καθαρισμό της γραμμής παραγωγής, καθώς και για την εφαρμογή των κανόνων υγιεινής. Μέρος του υγρού αυτού καταλήγει στα υγρά απόβλητα, μαζί με προσμίξεις από τα καθαριστικά υλικά και διάφορα προϊόντα από την επεξεργασία όπως σταθεροποιητές, λευκαντικά, χρωστικές, διαλυτικά και βιοκτόνα.

Τα στερεά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από ιλύ που προέρχεται από την πρωτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων (όπου αυτή πραγματοποιείται), από απορρίμματα και σκόνες. Τα στερεά απόβλητα της χαρτοβιομηχανίας, απαιτούν ειδική διαχείριση. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος διαχείρισης είναι η αποτέφρωση. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται η τελική διάθεση σε οργανωμένους χώρους υποδοχής στερεών βιομηχανικών αποβλήτων.

Οι αέριοι ρύποι προέρχονται από τις καύσεις των καυσίμων για παραγωγή ενέργειας η οποία χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των μηχανημάτων, από σκόνες στη γραμμή παραγωγής και οσμές.

Τέλος η κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρική και μαζούτ), εξαρτάται κάθε φορά από το προϊόν που παράγεται, την ποσότητα, αλλά και από την ποιότητα του εξοπλισμού.

Στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί φαίνονται οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των βιομηχανιών χάρτου καθώς και η βαρύτητα κάθε μιας από αυτές.

Πίνακας 3.1 Οι σοβαρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των χαρτοβιομηχανιών [3]

Πρόβλημα	Βαρύτητα
Κατανάλωση νερού	Πολύ σημαντική
Καθαρισμός υγρών αποβλήτων	Πολύ σημαντική
Διάθεση ιλύων καθαρισμού αποβλήτων	Περιορισμένη
Διάθεση άλλων στερεών αποβλήτων	Περιορισμένη
Αέρια ρύπανση	Περιορισμένη
Εξοικονόμηση ενέργειας	Σημαντική

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους επιστήμονες παρουσιάζει η μελέτη των υγρών αποβλήτων, τα οποία λόγω του αυξημένου οργανικού φορτίου, των χλωριωμένων ενώσεων, των αιωρούμενων στερεών (Suspended Solids, SS) και των πρόσθετων χημικών που περιέχουν επιβαρύνουν τα υδάτινα οικοσυστήματα στα οποία καταλήγουν. Στη πλειονότητα των σχετικών μελετών εξετάζεται κυρίως η σύσταση των αποβλήτων και προτείνονται τρόποι, είτε διαχείρισής τους, είτε επεξεργασίας τους ώστε να επιφέρουν τη λιγότερο δυνατή επιβάρυνση στο περιβάλλον.

Στη συνέχεια ορίζονται δύο πολύ σημαντικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες φυσικοχημικές παράμετροι για τη μέτρηση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων και των μολυσμένων υδάτων, το BOD<sub>5</sub> και το COD.

#### Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD, ορίζεται ως η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζονται τα βακτήρια, υπό αερόβιες συνθήκες, για να αποικοδομήσουν τις οργανικές ουσίες. Τα απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο λειτουργούν ως πηγή θρεπτικών συστατικών για τα βακτήρια που βρίσκονται στο νερό. Τα βακτήρια αποικοδομούν τα απόβλητα χρησιμοποιώντας το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τη διαθέσιμη ποσότητα για τα ψάρια.

Η μέτρηση του BOD είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι επιτυγχάνεται μια άμεση εκτίμηση του ρυπαντικού φορτίου που καταλήγει στους υδάτινους αποδέκτες. Η βιοχημική οξείδωση είναι βραδεία διαδικασία και θεωρητικά απαιτεί άπειρο χρόνο για την ολοκλήρωσή της. Η οξείδωση της οργανικής ύλης σε 20 ημέρες είναι πλήρης κατά 95-99%. Δεδομένου ότι ο χρόνος αυτός είναι πολύ μεγάλος, μετράται συνήθως το BOD των 5 ημερών (BOD<sub>5</sub>) σε θερμοκρασία 20°C, όπου η οξείδωση της οργανικής ύλης είναι πλήρης κατά 60-70%.



### Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, COD, ορίζεται ως η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης από κάποιο χημικό οξειδωτικό παράγοντα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Η μέτρηση του COD πλεονεκτεί χρονικά έναντι σε αυτήν του BOD<sub>5</sub> αφού χρειάζεται λίγες μόνο ώρες. Έχει διαπιστωθεί πως είναι δυνατό να υπάρχει μια σχέση μεταξύ του BOD<sub>5</sub> και του COD, πράγμα που επιτρέπει μια ταχεία και έμμεση εκτίμηση του BOD<sub>5</sub> σε δείγματα αποβλήτων. Οι τιμές του COD είναι μεγαλύτερες από εκείνες του BOD<sub>5</sub> διότι περισσότερες ενώσεις οξειδώνονται χημικά από ότι βιολογικά.

## **3.2 Η ΟΔΗΓΙΑ 96/61/ΕΚ**

Η Οδηγία 96/61/ΕΚ (24 Σεπτεμβρίου 1996), σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (**I**ntegrated **P**revention **P**ollution **C**ontrol, **IPPC**), αναφέρεται στον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης με βάση την πρόγνωση και τη λήψη των αναγκαίων μέτρων, ώστε να επιτευχθεί ένας υψηλός βαθμός προστασίας του περιβάλλοντος. Ουσιαστικά, μέσα από τη συγκεκριμένη Οδηγία προωθείται ο συνδυασμός της οικονομικής ευημερίας των επιχειρήσεων που εντάσσονται σε αυτήν, με τη μείωση της χρήσης φυσικών πόρων και ενέργειας, καθώς και της έκθεσης σε επικίνδυνες ουσίες και εκπομπές κάθε τύπου.

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μία αξιόλογη πρόοδος για τη μείωση των εκπομπών και των αποβλήτων. Παρόλο που τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν θέσει υψηλές προδιαγραφές για τη μείωση της ρύπανσης, οι βιομηχανικές δραστηριότητες που εμπίπτουν στην Οδηγία IPPC, εξακολουθούν να επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον.

Είναι αναγκαίο λοιπόν να μειωθεί ακόμα περισσότερο η παραγωγή των αερίων εκπομπών, καθώς και των υγρών και στερεών αποβλήτων, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος μίας βιομηχανικής παραγωγής που να συμβαδίζει με τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης.

Η Οδηγία IPPC έχει ως βασικό στόχο την αντιμετώπιση της ρύπανσης κατευθείαν στην πηγή της, μέσω μίας ολοκληρωμένης προσέγγισης που θα περιλαμβάνει όλα τα περιβαλλοντικά μέσα: αέρα, ύδατα και έδαφος. Επιπλέον, εισάγει την καινοτομία της πρόληψης της ρύπανσης, τα πρωτογενή δηλαδή μέτρα, με την εφαρμογή Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (ΒΔΤ / Best Available Techniques, BATs). Η

περιβαλλοντική νομοθεσία παραδοσιακά έδινε έμφαση σε δευτερογενή μέτρα (end-of-pipe techniques).

Η πρόληψη της ρύπανσης δεν συνεισφέρει απλά στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, αλλά αποδεικνύεται και προσοδοφόρα για τις επιχειρήσεις, μια και η δημιουργία εκπομπών και αποβλήτων, καθώς και η σπατάλη ενέργειας και πρώτων υλών, φανερώνουν αδυναμίες στις παραγωγικές διαδικασίες. Εάν η ρύπανση ελέγχεται μόνο με τη χρήση αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, το κόστος μίας μη αποτελεσματικής παραγωγικής διεργασίας αυξάνεται από το επιπλέον κόστος της τεχνολογίας της αντιρρύπανσης. Αντίθετα, εάν η αρχή της πρόληψης της ρύπανσης και της αποτελεσματικής διαχείρισης των πόρων εισαχθεί σε ολόκληρη τη διαδικασία της παραγωγής, το κέρδος μπορεί να είναι διπλό: εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας και αποφυγή ακριβής αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.

Η Οδηγία προβλέπει ένα ολοκληρωμένο σύστημα χορήγησης αδειών, βασισμένο στις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές, οι οποίες συνιστούν το πλέον εξελιγμένο και αποτελεσματικό στάδιο των διεργασιών και μεθόδων παραγωγής για την προστασία του περιβάλλοντος. Επιπλέον, αποτελούν τη βάση για τη θέσπιση των οριακών τιμών εκπομπής και των λοιπών απαιτήσεων της Οδηγίας.

Οι Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές αναδεικνύονται σε ένα δυναμικό εργαλείο για τον καθορισμό αδειών λειτουργίας, παρά τις αντικρουόμενες απόψεις ανάμεσα στους υπεύθυνους χάραξης περιβαλλοντικής πολιτικής και τη βιομηχανία, όταν καθορίζεται η οικονομική σκοπιμότητα των συνθηκών αδειοδότησης που σχετίζονται με αυτές.

Στο Παράρτημα IV της Οδηγίας αναφέρονται στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών. Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

- Η χρησιμοποίηση τεχνικών που παράγουν λίγα απόβλητα.
- Η χρησιμοποίηση λιγότερο επικίνδυνων ουσιών.
- Η εξέλιξη των τεχνικών ανάκτησης και ανακύκλωσης των ουσιών που εκπέμπονται και χρησιμοποιούνται κατά τη διεργασία και, ενδεχομένως, των αποβλήτων.
- Οι συγκρίσιμες διεργασίες, εξοπλισμοί ή τρόποι λειτουργίας που έχουν δοκιμαστεί επιτυχώς σε βιομηχανική κλίμακα.
- Η τεχνική πρόοδος και εξέλιξη των επιστημονικών γνώσεων
- Η φύση, οι επιπτώσεις και ο όγκος των συγκεκριμένων εκπομπών.
- Οι ημερομηνίες έναρξης λειτουργίας των νέων ή υφιστάμενων εγκαταστάσεων.
- Ο χρόνος που απαιτεί η εγκαθίδρυση μιας βέλτιστης διαθέσιμης τεχνικής.

- Η κατανάλωση και η φύση των πρώτων υλών (συμπεριλαμβανομένου του νερού) και η αποτελεσματική χρήση της ενέργειας.
- Η ανάγκη πρόληψης ή μείωσης στο ελάχιστο δυνατό των γενικών επιπτώσεων των εκπομπών και των κινδύνων για το περιβάλλον.
- Η ανάγκη πρόληψης των ατυχημάτων και μείωσης των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.
- Οι πληροφορίες που δημοσιεύει η Επιτροπή δυνάμει του άρθρου 16 παράγραφος 2 ή που δημοσιεύουν διεθνείς οργανισμοί.

Σύμφωνα με την ισχύουσα Ελληνική νομοθεσία, απαιτείται αδειοδότηση για όλες τις κατηγορίες των βιομηχανικών μονάδων. Τα επίπεδα των εκπομπών ρύπων καθορίζονται από την εθνική νομοθεσία και ανά περίπτωση, όταν δεν υπάρχουν σαφή όρια στη νομοθεσία. Οι Υπηρεσίες που εμπλέκονται στις αδειοδοτήσεις των βιομηχανιών είναι το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., το Υπουργείο Ανάπτυξης και οι Τοπικές Αρχές (Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Υγείας, Βιομηχανίας κ.τ.λ.).

Ο Νόμος 1650, του 1986, και η Κοινή Υπουργική Απόφαση 69269, του 1990, έχουν θεσπίσει τη διαδικασία που εμπλέκει τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων με την αδειοδότηση και η έγκριση των περιβαλλοντικών όρων είναι αναγκαία προϋπόθεση για την παροχή άδειας λειτουργίας από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Ο Νόμος 3010, του 2002, υιοθετεί

ορισμένες από τις αρχές των Οδηγιών 97/11 και 96/61 της Ε.Ε., για την "Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες σύμφωνα με το Ν. 1650/86".

Επιπλέον, στο νόμο για τη "Βιώσιμη ανάπτυξη της Αττικής" αναφέρεται (άρθρο 2 παρ. 1) ότι οι βιομηχανίες, οι βιοτεχνίες και τα επαγγελματικά εργαστήρια μέσης και υψηλής όχλησης που λειτουργούν εντός των ορίων της Περιφέρειας Αττικής, ανεξαρτήτως μεγέθους, υποχρεούνται εντός τετραετίας από την ισχύ του νόμου να εφαρμόσουν μέτρα που να «ανταποκρίνονται σε Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές, με βάση τα συμπεράσματα των ειδικών "κλαδικών" μελετών που προωθούνται από τα Υπουργεία Ανάπτυξης και ΠΕΧΩΔΕ ή σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες θεσμικές ρυθμίσεις που προωθούνται από την Ε.Ε.».

Με πρωτοβουλία του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., το 1999 ξεκίνησε η προσπάθεια εφαρμογής της Οδηγίας IPPC στην Ελλάδα, με την εκπόνηση επτά μελετών για την "Εξέταση των τεχνολογιών πρόληψης και περιορισμού της ρύπανσης και υποβολή προτάσεων για εφαρμογή των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών", στους βιομηχανικούς κλάδους που περιγράφονται στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας IPPC. Οι μελέτες αυτές παρουσιάζουν όλη την απαραίτητη πληροφορία σχετικά με τις

ιδιαιτερότητες της Ελληνικής βιομηχανίας και περιγράφουν τις υπάρχουσες τεχνολογίες, καθώς και τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για κάθε έναν από τους παρακάτω βιομηχανικούς κλάδους:

- Βιομηχανίες ενεργειακών δραστηριοτήτων
- Παραγωγή και μεταποίηση μετάλλων
- Βιομηχανία ορυκτών προϊόντων
- Χημική βιομηχανία
- Διαχείριση αποβλήτων
- Χαρτοποιία, κλωστοϋφαντουργία, βυρσοδεψία
- Βιομηχανίες τροφίμων

Στο Παράρτημα III της Οδηγίας υπάρχει ενδεικτικός κατάλογος των σημαντικότερων ρυπογόνων ουσιών που πρέπει να λαμβάνονται υποχρεωτικά υπόψη, για τον καθορισμό των οριακών τιμών εκπομπής. Οι ουσίες αυτές είναι οι εξής:

#### Ατμόσφαιρα

Διοξείδιο του θείου και άλλες ενώσεις του θείου.

Οξείδια του αζώτου και άλλες ενώσεις του αζώτου.

Μονοξείδιο του άνθρακα.

Πτητικές οργανικές ενώσεις.

Μέταλλα και οι ενώσεις τους.

Σκόνη.

Αμίαντος (σωματίδια εν αιωρήσει και ίνες).

Χλώριο και οι ενώσεις του χλωρίου.

Φθόριο και οι ενώσεις του φθορίου.

Αρσενικό και οι ενώσεις του αρσενικού.

Κυανιούχες ενώσεις.

Ουσίες και παρασκευάσματα που έχουν αποδεδειγμένα ιδιότητες καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες, ή ικανές να βλάψουν την αναπαραγωγή μέσω της ατμόσφαιρας.

Πολυχλωροδιβενζοδιοξίνες και πολυχλωροδιβενζοφουράνια

#### Νερό

Αλογονωμένες οργανικές ουσίες από τις οποίες δύνανται να προκύψουν αναλόγου είδους ενώσεις μέσα στο υδάτινο περιβάλλον.

Οργανοφωσφορικές ενώσεις.

Οργανοκασσιτερικές ενώσεις.

Ουσίες και παρασκευάσματα που έχουν αποδεδειγμένα ιδιότητες καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες ή ικανές να βλάψουν την αναπαραγωγή στο υδάτινο περιβάλλον ή μέσω αυτού.

Ανθεκτικοί υδρογονάνθρακες και ανθεκτικές και βιοσυσσωρευόμενες τοξικές ουσίες.

Κυανιούχες ενώσεις

Μέταλλα και οι ενώσεις τους

Αρσενικό και οι ενώσεις του

Βιοκτόνα και φυτοϋγειονομικά προϊόντα

Αιωρούμενες ουσίες

Ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (ιδίως νιτρικά και φωσφορικά άλατα).

Ουσίες που έχουν αρνητική επίδραση στον ισοζύγιο του οξυγόνου (και που μετρούνται με παραμέτρους όπως BOD, COD).

### 3.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η παραγωγή χαρτομάζας απαιτεί κατά μέσο όρο  $12,5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tn}$  προϊόντος και η παραγωγή χαρτιού κατά μέσο όρο  $13,5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tn}$  προϊόντος. Στην Ευρώπη, η κατανάλωση νερού στη χαρτοβιομηχανία κυμαίνεται από  $15\text{-}20 \text{ m}^3/\text{tn}$  προϊόντος, ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες και τον τρόπο οργάνωσης της παραγωγικής διαδικασίας στις βιομηχανίες.

Στις επιμέρους διαδικασίες παραγωγής, η παραγωγή χαρτιού συσκευασίας από χρησιμοποιημένο χαρτί φαίνεται ότι απαιτεί μέσες καταναλώσεις από  $6,0 - 11,3 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tn}$  προϊόντος έναντι  $1,5\text{-}10,0 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tn}$  προϊόντος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η παραγωγή χαρτιών υγείας-καθαριότητας απαιτεί την κατανάλωση  $8,9\text{-}14,7 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tn}$  προϊόντος έναντι  $5\text{-}30 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tn}$  προϊόντος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πάντως, πρέπει να σημειωθεί ότι στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρονται και παραγωγικές διαδικασίες της χαρτοποιίας, στις οποίες η κατανάλωση του νερού έχει περιοριστεί σε  $7\text{-}9 \text{ m}^3/\text{tn}$  προϊόντος.

Στην Ελλάδα, οι χαμηλές σχετικά καταναλώσεις ύδατος αποδίδονται στο ότι δεν υπάρχουν εργοστάσια που υδρεύονται κατευθείαν από ποτάμια ή λίμνες, όπως συμβαίνει σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Το κόστος εξασφάλισης της απαραίτητης παροχής νερού, σε συνδυασμό με τις αδυναμίες εξασφάλισης μεγάλης παροχής νερού από δίκτυα ή από τον υπόγειο υδροφόρα, υποχρεώνει την ελληνική χαρτοβιομηχανία σε περιορισμό στη χρήση ύδατος.

Οι απώλειες ύδατος από την εξάτμιση στις στεγνωτικές διατάξεις, ανέρχονται περίπου σε  $2 \text{ m}^3/\text{tn}$  παραγομένου προϊόντος. Με τη θεώρηση αυτή, η συνολική κατανάλωση νερού στη χαρτοβιομηχανία θα μπορούσε να περιοριστεί σε  $5\text{-}6 \text{ m}^3/\text{tn}$  παραγομένου προϊόντος. Η κατανάλωση αυτή αντιστοιχεί στις απαιτήσεις για διάφορες πλύσεις, στην ψύξη των

αντλιών καθώς και στην τροφοδοσία των ακροφυσίων κοπής του χαρτιού στο πλέγμα. Το απαιτούμενο για την παραγωγή νερό στην ελληνική χαρτοβιομηχανία εξασφαλίζεται από δίκτυα υδροδότησης ή από ιδιωτικές γεωτρήσεις. Από τη χρήση του νερού παράγονται υγρά απόβλητα.

### **3.4 ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ**

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τη χαρτοβιομηχανία οφείλεται στη χρήση κυρίως καυσίμων για παραγωγή ενέργειας ή θερμότητας. Η κατανάλωση ενέργειας ενδεικτικά για την παραγωγή χαρτιού χαρτονιού φτάνει τις 2700-3000 kWh/ton προϊόντος.

Η κατανάλωση μαζούτ διαφέρει σημαντικά μεταξύ των εργοστασίων με τις ίδιες παραγωγικές διαδικασίες. Από την καύση ξύλου εκπέμπονται ατμοσφαιρικοί ρύποι, είναι όμως λιγότεροι σε σχέση με τα υγρά καύσιμα. Η διάθεση των απαερίων γίνεται με απαγωγούς, χωρίς ιδιαίτερες διατάξεις απορρύπανσης.

Οσμές από τις παραγωγικές διαδικασίες της χαρτοβιομηχανίας δεν δημιουργούνται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Προβλήματα οσμών προκύπτουν σε περιπτώσεις κακής λειτουργίας των εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού ή των διατάξεων επεξεργασίας υδάτων, καθώς και από τη σήψη των ιζημάτων.

Θόρυβος και δονήσεις δεν δημιουργούνται από τις διεργασίες της χαρτοβιομηχανίας. Θορυβώδεις εγκαταστάσεις είναι συνήθως οι αεροσυμπιεστές, η τοποθέτηση των οποίων όμως γίνεται εκτός του χώρου παραγωγής, σε ειδικά ηχομονωμένα μηχανοστάσια.

Όπως προκύπτει, οι καταναλώσεις ενέργειας στην ελληνική χαρτοβιομηχανία προέρχονται κυρίως από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι καύσεις μαζούτ και υγραερίου είναι περιορισμένες. Από το είδος των παραγωγικών διαδικασιών της χαρτοβιομηχανίας δεν παράγονται άλλα αερολύματα, εκτός από τα απαέρια. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (μαζούτ τύπου 1.500) με εξαίρεση μία που χρησιμοποιεί ως καύσιμο μαζούτ τύπου 3.500.

### **3.5 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

Η παραγωγή υγρών αποβλήτων στις ελληνικές χαρτοβιομηχανίες είναι ανάλογη με την κατανάλωση νερού, με δείκτη μετατρεψιμότητας της κατανάλωσης νερού σε απόβλητα 0,89. Τα απόβλητα της χαρτοβιομηχανίας είναι οι υγρές βιομηχανικές απορροές που



αποτελούνται από νερό που έχει επιβαρυνθεί με ενέργεια (συνήθως θερμοκρασία), υποπροϊόντα και παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας, σε μη οικονομικά εκμεταλλεύσιμο βαθμό που πρέπει να διατεθούν με απομάκρυνση από τους χώρους παραγωγής. Η σύσταση των υγρών αποβλήτων της χαρτοβιομηχανίας ποικίλλει, ανάλογα με την ακολουθούμενη παραγωγική διαδικασία, τις πρώτες και βοηθητικές ύλες, την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε κάθε εργοστάσιο, τους χρόνους παραμονής του νερού στις εγκαταστάσεις, τους ρυθμούς επαναχρησιμοποίησής του (ανακύκλωση) κ.τ.λ. Ποικίλλει ακόμα το οργανικό και ανόργανο φορτίο των αποβλήτων, τόσο σε απόλυτες τιμές, όσο και σε συγκεντρώσεις, όχι μόνο από βιομηχανία σε βιομηχανία αλλά και στην ίδια τη βιομηχανία ή εγκατάσταση και από ώρα σε ώρα.

Τα υγρά απόβλητα της χαρτοβιομηχανίας παρουσιάζονται σαν πολυφασικό μείγμα, στο οποίο συνυπάρχουν στερεά, τέλεια διαλύματα και κολλοειδείς διασπορές. Η κύρια μάζα των λυμάτων είναι το νερό. Οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν τα ανεπεξέργαστα απόβλητα της χαρτοβιομηχανίας εξαρτώνται από το είδος των πρώτων και βοηθητικών υλών, τις παραγωγικές διεργασίες που εφαρμόζει κάθε εργοστάσιο και το είδος του παραγόμενου προϊόντος. Η επίδραση του  $H_2O$  και ηλεκτρολυτών στη χαρτομάζα ή το χρησιμοποιημένο χαρτί προκαλεί τη διαλυτοποίηση των οργανικών και ανόργανων συστατικών. Η ύπαρξη οργανικού υποστρώματος στα απόβλητα, μικροοργανισμών και  $CO_2$  που προέρχεται από την ατμόσφαιρα, προκαλούν βιολογικές διεργασίες, οι οποίες συντελούν ώστε οι αρχικές οργανικές ενώσεις να συνυπάρχουν με τα προϊόντα της αποσύνθεσής τους, δηλαδή αμινοξέα, αμμωνία, υδροθείο, αλκοόλες, λιπαρά οξέα, φαινόλες, ινδόλη, διοξειδίο του άνθρακα, μεθάνιο, υδρογόνο, νιτρικά και νιτρώδη άλατα, θείο και θειικά άλατα καθώς και με διάφορες άλλες οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Σε κάθε περίπτωση, το είδος των πρώτων και βοηθητικών υλών (κυρίως κυτταρίνη) συντελεί στην έλλειψη στα απόβλητα των αναλογιών αζώτου και φωσφόρου προς τον άνθρακα που επιτρέπουν τη βιολογική αποσύνθεση. Ανασταλτικό παράγοντα για την επεξεργασία των αποβλήτων της χαρτοβιομηχανίας αποτελούν οι βιοκτόνες ενώσεις που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και διαφεύγουν στα υγρά απόβλητα.

Οι συγκεντρώσεις ρύπων στα υγρά απόβλητα που δεν έχουν υποστεί βιολογική επεξεργασία, όπως προκύπτει από τις σχετικές μελέτες και άδειες και στη βάση των στοιχείων που χορήγησαν οι ίδιες οι επιχειρήσεις, είναι: 10,5 kg BOD/tn προϊόντος ή 775 g BOD/m<sup>3</sup>, 26,7 kg COD/tn ή 1.980 g COD/m<sup>3</sup>, 17,8 kg SS/tn ή 1.312 g SS/m<sup>3</sup>. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Rapid assessment of sources of air, water and land pollution, 1982), για τη χαρτοβιομηχανία που διαθέτει συστήματα ανάκτησης νερού και ινών, προσδιορίζει τους ρύπους του

νερού ως εξής: BOD = 6,4 kg/tn και SS = 6,4 kg/tn, δηλαδή σε σημαντικά κατώτερες συγκεντρώσεις.

Νεότερα στοιχεία (Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau: Integrated Pollution, Prevention and Control (IPCC), Draft Reference Document on best available technique in the Pulp and Paper Industry, August 1998), αναφέρουν τις εξής συγκεντρώσεις ρύπων στα απόβλητα της ευρωπαϊκής χαρτοβιομηχανίας που δεν έχουν υποστεί βιολογική επεξεργασία:

➤ Χαρτί συσκευασίας:

Συγκέντρωση SS < 200 g/m<sup>3</sup>,

Συγκέντρωση COD 6.750-9.000 g/m<sup>3</sup> ή 27-36 kg/tn.

➤ Χαρτί υγείας:

Συγκέντρωση SS < 200 g/m<sup>3</sup>,

Συγκέντρωση COD 2.600-3.500 g/m<sup>3</sup> ή 26-35 kg/tn.

➤ Χαρτί γραφής εκτύπωσης, χωρίς απομελάνωση:

Συγκέντρωση BOD = 1.900 g BOD/m<sup>3</sup> (ή 1,8 kg BOD/tn)

Συγκέντρωση COD: ελαχίστη 570 g/m<sup>3</sup> (3,2 kg COD/tn), μέγιστη 9.000 g/m<sup>3</sup>

(ή 3,8 kg COD/tn), μέση 3.800 g COD/m<sup>3</sup> (ή 3,5 kg COD/tn).

➤ Χαρτί γραφής εκτύπωσης με απομελάνωση:

Συγκέντρωση BOD 550 g BOD/m<sup>3</sup> (ή 10 kg BOD/tn),

Συγκέντρωση COD: ελαχίστη 440 g/m<sup>3</sup> (7 kg COD/tn), μέγιστη 1.900 g/m<sup>3</sup> (40 kg COD/tn), μέση 1.100 g COD/m<sup>3</sup> (20 kg COD/tn).

### 3.6 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Από τη διάθεση των στερεών και ένυδρων στερεών τους αποβλήτων (λάσπες), οι χαρτοβιομηχανίες προκαλούν ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδροφορέων. Τα στερεά απόβλητα της χαρτοποιίας διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τα απορρίμματα, τα οποία απομακρύνονται από την παραγωγική διαδικασία και εξισώνονται με τα αστικά απορρίμματα
- Τα παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας και της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που αποτελούν βιομηχανικά απορρίμματα

Τα εξομοιούμενα με οικιακά απορρίμματα αποτελούνται συνήθως από υλικά, τα οποία συνοδεύουν τις πρώτες ύλες, όπως σύρματα, σχοινιά, χώμα, άμμος, πέτρες, φελιζόλ, πλαστικά, τεμαχίδια ξύλου κ.τ.λ. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών αυτών απομακρύνεται από τις σχάρες των πολτοποιητών και στη συνέχεια από τους υδροκυκλώνες και

τα δονούμενα κόσκινα. Τα υλικά αυτά συγκεντρώνονται συνήθως σε υπαίθριους χώρους, συσκευάζονται και διαθέτουν, από κοινού με τα συνήθη οικιακά απορρίμματα ή μετά από διαλογή, στο εμπόριο. Στοιχεία για τη σύνθεση και τη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων της χαρτοβιομηχανίας που εξισώνονται με τα αστικά δεν υπάρχουν.

Τα εξομοιούμενα με βιομηχανικά απορρίμματα παράγονται στις διαδικασίες απομάκρυνσης των ξένων προσμείξεων από τις πρώτες ύλες, στις διεργασίες επεξεργασίας του νερού χρήσης και στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού των αποβλήτων.

Αναλυτικά στοιχεία για τις ποσότητες και τη σύσταση της λάσπης της χαρτοβιομηχανίας δεν υπάρχουν. Από το είδος όμως των υλικών και των διεργασιών που χρησιμοποιεί η χαρτοβιομηχανία, εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών καταλοίπων που καταλήγει στα ένυδρα ιζήματα συνίσταται σε διαφυγές ινών, ενώ τα ανόργανα συνίστανται κυρίως από καολίνη.

Στην περίπτωση παραγωγής χαρτιού υγείας - καθαριότητας από χαρτομάζες, στη σύνθεση των ένυδρων ιζημάτων συμμετέχουν κατά 99% ίνες μικρού μήκους. Όταν χρησιμοποιούνται και πρώτες ύλες που απαιτούν απομελάνωση, τότε στις λάσπες, εκτός από ίνες, εμπεριέχονται σάπωνες, μελάνια, κόλλες, καολίνης κ.λπ.

Στην περίπτωση παραγωγής χαρτιών γραφής - εκτύπωσης από χαρτομάζες, η ιλύς που δημιουργείται μετά την επεξεργασία των αποβλήτων συντίθεται κυρίως από ίνες και κόκκους καολίνης.

Στις περιπτώσεις παραγωγής χαρτιών γραφής-εκτύπωσης, συσκευασίας-περιτύλιξης και χαρτονιών από ανακυκλωμένα χαρτιά, η σύνθεση της ιλύος ποικίλλει, με κύρια συστατικά τον καολίνη και τις ίνες.

### **3.7 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΟΠΟΛΤΟΥ**

#### **3.7.1 Γενικά**

Όπως ήδη έχει γραφεί υπάρχουν πολλές τεχνολογίες παραγωγής χαρτοπολτού. Το είδος και η διαθεσιμότητα της ξυλείας στην Ελλάδα δεν επιτρέπουν την εγκατάσταση μονάδας παραγωγής λευκασμένης χαρτομάζας με τη μέθοδο της χημικής επεξεργασίας. Αντίθετα, η παραγωγή της με τη μέθοδο της θερμομηχανικής θεωρείται εφικτή. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα ενότητα εξετάζονται κυρίως οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές για τη θερμομηχανική μέθοδο παραγωγής πολτού. Έτσι στη συνέχεια περιγράφονται οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές που χρησιμοποιούνται διεθνώς στις εγκαταστάσεις παραγωγής

θερμομηχανικού πολτού και δίνονται ποσοτικά μεγέθη για τα οφέλη από την εφαρμογή τους.

### 3.7.2 Τεχνικές ενσωματωμένες στην παραγωγική διαδικασία

#### Εξοικονόμηση Νερού

Η μέγιστη κατανάλωση καθαρού νερού για την παραγωγή θερμομηχανικού πολτού, σύμφωνα με τα στοιχεία της διεθνούς βιβλιογραφίας, δεν υπερβαίνει τα 15 m<sup>3</sup>/tn προϊόντος με συμπαραγωγή χαρτιού και 20 m<sup>3</sup>/tn προϊόντος στην περίπτωση παραγωγής μόνο χαρτομάζας.

Ο περιορισμός των παροχών υδάτων στα όρια που προαναφέρθηκαν επιτυγχάνεται με τη χρήση υδραυλικών δικτύων χωρίς διαρροές, τα οποία σχεδιάζονται ώστε να διασφαλίζουν την ανακύκλωση στην παραγωγή των υγρών αποβλήτων που προκύπτουν από τις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας.

Η ξηρή αποφλοιώση των κορμών επιτυγχάνει σημαντική μείωση του χρησιμοποιούμενου ύδατος αλλά και τη μείωση των οργανικών φορτίων στις διατάξεις της βιολογικής επεξεργασίας (εξοικονόμηση ύδατος έως και 10 m<sup>3</sup> ανά τόνο παραγόμενου πολτού, μείωση των οργανικών φορτίων στα απόβλητα έως και 10 φορές, ενώ ο φλοιός που οδηγείται στους λέβητες καύσης έχει μεγαλύτερη απόδοση επειδή είναι ξηρός).

Η ανακύκλωση υδάτων βασίζεται στη χρήση των υγρών αποβλήτων από τα στάδια της άλεσης και της λεύκανσης, που απαιτούν καθαρά νερά στις διατάξεις πλύσης των τεμαχιδίων ξύλου, όπου οι απαιτήσεις της καθαρότητας των υδάτων είναι περιορισμένες. Οι διατάξεις πλύσης απαιτούν 21-25 m<sup>3</sup> ύδατος ανά τόνο πολτού. Με την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων, ενώ η παροχή που διέρχεται από τις διεργασίες αυτές παραμένει σταθερή, περιορίζεται η κατανάλωση καθαρού ύδατος στα 2 - 3 m<sup>3</sup>/tn πολτού.

Στη συμπαραγωγή θερμομηχανικού πολτού και χαρτιού, η εξοικονόμηση ύδατος είναι μεγαλύτερη, διότι από τα στάδια της χαρτοποιίας παράγονται σημαντικές ποσότητες υγρών αποβλήτων, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις υδροβόρες διατάξεις πλύσης των τεμαχιδίων ξύλου.

#### Εξοικονόμηση πρώτων και βοηθητικών υλών

Περιορισμός στην κατανάλωση ξύλου επιτυγχάνεται με συμπληρωματική άλεση των πλημμελώς αλεσθέντων τεμαχιδίων ξύλου, σε τρίτη διάταξη άλεσης. Περιορισμός στην κατανάλωση υλικών

αποσκλήρυνσης επιτυγχάνεται με τη χρήση υδάτων, χαμηλής σκληρότητας στις διατάξεις παραγωγής ατμού.

### Εξοικονόμηση ενέργειας

Περιορισμός της κατανάλωσης ενέργειας επιτυγχάνεται με περιορισμό των αντλήσεων, που διασφαλίζεται με κατάλληλο σχεδιασμό των υδραυλικών δικτύων, ώστε να λειτουργούν κατά το δυνατόν με βαρύτητα. Εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί επίσης να επιτευχθεί με μονώσεις των δικτύων θερμού νερού.

Εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη συλλογή και διέλευση από εναλλάκτη θερμότητας των υδρατμών που παράγουν οι τριβές στις διατάξεις άλεσης. Η θερμότητα που μπορεί να ανακτηθεί είναι της τάξης του 10 - 15% της συνολικής κατανάλωσης.

Εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας επιτυγχάνεται με την καύση των παραπροϊόντων ξύλου, των φλοιών και των τεμαχιδίων ξύλου που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή χαρτομάζας. Με την καύση αυτή η κατανάλωση ενέργειας, περιορίζεται κατά 450 - 500 kWh/tn προϊόντος.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνικές που εφαρμόζονται διεθνώς στην παραγωγή θερμομηχανικού πολτού.

Πίνακας 3.2 Βέλτιστες τεχνικές που χρησιμοποιούνται διεθνώς στις εγκαταστάσεις θερμομηχανικού πολτού [9]

Σκοπός	Είδος Τεχνικής	Στάδιο παραγωγής	Όφελος στην παραγωγή	Εφαρμογή	Περιβαλλοντικό όφελος
Εξοικονόμηση ύδατος	Τακτική συντήρηση του μηχανικού εξοπλισμού και των υδραυλικών εγκαταστάσεων	Όλα τα στάδια	Καλύτερη διαχείριση παραγωγής, οικονομία σε νερό	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων, μείωση υγρών αποβλήτων
	Χρήση υδραυλικών δικτύων χωρίς διαρροές	Όλα τα στάδια	Καλύτερη διαχείριση παραγωγής, οικονομία σε νερό	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
	Ξηρή αποφλοιώση κορμών ξύλου	Αποφλοιώση ξύλου	Οικονομία σε νερό	Όχι ιδιαίτερα υψηλό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
	Επανάχρηση των αποβλήτων από την άλεση και παραγωγή θερμομηχανικού πολτού στις πλύσεις τεμαχιδίων ξύλου	Πλύσιμο τεμαχιδίων	Καλύτερη διαχείριση παραγωγής, οικονομία σε νερό	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων, μείωση υγρών αποβλήτων

Σκοπός	Είδος Τεχνικής	Στάδιο παραγωγής	Όφελος στην παραγωγή	Εφαρμογή	Περιβαλλοντικό όφελος
	Επανάχρηση των αποβλήτων από την παραγωγή χαρτιού στις πλύσεις τεμαχιδίων ξύλου	Πλύσιμο τεμαχιδίων	Καλύτερη διαχείριση παραγωγής, οικονομία σε νερό	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων, μείωση υγρών αποβλήτων
Μείωση πρώτων και βοηθητικών υλών	Ελαχιστοποίηση του ποσοστού των απορριπτόμενων τεμαχιδίων ξύλου	Άλεση τεμαχιδίων	Μείωση της κατανάλωσης ξύλου από 3 ως 5 %	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
	Ελαχιστοποίηση του ποσοστού των απορριπτόμενων αλεσμένων ινών	Συμπληρωματική άλεση ινών	Μείωση της κατανάλωσης ξύλου από 1 ως 3 %	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
	Χρησιμοποίηση υδάτων χαμηλής σκληρότητας για τον περιορισμό της κατανάλωσης υλικών αποσκλήρυνσης	Παραγωγή ατμού	Μείωση 90 % της χρησιμοποιούμενης ποσότητας αποσκλήρυντικών και νερού αναγέννησης ρητινών	Μικρό κόστος	Μείωση διαλυμένων στερεών στα υγρά απόβλητα
Εξοικονόμηση ενέργειας	Σχεδιασμός της λειτουργίας των υδραυλικών δικτύων ώστε να λειτουργούν κατά το δυνατόν με βαρύτητα.	Όλα τα στάδια	Εξοικονόμηση ενέργειας	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
	Μονώσεις των δικτύων θερμού νερού για περιορισμό των απωλειών θερμότητας	Παραγωγή θερμομηχανικού πολτού - Όλα τα στάδια	Εξοικονόμηση ενέργειας	Μικρό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων
	Συλλογή των υδρατμών που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τις διατάξεις άλεσης και διαβίβαση τους σε εναλλάκτη θερμότητας για προθέρμανση των υδάτων στην παραγωγή ατμού.	Παραγωγή θερμομηχανικού πολτού - Τέλος σταδίου αλέσεως	Εξοικονόμηση ενέργειας	Υψηλό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων



Σκοπός	Είδος Τεχνικής	Στάδιο παραγωγής	Όφελος στην παραγωγή	Εφαρμογή	Περιβαλλοντικό όφελος
	Παραγωγή ενέργειας από την καύση των παραπροϊόντων ξύλου, φλοιών και τεμαχιδίων που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή χαρτομάζας.	Παραγωγή θερμομηχανικού πολτού - Παραγωγή ατμού	Εξοικονόμηση ενέργειας	Όχι ιδιαίτερα υψηλό κόστος	Εξοικονόμηση φυσικών πόρων

### 3.7.3 Τεχνικές περιορισμού των εκπομπών

#### Υγρά αποβλήτα

Η σύννομη διάθεση των υγρών αποβλήτων από τις εγκαταστάσεις παραγωγής χαρτομάζας απαιτεί προωθημένη επεξεργασία. Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των εγκαταστάσεων παραγωγής χαρτομάζας, είναι:

- Συστήματα φυσικοχημικού καθαρισμού
- Βιολογικός καθαρισμός
- Συστήματα επεξεργασίας ιλύος (λάσπης)

#### A) Συστήματα φυσικοχημικού καθαρισμού

Χρησιμοποιούνται ως αυτοτελή συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ενσωματωμένα στην παραγωγική διαδικασία, όταν αποσκοπούν στην ανάκτηση υδάτων ή υλικών. Χρησιμοποιούνται ακόμα αυτοτελώς, όταν δεν απαιτείται η διασφάλιση υψηλού βαθμού απορρύπανσης, ή ως στάδια για τη μείωση των φορτίων που καταλήγουν σε διατάξεις βιολογικής επεξεργασίας ή προέρχονται από αυτές (πρωτογενής ή τριτογενής καθαρισμός). Επίσης, χρησιμοποιούνται και ως διατάξεις επεξεργασίας παραπροϊόντων από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Οι διηθήσεις εξασφαλίζονται με τη διέλευση των υγρών αποβλήτων από διηθητικές επιφάνειες, με ικανότητα κατακράτησης σωματίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 600 μm. Χρησιμοποιούνται συνήθως, μηχανοκίνητες διατάξεις, αποτελούμενες από περιστρεφόμενες διηθητικές επιφάνειες, εφοδιασμένες με μηχανισμούς αφαίρεσης και απομάκρυνσης των στερεών που συγκρατούνται. Τα εσχαρώματα συλλέγονται και απομακρύνονται ή επαναφέρονται στην παραγωγή με υδραυλικά δίκτυα.

**Διαυγάσεις:** Για το διαχωρισμό ευμεγεθών εναιωρούμενων στερεών (ίνες) και βαρέων σωματίων γεωλογικής ή άλλης προέλευσης, χρησιμοποιούνται οι κλασικές δεξαμενές καθίζησης, συνήθως κυκλικής διατομής με πυθμένα, μορφής ανεστραμμένου κώνου και ιδίως διατάξεις που επιτρέπουν το διαχωρισμό των στερεών αυτών σε συνθήκες περιστροφικής ροής της εισερχόμενης παροχής (υδροκυκλώνες). Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και διατάξεις μηχανικής φυγοκέντρισης. Ακόμα, χρησιμοποιούνται διατάξεις θρόμβωσης - συσσωμάτωσης και επίπλευσης όλων των τύπων.

**Θρομβώσεις:** Τα συστήματα διαύγασης των αποβλήτων της χαρτοποιίας λειτουργούν αποδοτικότερα όταν εξασφαλίζεται η συνένωση των σωματιδίων σε θρόμβους, έτσι ώστε να μεγαλώσουν οι διαστάσεις. Η θρόμβωση επιτυγχάνεται με προσθήκες στα υγρά απόβλητα κροκιδωτικών ουσιών.

**Επιπλεύσεις:** Οι τυπικές εγκαταστάσεις επίπλευσης που χρησιμοποιούνται στη χαρτοποιία βασίζονται στην εκτόνωση στην υγρή μάζα υπέρκορου σε αέρα ύδατος. Ο υπερχορεσμός του ύδατος σε αέρα εξασφαλίζεται σε πιεστικό θάλαμο, με παροχή ίση προς το 15 - 30% της παροχής που διέρχεται από το διαυγαστήρα. Οι φυσαλίδες οδεύουν προς τα πάνω συμπαρασύροντας το εναιώρημα. Το εναιώρημα σχηματίζει επίπαγο που απάγεται με επιφανειακό αποξεστήρα προς τη δεξαμενή συγκέντρωσης επίπαγου. Το καθαρισμένο νερό απομακρύνεται συνήθως από τα 2/3 του ύψους της δεξαμενής επίπλευσης με σιφονισμό. Τα επιπλέοντα υλικά που απομακρύνονται ως επίπαγος, δεν μπορούν να διατεθούν σε τελικούς αποδέκτες χωρίς επεξεργασία, μπορούν όμως, στην περίπτωση της παραγωγής χαρτιού συσκευασίας, να ανακυκλωθούν στην παραγωγή.

Τα στερεά που διαχωρίζονται, ως ένυδρα ιζήματα ή ως επίπαγος στην περίπτωση των επιπλεύσεων απομακρύνονται με άντληση και οδηγούνται σε διατάξεις που εξασφαλίζουν τη σταθεροποίησή τους.

Τα συστήματα φυσικοχημικής επεξεργασίας εξασφαλίζουν απομάκρυνση των στερεών, ως SS, της τάξης του 90-95%, μείωση των οργανικών ενώσεων, ως BOD, της τάξης του 25% και αμελητέα μείωση των διαλυμένων ενώσεων.

## B) Βιολογικοί καθαρισμοί

Χρησιμοποιούνται ως αυτοτελή συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ως διατάξεις επεξεργασίας παραπροϊόντων από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Η βιολογική επεξεργασία απαιτεί σύστημα διατάξεων αποτελούμενο από σειρά βιολογικών αντιδραστήρων και διαυγαστήρων.

Οι βιολογικοί αντιδραστήρες είναι συνήθως δεξαμενές, που διασφαλίζουν τη διέλευση των υγρών αποβλήτων με ταυτόχρονη

διατήρηση βιομάζας, αποτελούμενη από ιθαγενείς του νερού αερόβιους ή αναερόβιους οργανισμούς. Η βέλτιστη τεχνικό-οικονομικά λύση για την επεξεργασία των αποβλήτων από τις εγκαταστάσεις παραγωγής χαρτομάζας είναι η κατασκευή αερόβιων εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού πολύ χαμηλής φόρτισης, διότι δεν απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας, ενώ το κόστος των εγκαταστάσεων προέρχεται αποκλειστικά από την αξία των γηπέδων. Ακολουθεί ο συνδυασμός αερόβιας επεξεργασίας σε συνθήκες πολύ υψηλής φόρτισης με αναερόβια επεξεργασία.

Η κατανάλωση ενέργειας για την αναερόβια επεξεργασία είναι της τάξης των 10-14 kWh/tn χαρτομάζας. Η κατανάλωση αυτή αντισταθμίζεται από την παραγωγή βιοαερίου και προκύπτει όφελος επιπλέον 15-20 kWh/tn χαρτομάζας, από την καύση του. Μειονέκτημα του συνδυασμού αυτού είναι το υψηλό κόστος κατασκευής των αναερόβιων αντιδραστήρων. Η πλέον ασύμφορη ενεργειακά λύση είναι οι αντιδραστήρες χαμηλής φόρτισης της βιομάζας, όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι της τάξης των 25-35 kWh/tn χαρτομάζας.

#### Γ) Επεξεργασία ιλύος

Η σταθεροποίηση των παραπροϊόντων καθαρισμού γίνεται χημικά ή βιολογικά. Η χημική σταθεροποίηση επιτυγχάνεται με χημικές αντιδράσεις συνήθως οξείδωσης ή αναγωγής που αποσκοπούν στη δημιουργία αδιάλυτων ενώσεων που μπορούν να θρομβωθούν και στη συνέχεια να διαχωριστούν με διαδικασίες διαύγασης. Οι διατάξεις χημικής σταθεροποίησης είναι ίδιες με αυτές που αναφέρθηκαν για τις θρομβώσεις (κροκίδωση, συσσωμάτωση, διαύγαση).

Η βιολογική σταθεροποίηση επιτυγχάνεται με την αυτόλυση των κυττάρων που αποτελούν τη βιομάζα. Επιτυγχάνεται σε διατάξεις που διασφαλίζουν χρόνο παραμονής των ιζημάτων ή του επίπαγου, σε βιολογικό αντιδραστήρα. Τα σταθεροποιημένα παραπροϊόντα αφυδατώνονται, στη συνέχεια, σε διατάξεις συμπίεσης (φιλτρόπρεςες) ή υπό την επίδραση ατμοσφαιρικών παραγόντων.

Η αφυδάτωση της λάσπης, η οποία αποσκοπεί στην ελάττωση της υγρασίας, ώστε η λάσπη να πάρει μισο-στερεή μορφή και να διευκολυνθούν οι πιο πέρα χειρισμοί. Σε μικρές εγκαταστάσεις η διαδικασία αυτή γίνεται σε κλίνες ξήρανσης, ενώ γενικώς χρησιμοποιούνται φυγοκέντριση και ταινιο-φιλτρόπρεςες, και δίνει πίτα (cake) με υγρασία 55-70%, ενώ αν υποστεί και θερμική επεξεργασία η υγρασία κατεβαίνει κάτω του 10%.

Η πλέον αποδοτική ενεργειακά αφυδάτωση είναι σε κλίνες ξήρανσης, όπου δεν καταναλώνεται ενέργεια, εκτός από τις αντλήσεις για τη μεταφορά και διάστρωση των ιζημάτων, ενώ η πλέον ενεργοβόρος είναι η μηχανική αφυδάτωση.

### Στερεά απόβλητα

Τα στερεά απόβλητα από την παραγωγή χαρτομάζας, εκτός από τους φλοιούς, υπολείμματα ξύλου και τα παραπροϊόντα από την επεξεργασία αποβλήτων, είναι οι στάχτες από τις καύσεις και οι συσκευασίες βοηθητικών υλών. Τα προϊόντα αυτά υφίστανται διαχείριση με τις προδιαγραφές διάθεσης στερεών βιομηχανικών αποβλήτων.

### Αέρια απόβλητα

Απαέρια από τις εγκαταστάσεις παραγωγής χαρτομάζας προέρχονται από τους λέβητες παραγωγής ατμού. Συνήθως δεν υφίστανται διαδικασίες επεξεργασίας και διαχέονται στην ατμόσφαιρα, με διατάξεις αποτελεσματικής διασποράς (καμινάδες). Προτείνεται η χρήση καθαρών καυσίμων στους λέβητες όπως φυσικό αέριο, πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και η τακτική συντήρηση λεβήτων για υψηλή απόδοση.

## **3.8 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΝΙΟΥ**

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται διεθνώς στις εγκαταστάσεις παραγωγής χαρτιού και χαρτονιού, παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

### **3.8.1 Τεχνικές ενσωματωμένες στην παραγωγική διαδικασία**

#### Εξοικονόμηση ύδατος

Ο περιορισμός των παροχών υδάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση υδραυλικών δικτύων χωρίς διαρροές, τα οποία σχεδιάζονται ώστε να διασφαλίζουν την ανακύκλωση στην παραγωγή των υγρών αποβλήτων που προκύπτουν από τις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Η υψηλότερη απαιτούμενη ποιότητα της παροχής καθαρού νερού, αφορά στις διατάξεις παραγωγής ατμού γιατί απαιτείται αποσκλήρυνσή του.

Η ανακύκλωση υδάτων βασίζεται στη χρήση των υγρών αποβλήτων στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, με κατάλληλο σχεδιασμό των διεργασιών και παρεμβολή διατάξεων επεξεργασίας. Οι διατάξεις, στις οποίες απαιτείται η χρήση νερού υψηλής καθαρότητας, είναι τα ακροφύσια κοπής, οι διατάξεις για τον καθαρισμό του πλέγματος και των φανέλων και η ψύξη των αντλιών. Ο υπόλοιπος εξοπλισμός και οι διεργασίες παραγωγής, απαιτούν μεν καθαρά ύδατα, όχι όμως υψηλής καθαρότητας. Τα πλέον καθαρά απόβλητα που

χρησιμοποιούνται σε κάθε διάταξη είναι τα νερά ψύξης, αν δεν επιβαρύνονται με απώλειες λιπαντικών. Από τα λοιπά υγρά απόβλητα, τα προερχόμενα από τις διατάξεις προκατεργασίας του πολτού, είναι επιβαρημένα με μεγάλα ρυπαντικά φορτία και επαναφέρονται, μετά από επεξεργασία, μόνο στην πολτοποίηση, ενώ τα προερχόμενα από τη χαρτοποίηση, επαναχρησιμοποιούνται, συνήθως χωρίς επεξεργασία, για την αραίωση του πολτού, πριν από τη διοχέτευσή τους στο κιβώτιο ροής της χαρτοποιητικής μηχανής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η λειτουργία της χαρτοβιομηχανίας χωρίς την ανακύκλωση νερού είναι προβληματική, όπως είναι και αδύνατη η λειτουργία σε κλειστό κύκλωμα νερού, με πλήρη επανάχρηση της απαραίτητης παροχής (λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και των διαλυμένων στερεών καθώς και ανάπτυξης μικροοργανισμών).

#### Εξοικονόμηση πρώτων και βοηθητικών υλών

Πρώτες και βοηθητικές ύλες (κυρίως ίνες) διαφεύγουν στα απόνερα από το σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας για την παραγωγή χαρτιού. Η συγκράτηση και ανάκτηση ινών επιτυγχάνεται διεθνώς σε διατάξεις διήθησης και διαύγασης, με θεωρητική αποτελεσματικότητα της τάξης του 95%, συνολικά. Η πλέον εφικτή οικονομικά επανάχρηση των ανακτημένων ινών αφορά στην επαναεισαγωγή των διηθημάτων ή των ιζημάτων στις διεργασίες πολτοποίησης. Η ανάκτηση αυτή εφαρμόζεται ιδιαίτερα στις επιχειρήσεις που παράγουν χαρτόνια ή χαρτιά συσκευασίας από χρησιμοποιημένο χαρτί. Η χρήση υλικών συγκράτησης των ινών (retention aids), τα οποία είναι πολυηλεκτρολύτες, επιτρέπει τον περιορισμό των διαφυγών και κατά συνέπεια την κατανάλωση χαρτοπολτού.

Μείωση στην κατανάλωση καολίνη (περίπου 20%) επιτυγχάνεται με τη βελτίωση των συνθηκών, που διασφαλίζουν τη συγκράτησή του στο πλέγμα των ινών. Οι συνθήκες αυτές διασφαλίζονται με την προσθήκη μακρομορίων αμύλου.

Άλλη εξοικονόμηση υλικών αφορά στο άμυλο που προστίθεται στη χαρτοποίηση και στην επιφανειακή επίστρωση. Μείωση στις καταναλώσεις επιτυγχάνεται με περιορισμό των προσδόσεων αμύλου στη χαρτοποίηση και την αύξηση των προσδόσεων στην επιφανειακή επίστρωση.

Τέλος, η χρήση καλής ποιότητας ύδατος περιορίζει την κατανάλωση των υλικών αποσκλήρυνσης.

#### Εξοικονόμηση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας, ανά τόνο παραγομένου χαρτιού, κυμαίνεται διεθνώς σε 2.700 - 3.000 kWh. Πρόκειται για μεγάλες καταναλώσεις για τον περιορισμό των οποίων οι παραγωγικές εγκαταστάσεις πρέπει να

σχεδιάζονται (εκτός των άλλων) και με κριτήριο την εξοικονόμηση ενέργειας. Ο σχεδιασμός αυτός βασίζεται στη χρήση:

- Υδραυλικών δικτύων με ροές με βαρύτητα, για τον περιορισμό των αντλήσεων.
- Μονώσεις των δικτύων θερμού νερού για περιορισμό των απωλειών θερμότητας.
- Δικτύων ανάκτησης του ατμού στα στεγνωτικά τμήματα.
- Χρησιμοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση και υγρών καυσίμων στις καύσεις.
- Από τα υγρά καύσιμα προτιμούνται όσα διασφαλίζουν περιορισμένες εκπομπές απαερίων (αποθειωμένο μαζούτ, υγραέριο ή φυσικό αέριο).
- Ανάκτηση ενέργειας από τα απαέρια και αξιοποίησή της.
- Διαχωρισμό των ινών πριν την άλεση.
- Αποδοτικές ενεργειακά συμπιεστικές διατάξεις χαρτοποίησης (πρέσες).
- Χρήση αποδοτικών ενεργειακά συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Η ανάκτηση της θερμότητας από τον ατμό και τα απαέρια δεν συντελούν σε αξιόλογη εξοικονόμηση ενέργειας. Σημαντικός περιορισμός στην κατανάλωση ενέργειας επιτυγχάνεται με τροποποίηση της διαδικασίας παραγωγής του αποδεκτού κλάσματος ινών. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις μονάδες παραγωγής χαρτιού από ανακύκλωση χρησιμοποιημένου χάρτου και στηρίζεται στο διαχωρισμό των ινών κατά μέγεθος, με διοχέτευση του χαρτοπολτού υπό πίεση σε διηθητικές επιφάνειες. Με τον τρόπο αυτό, οι μεγάλοι μήκους ίνες που συγκρατούνται οδηγούνται στις διατάξεις μηχανικής επεξεργασίας, ενώ οι μικροί μεγέθους οδηγούνται κατευθείαν για χαρτοποίηση. Με τη μέθοδο αυτή εξασφαλίζονται εξοικονομήσεις ενέργειας, της τάξης των 70 -130 kWh/tn χαρτιού. Το κόστος της επένδυσης είναι μικρό.

Σημαντική μείωση της θερμικής ενέργειας μπορεί να εξασφαλισθεί με τροποποίηση των διατάξεων συμπίεσης στη μηχανική αφυδάτωση, αυξάνοντας την ασκούμενη συμπίεση, σε ειδικές διατάξεις συμπίεσης (nip press ή shoe press). Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 400 kWh/tn χαρτιού.

Για τη μείωση των καταναλώσεων ενέργειας χρησιμοποιούνται συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων, όπως αεριζόμενες λίμνες. Επίσης, η χρήση στατικών διατάξεων διαύγασης, αντί των ενεργοβόρων επιπλεύσεων, περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας.

### 3.8.2 Τεχνικές περιορισμού των εκπομπών

Οι μεγάλες παροχές των αποβλήτων της χαρτοποιίας καθιστούν προβληματική τη χημική τους επεξεργασία, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε χημικά και φυσικοχημικές διατάξεις που βασίζονται στην προσρόφηση και επιρρόφηση ρύπων από κλίνες ενεργού άνθρακα. Ανάλογα ισχύουν και για διατάξεις επιλεκτικού διαχωρισμού με μεμβράνες, σε συνθήκες υπερπίεσης ή υποπίεσης (αντίστροφη όσμωση).

Η πλέον αποτελεσματική ενεργειακά επεξεργασία τους είναι ίδια με αυτήν των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από την παραγωγή και που έχει παρουσιαστεί αναλυτικά στην ενότητα 3.7.3.

Οι μονάδες παραγωγής χαρτιού επίχρισης διαθέτουν ξεχωριστές γραμμές συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών αποβλήτων. Οι διατάξεις επεξεργασίας θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη χημική τους εξουδετέρωση, την αφυδάτωση και την τελική τους διάθεση σε οργανωμένους χώρους διάθεσης στερεών βιομηχανικών απόβλητων.

Ο περιορισμός των αερίων ρύπων επιτυγχάνεται με την επιλογή καθαρών καυσίμων όπως φυσικό αέριο ή μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, καθώς και με τακτική συντήρηση των λεβήτων για υψηλή απόδοση.

Συνοπτική παρουσίαση των τεχνικών που εφαρμόζονται διεθνώς για τον περιορισμό των εκπομπών ακολουθεί στον Πίνακα 3.3



Πίνακας 3.3 Τεχνικές που εφαρμόζονται διεθνώς για τον περιορισμό των εκπομπών των χαρτοβιομηχανιών [9]

Σκοπός	Είδος Τεχνικής	Εφαρμογή και Απόδοση	Αποδέκτης	Πρόσθετη επεξεργασία
Επεξεργασία υγρών αποβλήτων	Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων, σταθεροποίηση του πλεονάσματος βιομάζας με παραγωγή βιοαερίου. Αφυδάτωση των ιζημάτων, αποτελεσματική απολύμανση.	Όλες οι μονάδες αναλόγως των απαιτήσεων διατήρησης ποιότητας του ενδιάμεσου και τελικού αποδέκτη Μείωση BOD έως 92 %, COD έως 85 %, SS έως 90 % Μείωση στην κατανάλωση ενέργειας	Επιφανειακά και υπόγεια ύδατα	Τριτογενής επεξεργασίας αναλόγως των απαιτήσεων διατήρησης ποιότητας του ενδιάμεσου και τελικού αποδέκτη και ιδίως για την τήρηση των ορίων σε διαλυμένα στερεά.
	Ειδική αντιμετώπιση, με ξεχωριστή συλλογή και χημική εξουδετέρωση των υγρών απόβλητων που προέρχονται από τα τμήματα παραγωγής επιχρισμένου χαρτονιού, λόγω της επιβάρυνσής τους με οργανικούς διαλύτες και ανόργανες προσμείξεις.	Μονάδες παραγωγής επιχρισμένου χαρτονιού	Επιφανειακά και υπόγεια ύδατα	
Περιορισμός αέριων εκπομπών	Επιλογή χρήσης καθαρών καυσίμων στους λέβητες όπως φυσικό αέριο, πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και τακτική συντήρηση λεβήτων για υψηλή απόδοση	Μονάδες παραγωγής ατμού	Ατμόσφαιρα	Υψηλή καπνοδόχος
Διαχείριση στερεών αποβλήτων	Διάθεση των ιζημάτων από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και της στάχτης από τις καύσεις σε χώρους υποδοχής στερεών βιομηχανικών αποβλήτων.	Όλες οι μονάδες	Χώρος υποδοχής βιομηχανικών αποβλήτων	

## **4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ**

### **4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Το χαρτί είναι ένα προϊόν τελείως απαραίτητο στις σύγχρονες κοινωνίες. Όμως η παραγωγή και υπερκατανάλωσή του κοστίζει σημαντικά στο περιβάλλον. Πολλές είναι οι δραστηριότητες που επιβαρύνουν το περιβάλλον σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του χαρτιού, από τη στιγμή δηλαδή που φυτεύεται μια καλλιέργεια ή κόβεται ένα δάσος μέχρι να μετατραπεί σε χαρτί, να φτάσει στα χέρια του καταναλωτή και να αχρηστευθεί.

Η ανακύκλωση του χαρτιού είναι μια διεργασία, που αν γίνεται σωστά, μπορεί να είναι οικονομικά συμφέρουσα, φιλική προς το περιβάλλον και να δίνει καλής ποιότητας ανακυκλωμένο χαρτί. Τότε μόνο μπορούμε να λέμε ότι ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης χαρτιού λειτουργεί σωστά και είναι αποτελεσματικό.

Η ανακύκλωση χαρτιού αρχικά συνδέθηκε με την ανάγκη επιβίωσης ατόμων χωρίς άλλους πόρους αλλά και με τη σοφή (και αναγκαία) διαχείριση των απορριμμάτων από την ίδια κοινότητα, τους ίδιους τους πολίτες, πολύ πριν αυτή η δουλειά ανατεθεί σε οργανωμένα δημοτικά ή ιδιωτικά συστήματα καθαριότητας.

Η ανακύκλωση χαρτιού είναι σήμερα μια πολύ καλά οργανωμένη επιχειρηματική δραστηριότητα στις βιομηχανικές κοινωνίες.

Στην Ελλάδα η εταιρεία ΜΕΛ λειτουργεί το μεγαλύτερο εργοστάσιο ανακύκλωσης χαρτιού στα Βαλκάνια, το οποίο βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη και διαθέτει πιστοποιημένο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας (πρότυπο EN\_ISO 9001:2008, πρότυπο EN\_ISO 14001:2004).

### **4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ**

Στις μεσαιωνικές πόλεις τα προβλήματα συλλογής των απορριμμάτων συνέβαλαν στην εξάπλωση των επιδημιών που εξόντωναν εκατομμύρια ανθρώπους. Αλλά στα χρόνια εκείνα, ίσως, βρίσκεται και η αρχή του επαγγέλματος του ανακυκλωτή χαρτιού. Οι ρακκοσυλλέκτες, οι άνθρωποι που μάζευαν τα χρησιμοποιημένα πανιά, δηλαδή τα ράκκη, τροφοδοτούσαν τη βιομηχανία χαρτιού (τότε το χαρτί προερχόταν κυρίως από πανιά) με τις αναγκαίες πρώτες ύλες.

Σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις, όπως κι εδώ στην Ελλάδα (στην Ήπειρο κ.α.) οι ρακκοσυλλέκτες φρόντιζαν για την ανακύκλωση των «άχρηστων» πανιών.

Στις αρχές του 20ου αιώνα οι γυρολόγοι μάζευαν ήδη συστηματικά τα χρησιμοποιημένα χαρτιά για ανακύκλωση στην τότε χαρτοβιομηχανία. Η κατανάλωση χαρτιού ήταν, όμως, πολύ μικρή, μερικές χιλιάδες τόνοι το χρόνο. Την εποχή εκείνη, οι εφημερίδες αφού διαβάζονταν δεν κατέληγαν αμέσως για ανακύκλωση, αλλά μετατρέπονταν σε υλικά συσκευασίας για το περιτύλιγμα των προϊόντων στο μπακάλικο, των ψαριών στο ιχθυοπωλείο. Τα χασαπόχαρτα, τα στρατσόχαρτα είναι τα κύρια προϊόντα ανακύκλωσης χαρτιού. Οι χρησιμοποιημένες εφημερίδες έτσι κι αλλιώς ελάχιστες σε αριθμό και σε ελάχιστα αντίτυπα ήταν το κύριο υλικό συσκευασίας στις αρχές του αιώνα.

Οι επαγγελματίες της εποχής χρησιμοποιούσαν παλιές εφημερίδες για να τυλίξουν τα προϊόντα που αγόραζαν οι πελάτες τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα που όλοι γνωρίζουμε είναι οι ψαράδες που έφτιαχναν χωνιά με παλιές εφημερίδες για να βάλουν εκεί μέσα τα ψάρια που αγόραζε ο πελάτης. Οι ανακυκλωτές της εποχής φόρτωναν στην πλάτη τους ή το πολύ πολύ σε ένα κάρο τις παλιές εφημερίδες και τις πουλούσαν ως υλικό συσκευασίας σε μπακάλικα, μανάβικα κι άλλα μαγαζιά. Τα χαρτιά περιτυλίγματος και τα χαρτιά πολυτελείας είναι ελάχιστα ή ανύπαρκτα την περίοδο αυτή.

Τα περισσότερα χαρτιά εισάγονταν στην Ελλάδα. Από τα χαρτιά που παράγονταν στη χώρα (κυρίως κουτιά τσιγάρων, χοντρά χαρτόνια για πρόκες, στρατσόχαρτα για κρεοπωλεία και ιχθυοπωλεία αργότερα) τα περισσότερα, ποσοστό 60%, προέρχονταν από παλιά, από χρησιμοποιημένα χαρτιά που οι διάφοροι γυρολόγοι και οι «παλιοχαρτάδες» μάζευαν από το δρόμο, από τα τυπογραφεία κι από διάφορα εργοστάσια και εργαστήρια.

Την εποχή εκείνη η Αθήνα είναι μικρή, περιορίζεται γύρω από την Ακρόπολη. Ο Δήμος Βούτσελας ανοίγει μία μικρή αποθήκη στην Πλατεία Ψυρρή. Γύρω στο 1922 ξεκινάει η ανακύκλωση χαρτιού σε πιο συστηματική βάση. Γυρολόγοι μαζεύουν το χαρτί στην Αθήνα αλλά και σε άλλες πόλεις και το πουλάνε στο Δήμο Βούτσελα. Στο χαρτοπολτό που εισάγεται από το εξωτερικό προστίθεται μία ποσότητα μέχρι 10% χρησιμοποιημένων χαρτιών.

Οι γυρολόγοι, ή «ρακκοσυλλέκτες» φορτωμένοι τους σάκους στην πλάτη μαζεύουν στην καλύτερη περίπτωση 50-100 κιλά χαρτί. Τα καροτσάκια και τα κάρα είναι σημαντική πολυτέλεια για τους ανακυκλωτές του χαρτιού την εποχή εκείνη. Μηχανήματα ή πρέσες δεν υπάρχουν. Στην καλύτερη περίπτωση μία κάσα μεταφέρεται επιτόπου και χρησιμοποιείται για τη συσκευασία και το δέσιμο των χαρτιών με τσέρκια, όταν η ποσότητά του είναι μεγάλη.

Το χαρτί μπαίνει στην κάσα, πατιέται για να συμπιεστεί και στο τέλος τοποθετείται μια πόρτα για να πατηθεί και να συμπιεστεί περισσότερο. Οι μηχανικές πατέντες, οι πρώτες πρέσες, θα εμφανισθούν πολύ αργότερα, μετά τον πόλεμο. Οι περισσότεροι γυρολόγοι, όμως, θα κουβαλάνε μέχρι πρόσφατα το χαρτί σε μεγάλα σακιά, τις μπούρδες από δρόμο σε δρόμο μέχρι να το παραδώσουν για ανακύκλωση.

Μετά τον πόλεμο καινούργιοι άνθρωποι μπαίνουν στο χώρο του χαρτιού και της ανακύκλωσης. Ο Κολιόπουλος, μετέπειτα χαρτοποιία ΠΑΚΟ, θα ανοίξει τη δική του αποθήκη, συγκεντρώνοντας 8-10 τόνους χαρτί τη μέρα, όταν οι χαρτοβιομηχανίες σήμερα συγκεντρώνουν πάνω από 200 τόνους χρησιμοποιημένου χαρτιού τη μέρα.

Οργανωμένα η ανακύκλωση του χαρτιού στην Ελλάδα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960. Η κατανάλωση του χαρτιού έχει ήδη αυξηθεί κατακόρυφα, το ίδιο και η παραγωγή και οι ανάγκες της βιομηχανίας σε χρησιμοποιημένο χαρτί, σε πρώτες ύλες δηλ. για ανακυκλωμένα χαρτικά. Την εποχή αυτή οι πιο μεγάλοι «παλιοχαρτάδες» (αυτοί δηλαδή που ασχολούνται με το εμπόριο παλαιού χαρτιού) είναι 8-10 άτομα: Ο Δ. Βούτσελας, ο Αράπης, ο Ποντικός, ο Ζαμίνος, ο Σταυρόπουλος, κ.ά.

Στις αρχές της δεκαετίας του 60 κατασκευάζεται το εργοστάσιο της Βιοχαρτικής στον Ασπρόπυργο και η ΠΑΚΟ στην Πελασγία Φδιώτιδας που αξιοποιούν τα παλιά χαρτιά. Λίγα χρόνια αργότερα η Θεσσαλική και η ΜΕΛ Θεσσαλονίκης θα ξεκινήσουν παραγωγή χαρτιού χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη τα άχυρα από τις καλλιέργειες δημητριακών, κυρίως στο Θεσσαλικό κάμπο.



Σχήμα 4.1 Οι εγκαταστάσεις της ΠΑΚΟ στην Πελασγία Φδιώτιδας [15].

Σήμερα το Σωματείο Εμπόρων Παλαιού Χαρτιού περιλαμβάνει πάνω από 80 απασχολούμενους οργανωμένα και σε επαγγελματικό επίπεδο στην συλλογή χρησιμοποιημένου χαρτιού για ανακύκλωση.

Εκατοντάδες φορτηγά διασχίζουν την Αττική, τη Θεσσαλονίκη κι άλλες πόλεις, αλλά και τους εθνικούς αυτοκινητόδρομους και συγκεντρώνουν ή μεταφέρουν στις βιομηχανίες καθημερινά χρησιμοποιημένο χαρτί για ανακύκλωση. Σήμερα που η κατανάλωση χαρτιού στην Ελλάδα έχει αυξηθεί κατακόρυφα, κάθε χρόνο συγκεντρώνονται προς ανακύκλωση 350.000 τόνοι χρησιμοποιημένου χαρτιού.

Χιλιάδες άνθρωποι εξασφαλίζουν τα οικονομικά μέσα για την επιβίωσή τους συγκεντρώνοντας το χαρτί από τα υπόγεια των τυπογραφείων ή από υπερσύγχρονα γραφεία, από χώρους σκουπιδιών στο δρόμο ή τις εμπορικές περιοχές και τις αγορές, από σχολεία ή κοινωνικούς φορείς.

Χαρτιά κουζίνας και τουαλέτας, χαρτιά συσκευασίας, χαρτόνια και χαρτοκιβώτια παράγονται σήμερα στη χώρα μας από τη συλλογή χρησιμοποιημένου χαρτιού για ανακύκλωση. Παρόλα αυτά μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ολοκληρωμένη πολιτική για προώθηση της ανακύκλωσης στη χώρα μας: νομοθετικές ρυθμίσεις, οικονομικά εργαλεία, ενημέρωση, επενδύσεις. Η ανακύκλωση χαρτιού στη χώρα μας δεν έχει φτάσει, ακόμη, τα υψηλά ποσοστά που έχουν επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Η χαρτοποιία δεν μπορεί ακόμη να ικανοποιήσει τις ποσοτικές και ποιοτικές απαιτήσεις μίας σύγχρονης πολιτικής για την προώθηση της ανακύκλωσης και των ανακυκλωμένων προϊόντων. Οι πολίτες στη χώρα μας δεν γνωρίζουν ακόμη τα ανακυκλωμένα προϊόντα που κυκλοφορούν ήδη στην αγορά και πολύ περισσότερο δεν έχει δημιουργηθεί η αναγκαία ζήτηση ανακυκλωμένων προϊόντων που θα οδηγήσει σε ένα νέο ποιοτικό άλμα την υπόθεση της ανακύκλωσης στη χώρα μας.

#### **4.3 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ**

Σημαντικά οικοσυστήματα απειλούνται από την κατανάλωση χαρτιού. Πολλοί χρησιμοποιούμε τεράστιες ποσότητες χαρτιού καθημερινά (π.χ. ρολό χαρτιού για την κουζίνα, χαρτοπετσέτες και χαρτομάντιλα, χαρτιά για φωτοτυπίες και διαφημίσεις, χαρτιά για περιοδικά και εφημερίδες, χαρτιά για φίλτρα καφέ και τετράδια, χαρτοκιβώτια και χαρτιά περιτυλίγματος). Από την τουαλέτα μέχρι την κουζίνα και από το γραφείο μέχρι το εμπόριο, η κατανάλωση χαρτιού αυξάνεται κατακόρυφα. Είναι άραγε απαραίτητη η κατανάλωση όλης αυτής της ποσότητας χαρτιού;

Στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο κύρια προβλήματα:

- η εκχέρσωση των αυθεντικών δασών για να καλλιεργηθούν στη θέση τους τεχνητές καλλιέργειες και
- η αντικατάσταση του πραγματικού δάσους από συστάδες που αποτελούνται από ένα μόνο είδος δέντρου

Η εντατική καλλιέργεια ειδών, τα οποία αναπτύσσονται πολύ γρήγορα με τη φροντίδα χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, είναι η απάντηση της χαρτοβιομηχανίας στα προβλήματα αυτά. Τα δέντρα κόβονται όταν ολοκληρωθεί το μέγιστο της ανάπτυξής τους, συνήθως σε λιγότερο από 80 χρόνια. Αυτό το χρονικό διάστημα είναι σύντομο σε σχέση με το χρόνο που χρειάζεται ένα πραγματικό δάσος για ν' αναπτυχθεί πλήρως. Η μονοκαλλιέργεια συνέβαλλε στη βιολογική φτώχεια: ενδημικά φυτά αντιμετωπίζονται σαν ζιζάνια, τα ζώα σαν εχθροί. Βαριά μηχανήματα συμπιέζουν και σκληραίνουν το έδαφος. Πηγές, ποτάμια ή ρέματα που πηγάζουν από τα δάση κινδυνεύουν με ρύπανση εξ αιτίας της χρήσης φυτοφαρμάκων και νιτρικών λιπασμάτων.

Σπάνια είδη και ανεξερεύνητες σχέσεις χάνονται για πάντα μαζί με το εξαιρετικό οικοσύστημα. Χωρίς το δάσος δεν μπορούν να επιβιώσουν σπάνια είδη, συχνά σημαντικά και για τον άνθρωπο.

Τα δέντρα που πεθαίνουν στο δάσος πιάνουν άχρηστο χώρο και δυσκολεύουν τις μετακινήσεις των υλοτόμων, αυτή είναι η αντίληψη των εταιριών αλλά και των κρατικών υπηρεσιών.

Από οικολογική άποψη, όμως, τα νεκρά δέντρα είναι σημαντικά για το οικοσύστημα γιατί εξασφαλίζουν την ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων απαραίτητων για την ανάπτυξη των νέων δέντρων. Ταυτόχρονα αποτελούν καταφύγιο για ένα τεράστιο αριθμό ειδών του δάσους. Η παρουσία πεσμένων δέντρων σε ρυάκια και ποτάμια επιβράδυνε την ροή του νερού και δημιουργεί μικρές λίμνες, όπου επιβιώνουν πολλές μορφές ζωής. Στον Καναδά οι λίμνες αυτές εξασφαλίζουν την παρουσία του σολωμού και άλλων ειδών.

Όταν εκχερσώνονται δασικές περιοχές η βιομηχανία είναι από το νόμο υποχρεωμένη να αφήνει άθικτα δέντρα με πληθυσμούς μυκήτων που κινδυνεύουν με εξαφάνιση, αλλά όταν το δάσος γύρω τους εξαφανιστεί υπάρχουν μικρές μόνο πιθανότητες να επιβιώσουν.

Η ζημιά στο περιβάλλον δεν σταματάει με το κόψιμο των δέντρων. Για να γίνει το χαρτί η βιομηχανία πρέπει να επεξεργαστεί τους κομμένους κορμούς. Συχνά η επεξεργασία αυτή προκαλεί σημαντική ρύπανση και πολλές βιομηχανίες ρίχνουν απόβλητα που περιέχουν ένα σύνολο οργανοχλωριωμένων ενώσεων σε υδατικά οικοσυστήματα. Η διοξίνη, μία από τις πιο επικίνδυνες ουσίες, είναι μέσα σε αυτά τα απόβλητα.



Η Σουηδία και η Νορβηγία έχουν αποκλείσει το χλώριο και χρησιμοποιούν διοξείδιο του χλωρίου. Ακόμα και αυτό το χημικό όμως για τη λεύκανση του χαρτιού έχει ευθύνη για ρύπανση με οργανοχλωριωμένες ενώσεις και επίσης καταναλώνει μεγάλες ποσότητες οξυγόνου. Η μόνη περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση είναι η χρήση οξυγόνου για τη λεύκανση του χαρτιού ή, το καλύτερο, η χρήση όχι λευκασμένου χαρτιού.

Το τροπικό δάσος που κόβεται δεν ξανά φυτρώνει. Αλλά και τα δάση που αντικαθίστανται από τεχνητές καλλιέργειες χάνουν την βιοποικιλότητά τους. Οι μονοκαλλιέργειες εξαντλούν τα εδάφη, και δεν είναι σίγουρο ότι οι φυτείες αποτελούν ένα σταθερό οικοσύστημα σε μακροχρόνια βάση. Στην πραγματικότητα πολλές μελέτες επισημαίνουν τον κίνδυνο να μην μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες σε ξυλεία αν στηριχθούμε στις μονοκαλλιέργειες.

Η σπατάλη χαρτιού ασκεί υπερβολικές πιέσεις πάνω στα δάση του πλανήτη. Αν μειώσουμε την περιττή κατανάλωση χαρτιού, αν βελτιώσουμε τα προγράμματα ανακύκλωσης χαρτιού, μπορούμε να ελαφρύνουμε τις πιέσεις που ασκούνται πάνω στα δάση. Αυτό θα επιτρέψει και την περιβαλλοντικά σωστή ολοκληρωμένη διαχείριση των δασών. Μπορεί η κοινωνία να αποδέχεται την «άνεση» της σπατάλης χαρτιού, που οδηγεί σε μεγάλης κλίμακας καταστροφή του οικοσυστήματος

Σε γενικές γραμμές, τα κοινωνικά οφέλη που προκύπτουν από την ανακύκλωση χαρτιού θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι τα παρακάτω:

- δημιουργία σταθερών και κοινωνικά χρήσιμων θέσεων εργασίας,
- προστασία περιβάλλοντος,
- μείωση συναλλάγματος για εισαγωγές πρώτων υλών,
- βελτίωση της ποιότητας ζωής,
- μείωση παραγόμενων απορριμμάτων

Τέλος είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε ότι από ένα τόνο ανακυκλωμένο χαρτί κερδίζουμε:

- Σώζουμε 17 δέντρα.
- Εξοικονομούμε ενέργεια και κατανάλωση νερού κατά 50%.
- Πετυχαίνουμε λιγότερη ρύπανση κατά 74%
- Μειώνουμε τα απορρίμματα προς τις χωματερές
- Δημιουργούμε 5πλάσιες θέσεις εργασίας.

#### 4.4 Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Έχει επισημανθεί από παλιά ότι για να πετύχει η ανακύκλωση χρειάζεται ένα σύνολο μέτρων και συνεργασία των διαφόρων φορέων που εμπλέκονται στην ανακύκλωση του παλιού χαρτιού. Σε αντίθεση με ότι συμβαίνει σε άλλες χώρες (Η.Π.Α., Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη), στη χώρα μας η ανακύκλωση χαρτιού συναντάει σημαντικά εμπόδια, τα ποσοστά ανακύκλωσης είναι ακόμα χαμηλά σε σχέση με αυτά που θα μπορούσαμε να πετύχουμε, το επάγγελμα του εμπόρου παλαιού χάρτου δύει και η ελληνική χαρτοβιομηχανία δεν φαίνεται προς το παρόν να είναι ικανή να απορροφήσει την ποσότητα χρησιμοποιημένου χαρτιού που συγκεντρώνεται προς ανακύκλωση, πολύ περισσότερο δεν θα μπορεί να απορροφήσει μεγαλύτερες ποσότητες εφόσον επεκταθούν τα προγράμματα ανακύκλωσης.

Μερικά από τα εμπόδια που συναντάει η ανακύκλωση χαρτιού στη χώρα μας είναι τα εξής:

Τα χρησιμοποιημένα χαρτιά (αποκόμματα) έχουν χαμηλή τιμή στο εξωτερικό. Οι έμποροι παλαιού χάρτου πληρώνονται για να συγκεντρώσουν το χρησιμοποιημένο – παλιό χαρτί, ενώ τις χαμηλές ποιότητες χαρτιού τις δίνουν στις χαρτοβιομηχανίες σε πολύ χαμηλή τιμή, με σχεδόν καθόλου αξία. Στην Ελλάδα πολλοί πολίτες, τυπογραφεία, σούπερ-μάρκετ, μαγαζιά, γραφεία, σχολεία, Ο.Τ.Α., προσδοκούν να βγάλουν πολλά χρήματα από τη συλλογή ακόμα και μίας μικρής ποσότητας χρησιμοποιημένου χαρτιού, κάτι φυσικά αδύνατο με τις σημερινές συνθήκες στην αγορά παλιού χαρτιού.

Οι χαρτοβιομηχανίες στις ευρωπαϊκές χώρες και στις Η.Π.Α., ως συνέπεια μίας ολοκληρωμένης πολιτικής προώθησης της ανακύκλωσης χαρτιού, έχουν προχωρήσει σε σημαντικές επενδύσεις για τον εκσυγχρονισμό της παραγωγικής διαδικασίας τους, για τη βελτίωση της ποιότητας των ανακυκλωμένων χαρτιών που παράγουν, την μείωση του κόστους παραγωγής και την αύξηση της παραγωγικότητας. Επιπλέον, έχουν φτηνές πρώτες ύλες από το χρησιμοποιημένο χαρτί για την παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού. Οι ελληνικές χαρτοβιομηχανίες μέχρι σήμερα έχουν μικρή παραγωγικότητα, παράγουν στις περισσότερες περιπτώσεις προϊόντα υποβαθμισμένης ποιότητας και περιορισμένου φάσματος με υψηλό κόστος παραγωγής. Ιταλικές κι άλλες βιομηχανίες είναι για αυτό το λόγο σε θέση να μπουν στην ελληνική αγορά και να ανταγωνισθούν τις ελληνικές χαρτοβιομηχανίες, καταλαμβάνοντας σήμερα ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της ελληνικής αγοράς ειδών χαρτιού.

Από τη μία η απουσία ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού και εθνικής πολιτικής για την προώθηση της ανακύκλωσης χαρτιού, και από την άλλη η απουσία μίας συμφωνίας συνεργασίας όλων των εμπλεκομένων φορέων (χαρτοβιομηχανία, έμποροι παλαιού χάρτου, τοπική αυτοδιοίκηση, κοινωνικοί φορείς, οικολογικές οργανώσεις) έχουν ως αποτέλεσμα τον ανταγωνισμό και όχι τη συνεργασία των διαφόρων φορέων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων. Το τελευταίο ιδιαίτερα διάστημα η χαρτοβιομηχανία ανταγωνίζεται τους εμπόρους παλαιού χάρτου και όσους συλλέγουν χαρτί στην πηγή. Ο ανταγωνισμός αφορά κυρίως τις ποσότητες χρησιμοποιημένου χαρτιού από μεγάλους παραγωγούς, αλλά έτσι ένας κλάδος που μπορεί να συλλέγει χαρτί από την πηγή και από μικρότερους παραγωγούς οδηγείται σε διάλυση με αποτέλεσμα η ανακύκλωση χαρτιού να πάει πίσω στη χώρα μας αντί αυτή να αυξηθεί, τουλάχιστον να διπλασιασθεί και να ξεπεράσει άμεσα το 60-65%, όπως συμβαίνει σε άλλες χώρες.

Με την ανάπτυξη προγραμμάτων συλλογής χρησιμοποιημένου χαρτιού για ανακύκλωση από Δήμους και κοινωνικούς φορείς έχει αυξηθεί η συλλογή χρησιμοποιημένου χαρτιού από τα σπίτια. Το χαρτί αυτό είναι συνήθως κατώτερης ποιότητας σε σχέση με χρησιμοποιημένα χαρτιά-αποκόμματα τυπογραφείων ή άλλων πριν την κατανάλωση παραγωγών. Τα χαρτιά αυτά είναι όλο και πιο δύσκολο να απορροφηθούν από την ελληνική και την παγκόσμια χαρτοβιομηχανία και κυρίως τα προϊόντα ανακύκλωσής τους από την ελληνική αγορά με δεδομένες τις δυνατότητες της ελληνικής χαρτοβιομηχανίας. Αν θέλουμε να αυξηθεί το ποσοστό ανακύκλωσης χαρτιού στη χώρα μας, η διαδικασία αυτή να συμβάλλει στην αύξηση της απασχόλησης και την μακροχρόνια δημιουργία ευκαιριών για κοινωνικά χρήσιμες οικονομικές δραστηριότητες με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος (αειφορία) χρειάζεται να προωθηθούν από κοινού μία σειρά πρωτοβουλιών και δραστηριοτήτων:

Ενημέρωση κι ευαισθητοποίηση των πολιτών και των επαγγελματιών για την προώθηση της ανακύκλωσης χαρτιού κυρίως για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος και μείωσης των απορριμμάτων. Χρειάζεται να περιορισθούν οι προσδοκίες για αυξημένα έσοδα από την διάθεση μίας ποσότητας χαρτιού για ανακύκλωση, μια και υπάρχει σημαντικό κόστος για αυτόν (συνήθως έμπορος παλαιού χάρτου) που θα πάει να την παραλάβει, να τη φορτώσει, να τη μεταφέρει σε μία αποθήκη για διαχωρισμό των ποιοτήτων του χαρτιού και τέλος να την μεταφορτώσει για να την παραδώσει στη χαρτοβιομηχανία για ανακύκλωση. Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης, ενώ καταβάλουν μεγάλο κόστος για τη συλλογή και διάθεση στις χωματερές των απορριμμάτων (20.000, 40.000 έως 70.000 δρχ. ο τόνος), προσδοκούν μεγάλα κέρδη από τη συλλογή κι ανακύκλωση του χαρτιού.

Συχνά δεν προχωρούν σε οργανωμένα προγράμματα ανακύκλωσης με τη δικαιολογία ότι η ανακύκλωση κοστίζει. Μα η συλλογή χαρτιού ως σκουπίδι δεν κοστίζει και μάλιστα πολύ περισσότερο. Είναι τυχαίο ότι στις περισσότερες χώρες οι Ο.Τ.Α. επιδοτούν με ένα ποσοστό- αναλογικά μικρότερο από το κόστος συλλογής αντίστοιχης ποσότητας ως απόρριμμα – τη συλλογή χαρτιού για ανακύκλωση πετυχαίνοντας και μείωση των απορριμμάτων και μείωση των δαπανών τους για τη διάθεση των απορριμμάτων τους;

Εκσυγχρονισμός των χαρτοβιομηχανιών με στόχο την αναβάθμιση της ποιότητας των ανακυκλωμένων χαρτιών και βελτίωση της δυνατότητας απορρόφησης μεγαλύτερων ποσοτήτων χρησιμοποιημένου χαρτιού. Αν η ελληνική χαρτοβιομηχανία δεν προλάβει να προωθήσει έγκαιρα τις αναγκαίες επενδύσεις θα χάσει όχι μόνο άλλες αγορές αλλά και την ίδια την ελληνική αγορά.

Σημαντική αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένων χαρτιών από τους πολίτες, τις δημόσιες υπηρεσίες, τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης έτσι ώστε τα χαρτιά που συλλέγονται για ανακύκλωση να ξανά καταλήγουν πραγματικά στην παραγωγή κι όχι να αποθηκεύονται και να καταλήγουν στις χωματερές και να πηγαίνει άδικα ο κόπος των πολιτών. Η αύξηση της κατανάλωσης ανακυκλωμένου χαρτιού θα διευκολύνει τις χαρτοβιομηχανίες να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν επενδυτικά προγράμματα για την ανακύκλωση.

Προώθηση ολοκληρωμένου νομοθετικού πλαισίου και εθνικής πολιτικής για την ανακύκλωση χαρτιού στα επόμενα χρόνια που θα μπορούσε να ξεπεράσει το 60-65% της κατανάλωσης χαρτιού. Η πολιτική αυτή πρέπει να προβλέπει και οικονομικά εργαλεία για την επιτυχία της.

Νέες σχέσεις συνεργασίας κι όχι ανταγωνισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων. Η εμπειρία δείχνει ότι όπου επεκράτησαν συγκεκριμένοι ρόλοι για κάθε φορέα τότε η ανακύκλωση αυξήθηκε κατακόρυφα. Οι χαρτοβιομηχανίες δεν ανταγωνίζονται τους εμπόρους παλαιού χάρτου που συλλέγουν χαρτί στην πηγή, αντίθετα συνεργάζονται μαζί τους. Χαρτοβιομηχανίες και έμποροι παλαιού χάρτου έχουν κοινή πολιτική στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α.

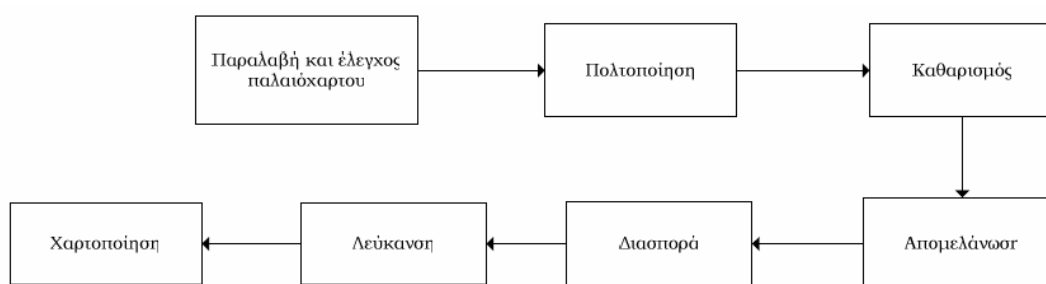
Διοργάνωση σεμιναρίων από τη βιομηχανία προς τους εμπόρους παλαιού χάρτου και τους φορείς που ασχολούνται με τη συλλογή χρησιμοποιημένου χαρτιού για την ειδική εκπαίδευσή τους – από χημικούς παραγωγής – σε σχέση με τις ποιότητες του χρησιμοποιημένου χαρτιού και τα προϊόντα που παράγονται από κάθε ποιότητα στις ελληνικές χαρτοβιομηχανίες, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων, να μειωθούν οι τριβές μεταξύ βιομηχανιών και εμπόρων παλαιού χάρτου και να επιτευχθούν πιο εύκολα οι στόχοι για τυποποίηση ISO 9000.

Η μη επίλυση όλων των προαναφερθέντων με τρόπο δυναμικό και μόνιμο, θα συμβάλλει αρνητικά και οδυνηρά στη συγκέντρωση παλαιού χάρτου, τη στιγμή που οι ελληνικές χαρτοβιομηχανίες προσανατολίζονται στον εκσυγχρονισμό του μηχανολογικού και εν γένει εξοπλισμού τους, για να μπορούν ακριβώς να χρησιμοποιούν περισσότερο ανακυκλωμένη πρώτη ύλη, σε αντικατάσταση της χαρτομάζας, που έχει αναμφισβήτητα υψηλότερο κόστος.

#### 4.5 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ

Η διαδικασία ανακύκλωσης του παλαιόχαρτου περιλαμβάνει ένα σύνολο χημικών και μηχανικών διεργασιών που αποσκοπούν στην παραγωγή ενός αιωρήματος ινών, απαλλαγμένων από ανεπιθύμητες ακαθαρσίες και προσμίξεις, το οποίο θα επαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαρτιού. Η ποιότητα του παραγόμενου δευτερογενούς χαρτιού εξαρτάται από το βαθμό απομάκρυνσης των ακαθαρσιών και από την εφαρμογή διεργασιών βελτίωσης των ιδιοτήτων της δευτερογενούς χαρτομάζας.

Η διαδικασία ανακύκλωσης αποτελείται από επτά βασικά στάδια, τα οποία απεικονίζονται συνοπτικά στο ακόλουθο σχήμα και αναλύονται στις επόμενες παραγράφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη καθαρότητα του τελικού προϊόντος, τόσο μεγαλύτερο αριθμό σταδίων περιλαμβάνει η διαδικασία ανακύκλωσης.



Σχήμα 4.2 Τα βασικά στάδια της διαδικασίας ανακύκλωσης του χαρτιού [5].

Αρχικά, γίνεται παραλαβή και μακροσκοπικός έλεγχος της χαρτομάζας, ώστε να απορριφθούν ανεπιθύμητα υλικά και ορισμένα είδη παλαιόχαρτου, τα οποία εκτιμάται ότι θα προκαλέσουν προβλήματα στη λειτουργία της μονάδας.

Τα είδη του παλαιόχαρτου που απορρίπτονται εξαρτώνται από τις επιθυμητές ιδιότητες του προϊόντος, τον εξοπλισμό και τις διεργασίες καθαρισμού που διαθέτει η μονάδα. Μπορεί να περιλαμβάνουν χαρτιά που περιέχουν άσφαλτο, ρητίνες αύξησης της υγρής αντοχής, κόλλες, σωματίδια θερμής τήξης, κηρούς, μεταλλικά μελάνια, βαφές κ.ά.

#### 4.5.1 Πολτοποίηση

Η πρώτη και, σε κάθε περίπτωση, απαραίτητη διαδικασία που υφίσταται κάθε είδος παλαιόχαρτο κατά την ανακύκλωσή του είναι η πολτοποίησή του (ή, αλλιώς, ινοποίησή του), δηλαδή η μετατροπή του σε ένα υδατικό αιώρημα ελεύθερων ινών. Αυτό το αιώρημα μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί και πάλι σε χαρτί, είτε αμέσως, είτε αφού υποστεί κάποια άλλη διαδικασία (π.χ. καθαρισμό, απομελάνωση, λεύκανση, κ.τ.λ.).

Κατά την πολτοποίηση αξιοποιείται η μηχανική και η θερμική ενέργεια, καθώς και η δράση διαφόρων αντιδραστηρίων. Σε γενικές γραμμές είναι μία απλή διαδικασία κατά την οποία προστίθεται μεγάλη ποσότητα νερού και εφαρμόζεται ανάδευση. Κατά τη διαβροχή του χαρτιού αίρονται οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των ινών και δημιουργούνται νέοι μεταξύ κάθε ίνας και των μορίων του νερού. Οι ίνες ενυδατούνται με αποτέλεσμα να προκαλείται αύξηση της ευκαμψίας τους και διόγκωσή τους σε ποσοστό που φθάνει το 56%. Οι ενυδατωμένες ίνες περιβάλλονται πλέον από μόρια νερού και η εφαρμογή της μηχανικής ενέργειας προκαλεί την απελευθέρωσή τους από τον επίπεδο ιστό του χαρτιού και την μετατροπή τους σε ένα υδατικό αιώρημα ελεύθερων ινών, χωρίς την μηχανική καταπόνησή τους. Παραδείγματος χάρη, για χαρτιά που δεν περιέχουν πρόσθετα αύξησης των μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσής τους, η ενυδάτωση των ινών προκαλεί μείωση των δυνάμεων συνοχής αυτών κατά 85-98%.

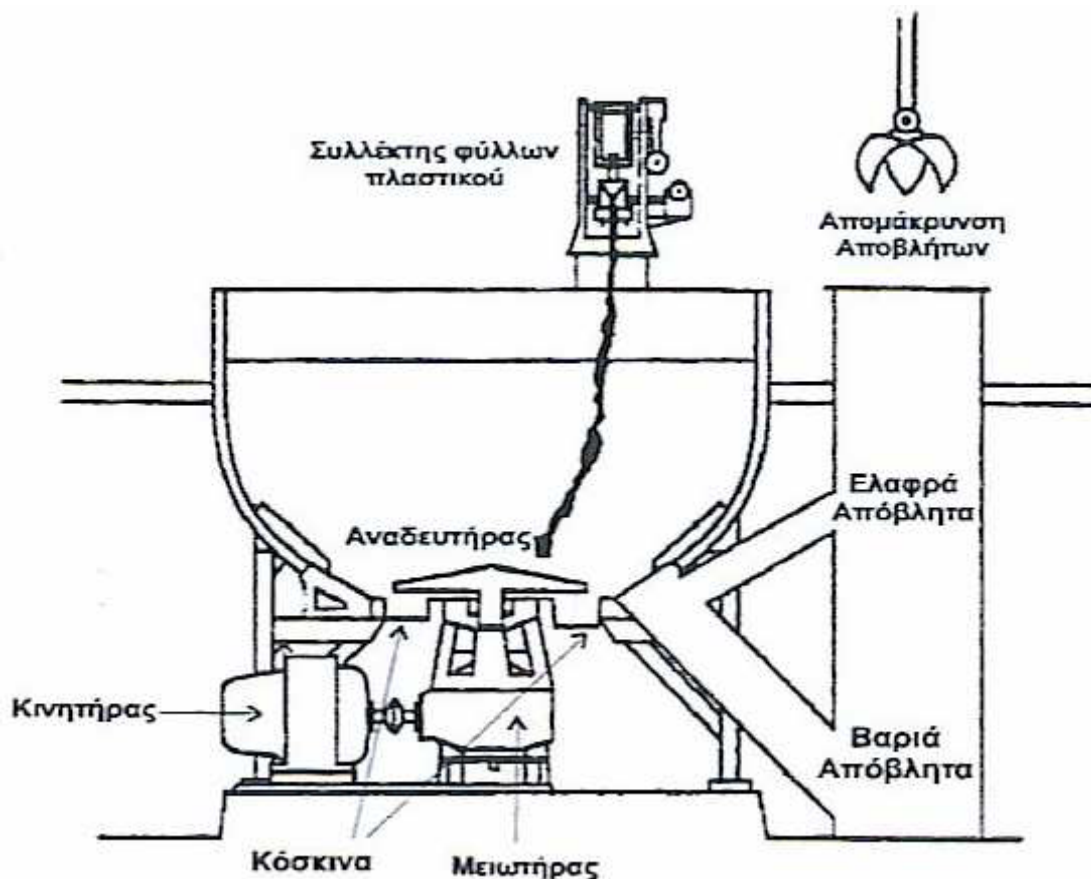
Όταν όμως στο χαρτί υπάρχουν πρόσθετα για βελτίωση της συνοχής των ινών ή επικαλύψεις, οι οποίες περιέχουν ρητίνες ή κόλλες, τότε η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται αρκετά δύσκολα (και συνήθως συνοδεύεται από έντονη μηχανική καταπόνηση των ινών), γιατί οι ουσίες αυτές παρεμποδίζουν τη διαβροχή των ινών και αυξάνουν την συνοχή τους. Αυτό δικαιολογείται απ' το ότι στην περίπτωση αυτή η ενυδάτωση των ινών προκαλεί μείωση των δυνάμεων συνοχής τους σε ποσοστό μικρότερο από 60-80%.

Οι πολτοποιητές, οι διατάξεις, δηλαδή, στις οποίες πραγματοποιείται το συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας, συνήθως είναι ανοικτές και διαχωρίζονται αναλόγως της περιεκτικότητας λειτουργίας τους και αναλόγως του αν είναι συνεχούς λειτουργίας ή όχι. Έτσι διακρίνουμε τους πολτοποιητές χαμηλής περιεκτικότητας (3-6% κ.β. στερεών), τους πολτοποιητές μέσης περιεκτικότητας (6-12% κ.β.



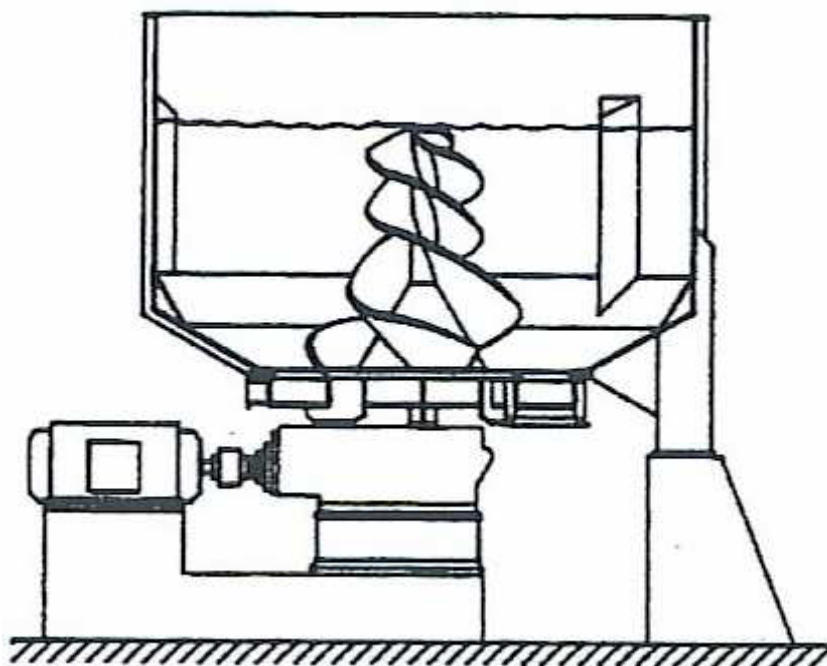
στερεών) και τους πολτοποιητές υψηλής περιεκτικότητας (12-18% κ.β. στερεών). Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται, συνήθως, στην παραγωγή ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού και χαρτιού υγιεινής και καθαριότητας και οι υπόλοιποι σε μονάδες απομελάνωσης χαρτιών γραφής και εκτύπωσης. Οι υψηλής περιεκτικότητας πολτοποιητές επιφέρουν την κατάτμηση των περιεχόμενων, στο χαρτί, ξένων σωμάτων, γεγονός που, γενικά, διευκολύνει την απομάκρυνσή τους μέσω των επακόλουθων διεργασιών καθαρισμού.

Σημειώνεται πως τελευταία (από τις αρχές τις δεκαετίας του '90) έχουν εισαχθεί και τα εκρηκτικά συστήματα πολτοποίησης ("explosion pulping systems"), τα οποία αποτελούν υψηλής απόδοσης συστήματα τα οποία λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (180-210°C) και πιέσεις. Η απότομη εκτόνωση που λαμβάνει χώρα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού υψηλής ενθαλπίας ο οποίος επιφέρει την αποϊνώση του χαρτιού.



Σχήμα 4.3 Σκαρίφημα πολτοποιητή χαμηλής περιεκτικότητας [5].

Επειδή η ρευστότητα και η συνεκτικότητα του μίγματος μεταβάλλονται πολύ όταν η περιεκτικότητα αυξάνεται από 3 έως 18%, ο τρόπος ανάδευσης των πολτοποιητών που λειτουργούν σε χαμηλή περιεκτικότητα διαφέρει ριζικά από αυτόν των πολτοποιητών που λειτουργούν σε υψηλή περιεκτικότητα. Στην πρώτη περίπτωση ο αναδευτήρας έχει τη μορφή οριζόντιου δίσκου με επιφανειακές ανωμαλίες ο οποίος βρίσκεται στον πυθμένα του πολτοποιητή (Σχήμα 4.3). Στη δεύτερη περίπτωση έχει τη μορφή κοχλία με μεγάλα πτερύγια, που περιστρέφεται γύρω από σταθερό κατακόρυφο άξονα (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Σκαρίφημα πολτοποιητή υψηλής περιεκτικότητας [5].

Παραδοσιακά, οι πολτοποιητές ασυνεχούς λειτουργίας (ή, διαφορετικά, κατά παρτίδες) χρησιμοποιούνται για περιεκτικότητα αιωρήματος κοντά στο 6%. Το πλεονέκτημα της ασυνεχούς λειτουργίας είναι ότι ο χρόνος πολτοποίησης ποικίλλει, έως ότου εξασφαλιστεί ολοκληρωτικά ο διαχωρισμός των ινών. Επιπλέον, ο βαθμός ινοποίησης είναι περισσότερο ομοιόμορφος και το μίγμα που λαμβάνεται στο τέλος της διεργασίας ομοιογενές. Το κύριο μειονέκτημα είναι το μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης, καθώς οι πολτοποιητές ασυνεχούς λειτουργίας απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια από τους πολτοποιητές συνεχούς λειτουργίας για την ίδια ποσότητα τροφοδοσίας.

Συγκεκριμένα οι πολτοποιητές συνεχούς λειτουργίας έχουν λιγότερο από το μισό όγκο από τους πολτοποιητές ασυνεχούς λειτουργίας. Αυτό κυρίως οφείλεται στο μικρότερο χρόνο παραμονής του αιωρήματος στον πολτοποιητή συνεχούς λειτουργίας. Επίσης, στους εν λόγω πολτοποιητές έχουμε μικρότερες απαιτήσεις σε εξοπλισμό σωληνώσεων, αντλιών και βοηθητικών δεξαμενών.

Ορισμένοι πολτοποιητές (όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 15), και κυρίως αυτοί που λειτουργούν ασυνεχώς, είναι εφοδιασμένοι με συστήματα απομάκρυνσης των ογκωδών ακαθαρσιών και ξένων σωμάτων (π.χ. φύλλων πλαστικών, καρφιών, συρμάτων, κ.τ.λ.), καθώς και χαρτιών που δεν μπορούν να ινοποιηθούν (π.χ. πλαστικοποιημένου χαρτιού, χαρτιών και χαρτονιών τα οποία έχουν υποστεί κατεργασία με ρητίνες που δεν επιτρέπουν την ινοποίησή τους κ.ά.). Τα εν λόγω συστήματα αποτελούνται, συνήθως, από μακρά αλυσίδα (ή σύρμα σχετικά μεγάλης διαμέτρου) η οποία βρίσκεται εντός του αιωρήματος και συλλέγει τα μεγάλα ξένα σώματα. Η αλυσίδα αυτή σηκώνεται με αργό ρυθμό (περίπου κατά ένα μέτρο ανά μερικές ώρες) από το αιώρημα ινών ούτως ώστε να παρέλθει το κατάλληλο χρονικό διάστημα για την αποτελεσματική συλλογή των ξένων σωμάτων.

Σε μερικές περιπτώσεις η λειτουργία του αναδευτήρα του πολτοποιητή δεν αρχίζει αμέσως μετά την προσθήκη του παλαιόχαρτου. Το παλαιόχαρτο αφήνεται να διαβραχεί και να μαλακώσει μέσα στο θερμό νερό για χρονικό διάστημα από 15 λεπτά έως μερικές ώρες. Το εν λόγω χρονικό διάστημα εξαρτάται από το είδος του παλαιόχαρτου, τις ακολουθούμενες μεθόδους επεξεργασίας και την επιθυμητή ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η έναρξη της ανάδευσης ενώ τα παλιόχαρτα δεν έχουν ακόμη διαβραχεί, μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να προκαλέσει έντονη μηχανική καταπόνηση και θραύση των φυτικών ινών και κατ' επέκταση την μείωση της μηχανικής αντοχής του προϊόντος. Στη σημερινή πρακτική, η προαναφερθείσα χρονοβόρος διαδικασία είναι μάλλον σπάνια.

Η διόγκωση των ινών, η οποία αποτελεί αναγκαία συνθήκη για μία αποτελεσματική πολτοποίηση, υποβοηθείται με την αύξηση της τιμής του pH. Για το λόγο αυτό, πολύ συχνά η πολτοποίηση πραγματοποιείται σε αλκαλικό περιβάλλον. Τυπικά προστίθεται καυστικό νάτριο σε ποσότητα 0,8-1,5% (κ.β. επί ξηρού παλαιόχαρτου). Η πολτοποίηση των εφημερίδων και των περιοδικών πραγματοποιείται σε τιμές pH από 8 έως 10.

Η πολτοποίηση των χαρτιών γραφής και εκτύπωσης πραγματοποιείται είτε σε υψηλότερες τιμές pH (10-11) είτε σε χαμηλότερες (7-8). Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη συστημάτων ουδέτερης πολτοποίησης, η οποία παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μείωσης του κόστους των χημικών αντιδραστηρίων

(περίπου κατά 2-5 \$ ανά τόνο χαρτιού) μέσω της ελαχιστοποίησης της χρήσης καυστικού νατρίου, υπεροξειδίου του υδρογόνου, χηλικών αντιδραστηρίων, βιοκτόνων και μεταπυριτικού νατρίου (υδρύαλου), τα οποία συχνά χρησιμοποιούνται κατά την αλκαλική πολτοποίηση.

Οι υψηλές τιμές του pH επιφέρουν το κιτρίνισμα του πολτού που περιέχει λιγνίνη (αυτού δηλαδή που προέρχεται από μηχανική ή θερμομηχανική χαρτόμαζα). Για την άμβλυνση του φαινομένου αυτού προστίθενται λευκαντικές ενώσεις, συνηθέστερη εκ των οποίων αποτελεί το υπεροξείδιο του υδρογόνου. Το τελευταίο προστίθεται σε ποσοστό μέχρι 2% κ.β. επί ξηρού παλαιόχαρτου. Χηλικά αντιδραστήρια προστίθενται με στόχο την παρεμπόδιση της αποδόμησης του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Τα περισσότερο συνήθη είναι το μεταπυριτικό νάτριο, το EDTA και το DTPA. Αμφότερες οι δύο τελευταίες ενώσεις προστίθενται σε ποσοστό από 0,15 έως 0,4% κ.β. επί ξηρού παλαιόχαρτου. Το μεταπυριτικό νάτριο, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της τιμής του pH, προστίθεται σε ποσοστό 1 έως 3% κ.β. επί ξηρού παλαιόχαρτου.

Ενεργές επιφανειακά ουσίες (αλλιώς, τασιενεργές ουσίες ή επιφανειοδραστικές ουσίες) προστίθενται στον πολτοποιητή με στόχο την αποκόλληση των μελανιών από τις ίνες και τη διατήρησή τους σε διασπορά μέσα στο αιώρημα ινών. Η προστιθέμενη ποσότητα αυτών κυμαίνεται από 0,25 έως 1,5% κ.β. επί ξηρού παλαιόχαρτου. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιείται σημαντική έρευνα για την αξιοποίηση ενζύμων για το συγκεκριμένο σκοπό. Περισσότερα για τη δράση των χημικών αντιδραστηρίων που αφορούν στην απομελάνωση του παλαιόχαρτου παρατίθενται ακολούθως στο σχετικό εδάφιο.

Η θερμοκρασία της πολτοποίησης κυμαίνεται συνήθως από 40 έως 55°C και ο χρονική διάρκεια αυτής από 4 έως 60 min. Κατά κανόνα η διαδικασία της πολτοποίησης διευκολύνεται και επιταχύνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Στους 21°C ο πλήρης διαχωρισμός των ινών, μέσω της πολτοποίησης, πραγματοποιείται σε 40 min, ενώ στους 66°C σε 12 min. Καθώς, συνήθως τα δοχεία όπου διεξάγεται η ινοποίηση είναι ανοικτά, η θερμοκρασία λειτουργίας τους δεν μπορεί να ξεπεράσει τους 100°C. Η χημική σύσταση του παλαιόχαρτου είναι αυτή που συνήθως καθορίζει τη θερμοκρασία πολτοποίησης. Όταν το παλαιόχαρτο δεν περιέχει μηχανική χαρτόμαζα, τότε η θερμοκρασία μπορεί να φθάσει στους 80°C. Η πολτοποίηση της μηχανικής χαρτόμαζας γίνεται συνήθως σε χαμηλότερη θερμοκρασία, 30 έως 40°C, γιατί σε υψηλότερη έχει την τάση να αποκτά γρήγορα καστανό χρώμα.

Η πολτοποίηση που πραγματοποιείται σε ήπιες συνθήκες διατηρεί τα κολλώδη ξένα σώματα σε σχετικά μεγάλο μέγεθος, γεγονός που επιτρέπει την μετέπειτα απομάκρυνση τους μέσω κοσκίνων και υδροκυκλώνων. Παραδείγματος χάρη, η κηροί συνιστούν συνήθεις

ανεπιθύμητες ξένες ύλες που καλείται να διαχειριστεί μία μονάδα που ανακυκλώνει παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια. Η πολτοποίηση αυτών σε θερμοκρασία μικρότερη από τους 50°C διασφαλίζει την μη τήξη αυτών, γεγονός που θα δυσχέραινε την μετέπειτα απομάκρυνσή τους με τις διατάξεις που προαναφέρθηκαν.

Μία άλλη τεχνική για την μείωση των προβλημάτων που προκαλούνται από τα κολλώδη υλικά είναι η χρήση προσθέτων που μειώνουν την ικανότητά των υλικών αυτών να κολλούν. Μέσω αυτών αποτρέπεται η μετέπειτα συσσωμάτωσή τους και η προσκόλλησή τους στην επιφάνεια της χαρτοποιητικής μηχανής. Το συνηθέστερο πρόσθετο που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι ο τάλκης. Σπανιότερα χρησιμοποιούνται και μερικά συμπολυμερή.

Χημικά αντιδραστήρια, γνωστά ως διασπορείς, προστίθενται στον πολτοποιητή με σκοπό τη σταθεροποίηση των κολλωδών υλικών σε κολλοειδή διασπορά. διατηρώντας, λοιπόν, τα υλικά αυτά σε μικρό μέγεθος μειώνονται τα προβλήματα από την απόθεσή τους στη χαρτοποιητική μηχανή καθώς, επίσης, ελαχιστοποιείται η υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Μεταξύ των χημικών αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι οι αιθοξυλιωμένες λιπαρές αλκοόλες.

#### **4.5.2 Καθαρισμός δευτερογενούς χαρτομάζας**

Στην τροφοδοσία κάθε μονάδας ανακύκλωσης χαρτιού περιέχονται εκτός από τα χαρτιά πολλές ανεπιθύμητες προσμίξεις (contaminants) και ξένα σώματα, όπως άμμος, χώματα, μέταλλα, πλαστικά, κόλλες κ.ά. Τα άχρηστα υλικά που περιέχει το παλαιόχαρτο κατά την παραλαβή του από τη χαρτοβιομηχανία είναι κατά μέσο όρο 1,5-2,5% κ.β. (σύμφωνα με στοιχεία της INGEDE29 που αφορούσαν στην περίοδο από τον Ιανουάριο του 2001 έως τον Ιούλιο του 2002), ενώ η μέγιστες τιμές κυμαίνονται από 5 έως 9%. Επειδή τα υλικά αυτά δημιουργούν σημαντικά προβλήματα κατά τη χαρτοποίηση, πρέπει να απομακρυνθούν από το αιώρημα των ινών. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα, αδιάλυτα ή μέτρια διαλυτά στο νερό. Το μέγεθος, η πυκνότητα, το σχήμα και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά (π.χ. υδροφιλικότητα), τους (τα οποία καθορίζουν και τις μεθόδους απομάκρυνσής τους) παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται το ειδικό βάρος και το μέγεθος σωματιδίων των κυριότερων ακαθαρσιών που μπορεί περιέχει το παλαιόχαρτο. Ανάλογα με τη φύση του παλαιόχαρτου και τις συνθήκες της πολτοποίησης, το πολτοποιημένο υλικό μπορεί επίσης να περιέχει απολτοποίητα κομμάτια δύσκολα πολτοποιήσιμου χαρτιού (π.χ. όταν περιέχονται κιτρινισμένες από τον ήλιο εφημερίδες, χαρτιά που περιέχουν ρητίνες κ.ά.). Η παρουσία των ακαθαρσιών στην

ανακυκλωμένη χαρτόμαζα και η αλληλεπίδρασή τους με τις ίνες κατά τη διάρκεια των διεργασιών (πολτοποίησης, χαρτοποίησης κ.ά.), δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού (φθορές, διαβρώσεις, δυσοσμίες, αφρισμό κ.ά.), μειώνει το ρυθμό παραγωγής της χαρτοποιητικής μηχανής, αυξάνει την ανομοιογένεια της χαρτομάζας, δημιουργεί αποφράξεις και εναποθέσεις σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης, υποβαθμίζει την εμφάνιση και τις ιδιότητες του παραγόμενου χαρτιού.

Οι συνηθέστερες διατάξεις απομάκρυνσης των σωμάτων αυτών είναι οι υδροκυκλώνες υψηλής πυκνότητας και τα κόσκινα. Το καθάρισμα μέσω των υδροκυκλώνων υψηλής πυκνότητας αποτελεί συνήθως το πρώτο βήμα μετά την πολτοποίηση. Η λειτουργία αυτών στηρίζεται στην περιστροφική κίνηση του αιωρήματος και στο διαχωρισμό των ανεπιθύμητων σωμάτων λόγω της διαφορετικών φυγόκεντρων δυνάμεων που ασκούνται στα σωματίδια του αιωρήματος. Μέσω των διατάξεων αυτών απομακρύνονται τα σωματίδια που έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος και παρουσιάζουν μεγάλες τιμές πυκνότητας, όπως οι πέτρες, τα μεταλλικά σώματα (καρφιά, συνδετήρες) και αρκετά ακόμη υλικά που περιέχονται στο παλαιόχαρτο. Έτσι, οι φυγόκεντρες δυνάμεις διαχωρίζουν τις μικρότερης πυκνότητας ίνες από τα εν λόγω βαρύτερα σώματα. Οι υδροκυκλώνες αυτού του τύπου λειτουργούν με αιώρημα περιεκτικότητας σε ξηρό παλαιόχαρτο από 2 έως 5% κ.β.

Υπάρχουν και υδροκυκλώνες μέσης πυκνότητας (με περιεκτικότητα αιωρήματος σε ξηρό παλαιόχαρτο μέχρι 2% κ.β.) και χαμηλής πυκνότητας (με περιεκτικότητα αιωρήματος σε ξηρό παλαιόχαρτο από 0,5 έως 1,5% κ.β.). Αυτοί προτιμώνται για την απομάκρυνση ελαφρύτερων ανεπιθύμητων συστατικών όπως είναι οι κηροί και τα πολυμερή υλικά.

Το κοσκίνισμα αποτελεί μία μέθοδο απομάκρυνσης των στερεών σωμάτων που διαφέρουν από τις ίνες ως προς το μέγεθος και το σχήμα τους αλλά και την ικανότητα μεταβολής των εν λόγω χαρακτηριστικών. Σ' αυτά τα σώματα περιλαμβάνονται στερεά ξένα υλικά και συσσωματώματα ινών που δεν έχουν καταφέρει να διαχωριστούν κατά το πέρας της πολτοποίησης. Βάσει της συγκεκριμένης μεθόδου το αιώρημα ινών (μαζί με τις προσμίξεις που περιέχει) διέρχεται από κόσκινα που αποτελούνται είτε από μικρές οπές

είτε από επιμήκη ανοίγματα (σχισμές). Συχνά, οι εν λόγω διατάξεις είναι εφοδιασμένες με περιστρεφόμενο στροφέιο (το οποίο είναι εγκαταστημένο σε μικρή απόσταση από το κόσκινο), το οποίο έχει ως στόχο τη διευκόλυνση της διέλευσης του αιωρήματος από το κόσκινο. Η διάμετρος των οπών ή το μήκος της μικρότερης διάστασης των επιμηκών ανοιγμάτων θα πρέπει να είναι κατάλληλου μεγέθους ούτως ώστε μόνο οι ίνες να μπορούν να διέλθουν διαμέσου αυτών. Συνήθως η διάμετρος των



οπών κυμαίνεται από 6 έως 20 mm και μερικές φορές αρκετά χαμηλότερα (2-4 mm), ενώ η μικρότερη διάσταση των επιμηκών ανοιγμάτων από 0,15 έως 0,3 mm. Τα τρισδιάστατα σωματίδια συγκρατούνται αποτελεσματικότερα από τις οπές ενώ τα μονοδιάστατα και τα δισδιάστατα από τα επιμήκη ανοίγματα. Στο μίγμα των ακαθαρσιών που συγκρατούνται από τα κόσκινα περιέχονται συχνά μεγάλες ποσότητες ινών. Για το λόγο αυτό το συγκεκριμένο μίγμα υπόκειται σε ένα δευτερεύον κοσκίνισμα, ούτως ώστε τμήμα των περιεχόμενων ινών να ανακτάται.

#### 4.5.3 Απομελάνωση

Όταν μέσω της ανακύκλωσης στόχος είναι η παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, άρα και υψηλής αξίας, θα πρέπει, όπως ήδη αναφέρθηκε, να λάβουν χώρα διεργασίες που θα αναβαθμίσουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παλαιόχαρτου. Σημαντικό τμήμα των διεργασιών αυτών συνιστούν εκείνες που εστιάζουν στην απομάκρυνση των συστατικών εκείνων που χαρακτηρίζονται ως ρύποι (λαμβάνοντας υπ' όψη τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος) του παλαιόχαρτου. Μεταξύ των συστατικών αυτών περίοπτη θέση κατέχουν τα μελάνια και οι μέθοδοι απομάκρυνσής τους είναι γνωστές ως μέθοδοι απομελάνωσης (deinking).

Παγκοσμίως αλλά και στην Ευρώπη η απομελάνωση χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού, καθώς άνω του 55-65% αυτού προέρχεται από απομελανωμένο πολτό. Ακολουθούν τα χαρτιά υγιεινής και καθαριότητας τα οποία παράγονται κατά 15 έως 20% από απομελανωμένες ίνες, και μετά τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης που το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται περίπου στο 12%. Στην Ευρώπη υπάρχει ένα ακόμη είδος χαρτιών που συνήθως απομελανώνονται, εκείνα που συνήθως αποκαλούνται γραφικά χαρτιά κατάλληλα για απομελάνωση. Αυτά περιέχουν μηχανική χαρτομάζα και συνήθως αποτελούν οικιακά απορρίμματα. Το μελάνι, συνήθως, αποτελεί το 0,5 με 2% της μάζας του παλαιοχάρτου που οδηγείται για απομελάνωση.

Στην Αμερική λιγότερο από το 20% των ανακτημένων ινών υπόκειντο σε απομελάνωση κατά τα μέσα της δεκαετίας του '90. Αλλά το υψηλό κόστος των παρθένων πρώτων υλών παράλληλα με τις νομοθεσίες πολλών πολιτειών, σύμφωνα με τις οποίες επιβάλλεται η υποχρεωτική χρήση ανακυκλωμένων ινών στην παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού (κυρίως με στόχο τη μείωση της ποσότητας των αστικών στερεών απορριμμάτων που οδηγούνται στους χώρους ταφής απορριμμάτων), οδήγησε σε αλλαγή αυτής της κατάστασης.

Η απομελάνωση είναι μία διεργασία δύο βασικών σταδίων: στο πρώτο στάδιο λαμβάνει χώρα η αποκόλληση των μελανιών από τις ίνες και τα πληρωτικά υλικά του χαρτιού και στο δεύτερο στάδιο ο διαχωρισμός των μελανιών από τις ίνες και τα πληρωτικά. Η απομελάνωση συνίσταται στα ακόλουθα κρίσιμα στάδια:

- 1) στην αποκόλληση μελανιού από τις ίνες,
- 2) στην κατάλληλη ρύθμιση του μεγέθους και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των σωματιδίων μελανιών έτσι ώστε αυτά να καταστούν ευκόλως διαχώρισμα από το αιώρημα ινών βάσει των υφιστάμενων, διαθέσιμων διεργασιών απομελάνωσης,
- 3) στο διαχωρισμό των διασκορπισμένων σωματιδίων μελανιού από τις ίνες, και
- 4) στον καθαρισμό και στην ανακύκλωση του νερού των διεργασιών απομελάνωσης.

Οι κυριότερες μέθοδοι απομελάνωσης είναι η έκπλυση, η επίπλευση, η φυγοκέντριση και το κοσκίνισμα. Αυτές διαφοροποιούνται ως προς τις αρχές λειτουργίας τους και, συνεπώς, ως προς την αποτελεσματικότητά τους να απομακρύνουν μελάνια συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5 Αποτελεσματικότητα των μεθόδων απομελάνωσης ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων μελανιού [5].

#### Η έκπλυση

Η έκπλυση είναι η παλαιότερη μέθοδος απομάκρυνσης μελανιού. Είναι αποτελεσματική για την απομάκρυνση σωματιδίων μεγέθους από 3 έως 25 μm, με βέλτιστο εύρος 5-15 μm. Για να γίνει πιο κατανοητό το συγκεκριμένο μέγεθος, αρκεί να αναφέρουμε πως ο άνθρωπος δια

γυμνού οφθαλμού μπορεί να διακρίνει οντότητες (στην περίπτωσή μας, σωματίδια μελανιού) μεγαλύτερες από 40-60  $\mu\text{m}$ , αναλόγως, φυσικά, και της ικανότητας όρασης. Όταν, λοιπόν, τα μελάνια έχουν μέγεθος μικρότερο από το προαναφερθέν καθίστανται αόρατα και αν υπάρχουν πάνω σε ένα φύλλο χαρτιού τότε του προσδίδουν μία γκριζα απόχρωση. Όταν όμως είναι μεγαλύτερα απ' αυτό το μέγεθος (40-60  $\mu\text{m}$ ) διακρίνονται ως κηλίδες πάνω στο χαρτί. Συνεπώς και στις δύο περιπτώσεις έχουμε υποβάθμιση (όμως διαφορετικού είδους) των οπτικών χαρακτηριστικών του χαρτιού.

Η έκπλυση, λοιπόν, είναι αποτελεσματική για την απομάκρυνση πολύ μικρών σωματιδίων, όπως, για παράδειγμα, τα μελάνια offset που περιέχονται στις εφημερίδες. Οι διατάξεις των συγκεκριμένων μεθόδων αποτελούνται από ένα κελί που στην περιφέρειά του έχει πλέγμα συγκεκριμένης διαμέτρου οπών. Το αιώρημα των ινών τίθεται στο κελί της έκπλυσης και με συνεχή τροφοδοσία νερού τα μελάνια απομακρύνονται μέσω των οπών του πλέγματος ενώ οι ίνες παραμένουν εντός του κελιού. Είναι λογικό πως η διάμετρος των οπών καθορίζει το κλάσμα των σωμάτων που θα απομακρυνθεί. Αν αυτή είναι πολύ μεγάλη τότε αυξάνει η ποσότητα των ινών που απομακρύνεται<sup>32</sup> (γεγονός που είναι ανεπιθύμητο) ενώ αν είναι πολύ μικρή τότε μειώνεται η αντίστοιχη ποσότητα των μελανιών. Και στις δύο περιπτώσεις, όμως, θα απομακρυνθούν σημαντικές ποσότητες τέφρας (γεγονός που είναι επιθυμητό κατά περίπτωση).

Τα χημικά αντιδραστήρια που προστίθενται στην έκπλυση έχουν ως κύριο στόχο να αυξήσουν τον υδρόφιλο χαρακτήρα των μελανιών ώστε να διευκολυνθεί η απομάκρυνσή τους. Οι επιφανειακά ενεργές ουσίες είναι αυτές που κυρίως προστίθενται για να διατελέσουν τη συγκεκριμένη λειτουργία. Στις απλούστερες από αυτές περιλαμβάνονται οι σάπωνες. Βέβαια υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος αντιδραστηρίων που συμβάλλουν θετικά και ποικιλοτρόπως στην αποτελεσματικότητα της έκπλυσης. Μεταξύ αυτών τα κυριότερα είναι το καυστικό νάτριο, η υδρύαλος, το υπεροξειδίο του υδρογόνου και αρκετά ακόμη. Πλήθος ερευνών έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με το ρόλο και τη δράση των συγκεκριμένων ουσιών. Μία τέτοια περιγραφή στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας θα ήταν, κατά κάποιον τρόπο, περιττή και σίγουρα ελλιπή.

Τέλος, θα μπορούσαμε να πούμε (με στόχο να κατανοηθεί πληρέστερα η λειτουργία της συγκεκριμένης μεθόδου) πως η έκπλυση παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες, ως προς τις αρχές της λειτουργίας της, με το πλύσιμο των ρούχων, ειδικότερα αν λάβουμε υπόψη την περίπτωση του πλυντηρίου. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων εστιάζεται στο ότι στην περίπτωση των ρούχων διατηρείται

το πλέγμα (ή, αλλιώς ιστός) των ινών και δε λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός τους.

### *Η επίπλευση*

Η επίπλευση χαρακτηρίζεται ως η καρδιά της απομελάνωσης καθώς αποτελεί την μέθοδο που εφαρμόζεται πιο συχνά παγκοσμίως. Λόγω της μεγάλης σημασίας της στο σύγχρονο κλάδο της ανακύκλωσης χαρτιού θα αναφερθούμε αναλυτικότερα σ' αυτήν ακολούθως.

Παρόλο που η επίπλευση ως διεργασία απομελάνωσης στηρίχθηκε στη μέθοδο της επίπλευσης που χρησιμοποιούταν στη μεταλλουργεία, παρουσιάζει θεμελιώδεις διαφορές από την τελευταία. Στην επίπλευση που συνιστά διεργασία απομελάνωσης, το υλικό τροφοδοσίας της είναι ένα αιώρημα που αποτελείται κυρίως από τα ακόλουθα συστατικά: νερό ως φέρον μέσο (περίπου 98-99 %), ίνες, που συνιστούν το υλικό που θα πρέπει να συλλεχθεί ως καθαρό κλάσμα (1-2 %), πληρωτικά (<0,6 %), μελάνια και άλλα συστατικά που συνιστούν τους προς απομάκρυνση ρύπους (<0,15 %), και πρόσθετα συστατικά που η χρήση τους απαιτείται κατά τις συμπληρωματικές διεργασίες απομελάνωσης (<0,1 %).

Επιπροσθέτως, υπάρχουν και άλλα διαλυτά ή αδιάλυτα συστατικά στο αιώρημα, τα οποία αν και βρίσκονται σε αμελητέες ποσότητες δύνανται, ενδεχομένως, να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της επίπλευσης. Εν αντιθέσει με την επίπλευση που χρησιμοποιείται στον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων, στην επίπλευση που συνιστά μέθοδο απομελάνωσης το κλάσμα που λαμβάνεται μετά τον καθαρισμό είναι το εναπομείναν αιώρημα και όχι αφρός.

Η περιεκτικότητα του αιωρήματος στο κελί επίπλευσης κυμαίνεται, συνήθως, από 0,7 έως 1,2% κ.β. ξ.μ. Έχουν, όμως, αναφερθεί και τιμές που κυμαίνονται από 0,5 έως 2,0%. Κατά την επίπλευση, τα σωματίδια μελανιού πρέπει να παρουσιάζουν υδρόφοβο χαρακτήρα και να έχουν κατάλληλο μέγεθος και σχήμα. Για το σκοπό αυτό προστίθενται τασιενεργές ουσίες (ως επί το πλείστον κατά το στάδιο της πολτοποίησης) και, εφόσον το νερό της διεργασίας χαρακτηρίζεται ως μαλακό, ιόντα ασβεστίου<sup>34</sup>, συνήθως με τη μορφή διαλύματος  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ή και  $\text{CaCl}_2$ . Αυτό ήταν απαραίτητο ειδικά κατά τη χρήση των πρώτων τασιενεργών ουσιών που χρησιμοποιήθηκαν στην επίπλευση, τα οποία είχαν ως βάση λιπαρά οξέα.

Σ' αυτήν την περίπτωση η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή της σκληρότητας του νερού ήταν 90 ppm (ως  $\text{CaCO}_3$ ). Στην περίπτωση βέβαια των μηιονικών τασιενεργών η προσθήκη ιόντων ασβεστίου κρίνεται ως περιττή. Θα πρέπει όμως να αναφερθεί πως οι τασιενεργές ουσίες μπορεί να επιφέρουν στερική σταθεροποίηση των σωματιδίων μελανιού και αύξηση του αφρισμού στην επίπλευση και, ως εκ τούτου, μεγάλα ποσοστά απώλειας ινών μέσω φαινομένων συμπαράσυρσης.

Η επίπλευση είναι αποτελεσματική για απομάκρυνση σωματιδίων με μέγεθος 10 έως 100  $\mu\text{m}$ , με βέλτιστο εύρος μεγέθους από 30 έως 80  $\mu\text{m}$ . Κατά άλλους μελετητές το εύρος μεγέθους σωματιδίων που είναι κατάλληλα να απομακρυνθούν μέσω της επίπλευσης κυμαίνεται από 50 έως 150  $\mu\text{m}$ . Θα πρέπει όμως να σημειωθεί πως οι τιμές αυτές εξαρτώνται και από το μέγεθος των φυσαλίδων αέρα που εισάγονται στο κελί επίπλευσης.

Τα χαρακτηριστικά του εισερχόμενου, στο κελί επίπλευσης, αέρα συνιστούν έναν σημαντικό παράγοντα απομελανωσιμότητας του αιωρήματος. Γενικά θα μπορούσε να υποστηριχθεί πως όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αέρα που εισέρχεται στο κελί τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σχηματιζόμενων συσσωματωμάτων φυσαλίδων αέρα και μελανιού. Εντούτοις είναι σημαντικό να αποφεύγονται φαινόμενα τυρβώδους ροής τα οποία προκαλούν ανάμιξη των μελανιών με τις ίνες.

Η πιο συνήθης εφαρμογή είναι η διοχέτευση μικρού όγκου αέρα στο κελί επίπλευσης (περίπου 20 % κ.ο.) και η αύξηση του αριθμού των κελιών αυτών. Συχνά, παλαιότερες μονάδες απομελάνωσης αποτελούνταν από περισσότερα από έξι κελιά. Πιο πρόσφατες εφαρμογές στηρίζονται στη διοχέτευση μεγάλης ποσότητας αέρα ούτως ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματική επίπλευση σε ένα και μοναδικό κελί. Η συνήθης ταχύτητα εισόδου του αιωρήματος στο κελί επίπλευσης κυμαίνεται στα 20  $\text{m}^3/\text{min}$  και ο αριθμός Reynolds στο σωλήνα εισαγωγής είναι περίπου 6.104, υποδεικνύοντας πως το αιώρημα υπόκειται σε τυρβώδη ροή.

Έχει, επίσης, διαπιστωθεί πως η περιεκτικότητα της πρώτης ύλης σε πληρωτικά υλικά υποβοηθά την αποτελεσματικότητα της επίπλευσης, με βέλτιστη συγκέντρωση αργίλου (clay) να κυμαίνεται από 12 έως 14%. Η ποσότητα αυτή μπορεί να ρυθμιστεί με την προσθήκη επιχρισμένων χαρτιών στην πρώτη ύλη της επίπλευσης. Σημειώνεται, ακόμη, πως το 25-30% της ποσότητας των αργιλωδών υλικών απομακρύνεται μαζί με τον σχηματιζόμενο αφρό.

Με τη μέθοδο της επίπλευσης έχει επιτευχθεί αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης ορατών σωματιδίων μελανιού από 75 έως 97%. Όμως, η αποτελεσματικότητα της επίπλευσης για σωματίδια μελανιού μεγέθους 1-2  $\mu\text{m}$  είναι αρκετά περιορισμένη, ακόμα και αν επιμηκυνθεί ο χρόνος επίπλευσης. Σημειώνεται πως η επιμήκυνση του χρόνου επίπλευσης θα επιφέρει αύξηση απώλειας ινών. Η περιεκτικότητα, η θερμοκρασία και η τιμή του pH έχουν πολύ μικρή επίδραση στην άμβλυνση του συγκεκριμένου φαινομένου (της περιορισμένης αποτελεσματικότητας της επίπλευσης να απομακρύνει μικρά σωματίδια μελανιού).

Σημαντική, όμως, παράμετρο αποτελεί η προσθήκη σάπωνα και ιόντων ασβεστίου στον πολτοποιητή. Η ύπαρξη των συστατικών αυτών οδηγεί στην αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων μελανιού λόγω της

δημιουργίας συσσωματωμάτων μεταξύ αυτών και των σχηματιζόμενων σαπώνων ασβεστίου.

### *Η φυγοκέντριση*

Όπως αναμένεται, ο στόχος της φυγοκέντρισης, ως μεθόδου απομελάνωσης των ανακτημένων ινών, είναι η απομάκρυνση των σωματιδίων εκείνων του αιωρήματος που υποβαθμίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου χαρτιού ή/και των σωματιδίων εκείνων που ενδεχομένως μπορούν να προκαλέσουν φθορές στα μηχανήματα ανακύκλωσης. Για να καταστεί αυτή η μέθοδος αποτελεσματική θα πρέπει τα προς απομάκρυνση σωματίδια να παρουσιάζουν διαφορετική πυκνότητα από το νερό και διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά από τις ίνες. Η φυγοκέντριση καθίσταται συμπληρωματική των άλλων μεθόδων απομελάνωσης, καθώς στηρίζεται σε διαφορετικές αρχές διαχωρισμού. Οι διατάξεις αυτού του είδους είναι αποτελεσματικές στο να απομακρύνουν σωματίδια μελανιού με μέγεθος, περίπου, από 100-400  $\mu\text{m}$ . Τα βαρύτερα σωματίδια συγκεντρώνονται στο κέντρο της διάταξης ενώ το ελαφρύτερο νερό και οι ίνες κινούνται στο εσωτερικό μέρος της περιφέρειας της διάταξης. Σωματίδια κατάλληλα να απομακρυνθούν με την εν λόγω μέθοδο αποτελούν και τα ξηρογραφικά μελάνια. Έτσι αποτελεί μία κατάλληλη μέθοδο (συνήθως συμπληρωματική) για την απομελάνωση χαρτιών που συνιστούν απορρίμματα γραφείου. Βέβαια είναι ευνόητο πως η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη, όπως έχει ήδη αναφερθεί, και για την απομάκρυνση και άλλων στερεών σωματιδίων που συχνά περιέχονται ως ακαθαρσίες στο παλαιόχαρτο, όπως κομμάτια γυαλιού και μετάλλου, άμμος κ.τ.λ. Τέλος, σημειώνεται πως η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυξάνει με αύξηση της φυγοκέντρου επιτάχυνσης, γεγονός που επιτυγχάνεται αυξάνοντας την εφαπτομενική ταχύτητα και μειώνοντας τη διάμετρο της διάταξης φυγοκέντρισης (υδροκυκλώνα)

### *Το κοσκίνισμα*

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την απομάκρυνση των μεγαλύτερων σωματιδίων μελανιού (και των λοιπών μεγάλων σωματιδίων, όπως οι κόλλες, που περιέχονται σε μερικά κλάσματα χαρτιού) είναι το κοσκίνισμα (screening). Στην πραγματικότητα μέσω της μεθόδου αυτής δύναται η απομάκρυνση σωματιδίων που έχουν διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά από τις ίνες. Απομακρύνονται, λοιπόν, σωματίδια που είναι σχετικώς μεγάλα, έχουν σχήμα ομοιόμορφο και εκτείνονται σε τρεις διαστάσεις. Για επίπεδα και ανομοιόμορφα σωματίδια η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται. Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται έχουν είτε οπές είτε επιμήκη ανοίγματα. Οι ίνες διέρχονται μέσω αυτών, ενώ τα προς απομάκρυνση σωματίδια

συγκρατούνται. Στην περίπτωση των οπών η διάμετρος κυμαίνεται από 6-20 mm, ενώ στην περίπτωση των επιμηκών ανοιγμάτων η μικρή του διάσταση κυμαίνεται από 0,15 έως 0,30 mm. Τα τελευταία (fine screens) χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση πιο μικρών (~250 μm) σωματιδίων και, ως εκ τούτου είναι αυτά που εφαρμόζονται πιο συχνά στην απομελάνωση (π.χ. για την απομάκρυνση σωματιδίων ξηρογραφικών μελανιών)



## **5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΡΤΙΟΥ**

### **5.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου και της παραγωγής αυτών από παρθένες ίνες. Εστιάζουμε στα κύρια πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης που είναι η οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και η προστασία των δασών. Στη συνέχεια γίνεται μία σύντομη ανάλυση των ζητημάτων που έχουν να κάνουν με την κατανάλωση νερού και τα αέρια, υγρά και στερεά απόβλητα των μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου.

### **5.2 ΧΡΗΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ**

Ο κύκλος ζωής του χαρτιού ξεκινάει από την παραγωγή βιομάζας από τα δέντρα. Το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και το νερό των εδαφών ενώνονται μέσω της φωτοσύνθεσης για την παραγωγή γλυκόζης, το υλικό βάσης για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών. Ο άνθρακας παραμένει στη βιομάζα, ενώ απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα οξυγόνο. Για την παραγωγή ενός τόνου βιομάζας δεσμεύονται, περίπου, 0,7-0,9 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί πως, σε ότι αφορά την παραγωγή χαρτιού, είναι δυνατή η αξιοποίηση του 65% της βιομάζας των δέντρων. Η υπόλοιπη βιομάζα (ρίζες, φλοιοί, κλαδιά, κ.λπ.) παραμένει, συνήθως, στα δάση, όπου αποδομείται σε διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, σε χρονικό διάστημα 5 έως 10 ετών ή αξιοποιείται (ένα μέρος αυτής) από τις χαρτοβιομηχανίες για την παραγωγή ενέργειας.

Έχει διατυπωθεί πως με την παραγωγή ενός τόνου ανακυκλωμένων χαρτιών διασώζονται περίπου 17 δέντρα. Στην πραγματικότητα, ο αριθμός των δέντρων που διασώζεται από την ανακύκλωση προϊόντων χάρτου εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως το μέγεθος του δέντρου, το είδος αυτού και το είδος πολτού ή χαρτιού που παράγεται. Γενικά, το ξύλο περιέχει περίπου 50% υγρασία και το στερεό κλάσμα αυτού αποτελείται κατά 45% από κυτταρίνη, κατά

25% από ημικυτταρίνη, κατά 25% από λιγνίνη και κατά 5% από λοιπά οργανικά και ανόργανα συστατικά.

Κατά τη παραγωγή προϊόντων χάρτου από μηχανικό πολτό, καθώς δεν απομακρύνεται η λιγνίνη αλλά και μερικά, ακόμη, συστατικά του ξύλου, απαιτείται μικρότερη ποσότητα ξύλου απ' ό τι στην περίπτωση παραγωγής χαρτιών από χημικό πολτό. Στα τελευταία, όπως ήδη έχει αναφερθεί, περιλαμβάνονται, κυρίως, τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης. Καθώς λοιπόν αυτά περιέχουν αποκλειστικά κυτταρίνη (και όχι άλλα ξυλώδη συστατικά, όπως η λιγνίνη), συνεπάγεται πως απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ξύλων ανά μονάδα μάζας παραγόμενου προϊόντος.

Από την άλλη, όμως, τα χαρτιά αυτά, λόγω της προαναφερθείσας ιδιότητάς τους, μπορούν να ανακυκλωθούν σε ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος προϊόντων.

Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις για την παραγωγή χαρτιών γραφής και εκτύπωσης υπολογίζεται πως ο αριθμός των δέντρων που καταναλώνονται, στην περίπτωση αυτή, κυμαίνεται από 17 έως 31 ανά τόνο προϊόντος. Οι υπολογισμοί αυτοί έλαβαν υπόψη πως για την παραγωγή του χαρτιού χρησιμοποιήθηκε μίγμα ξυλείας από αειθαλής (κωνοφόρα) και φυλλοβόλα δέντρα, ύψους 12 m και διαμέτρου 15-20 cm (μεγέθους, δηλαδή, που αντιστοιχεί στην κατάλληλη περίοδο ανάπτυξης των δέντρων για να αξιοποιηθούν από τις χαρτοβιομηχανίες) και πως εφαρμόστηκε χημική πολτοποίηση.

Σύμφωνα με άλλες πηγές για την παραγωγή 1 tn κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου, δημοσιογραφικού χαρτιού και χαρτιού γραφής και εκτύπωσης απαιτούνται 3,03, 2,09 και 3,95 tn ξύλου (υγρασίας 50%), αντίστοιχα. Ανεξαρτήτως, όμως, από το ακριβή υπολογισμό των δέντρων που καταναλώνονται για την παραγωγή πρωτογενούς χαρτόμαζας, είναι σαφές πως η ανακύκλωση προϊόντων χάρτου, και ειδικότερα χαρτιών χημικής χαρτόμαζας, συνεισφέρει σημαντικά στη διατήρηση του δασικού πλούτου. Επ' αυτού, ας ληφθεί υπόψη πως στις Η.Π.Α., για παράδειγμα, κόβονται κάθε χρόνο 100.000.000 δέντρα που αξιοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων χάρτου.

### **5.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Η απόθεση ενός τόνου παλαιόχαρτου σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων (X.Y.T.A.) απαιτεί περίπου 2,3 m<sup>3</sup>. Συνεπώς, η παραγωγή ενός τόνου χαρτιού από ανακτημένες ίνες συνεπάγεται την εξοικονόμηση πολύτιμου χώρου διάθεσης απορριμμάτων. Η επιλογή της καύσης του παλαιόχαρτου οδηγεί και αυτή στην εξοικονόμηση χώρου διάθεσης απορριμμάτων, αλλά σε μικρότερο ποσοστό απ' ό τι συμβαίνει με την

ανακύκλωση, καθώς στην περίπτωση αυτή απαιτείται η διαχείριση των σημαντικών ποσοτήτων τέφρας που παράγονται.

## 5.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά την παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού καταναλώνονται σημαντικά μικρότερα ποσά ενέργειας απ' ό τι στην περίπτωση παραγωγής χαρτιού από παρθένες ίνες.

Συγκεκριμένα, για την παραγωγή ενός τόνου πολτού από παλαιόχαρτο που υπόκειται σε απομελάνωση και λεύκανση απαιτείται 60% λιγότερη ενέργεια απ' ό τι στην περίπτωση παραγωγής ενός τόνου λευκασμένου πολτού kraft. Η εν λόγω εξοικονόμηση ενέργειας αντιστοιχεί σε 4.100 kWh ή, αλλιώς, στα  $\frac{3}{4}$  της ενέργειας που καταναλώνει ένα αστικό νοικοκυριό σε ένα έτος για το φωτισμό και λοιπές χρήσεις (δεν συμπεριλαμβάνονται, σ' αυτές, χρήσεις που αφορούν συστήματα θέρμανσης και ψύξης της οικίας).

Θα πρέπει, όμως, να σημειωθεί πως σήμερα οι μονάδες παραγωγής πρωτογενούς χαρτομάζας αξιοποιούν, για την παραγωγή ενέργειας, σε μεγάλο βαθμό τα παραπροϊόντα του ξύλου.

Έτσι, το 1989 στη Β. Αμερική, οι σχετικές μονάδες βασιζόνταν στην ηλεκτρική ενέργεια του εθνικού δικτύου διανομής σε ποσοστό 42% της συνολικής ενέργειας που κατανάλωναν. Συνεπώς, αν συγκρίνουμε τα ποσά ενέργειας που λαμβάνονται από το εθνικό δίκτυο διανομής στις δύο περιπτώσεις (μονάδες παράγωγης χαρτιών από παρθένες ίνες και από παλαιόχαρτο) δε θα παρατηρηθούν αξιοσημείωτες διαφορές. Παρόλα αυτά η συνολική κατανάλωση ενέργειας συνιστά έναν πολύ σημαντικό παράγοντα από άποψη περιβαλλοντικών κριτηρίων (εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου, διασπάθιση ορυκτών πόρων, κ.τ.λ.).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόδοση της συνολικής διεργασίας και συνεπώς και η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται σημαντικά από το είδος των πρώτων υλών. Στις περιπτώσεις χαμηλής ποιότητας ανακτημένου παλαιόχαρτου, η μονάδα παραγωγής ανακυκλωμένων χάρτινων προϊόντων οδηγείται στην εφαρμογή επιπρόσθετων διεργασιών που αφορούν στο στάδιο προετοιμασίας των πρώτων υλών. Ειδικά οι διεργασίες που αποσκοπούν στην αύξηση της λευκότητας και στη μείωση των ορατών στιγμάτων του παραγόμενου χαρτιού οδηγούν σε σημαντική αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Η αποτελεσματικότητα της συλλογής και της διαλογής απορριμμάτων, η οποία διαφέρει ανάλογα με τη χώρα αλλά και την περιοχή, επηρεάζει την ποιότητα των πρώτων υλών.

## 5.5 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Το ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων (όπως, εξάλλου, και η καταναλισκόμενη ενέργεια και η παραγωγή στερεών απορριμμάτων) μίας μονάδας παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού σχετίζεται με την ποιότητα των πρώτων υλών, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και τις τεχνολογίες επεξεργασίας που εφαρμόζονται.

Τα απόβλητα αυτά παράγονται κυρίως κατά τα στάδια στα οποία απομακρύνονται, από το αιώρημα ινών, εκείνα τα συστατικά που συνιστούν ρύπους, ήτοι υποβαθμίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων σταδίων είναι αυτά του καθαρίσματος (cleaning) και της απομελάνωσης. Σημειώνεται πως συχνή πρακτική αποτελεί η μερική χρήση των υγρών αποβλήτων στα στάδια εκείνα που το νερό της διεργασίας είναι ιδιαίτερα ρυπασμένο. Δηλαδή, συνηθίζεται η ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων προς τα στάδια εκείνα που δεν απαιτείται η χρήση καθαρού νερού. Εν κατακλείδι, τα απόβλητα μίας τέτοιας μονάδας αποτελούνται από το υγρό κλάσμα που απομακρύνεται από τα κόσκινα και τις διατάξεις φυγοκέντρισης, τα διηθήματα των διατάξεων έκπλυσης, πάχυνσης και διαχείρισης λάσπης

## 5.6 ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

Έχει διαπιστωθεί πως η ανακύκλωση χαρτιού παράγει πολύ λιγότερες αέριες εκπομπές από την πρωτογενή παραγωγή του. Σύμφωνα με αναφορά της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency) των Η.Π.Α., το 1974, κάθε τόνος απομελανωμένου και λευκασμένου ανακυκλωμένου πολτού παράγει 26 λιγότερα κιλά αέριων εκπομπών από την περίπτωση ισοδύναμης ποσότητας λευκασμένου kraft πολτού από παρθένες ίνες. Σήμερα, η εφαρμογή αντιπεριβαλλοντικών τεχνολογιών έχει αμβλύνει το ανωτέρω φαινόμενο.

## 5.7 ΛΕΥΚΑΝΣΗ

Προ της λεύκανσης, ο μηχανικός πολτός έχει βαθύ καφέ χρώμα. Εν αντιθέσει, ο απομελανωμένος πολτός που προέρχεται από την ανακύκλωση παλαιόχαρτου παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη λευκότητα. Η λευκότητα αυτή εξαρτάται από το είδος των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ανακυκλωμένου χαρτιού. Παραδείγματος χάρη, ο πολτός από χαρτιά υψηλότερης ποιότητας (που

χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτιών γραφής και εκτύπωσης) παρουσιάζει αρκετά υψηλή λευκότητα. Έτσι, οι απομελανωμένοι πολτοί απαιτούν σημαντικά λιγότερα ποσά λευκαντικών μέσων απ' ό τι οι πολτοί από παρθένες ίνες. Μερικές φορές η μείωση της ποσότητας των εν λόγω αντιδραστηρίων ανέρχεται σε ποσοστό, περίπου, 90%.

Η λεύκανση με χλώριο έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή χλωριωμένων υδρογονανθράκων, και ιδιαίτερα φουρανίων. Κατά τη δεκαετία του '70 και του '80 το συγκεκριμένο περιβαλλοντικό ζήτημα ήταν πολύ έντονο και ξεκίνησαν οι πρώτες προσπάθειες για την άμβλυνση των σχετικών προβλημάτων.

Έτσι, τα τελευταία χρόνια αυτή η μέθοδος λεύκανσης έχει αντικατασταθεί από άλλες που χρησιμοποιούν λιγότερο επιβλαβή λευκαντικά μέσα, όπως το όζον και το υπεροξείδιο του υδρογόνου. Αυτές, όμως, οι μέθοδοι παρουσιάζουν ελαφρά μικρότερη αποτελεσματικότητα.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το χαρτί ως βιομηχανικό προϊόν αποτελεί βασικό συστατικό του σύγχρονου πολιτισμού και έχει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η εφεύρεσή του και η διάδοσή του στο Δυτικό Κόσμο έδωσε σημαντική ώθηση σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η διεργασία παραγωγής χαρτιού είναι μια εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία. Επιπλέον για την παραγωγή χαρτιού απαιτούνται σημαντικές ποσότητες ξυλείας και νερού και παράγονται σημαντικές ποσότητες ρύπων. Είναι απαραίτητο οι χαρτοβιομηχανίες να εφαρμόσουν τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για την εξοικονόμηση ενέργειας και πρώτων υλών και για την προστασία του περιβάλλοντος ακολουθώντας την Οδηγία 96/61/ΕΚ.

Επιπλέον, τα καταναλωτικά προϊόντα χάρτου συνιστούν, ειδικά στις αναπτυγμένες χώρες, ένα μεγάλο τμήμα των αστικών στερεών απορριμμάτων (που μερικές φορές πλησιάζει το 50% των συνολικών) και ως εκ τούτου τα ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση αυτών είναι ιδιαίτερος σημαντικά.

Οι προσπάθειες για την άμβλυνση των σχετικών περιβαλλοντικών προβλημάτων επικεντρώθηκε αφενός στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης των διεργασιών παραγωγής των προϊόντων χάρτου και αφετέρου στην αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης τους. Σήμερα οι εκλυόμενοι ρύποι από τα στάδια παραγωγής έχουν μειωθεί κατά 80-90% σε σχέση με τα επίπεδα του 1980. Σημαντική μείωση της κατανάλωσης νερού επιτεύχθηκε μέσω της μεγάλης αύξησης του ποσοστού ανακύκλωσης αυτού στις διεργασίες παραγωγής.

Επίσης, η εφαρμογή συστημάτων Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας επέφερε τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των σχετικών αέριων εκπομπών και ο εκσυγχρονισμός των συστημάτων της διαχείρισης των στερεών και υγρών αποβλήτων των διεργασιών διέυρνε τα όρια των περιβαλλοντικών οφελών.

Η ανακύκλωση του χαρτιού μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση νερού και ενέργειας καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επίσης, συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του δασικού πλούτου. Ειδικά στην Ευρώπη η ανακύκλωση παλαιόχαρτου αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς και σήμερα έχει ξεπεράσει το 55%

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γκάργκουλας Ν., Παρουσίαση της Οδηγίας 96/61/ΕΕ (IPPC) ([library.tee.gr/digital/m1869/m1869\\_gargoulas.pdf](http://library.tee.gr/digital/m1869/m1869_gargoulas.pdf)).
2. Γρηγορίου Α., Χημεία και Χημικά Προϊόντα του Ξύλου, Εργαστηριακές Σημειώσεις, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, Ιούνιος 2008.
3. Κώνστας Σ. Εφαρμογή των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών Προστασίας του Περιβάλλοντος στους Κλάδους Χαρτοποιείων, Βαφείων Φινιριστηρίων, Ημερίδα Πρόληψης της Βιομηχανικής Ρύπανσης, ΤΕΕ 23-10-2002.
4. Νταρακάς Ε., Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2006.
5. Τσάτσης Δ., Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανακυκλωμένου χαρτιού συσκευασίας, ΕΜΠ 2008.
6. Τσουμής Γ., Επιστήμη και τεχνολογία του ξύλου, τόμος Β' εκδόσεις Γαρταγάνης 2009.
7. Τσουφάκης Ε., Χρήση φυσικά και χημικά κατεργασμένου χαρτιού εφημερίδας ως μέσου απομάκρυνσης ιόντων μολύβδου, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2012.
8. Φιλίππου Ι., Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου, εκδόσεις Γιαχούδη 1986.
9. Η οδηγία 96/61/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και περιορισμό της ρύπανσης (IPPC) και οι Ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Αθήνα 2001.
10. <https://sites.google.com/site/paperfil/Home>
11. <http://www.ideotypo.gr/>
12. <http://users.teilar.gr/~mantanis/articles.htm>
13. [http://www.wfdt.teilar.gr/material/EDU\\_FILES/Xarti.pdf](http://www.wfdt.teilar.gr/material/EDU_FILES/Xarti.pdf)
14. [http://en\\_wikipedia.org](http://en_wikipedia.org)
15. <http://www.pako.gr>