



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ  
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ  
ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ  
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ  
(ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ  
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ)**



Διπλωματική Εργασία η οποία υποβάλλεται  
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων  
του ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη»

**Δημήτριος Ε. Τσάτσης**

**Διπλ/χος Χημικός Μηχανικός**

**Τριμελής επιτροπή:**

Αν. Καθηγητής Χ. Κορωναίος (επιβλέπων)  
Καθηγήτρια Δ. Διακουλάκη  
Αν. Καθηγητής Δ. Καλιαμπάκος

**Αθήνα, 2008**

Όσο μεγαλώνει το νησί της γνώσης τόσο διευρύνεται  
η ακτή που αντικρύζει τον ωκεανό της άγνοιάς μας.

*V. Weisskopf*

## **Αντί Προλόγου**

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εκπλήρωσης των απαιτήσεων του Διεπιστημονικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Ε.Μ.Π. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη». Στόχος αυτής ήταν να αναλύσει τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με την ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου και να αναδείξει τη χρησιμότητα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Α.Κ.Ζ.) ως εργαλείου εκτίμησης των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και υποστήριξης της λήψης αποφάσεων σε ζητήματα που άπτονται τόσο της επιλογής διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου όσο και της βελτίωσης των διεργασιών ανακύκλωσης αυτών. Το εργαλείο της Α.Κ.Ζ. εφαρμόστηκε για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, τα οποία συνιστούν ευρέως χρησιμοποιούμενα προϊόντα συσκευασίας και παρουσιάζουν έναν από τους μεγαλύτερους δείκτες ανάκτησης μεταξύ των διαφορετικών ειδών παλαιόχαρτου.

Ο κος Χριστοφής Κορωναίος, Αν. Καθηγητής του Α.Π.Θ., επίβλεψε τη συγκεκριμένη εργασία και τον ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγησή του και τη συνεργασία του. Εκφράζω, επίσης, τις ευχαριστίες μου στον κο Δ. Καλιαμπάκο, Καθηγητή Ε.Μ.Π., και την κα Δ. Διακουλάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην επιτροπή παρακολούθησης της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Οφείλω να ευχαριστήσω τη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. για την ευγενική παραχώρηση πληροφοριών και δεδομένων τα οποία ήταν απαραίτητα για την πραγμάτωση της εργασίας. Ειδικότερα, εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στην κα Θ. Φιλιππακοπούλου, Διδάκτορα Χημικό Μηχανικό και υπεύθυνη Ποιότητας και Ανάπτυξης στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., για τη βοήθεια και τις συμβουλές που μου παρείχε, καθώς και για τον ενδιαφέρον που υπέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Ακόμη, ευχαριστώ τον κο Κ. Μανσούρ, συνταξιούχο Χημικό και εργαζόμενο σε διάφορες ελληνικές χαρτοποιίες για περισσότερα από 35 έτη, που μου επιτρέπει να ωφελούμαι από τη γνώση του και τη μεγάλη του εμπειρία του σε ζητήματα της βιομηχανίας χάρτου. Κυρίως, όμως, τον ευχαριστώ που, σε κάθε μας συνάντηση, αντικρύζω έναν άνθρωπο με ασίγαστη επιθυμία για μάθηση. Για το λόγο αυτό εκφράζω το θαυμασμό μου.

Οφείλω, επίσης, να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο Γιώργο Διαμαντή που κατά τη διάρκεια της ενασχόλησής μου με τη συγκεκριμένη εργασία ήταν πάντα πρόθυμος να προσφέρει τη βοήθειά του.

Οι θερμότερες ευχαριστίες μου προς τον Βαγγέλη, την Αφροδίτη και την Όλγα είναι δεδομένες για τη στήριξή τους σε κάθε μου δραστηριότητα.

Δημήτριος Ε. Τσάτσος

Κουκάκι, 20 Οκτωβρίου 2008



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ</i> .....	ix
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</i> .....	xii
<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i> .....	xiv
<i>ABSTRACT</i> .....	xvii
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i> .....	- 1 -
1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ.....	- 6 -
1.1 Εισαγωγή.....	- 6 -
1.2 Μία σύντομη ιστορία του χαρτιού .....	- 6 -
1.3 Το ξύλο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων χάρτου .....	- 13 -
1.3.1 Παραγωγή χαρτόμαζας και χαρτιού .....	- 14 -
1.4 Προϊόντα χάρτου .....	- 16 -
1.4.1 Γραφικά χαρτιά .....	- 16 -
1.4.2 Χαρτιά συσκευασίας και χαρτόνια .....	- 19 -
1.4.3 Χαρτιά υγιεινής-καθαριότητας.....	- 23 -
1.4.4 Ειδικές κατηγορίες χαρτιού και χαρτονιού .....	- 24 -
1.5 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης χαρτιού .....	- 25 -
1.5.1 Κατανάλωση προϊόντων χάρτου .....	- 25 -
1.5.2 Παραγωγή προϊόντων χάρτου .....	- 27 -
2 Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ.....	- 31 -
2.1 Εισαγωγή.....	- 31 -
2.2 Οι πρώτες ύλες της βιομηχανίας ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου.....	- 32 -
2.3 Η ανακύκλωση προϊόντων χάρτου.....	- 40 -
2.3.1 Μία σύντομη ιστορική αναδρομή.....	- 40 -
2.3.2 Η ευρωπαϊκή κατάσταση .....	- 41 -
2.4 Τιμές παλαιόχαρτου .....	- 46 -
2.5 Διεργασίες ανακύκλωσης παλαιόχαρτου .....	- 47 -
2.5.1 Πολιτοποίηση .....	- 48 -
2.5.2 Καθαρισμός δευτερογενούς χαρτόμαζας.....	- 51 -
2.5.3 Απομελάνωση .....	- 53 -
3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΡΤΟΥ .....	- 61 -
3.1 Εισαγωγή.....	- 61 -
3.2 Μία σύντομη συγκριτική περιβαλλοντική αποτίμηση από τη λειτουργία μονάδων παραγωγής πρωτογενών και ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου .....	- 61 -
3.2.1 Χρήση πρώτων υλών και κατανάλωση δέντρων.....	- 61 -
3.2.2 Ζητήματα περί της διαχείρισης στερεών απορριμμάτων.....	- 62 -
3.2.3 Κατανάλωση ενέργειας.....	- 62 -

3.2.4	Αέριες εκπομπές .....	- 63 -
3.2.5	Λεύκανση .....	- 63 -
3.3	Περιβαλλοντικά ζητήματα κατά την παραγωγή ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου.....	- 64 -
3.3.1	Κατανάλωση νερού .....	- 65 -
3.3.2	Χρήση προσθέτων .....	- 66 -
3.3.3	Κατανάλωση ενέργειας.....	- 68 -
3.3.4	Υγρά απόβλητα .....	- 70 -
3.3.5	Στερεά απορρίμματα .....	- 74 -
3.3.6	Αέριες εκπομπές .....	- 76 -
4	Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ .....	- 79 -
4.1	Εισαγωγή.....	- 79 -
4.2	Η εξέλιξη της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	- 79 -
4.3	Η μεθοδολογία της Α.Κ.Ζ. ....	- 81 -
4.3.1	Στάδιο 1º: Καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου της μελέτης .....	- 83 -
4.3.2	Στάδιο 2º: Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής.....	- 87 -
4.3.3	Στάδιο 3º: Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής .....	- 92 -
4.3.4	Στάδιο 4º: Εκτίμηση βελτιώσεων.....	- 98 -
4.3.5	Συγκέντρωση αποτελεσμάτων Α.Κ.Ζ. ....	- 99 -
4.3.6	Κόστος Κύκλου Ζωής.....	- 101 -
5	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ Α.Κ.Ζ. ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΡΤΟΥ.....	- 103 -
5.1	Εισαγωγή.....	- 103 -
5.2	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής προϊόντων χάρτου .....	- 103 -
5.3	Παλαιόχαρτο: Καύση, ταφή ή ανακύκλωση; .....	- 107 -
6	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΩΝ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ .....	- 120 -
6.1	Εισαγωγή.....	- 120 -
6.2	Καθορισμός σκοπού και πλαισίου μελέτης .....	- 120 -
6.2.1	Γενικά στοιχεία περί της Χαρτοποιίας Φθιώτιδας Α.Ε. και της EL PACK Α.Ε. ....	- 121 -
6.2.2	Βασικά στοιχεία περί της παραγωγικής διαδικασίας .....	- 122 -
6.3	Απογραφή δεδομένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων .....	- 124 -
6.3.1	Κατανάλωση πρώτων και βοηθητικών υλών .....	- 125 -
6.3.2	Κατανάλωση ενέργειας.....	- 128 -
6.3.3	Κατανάλωση νερού .....	- 130 -
6.3.4	Στερεά απορρίμματα .....	- 131 -
6.3.5	Υγρά απόβλητα .....	- 132 -
6.3.6	Αέριες εκπομπές .....	- 134 -
6.3.7	Ποιότητα δεδομένων .....	- 146 -

6.3.8	Συγκέντρωση και συζήτηση αποτελεσμάτων – Εκτίμηση επιπτώσεων ..	- 147 -
6.4	Εκτίμηση βελτιώσεων.....	- 152 -
6.4.1	Εφαρμογή συστήματος Σ.Η.Θ. ....	- 152 -
6.5	Συμπεράσματα.....	- 163 -
7	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ, ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΑΦΗΣ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΩΝ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	- 165 -
7.1	Εισαγωγή.....	- 165 -
7.2	Στόχος.....	- 165 -
7.3	Οριοθέτηση και περιγραφή του συστήματος.....	- 165 -
7.3.1	Προσέγγιση κλειστού βρόχου.....	- 166 -
7.3.2	Λειτουργική μονάδα και όρια συστήματος.....	- 168 -
7.4	Απογραφή δεδομένων .....	- 169 -
7.4.1	Αξιοποίηση ξυλείας .....	- 169 -
7.4.2	Παραγωγή χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες.....	- 170 -
7.4.3	Παραγωγή ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας.....	- 172 -
7.4.4	Κατασκευή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 172 -
7.4.5	Ταφή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 173 -
7.4.6	Καύση κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 176 -
7.5	Σενάριο μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης .....	- 176 -
7.5.1	Περίπτωση ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 176 -
7.5.2	Περίπτωση καύσης κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 178 -
7.6	Σενάριο μέγιστου ποσοστού ανακύκλωσης.....	- 179 -
7.6.1	Περίπτωση ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 179 -
7.6.2	Περίπτωση καύσης κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 180 -
7.7	Σενάριο ανακύκλωσης σε ποσοστό 40%.....	- 180 -
7.7.1	Περίπτωση ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 180 -
7.7.2	Περίπτωση καύσης κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 181 -
7.8	Συζήτηση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα .....	- 181 -
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	- 185 -
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 192 -
10	ΒΡΑΧΥΓΡΑΦΙΕΣ.....	- 204 -
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου πατάτας .....	- 205 -
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου σιταριού.....	- 207 -
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	- 210 -
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή μαζούτ.....	- 212 -

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή πετρελαίου κίνησης .....	- 213 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή φυσικού αερίου....	- 214 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: Συντελεστές αέριων εκπομπών από την καύση μαζούτ χαμηλού θείου.....	- 215 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: Τιμές συντελεστών υπολογισμού αέριων εκπομπών από τη μεταφορά με φορτηγά οχήματα.....	- 216 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ε.Ε. 15-2000).....	- 217 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ελλάδα, 2010) .....	- 219 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 11: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ελλάδα, 2020) .....	- 221 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 12: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη δασική αξιοποίηση για την παραγωγή ξυλείας .....	- 223 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 13: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ε.Ε. 15, 2000) .....	- 225 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 14: Προδιαγραφές μαζούτ .....	- 227 -



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<b>Πίνακας 1:</b> Η διάδοση της τέχνης της χαρτοποιίας στη Δύση .....	- 12 -
<b>Πίνακας 2:</b> Χαρακτηριστικά κυματοειδών χαρτιών .....	- 22 -
<b>Πίνακας 3:</b> Κατά κεφαλή κατανάλωση προϊόντων χάρτου .....	- 25 -
<b>Πίνακας 4:</b> Κατανομή απορριμμάτων που διατίθενται για καύση και ταφή .....	- 42 -
<b>Πίνακας 5:</b> Αξιοποίηση ανακτημένων χαρτιών στα κράτη CEPI το έτος 2005 .....	- 44 -
<b>Πίνακας 6:</b> Οι κυριότερες ακαθαρσίες που περιέχονται στο παλαιόχαρτο .....	- 52 -
<b>Πίνακας 7:</b> Κατανάλωση νερού κατά την παραγωγή διαφόρων δευτερογενών προϊόντων χάρτου .....	- 66 -
<b>Πίνακας 8:</b> Πρόσθετα μονάδων ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου .....	- 67 -
<b>Πίνακας 9:</b> Κατανάλωση ενέργειας σε μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου .....	- 68 -
<b>Πίνακας 10:</b> Μέσες τιμές ρυπαντικού φορτίου υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού, μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία και προτού διοχετευθούν σε μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων .....	- 71 -
<b>Πίνακας 11:</b> Μέσες τιμές ρυπαντικού φορτίου υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού, μετά από (in situ) πρωτοβάθμια και βιολογική επεξεργασία.....	- 72 -
<b>Πίνακας 12:</b> Αποδεκτές τιμές περιεκτικότητας σε ξηρή ύλη των στερεών απορριμμάτων των μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού.....	- 74 -
<b>Πίνακας 13:</b> Απορριπτόμενα υλικά σε μονάδες ανακύκλωσης χάρτου αναλόγως της ποιότητας των τελικών προϊόντων .....	- 75 -
<b>Πίνακας 14:</b> Τυπική σύσταση λάσπης από τα στάδια καθαρισμού του νερού των διεργασιών μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου.....	- 76 -
<b>Πίνακας 15:</b> Στερεά απορρίμματα από διάφορα στάδια μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου .....	- 77 -
<b>Πίνακας 16:</b> Δεδομένα αερίων εκπομπών από την καύση των στερεών απορριμμάτων (συμπεριλαμβανομένων των λασπών) δύο γερμανικών μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένου χάρτου .....	- 78 -
<b>Πίνακας 17:</b> Κατηγορίες πηγών δεδομένων .....	- 89 -
<b>Πίνακας 18:</b> Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δυνατοί δείκτες.....	- 93 -
<b>Πίνακας 19:</b> Δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.....	- 94 -
<b>Πίνακας 20:</b> Χαρακτηριστικές τιμές δυναμικού καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος .....	- 96 -
<b>Πίνακας 21:</b> Δυναμικό τοξικότητας σε ανθρώπους βάσει της μεθόδου EDIP .....	- 97 -
<b>Πίνακας 22:</b> Δυναμικό οξίνισης διαφόρων χημικών ενώσεων .....	- 98 -
<b>Πίνακας 23:</b> Βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου -	127 -
<b>Πίνακας 24:</b> Κατανάλωση ενέργειας κατά τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.....	- 128 -

<b>Πίνακας 25:</b> Κατανάλωση ενεργειακών πόρων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 131 -
<b>Πίνακας 26:</b> Παραγωγή στερεών απορριμμάτων στο πλαίσιο των (συμπληρωματικών) υποσυστημάτων .....	- 132 -
<b>Πίνακας 27:</b> Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων .....	- 133 -
<b>Πίνακας 28:</b> Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ανά τη παραγόμενων χαρτιών.....	- 133 -
<b>Πίνακας 29:</b> Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (σταδίου παραγωγής χαρτιών) ανά τη παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.....	- 133 -
<b>Πίνακας 30:</b> Δείκτες υδατικής ρύπανσης των διαφόρων υποσυστημάτων (g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων).....	- 134 -
<b>Πίνακας 31:</b> Παραγωγή ηλεκτρισμού και εκπομπές CO <sub>2</sub> για το 2005 .....	- 135 -
<b>Πίνακας 32:</b> Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά παραγόμενη kWh (Ελλάδα). -	136 -
<b>Πίνακας 33:</b> Συντελεστές αερίων εκπομπών κατά την καύση μαζούτ χαμηλού θείου σε καυστήρες χωρίς αντιρρυπαντική τεχνολογία.....	- 137 -
<b>Πίνακας 34:</b> Αέριες εκπομπές κατά το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας .....	- 137 -
<b>Πίνακας 35:</b> Αέριες εκπομπές κατά το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 139 -
<b>Πίνακας 36:</b> Συνολικές αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 140 -
<b>Πίνακας 37:</b> Αέριες εκπομπές ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων λόγω της κατανάλωσης αμύλου .....	- 141 -
<b>Πίνακας 38:</b> Πρότυπα εκπομπών αερίων ρύπων για βαρέα οχήματα .....	- 141 -
<b>Πίνακας 39:</b> Εκπομπές αερίων ρύπων από τη χρήση πετρελαίου κίνησης στον τομέα μεταφοράς .....	- 142 -
<b>Πίνακας 40:</b> Σύνολο αερίων εκπομπών σε g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει των προτεινόμενων συντελεστών του CORINAIR για τα ντιζελοκίνητα βαρέα οχήματα στην περίπτωση της Ελλάδας).....	- 143 -
<b>Πίνακας 41:</b> Συντελεστές αερίων εκπομπών από φορτηγά οχήματα 20-26 tn για υπεραστική οδήγηση .....	- 143 -
<b>Πίνακας 42:</b> Σύνολο αερίων εκπομπών σε g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει των προτεινόμενων συντελεστών του COPERT 4 για τα ντιζελοκίνητα φορτηγά 20-26 tn) .....	- 144 -
<b>Πίνακας 43:</b> Σύνολο αερίων εκπομπών ανά τη παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει της μεθοδολογίας που προτείνεται στον A. J. Hickman (1999)) .....	- 145 -
<b>Πίνακας 44:</b> Συνολικές αέριες εκπομπές από το στάδιο της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 146 -

<b>Πίνακας 45:</b> Απογραφή πηγών άντλησης δεδομένων.....	- 146 -
<b>Πίνακας 46:</b> Συγκεντρωτικά δεδομένα του κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 147 -
<b>Πίνακας 47:</b> Κατανάλωση ενεργειακών πόρων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 149 -
<b>Πίνακας 48:</b> Ενεργειακά δεδομένα συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο φυσικό αέριο (Σενάριο 1).....	- 155 -
<b>Πίνακας 49:</b> Συντελεστές αερίων εκπομπών από την καύση m <sup>3</sup> φυσικού αερίου (Σενάριο 1) .....	- 155 -
<b>Πίνακας 50:</b> Εκπομπές αερίων στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με εφαρμογή Σ.Η.Θ. ανά τη παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 1).....	- 156 -
<b>Πίνακας 51:</b> Εκπομπές αερίων κατά το στάδιο της παραγωγής χαρτιών συσκευασίας με εφαρμογή Σ.Η.Θ. (Σενάριο 1) .....	- 157 -
<b>Πίνακας 52:</b> Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων με εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 1) ....	- 158 -
<b>Πίνακας 53:</b> Ενεργειακά δεδομένα συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο φυσικό αέριο (Σενάριο 2).....	- 160 -
<b>Πίνακας 54:</b> Εκπομπές αερίων στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με συνδυασμό Σ.Η.Θ. και συμβατικού καυστήρα ανά τη παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 2).....	- 160 -
<b>Πίνακας 55:</b> Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων με εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 2) ....	- 161 -
<b>Πίνακας 56:</b> Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά kg ξυλείας που οδηγείται στις χαρτοβιομηχανίες (Ε.Ε.) .....	- 169 -
<b>Πίνακας 57:</b> Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση διαφόρων καυσίμων ποσοτήτων που αντιστοιχούν σε ενέργεια 29,6 GJ .....	- 170 -
<b>Πίνακας 58:</b> Αέριες εκπομπές από την in situ κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες.....	- 171 -
<b>Πίνακας 59:</b> Συνολικές αέριες εκπομπές από την κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες.....	- 172 -
<b>Πίνακας 60:</b> Αέριες εκπομπές κατά την ταφή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.....	- 174 -
<b>Πίνακας 61:</b> Εκπομπές αερίων ρύπων από την αποδόμηση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στην περίπτωση της ενεργειακής αξιοποίησης του συλλεχθέντος βιοαερίου .....	- 175 -
<b>Πίνακας 62:</b> Σενάρια ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 177 -

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

<b>Σχήμα 1:</b> Διαδικασία παρασκευής χαρτιού σε αρχαία ιαπωνική μονάδα.....	7-
<b>Σχήμα 2:</b> Κατηγορίες κυματοειδών χαρτονιών .....	- 21 -
<b>Σχήμα 3:</b> Παγκόσμια κατανάλωση προϊόντων χάρτου (1961-2005) .....	- 26 -
<b>Σχήμα 4:</b> Κατανομή παγκόσμιας κατανάλωσης προϊόντων χάρτου (2005).....	- 26 -
<b>Σχήμα 5:</b> Κατανάλωση προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (1992-2005) .....	- 27 -
<b>Σχήμα 6:</b> Κατανάλωση προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (2005) .....	- 27 -
<b>Σχήμα 7:</b> Παγκόσμια παραγωγή προϊόντων χάρτου (1961-2005) .....	- 28 -
<b>Σχήμα 8:</b> Κατανομή παγκόσμιας παραγωγής προϊόντων χάρτου (2005).....	- 28 -
<b>Σχήμα 9:</b> Παραγωγή προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (1992-2005) .....	- 29 -
<b>Σχήμα 10:</b> Παραγωγή προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (2005) .....	- 29 -
<b>Σχήμα 11:</b> Ποσοστό ανακύκλωσης παλαιόχαρτου στην Ευρώπη .....	- 43 -
<b>Σχήμα 12:</b> Αξιοποίηση ειδών παλαιόχαρτου στην παραγωγή διαφόρων ποιοτήτων προϊόντων χάρτου στα κράτη-μέλη του CEPI το 2005 .....	- 45 -
<b>Σχήμα 13:</b> Συνοπτικό διάγραμμα διεργασιών ανακύκλωσης του παλαιόχαρτου .....	- 47 -
<b>Σχήμα 14:</b> Σκαρίφημα πολτοποιητή χαμηλής περιεκτικότητας .....	- 49 -
<b>Σχήμα 15:</b> Σκαρίφημα πολτοποιητή υψηλής περιεκτικότητας .....	- 49 -
<b>Σχήμα 16:</b> Αποτελεσματικότητα μεθόδων απομελάνωσης αναλόγως του μεγέθους των σωματιδίων μελανιού .....	- 54 -
<b>Σχήμα 17:</b> Συνοπτική αναπαράσταση των ροών ύλης και ενέργειας σε μονάδα ανακύκλωσης παλαιόχαρτου .....	- 64 -
<b>Σχήμα 18:</b> Απλοποιημένο διάγραμμα ροής μονάδων παραγωγής προϊόντων χάρτου ...	- 65 -
<b>Σχήμα 19:</b> Στάδια και εφαρμογές της Α.Κ.Ζ.....	- 81 -
<b>Σχήμα 20:</b> Αναπαράσταση ενός συστήματος κύκλου ζωής.....	- 85 -
<b>Σχήμα 21:</b> Γενικό διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής ενός προϊόντος .....	- 85 -
<b>Σχήμα 22:</b> Σχηματική αναπαράσταση διεύρυνσης ορίων συστήματος με στόχο την άμεση σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ δύο συστημάτων .....	- 109 -
<b>Σχήμα 23:</b> Συνοπτική αναπαράσταση του μελετηθέντος συστήματος.....	- 122 -
<b>Σχήμα 24:</b> Συνοπτικό διάγραμμα ροής της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. ....	- 123 -
<b>Σχήμα 25:</b> Συμβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μαζούτ στην εκπομπή αερίων ρύπων κατά την παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας .....	- 138 -
<b>Σχήμα 26:</b> Συμβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μαζούτ στις συνολικές αέρειες εκπομπές κατά την παραγωγή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων .....	- 140 -
<b>Σχήμα 27:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέρειες εκπομπές .....	- 149 -
<b>Σχήμα 28:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέρειες εκπομπές .....	- 150 -
<b>Σχήμα 29:</b> Σύγκριση συνολικών αερίων εκπομπών μεταξύ σεναρίου αναφοράς και Σεναρίου 1 .....	- 159 -
<b>Σχήμα 30:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέρειες εκπομπές του Σεναρίου 1 .....	- 159 -

<b>Σχήμα 31:</b> Σύγκριση συνολικών αέριων εκπομπών μεταξύ σεναρίου αναφοράς και Σεναρίου 2.....	- 161 -
<b>Σχήμα 32:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέριες εκπομπές του Σεναρίου 2 .....	- 162 -
<b>Σχήμα 33:</b> Σύγκριση αέριων εκπομπών μεταξύ των τριών σεναρίων .....	- 162 -
<b>Σχήμα 34:</b> Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου ζωής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων βάσει του μοντέλου του κλειστού βρόγχου.....	- 167 -
<b>Σχήμα 35:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 0%, ταφή).....	- 177 -
<b>Σχήμα 36:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 0%, καύση) .....	- 178 -
<b>Σχήμα 37:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 80%, ταφή).....	- 179 -
<b>Σχήμα 38:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 80%, καύση).....	- 180 -
<b>Σχήμα 39:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 40%, ταφή).....	- 181 -
<b>Σχήμα 40:</b> Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 40%, καύση).....	- 181 -
<b>Σχήμα 41:</b> Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφορετικών επιλογών και σεναρίων διαχείρισης απορριμμάτων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.....	- 183 -

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο κλάδος της βιομηχανίας παραγωγής χαρτοπολτού και χαρτιού, πρωτογενούς ή ανακυκλωμένου, παρουσιάζει, παραδοσιακά, σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο από την άποψη της κατανάλωσης φυσικών πόρων (ξυλείας –στην περίπτωση παραγωγής χαρτιού από παρθένες ίνες-, ορυκτών καυσίμων και νερού) και ενέργειας όσο και από την άποψη των εκλυόμενων ρύπων. Σήμερα, ειδικά σε περιοχές που έχουν επιδείξει σημαντική ανάπτυξη και εκσυγχρονισμό του συγκεκριμένου κλάδου της βιομηχανίας έχει επιτευχθεί ο έλεγχος και η σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων. Παρόλ' αυτά τα περιβαλλοντικά ζητήματα από τη λειτουργία των χαρτοβιομηχανιών παραμένουν πολύ σημαντικά.

Από την άλλη, η συσσώρευση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα και η αύξηση των καταναλωτικών συνθηκών, που λαμβάνει χώρα όλο και εντονότερα τις τελευταίες δεκαετίες, έχει αναδείξει ως μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα τη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων, μεγάλο μέρος (συνήθως άνω του 30% για την περίπτωση των αναπτυγμένων χωρών) των οποίων αποτελούν τα μετακαταναλωτικά προϊόντα χάρτου. Σήμερα, στο πλαίσιο μίας ολιστικής και περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων προτάσσεται ως αναγκαιότητα η ανακύκλωσή τους ή η καύση τους, στην περίπτωση που συνοδεύεται με ανάκτηση ενέργειας.

Η λήψη αποφάσεων σχετικών με ζητήματα που αφορούν στη διασφάλιση και στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως τέτοια συνιστούν η παραγωγή των προϊόντων χάρτου αλλά και η διαχείριση αυτών ως απορριμμάτων, απαιτεί μεθόδους και εργαλεία αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (A.K.Z.) αποτελεί το πιο αξιόπιστο εργαλείο αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, και, για το λόγο αυτό, εφαρμόζεται συχνά σε ζητήματα που αφορούν στη διαχείριση των απορριμμάτων χάρτου.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν, με τη βοήθεια του εργαλείου της A.K.Z., οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Αυτά συνιστούν τα ευρύτερα διαδεδομένα υλικά συσκευασίας και παρουσιάζουν τον υψηλότερο δείκτη επαναχρησιμοποίησης μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων χάρτου. Το ένα σκέλος της εργασίας επικεντρώθηκε στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Το δεύτερο σκέλος αφορούσε στη περιβαλλοντική αξιολόγηση και σύγκριση διαφορετικών επιλογών διαχείρισης των παλαιών κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Σε ότι αφορά το πρώτο σκέλος, το σύστημα μελέτης ανταποκρίνεται στην ελληνική πραγματικότητα και περιλαμβάνει τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καθώς και τη μεταφορά αυτών από τα σημεία συλλογής προς τις μονάδες παραγωγής. Διεπιστώθη πως η καύση του μαζούτ και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνιστούν τις κύριες αιτίες εκπομπής αερίων ρύπων, γεγονός που συνεπάγεται ότι το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας, στο οποίο καταναλώνεται η περισσότερη ενέργεια, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις αέριες εκπομπές. Αναλυτικότερα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 54,6% στο συνολικό (δηλ. σ' αυτό που αντιστοιχεί στο σύνολο του μελετηθέντος συστήματος) δυναμικό όξυνσης του φαινομένου

του θερμοκηπίου (GWP). Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 36,2%, ενώ η συνεισφορά καθενός εκ των υπολοίπων υποσυστημάτων (παραγωγής μαζούτ και πετρελαίου κίνησης, κύκλου ζωής αμύλου και σταδίων μεταφοράς) είναι αρκετά μικρή. Επίσης, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 69,1% στις συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub>. Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 24,3% και εν συνεχεία το υποσύστημα της παραγωγής αυτού με 6,1%, ενώ τα υπόλοιπα υποσυστήματα παρουσιάζουν αμελητέα συνεισφορά. Σε ότι αφορά το πρόδρομο δυναμικό σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος (TOPP), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η καύση του μαζούτ συμβάλλουν κατά 36,9% και 38,1%, αντίστοιχα, στην τιμή αυτού. Τα στάδια των μεταφορών συνεισφέρουν σημαντικά στη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων (περίπου 10,2%), όπως και το υποσύστημα της παραγωγής του μαζούτ (περίπου 11,2%).

Επίσης, η παρατηρούμενη άμεση εξάρτηση του περιβαλλοντικού «αποτυπώματος» του μελετηθέντος συστήματος από την περιβαλλοντική «επίδοση» του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της χώρας συνεπάγεται τη βελτίωση του πρώτου με την αναμενόμενη αύξηση του ποσοστού ένταξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δεύτερο. Έτσι, για παράδειγμα, εκτιμάται πως το έτος 2020 το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου του μελετηθέντος συστήματος θα έχει μειωθεί κατά 33%.

Επιπλέον, διεπιστώθη πως η εφαρμογή ενός συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο το φυσικό αέριο στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας οδηγεί σε σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών σε ολόκληρο το μελετηθέν σύστημα. Αυτό λαμβάνει χώρα ιδιαίτερος στην περίπτωση που το σύστημα έχει σχεδιασθεί με στόχο την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών της μονάδας και παράλληλα εξασφαλίζεται η διοχέτευση της πλεονάζουσας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μείωση (σε σχέση με την παρούσα κατάσταση) του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 62%. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 64% και 115,9% αντίστοιχα. Ειδικότερα οι εκπομπές SO<sub>2</sub> παρουσιάζουν αρνητικές τιμές, γεγονός που οφείλεται στις αποφευχθείσες εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε ότι αφορά το δεύτερο σκέλος της εργασίας, διερευνήθηκε η περιβαλλοντική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων διαχείρισης απορριμμάτων για την περίπτωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και επιχειρήθηκε η ανάδειξη των βασικών παραμέτρων που επιδρούν στα αποτελέσματα μίας τέτοιας μελέτης. Οι εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης απορριμμάτων που μελετήθηκαν ήταν η ανακύκλωση, η καύση και η ταφή. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης εστίασαμε μόνο στην κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αφορά στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Διαρθρώθηκαν τρία βασικά σενάρια αναλόγως του ποσοστού ανακύκλωσης των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Το πρώτο αφορούσε στην περίπτωση του μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης, το δεύτερο στην περίπτωση του μέγιστου δυνατού ποσοστού ανακύκλωσης (80%) και το τρίτο σε μία ενδιάμεση κατάσταση (40% ανακύκλωση). Το κάθε σενάριο περιλάμβανε ένα υποσενάριο ταφής και ένα καύσης για την ποσότητα των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων που δεν ανακυκλώνονταν. Τα υποσενάρια αυτά διαφοροποιούνταν, επιπλέον, αναλόγως του καυσίμου που επιλέγεται για να ισοσταθμίσει τις ροές ενέργειας στο σύστημα (δηλαδή, καύσιμο που αντικαθιστά τη δασική βιομάζα και καύσιμο που αντικαθίσταται λόγω της ανάκτησης ενέργειας κατά την καύση και την ταφή των

κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) και του διαφορετικού ποσοστού βιοαποδόμησης των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων κατά την ταφή αυτών.

Διεπιστώθη πως τα στάδια της δασικής αξιοποίησης και της διαχείρισης των απορριμμάτων παρουσιάζουν δύο αντικρουόμενες τάσεις σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών «επιδόσεων» με αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης, φαινόμενο το οποίο γίνεται εντονότερο όσο λιγότερο «καθαρό» είναι το καύσιμο που επιλέγεται για να υποστηρίξει τη διαδικασία διεύρυνσης του συστήματος. Αντίθετα, στα στάδια που ανακτάται ενέργεια μέσω της αξιοποίησης των απορριμμάτων χάρτου παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών «επιδόσεων» με μείωση του ποσοστού ανακύκλωσης.

Επίσης, φάνηκε πως, σε γενικές γραμμές, η ανακύκλωση είναι περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή, με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, διαχείρισης των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων σε σχέση με την καύση και, ιδιαίτερα, με την ταφή αυτών.

**Λέξεις κλειδιά:** Χαρτί, ανακύκλωση, χαρτιά συσκευασίας, κυματοειδή χαρτοκιβώτια, Ανάλυση Κύκλου Ζωής (A.K.Z.), καύση απορριμμάτων, ταφή απορριμμάτων, όξυνση φαινομένου του θερμοκηπίου



## **ABSTRACT**

The pulp and paper industry has historically been considered a major consumer of natural resources (wood, water and others) and energy (fossil fuels, electricity) and a significant contributor of pollutant discharges to the environment. However, in regions with a well developed pulp and paper industry, by means of a number of environmental measures for improved emission control, the emissions have been reduced considerably. Nevertheless, the environmental issues from the operation of relative units remain very important.

Additionally, the accumulation of population in urban areas and the increase of consuming habits, that takes place more intensely during the last decades, have designated as a major environmental affair the management of municipal solid wastes (MSW), great part (usually above 30% in the case of developed countries) of which, constitute the post-consumer paper products. In the frame of an integrated and environmental friendly management of MSW, recycling is represented as a necessary action. The incineration consists an alternative management system.

The decision-making which is related with issues that are focused on the protection of natural environment, such as the production of paper products and the management of waste paper, requires methods and tools to measure and compare the environmental impacts of human activities for the provision of goods and services. During the last decades, Life Cycle Assessment (LCA) consists the most reliable tool for the estimation of environmental impacts that are connected with some product, process or activity and, for this reason, it is often applied in issues that concern with waste paper management.

In the present work we studied, according to LCA methodology, the environmental impacts which are connected with life cycle of corrugated cardboards. These recommend the most widely spread packaging materials and present the higher utilization rate between the paper products. This work serves a dual purpose. On the one hand we are focused on the assessment of environmental impacts that are connected with the production of recycled corrugated cardboards. On the other hand we studied the environmental evaluation and comparison of different choices of used corrugated cardboards management.

Regarding to the first purpose, the system under study corresponds in the Greek reality. The system boundaries include the stages of corrugated cardboards production and the stages of waste paper transport from the collection points to the production units. It was realised that the combustion of heavy fuel oil and the consumption of electricity recommend the main sources of air emissions. The production of packaging papers consumes the greatest quantity of energy and, hence, that stage presents the greater contribution to air emissions. The electricity consumption contributes 54.6% to the total Global Warming Potential (GWP). The second most important contributor (36.2%) to this potential impact is onsite energy production by heavy fuel oil combustion. The contribution of each one from the rests of subsystems (heavy fuel oil production and transportation, starch life cycle and transport of waste paper and packaging papers) is enough small. Furthermore, the consumption of electricity

contributes 69,1% to the total SO<sub>2</sub> emissions and it is followed by the combustion of heavy fuel oil with 24,3% and, finally, by the subsystem of production and transportation of this fuel with 6,1%. The remainder subsystems present negligible contribution. The Tropospheric Ozone Precursor Potential (TOPP) is mainly owed to electricity consumption (36.9%) and heavy fuel oil combustion (38.1%). The transport stages have also considerable influence (10.2%) on this impact category.

So, it was found that the environmental "imprint" of the system under study depends strongly on the environmental "performance" of electricity production national system. That has as result the environmental burdens reduction with the expected increase of renewable energy resources integration in the national energy sector. Thus, for example, it is appreciated that in 2020 the total Global Warming Potential of studied system will have been decreased by approximately 33%.

Also, it was found that the application of a Combined Heat and Power generation (CHP) system, which use natural gas, in the stage of paper packaging production leads to a significant air emissions reduction to the entire studied system. This takes place particularly in the case where the system has been designed to cover completely the thermal demands and at the same time is ensured that the excess of electricity could be carry to the public grid. In this case, the total GWP is reduced by 62% (in comparison with the present situation). The NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> emissions are decreased by 64% and 115.9%, respectively.

Regarding to the second purpose, it has been investigated the environmental evaluation of different scenarios of old corrugated cardboard (OCC) management and it has been attempted the emergence of basic factors as parameters that affect in the results of such studies. The alternative choices of OCC management that were studied was recycling, incineration and landfilling. In the frame of this particular study we focused only on the environmental impact category that concerns in global warming. There have been structured three basic management scenarios according to recycling rate of OCC. The first scenario concerns to the case of null recycling rate. In the second scenario we investigate the case of the maximum possible recycling rate (80%). The third scenario concern an intermediary situation (40% recycling). Each scenario includes incineration and lanfilling subscenarios. These have been differentiated, moreover, according to the fuel that is selected, in order to equilibrate the energy flows (fuel that replaces the forest biomass and fuel that are replaced because of energy recovery during incineration or landfilling of OCC), and to the rate of OCC decomposition during landfilling.

The investigation of these different scenarios shows that the forestry stage and the final disposal stage present two opposite tendencies regarding to the environmental impacts. In the forestry stage, it has been observed increase of environmental records when the increase of the recycling rate. This phenomenon becomes more intense in the case where the alternative energy source, which is used for expanding system boundaries, has low environmental "performance". On the contrary, in the stages where energy recovery takes place, it has been observed an increase in the environmental "imprint" with the reduction in the rate of recycling.

With regard to global warming, the recycling seems to be more favourable than incineration. The landfilling presents worse environmental performance, even in the case of lowest decomposition rate and energy recovery from selected biogas.

**Keywords:** paper, recycling, Old Corrugated Cardboards (OCC), Life Cycle Assessment (LCA), incineration, landfilling, global warming



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ανακύκλωση υλικών, ειδικά με την οργανωμένη της μορφή, προέκυψε ως αναγκαιότητα τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Αναπτύχθηκε παράλληλα με την συσσώρευση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα και με την αύξηση των καταναλωτικών συνηθειών. Στις απαρχές της ανθρώπινης ιστορίας, όπου ο μικρός πληθυσμός των πρώτων κοινωνιών ήταν κυρίως νομαδικός, η χωρική συσσώρευση των απορριμμάτων ήταν μηδαμινή και, ως εκ τούτου, μία τέτοια επιλογή ήταν εντελώς περιττή. Αντίθετα, στις περιπτώσεις όπου παρατηρούνταν οργανωμένες και αναπτυγμένες κοινωνίες, η διαχείριση των απορριμμάτων αναδυόταν ως ένα σημαντικό ζήτημα. Έτσι, περίπου το 500 π.Χ., στην αρχαία Αθήνα οργανώθηκε ο πρώτος χώρος απόθεσης αστικών απορριμμάτων του δυτικού κόσμου [28]. Με το πέρασμα από τη φεουδαρχία στην καπιταλιστική οικονομία και με την συνακόλουθη βιομηχανική επανάσταση δημιουργήθηκαν προβλήματα υπερβολικής χωρικής συσσώρευσης χρησιμοποιημένων υλικών αγαθών. Με στόχο τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, η κύρια λύση που προτεινόταν ήταν η απόθεση αυτών σε ασφαλή απόσταση από τον αστικό ιστό ή, αργότερα - κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα-, η καύση αυτών. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, καθώς τα σχετικά προβλήματα εντεινόταν ραγδαίως και καθώς η επιστημονική κοινότητα άρχιζε να κατανοεί τα περιβαλλοντικά ζητήματα που προέκυπταν από την ελεύθερη διάθεση των απορριμμάτων και το πεπερασμένο των πρώτων υλών, δόθηκε η ευκαιρία για την εκ νέου εξέταση των συγκεκριμένων ζητημάτων. Από τη δεκαετία του '70 και ύστερα, τα ζητήματα αυτά αναδύθηκαν στην επιφάνεια των κοινωνικών προτεραιοτήτων. Σήμερα, παρότι έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές προσπάθειες προς μία εναλλακτική και περιβαλλοντικά ήπια διαχείριση των αστικών απορριμμάτων, τα σχετικά προβλήματα φαντάζουν πιο σημαντικά από ποτέ. Βάσει των αρχών της σύγχρονης περιβαλλοντικής πολιτικής και νομοθεσίας προτείνεται (κατά φθίνουσα σειρά προτεραιότητας) η πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων, η μείωση της παραγόμενης ποσότητας ή/και του ρυπαντικού φορτίου, η ανάκτηση των υλικών με σκοπό την ανακύκλωση ή την επαναχρησιμοποίησή τους, η αποτελεσματική επεξεργασία των αποβλήτων μετά την εφαρμογή διαδικασιών ανάκτησης και η υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες διεργασίες. Η ανακύκλωση, λοιπόν, προτάσσεται ως αναγκαιότητα στο πλαίσιο μίας ολιστικής και περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.

Μεταξύ των σημαντικότερων αστικών απορριμμάτων, τόσο από την άποψη της ποσότητας όσο και από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επέρχονται από τις σχετικές με τον κύκλο ζωής τους δραστηριότητες, συγκαταλέγονται τα προϊόντα χάρτου, τα οποία στην περίπτωση των αναπτυγμένων χωρών αποτελούν, συνήθως, ποσοστό άνω του 30% της συνολικής ποσότητας απορριμμάτων.

Το χαρτί και τα προϊόντα αυτού είναι άμεσα συνυφασμένα με την πρόοδο της κοινωνίας. Είναι σαφές πως το πολιτισμικό και πολιτιστικό οικοδόμημα της σύγχρονης κοινωνίας υποστηρίχθηκε και εξαρτήθηκε σε τεράστιο βαθμό από το χαρτί και τα προϊόντα του καθώς, εκτός των άλλων, αποτέλεσε (και συνεχίζει να αποτελεί) το κύριο μέσο διατήρησης και διάδοσης της γνώσης. Εκτός της χρήσης του ως μέσο αποτύπωσης γραφικών απεικονίσεων χρησιμοποιήθηκε και σε ένα πλήθος διαφορετικών εφαρμογών, μεταξύ των οποίων δεσπόζουσα θέση κατέχει η συσκευασία και η μεταφορά καταναλωτικών αγαθών.

Από το 105 μ.Χ., όταν και εφευρέθηκε το χαρτί, μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές μεταβολές σε πολλά σημαντικά ζητήματα που το αφορούν. Από το 19<sup>ο</sup> αιώνα η ξυλεία αντικατέστησε τα ράκη που μέχρι τότε αποτελούσαν τη βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων χάρτου. Η παραγωγή αυξήθηκε από τους 3,2 εκατομμύρια τόνους το 1864 στους 355 εκατομμύρια τόνους το 2005 και διευρύνθηκε σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων (π.χ. κυματοειδή χαρτοκιβώτια που αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας), εκτός αυτών που συνιστούν υποστρώματα γραφής.

Από το πρώτο στάδιο του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου, τη δασική αξιοποίηση, έως το τελευταίο, τη διαχείρισή τους ως απορριμμάτων, αναδεικνύονται σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Ο κλάδος της βιομηχανίας παραγωγής χαρτοπολτού και χαρτιού, πρωτογενούς ή ανακυκλωμένου, παρουσιάζει, παραδοσιακά, σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο από την άποψη της κατανάλωσης φυσικών πόρων (ξυλείας –στην περίπτωση παραγωγής χαρτιού από παρθένες ίνες-, ορυκτών καυσίμων και νερού) και ενέργειας όσο και από την άποψη των εκλυόμενων ρύπων. Σήμερα, αν και ο συγκεκριμένος κλάδος έχει επιτύχει σημαντική μείωση των σχετικών περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων σε σχέση με το παρελθόν, τα σχετικά προβλήματα παραμένουν σημαντικά. Από την άλλη βαρύνουσα σημασία, από περιβαλλοντική άποψη (αλλά όχι μόνο), έχει και η διαχείριση των μετακαταναλωτικών προϊόντων χάρτου. Η σημαντική αύξηση της ανακύκλωσης αυτών που συντελείται κυρίως στην Ευρώπη, η οποία έχει ξεπεράσει το 55%, φαίνεται πως αμβλύνει τα εν λόγω περιβαλλοντικά προβλήματα. Επίσης, τα συστήματα καύσης των αστικών απορριμμάτων συνιστούν μία εναλλακτική επιλογή διαχείρισης αυτών, που παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Αναδεικνύεται, λοιπόν, η ανάγκη για τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντικών «επιδόσεων» του συνόλου του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου. Κάτι τέτοιο όμως συνιστά ένα δύσκολο εγχείρημα, καθώς ο κύκλος ζωής των προϊόντων αυτών αποτελεί ένα πολυσύνθετο σύστημα: σχετίζεται σχεδόν με όλα τα είδη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό εισερχόμενων ροών (ενέργειας, νερού, πλήθος βοηθητικών υλών, κ.λπ.), τα χαρακτηριστικά του διαφέρουν αναλόγως του είδους του χαρτιού το οποίο αφορά, πολλές φορές η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε ένα στάδιο αυτού επιφέρει την αύξησή τους σε κάποιο άλλο, παρουσιάζει σημαντικές χωρικές και χρονικές διαφοροποιήσεις κ.ά.

Η λήψη αποφάσεων σχετικών με ζητήματα που σχετίζονται με τη διασφάλιση και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως τέτοια συνιστούν η παραγωγή των προϊόντων χάρτου αλλά και η διαχείριση αυτών ως απορριμμάτων, απαιτεί μεθόδους και εργαλεία αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Α.Κ.Ζ.) αποτελεί το πιο αξιόπιστο εργαλείο αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, και, για το λόγο αυτό, εφαρμόζεται συχνά σε ζητήματα που αφορούν στη διαχείριση των απορριμμάτων χάρτου.

Η SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) έχει ορίσει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Α.Κ.Ζ.) σαν «μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών, καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων» [85,167].

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αξιοποιείται το εργαλείο της Α.Κ.Ζ. για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την ανακύκλωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Τα τελευταία συνιστούν τα ευρύτερα διαδεδομένα υλικά συσκευασίας και παρουσιάζουν τον υψηλότερο δείκτη επαναχρησιμοποίησης μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων χάρτου. Επίσης επιχειρείται η συγκριτική αξιολόγηση των διαφορετικών επιλογών διαχείρισης (ανακύκλωσης, καύσης και ταφής) των απορριμμάτων αυτών. Το συγκεκριμένο πεδίο έρευνας έχει ελάχιστα μελετηθεί στην Ελλάδα και, ως εκ τούτου, η συγκεκριμένη εργασία αποσκοπεί στη μερική κάλυψη (ή, καλύτερα, σε μία πρώτη προσέγγιση) αυτού.

Αναλυτικότερα, το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή στα προϊόντα χάρτου. Καταγράφονται τα σημαντικότερα σημεία της ιστορικής διαδρομής του χαρτιού. Συζητώνται τα βασικότερα θέματα που αφορούν στη χημεία του ξύλου και περιγράφονται, συνοπτικά, τα στάδια της παραγωγής χαρτιού. Επίσης, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των διαφόρων προϊόντων χάρτου και οι χρήσεις αυτών, εστιάζοντας κυρίως στα κυματοειδή χαρτοκιβώτια και, τέλος, παρακολουθείται η εξέλιξη της παραγωγής και κατανάλωσης χαρτιού, κυρίως στην Ευρώπη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται τα βασικά ζητήματα που αφορούν στην ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου. Σ' αυτά περιλαμβάνονται οι πρώτες ύλες της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου, δείκτες και στατιστικά στοιχεία για το επίπεδο της ανακύκλωσης στην Ευρώπη και οι βασικότερες διεργασίες που εφαρμόζονται στις μονάδες του κλάδου. Στόχος του εν λόγω κεφαλαίου είναι να αποτελέσει μία βάση για όσα θα συζητηθούν στα επόμενα εδάφια της εργασίας και να αναδείξει τον πολυδιάστατο χαρακτήρα των ζητημάτων που σχετίζονται με την ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου.

Το τρίτο κεφάλαιο, αρχικώς, εστιάζει στη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου και της παραγωγής αυτών από παρθένες ίνες. Εν συνεχεία, αναλύονται, πιο διεξοδικά, τα βασικότερα ζητήματα που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου. Σ' αυτά κυρίως περιλαμβάνονται η κατανάλωση νερού και ενέργειας, η αέρια και η υδατική ρύπανση.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά στο εργαλείο της Α.Κ.Ζ. Αρχικώς πραγματοποιείται μία σύντομη ιστορική αναδρομή των σταδίων ανάπτυξης του συγκεκριμένου εργαλείου και στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία του και αναλύονται τα βασικότερα ζητήματα που άπτονται αυτού. Στο πλαίσιο του εν λόγω κεφαλαίου περιλαμβάνεται και μία συνοπτική ανάλυση των βασικότερων κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί μία επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σε θέματα Α.Κ.Ζ. προϊόντων χάρτου. Οι περισσότερες σχετικές εργασίες αφορούσαν τον ευρωπαϊκό χώρο και περιλάμβαναν διαφορετικά προϊόντα χάρτου. Αρκετές απ' αυτές συνέκριναν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφορετικών τρόπων διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου (ανακύκλωση, καύση, ταφή και, σπανιότερα, κομποστοποίηση). Επιχειρήθηκε η καταγραφή των σημαντικότερων συμπερασμάτων των σχετικών μελετών και η ανάδειξη των βασικότερων προβλημάτων που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε κατά την πραγμάτωση μίας μελέτης Α.Κ.Ζ. που αφορά στο συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο.

Στο έκτο κεφάλαιο επιχειρείται, βάσει της μεθοδολογίας της Α.Κ.Ζ., η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην όσο το δυνατόν καλύτερη

αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων στην ελληνική πραγματικότητα. Για το λόγο αυτό, η περίπτωση μελέτης στηρίχθηκε σε πρωτογενή δεδομένα από ελληνικές βιομηχανίες (Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. και EL PACK Α.Ε.) που δραστηριοποιούνται στο συγκεκριμένο κλάδο. Ακόμη, επιχειρήθηκε η ανάδειξη των παραμέτρων εκείνων που καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την περιβαλλοντική «επίδοση» του μελετηθέντος συστήματος, η σύγκριση με την αντίστοιχη ευρωπαϊκή κατάσταση και η εκτίμηση δράσεων που δύνανται να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή των ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Αναλυτικότερα, το σύστημα μελέτης περιελάμβανε τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καθώς και τη μεταφορά αυτών από τα σημεία συλλογής προς το εργοστάσιο παραγωγής. Ελήφθησαν υπόψη τα υποσυστήματα του κύκλου ζωής των βοηθητικών υλών και της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων. Η μελέτη περίπτωσης αφορούσε στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., όπου παράγονται τα χαρτιά συσκευασίας που αποτελούν βάση για την κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, και στην EL PACK Α.Ε., όπου κατασκευάζονται τα τελευταία. Δεν περιελήφθησαν τα στάδια της χρήσης (καθώς και τα σχετικά στάδια μεταφοράς) των προϊόντων αυτών. Επίσης, δεν ελήφθησαν υπόψη υποσυστήματα που έχουν μικρή επίδραση στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, (π.χ. τύπωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων).

Στο έβδομο κεφάλαιο επιχειρείται η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ της ανακύκλωσης, της καύσης και της ταφής των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, βάσει της μεθοδολογίας της Α.Κ.Ζ. Η μελέτη επικεντρώνεται στην ελληνική πραγματικότητα και περιορίζεται μόνο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παράλληλα επιχειρείται η ανάδειξη εκείνων των παραμέτρων που επιδρούν σημαντικά στα αποτελέσματα των σχετικών μελετών.

Σε ένα αναλυτικότερο επίπεδο πρέπει να αναφερθεί πως διαρθρώθηκαν τρία βασικά σενάρια αναλόγως του ποσοστού ανακύκλωσης των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Το πρώτο αφορούσε στην περίπτωση του μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης, το δεύτερο στην περίπτωση του μέγιστου δυνατού ποσοστού ανακύκλωσης (80%) και το τρίτο σε μία ενδιάμεση κατάσταση (40% ανακύκλωση). Το κάθε σενάριο περιλάμβανε ένα υποσενάριο ταφής και ένα καύσης για την ποσότητα των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων που δεν ανακυκλώνονταν. Τα υποσενάρια αυτά διαφοροποιούνταν, επιπλέον, αναλόγως του καυσίμου που επιλέγεται για να ισοσταθμίσει τις ροές ενέργειας στο σύστημα (δηλαδή, καύσιμο που αντικαθιστά τη δασική βιομάζα και καύσιμο που αντικαθίσταται λόγω της ανάκτησης ενέργειας κατά την καύση και την ταφή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) και του διαφορετικού ποσοστού βιοαποδόμησης των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων κατά την ταφή αυτών.

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και συζητώνται προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του θέματος. Η εργασία ολοκληρώνεται με τη βιβλιογραφία και τα παραρτήματα.





## **1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ**

### **1.1 Εισαγωγή**

Τα χαρτί είναι άμεσα συνυφασμένο με την πρόοδο της κοινωνίας. Είναι σαφές πως το πολιτισμικό και πολιτιστικό οικοδόμημα της σύγχρονης κοινωνίας υποστηρίχθηκε και εξαρτήθηκε σε τεράστιο βαθμό από το χαρτί και τα προϊόντα του καθώς, εκτός των άλλων, αποτέλεσε (και συνεχίζει να αποτελεί) το κύριο μέσο διατήρησης και διάδοσης της γνώσης. Εκτός της χρήσης του ως μέσο αποτύπωσης γραφικών απεικονίσεων χρησιμοποιήθηκε και σε ένα πλήθος διαφορετικών εφαρμογών, μεταξύ των οποίων δεσπόζουσα θέση κατέχει η συσκευασία και η μεταφορά καταναλωτικών αγαθών.

Από το 105 μ.Χ., όταν και εφευρέθηκε το χαρτί, μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές μεταβολές σε πολλά σημαντικά ζητήματα που το αφορούν. Από το 19<sup>ο</sup> αιώνα η ξυλεία αντικατέστησε τα ράκη που μέχρι τότε αποτελούσαν τη βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων χάρτου. Η παραγωγή αυξήθηκε από τους 3,2 εκατομμύρια τόνους το 1864 στους 355 εκατομμύρια τόνους το 2005 και διευρύνθηκε σε ένα μεγάλο πλήθος προϊόντων (π.χ. κυματοειδή χαρτοκιβώτια που αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας), εκτός αυτών που συνιστούν υποστρώματα γραφής.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο επιχειρείται μία σύντομη ανάλυση των προαναφερθέντων ζητημάτων. Συγκεκριμένα, καταγράφονται τα σημαντικότερα σημεία της ιστορικής διαδρομής του χαρτιού, συζητώνται τα βασικότερα θέματα που αφορούν στη χημεία του ξύλου και περιγράφονται, συνοπτικά, τα στάδια παραγωγής χαρτιού. Επίσης, αναλύονται τα διαφορετικά προϊόντα χάρτου και οι χρήσεις αυτών, επικεντρώνοντας κυρίως στα κυματοειδή χαρτοκιβώτια και, τέλος, παρακολουθείται η εξέλιξη της παραγωγής και κατανάλωσης των προϊόντων χάρτου, κυρίως στην Ευρώπη.

### **1.2 Μία σύντομη ιστορία του χαρτιού**

Η ανάγκη του ανθρώπου να επικοινωνήσει μέσω συμβόλων και γραφικών απεικονίσεων οδήγησε στην αξιοποίηση πλήθους υλικών ως κατάλληλων υποστρωμάτων για τις εν λόγω εφαρμογές. Η πέτρα, η άργιλος, η περγαμινή και ο πάπυρος χρησιμοποιήθηκαν για μακρά χρονική περίοδο ως υποστρώματα γραφής<sup>1</sup>. Ειδική αναφορά θα πρέπει να γίνει για τον πάπυρο<sup>2</sup>, ο οποίος αποτέλεσε για περισσότερο από 5.000 έτη το σημαντικότερο και το χρησιμότερο εκ των προαναφερθέντων υλικών. Παράγονταν, κυρίως, στην Αλεξάνδρεια και εκτόπισε σχεδόν όλα τα προηγούμενα υποστρώματα γραφής, εκτός της περγαμνής (που συνέχισε να χρησιμοποιείται για αρκετό καιρό σε ειδικές εφαρμογές) [9]. Για την παραγωγή

---

<sup>1</sup> Ο ενδιαφερόμενος για τα υποστρώματα γραφής που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαιότητα μπορεί να ανατρέξει στο βιβλίο "Paper & Paper Making Ancient and Modern" του R. Herring (1863), όπου παρατίθενται πολλά και ενδιαφέροντα σχετικά στοιχεία.

<sup>2</sup> Η αγγλική λέξη paper (όπως, επίσης, η γαλλική papier, η γερμανική papier, η ισπανική και πορτογαλική papel, η σουηδική papper) προέρχεται από την ελληνική και λατινική ονομασία του φυτού «πάπυρος» (Cyperus papyrus), που κυρίως φυτόταν στις όχθες του ποταμού Νείλου στην Αίγυπτο. Σήμερα το φυτό σχεδόν εκλείπει από την περιοχή αυτή [10].

του, το φυτό πάπυρος σχιζόταν σε λωρίδες οι οποίες διαβρέχονταν και ακολούθως τοποθετούνταν σε δύο ή, σπανιότερα, σε περισσότερες στρώσεις με διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Ακολούθως, οι στοιβάδες αυτές υπόκειντο σε πίεση ώστε να σχηματιστεί ένα ενιαίο φύλλο [9]. Τέλος η επιφάνεια του φύλλου τριβόταν με ελαφρόπετρα ή κόκαλο, ώστε να γίνει λεία και να καταστεί κατάλληλο υπόστρωμα για να δεχθεί το μελάνι [7]. Από μία καλάμη παπύρου παράγονταν έως 20 φύλλα παπύρου. Τα καλύτερης ποιότητας φύλλα παράγονταν από τα μέρη της καλάμης που βρίσκονταν κοντά στην εντεριώνη (ψίχα). Θα πρέπει, ακόμη, να διευκρινιστεί πως ο πάπυρος δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαρτί<sup>3</sup>, καθώς η παραγωγή του τελευταίου προϋποθέτει το διαχωρισμό των ινών μέσω της διεργασίας της πολτοποιήσής και στη συνέχεια τη διαμόρφωση αυτών σε λεπτό φύλλο [5,6,9].

Η εφεύρεση του χαρτιού οδήγησε στη σταδιακή εγκατάλειψη των προαναφερθέντων υλικών. Η εφεύρεση αυτού πιστώνεται στον Κινέζο Ts'ai Lun, αξιωματούχο της δυναστείας των Han, ο οποίος το 105 μ.Χ. βελτίωσε επιτυχώς προγενέστερες προσπάθειες παρασκευής φύλλων χαρτιού [1,3,4,5,6,7,9,12,14,16]<sup>4</sup>. Αξίζει να σημειωθεί πως, στο πλαίσιο πρόσφατων ερευνών, βρέθηκαν στην Κίνα κομμάτια χαρτιού (ή, καλύτερα, κομμάτια υποτυπώδους χαρτιού) που χρονολογούνται στο δεύτερο και πρώτο αιώνα π.Χ., υποδεικνύοντας έτσι πως η εφεύρεση του χαρτιού ήταν ένα επιστέγασμα πολύχρονης προσπάθειας. Σύμφωνα με αρχαία κείμενα της Κίνας, οι ίνες του χαρτιού που παρήγαγε ο Ts'ai Lun προέρχονταν από άχρηστα υφάσματα και ράκη, φλοιούς δένδρων (κυρίως μουριάς) και κάνναβη [9]. Επίσης, στις συνήθεις πρώτες ύλες για την παραγωγή χαρτιού συγκαταλέγονταν και το βαμβάκι, το λινάρι, οι ίνες του φυτού γιούτα και το άχυρο [7]. Σήμερα, πολλοί χειροτέχνες χαρτοποιοί χρησιμοποιούν ακόμη τις προαναφερθείσες πρώτες ύλες ως πηγές ινών [6].

Επιχειρώντας να περιγράψουμε συνοπτικά τη διαδικασία παραγωγής χαρτιού που ακολουθούσαν οι Κινέζοι χαρτοποιοί θα πρέπει να αναφέρουμε πως αρχικά οι πρώτες ύλες μετατρέπονταν σε πολτό με χρήση νερού και μηχανικής ενέργειας. Εν συνεχεία και με χρήση πλαισίων (στα οποία εφαρμόζε ένα πλέγμα) κατάλληλων διαστάσεων συγκρατούνταν οι ίνες του αιωρήματος και η συσσωμάτωσή τους πάνω στο πλαίσιο αποτελούσε το παραγόμενο χαρτί. Σ' αυτό ακούσαν πίεση με τη βοήθεια μεγάλων πετρών, με στόχο τη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας. Ύστερα, το χαρτί επικολλώνταν σε κάθετες επιφάνειες, ούτως ώστε να ξηρανθεί και, τέλος, επιχρίζονταν με φυτική κόλλα και λειανόταν με τη βοήθεια πετρών (βλ. Σχήμα 1). Αξίζει να σημειωθεί πως ήταν δυνατή η παραγωγή χαρτιού μεγάλων διαστάσεων, έως 3-3,6 m μήκους, μέσω πλαισίου αντίστοιχων διαστάσεων το οποίο διαχειρίζονταν με τη βοήθεια συστήματος τροχαλιών [9].



**Σχήμα 2:** Διαδικασία παρασκευής χαρτιού σε αρχαία ιαπωνική μονάδα [Πηγή: Διαδίκτυο [25]]

<sup>3</sup> Η ελληνική λέξη χαρτί (όπως και η ιταλική carta) προέρχεται από τη λέξη «χάρτης», η οποία σημαίνει «λεπτό φύλλο πάνω στο οποίο γράφουμε», είναι άγνωστης ετυμολογίας και ίσως αποτελεί δάνειο από την αιγυπτιακή [2].

<sup>4</sup> Το βιβλίο του D. Hunter “Papermaking: The History and Technique of An Ancient Craft” που επανεκδόθηκε το 1978 συνιστά μία εξαιρετική πηγή για την ιστορία του χαρτιού. Επίσης το βιβλίο του J. Munsell (1864) “A Chronology of Paper and Paper-Making” συνιστά ένα πολύ λεπτομερές χρονογράφημα της ιστορίας του χαρτιού.

Η τέχνη της παραγωγής χαρτιού εξαπλώθηκε σύντομα σε όλη την Κίνα και από τον 3<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. καθιερώθηκε ως το βασικό υπόστρωμα γραφής σ' αυτό το μέρος του πλανήτη. Περίπου τον 5<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., οι Κινέζοι εφηύραν την τύπωση<sup>5</sup> -κατά την οποία χρησιμοποιούσαν ξύλινα πλακίδια-, και ως ήταν φυσικό, το χαρτί αποτέλεσε ένα εξαιρετικό υλικό για τις σχετικές εφαρμογές [9]. Περίπου το 610 μ.Χ.<sup>6</sup>, η τέχνη της παραγωγής χαρτιού διαδόθηκε στην Ιαπωνία μέσω της Κορέας [1,4,9,12]. Πιστεύεται πως το πραγματικό άτομο που έφερε τη τεχνολογία της παραγωγής χαρτιού στην Ιαπωνία ήταν ένας βουδιστής μοναχός, που ονομάζονταν Dokyo [12]. Αξίζει να θυμηθούμε πως ο πολιτισμός των Ιαπώνων στηρίχθηκε πολύ στον αντίστοιχο της Κίνας. Η γεωργία, οι τέχνες, η θρησκεία και οι επιστήμες των Ιαπώνων διαμορφώθηκαν και αναπτύχθηκαν στηριζόμενες στις επιδράσεις του κινέζικου πολιτισμού. Επίσης, στην Ιαπωνία η γραπτή επικοινωνία αναπτύχθηκε όταν οι κινέζικοι χαρακτήρες γραφής εισήχθησαν στη χώρα από τον Atoigi, γιο του βασιλιά της Κορέας, το 286 μ.Χ. [12].

Στην Ιαπωνία, λοιπόν, τελειοποιήθηκαν οι τεχνικές παραγωγής χαρτιού και σύντομα οι Ιάπωνες χαρτοποιοί απέκτησαν εξαιρετική φήμη [9]. Στην Ιαπωνία παράγονταν και προϊόντα χάρτου που χρησιμοποιούνταν για διακοσμητικές εφαρμογές. Το σημαντικότερο, μεταξύ πολλών τέτοιων προϊόντων, ήταν το Shifu, ένα χάρτινο νήμα υφασμένο σε μία συμπαγή και όμορφη δομή. Σημειώνεται πως τόσο στην Κορέα όσο και στην Ιαπωνία χρησιμοποιούνταν κυρίως ίνες από το δέντρο της μουριάς. Έχει επίσης αποδειχθεί πως λίγο νωρίτερα, από τον 4<sup>ο</sup> έως τον 6<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., η χαρτοποιία είχε αναπτυχθεί και στην Κεντρική Κίνα, στις περιοχές εκείνες που γειτνιάζαν και σχετιζονταν με το δρόμο του μεταξιού. Εκεί, η τέχνη της χαρτοποιίας έγινε γνωστή και στους Θιβετιανούς, οι οποίοι τη μετέδωσαν στις κοιλάδες των Ιμαλαΐων. Ως πρώτες ύλες αξιοποιήθηκαν τα τοπικά φυτά, όπως οι ρίζες του φυτού *Stellera Chamaejasme*. Αντίθετα, στην Ινδία συνεχίστηκε για αρκετά χρόνια η παραδοσιακή χρήση φλοιών, υφασμάτων και φύλλων φοινικιάς ως υποστρωμάτων γραφής. Αρκετά αργότερα (περίπου τον 11<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ.) εισήχθη η τέχνη της χαρτοποιίας στην Ινδία, μέσω της Περσίας και της Κεντρικής Ασίας [4].

Μετά το 700 μ.Χ. η τέχνη της χαρτοποιίας διαδόθηκε και δυτικότερα και συγκεκριμένα στη Σαμαρκάνδη<sup>7</sup>, και, εν συνεχεία, στη Βαγδάτη (793 μ.Χ.), στη Δαμασκό, στο Κάιρο (1100 μ.Χ) και στο Μαρόκο [3,4,9,14,16]. Στις περιοχές αυτές το χαρτί παράγονταν κυρίως από ράκη και το κολλάρισμα πραγματοποιούνταν με κόλλα αμύλου (από σιτάρι ή ρύζι). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το συγκεκριμένο χαρτί να αποτελεί ένα εξαιρετικό υπόστρωμα γραφικών εφαρμογών και να παρουσιάζει πολύ καλή εμφάνιση. Από την άλλη, βέβαια, παρουσίαζε μειωμένες αντοχές καθώς προσβάλλονταν εύκολα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως την υγρασία και τα έντομα [4]. Οι Άραβες αποΐωναν τα ράκη τοποθετώντας τα σε σωρούς και διαποτίζοντάς τα με νερό, ούτως ώστε, μετά την πάροδο κατάλληλου χρονικού διαστήματος, να επέλθει μερικώς η ζύμωσή τους. Μετά τα έβραζαν με τέφρα από

<sup>5</sup> Σύμφωνα με τον D. Hunter (1978) η πρώτη αποτελεσματική τύπωση πάνω σε χαρτί πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία, υπό την υποστήριξη της Αυτοκρατορίας Shotoku (πιθανώς η ίδια να εφηύρε την τύπωση). Σημειώνεται πως η συγκεκριμένη Αυτοκρατορία είχε ως τον πιο έμπιστο σύμβουλό της ένα θιβετιανό μοναχό, τον Dokyo (το συγκεκριμένο άτομο θα το συναντήσουμε και λίγο αργότερα), ο οποίος διατελούσε και χρέη ιατρού της αυτοκρατορίας [12].

<sup>6</sup> Πρέπει όμως να αναφερθεί πως σύμφωνα με μερικές αναφορές η είσοδος της τέχνης της χαρτοποιίας στην Ιαπωνία έλαβε χώρα περίπου 200 έτη αργότερα, και συγκεκριμένα το 807 μ.Χ. [5].

<sup>7</sup> Η Σαμαρκάνδη είναι μία από τις αρχαιότερες συνεχώς κατοικούμενες πόλεις στον κόσμο, που ευδοκίμησε εξαιτίας της θέσεώς της πάνω στον κύριο εμπορικό δρόμο μεταξύ Κίνας και Ευρώπης. Σήμερα ανήκει στο Ουζμπεκιστάν και συνιστά τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη του.

ξύλο<sup>8</sup> και τέλος τα τοποθετούσαν σε υφασμάτινους σάκους από τους οποίους περνούσαν καθαρό νερό, ώστε να απομακρυνθούν οι προσμίξεις εκείνες που συνιστούσαν τους ρύπους του αιωρήματος [12]. Από αυτές, τις καθαρές πια, ίνες και με μερικές επιπλέον διεργασίες παράγαν το τελικό χαρτί.

Τον 11<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ.<sup>9</sup> η αραβική τεχνική παραγωγής χαρτιού διαδόθηκε στο Βυζάντιο και στην Ευρώπη, και ειδικότερα στην Ισπανία (Χάτιβα, Κόρτομπα) και στην Ιταλία (Αμάλφι, Γένοβα). Οι χαρτοποιοί της Γένοβας και του Φαμπριάνου προσπάθησαν να βελτιώσουν την αραβική τεχνική. Αυτοί συνέχισαν να χρησιμοποιούν ράκη από λινάρι και κάνναβη για να παράξουν τον χαρτοπολιτό, αλλά αύξησαν το επίπεδο της παρεχόμενης μηχανικής ενέργειας για την απελευθέρωση των ινών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας την ενέργεια από την πτώση νερού κινούσαν μεγάλες διατάξεις αποϊνωτών. Τα ράκη τοποθετούνταν σε κοιλότητες (τέσσερις έως έξι) μιας πλατφόρμας από τεράστιους κορμούς βελανιδιάς και, ενώ διοχετεύονταν συνεχώς φρέσκο νερό, μεγάλα βαριά ξύλινα σφυριά έπεφταν με ορμή στα ράκη, με αποτέλεσμα να επέρχεται η αποϊνώση αυτού. Τα ράκη μεταφέρονταν από κοιλότητα σε κοιλότητα ούτως ώστε να επιτευχθεί ένα υψηλότερος βαθμός αποϊνώσης. Βελτιώσεις πραγματοποιήθηκαν και στον τρόπο διαμόρφωσης των φύλλων χαρτιού καθώς άρχισαν να χρησιμοποιούνται διατάξεις ξύλινων πλαισίων όπου στερεώνονταν λεπτά σύρματα από χαλκό ή ορείχαλκο (τα οποία αποτελούσαν το πλέγμα πάνω στο οποίο επικάθονταν οι ίνες και μέσω του οποίου απομακρύνονταν το νερό), πιεστήρια κοχλιών και, επίσης, αντικαταστάθηκε το κολλάρισμα με κόλλα αμύλου με βαθύ κολλάρισμα με κόλλα ζωικής προέλευσης. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί πως για την παραγωγή χαρτιού με τον προαναφερθέντα τρόπο συνήθως εργάζονταν τέσσερα άτομα και πως κατά τη διάρκεια μίας ημέρας (κατά την οποία οι ώρες εργασίας κυμαίνονταν από 13 έως 15) παράγονταν πάνω από 4.500 φύλλα χαρτιού, αριθμός, βέβαια, που εξαρτώνταν από τις διαστάσεις αυτών. Η ξήρανση των χαρτιών πραγματοποιούνταν συνήθως από γυναίκες, οι οποίες, για το σκοπό αυτό, τα κρέμαγαν σε σχοινιά. Κυρίως παράγονταν χαρτιά γραφής (επιστολόχαρτα, κ.λπ.) και φθηνά χαρτιά περιτύλιξης [4].

Συνέπεια της αλλαγής του τρόπου διαμόρφωσης των φύλλων χαρτιού ήταν και η εφεύρεση της υδατογραφίας, η οποία έχει τις ρίζες της στην Ιταλία. Το υδατογράφημα παράγονταν ως εξής: πάνω στο πλέγμα, στο οποίο μορφοποιούνταν το φύλλο χαρτιού, διαμορφώνονταν το επιθυμητό σχέδιο μέσω της πλέξης συρμάτων χαλκού ή ορείχαλκου· αυτό είχε ως αποτέλεσμα την τοπική αύξηση του πάχους του πλέγματος και κατ' επέκταση την τοπική μείωση του πάχους του παραγόμενου χαρτιού. Η εν λόγω τοπική μείωση του πάχους του χαρτιού, αποτελεί ένα ορατό σχέδιο, δηλαδή το υδατογράφημα. Το υδατογράφημα χρησίμευε, συνήθως, ως εμπορικό σήμα. Σήμερα αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο χρονολόγησης και επικύρωσης ιστορικών εγγράφων [4].

Καθώς η χειρόγραφη αναπαραγωγή κειμένων ήταν μία πολύ βραδεία διαδικασία, η κατανάλωση χαρτιού στην Ευρώπη ήταν περιορισμένη εκείνη την περίοδο. Αυτό είχε ως συνέπεια την αργή ανάπτυξη της ευρωπαϊκής χαρτοποιίας κατά τα πρώτα 300 χρόνια από τη στιγμή που η τέχνη αυτή διαδόθηκε στη συγκεκριμένη περιοχή. Όμως, η εφεύρεση της

<sup>8</sup> Η τέφρα ξύλου περιέχει ανθρακικό κάλιο και έτσι η διάλυση της σε νερό υψηλής θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της τιμής του pH του διαλύματος.

<sup>9</sup> Πιστεύεται πως το πρώτο ευρωπαϊκό χαρτί παράχθη στην Ισπανία περίπου το 1150 μ.Χ. [10].

τυπογραφίας από τον Gutenberg<sup>10</sup>, στα μέσα του 15<sup>ου</sup> αιώνα<sup>11</sup>, άλλαξε την τάση αυτή και αποτέλεσε ένα γεγονός ορόσημο για την, ραγδαία πια, ανάπτυξη της χαρτοποιίας [10]. Την περίοδο εκείνη, χαρτοποιίες αναπτύχθηκαν στην Ισπανία, στην Ιταλία, στη Γαλλία, στη Γερμανία και στην Αγγλία. Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί πως, αρχικώς, το χαρτί αντιμετωπίστηκε με επιφυλακτικότητα, αφενός γιατί παρουσίαζε μικρότερες μηχανικές αντοχές από την περγαμηνή και αφετέρου λόγω της τάσης του χριστιανικού κόσμου να αντιδρά και να δυσπιστεί σε οτιδήποτε προέρχονταν από τον Αραβικό και Ιουδαϊκό πολιτισμό [10]. Η επιφυλακτικότητα, όμως, αυτή δεν κατέστη δυνατή να σταματήσει την ανάπτυξη της ευρωπαϊκής χαρτοποιίας.

Τα ράκη συνέχισαν να συνιστούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτιού (αντίθετα απ' ότι συνέβαινε στην Ασία). Αρχικώς, τα ράκη από λινάρι ήταν αυτά που χρησιμοποιούνταν περισσότερο, καθώς τα αντίστοιχα μάλλινα ήταν ακατάλληλα για την παραγωγή χαρτιού. Από τα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα που το εισαγόμενο βαμβάκι κατέστη ευρέως διαθέσιμο για την παραγωγή ρούχων, η χαρτοποιία στηρίχθηκε και στα βαμβακερά ράκη. Σύμφωνα με τον H. Holík (2006), σε αρκετές περιπτώσεις έλλειψης πρώτων υλών χρησιμοποιήθηκαν, αναγκαστικά, και μάλλινα ράκη [4]. Στον Δυτικό κόσμο τα ράκη αυτά αποτέλεσαν, ουσιαστικά, τη μοναδική πρώτη ύλη της χαρτοποιίας για περισσότερο από 700 έτη, μέχρι τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα [10]. Η ραγδαία αύξηση της ζήτησης χαρτιού κατά το 18<sup>ο</sup> και 19<sup>ο</sup> αιώνα, ως συνέπεια, κυρίως, της ανάπτυξης και διάδοσης της τυπογραφίας, είχε ως αποτέλεσμα την έλλειψη πρώτων υλών. Για το λόγο αυτό θεσπίστηκαν κανόνες που καθόριζαν και ρυθμίζαν το εμπόριο των ρακών, ούτως ώστε να διασφαλίζεται η διαθεσιμότητα χαρτιού, ειδικότερα για τις ανάγκες των διοικητικού συστήματος των κρατών [4]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η απόφαση του Αγγλικού Κοινοβουλίου, το 1666, σύμφωνα με την οποία απαγορευόταν η χρήση ρούχων από βαμβάκι ή λινάρι κατά την ταφή των νεκρών, με στόχο την χρήση των υλικών αυτών στην παραγωγή χαρτιού. Τόσο στην Αγγλία όσο και στη Γερμανία αποτέλεσε κοινή πρακτική η χρήση αποκλειστικά μάλλινων υφασμάτων για τον ρουχισμό των νεκρών [10].

Παράλληλα, λοιπόν, με την αύξηση της ζήτησης χαρτιού αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε η τεχνική της χαρτοποιίας. Σημαντική εφεύρεση αποτέλεσε, περίπου το 1680, μία μηχανή αποϊνώσης (beater) που κατασκευάστηκε στην Ολλανδία από ένα ή περισσότερα άτομα των οποίων η ταυτότητα δεν είναι σήμερα γνωστή. Η μηχανή αυτή ακόμα και σήμερα ονομάζεται «Ολλανδός» (“Hollander beater” ή απλά “Hollander”). Αποτελούνταν 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 παρέχόταν από την ενέργεια του ανέμου ή του νερού. Η συνεχής παροχή νερού στο μηχανήμα επιτύχανε, 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 [4,7,10,12].

---

<sup>10</sup> Λέγεται πως χρειάστηκαν 300 δέρματα αμνών ούτως ώστε να τυπωθεί το πρώτο αντίτυπο της Βίβλου από τον Gutenberg [14].

<sup>11</sup> Σημειώνεται πως η συγκεκριμένη τεχνική αναπαραγωγής κειμένων ήταν ήδη γνωστή στην Κίνα, αλλά ήταν περισσότερο κατάλληλη για εφαρμογές που αφορούσαν γράμματα των αλφάβητων των ευρωπαϊκών λαών παρά για τους χιλιάδες χαρακτήρες που χρησιμοποιούσαν οι Κινέζοι [14].

Από την Ευρώπη, οι τεχνικές παραγωγής χαρτιού εισήχθησαν στην Αμερική από Βρετανούς και Ισπανούς αποίκους. Οι Ισπανοί εγκατέστησαν την πρώτη χαρτοποιία της Β. Αμερικής, στην πόλη του Μεξικού περίπου το 1575. Παρόλο που η πρώτη η εκτυπωτική μονάδα στις Βρετανικές αποικίες της Αμερικής εγκαταστάθηκε και λειτούργησε στο Cambridge, της Μασαχουσέτης, το 1638, χρειάστηκαν περισσότερα από 50 έτη για να κατασκευαστεί η πρώτη χαρτοποιία σ' αυτές τις αποικίες. Αυτή κατασκευάστηκε το 1690, σε περιοχή που σήμερα συνιστά μέρος της Φιλαδέλφειας, και λειτούργησε από τον William Rittenhouse, ο οποίος, προηγουμένως, ήταν χαρτοποιός στην Ολλανδία [10]. Το 1810 ο αριθμός των χαρτοβιομηχανιών της Αμερικής εκτιμόταν σε 185 [9]. Όπως και στην Ευρώπη, τα ράκη από λινάρι αποτέλεσαν την βασική πρώτη ύλη του εν λόγω κλάδου της βιομηχανίας. Τον επόμενο αιώνα, η ανάπτυξη της καλλιέργειας βαμβακιού είχε ως αποτέλεσμα την είσοδο και των σχετικών ρακών στον κλάδο της χαρτοβιομηχανίας [10].

Και στην περίπτωση της Αμερικής, η αύξηση της κατανάλωσης χαρτιού οδήγησε σε έλλειψη ρακών, αλλά και σε μία σημαντική αύξηση της τιμής του χαρτιού. Για το λόγο αυτό οι χαρτοβιομηχανίες προσπάθησαν, στηριζόμενες είτε στη διαφήμιση είτε στην εκπαίδευση, να ενθαρρύνουν την εξοικονόμηση των ρακών. Συχνά, η εξοικονόμηση ρακών προβαλλόταν ως συνήθεια με χαρακτήρα πατριωτισμού. Χαρακτηριστικό ήταν το υδατογράφημα που χρησιμοποιούσε ένα εργοστάσιο της εποχής, όπου καταγραφόταν η φράση “SAVE RAGS”. Το 1776, στη Μασαχουσέτη, ψηφίστηκε νόμος σύμφωνα με τον οποίο όλες οι πόλεις ήταν υποχρεωμένες να συλλέγουν τα ράκη και να τα διαθέτουν στις χαρτοποιίες<sup>12</sup> [10,12,13].

Χαρακτηριστική ήταν, ακόμη, η διαφήμιση του Zenas Crane, που κατοχύρωσε στην εφημερίδα Pittsfield Sun, προτού λειτουργήσει η, μετέπειτα διάσημη, χαρτοβιομηχανία του το 1801 [13]:

*Αμερικανοί! Ενθαρρύνετε τα δικά σας Εργοστάσια, και αυτά θα βελτιωθούν. Κυρίες, διασώστε τα Ράκη σας. Επενδυτές διαπραγματεύονται την εγκατάσταση ΧΑΡΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ στο Dalton.....Κάθε γυναίκα, η οποία επιθυμεί το καλύτερο για την πατρίδα της και για την οικογένειά της, θα πρέπει να στηρίξει την προσπάθεια αυτή, διασώζοντας τα ράκη του νοικοκυριού της και στέλνοντάς τα στο Εργοστάσιο ή στο πλησιέστερο κατάστημα συλλογής, λαμβάνοντας σημαντικό οικονομικό αντίτιμο<sup>13</sup>.*

Εξαιτίας, λοιπόν, της μεγάλης έλλειψης ρακών, κατέστη αναγκαία η έρευνα για την εξεύρεση άλλων πηγών ινών κατάλληλων για την παραγωγή χαρτιού [5,10]. Η πρώτη πρόταση για τη χρήση ξύλου ως πηγή χαρτοπολτού έγινε από τον φυσιοδίφη Renē Antoine Ferchault de Rēaumur, σε μία αναφορά του προς τη Γαλλική Βασιλική Ακαδημία το 1719. Ο Rēaumur έμεινε κατάπληκτος παρατηρώντας πως πολλά είδη σφηκών επεξεργάζονταν το ξύλο και παρήγαγαν πολύ τον οποίο διαμόρφωναν σε ένα στέρεο σύμπλεγμα ινών (όμοιο,

<sup>12</sup> Η S. Strasser (1999) αναφέρει πως, σύμφωνα με μία κλασική εργασία πάνω στην Αμερικάνικη χαρτοβιομηχανία, μέχρι τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η ιστορία του χαρτιού ήταν, υπό μία έννοια, μία ιστορία συλλογής ρακών (“Until well after the middle of the nineteenth century, the history of paper was, in one sense, a history of rag-gathering”) [13].

<sup>13</sup> “Americans! Encourage your own Manufactories, and they will Improve. Ladies, save your Rags. As the Subscribers have it in contemplation to erect a PAPER-MILL in Dalton, the ensuing spring; and the business being very beneficial to the community at large, they flatter themselves that they shall meet with due encouragement. And that every woman, who has the good of her country, and the interest of her own family at heart, will patronize them, by saving her rags, and sending them to their Manufactory, or to the nearest Storekeeper –for which the Subscribers will give a generous price” [13].

κατά κάποιον τρόπο, με το χαρτί), που αποτελούσε τις φωλιές τους. Δεν είναι, όμως, γνωστό αν ο Rëaumur, βασιζόμενος στις λεπτομερέστατες παρατηρήσεις του, επιχείρησε να παράξει χαρτί από ξύλο. Κατά τη διάρκεια του 18<sup>ου</sup> αιώνα πολλά ακόμη άτομα διενήργησαν δοκιμές για να εξάγουν ίνες από πλήθος πηγών, με στόχο την παραγωγή χαρτιού. Για το σκοπό δοκιμάστηκαν κομμάτια ξύλου, βρύα από έλη, πατάτες, φλούδες καλαμποκιού, θάμνοι και φλοιοί δέντρων. Δοκιμάστηκαν, επίσης, (ως επιστέγασμα της φαντασίας του ερευνητή) και φωλιές από σφήκες αλλά και ορυκτές ίνες, οπότε και παρήχθησαν μερικά φύλλα χαρτιού από αμίαντο [10]!

**Πίνακας 1:** Η διάδοση της τέχνης της χαρτοποιίας στη Δύση

<b>Η διάδοση της τέχνης της χαρτοποιίας στη Δύση</b>	
105 μ.Χ.	Η εφεύρεση του χαρτιού από τον Ts'ai Lun στην Κίνα
751 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στη Σαμαρκάνδη
900 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στην Αίγυπτο
1147 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στη Γαλλία
1150 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στην Ισπανία
1276 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στην Ιταλία
1495 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στην Αγγλία
1576 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στη Ρωσία
1591 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στη Σκοτία
1690 μ.Χ.	Χαρτί παρήχθη στις ΗΠΑ

[Πηγή: W. E. Scott (1989) [5]]

Στη Δύση, η πρώτη μονάδα εμπορική κλίμακας που παρήγαγε χαρτί από υλικά εκτός των ρακών λιναριού και βαμβακιού κατασκευάστηκε από τον Matthias Koops στην Αγγλία το 1801. Ο Koops έφτιαξε επιτυχώς χαρτί από μία ποικιλιών υλικών, συμπεριλαμβανομένων των ακύρων, της κάνναβης, του λιναριού, του ξύλου, διαφόρων φλοιών και του παλαιόχαρτου. Ο Koops κατοχύρωσε αρκετές ευρεσιτεχνίες μεταξύ των οποίων και μία που κατοχύρωσε το 1800 και αποτέλεσε την πρώτη γνωστή ευρεσιτεχνία για το διαχωρισμό των ινών του τυπωμένου παλαιόχαρτου από τα μελάνια που περιείχονταν σ' αυτό και την επαναχρησιμοποίησή τους (των ινών) για την παραγωγή νέων λευκών χαρτιών γραφής και εκτύπωσης [10]. Η ευρεσιτεχνία αυτή ήταν ο πρόδρομος των σύγχρονων μεθόδων απομελάνωσης (στις οποίες θα αναφερθούμε στη συνέχεια της εργασίας) που αναπτύχθηκαν κυρίως κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (και ειδικότερα από τα μέσα αυτού και ύστερα). Πρέπει να αναφερθεί πως παρά την επιτυχία της συγκεκριμένης μονάδας να παράγει χαρτί από όλα αυτά τα νέα (για την εποχή) υλικά, ο χρόνος ζωής της ήταν πολύ σύντομος. Ο Koops μέσα σε τρία χρόνια χρεοκόπησε, και, έτσι, τα παλαιά ράκη συνέχισαν, για μερικά χρόνια ακόμη, να αποτελούν την πηγή ινών από την οποία εξαρτώνταν ο κλάδος της χαρτοβιομηχανίας [10].

Αξίζει, τέλος, να αναφερθεί πως κατά το 19<sup>ο</sup> αιώνα άρχισαν να παράγονται, σε ευρεία κλίμακα, και προϊόντα χάρτου που δε συνιστούσαν υποστρώματα γραφής και εκτύπωσης, αλλά χρησίμευαν σε άλλες εφαρμογές. Τέτοια προϊόντα ήταν συχνά, λόγω της χρήσης τους,



αδύνατον να ανακυκλωθούν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ήταν τα χάρτινα κολάρα πουκαμίσων που χρησιμοποιούνταν με στόχο την αποφυγή του πλυσίματος του ρούχου (αφού αρκούσε η αλλαγή του κολάρου για να φαίνεται καθαρός ο γιακάς του ρούχου!), τα χαρτιά τουαλέτας που αντικατέστησαν σε αρκετές χώρες (π.χ. Η.Π.Α.), για το σκοπό αυτό, τις εφημερίδες και τα χάρτινα κύπελλα [13]!

Σε ότι αφορά την Ελλάδα, η χαρτοποιία εισήχθη κατευθείαν με τη βιομηχανική της μορφή το 1877, όταν ο Β. Σ. Βαρουζάκης ίδρυσε χαρτοβιομηχανική μονάδα στο Φάληρο, η οποία με διάφορες μορφές και τύχες θα διατηρηθεί τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Η μεγάλη, ωστόσο, αφετηρία της βιομηχανίας χάρτου ουσιαστικά τοποθετείται στην περίοδο του Μεσοπολέμου. Εν συνεχεία, κατά την περίοδο του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ακολούθησε, αναπόφευκτα, σημαντική κρίση του κλάδου, ο οποίος ανάκαμψε σταδιακά κατά την μεταπολεμική περίοδο. Οι δεκαετίες του '60 και του '70 αποτέλεσαν την περίοδο της μεγαλύτερης ακμής. Διάφορες, όμως, αδυναμίες της ελληνικής βιομηχανίας χάρτου σε συνδυασμό με οικονομικές συγκυρίες παγκόσμιας κλίμακας οδήγησαν σε σημαντική κρίση, ιδιαίτερα κατά τη δεκαετία του '80, η οποία συνοδεύτηκε με την παύση της λειτουργίας αρκετών εργοστασίων [159].

### **1.3 Το ξύλο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων χάρτου**

Η στοιχειακή ανάλυση ξηρής μάζας ξύλου δείχνει ότι το ξύλο αποτελείται περίπου από 50% C, 6% H και 44% O. Η σύσταση αυτή αντιστοιχεί σε έναν εμπειρικό τύπο για το ξύλο:  $C_{1,5}H_{2,1}O$ . Στο ξύλο υπάρχουν, επίσης, μικρές ποσότητες αζώτου (0,1-1%) και μεγάλος αριθμός άλλων στοιχείων (K, Na, Ca, Mg, Fe, S, P, Al, Si, Ni, Ba, Bd, κ.ά.). Η φυτική ύλη, ξυλώδης και μη, αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (90-99%) από μεγαλομοριακές (πολυμερείς ενώσεις) και κατά το υπόλοιπο (1-10%) από απλές ή ολιγομερείς ενώσεις. Οι μεγαλομοριακές ενώσεις διακρίνονται σε τρεις βασικές ομάδες (βάσει της σύστασης και της δομής αυτών): στην κυτταρίνη, στην ημικυτταρίνη και στην λιγνίνη. Η κυτταρίνη συνιστά την πλέον διαδεδομένη οργανική ένωση στη φύση. Είναι ένα γραμμικό πολυμερές της ανυδρογλυκόζης<sup>14</sup> με μεγάλο βαθμό πολυμερισμού και έχει εμπειρικό τύπο  $(C_6H_{10}O_5)_m$ . Παρουσιάζει μεγάλη χημική και μηχανική αντοχή και στην καθαρή της μορφή έχει χρώμα λευκό και ειδικό βάρος ίσο με 1,5. Τα μακρομόρια της κυτταρίνης διατάσσονται παράλληλα μεταξύ τους και αναπτύσσουν δεσμούς υδρογόνου, σχηματίζοντας έτσι τα στοιχειώδη ινίδια (ή κρυσταλλίτες), τα οποία θεωρούνται σήμερα ως η ελάχιστη ορατή δομική μονάδα της ίνας. Η διάμετρος αυτών είναι περίπου 3,5 nm. Τα στοιχειώδη ινίδια ενώνονται μεταξύ τους με τη βοήθεια άμορφων ημικυτταρινών και λιγνίνης, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δέσμες αυτών. Δέσμες στοιχειωδών ινιδίων με διάμετρο 3,5-30 nm ονομάζονται νανοϊνίδια, ενώ δέσμες στοιχειωδών ινιδίων με διάμετρο 30-300 nm ονομάζονται μικροϊνίδια. Τέλος, οι δέσμες με διάμετρο πάνω από 300 nm ονομάζονται ινίδια. Αυτά ενώνονται μεταξύ τους (με τη βοήθεια άμορφων ημικυτταρινών και λιγνίνης) και σχηματίζουν τα κύτταρα ή, αλλιώς, ίνες [7,21,39,168].

Η ημικυτταρίνη είναι γραμμικά διακλαδούμενο πολυμερές που προκύπτει από ανυδρίτες διαφόρων σακχάρων, καθώς και από ανυδρίτες ουρανικών οξέων. Παρουσιάζει μικρό βαθμό πολυμερισμού και μικρή μηχανική και χημική αντοχή. Συμμετέχει σαν πληρωτικό υλικό στο σχηματισμό τόσο των ινιδίων όσο και των ινών. Επίσης, φαίνεται ότι η

<sup>14</sup> Η ανυδρογλυκόζη προκύπτει από την αφυδάτωση της γλυκόζης.

ημικυτταρίνη συμβάλλει και αυτή στην ανάπτυξη των δεσμών υδρογόνου στους οποίους οφείλεται εν μέρει η μηχανική αντοχή του χαρτιού. Η ημικυτταρίνη (όπως και η λιγνίνη) δεν συναντάται ελεύθερη στη φύση, αλλά συνοδεύεται πάντα από την κυτταρίνη και την λιγνίνη [7,39,168].

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. Η συνένωση αυτή οδηγεί στο σχηματισμό ενός άμορφου τρισδιάστατου πολυμερούς. Στο φυτό η λιγνίνη δρα σαν συγκολλητική ύλη τόσο των ινιδίων όσο και των ινών. Ο ρόλος της έχει, επιτυχώς, παρομοιασθεί με αυτόν του μπετόν στο μπετόν-αρμέ: οι ίνες συμπεριφέρονται εδώ όπως ο οπλισμός (δηλαδή οι σιδερόβερρες) του μπετόν-αρμέ και δίνουν στο φυτό την αντοχή στον εφελκυσμό και στην κάμψη, ενώ η λιγνίνη συμπεριφέρεται όπως το μπετόν και δίνει στο φυτό τη συνοχή, τη σκληρότητα και την αντοχή σε θλίψη [7,39,168].

Αξίζει ακόμη να σημειωθεί πως η περιεκτικότητα των ομάδων αυτών (κυτταρίνης, ημικυτταρίνης και λιγνίνης) διαφέρει αναλόγως του είδους της φυτικής ύλης. Παραδείγματος χάρη, 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»<sup>15</sup> ξύλα (περίπου 36%) απ' ότι στα «μαλακά»<sup>16</sup> (περίπου 28%). Αντίθετα η λιγνίνη είναι περισσότερη στα «μαλακά» ξύλα (περίπου 30%) απ' ότι στα σκληρά (περίπου 20%) [7,21,39,168].

### **1.3.1 Παραγωγή χαρτόμαζας και χαρτιού**

Κατά την παραγωγή προϊόντων χάρτου επιδιώκεται, κατ' αρχήν, η απελευθέρωση των ινών της κυτταρίνης από την ομοαξονική διάταξή τους μέσα στη φυτική ύλη και η διευθέτησή τους σε επίπεδο. Η απελευθέρωση αυτή επιτυγχάνεται με μηχανική ή χημική διάσπαση και μερική ή ολική απομάκρυνση, κυρίως, της λιγνίνης και εν μέρει της ημικυτταρίνης.

Για να επιτευχθούν τα ανωτέρω θα πρέπει πρώτα να λάβουν χώρα τα στάδια της προεπεξεργασίας της φυτικής ύλης, τα οποία περιλαμβάνουν την αποφλοιώση των κορμών δένδρων και τον τεμαχισμό τους σε μικρά κομμάτια. Οι φλοιοί των δένδρων είναι έντονα χρωματισμένοι και περιέχουν μικρό ποσοστό ινών με μέτρια αντοχή. Έτσι, αν ο φλοιός δεν απομακρυνθεί, τα τεμαχίδια αυτού θα εμφανιστούν στο χαρτί με τη μορφή σκούρων σιγμάτων ή λεκέδων. Ο τεμαχισμός των αποφλοιωμένων κορμών έχει ως στόχο την αποτελεσματικότερη χημική κατεργασία του ξύλου (ομοιόμορφος εμποτισμός με τα διαλύματα των αντιδραστηρίων). Τα μικρά κομμάτια ξύλου έχουν διάμετρο από 0,3 έως 0,6 cm και μήκος μέχρι 1,8 cm. Εν συνεχεία, τα κομμάτια αυτά διέρχονται από κόσκινα με στόχο να απομακρυνθούν τόσο τα λεπτόκοκκα σωματίδια (σκόνη) όσο και τα μεγάλα κομμάτια ή/και τα τυχόν συσσωματώματα και, ακολούθως, υπόκεινται σε πολτοποίηση [7,21,39,168].

<sup>15</sup> Στην κατηγορία των «σκληρών» ξύλων (που προέρχονται συνήθως από φυλλοβόλα δένδρα) ανήκουν αγγειόσπερμα φυτά, όπως η λεύκα, η οξυά, η σημύδα, ο ευκάλυπτος κ.ά.

<sup>16</sup> Στην κατηγορία των «μαλακών» ξύλων (που, συνήθως, προέρχονται από αειθαλή δένδρα) περιλαμβάνονται γυμνόσπερμα φυτά, όπως το πεύκο, το έλατο, το κυπαρίσσι κ.ά.

Ανάλογα με τα μέσα (μηχανικά ή χημικά) που χρησιμοποιούνται για την αποϊνώση του ξύλου, οι μέθοδοι πολτοποίησης διακρίνονται σε μηχανικές (όποτε και παράγεται η μηχανική χαρτόμαζα) και χημικές (όποτε και παράγεται η χημική χαρτόμαζα). Σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμόζεται συνδυασμός μηχανικών και χημικών διεργασιών (χημικομηχανική, ημικημική πολτοποίηση κ.ά.), ώστε να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων και να παραχθούν προϊόντα με μεγάλο εύρος ιδιοτήτων και με μικρότερο κόστος [7].

Σκοπός της μηχανικής πολτοποίησης είναι η απελευθέρωση των ινών με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση σε χαρτόμαζα, δηλαδή με μικρή απώλεια συστατικών. Ουσιαστικά, σ' αυτή την περίπτωση, η χαρτόμαζα έχει την ίδια σύσταση με το ξύλο από το οποίο προέρχεται, αφού απομακρύνεται μικρό μόνο ποσοστό υδατοδιαλυτών υλικών του ξύλου (κυρίως των εκχυλίσμων συστατικών). Έτσι, η απόδοση του ξύλου σε ίνες κυμαίνεται από 90 έως 98%. Στο πλαίσιο της διεργασίας αυτής, το ξύλο (αποκλειστικά κωνοφόρων δένδρων) υποβάλλεται, με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανημάτων, σε τριβή μέσω διατημητικών δυνάμεων που ασκούνται παράλληλα με τον προσανατολισμό των ινών, ή μέσω θλιπτικών δυνάμεων κάθετων προς τις ίνες. Με την κατεργασία αυτή, η φυτική ύλη καταπονείται αρκετά, με αποτέλεσμα να μετατρέπεται σε ένα μίγμα ελευθέρων ινών, θυσάνων από ίνες και τεμαχισμένων ινών. Η λιγνίνη που θρυμματίζεται δεν απομακρύνεται, αλλά παραμένει προσκολλημένη στις ίνες [7,21,39,168].

Μέσω της χημικής πολτοποίησης επιδιώκεται η απελευθέρωση των ινών της κυτταρίνης με τον ελάχιστο δυνατό τραυματισμό τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων (NaOH, Na<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> κ.ά.), τα οποία διαλύουν και απομακρύνουν τη συνδετική ύλη (κυρίως τη λιγνίνη) μεταξύ των ινών. Έτσι η απόδοση της χημικής πολτοποίησης είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη της μηχανικής, και κυμαίνεται από 40 έως 60%. Επίσης, ανάλογα με τη σύσταση του διαλύματος πολτοποίησης, διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι χημικής πολτοποίησης: (1) η αλκαλική μέθοδος, όπου την κυριότερη εκπρόσωπο αυτής συνιστά η μέθοδος των θεικών (ή, αλλιώς, μέθοδος kraft), και (2) η μέθοδος των θειδών [7,21,39,168].

Η χημική χαρτόμαζα έχει πολύ μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τη μηχανική χαρτόμαζα, 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. Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως η χημική χαρτόμαζα αποτελεί περίπου το 72% της χαρτόμαζας που παράγεται από ξύλο δένδρων. Περίπου το 95% της χημικής χαρτόμαζας παράγεται με την μέθοδο των θεικών [7,21,39,168].

Στο αιώρημα των ινών που προκύπτει από το στάδιο της πολτοποίησης προστίθενται χημικά αντιδραστήρια και λοιπές βοηθητικές ύλες που έχουν ως στόχο να υποβοηθήσουν τη λειτουργία των ακόλουθων διεργασιών παραγωγής χαρτιού αλλά και να προσδώσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν. Μεταξύ των προσθέτων αυτών περιλαμβάνονται χρώματα και χρωστικές ουσίες, κόλλες, ρητίνες, άμυλο, ανθρακικό ασβέστιο, καολίνη, οξειδίο του τιτανίου, αντιαφριστικά και πολλά ακόμη. Το είδος και η περιεκτικότητα των προσθέτων εξαρτάται από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και κυμαίνεται, περίπου, από 0 έως 40% κ.β. [7,21,39,168].

Το τελευταίο στάδιο της παραγωγής χαρτιού είναι αυτό της χαροποίησης, όπου λαμβάνει χώρα η αφυδάτωση και η ξήρανση του υγρού ιστού των ινών. Αρχικώς το νερό απομακρύνεται από τα διάκενα μεταξύ των ινών με τη βοήθεια των βαρυτικών δυνάμεων. Εν συνεχεία, και με τη βοήθεια κυλίνδρων, ασκείται πίεση στον ιστό ινών με αποτέλεσμα την περαιτέρω αφυδάτωση αυτού. Η μείωση της υγρασίας του ιστού ινών στα τελικά επιθυμητά επίπεδα (περίπου 7-9%) επιτυγχάνεται μέσω της διεργασίας της ξήρανσης, η οποία περιλαμβάνει τη διέλευση του ιστού από θερμαινόμενους (με ατμό) κυλίνδρους [7]. Οι ίνες της κυτταρίνης όταν ξηραίνονται έχουν την ιδιότητα να συνδέονται και να συγκολλούνται ισχυρά μεταξύ τους, λόγω των δεσμών υδρογόνου που αναπτύσσονται μεταξύ των επιφανειών αυτών, γεγονός που συνεπάγεται τη σημαντική μηχανική αντοχή των προϊόντων χάρτου. Το φαινόμενο αυτό είναι αντιστρεπτό, με αποτέλεσμα η προσθήκη νερού στο χαρτί να άρει τους εν λόγω δεσμούς, εξαιτίας της παρεμβολής των μορίων του νερού μεταξύ των ινών<sup>17</sup>. Θεωρητικά, λοιπόν, είναι δυνατή η επ' άπειρον ανακύκλωση του χαρτιού και η επαναχρησιμοποίησή του [39,168].

#### **1.4 Προϊόντα χάρτου**

Το χαρτί διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως της χρήσης του, του είδους της χαρτόμαζας από την οποία παρήχθη και των πρόσθετων που περιέχει. Όλα τα προϊόντα του αποτελούνται από ίνες, κατά βάση φυτικής προέλευσης, και περιέχουν πληρωτικά υλικά σε ποσοστό που κυμαίνεται από 0 έως και 40% περίπου. Σήμερα υπάρχουν περίπου 3.000 διαφορετικά είδη προϊόντων χάρτου. Τα περισσότερα προϊόντα που έχουν επιφανειακή πυκνότητα μικρότερη από 225 g/m<sup>2</sup> κατατάσσονται στην κατηγορία των χαρτιών, ενώ τα προϊόντα με επιφανειακή πυκνότητα άνω των 225 g/m<sup>2</sup> εντάσσονται στην κατηγορία των χαρτονιών. Βέβαια τα όρια αυτά δεν είναι ακριβώς καθορισμένα και, ως εκ τούτου, οι δύο προαναφερθείσες γενικές κατηγορίες υπερκαλύπτονται. Σε ότι αφορά τη χρήση των προϊόντων χάρτου διακρίνονται οι εξής βασικές κατηγορίες [4,11,21]:

1. Γραφικά χαρτιά (graphic papers).
2. Χαρτιά συσκευασίας και χαρτόνια (packaging paper and board grades).
3. Χαρτιά υγιεινής και καθαριότητας (hygienic papers).
4. Ειδικές κατηγορίες χαρτιού και χαρτονιού (specially paper and board grades).

##### **1.4.1 Γραφικά χαρτιά**

Ο όρος γραφικά χαρτιά αναφέρεται σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών χαρτιών που είναι κατάλληλα για εφαρμογές γραφής και εκτύπωσης και αποτελούνται από παρθένες ή ανακυκλωμένες ίνες ή/και μίγματα τους.

###### **1.4.1.1 Χαρτιά εκτύπωσης και τυπογραφίας**

Τα χαρτιά εκτύπωσης και τυπογραφίας διακρίνονται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

1. δημοσιογραφικό χαρτί,
2. μη επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης μηχανικής χαρτόμαζας,
3. μη επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης χημικής χαρτόμαζας,
4. επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης (μηχανικής και χημικής χαρτόμαζας).

---

<sup>17</sup> Στο γεγονός αυτό οφείλεται η μεγάλη ελάττωση της μηχανικής αντοχής του χαρτιού όταν βραχεί.

#### *1.4.1.1.1 Δημοσιογραφικό χαρτί*

Το δημοσιογραφικό χαρτί αντιπροσωπεύει μία πολύ σημαντική υποκατηγορία και περιλαμβάνει όλα τα είδη χαρτιού που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση εφημερίδων και συναφών εντύπων (ορισμένων περιοδικών, καταλόγων και άλλων εντύπων με μικρή διάρκεια ζωής) [7]. Τα χαρτιά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από παρθένες και ανακυκλωμένες ίνες και, κυρίως, περιέχουν μηχανική χαρτόμαζα. Χημική χαρτόμαζα προστίθεται σε μικρή ποσότητα, με στόχο την αύξηση των μηχανικών αντοχών [4,11,19,21]. Συνήθως περιέχουν μικρή ποσότητα πληρωτικών υλικών, αλλά εμφανίζεται μία τάση αύξησης της ποσότητας αυτής (κυρίως με την προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου) ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου έχουμε έγχρωμες εκτυπώσεις [19]. Τα χαρτιά αυτά πρέπει να παρουσιάζουν καλές ιδιότητες για εκτυπωτικές εφαρμογές, να είναι φθηνά, ενώ δεν απαιτείται να έχουν ιδιαίτερες μηχανικές αντοχές [11,21]. Αυτά, καθώς περιέχουν σημαντική ποσότητα λιγνίνης, φθείρονται και κιτρινίζουν κατά την πάροδο του χρόνου [20]. Για το λόγο αυτό περιορίζονται σε εφαρμογές και χρήσεις μικρής χρονικής διάρκειας. Η επιφανειακή πυκνότητα των χαρτιών αυτών κυμαίνεται από 40-56 g/m<sup>2</sup> [21], με συνήθεις τιμές από 40-49 g/m<sup>2</sup> [4]. Σημειώνεται, πως με την πάροδο των ετών παρατηρείται μία μείωση της επιφανειακής πυκνότητας των εν λόγω χαρτιών, με στόχο την εξοικονόμηση ινών. Για παράδειγμα σύμφωνα με τον C. J. Biermann (1996) η τυπική επιφανειακή πυκνότητα των χαρτιών αυτών ήταν 52,2 g/m<sup>2</sup> πριν το 1974, ενώ κατά τα μέσα της δεκαετίας του '90 η αντίστοιχη τιμή ήταν 48,8 g/m<sup>2</sup> [11] (η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε πάχος περίπου 85 μm [19]). Η λευκότητα των χαρτιών αυτών κυμαίνεται από 57 έως 60% κατά ISO. Στην περίπτωση μερικών ειδών δημοσιογραφικού χαρτιού υψηλότερης ποιότητας, που περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα πληρωτικών υλικών και χρησιμοποιούνται σε βιβλία και εκτυπώσεις offset, η λευκότητα είναι κατά 10 μονάδες, περίπου, μεγαλύτερη [4,21].

#### *1.4.1.1.2 Μη επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης μηχανικής χαρτόμαζας*

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σ' εκείνα τα χαρτιά εκτύπωσης που περιέχουν κυρίως μηχανική χαρτόμαζα και δεν είναι επιχρισμένα<sup>18</sup>. Επίσης, τα χαρτιά αυτά περιέχουν πληρωτικά υλικά, όπως καολίνη και ανθρακικό ασβέστιο, ώστε να μειωθεί η επιφανειακή τραχύτητα τους και να αυξηθεί η αδιαφάνειά τους. Η σημαντική αυτή κατηγορία περιλαμβάνει τα υπερσιδερωμένα χαρτιά (supercalendered –SC- papers ή, αλλιώς, gravure printing papers). Εδώ διακρίνονται οι υποκατηγορίες SC-A+, SC-A, SC-B και SC-C (με κατάταξη φθιόντων χαρακτηριστικών ποιότητας). Τα εν λόγω χαρτιά χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή μερικών περιοδικών και για την παραγωγή τηλεφωνικών καταλόγων [4,21].

#### *1.4.1.1.3 Μη επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης χημικής χαρτόμαζας*

Τα χαρτιά της συγκεκριμένης κατηγορίας αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από χημική χαρτόμαζα. Το ποσοστό των ινών από μηχανική χαρτόμαζα δεν πρέπει να ξεπερνά το 5%. Για το λόγο αυτό τα χαρτιά αυτά δεν κιτρινίζουν κατά την πάροδο του χρόνου και, επίσης, παρουσιάζουν υψηλές μηχανικές αντοχές. Αυτή είναι και η κύρια διαφορά μεταξύ της κατηγορίας αυτής και της προηγούμενης. Τα εν λόγω χαρτιά δεν είναι επιχρισμένα και αναλόγως των εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι υπερσιδερωμένα ή μη. Τα χαρτιά αυτά χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την παραγωγή βιβλίων και φακέλων.

---

<sup>18</sup> Τα μη επιχρισμένα χαρτιά αναφέρονται και ως φυσικά ("natural").

Επίσης, μερικά εξ αυτών αποτελούν το χαρτί βάσης (base paper) για την παραγωγή των επιχρισμένων χαρτιών (βλ. ακολούθως) [4,11,21].

#### 1.4.1.1.4 *Επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης (μηχανικής και χημικής χαρτόμαζας)*

Η κατηγορία αυτή συνιστά το μεγαλύτερο μέρος των χαρτιών εκτύπωσης και τυπογραφίας. Τα συγκεκριμένα χαρτιά αποτελούνται από το χαρτί βάσης και ένα ή περισσότερα στρώματα επικάλυψης (επίχρισης) σε μία ή και στις δύο πλευρές του χαρτιού. Είναι υπερσιδερωμένα και χαρακτηρίζονται από την στιλπνή τους επιφάνεια. Παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες σε εφαρμογές εκτυπώσεων. Σημειώνεται πως μπορεί να περιέχουν είτε μηχανική χαρτόμαζα, που συνιστά τη συνηθέστερη περίπτωση, είτε χημική χαρτόμαζα. Σ' ό,τι αφορά στην περίπτωση των επιχρισμένων χαρτιών από μηχανική χαρτόμαζα αυτά διακρίνονται αναλόγως του βαθμού επίχρισής τους στις εξής κατηγορίες: στα *ελαφρώς επιχρισμένα χαρτιά (LWC – Light Weight Coated)* με επιφανειακή πυκνότητα 35-80 g/m<sup>2</sup>, που αποτελούν και τη συνηθέστερη υποκατηγορία, στα *μετρίως επιχρισμένα χαρτιά (MWC – Medium Weight Coated)* με επιφανειακή πυκνότητα 70-130 g/m<sup>2</sup> και στα *εντόνως επιχρισμένα χαρτιά (HWC – Heavy Weight Coated)* με επιφανειακή πυκνότητα 130-170 g/m<sup>2</sup>. Τα χαρτιά αυτά αποτελούν υποστρώματα υψηλής ποιότητας και, συνήθως, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων αυξημένης αξίας, όπως περιοδικών, καταλόγων και βιβλίων [4,11,21].

#### 1.4.1.2 Χαρτιά γραφείου

Τα χαρτιά αυτά χρησιμοποιούνται σ' ένα πολύ μεγάλο πλήθος εφαρμογών. Συνήθεις υποκατηγορίες συνιστούν τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γραφείου (π.χ. εκτυπωτές inkjet και laser και φωτοαντιγραφικά μηχανήματα). Βέβαια τα χαρτιά γραφείου δεν περιορίζονται στα προαναφερθέντα αλλά καλύπτουν όλα τα χαρτιά εκείνα που χρησιμοποιούνται σε γραφεία, σχολεία και δημόσιες υπηρεσίες (π.χ. χαρτιά σχεδίου, χαρτιά μηχανογράφησης, επιστολόχαρτα και πολλά άλλα) [4,21]. Η περιγραφή έστω και μερικών τύπων χαρτιών αυτής της κατηγορίας θα ήταν πολύ εκτενής και θα ξέφευγε από τους στόχους της συγκεκριμένης εργασίας.

Εδώ απλά θα αναφέρουμε τα χαρτιά που χρησιμοποιούνται σε εκτυπώσεις μη κρουστικής (non-impact) τεχνολογίας. Όταν μιλάμε για τέτοιους είδους εκτυπώσεις ουσιαστικά αναφερόμαστε στους εκτυπωτές inkjet και laser και στα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα (τα τελευταία στηρίζονται στη μέθοδο της ξηρογραφίας). Στην περίπτωση αυτών, η επικόλληση του μελανιού πάνω στο χαρτί γίνεται με έμμεσο τρόπο. Δηλαδή δεν έχουμε, όπως στις υπόλοιπες περιπτώσεις εκτυπώσεων, την επαφή εκτυπωτικών στοιχείων (ή πλακών) πάνω στο υπόστρωμα. Ο λόγος που θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στα συγκεκριμένα είδη χαρτιού βασίζεται αφενός στην ευρεία χρήση τους και αφετέρου στη δυσκολία που παρουσιάζουν τα τυπωμένα αυτά χαρτιά να απομελανωθούν μέσω των συνήθων μεθόδων απομελάνωσης (βλ. 2.5.3).

Τα χαρτιά, λοιπόν, που χρησιμοποιούνται στις εν λόγω εφαρμογές αποτελούνται από χημική χαρτόμαζα, συνήθως δεν είναι επιχρισμένα και χαρακτηρίζονται ως χαρτιά υψηλής ποιότητας. Πολλοί παράγοντες και χαρακτηριστικά καθορίζουν την καταλληλότητά τους γι' αυτές τις εφαρμογές. Τα σημαντικότερα εξ αυτών είναι: η υγρασία που περιέχουν, η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους, η καταλληλότητά τους για εκτυπώσεις υψηλής ταχύτητας, η τραχύτητα της επιφάνειάς τους και το πορώδες αυτής, η επιφανειακή ενέργειά τους και οι διαστάσεις τους (εννοώντας τη σταθερότητα των διαστάσεών τους ώστε να αποφεύγονται

φαινόμενα τσακίσματος κατά το πέρασμά τους από το εκάστοτε μηχάνημα) [4]. Τα χαρτιά αυτά περιέχουν πληρωτικά υλικά σε υψηλό ποσοστό ώστε να παρουσιάζουν αυξημένη αδιαφάνεια και μικρή τραχύτητα. Επίσης έχουν υψηλές τιμές λευκότητας. Η επιφανειακή τους πυκνότητα κυμαίνεται από 40 έως 400 g/m<sup>2</sup>, με ιδιαίτερα συνήθη τιμή τα 80 g/m<sup>2</sup>.

#### **1.4.2 Χαρτιά συσκευασίας και χαρτόνια**

Ένας μεγάλος αριθμός ποιοτήτων χαρτιών και χαρτονιών διατίθενται ως υλικά συσκευασίας που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και χρήσεων. Γενικά ως υλικά συσκευασίας νοούνται όλα εκείνα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία και προστασία πλήθους καταναλωτικών αγαθών κατά τη μετακίνηση και την αποθήκευση αυτών. Πολύ συχνά τα υλικά συσκευασίας αποτελούν και το μέσο διαφήμισης των προϊόντων αυτών αλλά και το μέσο πληροφόρησης και ενημέρωσης των καταναλωτών για τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες αυτών. Τα χάρτινα είδη συσκευασίας ποικίλουν από το απλό χαρτί περιτυλίγματος (που συνήθως αποτελείται από μίγμα ανακυκλωμένου παλαιόχαρτου) μέχρι χαρτί kraft. Παράγονται από ποικιλία παρθένων πολτών (που παρήχθησαν είτε με τη μέθοδο kraft –μέθοδο θειικών- είτε με τη μέθοδο των θειωδών), από ανακυκλωμένες ίνες ή από μίγματα χημικού πολτού και ανακυκλωμένων ινών [2]. Σ' αυτή, λοιπόν, την κατηγορία εντάσσονται πολλά είδη χαρτιού και χαρτονιού, όπως, παραδείγματος χάρη, τα χαρτιά για την κατασκευή κυματοειδούς χαρτονιού και κυματοειδών χαρτοκιβωτίων μεταφοράς, τα χαρτιά kraft για παραγωγή χαρτόσακων και χαρτοσακούλων τροφίμων, τα περγαμηνοειδή χαρτιά (λαδόχαρτο, περγαμηνή), τα χαρτιά περιτύλιξης (χαρτιά κρεοπωλείων-ιχθυοπωλείων με φύλλο πολυαιθυλενίου, χαρτιά για το τύλιγμα του ψωμιού), τα προϊόντα διαμορφωμένου πολτού (αυγοθήκες και φρουτοθήκες), τα χαρτιά που είναι επικολλημένα σε φύλλα αλουμινίου (π.χ. στις περιπτώσεις των συσκευασιών σοκολάτας και τσιγάρων), τα χαρτόνια για τη συσκευασία υγρών τροφίμων (σύνθετες συσκευασίες γάλακτος, χυμών, κ.λπ.), τα χαρτόνια (αναδιπλούμενα για διάφορες συσκευασίες, άκαμπτα, εύκαμπτα για παραγωγή χάρτινων πιάτων και ποτηριών, εμπορευματοκιβώτια, κ.λπ.) και άλλα [7,24]. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τα κυματοειδή χαρτοκιβώτια και έτσι στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε μόνο στα χαρτιά που τα αφορούν.

Τα κυματοειδή χαρτοκιβώτια συνιστούν ένα φιλικό προς το περιβάλλον υλικό συσκευασίας καθώς αποτελούνται κυρίως από ανακυκλωμένο χαρτί και υδατοδιαλυτή κόλλα, δηλαδή υλικά που ανακυκλώνονται, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και είναι βιοαποδομήσιμα [31,101]. Είναι ελαφριά υλικά και παρουσιάζουν σημαντική αντοχή και ακαμψία ανά μονάδα βάρους. Φαίνεται, λοιπόν, πως παρουσιάζουν οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα έναντι των πλαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε παρόμοιες εφαρμογές. Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίησή τους στη συσκευασία και προστασία εξοπλισμού υψηλής αξίας, εύθραυστων υλικών, οικιακών ειδών, κ.λπ. [31]. Σ' αυτό συνηγορεί και το ότι το 60% των συσκευασιών που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές προϊόντων αποτελείται από κυματοειδή χαρτοκιβώτια [101].

Τα κυματοειδή χαρτόνια και χαρτοκιβώτια χρησιμοποιούνται ως υλικά συσκευασίας για περισσότερο από 100 έτη [32]. Ήδη το 1856 οι Βρετανοί Healy και Allen κατοχύρωσαν ευρεσιτεχνία για την παραγωγή κυματοειδούς χαρτιού, το οποίο διαμόρφωναν με χρήση ενός πολύ απλού χειροκίνητου μηχανήματος που αποτελούνταν από δύο αυλακωτούς

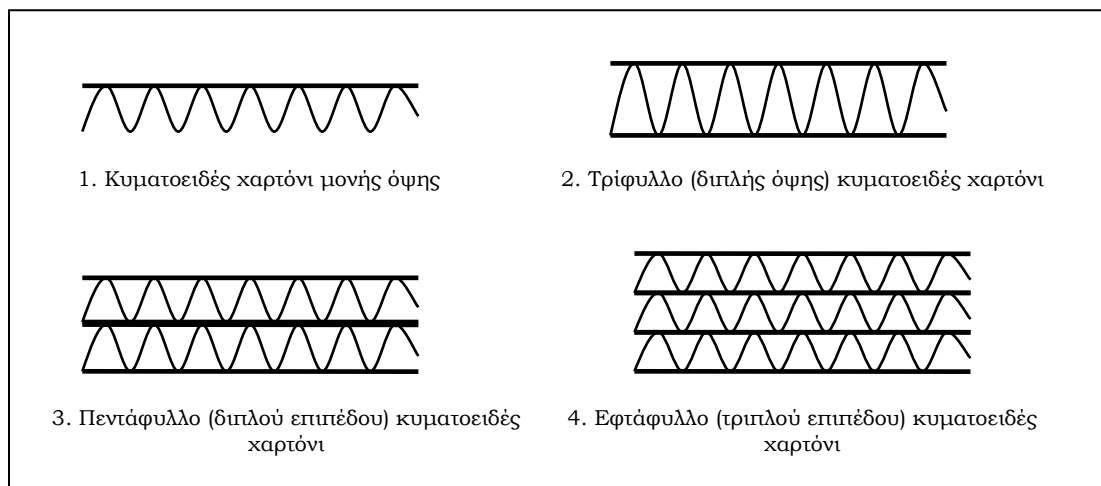
κυλίνδρους. Εκείνα τα χαρτιά βρήκαν εφαρμογή σε εσωτερικές επενδύσεις καπέλων. Το 1871 παρήχθη, από τον Jones, κυματοειδές χαρτί κατάλληλο για την περιτύλιξη εύθραυστων αντικειμένων, κυρίως μπουκαλιών [16,33]. Το 1874 ο Long βελτίωσε το προϊόν του Jones καθώς επικόλλησε πάνω στο κυματοειδές χαρτί ένα επίπεδο χαρτί με αποτέλεσμα τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του εν λόγω προϊόντος. Το συγκεκριμένο χαρτόνι, όπως θα δούμε και αργότερα, είναι γνωστό ως «απλής όψης». Η κατασκευή κυματοειδούς χαρτονιού διπλού επιπέδου ξεκίνησε το 1875 από τον Thompson και ξεχωριστά από τον Norris, οι οποίοι και συνεργάστηκαν το 1878. Αυτούς ακολούθησε ο Gair στις ΗΠΑ ο οποίος βελτίωσε την πρώτη μηχανή κοψίματος και διαμόρφωσης των αυλακώσεων. Ο Gair ήλθε σε διένεξη με του Thompson και Norris, για θέματα δικαιωμάτων ευρεσιτεχνίας, η οποία διήρκεσε περίπου 10 έτη. Το 1888 ο Gair αναγνώρισε την ευρεσιτεχνία και συμφώνησε να κατασκευάζει κυματοειδή χαρτόνια πληρώνοντας αντίτιμο πνευματικών δικαιωμάτων. Η πρώτη ευρεσιτεχνία για χαρτόνι διπλού επιπέδου στις ΗΠΑ κατοχυρώθηκε το 1889. Το 1895 οι Haud και Dauch εισήγαγαν το, κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, “Climax”, ένα κυματοειδές χαρτί περιτύλιξης μπουκαλιών που αργότερα χρησιμοποιήθηκε και για την προστασία λαμπών κατά την μεταφορά τους. Η επιτυχία του συγκεκριμένου χαρτιού περιτύλιξης έδωσε ώθηση στην ένταξη των κυματοειδών χαρτιών στην αγορά των υλικών συσκευασίας [16]. Εκτοτε τα κυματοειδή χαρτιά χρησιμοποιήθηκαν σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών.

Σήμερα τα κυματοειδή χαρτιά χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Τα χαρτοκιβώτια αυτά, λοιπόν, αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στρώματα κυματοειδούς χαρτιού πάνω στα οποία επικολλώνται επίπεδα χαρτιά (βλ. Σχήμα 2). Στην συνηθέστερη περίπτωση έχουμε δύο εξωτερικά επίπεδα στρώματα χαρτιού που περικλείουν το εσωτερικό στρώμα του κυματοειδούς χαρτιού (τρίφυλλο ή διπλής όψης χαρτόνι). Όταν αποτελούνται από ένα κυματοειδές χαρτί και ένα επίπεδο χαρτί (επικολλημένο στη μία όψη του), λέγονται «απλής όψης» (single face) και χρησιμοποιούνται μόνο για περιτύλιξη υλικών και όχι για παραγωγή κιβωτίων. Στις περιπτώσεις που απαιτούνται μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές χρησιμοποιούνται πεντάφυλλα (ή, αλλιώς, διπλού επιπέδου) κυματοειδή χαρτόνια ή, ακόμη, και επτάφυλλα. Από πεντάφυλλα χαρτόνια κατασκευάζονται συνήθως τελάρα φρούτων, ενώ το επτάφυλλο χρησιμοποιείται για τη συσκευασία μεγάλων και βαρέων αντικειμένων. Περισσότερα από το 90% των παραγόμενων χαρτοκιβωτίων κατασκευάζονται από τρίφυλλο χαρτόνι [4,7,17,27,32,34, 44,100].

Τα επίπεδα στρώματα χαρτιού λέγονται liners και διακρίνονται στα kraft-liners, που παράγονται από μακρόνη χημική χαρτόμαζα κωνοφόρων δέντρων και έχουν καστανό χρώμα, και στα test-liners που περιέχουν ανακυκλωμένο παλαιόχαρτο. Το φυσικό χρώμα των kraft-liners είναι το καφέ, αλλά μερικές φορές υπόκεινται σε μερική ή πλήρη λεύκανση, γεγονός που επιφέρει μείωση των μηχανικών αντοχών του υλικού κατά 5-10%. Επίσης, η χρήση ανακυκλωμένου παλαιόχαρτου για την παραγωγή των liners μειώνει τη μηχανική αντοχή τους, ιδιαίτερα υπό συνθήκες υγρασίας. Το test-liner συνήθως μπορεί να αναγνωριστεί από την παρουσία μικροσκοπικών κηλίδων μελανιού ή άλλων υπολειμμάτων, λόγω του παλαιόχαρτου που περιέχει. Μερικές φορές το test-liner παράγεται από υψηλής ποιότητας παλαιόχαρτο και χρωματίζεται, ώστε να αποκτήσει την εμφάνιση του kraft-liner. Από την άλλη τα ενδιάμεσο κυματοειδές (ή, αλλιώς, αυλακωτό) στρώμα χαρτιού ονομάζεται medium και διακρίνεται στο fluting medium, που αποτελείται παρθένες ίνες, και στο



corrugating medium (ή wellenstoff, όπως αναφέρεται από την Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία των Κατασκευαστών Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων-FEFCO) που αποτελείται από ανακυκλωμένες ίνες<sup>19</sup>. Τα επίπεδα χαρτιά έχουν επιφανειακή πυκνότητα από 115 έως 140 g/m<sup>2</sup> ενώ τα κυματοειδή από 80 έως 200 g/m<sup>2</sup>. Στην Ευρώπη ένα χαρτόνι μονού επιπέδου έχει μάζα ανά μονάδα επιφάνειας περίπου 500 g/m<sup>2</sup>, ενώ ένα χαρτόνι διπλού επιπέδου περίπου 750 g/m<sup>2</sup> [4,7,17,18,27,32,34,44].



**Σχήμα 3:** Κατηγορίες κυματοειδών χαρτονιών

Μία άλλη βασική πρώτη ύλη του κυματοειδούς χαρτονιού είναι η κόλλα που συνδέει τα προαναφερθέντα χαρτιά. Σήμερα οι κόλλες αυτές παράγονται από άμυλο, κυρίως καλαμποκιού. Σ' αυτές μπορούν να προστεθούν διάφορα χημικά, με στόχο τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους (π.χ. μεγαλύτερη σταθερότητα σε συνθήκες υψηλής υγρασίας). Σημειώνεται πως η ελαττωματική απόθεση κόλλας αποτελεί μία εκ των συνηθέστερων αιτιών αστοχίας των καρτοκιβωτίων [17].

Τα χαρτιά των κυματοειδών καρτοκιβωτίων που παράγονται εξ ολοκλήρου (ή, τουλάχιστον, κατά το μεγαλύτερο μέρος) από παλαιόχαρτο παρουσιάζουν, όπως ήδη σημειώθηκε, μειωμένες μηχανικές αντοχές εν συγκρίσει με αυτά που προέρχονται από παρθένες ίνες. Για το λόγο αυτό προστίθενται υλικά (που, φυσικά, πρέπει να είναι χαμηλής οικονομικής αξίας) που έχουν ως στόχο τη βελτίωση των συγκεκριμένων ιδιοτήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αμυλούχα υλικά. Στην πράξη, λοιπόν, η παραγωγή χαρτιών κυματοειδών καρτοκιβωτίων από παλαιόχαρτο συνοδεύεται από υψηλή κατανάλωση αμύλου, περίπου 40 kg/tn προϊόντος. Αν σ' αυτή την ποσότητα συνυπολογίσουμε και τα, κατά προσέγγιση, 25 kg αμύλου/tn προϊόντος που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση των χαρτιών γίνεται αντιληπτό πως το άμυλο αποτελεί το σημαντικότερο πρόσθετο των διεργασιών παραγωγής κυματοειδών καρτοκιβωτίων. Συνέπεια της σημαντικής χρήσης αμύλου είναι η υψηλή περιεκτικότητα των υγρών

<sup>19</sup> Πρέπει να σημειωθεί πως πολλές φορές το ενδιάμεσο κυματοειδές μέσο ονομάζεται ως fluting medium, χωρίς διάκριση αυτού αναλόγως των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του (παρθένες ή ανακτημένες ίνες). Επίσης, άλλες φορές, το κυματοειδές χαρτί που παράγεται από παλαιόχαρτο αναφέρεται ως bogus («κάλπικο»). Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή λίστα ποιοτήτων των χαρτιών που αποτελούν βάση για την παραγωγή κυματοειδών χαρτονιών, αυτά ομαδοποιούνται στις εξής 6 κατηγορίες: kraft-liners, test-liners (εκτός των λευκών), κυματοειδή χαρτιά (ημικημικά και ανακυκλωμένα), ελαφρού βάρους χαρτιά από ανακυκλωμένες ίνες, και λοιπά χαρτιά από ανακυκλωμένες ίνες.

αποβλήτων (μίας μονάδας παραγωγής κυματοειδών χαρτιών και χαρτονιών) σε οργανικό φορτίο [4].

**Πίνακας 2:** Χαρακτηριστικά κυματοειδών χαρτιών

<b>Χαρακτηριστικά κυματοειδών χαρτιών</b>			
Τύπος Αυλάκωσης	Μέσος αριθμός αυλακώσεων ανά μέτρο	Ύψος αυλάκωσης (mm)	Παράγοντας συρρίκνωσης (take-up factor) (*)
D	75	14,96	1,48
K	95	11,70	1,50
A	110	8,66	1,53
C	129	7,95	1,42
B	154	6,50	1,31
E	295	3,50	1,24
F	310	2,40	1,22
G	350	1,80	1,21
O	360	1,25	1,14

(\*) Ως παράγοντας συρρίκνωσης ορίζεται το πηλίκο του μήκους του κυματοειδούς χαρτιού προς το μήκος του επίπεδου χαρτιού με το οποίο επικολλάται.

[Πηγή: M. J. Kirwan (2005) [27] και T. Pennington [16]]

Τα χαρακτηριστικά των αυλακώσεων, και ειδικότερα το ύψος και το πλήθος τους, των κυματοειδών χαρτιών επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την μηχανική αντοχή του χαρτονιού. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος της αυλάκωσης, τόσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του χαρτονιού και η αντοχή του στη θλίψη κατά τη διεύθυνση του ύψους του (compression) και στην κάμψη. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αυλακώσεων ανά μονάδα μήκους, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή στη θλίψη κατά τη διεύθυνση του πάχους του χαρτονιού (crush), με αποτέλεσμα τον περιορισμό των φθορών κατά την μεταποίηση, την εκτύπωση και τη χρήση του. Παράλληλα, το χαρτόνι αποκτά περισσότερο επίπεδη επιφάνεια και καλύτερη συμπεριφορά κατά την εκτύπωση. Τα πρώτα έτη κατασκευής των κυματοειδών χαρτιών οι αυλακώσεις είχαν τέτοια μορφή (σημερινός τύπος αυλάκωσης A) που τα καθιστούσαν εύκαμπτα και, υπό μία έννοια μαλακά, και, κατ' επέκταση, κατάλληλα για την περιτύλιξη εύθραυστων αντικειμένων. Σήμερα τα χαρτιά του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μεγάλων καρτοκιβωτίων. Αργότερα παρήχθησαν χαρτιά με αυλακώσεις τύπου B που παρουσίαζαν καλύτερες εκτυπωτικές ιδιότητες και ακολούθησαν εκείνα με αυλακώσεις τύπου C, που συνδυάζαν τα πλεονεκτήματα των δύο προαναφερθέντων. Σήμερα τα κυματοειδή χαρτιά βάσει των τύπων των αυλακώσεων του μετρώνται σε εννιά, με συνηθέστερα του τύπου B. Τα χαρτιά με αυλακώσεις τύπου F και G χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μικροκυματοειδούς χαρτονιού. Αυτό είναι παρόμοιο με το κυματοειδές χαρτόνι, με τη διαφορά του μικρότερου ύψους των αυλακώσεων και των καλύτερων ιδιοτήτων σε εκτυπωτικές εφαρμογές. Τα μικροκυματοειδή καρτοκιβώτια θεωρούνται ενδιάμεσα προϊόντα μεταξύ των απλών χαρτόκουτων και των κυματοειδών καρτοκιβωτίων και έχουν πολύ καλύτερη μηχανική αντοχή από τα απλά χαρτόκουτα. Χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία απορρυπαντικών, φιαλών ποτών, παιχνιδιών, μικρών συσκευών, υαλικών, εργαλείων, τροφίμων, φαρμάκων, καλλυντικών κ.ά. Πλεονέκτημά τους είναι η υψηλής ποιότητας και χαμηλού κόστους εκτύπωση της εξωτερικής επιφάνειάς τους, σε σύγκριση με τα συνηθισμένα κυματοειδή χαρτόνια. Σημειώνεται, ακόμη, πως στις περιπτώσεις των χαρτονιών δύο και τριών επιπέδων είναι δυνατός ο συνδυασμός κυματοειδών χαρτονιών διαφορετικών τύπων αυλακώσεων. Το πεντάφυλλο χαρτόνι φέρει

συνήθως κυμάτωση B/C (το ένα κυματοειδές χαρτί έχει αυλάκωση B, ενώ το άλλο C), E/B ή E/F [4,7,17,27,32,34,44].

Γενικεύοντας περί των μηχανικών αντοχών των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων πρέπει να αναφερθεί πως αυτά κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι αυλακώσεις να προσανατολίζονται στην κατεύθυνση του φορτίου συμπίεσης της συσκευασίας. Παράλληλα, η ακαμψία ενός κυματοειδούς χαρτονιού εξαρτάται (εκτός από το ύψος των αυλακώσεων και το πλήθος αυτών) από την ελαστική ακαμψία των επίπεδων χαρτονιών και τον προσανατολισμό των ινών του χρησιμοποιημένου χαρτονιού. Η αντοχή του χαρτοκιβωτίου εξαρτάται από την ποιότητα του χαρτιού, την εσωτερική προστασία (πρόσθετοι πάτοι, κυψέλες, διογκωμένα υλικά, πρόσθετες γωνίες, κ.λπ.), καθώς και από τον τρόπο κατασκευής των διπλώσεων («αυτιών») και τον τρόπο κλεισίματος (χρήση συνδετήρων, κόλλας ή ταινιών) [17].

Η μηχανή παραγωγής κυματοειδούς χαρτονιού λέγεται κυματοποιητής (corrugator). Το χαρτί που πρόκειται να κυματοποιηθεί, αφού ψεκαστεί με νερό και προθερμανθεί, οδηγείται στο τμήμα μορφοποίησης αυλακώσεων (flute former), το οποίο αποτελείται από δύο περιστρεφόμενους μεταλλικούς κυλίνδρους με αυλακώσεις στην επιφάνειά τους. Οι κύλινδροι είναι κατάλληλα τοποθετημένοι, ώστε, κατά την περιστροφή τους, η ράχη κάθε αυλακιού του ενός να εφαρμόζει στην κοιλότητα του αυλακιού του άλλου. Καθώς, λοιπόν, το χαρτί διέρχεται ανάμεσα από τους κυλίνδρους σχηματίζονται σ' αυτό οι επιθυμητές αυλακώσεις. Αμέσως μετά εφαρμόζεται κόλλα στις κορυφές των κυματώσεων της μιας όψης και το κυματοειδές χαρτί συγκολλάται με το επίπεδο χαρτί, οπότε σχηματίζεται το κυματοειδές χαρτόνι απλής όψης. Ακολουθεί η εφαρμογή κόλλας στις κορυφές των κυματώσεων της άλλης όψης και η συγκόλληση με το δεύτερο επίπεδο χαρτί. Το διαμορφωμένο κυματοειδές χαρτόνι διπλής όψης θερμαίνεται (για να πολυμεριστεί η κόλλα), ψύχεται και διαμορφώνεται σε κομμάτια κατάλληλων διαστάσεων. Η βιομηχανία παραγωγής κυματοειδούς χαρτονιού προσανατολίζεται στην παραγωγή προϊόντων που συνδυάζουν υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος, πράγμα που επιτυγχάνεται με εμποτισμό σε πολυμερή υλικά. Όμως η πρακτική αυτή δημιουργεί προβλήματα στην ανακύκλωση των χαρτοκιβωτίων και δεν εφαρμόζεται ευρέως [7].

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον Ν. Καρακασίδη (1999), η ποσοστιαία κατανομή των εφαρμογών των χαρτοκιβωτίων από κυματοειδές χαρτόνι είναι 30% για τον τομέα τροφίμων, 16% για τον τομέα των νωπών αγροτικών προϊόντων, 10% για τον τομέα των αναψυκτικών και των ποτών, 10% για τον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας, 8% για τον τομέα των χημικών, 5% για τον τομέα των καλλυντικών, 7% για τους τομείς των ηλεκτρικών ειδών και των επίπλων ενώ το υπόλοιπο 14% αφορά διάφορες άλλες εφαρμογές [17]. Πρέπει να σημειωθεί πως τα στατιστικά αυτά δεδομένα αφορούν τα μέσα της δεκαετίας του '90 και ως εκ τούτου σήμερα ενδέχεται να είναι μερικώς διαφοροποιημένα.

#### **1.4.3 Χαρτιά υγιεινής-καθαριότητας**

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα χάρτινα προϊόντα που σχετίζονται με την οικιακή και ατομική υγιεινή: χαρτί υγιείας, χαρτί κουζίνας, χαρτομάντιλα, χαρτοπετσέτες, χαρτοβάμβακας, πάνες γυναικών και βρεφών, χάρτινα τραπεζομάντιλα κ.λπ. [7]. Τα περισσότερα εκ των ανωτέρων προϊόντων συνιστούν τα χαρτιά tissue. Ουσιαστικά στα χαρτιά tissue εντάσσονται όλα τα είδη χαρτιών της συγκεκριμένης κατηγορίας πλην ελαχίστων εξαιρέσεων. Για το λόγο αυτό συνήθως όλη η κατηγορία των χαρτιών υγιεινής-καθαριότητας

ταυτίζεται με τα χαρτιά tissue. Τα τελευταία, λοιπόν, αναφέρονται στα προϊόντα που παράγονται από ξηρά κρεπαρισμένα<sup>20</sup> χαρτιά (μερικές φορές υγρά κρεπαρισμένα ή κάποιες άλλες καθόλου κρεπαρισμένα) μικρής επιφανειακής πυκνότητας (δηλαδή μικρού βάρους ανά μονάδα επιφάνειας). Συνήθως το χαρτί βάσης πριν τη διεργασία του κρεπαρίσματος έχει επιφανειακή πυκνότητα 10-20 g/m<sup>2</sup>, τιμή η οποία μειώνεται κατά το κρεπάρισμα κατά 10 έως 20%. Συνήθως τα χαρτιά αυτά αποτελούνται από πολλά στρώματα. Επίσης πρέπει να παρουσιάζουν απαλότητα, υψηλή απορροφητικότητα και ελαστικότητα [4,7,21]. Τα προϊόντα αυτά αποτελούνται είτε από παρθένες ίνες είτε από ανακυκλωμένο παλαιόχαρτο. Αυτά που προέρχονται από παλαιόχαρτο, όντας φθηνότερα, χρησιμοποιούνται σε ξενοδοχεία, ιδρύματα, χώρους συνάθροισης, κ.λπ.

#### **1.4.4 Ειδικές κατηγορίες χαρτιού και χαρτονιού**

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται προϊόντα χάρτου που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος ειδικών εφαρμογών. Ο κατάλογος των προϊόντων αυτών είναι μακρύς και, έτσι, χάριν συντομίας, θα αναφέρουμε μόνο μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις [4,21]:

- Χάρτινα φίλτρα οικιακής χρήσης: Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα φίλτρα του καφέ. Η ικανότητα φιλτραρίσματος τους εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα των πόρων τους. Επίσης, θα πρέπει να μη προσβάλλουν τα προϊόντα διατροφής με τα οποία έρχονται σε επαφή.
- Χάρτινοι δείκτες και αντιδραστήρια: Εδώ αναφερόμαστε σε χαρτιά που έχουν εμποτιστεί με χημικά αντιδραστήρια και βαφές που συνιστούν δείκτες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα pH-μετρικά χαρτιά.
- Προϊόντα χάρτου που συνιστούν κατασκευαστικά υλικά: Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται προϊόντα που περιέχουν ίνες φυτικής βάσης και χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικές εφαρμογές (στον οικοδομικό κλάδο –π.χ. σε γυψοσανίδες-, στην αυτοκινητοβιομηχανία, κ.α.).
- Φωτογραφικό χαρτί βάσης: Ένα κατάλληλο χαρτί βάσης για την παραγωγή φωτογραφικών φύλλων είναι ανθεκτικό στην υγρασία, σταθερών διαστάσεων και ελεύθερο από ίχνη σιδήρου και χαλκού. Σήμερα τα χαρτιά αυτά επικαλύπτονται και στις δύο πηγές από ένα λεπτό φύλλο πολυαιθυλενίου.
- Χαρτιά που χρησιμοποιούνται σε προϊόντα καπνού: Τα χαρτιά των τσιγάρων έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πληρωτικά υλικά και η επιφανειακή τους πυκνότητα κυμαίνεται από 18 έως 22 g/m<sup>2</sup>. Για τη βελτίωση της ποιότητας (αν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία τέτοια λέξη για τη συγκεκριμένη συνήθεια) του καπνίσματος το χαρτί έχει πορώδες κατάλληλο για τον εκάστοτε τύπο καπνού. Επίσης, περιέχει και πρόσθετα που ρυθμίζουν το ρυθμό καύσης αυτού.
- Χαρτί βάσης ταπετσαρίας και χαρτόνι ταπετσαρίας: Σ' αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται τα χαρτιά που είναι κατάλληλα για την παραγωγή ταπετσαριών. Αυτά μπορεί να είναι μονού ή πολλών στρωμάτων, χημικής ή μηχανικής χαρτόμαζας, επιχρισμένα ή μη. Επίσης, ενδέχεται να περιέχουν και ανακυκλωμένες ίνες.

---

<sup>20</sup> Το κρεπάρισμα ("creping") συνιστά στάδιο μορφοποίησης του χαρτιού μέσω του οποίου διαταράσσεται η διασύνδεση των ινών μέσα στον ιστό, αυξάνεται ο ειδικός όγκος και η απαλότητα του χαρτιού, μεταβάλλεται η επιφανειακή τοπογραφία του χαρτιού και, ακόμη, αυξάνεται η ικανότητα επιμήκυνσής του [7].

## 1.5 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης χαρτιού

### 1.5.1 Κατανάλωση προϊόντων χάρτου

Τα χαρτί είναι άμεσα συνυφασμένο με την πρόοδο της κοινωνίας. Είναι σαφές πως το πολιτισμικό και πολιτιστικό οικοδόμημα της σύγχρονης κοινωνίας υποστηρίχθηκε και εξαρτήθηκε σε τεράστιο βαθμό από το χαρτί και τα προϊόντα του καθώς, εκτός των άλλων, αποτέλεσε (και συνεχίζει να αποτελεί) το κύριο μέσο διατήρησης και διάδοσης της γνώσης. Θα μπορούσε, ακόμη, να υποστηριχθεί πως η χρήση του συνιστά και έναν δείκτη βιοτικού επιπέδου. Δεν είναι τυχαίο πως η κατανάλωση προϊόντων χάρτου διαφέρει σημαντικά μεταξύ των κρατών αναλόγως του επιπέδου ανάπτυξης εκάστου εξ αυτών. Παραδείγματος χάρη, η κατά κεφαλή κατανάλωση προϊόντων χάρτου στις Η.Π.Α. για το έτος 2005 ήταν περίπου 297 kg/άτομο/έτος, ενώ στην περίπτωση του Αφγανιστάν η αντίστοιχη τιμή ήταν 0,02 kg/άτομο/έτος. Ο ακόλουθος πίνακας είναι αρκετά κατατοπιστικός περί των προαναφερθέντων.

**Πίνακας 3:** Κατά κεφαλή κατανάλωση προϊόντων χάρτου

<b>Κατανάλωση προϊόντων χάρτου (kg/άτομο/έτος)</b>			
	<b>1961</b>	<b>2005</b>	<b>Μεταβολή (%)</b>
Αργεντινή	29,35	55,46	47%
Αφγανιστάν		0,02	
Βουλγαρία	15,35	51,64	70%
Βραζιλία	8,87	39,49	78%
Γαλλία	60,8	178,72	66%
Γερμανία	73,79	231,65	68%
Ελλάδα	14,38	105,29	86%
Η.Π.Α.	184,54	297,05	38%
Ιαπωνία	54,29	233,55	77%
Ινδία	1,32	4,59	71%
Καμερούν	0,15	3,68	96%
Κίνα	3,86	44,66	91%
Κούβα	21,12	8,63	-145%
Κύπρος	9,01	76,16	88%
Μ. Βρετανία	102,55	201,2	49%
Νιγηρία	0,44	2,39	82%
Ολλανδία	87,75	227,38	61%
Σουδάν	0,68	1,01	33%
Σουηδία	123,37	219,98	44%
Τουρκία	3,12	27,3	89%
<b>Παγκόσμια</b>	<b>29,35</b>	<b>54,48</b>	<b>46%</b>
Κατανάλωση=[(Παραγωγή+Εισαγωγές)-(Εξαγωγές)]/[Πληθυσμός]			

[Πηγή: World Resources Institute<sup>21</sup> [22]/Ιδία επεξεργασία]

Το 1864, η παγκόσμια κατανάλωση χαρτιού είχε εκτιμηθεί από το περιοδικό “Journal des Fabricants de Papier” της Γαλλίας σε 3,1 με 3,2 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων 1,5 εκατομμύριο τόνοι αφορούσαν την Αγγλία, 0,5 εκατομμύριο τη Γαλλία, 1 εκατομμύριο

<sup>21</sup> Τα στοιχεία του συγκεκριμένου Ινστιτούτου που αφορούν στην παγκόσμια κατανάλωση χαρτιού στηρίζονται, ουσιαστικά, στα σχετικά στατιστικά δεδομένα του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) [23], και ως εκ τούτου καθίστανται έγκυρα. Σημειώνεται πως και στις δύο περιπτώσεις τα δεδομένα είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου.

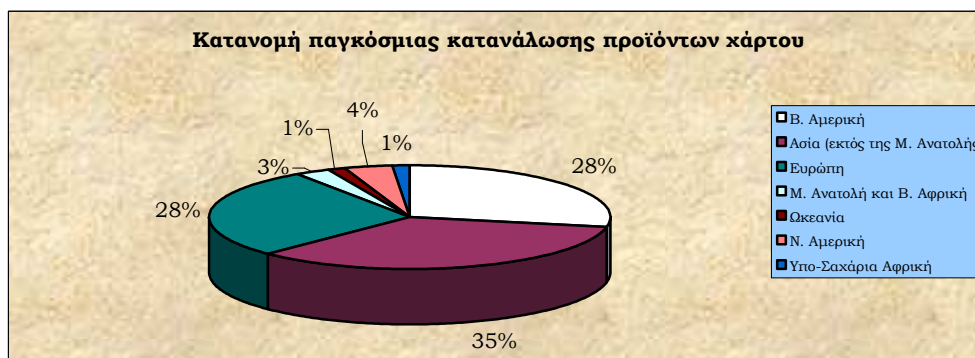
τη Γερμανία, 0,05 εκατομμύριο την Αυστρία και 10 εκατομμύρια τόνοι τον υπόλοιπο κόσμο<sup>22</sup> [9]. Οι ανωτέρω τιμές φαντάζουν πολύ μικρές αν αναλογιστούμε πως το 2005 η παγκόσμια κατανάλωση προϊόντων χάρτου ανήλθε, περίπου, σε 355 εκατομμύρια τόνους [22,23]. Σημειώνεται πως μόνο οι ΗΠΑ καταναλώνουν, περίπου, 88,5 εκατομμύρια τόνους χαρτιού [22].



**Σχήμα 4:** Παγκόσμια κατανάλωση προϊόντων χάρτου (1961-2005)

[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3, η σημερινή παγκόσμια κατανάλωση χαρτιού (και των προϊόντων αυτού) είναι περίπου 3,5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του 1961, γεγονός που υποδεικνύει μία μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 8%. Η Ευρώπη καταναλώνει το 28% των παγκόσμια παραγόμενων προϊόντων χάρτου, η Ασία (εκτός της Μέσης Ανατολής) το 35% και η Β. Αμερική το 28% (βλ. Σχήμα 4).



**Σχήμα 5:** Κατανομή παγκόσμιας κατανάλωσης<sup>23</sup> προϊόντων χάρτου (2005)

[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

<sup>22</sup> Ενδέχεται οι τιμές για την κατανάλωση χαρτιού το 1864 να είναι σχεδόν οι μισές, περίπου, από τις αναφερθείσες. Ο λόγος είναι πως ο J. Munsell (από τον οποίο αντλήθηκαν τα συγκεκριμένα δεδομένα) χρησιμοποιεί ως μονάδα μέτρησης μάζας για τη συγκεκριμένη περίπτωση, το εκατόμετρο (quintal). Πιθανώς, βέβαια, το περιοδικό "Journal des Fabricants de Papier" να χρησιμοποίησε αυτή τη μονάδα μέτρησης για την κατανάλωση χαρτιού και ο Munsell απλά αναπαρήγε τις συγκεκριμένες τιμές. Το εκατόμετρο, λοιπόν, είναι μία παλαιά μονάδα μέτρησης μάζας και ισούται με 100 φορές τη μονάδα βάσης (π.χ. 100 kg, 100 pounds, κ.λπ.). Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρήσαμε πως το εκατόμετρο αναφέρεται σε κιλά (άρα ισούται με 100 kg). Υπάρχει όμως η πιθανότητα, καθώς το περιοδικό ήταν γαλλικό, να αναφέρεται σε λίβρες. Συνεπώς σ' αυτή την περίπτωση το ένα εκατόμετρο αντιστοιχεί σε 100 λίβρες, ήτοι κάτι λιγότερο από 50 kg.

<sup>23</sup> Σημειώνεται πως, στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, η κατανάλωση υπολογίζεται ως εξής: [Κατανάλωση]=[Παραγωγή+Εισαγωγές]-[Εξαγωγές].

Σε ότι αφορά την Ευρώπη η κατανάλωση προϊόντων ανήλθε σε περίπου 73 εκατομμύρια τόνους το 1992 και σε 96 εκατομμύρια τόνους το 2005 (βλ. Σχήμα 5). Δηλαδή, από το 1992 μέχρι το 2005 η κατανάλωση προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη αυξήθηκε κατά 32% περίπου.



**Σχήμα 6:** Κατανάλωση προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (1992-2005)  
[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

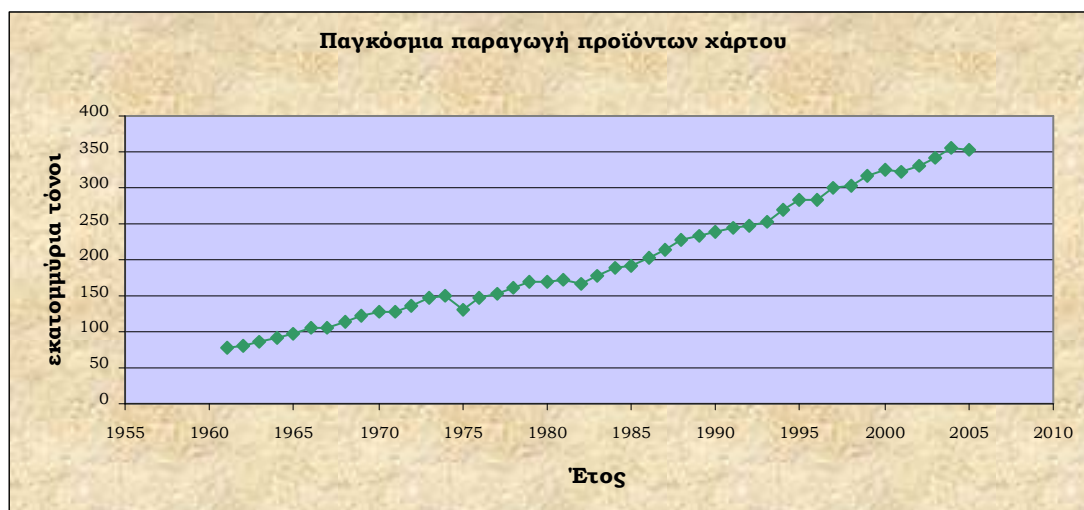
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, η Γερμανία είναι η χώρα που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση (σε απόλυτους αριθμούς) προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη και ακολουθείται από το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιταλία, τη Γαλλία και την Ισπανία.



**Σχήμα 7:** Κατανάλωση προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (2005)  
[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

### 1.5.2 Παραγωγή προϊόντων χάρτου

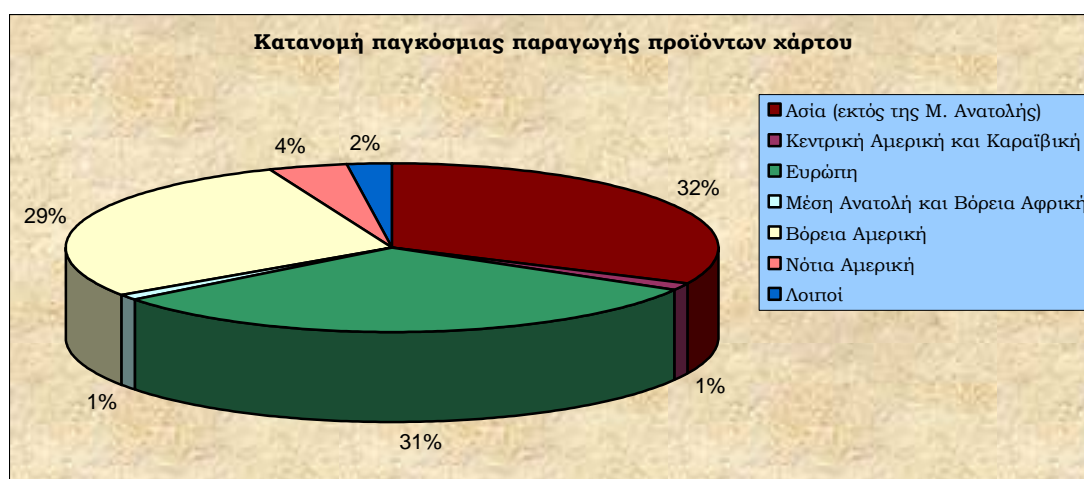
Σε ότι αφορά στην παγκόσμια παραγωγή προϊόντων χάρτου ισχύουν τα αντίστοιχα που αναφέρθηκαν στην περίπτωση της παγκόσμιας κατανάλωσης αυτών.



**Σχήμα 8:** Παγκόσμια παραγωγή προϊόντων χάρτου (1961-2005)

[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

Στην Ευρώπη παράγεται το 31% της παγκόσμιας ποσότητας προϊόντων χάρτου, στη Β. Αμερική το 29% και στην Ασία (εκτός της Μ. Ανατολής) το 32% (βλ. Σχήμα 8). Το ποσοστά της κατανομής αυτής διαφέρουν μερικώς από τα αντίστοιχα που αφορούσαν στην κατανάλωση προϊόντων χάρτου.



**Σχήμα 9:** Κατανομή παγκόσμιας παραγωγής προϊόντων χάρτου (2005)

[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

Σε ότι αφορά την Ευρώπη η παραγωγή προϊόντων χάρτου ανήλθε περίπου σε 75 εκατομμύρια τόνους το 1992 και σε 111 εκατομμύρια τόνους το 2005 (βλ. Σχήμα 9). Δηλαδή, από το 1992 μέχρι το 2005 η παραγωγή προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη αυξήθηκε κατά 48% περίπου.





**Σχήμα 10:** Παραγωγή προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (1992-2005)

[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10, η Γερμανία εμφανίζεται ως η μεγαλύτερη ευρωπαϊκή παραγωγός χώρα προϊόντων χάρτου και ακολουθείται από τη Φινλανδία, τη Σουηδία, τη Γαλλία, την Ιταλία και τη Ρωσία. Αξίζει να επισημανθεί πως ενώ η Φινλανδία και η Σουηδία κατέχουν τη 13<sup>η</sup> και 12<sup>η</sup> θέση αντίστοιχα, σε ότι αφορά την κατανάλωση προϊόντων χάρτου, αποτελούν τα σημαντικότερα ευρωπαϊκά κράτη, σε ότι αφορά την παραγωγή προϊόντων χάρτου, μετά τη Γερμανία.



**Σχήμα 11:** Παραγωγή προϊόντων χάρτου στην Ευρώπη (2005)

[Πηγή: World Resources Institute [22]/Ιδία επεξεργασία]

Το 1996 στην Ευρώπη, από το σύνολο της παραγόμενης ποσότητας προϊόντων χάρτου, το 40% αποτελούσαν χαρτιά συσκευασίας, το 13% δημοσιογραφικό χαρτί, το 38% χαρτιά γραφής και εκτύπωσης και το 6% χαρτιά υγιεινής-καθαριότητας. Τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης από μηχανική χαρτόμαζα παράγονται κυρίως στη Φινλανδία και στη Γερμανία, οι οποίες μαζί παράγουν περίπου το 60% της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής. Από την άλλη, στην παραγωγή χαρτιών γραφής και εκτύπωσης από χημική χαρτόμαζα σημαντική

δραστηριότητα παρουσιάζει η Γερμανία, η Γαλλία, η Φινλανδία, η Ιταλία, η Σουηδία και η Αυστρία. Περίπου η μισή ποσότητα των χαρτιών γραφής και εκτύπωσης ήταν επικρισιμένα (12,8 Mtn). Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή χαρτιών γραφής και εκτύπωσης είναι η Γερμανία και η Φινλανδία, ακολοθούμενες από τη Σουηδία, τη Γαλλία, την Ιταλία και το Ην. Βασίλειο. Το δημοσιογραφικό χαρτί παράγεται παραδοσιακά κυρίως στη Φινλανδία και στη Σουηδία. Η αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένων ινών είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή μονάδων παραγωγής δημοσιογραφικού χαρτιού σε χώρες που παρουσιάζουν υψηλή κατανάλωση προϊόντων χάρτου, όπως η Γερμανία. Γενικά, οι μονάδες παραγωγής δημοσιογραφικού χαρτιού είναι μεγάλης δυναμικότητας. Στη Δ. Ευρώπη η μέση δυναμικότητα των μονάδων αυτών κυμαίνεται περί τους 145.000 τόνους το έτος. Η παραγωγή χαρτιών συσκευασίας (liner και fluting) πραγματοποιείται κυρίως στη Γερμανία και στη Γαλλία, αντιστοιχώντας περίπου στο 35% του συνόλου της παραγωγής. Τέλος, η παραγωγή των χαρτιών υγιεινής-καθαριότητας συγκεντρώνεται σε τέσσερις χώρες (τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία και το Ην. Βασίλειο), οι οποίες παράγουν περίπου το 70% της συνολικά παραγόμενης ποσότητας των χαρτιών αυτών στην Ευρώπη [76].

Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως, στο πλαίσιο της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, παρουσιάζεται η τάση συγχώνευσης των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της χαρτοβιομηχανίας. Αυτό έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εγκατεστημένων μονάδων. Στη διάρκεια των τελευταίων 25-30 ετών ο αριθμός των χαρτοποιητικών μηχανών στην Ευρώπη έχει μειωθεί περίπου κατά 60%, ενώ η συνολική δυναμικότητα αυτών έχει σχεδόν διπλασιασθεί. Πολλές εταιρείες έχουν αυξήσει τη δραστηριότητά τους επενδύοντας στην αύξηση της δυναμικότητάς τους και εξαγοράζοντας μικρότερες εταιρείες του κλάδου. Έτσι, σήμερα η ευρωπαϊκή βιομηχανία χάρτου περιλαμβάνει αφενός λίγες αλλά πολύ μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες και αφετέρου πολλές μικρές επιχειρήσεις [76] (κυρίως επιχειρήσεις μεταποίησης).

## **2 Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Η ανακύκλωση υλικών, ειδικά με την οργανωμένη της μορφή, προέκυψε ως αναγκαιότητα τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Αυτή αναπτύχθηκε παράλληλα με την συσσώρευση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα και με την αύξηση των καταναλωτικών συνηθειών. Στην αρχή της ανθρώπινης ιστορίας, όπου ο μικρός πληθυσμός των πρώτων κοινωνιών ήταν κυρίως νομαδικός, η χωρική συσσώρευση των απορριμμάτων ήταν μηδαμινή και, ως εκ τούτου, μία τέτοια επιλογή ήταν εντελώς περιττή. Αντίθετα, στις περιπτώσεις όπου παρατηρούνταν οργανωμένες και αναπτυγμένες κοινωνίες, η διαχείριση των απορριμμάτων αναδυόταν ως ένα σημαντικό ζήτημα. Παραδείγματος χάρη, περίπου το 500 π.Χ., στην αρχαία Αθήνα οργανώθηκε ο πρώτος χώρος απόθεσης αστικών απορριμμάτων του δυτικού κόσμου. Η απόθεση αυτών επιβάλλονταν να πραγματοποιείται τουλάχιστον 1,5 km μακριά από τα τείχη της πόλης [28]. Με το πέρασμα από τη φεουδαρχία στην καπιταλιστική οικονομία και με την επακόλουθη βιομηχανική επανάσταση δημιουργήθηκαν προβλήματα υπερβολικής χωρικής συσσώρευσης χρησιμοποιημένων υλικών αγαθών. Με στόχο τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, η κύρια λύση που προτεινόταν ήταν η απόθεση αυτών σε ασφαλή απόσταση από τον αστικό ιστό ή, αργότερα - κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα-, η καύση αυτών. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, καθώς τα σχετικά προβλήματα εντεινόταν ραγδαίως και καθώς η επιστημονική κοινότητα άρχισε να κατανοεί τα περιβαλλοντικά ζητήματα που προέκυπταν από την ελεύθερη διάθεση των απορριμμάτων και το πεπερασμένο των πρώτων υλών, δόθηκε η ευκαιρία για την εκ νέου εξέταση των συγκεκριμένων ζητημάτων. Από τη δεκαετία του '70<sup>24</sup> και ύστερα, τα ζητήματα αυτά αναδύθηκαν στην επιφάνεια των κοινωνικών προτεραιοτήτων. Σήμερα, παρότι έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές προσπάθειες προς μία εναλλακτική και περιβαλλοντικά ήπια διαχείριση των αστικών απορριμμάτων, τα σχετικά προβλήματα φαντάζουν πιο σημαντικά από ποτέ. Βάσει των αρχών της σύγχρονης περιβαλλοντικής πολιτικής και νομοθεσίας προτείνεται (κατά φθίνουσα σειρά προτεραιότητας) η πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων, η μείωση της παραγόμενης ποσότητας ή/και του ρυπαντικού φορτίου, η ανάκτηση των υλικών με σκοπό την ανακύκλωση ή την επαναχρησιμοποίησή τους, η αποτελεσματική επεξεργασία των αποβλήτων μετά την εφαρμογή διαδικασιών ανάκτησης και η υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες διεργασίες. Η ανακύκλωση, λοιπόν, προτάσσεται ως αναγκαιότητα στο πλαίσιο μίας ολιστικής και περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά ζητήματα που αφορούν στην ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου. Σ' αυτά περιλαμβάνονται οι πρώτες ύλες της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου, δείκτες και στατιστικά στοιχεία για το επίπεδο της ανακύκλωσης και οι βασικότερες διεργασίες που εφαρμόζονται στις μονάδες του κλάδου. Στόχος του εν λόγω κεφαλαίου είναι να αποτελέσει μία βάση για όσα θα συζητηθούν στα

---

<sup>24</sup> Η 22<sup>α</sup> Απριλίου του 1970, Παγκόσμια Ημέρα της Γης, αποτελεί μία ημερομηνία σηµαδιακή για την αλλαγή της προσέγγισης των περιβαλλοντικών ζητημάτων σε παγκόσμια κλίµακα.

επόμενα εδάφια της εργασίας και να αναδείξει τον πολυδιάστατο χαρακτήρα των ζητημάτων που σχετίζονται με την ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου.

## **2.2 Οι πρώτες ύλες της βιομηχανίας ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου**

Τα προϊόντα χάρτου που ανακυκλώνονται μπορούν να διακριθούν σ' αυτά που συνιστούν προκαταναλωτικά προϊόντα και σ' αυτά που συνιστούν μετακαταναλωτικά προϊόντα. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται εκείνα τα χαρτιά που δεν πέρασαν από το στάδιο της κατανάλωσης. Τέτοια είναι τα χαρτιά που αποτελούν παραπροϊόντα των διεργασιών παραγωγής και μεταποίησης, όπως τα ξακρίδια, οι απούλητες εφημερίδες, τα ελαττωματικά χαρτιά που προέκυψαν στο πλαίσιο της αστοχίας μίας διεργασίας κ.ά. Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τα χαρτιά που πέρασαν από το στάδιο της κατανάλωσης. Σ' αυτά περιλαμβάνονται οι εφημερίδες και τα περιοδικά, τα χαρτόνια, τα χάρτινα υλικά συσκευασίας, τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης και αρκετά ακόμη (με την προϋπόθεση, ως είναι φυσικό, πως χρησιμοποιήθηκαν).

Γενικά, τα παραδοσιακά είδη παλαιόχαρτου που ανακτώνται και ανακυκλώνονται (εφημερίδες, χαρτοκιβώτια, χάρτινες συσκευασίες και προκαταναλωτικά προϊόντα χάρτου) είναι αυτά που εύκολα μπορούν να συλλεχθούν και εύκολα μπορούν να επεξεργαστούν για την παραγωγή νέων προϊόντων, συνήθως χαμηλότερης ποιότητας και αξίας από την αντίστοιχη των αρχικών προϊόντων. Τα τελευταία χρόνια, καθίσταται αναγκαία η αξιοποίηση και των υπολοίπων κλασμάτων των προϊόντων χάρτου<sup>25</sup> (π.χ. τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης). Αυτά συνιστούν μία σημαντική ποσότητα, αλλά η αποτελεσματικότητα συλλογής τους είναι αμφίβολη. Ακόμη, αρκετές φορές, παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα κατά την ανακύκλωσή τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό των χαρτιών που συνιστούν απορρίμματα γραφείου τα οποία καθίστανται δύσκολως απομελανώσιμα, με αποτέλεσμα, παρόλο που αποτελούνται από υψηλής ποιότητας ίνες, να υποβαθμίζουν, όταν χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη παραγωγής ανακυκλωμένων χαρτιών, τις οπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Από τα ανωτέρω φαίνεται πως, με στόχο ένα ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό σύστημα ανακύκλωσης χρησιμοποιημένων προϊόντων χάρτου, απαιτείται μία συστηματική κατηγοριοποίηση των διαφορετικών προϊόντων χάρτου και ένα άρτια οργανωμένο σύστημα συλλογής.

Για το σκοπό αυτό, το 2001 διαρθρώθηκε το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 643 ("The European List of Standard Grades of Recovered Paper and Board"), το οποίο αποτελεί μία βελτιωμένη έκδοση του EN 643 που δημοσιεύθηκε το 1994. Σ' αυτό, ομαδοποιούνται τα προϊόντα χάρτου σε ένα μεγάλο αριθμό κατηγοριών, βάσει των κοινών ιδιοτήτων τους αλλά και της ποιότητας αυτών ως πρώτων υλών για τη βιομηχανία ανακύκλωσης [29].

Στο εν λόγω πρότυπο, μεταξύ άλλων, υποδεικνύονται τα χρησιμοποιηθέντα προϊόντα χάρτου που καθίστανται ακατάλληλα υλικά για την παραγωγή χαρτιού ή χαρτονιού. Ως ακατάλληλα εννοούνται τα υλικά εκείνα που δε συνιστούν χάρτινο προϊόν ή, ακόμη, τα χάρτινα προϊόντα που δύναται να είναι επιζήμια στην παραγωγή νέων προϊόντων χάρτου. Τα ανακτημένα χαρτιά και χαρτόνια θα πρέπει να διακινούνται στην αγορά χωρίς να περιέχουν ακατάλληλα υλικά. Ακόμη, όταν κατόπιν συμφωνίας προμηθευτή και αγοραστή το

---

<sup>25</sup> Αυτή η αναγκαιότητα αναφέρεται στην αγγλική γλώσσα ως "go deeper into the waste stream" [28].

παλαιόχαρτο περιέχει συγκεκριμένη ποσότητα ακατάλληλων χάρτινων υλικών, τότε αυτά θα πρέπει να αναφέρονται και να χαρακτηρίζονται ως «χαρτιά και χαρτόνια επιζήμια για την παραγωγή». Σε ότι αφορά τα μη χάρτινα υλικά, θα πρέπει να πούμε πως ως τέτοια νοούνται τα ξένα υλικά που περιέχονται στο παλαιόχαρτο και που μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις μηχανές της μονάδας, διακοπή της παραγωγής ή σημαντική υποβάθμιση του τελικού προϊόντος. Σ' αυτά περιλαμβάνονται μεταλλικά, γυάλινα και πλαστικά υλικά, υφάσματα, ξύλο, οικοδομικά υλικά, συνθετικά χαρτιά και λοιπά συνθετικά προϊόντα. Από την άλλη ως χαρτιά και χαρτόνια επιζήμια για την παραγωγή νοούνται εκείνες οι ποιότητες χαρτιού που, για ένα σύννηθες επίπεδο εξοπλισμού, καθίστανται ακατάλληλα υλικά για την παραγωγή αντίστοιχων προϊόντων χάρτου. Βέβαια η τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει στην παραγωγή συστημάτων αποτελεσματικής επεξεργασίας τέτοιων ποιοτήτων χαρτιού. Ως εκ τούτου ο αριθμός των μονάδων που μπορεί να αξιοποιήσει τα συγκεκριμένα κλάσματα χαρτιού αυξάνει διαρκώς. Έτσι τα κριτήρια καθορισμού του ποσοστού των ποιοτήτων αυτών στο παλαιόχαρτο αποτελεί θέμα της εκάστοτε βιομηχανίας [29].

Ακόμη, σύμφωνα με το EN 643, η υγρασία που περιέχεται στα ανακτημένα προϊόντα χάρτου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα φυσιολογικά επίπεδα. Όταν το ποσοστό υγρασίας του παλαιόχαρτου ξεπερνά το 10% τότε δε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (στην αγοροπωλησία του προϊόντος) η μάζα που αντιστοιχεί στο πλεονάζον (του 10%) ποσοστό [29].

Ακολούθως παρατίθενται οι κατηγορίες (στο Πρότυπο αυτό αναφέρονται ως Τάξεις) των ποιοτήτων των προϊόντων χάρτου.

Τάξη 1: Συνήθεις ποιότητες (Ordinary grades).

Τάξη 2: Μέσες ποιότητες (Medium grades).

Τάξη 3: Υψηλές ποιότητες (High grades).

Τάξη 4: Kraft ποιότητες (Kraft grades).

Τάξη 5: Ειδικές ποιότητες (Special grades)

Κάθε μία από τις τάξεις αυτές περιέχει αρκετές υποκατηγορίες, οι οποίες και παρατίθενται ακολούθως. Σημειώνεται, πως επειδή το συγκεκριμένο Πρότυπο δεν έχει μεταφρασθεί στην ελληνική γλώσσα και επειδή οι σχετικές ορολογίες, γενικότερα, δεν αποδίδονται με συστηματικό τρόπο στην ελληνική, παρατίθενται και οι πρωτότυπες ονομασίες των υποκατηγοριών.

Τάξη 1: Συνήθεις ποιότητες

1.01 Μικτά χαρτιά και χαρτόνια, μη ταξινομημένα που δεν περιέχουν ακατάλληλα υλικά (Mixed paper and board, unsorted, but unusable materials removed): Μίγμα διαφόρων ποιοτήτων χαρτιού και χαρτονιού χωρίς περιορισμούς στο είδος των περιεχόμενων ινών.

1.02 Ταξινομημένα χαρτιά και χαρτόνια (Mixed papers and boards (sorted)): Μίγμα ποιοτήτων χαρτιού και χαρτονιού στο οποίο περιέχονται εφημερίδες και περιοδικά έως 40%.

1.03 Γκρι χαρτόνια (Grey board): Τυπωμένα και ατύπωτα (επικαλυμμένα και μη) γκρι χαρτόνια ή μικτά χαρτόνια που δεν περιέχουν κυματοειδή χαρτιά και χαρτόνια.

1.04 Κυματοειδή χαρτιά και χαρτόνια από υπεραγορές (Supermarket corrugated paper and board): Χρησιμοποιημένα χαρτιά και χαρτόνια συσκευασίας, εκ των οποίων

τουλάχιστον το 70% είναι κυματοειδές χαρτόνι ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείται από χαρτιά περιτύλιξης και χαρτόνια.

1.05 Παλαιά κυματοειδή καρτοκιβώτια (OCC – Old Corrugated Containers): Κουτιά και φύλλα κυματοειδών χαρτονιών διαφόρων ποιότητων

1.06 Απούλητα περιοδικά (Unsold magazines): Απούλητα περιοδικά με ή χωρίς κόλλα.

1.06.01 Απούλητα περιοδικά χωρίς κόλλα (Unsold magazines without glue): Απούλητα περιοδικά χωρίς κόλλα.

1.07 Τηλεφωνικοί κατάλογοι (Telephone books): Καινούριοι ή χρησιμοποιημένοι τηλεφωνικοί κατάλογοι, χωρίς όριο χρωματιστών σελίδων, με ή χωρίς κόλλα. Είναι δυνατόν να περιέχονται και ξακρίδια.

1.08 Μίγμα εφημερίδων και περιοδικών (1) (Mixed newspapers and magazines (1)): Μίγμα εφημερίδων και περιοδικών, με ή χωρίς κόλλα, στο οποίο το ποσοστό των εφημερίδων είναι άνω του 50%.

1.09 Μίγμα εφημερίδων και περιοδικών (2) (Mixed newspapers and magazines (2)): Μίγμα εφημερίδων και περιοδικών, με ή χωρίς κόλλα, στο οποίο το ποσοστό των εφημερίδων είναι άνω του 60%.

1.10 Μίγμα περιοδικών και εφημερίδων (Mixed magazines and Newspapers): Μίγμα εφημερίδων και περιοδικών, με ή χωρίς κόλλα, στο οποίο το ποσοστό των περιοδικών είναι άνω του 60%.

1.11 Ταξινομημένα χαρτιά γραφής κατάλληλα για απομελάνωση (Sorted graphic paper for deinking): Γραφικά χαρτιά νοικοκυριών, εφημερίδες και περιοδικά. Το ποσοστό αυτών θα πρέπει να είναι άνω του 40%. Επίσης το ποσοστό των μη απομελάνωσιμων χαρτιών και χαρτονιών δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 1,5%. Το ακριβές ποσοστό αποτελεί θέμα διαπραγμάτευσης μεταξύ προμηθευτή και αγοραστή.

Τάξη 2: Μέσες ποιότητες

2.01 Εφημερίδες (Newspapers): Κλάσμα εφημερίδων, που περιέχουν το πολύ 5% χρωματισμένες κατά τη μάζα εφημερίδες ή διαφημιστικά ένθετα.

2.02 Απούλητες εφημερίδες (Unsold newspapers): Απούλητες ημερήσιες εφημερίδες, στις οποίες δεν περιέχονται, χρωματισμένα, κατά τη μάζα, πρόσθετα ένθετα.

2.02.01 Απούλητες εφημερίδες που δεν τυπώθηκαν με φλεξογραφικά μελάνια (Unsold newspapers, no flexo-graphic printing allowed): Απούλητες εφημερίδες που δεν περιέχουν χρωματισμένα, κατά τη μάζα, πρόσθετα ένθετα και φλεξογραφικά μελάνια.

2.03 Ελαφρώς τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού (Lightly printed white shavings): Ελαφρώς τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού, κυρίως μηχανικής χαρτόμαζας.

2.04 Ελαφρώς τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού χωρίς κόλλα (Lightly printed white shavings without glue): Ελαφρώς τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού, κυρίως μηχανικής χαρτόμαζας που δεν περιέχουν κόλλα.

2.05 Εντόνως τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού (Heavily printed white shavings): Εντόνως τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού, κυρίως μηχανικής χαρτόμαζας.

2.06 Εντόνως τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού χωρίς κόλλα (Heavily printed white shavings without glue): Εντόνως τυπωμένα λευκά ξακρίδια χαρτιού, κυρίως μηχανικής χαρτόμαζας, που δεν περιέχουν κόλλα.

- 2.07 Ταξινομημένα χαρτιά γραφείου (Sorted office paper): Ταξινομημένα χαρτιά γραφείου.
- 2.08 Χρωματισμένα έγγραφα (Coloured letters): Αυτή η υποκατηγορία περιλαμβάνει χαρτιά γραφής και εκτύπωσης που είναι χρωματισμένα κατά τη μάζα, τυπωμένα ή μη. Δεν συμπεριλαμβάνονται σκληρά εξώφυλλα και χαρτιά τύπου καρμπόν (carbon papers).
- 2.09 Βιβλία από λευκή χημική χαρτόμαζα (White woodfree books): Βιβλία, συμπεριλαμβανομένων των εσφαλμένων εκτυπώσεων, χωρίς σκληρά εξώφυλλα που αποτελούνται κυρίως από λευκή χημική χαρτόμαζα και είναι τυπωμένα αποκλειστικά με μαύρα μελάνια. Επιτρέπεται να περιέχονται επιχρισμένα χαρτιά σε ποσοστό μέχρι 10%.
- 2.10 Χρωματισμένα περιοδικά από χημική χαρτόμαζα (Coloured woodfree magazines): Επιχρισμένα ή μη περιοδικά, λευκά ή χρωματισμένα κατά τη μάζα που δεν περιέχουν σκληρά εξώφυλλα, υλικά βιβλιοδεσίας, μη διασπάρσιμα μελάνια και συγκολλητικά υλικά, ή αυτοκόλλητα. Δύναται να περιέχουν εντόνως τυπωμένες σελίδες και χρωματισμένα κατά τη μάζα ξακρίδια. Η περιεκτικότητα των χαρτιών που προέρχονται από μηχανικό πολτό δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10%.
- 2.11 Αντιγραφικό χαρτί που δεν περιέχει επιχρίσεις άνθρακα (Carbonless copy paper): Αντιγραφικό χαρτί που δεν περιέχει επιχρίσεις άνθρακα. Δηλαδή, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα αντιγραφικά χαρτιά εκτός τα τύπου καρμπόν.
- 2.12 Χαρτόνι λευκασμένης χημικής χαρτόμαζας επιχρισμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου (Bleached woodfree PE-coated board): Χαρτόνι λευκασμένης χημικής χαρτόμαζας επιχρισμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου, που συνιστά πλεονάζον υλικό (π.χ. ξακρίδια) μονάδων παραγωγής χαρτονιών ή σχετικών μονάδων μεταποίησης.
- 2.13 Άλλα χαρτόνια επιχρισμένα με φύλλα πολυαιθυλενίου (Other PE-coated board): Άλλα χαρτόνια επιχρισμένα με φύλλα πολυαιθυλενίου. Μπορεί να περιέχουν μη λευκασμένα χαρτόνια και χαρτιά από μονάδες παραγωγής χαρτονιού και σχετικές μονάδες μεταποίησης.
- 2.14 Χαρτιά μηχανικής χαρτόμαζας από εκτυπώσεις H/Y (Mechanical pulp-based computer print-out): Χαρτιά μηχανικής χαρτόμαζας τύπου ρόλου που χρησιμοποιούνται σε εκτυπώσεις H/Y, ταξινομημένα κατά χρώμα. Μπορεί να περιέχουν και ανακυκλωμένες ίνες.

### Τάξη 3: Υψηλές ποιότητες

- 3.01 Μικτά ελαφρώς χρωματισμένα ξακρίδια χαρτιών γραφής και εκτύπωσης (Mixed lightly coloured printer shavings): Μικτά ξακρίδια χαρτιών γραφής και εκτύπωσης, ελαφρώς χρωματισμένα κατά τη μάζα, που περιέχουν τουλάχιστον κατά 50% χημική χαρτόμαζα.
- 3.02 Μικτά ελαφρώς χρωματισμένα ξακρίδια χαρτιών γραφής και εκτύπωσης χημικής χαρτόμαζας (Mixed lightly coloured woodfree printer shavings): Μικτά ξακρίδια χαρτιών γραφής και εκτύπωσης, ελαφρώς χρωματισμένα κατά τη μάζα, που περιέχουν χημική χαρτόμαζα τουλάχιστον κατά 90%.
- 3.03 Χαρτιά χημικής χαρτόμαζας που περιέχουν κόλλες (Woodfree binders): Λευκά χημικής χαρτόμαζας και ελαφρώς τυπωμένα ξακρίδια με κόλλα. Μπορεί να περιέχουν χαρτιά μηχανικής χαρτόμαζας μέχρι 10%. Δεν πρέπει να περιέχονται χαρτιά χρωματισμένα κατά τη μάζα.

3.04 Λευκά ξακρίδια (Tear white shavings): Λευκά, χημικής χαρτόμαζας και ελαφρώς τυπωμένα ξακρίδια χωρίς κόλλα, ελεύθερα από χρωματισμένα κατά τη μάζα χαρτιά και από χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσής τους.

3.05 Λευκά έγγραφα χημικής χαρτόμαζας (White woodfree letters): Ταξινομημένα λευκά, χημικής χαρτόμαζας, χαρτιά γραφής, που προέρχονται από εφαρμογές γραφείου. Δεν συμπεριλαμβάνονται χαρτιά τύπου καρμπόν, αποδείξεις και μη υδατοδιαλυτά συγκολλητικά υλικά.

3.06 Λευκά, επαγγελματικά έντυπα (White business forms): Λευκά, χημικής χαρτόμαζας, τυπωμένα, επαγγελματικά έντυπα.

3.07 Λευκά χαρτιά χημικής χαρτόμαζας εκτυπώσεων H/Y (White woodfree computer print-out): Λευκές, χημικής χαρτόμαζας, εκτυπώσεις H/Y, χωρίς αντιγραφικά χαρτιά τύπου καρμπόν και κόλλες.

3.08 Τυπωμένα, λευκασμένα kraft χαρτόνια (Printed bleached sulphate board): Εντόνως τυπωμένα φύλλα λευκασμένων kraft χαρτονιών, χωρίς κόλλες, υλικά επίχρισης και κηρώδη υλικά.

3.09 Ελαφρώς τυπωμένα λευκασμένα, kraft χαρτονιών (Lightly printed bleached sulphate board): Ελαφρώς τυπωμένα φύλλα λευκασμένων kraft χαρτονιών, χωρίς κόλλες, υλικά επίχρισης και κηρώδη υλικά.

3.10 Πολυεκτυπώσεις (Multi printing): Χημικής χαρτόμαζας, επιχρισμένα, ελαφρώς τυπωμένα, χαρτιά. Δεν συμπεριλαμβάνονται χαρτιά χρωματισμένα κατά τη μάζα και χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσής τους.

3.11 Λευκά, εντόνως τυπωμένα ποικίλα χαρτόνια (White heavily printed multiply board): Αχρησιμοποίητα, εντόνως τυπωμένα, λευκά, πολυστρωματικά χαρτόνια που περιέχουν στρώματα χημικής, μηχανικής ή θερμομηχανικής χαρτόμαζας. Δεν επιτρέπεται, όμως, να περιέχονται γκρι στρώματα.

3.12 Λευκά, ελαφρώς τυπωμένα, πολυστρωματικά χαρτόνια (White lightly printed multiply board): Αχρησιμοποίητα, ελαφρώς τυπωμένα, λευκά, πολυστρωματικά χαρτόνια που περιέχουν στρώματα χημικής, μηχανικής ή θερμομηχανικής χαρτόμαζας. Δεν επιτρέπεται, όμως, να περιέχονται γκρι στρώματα.

3.13 Λευκά, ατύπωτα, πολυστρωματικά χαρτόνια (White unprinted multiply board): Αχρησιμοποίητα, ατύπωτα, λευκά, πολυστρωματικά χαρτόνια που περιέχουν στρώματα χημικής, μηχανικής ή θερμομηχανικής χαρτόμαζας. Δεν επιτρέπεται, όμως, να περιέχονται γκρι στρώματα.

3.14 Λευκές εφημερίδες (White newsprint): Ξακρίδια και φύλλα λευκών ατύπων εφημερίδων. Δεν συμπεριλαμβάνονται χαρτιά περιοδικών.

3.15 Λευκά, επιχρισμένα και μη, χαρτιά μηχανικής χαρτόμαζας (White mechanical pulp-based coated and uncoated paper): Ξακρίδια και φύλλα από λευκά ατύπωτα, επιχρισμένα και μη, χαρτιά από μηχανική χαρτόμαζα.

3.15.01 Λευκά επιχρισμένα χαρτιά μηχανικής χαρτόμαζας (White pulp-based paper containing coated paper): Ξακρίδια και φύλλα από λευκά ατύπωτα, επιχρισμένα και μη, χαρτιά από μηχανική χαρτόμαζα.



3.16 Λευκά, επιχρισμένα χαρτιά χημικής χαρτόμαζας που δεν περιέχουν κόλλες (White woodfree coated paper, without glue): Ξακρίδια και φύλλα λευκών, ατύπων, επιχρισμένων χαρτιών χημικής χαρτόμαζας που δεν περιέχουν κόλλες.

3.17 Λευκά ξακρίδια (White shavings): Ξακρίδια και φύλλα λευκών, ατύπων χαρτιών. Σ' αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται εφημερίδες και περιοδικά. Επίσης πρέπει να περιέχονται χαρτιά χημικής χαρτόμαζας σε ποσοστό τουλάχιστον 60%. Δεν θα πρέπει να περιέχονται κόλλες.

#### Τάξη 4: Ποιότητες kraft

4.01 Ξακρίδια από κυματοειδή χαρτόνια (New shavings of corrugated board): Ξακρίδια κυματοειδών χαρτονιών, με επίπεδα στρώματα είτε τύπου kraftliner είτε τύπου testliner.

4.01.01 Αχρησιμοποίητο κυματοειδές kraft (Unused corrugated kraft): Αχρησιμοποίητα κουτιά, φύλλα και ξακρίδια κυματοειδών χαρτονιών, των οποίων τα επίπεδα στρώματα είναι αποκλειστικά τύπου kraft (kraft-liners) και το στρώμα των αυλακώσεων είναι από χημική ή θερμοχημική χαρτόμαζα.

4.01.02 Αχρησιμοποίητο κυματοειδές υλικό (Unused corrugated material): Αχρησιμοποίητα κουτιά, φύλλα και ξακρίδια κυματοειδών χαρτονιών με επίπεδα στρώματα είτε τύπου testliner είτε τύπου kraftliner.

4.02 Χρησιμοποιημένα κυματοειδή kraft (1) (Used corrugated kraft (1)): Χρησιμοποιημένα κυματοειδή χαρτοκιβώτια, των οποίων τα επίπεδα στρώματα είναι αποκλειστικά τύπου kraftliner και το στρώμα των αυλακώσεων είναι από χημική ή θερμοχημική χαρτόμαζα.

4.03 Χρησιμοποιημένα κυματοειδή kraft (2) (Used corrugated kraft (2)): Χρησιμοποιημένα κυματοειδή χαρτοκιβώτια με επίπεδα στρώματα είτε τύπου testliner είτε τύπου kraftliner που όμως τουλάχιστον ένα επίπεδο στρώμα είναι τύπου kraftliner.

4.04 Χρησιμοποιημένες σακούλες kraft (Used kraft sacks): Καθαρές χρησιμοποιημένες σακούλες kraft, είτε από χαρτί υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσης τους είτε όχι.

4.04.01 Χρησιμοποιούμενες σακούλες kraft με πολυεπιχρισμένα χαρτιά (Used kraft sacks with polycoated papers): Καθαρές χρησιμοποιημένες σακούλες kraft, είτε από χαρτί υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσης τους είτε όχι. Είναι δυνατόν να περιέχονται και πολυεπιχρισμένα χαρτιά.

4.05 Αχρησιμοποίητες σακούλες kraft (Unused kraft sacks): Αχρησιμοποίητες σακούλες kraft, είτε από χαρτί υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσής τους είτε όχι.

4.05.01 Αχρησιμοποίητες σακούλες kraft με πολυεπιχρισμένα χαρτιά (Unused kraft sacks with polycoated papers): Αχρησιμοποίητες σακούλες kraft είτε από χαρτί υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσής τους είτε όχι. Είναι δυνατόν να περιέχονται και πολυεπιχρισμένα χαρτιά.

4.06 Χρησιμοποιημένα χαρτιά kraft (Used kraft): Χρησιμοποιημένα χαρτιά και χαρτόνια kraft φυσικής ή λευκής απόχρωσης.

4.07 Αχρησιμοποίητα χαρτιά kraft (New kraft): Ξακρίδια και άλλα φρέσκα χαρτιά και χαρτόνια kraft φυσικής απόχρωσης.

4.08 Αχρησιμοποίητα, kraft, χαρτοκιβώτια μεταφοράς (New carrier kraft): Αχρησιμοποίητα, kraft, χαρτοκιβώτια μεταφοράς. Είναι δυνατόν να περιέχονται χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρασής τους.

Τάξη 5: Ειδικές ποιότητες

5.01 Μικτά ανακτημένα χαρτιά και χαρτόνια (Mixed recovered paper and board): Μη ταξινομημένα χαρτιά και χαρτόνια που η διαλογή τους έχει γίνει στην πηγή.

5.02 Μικτές συσκευασίες (Mixed packaging): Μίγμα διαφόρων ποιοτήτων χρησιμοποιημένων χαρτιών και χαρτονιών συσκευασίας, στο οποίο δεν περιέχονται εφημερίδες και περιοδικά.

5.03 Χαρτόνια συσκευασίας υγρών προϊόντων (Liquid board packaging): Χρησιμοποιημένα χαρτόνια συσκευασίας υγρών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι επικαλυμμένα με φύλλα πολυαιθυλενίου (είτε περιέχουν αλουμίνιο είτε όχι). Η περιεκτικότητα σε ίνες θα πρέπει να είναι άνω του 50% κατά βάρος

5.04 Χαρτί kraft περιτύλιξης (Wrapper kraft): Πολυεπικαλυμμένα, χρησιμοποιημένα, kraft χαρτιά περιτύλιξης. Δεν πρέπει να περιέχονται επιχρίσεις βιτουμενίου και κηρώδεις επιχρίσεις.

5.05 Υγρές ετικέτες (Wet labels): Χρησιμοποιημένες, υγρές ετικέτες από χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρασής τους. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε υαλώδη υλικά θα πρέπει να είναι 1% και σε υγρασία 50%. Δε θα πρέπει να περιέχονται άλλα άχρηστα υλικά.

5.06 Ατύπωτα, λευκά, χημικής χαρτόμαζας χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρασής τους (Unprinted white wet-strength woodfree papers): Ατύπωτα, λευκά, χημικής χαρτόμαζας χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρασής τους

5.07 Τυπωμένα, λευκά, χημικής χαρτόμαζας χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρασής τους (Printed white wet-strength woodfree papers): Τυπωμένα, λευκά, χημικής χαρτόμαζας χαρτιά υψηλών μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρασής τους.

Η παραπάνω ταξινόμηση είναι πολύ λεπτομερής και πιθανόν παρουσιάζει πολλές δυσχέρειες κατά την πράξη. Το Υπουργείο Εμπορίου και οι χαρτοβιομηχανίες των ΗΠΑ επιχειρώντας να περιορίσουν, κατά κάποιο τρόπο, το πλήθος των υποκατηγοριών που είχαν δημοσιευτεί στη λίστα του ISRI (Institute for Scrap Recycling Industries), η οποία ήταν λεπτομερής σχεδόν όσο και αυτή του EN 643, ομαδοποίησαν την πλειάδα των διαφορετικών ποιοτήτων του παλαιόχαρτου σε 5 βασικές κατηγορίες. Κάθε κατηγορία αποτελείται από είδη παλαιόχαρτου με παρόμοια χαρακτηριστικά και διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες κατηγορίες ως προς την καταλληλότητά της για την παραγωγή προϊόντων χάρτου συγκεκριμένων χαρακτηριστικών [10]. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η αναφορά σε βασικά χαρακτηριστικά των 5 αυτών κατηγοριών, καθώς η συγκεκριμένη ταξινόμηση παρουσιάζει λειτουργικά πλεονέκτημα (κυρίως απλότητα) έναντι της προηγούμενης ταξινόμησης.

Υποκατάστατα πολτού (Pulp Substitutes): Το υψηλότερης ποιότητας διαθέσιμο παλαιόχαρτο, το γνωστό (βάσει της εν λόγω ταξινόμησης) ως υποκατάστατο πολτού, αποτελείται αποκλειστικά από ατύπωτα αποκόμματα χαρτιού (συνήθως από λευκασμένα

χαρτιά). Τα χαρτιά αυτά συνιστούν συνήθως απορρίμματα των ίδιων των καρτοβιομηχανιών, όπως είναι οι κατεστραμμένοι ρόλοι, τα απύλητα (και άχρηστα πια) προϊόντα, τα ξακρίδια κ.ά. Τα χαρτιά μπορούν επίσης να προέρχονται από μονάδες μεταποίησης, εκτυπωτικές μονάδες και λοιπές μονάδες που οι δραστηριότητες αφορούν στο τελικό στάδιο επεξεργασίας των προϊόντων χάρτου. Τα χαρτιά αυτά χαρακτηρίζονται από την υψηλή ποιότητά τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είναι (δηλαδή, χωρίς να απαιτείται ο καθαρισμός τους ή η γενικότερη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους) για την παραγωγή νέων προϊόντων. Αποτελούν το ακριβότερο είδος παλαιόχαρτου και μερικές φορές η τιμή του πλησιάζει την τιμή του λευκασμένου πολτού από παρθένες ίνες [10].

Παλαιόχαρτο υψηλής ποιότητας κατάλληλο για απομελάνωση (High-Grade Deinking): Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί τη δεύτερη κατηγορία από άποψη ποιοτικών χαρακτηριστικών κατάλληλων για ανακύκλωση. Τα χαρτιά της συγκεκριμένης κατηγορίας συνήθως χρησιμοποιούνται από τις μονάδες απομελάνωσης. Κύριους αντιπροσώπους της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα χαρτιά που είναι ελαφρώς τυπωμένα. Τα απορρίμματα αυτού του είδους προέρχονται κυρίως από εκτυπωτικές μονάδες offset και από μεταποιητικές μονάδες που εξεργάζονται φακέλους, κουτιά, και άλλα παρόμοια υλικά. Μερικές φορές στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται και μερικές εκτυπώσεις από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί πως σπάνια στην κατηγορία αυτή εντάσσονται χαρτιά που συνιστούν απορρίμματα γραφείου, ειδικά στην περίπτωση που περιέχονται χαρτιά τυπωμένα σε φωτοαντιγραφικά μηχάνημα και σε εκτυπωτές laser [10].

Μικτό παλαιόχαρτο (Mixed): Τα απορρίμματα αυτά αποτελούνται από χαρτιά με σημαντικές διαφορές ως προς τα χαρακτηριστικά τους και που δεν είναι δυνατή η ένταξή τους σε καμία από τις υπόλοιπες κατηγορίες. Τα χαρτιά αυτά προέρχονται από γραφεία, καταστήματα και οικίες. Στη κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και χαρτιά που προέρχονται από διάφορες εκτυπώσεις, αλλά που δεν μπορούν να χαρακτηρισθούν ως χαρτιά κατάλληλης ποιότητας για απομελάνωση (βλ. και την ανωτέρω κατηγορία). Συμπεριλαμβάνονται λευκά και χρωματισμένα χαρτιά, επιχρισμένα χαρτιά και περιοδικά [10].

Δημοσιογραφικό χαρτί (News): Τα χαρτιά αυτής της κατηγορίας μπορούν πολύ εύκολα να αναγνωρισθούν και να ταξινομηθούν. Τα συνηθέστερα εξ αυτών είναι οι παλαιές εφημερίδες που συλλέγονται από οικίες και από γραφεία, τα τυπωμένα και ατύπωτα ξακρίδια εφημερίδων και τα οι πλεονάζουσες εφημερίδες που προέρχονται από σχετικές μονάδες εκτύπωσης. Στη βιομηχανία οι ποιότητες αυτές αναφέρονται ως ONP (old newsprint). Τα τελευταία έτη η αγορά των συγκεκριμένων ειδών παλαιόχαρτου βρίσκεται σε σημαντική κρίση, καθώς η ποσότητα αυτών των συλλεχθέντων χαρτιών έχει ξεπεράσει τη δυναμικότητα αξιοποίησης τους από τη βιομηχανία ανακύκλωσης. Οι μονάδες απομελάνωσης που συνεχώς αυξάνονται φαίνεται πως είναι ικανές να αξιοποιήσουν την εν λόγω πλεονάζουσα ποσότητα (προς υψηλής ποιότητας και αξίας προϊόντα) και, ως εκ τούτου, να αμβλύνουν το προαναφερθέν πρόβλημα [10].

Κυματοειδή προϊόντα χάρτου (Corrugated): Και αυτή η κατηγορία αποτελείται από προϊόντα χάρτου που εύκολα μπορούν να αναγνωρισθούν και να ταξινομηθούν. Τα κυματοειδή προϊόντα χάρτου αποτελούνται από χρησιμοποιημένα κυματοειδή καρτοκιβώτια που συλλέγονται από καταστήματα, οικίες και γραφεία και από ξακρίδια που παράγονται την κατασκευή των κιβωτίων αυτών. Επίσης συμπεριλαμβάνονται kraft σακούλες μαναβικής και παρόμοια υλικά. Το ακρωνύμιο που συνήθως χρησιμοποιείται για

τα χαρτιά της κατηγορίας αυτής είναι OCC (Old Corrugated Cardboards ή Containers) [10].

Γενικά, τα απορρίμματα χαρτού ανακυκλώνονται προς προϊόντα ισοδύναμων ποιοτικών χαρακτηριστικών ή, συνηθέστερα, προς προϊόντα χαμηλότερης ποιότητας, γεγονός που είναι και ευκολότερο να πραγματοποιηθεί. Το παλαιόχαρτο που συνιστά υποκατάστατο του πολτού και το παλαιόχαρτο που καθίσταται κατάλληλο για απομελάνωση είναι τα κύρια είδη παλαιόχαρτου που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή χαρτιών γραφής και εκτύπωσης. Αυτά τα δύο είδη παλαιόχαρτου χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή και άλλων ειδών χαρτιού, όπως τα χαρτιά καθαριότητας και υγιεινής, τα χαρτόνια, τα καρτοκιβώτια, τα χαρτιά συσκευασίας και άλλα [10].

Επίσης για την παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού γραφής και εκτύπωσης χρησιμοποιούνται και μερικά είδη μικτού παλαιόχαρτου. Αυτά όμως συνήθως χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κυματοειδών καρτοκιβωτίων, χαρτονιών. Σπανίως χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτιών υγιεινής και καθαριότητας. Ακόμη το μικτό παλαιόχαρτο αλλά και το παλαιό δημοσιογραφικό χαρτί χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θηκών αυγών και παρόμοιων διαμορφωμένων προϊόντων συσκευασίας. Το παλαιό δημοσιογραφικό χαρτί συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή ανακυκλωμένων εφημερίδων και, επιπλέον, για χαρτόνια και αναδιπλούμενα χαρτόκουτα. Καθώς η τεχνολογία της απομελάνωσης βελτιώνεται συνεχώς, τα παλαιά περιοδικά εντάσσονται σε ολοένα μεγαλύτερο βαθμό στο ρεύμα του παλαιόχαρτου εκ του οποίου παράγεται δημοσιογραφικό χαρτί. Το κυματοειδές χαρτί αξιοποιείται κυρίως για την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών καρτοκιβωτίων [10].

Η χρήση παλαιόχαρτου χαμηλής ποιότητας για την παραγωγή χαρτιών υψηλότερης ποιότητας ονομάζεται «ανωκύκλιση» και, ως είναι αναμενόμενο, λαμβάνει χώρα σπάνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι παλαιές εφημερίδες και τα παλαιά περιοδικά που αρκετές φορές ανακυκλώνονται για την παραγωγή μερικών χαρτιών γραφής και εκτύπωσης [10].

Τα απορρίμματα χάρτινων προϊόντων υγιεινής και καθαριότητας καθίστανται μη ανακτήσιμα. Για το λόγο αυτό, ουσιαστικά, δεν χρησιμοποιούμε καθόλου αυτά τα είδη παλαιόχαρτου για την παραγωγή νέων προϊόντων. Από την άλλη, όμως, ανακτημένες ίνες αξιοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό για την παραγωγή χαρτιών υγιεινής και καθαριότητας. Περίπου η μίση ποσότητα ινών που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό προέρχεται από παλαιόχαρτο. Το μεγαλύτερο μέρος των ανακυκλωμένων χαρτιών υγιεινής και καθαριότητας απορροφώνται κυρίως από μεγάλους αγοραστές, όπως ξενοδοχεία και ιδρύματα, ενώ απευθύνονται λιγότερο στον μέσο καταναλωτή. Η πλειονότητα των παλαιόχαρτων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των προϊόντων αυτών αποτελείται από παλαιόχαρτο που συνιστά υποκατάστατο πολτού και από παλαιόχαρτο κατάλληλο για απομελάνωση. Σημειώνεται, ακόμη, πως και το παλαιό δημοσιογραφικό χαρτί και το μικτό παλαιόχαρτο ανακυκλώνονται ικανοποιητικά προς χαρτιά υγιεινής και καθαριότητας [10].

## **2.3 Η ανακύκλωση προϊόντων χάρτου**

### **2.3.1 Μία σύντομη ιστορική αναδρομή**

Η πρώτη γνωστή χρήση ανακτημένου χαρτιού για την παραγωγή νέου πραγματοποιήθηκε το 1071 μ.Χ. στην Ιαπωνία. Τότε δεν είχαν εφευρεθεί τεχνολογίες

λεύκανσης και, έτσι, το ανακυκλωμένο χαρτί είχε χρώμα γκρι. Οι πρώτες μεγάλες προσπάθειες ανακύκλωσης έλαβαν χώρα κατά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν οι τεχνολογίες απομελάνωσης εφαρμόστηκαν σε μεγάλη εμπορική κλίμακα. Η χρήση των ανακτημένων προϊόντων χάρτου αυξήθηκε ξανά κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Τη δεκαετία του '50, η χρήση ανακυκλωμένων προϊόντων στην παραγωγή χαρτιών γραφής και εκτύπωσης ανήλθε στο μέγιστο ποσοστό (περίπου 20%). Σήμερα πολύ μεγαλύτερες ποσότητες παλαιόχαρτου συνιστούν τις πρώτες ύλες για την παραγωγή εφημερίδων, κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και χαρτιών συσκευασίας [28].

### **2.3.2 Η ευρωπαϊκή κατάσταση**

Από το 1995 έως το 2003, η παραγωγή στερεών αστικών απορριμμάτων στην Ε.Ε. αυξήθηκε κατά 2%, φθάνοντας τα 534 kg ανά άτομο το 2003 [166]. Σήμερα, η διαχείριση των απορριμμάτων αυτών συνίσταται στην ταφή (49%), στην καύση (18%), στην ανακύκλωση και στην κομποστοποίηση (33%). Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως αποτελέσματα πολύ αντίρροπων τάσεων μεταξύ των κρατών-μελών της Ε.Ε. Για παράδειγμα, υπάρχουν μερικά κράτη-μέλη που παρουσιάζουν πολύ χαμηλά ποσοστά ανακύκλωσης (90% ταφή απορριμμάτων, 10% ανάκτηση ενέργειας και ανακύκλωση) και άλλα στα οποία η ανακύκλωση είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα (10% ταφή απορριμμάτων, 25% ανάκτηση ενέργειας και 65% ανακύκλωση). Γενικά, πάντως, οι περισσότερες προσπάθειες για την περιβαλλοντικά ορθότερη διαχείριση των απορριμμάτων εστιάζονται στην ανακύκλωση και στην καύση αυτών, με αποτέλεσμα να παρατηρείται σημαντική αύξηση των εν λόγω εφαρμογών. Αυτό όμως δεν μεταφράζεται σε μείωση της ποσότητας (εκφρασμένης σε απόλυτους αριθμούς) των απορριμμάτων που οδηγείται στους χώρους ταφής, καθώς συνεχίζεται η σημαντική αύξηση της παραγωγής απορριμμάτων. Παραδείγματος χάρη, η ποσότητα των πλαστικών που οδηγείται σε χώρους ταφής απορριμμάτων αυξήθηκε κατά 21,7% από το 1990 έως το 2002, ενώ το ποσοστό των πλαστικών που οδηγήθηκαν στους συγκεκριμένους χώρους μειώθηκε, στο ίδιο χρονικό διάστημα, από το 77% στο 62% [30].

Η περιβαλλοντική νομοθεσία, παραδοσιακά, επικεντρώνεται στα αρχικά και στα τελικά στάδια του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου: εξαγωγή πρώτων υλών, διεργασία παραγωγής/κατασκευής κ.λπ. στο ένα άκρο και διαχείριση απορριμμάτων στο άλλο. Σήμερα, όμως, αναγνωρίζεται πως και κατά στάδιο της χρήσης διαφόρων προϊόντων λαμβάνουν χώρα σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έτσι όλες οι φάσεις του κύκλου ζωής ενός προϊόντος θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν. Σ' αυτό συνηγορούν και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κάθε φάσης του κύκλου ζωής των προϊόντων. Συχνά η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε μία φάση του κύκλου ζωής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιπτώσεων σε μία άλλη. Συνεπώς, κατά τη λήψη αποφάσεων περί της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος θα πρέπει να διασφαλίζεται πως η μείωση αυτή αφορά όλα τα στάδια της ζωής αυτού. Λαμβάνοντας υπόψη, λοιπόν, ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος είναι δυνατός ο σαφέστερος και ευκολότερος καθορισμός των προτεραιοτήτων των περιβαλλοντικών πολιτικών. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Α.Κ.Ζ., βλ. Κεφάλαιο 4) δύναται, λοιπόν, να συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στη διάρθρωση της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής νομοθεσίας περί της διαχείρισης των απορριμμάτων. Οι πρόσφατοι στόχοι της ανάκτησης και της ανακύκλωσης υλικών συσκευασίας είναι το πρώτο παράδειγμα εφαρμογής του εν λόγω εργαλείου στη λήψη αποφάσεων της σχετικής νομοθεσίας [30].

Το ποσοστό ανακύκλωσης αρκετών υλικών ανέρχεται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Το χαρτί συνιστά ένα εξ αυτών. Για παράδειγμα, στην Ευρώπη, η αξιοποίηση παλαιόχαρτου για την παραγωγή νέου χαρτιού διπλασιάστηκε από το 1991 (25%) μέχρι το 2004 (50%). Για μερικά υλικά έχουν παρουσιαστεί δυσχέρειες οι οποίες απέτρεψαν την ανάπτυξη της αγοράς της ανακύκλωσης αυτών. Η κατάσταση για το επίπεδο της ανακύκλωσης θα αναθεωρηθεί το 2010. Εφόσον δεν έχουν επιτευχθεί οι τεθέντες στόχοι θα πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα (π.χ. οικονομικά κίνητρα, υποχρέωση του παραγωγού για συμμετοχή στην ανακύκλωση, κ.λπ.) [30].

**Πίνακας 4:** Κατανομή απορριμμάτων που διατίθενται για καύση και ταφή

<b>Κατανομή απορριμμάτων που διατίθενται για καύση και ταφή (Ε.Ε.-Εκτίμηση για το 2000)</b>		
<b>Κράτος-Μέλος</b>	<b>Κλάσμα απορριμμάτων που οδηγούνται προς καύση</b>	<b>Κλάσμα απορριμμάτων που οδηγούνται προς ταφή</b>
Αυστρία	30%	70%
Βέλγιο	50%	50%
Δανία	100%	0%
Φινλανδία	5%	95%
Γαλλία	47%	53%
Γερμανία	40%	60%
Ελλάδα	0%	100%
Ιρλανδία	3%	97%
Ιταλία	8%	92%
Λουξεμβούργο	70%	30%
Ολλανδία	50%	50%
Πορτογαλία	9%	91%
Ισπανία	7%	93%
Σουηδία	65%	35%
Ηνωμένο Βασίλειο	7%	93%
Τα ποσοστά αναφέρονται για το κλάσμα εκείνων των απορριμμάτων που οδηγείται είτε για καύση είτε για ταφή (δεν συμπεριλαμβάνεται, για παράδειγμα, το κλάσμα εκείνο που οδηγείται για ανακύκλωση).		

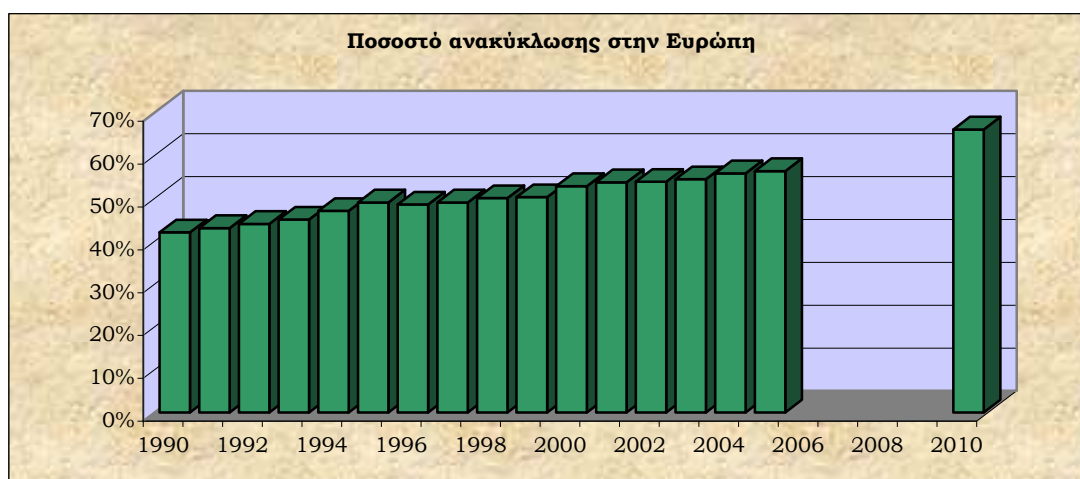
[Πηγή: RDC, Pira (2003) [91]]

Σε παγκόσμιο επίπεδο δεν υπάρχουν δεδομένα διαθέσιμα περί του ποσοστού συμμετοχής των διαφορετικών πηγών από τις οποίες συλλέγεται το παλαιόχαρτο στο συνολικά συλλεχθέν παλαιόχαρτο. Στην Ευρώπη, σύμφωνα με την Συνομοσπονδία

Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Χάρτου<sup>26</sup>, για το έτος 2002 υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής πέντε πηγών ανακτημένου παλαιόχαρτου ως εξής [4]:

- Ανακτημένο παλαιόχαρτο από οικίες: 38%
- Ανακτημένο παλαιόχαρτο από εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες: 33%
- Ανακτημένο παλαιόχαρτο από δραστηριότητες μεταποίησης και εκτυπώσεων: 15%
- Ανακτημένο παλαιόχαρτο από γραφεία: 10%

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Διακήρυξη Ανακύκλωσης Χάρτου (European Declaration on Paper Recycling), η οποία αφορά τα 25 κράτη-μέλη της Ε.Ε. καθώς και τη Βουλγαρία, την Νορβηγία και την Ελβετία, έχει τεθεί ως στόχος για το 2010, η ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου να ανέλθει στο 66%, με περιθώριο απόκλισης το 1,5%. Σημειώνεται πως η συγκεκριμένη διακήρυξη συνυπεγράφη από τους μεγαλύτερους οργανισμούς του κλάδου του χαρτιού: CEPI, CITPA, ERPA, ETS, INGEDE, INTERGRAF. Επίσης στηρίζεται και από τους ακόλουθους οργανισμούς: ENPA, EuPIA, FAEP, FEICA, FINAT, RadTech Europe. Το μεγαλύτερο βάρος των προσπαθειών για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου εστιάζουν στη βελτίωση του επιπέδου συλλογής και διαχωρισμού των χρησιμοποιηθέντων προϊόντων χάρτου. Πρέπει να αναφερθεί ακόμη πως ο αντίστοιχος στόχος (ο οποίος και επιτεύχθη) για το 2005 ήταν το 56% [36,38].



**Σχήμα 12:** Ποσοστό ανακύκλωσης παλαιόχαρτου στην Ευρώπη

[Πηγή: Διαδικτυακοί τόποι των CEPI [36] και ERPC [37]/ Ιδία επεξεργασία]

Αξίζει να αναφερθεί πως για την πληρέστερη εκτίμηση της ποσοτικής διάστασης της ανακύκλωσης χρησιμοποιούνται τα εξής τρία μεγέθη:

1. Ο δείκτης ανάκτησης C (collection rate), ο οποίος εκφράζει το λόγο του παλαιόχαρτου που συλλέγεται προς τη φαινόμενη κατανάλωση χαρτιού-χαρτονιού. Η τελευταία ισοδυναμεί με το άθροισμα της εγχώριας παραγωγής και των εισαγωγών χαρτιού, μείον τις εξαγωγές [4,7].

<sup>26</sup> Η Συνομοσπονδία Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Χάρτου (CEPI – Confederation of European Paper Industries-) αντιπροσωπεύει 1.200 περίπου ευρωπαϊκές χαρτοβιομηχανίες και 800 ευρωπαϊκές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της παραγωγής χαρτοπολτού, χαρτιού και χαρτονιού. Το σύνολο αυτών παράγει προϊόντα που αντιστοιχούν στο 27% της παγκόσμιας παραγωγής. Τα κράτη-μέλη της συνομοσπονδίας αυτής είναι τα εξής: η Αυστρία, το Βέλγιο, η Γαλλία, η Γερμανία, η Δημοκρατία της Τσεχίας, η Δημοκρατία της Σλοβακίας, η Ελβετία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία, η Ισπανία, η Νορβηγία, η Ολλανδία, η Ουγγαρία, η Πολωνία, η Πορτογαλία, η Σουηδία και η Φινλανδία.

2. Ο δείκτης επαναχρησιμοποίησης U (utilization rate), ο οποίος εκφράζει το λόγο του παλαιόχαρτου που χρησιμοποιείται (είναι το άθροισμα της ποσότητας του παλαιόχαρτου που συλλέγεται στη χώρα και της ποσότητας του εισαγόμενου παλαιόχαρτου μείον την ποσότητα του παλαιόχαρτου που εξάγεται) προς την εγχώρια παραγωγή χαρτιού-χαρτονιού. Υψηλές τιμές του δείκτη U υποδηλώνουν τη δυνατότητα της εγχώριας παραγωγής να απορροφήσει υψηλά ποσοστά παλαιόχαρτου. Ο δείκτης U όμως δεν μας πληροφορεί σε ποιο βαθμό αξιοποιείται το συνολικό δυναμικό της χώρας σε παλαιόχαρτο. Αυτή την πληροφορία παρέχει ο δείκτης C, υψηλές τιμές του οποίου υποδηλώνουν την ύπαρξη οργανωμένου συστήματος συλλογής του παλαιόχαρτου, το οποίο μπορεί είτε να αξιοποιείται μέσα στη χώρα είτε να εξάγεται [4,7]. Έτσι, ο δείκτης επαναχρησιμοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα περί του επιπέδου ανακύκλωσης διαφόρων χωρών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η Φινλανδία και η Σουηδία, οι οποίες παρουσιάζουν τους χαμηλότερους δείκτες επαναχρησιμοποίησης μεταξύ των 12 μεγαλύτερων παραγωγών χωρών σε προϊόντα χάρτου. Αυτό οφείλεται, όμως, στο ότι περισσότερο από το 80% της εγχώριας παραγωγής τους σε προϊόντα χάρτου εξάγεται [4].

3. Ο δείκτης ανακύκλωσης R (recycling rate), ο οποίος εκφράζει το λόγο του παλαιόχαρτου που χρησιμοποιείται προς τη φαινομενική κατανάλωση χαρτιού-χαρτονιού [4,7].

**Πίνακας 5:** Αξιοποίηση ανακτημένων χαρτιών στα κράτη CEPI το έτος 2005

Είδος παραγόμενου χαρτιού	Αξιοποίηση ανακτημένων χαρτιών στα κράτη CEPI το έτος 2005							
	Ποιότητες Ανακτημένων Χαρτιών							
.000 τόνοι	1	2	3	4	5	6	7	8
	Μικτές ποιότητες	Κυματοειδή χαρτόνια και χαρτιά Kraft	Εφημερίδες και περιοδικά	Υψηλής ποιότητας χαρτιά	Ολική χρήση ανακτημένων χαρτιών	(%) χρήση είδος παραγόμενου χαρτιού	Σύνολο παραγωγής χαρτιού	Δείκτης επαναχρησιμοποίησης παλαιόχαρτου (%)
Εφημερίδες	317	0	8.626	98	9.041	19,3%	10.972	82,4%
Χαρτιά γραφής - εκτύπωσης	144	83	2.433	948	3.068	6,6%	38.058	8,1%
<b>Σύνολο εφημερίδων &amp; χαρτιών γραφής</b>	<b>461</b>	<b>83</b>	<b>11.059</b>	<b>1.046</b>	<b>12.109</b>	<b>25,9%</b>	<b>49.030</b>	<b>24,7%</b>
Κυματοειδή χαρτιά και χαρτόνια	4.747	16.031	310	676	21.764	46,5%	23.721	91,7%
Χαρτοκιβώτια	1.623	419	420	763	3.225	62,6%	8.018	40,2%
Χαρτιά περιτύλιξης και άλλα χαρτιά συσκευασίας	2.155	1.386	473	564	4.578	9,8%	7.993	57,3%
<b>Σύνολο χαρτιών συσκευασίας</b>	<b>8.525</b>	<b>17.836</b>	<b>1.203</b>	<b>2003</b>	<b>29.567</b>	<b>63,2%</b>	<b>39.732</b>	<b>74,4%</b>
<b>Χαρτιά οικιακής χρήσης και χαρτιά υγιεινής</b>	<b>297</b>	<b>39</b>	<b>883</b>	<b>1.915</b>	<b>3.131</b>	<b>6,7%</b>	<b>6.288</b>	<b>49,8%</b>
<b>Άλλα χαρτιά</b>	<b>399</b>	<b>1.289</b>	<b>112</b>	<b>185</b>	<b>1.985</b>	<b>4,2%</b>	<b>4.294</b>	<b>46,2%</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>9.682</b>	<b>19.247</b>	<b>13.257</b>	<b>5.149</b>	<b>46.792</b>	<b>100,0%</b>	<b>99.344</b>	<b>47,1%</b>

[Πηγή: CEPI [36]/ Ιδία επεξεργασία]

Χώρες που εισάγουν χαρτόμαζα (όπως η Ελλάδα) παρουσιάζουν την τάση να την υποκαταστήσουν με παλαιόχαρτο που είναι φθηνότερο, μεγιστοποιώντας το δείκτη U, ακόμη κι αν δεν διαθέτουν ένα αποτελεσματικό σύστημα συλλογής (U>C). Αντίθετα χώρες που ανήκουν στους μεγαλύτερους παραγωγούς χαρτόμαζας (όπως ο Καναδάς και οι



Σκανδιναβικές χώρες), συλλέγουν περισσότερο παλαιόχαρτο από όσο χρησιμοποιούν στην παραγωγή τους, το οποίο και εξάγουν (C>U) [7].

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει στοιχεία για την επαναχρησιμοποίηση του παλαιόχαρτου στις χαρτοβιομηχανίες των χωρών του CEPI κατά το 2005. Κατά το έτος αυτό επαναχρησιμοποιήθηκαν περίπου 46,7 εκατομμύρια τόνοι παλαιόχαρτου σε σύνολο παραγωγής 99,3 εκατομμυρίων τόνων, δηλαδή ο δείκτης επαναχρησιμοποίησης ήταν περίπου 47%. Το παλαιόχαρτο συσκευασίας αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του επαναχρησιμοποιούμενου παλαιόχαρτου. Ο μεγαλύτερος δείκτης επαναχρησιμοποίησης σημειώθηκε στις βιομηχανίες παραγωγής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και ακολούθησε η παραγωγή χαρτιού εφημερίδων (βλ. και Σχήμα 12). Το 91,7% των κυματοειδών χαρτιών και χαρτονιών που παράχθηκε στις ευρωπαϊκές χώρες το 2005 προερχόταν από παλαιόχαρτο και μάλιστα το 73,6% αυτού του παλαιόχαρτου ήταν παλαιά κυματοειδή χαρτιά και χαρτόνια. Άρα κατά προσέγγιση τα ευρωπαϊκά κυματοειδή χαρτιά και χαρτόνια προέρχονται κατά 68% από ανακυκλωμένα κυματοειδή χαρτιά και χαρτόνια. Σε ότι αφορά το χαρτί των εφημερίδων, το 82,4% αυτού, που παράχθηκε στις ευρωπαϊκές χώρες το 2005, προερχόταν από παλαιόχαρτο και μάλιστα το 95,4% αυτού του παλαιόχαρτου ήταν παλαιές εφημερίδες. Άρα κατά προσέγγιση το χαρτί των ευρωπαϊκών εφημερίδων προέρχεται κατά 79% από ανακυκλωμένες εφημερίδες. Η μικρότερη τιμή του δείκτη επαναχρησιμοποίησης σημειώθηκε στην παραγωγή χαρτιού γραφής-εκτύπωσης (παρά το γεγονός ότι η παραγωγή αυτού του χαρτιού αποτελεί το 38,3% της συνολικής παραγωγής), λόγω της υψηλής ποιότητας χαρτόμαζας που απαιτείται και των δυσκολιών στην απομελάνωση του παλαιόχαρτου εκτύπωσης.



**Σχήμα 13:** Αξιοποίηση ειδών παλαιόχαρτου στην παραγωγή διαφόρων ποιοτήτων προϊόντων χάρτου στα κράτη-μέλη του CEPI το 2005

[Πηγή: CEPI [36]/ Ιδία επεξεργασία]

Σε ότι αφορά την Ελλάδα θα πρέπει να αναφέρουμε πως οι ελλείψεις σε χαρτομάζα από παρθένες ίνες έχουν οδηγήσει την ελληνική χαρτοβιομηχανία στην ανάπτυξη του κλάδου αξιοποίησης παλαιόχαρτου. Το παλαιόχαρτο προέρχεται κυρίως από την εσωτερική αγορά. Το 1996, στην Ελλάδα ανακτήθηκε το 29% της φαινόμενης κατανάλωσης. Από το χαρτί που ανακτήθηκε περίπου το 100% ανακυκλώθηκε στη χαρτοβιομηχανία και αποτέλεσε το έτος 1996 το 73% των πρώτων υλών της. Το ποσοστό ανάκτησης χρησιμοποιημένου χάρτου στη χώρα μας θεωρείται από τα χαμηλότερα στην Ευρώπη [75].

Στη χώρα μας, περίπου το 70% που χρησιμοποιημένου χαρτιού που χρησιμοποιείται από τη χαρτοβιομηχανία διακινείται από εμπόρους, 15-20% από ρακουσλλέκτες, ενώ το υπόλοιπο 10-15 % από τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Αν και δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία, το χαρτί που ανακτάται εκτιμάται ότι προέρχεται σε ποσοστό 70% από το Νομό Αττικής, σε ποσοστό 10% από το Νομό Θεσσαλονίκης και σε ποσοστό 20% από την υπόλοιπη Ελλάδα [75].

Είναι σημαντικό, τέλος, να επισημανθεί πως, περίπου, το 20-25% των χρησιμοποιηθέντων χαρτιών δεν μπορεί να ανακυκλωθεί. Σ' αυτά τα χαρτιά περιλαμβάνονται τα χαρτιά υγιεινής και καθαριότητας, τα χαρτιά και τα έντυπα που αρχειοθετούνται και τα χαρτιά περιτύλιξης τροφίμων. Επιπρόσθετα, υπάρχουν και μερικοί περιορισμοί τεχνικής φύσεως που δεν επιτρέπουν η ανακύκλωση του χαρτιού να ξεπεράσει το 75-80%. Παραδείγματος χάρη, με κάθε ανακύκλωση συντελείται μία υποβάθμιση των ιδιοτήτων των ινών, με συνηθέστερη τη μείωση του μήκους αυτών. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των ανακυκλώσεων των ινών δεν μπορεί να ξεπεράσει τις πέντε φορές. Η εν λόγω υποβάθμιση των ινών εξαρτάται από μία πλειάδα παραμέτρων, μεταξύ των οποίων είναι το είδος των ινών και παράμετροι που αφορούν στις διεργασίες παραγωγής των νέων προϊόντων χάρτου [35,151]. Ακόμη τα συστατικά εκείνα που περιήλθαν στο παλαιόχαρτο κατά τη χρήση του ή κατά τα στάδια της μεταποίησης του, συχνά, δυσχεραίνουν την ανακύκλωσή του ή/και υποβαθμίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Δηλαδή, συνήθως, μέσω της ανακύκλωσης οδηγούμαστε στην παραγωγή προϊόντων υποβαθμισμένων χαρακτηριστικών (σε σχέση με τα αρχικά προϊόντα) και, ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαία η εισαγωγή παρθένων ινών στον κύκλο ζωής των προϊόντων χάρτου.

Η γνώση της σύνθεσης και των χαρακτηριστικών του παλαιόχαρτου βοηθά σημαντικά στη σωστή εκτίμηση των δυνατοτήτων ανακύκλωσής του και των ιδιοτήτων των προϊόντων που θα προκύψουν από αυτό. Για παράδειγμα, όταν το παλαιόχαρτο περιέχει χαρτόμαζα από μαλακά ξύλα, η δευτερογενής χαρτόμαζα θα παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στον εφελκυσμό και στο σχίσιμο, ενώ όταν περιέχει χαρτόμαζα από σκληρά ξύλα θα παρουσιάζει καλή συμπεριφορά κατά την εκτύπωση [7].

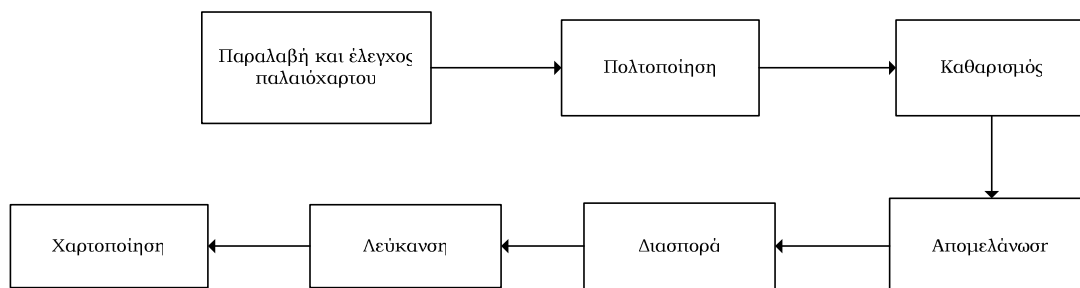
## **2.4 Τιμές παλαιόχαρτου**

Οι τιμές του παλαιόχαρτου εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, με αποτέλεσμα μερικές φορές να παρατηρούνται σημαντικές χρονικές διαφοροποιήσεις [151]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μεταβολή των τιμών του παλαιόχαρτου που έλαβε χώρα στις Η.Π.Α. στα μέσα της δεκαετίας του '90. Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο του '94, λόγω συνδυασμού διαφορετικών αιτιών (εποχιακή –καλοκαιρινή- μείωση του ποσοστού ανακύκλωσης, αύξηση των εξαγωγών παλαιόχαρτου, μείωση αποθεμάτων και αυξημένη απαίτηση για ανακυκλωμένα προϊόντα χάρτου), η τιμή των παλαιών κυματοειδών χαρτοκιβωτίων ανήλθε σε 110 \$/tn, από 18 \$/tn που κυμαινόταν τον Ιανουάριο του ίδιου έτους. Μετά από τέσσερις μήνες, η τιμή μειώθηκε στα 80 \$/tn. Εν συνεχεία, τον Ιούλιο του 1995, η αντίστοιχη τιμή έφτασε τα 200 \$/tn πρώτου μειωθεί και πάλι στα 25 \$/tn στα τέλη του ίδιου έτους. Οι βιομηχανίες αντέδρασαν στις αυξήσεις των τιμών αυξάνοντας τα αποθέματά τους, όποτε αυτό ήταν δυνατό, και αξιοποιώντας φθηνότερες ποιότητες παλαιόχαρτου [26].

Σήμερα (6 Οκτωβρίου 2008) η τιμή των παλαιών κυματοειδών χαρτοκιβωτίων κυμαίνεται περί τα 81 €/tn. Για τις παλαιές εφημερίδες και τα παλαιά περιοδικά οι αντίστοιχες τιμές είναι 106 €/tn και 24 €/tn. Τα χαρτιά γραφείου και τα λευκά επιστολόχαρτα πωλούνται προς 77 €/tn και 274 €/tn, αντίστοιχα<sup>27</sup> [150].

## 2.5 Διεργασίες ανακύκλωσης παλαιόχαρτου

Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης παλαιόχαρτου στη χαρτοβιομηχανία είναι: (α) το πολύ μικρότερο κόστος επένδυσης σε σύγκριση με την παραγωγή πρωτογενούς χαρτόμαζας (ιδίως στην περίπτωση της χημικής χαρτόμαζας), (β) το μικρότερο κόστος της πρώτης ύλης και λειτουργικό κόστος της μονάδας, (γ) η μη απαίτηση εγκατάστασης της μονάδας κοντά σε δασώδεις περιοχές για την προμήθεια της πρώτης ύλης. Μονάδες παραγωγής δευτερογενούς χαρτόμαζας μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιαδήποτε χώρα, ενώ μονάδες παραγωγής πρωτογενούς κυρίως σε χώρες που διαθέτουν δασικό πλούτο ή εκτεταμένες πηγές μη ξυλωδών ινών [7]. 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 χαρτόμαζας. 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 14:** Συνοπτικό διάγραμμα διεργασιών ανακύκλωσης του παλαιόχαρτου

Αρχικά, γίνεται παραλαβή και μακροσκοπικός έλεγχος της χαρτόμαζας, 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. [7].

<sup>27</sup> Σημειώνεται πως οι τιμές αυτές αφορούν τις περιπτώσεις που έχει προηγηθεί διαλογή, ταξινόμηση και δεματοποίηση των διαφορετικών ποιοτήτων του παλαιόχαρτου. Επίσης αφορούν τις περιπτώσεις που η ποσότητα που πωλείται αντιστοιχεί στην ποσότητα που μπορεί να μεταφέρει ένα σύνθετος (γι' αυτές τις χρήσεις) φορτηγό.

### **2.5.1 Πολτοποίηση**

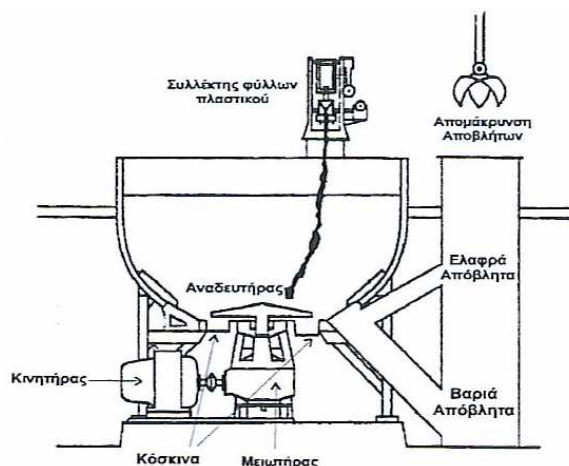
Η πρώτη και, σε κάθε περίπτωση, απαραίτητη διαδικασία που υφίσταται κάθε είδος παλαιόχαρτο κατά την ανακύκλωσή του είναι η πολτοποίησή<sup>28</sup> του (ή, αλλιώς, ινοποίησή του), δηλαδή η μετατροπή του σε ένα υδατικό αιώρημα ελεύθερων ινών. Αυτό το αιώρημα μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί και πάλι 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 [39]. 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% [4]. 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 [39]. Αυτό δικαιολογείται απ' το ότι στην περίπτωση αυτή η ενυδάτωση των ινών προκαλεί μείωση των δυνάμεων συνοχής τους σε ποσοστό μικρότερο από 60-80% [4].

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 [40]. 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) [4,66]. Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται, συνήθως, στην παραγωγή ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού και χαρτιού υγιεινής και καθαριότητας και οι υπόλοιποι σε μονάδες απομελάνωσης χαρτιών γραφής και εκτύπωσης [66]. 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 αποϊνωση του χαρτιού [41].

---

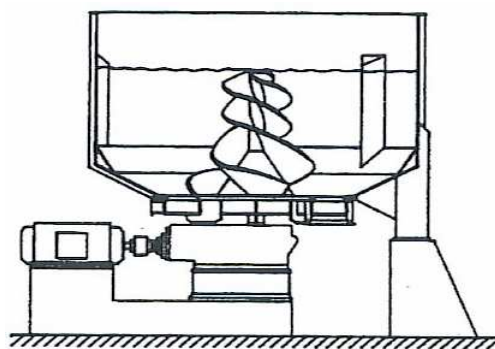
<sup>28</sup> Συχνά, στην αγγλική ορολογία διαχωρίζεται η πολτοποίηση της πρωτογενούς χαρτόμαζας από την πολτοποίηση της δευτερογενούς χαρτόμαζας. Στην πρώτη, λοιπόν, περίπτωση χρησιμοποιείται ο όρος "pulping" ενώ στη δεύτερη ο όρος "repulping".



**Σχήμα 15:** Σκαρίφημα πολτοποιητή χαμηλής περιεκτικότητας  
[Πηγή: Δ. Οικονομίδης (2005) [39]]

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 αυτών των πολτοποιητών που λειτουργούν σε υψηλή περιεκτικότητα. Στην πρώτη περίπτωση ο αναδευτήρας έχει τη μορφή οριζώντιου δίσκου με επιφανειακές ανωμαλίες ο οποίος βρίσκεται στον πυθμένα του πολτοποιητή (βλ. Σχήμα 14). Στη δεύτερη περίπτωση έχει τη μορφή κοχλία με μεγάλα πτερύγια, που περιστρέφεται γύρω από σταθερό κατακόρυφο άξονα (βλ. Σχήμα 15) [39].

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 [40]. 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 [42].



**Σχήμα 16:** Σκαρίφημα πολτοποιητή υψηλής περιεκτικότητας  
[Πηγή: Δ. Οικονομίδης (2005) [39]]

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.λπ.), 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.) [39]. 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 [11].

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' επέκτασιν την μείωση της μηχανικής αντοχής του προϊόντος. Στη σημερινή πρακτική, η προαναφερθείσα χρονοβόρος διαδικασία είναι μάλλον σπάνια [39,42].

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 (υδρούαλου), τα οποία συχνά χρησιμοποιούνται κατά την αλκαλική πολτοποίηση [66].

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 περισσότερα 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 [66].

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 [66]. 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 [66]. 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 [42]. 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 [39].

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 [66].

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 [66].

### **2.5.2 Καθαρισμός δευτερογενούς χαρτόμαζας**

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 INGEDE<sup>29</sup> που αφορούσαν στην περίοδο από τον Ιανουάριο του 2001 έως τον Ιούλιο του 2002), ενώ η μέγιστες τιμές κυμαίνονται από 5 έως 9% [7,43]. 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

<sup>29</sup> Παγκόσμιος Σύλλογος της Βιομηχανίας Απομελάνωσης.

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 [4,7]. 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 κτηνισμένες 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, δυσσομίες, αφρισμό κ.ά.), μειώνει το ρυθμό παραγωγής της χαρτοποιητικής μηχανής, αυξάνει την ανομοιογένεια της χαρτόμαζας, δημιουργεί αποφράξεις και εναποθέσεις σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης, υποβαθμίζει την εμφάνιση και τις ιδιότητες του παραγόμενου χαρτιού [7].

**Πίνακας 6:** Οι κυριότερες ακαθαρσίες που περιέχονται στο παλαιόχαρτο

<b>Είδος ακαθαρσίας</b>	<b>Πυκνότητα (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Μέγεθος σωματιδίων (μm)</b>
Άμμος	1,8-2,2	1-1.000
Μέταλλα	2,7-9	>1.000
Αργιλοπυριτικά ορυκτά	1,8-2,6	<1-1.000
Κηροί	0,9-1,0	<1-10
Πολυμερή	0,9-1,1	>100
Αφρώδες πολυστυρένιο	0,3-0,5	>100
Κόλλες	0,9-1,1	1-1.000
Μελάνια	1,2-1,6	1-1.000

[Πηγή: H. Holik (2006) [4]]

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 [4,66].

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 (οχισμές). 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 [4,66].

### **2.5.3 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' όψιν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος<sup>30</sup>) 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 απομελάνωνται, εκείνα που συνήθως αποκαλούνται «γραφικά χαρτιά κατάλληλα για απομελάνωση»<sup>31</sup>. Αυτά περιέχουν μηχανική χαρτόμαζα και συνήθως αποτελούν οικιακά απορρίμματα [4]. Το μελάνι, συνήθως, αποτελεί το 0,5 με 2% της μάζας του παλαιόχαρτου που οδηγείται για απομελάνωση [11].

---

<sup>30</sup> Τα μελάνια των εφημερίδων, για παράδειγμα, αποτελούν ρύπους του παλαιόχαρτου όταν το προϊόν που επιθυμείται να παραχθεί μετά την ανακύκλωση είναι δημοσιογραφικό χαρτί. Αντίθετα αν επιθυμείται η παραγωγή χαρτονιού χαμηλής ποιότητας τότε τα συγκεκριμένα μελάνια δε χαρακτηρίζονται ως ρύποι και, φυσικά, δε χρειάζεται να απομακρυνθούν. Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως σύμφωνα με μερικούς ως «ανακύκλωση» (“recycling”) νοείται το σύνολο των διαδικασιών που οδηγεί στην παραγωγή προϊόντος παρόμοιων ιδιοτήτων και ποιότητας με το ανακτημένο προϊόν που αποτέλεσε την πρώτη ύλη των εν λόγω διαδικασιών. Στην περίπτωση, όμως, που το τελικό προϊόν παρουσιάζει μειωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά εν συγκρίσει με τα υλικά που αποτέλεσαν την πρώτη ύλη για την παραγωγή του, τότε θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο όρος «υποκύκλιση» (“downcycling”). Βέβαια, όπως είναι κατανοητό, στην πράξη συνήθως χρησιμοποιείται μόνο ο όρος «ανακύκλωση», περιλαμβάνοντας έτσι αμφότερες και τις δύο περιπτώσεις.

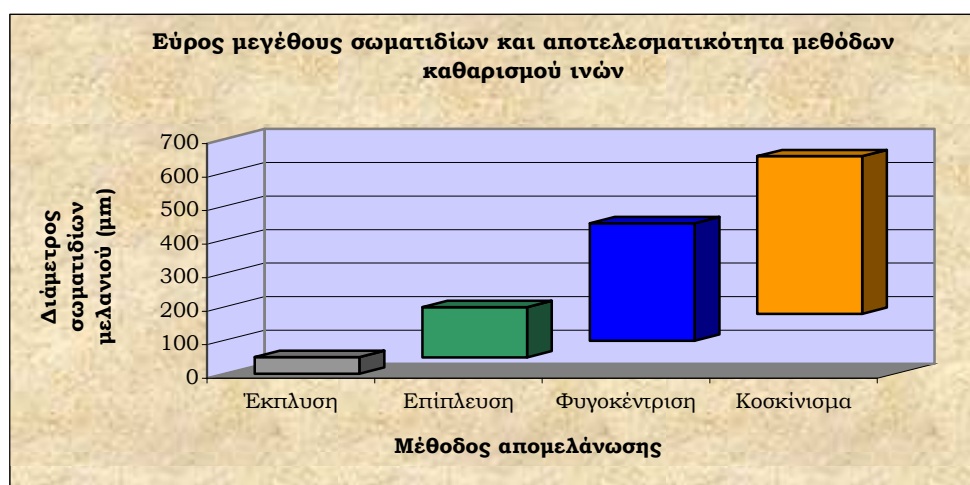
<sup>31</sup> “Sorted graphic paper for deinking”

Στην Αμερική, σύμφωνα με τον C. J. Biermann (1996), 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 [11].

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 [62]. Κατά τους Borchardt et al. (1995) η απομελάνωση συνίσταται στα ακόλουθα κρίσιμα στάδια [61]:

- 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 [45]. Αυτές διαφοροποιούνται ως προς τις αρχές λειτουργίας τους και, συνεπώς, ως προς την αποτελεσματικότητά τους να απομακρύνουν μελάνια συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (βλ. Σχήμα 16).



**Σχήμα 17:** Αποτελεσματικότητα μεθόδων απομελάνωσης αναλόγως του μεγέθους των σωματιδίων μελανιού

#### 2.5.3.1 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 [45]. Για να γίνει πιο κατανοητό το συγκεκριμένο μέγεθος, αρκεί να αναφέρουμε πως ο άνθρωπος δια γυμνού οφθαλμού μπορεί να διακρίνει οντότητες (στην περίπτωση μας, σωματίδια μελανιού) μεγαλύτερες από 40-60 μm, 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 σωματιδίων 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 εξ αυτών 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 ελλιπής. 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.

### 2.5.3.2 Η επίπλυση

Η επίπλυση 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' αυτή ακολούθως.

#### 2.5.3.2.1 Μία σύντομη ιστορική αναδρομή

Αρχικώς, η διεργασία της επίπλυσης (flotation) χρησιμοποιήθηκε ευρέως στον τομέα της μεταλλουργίας ως μέθοδος εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων<sup>33</sup>[48,51,53]. Η εν λόγω διεργασία θεωρείται πολύ παλιά καθώς αναφορές γι' αυτή υπάρχουν σε κείμενα του Ηροδότου που χρονολογούνται τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. [50]. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα δεν υπάρχουν αναφορές που να υποδεικνύουν την εφαρμογή της [50]. Ξαναεμφανίστηκε στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, και συγκεκριμένα το 1860, όταν ο Haynes

<sup>32</sup> Οι ίνες που προέρχονται από κωνοφόρα δέντρα έχουν μέγεθος περίπου 1.000  $\mu\text{m}$ , ενώ των φυλλοβόλων έχουν μέγεθος 2.000-4.000  $\mu\text{m}$  [47].

<sup>33</sup> Ήταν γνωστή και ως μέθοδος εμπλουτισμού μεταλλευμάτων (ore dressing ή mineral beneficiation).

παρατήρησε και κατέγραψε την ιδιότητα των μετάλλων να διαβρέχονται διαφορετικά από το νερό και από το λάδι [50]. Μετά ταύτα, οι βασικές αρχές της επίπλευσης διατυπώθηκαν για πρώτη φορά από τους αδερφούς Bessel [50,58], οι οποίοι τον Ιούλιο του 1877 κατοχύρωσαν την εφεύρεσή τους για τη «Μέθοδο Καθαρισμού του Γραφίτη» με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (German Reichs patent No. 42) [50]. Σήμερα, περίπου 1 δις τόνοι μεταλλευμάτων επεξεργάζονται κάθε χρόνο παγκοσμίως με τη μέθοδο αυτή [48]. Εκ των συνηθέστερων ορυκτών που επεξεργάζονται με τη μέθοδο της επίπλευσης συνιστούν τα φωσφορικά πετρώματα, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το μολυβδένιο και ορυκτά που περιέχουν κασίτερο, όπως, παραδείγματος χάρη, ο γαιάνθρακας. Ενδεικτικά, ακόμη, αναφέρεται πως η δυναμικότητα μερικών μονάδων επίπλευσης ανέρχεται στους 200.000 tn την ημέρα [48].

Η επίπλευση ως μέθοδος απομάκρυνσης σωματιδίων μελανιού αλλά και λοιπών συστατικών που συνιστούν ρύπους του παλαιόχαρτου εφαρμόστηκε σε βιομηχανική κλίμακα αρκετά χρόνια αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του '50 [49,50,52,54,55, 57,58,59]. Νωρίτερα κατά τη δεκαετία του '30 πραγματοποιήθηκαν δύο σημαντικές έρευνες που άνοιξαν το δρόμο για την ένταξη της επίπλευσης στην απομελάνωση του παλαιόχαρτου. Ο Hynes, το 1932, υπέβαλε αίτημα κατοχύρωσης της εφεύρεσής του, για την εφαρμογή της επίπλευσης στην απομελάνωση παλαιόχαρτου, ως διπλώματος ευρεσιτεχνίας, γεγονός που πραγματοποιήθηκε τρία χρόνια αργότερα, την 25<sup>η</sup> Ιουνίου του 1935 [49,50,55]. Στο εν λόγω δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (U.S. Patent No. 2,005,742) περιγράφεται αναλυτικώς η απομελάνωση με τη μέθοδο της επίπλευσης και υποδεικνύονται οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά τους, όπως η περιεκτικότητα του αιωρήματος, ο χρόνος επίπλευσης, οι τιμές του pH, κ.λπ. [50]. Σχεδόν ταυτόχρονα ο Kowalewski σε εργασία που δημοσιεύθηκε σε γερμανικό περιοδικό ανέλυσε την απομάκρυνση τυπογραφικών μελανιών από τις δευτερογενείς κυτταρινούχες ίνες με τη μέθοδο της επίπλευσης, περιέγραψε τη διάταξη ενός κελιού επίπλευσης και ανέφερε πληροφορίες σχετικές με τα απαιτούμενα χημικά αντιδραστήρια [49,50,55].

Στα μέσα τη δεκαετίας του '50 μία χαρτοβιομηχανία της Β. Αμερικής εφοδιάστηκε με ένα κελί επίπλευσης της εταιρείας Denver που αρχικώς είχε σχεδιασθεί για εφαρμογή στη μεταλλουργία. Στα τέλη της ίδιας δεκαετίας η ιδέα της απομελάνωσης παλαιόχαρτου με τη μέθοδο της επίπλευσης υιοθετήθηκε και στην Ευρώπη σε βιομηχανική κλίμακα [11,49,50,52,55,58,59], όταν η εταιρεία Voith εγκατέστησε κελιά επίπλευσης, ειδικά σχεδιασμένα για απομελάνωση παλαιόχαρτου, σε γερμανικές βιομηχανίες [52,55].

Μέχρι τη δεκαετία του 1970 η ανάπτυξη και διάδοση της απομελάνωσης με τη μέθοδο της επίπλευσης ήταν σχετικώς περιορισμένη και ως εκ τούτου παρέμενε κυρίαρχη η μέθοδος της έκπλυσης. Από τότε, εντούτοις, η ανάπτυξη της μεθόδου της επίπλευσης ήταν ραγδαία. Αρχικώς διαδόθηκε κυρίως στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία και ακολούθως απέκτησε σημαντική αποδοχή και στη Β. Αμερική. Από το 1972 έως το 1981 η παραγωγή απομελανωμένου πολτού τετραπλασιάστηκε, από 1,5 εκατομ. tn/έτος σε 5,9 εκατομ. tn/έτος και στο τέλος της επόμενης δεκαετίας (1991) ανήλθε 17,6 εκατομ. tn/έτος [49,55]. Το 1997 η παραγωγή αυτή εκτιμούταν σε 28 εκατομ. tn/έτος [49]. Επίσης, το 1978 είχαν καταμετρηθεί περίπου 125 μονάδες απομελάνωσης που χρησιμοποιούσαν τη διεργασία της επίπλευσης, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός για το 1985 υπολογίζονταν σε 230 μονάδες [50]. Το 1997 ο αριθμός μονάδων απομελάνωσης κυμαίνονταν περί τις 600, εκ των οποίων το 80% περίπου ήταν εξοπλισμένο με γραμμή επίπλευσης [55]. Αξίζει, στο σημείο αυτό, να

σημειωθεί πως στην Ελλάδα το πρώτο κελί επίπλευσης εγκαταστάθηκε στη χαρτοποιία Λαδόπουλου το 1966. Το συγκεκριμένο κελί ήταν της εταιρείας Voith και είχε δυναμικότητα περί των 20 tn/ημέρα, χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη εφημερίδες και περιοδικά με ποσοστό εκάστου κλάσματος περίπου 50% [60].

Τα σύγχρονα κελιά επίπλευσης παρουσιάζουν πολλές διαφορές εν συγκρίσει με το πρώτο κελί της εταιρείας Denver. Κατά την περίοδο από το 1972-1983 έλαβαν χώρα πολλές βελτιώσεις στα σχετικά κελιά από τις, τουλάχιστον, 10 εταιρείες που δραστηριοποιούνταν στον κλάδο αυτό [59]. Παρόλ' αυτά η αποτελεσματικότητα της διεργασίας δεν αυξήθηκε ιδιαίτερος. Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, τα κελιά επίπλευσης που χρησιμοποιήθηκαν αρχικώς, στα μέσα της δεκαετίας του '70, επιτύγχαναν αύξηση της λευκότητας του παλαιόχαρτου κατά 10-12 μονάδες της κλίμακας ISO, ενώ στα τέλη της δεκαετίας του '80 η αντίστοιχη αύξηση κυμαινόταν από 12 έως 14 μονάδες, για παρόμοιας ποιότητας παλαιόχαρτο (εφημερίδες και περιοδικά) [59]. Αντίθετα οι θετικές συνέπειες των βελτιώσεων αυτών εστιάστηκαν στη μείωση της συνολικής επιφάνειας εγκατάστασης των κελιών και της ενέργειας που αυτά καταναλώνουν. Παραδείγματος χάρη, το 1966 η λειτουργία ενός κελιού επίπλευσης απαιτούσε 84 kWh/tn, ενώ τα κελιά επίπλευσης που σχεδιάστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του '90 κατανάλωναν 40-65 kWh/tn [59].

#### *2.5.3.2.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά και αποτελεσματικότητα μεθόδου*

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 [56]: 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 [56].

Η περιεκτικότητα του αιωρήματος στο κελί επίπλευσης κυμαίνεται, συνήθως, από 0,7 έως 1,2% κ.β. ξ.μ. [66]. Έχουν, όμως, αναφερθεί και τιμές που κυμαίνονται από 0,5 έως 2,0% [67,69]. 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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [62] ή και  $\text{CaCl}_2$  [66]. Αυτό ήταν απαραίτητο ειδικά κατά τη χρήση των πρώτων τασιενεργών ουσιών που χρησιμοποιήθηκαν στην επίπλευση, τα οποία είχαν ως βάση λιπαρά οξέα. Σ' αυτή την περίπτωση η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή της σκληρότητας του νερού ήταν 90 ppm (ως  $\text{CaCO}_3$ ) [66]. Στην περίπτωση βέβαια των μη

<sup>34</sup> Το ανθρακικό ασβέστιο που περιέχεται, ως πληρωτικό υλικό, σε πολλά είδη χαρτιών αποτελεί άλλη μία πηγή ιόντων ασβεστίου για το αιώρημα του κελιού επίπλευσης [66].

ιονικών 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 συμπάραισσης [62].

Η επίπλευση είναι αποτελεσματική για απομάκρυνση σωματιδίων με μέγεθος 10 έως 100  $\mu\text{m}$ , με βέλτιστο εύρος μεγέθους από 30 έως 80  $\mu\text{m}$  [45,63]. 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 [64].

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 [64]. 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  $6 \cdot 10^4$ , υποδεικνύοντας πως το αιώρημα υπόκειται σε τυρβώδη ροή [67].

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 επικρισμένων χαρτιών στην πρώτη ύλη της επίπλευσης. Σημειώνεται, ακόμη, πως το 25-30% της ποσότητας των αργιλωδών υλικών απομακρύνεται μαζί με τον σχηματιζόμενο αφρό [67].

Με τη μέθοδο της επίπλευσης έχει επιτευχθεί αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης ορατών σωματιδίων μελανιού από 75 έως 97% [70]. 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 [71].

Η επίπλευση μπορεί, ακόμη, να μελετηθεί και από την οπτική των πιθανοτήτων. Η εξίσωση της πιθανότητας της επίπλευσης ( $P_f$ ) δίνεται από τον ακόλουθο τύπο [65]:

$$P_f = P_c \cdot P_a \cdot P_s$$

όπου,  $P_c$ : η πιθανότητα σύγκρουσης σωματιδίου και φυσαλίδας αέρα,

$P_a$ : η πιθανότητα προσκόλλησης του σωματιδίου στη φυσαλίδα αέρα,

$P_s$ : η πιθανότητα σχηματισμού ενός σταθερού συσσωματώματος σωματιδίου και φυσαλίδας αέρα.

Πολλές παράμετροι επηρεάζουν τις ανωτέρω εξισώσεις πιθανοτήτων, όπως για παράδειγμα: 1) τα μεγέθη του σωματιδίου και της φυσαλίδας αέρα, η πυκνότητα του αιωρήματος, ο αριθμός των φυσαλίδων στο αιώρημα αλλά και η ένταση της ανάδευσης του αιωρήματος αποτελούν τις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν την πιθανότητα σύγκρουσης σωματιδίου και φυσαλίδας, 2) η πιθανότητα προσκόλλησης του σωματιδίου στη φυσαλίδα αέρα, δηλαδή, η πιθανότητα σχηματισμού δεσμού ή δεσμών μεταξύ του σωματιδίου και της φυσαλίδας, εξαρτάται από την τιμή της γωνίας επαφής, την ταχύτητα της σύγκρουσης, την παρουσία αφροποιητή (frother) κ.ά. 3) η πιθανότητα δημιουργίας σχηματισμού συσσωματώματος σωματιδίου και φυσαλίδας που να είναι ικανό να διατηρήσει τους σχηματιζόμενους δεσμούς εξαρτάται από την αντοχή των δεσμών αυτών στις υδροδυναμικές συνθήκες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο ανακινούμενο αιώρημα [65].

#### 2.5.3.3 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. Ως εκ τούτου 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.λπ. 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) [4,64,66]

#### 2.5.3.4 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) [4,21,66,74].



### **3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΡΤΟΥ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Ο κλάδος της βιομηχανίας παραγωγής χαρτοπολτού και χαρτιού, πρωτογενούς ή ανακυκλωμένου, παρουσίαζε, παραδοσιακά, σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο από την άποψη της κατανάλωσης φυσικών πόρων (ξυλείας –στην περίπτωση παραγωγής χαρτιού από παρθένες ίνες-, ορυκτών καυσίμων και νερού) και ενέργειας όσο και από την άποψη των εκλυόμενων ρύπων. Σήμερα, ειδικά σε περιοχές που έχουν επιδείξει σημαντική ανάπτυξη και εκουχρονισμό του συγκεκριμένου κλάδου της βιομηχανίας έχει επιτευχθεί ο έλεγχος και η σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων. Εκτιμάται πως σ' αυτές τις περιπτώσεις οι εκπομπές ρύπων έχουν μειωθεί σε ποσοστό 80-90% σε σχέση με τα επίπεδα του 1980 [76,153].

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο, αρχικώς, εστιάζει στη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου και της παραγωγής αυτών από παρθένες ίνες. Εν συνεχεία, αναλύονται, πιο διεξοδικά, τα βασικότερα ζητήματα που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου. Σ' αυτά κυρίως περιλαμβάνονται η κατανάλωση νερού και ενέργειας, η αέρια και η υδατική ρύπανση.

#### **3.2 Μία σύντομη συγκριτική περιβαλλοντική αποτίμηση από τη λειτουργία μονάδων παραγωγής πρωτογενών και ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου**

##### **3.2.1 Χρήση πρώτων υλών και κατανάλωση δέντρων**

Ο κύκλος ζωής του χαρτιού ξεκινάει από την παραγωγή βιομάζας<sup>35</sup> 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 [78] ή αξιοποιείται (ένα μέρος αυτής) από τις χαρτοβιομηχανίες για την παραγωγή ενέργειας.

<sup>35</sup> Ετησίως, παράγονται, μέσω της φωτοσύνθεσης, 170 Gtn βιομάζας (που ισοδυναμούν σε ενέργεια 2350 EJ), εκ της οποίας μόνο το 3,5% (6 Gtn –θεωρητικά, δηλαδή, αντιστοιχεί, περίπου, ένας τόνος βιομάζας για κάθε άτομο στη γη) καλλιεργείται, αποκομίζεται και χρησιμοποιείται. Από την ποσότητα αυτή, το 62% (περίπου 3,7 Gtn) αξιοποιείται για τις διατροφικές ανάγκες του πληθυσμού της γης και περίπου 0,3 Gtn χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία (εκτός αυτής των τροφίμων). Το μεγαλύτερο ποσοστό της βιομάζας, που δε χρησιμοποιείται για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών, εφοδιάζει τη βιομηχανία χάρτου και τη βιομηχανία του κατασκευαστικού κλάδου. Σημαντικά, ακόμη, ποσά βιομάζας χρησιμοποιούνται ως καύσιμα [79].

Έχει ευρέως 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 [10]. 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 [76]. 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, δύνανται να ανακυκλωθούν σε ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος προϊόντων [10].

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 καρτοβιομηχανίες) και πως εφαρμόστηκε χημική πολτοποίηση [10]. Σύμφωνα με άλλες πηγές για την παραγωγή 1 tn κυματοειδούς καρτοκιβωτίου, δημοσιογραφικού χαρτιού και χαρτιού γραφής και εκτύπωσης απαιτούνται 3,03, 2,09 και 3,95 tn ξύλου (υγρασίας 50%), αντίστοιχα [118]. Ανεξαρτήτως, όμως, από το ακριβή υπολογισμό των δέντρων που καταναλώνονται για την παραγωγή πρωτογενούς καρτόμαζας, είναι σαφές πως η ανακύκλωση προϊόντων χάρτου, και ειδικότερα χαρτιών χημικής καρτόμαζας, 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 [10].

### **3.2.2 Ζητήματα περί της διαχείρισης στερεών απορριμμάτων**

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 [10].

### **3.2.3 Κατανάλωση ενέργειας**

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 χαρτόμαζας 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. Ως αποτέλεσμα, αν συγκρίνουμε τα ποσά ενέργειας που λαμβάνονται από το εθνικό δίκτυο διανομής στις δύο περιπτώσεις (μονάδες παράγωγης χαρτιών από παρθένες ίνες και από παλαιοχαρτό) δε θα παρατηρηθούν αξιοσημείωτες διαφορές. Παρόλ' αυτά η συνολική κατανάλωση ενέργειας συνιστά έναν πολύ σημαντικό παράγοντα από άποψη περιβαλλοντικών κριτηρίων (εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου, διασπάθιση ορυκτών πόρων, κ.λπ.) [10].

### **3.2.4 Αέριες εκπομπές**

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 [10].

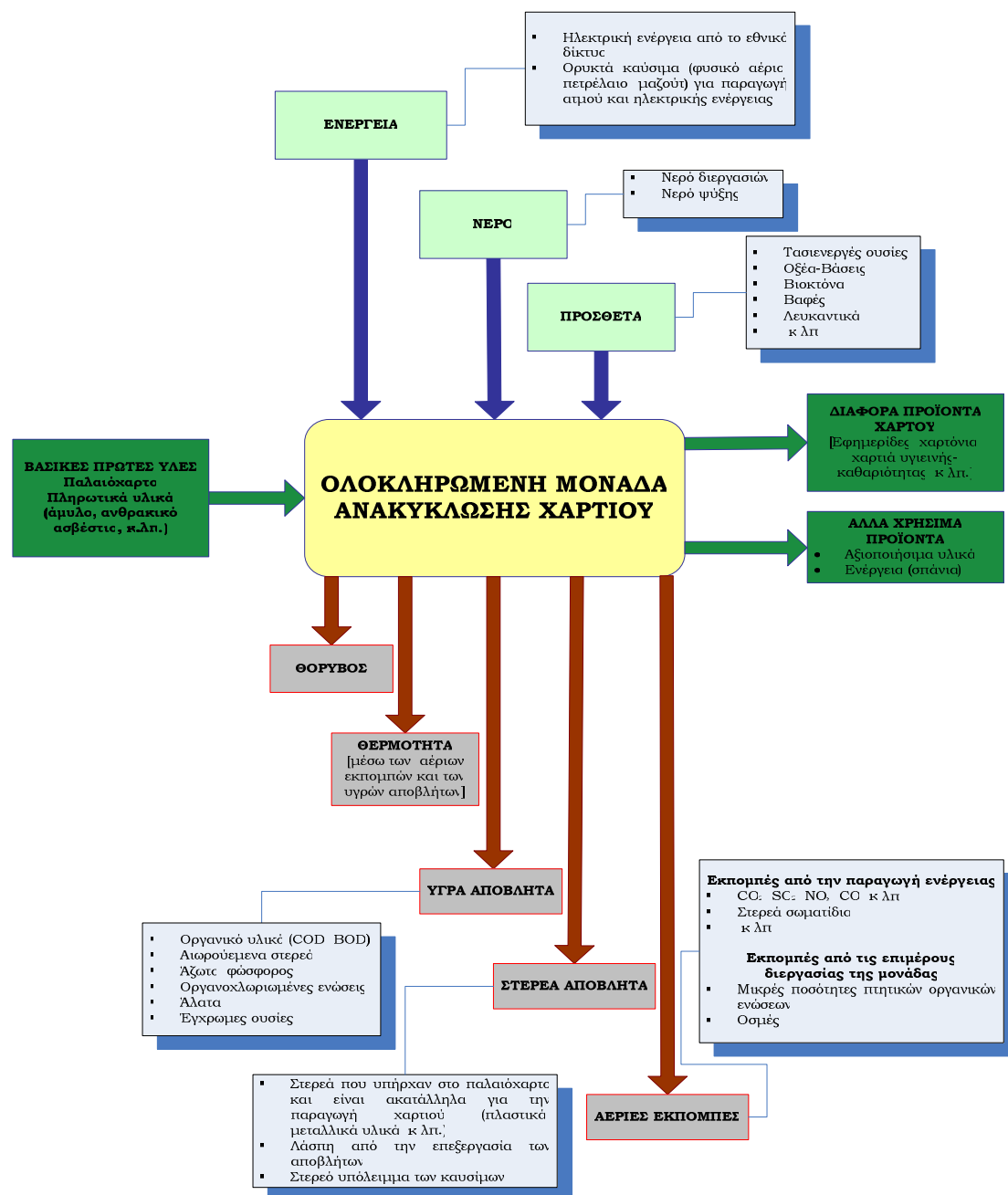
### **3.2.5 Λεύκανση**

Προ της λεύκανσης, ο μηχανικός πολτός έχει βαθύ καφέ χρώμα. Εν αντιθέσει, ο απομελανωμένος πολτός που προέρχεται από την ανακύκλωση παλαιοχαρτού 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' ότι οι πολτοί από παρθένες ίνες. Μερικές φορές η μείωση της ποσότητας των εν λόγω αντιδραστηρίων ανέρχεται σε ποσοστό, περίπου, 90% [10].

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 [10,119].

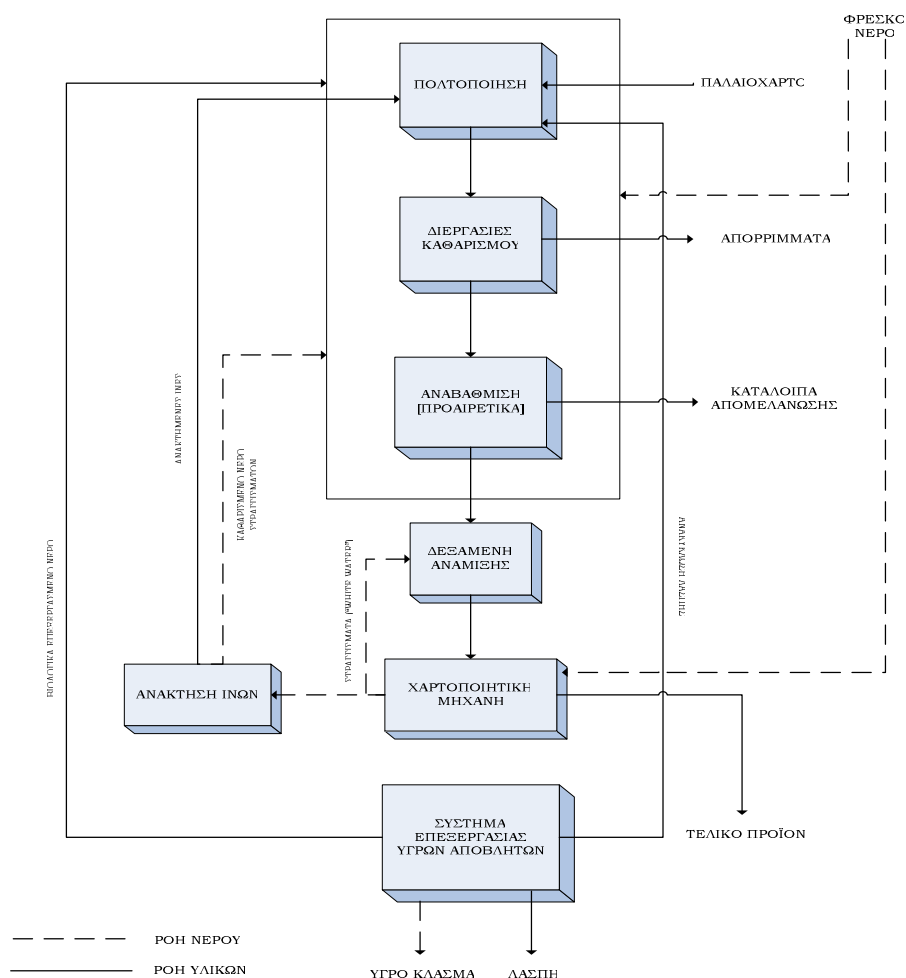
### 3.3 Περιβαλλοντικά ζητήματα κατά την παραγωγή ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου

Μία μονάδα ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου συνιστά ένα πολύπλοκο σύστημα όπου εισρέουν και εκρέουν μία πλειάδα υλικών, που τις περισσότερες φορές είναι πολύ δύσκολο να καταγραφούν πλήρως. Επίσης, η λειτουργία μίας τέτοιας μονάδας σχετίζεται σχεδόν με όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (κατανάλωση φυσικών πόρων, αέρια ρύπανση, υδατική ρύπανση, παραγωγή στερεών απορριμμάτων, κ.λπ.). Στο ακόλουθο σχήμα αναπαριστώνται, συνοπτικά, οι ροές που αφορούν μία μονάδα ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου.



**Σχήμα 18:** Συνοπτική αναπαράσταση των ροών ύλης και ενέργειας σε μονάδα ανακύκλωσης παλιόχαρτου

### 3.3.1 Κατανάλωση νερού



**Σχήμα 19:** Απλοποιημένο διάγραμμα ροής μονάδων παραγωγής προϊόντων χάρτου

[Πηγή: IPPC (2001) [76]/Ιδία επεξεργασία]

Σε γενικές γραμμές οι χαρτοβιομηχανίες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, για την παραγωγή ενός τόνου χαρτιού απαιτούνταν 500 έως 1.000 m<sup>3</sup> νερού [4]. Σήμερα η μεγαλύτερη ποσότητα αυτού ανακυκλώνεται και έτσι η «καθαρή» καταναλισκόμενη ποσότητα νερού είναι περιορισμένη (βλ. Σχήμα 18). Ειδικότερα τα τελευταία 20 έτη έχει παρατηρηθεί μία σημαντική τάση εξοικονόμησης του νερού που χρησιμοποιείται από τις μονάδες του κλάδου (είτε μονάδες παραγωγής πρωτογενών χαρτιών είτε μονάδες ανακύκλωσης). Για παράδειγμα, σε ότι αφορά τη γερμανική χαρτοβιομηχανία αναφέρονται καταναλώσεις (φρέσκου) νερού που κυμαίνονται περί των 13 m<sup>3</sup> ανά τόνο προϊόντος [4].

Στην Ευρώπη, οι μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου αξιοποιούν είτε τα επιφανειακά είτε τα υπόγεια ύδατα. Αναλόγως του είδους του χαρτιού που παράγει η εκάστοτε μονάδα, το νερό θα πρέπει να υποστεί μία προεπεξεργασία, ούτως ώστε να καταστεί κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί στις ακόλουθες διεργασίες. Εφόσον κριθεί αναγκαίο, απομακρύνεται ο σίδηρος, το μαγγάνιο, μερικές φορές τα άλγη και τα συστατικά εκείνα που αυξάνουν τη θολρότητα του νερού με κροκιδωτικά μέσα ή/και μέσω φιλτραρίσματος (με τη διέλευση του νερού από στρώμα άμμου ή άλλων μικρόκοκκων υλικών). Σε μία χαρτοβιομηχανία, το νερό χρησιμοποιείται σε πλήθος εφαρμογών: στις

διεργασίες παραγωγής χαρτιού ως μέσο αραίωσης, στα συστήματα ψύξης ως το κυκλοφορούν μέσο ανταλλαγής θερμότητας και στην παραγωγή ατμού [76].

Όλες οι μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου ανακυκλώνουν το νερό που αποστραγγίζει από τα συστήματα φυλλοποίησης (“white water”). Το νερό αυτό ανακυκλώνεται, χωρίς να υποστεί επεξεργασία, ως μέσο διάλυσης στη δεξαμενή ανάμιξης ή επαναχρησιμοποιείται, μετά από τον καθαρισμό (κατά των οποίο απομακρύνονται, κυρίως, οι περιεχόμενες ίνες) του στην μονάδα ανάκτησης ινών, σε διεργασίες όπου απαιτείται νερό υψηλών ποιοτικών χαρακτηριστικών. Το ποσοστό ανακύκλωσης του νερού εξαρτάται από την ποιότητα των τελικών προϊόντων και από το επίπεδο καθαρισμού αυτού, που επιτυγχάνεται στη μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων [76]. Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι «καθαρές» καταναλώσεις νερού αναλόγως του είδους των παραγόμενων προϊόντων από ανακυκλωμένες ίνες.

**Πίνακας 7:** Κατανάλωση νερού κατά την παραγωγή διαφόρων δευτερογενών προϊόντων χάρτου

<b>Κατανάλωση νερού κατά την παραγωγή διαφόρων δευτερογενών προϊόντων χάρτου</b>	
<b>Προϊόν</b>	<b>«Καθαρή» κατανάλωση νερού (m<sup>3</sup>/tn προϊόντος)*</b>
Κυματοειδή χαρτοκιβώτια και χαρτιά συσκευασίας	1,5-10
Δημοσιογραφικό χαρτί	10-20
Χαρτιά υγιεινής/καθαριότητας	5-100
Χαρτιά γραφής και εκτύπωσης	7-20
*1,5 m <sup>3</sup> νερού/tn παραγόμενου χαρτιού εξατμίζεται στο στάδιο ξήρανσης και έτσι δεν λογίζεται ως απόβλητο	

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

Στις περιπτώσεις των μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτιών (στα οποία εστιάζεται η παρούσα μελέτη), όπου δεν πραγματοποιείται το στάδιο της απομελάνωσης, το φρέσκο νερό χρησιμοποιείται μόνο στη μηχανή χαρτοποίησης και για την προετοιμασία των αντιδραστηρίων. Τα στραγγίσματα ανακυκλώνονται και οδηγούνται στα στάδια προετοιμασίας των πρώτων υλών και στα στάδια καθαρισμού του αιωρήματος των ινών. Ένα τμήμα του νερού οδηγείται στη μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Σημειώνεται πως περίπου 1,5 m<sup>3</sup> νερού ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος εξατμίζεται κατά τα στάδια ξήρανσης του χαρτιού. Εκτιμάται πως το νερό ανακυκλώνεται περίπου 33 φορές [76].

### **3.3.2 Χρήση προσθέτων**

Στις μονάδες παραγωγής προϊόντων χάρτου χρησιμοποιούνται και μία πλειάδα πρόσθετων υλικών. Η ποσότητα και το είδος των εν λόγω προσθέτων διαφέρει ανάλογα με την ποιότητα του τελικού προϊόντος και τον εγκατεστημένο εξοπλισμό. Τα πρόσθετα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα αντιδραστήρια τελικού προϊόντος (“product aids”), που χρησιμοποιούνται με στόχο την βελτίωση των ιδιοτήτων του χαρτιού, και στα αντιδραστήρια διεργασιών (“process aids”). Τα τελευταία διευκολύνουν την αποτελεσματικότητα των διεργασιών. Στον ακόλουθο πίνακα δίδονται παραδείγματα των βασικότερων προσθέτων που χρησιμοποιούνται από τις μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου.

**Πίνακας 8:** Πρόσθετα μονάδων ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου

<b>Πρόσθετα μονάδων ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου</b>			
<b>Αντιδραστήρια προϊόντος (“product aids”)</b>	<b>Λειτουργικός σκοπός</b>	<b>Παραδείγματα</b>	<b>Παρατηρήσεις</b>
<b>Πληρωτικά</b>	- Αυξάνουν τις εκτυπωτικές ιδιότητες, τη λευκότητα, την αδιαφάνεια και μειώνουν την επιφανειακή τραχύτητα. - Αντικαθιστούν (εξοικονομούν) ίνες	Καολίνης ή άργιλος, τάλκης, γύψος, διοξειδίο του τιτανίου	---
<b>Αντιδραστήρια αδιαβροχοποίησης (Sizing agents)</b>	Βελτιώνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας Καθιστούν το χαρτί υδρόφοβο	Τροποποιημένο άμυλο, τροποποιημένες φυσικές ρητίνες, γαλακτώματα κηρών, συνθετικά προϊόντα	Μερικά εξ αυτών μπορεί να είναι τοξικά για τα βακτήρια, όταν είναι κατιονικά
<b>Στερεωτικά (Fixing agents)</b>	Βελτιώνουν την προσρόφηση των προσθέτων από τις ίνες	Θεικό αργίλιο	Τα περισσότερα κατιονικά είναι τοξικά για τα βακτήρια
<b>Αντιδραστήρια αύξησης της ξηρής αντοχής (Dry strength agents)</b>	Βελτιώνουν τις μηχανικές αντοχές του χαρτιού υπό ξηρές συνθήκες	Τροποποιημένο άμυλο	Μερικά εξ αυτών μπορεί να είναι τοξικά για τα βακτήρια, όταν είναι κατιονικά
<b>Αντιδραστήρια αύξησης της υγρής αντοχής (Wet strength agents)</b>	Βελτιώνουν τις μηχανικές αντοχές του χαρτιού υπό συνθήκες υψηλής υγρασίας	Πολυμερές ουρίας φορμαλδεΰδης, πολυμερές μελαμίνης φορμαλδεΰδης, συμπυκνώματα επικλωρυδρίνης	Συνήθως τοξικά για τα βακτήρια, μερικά αυξάνουν τα AOX (οργανοαλογονομένες ενώσεις)
<b>Βαφές</b>	Προσδίδουν χρωματισμούς ή/και λευκότητα στο χαρτί	Ενώσεις αζώτου, αμμωνιακά συστατικά	Δύσκολα απομακρύνονται. Μερικές είναι τοξικές (περιέχουν μέταλλα)
<b>Οπτικά λευκαντικά</b>	Αυξάνουν τη λευκότητα του χαρτιού	Χημικά που έχουν ως βάση το 4,4-διαμινουσιλβένιο-2,2-δισουλφονικό οξύ	Μερικά κατιονικά συστατικά μπορεί να είναι τοξικά
<b>Χημικά επίχρισης</b>	Προσδίδουν στο χαρτί ιδιαίτερα επιφανειακά χαρακτηριστικά	Χρωστικές, συγκολλητικές ενώσεις, αντιαφριστικές ενώσεις, διασπαρτικά, κ.ά.	Οι συγκολλητικές ενώσεις θα πρέπει να αποσταθεροποιηθούν προτού αναμιχθούν με υπόλοιπα υγρά απόβλητα. Ειδικώς θα είναι δύσκολος ο καθαρισμός των τελευταίων
<b>Αντιδραστήρια διεργασιών (“process aids”)</b>	<b>Λειτουργικός σκοπός</b>	<b>Παραδείγματα</b>	<b>Παρατηρήσεις</b>
<b>Αντιδραστήρια συνοχής (Retention aids)</b>	- Συνοχή ινών, πληρωτικών κ.ά. Αύξηση παραγωγής μέσω της βελτίωσης της απομάκρυνσης του νερού - Μείωση της εκπομπής ουσιών που συνιστούν ρύπους	Αλουμίτης, αργιλικό νάτριο, αμυλούχα υλικά, κόλλες, ανιονικά πολυακυλαμιδία, μη ιονικά πολυακυλαμιδία, κατιονικά πολυμερή	Κυρίως κατιονικά προϊόντα
<b>Αντιδραστήρια απομελάνωσης και λεύκανσης</b>	- Απομάκρυνση μελανιών από τις ίνες - Λεύκανση	Τασιενεργές ουσίες, καυστικό νάτριο, λιπαρά οξέα, υπεροξειδίο του υδρογόνου, FAS, σύμπλοκες ενώσεις, υδρόαλος, κ.ά.	Παραμπόδιση της σταθεροποίησης της λάσπης στη μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων
<b>Σύμπλοκα αντιδραστήρια</b>	Απομακρύνουν τα μέταλλα μέσω της συμπλοκοποίησης αυτών ούτως ώστε να μη προσβάλλουν τις λευκαντικές ενώσεις	DTPA ή EDTA	Βιοπαδομούνται δύσκολα (ή καθόλου)
<b>Αντιδραστήρια καθαρισμού εξοπλισμού (Tensides)</b>	- Καθαρισμός μηχανημάτων, σωληνώσεων, κ.λπ. - Καθαρισμός δικτύου νερού - Διασπορά ενώσεων	Όξινες και αλκαλικές τασιενεργές ουσίες	Μερικές φορές δύναται η επίπλευση της λάσπης
<b>Αντιαφριστικά</b>	Παρεμποδίζουν τον αφρισμό	Αιθοξυλικά λιπαρά οξέα, πολυοξυαιθυλένιο, παράγωγα λιπαρών οξέων, αλκοόλες μακράς αλυσίδας, εστέρες φωσφορικού οξέος, προϊόντα φυτικών ελαίων	Ενδεχόμενη μείωση οξυγόνου στη μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων
<b>Βιοκτόνα</b>	Παρεμποδίζουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών	Οργανικές ενώσεις βρωμίου, θειούχα ή αζοτούχα συστατικά, αμμωνιακές ενώσεις	Μερικά περιέχουν AOX (οργανοαλογονομένες ενώσεις), είναι τοξικά σε υψηλές συγκεντρώσεις

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

### 3.3.3 Κατανάλωση ενέργειας

Οι μονάδες παραγωγής προϊόντων χάρτου απαιτούν τη χρήση σημαντικών ποσοτήτων ατμού για τη θέρμανση νερού, πολτού, αέρα και χημικών στις επιθυμητές, για κάθε διεργασία, θερμοκρασίες και, πρωτίστως, για τη ξήρανση του χαρτιού. Παράλληλα, απαιτείται η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των επιμέρους διατάξεων. Στις συγκεκριμένες μονάδες, η κατανάλωση ενέργειας συνιστά την κύρια παράμετρο αύξησης του λειτουργικού κόστους. Στην περίπτωση της ανακύκλωσης του χαρτιού, το στάδιο της πολτοποίησης απαιτεί μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από το αντίστοιχο στάδιο κατά την (πρωτογενή) παραγωγή χημικού και, ειδικότερα, μηχανικού πολτού. Παραδείγματος χάρη, στην Ολλανδία μία μέση κατανάλωση ενέργειας κατά την πολτοποίηση, για την περίπτωση της ανακύκλωσης, εκτιμάται σε 322 kWh/tn (1,2 GJ/tn) χαρτιού. Η ολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται σε 10,9 GJ/tn χαρτιού, στην περίπτωση των μονάδων στις οποίες δεν εφαρμόζεται απομελάνωση, και 12,1 GJ/tn χαρτιού, στην περίπτωση των μονάδων που εφαρμόζεται απομελάνωση [76].

Στις μονάδες ανακύκλωσης χάρτου, ο ατμός, σχεδόν στο σύνολο των περιπτώσεων, παράγεται *in situ*, στην ίδια τη μονάδα. Η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται, εφόσον είναι αναγκαίο, από το εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Οι χαρτοβιομηχανίες καταναλώνουν ατμό και ηλεκτρική ενέργεια σε αναλογία που καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική την εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Σ.Η.Θ.). Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν και την εκλυόμενη θερμότητα της καύσης και, ως εκ τούτου, παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση, που κυμαίνεται από 80 έως 95%, έναντι των συμβατικών συστημάτων ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού (απόδοση περίπου 40%) και θερμότητας. Στην περίπτωση των χαρτοβιομηχανιών, τα συστήματα αυτά παράγουν, συχνά, περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια απ' αυτή που απαιτείται για την αντίστοιχη κατανάλωση ατμού<sup>36</sup>. Η πλεονάζουσα αυτή ενέργεια συνήθως διατίθεται στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού.

Στον Πίνακα 9 παρατίθενται στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας και την κατανομή αυτής στις επιμέρους διεργασίες μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου.

**Πίνακας 9:** Κατανάλωση ενέργειας σε μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου

<b>Κατανάλωση ενέργειας σε μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου</b>		
	<b>Μονάδα παραγωγής χαρτιού tissue, εφοδιασμένη με γραμμή απομελάνωσης (200 tn/ημέρα)</b>	<b>Μονάδα παραγωγής εφημερίδων, εφοδιασμένη με γραμμή απομελάνωσης (1000 tn/ημέρα)</b>
Πρώτες ύλες	Παλαιά περιοδικά και μικτά χαρτιά γραφείου	Παλαιές εφημερίδες και παλαιά περιοδικά
Απόδοση	55-60%	80%
Συνολική κατανάλωση ενέργειας	230 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	300 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Συνολική κατανάλωση ατμού χαμηλής πίεσης	0,3 tn ατμού/tn απομελανωμένου πολτού	0,3 tn ατμού/tn απομελανωμένου πολτού
<b>Ενεργειακές καταναλώσεις για τις βασικότερες διεργασίες</b>		
Διάταξη μεταφοράς πρώτων υλών	1 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	0,4 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Πολτοποίηση υψηλής	39 kWh/tn	16 kWh/tn (drum pulper)

<sup>36</sup> Δηλαδή: Έστω πως για Α μονάδες ενέργειας ατμού, απαιτούνται, παράλληλα, Β μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω των συστημάτων Σ.Η.Θ. για Α μονάδες ατμού παράγονται Δ (με Δ>Β) μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι οι Δ-Β μονάδες ενέργειας πλεονάζουν.



περιεκτικότητας	απομελανωμένου πολτού (συνεχούς ροής πολτοποίηση <sup>(1)</sup> , εφαρμογή και τυπικής διάταξης κοσκινίσματος)	
Τυπικό κοσκίνισμα	Δεν απαιτείται	18,5 kWh/tn
MC-Cleaner	Ενέργεια για την άντληση	Ενέργεια για την άντληση
Απομάκρυνση άμμου (cleaner)	Ενέργεια για την άντληση	Ενέργεια για την άντληση
Κοσκίνισμα (Fine Screening)	17 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	22 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Επίπλευση I	18 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	33 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Έκπλυση I	8 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	Δεν εφαρμόζεται
Πάχυνση μέσω δισκοφίλτρων	Δεν απαιτείται	1 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Διασπορά (συμπεριλαμβανομένου σταδίου πάχυνσης)	55 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	67 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Επίπλευση Διαλελυμένου Αέρα (DAF)	Ανεπαρκή δεδομένα για το συγκεκριμένο υπολογισμό	Ανεπαρκή δεδομένα για το συγκεκριμένο υπολογισμό
Επίπλευση II	5 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	19 kWh/tn απομελανωμένου πολτού
Έκπλυση II	10 kWh/tn απομελανωμένου πολτού	Δεν εφαρμόζεται
Σύνολο αντλιών	Δεν συμπεριλαμβάνονται	91 kWh/tn <sup>(2)</sup> απομελανωμένου πολτού
<b>Επεξηγήσεις:</b> Υπό κανονικές συνθήκες, οι τιμές της κατανάλωσης ενέργειας παρουσιάζονται ως εγκατεστημένες ισοκείες. Όταν απαιτείται η μετατροπή αυτών σε κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα μάζας προϊόντος θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία προσεγγιστική αναγωγή, που να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες.		
1. Στις περιπτώσεις των μονάδων που εφαρμόζουν πολτοποίηση κατά παρτίδες απαιτείται επιπλέον ενέργεια.		
2. Περιλαμβάνονται όλες οι αντλίες και όλοι οι αναδευτήρες, εκτός από εκείνες/ους που αφορούν στο στάδιο της επίπλευσης		

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

Για την αξιοποίηση των στοιχείων του ανωτέρω πίνακα και τη σύγκριση αυτών με άλλα αντίστοιχα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- Η απόδοση της διεργασίας εξαρτάται κυρίως από το είδος των πρώτων υλών.
- Η αποτελεσματικότητα της συλλογής και της διαλογής απορριμμάτων, η οποία διαφέρει αναλόγως του κράτους αλλά και των επιμέρους περιοχών, επηρεάζει την ποιότητα 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.
- Συνήθως, σε αναφορές περί της καταναλισκόμενης ενέργειας τέτοιων μονάδων δεν περιλαμβάνεται το σύνολο του εγκατεστημένου εξοπλισμού (π.χ. οι αντλίες και οι αναδευτήρες δε λαμβάνονται υπόψη). Αυτά τα στοιχεία παρόλο που δεν επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος, είναι σημαντικά από ενεργειακή σκοπιά.
- Η συνεισφορά των αντλιών και των αναδευτήρων στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ κυμαίνεται από 20 έως 30%. Υπό μία, λοιπόν, ενεργειακή προσέγγιση, τα συστήματα διεργασιών που παρουσιάζουν μειωμένο αριθμό αντλιών και αναδευτήρων καθίστανται ιδιαίτερος ελκυστικά.

- Τα περιφερειακά υποσυστήματα για τη διαχείριση του νερού, της λάσπης και των απορριπτόμενων υλικών δεν περιλαμβάνονται στον ανωτέρω πίνακα, καθώς δεν λαμβάνονται ως συστήματα του κύριου εξοπλισμού.
- Σημειώνεται πως υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ της εγκατεστημένης ισχύος (κύριου εξοπλισμού) και τη μέση κατανάλωση ισχύος που στην πράξη λαμβάνει χώρα. Θα μπορούσε να θεωρηθεί πως η πραγματικά καταναλισκόμενη ισχύς είναι περίπου το 70-75% της εγκατεστημένης ισχύος. Το ποσοστό αυτό ποικίλει αναλόγως των επιμέρους διεργασιών και των εξοπλισμών αυτών.

Πρέπει να επισημανθεί πως, κατ' αρχήν, η ενεργειακή κατανάλωση μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου εξαρτάται από το σχεδιασμό, το είδος και την ποσότητα των επιμέρους διεργασιών. Οι επιλογή των εν λόγω χαρακτηριστικών των διεργασιών εξαρτάται από την ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Ειδικά οι διεργασίες που αποσκοπούν στην αύξηση της λευκότητας και στη μείωση των ορατών σιγμάτων του παραγόμενου χαρτιού οδηγούν σε σημαντική αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Για παράδειγμα, στη Γερμανία, μία μονάδα παραγωγής ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού, με δυνατότητα να διαχειρίζεται 1.900 τόνους ανακτημένου χαρτιού ανά ημέρα, παρουσίασε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας όταν πρόσθεσε ένα στάδιο λεύκανσης με υπεροξειδίο και ένα στάδιο συμπληρωματικής απομελάνωσης με τη μέθοδο της επίπλευσης (υπήρχε ήδη μία διάταξη επίπλευσης), με στόχο την αναβάθμιση των οπτικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Προτού της προαναφερθείσας επένδυσης, καταναλώνονταν 350 kWh/tn προϊόντος και 250 tn ατμού ανά ημέρα, ενώ ύστερα απ' αυτή, η κατανάλωση ενέργειας ανήλθε στις 420 kWh/tn προϊόντος. Θα πρέπει, ακόμη, να λαμβάνεται υπόψη πως η ενέργεια που αποκτάται από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο διανομής συχνά παράγεται με απόδοση που κυμαίνεται στο 38%. Έτσι, για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται να καταναλωθεί σε μία μονάδα παραγωγής ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου (0,35-0,45 kWh/kg απομελανωμένου πολτού) απαιτείται η πρωταρχική κατανάλωση 1-1,3 kWh/kg απομελανωμένου πολτού [76].

### **3.3.4 Υγρά απόβλητα**

Ο όγκος των υγρών αποβλήτων των χαρτοβιομηχανιών κυμαίνεται, σε γενικές γραμμές, από 1,5 m<sup>3</sup> έως 60 m<sup>3</sup> ανά τόνο παραγόμενων προϊόντων [153]. 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 κόσκια και τις διατάξεις φυγοκέντρισης, τα διηθήματα των διατάξεων έκπλυσης, πάχυνσης και διαχείρισης λάσπης

και την πλεονάζουσα ποσότητα των στραγγισμάτων της μηχανών φυλλοποίησης (αναλόγως, βέβαια, του ποσοστού ανακύκλωσης αυτού) [76].

Τα υγρά απόβλητα των ευρωπαϊκών καρτοβιομηχανιών διοχετεύονται σε επιφανειακούς υδατικούς αποδέκτες μετά από μερικά στάδια επεξεργασίας αυτών (πρωτοβάθμια και βιολογική επεξεργασία) ή οδηγούνται σε μία μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τους, ούτως ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητά τους σε διαλυμένα στερεά [76]. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, τα υγρά απόβλητα των καρτοβιομηχανιών, ως επί ο πλείστον, επεξεργάζονται με βιολογικές μεθόδους, είτε σε κεντρικές μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων (18% του συνολικού όγκου παραγόμενων αποβλήτων) είτε σε αντίστοιχες μονάδες που είναι εγκαταστημένες στις ίδιες τις καρτοβιομηχανίες (74% του συνολικού όγκου παραγόμενων αποβλήτων). Αξίζει να αναφερθεί πως το 4% της ετήσιας ποσότητας παραχθέντων προϊόντων χάρτου παράγεται σε μονάδες με πλήρως κλειστό κύκλωμα νερού, γεγονός που συνεπάγεται την μηδενική παραγωγή υγρών αποβλήτων [4].

Στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 10 και Πίνακας 11) παρατίθενται στοιχεία για το ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού.

**Πίνακας 10:** Μέσες τιμές ρυπαντικού φορτίου υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού, μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία και προτού διοχετευθούν σε μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων

<b>Μέσες τιμές ρυπαντικού φορτίου υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού, μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία και προτού διοχετευθούν σε μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων</b>				
<b>Παράμετρος</b>	<b>Μονάδες χωρίς απομελάνωση</b>		<b>Μονάδες με απομελάνωση</b>	
	mg/lit (ελάχ.-μέγ.)	kg/tn προϊόντος (ελάχ.-μέγ.)	mg/lit (ελάχ.-μέγ.)	kg/tn προϊόντος (ελάχ.-μέγ.)
BOD <sub>5</sub>	1.900	4,7	550	10
COD	3.800 (570-9.000)	9,4 (1,2-24)	1.100 (440-1.900)	20 (7-40)
Kj-N <sup>(1)</sup>	16 (10-40)	0,05 (0,02-0,1)	20 (13-25)	0,35 (0,19-0,62)
Όγκος αποβλήτων		5,5 (0,4-15,5) m <sup>3</sup> /tn		15 (9-39) m <sup>3</sup> /tn

(1) Ως Kjeldahl άζωτο ορίζεται το άθροισμα του οργανικού και του αμμωνιακού αζώτου.

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

#### 3.3.4.1 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Η αύξηση της τιμής της παραμέτρου του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD) οφείλεται τόσο στις πρώτες ύλες όσο και στα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται. Οι διεργασίες απομελάνωσης και λεύκανσης ελευθερώνουν από το παλαιόχαρτο σημαντική ποσότητα συστατικών που οδηγούν σε αύξηση του COD. Τα δεδομένα (βλ. Πίνακα 10) περί της τιμής της παραμέτρου του COD για τις περιπτώσεις των μονάδων που απορρίπτουν τα υγρά απόβλητά τους στο δίκτυο αστικών λυμάτων παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις, οι οποίες εξαρτώνται από το στάδιο της επεξεργασίας που λαμβάνει χώρα στη μονάδα τη χρονική στιγμή της λήψης δειγμάτων. Στην περίπτωση των μονάδων που είναι εφοδιασμένες με μονάδα βιολογικής επεξεργασίας, τα σχετικά δεδομένα παρουσιάζουν εμφανώς μικρότερες αποκλίσεις. Όταν εφαρμόζονται και διεργασίες απομελάνωσης οι τιμές του COD είναι αρκετά μεγαλύτερες από εκείνες που παρατηρούνται όταν τα σχετικά στάδια δεν εφαρμόζονται. Στην τελευταία περίπτωση, θα μπορούσαμε να πούμε πως «το περισσότερο COD παραμένει στο προϊόν» [76].

**Πίνακας 11:** Μέσες τιμές ρυπαντικού φορτίου υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού, μετά από (in situ) πρωτοβάθμια και βιολογική επεξεργασία

<b>Μέσες τιμές ρυπαντικού φορτίου υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού, μετά από (in situ) πρωτοβάθμια και βιολογική επεξεργασία</b>				
<b>Παράμετρος</b>	<b>Μονάδες χωρίς απομελάνωση</b>		<b>Μονάδες με απομελάνωση</b>	
	mg/lt (ελάχ.-μέγ.)	kg/tn προϊόντος (ελάχ.-μέγ.)	mg/lt (ελάχ.-μέγ.)	kg/tn προϊόντος (ελάχ.-μέγ.)
BOD <sub>5</sub> προ της επεξεργασίας	1.800	12,3	770	8,3
BOD <sub>5</sub> μετά την επεξεργασία	10 (3-28)	0,06 (0,01-0,13)	9	0,09
COD προ της επεξεργασίας	3.200	22	1.900	21
COD μετά την επεξεργασία	150 (60-720)	0,77 (0,29-1,12)	290	3,1
Kj-N <sup>(1)</sup>	5,6 (3-13)	0,03 (0,01-0,04)	7,8	0,08
Φώσφορος	1,5 (0,5-1,8)	0,01	άγνωστο	άγνωστο
Ολικά διαλελυμένα στερεά (TSS)	25 (17-40)	0,13 (0,06-0,21)	άγνωστο	άγνωστο
Όγκος αποβλήτων		5,7 (3,1-11) m <sup>3</sup> /tn		11 m <sup>3</sup> /tn

(1) Ως Kjeldahl άζωτο ορίζεται το άθροισμα του οργανικού και του αμμωνιακού αζώτου.

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

#### 3.3.4.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Οι τιμές που αφορούν το BOD των αποβλήτων δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μονάδων που εφαρμόζουν απομελάνωση και αυτών που δεν περιλαμβάνουν ένα τέτοιο στάδιο στην παραγωγική τους διαδικασία. Σε αρκούντως αποτελεσματικά συστήματα βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών, η τιμή του BOD<sub>5</sub> (μετά την επεξεργασία των αποβλήτων) μειώνεται, περίπου, σε 20 mg/lt, ανεξαρτήτως από την αντίστοιχη τιμή στην είσοδο των συστημάτων. Σύμφωνα με μερικές αναφορές, οι τιμές του BOD<sub>5</sub>, μετά τη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων, κυμαίνεται από 0,01 έως 0,13 kg/tn παραγόμενου προϊόντος χάρτου. Ο λόγος BOD<sub>5</sub>/COD των υγρών αποβλήτων, που παράγονται από τις καρτοβιομηχανίες, μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τους κυμαίνεται, περίπου, στο 0,5, υποδεικνύοντας, έτσι, πως το οργανικό φορτίο αυτών είναι ευκόλως βιοαποδομήσιμο [76].

#### 3.3.4.3 Θρεπτικά

Συνήθως τα υγρά απόβλητα των μονάδων ανακύκλωσης χάρτου (όπως και των καρτοβιομηχανιών) παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο). Για το λόγο αυτό θα πρέπει να προστίθενται τέτοια συστατικά, με τη μορφή αλάτων (π.χ. ουρίας και φωσφορικού οξέος), στη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ούτως ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της τελευταίας [4]. Συνήθως απαιτείται αναλογία BOD<sub>5</sub>/N/P ίση με 100/5/1. Ποσότητες οργανικού αζώτου είναι δυνατόν να προέρχονται από μερικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στη μονάδα ανακύκλωση χαρτιού. Κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας, ένα μέρος αυτών υδρολύονται σε αμμωνιακά (ammonium) και, ακολούθως, μετατρέπονται σε νιτρικά συστατικά [76].

#### 3.3.4.4 Ολικά διαλυμένα στερεά

Τα δεδομένα για τα ολικά διαλυμένα στερεά παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις. Αυτές οφείλονται κυρίως στο επίπεδο αποτελεσματικότητας της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Εξαιτίας του είδους των οργανικών συστατικών που περιέχονται στα απόβλητα των χαρτοβιομηχανιών παρουσιάζεται μία τάση δημιουργίας μεγάλων ποσοτήτων λάσπης στο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών. Συνεπώς απαιτείται η λήψη μέτρων ώστε να αποφευχθεί ή να ελεγχθεί το ανεπιθύμητο αυτό φαινόμενο [76].

#### 3.3.4.5 Βαρέα μέταλλα

Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στις υγρές εκροές των χαρτοβιομηχανιών είναι συνήθως ιδιαίτερα χαμηλή. Επίσης, δεν παρουσιάζεται αξιοσημείωτη αύξηση αυτής στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ανακτημένες ίνες για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Παρόλ' αυτά, μερικές σποραδικές μετρήσεις σε ολλανδικές μονάδες ανακύκλωσης χάρτου που ήταν εφοδιασμένες με συστήματα απομελάνωσης έδειξαν πως, σ' αυτές τις περιπτώσεις, είναι πιθανό να περιέχονται στα απόβλητα αυξημένες ποσότητες χαλκού και ψευδάργυρου. Κύρια υπεύθυνα για την εν λόγω αύξηση των συγκεντρώσεων είναι τα μελάνια που χρησιμοποιούνται στις διάφορες μεθόδους εκτύπωσης. Τα βαρέα μέταλλα που περιστασιακά περιέχονται στα απόβλητα εμφανίζονται, κυρίως, με τη μορφή σταθερών συμπλόκων [76].

#### 3.3.4.6 Οργανοαλογονομένες ενώσεις και λοιπές ρυπαντικές ουσίες

Πηγές των περιεχόμενων οργανικών συστατικών είναι μερικά πρόσθετα (ειδικά αυτά που αφορούν στην αύξηση των αντοχών του χαρτιού σε συνθήκες υψηλής υγρασίας), μερικά ανακτημένα χαρτιά που παρήχθησαν από λευκασμένο με χλώριο πολτό και σπανιότερα μερικά μελάνια. Καθώς η λεύκανση με χλώριο έχει πρακτικά εγκαταλειφθεί σήμερα, εξαιτίας περιβαλλοντικών αιτιών, η συγκέντρωση οργανοαλογονομένων ενώσεων στα απόβλητα των μονάδων ανακύκλωσης χάρτου παρουσιάζει πτωτική τάση τα τελευταία έτη. Η μείωση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί και για τα επόμενα έτη, καθώς αναμένεται ο περιορισμός στη χρήση τους για την παραγωγή αντιδραστηρίων αύξησης της υγρής αντοχής του χαρτιού. Περιστασιακές μετρήσεις σε ολλανδικές μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένου χάρτου (με ή χωρίς εφαρμογή σταδίου απομελάνωσης) έδειξαν πως η μέση συγκέντρωσή τους είναι περίπου 200 μg/lit [76].

Άλλοι οργανικοί ρύποι όπως οι χλωροφαινόλες ή τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια είναι δυνατόν να ανιχνευθούν στα υγρά απόβλητα μερικών μονάδων ανακύκλωσης χάρτου σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και αναλόγως των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται (ανακτημένο χαρτί, μελάνια και πρόσθετα). Σε περιστασιακές σχετικές μετρήσεις σε μονάδες ανακύκλωσης χάρτου στην Ολλανδία, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις χλωροφαινολών μέχρι 1 μg/lit (0,1-0,7 μg/lit) και πολυχλωριωμένων διφαινυλίων σε επίπεδα ιχνών (τιμές κοντά στα όρια ανίχνευσης, 0,11 μg/lit) [76].

#### 3.3.4.7 Άλατα

Άλατα, κυρίως θειικά και χλωριούχα, εισάγονται στα απόβλητα κυρίως επειδή περιέχονται στο παλαιόχαρτο και σε μερικά πρόσθετα (π.χ. θειικό αργίλιο). Αναλόγως του είδους των χαρτιών που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στη μονάδα και του επιπέδου ανακύκλωσης του νερού της διεργασίας έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις αλάτων μέχρι 1000 μg/lit [76].

### 3.3.4.8 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Συνήθως για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων επιλέγεται η αερόβια επεξεργασία. Στις Η.Π.Α. η μέθοδος αυτή υιοθετήθηκε από τις χαρτοβιομηχανίες κατά τη δεκαετία του '60 [11]. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μείωση του BOD<sub>5</sub> κατά 90-98% και του COD κατά 80-95%. Μερικές φορές εφαρμόζεται και ένα επιπρόσθετο στάδιο καθαρισμού των αποβλήτων, με τη χρήση βιοφίλτρων. Τα τελευταία χρόνια, στις περιπτώσεις αποβλήτων με υψηλό περιεχόμενο οργανικού φορτίου (COD>2.000 mg/l), εφαρμόζεται και η μέθοδος της αναερόβιας επεξεργασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως συστήματα UASB. Η παραγόμενη ποσότητα λάσπης, εφόσον δε δύναται η αξιοποίησή της από την ίδια τη χαρτοβιομηχανία, απομακρύνεται από τη μονάδα. Στις περιπτώσεις των αφυδατωμένων λασπών (20-60% περιεκτικότητα σε στερεά) προτιμάται η απόθεση αυτών σε χώρους ταφής απορριμμάτων. Η αξιοποίηση του θερμικού περιεχόμενου αυτών (μέσω της καύσης) αποκτά ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Εναλλακτικά, οι συγκεκριμένες λάσπες μπορούν να κομποστοποιηθούν παράλληλα με γεωργικά υπολείμματα και να αξιοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό ή να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα δομικών υλικών [4]. Τα τελευταία χρόνια έχουν θεσπιστεί αυστηροί κανόνες που αφορούν τη χρήση των λασπών αυτών στα γεωργικά εδάφη ως εδαφοβελτιωτικά. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη συγκέντρωση των διοξινών και φουρανίων που περιέχονται σ' αυτές [11].

### 3.3.5 Στερεά απορρίμματα

**Πίνακας 12:** Αποδεκτές τιμές περιεκτικότητας σε ξηρή ύλη των στερεών απορριμμάτων των μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού

<b>Αποδεκτές τιμές περιεκτικότητας σε ξηρή ύλη των στερεών απορριμμάτων των μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού</b>		
<b>Συστήματα διαχείρισης στερεών απορριμμάτων</b>	<b>Υδραυλική πρέσσα</b>	<b>Πρέσσα πεπιεσμένου αέρα</b>
Αποδεκτές τιμές ξηρού περιεχομένου για:		
την περίπτωση απορριμμάτων με <70% περιεχόμενο ινών	μέχρι 60%	55-58%
την περίπτωση απορριμμάτων με <30% περιεχόμενο ινών	περίπου 70%	60-63%
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/tn)	15-20	8-12

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

Η ευρωπαϊκή χαρτοβιομηχανία παράγει 11 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων ετησίως, με το 70% αυτών να προέρχονται από μονάδες παραγωγής ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου [76]. Τα περισσότερα υλικά που συνιστούν ανεπιθύμητα συστατικά κατά τις διεργασίες που εφαρμόζονται σε μία μονάδα ανακύκλωσης χάρτου καταλήγουν να απορρίπτονται ως στερεά. Στα στερεά αυτά απορρίμματα περιλαμβάνονται και οι ποσότητες λάσπης που παράγονται στη μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και, μερικές φορές, όταν έχουμε in situ καύση των απορριμμάτων, οι τέφρες. Διαφορετικής ποιότητας και σύστασης στερεά απορρίμματα παράγονται αναλόγως των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα τόσο στην κύρια μονάδα όσο

και στο σύστημα επεξεργασίας των αποβλήτων. Θα πρέπει το στερεό κλάσμα αποβλήτων να υπόκειται σε διεργασίες πάχυνσης και αφυδάτωσης ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της περιεκτικότητάς του σε ξηρή ύλη. Στον Πίνακα 12 δίνονται τυπικές αποδεκτές τιμές περιεκτικότητας σε ξηρή μάζα των στερεών απορριμμάτων [76,77].

Θα πρέπει, στο σημείο αυτό, να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ των διαφόρων κλασμάτων υλικών που συνιστούν τα στερεά απορρίμματα μίας μονάδας παραγωγής ανακυκλωμένου χάρτου. Θα μπορούσαμε λοιπόν να κατηγοριοποιήσουμε τα στερεά απορρίμματα σ' αυτά που αποτελούν ξένες ύλες (π.χ. μεταλλικά υλικά, πλαστικά υλικά, κόλλες, κ.λπ.) για το παλιόχαρτο και απομακρύνονται κατά τα πρώτα στάδια (καθαρισμού) της μονάδας, σ' αυτά που απομακρύνονται κατά τα στάδια της απομελάνωσης (μελάνια και πληρωτικά υλικά) και στη λάσπη που παράγεται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της μονάδας. Η διάκριση αυτή γίνεται βάσει τόσο του είδους των στερεών απορριμμάτων (σύσταση, περιεκτικότητα υγρασίας) όσο και των σταδίων της διεργασίας στα οποία παράγονται.

**Πίνακας 13:** Απορριπτόμενα υλικά σε μονάδες ανακύκλωσης χάρτου αναλόγως της ποιότητας των τελικών προϊόντων

Απορριπτόμενα υλικά σε μονάδες ανακύκλωσης χάρτου αναλόγως της ποιότητας των τελικών προϊόντων							
Προϊόν	Ποιότητες πρώτων υλών	Συνολικές ποσότητες απορριπτόμενων υλικών	Ξένες ύλες		Λάσπες		
			Μεγάλα και μεγάλης μάζας υλικά	Μικρά και μικρής μάζας υλικά	Από στάδιο απομελάνωσης	Από διεργασίες καθαρισμού νερού	Περιεχόμενες στα απόβλητα
Χαρτιά γραφής και εκτύπωσης	Εφημερίδες, περιοδικά, χαρτιά υψηλότερης ποιότητας	15-20 10-25	1-2 <1	3-5 <3	8-13 7-16	2-5 1-5	~1
Χαρτιά υγιεινής/ Καθαριότητας	Χαρτιά γραφείου, φάκελοι, συνήθεις ποιότητες	28-40	1-2	3-5	8-13	15-25	~1
Απομελανωμένος πολτός	Χαρτιά γραφείου	32-40	<1	4-5	12-15	15-25	~1
Κυματοειδή χαρτόνια	Χάρτινα απορρίμματα εμπορικών καταστάσεων και οικιών, kraft ποιότητες, κ.λπ.	4-9 3-6	1-2 <1	4-6 2-4	----- -----	0-(1) 0-(1)	~1

Χαρτόνια	Χάρτινα απορρίμματα εμπορικών κατάστημα-των και οικιών	4-9	1-2	3-6	-----	0-(1)	~1
Οι αναγραφόμενες τιμές αποτελούν % ποσοστό επί των πρώτων υλών (παλαιόχαρτου)							

[Πηγή: IPCC (2001) [76] και Holik (2006) [4]]

Σε ότι αφορά στη λάσπη αυτή μπορούμε να πούμε πως, γενικά, περιέχει μεγάλες ποσότητες στερεών. Η λάσπη αυτή είναι μίγμα κυτταρινούχων ινών (40-60% των ξηρών στερεών), μελανιών και ανόργανων συστατικών (40-60% των ξηρών στερεών), όπως καολίνη, ανθρακικού ασβεστίου και τάλκη. Παρουσιάζει υψηλή αναλογία C/N (50 έως 200) και χαμηλά επίπεδα εδαφοβελτιωτικών στοιχείων και μετάλλων [77].

Οι λάσπες που προέρχονται από τα στάδια της απομελάνωσης περιέχουν ινίδια, πληρωτικά υλικά, επιχρίσεις, μελάνια και χημικά αντιδραστήρια που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της απομελάνωσης. Γενικά, παρουσιάζουν συγκρίσιμα ρυπαντικά φορτία με τη βιολογική λάσπη με μικρότερες όμως τιμές BOD. Παρουσιάζονται, όμως, σημαντικές διαφοροποιήσεις στο ρυπαντικό περιεχόμενο των ανακτημένων χαρτιών και κατ' επέκταση στις λάσπες από την απομελάνωση [77].

Η λάσπη από τον καθαρισμό του νερού των διεργασιών παράγεται στο στάδιο ανάκτησης ινών από το νερό (white water) και από το στάδιο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Αποτελείται κυρίως από ινίδια και πληρωτικά (αμφότερα περί του 50%) σε ποσοστό που εξαρτάται από την ποιότητα της πρώτης ύλης της μονάδας [77].

**Πίνακας 14:** Τυπική σύσταση λάσπης από τα στάδια καθαρισμού του νερού των διεργασιών μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου

<b>Τυπική σύσταση λάσπης από τα στάδια καθαρισμού του νερού των διεργασιών μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου</b>	
Περιεκτικότητα σε ξηρά στερεά (%)	29-53
Πτητικά στερεά (% επί ξ.σ.)	26-76
Μόλυβδος (mg/kg ξ.σ.)	10-210
Κάδμιο (mg/kg ξ.σ.)	0,01-0,98
Χρώμιο (mg/kg ξ.σ.)	9-903
Υδράργυρος (mg/kg ξ.σ.)	0,1-0,9
Χαλκός (mg/kg ξ.σ.)	20-195
Νικέλιο (mg/kg ξ.σ.)	<10-31

[Πηγή: M. C. Conte et al. (2008) [77], IPCC (2001) [76]]

### 3.3.6 Αέριες εκπομπές

Οι αέριες εκπομπές από τις χαρτοβιομηχανίες οφείλονται κυρίως στις εκπομπές των συστημάτων παραγωγής ενέργεια (ατμός ή ηλεκτρική ενέργεια). Στην περίπτωση που το καύσιμο είναι το φυσικό αέριο, οι κύριοι ρύποι είναι το CO<sub>2</sub> και τα NO<sub>x</sub>, ενώ στην



περίπτωση της καύσης πετρελαίου και του γαιάνθρακα, είναι το CO<sub>2</sub>, τα NO<sub>x</sub>, το SO<sub>2</sub>, τα σωματίδια και, σε μικρές συγκεντρώσεις, μερικά βαρέα μέταλλα. Πρέπει να σημειωθεί πως οι εν λόγω ρύποι δεν εκπέμπονται εξ ολοκλήρου στο χώρο της χαρτοβιομηχανίας. Η κατανάλωση καυσίμου για την παραγωγή ατμού λαμβάνει χώρα, ως επί το πλείστον, στην ίδια τη χαρτοβιομηχανία και ως εκ τούτου οι εκπεμπόμενοι ρύποι αφορούν, αρχικώς, το συγκεκριμένο χώρο. Αντίθετα, η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται από το εθνικό δίκτυο διανομής και έτσι οι σχετικές εκπομπές αφορούν το χώρο των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρική και θερμική) των χαρτοβιομηχανιών καθιστά συμφέρουσα την επιλογή εγκατάστασης συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Έτσι πολλές μονάδες έχουν εφαρμόσει τέτοια συστήματα, γεγονός που συνεπάγεται τη χωρική συγκέντρωση των, μειωμένων βέβαια, αέριων εκπομπών.

**Πίνακας 15:** Στερεά απορρίμματα από διάφορα στάδια μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου

<b>Στερεά απορρίμματα από διάφορα στάδια μίας μονάδας ανακύκλωσης χάρτου</b>	
<b>Στάδια διεργασιών</b>	<b>Σύσταση απορριπτόμενου υλικού</b>
Πολτοποίηση	Μεγάλα αντικείμενα όπως πλαστικές σακούλες, πλαστικά, ράχες βιβλίων, μπουκάλια, υφάσματα, σύρματα, κομμάτια ξύλου, μικροαντικείμενα, κ.λπ.
Υψηλής πυκνότητα καθαρίσμα (cleaning)	Γυαλιά, καρφιά, συνδετήρες, υφάσματα, πινέζες, σύρματα συρραφής, κ.λπ.
Προ-κοσκίνισμα	Επιμήκη λεπτά υλικά
Απομελάνωση με τη μέθοδο της επίπλευσης	Πληρωτικά, μελάνια, ίνες, κολλώδεις ουσίες
Χαμηλής πυκνότητας καθαρίσμα (cleaning)	Μικρά σωματίδια υψηλής πυκνότητας όπως άμμος, υλικά επίχρισης, σκληρά υλικά από UV χρώματα, κ.λπ.
Λεπτό κοσκίνισμα (Fine screening)	Πλαστικά κομμάτια, συστατικά μικρής πυκνότητας, κολλώδη υλικά, τήγματα
Διεργασίες καθαρισμού νερού	Κολλοειδή υλικά, πληρωτικά, ίνες, μελάνια

[Πηγή: Holík (2006) [4]]

### 3.3.6.1 Αέριες εκπομπές από την in situ καύση των στερεών απορριμμάτων

Οι διεργασίες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου παράγουν αρκετές ποσότητες απορριμμάτων με υψηλό περιεχόμενο σε οργανικό φορτίο. Συνήθως τα απορρίμματα αυτά οδηγούνται σε χώρους ταφής απορριμμάτων. Τα τελευταία, όμως, χρόνια αρκετές μονάδες αξιοποιούν τα απορρίμματα αυτά καιοντάς τα in situ, με στόχο την παραγωγή ατμού. Η εν λόγω καύση παράγει αέριους ρύπους, των οποίων η σύσταση διαφέρει από τους αντίστοιχους που παράγονται κατά την καύση συμβατικών καυσίμων (που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού) και εξαρτάται από το είδος και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι συγκεντρώσεις αέριων ρύπων που μετρήθηκαν σε μονάδες

ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου και οφείλονται στην καύση των υλικών που απορρίπτονται από τις διεργασίες της μονάδας.

**Πίνακας 16:** Δεδομένα αερίων εκπομπών από την καύση των στερεών απορριμμάτων (συμπεριλαμβανομένων των λασπών) δύο γερμανικών μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένου χάρτου

<b>Δεδομένα αερίων εκπομπών από την καύση των στερεών απορριμμάτων (συμπεριλαμβανομένων των λασπών) δύο γερμανικών μονάδων παραγωγής ανακυκλωμένου χάρτου</b>			
<b>Παράμετρος</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Μετρούμενες τιμές</b> (μέσες τιμές έτους 1997) Μονάδα παραγωγής χαρτιών συσκευασίας από ανακτημένα χαρτιά (χωρίς στάδιο απομελάνωσης)	<b>Μετρούμενες τιμές</b> (μέσες τιμές για την 9.1.1997) Μονάδα παραγωγής δημοσιογραφικού χαρτιού από ανακτημένα χαρτιά (με στάδιο απομελάνωσης)
Dust (Στερεά σωματίδια)	mg/Nm <sup>3</sup>	3,2	6,6
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	26,0	1,2
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	195	'94:271/'96:227/'97:176
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	14,1	14
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	1,7	2,6
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0,06	άγνωστη
Total-C	mg/Nm <sup>3</sup>	1,4	1,1
Cd, TI	μg/Nm <sup>3</sup>	<17,0	άγνωστη
Hg	μg/Nm <sup>3</sup>	5	άγνωστη
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	μg/Nm <sup>3</sup>	71,0	άγνωστη
Διοξίνες/φουράνια	ng I-TE/Nm <sup>3</sup>	0,097	άγνωστη
Διευκρινίσεις: ■ Όλες οι τιμές αναφέρονται σε κανονικές συνθήκες και σε περιεκτικότητα οξυγόνου 11% κ.ό. ■ I-TE: International Toxicity Equivalent σύμφωνα με NATO/CMS			

[Πηγή: IPPC (2001) [76]]

## **4 Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής συνιστά ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων, που σκοπό έχει να αποτιμήσει τις επιδράσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον, και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας [80,81].

Η SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) έχει ορίσει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (A.K.Z.) σαν «μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών, καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων» [85,167].

Η A.K.Z., λοιπόν, αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με περιβαλλοντικά ζητήματα. Μπορεί να συμβάλλει στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών νόμων, στη βελτίωση διεργασιών και στην επιλογή φιλικότερων προς το περιβάλλον καταναλωτικών αγαθών.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία της A.K.Z. και αναλύονται τα βασικότερα ζητήματα που άπτονται αυτής.

### **4.2 Η εξέλιξη της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**

Η A.K.Z. έχει τις ρίζες της στη δεκαετία του 1960. Η ανησυχία επί της πεπερασμένης ποσότητας των πρώτων υλών και των ενεργειακών αποθεμάτων έδωσε το έναυσμα για την εύρεση μεθόδων αθροιστικού υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας και για τη μελέτη αξιοποίησης εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Ο Harold Smith, σε μία από τις πρώτες σχετικές έρευνες, υπολόγισε τη συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια κατά την παραγωγή χημικών προϊόντων (και ενδιάμεσων). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής παρουσιάστηκαν το 1963 στο Παγκόσμιο Συνέδριο Ενέργειας (World Energy Conference). Λίγο αργότερα, μελέτες παγκόσμιας κλίμακας που προέβλεπαν της επίδραση της αύξησης του πληθυσμού της γης στη ζήτηση πρώτων υλών και πηγών ενέργειας δημοσιεύθηκαν στο *The Limits of Growth* και στο *A Blueprint of Survival*. Οι προβλέψεις, λοιπόν, των ανωτέρω μελετών για γρήγορη μείωση των ορυκτών καυσίμων και αλλαγή των κλιματικών συνθηκών του πλανήτη υπέδειξαν την ανάγκη για περισσότερο λεπτομερείς και ακριβείς υπολογισμούς των ενεργειακών απαιτήσεων των βιομηχανικών διεργασιών αλλά και των αποβλήτων που οι τελευταίες παράγουν. Κατά την περίοδο αυτή, πραγματοποιήθηκαν δώδεκα περίπου μελέτες με στόχο την εκτίμηση του κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων πηγών ενέργειας [87,88].

Το 1969 πραγματοποιήθηκε μία μελέτη από την εταιρεία Coca-Cola που θεωρήθηκε ως ο πρόδρομος των σύγχρονων μεθόδων A.K.Z. [84,85,87,88,157]. Η εν λόγω εταιρεία ανέθεσε στο Midwest Research Institute τη διεξαγωγή έρευνας σχετικής με την τυποποίηση των προϊόντων της. Η έρευνα επιδίωξε την εύρεση νέων υλικών εμφιάλωσης, των οποίων η χρήση θα οδηγούσε στη μείωση των ενεργειακών απωλειών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και την αξιολόγηση των υλικών που ήδη χρησιμοποιούνταν [80,81]. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, και άλλες εταιρείες, τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ, πραγματοποίησαν παρόμοιες μελέτες. Αξίζει να σημειωθεί πως τα πορίσματα των συγκεκριμένων ερευνών δεν ήταν δημοσιεύσιμα εν αντιθέσει με αντίστοιχες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από κρατικούς ή δημόσιους φορείς [87,88].

Η μέθοδος ποσοτικοποίησης της χρήσης πόρων και ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγή προϊόντων, όπως αυτή εφαρμόστηκε στις ΗΠΑ, έγινε γνωστή ως REPA (Resource and Environmental Analysis). Στην Ευρώπη οι αντίστοιχες έρευνες έγιναν γνωστές ως έρευνες οικολογικού ισοζυγίου (Ecobalances) [80,81,87,88,157]. Από το 1970 έως το 1975 πραγματοποιήθηκαν περίπου 15 εργασίες βάσει της μεθόδου REPA. Κατά την περίοδο αυτή έγιναν και οι πρώτες προσπάθειες τυποποίησης της μεθοδολογίας των εν λόγω μελετών. Στην εξέλιξη των μεθοδολογιών αυτών συνεισέφεραν η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA – Environmental Protection Agency) και μερικοί σημαντικοί εκπρόσωποι της βιομηχανίας [87,88].

Αξίζει να αναφερθεί η προσπάθεια του I. Boustead, ο οποίος εν έτει 1972 (στο Ηνωμένο Βασίλειο) υπολόγισε τη συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια κατά την παραγωγή διαφόρων συσκευασιών υγρών τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων συσκευασιών από γυαλί, πλαστικό, αλουμίνιο και χάλυβα. Τα επόμενα έτη, ο Boustead βελτίωσε τη μεθοδολογία του με στόχο να μπορεί να εφαρμοστεί και σε ποικίλα άλλα υλικά, και το 1979 εξέδωσε το “ Handbook of Industrial Energy Analysis” [157].

Το ίδιο έτος, ιδρύθηκε η Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC-Society for Environmental Toxicology and Chemistry). Μεταξύ των στόχων αυτής είναι η ανάπτυξη της μεθοδολογίας της A.K.Z. Το ίδιο έτος οι Boustead και Hancock δημοσίευσαν μία μελέτη στην οποία περιγράφεται μία μεθοδολογία ενεργειακής ανάλυσης, στην οποία καθορίστηκαν κριτήρια που η αξιοποίησή τους διευκολύνει την περιβαλλοντική σύγκριση διαφορετικών ενεργειακών πηγών [84].

Είναι ευνόητο πως η ανάπτυξη της A.K.Z. συμβάδιζε με την κλιμάκωση της πετρελαϊκής κρίσης. Από τις αρχές της δεκαετίας '80, το ενδιαφέρον για την A.K.Z. έφθινε σταδιακά λόγω της εξασθένησης της επίδρασης που ασκούσε η ενεργειακή κρίση. Το ανωτέρω φαινόμενο ήταν περισσότερο εμφανές στις ΗΠΑ και λιγότερο στην Ευρώπη. Αυτό οφειλόταν, κυρίως, στην ίδρυση της Περιβαλλοντικής Διεύθυνσης (Environmental Directorate) από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το έτος 1985 η Διεύθυνση αυτή εξέδωσε Οδηγία για τις Συσκευασίες Υγρών Τροφίμων (Liquid Food Container Directive), με αποτέλεσμα την πραγμάτωση μελετών που εστιάζονταν κυρίως στην κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών κατά την παραγωγή των συσκευασιών αλλά και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επέρχονταν από την απόρριψή τους στο περιβάλλον [80,81,87,88].

Προς τα τέλη της δεκαετίας του '80, όταν το ενδιαφέρον για τα προβλήματα διάθεσης των αστικών απορριμμάτων άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα έντονο, η A.K.Z. ανέκυψε πάλι ως μέθοδος προσέγγισης και ανάλυσης περιβαλλοντικών ζητημάτων τόσο στην Αμερική όσο και

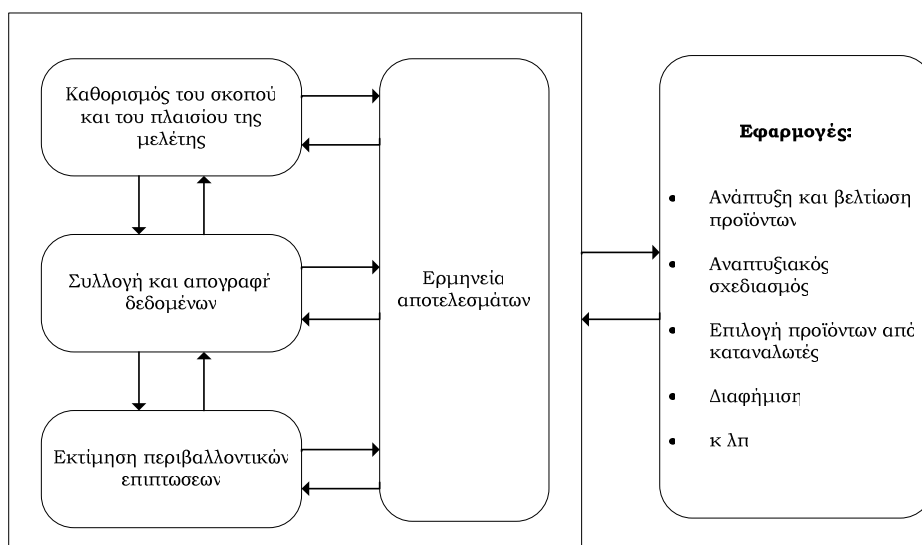
στην Ευρώπη. Αξίζει να σημειωθεί πως εκείνη την περίοδο άρχισε να αναπτύσσεται με ταχύ ρυθμό η ανακύκλωση των συσκευασιών [80,81].

Το 1990 μια Α.Κ.Ζ. που διεξήχθη από τον Arthur D. Little αναφορικά με τις βρεφικές πάνες και χρηματοδοτήθηκε από την Procter & Gamble, αποτέλεσε ορόσημο στις σχετικές μελέτες. Η έρευνα έδειξε ότι οι πάνες μιας χρήσεως δεν ήταν τελικά τόσο επιβλαβείς για το περιβάλλον συγκριτικά με τις παραδοσιακές πάνες από ύφασμα. Μέχρι εκείνη τη στιγμή το κοινό διατηρούσε την αντίληψη ότι οι πάνες μιας χρήσης καταλάμβαναν πολύ χώρο από τις χωματερές όπου αυτές απορρίπτονταν και ως εκ τούτου ήταν περιβαλλοντικά πιο επιβλαβείς από τις υφασμάτινες [80,81]. Όμως η σχετική μελέτη έδειξε ότι οι πάνες μιας χρήσεως παράγουν 90 φορές περισσότερα στερεά απορρίμματα (περίπου το 2% των συνολικών αστικών απορριμμάτων), ενώ οι υφασμάτινες παράγουν 10 φορές περισσότερα υγρά απόβλητα και καταναλώνουν τριπλάσια ενέργεια [156].

Από την άλλη, το 1991 οι υπόνοιες και η ανησυχία πως η Α.Κ.Ζ. χρησιμοποιείται ως μέσο προώθησης προϊόντων οδήγησαν τις δικαστικές αρχές των ΗΠΑ να καταδικάσουν τη χρήση Α.Κ.Ζ. ως εργαλείο marketing ωστόσο αναπτύχθηκαν κοινές μεθοδολογίες και κοινά εργαλεία αξιολόγησης. Αυτή η δράση, σε συνδυασμό με πιέσεις περιβαλλοντικών οργανώσεων, οδήγησε στην ανάπτυξη προτύπων Α.Κ.Ζ. [87,88] από διεθνείς οργανισμούς όπως η SETAC και ο ISO.

### 4.3 Η μεθοδολογία της Α.Κ.Ζ.

Η Α.Κ.Ζ. συνιστά ένα εργαλείο μέσω του οποίου είναι δυνατή η αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή μιας δράσης. Η μεθοδολογία της Α.Κ.Ζ., όπως προτείνεται από την SETAC, αποτελείται από τέσσερα στάδια: (1) τον καθορισμό του σκοπού και του πλαισίου της μελέτης, (2) την απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής (LCI – Life Cycle Inventory), (3) την εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής και (4) την εκτίμηση βελτιώσεων [82,89,156,167]. Κατά τον ISO, το τελευταίο στάδιο μιας Α.Κ.Ζ. συνίσταται στην ερμηνεία και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της μελέτης και όχι στην εκτίμηση βελτιώσεων [84]. Μία ολοκληρωμένη Α.Κ.Ζ. πρέπει να περιέχει και τα τέσσερα προαναφερθέντα στάδια.



**Σχήμα 20:** Στάδια και εφαρμογές της Α.Κ.Ζ.  
[Πηγή: G. Rebitzer et al. (2004) [154]]

Στο πρώτο στάδιο καθορίζεται ο σκοπός της μελέτης, η λειτουργική μονάδα αυτής και η διαδικασία για την εξασφάλιση της άρτιας πραγμάτωσης της μελέτης. Επίσης, καθορίζονται τα όρια του μελετηθέντος συστήματος και οι παραδοχές που θα ληφθούν υπόψη. Τα δεδομένα και οι πληροφορίες που απαιτούνται για την υποστήριξη των ακόλουθων σταδίων θα πρέπει να εντοπιστούν κατά το εν λόγω στάδιο. Παραδείγματος χάρη, θα πρέπει σ' αυτό το στάδιο να καθοριστούν οι κατηγορίες επιπτώσεων, ούτως ώστε η συλλογή δεδομένων να είναι συμβατή με τις ανάγκες του σταδίου ανάλυσης επιπτώσεων. Σημειώνεται, ακόμη, πως όσο αναπτύσσεται η Α.Κ.Ζ. τόσο αναδεικνύεται η σημαίνουσα αξία του σταδίου αυτού.

Ακολουθεί το στάδιο της απογραφής δεδομένων του κύκλου ζωής. Στο στάδιο αυτό ποσοτικοποιούνται η χρήση πρώτων υλών, η χρήση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μελετηθέντος συστήματος. Δηλαδή, ποσοτικοποιούνται όλες οι ροές (ύλης, ενέργειας) που εισέρχονται και εξέρχονται από το σύστημα μελέτης. Παραδείγματος χάρη, για τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, η ανάλυση λαμβάνει υπόψη όλα τα στάδια του κύκλου ζωής κάθε συστατικού του μελετηθέντος προϊόντος. Σ' αυτά περιλαμβάνονται η απόκτηση και η χρήση πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων και των ενεργειακών πηγών, οι διεργασίες μετατροπής των πρώτων υλών σε χρήσιμα υλικά, η παραγωγή και η μεταποίηση των προϊόντων που προέρχονται από τα προαναφερθέντα υλικά, η μεταφορά των υλικών διαμέσου των επιμέρους διεργασιών, η παραγωγή του μελετηθέντος προϊόντος, η διανομή και η χρήση αυτού και η τελική απόθεσή του (συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης, της καύσης ή της ταφής αυτού).

Η απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής πραγματοποιείται στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη για περισσότερα από 30 χρόνια. Ως εκ τούτου η βασική μεθοδολογία αυτής είναι πια ευρέως αποδεκτή. Το συγκεκριμένο στάδιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς αποτελεί τη βάση για τη διενέργεια οιασδήποτε ποσοτικοποιημένης ανάλυσης επιπτώσεων. Εφόσον δε δύναται η πραγματοποίηση του σταδίου της ανάλυσης επιπτώσεων, τότε τα αποτελέσματα της απογραφικής ανάλυσης κύκλου ζωής μπορούν να αξιοποιηθούν απ' ευθείας για τη διενέργεια του τελευταίου σταδίου, μη λαμβάνοντας, δηλαδή, υπόψη τις επιπτώσεις (των αποτελεσμάτων της απογραφής) στον άνθρωπο και στο περιβάλλον.

Εφόσον οι ροές εσόδου και εξόδου του συστήματος ποσοτικοποιηθούν από το στάδιο της απογραφής του κύκλου ζωής, είναι δυνατή η πραγματοποίηση του επόμενου σταδίου, της ανάλυσης επιπτώσεων κύκλου ζωής. Εννοιολογικά, η ανάλυση επιπτώσεων κύκλου ζωής συνίσταται σε τρία στάδια: στην ταξινόμηση, στον χαρακτηρισμό και στην αξιολόγηση. Αρχικώς, δηλαδή, ταξινομούνται τα δεδομένα του σταδίου της απογραφής σε κατηγορίες, με κριτήρια τις επιπτώσεις αυτών. Για παράδειγμα, η χρήση ορυκτών καυσίμων μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία επιπτώσεων «εξάντληση πεπερασμένων πόρων». Ως χαρακτηρισμός νοείται η διαδικασία βελτίωσης των μοντέλων μετατροπής των δεδομένων της απογραφής σε περιγραφικά στοιχεία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Έτσι, για παράδειγμα, τα δεδομένα της απογραφής για τις ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου, που συνιστούν δεδομένα εξόδου του μελετηθέντος συστήματος, θα πρέπει να μετατραπούν σε μονάδες σχετικές με την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η αξιολόγηση είναι το στάδιο κατά το οποίο οι συνεισφορές των διαφόρων ειδικών κατηγοριών των επιπτώσεων σταθμίζονται κατάλληλα, ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους [80,82].

Αντίθετα με την απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής, στην εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής παρουσιάστηκαν αρκετές ζητήματα διχογνωμίας και αμφισβήτησης σχετικά με τη μεθοδολογία και τις προδιαγραφές που πρέπει να εφαρμόζονται κατά την πραγμάτωση

αυτής. Έτσι, στις αρχές της δεκαετίας του '90 επιχειρήθηκε, από διεθνείς οργανισμούς όπως η SETAC και ο ISO (International Standards Organization) η ανάπτυξη μίας ενιαίας μεθοδολογικής προσέγγισης.

Σήμερα, έχουν εκδοθεί προδιαγραφές ISO για την Α.Κ.Ζ. στη σειρά 14000 για την περιβαλλοντική διαχείριση και συγκεκριμένα οι εξής [127,154]:

- International Standard ISO 14040 (1997): Environmental management – Life Cycle Assessment- Principles and framework.
- International Standard ISO 14041 (1998): Environmental management – Life Cycle Assessment- Goal and scope definition and inventory analysis.
- International Standard ISO 14042 (2000): Environmental management – Life Cycle Assessment- Life Cycle Impact Assessment.
- International Standard ISO 14043 (2000): Environmental management – Life Cycle Assessment- Life Cycle Interpretation.

Στο στάδιο της εκτίμησης βελτιώσεων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρησιμοποιούνται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Παραδείγματος χάρη, στη λήψη αποφάσεων περιλαμβάνεται η επιλογή αλλαγής ενός προϊόντος ή μίας διεργασίας, με στόχο, φυσικά, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [80,82].

Ακολούθως, θα επιχειρηθεί μία αναλυτικότερη και πληρέστερη περιγραφή των προαναφερθέντων σταδίων

#### **4.3.1 Στάδιο 1ο: Καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου της μελέτης**

##### 4.3.1.1 Καθορισμός του σκοπού της μελέτης

Πριν την έναρξη μίας Α.Κ.Ζ. θα πρέπει να καθοριστεί ο σκοπός για τον οποίο η μελέτη πραγματοποιείται. Υπό κανονικές συνθήκες μία Α.Κ.Ζ. καλείται να δώσει απαντήσεις σε συγκεκριμένες ερωτήσεις. Η φύση των ερωτήσεων καθορίζει και το σκοπό της μελέτης [82].

Οι μελέτες Α.Κ.Ζ., εκ φύσεως, καλούνται να συγκρίνουν προϊόντα, διεργασίες, κ.λπ. Παραδείγματος χάρη, χρησιμεύουν στη λήψη αποφάσεων από μία βιομηχανία, ώστε να επενδύσει σε ένα προϊόν, περιβαλλοντικά περισσότερο ήπιο. Ακόμη, βάσει αυτών ο καταναλωτής μπορεί να επιλέξει ένα προϊόν μεταξύ άλλων συναφών, με γνώμονα την περιβαλλοντική ταυτότητά τους [82].

Συνεπώς, ο προσδιορισμός των δυνατών εναλλακτικών επιλογών διευκολύνει τον ορισμό του σκοπού της μελέτης. Σύνθετες επιλογές απαιτούν την πραγμάτωση μίας ολοκληρωμένης μελέτης Α.Κ.Ζ., ενώ απλούστερες επιλογές μπορούν να στηριχθούν σε μία απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής [82].

Ακολούθως, παρατίθενται μερικά παραδείγματα ώστε να καταστούν τα προαναφερθέντα περισσότερο κατανοητά.

Παράδειγμα 1: Η εταιρεία Α αναπτύσσει ένα νέο προϊόν. Επιθυμεί να συγκρίνει το προϊόν με διάφορα άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα που διατίθενται, ήδη, στην αγορά. Στόχος είναι η διερεύνηση κάθε πιθανής περιβαλλοντικής επίπτωσης του προϊόντος, προτού αυτό διατεθεί στην αγορά. Η εταιρεία ευελπιστεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες της μελέτης ώστε να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες βελτιώσεις, με απώτερο στόχο η περιβαλλοντική ταυτότητα του προϊόντος να είναι παρόμοια ή καλύτερη των συναφών ανταγωνιστικών

προϊόντων. Συνεπώς, για το σκοπό αυτό, είναι απολύτως χρήσιμη η διενέργεια μίας απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής του νέου προϊόντος. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτούνται πολύ λεπτομερείς πληροφορίες της παραγωγής του νέου προϊόντος. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα χρησιμεύσουν για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επέρχονται κατά τον κύκλο ζωής του νέου προϊόντος και των συναφών ανταγωνιστικών και για τη λήψη αποφάσεων που αφορά στη περιβαλλοντική βελτίωση του πρώτου [82].

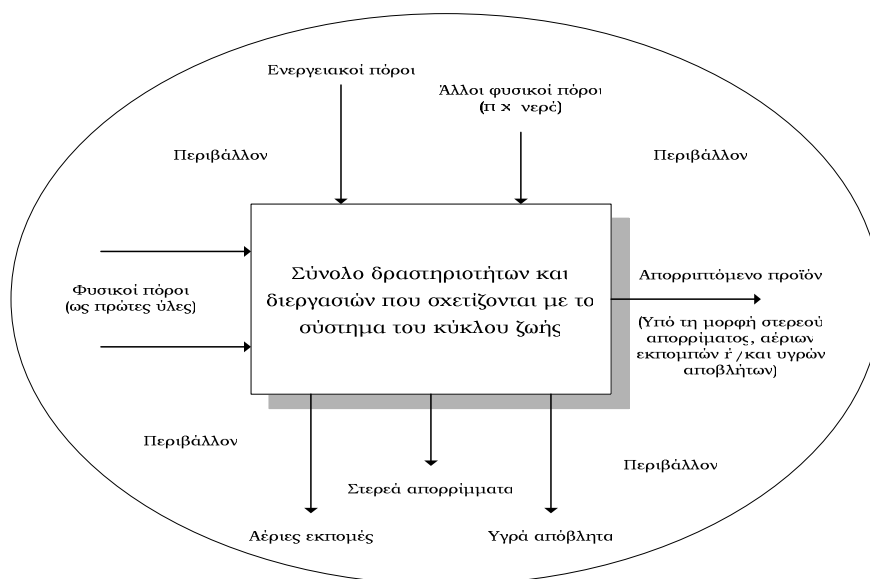
Παράδειγμα 2: Μία περιβαλλοντική ομάδα σκοπεύει να πραγματοποιήσει μία καμπάνια ώστε να ενθαρρύνει το καταναλωτικό κοινό να αντικαταστήσει διάφορα προϊόντα με κοινά υλικά που διατίθενται σε κάθε νοικοκυριό και μπορούν να διατελέσουν αποτελεσματικά την ίδια λειτουργία με τα πρώτα. Για το σκοπό αυτό, θέλει στηριχθεί σε επιστημονικές διαπιστώσεις, οι οποίες θα αποδεικνύουν πως η χρήση των εναλλακτικών υλικών συνιστά, όντως, την περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή. Στόχος, λοιπόν, της μελέτης είναι πραγματοποίηση μίας απογραφικής ανάλυσης κύκλου ζωής και μίας επιλεκτικής ανάλυσης επιπτώσεων των δύο προαναφερθέντων εναλλακτικών επιλογών. Καθώς τα εμπορικά προϊόντα και τα χειροποίητα προϊόντα συσκευάζονται με διαφορετικό τρόπο, θα πρέπει να μελετηθούν τόσο τα ίδια τα προϊόντα όσο και η συσκευασία αυτών. Τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής θα καθορίσουν τα σημεία στα οποία θα επικεντρωθεί η μελέτη επιπτώσεων [82].

Παράδειγμα 3: Ένα προϊόν της εταιρείας Β έχει τεθεί υπό κριτική, εξαιτίας περιβαλλοντικών αιτιών. Η δημόσια κριτική έχει προκαλέσει μείωση των πωλήσεων του συγκεκριμένου προϊόντος. Η εταιρεία θεωρεί την κριτική αυτή αδικαιολόγητη και πιστεύει πως η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εν λόγω προϊόντος με τις αντίστοιχες ενός περισσότερο δημοφιλούς ανταγωνιστικού προϊόντος θα αποδείξει πως αυτή η άποψη της είναι ορθή. Η συσκευασία του προϊόντος της εταιρείας Β είναι πανομοιότυπη με τη συσκευασία του εναλλακτικού προϊόντος. Ο σκοπός, λοιπόν, της μελέτης είναι η διενέργεια μίας συγκριτικής απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής μεταξύ των δύο προϊόντων. Η περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής της συσκευασίας δε θα μελετηθούν καθώς και τα δύο προϊόντα έχουν πανομοιότυπες συσκευασίες. Καθώς τα αποτελέσματα της μελέτης θα δημοσιοποιηθούν απαιτείται η εξέτασή της από μία ανεξάρτητη αρχή [82].

#### 4.3.1.2 Καθορισμός των ορίων του συστήματος μελέτης

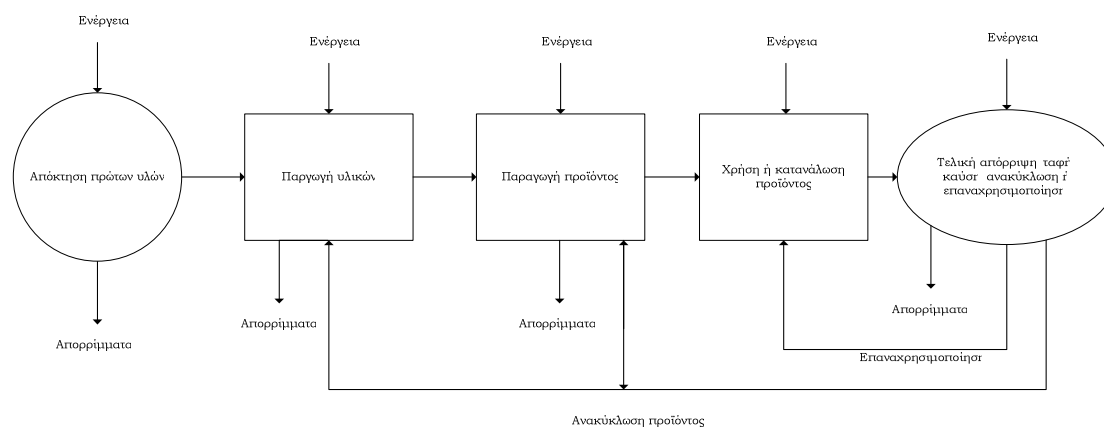
Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος, μίας διεργασίας ή μίας δραστηριότητας μελετάται ως ένα σύστημα. Κάθε λειτουργία σχετική με τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας που μελετώνται περιλαμβάνεται εντός των ορίων του συστήματος. Το περιβάλλον συνιστά το συμπληρωματικό σύνολο του συστήματος. Οι εισοδοί του συστήματος είναι οι φυσικοί πόροι, συμπεριλαμβανομένων και των ενεργειακών πόρων. Ως έξοδοι του συστήματος νοούνται οι ροές ύλης και ενέργειας προς το περιβάλλον (την ατμόσφαιρα, το υδατικό περιβάλλον και το έδαφος). Εφόσον το σύστημα αντιστοιχεί στην κατασκευή και τη χρήση ενός προϊόντος, τότε στις εξόδους περιλαμβάνεται το απορριπτόμενο προϊόν. Ένα τέτοιο σύστημα αναπαριστάται στην ακόλουθη εικόνα [82].





**Σχήμα 21:** Αναπαράσταση ενός συστήματος κύκλου ζωής  
[Πηγή: Curran (1996) [82]]

Τα όρια του συστήματος μίας Α.Κ.Ζ., συχνά, αναπαριστώνται μέσω ενός γενικού διαγράμματος ροής υλικών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 22. Εντός του ορίου του συστήματος περιλαμβάνεται η ανάκτηση πρώτων υλών, η παραγωγή ενδιάμεσων υλικών, η παραγωγή του μελετηθέντος προϊόντος, η χρήση αυτού και η τελική απόρριψή του. Η ανακύκλωση ή η επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος θα πρέπει να περιλαμβάνονται σε μία Α.Κ.Ζ. Τα βέλη που παρουσιάζονται στο διάγραμμα υποδεικνύουν τις ροές εισόδου και εξόδου που σχετίζονται με τη μεταφορά υλικών διαμέσου των επιμέρους σταδίων [82].



**Σχήμα 22:** Γενικό διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής ενός προϊόντος  
[Πηγή: Curran (1996) [82]]

Εξ ορισμού, τα συστήματα μίας Α.Κ.Ζ. είναι ιδιαίτερος πολύπλοκα και σύνθετα. Ακόμη και ο κύκλος ζωής ενός πολύ απλού προϊόντος περιλαμβάνει μία πλειάδα επιμέρους διεργασιών και σταδίων. Αναφέρεται, προς απόδειξη των αναφερθέντων, πως μία τυπική ανάλυση αυτού του είδους περιλαμβάνει 40 έως 50 ξεχωριστές διεργασίες που θα πρέπει να

μελετηθούν [82]. Παραδείγματος χάρη, ένα ολοκληρωμένο σύστημα μελέτης A.K.Z. ενός προϊόντος χάρτου περιλαμβάνει τις διεργασίες αξιοποίησης των φυτικών πόρων (δέντρων), την πρωτογενή επεξεργασία αυτών και τη μεταφορά τους προς μία καρτοβιομηχανία, την ανάκτηση των υπολοίπων πρώτων υλών και τη μετατροπή τους σε χρήσιμα υλικά, τη αξιοποίηση ενεργειακών πόρων, το σύνολο των διεργασιών της καρτοβιομηχανίας για την παραγωγή του τελικού προϊόντος, τη μεταφορά του προϊόντος προς τους καταναλωτές, τη χρήση αυτού, την τελική διαχείριση του ως απόρριμμα (όπου συμπεριλαμβάνεται η ταφή, η καύση ή η ανακύκλωσή του). Ως είναι αντιληπτό, η προαναφερθείσα καταγραφή των επιμέρους σταδίων και διεργασιών είναι ενδεικτική και περιληπτική, αλλά, παρόλ' αυτά, αναδεικνύει τη συνθετότητα ενός ολοκληρωμένου συστήματος κύκλου ζωής [82].

Για την αντιμετώπιση της εν λόγω συνθετότητας συχνά εφαρμόζεται μία κατάτμηση του συστήματος σε επιμέρους, ολοκληρωμένα, πλήρως οριοθετημένα και ευκολότερα διαχειριζόμενα υποσυστήματα. Συχνά αυτά αναφέρονται ως υποσυστήματα από «τη γέννηση μέχρι το σημείο εξόδου» (“cradle to gate”) [82]. Έτσι, στο παράδειγμα που αναφέραμε ανωτέρω ένα υποσύστημα θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα στάδια από την ανάκτηση πρώτων υλών μέχρι τη μεταφορά των, επαγόμενων εξ αυτών, χρήσιμων υλικών στη καρτοβιομηχανία, ενώ κάποιος άλλος θα μπορούσε να περιλαμβάνει το σύνολο των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στη καρτοβιομηχανία εωσότου παραχθεί το τελικό προϊόν [82].

#### 4.3.1.3 Αποκλεισμός σταδίων από την A.K.Z.

Μετά τον καθορισμό των προηγούμενων βημάτων, αυτός που εφαρμόζει μία A.K.Z. έχει τη δυνατότητα να αποκλείσει μερικά στάδια από την εν λόγω μελέτη, με στόχο την απλοποίηση της A.K.Z. Αυτό πρέπει να πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή και μόνο εφόσον έχει μελετηθεί εξονυχιστικά όλο το σύστημα μελέτης. Γενικά, είναι δυνατός ο αποκλεισμός των σταδίων εκείνων που είτε είχαν συμπεριληφθεί στη μελέτη είτε όχι δε θα επηρέαζονταν τα αποτελέσματα αυτής. Για να διαπιστωθεί αν ο αποκλεισμός ενός σταδίου επηρεάζει τα αποτελέσματα της μελέτης, θα πρέπει να προηγηθεί μία πρωταρχική, εις βάθος, έρευνα, με στόχο την κατανόηση της δυνάμενης συνεισφοράς του κάθε σταδίου ή υποσυστήματος στο όλο σύστημα. Παραδείγματος χάρη, σχετικοί πρωταρχικοί υπολογισμοί, συχνά, δείχνουν πως οι ροές εισόδου και εξόδου από την κατασκευή του πάγιου εξοπλισμού και της κτιριακής υποδομής μίας μονάδας παραγωγής ενός προϊόντος δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα μίας απογραφής κύκλου ζωής που αφορά στην παραγωγή του προϊόντος αυτού. Ως εκ τούτου, σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατός ο αποκλεισμός των σταδίων που σχετίζονται με την κατασκευή του πάγιου εξοπλισμού [82].

Επίσης, όταν διενεργείται μία συγκριτική A.K.Z. μεταξύ, για παράδειγμα, δύο προϊόντων, είναι δυνατός ο αποκλεισμός των σταδίων ή των υποσυστημάτων εκείνων που είναι πανομοιότυπα και για τα δύο προϊόντα. Έτσι, όταν μελετώνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής δύο προϊόντων που έχουν την ίδια (ή πανομοιότυπη) συσκευασία, ο αποκλεισμός των σταδίων που σχετίζονται με την τελευταία θα διευκολύνει την υλοποίηση της μελέτης χωρίς, παράλληλα, να μεταβάλλει τα αποτελέσματά της [82].

Είναι πολύ σημαντικό να διευκρινιστεί πως οι απαιτήσεις μίας A.K.Z. είναι διαφορετικές από τις αντίστοιχες μίας απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής. Συχνά, λοιπόν, ενώ ο αποκλεισμός κάποιων σταδίων είναι θεμιτός και επιστημονικά ορθός για την περίπτωση της απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής, κάτι τέτοιο δε συμβαίνει για την

περίπτωση της Α.Κ.Ζ. Δηλαδή, κάποια στάδια που αποκλείονται από την απογραφική ανάλυση κύκλου ζωής θα πρέπει να συμπεριληφθούν όταν διενεργείται μία ανάλυση εκτίμησης επιπτώσεων [82].

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως πολλές φορές ο ίδιος ο σκοπός της μελέτης καθορίζει και τα στάδια που θα συμπεριληφθούν στο σύστημα μελέτης. Για παράδειγμα, μία μελέτη που στοχεύει στην επιλογή της περιβαλλοντικά ορθότερης λύσης για τη διαχείριση στερεών απορριμμάτων, μεταξύ αυτής της ταφής και αυτής της καύσης, μπορεί να συμπεριλάβει μόνο τα στάδια της συλλογής και της διαχείρισης των απορριμμάτων. Εφόσον όμως ο στόχος της μελέτης είναι και η διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ανακύκλωσης των απορριμμάτων αυτών, τότε θα πρέπει να συμπεριληφθούν σχεδόν και όλα τα στάδια που αφορούν στην παραγωγή των προϊόντων. Αυτό είναι πολύ φυσικό αν αναλογιστούμε πως η ανακύκλωση ενός προϊόντος επηρεάζει το σύνολο των διεργασιών που αφορούν στην παραγωγή αυτού (μείωση χρήσης φυσικών πότων και ενέργειας, εναλλακτικές διεργασίες παραγωγής, κ.λπ.) [82].

#### 4.3.1.4 Επιλογή χρονικών και χωρικών ορίων

Επιπροσθέτως, για τον καθορισμό των διεργασιών που θα συμπεριληφθούν στο σύστημα μελέτης μίας Α.Κ.Ζ. θα πρέπει η τελευταία να παρουσιάζει χρονική και χωρική αναφορά. Τα δεδομένα κάθε σταδίου ή υποσυστήματος θα πρέπει να αναφέρονται σε συγκεκριμένα χρονικά και χωρικά όρια [82].

Τα χωρικά όρια είναι πολύ σημαντικά, γιατί οι τεχνολογικές εφαρμογές, οι περιβαλλοντικές και οι λοιπές νομοθεσίες και οι καταναλωτικές συνήθειες διαφέρουν σημαντικά αναλόγως της χωρικής αναφοράς (δηλαδή, μεταξύ διαφορετικών περιοχών, είτε κρατών, είτε μικρότερων υποπεριοχών, ακόμη και πόλεων). Δηλαδή, συχνά είναι λανθασμένη η υιοθέτηση δεδομένων που αφορούν μία περιοχή με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά απ' αυτή για την οποία αναφέρεται η εκάστοτε μελέτη [82]. Παρόμοια ισχύουν και για τη χρονική αναφορά των δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε μία Α.Κ.Ζ. Θα πρέπει, δηλαδή, τα δεδομένα που επιλέγονται να παρουσιάζουν κοινή χρονική αναφορά και να είναι όσο το δυνατόν πιο πρόσφατα.

### 4.3.2 Στάδιο 2<sup>ο</sup>: Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής

Κατά το στάδιο αυτό συλλέγονται όλα τα δεδομένα των ροών που λαμβάνουν χώρα κατά τα επιμέρους στάδια του κύκλου ζωής του μελετηθέντος προϊόντος, τα οποία, εν συνεχεία, συσχετίζονται με τη λειτουργική μονάδα της μελέτης [84]. Κατά την Μ. Α. Curran (1996), μία ολοκληρωμένη απογραφική ανάλυση κύκλου ζωής αποτελείται από τα εξής πέντε επιμέρους στάδια: (1) τον καθορισμό και την οριοθέτηση του συστήματος, (2) τη συλλογή δεδομένων, (3) τη δημιουργία ενός μοντέλου με τη βοήθεια Η/Υ, (4) την ανάλυση και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης, και (5) την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων [82].

#### 4.3.2.1 Καθορισμός και οριοθέτηση συστήματος

Κατά το στάδιο της απογραφής δεδομένων, κάθε προϊόν θα πρέπει να παρουσιάζεται ως ένα σύστημα. Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο από διεργασίες, που συνδέονται είτε υλικά είτε ενεργειακά, το οποίο πραγματοποιεί κάποια καθορισμένη λειτουργία. Το σύστημα διαχωρίζεται από αυτά που το περιβάλλουν μέσω κάποιων ορίων. Ολόκληρη η περιοχή έξω από τα όρια είναι γνωστή ως «το περιβάλλον του συστήματος». Κάθε σύστημα μπορεί να

παρουσιαστεί σαν ένα κουτί, όπου το σύνολο των διεργασιών περικλείεται μέσα σ' αυτό. Το περίγραμμα του κουτιού επισημαίνει τα όρια του συστήματος και διαχωρίζει το σύστημα από το περιβάλλοντα χώρο. Το περιβάλλον του συστήματος είναι η πηγή όλων των ροών που εισέρχονται στο σύστημα και η καταβόθρα όλων των ροών που εξέρχονται απ' αυτό. Η απογραφή δεδομένων είναι μια ποσοτική περιγραφή όλης της ροής μάζας και ενέργειας δια μέσου των ορίων του συστήματος [80].

Το σύστημα θα πρέπει να καθορίζεται, όχι μόνο βάσει της λειτουργίας του, αλλά και αναφορικά με άλλους σχετικούς παράγοντες, όπως πηγές εισερχόμενων, τυχόν ιδιαίτερες παρεκβάσεις της πορείας της εσωτερικής διαδικασίας, γεωγραφικές θεωρήσεις και χρονικά όρια. Οι πηγές δεδομένων για τον υπολογισμό της απογραφής πρέπει να συμφωνούν με αυτούς τους παράγοντες [80].

Για να συλλεχθούν οι εισερχόμενες και οι εξερχόμενες ροές ενός συστήματος, το σύστημα πρέπει να διασπαστεί σε μια αλληλουχία διεργασιών ή υποσυστημάτων. Καθένα από αυτά έχει ως είσοδο την έξοδο μιας διεργασίας που προηγείται, ενώ η έξοδος του υποσυστήματος λογίζεται ως είσοδος για την επόμενη διεργασία που ακολουθεί. Ο βαθμός της υποδιαίρεσης του συνολικού συστήματος σε επιμέρους διεργασίες καθορίζεται συχνά από τη διαθεσιμότητα δεδομένων και τις απαιτήσεις που τίθενται κατά τον προσδιορισμό του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης A.K.Z. [80].

Είναι σημαντικό να προσδιορίζονται με σαφήνεια τα βοηθητικά δεδομένα εισόδου για το υπό μελέτη σύστημα. Οι παραδοχές που έχουν γίνει επί του προκειμένου θα πρέπει να είναι ξεκάθαρα διατυπωμένες στην τελική έκθεση της μελέτης A.K.Z. Τα βοηθητικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί θα πρέπει να εισέρχονται στο σύστημα εξ αρχής και να λογίζονται ως είσοδοι του πρώτου υποσυστήματος (π.χ. της εξόρυξης των πρώτων υλών από το έδαφος). Στις συνολικές εξερχόμενες ροές (από όλα τα υποσυστήματα) θα πρέπει να συνεκτιμώνται αυτές της απόρριψης στο περιβάλλον (π.χ. η ταφή ή η αποτέφρωση θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο σύστημα). Όλες οι διαδικασίες μεταφοράς θα πρέπει, επίσης, να περιλαμβάνονται στο σύστημα [80].

Το συγκεκριμένο επιμέρους στάδιο αποτελεί μία συνέχεια του 1<sup>ου</sup> Σταδίου που αναφέραμε παραπάνω. Στην ουσία, στο σημείο αυτό απαιτείται μία λεπτομερέστερη προσέγγιση. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση που μελετάται ένα προϊόν θα πρέπει να καθορισθεί το βάρος κάθε επιμέρους τμήματος του εν λόγω προϊόντος καθώς και το βάρος της συσκευασίας αυτού. Επίσης θα πρέπει να καθορισθεί η λειτουργική μονάδα. Στην περίπτωση μίας συγκριτικής μελέτης, θα πρέπει να καθορισθεί και η αντιστοιχία των βαρών των μελετηθέντων προϊόντων [82].

Για να αποσαφηνιστεί το συγκεκριμένο στάδιο, θα χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα μία συγκριτικής ανάλυσης μεταξύ του προϊόντων Α και Β. Το προϊόν Α αποτελείται από δύο συστατικά (1 και 2). Η συσκευασία αυτού είναι χαρτοκιβώτιο. Το συστατικό 1 και 2 του προϊόντος έχουν βάρος 0,5 kg και 0,4 kg αντίστοιχα. Το βάρος της συσκευασίας είναι 0,2 kg [82].

Το προϊόν Β αποτελείται από τρία συστατικά (1, 2 και 3), τα οποία είναι όλα διαφορετικά από εκείνα του προϊόντος Α. Η συσκευασία του προϊόντος Β αποτελείται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Το συστατικό 1 έχει βάρος 0,1 kg, το συστατικό 2 0,4 kg και το συστατικό 3 0,6 kg. Η συσκευασία ζυγίζει 0,05 kg. Μέσω επιπρόσθετης έρευνας διαπιστώθηκε πως οι καταναλωτές πρέπει να χρησιμοποιούν 1,5

μονάδα του προϊόντος Α ώστε να επιτύχουν την ίδια λειτουργία με 1 μονάδα του προϊόντος Β [82].

Βάσει αυτών των πληροφοριών, αποφασίστηκε πως τα αποτελέσματα, στην περίπτωση του προϊόντος Α, θα παρουσιαστούν με βάση 15.000 μονάδες (τεμάχια) αυτού, ενώ στην περίπτωση του προϊόντος Β, θα παρουσιαστούν με βάση 10.000 μονάδες. Δηλαδή, η λειτουργική μονάδα για την περίπτωση του προϊόντος Α είναι 15.000 συσκευασμένες μονάδες. Αντίθετα, η λειτουργική μονάδα για την περίπτωση του προϊόντος Β είναι 10.000 συσκευασμένες μονάδες [82]. Βάσει των προαναφερθέντων καθορισμών, τα αποτελέσματα της μελέτης είναι άμεσα συγκρίσιμα.

15.000 τεμάχια προϊόντος Α		10.000 τεμάχια προϊόντος Β	
Συστατικό 1	7.500 kg	Συστατικό 1	1.000 kg
Συστατικό 2	6.000 kg	Συστατικό 2	4.000 kg
		Συστατικό 3	6.000 kg
Χαρτόκουτα	3.000 kg	Συσκευασία HDPE	500 kg

#### 4.3.2.2 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων ξεκινά με την έρευνα για οτιδήποτε είναι σημαντικό στον καθορισμό και την οριοθέτηση του συστήματος. Σε ένα πρώτο επίπεδο, η βιβλιογραφική επισκόπηση είναι σημαντική ώστε να αναγνωρισθούν και να καθορισθούν όλα τα επιμέρους στάδια που λαμβάνουν χώρα κατά τον κύκλο ζωής του μελετηθέντος προϊόντος. Εν συνεχεία θα πρέπει να συλλεχθεί πλήθος δεδομένων (ενέργειας, χρήσης πρώτων υλών, εκπομπές, κ.λπ.) για καθένα από τα επιμέρους στάδια. Πολύ συχνά, τα δεδομένα αυτά δεν είναι διαθέσιμα στη σχετική βιβλιογραφία. Στην περίπτωση αυτή, λοιπόν, θα πρέπει να αναζητηθούν πρωτογενή δεδομένα, γεγονός που συνιστά μία αρκετά επίπονη διαδικασία, ειδικά στην περίπτωση που η εκάστοτε βιομηχανία (στην οποία στρεφόμεστε για την αναζήτηση των δεδομένων) δεν ενδιαφέρεται για την ολοκλήρωση της μελέτης [82]. Στον Πίνακα 12 δίνονται οι βασικότερες κατηγορίες πηγών δεδομένων.

**Πίνακας 17:** Κατηγορίες πηγών δεδομένων

<b>Κατηγορίες πηγών δεδομένων</b>	
Ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων	Διάφορες βάσεις δεδομένων που διατίθενται από εμπορικά και ελεύθερα λογισμικά και διαδικτυακές πηγές σχετικές με την Α.Κ.Ζ.
Βιβλιογραφικά δεδομένα	Επιστημονικά άρθρα, ήδη πραγματοποιηθείσες Α.Κ.Ζ. και λοιπές βιβλιογραφικές πηγές.
Μη (δημοσίως) καταγεγραμμένα δεδομένα	Τα δεδομένα αυτά διατίθενται από εταιρείες, εργαστήρια, οργανισμούς και λοιπές σχετικές πηγές.
Μετρήσεις ή/και υπολογισμοί	Μετρήσεις, υπολογισμοί και εκτιμήσεις δεδομένων στην περίπτωση που δε διατίθενται τα αναγκαία δεδομένα ή που αυτά πρέπει να βελτιωθούν.

[Πηγή: G. Sonnemann (2004) [84]]

Ως είναι ευνόητο, ιδιαίτερη σημασία έχει η ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται και χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο στάδιο της Α.Κ.Ζ. Λόγω της μεγάλης

ανομοιομορφίας των πηγών προέλευσης (π.χ. χωρικής, χρονικής, τεχνολογικής ανομοιομορφίας) και της ευρύτητας του αντικειμένου, τα δεδομένα παρουσιάζουν, συχνά, σημαντικές διαφοροποιήσεις. Η χρήση ακατάλληλων δεδομένων είναι δυνατόν να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση της ανακύκλωσης χαρτιού που εφαρμόζεται λεύκανση, αν κάποιος στηριζόταν σε παλαιά στοιχεία (ειδικά προ της δεκαετίας του '80) θα θεωρούσε πως ως λευκαντικό χρησιμοποιείται χλώριο και, κατ' επέκταση, θα διαπίστωνε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα εκρέοντα υγρά απόβλητα. Θα κατέληγε, δηλαδή, σε λανθασμένα συμπεράσματα αφού σήμερα η χρήση του χλωρίου έχει περιορισθεί σε σημαντικό βαθμό και ως εκ τούτου έχει μειωθεί το ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων.

Δείκτες που καθορίζουν την ποιότητα των δεδομένων όπως η ακρίβεια, η πληρότητα, η αντιπροσωπευτικότητα και η αναπαραγωγιμότητα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε βαθμό που εξαρτάται από τον σκοπό της μελέτης και τις αντικειμενικές δυνατότητες πραγμάτωσής της [84].

#### 4.3.2.3 Δημιουργία ενός μοντέλου με τη βοήθεια Η/Υ

Τα πρώτα χρόνια εφαρμογών τέτοιων μελετών δε χρησιμοποιούνταν Η/Υ. Εντούτοις, η διαχείριση ενός τεράστιου αριθμού δεδομένων που, συχνά, απαιτείται κατά την πραγμάτωση μίας απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής και, παράλληλα, η ραγδαία ανάπτυξη των Η/Υ έχει καταστήσει, σήμερα, συχνή (αν όχι αναγκαία) την αξιοποίηση διάφορων λογισμικών για την ευκολότερη ολοκλήρωση των μελετών αυτών. Είναι δυνατή η χρήση είτε υπολογιστικών φύλλων είτε ειδικών λογισμικών προγραμμάτων.

Στην αγορά διατίθενται πολλά λογισμικά προγράμματα που μπορούν να υποστηρίξουν το μεθοδολογικό εργαλείο της Α.Κ.Ζ. Αυτά παρουσιάζουν πολλές διαφορές και ανταποκρίνονται σε διαφορετικές ανάγκες χρηστών. Τα συγκεκριμένα λογισμικά προγράμματα μπορούν να διακριθούν στις εξής τέσσερις βασικές κατηγορίες<sup>37</sup>:

1. Λογισμικά υποστήριξης της απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται λογισμικά όπως τα Boustead Model, Euklid και JEM-LCA [84].

2. Λογισμικά υποστήριξης ολοκληρωμένης Α.Κ.Ζ.: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται λογισμικά προγράμματα που μπορούν να υποστηρίξουν και το στάδιο της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, γεγονός που δεν είναι δυνατό με τη χρήση των προηγούμενων προγραμμάτων. Τα εν λόγω προγράμματα διαφέρουν τόσο ως προς τον όγκο των περιεχόμενων βάσεων δεδομένων όσο και ως προς τα λειτουργικά τους στοιχεία. Στα χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων προγραμμάτων περιλαμβάνονται τα EDIP LCA, LCAiT, GaBi, LCAdvantage, PEMS, Simapro, TEAM και Umberto [84].

3. Απλουστευμένα λογισμικά υποστήριξης ολοκληρωμένης Α.Κ.Ζ.: Επειδή τα προηγούμενα λογισμικά συστήματα απαιτούν την εισαγωγή ενός τεράστιου πλήθους δεδομένων συνεπάγεται πως συχνά η χρήση αυτών καθίσταται χρονοβόρα και, ακόμη, αρκετά κοστοβόρα. Για την άμβλυνση των συγκεκριμένων προβλημάτων έχουν σχεδιασθεί προγράμματα με τις ίδιες, περίπου, δυνατότητες αλλά που παρουσιάζουν λιγότερες απαιτήσεις από το χρήστη. Δηλαδή, τα προγράμματα αυτής της κατηγορίας συνιστούν απλούστερα και χρηστικότερα προγράμματα εκ των αναφερθέντων στην προηγούμενη

---

<sup>37</sup> Ο ενδιαφερόμενος μπορεί να αναζητήσει περισσότερες πληροφορίες περί των διατιθέμενων λογισμικών προγραμμάτων στους G. Sonnemann et al. (2004) (βλ. βιβλιογραφική παραπομπή 84).

κατηγορία. Σ' αυτά περιλαμβάνονται τα Eco Indicator '95, MET matrices method και AT&T product improvement matrix and target plot [84].

4. Ειδικά λογισμικά συστήματα Α.Κ.Ζ.: Στην κατηγορία αυτά περιλαμβάνονται λογισμικά προγράμματα που ειδικεύονται σε συγκεκριμένα προϊόντα. Τα περισσότερα εξ αυτών εστιάζονται σε προϊόντα που αφορούν τον τομέα των συσκευασιών, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να προσαρμοστούν σε ένα μεγαλύτερο εύρος προϊόντων. Τέτοια προγράμματα είναι τα ECOPACK 2001-06-22, Ecopro 1.4, KCL, ECO, EIME και WIZARD [84].

#### 4.3.2.4 Ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης

Η ανάλυση και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο σε μία μελέτη απογραφής κύκλου ζωής. Κυρίως εξαρτώνται από το σκοπό της μελέτης και το στόχο αυτών που θα λάβουν τις τελικές αποφάσεις. Παραδείγματος χάρη, μία εταιρεία παραγωγής καταναλωτικών προϊόντων που ενδιαφέρεται να επιλέξει μεταξύ δύο συσκευασιών θα απαιτούσε, πιθανώς, μία συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης. Αντίθετα, μία εταιρεία η οποία ενδιαφέρεται για τη συνεισφορά κάθε επιμέρους διεργασίας στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός συγκεκριμένου προϊόντος θα απαιτούσε μία αρκετή λεπτομερή παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Φυσικά σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να παραλείπεται καμία από τις σημαντικές πληροφορίες της μελέτης, καθώς πολλές φορές η απόφαση που λαμβάνεται με γνώμονα το σύνολο των πληροφοριών της μελέτης είναι δυνατόν να διαφέρει από την απόφαση που λαμβάνεται έχοντας υπόψη μόνο συνοπτικές πληροφορίες [82].

Για να γίνουν περισσότερο κατανοητά τα προαναφερθέντα θα αναφέρουμε ένα υποθετικό παράδειγμα κατά το οποίο η λήψη αποφάσεων για την επιλογή ενός εκ των προϊόντων Α και Β στηρίζεται στην ενεργειακή κατανάλωση του κύκλου ζωής εκάστου εξ αυτών. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας ήταν 21.000 kWh στην περίπτωση του προϊόντος Α και 27.000 kWh στην περίπτωση του προϊόντος Β. Αν η λήψη της απόφασης στηριζόταν στα συγκεκριμένα δεδομένα, τότε, φυσικά, θα προτιμώταν το προϊόν Α. Όμως αν λαμβάνονταν υπόψη πληροφορίες που αφορούν τα είδη των καταναλισκόμενων ενεργειακών πηγών και τον καταμερισμό αυτών σε κάθε επιμέρους στάδιο του κύκλου ζωής των προϊόντων είναι πιθανό να καταλήγαμε σε διαφορετική επιλογή [82].

Είναι σαφές, λοιπόν, πως η ανάλυση και η παρουσίαση των πληροφοριών και των αποτελεσμάτων της μελέτης είναι πολύ σημαντική ώστε να υποστηριχθεί καταλλήλως η λήψη αποφάσεων. Το επίπεδο λεπτομέρειας των πληροφοριών των σχετικών με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (κατανάλωση πρώτων υλών και ενέργειας, αέριες εκπομπές, υγρά απόβλητα, στερεά απορρίμματα) τους μελετηθέντος προϊόντος ή διεργασίας καθορίζονται από τον σκοπό και το στόχο αυτής, αλλά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπολείπονται ως προς την αρτιότητά τους.

Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως το 2001 ο Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης αποφάσισε να εκδώσει τεχνικές προδιαγραφές (ISO 14048, 2001) που περιγράφουν τη μορφή παρουσίασης και τεκμηρίωσης των δεδομένων της απογραφής του κύκλου ζωής. Η μορφή αυτή δομείται σε τρεις υποπεριοχές: στη διεργασία (περιγραφή διεργασίας, εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές), στη μοντελοποίηση και στον έλεγχο και στη διαχειριστική πληροφορία (administrative information). Βάσει των προδιαγραφών αυτών καθορίζεται και το είδος των μεταδεδομένων που θα πρέπει να αναφέρονται παράλληλα με

τα αποτελέσματα του σταδίου της απογραφής του κύκλου ζωής. Απαιτούνται λεπτομερείς πληροφορίες, όπως η χρονική και χωρική αναφορά των δεδομένων, η περιγραφή της εκάστοτε τεχνολογίας που εμπίπτει στο μελετηθέν σύστημα, κ.λπ. [154]

#### 4.3.2.5 Ερμηνεία αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων

Μετά την ολοκλήρωση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων στην επιθυμητή μορφή, είναι δυνατόν να λάβει χώρα η ερμηνεία αυτών καθώς και η εξαγωγή των σχετικών συμπερασμάτων. Τα συμπεράσματα της μελέτης συνήθως εστιάζονται στο προϊόν, στη διεργασία ή στη δραστηριότητα που μελετήθηκε. Συνήθως, αυτά είναι έγκυρα και αντιπροσωπευτικά μόνο για τη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης. Η γενίκευση αυτών ελλοχεύει πολλούς κινδύνους αστοχίας και ως εκ τούτου πρέπει να διενεργείται με μεγάλη προσοχή [82].

### 4.3.3 Στάδιο 3ο: Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής

Κατά το πέρας της απογραφικής ανάλυσης κύκλου ζωής καλούμαστε να διαχειριστούμε και να εκτιμήσουμε πλήθος πληροφοριών που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (κατανάλωση πρώτων υλών και ενέργειας, αέριες εκπομπές, υγρά απόβλητα, στερεά απορρίμματα). Οι πληροφορίες αυτές είναι σε μορφή ποσοτικών δεδομένων είτε των ρυπαντικών φορτίων είτε της κατανάλωσης πρώτων υλών και ενέργειας. Το πλήθος αυτών των δεδομένων είναι πολύ μεγάλο, ειδικά στις περιπτώσεις των αέριων εκπομπών και του ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. Σε συνήθεις περιπτώσεις ο αριθμός των δεδομένων αυτών περιλαμβάνει 20 με 30 χημικές ενώσεις. Όμως, οι σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν καθίστανται γνωστές [82,84].

Παραδείγματος χάρη, είναι γνωστό πως αέριοι ρύποι όπως το SO<sub>2</sub>, το NO<sub>2</sub> και το HCl είναι οι βασικοί υπαίτιοι για το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η ικανότητα των συγκεκριμένων ρύπων να προκαλούν οξίνιση της ατμόσφαιρας μπορεί να υπολογιστεί από τη δυνατότητά τους να παράγουν ιόντα υδρογόνου (H<sup>+</sup>). Με τη χρήση, λοιπόν, ενός συντελεστή, η συγκέντρωση των ρύπων αυτών μπορεί να «μεταφραστεί» σε τιμές συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου, οι οποίες αποτελούν μέτρο της δυνατότητας οξίνισης των συγκεκριμένων ρύπων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η αντιστοίχιση των τιμών των ρύπων με την περιβαλλοντική επίπτωση που αυτοί επιφέρουν. Παρόμοια ισχύουν και για τους ρύπους: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> και αλογονάνθρακες, κ.λπ. οι οποίοι σχετίζονται με το φαινόμενο της όξυνσης του φαινομένου θερμοκηπίου και μετατρέπονται σε ισοδύναμες τιμές CO<sub>2</sub>, ούτως ώστε αυτοί να συσχετιστούν με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους [84].

Το γενικό πλαίσιο του συγκεκριμένου σταδίου αποτελείται από διάφορα υποχρεωτικά βασικά βήματα μέσω των οποίων τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων κύκλου ζωής μετατρέπονται σε αποτελέσματα-δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπροσθέτως, υπάρχουν και μερικά προαιρετικά βήματα που έχουν ως στόχο την κανονικοποίηση, την ομαδοποίηση, την στάθμιση των αποτελεσμάτων-δεικτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανάλυση της ποιότητας των δεδομένων [84]. Πρέπει να σημειωθεί πως το στάδιο της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι υπό ανάπτυξη και, ως εκ τούτου, δεν υπάρχουν κοινά αποδεκτές μεθοδολογίες [80].

Παραδείγματος χάρη, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ISO (ISO 14042, 2002) τα υποχρεωτικά βασικά βήματα του σταδίου της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι τα εξής: η επιλογή κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η ταξινόμηση των



πληροφοριών της απογραφικής ανάλυσης κύκλου ζωής στις προαναφερθείσες κατηγορίες και ο χαρακτηρισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω ενός ρύπου αναφοράς ανά κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων [84]. Αντίθετα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία της SETAC προτείνονται τα εξής βασικά βήματα: η ταξινόμηση, ο χαρακτηρισμός και η αξιολόγηση [82].

#### 4.3.3.1 Ταξινόμηση

Το πρώτο βήμα του σταδίου της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σύμφωνα με τη SETAC, είναι η ταξινόμηση. Αυτή συνιστά μία διεργασία μέσω της οποίας τα αποτελέσματα της απογραφικής ανάλυσης κύκλου ζωής αντιστοιχίζονται και συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων επιλέγονται σύμφωνα με τις ανάγκες και τους στόχους της εκάστοτε μελέτης. Σύμφωνα με τη SETAC, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να διακριθούν στα εξής τέσσερα «γενικά επίπεδα προστασίας»: (1) της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος (ή του οικοσυστήματος), (2) της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής (συμπεριλαμβανομένης της υγείας), (3) της εξάντλησης των φυσικών πόρων, και (4) της κοινωνικής ευημερίας. Σε ότι αφορά το τελευταίο επίπεδο, παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα και διαφωνίες κατά την πράξη [84]. Σε κάθε ένα από τα ανωτέρω τέσσερα «γενικά επίπεδα προστασίας» εντάσσονται διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μπορούν να διακριθούν, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 18, σε αυτές που σχετίζονται με τις ροές εισόδου (κατανάλωση πρώτων υλών και ενέργειας) του μελετηθέντος συστήματος και σε αυτές που σχετίζονται με τις ροές εξόδου (αέριες εκπομπές, υγρά απόβλητα, στερεά απορρίμματα). Μερικές από αυτές έχουν επίδραση σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ άλλες σε τοπικό επίπεδο.

**Πίνακας 18:** Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δυνατοί δείκτες

<b>Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δυνατοί δείκτες</b>	
<b>Κατηγορίες</b>	<b>Δυνατός δείκτης</b>
<b>Κατηγορίες σχετικές με τις ροές εισόδου</b>	
Εξάντληση αβιοτικών πόρων	Ποσοστό εξάντλησης πόρων
Εξάντληση βιοτικών πόρων	Ποσοστό αναπλήρωσης
<b>Κατηγορίες σχετικές με τις ροές εξόδου</b>	
Κλιματική αλλαγή	Ισοδύναμα kg CO <sub>2</sub>
Καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος	Ισοδύναμα kg CFV-11
Τοξικότητα σε ανθρώπους	Δυναμικό τοξικότητας σε ανθρώπους (HTP)
Οικοτοξικότητα	Υδατικό δυναμικό οικοτοξικότητας (AETP)
Φωτοοξειδωτικός σχηματισμός	Ισοδύναμα kg αιθυλενίου
Οξίνιση	Ισοδύναμα H <sup>+</sup>
Ευτροφισμός	Ισοδύναμο στοιχειομετρικό άθροισμα μακροθρεπτικών

[Πηγή: G. Sonnemann et al. (2004) [84]]

Κλιματική αλλαγή: Δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP)

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι όρος που πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τον Γάλλο μαθηματικό Fourier στα μέσα του 19ου αιώνα, για να περιγράψει τη συσσώρευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα της Γης εξαιτίας της ύπαρξης αερίων ικανών να απορροφήσουν ακτινοβολίες σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου ήρθε στην πρώτη γραμμή των θεμάτων της επιστημονικής κοινότητας το 1957, όταν δημοσιεύθηκε τα αποτελέσματα της έρευνας του Revelle<sup>38</sup>, όπου παραθέτονταν ποσοτικοποιημένα η αλματώδης αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης και ύστερα [86]. Ο Revelle ανέφερε χαρακτηριστικά, για την κλιματική αλλαγή τα εξής [86]:

*...Το ανθρώπινο γένος εκτελεί σήμερα ένα γεωφυσικό πείραμα μεγάλης κλίμακας, που όμοιο του δεν μπορούσε να υπάρξει στο παρελθόν και ούτε μπορεί να επαναληφθεί στο μέλλον. Μέσα σε διάστημα λίγων αιώνων έχουμε απελευθερώσει στην ατμόσφαιρα και στον ωκεανό τον συμπυκνωμένο οργανικό άνθρακα που ήταν αποθηκευμένος σε ιζηματογενή πετρώματα για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια....*

Σήμερα η όξυνση του φαινομένου αυτού συνιστά ένα πρόβλημα μείζονος σημασίας για όλη την ανθρωπότητα. Πολλά από τα συστατικά των αερίων εκπομπών που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι υπεύθυνα για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτά κατά φθίνουσα σειρά<sup>39</sup> σημαντικότητας είναι τα εξής: το CO<sub>2</sub>, το CH<sub>4</sub>, το N<sub>2</sub>O και οι αλογονοάνθρακες (δηλαδή, οι υδρογονάνθρακες που περιέχουν χλώριο, φθόριο ή βρώμιο).

**Πίνακας 19:** Δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου

Δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου συναρτήσει χρονικού οριζοντα				
Αέριο	Χρόνος ζωής	Δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (kg eq. CO <sub>2</sub> /kg αερίου)		
		20 έτη	100 έτη <sup>40</sup>	500 έτη
CO <sub>2</sub>	150	1	1	1
CH <sub>4</sub>	14,5	62	24,5	7,5
N <sub>2</sub> O	120	290	320	180

[Πηγή: G. Sonnemann et al. (2004) [84]]

Η Διακρατική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC-Intergovernmental Panel of Climate Change) έχει αναπτύξει ένα σύστημα στάθμισης των διαφόρων αερίων του θερμοκηπίου αναλόγως της δραστηκότητάς τους. Το συγκεκριμένο σύστημα κατηγοριοποιεί τα συγκεκριμένα αέρια αναλόγως του δυναμικού τους στην όξυνση του φαινομένου του

<sup>38</sup> Roger Randall Dougan Revelle (1909-1991): Εκ των πρώτων επιστημόνων που μελέτησαν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών.

<sup>39</sup> Η σειρά αυτή δεν πρέπει να συχέεται με τη δραστηκότητα των συγκεκριμένων ενώσεων στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Παραδείγματος χάρη, παρότι το CH<sub>4</sub> είναι περίπου 21 φορές δραστηκότερη ένωση από το CO<sub>2</sub>, σε ότι αφορά την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, κατατάσσεται δεύτερο (με πρώτο το CO<sub>2</sub>) από άποψη σημαντικότητας.

<sup>40</sup> Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC, οι αντίστοιχοι συντελεστές για χρονική περίοδο αναφορά είναι 21 kg eq. CO<sub>2</sub>/kg CH<sub>4</sub> και 310 kg eq. N<sub>2</sub>O/kg CH<sub>4</sub>.

θερμοκηπίου (GWP-Global Warming Potential). Ως βάση αναφοράς για το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου επιλέχθηκε το διοξείδιο του άνθρακα. Το δυναμικό αυτό υπολογίζεται ως το πηλίκο της προσδοκώμενης συνεισφοράς μίας συγκεκριμένης ποσότητας του εκπεμπόμενου αερίου στην υπερθέρμανση, για συγκεκριμένη χρονικό ορίζοντα, προς την αντίστοιχη συνεισφορά ίδιας ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα. Πολλαπλασιάζοντας, λοιπόν, μία δοθείσα ποσότητα ενός αερίου του θερμοκηπίου με το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται η αντιστοίχιση αυτής με μία ισοδύναμη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα [84].

#### Καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προκαλέσει την αύξηση εκπομπής διαφόρων αλογονανθράκων, κυρίως χλωροφθορανθράκων (CFCs), τετραχλωρομεθανίου, 1,1,1-τριχλωροαιθανίου, μεθυλοβρωμιδίου, κ.ά, τα οποία είναι υπεύθυνα για την καταστροφή του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Κοινό χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων ενώσεων είναι το ότι είναι χημικώς σταθερές και ως εκ τούτου παραμένουν και συσσωρεύονται για μακρά χρονική περίοδο στην στρατόσφαιρα, όπου με τη βοήθεια της υπεριώδους ακτινοβολίας ελευθερώνεται τα περιεχόμενα αλογόνα τα οποία, εν συνεχεία, διασπούν το όζον [84]. Η μείωση της συγκέντρωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη εισροή των υπεριωδών ακτινοβολιών στην επιφάνεια της γης με αρνητικές συνέπειες τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το φυσικό περιβάλλον.

Στον Πίνακα 20 δίνεται μία λίστα συντελεστών για τον υπολογισμό του δυναμικού καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος διαφόρων χημικών ενώσεων, εκφρασμένου σε ισοδύναμα kg CFC-11 (Freon 11).

#### Τοξικότητα σε ανθρώπους

Χημικές ενώσεις όπως τα βαρέα μέταλλα, οι πτητικές χημικές ενώσεις και άλλες συχνά συνιστούν ρύπους ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν σε αυτές είτε άμεσα (μέσω της εισπνοής ή της πόσης νερού) είτε έμμεσα (μέσω της κατανάλωσης τροφών). Οι ενώσεις αυτές παρουσιάζουν υψηλή τοξικότητα, χαμηλή βιοαποδομησιμότητα και τάση βιοσυσσώρευσης. Αντίθετα με τις περιπτώσεις των προηγούμενων κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (κλιματική αλλαγή, καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος), δεν έχουν θεσπιστεί παγκόσμιος και κοινά αποδεκτοί συντελεστές ισοδυναμίας του δυναμικού τοξικότητας σε ανθρώπους των σχετικών ρύπων.

Ένας δείκτης που συχνά χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επίδρασης των εν λόγω ρύπων στην ανθρώπινη υγεία είναι το δυναμικό τοξικότητας σε ανθρώπους (HTP-Human Toxicity Potential) (βλ. Πίνακα 21). Επίσης έχουν αναπτυχθεί και βελτιωμένες μέθοδοι καθορισμού του δυναμικού τοξικότητας σε ανθρώπους. Παράδειγμα συνιστά η μέθοδος EDIP (Danish Environmental Design of Industrial Products), στην οποία το δυναμικό τοξικότητας σε ανθρώπους μετράται σε m<sup>3</sup> και εκφράζει τον όγκο αέρα στον οποίο πρέπει να διαλυθεί μία από τις ενώσεις (που εμπίπτουν στη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων), ούτως ώστε να καθίσταται μη τοξική [84].

**Πίνακας 20:** Χαρακτηριστικές τιμές δυναμικού καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος

<b>Χαρακτηριστικές τιμές δυναμικού καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος</b>		
<b>Χημικές ενώσεις</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Τιμή</b>
1,1,1-τριχλωροαιθάνιο	kg	$1,20 \cdot 10^1$
CFC (hard)	kg	1,00
CFC (soft)	kg	$5,50 \cdot 10^{-2}$
CFC-11	kg	1,00
CFC-113	kg	1,07
CFC-114	kg	$8,00 \cdot 10^{-1}$
CFC-115	kg	$5,00 \cdot 10^{-1}$
CFC-12	kg	1,00
CFC-13	kg	1,00
Halon-1201	kg	1,40
Halon-1202	kg	1,25
Halon-1211	kg	4,00
Halon-1301	kg	$1,60 \cdot 10^1$
Halon-2311	kg	$1,40 \cdot 10^{-1}$
Halon-2401	kg	$2,50 \cdot 10^{-1}$
Halon-2402	kg	7,00
HCFC-123	kg	$2,00 \cdot 10^{-2}$
HCFC-124	kg	$2,20 \cdot 10^{-2}$
HCFC-141b	kg	$1,10 \cdot 10^{-1}$
HCFC-142b	kg	$6,50 \cdot 10^{-2}$
HCFC-22	kg	$5,50 \cdot 10^{-2}$
HCFC-225ca	kg	$2,50 \cdot 10^{-2}$
HCFC-225cb	kg	$3,30 \cdot 10^{-2}$
Μεθυλοβρωμίδιο	kg	$6,00 \cdot 10^{-1}$

[Πηγή: G. Sonnemann et al. (2004) [84]]

Οικοτοξικότητα

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται ρύποι όπως τα τοξικά βαρέα μέταλλα (Cd, Pb, Mg), οι διοξίνες, τα φουράνια, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, το πολυβινυλοχλωρίδιο κ.ά. Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η μικρή βιοαποδομησιμότητά τους και η τάση τους να βιοσυσσωρεύονται. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης κατηγορίας μελετάται η επίδραση των προαναφερθέντων ρυπίων όχι σε έναν οργανισμό (όπως στην περίπτωση της κατηγορίας της τοξικότητας σε ανθρώπους) αλλά σε ένα ευρύτερο σύνολο (πανίδα, χλωρίδα ή ένα ενιαίο οικοσύστημα). Αυτό καθιστά την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συγκεκριμένης κατηγορίας αρκετά δύσκολη [84].

Φωτοοξειδωτικός σχηματισμός

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αυξάνουν τις αέριες συγκεντρώσεις φωτοοξειδωτικών ενώσεων, οι οποίες προσβάλλουν την υγεία των ανθρώπων και των υπολοίπων έμβιων οργανισμών. Οι ενώσεις αυτές παράγονται από την φωτοχημική οξείδωση οργανικών πτητικών ενώσεων και μονοξειδίου του άνθρακα, που εκπέμπονται στην τροπόσφαιρα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι φωτοοξειδωτικές αυτές ενώσεις συχνά παράγονται όταν οι πτητικές οργανικές ενώσεις αντιδρούν με ρίζες υδροξυλίου και οξείδια αζώτου. Εκ των σημαντικότερων φωτοοξειδωτικών ενώσεων συνιστούν το όζον και το ακετυλονιτρικό υπεροξύ (PAN). Η μετατροπή των πτητικών οργανικών ενώσεων και του μονοξειδίου του άνθρακα σε όζον απαιτεί, εκτός της παρουσίας δραστικών ενώσεων οξυγόνου, την παρουσία ηλιακής

ακτινοβολίας και οξειδίων αζώτου, που παρουσιάζουν καταλυτική δράση. Το δυναμικό συνεισφοράς στο σχηματισμό όζοντος περιγράφεται από την μέγιστη αυξητική δραστηριότητα (MIR-maximum incremental reactivity) στην αμερικάνικη βιβλιογραφία και από το δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (PCP-photochemical ozone creation potential) στην Ευρώπη [84].

**Πίνακας 21:** Δυναμικό τοξικότητας σε ανθρώπους βάσει της μεθόδου EDIP

<b>Δυναμικό τοξικότητας σε ανθρώπους βάσει της μεθόδου EDIP</b>	
Ρύπος	EDIP (m <sup>3</sup> /kg)
As	9,5·10 <sup>9</sup>
Βενζοπυρένιο	5,0·10 <sup>10</sup>
Cd	1,1·10 <sup>11</sup>
Ni	6,7·10 <sup>7</sup>
NO <sub>x</sub>	2,0·10 <sup>6</sup>
SO <sub>2</sub>	1,3·10 <sup>6</sup>

[Πηγή: G. Sonnemann et al. (2004) [84]]

### Οξίνιση

Κατά την καύση υδρογονανθράκων που περιέχουν ενώσεις του θείου και του αζώτου εκπέμπονται οξείδια αζώτου και διοξείδιο του θείου. Οι ενώσεις αυτές αντιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και μετατρέπονται σε νιτρικό και θειικό οξύ, αντίστοιχα. Εν συνεχεία αυτές οι ενώσεις εναποτίθενται, μέσω της βροχής, στην επιφάνεια του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως όξινη βροχή, προκαλεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Μεταβάλλει την οξύτητα των χειρσαίων και των υδατικών οικοσυστημάτων με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η ισορροπία τους. Η καταστροφή δασικών εκτάσεων, η θανάτωση ζωικών οργανισμών (π.χ. ψαριών) και η διάβρωση υλικών (π.χ. η γυψοποίηση των μαρμάρων) συνιστούν τα συχνότερα παραδείγματα τέτοιων επιπτώσεων.

Στον Πίνακα 22 παρατίθενται οι τιμές του δυναμικού οξίνισης διαφόρων χημικών ενώσεων.

### Ευτροφισμός

Η μετατροπή ενός υδατικού οικοσυστήματος από την κατάσταση του ολιγοτροφισμού σ' αυτή του ευτροφισμού είναι μία φυσική, αναπόφευκτη διαδικασία που πραγματοποιείται με μικρή ταχύτητα σε διάστημα συνήθως αιώνων και χιλιετιών. Πραγματοποιείται με τη βοήθεια των επιφανειακών απορροών που παρασύρουν, προς τα υδατικά οικοσυστήματα (ποταμούς, λίμνες και θάλασσες), φωσφορικά αποσαθρωμένων πετρωμάτων, άλλα φυσικά θρεπτικά και νεκρή οργανική ύλη που με την αποσύνθεσή της αποδίδει τα ανόργανα θρεπτικά [90].

Ο χαρακτηρισμός ενός υδατικού οικοσυστήματος ως ευτροφικό εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο). Η συγκέντρωση των θρεπτικών σε τιμές άνω του φυσιολογικού έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη της ισορροπίας του υδατικού οικοσυστήματος. Η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου είναι η βασικότερη επίπτωση του συγκεκριμένου φαινομένου, το οποίο συχνά συνοδεύεται με την

ταπείνωση της διαύγειας των νερών και τη μείωση της ποικιλίας των ειδών των ψαριών. Σε ακραίες εντάσεις του φαινομένου, το υδατικό οικοσύστημα καταρρέει ολοκληρωτικά. Παραδείγματος χάρη, η υπέρμετρη ανάπτυξη αλγών και ανώτερων μορφών φυτικής ζωής καθιστά την επιβίωση των ανωτέρω οργανισμών αδύνατη.

Σήμερα, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των εν λόγω θρεπτικών συστατικών. Τα αστικά λύματα είναι υπεύθυνα για την αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου, ενώ οι απορροές από τις γεωργικές δραστηριότητες (λιπασματοποίηση) για την αύξηση της συγκέντρωσης των αζωτούχων ενώσεων [84].

**Πίνακας 22:** Δυναμικό οξίνισης διαφόρων χημικών ενώσεων

<b>Δυναμικό οξίνισης διαφόρων χημικών ενώσεων</b>	
<b>Χημική ένωση</b>	<b>Δυναμικό οξίνισης (kg SO<sub>2</sub> eq/kg χημικής ένωσης)</b>
Αμμωνία (NH <sub>4</sub> )	1,88
Υδροχλωρικό οξύ (HCl)	0,88
Υδροφθορικό οξύ (HF)	1,6
Οξειδίο αζώτου (NO)	1,07
Διοξειδίο αζώτου (NO <sub>2</sub> )	0,7
Οξειδία αζώτου (NO <sub>x</sub> )	0,7
Διοξειδίο του θείου (SO <sub>2</sub> )	1
Οξειδία θείου (SO <sub>x</sub> )	1
Τριοξειδίο του θείου (SO <sub>3</sub> )	0,8
Νιτρικό οξύ (HNO <sub>3</sub> )	0,51
Θειικό οξύ (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,65
Φωσφορικό οξύ (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	0,98
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)	1,88

[Πηγή: J. B. Guinée et al. (2004) [83]]

#### **4.3.4 Στάδιο 4ο: Εκτίμηση βελτιώσεων**

Η SETAC ορίζει την εκτίμηση βελτιώσεων ως εξής: «Η εκτίμηση βελτιώσεων αποτελεί μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντων, διεργασιών και υπηρεσιών. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και τον σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων» [89].

Σύμφωνα με την Α. Μπούρα (1998), η απογραφή δεδομένων χρησιμοποιείται για να «αποκαλύψει» σημεία που επιδέχονται βελτίωση. Είσοδοι και έξοδοι βελτιωμένης αποδοτικότητας (όπως μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας ή αύξηση της παραγωγής) καθώς και έξοδοι που λαμβάνουν υπόψη τους περιβαλλοντικά κριτήρια (όπως περιορισμένη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και λιγότερες εκπομπές) μπορούν να προσφέρουν δυνατότητες που λαμβάνουν υπόψη τους την περιβαλλοντική βελτίωση ανά λειτουργική μονάδα. Σύμφωνα με την τεχνική επιτροπή BSI (British Standards Institution), η εκτίμηση βελτιώσεων δεν αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας που μπορεί να τυποποιηθεί, όσο κάθε μία

και όλες μαζί οι εφαρμογές της Α.Κ.Ζ. διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Με αυτή την υπόθεση, δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες που μπορούν να εφαρμοσθούν εδώ. Κοινό τόπο αποτελεί η αρχή «ότι μπορεί να μετρηθεί, μπορεί να διαχειριστεί» αλλά και να βελτιωθεί [80].

#### **4.3.5 Συγκέντρωση αποτελεσμάτων Α.Κ.Ζ.**

Η συγκέντρωση ή άθροιση (aggregation) των αποτελεσμάτων αποτελεί αναγκαιότητα για τις μελέτες Α.Κ.Ζ. Αντικείμενό της συνιστά η σύμπληξη των πολύπλοκων και πολυδιάστατων αποτελεσμάτων που προκύπτουν κατά το στάδιο της απογραφικής ανάλυσης δεδομένων και τα οποία περιγράφουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή της δραστηριότητας, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκτίμηση των επιπτώσεων αυτών. Η ιδανική κατάληξη της συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων είναι εκείνη η οποία οδηγεί σε μία και μόνο αριθμητική παράμετρο: την «οικολογική παράμετρο» (“eco-number” ή «eco-point»). Στόχος της παραμέτρου αυτής είναι να εκφράζει το άθροισμα όλων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [93].

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων σε λίγες ή και σε μία μόνο παράμετρο είναι ο κίνδυνος ελάττωσης της ακρίβειας του αποτελέσματος καθώς είναι πολύ πιθανή η απώλεια πληροφοριών, δεδομένου ότι είναι σχεδόν αδύνατον να συμπεριληφθούν σε ένα και μόνο αριθμό όλες οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν κατά το στάδιο της απογραφής δεδομένων. Το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η ύπαρξη μιας τέτοιας οικολογικής παραμέτρου θα συντελέσει στο να γίνουν τα αποτελέσματα των μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής πιο σαφή, προσιτά και κυρίως εύκολα στη διαχείριση. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί αρκετές προσπάθειες ανάπτυξης τεχνικών συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων απογραφής δεδομένων στην Α.Κ.Ζ. Οι σημαντικότερες από αυτές, οι οποίες επιχειρούν να συγκεντρώσουν τα αποτελέσματα είτε σε λίγες παραμέτρους (eco-profile) είτε σε μία μόνο παράμετρο (eco-point), είναι οι ακόλουθες [93]:

Μέθοδος EMPA: η μέθοδος αυτή η οποία αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται από το Ελβετικό Εργαστήριο Δοκιμών των Υλικών και Έρευνας, είναι μία χαμηλού επιπέδου τεχνική συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων. Τα στοιχεία τα οποία συλλέγονται από κάθε στάδιο της ζωής του προϊόντος και κάθε διαφορετική δραστηριότητα πρέπει να εισαχθούν στο συνολικό σύστημα. Για να γίνει αυτό πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον αντίστοιχο συντελεστή, ο οποίος δηλώνει το ποσοστό συμμετοχής της κάθε δραστηριότητας στο σύστημα. Στη συνέχεια, αθροίζονται τα αντίστοιχα στοιχεία από τις διάφορες δραστηριότητες και τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται σε παραμέτρους πρώτων υλών, ενέργειας, αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων βάσει των υπολογιστικών μοντέλων [93].

Μέθοδος των Οικολογικών Εικόνων: Η μέθοδος των οικολογικών εικόνων (eco-profiles) απαιτεί συγκέντρωση υψηλού επιπέδου, επειδή μεγέθη τα οποία εκφράζονται με διάφορες μονάδες μέτρησης πρέπει να προστεθούν μεταξύ τους. Μία από τις πιο διαδεδομένες μεθοδολογίες με την οποία επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο, είναι αυτή της «κρίσιμης μάζας» ή των «κρίσιμων ροών» η οποία αναπτύχθηκε από τους ελβετικούς κρατικούς φορείς BUS (Bundesamt fuer Umweltschutz) το 1984 και BUWAL (Bundesamt fuer Umwelt, Wald und Landschaft) το 1991. Σύμφωνα με αυτή την μεθοδολογία, τα ευρήματα του σταδίου της απογραφής δεδομένων της ανάλυσης κύκλου ζωής αθροίζονται σε τέσσερις μόλις παραμέτρους, οι οποίες συνιστούν την οικολογική εικόνα. Οι παράμετροι αυτές είναι η κατανάλωση ενέργειας, η ρύπανση του αέρα, η ρύπανση των υδάτων και η παραγωγή

στερεών αποβλήτων. Ο αλγόριθμος βάσει του οποίου γίνονται οι εκτιμήσεις και οι αθροίσεις ακολουθεί τις εξής αρχές [93]:

- Κατανάλωση ενέργειας: η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές μετατροπής της θερμικής και της ηλεκτρικής.
- Ρύπανση ατμοσφαιρικού αέρα και υδάτων: γίνεται χρήση των τυποποιημένων οριακών τιμών προκειμένου να υπολογιστούν οι απαραίτητοι όγκοι αέρα και νερού για τη διάλυση των καταγεγραμμένων ποσοτήτων αερίων και υδατικών ρύπων σε ανεκτά επίπεδα βάσει των οριακών αυτών τιμών. Συγκεκριμένα, οι καταγεγραμμένες τιμές ρύπων διαιρούνται με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες οριακές δίνοντας τις «κρίσιμες μάζες» ή τους «κρίσιμους όγκους» αέρα και νερού.
- Παραγωγή στερεών αποβλήτων: η μετατροπή γίνεται κατ' ανάλογο τρόπο με αυτήν της ενέργειας. Υπολογίζονται υποθετικοί όγκοι συγκεκριμένων στερεών αποβλήτων. Οι συντελεστές μετατροπής προκύπτουν από τις απαραίτητες τεχνικές για την ασφαλή διάθεση με ταφή συγκεκριμένων τύπων απορριμμάτων χωρίς, δηλαδή, να κινδυνεύει το περιβάλλον. Οι τεχνικές αυτές περιγράφονται από τους εκάστοτε σχετικούς κανονισμούς ασφαλείας.

Βέβαια υπάρχουν επιπτώσεις οι οποίες δεν καλύπτονται από την παραπάνω μέθοδο, επειδή συνήθως δεν καλύπτονται από αντίστοιχους κανονισμούς. Μερικές από τις πιο συνηθισμένες επιπτώσεις αυτού του είδους είναι η ακτινοβολία, ο θόρυβος, η θερμότητα, κ.λπ. Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων αυτών, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με προβλήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα του όζοντος, έχει προταθεί να χρησιμοποιούνται συντελεστές βαρύτητας, οι οποίοι θα έχουν ως στόχο να αποδώσουν τη συνεισφορά κάθε μιας επίπτωσης στο αντίστοιχο περιβαλλοντικό πρόβλημα [93].

Μέθοδος των Οικολογικών Παραμέτρων: Οι μελέτες A.K.Z. οι οποίες αθροίζουν τα αποτελέσματά τους μέχρι να καταλήξουν σε μία και μόνο παράμετρο δεν είναι, γενικά, συνηθισμένες. Η πιο γνωστή από αυτές είναι εκείνη των οικολογικών παραμέτρων (eco-points) των Ahbe και των συνεργατών του. Το χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι ότι (σε αντίθεση με άλλες σχετικές προσπάθειες) δε βασίζεται σε ενδιάμεσα στάδια υπολογισμού οικολογικών εικόνων. Αντίθετα, με βάση μία υψηλού επιπέδου συγκέντρωση, καταλήγει άμεσα στο ζητούμενο αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, έχει αναπτυχθεί αλγόριθμος, ο οποίος κάνει χρήση συντελεστών βαρύτητας που αντανάκλουν τα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά προβλήματα αντί γενικών οριακών επιτρεπόμενων τιμών και άλλων κανονισμών. Αυτοί οι συντελεστές βαρύτητας ονομάζονται οικολογικοί συντελεστές (eco-factors) και χρησιμοποιούνται για τον πολλαπλασιασμό των σχετικών επιπτώσεων προκειμένου να προκύψουν οι αντίστοιχοι δείκτες, οι οικολογικές παράμετροι. Με τον πολλαπλασιασμό αυτό, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκφράζονται ως δείκτες χωρίς μονάδες μέτρησης, οι οποίοι εύκολα αθροίζονται συγκρίνονται, κ.λπ. Η σοβαρότερη αδυναμία της μεθόδου των «κρίσιμων μαζών ή όγκων» που αναφέρθηκε προηγουμένως είναι το γεγονός ότι μία επίπτωση εκτιμάται ανεξάρτητα από το βαθμό της περιβαλλοντικής υποβάθμισης που υφίσταται στο χώρο όπου εμφανίζεται η επίπτωση αυτή, ενώ εξαρτάται από τους εκάστοτε κανονισμούς. Αν και κάτι τέτοιο δεν υπάρχει στη μέθοδο των οικολογικών παραμέτρων, ωστόσο στην περίπτωση αυτή υπάρχει ο περιορισμός ότι η οικολογική παράμετρος ισχύει σε μία συγκεκριμένη τοπική περιοχή (κυρίως) και χρονική περίοδο, ενώ, επιπλέον, για τον



υπολογισμό της είναι απαραίτητη η ακριβής γνώση των πραγματικών τιμών από κάθε εξεταζόμενο περιβαλλοντικό μέγεθος στη δεδομένη τοπική περιοχή και χρονική περίοδο [93].

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των οικολογικών εικόνων που περιγράφηκε ανωτέρω, τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων της Α.Κ.Ζ. αθροίζονται σε τέσσερις μόλις παραμέτρους: (1) κατανάλωση ενέργειας, (2) αποδέσμευση αερίων αποβλήτων, (3) αποδέσμευση υγρών αποβλήτων και (4) αποδέσμευση στερεών αποβλήτων. Στις παραμέτρους αυτές μπορούμε (ή, καλύτερα, θα πρέπει) να προσθέσουμε και την κατανάλωση νερού. Έτσι, ο αριθμός των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την περιβαλλοντική απόδοση των προϊόντων που εξετάζονται με την Α.Κ.Ζ. διαμορφώνονται μόλις σε πέντε, αυξάνοντας σημαντικά την ευκολία σύγκρισης των αποδόσεων αυτών [93].

Μία πολύ χρηστική μέθοδος παρουσίασης των εν λόγω αποτελεσμάτων είναι η μέθοδος του πολυγώνου. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, τα πέντε στοιχεία τα οποία, μετά τη συγκέντρωση των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων της Α.Κ.Ζ., χαρακτηρίζουν την περιβαλλοντική απόδοση του κάθε προϊόντος αποτυπώνονται σε ακτινικό σύστημα πέντε αξόνων, ανεξάρτητων μεταξύ τους. Στο εν λόγω ακτινικό σύστημα, η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών αξόνων είναι η ίδια για κάθε τέτοιο ζεύγος αξόνων, ενώ το κοινό σημείο τομής των πέντε αξόνων αντιστοιχεί στην τιμή «μηδέν». Δεδομένου ότι σε κάθε άξονα εκφράζονται διαφορετικά φυσικά μεγέθη, ο κάθε ένας από αυτούς έχει τα δικά του χαρακτηριστικά (κλίμακα και μονάδα μέτρησης) διαφορετικά από τους υπολοίπους. Εννοείται πως το ακτινικό σύστημα αξόνων που περιγράφηκε ανωτέρω είναι ακριβώς το ίδιο για όλα τα εξεταζόμενα προϊόντα, διότι σε διαφορετική περίπτωση η σύγκριση θα οδηγούσε σε σφάλματα. Η αποτύπωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του κάθε εξεταζόμενου του κάθε εξεταζόμενου προϊόντος στο παραπάνω σύστημα είναι, πλέον, απλή υπόθεση. Συγκεκριμένα, σημειώνεται η τιμή του κάθε στοιχείου που χαρακτηρίζει την απόδοση αυτή (δηλαδή της κατανάλωση ενέργειας και νερού, καθώς και της αποδέσμευσης αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων) στον αντίστοιχο άξονα και στη συνέχεια ενώνονται τα σημεία μεταξύ διαδοχικών αξόνων, σχηματίζοντας ένα πολύγωνο (συγκεκριμένα, πεντάγωνο). Η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης του προϊόντος γίνεται με βάση το εμβαδόν του πολυγώνου αυτού. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν αυτό τόσο χειρότερη είναι η περιβαλλοντική απόδοση του προϊόντος και αντίστροφα. Η ισχύς της πρότασης αυτής είναι προφανής, ενώ μαθηματικά βασίζεται στο γεγονός ότι το εμβαδόν ενός πολυγώνου είναι ανάλογο του μήκους των αποστάσεων των κορυφών του από το κοινό κέντρο. Το πολύγωνο αυτό θα μπορούσε να ονομαστεί «πολύγωνο Α.Κ.Ζ.», ενώ η μέθοδος αξιολόγησης της περιβαλλοντικής απόδοσης που βασίζεται σε αυτό «Α.Κ.Ζ. με την μέθοδο του πολυγώνου» αντίστοιχα [93].

#### **4.3.6 Κόστος Κύκλου Ζωής**

Η Α.Κ.Ζ. σαφέστατα συνιστά ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος ή μίας διεργασίας. Παρόλ' αυτά, συχνά, τα αποτελέσματα μίας τέτοιας ανάλυσης δεν μπορούν να υιοθετηθούν από τους αρμόδιους για τη λήψη σχετικών αποφάσεων εξαιτίας αιτιών οικονομικής φύσεως. Παραδείγματος χάρη, κατά την σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δύο προϊόντων (Α και Β), που διατελούν την ίδια χρήση, διαπιστώνεται πως το προϊόν Α παρουσιάζει σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν συγκρίσει με το προϊόν Β. Από την άλλη, όμως, το προϊόν Α

παρουσιάζει πολύ μικρότερο οικονομικό κόστος κατά την παραγωγή του και γενικότερα κατά τον κύκλο ζωής του. Το γεγονός αυτό, ως είναι αναμενόμενο, καθιστά δυσχερή την επιλογή ενός εκ των δύο προϊόντων. Ως εκ τούτου, μία τελική απόφαση απαιτεί την συνεκτίμηση του οικονομικού κόστους παράλληλα με το περιβαλλοντικό κόστος ενός προϊόντος.

Για την αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων έχει εισαχθεί η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Costing), η οποία συνιστά μία μεθοδολογία μέσω της οποίας είναι δυνατός ο συνδυασμός της Α.Κ.Ζ. με τις οικονομικές παραμέτρους του κύκλου ζωής, όπως το κόστος κύκλου ζωής, προϊόντων ή διεργασιών. Ως κόστος κύκλου ζωής ενός προϊόντος νοείται το άθροισμα όλων των οικονομικών εξόδων που απαιτούνται από το αρχικό στάδιο παραγωγής αυτού έως το τέλος του αξιοποιησιμου χρόνου ζωής του [94].

Μεταξύ της Α.Κ.Ζ. και της Α.Κ.Κ.Ζ. παρουσιάζονται τέσσερις βασικές διαφορές. Πρωτίστως, διαφέρουν ως προς την οπτική γωνία με την οποία προσεγγίζουν το μελετηθέν προϊόν. Συγκεκριμένα, η Α.Κ.Ζ. αποσκοπεί στο ευρύτερο κοινωνικό όφελος ενώ η Α.Κ.Κ.Ζ. αξιοποιείται με γνώμονα τα οικονομικά οφέλη περιορισμένων κοινωνικών συνόλων ή/και μεμονωμένων ατόμων (π.χ. μίας επιχείρησης). Δευτερευόντως, τα δύο προαναφερθέντα μεθοδολογικά εργαλεία επικεντρώνονται σε διαφορετικές δραστηριότητες. Ενώ η Α.Κ.Ζ. ασχολείται με τις διεργασίες και τα στάδια που σχετίζονται με το φυσικό κύκλο ζωής ενός προϊόντος, η Α.Κ.Κ.Ζ. επικεντρώνεται στα οικονομικά κόστη που επέρχονται κατά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Ακόμη αναφέρονται σε διαφορετικές ροές και σε διαφορετικές μονάδες. Η Α.Κ.Ζ. χρησιμοποιεί φυσικές μονάδες, αναφέρεται σε ροές υλικών και ενέργειας και επικεντρώνεται σε ρυπαντικά φορτία. Αντίθετα, η Α.Κ.Κ.Ζ. αναφέρεται σε ροές οικονομικών κοστών και χρησιμοποιεί οικονομικά μεγέθη. Τέλος, μεταξύ των δύο περιπτώσεων ο χρόνος έχει διαφορετικό ρόλο. Ενώ στην Α.Κ.Ζ. είτε αγνοείται η χρονική διάρκεια είτε χρησιμοποιείται ένας πάγιος χρονικός ορίζοντας, στην Α.Κ.Κ.Ζ. ο χρόνος συνιστά μία παράμετρο μείζονος σημασίας. Με στόχο την άμβλυση των ανωτέρω διαφορών και τον αποτελεσματικό συνδυασμό των δύο μεθοδολογικών εργαλείων έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι και δείκτες, που παρουσιάζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα [94].

## **5 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ Α.Κ.Ζ. ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΡΤΟΥ**

### **5.1 Εισαγωγή**

Τα χαρτιά και ειδικότερα οι χάρτινες συσκευασίες αποτελούν προϊόντα στα οποία, παραδοσιακά, επικεντρώνονται αρκετές μελέτες Α.Κ.Ζ. Από τα τέλη της δεκαετίας του '80, όταν η τελική διάθεση των απορριμμάτων αναδείχθηκε ως μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα, μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες Α.Κ.Ζ. που αφορούν προϊόντα χάρτου. Μερικές απ' αυτές συνέκριναν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφορετικών τρόπων διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου (ανακύκλωση, καύση, ταφή, και σπανιότερα κομποστοποίηση), ενώ άλλες συνέκριναν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής χάρτινων συσκευασιών και συσκευασιών άλλων «ανταγωνιστικών» υλικών (π.χ. διογκωμένου πολυστυρενίου).

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να καταγράψουμε τα σημαντικότερα συμπεράσματα των σχετικών μελετών και να επισημάνουμε τα βασικότερα προβλήματα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε κατά την πραγμάτωση μίας μελέτης Α.Κ.Ζ. που αφορά τα προϊόντα χάρτου.

### **5.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής προϊόντων χάρτου**

Οι Lopes et al. (2003) εφάρμοσαν το εργαλείο της Α.Κ.Ζ. στα χαρτιά εκτύπωσης και γραφής της Πορτογαλίας<sup>41</sup> με στόχο να συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επέρχονται από τη χρήση δύο ειδών καυσίμων (μαζούτ και φυσικού αερίου<sup>42</sup>) στις διεργασίες παραγωγής πολτού και χαρτιού. Η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός μεθοδολογικού πλαισίου που βασίστηκε στα πρότυπα ISO. Η αντικειμενική επιδίωξη της εν λόγω μελέτης ήταν ο προσδιορισμός και η αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή, τη χρήση και την τελική διάθεση του χαρτιού εκτύπωσης και γραφής που παράγεται στην Πορτογαλία από το φυτό *Eucalyptus globulus* και καταναλώνεται, επίσης, στην Πορτογαλία. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του χαρτιού αυτού είναι πολτός ευκαλύπτου, πολτός κωνοφόρων, που παράγεται στη Σκανδιναβία, και ανθρακικό ασβέστιο. Στη συγκεκριμένη μελέτη, η λειτουργική μονάδα ορίστηκε ο ένας τόνος λευκού χαρτιού γραφής και εκτύπωσης, επιφανειακής πυκνότητας 80 g/m<sup>2</sup>. Στη μελέτη αυτή δεν ελήφθησαν υπόψη οι ροές υλικών που συνιστούσαν ποσοστό μικρότερο από 1% της παραγόμενης ποσότητας χαρτιού. Στην Πορτογαλία, τα χαρτιά αυτά μετά τη χρήση τους ανακυκλώνονται σε ποσοστό 11%, ενώ οδηγούνται σε χώρους ταφής απορριμμάτων σε ποσοστό 84%. Το υπόλοιπο ποσοστό υπόκειται σε κομποστοποίηση. Το σενάριο της χρήσης φυσικού αερίου αφορά στην αξιοποίηση αυτού μέσω συστημάτων Σ.Η.Θ. (συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας)

<sup>41</sup> Σημειώνεται πως στην Πορτογαλία, η βιομηχανία πολτού και χαρτιού συνιστά έναν εκ των σημαντικότερων κλάδων οικονομικών δραστηριοτήτων [95].

<sup>42</sup> Παραδοσιακά, οι βιομηχανίες της Πορτογαλίας χρησιμοποιούσαν μαζούτ ως ορυκτό καύσιμο στο σύστημα ανάκτησης χημικών κατά την παραγωγή πολτού και στην επί τόπου παραγωγή ενέργειας κατά την κατασκευή χαρτιού. Μετά την εγκατάσταση του εθνικού δικτύου φυσικού αερίου δόθηκε η δυνατότητα για την αντικατάσταση του μαζούτ [95].

για την πολτοποίηση του ευκαλύπτου και για την *in situ* παραγωγή ενέργειας στο στάδιο της παραγωγής χαρτιού. Μελετήθηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οι σχετικές (για κάθε κατηγορία) παράμετροι: (1) όξυνση φαινομένου θερμοκηπίου ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), (2) οξίνιση ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), (3) ευτροφισμός ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{COD}$ ), (4) εξάντληση μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων (αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο, λιθάνθρακας), (5) σχηματισμός φωτοχημικών οξειδωτικών ( $\text{CH}_4$ , αλογονωμένοι και αρωματικοί υδρογονάνθρακες) [95].

Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής διαπιστώθηκε πως το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών γραφής και εκτύπωσης είναι το κυρίως υπεύθυνο για τις εκπομπές ορυκτού  $\text{CO}_2$ , κυρίως λόγω της *in situ* παραγωγής ενέργειας. Αυτό όμως δε συνεπάγεται την αντίστοιχη συνεισφορά στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς στην Πορτογαλία η συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξαρτάται σημαντικά από τις εκπομπές μεθανίου από την ταφή του παλαιόχαρτου. Συγκεκριμένα, η τελική διάθεση του παλαιόχαρτου είναι βασική υπεύθυνη τόσο για το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και για το δυναμικό σχηματισμού φωτοχημικών οξειδωτικών. Αυτό οφείλεται κυρίως στις εκπομπές  $\text{CH}_4$  από την ταφή του παλαιόχαρτου. Παρόλο που εκλυόμενες ποσότητες  $\text{CO}_2$  είναι 8 (για την περίπτωση του σεναρίου με το φυσικό αέριο) έως 15 φορές (για την περίπτωση του σεναρίου με το μαζούτ) περισσότερες απ' ότι του  $\text{CH}_4$ , οι τελευταίες έχουν μεγαλύτερη επίδραση σ' αυτή την κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η *in situ* παραγωγή ενέργειας στο στάδιο της παραγωγής του χαρτιού παρουσιάζει τις περισσότερες εκπομπές  $\text{SO}_2$ , γεγονός που την καθιστά κύρια υπεύθυνη για το συνολικό δυναμικό οξίνισης. Το συγκεκριμένο στάδιο συνιστά, επίσης, τον μεγαλύτερο καταναλωτή μη ανανεώσιμης ενέργειας [95].

Παρόλο που κατά το στάδιο της παραγωγής πολτού από ευκάλυπτο καταναλώνεται η περισσότερη ενέργεια κατά τον κύκλο ζωής του χαρτιού, η συνεισφορά του στις εκπομπές αερίων δεν είναι πρωτεύουσας σημασίας. Αυτό οφείλεται στο ότι το 95%, περίπου, της απαιτούμενης ενέργειας βασίζεται σε υπολείμματα από την αξιοποίηση της ξυλείας (φλοιοί, κλαδιά, μαύρο υγρό). Το στάδιο αυτό, όμως, συνεισφέρει σημαντικά στο συνολικό δυναμικό οξίνισης και ευτροφισμού [95].

Οι περισσότερες εκπομπές  $\text{NO}_x$  οφείλονται στα στάδια της μεταφοράς του ευκαλύπτου από τα δάση στις μονάδες παραγωγής χαρτιού. Η παραγωγή χαρτιού έχει, επίσης, σημαντική συνεισφορά στις εκπομπές  $\text{NO}_x$  στην περίπτωση του σεναρίου που η *in situ* παραγωγή ενέργειας πραγματοποιείται με χρήση μαζούτ [95].

Η μεγαλύτερη συνεισφορά στο ολικό δυναμικό ευτροφισμού προέρχεται από το στάδιο της παραγωγής πολτού από ευκάλυπτο, κυρίως λόγω των εκπομπών  $\text{COD}$ . Επίσης και τα στάδια της μεταφοράς και της παραγωγής του χαρτιού παρουσιάζουν σημαντική συνεισφορά σ' αυτή την κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σε ότι αφορά τα στάδια της μεταφοράς, η συνεισφορά τους έγκειται στην εκπομπή  $\text{NO}_x$ . Αντίθετα, η συνεισφορά της παραγωγής του χαρτιού εστιάζεται κυρίως στις εκπομπές  $\text{COD}$ .

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή φάνηκε πως η αντικατάσταση του μαζούτ από το φυσικό αέριο οδηγεί σε σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τον κύκλο ζωής χαρτιών γραφής και εκτύπωσης. Βάσει του συγκεκριμένου σεναρίου, οι συνολικές εκπομπές  $\text{CO}_2$  μειώνονται κατά 50% και το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου

του θερμοκηπίου κατά 20%. Επίσης, το συνολικό δυναμικό οξίνισης μειώνεται κατά 75%. Συγκεκριμένα, με χρήση φυσικού αερίου, οι εκπομπές NO<sub>x</sub>, κατά το στάδιο της παραγωγής χαρτιού, μειώνονται στο 0,5%, ενώ η μείωση των ολικών (σε όλο τον κύκλο ζωής) εκπομπών NO<sub>x</sub> είναι μεγαλύτερη από 40%. Οι εκπομπές SO<sub>2</sub> μειώνονται περισσότερο από 98%. Η αντικατάσταση του μαζούτ από φυσικό αέριο επιφέρει, ακόμη, μείωση της τάξης του 20% στο ολικό δυναμικό ευτροφισμού. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως για τον υπολογισμό των ανωτέρω ποσοστών έχουν συνυπολογιστεί και οι αποφευχθείσες εκπομπές που οφείλονται στην περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, κατά την *in situ* παραγωγή ενέργειας στη καρτοβιομηχανία, που διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Η περίσσεια αυτή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο κύριος λόγος που το σενάριο του φυσικού αερίου παρουσιάζει μείωση της τάξης του 45% στην εξάντληση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων [95].

Οι C. T. Mbohwa και L. Mashoko μελέτησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του δημοσιογραφικού χαρτιού στη Ζιμπάμπουε. Τα δεδομένα της συγκεκριμένης μελέτης ήταν κυρίως πρωτογενή και στηρίχθηκαν στη μεγαλύτερη καρτοβιομηχανία της χώρας. Τα όρια του μελετηθέντος συστήματος περιλάμβαναν την εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων, την παραγωγή ηλεκτρισμού, την μεταφορά υλικών, την παραγωγή χαρτοπολιτού (εγχώριου μηχανικού και εισαγόμενου χημικού) και την παραγωγή του δημοσιογραφικού χαρτιού. Το συγκεκριμένο σύστημα δεν περιείχε τη συντήρηση μηχανημάτων και κατασκευών (κάτι που είναι σύνηθες στις περισσότερες σχετικές μελέτες A.K.Z.), την παραγωγή χημικών βοηθητικών υλών, το στάδιο χρήσης του δημοσιογραφικού χαρτιού και τη διαχείριση του παλαιόχαρτου. Τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα [96]:

1. Κατανάλωση ενέργειας: Τα στάδια παραγωγής πολτού και χαρτιού καταναλώνουν την περισσότερη μη ανανεώσιμη ενέργεια, με την μορφή του καυσίμου άνθρακα που αξιοποιείται *in situ* στις ίδιες τις μονάδες. Μετά ακολουθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του χαρτιού. Επίσης, η παραγωγή του εισαγόμενου πολτού παρουσιάζει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Τα στάδια της μεταφοράς παρουσιάζουν αξιοσημείωτη κατανάλωση ενέργειας.
2. Υγρά απόβλητα: Σε ότι αφορά το δείκτη COD, διαπιστώθηκε πως τη μεγαλύτερη συνεισφορά παρουσιάζει η διεργασία της πολτοποίησης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η εξόρυξη άνθρακα παρουσιάζει, επίσης, σημαντική συνεισφορά.
3. Αέριες εκπομπές: Τα στάδια της παραγωγής χαρτιού είναι τα κυρίως υπεύθυνα για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>x</sub>. Το μεγαλύτερο μέρος των εκπεμπόμενων NO<sub>x</sub> οφείλεται στα στάδια της μεταφοράς.
4. Όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου: Το 72% του συνολικού δυναμικού οφείλεται στα στάδια παραγωγής χαρτιού και το 10% στην εξόρυξη του άνθρακα. Το στάδια της μεταφοράς υλικών και της παραγωγής ηλεκτρισμού συνεισφέρουν έκαστο κατά 5% στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.
5. Οξίνιση: Το 42% του συνολικού δυναμικού οφείλεται στα στάδια της παραγωγής χαρτιού, κυρίως λόγω των εκπομπών SO<sub>2</sub> από την καύση άνθρακα. Το 35% οφείλεται στα στάδια της μεταφοράς λόγω των εκπεμπόμενων NO<sub>x</sub>. Η παραγωγή χημικού πολτού συνεισφέρει κατά 22% στο συνολικό δυναμικό οξίνισης και η εξόρυξη άνθρακα κατά 2%.

6. Τοξικότητα σε ανθρώπους: Τα στάδια της παραγωγής χαρτιού συνεισφέρουν σε ποσοστό άνω του 50% σ' αυτή την κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα στάδια της μεταφοράς παρουσιάζουν και αυτά σημαντική συνεισφορά λόγω των σημαντικών ποσοτήτων CO που εκπέμπονται στο πλαίσιο αυτών.
7. Ευτροφισμός: Σ' αυτή την κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχουν μεγάλη συνεισφορά τόσο τα στάδια της παραγωγής χαρτιού όσο και τα στάδια της μεταφοράς. Τα πρώτα συνεισφέρουν κατά 42%, κυρίως λόγω των νιτρικών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα από το στάδιο της παραγωγής μηχανικού πολτού. Τα τελευταία συνεισφέρουν κατά 35% στη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Οι R. B. H.Tan και Khoo (2005) συνέκριναν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του κυματοειδούς χαρτονιού και του διογκωμένου πολυστυρενίου, που συνιστούν τα περισσότερο ευρέως διαδεδομένα υλικά συσκευασίας για τη μεταφορά καταναλωτικών αγαθών. Η μελέτη περίπτωσης αυτών αποτέλεσαν τα εν λόγω υλικά (κυματοειδές χαρτόνι και διογκωμένο πολυστυρένιο) που περιβάλλουν μαγνητόφωνα, με στόχο την προστασία αυτών, προ της εξωτερικής συσκευασίας τους. Η λειτουργική μονάδα μελέτης ήταν αφενός τα 1,716 gr διογκωμένου πολυστυρενίου και αφετέρου τα 5,310 gr κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου. Οι προαναφερθείσες τιμές μάζας αντιστοιχούν σε ίδια επίπεδα προστασίας του μελετηθέντος προϊόντος. Με τον τρόπο αυτό τα αποτελέσματα της μελέτης είναι άμεσα συγκρίσιμα για κάθε μονάδα του εν λόγω εμπορικού προϊόντος. Γενικά, κατά τον κύκλο ζωής του κυματοειδούς χαρτονιού παρατηρήθηκαν λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον αντίστοιχο του διογκωμένου πολυστυρενίου. Λόγω του ότι το διογκωμένο πολυστυρένιο είναι ελαφρύτερο του κυματοειδούς χαρτονιού, παρουσίασε λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τα στάδια της μεταφοράς του [107].

Αναλυτικότερα, κατά τα στάδια παραγωγής του διογκωμένου πολυστυρενίου, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ήταν υψηλότερες κατά 15% απ' ότι στην περίπτωση του κυματοειδούς χαρτονιού. Η διαφορά αυτή αμβλύνεται αν συνυπολογιστούν τα στάδια της μεταφοράς, όπου το διογκωμένο πολυστυρένιο παρουσιάζει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, λόγω του ότι είναι ελαφρύτερο του κυματοειδούς χαρτονιού. Σε ότι αφορά τις εκπομπές NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub>, ο κύκλος ζωής του διογκωμένου πολυστυρενίου παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, μέχρι και 30%, σε σχέση με τον αντίστοιχο του κυματοειδούς χαρτονιού. Τα υγρά απόβλητα κατά την παραγωγή του διογκωμένου πολυστυρενίου περιέχουν μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων, όπως χαλκού και ψευδάργυρου. Έτσι ο κύκλος ζωής αυτού παρουσιάζει αρκετά μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την άποψη του κριτηρίου της οικοτοξικότητας. Τέλος, η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων είναι πολύ μεγαλύτερη στην περίπτωση της παραγωγής του διογκωμένου πολυστυρενίου απ' ότι στην αντίστοιχη του κυματοειδούς χαρτονιού [107].

Οι M. H. Ramos et al. (2006) χρησιμοποίησαν το εργαλείο της A.K.Z. για να εκτιμήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Η λειτουργική μονάδα ήταν ένα χαρτοκιβώτιο (0,304 kg) που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά τοματών. Το σύστημα μελέτης περιλάμβανε τα στάδια από την αξιοποίηση της ξυλείας έως την τελική διαχείριση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων ως απορριμμάτων. Το μελετηθέν σύστημα περιλάμβανε και τη μεταφορά του εμπορεύματος (τοματών) από την Ολλανδία έως τις Η.Π.Α. Μελετήθηκαν δύο σενάρια: (1) μεταφορά του εμπορεύματος με κυματοειδή χαρτοκιβώτια και (2) μεταφορά εμπορεύματος με κυματοειδή

χαρτοκιβώτια που ήταν εφοδιασμένα με συσκευές μέτρησης της σχετικής υγρασίας. Δε διαπιστώθηκαν διαφορές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταξύ των δύο σεναρίων, γεγονός που υποδεικνύει πως η εφαρμογή του συστήματος καταγραφής της σχετικής υγρασίας του εμπορεύματος παρουσιάζει σχεδόν μηδενική συνεισφορά στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επίσης, διαπιστώθηκε πως το στάδιο της μεταφοράς του εμπορεύματος από την Ολλανδία στις Η.Π.Α. παρουσιάζει ασήμαντες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν συγκρίσει μ' αυτές του συνολικού κύκλου ζωής, όπου τη σημαντικότερη συνεισφορά παρουσιάζουν τα στάδια της παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (και ειδικότερα τα στάδια παραγωγής των χαρτιών τύπου kraftliner) [143].

Ο G. Kozak (2003) συνέκρινε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής συμβατικών (χάρτινων) βιβλίων και ηλεκτρονικών βιβλίων (e-books). Η λειτουργική μονάδα για την περίπτωση των συμβατικών βιβλίων ήταν 40 σχολικά βιβλία, όπου το καθένα περιείχε 500 σελίδες και είχε μέγεθος 7"x10". Η ισοδύναμη λειτουργική μονάδα για την περίπτωση των ηλεκτρονικών βιβλίων ήταν 40 ηλεκτρονικά σχολικά βιβλία, που το καθένα καταλάμβανε μνήμη 1.372 KB. Τα γεωγραφικά όρια της συγκεκριμένης μελέτης περιλάμβαναν τις Η.Π.Α. Ο κύκλος ζωής των δύο προϊόντων αποτελούνταν από τα στάδια της εξόρυξης των πρώτων υλών, της παραγωγής των ενδιάμεσων αλλά και των τελικών προϊόντων, της χρήσης αυτών και της διαχείρισής τους ως απορριμμάτων [125].

Σε γενικές γραμμές διαπιστώθηκε πως κατά τον κύκλο ζωής των συμβατικών βιβλίων καταναλώνονται περισσότεροι φυσικοί πόροι και παράγονται περισσότεροι αέριοι και υδατικοί ρύποι, καθώς και στερεά απορρίμματα, απ' ότι στην περίπτωση του κύκλου ζωής των ηλεκτρονικών βιβλίων. Τα στάδια παραγωγής του χαρτιού, τα σχετικά μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας κατά την τύπωση αυτών και τα στάδια της μεταφοράς αποτέλεσαν τις κύριες παραμέτρους που καθόριζαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής των συμβατικών βιβλίων. Αντίθετα, στην περίπτωση των ηλεκτρονικών βιβλίων τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις εμφάνισε η ενεργειακή κατανάλωση κατά το στάδιο της ανάγνωσης αυτών. Ακόμη, ο κύκλος ζωής των συμβατικών βιβλίων παρουσίασε πολύ χειρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ότι αφορά την κατηγορία της όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (περίπου 4 φορές περισσότερες εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub>). Παρόμοια τάση διαπιστώθηκε και για τις κατηγορίες της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος και της όξινης [125].

### **5.3 Παλαιόχαρτο: Καύση, ταφή ή ανακύκλωση;**

Η Α.Κ.Ζ. έχει χρησιμοποιηθεί συχνά ως εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων σε ζητήματα που σχετίζονται με τα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων. Αυτό κυρίως οφείλεται στην αυξανόμενη ανάγκη να μειωθεί το ποσοστό των απορριμμάτων που οδηγούνται σε χώρους ταφής απορριμμάτων και, κατ' επέκταση, να βρεθούν οι βέλτιστες εναλλακτικές τεχνικές διαχείρισης αυτών. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου της Α.Κ.Ζ. να ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος την καθιστά κατάλληλο εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων σχετικών με τέτοιου είδους ζητήματα και επιλογές [105].

Όμως, συχνά, οι σχετικές μελέτες Α.Κ.Ζ. οδηγούν σε αντικρουόμενα αποτελέσματα. Αυτό κυρίως οφείλεται σε διαφορές μεταξύ των μελετών που σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων, τα όρια του μελετηθέντος συστήματος και την αξιολόγηση των αποφευχθέντων

περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων (“avoided burdens”). Με τον όρο «αποφευχθείσες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις» εννοούνται τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με εκείνα τα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων που οδηγούν στην παραγωγή χρήσιμων παραπροϊόντων, όπως ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και αξιοποιήσιμων υλικών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η σύγκριση μεταξύ της καύσης και της ανακύκλωσης παλαιόχαρτου. Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται η ανάκτηση ενέργειας, ενώ στη δεύτερη η αξιοποίηση χρήσιμων υλικών (ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου). Η συγκριτική αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των δύο συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων είναι πολύ δύσκολη. Η επιλογή, για παράδειγμα, της ανακύκλωσης οδηγεί στο σημαντικό ζήτημα για το ποιο καύσιμο θα χρησιμοποιηθεί για να αντισταθμίσει το ελλειμματικό ενεργειακό ισοζύγιο (εν συγκρίσει με εκείνο στην περίπτωση του σταδίου της καύσης) [105].

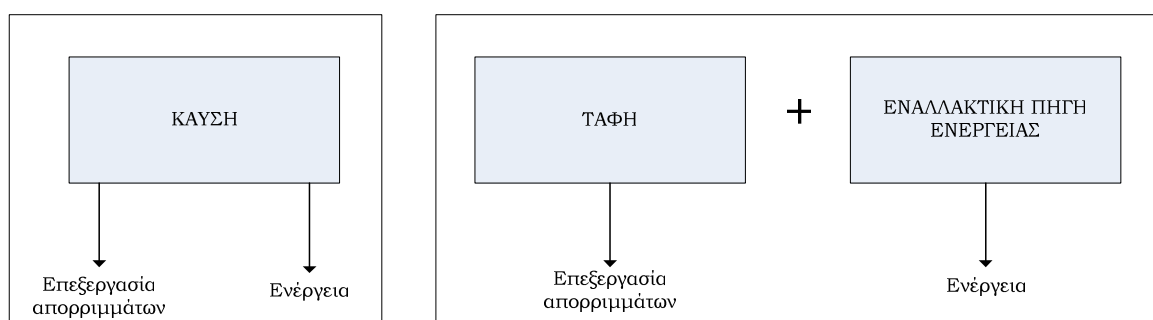
Τα προβλήματα αυτά επιβεβαιώνουν και οι G. Finnveden και T. Ekvall (1998), οι οποίοι μελέτησαν 7 προηγηθείσες μελέτες που αφορούσαν στην σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καύσης και της ανακύκλωσης του παλαιόχαρτου συσκευασίας, με χρήση του εργαλείου της A.K.Z. Αυτές οι μελέτες περιείχαν συνολικά 12 περιπτώσεις μελέτης (διαφορετικά είδη παλαιόχαρτου συσκευασιών) και 27 σενάρια διαχείρισης του παλαιόχαρτου συσκευασίας (π.χ. καύση ή ανακύκλωση, καύση ή συνδυασμός ανακύκλωσης, καύσης και ταφής, κ.λπ.). Οι γεωγραφικές περιοχές στις οποίες αναφέρονταν οι σχετικές μελέτες αφορούσαν τη Δυτική Ευρώπη [124].

Στην εργασία, λοιπόν, των G. Finnveden και T. Ekvall (1998) επισημαίνεται πως κατά τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ των επιλογών διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων παρουσιάζονται προβλήματα που σχετίζονται με τις διαφορετικές λειτουργίες και τα διαφορετικά στάδια που περιλαμβάνουν αυτές. Παραδειγματος χάρη, κατά την καύση των απορριμμάτων έχουμε παράλληλα και παραγωγή ενέργειας. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει, για παράδειγμα, στην περίπτωση της ταφής των απορριμμάτων (εκτός από περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες αξιοποιείται η ενέργεια των απορριμμάτων μέσω του εκλυόμενου βιοαερίου) στην οποία λαμβάνει χώρα μόνο η επεξεργασία των απορριμμάτων. Η εν λόγω διαφοροποίηση δυσχεραίνει τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δύο συστημάτων. Ένας τρόπος για να λυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, και να καταστούν τα δύο συστήματα συγκρίσιμα, είναι να καθορισθούν βάρη σημαντικότητας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δύο λειτουργιών, «επεξεργασίας των απορριμμάτων» και «παραγωγής ενέργειας», του συστήματος της καύσης. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας της «επεξεργασίας των απορριμμάτων» μεταξύ της καύσης και της ταφής. Κάτι τέτοιο όμως είναι δύσκολο να καθορισθεί. Για το λόγο αυτό, καμία από τις μελέτες που εξετάστηκαν στην εργασία των G. Finnveden και T. Ekvall (1998) δεν χρησιμοποίησαν έναν τέτοιο τρόπο λύσης. Αντ’ αυτού, στο πλαίσιο των περισσότερων μελετών, το συγκεκριμένο πρόβλημα αποφεύχθηκε με τη διάρθρωση διευρυμένων συστημάτων. Έτσι, μερικές μελέτες υιοθετούν την «εισαγωγή», στο σύστημα μελέτης της ταφής των απορριμμάτων, ενός εναλλακτικού καυσίμου μέσω του οποίου είναι δυνατή η παραγωγή ενέργειας σε ποσότητα αντίστοιχη εκείνης που παράγεται κατά την καύση. Δηλαδή, προτείνεται η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δύο συστημάτων αφού εξισωθούν οι εξερχόμενες ενέργειες αυτών. Άλλες μελέτες προτιμούν να «αφαιρέσουν» από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καύσης των απορριμμάτων εκείνες που θα λάμβαναν χώρα αν παραγόταν η ισοδύναμη ποσότητα ενέργειας με χρήση ενός

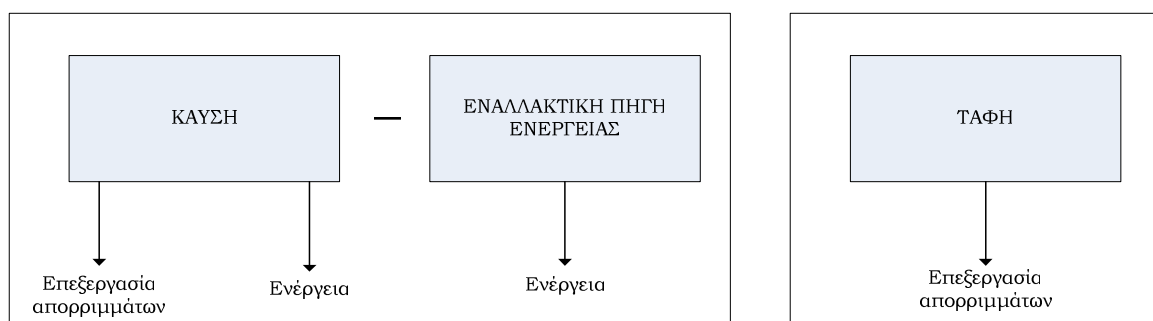


εναλλακτικού καυσίμου. Αυτό συνιστά μία λογική θεώρηση, αν αναλογιστούμε πως η παραγωγή ενέργειας που λαμβάνει χώρα κατά την καύση των απορριμμάτων συνεπάγεται την αποφυγή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επέρχονται από την παραγωγή της ισοδύναμης ενέργειας μέσω ενός εναλλακτικού καυσίμου. Σε αμφότερες και τις δύο περιπτώσεις έχουμε ως αποτέλεσμα να εξαρτώνται τα αποτελέσματα της εκάστοτε μελέτης από το είδος του εναλλακτικού καυσίμου που επιλέγεται [124]. Τα διευρυμένα συστήματα που αναφέρθηκαν μπορούν να περιγραφούν σχηματικά με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 17.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2



**Σχήμα 23:** Σχηματική αναπαράσταση διευρυνσης ορίων συστήματος με στόχο την άμεση σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ δύο συστημάτων [Πηγή: G. Finnveden και T. Ekvall (1998) [124]]

Οι G. Finnveden και T. Ekvall (1998) επισημαίνουν πως οι Α.Κ.Ζ. που αυτοί μελέτησαν δεν περιλάμβαναν πλήρως όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ως εκ τούτου τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από αυτές τις μελέτες είναι περιορισμένα. Συγκεκριμένα δεν μπορεί να εξαχθεί κανένα ασφαλές συμπέρασμα που να αφορά το πλήρες «περιβαλλοντικό αποτύπωμα» του κύκλου ζωής καθεμίας από τις δύο βασικές επιλογές διαχείρισης (ανακύκλωσης και καύσης) του παλαιόχαρτου. Τα σχετικά συμπεράσματα μπορούν να αφορούν μόνο μερικά συγκεκριμένα περιβαλλοντικά ζητήματα. Αυτά τα συμπεράσματα θα μπορούσαν να συνοψισθούν ως ακολούθως [124]:

1. Η συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια είναι λιγότερη για την περίπτωση της ανακύκλωσης εν συγκρίσει με την καύση.
2. Η συνολική βιομάζα που καταναλώνεται είναι λιγότερη για την περίπτωση της ανακύκλωσης.

3. Η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας γενικά μειώνεται με αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης.
4. Η χρήση ορυκτών καυσίμων αυξάνει με αύξηση της ανακύκλωσης, στην περίπτωση που τα ορυκτά καύσιμα συνιστούν την εναλλακτική πηγή ενέργειας<sup>43</sup>.
5. Όταν ως εναλλακτική πηγή ενέργειας θεωρούνται τα βιοκαύσιμα τότε στην περίπτωση της ανακύκλωσης χρησιμοποιούνται λιγότερα ορυκτά καύσιμα.
6. Όταν ως εναλλακτική πηγή ενέργειας θεωρούνται τα στερεά αστικά απορρίμματα τότε τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων διαφέρουν από μελέτη σε μελέτη. Αυτά, τότε, ενδέχεται να εξαρτώνται από τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται στις διεργασίες της παραγωγής ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας.
7. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> ακολουθούν την ίδια τάση με τα ορυκτά καύσιμα.
8. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> είναι λιγότερες για την περίπτωση της ανακύκλωσης.
9. Οι εκπομπές σκόνης και σωματιδίων είναι γενικά λιγότερες στην περίπτωση της ανακύκλωσης.
10. Οι εκπομπές COD μειώνονται με αύξηση της ανακύκλωσης.
11. Η ποσότητα των στερεών απορριμμάτων που διατίθενται για ταφή μειώνεται με αύξηση της ανακύκλωσης, στην περίπτωση που τα στερεά απορρίμματα συνιστούν την εναλλακτική πηγή ενέργειας. Η ποσότητα αυτών αυξάνεται όταν ως εναλλακτική πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται βιοκαύσιμο.

Οι G. Finnveden και T. Ekvall σε μία επόμενη εργασία τους, που δημοσιεύθηκε το 2000, επισημαίνουν πως οι παράμετροι που είναι σημαντικές για την περιβαλλοντική σύγκριση μεταξύ της επιλογής της καύσης του παλαιόχαρτου με στόχο την ανάκτηση ενέργειας και της ανακύκλωσης αυτού είναι οι εξής: (1) τα περιβαλλοντικά κέρδη από την καύση των απορριμμάτων εξαρτώνται από το ποιο είδος ενέργειας αντικαθίσταται από την ενέργεια του παλαιόχαρτου, (2) τα περιβαλλοντικά κέρδη από την ανακύκλωση εξαρτώνται από το ποιο υλικό αντικαθίσταται από τις ανακυκλωμένες ίνες (π.χ. τα ανακυκλωμένα κυματοειδή χαρτοκιβώτια αποτελούν ανταγωνιστικά προϊόντα άλλων υλικών συσκευασίας, όπως τα πλαστικά), (3) ο τρόπος που αξιοποιείται η πλεονάζουσα ποσότητα ξυλείας στην περίπτωση της αύξησης του ποσοστού ανακύκλωσης επιδρά στα περιβαλλοντικά οφέλη αυτής της επιλογής, (4) η αντικατάσταση των παρθένων ινών από ανακυκλωμένες έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας ανανεώσιμων καυσίμων που συνιστούν παραπροϊόντα (φλοιοί, μαύρο υγρό) της πρωτογενούς παραγωγής χαρτιού και ως εκ τούτου ενδέχεται να απαιτείται η χρήση ενός εναλλακτικού καυσίμου, η επιλογή του οποίου επηρεάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μελετηθέντος συστήματος, (5) στην περίπτωση που οι ανακυκλωμένες ίνες αντικαθιστούν παρθένες για την παραγωγή μηχανικής χαρτόμαζας, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται και ως εκ τούτου τα περιβαλλοντικά οφέλη από την εν λόγω μείωση εξαρτώνται από το πως η ηλεκτρική ενέργεια αυτή παράγεται (π.χ. πρώτες ύλες ηλεκτροπαραγωγής, τεχνολογία που εφαρμόζεται κ.λπ.) [155].

---

<sup>43</sup> Όπως ήδη αναφέρθηκε, ως εναλλακτική πηγή ενέργειας νοείται εκείνη η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται στη διεύρυνση των ορίων του συστήματος, με στόχο την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το πλεόνασμα της ενέργειας που παρουσιάζεται στα συστήματα στα οποία ανακτάται.

Οι ίδιοι αναφέρουν πως η σημαντική αύξηση των μεταφορών που λαμβάνει χώρα συχνά όταν το ποσοστό ανακύκλωσης αυξάνεται δεν συνεπάγεται τη σημαντική αύξηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων, όπως έχει διαπιστωθεί στο πλαίσιο αρκετών ερευνών, ειδικότερα σε ότι αφορά την κατανάλωση ενέργειας και την εκπομπή CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Από την άλλη, η αύξηση των μεταφορών μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις σε κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την ηχητική όχληση και την τοξικότητα σε ανθρώπους. Επίσης, επισημαίνουν πως η αύξηση της ανακύκλωσης μπορεί μερικές φορές να οδηγήσει σε μείωση των μεταφορών στο σύνολο του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου, λόγω της μείωσης των μεταφορών της ξυλείας προς τις μονάδες παραγωγής πρωτογενούς χαρτιού [155].

Οι G. Finnveden et al. (2005) επιχείρησαν να εκτιμήσουν τις διαφορετικές στρατηγικές διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων στη Σουηδία υπό την οπτική των αρχών της Α.Κ.Ζ. Συμπεριλαμβάνοντας στην μελέτη τους την ταφή, την καύση, την ανακύκλωση, τη κόνευση και την κομποστοποίηση επιχείρησαν να προσδιορίσουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των εναλλακτικών επιλογών, καθώς και τις σημαντικότερες παραμέτρους που δύνανται να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της σύγκρισης. Η συγκεκριμένη μελέτη επικεντρώθηκε στο κλάσμα εκείνο των αστικών στερεών απορριμμάτων που μπορεί να καεί, να ανακυκλωθεί ή να κομποστοποιηθεί. Έτσι, τα υλικά που συμπεριλήφθηκαν ήταν τα διατροφικά υπολείμματα, οι εφημερίδες, τα κυματοειδή χαρτοκιβώτια (αλλά και τα λοιπά μικτά χαρτόνια και χαρτοκιβώτια) και τα πλαστικά (όπως το πολυαιθυλένιο, το προπυλένιο, το πολυστυρένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο και ο τερεφθαλικός εστέρας του πολυαιθυλενίου). Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης θα πρέπει να αναφέρουμε πως η ανακύκλωση των απορριμμάτων χάρτου και των πλαστικών φαίνεται να είναι, σε γενικές γραμμές, η περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή. Επίσης, το σενάριο της καύσης παρουσιάζει καλύτερη περιβαλλοντική «επίδοση» έναντι του αντίστοιχου της ταφής, αν και μερικές παράμετροι (όπως η διανυθείσα απόσταση από τη συλλογή των απορριμμάτων μέχρι τους χώρους καύσης και ταφής και η χρονική περίοδος που λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό των εκπομπών στην περίπτωση της ταφής) μπορούν να οδηγήσουν σε αντίστροφα αποτελέσματα [161].

Οι J. H. Schmidt et al. (2006) χρησιμοποιώντας το εργαλείο της Α.Κ.Ζ. επιχείρησαν να ιεραρχήσουν τις δυνατές επιλογές διαχείρισης (ανακύκλωσης, καύσης και ταφής) του παλαιόχαρτου στη Δανία. Η λειτουργική μονάδα της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η συνολική καταναλωθείσα ποσότητα χαρτιού στη Δανία κατά το έτος 2003. Η ποσότητα αυτή υπολογίστηκε σε 1,2 εκατομμύρια τόνους (1,122 εκατομμύρια τόνους ξηρής μάζας). Στη μελέτη αυτή συμπεριλήφθηκαν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του χαρτιού: από το στάδιο της δασικής αξιοποίησης μέχρι την τελική διαχείριση του παλαιόχαρτου. Για την εκτίμηση των αποφευχθέντων περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη μη χρήση δασικής γης, στην περίπτωση της ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου, επιλέχθηκε η χρήση της παραδοχής πως η εναπομείνουσα δασική βιομάζα αξιοποιείται για την παραγωγή ενέργειας μέσω συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, δηλαδή θεωρήθηκε πως η ξυλεία μπορεί να διατεθεί είτε για την παραγωγή χαρτιού είτε για την παραγωγή ενέργειας. Βάσει της συγκεκριμένης παραδοχής καθίσταται δυνατή η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συγκεκριμένου σταδίου του κύκλου ζωής του χαρτιού για τις τρεις δυνατές επιλογές διαχείρισης του παλαιόχαρτου, αποφεύγοντας τη μελέτη (η οποία είναι πολύ

δύσκολη, καθώς δεν έχει διαρθρωθεί μία κοινά αποδεκτή σχετική μεθοδολογία) των επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα των δασών [108].

Τα αποτελέσματα του σταδίου της απογραφής της συγκεκριμένης μελέτης συγκεντρώθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν στις εξής (5) κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων: παγκόσμια υπερθέρμανση, καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος, οξίνιση, ευτροφισμός, δημιουργία φωτοχημικού νέφους. Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής διαπιστώθηκε πως η ανακύκλωση του παλαιόχαρτου παρουσιάζει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις έναντι της καύσης. Η ταφή ιεραρχείται ως η χειρότερη επιλογή διαχείρισης παλαιόχαρτου από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επισημαίνεται, ακόμη, πως τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας δεν μπορούν να γενικευθούν και για τα υπόλοιπα αστικά απορρίμματα. Είναι, επίσης, σημαντικό να αναφερθεί πως, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας, ακόμη και αν δεν ληφθεί υπόψη η εναλλακτική χρήση της ξυλείας ως καυσίμου (γεγονός που συμβαίνει σε μερικές μελέτες Α.Κ.Ζ.), η ανακύκλωση υπερτερεί έναντι της καύσης σε όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σε ότι αφορά την κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζεται με την οξίνιση διαπιστώνονται τα αντίθετα αποτελέσματα (δηλαδή, η καύση υπερτερεί της ανακύκλωσης όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η ενεργειακή αξιοποίηση της ξυλείας) [108].

Οι Dahlbo et al. (2005) χρησιμοποίησαν το εργαλείο της Α.Κ.Ζ. για να συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επέρχονται από εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης παλαιόχαρτου. Η συγκεκριμένη μελέτη επικεντρώθηκε στον κύκλο ζωής των εφημερίδων. Τη γεωγραφική περιοχή μελέτης αποτέλεσε η Μητροπολιτική Περιοχή του Ελσίνκι<sup>44</sup> (Helsinki Metropolitan Area), όπου παράγεται ετησίως, περίπου, ένα εκατομμύριο τόνοι απορριμμάτων. Το 55% της ποσότητας αυτής επαναχρησιμοποιείται ή ανακτάται και το υπόλοιπο 45% οδηγείται για ταφή. Τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης του παλαιόχαρτου βασίστηκαν στο υπάρχον σύστημα διαχείρισης αστικών απορριμμάτων και στα μελλοντικά σχέδια για βελτίωσή του. Συνολικά μελετήθηκαν 5 εναλλακτικά σενάρια [127,128]:

Σενάριο 1: Ουσιαστικά αποτελεί το σημερινό σύστημα διαχείρισης αστικών απορριμμάτων στην Μητροπολιτική Περιοχή του Ελσίνκι. Κατ'αυτό έχουμε διαλογή του παλαιόχαρτου, διαχωρισμό αυτού σε επιμέρους κλάσματα και ανακύκλωση. Τα λοιπά μικτά απορρίμματα οδηγούνται σε σύστημα ταφής χωρίς επεξεργασία. Σε ότι αφορά την ταφή των απορριμμάτων πρέπει να επισημανθεί πως κατά το έτος 2002, το 75% του παραγόμενου βιοαερίου συλλεγόταν και καίονταν χωρίς, όμως, ανάκτηση ενέργειας. Από το τέλος του 2004 άρχισε η ανάκτηση και η αξιοποίηση θερμότητας. Για το συγκεκριμένο σενάριο θεωρήθηκε πως το 60% της ενέργειας του μεθανίου μετατρέπεται σε θερμότητα και το 30% σε ηλεκτρική ενέργεια.

Σενάριο 2.1: Βάσει του σεναρίου αυτού έχουμε διαλογή παλαιόχαρτου και ανακύκλωση αυτού. Από τα υπόλοιπα μικτά απορρίμματα διαχωρίζονται τα υλικά με υψηλή θερμογόνο δύναμη (χαρτιά, πλαστικά κ.ά.) τα οποία αξιοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας. Το σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από την αεριοποίηση του προαναφερθέντος κλάσματος αστικών απορριμμάτων, τον καθαρισμό του παραγόμενου αερίου και τη

---

<sup>44</sup> Η περιοχή αυτή βρίσκεται στο νότιο μέρος της Φινλανδίας και περιλαμβάνει τις πόλεις Helsinki, Espoo, Vantaa and Kauniainen. Συνιστά την περισσότερο πυκνοκατοικημένη περιοχή της Φινλανδίας. Παρόλο που η έκτασή της αντιστοιχεί μόλις στο 0,2% της συνολικής έκτασης της Φινλανδίας, ο πληθυσμός αυτής (περίπου 965.600 άτομα για το έτος 2002) ανέρχεται στο 18,5% του συνολικού.

συνδυασμένη καύση αυτού με κονιορτοποιημένο άνθρακα και φυσικό αέριο σε μία μονάδας Σ.Η.Θ.

Σενάριο 2.2: Το συγκεκριμένο σενάριο είναι ίδιο με το 2.1, με τη διαφορά πως το 50% των ανακτημένων εφημερίδων οδηγείται στο σύστημα συνδυασμένης καύσης.

Σημειώνεται πως τα σενάρια 2.1 και 2.2 βασίζονται στα σχέδια που υπάρχουν για την κατασκευή συστημάτων επεξεργασίας στην Μητροπολιτική Περιοχή του Ελσίνκι για το έτος 2010.

Σενάριο 3.1: Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε διαλογή του παλαιόχαρτου, διαχωρισμός αυτού σε επιμέρους κλάσματα και ανακύκλωση. Τα υπόλοιπα μικτά απορρίμματα οδηγούνται προς καύση για την ανάκτηση ενέργειας.

Σενάριο 3.2: Ουσιαστικά αποτελεί ίδιο σενάριο με το 3.1, με τη διαφορά πως το 50% των ανακτημένων εφημερίδων οδηγείται στο σύστημα συνδυασμένης καύσης.

Στη μελέτη αυτή, η ανακύκλωση μελετήθηκε ως κλειστός βρόγχος (closed-loop). Δηλαδή, οι εφημερίδες ανακυκλώνονται προς ίδιο προϊόν (εφημερίδες) και ούτω καθεξής. Ο κύκλος ζωής αυτών ομαδοποιήθηκε σε έξι στάδια: (1) αξιοποίηση δασικής βιομάζας, (2) παραγωγή χαρτιού, (3) εκτύπωση, (4) διαχείριση απορριμμάτων, (5) μεταφορές και (6) διαχείριση παραπροϊόντων. Σημειώνεται, ακόμη, πως συμπεριλήφθηκαν μόνο εκείνες οι ροές υλικών που χρησιμοποιούνταν σε ποσοστό άνω του 0,5% επί της μάζας των εφημερίδων [127].

Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις αέριες εκπομπές μεταξύ των σεναρίων, στην περίπτωση που δεν λαμβάνονται υπόψη οι αποφευχθείσες εκπομπές. Μόνο οι εκπομπές μεθανίου στο Σενάριο 1 είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των υπολοίπων σεναρίων. Όταν, όμως, λαμβάνονται υπόψη οι αποφευχθείσες εκπομπές, τότε το Σενάριο 2.2 παράγει τις λιγότερες εκπομπές μεθανίου. Επίσης, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά, μεταξύ των σεναρίων, στις αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τα στάδια των μεταφορών [127].

Γενικότερα, τα σενάρια που αποτελούνται από υποσυστήματα όπου παράγεται ενέργεια παρουσιάζουν αποφευχθείσες εκπομπές και, λόγω αυτού, μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων. Έτσι, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης διαπιστώθηκε πως τα σενάρια που προβλέπουν την ανάκτηση ενέργειας είναι τα ηπιότερα από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το Σενάριο 1 παρουσίασε τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ το Σενάριο 2 τις λιγότερες [127].

Οι συγγραφείς επισημαίνουν πως η συγκεκριμένη μελέτη, καθώς και πλήθος σχετικών, παρουσιάζει το, κατά κάποιον τρόπο, εγγενές πρόβλημα του μη αποτελεσματικού καθορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σχετικών με τη βιοποικιλότητα των δασικών περιοχών. Αυτό καθίσταται ακόμη σημαντικότερο για τη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης, καθώς η χαρτοβιομηχανία της Φινλανδίας παίζει σημαντικό ρόλο στη βιοποικιλότητα των δασικών εκτάσεων της χώρας, αφού το 85% αυτών αξιοποιείται για εμπορικούς σκοπούς. Στη συγκεκριμένη μελέτη το ζήτημα αυτό μελετήθηκε επιφανειακά (όπως, βέβαια, συμβαίνει και στις περισσότερες σχετικές μελέτες) και οι συγγραφείς παραδέχονται πως η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης παλαιόχαρτου δεν μπορεί να στηριχθεί σε στέρεα βάση ελλείψει της άρτιας μελέτης των ζητημάτων της βιοποικιλότητας της δασικής γης [127].

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να τονίσουμε πως σχεδόν κάθε μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί σχετική με τον κύκλο ζωής των προϊόντων χάρτου μειονεκτεί στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την χρήση και αξιοποίηση των δασών. Αυτό, βέβαια, δικαιολογείται λόγω της πολυπλοκότητας του ζητήματος, καθώς η δασική χρήση γης σχετίζεται με πλήθος περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως επιπτώσεις που αφορούν τη βιοποικιλότητα, την παραγωγικότητα των δασών (η οποία λαμβάνει χώρα με τη μείωση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους), τον κύκλο του άνθρακα, αισθητικές και πολιτιστικές αξίες κ.ά. [99].

Οι Tiedemann et al. (2001), επίσης, πραγματοποίησαν μία μελέτη A.K.Z. με στόχο να διαπιστώσουν αν η ανακύκλωση συνιστά μία περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή διαχείρισης απορριμμάτων έναντι της καύσης και της ταφής. Η μελέτη επικεντρώθηκε στα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης (συμπεριλαμβανομένων και των δημοσιογραφικών χαρτιών). Οι βασικοί στόχοι της μελέτης ήταν η ιεράρχηση των διαφορετικών επιλογών διαχείρισης του παλαιόχαρτου, η σύγκριση του παλαιόχαρτου και του ξύλου ως πρώτων υλών για την παραγωγή προϊόντων γραφής και εκτύπωσης, η ανάπτυξη μεθόδων A.K.Z. και η δημιουργία βάσης δεδομένων για τα επιμέρους στάδια του κύκλου ζωής των προϊόντων αυτών [139].

Στο πλαίσιο της εν λόγω μελέτης διαπιστώθηκε πως τα στάδια παραγωγής πολτού και χαρτιού συνεισφέρουν σημαντικά στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των χαρτιών γραφής και εκτύπωσης. Οι διεργασίες δασικής αξιοποίησης παρουσιάζουν σημαντική επίπτωση στην κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αφορά στις χρήσεις γης, αλλά όχι και στις υπόλοιπες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επίσης, διαπιστώθηκε πως η αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης<sup>45</sup> συνοδεύεται, γενικά, με μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αξίζει να επισημανθεί πως και σε αυτή τη μελέτη επισημαίνεται η επιλογή του εναλλακτικού καυσίμου ως σημαντικού παράγοντα σύγκρισης των σεναρίων [139].

Μερικά χρόνια πιο πριν, η εταιρεία παραγωγής ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού Aylesford Newsprint πραγματοποίησε μελέτη A.K.Z. με στόχο τη διερεύνηση και τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ανακύκλωσης παλαιόχαρτου (περιοδικών και εφημερίδων), με στόχο την παραγωγή ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού, και της καύσης αυτού. Στη μελέτη αυτή διαπιστώθηκε πως η ανακύκλωση εφημερίδων και περιοδικών στη μονάδα της εταιρείας είναι περιβαλλοντικά προτιμότερη από την καύση αυτών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> είναι λιγότερες στην περίπτωση της ανακύκλωσης. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> που οφείλονται στα στάδια της μεταφοράς είναι λιγότερες για την περίπτωση της ανακύκλωσης απ' ό,τι στην περίπτωση της καύσης, όταν συμπεριλαμβάνονται και τα στάδια μεταφοράς που αφορούν στην παραγωγή πρωτογενούς δημοσιογραφικού χαρτιού. Αμφότερες και οι δύο επιλογές παρουσιάζουν αμελητέο δυναμικό καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος. Επίσης, διαπιστώθηκε πως η χρήση βοηθητικών υλών (χημικών αντιδραστηρίων) στις διεργασίες της μονάδας ανακύκλωσης παρουσιάζουν μικρή συνεισφορά στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος της ανακύκλωσης [126].

---

<sup>45</sup> Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής διαρθρώθηκαν τρία σενάρια διαφορετικών ποσοστών ανακύκλωσης. Το σενάριο βάσης αναφέρεται σε ποσοστό ανακύκλωσης 69%. Το υπόλοιπο παλαιόχαρτο οδηγείται προς καύση, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, σε ποσοστό 30% και προς ταφή σε ποσοστό 70%. Σε ότι αφορά στα άλλα δύο σενάρια, το ένα αφορούσε ποσοστό ανακύκλωσης 76% και το άλλο 57%.

Οι K. Nakazawa et al. (2004) μελέτησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής χαρτιών χημικής καρτόμαζας από μη ξυλώδεις πρώτες ύλες ή από απομελανωμένη καρτόμαζα. Συγκεκριμένα, συνέκριναν 4 είδη χαρτιών από χημική καρτόμαζα αναλόγως των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της: καρτόμαζα από 100% ξυλεία, καρτόμαζα από 25% βαγάσση, καρτόμαζα από 25% kenaf και καρτόμαζα από 25% απομελανωμένο παλαιόχαρτο. Χρησιμοποίησαν 8 μεθόδους εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (EPS1992, EPS2000, Eco-Point1993, Eco-Point1997, Eco-Indicator95, Eco-Indicator99, Panel method and Distance to Target method) και διαπίστωσαν πως τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρουσίασαν τα χαρτιά που περιείχαν σε ποσοστό 25% καρτόμαζα απο kenaf. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής των χαρτιών που περιείχαν κατά 25% απομελανωμένη καρτόμαζα ήταν 1,8 φορές μικρότερες απ' ότι στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Επίσης διαπιστώθηκε πως οι εκπομπές CO<sub>2</sub> παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σημειώνεται, ακόμη, πως τα αποτελέσματα και των 8 μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σύμφωνα μεταξύ τους, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις [158].

Σημαντικές εργασίες στα ζητήματα διαχείρισης προϊόντων χάρτου με το εργαλείο της A.K.Z. αποτελούν η εργασία των A. Villanueva και H. Wenzel (2007) και η εργασία της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environment Agency) (2006) (βλ. βιβλιογραφικές παραπομπές: 102,103]. Αμφότερες οι δύο εργασίες εστιάζουν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφορετικών επιλογών (καύσης, ταφής ή ανακύκλωσης) διαχείρισης του παλαιόχαρτου και συνιστούν επισκοπήσεις της συναφούς βιβλιογραφίας. Η πρώτη εργασία επικεντρώνεται στην A.K.Z. του παλαιόχαρτου, ενώ η δεύτερη συμπεριλαμβάνει και την Ανάλυση Οικονομικών Οφελών (CBA – Cost Benefit Analysis). Αξίζει να σημειωθεί πως η πρώτη εργασία αποτελεί, κατά κάποιον τρόπο, υποσύνολο της δεύτερης. Οι A. Villanueva και H. Wenzel είχαν αναλάβει το τμήμα της δεύτερης εργασίας, που αφορούσε στην επισκόπηση των A.K.Z. του παλαιόχαρτου. Μετά τη δημοσίευση της σχετικής εργασίας από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, οι A. Villanueva και H. Wenzel δημοσίευσαν την μελέτη τους στο περιοδικό Waste Management.

Σε ότι αφορά την εργασία των A. Villanueva και H. Wenzel (2007) θα πρέπει να αναφέρουμε πως στόχος της ήταν να υποβοηθήσει τη λήψη αποφάσεων, σε τοπικό, εθνικό ή/και υπερεθνικό επίπεδο, σχετικά με την περιβαλλοντικά ορθότερη διαχείριση του παλαιόχαρτου. Στόχος αυτής ήταν η σύγκριση τριών επιλογών διαχείρισης απορριμμάτων χάρτου: της καύσης (με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας), της ταφής και της ανακύκλωσης. Η εν λόγω εργασία έλαβε υπόψη πλήθος προηγηθειών μελετών (περίπου 50), αλλά επικεντρώθηκε και ανέλυσε 9 εξ αυτών, που περιλάμβαναν 73, συνολικά, σενάρια. Ο αποκλεισμός των υπολοίπων μελετών οφείλετο είτε στη μη συμφωνία αυτών με τα τεθέντα κριτήρια (βλ. παρακάτω) είτε στη μη δυνατότητα πρόσβασης σ' αυτές.

Η επιλογή των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στη εν λόγω επισκόπηση, βασίστηκε σε 4 κριτήρια, που εξασφάλιζαν την ποιότητα και την ομοιογένεια των δεδομένων. Τα κριτήρια αυτά ήταν τα ακόλουθα:

- Οι μελέτες θα έπρεπε να περιλαμβάνουν μία συγκριτική ανάλυση μεταξύ του σεναρίου της ανακύκλωσης και του σεναρίου της καύσης ή/και της ταφής του παλιόχαρτου.
- Το υπόβαθρο των πληροφοριών των μελετών θα έπρεπε να είναι διαθέσιμο.

- Οι μελέτες θα έπρεπε να ακολουθούν, ή, τουλάχιστον, να είναι σύμμορφες, με τα πρότυπα A.K.Z. κατά ISO.
- Τα αποτελέσματα θα έπρεπε να αναφέρονται αποκλειστικά σε προϊόντα χάρτου (να μη συμπεριλαμβάνουν, δηλαδή, λοιπά αστικά απορρίμματα).

Αξίζει να σημειωθεί πως μία από τις συμπεριλαμβανόμενες μελέτες περιείχε 27 σενάρια που αφορούσαν στη σύγκριση της ανακύκλωσης και της καύσης του παλαιόχαρτου. Ο αριθμός αυτός είναι πολύ μεγάλος, καθώς συνολικά όλες οι μελέτες περιείχαν 51 σενάρια σύγκρισης της ανακύκλωσης και της καύσης του παλαιόχαρτου.

Οι μελέτες A.K.Z. που διερευνήθηκαν περιείχαν πολλές (και αρκετές φορές) διαφορετικές κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι κατηγορίες που συμπεριλαμβάνονταν τουλάχιστον σε μία από τις μελέτες ήταν οι εξής: (1) κατανάλωση ενέργειας, (2) κατανάλωση φυσικών πόρων, (3) επιπτώσεις σχετιζόμενες με την ενέργεια: όξυνση φαινομένου του θερμοκηπίου, ευτροφισμός, οξίνιση, φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος, (4) τοξικότητα εκπομπών, (5) παραγωγή στερεών απορριμμάτων, (6) παραγωγή υγρών αποβλήτων [102].

Αναλυτικότερα, και σε ότι αφορά τη σύγκριση της ανακύκλωσης και της καύσης, η εργασία των A. Villanueva και H. Wenzel (2007) και η εργασία της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environment Agency) (2006) καταλήγουν στις ακόλουθες διαπιστώσεις:

Κατανάλωση ενέργειας: Η κατηγορία αυτή παρουσιάζεται και μελετάται ενδελεχώς στα περισσότερα σενάρια των μελετών. Τα δεδομένα της ενεργειακής κατανάλωσης είναι ευκολότερο να αποκτηθούν απ' ότι τα πρωτογενή δεδομένα ενέργειας. Η απόκτηση έγκυρων δεδομένων για άλλες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η κατανάλωση λοιπών φυσικών πόρων, η παραγωγή απορριμμάτων και ιδιαίτερα η τοξικότητα και η χρήση γης, είναι συνήθως δυσχερέστερη [102,103].

Ανεξαρτήτως των επιλεχθέντων, σε κάθε περίπτωση, βασικών παραδοχών, διαπιστώνεται πως κατά την ανακύκλωση χαρτιού χρησιμοποιείται λιγότερη ενέργεια απ' ότι κατά την παραγωγή χαρτιού από παρθένες ίνες και την ακόλουθη καύση των συσχετιζόμενων απορριμμάτων. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται κυρίως από την τεχνολογία των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του ανακυκλωμένου χαρτιού, του χαρτιού από παρθένες ίνες και κατά την καύση του παλαιόχαρτου και λιγότερο από τα όρια του μελετηθέντος συστήματος. Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως κατά τον ολοκληρωμένο κύκλο ζωής των προϊόντων χάρτου από παρθένες ίνες καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια (απ' ότι στην περίπτωση της ανακύκλωσης του χαρτιού) παρόλο που κατά το στάδιο της καύσης των απορριμμάτων χάρτου ανακτώνται σημαντικά ποσά ενέργειας [102,103].

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας: Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας είναι χαμηλότερες στην περίπτωση της ανακύκλωσης του παλαιόχαρτου απ' ότι στην περίπτωση της καύσης αυτού. Εν συγκρίσει με την κατηγορία της κατανάλωσης ενέργειας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας εξαρτώνται σημαντικά από το είδος των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή χαρτιού από παρθένες και ανακυκλωμένες ίνες, από την τεχνολογία των σχετιζόμενων συστημάτων και από τις παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη. Παραδείγματος χάρη, αν θεωρηθεί πως η ξυλεία υπάρχει σε απεριόριστες ποσότητες και πως αυτή χρησιμοποιείται ως το μόνο



καύσιμο για την πρωτογενή παραγωγή χαρτιού, ενώ για την παραγωγή ανακυκλωμένων χαρτιών χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα, τότε η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση ενέργειας των δύο επιλογών οδηγεί σε αντίστροφα αποτελέσματα [102,103].

Κατανάλωση (πεπερασμένων) φυσικών πόρων: Η σύγκριση των δύο επιλογών, βάσει αυτής της κατηγορίας επιπτώσεων, εξαρτάται ιδιαίτερα από τις παραδοχές της εκάστοτε μελέτης. Παραδείγματος χάρη, μερικές μελέτες θεωρούν το νερό και το ξύλο ως απεριόριστους φυσικούς πόρους και, ως εκ τούτου, δεν τα συμπεριέλαβαν σ' αυτή την κατηγορία. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η κατανάλωση φυσικών πόρων περιορίζεται στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και χημικών πρόσθετων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του χαρτιού [102,103].

Παραγωγή απορριμμάτων: Η παραγωγή απορριμμάτων είναι ελαφρώς μικρότερη στα σενάρια της ανακύκλωσης, αν και οι διαφορές μεταξύ των δύο επιλογών δεν είναι σαφείς. Τα απορρίμματα που παράγονται κατά την καύση των απορριμμάτων χάρτου είναι τα υπολείμματα αυτής, και είναι υπό την μορφή τέφρας, σκωρίας και αποθειωμένου γύψου. Η ποσότητα αυτών είναι πολύ μικρότερη (περίπου το 10%) από την ποσότητα του παλαιόχαρτου που θα έπρεπε να ταφεί, εφόσον δεν οδηγούνταν για καύση. Αξίζει να σημειωθεί πως παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των νομοθετικών πλαισίων των κρατών που αφορούν στον χαρακτηρισμό των διαφόρων υλικών ως απορριμμάτων. Παραδείγματος χάρη, στην Ε.Ε. τα υπολείμματα της καύσης του άνθρακα χαρακτηρίζονται ως απορρίμματα, ενώ σε αρκετά άλλα κράτη (εκτός Ε.Ε.) ως παραπροϊόντα. Η απουσία, λοιπόν, ενός κοινού πλαισίου καθορισμού των απορριμμάτων καθιστά ιδιαίτερος δυσχερή τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της εν λόγω κατηγορίας επιπτώσεων [102,103].

Τοξικότητα: Τα αποτελέσματα αυτής της κατηγορίας επιπτώσεων χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή αντιπροσωπευτικότητα, καθώς, στις περισσότερες περιπτώσεις, ελάχιστα σενάρια περιέχουν αποτελέσματα γι' αυτή την κατηγορία. Γενικά, διαπιστώθηκε πως τα σενάρια ανακύκλωσης παρουσιάζουν χαμηλότερες επιπτώσεις που αφορούν στην τοξικότητα απ' ότι τα σενάρια της καύσης, προφανώς εξαιτίας των τοξικών συστατικών που εκπέμπονται κατά τα στάδια της παραγωγής χαρτιού από παρθένες ίνες [102,103]. Σημαντική καθίσταται και η αντιρροπτική τεχνολογία που εφαρμόζεται κατά την καύση του παλαιόχαρτου, η οποία δύναται να μειώσει τις πιθανές εκπομπές τοξικών ενώσεων (π.χ. φουρανίων και διοξινών).

Υγρά απόβλητα: Στο πλαίσιο αυτής της κατηγορίας διαπιστώνεται πως η παραγωγή χαρτιού από παρθένες ίνες παρουσιάζει περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι τιμές του COD στα υγρά απόβλητα είναι, γενικά, υψηλότερες στην περίπτωση της παραγωγής προϊόντων χάρτου από παρθένες ίνες. Στην περίπτωση που εμείς μελετάμε, την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, η τιμή της παραμέτρου του COD στα υγρά απόβλητα εξαρτάται, στο μεγαλύτερο βαθμό, από τη διαλυτοποίηση του αμύλου, που χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό (μεταξύ των ινών) [102,103].

Η συγκριτική ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στις εργασίες που μελέτησαν οι A. Villanueva και H. Wenzel (2007), για τις περιπτώσεις της ανακύκλωσης και της ταφής των προϊόντων χάρτου απέδειξε πως, βάσει των περισσότερων κατηγοριών επιπτώσεων, η ανακύκλωση συνιστά την περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή διαχείρισης απορριμμάτων χάρτου. Όμως, θα πρέπει να επισημανθεί πως σαφή συμπεράσματα μπόρεσαν να εξαχθούν

μόνο για τις περιπτώσεις των κατηγοριών «κατανάλωση ενέργειας» και «επιπτώσεις σχετιζόμενες με την ενέργεια». Για τις υπόλοιπες κατηγορίες δεν ήταν δυνατή η ασφαλής εξαγωγή συμπερασμάτων, είτε για λόγους μικρής αντιπροσωπευτικότητας είτε και για άλλους λόγους αδυναμίας σύγκρισης. Για το λόγο αυτό η σύγκριση μεταξύ της ανακύκλωσης και της ταφής του παλαιόχαρτου πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα πρώτα δύο κριτήρια [102,103].

Κατανάλωση ενέργειας: Για την κατηγορία αυτή ισχύουν παρόμοια με αυτά που αναφέρθηκαν στην αντίστοιχη της σύγκρισης μεταξύ ανακύκλωσης και καύσης. Κατά την ανακύκλωση, λοιπόν, του παλαιόχαρτου χρησιμοποιείται λιγότερη ενέργεια απ' ό τι κατά το πλήρες σύστημα που περιέχει την παραγωγή χαρτιού από παρθένες ίνες και την ακόλουθη ταφή αυτού. Η παραγωγή χαρτιού από παρθένες ίνες απαιτεί περισσότερη ενέργεια απ' ό τι παραγωγή του ανακυκλωμένου χαρτιού, επειδή περιλαμβάνει, επιπλέον, την (ενεργοβόρα) μετατροπή του ξύλου σε ίνες [102,103]. Υπενθυμίζεται πως κατά την ανακύκλωση του παλαιόχαρτου απαιτούνται πιο ήπιες διεργασίες αποϊνώσης εν συγκρίσει με αυτές που απαιτούνται κατά την παραγωγή της πρωτογενούς χαρτόμαζας.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας: Γενικά, η ανακύκλωση παρουσιάζει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας. Σημειώνεται όμως πως σε μερικά από τα σενάρια η επιλογή της ταφής των απορριμμάτων παρουσίαζε λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της συγκεκριμένης κατηγορίας. Όπως αναφέρθηκε ήδη, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας εξαρτώνται σημαντικά από το είδος των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή χαρτιού από παρθένες και ανακυκλωμένες ίνες, από την τεχνολογία των σχετιζόμενων συστημάτων και από τις παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη [102,103].

Ακόμη πιο πρόσφατα, οι H. Merrild et al. (2008) μελέτησαν τη σημασία της τεχνολογίας που εφαρμόζεται καθώς και των ορίων συστήματος που επιλέγονται στην περιβαλλοντική «επίδοση» (από την άποψη της όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου) της καύσης και της ανακύκλωσης του παλαιόχαρτου. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας διαπιστώθηκε πως η ανακύκλωση των προϊόντων χάρτου είναι ισοδύναμη ή καλύτερη περιβαλλοντικά επιλογή από την καύση με ανάκτηση ενέργειας μόνο στην περίπτωση που η τεχνολογία που εφαρμόζεται στις διεργασίες της ανακύκλωσης είναι υψηλής περιβαλλοντικής «αποτελεσματικότητας» (εννοώντας, υψηλής απόδοσης «καθαρή» τεχνολογία). Στην περίπτωση, όμως, που τα όρια του μελετηθέντος συστήματος διευρύνονται ούτως ώστε να συμπεριλαμβάνουν την αντικατάσταση της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα με την ενέργεια από την πλεονάζουσα βιομάζα που σχετίζεται με το σενάριο της ανακύκλωσης, έχουμε σημαντική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση αυτή, λοιπόν, η ανακύκλωση είναι πάντα περιβαλλοντικά προτιμότερη από την καύση [160].

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εργασία των J. M. Bloemhof-Ruwaard et al. (1996) σύμφωνα με την οποία η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής προϊόντων χάρτου στην Ε.Ε. μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (όπως αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης, ανάκτηση ενέργειας, καθαρότερες διεργασίες πολτοποίησης και λεύκανσης, κ.λπ.) και η επιλογή του καταλληλότερου εξ αυτών εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων που χαρακτηρίζονται από χρονική και χωρική αναφορά. Για το λόγο αυτό προτείνουν πως οι περιβαλλοντικές νομοθετικές ρυθμίσεις θα πρέπει να είναι περισσότερο ευέλικτες. Καταλήγουν πως η αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης των προϊόντων χάρτου δεν είναι πανάκεια για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από

τον κύκλο ζωής τους και αντιπροτείνουν μία ολιστικότερη προσέγγιση με στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντικών οφελών. Έτσι, για παράδειγμα, ενώ θεωρούν πως η αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης πλεονεκτεί έναντι της καύσης του παλαιόχαρτου σε μία βραχυπρόθεσμη βάση, πιστεύουν πως η βελτίωση της τεχνολογίας της καύσης, που λαμβάνει χώρα με την πάροδο των ετών, δύναται να καταστήσει τη λύση αυτή ιδιαίτερα ελκυστική τόσο από περιβαλλοντική σκοπιά όσο και από την οπτική γωνία των εμπορικών συναλλαγών μεταξύ των κρατών της Ε.Ε. [152]. Το τελευταίο μπορεί να κατανοηθεί αν συνεκτιμηθεί πως τα χαρακτηριστικά της παραγωγής των προϊόντων χάρτου διαφέρουν ιδιαίτερα μεταξύ των κρατών της Ε.Ε. Έτσι, η υιοθέτηση μίας επιλογής διαχείρισης παλαιόχαρτου σε μία χώρα επηρεάζει τη σχετική κατάσταση σε μία άλλη. Παραδειγματος χάρη, η Ελλάδα παράγει κυρίως ανακυκλωμένα προϊόντα χάρτου, ενώ χώρες όπως η Σουηδία και η Φινλανδία παράγουν πολύ μεγάλες ποσότητες πρωτογενούς χαρτόμαζας, τις οποίες και εξάγουν. Έτσι, για την περίπτωση της Ελλάδας μία στροφή προς την καύση του παλαιόχαρτου θα οδηγούσε στην αύξηση της εξάρτησης της χώρας από εισαγωγές χαρτιού από παρθένες ίνες. Από την άλλη, η αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης στα κράτη με μεγάλο πληθυσμό οδηγεί σε αντικατάσταση του παρθένου χαρτιού, που παράγεται στις Σκανδιναβικές χώρες, από ανακυκλωμένο, με σημαντικά θετικά αποτελέσματα στη βιοποικιλότητα των δασών. Οι J. M. Bloemhof-Ruwaard et al. (1996), επίσης, επισημαίνουν πως οι χώρες, στις οποίες παράγονται προϊόντα χάρτου υψηλής ποιότητας (π.χ. χαρτιά γραφής και εκτύπωσης), θα πρέπει να επικεντρώνονται στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τις διεργασίες της παραγωγής πολτού και χαρτιού. Εν κατακλείδι, λοιπόν, J. M. Bloemhof-Ruwaard et al. (1996) πιστεύουν πως, σε επίπεδο Ε.Ε., η περιβαλλοντική βελτιστοποίηση του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου μπορεί να επιτευχθεί με την υιοθέτηση ενός συνδυασμού μέτρων, τα οποία θα πρέπει να διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζουν στα χαρακτηριστικά κάθε κράτους αλλά και της Ε.Ε. ως συνόλου.

## **6 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΩΝ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ**

### **6.1 Εισαγωγή**

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επέρχονται κατά την ανακύκλωση των απορριμμάτων χάρτου στην Ελλάδα είναι ένα ζήτημα που ελάχιστα έχει μελετηθεί. Ειδικά σε ότι αφορά την ανακύκλωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, που (όπως ήδη έχει αναφερθεί) παρουσιάζουν έναν από τους υψηλότερες δείκτες ανάκτησης μεταξύ των διαφόρων ειδών παλαιόχαρτου, παρουσιάζεται πλήρη έλλειψη σχετικής ερευνητικής δραστηριότητας. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, στοχεύοντας στην μερική κάλυψη (ή, καλύτερα, σε μία πρώτη προσέγγιση) του εν λόγω ερευνητικού πεδίου, επιχειρείται η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, βάσει της μεθοδολογίας της Α.Κ.Ζ. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην όσο το δυνατόν καλύτερη αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων στην ελληνική πραγματικότητα. Ακόμη, επιχειρήθηκε η ανάδειξη των παραμέτρων εκείνων που καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την περιβαλλοντική «επίδοση» του μελετηθέντος συστήματος, η σύγκριση με την αντίστοιχη ευρωπαϊκή κατάσταση και η εκτίμηση δράσεων που δύνανται να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

### **6.2 Καθορισμός σκοπού και πλαισίου μελέτης**

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τον κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Θα επικεντρωθούμε στην περίπτωση της ανακύκλωσης αυτών. Το σύστημα μελέτης περιλαμβάνει τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καθώς και τη μεταφορά αυτών από τα σημεία συλλογής προς το εργοστάσιο παραγωγής. Επίσης λαμβάνονται υπόψη τα υποσυστήματα του κύκλου ζωής των βοηθητικών υλών και της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων. Η μελέτη περίπτωσης αφορά τη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., όπου παράγονται τα χαρτιά συσκευασίας που αποτελούν βάση για την κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, και την EL PACK Α.Ε., όπου κατασκευάζονται τα τελευταία. Δεν περιλαμβάνονται τα στάδια της χρήσης (καθώς και τα σχετικά στάδια μεταφοράς) των προϊόντων αυτών. Επίσης, δεν περιλαμβάνονται υποσυστήματα που έχουν μικρή επίδραση στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι η τύπωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και άλλα που καθίσταται πολύ δύσκολος ο προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους, όπως είναι η συσκευασία (π.χ. παλέτες, κ.ά.) κατά τη μεταφορά των χαρτιών συσκευασίας στην μονάδα κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

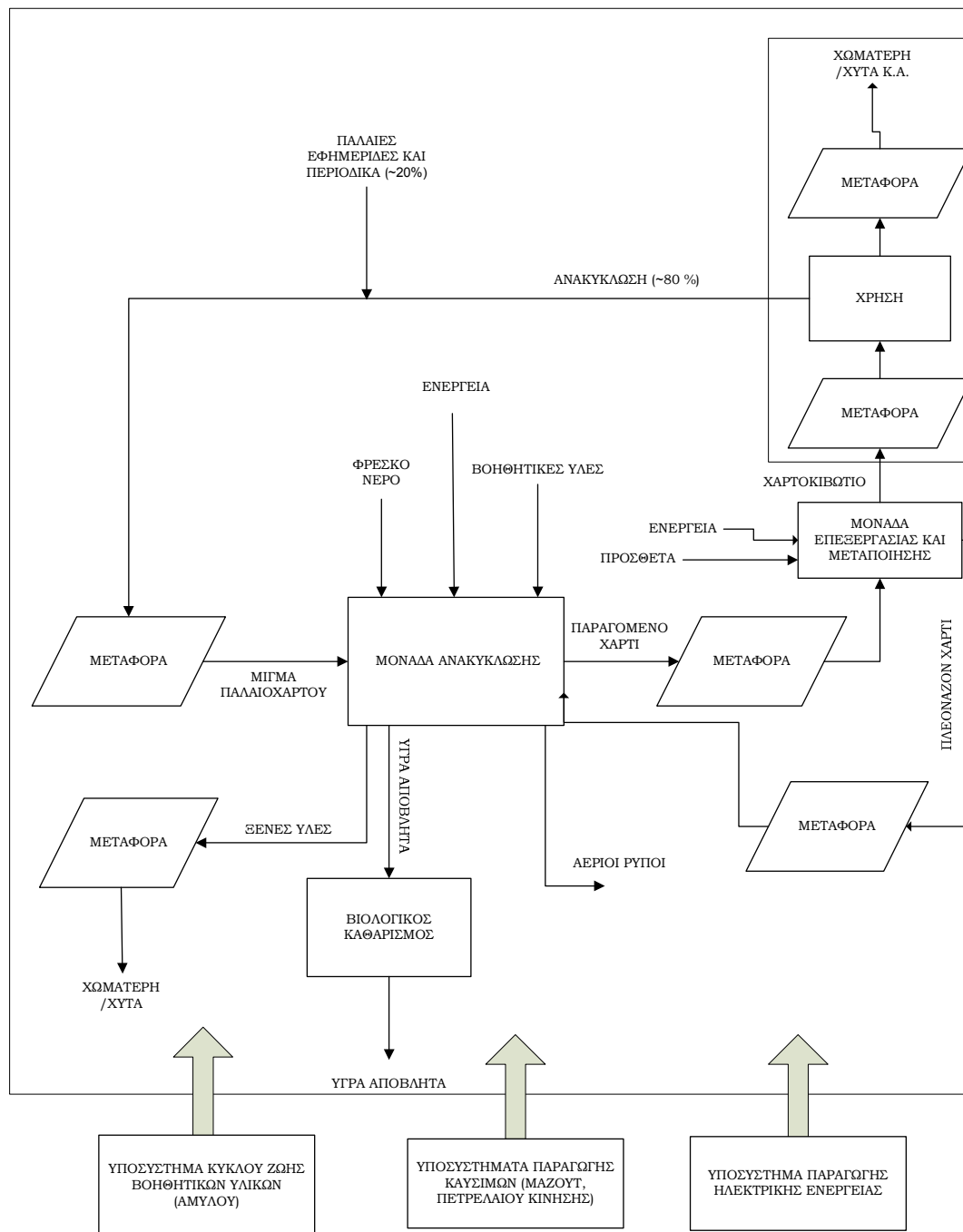
Στην περίπτωση που μελετάμε, περίπου το 60-70% των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων που παράγονται, ανακτάται και ανακυκλώνεται. Συνεπώς, σε κάθε κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων έχουμε ένα έλλειμμα της τάξης του 30-40% σε πρώτη ύλη για την παραγωγή των νέων προϊόντων. Το έλλειμμα αυτό καλύπτεται από παλαιές εφημερίδες, περιοδικά και άλλα είδη παλαιόχαρτου. Αυτό συνεπάγεται πως το εν λόγω έλλειμμα «μεταφέρεται» στο σύστημα παραγωγής άλλων προϊόντων χάρτου (κυρίως εφημερίδων και

περιοδικών). Θα έπρεπε, λοιπόν, να διευρύνουμε το σύστημα μελέτης ούτως ώστε να συμπεριλαμβάνει και την παραγωγή και άλλων προϊόντων χάρτου. Κάτι τέτοιο, όμως, καθίσταται πολύ δύσκολο και δε θα πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης. Υπό μία έννοια, δηλαδή, θα θεωρήσουμε πως το έλλειμμα πρώτων υλών για την παραγωγή των ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καλύπτεται από μία «δεξαμενή» που υπερκαλύπτει τις απαιτούμενες ποσότητες σε παλαιόχαρτο (εφημερίδες και περιοδικά) που η χρήση αυτού δεν επηρεάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε άλλα συστήματα. Επίσης, βάσει της παραδοχής αυτής δε χρειάζεται να μελετηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την τελική απόθεση των μη ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, καθώς η ποσότητα αυτών αντισταθμίζεται από την ποσότητα των εφημερίδων και περιοδικών που ανακυκλώνεται. Δηλαδή, στα όρια αυτού του συστήματος δεν έχουμε, ουσιαστικά, απόρριψη προϊόντων χάρτου.

Στις περισσότερες σχετικές μελέτες, το προαναφερθέν ζήτημα αντιμετωπίζεται θεωρώντας το μελετηθέν σύστημα ως κλειστού βρόγχου (closed-loop), όπου, δηλαδή, τα προϊόντα που παράγονται ανακυκλώνονται προς ίδια προϊόντα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ροές διαφορετικών προϊόντων. Στην περίπτωση αυτή, το έλλειμμα πρώτων υλών καλύπτεται μέσω της εισαγωγής στο σύστημα προϊόντων από παρθένες ίνες. Μία τέτοια θεώρηση είναι επιβεβλημένη ειδικά στην περίπτωση σύγκρισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ διαφορετικών επιλογών διαχείρισης απορριμμάτων. Βάσει του στόχου της μελέτης του παρόντος κεφαλαίου, ο οποίος επικεντρώνεται σε ένα στενά οριοθετημένο σύστημα, δε θα υιοθετηθεί η προαναφερθείσα θεώρηση.

### **6.2.1 Γενικά στοιχεία περί της Χαρτοποιίας Φθιώτιδας Α.Ε. και της EL PACK Α.Ε.**

Η Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. βρίσκεται στα περίχωρα της Λαμίας, και συγκεκριμένα στη Δαμάστα Φθιώτιδος. Από το Νοέμβριο του 2002 ανήκει στον όμιλο EL PACK, ο οποίος δραστηριοποιείται στην παραγωγή κυματοειδών χαρτονιών και χαρτοκιβωτίων από το 1986. Το εργοστάσιο της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. αξιοποιώντας αποκλειστικά παλαιόχαρτο, παράγει χαρτιά συσκευασίας που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Σε αυτά περιλαμβάνονται: (α) τα κυματοειδή χαρτιά, δηλαδή τα χαρτιά που προορίζονται προς κυματοποίηση και στην περίπτωση που παράγονται από ανακυκλωμένο χαρτί ονομάζονται medium και (β) τα επίπεδα χαρτιά (test-liners), τα οποία τοποθετούνται στις δύο πλευρές του κυματοειδούς χαρτιού, κατά την παραγωγή του κυματοειδούς χαρτονιού (βλ. 1.4.2). Τα χαρτιά αυτά οδηγούνται εν συνεχεία στο εργοστάσιο κατασκευής και μεταποίησης κυματοειδών χαρτονιών και χαρτοκιβωτίων της EL PACK Α.Ε., που βρίσκεται στη ΒΙ.ΠΕ. Πατρών. Τα υπολείμματα των χαρτιών συσκευασίας (ξακρίδια) που παράγονται στο πλαίσιο των διεργασιών του συγκεκριμένου εργοστασίου συλλέγονται, δεματοποιούνται και οδηγούνται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., συνιστώντας πρώτες ύλες αυτής. Σημειώνεται, τέλος, πως σήμερα στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος πραγματοποιούνται σημαντικές επενδύσεις με στόχο τον εκσυγχρονισμό της μονάδας.



Σχήμα 24: Συνοπτική αναπαράσταση του μελετηθέντος συστήματος

### 6.2.2 Βασικά στοιχεία περί της παραγωγικής διαδικασίας

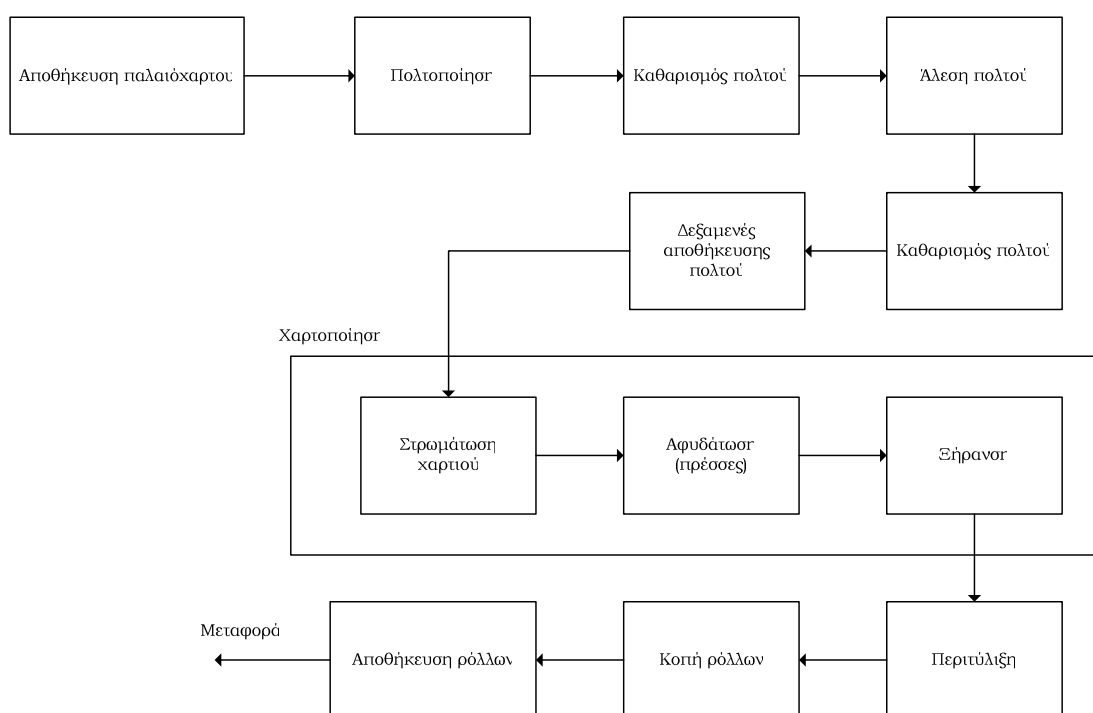
Το παλαιοχαρτό, το οποίο συλλέγεται κυρίως από το Λεκανοπέδιο Αττικής, αποθηκεύεται στον προαύλιο χώρο του εργοστασίου της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. Ακολούθως, οδηγείται στον πολτοποιητή όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ινών και η μετατροπή του σε ένα υδατικό αιώρημα ινών. Παράλληλα, κατά το εν λόγω στάδιο απομακρύνονται τα μεγάλα άχρηστα και ανεπιθύμητα υλικά (πλαστικά, σύρματα, κ.λπ.). Εν συνέχεια, το αιώρημα οδηγείται σε δεξαμενή αποθήκευσης και στη συνέχεια υποβάλλεται σε χονδρικό καθαρισμό (κατακράτηση των αδρομερών ακαθαρσιών, όπως πέτρες, τερμάκια ξύλου, πλαστικά, σύρματα κ.λπ.) μέσω της διέλευσής του από

υδροκυκλώνα υψηλής πυκνότητας και μιας σειράς περιστρεφόμενων και δονητικών κοσκίνων. Στη συνέχεια ο πολτός οδηγείται στη συσκευή άλεσης (refiner), όπου διέρχεται μεταξύ περιστρεφόμενων δίσκων που φέρουν προεξοχές και αυλακώσεις. Η άλεση έχει ως στόχο την ανάπτυξη (αύξηση της ειδικής επιφάνειας) και την αύξηση της ευκαμψίας των ινών, με τελικό αποτέλεσμα τη βελτίωση της μηχανικής αντοχής της χαρτόμαζας [109].

Μετά την άλεση ο πολτός οδηγείται στις δεξαμενές πολτού και στη συνέχεια στις δεξαμενές τροφοδοσίας, όπου προστίθενται οι απαραίτητες χημικές βοηθητικές ύλες (ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα του προϊόντος). Στη συνέχεια γίνεται ρύθμιση της πυκνότητας του πολτού με προσθήκη επαναχρησιμοποιημένου ή φρέσκου νερού. Ο πολτός υποβάλλεται σε πρόσθετα στάδια καθαρισμού με υδροκυκλώνες και περιστρεφόμενα κόσκινα. Τα απορριπτόμενα υλικά διατίθενται για ταφή. Ο καθαρός πολτός αραιώνεται με νερό έως την επιθυμητή περιεκτικότητα ινών και τροφοδοτείται στο κιβώτιο ροής της χαρτοποιητικής μηχανής [109].

Το παραγόμενο χαρτί περιτυλίγεται σε ρόλους, οι οποίοι και αποθηκεύονται προτού μεταφερθούν στο εργοστάσιο κατασκευής και μεταποίησης του εργοστασίου της EL PACK A.E. στην ΒΙ.ΠΕ. της Πάτρας, αλλά και σε άλλους μικρότερους πελάτες. Σημειώνεται πως στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. παράγονται χαρτιά με διάφορες τιμές επιφανειακής πυκνότητας: 115, 125, 140 και 150 gr/m<sup>3</sup> [109].

Στο Σχήμα 24 αναπαριστώνται συνοπτικά οι βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε.



**Σχήμα 25:** Συνοπτικό διάγραμμα ροής της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε.

Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε πως η διαδικασία ανακύκλωσης που λαμβάνει χώρα στη συγκεκριμένη μονάδα είναι σχετικά απλή. Αυτό οφείλεται στο είδος των παραγόμενων χαρτιών (συσκευασίας), τα οποία δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά τις οπτικές ιδιότητες του προϊόντος. Για παράδειγμα στην συγκεκριμένη περίπτωση, η απομελάνωση

του παλαιόχαρτου καθίσταται περιττή (κάτι που δε θα συνέβαινε αν παράγονταν δημοσιογραφικό χαρτί ή χαρτί γραφής και εκτύπωσης) και ως εκ τούτου μειώνονται οι απαιτήσεις σε εγκατάσταση εξοπλισμού και κατανάλωση ενέργειας και νερού.

Για τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας αξιοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια του εθνικού δικτύου διανομής και η θερμική ενέργεια του μαζούτ, το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ατμού. Το νερό, που απαιτείται για τη λειτουργία των επιμέρους διεργασιών της μονάδας, ανακυκλώνεται σε μεγάλο βαθμό και η πλεονάζουσα ποσότητα (αυτή που δεν είναι κατάλληλη για περαιτέρω ανακύκλωση) οδηγείται στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τέλος, τα στερεά απορρίμματα, που προέρχονται από τα στάδια καθαρισμού, οδηγούνται σε χώρους ταφής απορριμμάτων.

Σε ότι αφορά το εργοστάσιο της EL PACK A.E. δεν είχαμε διαθέσιμα λεπτομερή στοιχεία περί των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σ' αυτό. Για το λόγο αυτό θα αναφέρουμε τα όσα ισχύουν γενικότερα για τα εργοστάσια του είδους αυτού. Σ' αυτά, λοιπόν, πραγματοποιείται η αυλάκωση του κυματοειδούς χαρτιού, η συγκόλληση αυτού με τα επίπεδα χαρτιά και η διαμόρφωση των τελικών κυματοειδών καρτοκιβωτίων. Το κυματοειδές χαρτί περνά από μία διάταξη (γνωστή ως κυματοποιητής –“corrugator”-) η οποία φέρει ρόλους με αυλακώσεις. Μέσω αυτής της διάταξης και με τη χρήση ατμού και θερμότητας το εν λόγω χαρτί αποκτά τις απαιτούμενες αυλακώσεις. Ακολούθως, οι κορυφές των αυλακώσεων επικρίζονται με άμυλο, ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί η συγκόλληση αυτών με τα επίπεδα χαρτιά και να παραχθεί, εν τέλει, το κυματοειδές χαρτόνι. Εν συνέχεια, ακολουθεί η τύπωση των χαρτονιών αυτών (σχεδόν πάντα με φλεξογραφικά μελάνια) και η διαμόρφωσή τους προς κυματοειδή καρτοκιβώτια [100].

### **6.3 Απογραφή δεδομένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

Σύμφωνα με τους G. Finnveden και T. Ekvall (1998), μία πλήρης μελέτη A.K.Z. που αφορά στην ανακύκλωση χαρτιών συσκευασίας και κυματοειδών καρτοκιβωτίων θα πρέπει να περιλαμβάνει κυρίως τις εξής κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων [124]:

1. Κατανάλωση ενέργειας και υλικών.
2. Κατανάλωση νερού.
3. Χρήσεις γης.
4. Ανθρώπινη υγεία-τοξικολογικές επιπτώσεις (δεν συμπεριλαμβάνονται επιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα στο εργασιακό περιβάλλον).
5. Ανθρώπινη υγεία-μη τοξικολογικές επιπτώσεις (δεν συμπεριλαμβάνονται επιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα στο εργασιακό περιβάλλον).
6. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία στο εργασιακό περιβάλλον.
7. Υπερθέρμανση του πλανήτη.
8. Καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος.
9. Οξίνιση.
10. Ευτροφισμός.
11. Φωτοοξειδωτικός σχηματισμός.
12. Οικοτοξικολογικές επιπτώσεις.
13. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και στη βιοποικιλότητα.



Εμείς στη μελέτη αυτή δε θα συμπεριλάβουμε όλες τις προαναφερθείσες κατηγορίες επιπτώσεων, είτε γιατί μερικές δεν περιλαμβάνονται στα όρια του συστήματος μελέτης (π.χ. χρήσεις γης) είτε γιατί κάποιες είναι πολύ δύσκολο να μελετηθούν (π.χ. ανθρώπινη υγεία – τοξικολογικές ή μη επιπτώσεις). Ούτως ή άλλως, σχεδόν το σύνολο των μελετών Α.Κ.Ζ. προϊόντων χάρτου αδυνατούν να συμπεριλάβουν όλες τις κατηγορίες αυτές (βλ. Κεφάλαιο 5). Θα επικεντρωθούμε κυρίως στις εξής κατηγορίες: (1) κατανάλωση ενέργειας και υλικών, (2) κατανάλωση νερού, (3) όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, (4) οξίνιση και (5) οχηματισμός τροποσφαιρικού όζοντος.

Ως λειτουργική μονάδα της παρούσας μελέτης ορίζεται ο ένας τόνος παραγόμενων ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (με υγρασία περίπου 8%). Επίσης θα θεωρηθεί πως όλα τα προϊόντα χάρτου που εισέρχονται ή εξέρχονται από το σύστημά μας έχουν το ίδιο ποσοστό υγρασίας<sup>46</sup>. Όλες οι ροές, λοιπόν, του συστήματος θα ανάγονται ως προς αυτή τη λειτουργική μονάδα. Είναι σημαντικό ακόμη να σημειωθεί πως για την κατασκευή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων απαιτούνται περίπου 1,13 τόνοι χαρτιών συσκευασίας. Δηλαδή 130 kg (από τους 1,13 τόνους) απορρίπτονται ως πλεονάζον υλικό από το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οδηγούνται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. για ανακύκλωση. Αυτό σημαίνει πως όταν γνωρίζουμε μία ροή στο στάδιο της παραγωγής χαρτιών συσκευασίας ανά μονάδα μάζας αυτών θα πρέπει να την πολλαπλασιάσουμε με 1,13 για να την ανάγουμε στη μονάδα μάζας των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

### **6.3.1 Κατανάλωση πρώτων και βοηθητικών υλών**

Οι πρώτες ύλες της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. αποτελούνται περίπου κατά 80% από παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια και κατά 20% από εφημερίδες, περιοδικά, διάφορα χαρτόνια και αποκόμματα τυπογραφείων σε περίπου ίσα επιμέρους ποσοστά, για την περίπτωση της παραγωγής κυματοειδών χαρτιών (medium). Στην περίπτωση παραγωγής επίπεδων χαρτιών (test-liners), τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 60% και 40%.

Όσον αφορά στα χημικά που χρησιμοποιούνται, προστίθενται περίπου 15 kg κατιονικού αμύλου από πατάτα και 0,7 kg κατιονικού πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο παραγόμενου χαρτιού medium. Στην περίπτωση του χαρτιού test-liner η προστιθέμενη ποσότητα του κατιονικού πολυηλεκτρολύτη είναι ίδια με την προαναφερθείσα, ενώ η προστιθέμενη ποσότητα κατιονικού αμύλου είναι αρκετά μικρότερη (περίπου 4 kg/tn παραγόμενου χαρτιού) [109]. Χάρην σύγκρισης αναφέρεται πως, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006), η προστιθέμενη ποσότητα αμύλου ανέρχεται σε 36,5 kg/tn ενδιάμεσου στρώματος χαρτιού (medium) και σε 33,5 kg/tn επίπεδου στρώματος χαρτιού (test-liner) [100].

Για την περίπτωση της EL PACK Α.Ε., δεν ήταν διαθέσιμα τα πρωτογενή δεδομένα περί της προστιθέμενης ποσότητας αμύλου (αλλά και των λοιπών πρόσθετων υλικών). Για το λόγο αυτό θα υιοθετήσουμε την τιμή 26,3 kg/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, που δίνεται στην Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) [100]. Αν λάβουμε υπόψη πως στην περίπτωση της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. οι τιμές για τις προστιθέμενες ποσότητες αμύλου είναι αρκετά μικρότερες

---

<sup>46</sup> Στην πραγματικότητα η υγρασία του κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου κυμαίνεται από 7 έως 8%, ενώ η υγρασία του παλαιόχαρτου είναι περίπου 10% (FEFCO).

απ' αυτές που δίνονται στην προαναφερθείσα βάση δεδομένων, θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε πως η εν λόγω τιμή είναι μεγαλύτερη από την πραγματική. Σύμφωνα μ' αυτή τη βάση δεδομένων, κατά το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων δεν προστίθενται άλλα υλικά σε αξιοσημείωτες ποσότητες. Συγκεκριμένα, προστίθεται βιοκτόνα, κόλλες και φλεξογραφικά μελάνια σε αντίστοιχα ποσοστά 0,0046%, 0,06% και 0,37% ανά ξηρή μάζα κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Για να συσχετισθούν οι ανωτέρω τιμές πρώτων και βοηθητικών υλών με την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως ένα κυματοειδές χαρτοκιβώτιο αποτελείται κατά 70%, περίπου, από επίπεδα χαρτιά (test-liners) και κατά 30% από τα χαρτιά ενδιάμεσων στρωμάτων (medium) [109]. Βάσει αυτού εκτιμάται πως οι πρώτες ύλες αποτελούνται περίπου κατά 66% από παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια και κατά 34% από παλαιές εφημερίδες, περιοδικά και λοιπές ποιότητες παλαιόχαρτου. Η συνολική ποσότητα προστιθέμενου αμύλου στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. εκτιμάται περίπου σε 7,3 kg/tn χαρτιών συσκευασίας και κατ' επέκταση σε 8,2 kg/tn<sup>47</sup> παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Συνεπώς, η συνολική προστιθέμενη ποσότητα αμύλου είναι περίπου 34,5 kg/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Για την παραγωγή ατμού χρησιμοποιούνται οι εξής βοηθητικές ύλες: (α) διάλυμα θειωδών και φωσφορικών αλάτων, για την απορρόφηση του οξυγόνου του νερού (ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος διάβρωσης του λέβητα) και για τη διαλυτοποίηση των αλάτων (ώστε να μειωθούν οι αποθέσεις), (β) μίγμα αμινών για τη ρύθμιση του pH του νερού και του ατμού, (γ) αλάτι για την αναγέννηση της ρητίνης των στηλών αποσκλήρυνσης του νερού και (δ) βελτιωτικό καυσίμου για την καλύτερη καύση του μαζούτ και τη μείωση των αποθέσεων στον καυστήρα [109].

Στην μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται οι εξής βοηθητικές ύλες: (1) κατιονικός πολυηλεκτρολύτης για την κροκιδωση των ινών, κατά το στάδιο της επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (DAF), (2) θρεπτικό υλικό (αζώτου-φωσφόρου) κατά το στάδιο της αερόβιας επεξεργασίας και (3) κατιονικός πολυηλεκτρολύτης για τη συμπίκνωση της λάσπης [109].

Στην παρούσα μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα ληφθούν υπόψη μόνο τα προστιθέμενα υλικά εκείνα που αποτελούν άνω του 1% της μάζας των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων<sup>48</sup>. Έτσι θα ληφθούν υπόψη, μόνο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του αμύλου (που συνιστά το 3,45% της συνολικής μάζας των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων).

#### 6.3.1.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου

Πρέπει να αναφέρουμε πως το άμυλο αξιοποιείται τόσο για την παραγωγή διατροφικών προϊόντων όσο και για την παραγωγή άλλων (μη διατροφικών) καταναλωτικών προϊόντων. Δεσπόζουσα θέση ανάμεσα στα τελευταία έχουν τα προϊόντα χάρτου, καθώς, για παράδειγμα, άνω του 65% του βιομηχανικού αμύλου<sup>49</sup> από σιτάρι αξιοποιείται από τον

<sup>47</sup> Η τιμή αυτή προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τα 7,3 kg/tn χαρτιών με το συντελεστή 1,13. Υπενθυμίζεται πως απαιτείται αυτή η διαδικασία για την αναγωγή των ροών του σταδίου παραγωγής χαρτιών σε βάση τη μονάδα μάζας των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

<sup>48</sup> Στους Lopes et al. (2003) αποκλείονται από το σύστημα μελέτης εκείνες οι ροές που αντιστοιχούν σε λιγότερο από 1% της μάζας των παραγόμενων προϊόντων χάρτου [95], ενώ στους Dahlbo et al. (2005) αποκλείονται εκείνες οι ροές που χρησιμοποιούνται σε ποσοστό κάτω του 0,5% επί της μάζας του τελικού προϊόντος [127].

<sup>49</sup> Εννοώντας το άμυλο που δε χρησιμοποιείται για την παραγωγή διατροφικών προϊόντων.

κλάδο της καρτοβιομηχανίας. Σ' αυτό περιλαμβάνεται το κατιονικό άμυλο, που αυξάνει τη μηχανική αντοχή των χαρτιών, το άμυλο επίχρισης, που αυξάνει την αντοχή και την εν γένει ποιότητα της επίχρισης, το οξειδωμένο άμυλο, το οποίο εφαρμόζεται σε υψηλής ποιότητας χαρτιά για να παρέχει επιφανειακή αντοχή και εκτυπωσιμότητα και το άμυλο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Το τελευταίο χρησιμοποιείται, επίσης, στην παραγωγή αδιάβροχών ρητινών που δεν περιέχουν φορμαλδεΰδη [138].

Τα δεδομένα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής του αμύλου βασίστηκαν στα δεδομένα του ελεύθερου λογισμικού GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems) Version 4.4 [147]. Αυτό περιέχει μία εκτενή βάση δεδομένων σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις πλήθους προϊόντων και διεργασιών και συνιστά ένα αρκετά εύχρηστο εργαλείο για την υποστήριξη μελετών Α.Κ.Ζ. Σημειώνεται, επίσης, πως και στην εργασία των V. Narayanaswamy et al. (2003) [138] περιγράφονται αναλυτικά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου. Αυτή όμως η εργασία επικεντρώνεται στο άμυλο που παράγεται από σιτάρι και ως εκ τούτου δεν επιλέγεται να αξιοποιηθεί στην περίπτωση μας (όπου χρησιμοποιείται άμυλο από πατάτες). Ένας επιπρόσθετος λόγος που επιλέγονται τα στοιχεία του λογισμικού GEMIS, έναντι αυτών της εργασίας των V. Narayanaswamy et al. (2003), είναι πως τα πρώτα αφορούν τον ευρωπαϊκό χώρο (Γερμανία), ενώ τα δεύτερα την Αυστραλία. Πρέπει, τέλος, να αναφερθεί πως σύμφωνα με τα σχετικά στοιχεία του λογισμικού GEMIS παρουσιάζονται λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου απ' ότι στην εργασία των V. Narayanaswamy et al. (2003).

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 23) δίνονται οι βασικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου βάσει του λογισμικού GEMIS. Η τελευταία ενημέρωση των δεδομένων αυτών ήταν το 2000.

**Πίνακας 23:** Βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου

<b>Βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου</b>						
<b>Αέριες εκπομπές</b>						
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	SO <sub>2</sub>	Σωματίδια
g/kg αμύλου	641,2	0,688	2,2431	0,119	0,544	0,253
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HCl	HF	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>
g/kg αμύλου	1,162	0,339	9,49·10 <sup>-3</sup>	3,96·10 <sup>-4</sup>	4,12·10 <sup>-6</sup>	0,143
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>						
	P	N	AOX	COD	BOD <sub>5</sub>	Άλατα
g/kg αμύλου	5,12·10 <sup>-6</sup>	0,003	3,96·10 <sup>-7</sup>	1,3238	0,002122	397,81
<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>						
	Μη ανανεώσιμη	Ανανεώσιμη	Άλλες			
MJ/kg αμύλου	9,5907574	0,12384	0,22465			

[Πηγή: GEMIS [147]]

### 6.3.2 Κατανάλωση ενέργειας

#### 6.3.2.1 Κατανάλωση ενέργειας κατά τα στάδια της παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 620 kWh/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας, ενώ η κατανάλωση μαζούτ εκτιμάται σε 145 kg/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας. Η ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται για την λειτουργία του εγκαταστημένου εξοπλισμού, ενώ το μαζούτ αξιοποιείται για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση των τυμπάνων στο στεγνωτικό συγκρότημα και, μικρό ποσοστό του, για την λειτουργία των παρασκευαστηρίων αμύλου. Η θερμoγόνος δύναμη του μαζούτ που χρησιμοποιείται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδας Α.Ε. εκτιμάται σε 40.403 kJ/kg [109]. Συνεπώς η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά τόνο παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας υπολογίζεται σε 2.247,3 kWh ή, αλλιώς, 8.089,3 MJ, εκ των οποίων το 27,6% αντιστοιχεί σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο (72,4%) σε θερμική ενέργεια του μαζούτ. Η τιμή αυτή είναι συγκρίσιμη με την αντίστοιχη που δίνεται από τη Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006), σύμφωνα με την οποία η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια ανά τόνο παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας ανέρχεται σε 8,25 GJ [100]. Όμως, στην περίπτωση αυτή, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής αντιστοιχεί στο 4,2% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο ότι πολλές ευρωπαϊκές μονάδες του κλάδου έχουν εγκαταστήσει συστήματα Σ.Η.Θ.

**Πίνακας 24:** Κατανάλωση ενέργειας κατά τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

<b>Κατανάλωση ενέργειας κατά τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (ανά μονάδα μάζας παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων)</b>				
Στάδιο	Είδος	MJ/tn	kWh/tn	Ποσοστό
Παραγωγή χαρτιών συσκευασίας <sup>1</sup>	Μαζούτ	6.620.0	1.838,9	72,4%
	Ηλεκτρική Ενέργεια	2.522.6	700.7	27,6%
	<b>Σύνολο</b>	<b>9.142,2</b>	<b>2.539.5</b>	<b>100%</b>
Κατασκευή κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου	Μαζούτ	848	236	72,8%
	Ηλεκτρική Ενέργεια	317	88	27,2%
	<b>Σύνολο</b>	<b>1.165</b>	<b>324</b>	<b>100%</b>
Σύνολο	Μαζούτ	7.468.5	2.074,9	72,5%
	Ηλεκτρική Ενέργεια	2.839,0	788,7	27,5%
	<b>Σύνολο</b>	<b>10.307,5</b>	<b>2.863,6</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup> Οι τιμές που αναφέρονται για το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών έχουν μετατραπεί καταλλήλως ούτως ώστε να αναφέρονται σε μονάδα μάζας κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (πολλαπλασιάστηκαν, δηλαδή, με το συντελεστή 1,13)

Στο εργοστάσιο της Πάτρας όπου συγκολλώνται τα φύλλα χαρτιού και διαμορφώνονται προς κυματοειδή χαρτοκιβώτια καταναλώνονται 21 kg μαζούτ και 88 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά τόνο παραγόμενων χαρτοκιβωτίων [109]. Θεωρώντας πως η θερμoγόνος δύναμη του μαζούτ είναι η ίδια με αυτή που αναφέρθηκε προηγουμένως υπολογίζεται πως η συνολική ενέργεια, στο συγκεκριμένο στάδιο του κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, είναι 1.164,5 MJ/tn παραγόμενου προϊόντος. Εν συγκρίσει αναφέρεται πως

η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) εκτιμά την αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας σε 1,53 GJ/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Τα προαναφερθέντα δίνονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 24.

#### 6.3.2.2 Κατανάλωση ενέργειας κατά τη μεταφορά

Η μεταφορά του συλλεχθέντος παλαιόχαρτου γίνεται από το Λεκανοπέδιο Αττικής με φορτηγά των 25 tn [109]. Πρέπει, όμως, να επισημανθεί πως, βάσει των δεδομένων που μπόρεσαν να συλλεχθούν, είναι δύσκολο να συνεκτιμηθούν οι διαδρομές των φορτηγών οχημάτων που σχετίζονται με τη συλλογή του παλαιόχαρτου μέσα στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Τα φορτηγά, κατά κανόνα, κινούνται από τα σημεία συλλογής παλαιόχαρτου προς τη μονάδα ανακύκλωσης με πλήρες φορτίο. Κατά την επιστροφή τους από την μονάδα ανακύκλωσης εκτιμάται πως το 40% των φορτηγών είναι άδεια [100]. Η χιλιομετρική απόσταση μεταξύ Αθήνας και Λαμίας είναι 214 km [110]. Οι υπολογισμοί θα βασιστούν στην παραδοχή πως το κάθε όχημα επιστρέφει στα σημεία συλλογής (Λεκανοπέδιο Αττικής) και ως εκ τούτου η συνολικά καταναλωθείσα ποσότητα καυσίμου θα αναχθεί στη διπλάσια χιλιομετρική απόσταση. Η κατανάλωση καυσίμου εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, μεταξύ των οποίων η τεχνολογία του κινητήρα, το μέγεθος του οχήματος, ο τρόπος οδήγησης και το οδικό δίκτυο, και ως εκ τούτου είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί. Κατά προσέγγιση, πάντως, ένα φορτηγό 25 tn καταναλώνει 0,3-0,5 lt πετρελαίου κίνησης ανά διανυόμενο χιλιόμετρο<sup>50</sup> [109,111,112]. Συνεπώς, για την προαναφερθείσα διαδρομή (συμπεριλαμβανομένης της επιστροφής των οχημάτων), η συνολική κατανάλωση ενός φορτηγού, που μεταφέρει 25 tn παλαιόχαρτου, εκτιμάται σε 128,4-214 lt πετρελαίου κίνησης. Αν ληφθεί υπόψη η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου κίνησης (περίπου 45 MJ/kg) και η πυκνότητα αυτού (περίπου 0,85 kg/lt) η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια εκτιμάται σε 4.900-8.186 MJ. Αν επιμερίσουμε τα προαναφερθέντα ποσά σε κάθε τόνο μεταφερόμενου παλαιόχαρτου τότε η κατανάλωση πετρελαίου κίνησης εκτιμάται σε 5,1-8,6 lt/tn παλαιόχαρτου και η αντίστοιχη τιμή ενέργειας σε 196-327,4 MJ/tn παλαιόχαρτου. Καθώς, όμως, το παραγόμενο χαρτί αντιστοιχεί στο 80% της μάζας του παλαιόχαρτου που αξιοποιείται από τη Χαρτοποιία Φθιώτιδος (καθώς το υπόλοιπο 20%, που αποτελείται κυρίως από άχρηστα υλικά, απομακρύνεται στα στάδια καθαρισμού, βλ. 6.3.4), η κατανάλωση πετρελαίου κατά τη μεταφορά αυξάνεται σε 6,4-10,8 lt/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας και η αντίστοιχη καταναλισκόμενη ενέργεια σε 245-409,3 MJ/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας.

Όπως προαναφέρθηκε, το παραγόμενο χαρτί μεταφέρεται στις περισσότερες περιπτώσεις στο εργοστάσιο της EL PACK A.E. στην Πάτρα<sup>51</sup>. Η απόσταση Λαμία-Πάτρα είναι περίπου 196 km [110]. Όμως, η διαδρομή αυτή είναι δυσκολότερη από άποψη συνθηκών οδήγησης και ως εκ τούτου η κατανάλωση πετρελαίου κίνησης ανά διανυθέν χιλιόμετρο αναμένεται να είναι αυξημένη σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Παρόλ' αυτά δεν είναι δυνατή μία ακριβής προσέγγιση της εν λόγω αύξησης και ως εκ τούτου θα θεωρήσουμε και εδώ πως ισχύει το προαναφερθέν εύρος τιμών κατανάλωσης καυσίμου. Θα

<sup>50</sup> Σύμφωνα με τα πρωτογενή στοιχεία που συλλέχθηκαν (από τους υπεύθυνους της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε.) η κατανάλωση πετρελαίου κίνησης των φορτηγών κυμαίνεται περί τα 0,5 lt ανά διανυόμενο χιλιόμετρο [109]. Σύμφωνα με άλλες πηγές η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη [111,112].

<sup>51</sup> Εμείς θα θεωρήσουμε πως όλη η ποσότητα αυτού μεταφέρεται στο εργοστάσιο της EL PACK A.E.

θεωρήσουμε επίσης πως κάθε φορτηγό επιστρέφει στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. και για το λόγο αυτό οι υπολογισμοί θα αφορούν στη διπλάσια απόσταση. Έτσι, η συνολική κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για ένα φορτηγό 25 tn που διανύει την απόσταση Λαμία-Πάτρα-Λαμία εκτιμάται 117,6-196 lt.

Πρέπει να διευκρινιστεί πως κάθε φορτηγό μεταφέρει 25 tn χαρτιών συσκευασίας, ποσότητα που αντιστοιχεί σε 22,1 tn κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (αφού απαιτούνται 1,13 tn χαρτιών για να κατασκευασθεί ένας τόνος κυματοειδών χαρτοκιβωτίων). Έτσι, η κατανάλωση πετρελαίου ανά τόνο παραγόμενου χαρτοκιβωτίου υπολογίζεται σε 5,4-8,8 lt/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και η ενέργεια που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη κατανάλωση 207,5-337,2 MJ/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Η συνολική (από τη συλλογή έως την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων), λοιπόν, κατανάλωση πετρελαίου κίνησης κατά τις δύο προαναφερθείσες διαδρομές εκτιμάται 11,8-19,6 lt/tn (μέση τιμή: 15,7 lt/tn) παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και η ενέργεια που αντιστοιχεί σ' αυτή την κατανάλωση 452,5-746,5 MJ/tn (μέση τιμή: 599,5 MJ/tn) παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. έχουμε, ακόμη, κατανάλωση 0,5 lt πετρελαίου κίνησης ανά τόνο παραγόμενων χαρτιών (ή 0,565 lt ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) από τη χρήση περνοφόρων οχημάτων [109], ποσότητα, δηλαδή, που αντιστοιχεί σε 21,7 MJ/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Τα αντίστοιχα δεδομένα για την περίπτωση του σταδίου της κατασκευής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων δεν ήταν διαθέσιμα.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί πως δεν ήταν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τη μεταφορά των στερεών απορριμμάτων, που παράγονται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., στους χώρους τελικής διάθεσης αυτών.

### 6.3.2.3 Συνολική κατανάλωση ενεργειακών πόρων

Για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας των ενεργειακών πόρων θα στηριχθούμε κυρίως στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS. Στον Πίνακα 25 δίνονται στα συγκεντρωτικά στοιχεία της κατανάλωσης των ανανεώσιμων και μη ενεργειακών πόρων στα διάφορα υποσυστήματα που μελετήθηκαν. Βάσει αυτού διαπιστώνεται πως σχεδόν ολοκληρωτικά η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε μη ανανεώσιμους πόρους. Σ' αυτό συμβάλλει και το μικρό ποσοστό εισαγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής (βλ. Πίνακα 31).

### 6.3.3 Κατανάλωση νερού

Στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας, η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται στο σύνολο των επιμέρους διεργασιών συγκεντρώνεται σε δεξαμενές και από αυτές επαναχρησιμοποιείται για την αραιώση του πολτού (κατά την πολτοποίηση του και την πορεία του στη χαρτοποιητική μηχανή), ενώ το υπόλοιπο πηγαίνει στις δεξαμενές επίπλευσης (DAF). Μετά την επίπλευση ένα μικρό μέρος επιστρέφει στην παραγωγική διαδικασία, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στο βιολογικό καθαρισμό. Η ποσότητα των αποβλήτων που οδηγούνται στο σύστημα επεξεργασίας τους είναι περίπου 17,5 m<sup>3</sup>/tn παραγόμενων χαρτιών [109]. Αξίζει να επισημανθεί πως η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη (5,4 m<sup>3</sup>/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας) που δίνεται στην Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων

(2006) [100]. Για κάθε τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων η τιμή αυτή ανέρχεται σε 19,8 m<sup>3</sup>. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί και στην ποσότητα φρέσκου νερού που καταναλώνεται ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

**Πίνακας 25:** Κατανάλωση ενεργειακών πόρων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

<b>Κατανάλωση ενεργειακών πόρων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων</b>				
	Μη ανανεώσιμοι (MJ)	Ανανεώσιμοι (MJ)	Λοιποί (MJ)	Σύνολο (MJ)
Κατανάλωση ηλεκ. ενέργειας <sup>1</sup>	7.572,8	245,3	89,0	7.907,1
Κατανάλωση ατμού (καύση μαζούτ)	7.468,5			7.468,5
Παραγωγή μαζούτ <sup>1</sup>	7.782,0	9,3	0	7.791,3
Κ. Ζ. Αμύλου <sup>1</sup>	331,4	4,3	7,8	343,4
Στάδια μεταφοράς (καύση πετρελαίου κίνησης)	600,5			600,5
Παραγωγή πετρελαίου κίνησης <sup>2</sup>	771,3	0,9	0	772,2
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>24.526,5</b>	<b>259,7</b>	<b>96,7</b>	<b>24.883,0</b>
<sup>1</sup> Πηγή: GEMIS [147]				
<sup>2</sup> Πηγή: G. Kozak (2003) [125]				

Η κατανάλωση ατμού, στη συγκεκριμένη μονάδα, εκτιμάται σε 1.740 kg/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας [109] και σε 1.966 kg/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Για το στάδιο της κατασκευής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων δεν είχαμε διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα. Για το λόγο αυτό θα υιοθετήσουμε τις τιμές που δίνει η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006). Σύμφωνα μ' αυτή καταναλώνονται 0,48 m<sup>3</sup> νερού ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων [100].

Συνεπώς η συνολική κατανάλωση νερού ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι περίπου 20,3 m<sup>3</sup> (δίκως να συμπεριλαμβάνεται η ποσότητα του καταναλισκόμενου ατμού).

Σημειώνεται, ακόμη, πως δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για την κατανάλωση νερού στα υπόλοιπα υποσυστήματα (κύκλος ζωής αμύλου και παραγωγή καυσίμων) και ως εκ τούτου δε λαμβάνονται υπόψη.

#### **6.3.4 Στερεά απορρίμματα**

Περίπου το 20% του παλαιόχαρτου που οδηγείται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. συνιστά ξένες ύλες και απομακρύνεται στα στάδια του καθαρισμού. Συνεπώς, η απόδοση σε χαρτί (σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο παλαιόχαρτο) είναι περίπου 80%. Έτσι για να παραχθεί ένας τόνος χαρτιών απαιτούνται 1,25 tn παλαιόχαρτου. Στα υλικά αυτά περιέχεται και μία ποσότητα ινών, για την οποία δε διατίθενται στοιχεία. Τα στερεά αυτά που συλλέγονται από τα στάδια του καθαρισμού παραλαμβάνονται και οδηγούνται σε χώρους ταφής απορριμμάτων [109]. Το ποσοστό των ξένων υλών στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μεγαλύτερο απ' αυτό που δίνεται στη βιβλιογραφία (στην ευρωπαϊκή βάση δεδομένων για τις μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτονιών), όπου το

αντίστοιχο ποσοστό εκτιμάται από 8 έως 12%, με περιεκτικότητα ξηρής μάζας περίπου 55% [100].

Από τη μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων εξέρχονται 16 kg αφυδατωμένης λάσπης ανά τόνο χαρτιών συσκευασίας (ή 18,1 kg ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων). Η λάσπη έχει ξηρά στερεά 20%, γεγονός που σημαίνει πως ανά τόνο χαρτιού παράγονται 3,2 kg ξηρής λάσπης. Η συμπύκνωση αυτής γίνεται με ταινιοφιλτρόπρεσσα και, εν συνεχεία, οδηγείται σε Χ.Υ.Τ.Α. [109].

Στο στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων τα βασικά στερεά απορρίμματα είναι τα χαρτιά εκείνα που συνιστούν υπολείμματα της παραγωγικής διαδικασίας. Δεδομένου, όμως, πως αυτά οδηγούνται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. για μία εκ νέου επεξεργασία μπορούμε να θεωρήσουμε πως έχουμε σχεδόν μηδενική παραγωγή στερεών απορριμμάτων. Τα λοιπά απορρίμματα που παράγονται είναι μικρής ποσότητας (περίπου 22 kg/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων [100]) και θα μπορούσε να μη ληφθούν υπόψη.

Σε ότι αφορά τα στερεά απορρίμματα που παράγονται στο πλαίσιο των υπολοίπων υποσυστημάτων βασιστήκαμε στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS. Στον Πίνακα 26 δίνονται οι ποσότητες αυτών ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

**Πίνακας 26:** Παραγωγή στερεών απορριμμάτων στο πλαίσιο των (συμπληρωματικών) υποσυστημάτων

<b>Παραγωγή στερεό απορριμμάτων στο πλαίσιο των (συμπληρωματικών) υποσυστημάτων</b>						
	<b>Τέφρα</b>	<b>Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης</b>	<b>Ιλύς</b>	<b>Παραγόμενα στερεά απορρίμματα</b>	<b>Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων</b>	<b>Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα</b>
	g/tn	g/tn	g/tn	g/tn	g/tn	g/tn
Κατανάλωση ηλεκ. ενέργειας	35.327	164,4	26,2	369,7	2,5	1,1
Παραγωγή μαζούτ	ΜΔ	ΜΔ	161,3	499,5	2.678,9	<0,01
Κατανάλωση αμύλου	519,9	104,1	59,6	64.827,3	36.154,0	0,014
Παραγωγή πετρελαίου κίνησης	ΜΔ	ΜΔ	12,1	29,7	153,6	<0,001
ΜΔ: Μη διαθέσιμα δεδομένα						

### 6.3.5 Υγρά απόβλητα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο όγκος των υγρών αποβλήτων της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. ανέρχεται περίπου σε 17,5 m<sup>3</sup>/tn παραγόμενων χαρτιών (και 19,8 m<sup>3</sup>/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων). Στον Πίνακα 27 και στον Πίνακα 28 δίνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων πριν και μετά την μονάδα επεξεργασίας αυτών (μονάδα βιολογικού καθαρισμού). Για τους υπόλοιπους δείκτες ρύπανσης των αποβλήτων δεν είχαμε διαθέσιμα πρωτογενή στοιχεία. Σημειώνεται πως τα σχετικά στοιχεία (για τους υπόλοιπους δείκτες ρύπανσης) που δίνονται στην Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) κρίνονται ως μη αντιπροσωπευτικά [100] και για το λόγο αυτό δε θα τα υιοθετήσουμε.



**Πίνακας 27:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

<b>Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων</b>			
	<b>Είσοδος</b>	<b>Έξοδος</b>	<b>Απόδοση απομάκρυνσης</b>
COD (mg/l)	850	100-120	85,9-88,2 %
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	300	35-40	86,7-88,3%
Αιωρούμενα στερεά (mg/l)	50	<30	>40%

[Πηγή: [109]]

**Πίνακας 28:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ανά τη παραγόμενων χαρτιών

<b>Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ανά τη παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας</b>		
	<b>Είσοδος</b>	<b>Έξοδος</b>
COD (kg)	14,9	1,7-2,1
BOD <sub>5</sub> (kg)	5,3	0,6-0,7
Αιωρούμενα στερεά (kg)	0,9	<0,5

Σε ότι αφορά τις τιμές των δεικτών ρύπανσης των υγρών αποβλήτων μετά το στάδιο της επεξεργασίας, η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) δίνει για το COD την τιμή 0,8 kg/tn παραγόμενων χαρτιών, για το BOD<sub>5</sub> την τιμή 0,84 kg/tn παραγόμενων χαρτιών και τα αιωρούμενα στερεά την τιμή 0,16 kg/tn παραγόμενων χαρτιών. Οι συνολικές τιμές των δεικτών υδατικής ρύπανσης κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων δίνονται στον Πίνακα 29.

**Πίνακας 29:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (σταδίου παραγωγής χαρτιών) ανά τη παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

<b>Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (σταδίου παραγωγής χαρτιών) ανά τη παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων</b>		
	<b>Είσοδος</b>	<b>Έξοδος</b>
COD (kg)	16,8	1,9-2,4
BOD <sub>5</sub> (kg)	6,0	0,7-0,8
Αιωρούμενα στερεά (kg)	1,0	<0,6

Για το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων δεν είχαμε διαθέσιμα πρωτογενή στοιχεία. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006), για κάθε τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων παράγονται 0,26 kg COD, 0,12 kg BOD<sub>5</sub> και 0,16 kg αιωρούμενων στερεών. Υιοθετώντας, λοιπόν, τις τιμές αυτές συνεπάγεται πως για την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων παράγονται συνολικά (συμπεριλαμβάνοντας, δηλαδή, όλα τα

στάδια παραγωγής) 2,16-2,66 kg COD, 0,82-0,92 kg BOD<sub>5</sub> και λιγότερα από 0,76 kg αιωρούμενων στερεών.

Για τον υπολογισμό του ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων που σχετίζονται με τα υπόλοιπα υποσυστήματα (παραγωγή καταναλωθέντων καυσίμων, κύκλος ζωής αμύλου, κ.λπ.) βασιστήκαμε κυρίως στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS. Στον Πίνακα 30 δίνονται τα συγκεντρωτικά σχετικά στοιχεία. Παρατηρείται πως τα στάδια της παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι τα κυρίως υπεύθυνα για τους δείκτες COD και BOD<sub>5</sub>, καθώς συνεισφέρουν κατά 92% και 98% αντίστοιχα.

**Πίνακας 30:** Δείκτες υδατικής ρύπανσης των διαφόρων υποσυστημάτων (g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων)

<b>Δείκτες υδατικής ρύπανσης των διαφόρων υποσυστημάτων (g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων)</b>							
	P	N	AOX	COD	BOD <sub>5</sub>	Άλατα	Αιωρούμενα στερεά
Παραγωγή ηλεκ. ενέργειας <sup>1</sup>	9,07·10 <sup>-6</sup>	5,92·10 <sup>-4</sup>	8,87·10 <sup>-6</sup>	29,3	0,822	0,0125	ΜΔ
Παραγωγή μαζούτ <sup>1</sup>	4,47·10 <sup>-6</sup>	6,32·10 <sup>-4</sup>	1,10·10 <sup>-5</sup>	37,1	1,04	8,12·10 <sup>-3</sup>	ΜΔ
Κατανάλωση αμύλου <sup>1</sup>	1,77·10 <sup>-4</sup>	1,04·10 <sup>-2</sup>	1,37·10 <sup>-5</sup>	45,7	0,073	13.743,9	ΜΔ
Παραγωγή πετρελαίου κίνησης <sup>2</sup>	4,02·10 <sup>-5</sup>	1,89	2,58·10 <sup>-8</sup>	110	13	0,112	58,9
Παραγωγή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	ΜΔ	ΜΔ	ΜΔ	2.410	870	ΜΔ	760
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2,31·10<sup>-4</sup></b>	<b>1,91</b>	<b>3,36·10<sup>-5</sup></b>	<b>2.632</b>	<b>884,9</b>	<b>13744,1</b>	<b>819</b>
<sup>1</sup> Πηγή: GEMIS [147] <sup>2</sup> Πηγή: G. Kozak (2003) [125] ΜΔ: Μη διαθέσιμα στοιχεία							

### 6.3.6 Αέριες εκπομπές

#### 6.3.6.1 Αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Οι αέριες εκπομπές κατά τον κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων οφείλονται, ως επί το πλείστον, στην κατανάλωση ενέργειας κατά τα στάδια παραγωγής τους και κατά τα στάδια της μεταφοράς τους. Στη μονάδα της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. οι αέριες εκπομπές αντιστοιχούν αφενός σ' αυτές που εκλύονται κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας και αφετέρου σ' αυτές που εκλύονται κατά την καύση του μαζούτ που πραγματοποιείται στην ίδια τη μονάδα.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στην Ελλάδα στηρίζεται στον εγχώριο λιγνίτη. Για την περίοδο 1990-2005 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί κατά 69% (από 31.284 GWh για το 1990 σε 52.936 GWh για το 2005), ενώ οι αντίστοιχες εκπομπές CO<sub>2</sub> έχουν αυξηθεί κατά 29% [114]. Είναι ευρέως γνωστό ότι η καύση λιγνίτη έχει αυξημένες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας σε σχέση με τα περισσότερα από τα λοιπά συμβατικά καύσιμα. Αυτό ισχύει περισσότερο για τον ελληνικό λιγνίτη που

χαρακτηρίζεται από χαμηλή θερμογόνο δύναμη<sup>52</sup>. Στους εγχώριους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ο μέσος συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub> ανέρχονταν σε 1,3 kg CO<sub>2</sub>/kWh το 1990, σε 1,03 kg CO<sub>2</sub>/kWh το 2003 και σε 0,99 kg CO<sub>2</sub>/kWh το 2005 (δηλαδή, παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 23,3% από το 1990 έως το 2005) [113,114]. Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί πως, σύμφωνα με τους Dagoumas et al. (2007), ο μέσος συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub> από τα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας αναμένεται να μειωθεί στα 0,87 kg CO<sub>2</sub>/kWh το 2010 και στα 0,69 kg CO<sub>2</sub>/kWh το 2020 [115], ως απόρροια των προσπαθειών για μείωση της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου και την εναρμόνιση με τους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

**Πίνακας 31:** Παραγωγή ηλεκτρισμού και εκπομπές CO<sub>2</sub> για το 2005

Παραγωγή ηλεκτρισμού και εκπομπές CO <sub>2</sub> για το 2005				
	Καθαρή Παραγωγή		Εκπομπές CO <sub>2</sub>	
	GWh	Ποσοστό συμμετοχής (%)	ktn	Ποσοστό συμμετοχής (%)
Λιγνίτης	31.977	60,3	43.041	81.8
Πετρέλαιο διασ/νου	3.300	6,2	2.566	4.9
Πετρέλαιο νησιών	4.566	8,6	3.529	6.7
Φυσικό αέριο	7.654	14,4	3.509	6.7
Υδροηλεκτρικά	5.364	10,1	0	0
Ανανεώσιμες (ΔΕΗ μόνο)	74	0,14	0	0
<b>Σύνολο</b>	<b>52.937</b>		<b>52.645</b>	

[Πηγή: Δ. Κανελλόπουλος κ.ά. (2007) [114]/Ιδία επεξεργασία]

Ο συντελεστής εκπομπής NO<sub>x</sub> από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας εξαρτάται από την ποιότητα του αξιοποιηθέντος λιγνίτη και ως εκ τούτου παρουσιάζει χρονικές και χωρικές διαφοροποιήσεις. Επίσης, παρουσιάζει διαφορές αναλόγως της τεχνολογίας της εκάστοτε μονάδας. Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των θερμοηλεκτρικών σταθμών της Ελλάδας (εκτός του παλαιάς τεχνολογίας ΛΙΠΤΟΛ και θερμοηλεκτρικού σταθμού Αγίου Γεωργίου που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο<sup>53</sup>) ο συντελεστής εκπομπής NO<sub>x</sub> κυμαίνεται από 1 έως 2 g/kWh, για το έτος 2002. Για την περίοδο 1994-1998, ο μέσος συντελεστής εκπομπής NO<sub>x</sub>, από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της Ελλάδας, εκτιμήθηκε σε 2,3 g/kWh. Οι αντίστοιχες τιμές για την Ολλανδία, το Ην. Βασίλειο και τη Δανία ήταν 0,89, 2,5-5,3 και 2,6 g/kWh, αντίστοιχα. Σε ότι αφορά το σύνολο του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας, ο μέσος συντελεστής εκπομπής NO<sub>x</sub>, για την περίοδο 1995-2002, εκτιμάται σε, περίπου 1,5 g/kWh [116].

<sup>52</sup> Ο λιγνίτης της Νότιας Ελλάδας έχει θερμογόνο δύναμη που ποικίλει από 16.300 έως 19.700 kJ/kg και ο λιγνίτης της Βόρειας Ελλάδας έχει θερμογόνο δύναμη που ποικίλει από 21.000 έως 26.000 kJ/kg [120].

<sup>53</sup> Στην περίπτωση του θερμοηλεκτρικού σταθμού ΛΙΠΤΟΛ ο συντελεστής εκπομπής NO<sub>x</sub>, για το 2002, ήταν 4,37 g/kWh, ενώ στην περίπτωση του θερμοηλεκτρικού σταθμού του Αγ. Γεωργίου ήταν 0,36 g/kWh [120].

Σε ότι αφορά τον συντελεστή εκπομπής των SO<sub>x</sub> από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας κυμαίνεται, σύμφωνα με τους J. K. Kaldellis et al. (2004), περί τα 8,5 g/kWh, βάσει δεδομένων που αφορούσαν την περίοδο 1995-2002 [120].

Οι συντελεστές εκπομπών CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρική ενέργειας μπορούν να εκτιμηθούν, προσεγγιστικά, αν ληφθούν υπόψιν οι ετήσιες εκπεμπόμενες ποσότητες αυτών από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και η ετήσια συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα<sup>54</sup>. Σύμφωνα με την τελευταία (2008) έκθεση της Ελλάδας περί της απογραφής των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η συνολικά εκπεμπόμενη ποσότητα του CH<sub>4</sub> και του N<sub>2</sub>O για το 2006 από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής ανέρχονταν στους 660 και 560 τόνους αντίστοιχα. Το ίδιο έτος η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κυμαίνονταν περί τις 52,6 kWh [123]. Συνεπώς, ο συντελεστής εκπομπής για το CH<sub>4</sub> υπολογίζεται σε 1,255·10<sup>-2</sup> g/kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντίστοιχη τιμή για το N<sub>2</sub>O εκτιμάται σε 1,065·10<sup>-2</sup> g/kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για τους υπόλοιπους ρύπους θα υιοθετήσουμε τα δεδομένα που περιέχονται στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3). Στον Πίνακα 32 παρατίθενται συγκεντρωτικά οι συντελεστές αερίων ρύπων ανά παραγόμενη kWh στην Ελλάδα.

**Πίνακας 32:** Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά παραγόμενη kWh (Ελλάδα)

Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά παραγόμενη kWh (Ελλάδα)								
Ρύποι	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	SO <sub>2</sub>	TSP	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
g/kWh	990	5,2·10 <sup>-4</sup>	1,5	5,7·10 <sup>-2</sup>	8,5	0,695	1,3·10 <sup>-2</sup>	1,1·10 <sup>-2</sup>
	HCl	HF	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>				
g/kWh	6,3·10 <sup>-2</sup>	3,1·10 <sup>-1</sup>	1,2·10 <sup>-6</sup>	3,0·10 <sup>-4</sup>				

[Πηγή: Δ. Κανελλόπουλος κ.ά. (2007) [114], J. K. Kaldellis et al. (2005) [116], J. K. Kaldellis et al. (2004) [120], Ministry for the Environment (Greece), Physical Planning and Public Works (2008) [123], GEMIS [147]]

Οι απώλειες ενέργειας στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού είναι της τάξης του 9% και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον ακριβέστερο υπολογισμό των αερίων εκπομπών που οφείλονται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Το μαζούτ που χρησιμοποιείται στην Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., σύμφωνα με αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2006 (χρονική διάρκεια στην οποία χρησιμοποιούνταν μαζούτ Νο 1 υψηλού θείου), παρουσίαζε θερμογόνο δύναμη 40.403 kJ/kg και η περιεκτικότητά του σε θείο ήταν 2,4% κ.β. Σήμερα το εργοστάσιο χρησιμοποιεί μαζούτ Νο1 χαμηλού θείου. Συνεπώς η μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητά του σε θείο είναι 0,7% κ.β. (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 14)

Στον Πίνακα 33 δίνονται οι συντελεστές εκπομπών του μαζούτ χαμηλού θείου για την περίπτωση του καυστήρα που χρησιμοποιείται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., έτσι όπως διατίθενται από το Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. στο πλαίσιο των υποχρεώσεων για τη διάρθρωση του Ευρωπαϊκού Μητρώου Ρυπογόνων Εκπομπών. Σημειώνεται πως οι περισσότερες απ' αυτές τις τιμές συμβαδίζουν με τις κατευθυντήριες τιμές των CORINAIR, IPCC και EPA AP-42. Η τιμή για τις εκπομπές του υποξειδίου του αζώτου βασίστηκε στις κατευθυντήριες γραμμές

<sup>54</sup> Αναφερόμαστε στις εκπομπές και την ηλεκτρική ενέργεια που αφορούν τις μονάδες της Δ.Ε.Η.

του IPCC. Για τους υπόλοιπους ρύπους (NH<sub>3</sub>, βαρέα μέταλλα κ.λπ.) οι τιμές των συντελεστών αέριων εκπομπών βασίστηκαν στις κατευθυντήριες γραμμές του CORINAIR<sup>55</sup>.

**Πίνακας 33:** Συντελεστές αέριων εκπομπών κατά την καύση μαζούτ χαμηλού θείου σε καυστήρες χωρίς αντιρρυπαντική τεχνολογία

Συντελεστές αέριων εκπομπών κατά την καύση μαζούτ χαμηλού θείου σε καυστήρες χωρίς αντιρρυπαντική τεχνολογία								
Ρύποι	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	SO <sub>2</sub>	TSP	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
g/kg μαζούτ	3078,27	0,64	6,83	0,72	14	1,227	0,2	0,6
	NH <sub>3</sub>							
g/kg μαζούτ	4,0·10 <sup>-4</sup>							

[Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121], IPCC (2006) [137], CORINAIR [135]]

#### 6.3.6.1.1 Αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας

Σύμφωνα με τα ανωτέρω οι αέριες εκπομπές κατά το στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 34). Σημειώνεται πως σε ότι αφορά τους ρύπους HCl, HF και H<sub>2</sub>S δεν περιλαμβάνονται οι τιμές που αφορούν στην καύση του μαζούτ (παρά μόνο αυτές που αντιστοιχούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), λόγω έλλειψης διαθέσιμων σχετικών στοιχείων.

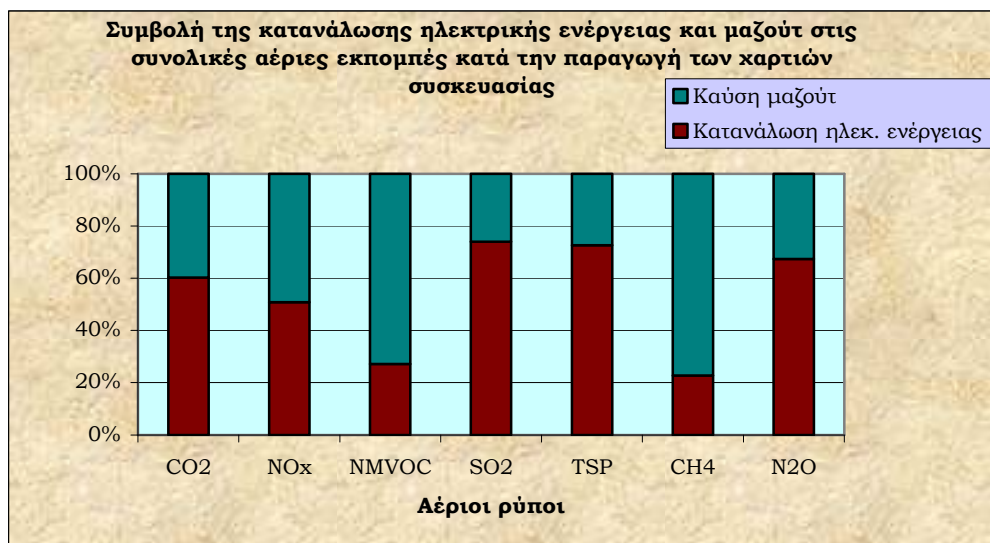
**Πίνακας 34:** Αέριες εκπομπές κατά το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας

Αέριες εκπομπές κατά το στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας						
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO
g/tn παραγόμενων χαρτιών	1.120,9	2.012,3	7.821,2	37,5	10,8	93,2
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	1.266,6	2.273,9	8.838,0	42,4	12,2	105,3
	NH <sub>3</sub>	NM VOC	TSP	HCl	HF	H <sub>2</sub> S
g/tn παραγόμενων χαρτιών	0,264	143,2	651,3	209,0	42,8	8,05·10 <sup>-4</sup>
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	0,299	161,8	736,0	236,1	48,3	9,10·10 <sup>-4</sup>

Από τη συνολική ποσότητα εκλυόμενου CO<sub>2</sub> στο συγκεκριμένο στάδιο παραγωγής το 40% οφείλεται στην καύση του μαζούτ. Οι αντίστοιχες τιμές για τα NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O είναι 49%, 26%, 77%, και 33% αντίστοιχα (βλ. Σχήμα 25). Είναι ευνόητο πως τα ποσοστά αυτά καθορίζουν και τα χωρικά όρια της εκπομπής των αναφερθέντων ρύπων.

<sup>55</sup> Στο Παράρτημα 7 δίνονται αναλυτικά οι συντελεστές αέριων εκπομπών από την καύση μαζούτ χαμηλού θείου.

Παραδείγματος χάρη, το 49% των NO<sub>x</sub> εκπέμπεται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αφορά τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.



**Σχήμα 26:** Συμβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μαζούτ στην εκπομπή αερίων ρύπων κατά την παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας

Οι τιμές που δίνει η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) για τις προαναφερθείσες αέριες εκπομπές είναι οι εξής: 488 kg CO<sub>2</sub>, 810 g NO<sub>x</sub> και 176 g SO<sub>2</sub> ανά τόνο παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας [100]. Όμως, οι τιμές αυτές δεν μπορούν να συγκριθούν με τις εκτιμώμενες της εν λόγω μελέτης περίπτωσης. Ο βασικός λόγος είναι το ότι στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Βάσης Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων δεν περιλαμβάνονται οι αέριες εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτός της μονάδας παραγωγής. Επίσης, οι περισσότερες μονάδες ανακύκλωσης από τις οποίες «αντλεί» δεδομένα αυτή η βάση δεδομένων έχουν εγκαταστήσει συστήματα Σ.Η.Θ. (συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας). Σ' αυτό το γεγονός οφείλεται και η ιδιαίτερως μικρή ποσότητα εκλυόμενου SO<sub>2</sub> που αναφέρθηκε ανωτέρω. Σημειώνεται, επίσης, πως η συγκεκριμένη βάση δεδομένων δεν περιλαμβάνει δεδομένα για άλλες αέριες εκπομπές (εκτός του CO και του H<sub>2</sub>S). Αυτό οφείλεται στο ότι τα εργοστάσια από τα οποία λαμβάνει τα σχετικά δεδομένα δεν πραγματοποιούν τις αναγκαίες, για τον προσδιορισμό των υπολοίπων ρύπων, μετρήσεις.

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως, σύμφωνα με το Σ.Ε.Δ.Ε. (Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών) για την περίοδο 2005-2007, τα δικαιώματα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. ήταν 17.112 tn CO<sub>2</sub> eq./έτος (λαμβάνοντας υπόψη μόνο το CO<sub>2</sub> και όχι τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου)<sup>56</sup> [146].

<sup>56</sup> Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα το 2002 (χωρίς τις εκπομπές/απορροφήσεις από τον τομέα ΑΧΓΔ, καθώς οι σχετικές απορροφήσεις δεν λαμβάνονται υπόψη για την περίοδο 2008-2012 σύμφωνα με το άρθρο 3.7 του Πρωτοκόλλου του Κιότο) έχουν αυξηθεί κατά 21,1% σε σχέση με τις εκπομπές βάσης (ως έτος βάσης για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O λαμβάνεται το 1990, ενώ για τα φθοριούχα αέρια δηλ. Τα PFCs, HFCs, SF<sub>6</sub> λαμβάνεται το 1995). Σύμφωνα με την Απόφαση 2002/358/ΕΚ για την έγκριση εξ' ονόματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας του Πρωτοκόλλου του Κιότο και την από κοινού τήρηση των σχετικών δεσμεύσεων, η Ελλάδα δεσμεύτηκε να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2008 - 2012 στο 25% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Από τα στοιχεία της Απογραφής Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου του 2004, οι εκπομπές βάσης για την Ελλάδα υπολογίζονται σε 110.212,31 ktn CO<sub>2</sub> eq. Συνεπώς, οι επιτρεπόμενες συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα για την πενταετία 2008-2012 δεν θα

Βάσει της παρούσας μελέτης οι εκπομπές CO<sub>2</sub> (από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός του εργοστασίου) υπολογίστηκαν σε 16.200,7 tn/έτος. Σημειώνεται ακόμη πως σε περίπτωση υπέρβασης των καθοριζόμενων ορίων προβλέπεται η επιβολή προστίμου, η τιμή του οποίου έχει καθορισθεί στα 40 € ανά τόνο CO<sub>2</sub> στην πρώτη φάση εφαρμογής του συστήματος (2005-2007) και στα 100 € ανά τόνο CO<sub>2</sub> στη δεύτερη φάση αυτού (2008-2012) [146]. Από την άλλη, η σημερινή τιμή (23.9.08) αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κυμαίνεται στα 25 € ανά τόνο CO<sub>2</sub> [149].

#### 6.3.6.1.2 Αέριες εκπομπές κατά την κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Στον Πίνακα 35 δίνονται οι αέριες εκπομπές κατά το στάδιο κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Όπως και προηγουμένως, σε ότι αφορά τους ρύπους HCl, HF και H<sub>2</sub>S δεν περιλαμβάνονται οι τιμές που αφορούν στην καύση του μαζούτ (παρά μόνο αυτές που αντιστοιχούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), λόγω έλλειψης διαθέσιμων σχετικών στοιχείων.

**Πίνακας 35:** Αέριες εκπομπές κατά το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Αέριες εκπομπές κατά το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων						
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	160,4	288,5	1.116,0	5,4	1,5	13,5
	NH <sub>3</sub>	NM VOC	TSP	HCl	HF	H <sub>2</sub> S
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	3,77·10 <sup>-2</sup>	20,6	93	29,7	6,1	1,14·10 <sup>-4</sup>

Σε ότι αφορά τα ποσοστά συμμετοχής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μαζούτ στην εκπομπή των προαναφερθέντων ρύπων ισχύουν περίπου όσα διαπιστώθηκαν στην περίπτωση της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας.

Οι τιμές αερίων εκπομπών που δίνει η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων για το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι ενδεικτικά οι εξής: 67,6 kg CO<sub>2</sub>, 43 g NO<sub>x</sub> και 0,078 g SO<sub>2</sub> ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων [100].

#### 6.3.6.1.3 Συνολικές αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Στον Πίνακα 36 δίνονται οι συνολικές αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

---

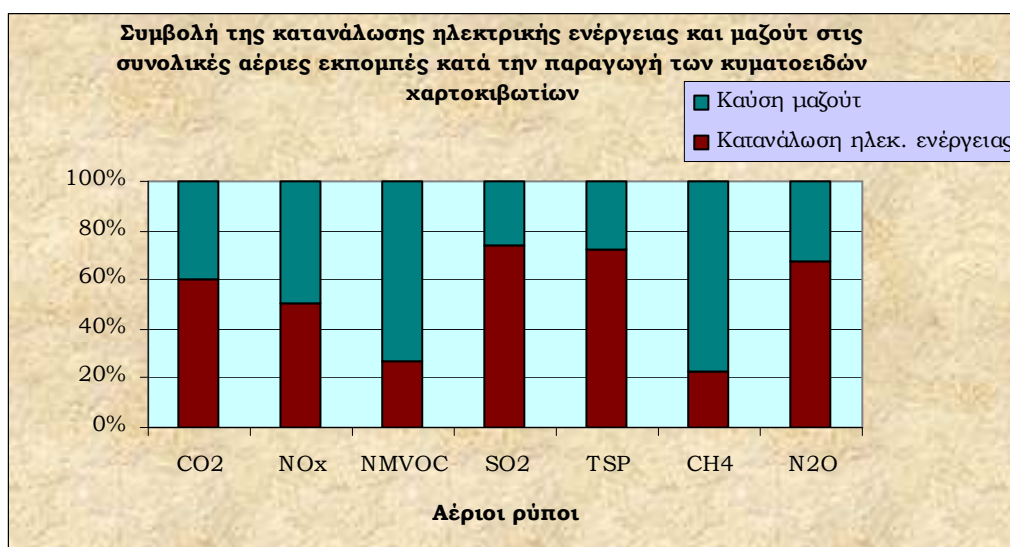
πρέπει να υπερβαίνουν τους 688.826,94 ktn CO<sub>2</sub> eq. Τελικά, τα συνολικά δικαιώματα εκπομπών προς κατανομή για την τριετία 2005-2007 υπολογίστηκαν σε 223.266.053 t CO<sub>2</sub>. Τα δικαιώματα αυτά κατανέμονται στο σύνολο τους δωρεάν (δηλαδή για την περίοδο 2005-2007 δεν προβλέπεται χρήση της δυνατότητας δημοπράτησης δικαιωμάτων) [146].

**Πίνακας 36:** Συνολικές αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Συνολικές αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων						
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	1.426,9	2.652,4	9.953,9	47,8	13,7	118,8
	NH <sub>3</sub>	NMVOC	TSP	HCl	HF	H <sub>2</sub> S
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	0,336	182,5	828,9	265,8	54,4	1,02·10 <sup>-3</sup>

Εκ των ανωτέρων διαπιστώνεται πως το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας συμβάλλει σε ποσοστό περίπου 89% στο σύνολο των αέριων εκπομπών από την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (χωρίς, βέβαια, να συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές αερίων ρύπων που αφορούν στα στάδια της μεταφοράς και στα υποσυστήματα που σχετίζονται με τις βοηθητικές ύλες που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου από ανακυκλωμένες ίνες).

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 26, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την παραγωγή του κυματοειδών χαρτοκιβωτίων συμβάλλει κατά 60% στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, κατά 51% στις εκπομπές NO<sub>x</sub>, κατά 74% στις εκπομπές SO<sub>2</sub>, κατά 23% στις εκπομπές CH<sub>4</sub> και κατά 67% στις εκπομπές N<sub>2</sub>O.



**Σχήμα 27:** Συμβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μαζούτ στις συνολικές αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

#### 6.3.6.1.4 Αέριες εκπομπές από τον κύκλο ζωής των βοηθητικών υλών

Στην περίπτωση που μελετάμε θα ληφθούν υπόψη μόνο οι αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του αμύλου, καθώς είναι το μόνο υλικό που προστίθεται σε σημαντικές ποσότητες (άνω του 1% επί της παραγόμενης ποσότητας κυματοειδών



χαρτοκιβωτίων) στο σύστημα που μελετάμε. Οι τιμές των βασικότερων αέριων εκπομπών δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 37). Αυτές βασίστηκαν στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1).

**Πίνακας 37:** Αέριες εκπομπές ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων λόγω της κατανάλωσης αμύλου

<b>Αέριες εκπομπές ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων λόγω της κατανάλωσης αμύλου</b>						
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	22,16	77,50	18,79	40,29	11,70	23,77
	NH <sub>3</sub>	NM VOC	TSP	HCl	HF	H <sub>2</sub> S
g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	4,94	4,10	8,75	0,33	13,7·10 <sup>-3</sup>	14,2·10 <sup>-5</sup>

#### 6.3.6.1.5 Αέριες εκπομπές κατά τα στάδια της μεταφοράς

Σε ότι αφορά τις αέριες εκπομπές κατά τα στάδια της μεταφοράς πρώτων υλών, ενδιάμεσων προϊόντων, κ.λπ. παρουσιάζονται αρκετές δυσχέρειες κατά τον υπολογισμό τους. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι είναι πρακτικά αδύνατο να εκτιμηθεί με ακρίβεια η διανυθείσα απόσταση των φορτηγών στο πλαίσιο του μελετηθέντος συστήματος και αφετέρου στις μεγάλες διαφορές στις τιμές των σχετικών συντελεστών αέριων εκπομπών (π.χ. g αερίου/km, g αερίου/tn·km, g αερίου/kg καυσίμου, g αερίου/kWh) που παρατηρούνται στη διεθνή βιβλιογραφία. Είναι γνωστό πως οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την τεχνολογία του κινητήρα, το είδος της κίνησης (αστική ή υπεραστική), τον τρόπο οδήγησης, το φορτίο των οχημάτων καθώς και το επίπεδο συντήρησης αυτών. Οι τιμές των συντελεστών αυτών είναι φυσικό πως διαφοροποιούνται χρονικά, καθώς με την πάροδο των ετών θεσπίζονται όλο και αυστηρότερα όρια στις εκπομπές αέριων ρύπων από οχήματα (π.χ. EURO I [1993/59/E.O.K.], EURO II [1996/69/E.K.], EURO III-IV [1998/69/E.K.], βλ. Πίνακα 38). Συνεπώς, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία, εκτός των άλλων, στη χρονική αναφορά των αντλούμενων σχετικών βιβλιογραφικών δεδομένων.

**Πίνακας 38:** Πρότυπα εκπομπών αέριων ρύπων για βαρέα οχήματα

<b>Πρότυπα εκπομπών αέριων ρύπων για βαρέα οχήματα</b>				
	CO	VOC	NOX	PM
Προ EURO I (σενάριο αναφοράς, g/kWh)	2,5	0,6	11	0,4
EURO πρότυπα (g/kWh)	4,5	1,1	8	0,36
EURO I (% μείωσης)	10	10	30	20
EURO II πρότυπα (g/kWh)	4,0	1,1	7	0,15
EURO II (% μείωσης)	20	20	40	70
EURO III πρότυπα (g/kWh)	2,1	0,66	5	0,10
EURO III (% μείωσης)	20	20	60	80
EURO IV standards (g/kWh)	2,1	0,18	1,75	0,075
EURO IV (% μείωσης)	20	70	85	85

Σημ.: Όλες οι ποσοστιαίες μείωσης υπολογίστηκαν ως προς τις εκπομπές του σεναρίου αναφοράς

[Πηγή: A. J. Hickman (1999) [140]]

Στον Πίνακα 39 δίνονται συντελεστές αέριων εκπομπών από οχήματα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο κίνησης (κυρίως φορτηγών), όπως αυτές αναφέρονται σε μερικές από τις βιβλιογραφικές πηγές που συμβουλευτήκαμε. Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των τιμών αυτών καθιστούν δυσχερή την επιλογή των καταλληλότερων. Η δυσκολία αυτή γίνεται εντονότερη αν ληφθεί υπόψη πως δεν έχουμε επαρκή πρωτογενή στοιχεία περί των παραμέτρων μεταφοράς (π.χ. παλαιότητα στόλου οχημάτων, συνθήκες οδήγησης κ.λπ.) που αφορούν τη δική μας περίπτωση μελέτης.

**Πίνακας 39:** Εκπομπές αερίων ρύπων από τη χρήση πετρελαίου κίνησης στον τομέα μεταφοράς

Εκπομπές αερίων ρύπων από τη χρήση πετρελαίου κίνησης στον τομέα μεταφοράς						
Ρύποι	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	Ολικοί VOC	SO <sub>2</sub>	PM
g/km <sup>1</sup>	149,6	0,43	0,69	0,08	0,08	0,1
g/tn·km <sup>2</sup>	289	1,33	3,75	1,1	0,265	0,47
g/kg καυσίμου <sup>3</sup>	3.140	6,72	33,13	1,03 (NMVOC)	-	0,87
g/tn·km <sup>4</sup>	72 (E I) <sup>5</sup> 69 (E II) 71 (E III) 69 (E IV)	-	0,673 (E I) 0,746 (E II) 0,542 (E III) 0,343 (E IV)			0,021 (E I) 0,01 (E II) 0,012 (E III) 0,002 (E IV)
<p><sup>1</sup> Πηγή: Ζ. Σαμαράς, Λ. Ντζιακρήτος (1998) [117], τα στοιχεία αναφέρονται γενικά σε πετρελαιοκίνητα οχήματα</p> <p><sup>2</sup> Πηγή: R. B. H. Tan et al. (2005) [107], OECD (1997) [142]/ίδια επεξεργασία, τα στοιχεία αναφέρονται σε φορτηγά οχήματα.</p> <p><sup>3</sup> Πηγή: EEA (2006) [135], τα στοιχεία αναφέρονται σε βαρέα φορτηγά οχήματα για την περίπτωση της Ελλάδας για το 2005.</p> <p><sup>4</sup> Πηγή: W. Knorr, C. Reuter (2005) [141], τα στοιχεία αφορούν φορτηγά οχήματα μεγαλύτερα των 35-40 tn και μέση κλίση δρόμων για ορεινές χώρες</p> <p><sup>5</sup> E I-E IV: EURO I – EURO IV</p>						

Θα μπορούσαμε να υιοθετήσουμε τους συντελεστές αέριων εκπομπών που δίνονται στο πλαίσιο των κατευθυντήριων γραμμών του CORINAIR (EEA (2006) [135], βλ. Πίνακα 39) και αφορούν τα βαρέως τύπου φορτηγά οχήματα στην περίπτωση της Ελλάδας. Σύμφωνα με τις τιμές αυτές και με την παραδοχή πως η συνολική, για το μελετηθέν σύστημα, κατανάλωση πετρελαίου κίνησης είναι 11,8-19,6 lt/tn (10,03-16,66 kg/tn) παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε τις αέριες εκπομπές που οφείλονται στα στάδια της μεταφοράς (βλ. Πίνακα 40). Το μειονέκτημα μίας τέτοιας προσέγγισης είναι το ότι οι εν λόγω συντελεστές βασίζονται σε πλήθος παραδοχών, που δεν είναι δυνατόν να εξακριβωθεί το κατά πόσον είναι αντιπροσωπευτικές για την περίπτωση που μελετάμε.

**Πίνακας 40:** Σύνολο αέριων εκπομπών σε g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει των προτεινόμενων συντελεστών του CORINAIR για τα ντιζελοκίνητα βαρέα οχήματα στην περίπτωση της Ελλάδας)

<b>Σύνολο αέριων εκπομπών σε g/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει των προτεινόμενων συντελεστών του CORINAIR για τα ντιζελοκίνητα βαρέα οχήματα στην περίπτωση της Ελλάδας)</b>						
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	CH <sub>4</sub>	PM
Κάτω τιμή	31.494,2	67,4	332,3	10,3	2,5	8,5
Άνω τιμή	52.124,0	111,5	550,0	17,1	4,2	14,1
Μέση τιμή	41.809,1	89,5	441,1	13,7	3,3	11,3

Στο πλαίσιο των κατευθυντήριων γραμμών του CORINAIR δίνεται και μία λεπτομερής μεθοδολογία υπολογισμού των συντελεστών αέριων εκπομπών από οχήματα μεταφοράς [135]. Δυστυχώς, όμως, για την περίπτωση των ντιζελοκίνητων φορτηγών οχημάτων δίνονται εξισώσεις υπολογισμού των αέριων εκπομπών, οι οποίες απαιτούν ένα σημαντικό αριθμό δεδομένων (μεταξύ των οποίων και δεδομένα περί της τεχνολογίας του κινητήρα, π.χ. Euro I, κ.λπ.) που, επίσης, είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστούν επακριβώς στην περιπτώσή μας. Σημειώνεται, όμως, πως η μεθοδολογία που συμπεριλαμβάνεται στις κατευθυντήριες γραμμές του CORINAIR έχει ενσωματωθεί στο λογισμικό εργαλείο COPERT 4. Οι συντελεστές αέριων εκπομπών που δίνονται σ' αυτό, φαίνονται στον Πίνακα 41.

**Πίνακας 41:** Συντελεστές αέριων εκπομπών από φορτηγά οχήματα 20-26 tn για υπεραστική οδήγηση

<b>Συντελεστές αέριων εκπομπών από φορτηγά οχήματα 20-26 tn για υπεραστική οδήγηση</b>					
	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	VOC (g/km)	CH <sub>4</sub> (g/km)	N <sub>2</sub> O (g/km)
Συμβατικό κινητήρας	1,654	9,795	0,425	0,07	0,03
HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1,326	6,916	0,416	0,07	0,007
HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1,269	7,234	0,257	0,021	0,006
HD Euro III - 2000 Standards	1,271	5,693	0,233	0,007	0,004
HD Euro IV - 2005 Standards	0,087	3,508	0,011	0,004	0,011
HD Euro V - 2008 Standards	0,087	1,999	0,011	0,004	0,034
HD Euro VI	0,087	0,386	0,011	0,004	0,029

[Πηγή: COPERT 4 [144]]

Στον Πίνακα 42 δίνονται οι εκτιμούμενες εκπομπές αέριων εκπομπών ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων βάσει των σχετικών συντελεστών του COPERT 4. Οι τιμές αυτών είναι γενικά μικρότερες απ' αυτές που υπολογίστηκαν ανωτέρω και περιέχονται στον Πίνακα 40.

**Πίνακας 42:** Σύνολο αέριων εκπομπών σε g/tn παραγόμενων κυματοειδών καρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει των προτεινόμενων συντελεστών του COPERT 4 για τα ντιζελοκίνητα φορτηγά 20-26 tn)

<b>Σύνολο αέριων εκπομπών σε g/tn παραγόμενων κυματοειδών καρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει των προτεινόμενων συντελεστών του COPERT 4 για τα ντιζελοκίνητα φορτηγά 20-26 tn)</b>					
	CO	NO <sub>x</sub>	VOC	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Συμβατικό κινητήρας	64,837	383,964	16,66	2,744	1,176
HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	51,979	271,107	16,307	2,744	0,274
HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	49,745	283,573	10,074	0,823	0,235
HD Euro III - 2000 Standards	49,823	223,166	9,134	0,274	0,157
HD Euro IV - 2005 Standards	3,410	137,514	0,431	0,157	0,431
HD Euro V - 2008 Standards	3,410	78,361	0,431	0,157	1,333

Στον A. J. Hickman (1999), οι συντελεστές αέριων εκπομπών από ντιζελοκίνητα, βαρέως τύπου, φορτηγά οχήματα υπολογίζονται μέσω πιο απλών σχέσεων. Μέσω της Εξίσωσης 1 υπολογίζονται οι συντελεστές εκπομπής των CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, VOC και PM για φορτηγά οχήματα 16-32 tn, που κινούνται ελλείψει φορτίου και σε διαδρομή μέσης κλίσης 0% [140].

$$\varepsilon = K + a \cdot u + b \cdot u^2 + c \cdot u^3 + \frac{d}{u} + \frac{e}{u^2} + \frac{f}{u^3} \quad (\text{Εξ. 1})$$

όπου:

ε: οι εκπομπές αέριων ρύπων σε g/km για φορτηγά οχήματα χωρίς φορτίο και κλίση διαδρομής 0%,

K: σταθερά, (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8)

a-f: συντελεστές (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8)

u: μέση ταχύτητα οχήματος (km/h)

Στην περίπτωση, όμως, των φορτηγών οχημάτων το φορτίο που αυτά φέρουν παίζει σημαντικό ρόλο στην ποσότητα των εκλυόμενων ρύπων. Μέσω της Εξίσωσης 2 υπολογίζονται οι διορθωμένοι συντελεστές αέριων εκπομπών βάσει του φορτίου που μεταφέρουν τα φορτηγά.

$$\varepsilon_l = \varepsilon_u \cdot \Phi(\gamma, u) \quad (\text{Εξ. 2})$$

όπου:

ε<sub>l</sub>: ο συντελεστής αέριων εκπομπών υπό φορτίο (g/km)

ε<sub>u</sub>: ο συντελεστής αέριων εκπομπών άνευ φορτίου (g/km)

Φ(γ, u): η εξίσωση του συντελεστή διόρθωσης φορτίου

γ: η κλίση του δρόμου (%) is the gradient in percent

u: η μέση ταχύτητα του οχήματος (km/h)

Η εξίσωση του συντελεστή διόρθωσης φορτίου δίνεται ακολούθως:

$$\Phi(\gamma, u) = k + n \cdot \gamma + p \cdot \gamma^2 + q \cdot \gamma^3 + r \cdot u + s \cdot u^2 + t \cdot u^3 + \frac{x}{u} \quad (\text{Εξ. 3})$$

όπου:

k: σταθερά (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8)

n-x: συντελεστές (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8)

Βάσει των προαναφερθέντων εξισώσεων και θεωρώντας πως η μέση ταχύτητα των φορτηγών στο σύνολο των διαδρομών του μελετηθέντος συστήματος είναι 80 km/h και το μέσο φορτίο 60% (επί της μέγιστης δυναμικότητας) μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές αέριες εκπομπές ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Η παραδοχή πως το μέσο φορτίο είναι 60% συνιστά μία εκτίμηση που βασίζεται στο γεγονός πως τα φορτηγά διανύουν τη διαδρομή Λεκανοπέδιο Αττικής-Λαμία (Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε.) και Λαμία-Πάτρα (EL PACK Α.Ε.) με πλήρες φορτίο και πως κατά τις διαδρομές Λαμία-Λεκανοπέδιο Αττικής και Πάτρα-Λαμία το ποσοστό φόρτισης αυτών κυμαίνεται περίπου στο 20%. Εν συγκρίσει αναφέρεται πως στη βάση δεδομένων BUWAL 250 [145] δίνεται πως η μέση φόρτιση των φορτηγών, για την περίπτωση του κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, είναι 50%. Οι τιμές των αερίων εκπομπών για το σύνολο των σταδίων των μεταφορών, βάσει των προαναφερθέντων εξισώσεων και παραδοχών, παρατίθενται στον Πίνακα 43.

**Πίνακας 43:** Σύνολο αερίων εκπομπών ανά τη παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει της μεθοδολογίας που προτείνεται στον A. J. Hickman (1999) [140])

<b>Σύνολο αερίων εκπομπών ανά τη παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από τα στάδια της μεταφοράς (βάσει της μεθοδολογίας που προτείνεται στον A. J. Hickman (1999) [140])</b>					
Ρύπου	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	VOC	PM
g	32.493,6	108,0	330,5	34,7	23,0

Στην παρούσα μελέτη επιλέγουμε να υιοθετήσουμε τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 43. Για τις εκπομπές του CH<sub>4</sub> επιλέγουμε τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 40 και για τις εκπομπές N<sub>2</sub>O την τιμή που δίνεται στον Πίνακα 42 (για την περίπτωση της συμβατικής τεχνολογίας οχημάτων<sup>57</sup>).

#### 6.3.6.1.6 Αέριες εκπομπές κατά τα στάδια παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων

Για τις αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τα στάδια της παραγωγής του πετρελαίου κίνησης θα στηριχθούμε στα σχετικά δεδομένα που αναφέρονται στον G. Kozak (2003) [125] (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5). Για τις αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τα στάδια της παραγωγής του μαζούτ θα στηριχθούμε στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS [147], στην οποία υπάρχουν δεδομένα που αφορούν και τον ελληνικό χώρο (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4). Στον Πίνακα 44 φαίνονται τα συγκεντρωτικά σχετικά στοιχεία.

<sup>57</sup> Σύμφωνα με την τελευταία (2008) απογραφή των αερίων του θερμοκηπίου, ο στόλος των πετρελαιοκίνητων φορτηγών (16-32 tn) της Ελλάδας αποτελείται κυρίως από οχήματα συμβατικής τεχνολογίας. Από τα υπόλοιπα τα πολυπληθέστερα είναι αυτά που έχουν τεχνολογία Euro II.

**Πίνακας 44:** Συνολικές αέριες εκπομπές από το στάδιο της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

<b>Συνολικές αέριες εκπομπές από το στάδιο της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων</b>						
	CO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>x</sub> (g)	SO <sub>2</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	CO (g)
Πετρέλαιο κίνησης	8.941,15	30,16	43,24	44,57	0,72	26,69
Μαζούτ	70.725,18	260,77	645,24	136,50	1,36	92,88
	NH <sub>3</sub> (g)	NMVOC (g)	TSP (g)	HCl (g)	HF (g)	H <sub>2</sub> S (g)
Πετρέλαιο κίνησης	0,13	17,74	6,77	0,39	0,049	0,12
Μαζούτ	7,97·10 <sup>-5</sup>	163,94	28,87	52,0·10 <sup>-5</sup>	13,0·10 <sup>-5</sup>	-17,1·10 <sup>-8</sup>

Σημ: Οι υπολογισμοί για το πετρέλαιο κίνησης βασίστηκαν στη μέση τιμή της κατανάλωσής του ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

### 6.3.7 Ποιότητα δεδομένων

Για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης βασιστήκαμε τόσο σε πρωτογενή στοιχεία όσο και σε βιβλιογραφικά δεδομένα. Τα τελευταία αποτελούν επίσημες πηγές και δημοσιευμένες εργασίες. Προσπαθήσαμε να στηριχθούμε σε στοιχεία που παρουσιάζουν όσο το δυνατόν καλύτερη χωρική και χρονική αντιπροσωπευτικότητα. Για το λόγο αυτό τα σχετικά δεδομένα δεν είναι παλαιότερα των δέκα ετών και επικεντρώνονται, τα περισσότερα εξ αυτών, στον ελληνικό χώρο. Στον Πίνακα 45 δίνονται οι βασικότερες πηγές στις οποίες στηριχθήκαμε.

**Πίνακας 45:** Απογραφή πηγών άντλησης δεδομένων

<b>Απογραφή πηγών άντλησης δεδομένων</b>	
1. Κατανάλωση πρώτων και βοηθητικών υλών	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Πρωτογενή στοιχεία [109]</li> <li>▪ Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) [100]</li> </ul>
2. Κατανάλωση ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Πρωτογενή στοιχεία [109]</li> <li>▪ Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) [100]</li> <li>▪ Δ. Κανελλόπουλος κ.ά. (2007) [114]</li> <li>▪ GEMIS [147]</li> </ul>
3. Κατανάλωση νερού	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Πρωτογενή στοιχεία [109]</li> <li>▪ Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) [100]</li> </ul>
4. Στερεά απορρίμματα	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Πρωτογενή στοιχεία [109]</li> <li>▪ Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου</li> </ul>

	<p>Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) [100]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GEMIS [147]</li> </ul>
5. Υγρά απόβλητα	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Πρωτογενή στοιχεία [109]</li> <li>▪ Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων [100]</li> <li>▪ GEMIS [147]</li> </ul>
6. Αέριες εκπομπές	
6.1 Στάδια παραγωγής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Δ.Ε.Η. [113]</li> <li>▪ Δ. Κανελλόπουλος κ.ά. (2007) [114]</li> <li>▪ Kaldellis et al. (2005) [116]</li> <li>▪ Kaldellis et al. (2004) [120]</li> <li>▪ Ministry for the Environment (Greece), Physical Planning and Public Works (2008) [123]</li> <li>▪ Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]</li> <li>▪ IPCC (2006) [137]</li> <li>▪ GEMIS [147]</li> </ul>
6.2 Στάδια μεταφοράς	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. B. H. Tan et al. (2005) [107]</li> <li>▪ Ζ. Σαμαράς κ.ά. (1998) [117]</li> <li>▪ EEA (2007) (κατευθυντήριες γραμμές CORINAIR) [135]</li> <li>▪ W. Knörr et al. (2005) [141]</li> <li>▪ A. J. Hickman (1999) [140]</li> <li>▪ GEMIS [147]</li> </ul>
6.3 Υποσύστημα κύκλου ζωής αμύλου	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GEMIS [147]</li> <li>▪ V. Narayanaswamy et al. (2003) [138]</li> </ul>
6.4 Υποσύστημα παραγωγής καυσίμων	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GEMIS [147]</li> <li>▪ G. Kozak (2003) [125]</li> </ul>

### 6.3.8 Συγκέντρωση και συζήτηση αποτελεσμάτων – Εκτίμηση επιπτώσεων

Στον Πίνακα 46 συνοψίζονται οι βασικότερες ροές που σχετίζονται με το μελετηθέν σύστημα. Κυρίως περιλαμβάνονται οι ροές εκείνες για τις οποίες είχαμε επαρκή στοιχεία στο σύνολο των υποσυστημάτων που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 46:** Συγκεντρωτικά δεδομένα του κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Συγκεντρωτικά δεδομένα του κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων		
Προϊόν	tn	Κυματοειδή χαρτοκιβώτια
1. Πρώτες ύλες και βοηθητικές ύλες		
Κυματοειδή χαρτοκιβώτια <sup>1</sup>	kg	745,8 (66%)
Εφημερίδες, περιοδικά, κ.λπ. <sup>1</sup>	kg	384,2 (34%)
Άμυλο	kg	34,5
2. Κατανάλωση ενέργειας <sup>2</sup>		
Ηλεκτρική ενέργεια	MJ	778
Ορυκτά καύσιμα (μαζούτ)	MJ	1.863
3. Μεταφορά		

Διανυθείσα απόσταση <sup>3</sup>	km	39,2
Κατανάλωση ενέργειας	MJ	452,5-746,5
4. Κατανάλωση νερού <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	20,3
5. Αέριες εκπομπές		
CO <sub>2</sub>	kg	1.561,3
NO <sub>x</sub>	g	3.261,3
SO <sub>2</sub>	g	10.661,22
CH <sub>4</sub>	g	272,5
N <sub>2</sub> O	g	28,7
CO	g	370,2
NH <sub>3</sub> <sup>5</sup>	g	5,4
NM VOC	g	403,0
TSP	g	896,3
HCl <sup>6</sup>	g	266,5
HF <sup>6</sup>	g	54,4
H <sub>2</sub> S <sup>6</sup>	g	0,12
6. Υγρά απόβλητα		
COD	kg	2,63
BOD <sub>5</sub>	kg	0,885
7. Στερεά απορρίμματα		
7.1 Στάδια παραγωγής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων		
Ξένες ύλες (μέταλλα, πλαστικά, κ.λπ.) και ίνες	kg	282,5
Λάσπη από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού	kg	18,1 (20% κ.β. στερεά)
7.2 Λοιπά υποσυστήματα		
Στερεά απορρίμματα	kg	65,7
Λάσπη	g	259,2
8. Κατανάλωση ενεργειακών πόρων <sup>7</sup>		
Μη ανανεώσιμοι	MJ	24.526,54
Ανανεώσιμοι	MJ	259,7
Λοιποί	MJ	96,7
Σύνολο	MJ	24,883,0
<p><sup>1</sup> Οι τιμές αυτές αφορούν στην έξοδο από τα στάδια καθαρισμού.</p> <p><sup>2</sup> Μη λαμβάνοντας υπόψη την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων και αυτή που αντιστοιχεί στον κύκλο ζωής του αμύλου.</p> <p><sup>3</sup> Εννοώντας τη μέση διανυόμενη (στο πλαίσιο του μελετηθέντος συστήματος) απόσταση που αντιστοιχεί σε ένα τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.</p> <p><sup>4</sup> Περιλαμβάνεται μόνο η κατανάλωση νερού που σχετίζεται με τα στάδια της παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.</p> <p><sup>5</sup> Δεν περιλαμβάνονται οι τιμές που αφορούν τα στάδια της μεταφοράς (καύση πετρελαίου κίνησης).</p> <p><sup>6</sup> Δεν περιλαμβάνονται οι τιμές που αφορούν την καύση του μαζούτ και τα στάδια της μεταφοράς (καύση πετρελαίου κίνησης).</p> <p><sup>7</sup> Αναφέρεται στο σύνολο των υποσυστημάτων του μελετηθέντος συστήματος</p>		

#### 6.3.8.1 Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων

##### Εξάντληση ενεργειακών πόρων

Για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας των ενεργειακών πόρων βασιστήκαμε κυρίως στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS. Στον Πίνακα 47 δίνονται στα συγκεντρωτικά στοιχεία της κατανάλωσης των ανανεώσιμων και μη ενεργειακών πόρων στα διάφορα υποσυστήματα που μελετήθηκαν. Βάσει αυτού διαπιστώνεται πως σχεδόν ολοκληρωτικά η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε μη ανανεώσιμους πόρους. Σ' αυτό συμβάλλει και το μικρό ποσοστό εισαγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής (βλ. Πίνακα 31).



**Πίνακας 47:** Κατανάλωση ενεργειακών πόρων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

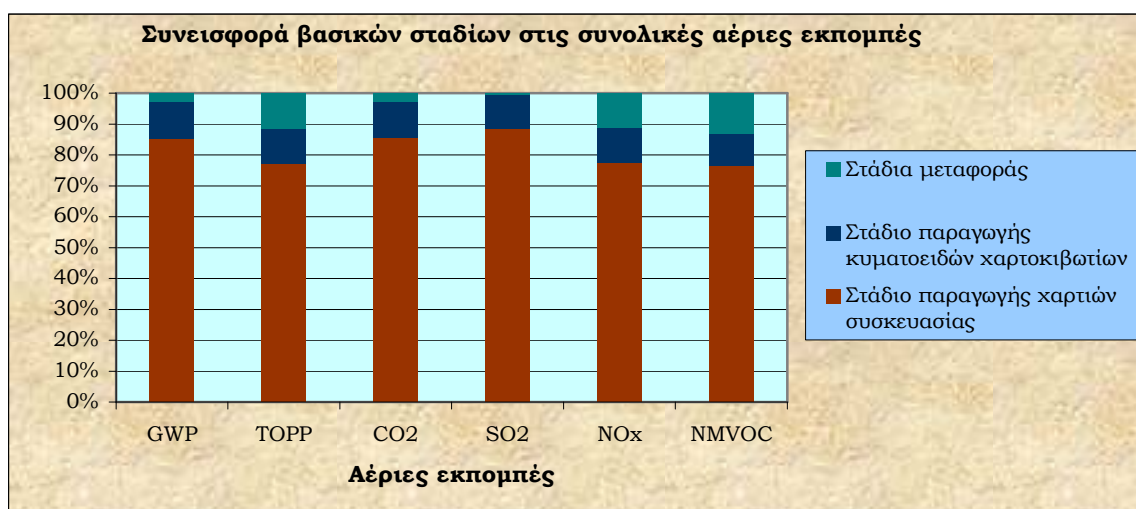
<b>Κατανάλωση ενεργειακών πόρων ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων</b>				
	Μη ανανεώσιμοι (MJ)	Ανανεώσιμοι (MJ)	Λοιποί (MJ)	Σύνολο (MJ)
Κατανάλωση ηλεκ. ενέργειας <sup>1</sup>	7.572,8	245,3	89,0	7.907,1
Κατανάλωση ατμού (καύση μαζούτι)	7.468,5			7.468,5
Παραγωγή μαζούτι <sup>1</sup>	7.782,0	9,3	0	7.791,3
Κ. Ζ. Αμύλου <sup>1</sup>	331,4	4,3	7,8	343,4
Στάδια μεταφοράς (καύση πετρελαίου κίνησης)	600,5			600,5
Παραγωγή πετρελαίου κίνησης <sup>2</sup>	771,3	0,9	0	772,2
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>24.526,5</b>	<b>259,7</b>	<b>96,7</b>	<b>24.883,0</b>

<sup>1</sup> Πηγή: GEMIS [147]  
<sup>2</sup> Πηγή: G. Kozak (2003) [125]

Όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου

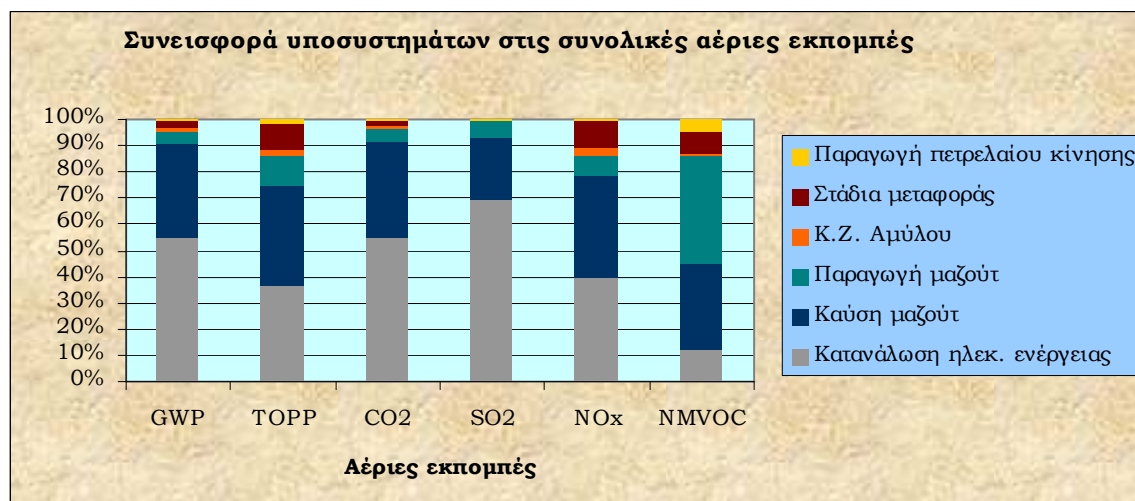
Για τον υπολογισμό του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP) ελήφθησαν υπόψη τα εξής αέρια: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. Η χρονική περίοδος αναφοράς ήταν τα 100 έτη και οι συντελεστές δυναμικού των αερίων ήταν σύμφωνοι με τις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC [83,137] (CO<sub>2</sub>: 1 kg CO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, CH<sub>4</sub>: 21 kg CO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, N<sub>2</sub>O: 310 kg CO<sub>2</sub> eq./kg αερίου).

Το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου εκτιμήθηκε σε 1.575,9 kg CO<sub>2</sub> eq. ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Μη συμπεριλαμβάνοντας τα υποσυστήματα των βοηθητικών υλών και την παραγωγή των καταναλωθέντων καυσίμων, η τιμή αυτή υπολογίζεται σε 1.465,1 kg eq. CO<sub>2</sub>/tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 27, την μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (85%) και ακολουθεί το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (12%). Τα στάδια των μεταφορών συμβάλλουν μόλις με 3%.



**Σχήμα 28:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέριες εκπομπές

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 54,6% στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 36,2%, ενώ η συνεισφορά καθενός εκ των υπολοίπων υποσυστημάτων (παραγωγής μαζούτ και πετρελαίου κίνησης, κύκλου ζωής αμύλου και σταδίων μεταφοράς) είναι αρκετά μικρή (βλ. Σχήμα 28).



**Σχήμα 29:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέριες εκπομπές

Επίσης παρατηρήθηκε πως το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου οφείλεται κυρίως (περίπου κατά 99%) στις εκπομπές του CO<sub>2</sub>. Τα άλλα δύο αέρια συνεισφέρουν περίπου κατά ισόποσα ποσοστά.

#### Οξίνιση

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κατηγορίας αυτής θα εστιάσουμε αρχικώς στους ρύπους NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub>, οι οποίοι είναι οι σημαντικότεροι για τη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι συνολικές εκπομπές NO<sub>x</sub> υπολογίστηκαν σε 3.261,3 g/tn κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Την μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές εκπομπές NO<sub>x</sub> παρουσιάζει το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (77%) και ακολουθεί το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (12%). Ακόμη, η συνεισφορά των σταδίων των μεταφορών είναι σημαντική καθώς ανέρχεται σε ποσοστό 11% (βλ. Σχήμα 27). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 28, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 39,9% στις συνολικές εκπομπές NO<sub>x</sub>. Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 38,7% και τα στάδια των μεταφορών (μη συμπεριλαμβανόμενου του υποσυστήματος της παραγωγής του πετρελαίου κίνησης) με 10,1%. Ο κύκλος ζωής του αμύλου συνεισφέρει κατά 2,4% και τα υποσυστήματα της παραγωγής μαζούτ και πετρελαίου κίνησης κατά 8% και 0,9% αντίστοιχα.

Οι συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub> υπολογίστηκαν σε 10.661,2 g/tn κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Και σ' αυτή την περίπτωση, την μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές εκπομπές παρουσίασε το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (88,3%) και ακολουθεί το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (11,3%) (βλ. Σχήμα 27). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 69,1% στις συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub>. Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 24,3% και εν συνεχεία το υποσύστημα της παραγωγής αυτού με 6,1%, ενώ τα υπόλοιπα υποσυστήματα παρουσιάζουν αμελητέα συνεισφορά (βλ. Σχήμα 28).

Για τον υπολογισμό του συνολικού δυναμικού οξίνισης ελήφθησαν υπόψη οι εξής αέριοι ρύποι: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, HF, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>. Εξαιρέση αποτέλεσαν οι υπολογισμοί που αφορούσαν αφενός τα στάδια των μεταφορών για τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα τα σχετικά στοιχεία για τις εκπομπές HCl, HF, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> και αφετέρου την καύση του μαζούτ για την οποία δεν ήταν διαθέσιμα τα στοιχεία για τις εκπομπές HCl, HF, H<sub>2</sub>S. Οι συντελεστές δυναμικού οξίνισης των συγκεκριμένων αερίων βασίστηκαν στις αντίστοιχες των J. B. Guinée et al. (2004) [83] (NO<sub>x</sub>: 0,7 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, SO<sub>2</sub>: 1 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, HCl: 0,88 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, HF: 1,6 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, H<sub>2</sub>S: 1,88 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, NH<sub>3</sub>: 1,88 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου). Βάσει των προαναφερθέντων το συνολικό δυναμικό οξίνισης υπολογίστηκε σε 13.276,2 g SO<sub>2</sub> eq./tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Το δυναμικό οξίνισης που αντιστοιχεί στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και στην καύση του μαζούτ υπολογίστηκε σε 8.597,4 g SO<sub>2</sub> eq. και 3.471,8 g SO<sub>2</sub> eq., αντίστοιχα, ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

#### Σχηματισμός τροποσφαιρικού όζοντος

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί να εκτιμηθεί μέσω του πρόδρομου δυναμικού σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος (TOPP – Tropospheric Ozone Precursor Potential-). Αυτό αντιστοιχεί στην ποσότητα των εκλυόμενων αερίων που συνιστούν πρόδρομους του τροποσφαιρικού όζοντος. Το δυναμικό αυτό εκφράζεται με την ισοδύναμη ποσότητα εκλυόμενων NMVOC. Τα αέρια που απαιτούνται για τον υπολογισμό αυτού είναι τα CO, NMVOC, NO<sub>x</sub> και CH<sub>4</sub>. Οι συντελεστές δυναμικού σχηματισμού τροποσφαιρικού όζοντος των αερίων αυτών είναι: CO: 0,11 kg NMVOC eq./kg αερίου, CH<sub>4</sub>: 0,014 kg NMVOC eq./kg αερίου, NO<sub>x</sub>: 1,22 kg SO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, NMVOC: 1 kg NMVOC eq./kg αερίου [148].

Βάσει των προαναφερθέντων, το συνολικό πρόδρομο δυναμικό σχηματισμού τροποσφαιρικού όζοντος υπολογίζεται σε 4.426,3 g NMVOC eq./tn παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό πρόδρομο δυναμικό σχηματισμού τροποσφαιρικού όζοντος παρουσιάζει το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (77,1%). Το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και τα στάδια της μεταφοράς συνεισφέρουν εξίσου (περίπου κατά 11,47%) (βλ. Σχήμα 27). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η καύση του μαζούτ συμβάλλουν κατά 36,9% και 38,1%, αντίστοιχα, στο συνολικό δυναμικό. Τα στάδια των μεταφορών συνεισφέρουν σημαντικά στη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων (περίπου 10,2%), όπως και το υποσύστημα της παραγωγής του μαζούτ (περίπου 11,2%). Τα υπόλοιπα υποσυστήματα δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτη συνεισφορά στην εν λόγω κατηγορία (βλ. Σχήμα 28).

#### 6.3.8.2 Συνεισφορά του εθνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μελετηθέντος συστήματος

Όπως έχει ήδη γίνει σαφές, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει σημαντική συνεισφορά στις συνολικές αέριες εκπομπές του μελετηθέντος συστήματος. Συνεπώς το ενεργειακό «μίγμα» που χρησιμοποιείται από το εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής κρίνεται ως ένας πολύ σημαντικός παράγοντας καθορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος. Για να γίνει αυτό πιο εμφανές θα αναφέρουμε πως στην περίπτωση που χρησιμοποιούνταν οι συντελεστές αερίων εκπομπών που αφορούν το ενεργειακό «μίγμα» της ηλεκτροπαραγωγής των κρατών της Ε.Ε. των 15 για το έτος 2000 (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9), θα είχαμε μείωση του συνολικού δυναμικού όξυνσης

του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 33%. Επίσης οι συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> θα παρουσιάζονταν μειωμένες κατά 59% και 15% αντίστοιχα. Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως η αξιοσημείωτη εξάρτηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του μελετηθέντος συστήματος από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται τη σημαντική διαφοροποίηση αυτών αναλόγως της χωρικής αναφοράς. Δηλαδή, η μελέτη ενός πανομοιότυπου συστήματος σε μία άλλη ευρωπαϊκή χώρα είναι δυνατόν να οδηγήσει σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα, ειδικά σε ότι αφορά τις αέριες εκπομπές, εξαιτίας των χαρακτηριστικών του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της συγκεκριμένης χώρας.

Στην Ελλάδα αναμένεται να επέλθει σημαντική μεταβολή στα χαρακτηριστικά του εθνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής κυρίως λόγω του στόχου της αύξησης της ένταξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σ' αυτό. Αυτό αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση των αέριων εκπομπών σε όλες τις διεργασίες που εξαρτώνται σημαντικά από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση που μελετάμε και υιοθετώντας τους συντελεστές των αέριων εκπομπών που δίνονται στη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS και αφορούν τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας για τα έτη 2010 και 2020 (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 11), αναμένεται μία μείωση του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 33%. Επίσης, αναμένεται μείωση των εκπομπών SO<sub>2</sub> κατά 58%. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> δεν αναμένεται να μειωθούν σημαντικά (περίπου 4%). Αν και οι εκτιμήσεις αυτές είναι επισφαλείς, λόγω του ότι η χρονική διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της ηλεκτροπαραγωγής εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες που δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν με ακρίβεια, υποδεικνύουν μία σαφή μείωση των αέριων εκπομπών του μελετηθέντος συστήματος τα επόμενα χρόνια.

## **6.4 Εκτίμηση βελτιώσεων**

Στο στάδιο της εκτίμησης βελτιώσεων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρησιμοποιούνται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Παραδείγματος χάρη, στη λήψη αποφάσεων περιλαμβάνεται η επιλογή αλλαγής ενός προϊόντος ή μίας διεργασίας, με στόχο, φυσικά, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [80,82].

Στην περίπτωση που μελετάμε διαπιστώθηκε πως τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρουσιάζουν τα στάδια της παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Ειδικότερα οι αέριες εκπομπές οφείλονται κυρίως στην κατανάλωση ενέργειας που λαμβάνει χώρα στα συγκεκριμένα στάδια. Η εφαρμογή συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας συνιστά μία από τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (Β.Δ.Τ.) που σχετίζονται με τις δραστηριότητες των μονάδων ανακυκλωμένων προϊόντων χάρτου. Στα ακόλουθα εδάφια επιχειρείται η διερεύνηση των περιβαλλοντικών οφελών από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε.

### **6.4.1 Εφαρμογή συστήματος Σ.Η.Θ.**

Όλες οι μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου χρειάζονται, εκτός της ηλεκτρικής ενέργειας, θερμική ενέργεια με τη μορφή ατμού. Οι απαιτούμενες ποσότητες ατμού παράγονται *in situ* με την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου κάποιου καυσίμου. Η αναλογία της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την απαιτούμενη θερμική ενέργεια, στις μονάδες αυτές, καθιστά ελκυστική την εφαρμογή συστημάτων συμπαραγωγής

ηλεκτρισμού και θερμότητας (Σ.Η.Θ.). Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, αν και αποτελούν μία παλαιά τεχνολογία, εμφανίζουν τα τελευταία έτη σημαντική διάδοση σε πλήθος εφαρμογών<sup>58</sup>. Στόχος τους είναι η αποδοτικότερη χρήση του καυσίμου, μέσω της αξιοποίησης της εκλυόμενης θερμότητας κατά την καύση αυτού. Στα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού, όπου δεν αξιοποιείται η παραγόμενη θερμότητα, η απόδοση κυμαίνεται στο 30-45%. Αντίθετα, στα συστήματα Σ.Η.Θ. είναι δυνατόν να επιτευχθεί σχεδόν υπερδιπλάσια απόδοση (80-95%). Από τη συνολικά παραγόμενη ενέργεια, η θερμότητα κυμαίνεται στο 40-70% και η ηλεκτρική ενέργεια από 20-45%. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από το είδος του συστήματος Σ.Η.Θ. που χρησιμοποιείται και από τις ενεργειακές απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής [76].

Επιχειρώντας, με συνοπτικό τρόπο, να εξηγήσουμε τη βασική λειτουργία και το στόχο αυτών των συστημάτων θα πρέπει να αναφέρουμε πως ως Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας (Σ.Η.Θ.-διαδικασία που στην αγγλική γλώσσα αναφέρεται ως Combined Heat Power (CHP) ή Cogeneration Process) ονομάζεται η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αξιοποιήσιμης θερμότητας μέσω της ίδιας διεργασίας. Επίσης, συνδυάζοντας και μία μηχανή απορρόφησης είναι δυνατή και η ανάπτυξη ενός συστήματος τριπαραγωγής ή, αλλιώς, Συμπαραγωγής Θερμότητας Ψύξης και Ηλεκτρισμού (CHCP-Combined Heat Cooling and Power) μέσω του οποίου μέρος της παραχθείσας ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψύξη ή κλιματισμό [131,133].

Η τεχνολογία Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας μπορεί να εφαρμοστεί ευρύτατα. Σε όλες τις περιπτώσεις συντελεί στην εξοικονόμηση σημαντικών χρηματικών ποσών μέσω της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου που επιτυγχάνεται. Η συνολική απόδοση των διατάξεων συμπαραγωγής τείνει ορισμένες φορές μέχρι το 90%, αναλόγως του συστήματος στο οποίο εφαρμόζεται [132]. Η παραγωγή θερμότητας πραγματοποιείται, συνήθως, με την αξιοποίηση των καυσαερίων των συστημάτων συμπαραγωγής. Υπάρχουν δυο τρόποι εκμετάλλευσης της ανακτημένης θερμότητας από τα καυσαέρια των συστημάτων αυτών: (1) η απευθείας χρήση τους για παροχή θερμότητας σε διάφορες διεργασίες της ίδιας βιομηχανικής μονάδας, (2) η έμμεση χρήση τους με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού. Ο ατμός που λαμβάνεται μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για θέρμανση εσωτερικών χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες ή για αύξηση της απόδοσης σε ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος (με χρήση συστημάτων συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου/ατμοστροβίλου). Το θερμό νερό που δύναται να παραχθεί χρησιμοποιείται είτε για τη θέρμανση εσωτερικών χώρων είτε σε κατάλληλες βιομηχανικές διεργασίες [134].

Έτσι, ενώ οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 20-45% (αφού δεν αξιοποιείται η εκλυόμενη θερμότητα), ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαραγωγής φθάνει το 80-95%. Επίσης, εκτιμάται ότι με χρήση διατάξεων Σ.Η.Θ. μειώνεται κατά, περίπου, 40% η κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τον συμβατικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας σε ξεχωριστές μονάδες [76]. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου που επιτυγχάνεται με την συμπαραγωγή συντελεί γενικά στη μείωση και των εκπεμπόμενων ρύπων [76,130]. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ενδεχόμενη

---

<sup>58</sup> Η χώρα μας παρουσιάζει από τα χαμηλότερα (αν όχι το χαμηλότερο) επίπεδα διάδοσης της τεχνολογίας αυτής στην Ευρώπη. Αντίθετα, πολλές χώρες, εκτιμώντας τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ΣΗΘ, έχουν επιτύχει την σημαντική τους ένταξη στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η Δανία, η Φινλανδία και η Ολλανδία, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα ΣΗΘ ξεπερνά το 35% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [129].

η αύξηση των ρύπων σε τοπική κλίμακα, γεγονός το οποίο επιβάλλει ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του είδους της μονάδας και του πρόσθετου εξοπλισμού της [130].

Τα συστήματα Σ.Η.Θ. εφαρμόζονται συχνά και με μεγάλη επιτυχία σε μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου, λόγω της παράλληλης απαίτησής τους σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια (και μάλιστα σε κατάλληλη αναλογία). Με την εφαρμογή Σ.Η.Θ. στις μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου και με στόχο την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών παράγεται, συχνά, περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια απ' ό τι στην πραγματικότητα χρειάζεται. Η πλεονάζουσα αυτή ενέργεια μπορεί να οδηγηθεί στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ταχύτητας των μηχανημάτων χαρτοποίησης, οι περισσότεροι εξελιγμένες διατάξεις και η εν γένει ανάπτυξη της τεχνολογίας που λαμβάνει χώρα με την πάροδο του χρόνου έχει οδηγήσει σε αύξηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς παράλληλα να αυξάνεται η κατανάλωση της θερμικής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία έτη [76].

Στην περίπτωση που μελετάμε έχουμε αναλογία ηλεκτρικής ενέργειας προς θερμική<sup>59</sup> ίση με 0,42 περίπου, τόσο για τη μονάδα της Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε. όσο και για τη μονάδα της EL PACK Α.Ε. Σχεδόν το 90% της συνολικής ενέργειας (περιλαμβανομένων μόνο των ποσοτήτων ενέργειας που αφορούν στα στάδια παραγωγής του προϊόντος και όχι τα μεταφορικά) που αφορά στην παραγωγή του κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου καταναλίσκεται στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. Δεδομένου, λοιπόν, αυτού, φαντάζει ελκυστική η εφαρμογή ενός συστήματος Σ.Η.Θ. στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με παράλληλη αντικατάσταση του μαζούτ από φυσικό αέριο. Στο ακόλουθο κείμενο θα μελετήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επέρχονται από την εφαρμογή μίας τέτοιας τεχνολογίας. Θα μελετηθούν δύο σενάρια. Το 1<sup>ο</sup> θα διαρθρωθεί έτσι ώστε να καλυφθούν όλες οι θερμικές ανάγκες της μονάδας από το σύστημα Σ.Η.Θ. Στην περίπτωση αυτή, η ενδεχόμενη περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας θα θεωρηθεί πως διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο ο στόχος θα είναι η κάλυψη ακριβώς της απαιτούμενης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή αναμένεται έλλειμμα σε θερμική ενέργεια, το οποίο θα καλυφθεί από συμπληρωματικό καυστήρα μαζούτ.

#### 6.4.1.1 Σενάριο 1: Πλήρη κάλυψη θερμικών αναγκών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. χρησιμοποιούνται 145 kg μαζούτ χαμηλού θείου ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος (χαρτιών συσκευασίας). Η θερμογόνο δύναμη του συγκεκριμένου μαζούτ είναι 40.403 kJ/kg. Βάσει της παραδοχής πως η απόδοση του συγκεκριμένου καυστήρα είναι 90% υπολογίζεται πως η παραγόμενη θερμότητα (με τη μορφή ατμού) είναι 5.272,6 MJ/tn παραγόμενου προϊόντος.

Θεωρώντας πως η θερμογόνο δύναμη<sup>60</sup> του φυσικού αερίου είναι 39,7 MJ/m<sup>3</sup>, η απόδοση του συστήματος Σ.Η.Θ. σε θερμότητα είναι 55% και σε ηλεκτρική ενέργεια 35% υπολογίζεται η απαιτούμενη, για την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών, ποσότητα

<sup>59</sup> Με την παραδοχή πως ο βαθμός απόδοσης των καυστήρων είναι 0,9.

<sup>60</sup> Η τιμή αυτή δίνεται ως από τις κατευθυντήριες γραμμές του CORINAIR ως η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου (heavy natural gas) [135]. Σύμφωνα με τη Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (Δ.Ε.Π.Α.) η ανώτερη θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου κυμαίνεται από 36.006,5 έως 38.518,6 kJ/m<sup>3</sup> στην περίπτωση του ρώσικου φυσικού αερίου και από 40.360,8 έως 44.589,4 kJ/m<sup>3</sup> στην περίπτωση του αλγερινού [136]. Θα μπορούσαμε, λοιπόν, να δεχτούμε τη συγκεκριμένη τιμή ως αντιπροσωπευτική της μέσης τιμής της θερμογόνου δύναμης του φυσικού αερίου που διακινείται στην ελληνική αγορά.

φυσικού αερίου σε 241,474 m<sup>3</sup>/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας. Δηλαδή με την καύση 241,474 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου στο σύστημα Σ.Η.Θ. παράγονται 5.277,585 MJ θερμότητας (δηλαδή, όση ποσότητα θερμικής ενέργειας απαιτείται από τη μονάδα για την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας) και 3.355,281 MJ ηλεκτρικής ενέργειας. Βάσει αυτού αναμένεται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 1.123,286 MJ/tn (312,024 kWh/tn) παραγόμενου προϊόντος. Η ενέργεια αυτή θα θεωρηθεί πως διατίθεται στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Στον Πίνακα 48 δίνονται συγκεντρωτικά τα προαναφερθέντα στοιχεία.

**Πίνακας 48:** Ενεργειακά δεδομένα συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο φυσικό αέριο (Σενάριο 1)

<b>Ενεργειακά δεδομένα συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο φυσικό αέριο</b>			
<b>Θερμογόνος δύναμη Φ.Α.</b>	<b>39,7 MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>Ποσότητα</b>	<b>241,474 m<sup>3</sup></b>
	Θερμική ενέργεια	Ηλεκτρική ενέργεια	
Απόδοση Σ.Η.Θ. (%)	55	35	
	Παραγόμενη (MJ)	Απαιτούμενη (MJ/tn προϊόντος)	Περίσσεια (%) <sup>1</sup>
Θερμότητα	5.277,585	5.277,585	0
Ηλεκτρική ενέργεια	3.355,281	2.232	50,3
<sup>1</sup> Περίσσεια (%)= (Περίσσεια ενέργειας σε απόλυτη τιμή/απαιτούμενη ενέργεια) ·100%			

Η ποσότητα των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από την καύση του φυσικού αερίου εξαρτώνται από τα ακριβή ποιοτικά χαρακτηριστικά αυτού και από την τεχνολογία του συστήματος Σ.Η.Θ. Στον Πίνακα 49 δίνονται οι τιμές των συντελεστών των εκπνεόμενων αέριων ρύπων από την καύση του φυσικού αερίου. Για τους ρύπους TSP, CO, VOC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> οι τιμές βασίστηκαν στις αντίστοιχες προτεινόμενες τιμές που δίνει το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. στο πλαίσιο της διάρθρωσης του Ευρωπαϊκού Μητρώου Ρυπογόνων Εκπομπών [121]. Οι τιμές που προτείνει το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., για την περίπτωση του φυσικού αερίου, βασίζονται στις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC, EPA AP-42 και WHO. Οι συντελεστές εκπομπών N<sub>2</sub>O και NH<sub>3</sub> βασίστηκαν στις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC [137] και του CORINAIR [135], αντίστοιχα.

**Πίνακας 49:** Συντελεστές αέριων εκπομπών από την καύση m<sup>3</sup> φυσικού αερίου (Σενάριο 1)

<b>Συντελεστές αέριων εκπομπών ανά m<sup>3</sup> φυσικού αερίου</b>								
CO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>x</sub> (g)	CO (g)	SO <sub>2</sub> (g)	TSP (g)	NM VOC (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	NH <sub>3</sub> (g)
2010	1,5162	1,2737	0,1259	0,1152	0,0834	0,0349	0,0238	0,0228

Με την εφαρμογή του συστήματος Σ.Η.Θ. και χωρίς να λάβουμε υπόψη τις αποφευχθείσες αέριες εκπομπές από την εισαγωγή της περισσειας της ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού παρατηρείται σημαντική μείωση όλων των αέριων εκπομπών κατά την παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές SO<sub>2</sub> σχεδόν μηδενίζονται και οι εκπομπές NO<sub>x</sub> μειώνονται κατά 82% περίπου. Σημαντικότερα

οφέλη παρατηρούνται, επίσης, στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Στην παρούσα κατάσταση το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP), με χρονικό ορίζοντα τα 100 έτη, εκτιμάται σε 1124,98 kg/CO<sub>2</sub>-eq. Με την εφαρμογή Σ.Η.Θ. η αντίστοιχη τιμή υπολογίζεται σε 485,36 kg/CO<sub>2</sub>-eq, δηλαδή μειωμένη κατά 56,7%. Σημειώνεται, ακόμη, πως με την εφαρμογή της Σ.Η.Θ. αυξάνουν οι εκπομπές NH<sub>3</sub> και CO κατά 1.985,7% και 230,2%<sup>61</sup>, αντίστοιχα (βλ. Πίνακα 50). Τονίζεται, τέλος, πως για τους προαναφερθέντες υπολογισμούς δεν ελήφθησαν υπόψη οι εκπομπές που οφείλονται στον κύκλο ζωής του προστιθέμενου αμύλου και στα στάδια της παραγωγής του φυσικού αερίου.

**Πίνακας 50:** Εκπομπές αερίων στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με εφαρμογή Σ.Η.Θ. ανά τn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 1)

<b>Εκπομπές αερίων στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με εφαρμογή Σ.Η.Θ. ανά τn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας</b>									
	CO <sub>2</sub> (kg/tn)	NO <sub>x</sub> (g/tn)	SO <sub>2</sub> (g/tn)	CH <sub>4</sub> (g/tn)	N <sub>2</sub> O (g/tn)	NMVOC (g)	TSP (g)	NH <sub>3</sub> (g)	CO (g)
Απόλυτη τιμή	485,36	366,12	30,40	8,43	5,75	20,14	27,82	5,75	307,57
Ποσοστό μεταβολής (%) <sup>1</sup>	-56,7	-81,8	-99,6	-77,6	-46,6	-85,9	-95,7	+1.985,7	+230,2

<sup>1</sup> Ως προς την ποσότητα των αερίων εκπομπών της παρούσας κατάστασης (σεναρίου αναφοράς)

Λαμβάνοντας υπόψη και τις αποφευχθείσες αέριες εκπομπές από την περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας καθίσταται ευνόητο πως τα περιβαλλοντικά οφέλη από την εφαρμογή Σ.Η.Θ. είναι ακόμη μεγαλύτερα. Για κάθε τόνο παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας έχουμε πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 312 kWh. Καθώς αυτή η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού συνεπάγεται πως αποφεύγεται η εκπομπή αερίων από την παραγωγή της αντίστοιχης ηλεκτρικής ενέργειας. Στον Πίνακα 51 δίνονται τόσο οι αποφευχθείσες όσο και οι καθαρές εκπομπές κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας.

Σε ότι αφορά την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP) υπολογίζεται για την περίπτωση αυτή σε 177,35 kg/CO<sub>2</sub>-eq. Δηλαδή σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (πραγματική κατάσταση) παρατηρείται μείωση σε ποσοστό 84,3%. Σε ότι αφορά τα NO<sub>x</sub> και το SO<sub>2</sub> έχουμε πια αρνητικές τιμές. Δηλαδή, στην εν λόγω περίπτωση, η παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας όχι μόνο δε συμβάλλει στην εκπομπή των αερίων αυτών αλλά συνεισφέρει στη μείωσή τους σε δραστηριότητες έξω από το μελετηθέν σύστημα. Θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε, δηλαδή, το μελετηθέν σύστημα (το στάδιο της παραγωγής χαρτιών συσκευασίας) ως μία δεξαμενή όπου δεσμεύονται 101,92 g NO<sub>x</sub> και 2.621,80 g SO<sub>2</sub> ανά τόνο παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας.

<sup>61</sup> Στις κατευθυντήριες γραμμές του CORINAIR δίνονται οι συντελεστές εκπομπής για την NH<sub>3</sub> ίσοι με 0,01 g/GJ στην περίπτωση της καύσης του μαζούτ και 0,15-1 g/GJ στην περίπτωση της καύσης του φυσικού αερίου. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. (στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Μητρώου Ρυπογόνων Εκπομπών) οι συντελεστές εκπομπής του CO είναι 0,6 g/kg στην περίπτωση της καύσης του μαζούτ και 1,27 g/m<sup>3</sup> στην περίπτωση της καύσης του φυσικού αερίου. Σημειώνεται πως για τους συντελεστές του CO το Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. έχει υιοθετήσει τις προτεινόμενες τιμές του EPA AP-42.



**Πίνακας 51:** Εκπομπές αερίων κατά το στάδιο της παραγωγής χαρτιών συσκευασίας με εφαρμογή Σ.Η.Θ. (Σενάριο 1)

<b>Εκπομπές αερίων κατά το στάδιο της παραγωγής χαρτιών συσκευασίας με εφαρμογή Σ.Η.Θ. (ανά τη παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας)</b>									
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (g)	SO <sub>2</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	NMVOC (g)	TSP (g)	NH <sub>3</sub> (g)	CO (g)
Απόλυτη τιμή	485,4	366,1	30,4	8,4	5,8	20,1	27,8	5,5	307,6
Αποφευχθείσες εκπομπές	-308,9	-468,0	-2.652,2	-3,9	-3,3	-17,8	-216,8	-0,09	-0,16
Καθαρές εκπομπές	176,5	-101,9	-2.621,8	4,5	2,4	2,4	189,0	5,42	307,41

Σημ: Το πρόσημο (-) υποδηλώνει τη μείωση αερίων εκπομπών έξω από τα όρια του μελετηθέντος συστήματος.

Τα προαναφερθέντα αφορούσαν μόνο το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (και οι εκτιμώμενες τιμές αναφέρονταν σε ένα τόνο παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας και όχι κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) και όχι το στάδιο της κατασκευής (εξ αυτών) των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Καθώς, στην περίπτωση μας, η κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων πραγματοποιείται σε διαφορετική μονάδα απ' αυτή στην οποία παράγονται τα χαρτιά βάσης θα ήταν μη ρεαλιστική η διάρθρωση ενός σεναρίου κατά το οποίο θα είχαμε εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο σύνολο των διεργασιών που αφορούν στην παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Η εγκατάσταση δεύτερης μονάδας Σ.Η.Θ. για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του εργοστασίου της EL PACK A.E. (το οποίο καταναλώνει περίπου το 10% της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μίας μονάδας μάζας κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα αρκετά ριψοκίνδυνο επενδυτικό σχέδιο. Στην περίπτωση, βέβαια, που είχαμε πλήρως καθετοποιημένη μονάδα δε θα παρουσιάζονταν το ανωτέρω πρόβλημα.

Ακολουθώντας θα λάβουμε υπόψη και το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στο οποίο, όμως, δεν εφαρμόζεται η Σ.Η.Θ., καθώς και τα υποσυστήματα της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων και του κύκλου ζωής του προστιθέμενου αμύλου, με στόχο να διαπιστωθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη στο σύνολο των διεργασιών του συστήματος της παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Στον Πίνακα 52 δίνονται οι συνολικές εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Επίσης δίνονται οι αποφευχθείσες και οι καθαρές εκπομπές κατά την παραγωγή της προαναφερθείσας ποσότητας κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Στην περίπτωση, λοιπόν, αυτή, παρατηρείται μείωση, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, κατά 66% στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, κατά 64% στις εκπομπές NO<sub>x</sub> και κατά 115,9% στις εκπομπές SO<sub>2</sub>. Δηλαδή, και σ' αυτή την περίπτωση, οι καθαρές εκπομπές SO<sub>2</sub> παρουσιάζουν αρνητικές τιμές. Ήτοι, το σύστημα που μελετάμε (συμπεριλαμβάνοντας τα υποσυστήματα της παραγωγής των καυσίμων και του κύκλου ζωής του προστιθέμενου

αμύλου) λειτουργεί ως «δεξαμενή» που δεσμεύει 1.699,5 g SO<sub>2</sub> ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

**Πίνακας 52:** Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων με εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 1)

<b>Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων με εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας</b>									
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (g)	SO <sub>2</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	NM VOC (g)	TSP (g)	NH <sub>3</sub> (g)	CO (g)
Απόλυτη τιμή	876,1	1.713,8	1.297,5	3.227,9	25,8	174,0	183,6	11,3	863,5
Αποφευκ- θείσες εκπομπές	-349,1	-528,9	-2.997,0	-4,42	-3,75	-20,1	- 245,0	-0,1	-0,2
Καθαρές εκπομπές	527	1.184,9	-1.699,5	3.223,5	22,1	153,9	61,4	11,2	863,3
Σημ: Το πρόσημο (-) υποδηλώνει τη μείωση αέριων εκπομπών έξω από τα όρια του μελετηθέντος συστήματος.									

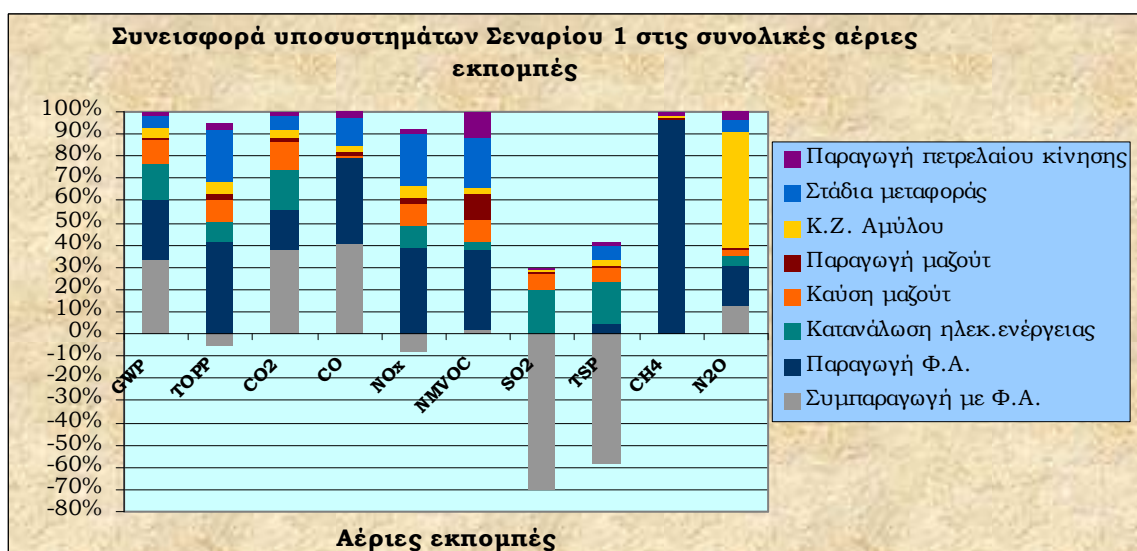
Αξιοσημείωτο, όμως, είναι το ότι οι εκπομπές CH<sub>4</sub> αυξάνονται κατά 1083% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Αυτό οφείλεται στο υποσύστημα της παραγωγής και διακίνησης του φυσικού αερίου, όπου, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS, εκλύονται 233,5·10<sup>-3</sup> g CH<sub>4</sub> ανά ποσότητα φυσικού αερίου ισοδύναμη με 1 MJ<sup>62</sup> (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6). Η αντίστοιχη τιμή για το μαζούτ, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS, είναι 18,143·10<sup>-3</sup> g CH<sub>4</sub>/MJ. Η διαφορά των δύο τιμών είναι αρκετά σημαντική και δεδομένου ότι απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα φυσικού αερίου σ' ένα σύστημα Σ.Η.Θ. απ' ότι σε ένα ξεχωριστό σύστημα παραγωγής ισόποσης θερμότητας είναι πλήρως δικαιολογημένη η προαναφερθείσα αύξηση. Παρόλ' αυτά, το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP) μειώνεται κατά 62% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Το Σχήμα 29 είναι αρκετά κατατοπιστικό για τη σύγκριση των αέριων εκπομπών μεταξύ της παρούσας κατάστασης και του Σεναρίου 1. Στο Σχήμα 30 φαίνεται η συνεισφορά κάθε υποσυστήματος στις συνολικές εκπομπές του μελετηθέντος συστήματος, στην περίπτωση του Σεναρίου 1.

<sup>62</sup> Ενδεικτικά και χάριν σύγκρισης αναφέρεται πως στον G. Kozak (2003) η εκπομπή CH<sub>4</sub> ανά m<sup>3</sup> παραγόμενου φυσικού αερίου δίνεται ίση με 13,752 g. Επίσης στις κατευθυντήριες γραμμές του CORINAIR προτείνονται οι εξής τιμές έκλυσης μεθανίου για τα διάφορα στάδια της παραγωγής και διακίνησης του φυσικού αερίου: 0,8 g CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> φυσικού αερίου λόγω απωλειών στο δίκτυο διανομής, 1,5 g CH<sub>4</sub>/kg φυσικού αερίου απώλειες κατά το στάδιο της άντλησης και της πρωτογενούς επεξεργασίας, 0,33-6,7 g CH<sub>4</sub>/kg φυσικού αερίου λόγω εξαερισμού (venting), κ.λπ. [135].



**Σχήμα 30:** Σύγκριση συνολικών αέριων εκπομπών μεταξύ σεναρίου αναφοράς και Σεναρίου 1



**Σχήμα 31:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέριες εκπομπές του Σεναρίου 1

#### 6.4.1.2 Σενάριο 2: Κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας

Στο σενάριο αυτό θα μελετήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μελετηθέντος συστήματος στην περίπτωση που στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας εφαρμόζεται σύστημα Σ.Η.Θ. με στόχο την κάλυψη μόνο των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Θεωρώντας, όπως και προηγουμένως, πως η θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου είναι 39,7 MJ/m<sup>3</sup>, η απόδοση του συστήματος Σ.Η.Θ. σε θερμότητα είναι 55% και σε ηλεκτρική ενέργεια 35% υπολογίζεται η απαιτούμενη, για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, ποσότητα φυσικού αερίου σε 106,633 m<sup>3</sup>/tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας. Δηλαδή με την καύση 106,633 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου στο σύστημα Σ.Η.Θ. παράγονται 2.232 MJ ηλεκτρικής ενέργειας (δηλαδή, όση ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται από τη μονάδα για την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας) και 3.507,4 MJ θερμικής ενέργειας. Βάσει αυτού αναμένεται έλλειμμα θερμικής ενέργειας ίση με 1.765,2 MJ/tn παραγόμενου προϊόντος (βλ. Πίνακα 53). Το έλλειμμα της ενέργειας αυτής

θα καλυφθεί από συμπληρωματικό καυστήρα μαζούτ. Ο ήδη υπάρχον καυστήρας θα μπορούσε να διατελέσει αυτό το έργο.

**Πίνακας 53:** Ενεργειακά δεδομένα συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο φυσικό αέριο (Σενάριο 2)

<b>Ενεργειακά δεδομένα συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο φυσικό αέριο</b>			
<b>Θερμογόνος δύναμη Φ.Α.</b>	<b>39,7 MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>Ποσότητα</b>	<b>106,633 m<sup>3</sup></b>
	Θερμική ενέργεια	Ηλεκτρική ενέργεια	
Απόδοση Σ.Η.Θ. (%)	55	35	
	Παραγόμενη (MJ)	Απαιτούμενη (MJ/tn προϊόντος)	Έλλειμμα (%) <sup>1</sup>
Θερμότητα	3.507,4	5.277,585	33,4
Ηλεκτρική ενέργεια	2.232	2.232	0
<sup>1</sup> Έλλειμμα (%)= (Έλλειμμα ενέργειας σε απόλυτη τιμή/απαιτούμενη ενέργεια)·100%			

Βάσει των ανωτέρων και για το συγκεκριμένο στάδιο (δηλαδή, της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας και μη συμπεριλαμβανομένων των υποσυστημάτων της παραγωγής των καυσίμων και του κύκλου ζωής του αμύλου) έχουμε μείωση, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 57,9%, των εκπομπών NO<sub>x</sub> κατά 71,4% και των εκπομπών SO<sub>2</sub> κατά 91,1% (βλ. Πίνακα 54). Επίσης, το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, με χρονικό ορίζοντα 100 ετών, μειώνεται κατά 57,9%. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση των εκπομπών NH<sub>3</sub>, η οποία ανέρχεται περίπου στο 1295%

**Πίνακας 54:** Εκπομπές αερίων στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με συνδυασμό Σ.Η.Θ. και συμβατικού καυστήρα ανά tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 2)

<b>Εκπομπές αερίων στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. με συνδυασμό συστήματος Σ.Η.Θ. και συμβατικού καυστήρα ανά tn παραγόμενων χαρτιών συσκευασίας</b>									
	CO <sub>2</sub> (kg/tn)	NO <sub>x</sub> (g/tn)	SO <sub>2</sub> (g/tn)	CH <sub>4</sub> (g/tn)	N <sub>2</sub> O (g/tn)	NMVOC (g)	TSP (g)	NH <sub>3</sub> (g)	CO (g)
Απόλυτη τιμή	472,3	575,1	699,8	15,3	5,0	48,35	78,1	3,7	235,7
Ποσοστό μεταβολής (%) <sup>1</sup>	-57,9	-71,4	-91,1	-59,2	-53,6	-66,2	-88,0	+1.294,8	+235,7
<sup>1</sup> Ως προς την ποσότητα των αερίων εκπομπών της παρούσας κατάστασης (σεναρίου αναφοράς)									

Όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω αφορούσαν μόνο τη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε. και όχι το σύνολο του μελετηθέντος συστήματος. Ακολουθώς θα λάβουμε υπόψη και το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στο οποίο, όμως, δεν εφαρμόζεται η Σ.Η.Θ., καθώς και τα υποσυστήματα της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων και του κύκλου

ζωής του προστιθέμενου αμύλου. Στον Πίνακα 55 δίνονται οι συνολικές εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

**Πίνακας 55:** Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων με εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας (Σενάριο 2)

Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων με εφαρμογή Σ.Η.Θ. στο στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας									
	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (g)	SO <sub>2</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	NM VOC (g)	TSP (g)	NH <sub>3</sub> (g)	CO (g)
Απόλυτη τιμή	850,3	1.845,3	2.241,5	2.235,2	24,0	236,0	243,1	9,3	698,2
Ποσοστό μεταβολής (%) <sup>1</sup>	-45,5	-43,4	-79,0	720,3	-16,2	-41,4	-72,9	+71,5	+88,7

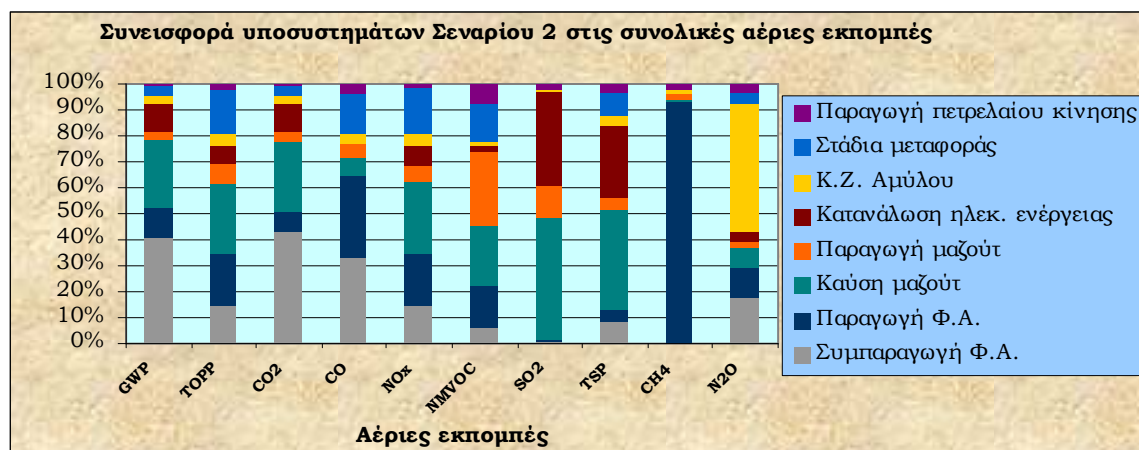
<sup>1</sup> Ως προς την ποσότητα των αερίων εκπομπών της παρούσας κατάστασης (σεναρίου αναφοράς)

Εν συγκρίσει με το σενάριο αναφοράς παρατηρείται, λοιπόν, μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 45,5%, των NO<sub>x</sub> κατά 43,4% και του SO<sub>2</sub> κατά 79,0%. Όπως και στην περίπτωση του Σεναρίου 1 έχουμε σημαντική αύξηση των εκπομπών CH<sub>4</sub> κατά 720,3%, γεγονός όμως που δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP), το οποίο μειώνεται κατά 42,6%.

Το Σχήμα 31 είναι αρκετά κατατοπιστικό για τη σύγκριση των αερίων εκπομπών μεταξύ της παρούσας κατάστασης και του Σεναρίου 2. Στο Σχήμα 32 φαίνεται η συνεισφορά κάθε υποσυστήματος στις συνολικές εκπομπές του μελετηθέντος συστήματος, στην περίπτωση του Σεναρίου 2.



**Σχήμα 32:** Σύγκριση συνολικών αερίων εκπομπών μεταξύ σεναρίου αναφοράς και Σεναρίου

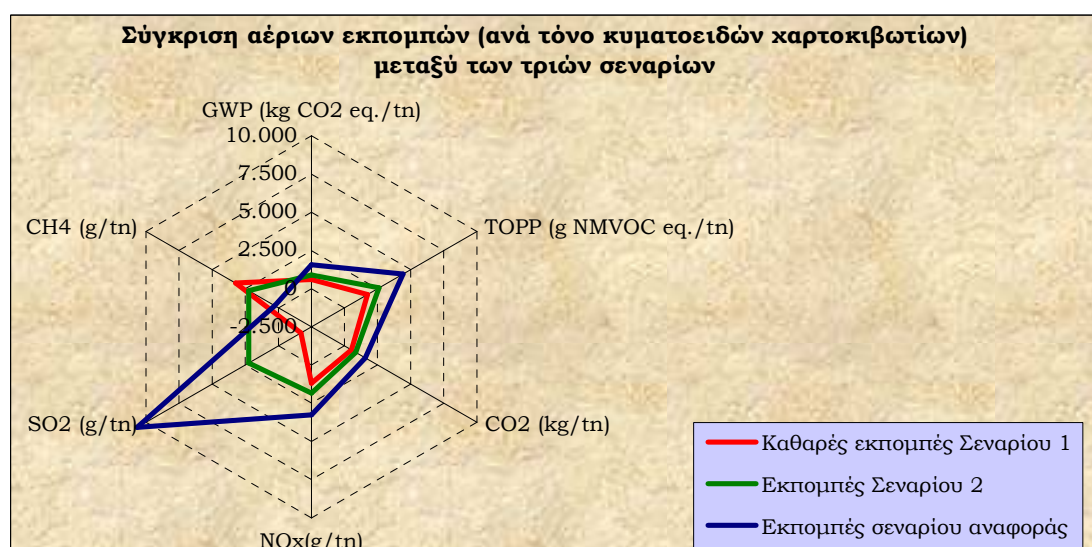


**Σχήμα 33:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις συνολικές αέριες εκπομπές του Σεναρίου 2

#### 6.4.1.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Εκ των ανωτέρων διαπιστώνεται πως η εφαρμογή του συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο το φυσικό αέριο στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας συνεπάγεται τη σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών στο σύνολο του μελετηθέντος συστήματος. Σχεδόν όλες οι αέριες εκπομπές μειώνονται και στα δύο σενάρια. Τα μεγαλύτερα οφέλη παρουσιάζει το Σενάριο 1 (βλ. Σχήμα 33) στην περίπτωση που η πλεονάζουσα ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται οι αέριες εκπομπές που αντιστοιχούν στην παραγωγή ισοδύναμης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, οι εκπομπές SO<sub>2</sub> παρουσιάζουν αρνητικές τιμές.

Επισημαίνεται, ακόμη, πως η αύξηση της χρήσης του φυσικού αερίου οδηγεί σε αύξηση της εκλυόμενης ποσότητας CH<sub>4</sub>, γεγονός που οφείλεται στα στάδια παραγωγής και διακίνησης αυτού. Παρόλ' αυτά, η αύξηση των εκπομπών μεθανίου έχει πολύ μικρή επίδραση στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP) (βλ. Σχήμα 33).



**Σχήμα 34:** Σύγκριση αέριων εκπομπών μεταξύ των τριών σεναρίων

## **6.5 Συμπεράσματα**

Τα βασικότερα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης Α.Κ.Ζ. μπορούν να συνοψισθούν ως ακολούθως:

- Το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές αέριες εκπομπές του μελετηθέντος συστήματος, που περιλάμβανε τα στάδια από τη μεταφορά του παλιόχαρτου στη μονάδα ανακύκλωσης μέχρι την παραγωγή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, και ακολουθείται από το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Τα στάδια της μεταφοράς παρουσιάζουν, συγκριτικά, πολύ μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παρόλο που οι αποστάσεις που πρέπει να διανυθούν είναι αρκετά σημαντικές, αφού και η μονάδα παραγωγής χαρτιών συσκευασίας βρίσκεται αρκετά μακριά από το Λεκανοπέδιο Αττικής, που αποτελεί την κύρια περιοχή συλλογής παλιόχαρτου στην περίπτωση μας, αλλά και το εργοστάσιο κατασκευής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι αρκετά απομακρυσμένο από τη μονάδα παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας.
- Η καύση του μαζούτ και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνιστούν τις κύριες πηγές αέριων εκπομπών. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 54,6% στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP). Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 36,2%, ενώ η συνεισφορά καθενός εκ των υπολοίπων υποσυστημάτων (παραγωγής μαζούτ και πετρελαίου κίνησης, κύκλου ζωής αμύλου και σταδίων μεταφοράς) είναι αρκετά μικρή. Ακόμη, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 69,1% στις συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub>. Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 24,3% και εν συνεχεία το υποσύστημα της παραγωγής αυτού με 6,1%, ενώ τα υπόλοιπα υποσυστήματα παρουσιάζουν αμελητέα συνεισφορά. Σε ότι αφορά το πρόδρομο δυναμικό σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος (TOPP), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η καύση του μαζούτ συμβάλλουν κατά 36,9% και 38,1%, αντίστοιχα, στην τιμή αυτού. Τα στάδια των μεταφορών συνεισφέρουν σημαντικά στη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων (περίπου 10,2%), όπως και το υποσύστημα της παραγωγής του μαζούτ (περίπου 11,2%). Τα υπόλοιπα υποσυστήματα δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτη συνεισφορά στην εν λόγω κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Διεπιστώθη, ακόμη, πως σχεδόν ολοκληρωτικά η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε μη ανανεώσιμους πόρους. Σ' αυτό συμβάλλει και το μικρό ποσοστό εισαγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής.
- Η μελλοντική κατάσταση του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της χώρας, όπου αναμένεται η στροφή προς «καθαρότερες» μορφές ενέργειας μέσω της αύξησης του ποσοστού αξιοποίησης του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών που οφείλονται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Παραδείγματος χάρη, βάσει μίας τέτοιας εξέλιξης αναμένεται πως το έτος 2020 το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου του μελετηθέντος συστήματος θα έχει μειωθεί κατά 33%. Η αντίστοιχη μείωση των εκπομπών SO<sub>2</sub> εκτιμάται σε 58%.
- Διαπιστώθηκε, επίσης, πως η εφαρμογή συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο το φυσικό αέριο στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας οδηγεί σε σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών σε ολόκληρο το μελετηθέν σύστημα. Αυτό λαμβάνει χώρα ιδιαίτερα στην περίπτωση που το σύστημα έχει σχεδιασθεί με στόχο την πλήρη κάλυψη των

θερμικών αναγκών της μονάδας και παράλληλα εξασφαλίζεται η διοχέτευση της πλεονάζουσας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μείωση (σε σχέση με την παρούσα κατάσταση) του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 62%. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 64% και 115,9% αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι εκπομπές SO<sub>2</sub> παρουσιάζουν αρνητικές εκπομπές, γεγονός που οφείλεται στις αποφευχθείσες εκπομπές την παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας.

- Σε ότι αφορά τα υγρά απόβλητα, υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία μόνο για λίγους δείκτες υδατικής ρύπανσης, γεγονός που αφορά και τις περισσότερες σχετικές μελέτες. Οι συνολικές εκπομπές COD και BOD οφείλονται, στο μεγαλύτερο βαθμό, στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας. Οι τιμές αυτών για την περίπτωση μας ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που αναφέρονται στην Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006), υποδεικνύοντας έτσι τα περιθώρια βελτίωσης της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του συγκεκριμένου σταδίου.



## **7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ, ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΑΦΗΣ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΩΝ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ**

### **7.1 Εισαγωγή**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα χαρτιά και ειδικότερα οι χάρτινες συσκευασίες αποτελούν προϊόντα στα οποία, παραδοσιακά, επικεντρώνονται αρκετές μελέτες Α.Κ.Ζ. Από τα τέλη της δεκαετίας του '80, όταν η τελική διάθεση των απορριμμάτων αναδείχθηκε ως μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα, μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες Α.Κ.Ζ. (βλ. Κεφάλαιο 5) με στόχο τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφορετικών τρόπων διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου (ανακύκλωση, καύση, ταφή, και σπανιότερα κομποστοποίηση). Όμως, συχνά, οι μελέτες αυτές οδηγούνται σε αντικρουόμενα αποτελέσματα. Αυτό κυρίως οφείλεται σε διαφορές μεταξύ των μελετών που σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων, τα όρια του μελετηθέντος συστήματος και την αξιολόγηση των αποφευχθέντων περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ της ανακύκλωσης, της καύσης και της ταφής των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, βάσει της μεθοδολογίας της Α.Κ.Ζ. Η μελέτη επικεντρώνεται στην ελληνική πραγματικότητα και περιορίζεται μόνο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παράλληλα επιχειρείται η ανάδειξη εκείνων των παραμέτρων που επιδρούν σημαντικά στα αποτελέσματα των σχετικών μελετών.

### **7.2 Στόχος**

Στόχος του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η περιβαλλοντική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων διαχείρισης απορριμμάτων για την περίπτωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και η ανάδειξη βασικών παραμέτρων που επιδρούν στα αποτελέσματα αυτής της μελέτης. Οι εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης που μελετώνται είναι η ανακύκλωση, η καύση και η ταφή των απορριμμάτων. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης εστιάζουμε μόνο στην κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αφορά στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

### **7.3 Οριοθέτηση και περιγραφή του συστήματος**

Ο κύκλος ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων μπορεί να διακριθεί σε πέντε (5) βασικά στάδια: δασική αξιοποίηση, παραγωγή χαρτιών συσκευασίας, κατασκευή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, διαχείριση απορριμμάτων (ανακύκλωση, καύση ή ταφή) και μεταφορά.

Αναλυτικότερα, η παραγωγή των πρωτογενών χαρτιών συσκευασίας (Kraftliner και Semichemical Fluting) ξεκινάει από το στάδιο της αξιοποίησης των δασών για την παραγωγή ξυλείας. Η ξυλεία μεταφέρεται, στις μονάδες παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας, συνήθως στη μορφή κορμών και σπανιότερα στη μορφή ροκανιδιών, τα οποία

προέρχονται από γειτνιάζουσες μονάδες επεξεργασίας ξύλου. Οι κορμοί των δέντρων θα πρέπει να αποφλοιωθούν και να τεμαχιστούν σε μικρά κομμάτια (chips) προτού υποστούν περαιτέρω επεξεργασία. Εν συνεχεία, τα κομμάτια αυτά διέρχονται από κόσκινα με στόχο να απομακρυνθούν τόσο τα λεπτόκοκκα σωματίδια (σκόνη) όσο και τα μεγάλα κομμάτια ή/και τα τυχόν συσσωματώματα [100].

Τα μικρά κομμάτια ξύλου αναμιγνύονται με νερό υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία που κυμαίνεται από 150 έως 170°C. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως βράσιμο (cooking). Στην περίπτωση της παραγωγής των χαρτιών Kraftliner η εν λόγω διεργασία λαμβάνει χώρα σε έντονα αλκαλικές συνθήκες. Τα χημικά αντιδραστήρια που προστίθενται για το σκοπό αυτό είναι το καυστικό νάτριο και το θειώδες νάτριο. Η απόδοση της διεργασίας σ' αυτή την περίπτωση είναι περίπου 55% (δηλ. από 1000 kg ξηρής ξυλείας λαμβάνονται 550 kg ξηρού πολτού). Στην περίπτωση των χαρτιών τύπου Semichemical Fluting, τα κομμάτια ξύλου υπόκεινται σε βράσιμο βάσει της ημιχημικής μεθόδου. Αυτή συνιστά μία ελαφρά αλκαλική διεργασία κατά την οποία προστίθεται θειικό και ανθρακικό νάτριο. Η απόδοση αυτής κυμαίνεται περίπου στο 80% [100].

Το υγρό κλάσμα του μίγματος που προκύπτει από τη διεργασία του βρασίματος απομακρύνεται μέσω διήθησης ενώ η χαρτόμαξα υποβάλλεται σε έκπλυση με στόχο την πλήρη απομάκρυνση των ανόργανων αντιδραστηρίων και των διαλυτοποιημένων οργανικών υλικών. Τα απόνερα της έκπλυσης, όπως και το υγρό της διεργασίας βρασίματος, έχουν πολύ σκούρο χρώμα και το μίγμα τους ονομάζεται «μαύρο υγρό» (black liquor). Αυτό συμπυκνώνεται και καίγεται με στόχο την παραγωγή ατμού. [100]. Συχνά πραγματοποιείται ανάκτηση των χημικών αντιδραστηρίων σε ποσοστό που φθάνει το 98%, με αποτέλεσμα τη σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων [162].

Το λαμβανόμενο στερεό κλάσμα υπόκειται αρχικώς σε πολτοποίηση (αποϊνώση) και, εν συνεχεία, σε κοσκίνισμα και σε αραιώση. Στο αιώρημα που προκύπτει προστίθενται χημικά αντιδραστήρια και λοιπές βοηθητικές ύλες που έχουν ως στόχο να υποβοηθήσουν τη λειτουργία των διεργασιών παραγωγής χαρτιού αλλά και να προσδώσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν [100].

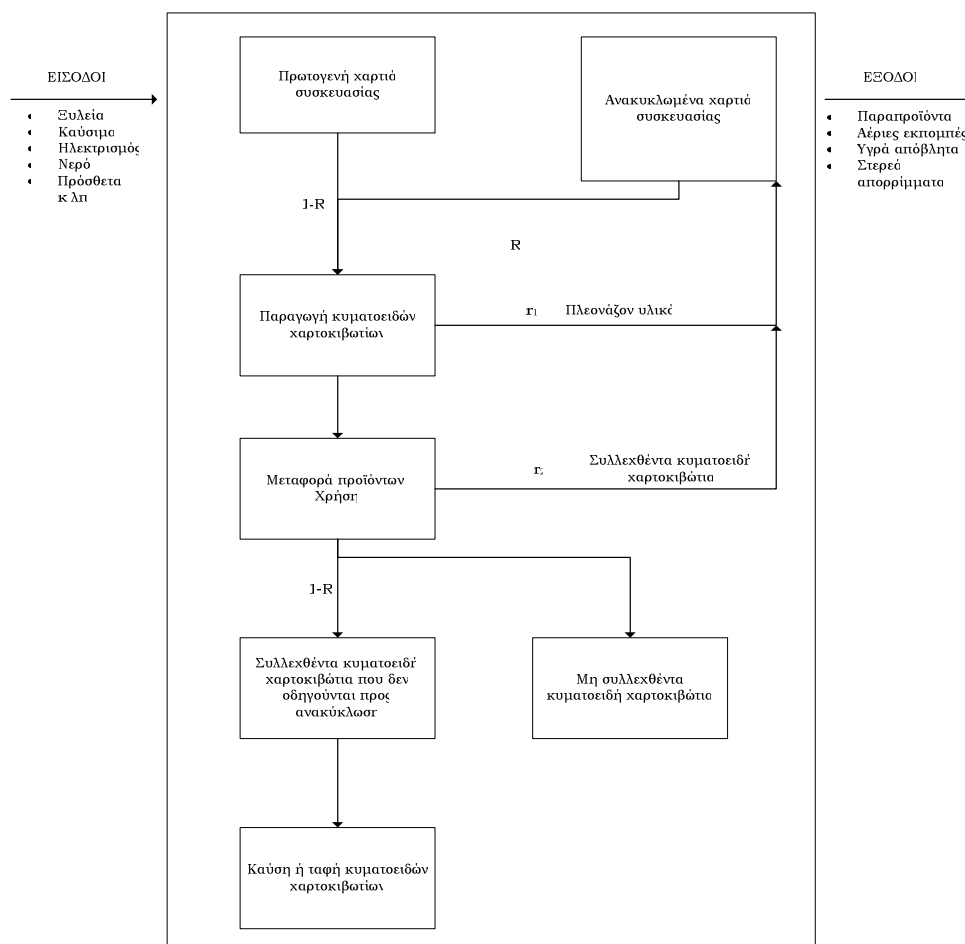
Το αιώρημα ινών εισάγεται στη μηχανή χαρτοποίησης όπου λαμβάνει χώρα η διαδικασία διαμόρφωσης του ξηρού ιστού χαρτιού που περιλαμβάνει τις διεργασίες της μηχανικής αφυδάτωσης και ξήρανσης του υγρού ιστού. Αρχικώς το νερό απομακρύνεται από τα διάκενα μεταξύ των ινών με τη βοήθεια των βαρυτικών δυνάμεων. Εν συνεχεία, και με τη βοήθεια κυλίνδρων, ασκείται πίεση στον ιστό των ινών με αποτέλεσμα την περαιτέρω αφυδάτωση αυτού. Η μείωση της υγρασίας του ιστού των ινών στα τελικά επιθυμητά επίπεδα (περίπου 7-9%) επιτυγχάνεται μέσω της διεργασίας της ξήρανσης, η οποία περιλαμβάνει τη διέλευση του ιστού από θερμαινόμενους (με ατμό) κυλίνδρους [7,100].

Τα χαρτιά συσκευασίας που παράγονται μεταφέρονται σε μονάδες κατασκευής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (βλ. Κεφάλαιο 6) όπου λαμβάνει χώρα η διαμόρφωση των τελικών προϊόντων. Αυτά αφού αξιοποιηθούν από τους καταναλωτές πρέπει να διαχειριστούν ως απορρίμματα ή να ανακυκλωθούν (βλ. Κεφάλαιο 6).

### **7.3.1 Προσέγγιση κλειστού βρόγχου**

Κατά την πραγματοποίηση μίας μελέτης Α.Κ.Ζ. για προϊόντα που περιέχουν κυτταρινούχες ίνες θα πρέπει να εκτιμώνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλο τον

κύκλο ζωής των προϊόντων (από το στάδιο της παραγωγής ξυλείας έως το στάδιο της τελικής διάθεσης των προϊόντων, συνήθως αφού έχουν ανακυκλωθεί αρκετές φορές).



**Σχήμα 35:** Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου ζωής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων βάσει του μοντέλου του κλειστού βρόγχου [Πηγή: FEFCO [100]]

Η ανακύκλωση μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως μία διεργασία ανοικτού βρόγχου (open-loop) είτε ως κλειστού (closed-loop). Στην περίπτωση της δεύτερης προσέγγισης το παραγόμενο προϊόν ανακυκλώνεται για την παραγωγή ίδιου προϊόντος. Αντίθετα, στην περίπτωση του ανοικτού βρόγχου το παραγόμενο προϊόν είναι δυνατόν να ανακυκλωθεί προς ένα διαφορετικό προϊόν (π.χ. εφημερίδες που συνιστούν πρώτες ύλες για την παραγωγή χαρτιών συσκευασίας). Είναι ευνόητο πως η προσέγγιση του ανοικτού βρόγχου είναι περισσότερο ρεαλιστική, καθώς αναπαριστά με πιστότητα τις πραγματικές συνθήκες ανακύκλωσης, όπου τα προϊόντα χάρτου ανακυκλώνονται προς διαφορετικά προϊόντα (συνήθως υποβαθμισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών έναντι των αρχικών).

Έτσι η ανάλυση ενός συστήματος ανοικτού βρόγχου απαιτεί τη μελέτη όλων των εξερχόμενων και εισερχόμενων ροών των συνδεόμενων συστημάτων. Κάτι τέτοιο όμως καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο στην περίπτωση της ανακύκλωσης προϊόντων χάρτου, καθώς τα συνδεόμενα συστήματα είναι πολύ σύνθετα. Παραδείγματος χάρη, σε μία μονάδα που παράγει ανακυκλωμένα χαρτιά συσκευασίας οι πρώτες ύλες αυτής περιλαμβάνουν κυρίως κυματοειδή χαρτοκιβώτια αλλά και πλήθος άλλων ειδών παλαιόχαρτου (σε μικρά ποσοστά), όπως εφημερίδες, περιοδικά, χαρτιά γραφείου, κ.ά. Η μελέτη όλων των συστημάτων που σχετίζονται με όλα τα διαφορετικά είδη παλαιόχαρτου καθίσταται αδύνατη.

Για την απλοποίηση του μελετηθέντος συστήματος, η ανακύκλωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων μπορεί να προσεγγισθεί ως μία διεργασία κλειστού βρόγχου. Στην εν λόγω περίπτωση μία τέτοια θεώρηση δε διαφοροποιείται πολύ από τις πραγματικές συνθήκες, καθώς οι πρώτες ύλες των ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων αποτελούνται κυρίως από παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια (στην Ευρώπη, κατά προσέγγιση, περίπου το 70% των πρώτων υλών των ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια, βλ. Κεφάλαιο 2).

### **7.3.2 Λειτουργική μονάδα και όρια συστήματος**

Στην παρούσα μελέτη, ως λειτουργική μονάδα λαμβάνεται ο ένας τόνος παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (με υγρασία περίπου 8%). Επισημαίνεται πως για την κατασκευή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων απαιτούνται περίπου 1,13 τόνοι χαρτιών συσκευασίας. Δηλαδή 130 kg (από τους 1,13 τόνους) απορρίπτονται ως πλεονάζον υλικό από το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και οδηγούνται στις σχετικές μονάδες ανακύκλωσης. Αυτό σημαίνει πως όταν γνωρίζουμε μία ροή στο στάδιο της παραγωγής χαρτιών συσκευασίας ανά μονάδα μάζας αυτών θα πρέπει να την πολλαπλασιάσουμε με 1,13 για να την ανάγουμε στη μονάδα μάζας των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει τα εξής στάδια: δασική αξιοποίηση και μεταφορά ξυλείας στις μονάδες παραγωγής χαρτιών συσκευασίας, παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας, κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, διαχείριση απορριμμάτων ή/και ανακύκλωση αυτών. Τα στάδια παραγωγής των πρωτογενών χαρτιών συσκευασίας αναφέρονται στις ευρωπαϊκές συνθήκες, ενώ τα στάδια της παραγωγής ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας στην ελληνική πραγματικότητα (Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., βλ. Κεφάλαιο 6). Η κατασκευή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων θεωρούμε πως εξ ολοκλήρου πραγματοποιείται στην EL PACK Α.Ε. (βλ. Κεφάλαιο 6). Η παραδοχή αυτή ανταποκρίνεται πιστά στην ελληνική κατάσταση, όπου τα χαρτιά συσκευασίας παράγονται μέσω της ανακύκλωσης παλαιόχαρτου ενώ αυτά που αποτελούνται από παρθένες ίνες εισάγονται. Τα στάδια μεταφοράς των χαρτιών συσκευασίας από τις μονάδες παραγωγής αυτών στις μονάδες κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καθώς και τα στάδια μεταφοράς των συλλεχθέντων απορριμμάτων προς τους χώρους ανακύκλωσης, καύσης ή ταφής δεν λαμβάνονται υπόψη λόγω έλλειψης διαθέσιμων στοιχείων. Ειδικότερα, είναι πολύ δύσκολος ο ακριβής προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα στάδια των μεταφορών των πρωτογενών χαρτιών συσκευασίας από τις διάφορες ευρωπαϊκές χαρτοποιίες στην EL PACK Α.Ε.

Η πλεονάζουσα ποσότητα ενέργειας ή το έλλειμμα ενέργειας θα αντιμετωπίζεται με τη διεύρυνση των ορίων του συστήματος, έτσι ώστε να περιλαμβάνεται η ενεργειακή αξιοποίηση ενός καυσίμου ποσότητας τέτοιας που να ισοδυναμεί με την πλεονάζουσα ή την ελλειμματική ποσότητα ενέργειας. Δύο καύσιμα θα χρησιμοποιηθούν για το λόγο αυτό: το φυσικό αέριο και το μαζούτ.

Σημειώνεται πως όπου δίνονται τιμές αέριων εκπομπών ή δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου αυτές αναφέρονται σε ένα τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων (δηλαδή, στη λειτουργική μονάδα του συστήματος), εκτός και αν αναφέρεται κάτι διαφορετικό.

## 7.4 Απογραφή δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω θα εστιάσουμε στην απογραφή των δεδομένων που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Βάσει της παραδοχής πως η ξυλεία συνιστά απεριόριστο, ανανεώσιμο φυσικό πόρο θεωρήσαμε πως το CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από την καύση ή την αποδόμηση αυτής ή/και των παραγωγών της (στην περίπτωση μας των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) δε συνεισφέρει στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Δηλαδή, η ποσότητα του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται αντισταθμίζεται με την ποσότητα που χρησιμοποιείται μέσω της φωτοσύνθεσης για την παραγωγή ισόποσης, σε σχέση με την αρχική, βιομάζας.

Για τον υπολογισμό του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP) ελήφθησαν υπόψη τα εξής αέρια: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. Η χρονική περίοδος αναφοράς ήταν τα 100 έτη και οι συντελεστές δυναμικού των αερίων ήταν σύμφωνοι με τις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC [83,137] (CO<sub>2</sub>: 1 kg CO<sub>2</sub> eq./kg αερίου, CH<sub>4</sub>: 21 kg CO<sub>2</sub> eq. /kg αερίου, N<sub>2</sub>O: 310 kg CO<sub>2</sub> eq./kg αερίου).

### 7.4.1 Αξιοποίηση ξυλείας

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) απαιτούνται 1,82 τόνοι ξηρής ξυλείας για την παραγωγή ενός τόνου ξηρής χαρτόμαζας στην περίπτωση των επίπεδου στρώματος χαρτιών συσκευασίας (Kraftliner). Η αντίστοιχη τιμή για τα ενδιάμεσου στρώματος χαρτιά συσκευασίας (Semichemical Fluting) είναι 1,21 τόνοι ξηρής ξυλείας [100].

Για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αφορούν στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης για την παραγωγή ξυλείας θα στηριχθούμε στη σχετική βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 12). Στον Πίνακα 56 δίνονται οι βασικότεροι αέριοι ρύποι που εκλύονται κατά τα στάδια της παραγωγής της ξυλείας και κατά τη μεταφορά αυτής στις μονάδες παραγωγής προϊόντων χάρτου. Σημειώνεται πως το στάδιο της δασικής αξιοποίησης αφορά την περίπτωση της Σουηδίας, ενώ το υποσύστημα της μεταφοράς βασίστηκε στις μέσες διανυόμενες αποστάσεις της ξυλείας προς τις ευρωπαϊκές βιομηχανίες χάρτου. Θεωρήθηκε πως το 72% της ξυλείας μεταφέρεται με φορτηγά για 120 km, το 21% με τρένα για 310 km και το 7% με πλοία για 1.300 km.

**Πίνακας 56:** Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά kg ξυλείας που οδηγείται στις χαρτοβιομηχανίες (E.E.)

<b>Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά kg ξυλείας που οδηγείται στις χαρτοβιομηχανίες (E.E.)</b>						
Ρύποι	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	SO <sub>2</sub>	TSP
g/kg	33,7	160,7·10 <sup>-9</sup>	780,5·10 <sup>-3</sup>	37,1·10 <sup>-3</sup>	316,6·10 <sup>-3</sup>	160,7·10 <sup>-9</sup>
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HCl	HF	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>
g/kg	5,9·10 <sup>-3</sup>	458,6·10 <sup>-6</sup>	31·10 <sup>-3</sup>	410,1·10 <sup>-3</sup>	536,8·10 <sup>-3</sup>	221,8·10 <sup>-3</sup>
Σημ: Η ξυλεία περιέχει υγρασία σε ποσοστό 25%.						

[Πηγή: GEMIS [147]]

Θεωρώντας πως για την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων απαιτούνται 1,13 τόνοι χαρτιών συσκευασίας, εκ των οποίων το 33% είναι χαρτιά Semichemical Fluting

και το 67% χαρτιά Kraftliner, υπολογίζεται πως κατά το συγκεκριμένο στάδιο εκπέμπονται 46,3 kg CO<sub>2</sub>, 8,1 g CH<sub>4</sub>, 0,6 g N<sub>2</sub>O ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Σε μία Α.Κ.Ζ. που σχετίζεται με την ανακύκλωση προϊόντων χάρτου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση της ξυλείας θα πρέπει να εκτιμώνται με όρους περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εμπίπτουν στην κατηγορία της βιοποικιλότητας και των χρήσεων γης. Μία τέτοια προσέγγιση, όμως, παρουσιάζει πολλές δυσχέρειες, καθώς είναι πολύ δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν οι σχετικές επιπτώσεις. Αντ' αυτού προτιμάται η προσέγγιση κατά την οποία η ξυλεία θεωρείται ως φυσικός πόρος που αξιοποιείται πλήρως και η χρήση αυτής για την παραγωγή χαρτιού συνεπάγεται την έλλειψή της για άλλες χρήσεις. Συνήθως ως εναλλακτική χρήση της ξυλείας θεωρείται η καύση αυτού για την παραγωγή ενέργειας (βλ. Κεφάλαιο 5). Έτσι, στις περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε θέματα σχετικά με την ανακύκλωση προϊόντων χάρτου υιοθετείται η τελευταία προσέγγιση. Δηλαδή, η κατανάλωση ενός κιλού ξυλείας για την παραγωγή προϊόντων χάρτου συνεπάγεται την έλλειψη ενός κιλού ξυλείας για την παραγωγή ενέργειας. Αυτό το έλλειμμα ενέργειας θα πρέπει να συμπληρώνεται από ένα εναλλακτικό καύσιμο. Το ενεργειακό περιεχόμενο ενός κιλού ξύλου (με 55% υγρασία) είναι 8,2 MJ (η θερμογόνος δύναμη του ξηρού ξύλου είναι 18,3 MJ/kg). Έτσι, η κατανάλωση ενός κιλού ξυλείας συνεπάγεται την αποφυγή αέριων εκπομπών που παράγονται κατά την καύση αυτού και την έκλυση των αέριων εκπομπών που οφείλονται στην καύση ενός εναλλακτικού καυσίμου, ποσότητας τέτοιας που ισοδυναμεί σε ενέργεια 8,2 MJ. Η επιλογή του εναλλακτικού καυσίμου (που αντικαθιστά το ξύλο) είναι σημαντική, καθώς μπορεί να διαφοροποιήσει τα τελικά αποτελέσματα [108].

Στην περίπτωση μας για την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από παρθένες καταναλώνονται 1,62 τόνοι ξηρής ξυλείας, ποσότητας, δηλαδή, που αντιστοιχεί σε ενέργεια 29,6 GJ (θεωρώντας πως 1 kg ξηρής ξυλείας ισοδυναμεί σε 18,3 MJ). Από την καύση αυτής της ποσότητας ξυλείας, και σύμφωνα με τους συντελεστές αέριων του θερμοκηπίου που δίνονται στις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC, εκπέμπονται 3.316,6 kg CO<sub>2</sub> (τα οποία όμως δε συμβάλλουν στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου), 888,4 g CH<sub>4</sub> και 118,5 g N<sub>2</sub>O. Στον Πίνακα 57 δίνονται οι αέριες εκπομπές, που αφορούν στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, από την καύση φυσικού αερίου και μαζούτ, ποσότητας που ισοδυναμεί με την ενέργεια της καταναλωθείσας ξυλείας. Οι συντελεστές εκπομπών βασίστηκαν στις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC.

**Πίνακας 57:** Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση διαφόρων καυσίμων ποσοτήτων που αντιστοιχούν σε ενέργεια 29,6 GJ

<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση διαφόρων καυσίμων ποσοτήτων που αντιστοιχούν σε ενέργεια 29,6 GJ</b>			
	CO <sub>2</sub> (kg)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)
Φυσικό αέριο	1.661,3	29,6	3,0
Μαζούτ	2.292,0	88,8	17,8

#### **7.4.2 Παραγωγή χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες**

Για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τα στάδια της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας θα στηριχθούμε στα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Βάσης Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006). Στον Πίνακα 58 δίνονται οι

αέριες εκπομπές κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών, που οφείλονται στην *in situ* καύση των διαφόρων καυσίμων. Δεν περιλαμβάνονται, δηλαδή, οι αέριες εκπομπές που οφείλονται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τιμές του πίνακα αυτού (εκτός της περίπτωσης του CO<sub>2</sub> όπου οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται βάσει βιβλιογραφικών συντελεστών) στηρίζονται σε μετρήσεις που πραγματοποιούνται στις ίδιες τις μονάδες<sup>63</sup>.

**Πίνακας 58:** Αέριες εκπομπές από την *in situ* κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες

<b>Αέριες εκπομπές από την <i>in situ</i> κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες</b>		
Ρύποι	kg/tn Semicheical Fluting	kg/tn Kraftliner
Σκόνη	0,40	0,53
CO <sub>2</sub> (ορυκτών καυσίμων)	613	199
CO <sub>2</sub> (βιομάζας)	547	1.838
NO <sub>2</sub>	1,6	1,2
SO <sub>2</sub>	2,1	0,28

Σημ: Οι τιμές αφορούν τις αέριες εκπομπές από την *in situ* κατανάλωση καυσίμων

[Πηγή: FEFCO [100]]

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 1,4 GJ και 2,4 GJ ανά τόνο παραγόμενων χαρτιών Semicheical Fluting και Kraftliner αντίστοιχα [100]. Για τις αέριες εκπομπές που οφείλονται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα υιοθετήσουμε τις τιμές της βάσης δεδομένων του λογισμικού GEMIS που αφορούν το ενεργειακό «μίγμα» της Ε.Ε. των 15 (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 13). Στον Πίνακα 59 δίνονται οι συνολικές αέριες εκπομπές από το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες (συμπεριλαμβάνοντας και τις αέριες εκπομπές που οφείλονται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).

Από τις βοηθητικές ύλες και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας θα λάβουμε υπόψη μόνο το άμυλο, που προστίθεται σε ποσοστό άνω του 1%. Συγκεκριμένα, για την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών Kraftliner χρησιμοποιούνται 11,7 kg αμύλου. Για την παραγωγή χαρτιών Semicheical Fluting δε χρησιμοποιείται καθόλου άμυλο [100]. Στηριζόμενοι στη σχετική βάση δεδομένων του λογισμικού GEMIS (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2) υπολογίζεται πως λόγω της κατανάλωσης αμύλου εκλύονται 7.5 kg CO<sub>2</sub>, 13,64 g CH<sub>4</sub>, 3,96 g N<sub>2</sub>O, 6,36 g SO<sub>2</sub> και 26,24 g NO<sub>x</sub> ανά τόνο χαρτιών Kraftliner.

<sup>63</sup> Τα δεδομένα αυτά αφορούν, περίπου, το 80% της συνολικά παραγόμενης ποσότητας χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες στην Ευρώπη. Τα χαρτιά αυτά παράγονται σε μεγάλες μονάδες, οι οποίες είναι εγκατεστημένες στην Αυστρία, Γαλλία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σουηδία και Φινλανδία. Η συνολική παραγωγή αυτών ήταν περίπου 4 εκατομμύρια τόνους το 2005. Η κάθε μονάδα παράγει ετησίως από 92.000 έως 686.000 τόνους χαρτιών συσκευασίας [100].

**Πίνακας 59:** Συνολικές αέριες εκπομπές από την κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες

<b>Συνολικές αέριες εκπομπές από την κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή ενός τόνου χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες</b>		
Ρύποι	g/tn Semicchemical Fluting	g/tn Kraftliner
CO <sub>2</sub> (ορυκτών καυσίμων)	758,682 (kg)	448,740 (kg)
NO <sub>2</sub>	1.961,3	1.819,4
SO <sub>2</sub>	2.572,2	1.089,5

Σημ: Σε ότι αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, πρέπει να επισημανθεί πως εκπέμπονται, ακόμη, 547 kg για την περίπτωση των χαρτιών Semicchemical Fluting και 1.848 kg για την περίπτωση των χαρτιών Kraftliner από την καύση βιομάζας στην ίδια τη μονάδα.

Θεωρώντας πως για την παραγωγή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων απαιτούνται 1,13 τόνοι χαρτιών συσκευασίας εκ των οποίων το 33% είναι χαρτιά Semicchemical Fluting ενώ το 67% χαρτιά Kraftliner<sup>64</sup> εκτιμάται πως κατά το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες εκπέμπονται 628,3 kg CO<sub>2</sub>, 361,1 g CH<sub>4</sub> και 13,9 g N<sub>2</sub>O ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Πρέπει να σημειωθεί πως η Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006) δε διαθέτει στοιχεία σχετικά με τις in situ εκπομπές CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O κατά την παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας. Όμως, εκτιμάται πως οι τιμές αυτών είναι αρκετά μικρές και ως εκ τούτου δεν επηρεάζουν σε αξιοσημείωτο επίπεδο το αντίστοιχο δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την περίπτωση της παραγωγής ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, που μελετήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου η συνεισφορά των αερίων αυτών στο δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (που αφορά στην παραγωγή ενέργειας από την μονάδα) ήταν για το καθένα μικρότερη από 0,5%.

#### **7.4.3 Παραγωγή ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας**

Τα δεδομένα αερίων εκπομπών κατά το στάδιο της παραγωγής ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας στηρίζονται στην ανάλυση του προηγούμενου κεφαλαίου (περίπτωση Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε.), με τη διαφορά πως, χάριν σύγκρισης με τα αντίστοιχα της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες, δε θα συμπεριλάβουμε τις αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τα στάδια παραγωγής και διακίνησης των καταναλωθέντων καυσίμων.

Έτσι, κατά το στάδιο της παραγωγής ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας εκπέμπονται 1.271,8 kg CO<sub>2</sub>, 52,1 g CH<sub>4</sub> και 15 g N<sub>2</sub>O ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

#### **7.4.4 Κατασκευή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων**

Για το στάδιο αυτό ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και ανωτέρω σχετικά με την παραγωγή των ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας. Δηλαδή, τα δεδομένα αφορούν την ελληνική

<sup>64</sup> Στην πραγματικότητα οι βιομηχανίες παραγωγής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από παρθένες ίνες υποχρεούνται να χρησιμοποιούν και ένα μικρό ποσοστό ανακυκλωμένων ινών, το οποίο όμως δε θα ληφθεί υπόψη στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, καθώς επιθυμείται η διάρθρωση και ενός σεναρίου στο οποίο η παραγωγή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στηρίζεται εξ ολοκλήρου σε παρθένες ίνες.



πραγματικότητα και συγκεκριμένα την περίπτωση της EL PACK A.E. Επίσης, δε συμπεριλαμβάνονται οι αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τα στάδια παραγωγής και διακίνησης των καταναλωθέντων καυσίμων.

Έτσι, κατά το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων εκπέμπονται 177,2 kg CO<sub>2</sub>, 272,5 g CH<sub>4</sub> και 28,7 g N<sub>2</sub>O ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

#### **7.4.5 Ταφή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων**

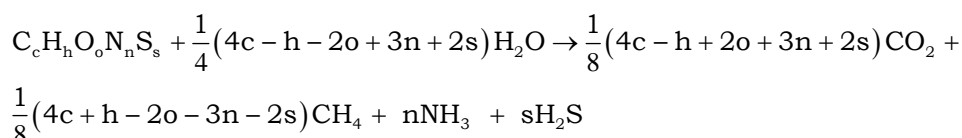
Η αποδόμηση των απορριμμάτων στους χώρους ταφής απορριμμάτων εξαρτάται από το είδος αυτών, τις συνθήκες απόθεσής τους και το χρόνο. Η αποδόμηση απορριμμάτων, ως είναι φυσικό, έχει ως αποτέλεσμα την μερική μετατροπή τους σε παράγωγα συστατικά τα οποία μπορεί να είναι αέρια, υγρά ή στερεά. Ο προσδιορισμός των αέριων εκπομπών ανά είδος απορρίμματος μέσω πειραματικών μετρήσεων είναι πολύ δυσχερής. Ως εκ τούτου, η εκτίμηση αυτών συνήθως στηρίζεται σε θεωρητικά μοντέλα και παραδοχές [92].

Ο υπολογισμός των αέριων εκπομπών από τη βιοαποδόμηση των προϊόντων χάρτου μπορεί να πραγματοποιηθεί αν στηριχθούμε σε μία εκ των τριών ακόλουθων παραδοχών [92]:

- την πλήρη βιοαποδόμηση,
- την αποδόμηση του οργανικού υλικού, λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του δεσμευμένου άνθρακα,
- την αποδόμηση του οργανικού φορτίου, λαμβάνοντας υπόψη το περιεχόμενο λιγνίνης.

Η βιοαποδόμηση στους χώρους ταφής απορριμμάτων πραγματοποιείται κυρίως υπό αναερόβιες συνθήκες (αναερόβια χώνευση), γεγονός που συνεπάγεται την παραγωγή βιοαερίου (μίγματος μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και λοιπών αέριων, τα οποία βρίσκονται σε μικρές ποσότητες). Στην πραγματικότητα η αποδόμηση των προϊόντων χάρτου πραγματοποιείται σε συνδυασμό αερόβιων και αναερόβιων συνθηκών. Αρχικά, στο χώρο ταφής του παλαιόχαρτου παγιδεύεται κάποια ποσότητα αέρα με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται η αποδόμηση του υπό αερόβιες συνθήκες. Σύντομα όμως, εντός λίγων μηνών, οι συνθήκες γίνονται αναερόβιες. Ως εκ τούτου ο χρόνος αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα από τον οποίο εξαρτάται ο τρόπος αποδόμησης του παλαιόχαρτου. Σύμφωνα με τον R. G. Hunt (1995), αρκετά προϊόντα χάρτου αποδομούνται σε ποσοστό περίπου 20% στο χρονικό διάστημα των πρώτων δύο ετών, κυρίως λόγω αναερόβιων διεργασιών. Η ολοκλήρωση της αποδόμησης απαιτεί, πιθανώς, περισσότερο από 100 έτη [163]. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί πως η αναερόβια αποδόμηση εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων, μερικές εκ των οποίων είναι οι εξής: η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα υγρασίας, η περιεκτικότητα θρεπτικών, η συγκέντρωση οξυγόνου, η τιμή pH, κ.λπ.

Εφόσον η στοιχειακή σύσταση του απορρίμματος είναι γνωστή μπορεί να υπολογιστεί το θεωρητικό ποσό του παραγόμενου βιοαερίου καθώς και η σύστασή του, βάσει της εξίσωσης του Buswell [121]:



Πλήρη βιοαποδόμηση: Τα χαρτόνια και τα χαρτιά συσκευασίας (συμπεριλαμβανομένων των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) αποτελούνται κατά προσέγγιση από C κατά 42,3%, από H κατά 5,76%, από N κατά 0,21% και από τέφρα κατά 7,41%. Βάσει της σύστασης αυτής και της εξίσωσης του Buswell είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ποσότητα του εκλυόμενου μεθάνιου και η σύσταση αυτού. Έτσι από 1 mol αυτού του είδους προϊόντος χάρτου παράγονται 121 mol CH<sub>4</sub>, 113 mol CO<sub>2</sub> και 1 mol NH<sub>3</sub>. Συνεπώς, από 1 τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και με την παραδοχή πως έχουμε πλήρη βιοαποδόμηση εκλύονται 323 kg CH<sub>4</sub>, 831 kg CO<sub>2</sub> και 1 kg NH<sub>3</sub> (ο όγκος του εκλυόμενου βιοαερίου είναι 874 m<sup>3</sup>) [92].

Αποδόμηση, λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του δεσμευμένου άνθρακα: Τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά την αποδόμηση των απορριμμάτων σχετίζονται με την περιεκτικότητα των τελευταίων σε άνθρακα. Καθώς τα προϊόντα χάρτου δεν αποδομούνται πλήρως υπό αναερόβιες συνθήκες, ποσότητα του περιεχόμενου άνθρακα δεσμεύεται (παραμένει) στους χώρους ταφής τους. Το ποσοστό του δεσμευμένου άνθρακα ποικίλει σημαντικά αναλόγως του είδους αυτών. Για τα κυματοειδή χαρτοκιβώτια, το ποσοστό αυτό είναι περίπου 23%, χαμηλότερο απ' ό,τι στην περίπτωση των εφημερίδων (34%) και υψηλότερο απ' ό,τι στην περίπτωση των χαρτιών γραφής και εκτύπωσης (4%). Βάσει των δεδομένων αυτών και της εξίσωσης Buswell εκτιμάται πως από την αποδόμηση 1 τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων εκλύονται 249 kg CH<sub>4</sub>, 640 kg CO<sub>2</sub> (ο όγκος του εκλυόμενου βιοαερίου είναι 673 m<sup>3</sup>) [92].

Αποδόμηση, λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε λιγνίνη: Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι φυτικές ίνες αποτελούνται από κυτταρίνη, λιγνίνη και ημικυτταρίνη. Η λιγνίνη βιοαποδομείται αρκετά δύσκολα, ειδικά υπό αναερόβιες συνθήκες, και, παράλληλα, δυσχεραίνει τη βιοαποδόμηση και των υπολοίπων συστατικών. Έχουν αναπτυχθεί ποσοτικές σχέσεις που συνδέουν την περιεκτικότητα σε λιγνίνη με τη βιοαποδομησιμότητα των λιγνοκυτταρινούχων υλικών κατά τη διάρκεια της αναερόβιας κώνευσης [92].

Η ποσότητα της περιεχόμενης λιγνίνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των προϊόντων χάρτου βάσει της ακόλουθης σχέσης [92]:

$$BF=0,83-0,028 \cdot LC$$

με BF: το βιοαποδομήσιμο κλάσμα,

LC: περιεχόμενη λιγνίνη (%)

**Πίνακας 60:** Αέριες εκπομπές κατά την ταφή ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

<b>Εκπομπές αερίων ρύπων από την αποδόμηση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων</b>		
Σενάριο	CH <sub>4</sub> (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)
Πλήρη βιοαποδόμηση	323	831
Αποδόμηση, λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του δεσμευμένου άνθρακα	249	640
Αποδόμηση, λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε λιγνίνη	151	390

Σύμφωνα με μελέτες, η περιεκτικότητα της λιγνίνης στα χαρτόνια και τα χαρτιά συσκευασίας είναι περίπου 12,9%. Συνεπώς, το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των χαρτιών

αυτών εκτιμάται σε 46,88%. Άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούμε να θεωρήσουμε πως από τη βιοαποδόμηση 1 τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων εκπέμπονται 151 kg CH<sub>4</sub>, 390 kg CO<sub>2</sub> (ο όγκος του εκλυόμενου βιοαερίου είναι 410 m<sup>3</sup>) [92]. Στον Πίνακα 60 δίνονται σε συνοπτική μορφή τα προαναφερθέντα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τους T. Grant et al. (2001), από τις ποσότητες του εκλυόμενου μεθανίου το 10 έως το 90% μπορεί να θεωρηθεί πως οξειδώνεται βιολογικά προς CO<sub>2</sub> [92]. Θεωρώντας, έτσι, πως το 50% (μέση τιμή των προαναφερθέντων ποσοστών) του CH<sub>4</sub> μετατρέπεται σε CO<sub>2</sub>, αναμένεται πως, εν τέλει, οι εκπομπές CH<sub>4</sub> είναι οι μισές απ' αυτές που αναφέρονται στον Πίνακα 60.

Αξίζει να σημειωθεί πως από τις προαναφερθείσες ποσότητες μεθανίου, περίπου, το 55% μπορεί να συλλεχθεί και να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς. Κατά την καύση του μετατρέπεται σε CO<sub>2</sub>, η ποσότητα του οποίου μπορεί να υπολογιστεί στοιχειομετρικά. Το μη συλλεχθέν μεθάνιο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οξειδώνεται βιολογικά σε CO<sub>2</sub>, σε ποσοστό που ποικίλει από 10 έως 90% [92]. Στην περίπτωση αυτή οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub> δίνονται στον Πίνακα 61.

**Πίνακας 61:** Εκπομπές αερίων ρύπων από την αποδόμηση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στην περίπτωση της ενεργειακής αξιοποίησης του συλλεχθέντος βιοαερίου

<b>Εκπομπές αερίων ρύπων από την αποδόμηση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στην περίπτωση της ενεργειακής αξιοποίησης του συλλεχθέντος βιοαερίου</b>					
Σενάριο	Βιοαέριο (m <sup>3</sup> )	Συλλεχθέν βιοαέριο (m <sup>3</sup> )	Ανακτημένη ενέργεια (MJ)	Συνολικό CO <sub>2</sub> (kg)	CH <sub>4</sub> (kg)
Πλήρη βιοαποδόμηση	874	481	2.550	1.517	73
Αποδόμηση, λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του δεσμευμένου άνθρακα	673	370	1.964	1.168	56
Αποδόμηση, λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε λιγνίνη	410	225	1.196	711	34
Οι υπολογισμοί βασίζονται στη θεώρηση πως το μη συλλεχθέν βιοαέριο οξειδώνεται βιολογικά σε ποσοστό 50%.					

Αξιολογώντας τις ανωτέρω εκτιμήσεις θα πρέπει να αναφέρουμε πως το σενάριο της πλήρους βιοαποδόμησης είναι αρκετά «θεωρητικό» και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα που το αφορούν είναι αρκετά αυξημένα απ' αυτά που θα αναμέναμε στην πράξη. Τα άλλα δύο σενάρια φαίνεται πως είναι περισσότερο ρεαλιστικά και αναμένεται πως ανταποκρίνονται πιστότερα στην πραγματικότητα. Στους R. B. H. Tan et al. (2005) οι αντίστοιχες εκπομπές εκτιμώνται πως είναι ακόμη μικρότερες. Συγκεκριμένα κατά την αποδόμηση ενός τόνου κυματοειδών χαρτονιών εκτιμάται πως οι εκπομπές CH<sub>4</sub> είναι 10,94 kg και CO<sub>2</sub> 294,16 kg [107].

Αξίζει να αναφερθεί πως στην Ελλάδα η ανάκτηση και η καύση του παραγόμενου βιοαερίου από τους χώρους ταφής απορριμμάτων πραγματοποιείται στους 4 μεγαλύτερους Χ.Υ.Τ.Α. (στο Λεκανοπέδιο Αττικής, στην Πάτρα, στη Θεσσαλονίκη και στη Λάρισα). Για τους 3 απ' αυτούς (Πάτρας, Θεσσαλονίκης και Λάρισας) δεν είναι διαθέσιμα τα δεδομένα περί της

ανάκτησης και της καύσης του βιοαερίου. Η ποσότητα του βιοαερίου που ανακτάται σ' αυτούς τους χώρους εκτιμάται θεωρητικά στο 60% της συνολικής εκλυόμενης ποσότητας. Για την περίπτωση του Χ.Υ.Τ.Α. του Λεκανοπεδίου Αττικής (Χ.Υ.Τ.Α. Άνω Λιοσίων) η ποσότητα του μεθανίου που ανακτήθηκε κατά το 2006 εκτιμήθηκε σε 54,9 εκατομμύρια m<sup>3</sup> [123].

#### **7.4.6 Καύση κυματοειδών χαρτοκιβωτίων**

Σύμφωνα με του R. B. H. Tan et al. (2005) κατά την καύση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια της τάξης των 16,45 GJ. Οι αέριες εκπομπές από την καύση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι 27,5 kg CO<sub>2</sub>, 0,08 g CH<sub>4</sub>, 9,6 g SO<sub>2</sub>, 107,34 g NO<sub>2</sub> και 5,65·10<sup>-6</sup> g διοξειδίων[107] .

Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του CPM (Center of Environmental Assessment of Product and Material Systems), που αφορά μελέτες A.K.Z., από την καύση ενός τόνου κυματοειδών χαρτοκιβωτίων παράγονται 19,998 kg τέφρας, 2,67 kg NO<sub>x</sub>, 0,08 kg σωματίδια. Επίσης παράγονται 16,7 GJ θερμικής ενέργειας. Σημειώνεται πως τα δεδομένα αυτά έχουν ληφθεί από μονάδες της Σουηδίας και πως η χρονική περίοδος αναφοράς αυτών αφορά στα τέλη της δεκαετίας του '80 [165].

Επίσης, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του λογισμικού SimaPro (SimaPro 7.1, Demo Version) κατά την καύση ενός τόνου παλαιόχαρτου<sup>65</sup> εκπέμπονται 21 kg CO<sub>2</sub>, 48,3 g CH<sub>4</sub>, 213 g SO<sub>x</sub>, 721 g NO<sub>x</sub> και 12,5 g N<sub>2</sub>O. Τα δεδομένα αυτά αφορούν τεχνολογία που περιλαμβάνει την όξινη και αλκαλική επεξεργασία των απαερίων και την καταλυτική απομάκρυνση των NO<sub>x</sub>.

Παρατηρούνται, λοιπόν, σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές αέριων εκπομπών μεταξύ των προαναφερθέντων πηγών, γεγονός που πιθανώς να οφείλεται και στις διαφορετικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις μονάδες καύσης. Παραδειγματος χάρη, οι εκπομπές NO<sub>x</sub> εξαρτώνται περισσότερο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της καύσης παρά από τη σύσταση της πρώτης ύλης. Τα NO<sub>x</sub> παράγονται από το άζωτο που υπάρχει στο υλικό που καίεται και από το άζωτο του αέρα. Ο θερμικός σχηματισμός NO<sub>x</sub> (που συνιστά το βασικό τρόπο σχηματισμού NO<sub>x</sub> από το άζωτο του αέρα) λαμβάνει χώρα από τους 900 °C, αλλά είναι εντονότερος στους 1200 °C. Έτσι, όσο υψηλότερη η θερμοκρασία και όσο μεγαλύτερος ο χρόνος που τα απαέρια παραμένουν σ' αυτή τόσο εντονότερος είναι ο σχηματισμός NO<sub>x</sub> [165].

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης θα υιοθετήσουμε τα στοιχεία που δίνονται στη βάση δεδομένων του λογισμικού SimaPro. Η ενέργεια που δύναται να ανακτηθεί από ένα τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων θα θεωρηθεί ίση με 16,45 GJ.

### **7.5 Σενάριο μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης**

#### **7.5.1 Περίπτωση ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων**

Θα διερευνήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από παρθένες ίνες στην περίπτωση που η συνολική ποσότητα αυτών οδηγείται για ταφή. Τα σενάρια που μελετώνται διαφοροποιούνται σε ότι αφορά το καύσιμο που επιλέγεται για να ισοσταθμίσει τις ροές ενέργειας στο σύστημα (δηλαδή, καύσιμο που

---

<sup>65</sup> Καύση μικτών απορριμμάτων χάρτου για την περίπτωση της Ελβετίας.

αντικαθιστά τη δασική βιομάζα και καύσιμο που αντικαθίσταται λόγω της ανάκτησης ενέργειας κατά την ταφή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) και το διαφορετικό ποσοστό βιοαποδόμησης των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων κατά την ταφή αυτών (βλ. Πίνακα 62).

**Πίνακας 62:** Σενάρια ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Σενάρια ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων			
	Καύσιμο (διεύρυνσης ορίων συστήματος)	Αξιοποίηση ενέργειας κατά την ταφή των απορριμμάτων	Σενάρια βιοαποδόμησης
Σενάριο 1.1.1	Φυσικό αέριο	Ανάκτηση ενέργειας	Πλήρη βιοαποδόμηση
Σενάριο 1.1.2	Φυσικό αέριο	Ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει δεσμευμένου άνθρακα)
Σενάριο 1.1.3	Φυσικό αέριο	Ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει περιεκτικότητας σε λιγνίνη)
Σενάριο 1.2.1	Φυσικό αέριο	Χωρίς ανάκτηση ενέργειας	Πλήρη βιοαποδόμηση
Σενάριο 1.2.2	Φυσικό αέριο	Χωρίς ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει δεσμευμένου άνθρακα)
Σενάριο 1.2.3	Φυσικό αέριο	Χωρίς ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει περιεκτικότητας σε λιγνίνη)
Σενάριο 2.1.1	Μαζούτ	Ανάκτηση ενέργειας	Πλήρη βιοαποδόμηση
Σενάριο 2.1.2	Μαζούτ	Ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει δεσμευμένου άνθρακα)
Σενάριο 2.1.3	Μαζούτ	Ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει περιεκτικότητας σε λιγνίνη)
Σενάριο 2.2.1	Μαζούτ	Χωρίς ανάκτηση ενέργειας	Πλήρη βιοαποδόμηση
Σενάριο 2.2.2	Μαζούτ	Χωρίς ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει δεσμευμένου άνθρακα)
Σενάριο 2.2.3	Μαζούτ	Χωρίς ανάκτηση ενέργειας	Μερική βιοαποδόμηση (βάσει περιεκτικότητας σε λιγνίνη)

Στο Σχήμα 30 δίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που σχετίζονται με την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, των προαναφερθέντων σεναρίων.

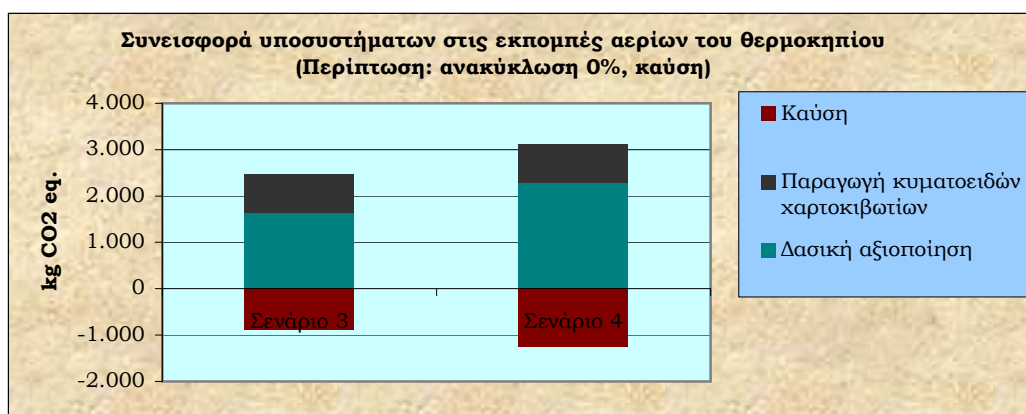


**Σχήμα 36:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 0%, ταφή)

Παρατηρείται, λοιπόν, σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των σεναρίων σε ότι αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Βάσει του Σεναρίου 1.1.3, που παρουσιάζει την καλύτερη περιβαλλοντική «επίδοση», εκπέμπονται περίπου 3.122,4 kg CO<sub>2</sub> eq. ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Από την άλλη, βάσει του Σεναρίου 2.2.1, που παρουσιάζει τη χειρότερη περιβαλλοντική «επίδοση», εκπέμπονται 6.503,6 kg CO<sub>2</sub> eq. ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Οι κυριότερες αιτίες των συγκεκριμένων διαφορών σχετίζονται με το στάδιο της ταφής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και ειδικότερα με τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας και το ποσοστό βιοαποδόμησης των απορριμμάτων χάρτου. Τα σενάρια που περιλαμβάνουν την ανάκτηση ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο παρουσιάζουν σημαντικά καλύτερη περιβαλλοντική «επίδοση», με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, απ' ότι τα σενάρια που δεν περιλαμβάνουν τη συγκεκριμένη διεργασία. Αυτό οφείλεται κυρίως στην καύση του βιοαερίου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή του CH<sub>4</sub> σε CO<sub>2</sub>, το οποίο, καθώς προέρχεται από δασική βιομάζα, δε συνεισφέρει στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου και λιγότερο στις αποφευχθείσες εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας.

Σε ότι αφορά το στάδιο της δασικής αξιοποίησης, η επιλογή του φυσικού αερίου ως του καυσίμου που αντικαθιστά την καταναλισκόμενη ποσότητα δασικής βιομάζας παρουσιάζει κατά 28%, περίπου, μικρότερο δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου απ' ότι η επιλογή του μαζούτ.

### 7.5.2 Περίπτωση καύσης κυματοειδών χαρτοκιβωτίων



**Σχήμα 37:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 0%, καύση)

Στο σημείο αυτό θα εκτιμήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων από παρθένες ίνες στην περίπτωση που η συνολική ποσότητα αυτών οδηγείται για καύση. Τα σενάρια που μελετώνται διαφοροποιούνται αναλόγως του καυσίμου που επιλέγεται για να ισοσταθμίσει τις ροές ενέργειας στο σύστημα (δηλαδή, καύσιμο που αντικαθιστά τη δασική βιομάζα και καύσιμο που αντικαθίσταται λόγω της ανάκτησης ενέργειας κατά την ταφή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων). Συγκεκριμένα το Σενάριο 3 αφορά στη χρήση φυσικού αερίου ενώ το Σενάριο 4 στη χρήση μαζούτ. Σύμφωνα με το Σενάριο 3, το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι 1.577,7 kg CO<sub>2</sub> eq., μικρότερο κατά 15%, περίπου, σε σχέση με το Σενάριο 4 (βλ. Σχήμα 36). Επίσης, ως είναι αναμενόμενο, διαπιστώνεται πως το στάδιο της καύσης εμφανίζει αρνητικές τιμές δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, γεγονός που

οφείλεται στις αποφευχθείσες εκπομπές που σχετίζονται με την αντικατάσταση του φυσικού αερίου ή του μαζούτ.

## 7.6 Σενάριο μέγιστου ποσοστού ανακύκλωσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί με κάθε ανακύκλωση συντελείται μία υποβάθμιση των ιδιοτήτων των ινών, με συνηθέστερη τη μείωση του μήκους αυτών. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των ανακυκλώσεων των ινών δεν μπορεί να ξεπεράσει τις πέντε φορές. Η εν λόγω υποβάθμιση των ινών εξαρτάται από μία πλειάδα παραμέτρων, μεταξύ των οποίων είναι το είδος των ινών και παράμετροι που αφορούν στις διεργασίες παραγωγής των νέων προϊόντων χάρτου [35,151]. Ως εκ τούτου το μέγιστο ποσοστό ανακύκλωσης ενός συγκεκριμένου προϊόντος χάρτου κυμαίνεται περίπου στο 80%. Δηλαδή, σε κάθε ανακύκλωση απαιτείται η εισαγωγή παρθένων ινών σε ποσοστό περίπου 20%, ούτως ώστε να αντισταθμίζεται η υποβάθμιση των ιδιοτήτων των ανακυκλωμένων ινών.

### 7.6.1 Περίπτωση ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

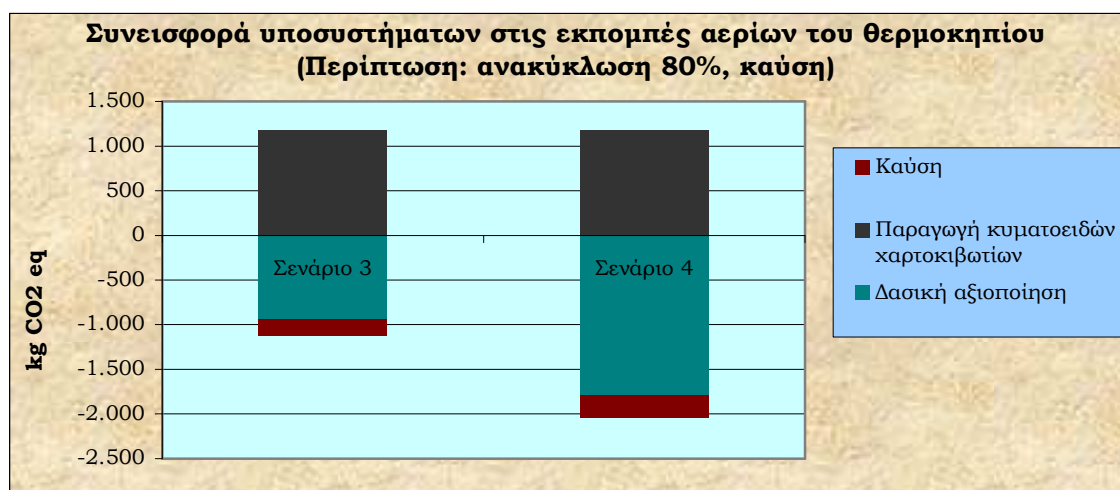
Στην περίπτωση, λοιπόν, που το 80% των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων ανακυκλώνεται ενώ το υπόλοιπο 20% οδηγείται σε χώρους ταφής απορριμμάτων παρατηρούνται σημαντικά λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με την περίπτωση του μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης που όλη η ποσότητα των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων διατίθονταν για ταφή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το εύρος τιμών του δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου κυμαίνεται από -473,9 kg CO<sub>2</sub> eq., για την περίπτωση του Σεναρίου 2.1.3, έως 920,9 kg CO<sub>2</sub> eq., για την περίπτωση του Σεναρίου 1.2.1 (βλ. Σχήμα 37). Γίνεται σαφές, επίσης, πως η επιλογή ενός καυσίμου που εμφανίζει χαμηλή περιβαλλοντική «επίδοση» (στην περίπτωσή μας το ρόλο αυτό έχει το μαζούτ –συγκρίνοντας με το φυσικό αέριο-) συνεπάγεται τη σημαντική βελτίωση του περιβαλλοντικού «αποτυπώματος» ενός σεναρίου αυξημένου ποσοστού ανακύκλωσης. Αυτό, κυρίως, οφείλεται στην αποφυγή ρύπων που διατελείται λόγω της ενεργειακής αξιοποίησης της πλεονάζουσας (λόγω της ανακύκλωσης) δασικής βιομάζας.



**Σχήμα 38:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 80%, ταφή)

### 7.6.2 Περίπτωση καύσης κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Στην περίπτωση που η ποσότητα των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων που δεν ανακυκλώνεται οδηγείται σε μονάδες καύσης παρατηρούνται πολύ μικρότερες επιπτώσεις σχετικές με την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι τιμές του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι 57,9 kg CO<sub>2</sub> eq., για την περίπτωση που το φυσικό αέριο επιλέγεται ως το καύσιμο αντιστάθμισης της πλεονάζουσας ή της ελλειμματικής ποσότητας ενέργειας του συστήματος, και -853,6 kg CO<sub>2</sub> eq. για την περίπτωση που το συγκεκριμένο ρόλο παίζει το μαζούτ (βλ. Σχήμα 38). Παρατηρείται, λοιπόν, σημαντική διαφοροποίηση στα αποτελέσματα αναλόγως του καυσίμου που επιλέγεται και, μάλιστα, διαπιστώνεται πως το περιβαλλοντικά «καθαρότερο» καύσιμο συνεπάγεται τη χαμηλότερη περιβαλλοντική «επίδοση» του συστήματος. Αυτό οφείλεται, πρωτίτως, στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης για την παραγωγή ξυλείας όπου στην περίπτωση της αυξημένης ανακύκλωσης η πλεονάζουσα βιομάζα αντικαθιστά το εναλλακτικό καύσιμο (φυσικό αέριο ή μαζούτ). Δηλαδή, η μεγάλη διαφορά της περιβαλλοντικής «επίδοσης» μεταξύ του ξύλου και του εναλλακτικού καυσίμου συνεπάγεται τη μείωση του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.



**Σχήμα 39:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 80%, καύση)

## 7.7 Σενάριο ανακύκλωσης σε ποσοστό 40%

Στο σημείο αυτό θα εκτιμήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται από τον κύκλο ζωής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στην περίπτωση που το 40% αυτών ανακυκλώνεται.

### 7.7.1 Περίπτωση ταφής κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Στην περίπτωση που το 40% των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων ανακυκλώνεται ενώ το υπόλοιπο οδηγείται σε χώρους ταφής απορριμμάτων διαπιστώνονται παρόμοια με την αντίστοιχη περίπτωση της ανακύκλωσης σε ποσοστό 80%, με τη διαφορά πως τώρα παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, η ελάχιστη τιμή του δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι 507,5 kg CO<sub>2</sub> eq. και αφορά στο Σενάριο 2.1.3, ενώ η μέγιστη 3.421,5 και αφορά στο Σενάριο 1.2.1 (βλ. Σχήμα 39).

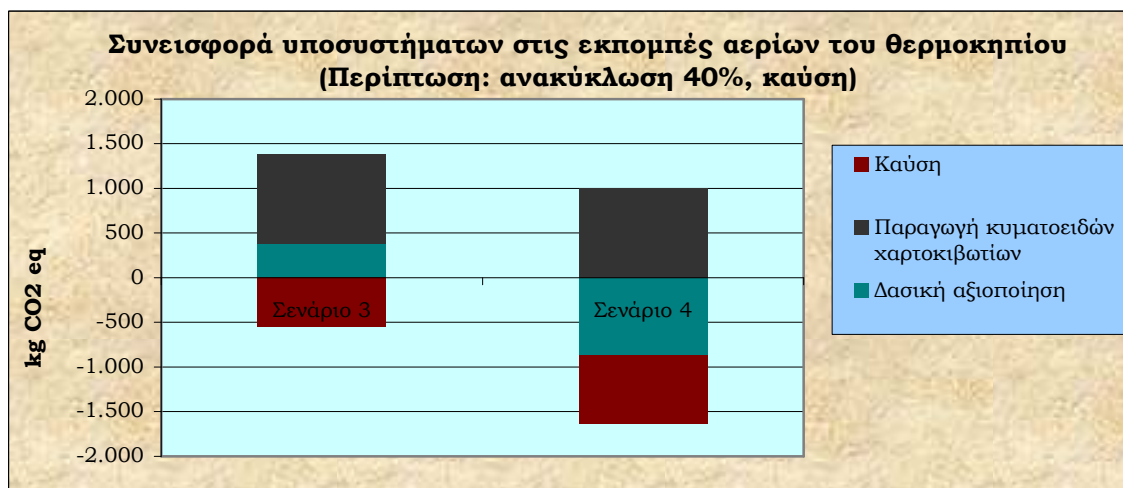




**Σχήμα 40:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 40%, ταφή)

### 7.7.2 Περίπτωση καύσης κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ισχύουν, σε γενικές γραμμές, όσα αναφέρθηκαν και για την περίπτωση της ανακύκλωσης του 80% των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, όπου η καύση συνιστά το σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων. Στην προκειμένη περίπτωση, όμως, οι περιβαλλοντικές «επιδόσεις» παρουσιάζονται χειρότερες. Συγκεκριμένα, στο Σενάριο 3 (όπου ως εναλλακτικό καύσιμο επιλέγεται το φυσικό αέριο) το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι 832,4 kg CO<sub>2</sub> eq., ενώ στο Σενάριο 4 (όπου ως εναλλακτικό καύσιμο επιλέγεται το φυσικό αέριο) -631,6 kg CO<sub>2</sub> eq (βλ. Σχήμα 40).



**Σχήμα 41:** Συνεισφορά υποσυστημάτων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Περίπτωση: ανακύκλωση 40%, καύση)

### 7.8 Συζήτηση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

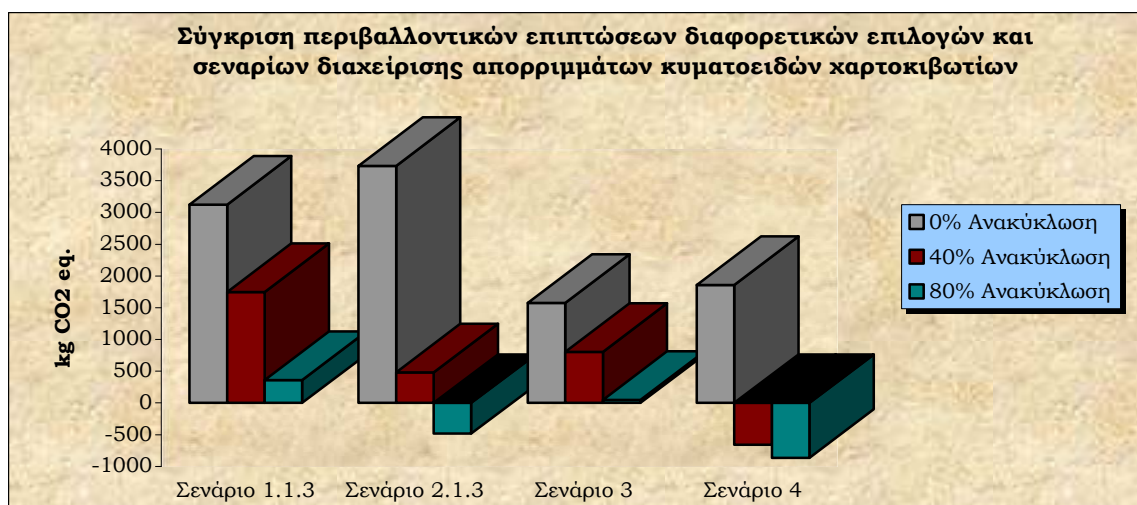
Εκ των ανωτέρων καθίσταται σαφές πως το καύσιμο που επιλέγεται κατά τη διεύρυνση των ορίων του συστήματος, με στόχο την αντιστάθμιση των ενδεχόμενων ενεργειακών απωλειών ή κερδών, αποτελεί έναν παράγοντα που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το αποτέλεσμα των μελετών Α.Κ.Ζ. που αφορούν στη σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων ανακύκλωσης και επιλογών διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου. Η επιλογή ενός

καυσίμου με μικρή περιβαλλοντική «επίδοση» (εννοώντας τις αέριες εκπομπές ανά μονάδα ενέργειας από την καύση αυτού) συνεπάγεται την αύξηση της περιβαλλοντικής «επίδοσης» του μελετηθέντος συστήματος με την αύξηση του ποσοστού της ανακύκλωσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αρχική παραδοχή, που λαμβάνεται υπόψη σχεδόν σε όλες τις Α.Κ.Ζ. προϊόντων χάρτου, πως η δασική βιομάζα συνιστά έναν ανανεώσιμο πόρο που αξιοποιείται πλήρως είτε για την παραγωγή προϊόντων χάρτου είτε για την παραγωγή ενέργειας. Μία τέτοια παραδοχή, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί έναν τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος της ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την κατανάλωση της δασικής βιομάζας (π.χ. περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα των δασών κ.λπ.). Καθώς, όμως, η ξυλεία αποτελεί ένα «καθαρό» καύσιμο, με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθίσταται ευνόητο πως η επιλογή ενός εναλλακτικού (ως προς τη ξυλεία) καυσίμου με χαμηλή περιβαλλοντική «επίδοση» έχει ως αποτέλεσμα την a priori περιβαλλοντική «πριμοδότηση», κατά το στάδιο της δασικής αξιοποίησης, των σεναρίων εκείνων που παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά ανακύκλωσης. Από την άλλη, στη θεωρητική περίπτωση που το εναλλακτικό καύσιμο που επιλέγεται παρουσιάζει την ίδια περιβαλλοντική επίδοση με το ξύλο (κάτι που είναι δυνατό μόνο εφόσον το εναλλακτικό καύσιμο ήταν το ίδιο το ξύλο) θα παρουσιάζονταν σχεδόν μηδενική διαφορά περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης μεταξύ σεναρίων διαφορετικών ποσοστών ανακύκλωσης. Στην πραγματικότητα θα υπερτερούσε το σενάριο της αυξημένης ανακύκλωσης καθώς αυτό δεν περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις διεργασίες που απαιτούνται για την παραγωγή ξυλείας, οι οποίες όμως είναι πολύ μικρές (από 46,6 kg CO<sub>2</sub> eq. ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στην περίπτωση του μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης έως 9,6 kg CO<sub>2</sub> eq. στην περίπτωση του μέγιστου ποσοστού ανακύκλωσης) αν λάβουμε υπόψη το συνολικό κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Από την άλλη, κατά την ανάκτηση ενέργειας, είτε στην περίπτωση της καύσης είτε στην περίπτωση της ταφής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, η επιλογή ενός καυσίμου με χαμηλή περιβαλλοντική «επίδοση» συνεπάγεται την αύξηση των περιβαλλοντικών οφελών από την ανάκτηση ενέργειας, τουλάχιστον με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Δηλαδή, σε ότι αφορά το στάδιο της διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου παρατηρείται πως η επιλογή ενός καυσίμου χαμηλής περιβαλλοντικής «επίδοσης» οδηγεί σε αύξηση των περιβαλλοντικών οφελών, στο συγκεκριμένο στάδιο του κύκλου ζωής, όταν μειώνεται το ποσοστό ανακύκλωσης. Αυτό είναι εντονότερο στην περίπτωση της καύσης παρά σ' αυτή της ταφής γιατί στη δεύτερη περίπτωση έχουμε μικρότερη ανάκτηση ενέργειας ανά μονάδας μάζας κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και, παράλληλα, έκλυση CH<sub>4</sub>, το οποίο συμβάλλει δραστηκότερα (σε σχέση με το CO<sub>2</sub>) στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Παρατηρείται, λοιπόν, πως τα στάδια της δασικής αξιοποίησης και της διαχείρισης των απορριμμάτων παρουσιάζουν δύο αντικρουόμενες τάσεις σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων με αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης, φαινόμενο το οποίο γίνεται εντονότερο όσο λιγότερο «καθαρό» είναι το καύσιμο που επιλέγεται για να υποστηρίξει τη διαδικασία διεύρυνσης του συστήματος. Αντίθετα, στα στάδια που ανακτάται ενέργεια μέσω της αξιοποίησης των απορριμμάτων χάρτου παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών «επιδόσεων» με μείωση του ποσοστού ανακύκλωσης. Καθώς όμως η ενέργεια που περικλείεται στην αρχική ποσότητα ξυλείας είναι πάντα περισσότερη από την αντίστοιχη των

κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, που διαχειρίζονται ως απορρίμματα, συνεπάγεται πως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το σύστημα της δασικής αξιοποίησης έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές εκπομπές ολόκληρου του κύκλου ζωής. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτή η διαφορά στην ενέργεια της ξυλείας και των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι πρωτίστως ζήτημα ισοζυγίου μάζας. Δηλαδή, ένα μέρος της ξυλείας που οδηγείται στις καρτοβιομηχανίες δεν αξιοποιείται για την παραγωγή χαρτιού. Το μεγαλύτερο ποσοστό από το συγκεκριμένο κλάσμα της ξυλείας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας από τις ίδιες τις μονάδες. Αυτός είναι και ο σημαντικότερος λόγος που στη μελέτη αυτή το στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες παρουσιάζει σημαντικά λιγότερες αέριες εκπομπές από το αντίστοιχο στάδιο όπου τις πρώτες ύλες αποτελούν τα παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια. Βέβαια, το φαινόμενο αυτό οξύνουν και άλλες διαφορές μεταξύ των δύο περιπτώσεων: τα δεδομένα για τις αέριες εκπομπές των μονάδων παραγωγής παρθένων χαρτιών συσκευασίας αφορούσαν την ευρωπαϊκή κατάσταση ενώ τα αντίστοιχα για την παραγωγή ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας την ελληνική πραγματικότητα (περίπτωση Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε.), όπου και το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιείται στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζει χαμηλότερη περιβαλλοντική «επίδοση» από το αντίστοιχο της Ευρώπης (βάσει μίας μέσης κατάστασης) αλλά και οι τεχνολογίες βέλτιστης ενεργειακής αξιοποίησης από τις ίδιες τις μονάδες υπολείπονται των αντίστοιχων ευρωπαϊκών (π.χ. στην ελληνικές καρτοβιομηχανίες, γενικά, δε χρησιμοποιούνται συστήματα Σ.Η.Θ.).



**Σχήμα 42:** Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφορετικών επιλογών και σεναρίων διαχείρισης απορριμμάτων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων

Συνοψίζοντας, λοιπόν, διαπιστώνεται πως η ανακύκλωση είναι περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή, με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, διαχείρισης των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων σε σχέση με την καύση και την ταφή αυτών. Επίσης, η καύση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων παρουσιάζει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν συγκρίσει με την ταφή, ακόμη και στην περίπτωση των σεναρίων του μικρότερου ποσοστού βιοαποδόμησης, όπου, παράλληλα, ανακτάται ενέργεια μέσω του εκλυόμενου βιοαερίου (Σενάριο 1.1.3 και Σενάριο 2.1.3). Το Σχήμα 41 είναι αρκετά κατατοπιστικό περί των προαναφερθέντων.

Πρέπει να επισημανθεί, όμως, πως στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης δεν ελήφθησαν υπόψη τα στάδια της μεταφοράς των χαρτιών συσκευασίας προς τις μονάδες

κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Αυτό, όμως δεν αναμένεται να μεταβάλλει τα ανωτέρω συγκριτικά αποτελέσματα για δύο βασικούς λόγους: ο πρώτος είναι πως στην περίπτωση που μελετάμε τα χαρτιά συσκευασίας από παρθένες ίνες εισάγονται στην Ελλάδα και ως εκ τούτου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στάδια των μεταφορών αυτών αναμένονται μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας. Ο δεύτερος λόγος είναι πως, γενικά, (όπως διαπιστώθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο αλλά και σε πλήθος σχετικών εργασιών, βλ. Κεφάλαιο 5) η συνεισφορά των σταδίων των μεταφορών στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι αρκετά μικρή.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως η παρούσα μελέτη προσέγγισε τα στάδια της καύσης και της ταφής, καθώς και τη διεύρυνση των ορίων του συστήματος, σε θεωρητικό επίπεδο. Ως εκ τούτου η διάρθρωση ρεαλιστικότερων σεναρίων ενδεχομένως να διαφοροποιούσε τα τελικά συγκριτικά αποτελέσματα. Στην πράξη, η επιλογή των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της διεύρυνσης των ορίων του συστήματος πρέπει να γίνεται με γνώμονα το ποια είναι τα ανταγωνιστικά καύσιμα της ξυλείας ή του παλαιόχαρτου. Έτσι η επιλογή των καυσίμων αυτών είναι δυνατόν να διαφέρει μεταξύ των περιπτώσεων μελέτης αλλά και μεταξύ των σταδίων του ίδιου του συστήματος. Παραδείγματος χάρη, σε μία συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης όπου οι διατιθέμενες μονάδες καύσης απορριμμάτων λειτουργούν στα όρια της δυναμικότητάς τους είναι δυνατόν το εναλλακτικό καύσιμο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των αποφευχθέντων ρύπων να είναι ένα άλλο κλάσμα απορριμμάτων. Στην ίδια περίπτωση μελέτης θα μπορούσε ως ανταγωνιστικό καύσιμο της ξυλείας να θεωρείται το βιοαέριο που παράγεται από την αξιοποίηση γεωργικών παραπροϊόντων. Είναι, λοιπόν, εύλογο πως μία τέτοια κατάσταση δύναται να διαφοροποιήσει σημαντικά τα τελικά συγκριτικά αποτελέσματα (όπως φυσικά και τις απόλυτες τιμές των δεικτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων).

Επίσης, η τεχνολογία και ο τρόπος αξιοποίησης του ενεργειακού περιεχομένου του εκάστοτε καυσίμου (ξύλου, παλαιόχαρτου και «ανταγωνιστικών» καυσίμων) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να διαφοροποιήσουν τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους H. Merrild et al. (2008) το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας από τις μονάδες καύσης απορριμμάτων της Ευρώπης ποικίλει από το 13% της κατώτερης θερμογόνου δύναμης (Κ.Θ.Δ.) των πρώτων υλών, σε περίπτωση που ανακτάται μόνο ηλεκτρική ενέργεια με μέτρια απόδοση, έως το 98%, όταν έχουμε συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και παράλληλα εφαρμόζεται συμπύκνωση των απερίων [160]. Πιο συγκεκριμένα, οι J. H Schmidt et al. (2007) αναφέρουν πως οι μονάδες καύσης μικτών απορριμμάτων της Δανίας έχουν συνολική ενεργειακή απόδοση 85%, η οποία κατανέμεται κατά 24% σε ηλεκτρική ενέργεια και κατά 61% σε θερμότητα [108]. Είναι ευνόητο, λοιπόν, πως αναλόγως της περιοχής μελέτης είναι δυνατό να διαφέρουν σημαντικά τόσο τα ποσοστά ανάκτησης ενέργειας από τις μονάδες καύσης απορριμμάτων όσο και η κατανομή των ειδών αυτής (ηλεκτρική και θερμική). Παρόμοιες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται και σε άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

## **8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Ο κύκλος ζωής των προϊόντων χάρτου συνιστά ένα πολυσύνθετο σύστημα, το οποίο αλληλεπιδρά ποικιλοτρόπως με το περιβάλλον. Τα ζητήματα που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτού είναι πολύ σημαντικά. Τα στάδια και οι διεργασίες που απαιτούνται μέχρι την παραγωγή των προϊόντων χάρτου καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες φυσικών πόρων (ανανεώσιμων και μη) και εκλύουν σημαντικά ποσά ρύπων. Από την άλλη τα μετακαταναλωτικά προϊόντα χάρτου συνιστούν, ειδικότερα 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 καθίστανται ιδιαίτερος σημαντικά.

Όπως διεπιστώθη από το θεωρητικό τμήμα της παρούσας εργασίας 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 [76]. Σημαντική μείωση της κατανάλωσης νερού επιτεύχθηκε μέσω της μεγάλης αύξησης του ποσοστού ανακύκλωσης αυτού στις διεργασίες παραγωγής. Επίσης, η εφαρμογή συστημάτων Συμπαραγωγής 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 διέυρυνε τα όρια των περιβαλλοντικών οφελών.

Η ανακύκλωση προτάθηκε ως αναγκαιότητα στο πλαίσιο μίας περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης απορριμμάτων. Ειδικά στην Ευρώπη η ανακύκλωση παλαιόχαρτου αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς και σήμερα έχει ξεπεράσει το 55% [36]. Στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτής περιλαμβάνεται η διασφάλιση του δασικού πλούτου και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τη διάθεση των μετακαταναλωτικών προϊόντων χάρτου ως απορριμμάτων. Επίσης, σε γενικές γραμμές οι διεργασίες παραγωγής ανακυκλωμένου χαρτιού είναι περιβαλλοντικά ηπιότερες απ' αυτές που απαιτούνται για την παραγωγή χαρτιού από παρθένες ίνες. Σήμερα, ο εκσυγχρονισμός και η βελτίωση της παραγωγής πρωτογενών προϊόντων χάρτου έχει αμβλύνει τις προαναφερθείσες διαφορές.

Η πολυπλοκότητα του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου επιτάσσει την ολιστική προσέγγιση των σχετικών περιβαλλοντικών ζητημάτων. Επίσης, η τεχνολογική βελτίωση εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης των απορριμμάτων αυτών, όπως η καύση, αναδεικνύει την ανάγκη για μία εκ νέου διαπραγμάτευση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικά βέλτιστων επιλογών. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται κατάλληλες μέθοδοι και εργαλεία αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Α.Κ.Ζ.) αποτελεί το πιο αξιόπιστο εργαλείο αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, και, για το λόγο αυτό, έχει εφαρμοστεί σε ζητήματα που αφορούν στη διαχείριση των απορριμμάτων χάρτου.

Μέχρι σήμερα έχει πραγματοποιηθεί μικρός αριθμός εργασιών σχετικών με τον κύκλο ζωής των προϊόντων χάρτου, βάσει της μεθοδολογίας της Α.Κ.Ζ. Οι περισσότερες εξ αυτών έχουν ως στόχο τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών διαχείρισης των απορριμμάτων αυτών και αποσκοπούν στην υποστήριξη της λήψης σχετικών αποφάσεων. Τα αποτελέσματα αυτών των εργασιών παρουσιάζουν, αρκετές φορές, σημαντικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες οφείλονται σε πλήθος παραγόντων. Από τη μελέτη των εν λόγω εργασιών προκύπτει πως σημαντικό ζήτημα συνιστά η ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο πλαίσιο του υποσυστήματος της δασικής αξιοποίησης για την παραγωγή χαρτιού. Ο προσδιορισμός των επιπτώσεων που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της δασικής γης, όπως η βιοποικιλότητα, η παραγωγικότητα των δασών κ.ά., παρουσιάζει πολλές δυσχέρειες. Οι περισσότερες σχετικές εργασίες, με στόχο να υπερκεράσουν το εν λόγω πρόβλημα, βασίζονται στην παραδοχή πως η ξυλεία συνιστά έναν απεριόριστο και ανανεώσιμο πόρο που αξιοποιείται είτε για την παραγωγή χαρτιού είτε για την παραγωγή ενέργειας. Η επιλογή, όμως, του καυσίμου που αντικαθιστά την ξυλεία (ή αντικαθίσταται απ' αυτή) δύναται να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα της εκάστοτε μελέτης. Επίσης, ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα αποτελεί η ανάκτηση ενέργειας που λαμβάνει χώρα σε μερικά υποσυστήματα (συνήθως, της καύσης των απορριμμάτων) του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου. Αυτό δυσχεραίνει τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ διαφορετικών επιλογών διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου. Η μέθοδος που συνήθως υιοθετείται για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι η διεύρυνση του μελετηθέντος συστήματος ώστε να περιλαμβάνει τη χρήση ενός εναλλακτικού καυσίμου, ποσότητας τέτοιας που να ισοδυναμεί με την ανακτημένη ενέργεια. Τέλος, οι χρονικές και χωρικές διαφοροποιήσεις στις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής των προϊόντων χάρτου επιδεινώνουν τα προαναφερθέντα προβλήματα.

Στην παρούσα εργασία εστίασαμε στη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Αυτά συνιστούν από τα ευρύτερα διαδεδομένα υλικά συσκευασίας και παρουσιάζουν τον υψηλότερο δείκτη επαναχρησιμοποίησης μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων χάρτου. Επιχειρήθηκε η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αντιπροσωπευτικότητα στην ελληνική πραγματικότητα. Ο στόχος μας ήταν διττός. Αφενός επιχειρήθηκε η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ανακυκλωμένων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και αφετέρου η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών διαχείρισης των απορριμμάτων αυτών.

Σε ότι αφορά τον πρώτο στόχο, το σύστημα μελέτης περιλάμβανε τα στάδια παραγωγής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καθώς και τη μεταφορά αυτών από τα σημεία συλλογής προς τα εργοστάσια παραγωγής. Επίσης, ελήφθησαν υπόψη τα υποσυστήματα της παραγωγής των καταναλωθέντων καυσίμων. Η μελέτη περίπτωσης αφορούσε στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., όπου παράγονται τα χαρτιά συσκευασίας που αποτελούν βάση για την κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, και στην EL PACK Α.Ε., όπου κατασκευάζονται τα τελευταία. Δεν συμπεριλήφθησαν τα στάδια της χρήσης (καθώς και τα σχετικά στάδια μεταφοράς) των προϊόντων αυτών. Επίσης, δεν συμπεριλήφθησαν υποσυστήματα που έχουν μικρή επίδραση στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι η τύπωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Από τη συγκεκριμένη μελέτη διεπιστώθη πως το στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές αέριες εκπομπές του μελετηθέντος συστήματος και ακολουθείται από το στάδιο της κατασκευής των κυματοειδών καρτοκιβωτίων. Τα στάδια της μεταφοράς παρουσιάζουν, συγκριτικά, πολύ μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παρόλο που οι αποστάσεις που πρέπει να διανυθούν είναι αρκετά σημαντικές, αφού και η μονάδα παραγωγής χαρτιών συσκευασίας βρίσκεται αρκετά μακριά από το Λεκανοπέδιο Αττικής, που αποτελεί την κύρια περιοχή συλλογής παλαιόχαρτου στην περίπτωση μας, αλλά και το εργοστάσιο κατασκευής κυματοειδών καρτοκιβωτίων είναι αρκετά απομακρυσμένο από τη μονάδα παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας.

Επίσης, φάνηκε πως η καύση του μαζούτ και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνιστούν τις κύριες πηγές αέριων εκπομπών. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 54,6% στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP). Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 36,2%, ενώ η συνεισφορά καθενός εκ των υπολοίπων υποσυστημάτων (παραγωγής μαζούτ και πετρελαίου κίνησης, κύκλου ζωής αμύλου και σταδίων μεταφοράς) είναι αρκετά μικρή. Ακόμη, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει κατά 69,1% στις συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub>. Ακολουθεί η καύση του μαζούτ με 24,3% και εν συνεχεία το υποσύστημα της παραγωγής αυτού με 6,1%, ενώ τα υπόλοιπα υποσυστήματα παρουσιάζουν αμελητέα συνεισφορά. Σε ότι αφορά το πρόδρομο δυναμικό σχηματισμού του τροποσφαιρικού όζοντος (TOPP), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η καύση του μαζούτ συμβάλλουν κατά 36,9% και 38,1%, αντίστοιχα, στην τιμή αυτού. Τα στάδια των μεταφορών συνεισφέρουν σημαντικά στη συγκεκριμένη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων (περίπου 10,2%), όπως και το υποσύστημα της παραγωγής του μαζούτ (περίπου 11,2%). Τα υπόλοιπα υποσυστήματα δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτη συνεισφορά στην εν λόγω κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Διεπιστώθη, ακόμη, πως σχεδόν ολοκληρωτικά η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε μη ανανεώσιμους πόρους. Σ' αυτό συμβάλλει και το μικρό ποσοστό εισαγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής.

Εκτιμάται, επίσης, πως η μελλοντική κατάσταση του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της χώρας, όπου αναμένεται η στροφή προς «καθαρότερες» μορφές ενέργειας μέσω της αύξησης του ποσοστού αξιοποίησης του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών που οφείλονται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Παραδειγματος χάρη, βάσει μίας τέτοιας εξέλιξης αναμένεται πως το έτος 2020 το συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου του μελετηθέντος συστήματος θα έχει μειωθεί κατά 33%. Η αντίστοιχη μείωση των εκπομπών SO<sub>2</sub> εκτιμάται σε 58%.

Σε μία προσπάθεια προσδιορισμού των επιλογών εκείνων που δύνανται να βελτιώσουν την περιβαλλοντική «επίδοση» του μελετηθέντος συστήματος φάνηκε πως η εφαρμογή συστήματος Σ.Η.Θ. με καύσιμο το φυσικό αέριο στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας οδηγεί σε σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών σε ολόκληρο το μελετηθέν σύστημα. Αυτό λαμβάνει χώρα ιδιαιτέρως στην περίπτωση που το σύστημα έχει σχεδιασθεί με στόχο την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών της μονάδας και παράλληλα εξασφαλίζεται η διοχέτευση της πλεονάζουσας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση αυτή παρατηρήθηκε μείωση (σε σχέση με

την παρούσα κατάσταση) του συνολικού δυναμικού όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 62%. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 64% και 115,9% αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι εκπομπές SO<sub>2</sub> παρουσιάζουν αρνητικές εκπομπές, γεγονός που οφείλεται στις αποφευχθείσες εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας.

Σε ότι αφορά τα υγρά απόβλητα, υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία μόνο για λίγους δείκτες υδατικής ρύπανσης, γεγονός που αφορά και τις περισσότερες σχετικές μελέτες. Οι συνολικές εκπομπές COD και BOD οφείλονται, στο μεγαλύτερο βαθμό, στο στάδιο της παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας. Οι τιμές αυτών για την περίπτωση μας ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που αναφέρονται στην Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων για τις Μελέτες Κύκλου Ζωής Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων (2006), υποδεικνύοντας έτσι τα περιθώρια βελτίωσης της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του συγκεκριμένου σταδίου.

Σε ότι αφορά το δεύτερο στόχο επιχειρήθηκε η περιβαλλοντική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων διαχείρισης απορριμμάτων για την περίπτωση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και η ανάδειξη των βασικών παραμέτρων που επιδρούν στα αποτελέσματα μίας τέτοιας μελέτης. Οι εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης που μελετήθηκαν ήταν η ανακύκλωση, η καύση και η ταφή. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης εστίασαμε μόνο στην κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αφορά στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το σύστημα μελέτης προσεγγίστηκε ως «κλειστός βρόγχος» ("closed-loop") και περιλάμβανε τα εξής στάδια: δασική αξιοποίηση και μεταφορά ξυλείας στις μονάδες παραγωγής χαρτιών συσκευασίας, παραγωγή των χαρτιών συσκευασίας, κατασκευή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, διαχείριση απορριμμάτων ή/και ανακύκλωση αυτών. Τα στάδια παραγωγής των πρωτογενών χαρτιών συσκευασίας αφορούσαν τις ευρωπαϊκές συνθήκες, ενώ τα στάδια της παραγωγής ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας την ελληνική πραγματικότητα (Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε., βλ. Κεφάλαιο 6). Η κατασκευή κυματοειδών χαρτοκιβωτίων θεωρήθηκε πως εξ ολοκλήρου πραγματοποιείται στην EL PACK Α.Ε. (βλ. Κεφάλαιο 6). Η παραδοχή αυτή ανταποκρίνεται πιστά στην ελληνική κατάσταση, όπου τα χαρτιά συσκευασίας παράγονται μέσω της ανακύκλωσης παλιόχαρτου ενώ αυτά που αποτελούνται από παρθένες ίνες εισάγονται. Τα στάδια μεταφοράς των χαρτιών συσκευασίας από τις μονάδες παραγωγής αυτών στις μονάδες κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων καθώς και τα στάδια μεταφοράς των συλλεχθέντων απορριμμάτων προς τους χώρους ανακύκλωσης, καύσης ή ταφής δεν ελήφθησαν υπόψη λόγω έλλειψης διαθέσιμων στοιχείων. Ειδικότερα, κατέστη πολύ δύσκολος ο ακριβής προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα στάδια των μεταφορών των πρωτογενών χαρτιών συσκευασίας από τις διάφορες σχετικές ευρωπαϊκές χαρτοποιίες στο εργοστάσιο της EL PACK Α.Ε.

Σε ένα αναλυτικότερο επίπεδο πρέπει να αναφερθεί πως διαρθρώθηκαν τρία βασικά σενάρια διαχείρισης αναλόγως του ποσοστού ανακύκλωσης των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Το πρώτο αφορούσε την περίπτωση του μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης, το δεύτερο την περίπτωση του μέγιστου δυνατού ποσοστού ανακύκλωσης (80%) και το τρίτο μία ενδιάμεση κατάσταση (40% ανακύκλωση). Το κάθε σενάριο περιλάμβανε ένα υποσενάριο ταφής και ένα καύσης για την ποσότητα των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων που δεν ανακυκλώνονταν. Τα υποσενάρια αυτά διαφοροποιούνταν, επιπλέον, αναλόγως του καυσίμου που επιλέγεται για να ισοσταθμίσει τις ροές ενέργειας στο



σύστημα (δηλαδή, καύσιμο που αντικαθιστά τη δασική βιομάζα και καύσιμο που αντικαθίσταται λόγω της ανάκτησης ενέργειας κατά την καύση και την ταφή των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων) και του διαφορετικού ποσοστού βιοαποδόμησης των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων κατά την ταφή αυτών.

Από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής κατέστη σαφές πως το καύσιμο που επιλέγεται κατά τη διεύρυνση των ορίων του συστήματος, με στόχο την αντιστάθμιση των ενδεχόμενων ενεργειακών απωλειών ή κερδών, αποτελεί έναν παράγοντα που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το αποτέλεσμα των μελετών Α.Κ.Ζ. που αφορούν στη σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων ανακύκλωσης και επιλογών διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου. Η επιλογή ενός καυσίμου με μικρή περιβαλλοντική «επίδοση» (εννοώντας τις αέριες εκπομπές ανά μονάδα ενέργειας από την καύση αυτού) συνεπάγεται την αύξηση της περιβαλλοντικής «επίδοσης» του μελετηθέντος συστήματος με την αύξηση του ποσοστού της ανακύκλωσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αρχική παραδοχή, που λαμβάνεται υπόψη σχεδόν σε όλες τις Α.Κ.Ζ. προϊόντων χάρτου, πως η δασική βιομάζα συνιστά έναν ανανεώσιμο πόρο που αξιοποιείται πλήρως είτε για την παραγωγή προϊόντων χάρτου είτε για την παραγωγή ενέργειας. Μία τέτοια παραδοχή αποτελεί έναν τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος της ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την κατανάλωση της δασικής βιομάζας (π.χ. περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα των δασών κ.λπ.). Καθώς, όμως, η ξυλεία αποτελεί ένα «καθαρό» καύσιμο, με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθίσταται ευνόητο πως η επιλογή ενός εναλλακτικού (ως προς τη ξυλεία) καυσίμου με χαμηλή περιβαλλοντική «επίδοση» έχει ως αποτέλεσμα την a priori περιβαλλοντική «πριμοδότηση», κατά το στάδιο της δασικής αξιοποίησης, των σεναρίων εκείνων που παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά ανακύκλωσης. Από την άλλη, στη θεωρητική περίπτωση που το εναλλακτικό καύσιμο που επιλέγεται παρουσιάζει την ίδια περιβαλλοντική επίδοση με το ξύλο (κάτι που είναι δυνατό μόνο εφόσον το εναλλακτικό καύσιμο ήταν το ίδιο το ξύλο) θα παρουσιάζονταν σχεδόν μηδενική διαφορά περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης μεταξύ σεναρίων διαφορετικών ποσοστών ανακύκλωσης. Στην πραγματικότητα θα υπερερουσε το σενάριο της αυξημένης ανακύκλωσης καθώς αυτό δεν περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις διεργασίες που απαιτούνται για την παραγωγή ξυλείας, οι οποίες όμως είναι πολύ μικρές (από 46,6 kg CO<sub>2</sub> eq. ανά τόνο κυματοειδών χαρτοκιβωτίων στην περίπτωση του μηδενικού ποσοστού ανακύκλωσης έως 9,6 kg CO<sub>2</sub> eq. στην περίπτωση του μέγιστου ποσοστού ανακύκλωσης) αν λάβουμε υπόψη το συνολικό κύκλο ζωής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων.

Από την άλλη, κατά την ανάκτηση ενέργειας, είτε στην περίπτωση της καύσης είτε στην περίπτωση της ταφής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, η επιλογή ενός καυσίμου με χαμηλή περιβαλλοντική «επίδοση» συνεπάγεται την αύξηση των περιβαλλοντικών οφελών από την ανάκτηση ενέργειας, τουλάχιστον με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Δηλαδή, σε ότι αφορά το στάδιο της διαχείρισης των απορριμμάτων χάρτου παρατηρείται πως η επιλογή ενός καυσίμου χαμηλής περιβαλλοντικής «επίδοσης» οδηγεί σε αύξηση των περιβαλλοντικών οφελών, στο συγκεκριμένο στάδιο του κύκλου ζωής, όταν μειώνεται το ποσοστό ανακύκλωσης. Αυτό είναι εντονότερο στην περίπτωση της καύσης παρά σ' αυτή της ταφής γιατί στη δεύτερη περίπτωση έχουμε μικρότερη ανάκτηση ενέργειας ανά μονάδα μάζας κυματοειδών χαρτοκιβωτίων και, παράλληλα, έκλυση CH<sub>4</sub>, το οποίο συμβάλλει δραστικότερα (σε σχέση με το CO<sub>2</sub>) στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Παρατηρείται, λοιπόν, πως τα στάδια της δασικής αξιοποίησης και της διαχείρισης των απορριμμάτων παρουσιάζουν δύο αντικρουόμενες τάσεις σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο στάδιο της δασικής αξιοποίησης παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων με αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης, φαινόμενο το οποίο γίνεται εντονότερο όσο λιγότερο «καθαρό» είναι το καύσιμο που επιλέγεται για να υποστηρίξει τη διαδικασία διεύρυνσης του συστήματος. Αντίθετα, στα στάδια που ανακτάται ενέργεια μέσω της αξιοποίησης των απορριμμάτων χάρτου παρατηρείται αύξηση των περιβαλλοντικών «επιδόσεων» με μείωση του ποσοστού ανακύκλωσης. Καθώς όμως η ενέργεια που περικλείεται στην αρχική ποσότητα ξυλείας είναι πάντα περισσότερη από την αντίστοιχη των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων, που διαχειρίζονται ως απορρίμματα, συνεπάγεται πως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το σύστημα της δασικής αξιοποίησης έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές εκπομπές ολόκληρου του κύκλου ζωής. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτή η διαφορά στην ενέργεια της ξυλείας και των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι πρωτίστως ζήτημα ισοζυγίου μάζας. Δηλαδή, ένα μέρος της ξυλείας που οδηγείται στις χαρτοβιομηχανίες δεν αξιοποιείται για την παραγωγή χαρτιού. Το μεγαλύτερο ποσοστό από το συγκεκριμένο κλάσμα της ξυλείας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας από τις ίδιες τις μονάδες. Αυτός είναι και ο σημαντικότερος λόγος που στη μελέτη αυτή το στάδιο παραγωγής των χαρτιών συσκευασίας από παρθένες ίνες παρουσιάζει σημαντικά λιγότερες αέριες εκπομπές από το αντίστοιχο στάδιο όπου τις πρώτες ύλες αποτελούν τα παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια. Βέβαια, το φαινόμενο αυτό οξύνουν και άλλες διαφορές μεταξύ των δύο περιπτώσεων: τα δεδομένα για τις αέριες εκπομπές των μονάδων παραγωγής παρθένων χαρτιών συσκευασίας αφορούσαν την ευρωπαϊκή κατάσταση ενώ τα αντίστοιχα για την παραγωγή ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας την ελληνική πραγματικότητα (περίπτωση Χαρτοποιίας Φθιώτιδος Α.Ε.), όπου και το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιείται στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζει χαμηλότερη περιβαλλοντική «επίδοση» από το αντίστοιχο της Ευρώπης (βάσει μίας μέσης κατάστασης) αλλά και οι τεχνολογίες βέλτιστης ενεργειακής αξιοποίησης από τις ίδιες τις μονάδες υπολείπονται των αντίστοιχων ευρωπαϊκών (π.χ. στην ελληνικές χαρτοβιομηχανίες, γενικά, δε χρησιμοποιούνται συστήματα Σ.Η.Θ.).

Συνοψίζοντας, λοιπόν, διαπιστώνεται πως η ανακύκλωση είναι περιβαλλοντικά ορθότερη επιλογή, με όρους όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, διαχείρισης των απορριπτόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων σε σχέση με την καύση και την ταφή αυτών. Επίσης, η καύση των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων παρουσιάζει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν συγκρίσει με την ταφή, ακόμη και στην περίπτωση των σεναρίων του μικρότερου ποσοστού βιοαποδόμησης, όπου, παράλληλα, ανακτάται ενέργεια μέσω του εκλυόμενου βιοαερίου.

Πρέπει να επισημανθεί, όμως, πως στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης δεν ελήφθησαν υπόψη τα στάδια της μεταφοράς των χαρτιών συσκευασίας προς τις μονάδες κατασκευής των κυματοειδών χαρτοκιβωτίων. Αυτό, όμως δεν αναμένεται να μεταβάλλει τα ανωτέρω συγκριτικά αποτελέσματα για δύο βασικούς λόγους: ο πρώτος είναι πως στην περίπτωση που μελετάμε τα χαρτιά συσκευασίας από παρθένες ίνες εισάγονται στην Ελλάδα και ως εκ τούτου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στάδια των μεταφορών αυτών αναμένονται μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των ανακυκλωμένων χαρτιών συσκευασίας. Ο δεύτερος λόγος είναι πως, γενικά, (όπως διαπιστώθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας

αλλά και σε πλήθος σχετικών εργασιών) η συνεισφορά των σταδίων των μεταφορών στο συνολικό δυναμικό όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι αρκετά μικρή.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως η παρούσα μελέτη προσέγγισε τα στάδια της καύσης και της ταφής, καθώς και τη διεύρυνση των ορίων του συστήματος, σε θεωρητικό επίπεδο. Ως εκ τούτου η διάρθρωση ρεαλιστικότερων σεναρίων ενδεχομένως να διαφοροποιούσε τα τελικά συγκριτικά αποτελέσματα. Στην πράξη, η επιλογή των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της διεύρυνσης των ορίων του συστήματος πρέπει να γίνεται με γνώμονα το ποια είναι τα ανταγωνιστικά καύσιμα της ξυλείας ή του παλαιόχαρτου. Έτσι η επιλογή των καυσίμων αυτών είναι δυνατόν να διαφέρει μεταξύ των περιπτώσεων μελέτης αλλά και μεταξύ των σταδίων του ίδιου του συστήματος. Παραδειγματος χάρη, σε μία συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης όπου οι διατιθέμενες μονάδες καύσης απορριμμάτων λειτουργούν στα όρια της δυναμικότητάς τους είναι δυνατόν το εναλλακτικό καύσιμο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των αποφευχθέντων ρύπων να είναι ένα άλλο κλάσμα απορριμμάτων. Στην ίδια περίπτωση μελέτης θα μπορούσε ως ανταγωνιστικό καύσιμο της ξυλείας να θεωρείται το βιοαέριο που παράγεται από την αξιοποίηση γεωργικών παραπροϊόντων. Είναι, λοιπόν, εύλογο πως μία τέτοια κατάσταση δύναται να διαφοροποιήσει σημαντικά τα τελικά συγκριτικά αποτελέσματα (όπως φυσικά και τις απόλυτες τιμές των δεικτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων).

Επίσης, η τεχνολογία και ο τρόπος αξιοποίησης του ενεργειακού περιεχομένου του εκάστοτε καυσίμου (ξύλου, παλαιόχαρτου και «ανταγωνιστικών» καυσίμων) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να διαφοροποιήσουν τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους H. Merrild et al. (2008) το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας από τις μονάδες καύσης απορριμμάτων της Ευρώπης ποικίλει από το 13% της κατώτερης θερμογόνου δύναμης (Κ.Θ.Δ.) των πρώτων υλών, σε περίπτωση που ανακτάται μόνο ηλεκτρική ενέργεια με μέτρια απόδοση, έως το 98%, όταν έχουμε συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και παράλληλα εφαρμόζεται συμπύκνωση των απαερίων [160]. Είναι ευνόητο, λοιπόν, πως αναλόγως της περιοχής μελέτης είναι δυνατό να διαφέρουν σημαντικά τόσο τα ποσοστά ανάκτησης ενέργειας από τις μονάδες καύσης απορριμμάτων όσο και η κατανομή των ειδών αυτής (ηλεκτρική και θερμική). Ως είναι λογικό, οι διαφοροποιήσεις αυτές διευρύνονται και σε άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

## **9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ι. Λ. Φιλίππου (1986): *Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου*. Εκδόσεις ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ, Θεσσαλονίκη.
2. Ι. Asimov (2001): *Το Χρονικό των Επιστημονικών Ανακαλύψεων*. (Απόδοση στα ελληνικά: Μπαρουξής Γ., Σταματάκης Ν.) Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
3. J. R. Lavigne (1993): "Pulp & Paper: Dictionary". Revised Edition, Miller Freeman Books, San Francisco.
4. H. Holik (Ed.) (2006): "Handbook of Paper and Board". WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
5. W. E. Scott (1989): "Properties of paper: An Introduction". TAPPI Press, Atlanta.
6. M. A. Hubbe (2005): "Paper". Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc. (Article Online Posting Date: 15.7. 2005)
7. Θ. Φιλιππακοπούλου (2007): *Μελέτη Λεύκανσης Απομελανωμένου Παλαιόχαρτου Εφημερίδων και Περιοδικών*. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
8. R.W.J. McKinney (Ed.) (1995): "Technology of Paper Recycling". Chapman & Hall, UK.
9. J. Munsell (1864): "A Chronology of Paper and Paper-Making". 3rd Edition, Albany.
10. C. G. Thompson (1992): "Recycled Papers: The Essential Guide". The MIT Press.
11. C. J. Biermann (1996): "Handbook of Pulping and Papermaking", 2nd Edition, Academic Press, California.
12. D. Hunter (1978): "Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft". [επανέκδοση του βιβλίου που εκδόθηκε το 1947], Dover Publications Inc., New York, USA.
13. S. Strasser (1999): "Waste and Want. A Social History of Trash". Metropolitan Books, Henry Holt and company, LLC, New York.
14. J. E. Atchinson, J. N. McGovern (1987): "History of Paper and the Importance of Non-Wood Plant Fibers". in "Pulp and Paper Manufacture", 3rd Edition, Vol 3: "Secondary Fibers and Non-Wood Pulping" (Edited by F. Hamilton, B. Leopold and M. J. Kocurek". Joint Textbook Committee of the Paper Industry, Canada.
15. R. Herring (1863): "Paper & Paper Making Ancient and Modern". Longman.
16. Tony Pinnington: "The Corrugated Industry: In Pursuit of Excellence". Brunton Technical Publications Ltd, Hampshire.
17. Ν. Καρακασίδης (1999): *Όργανα και Μέθοδοι Ποιοτικού Ελέγχου*. Ελληνικό Ινστιτούτο Συσκευασίας. Ελληνικός Οργανισμός Εξωτερικού Εμπορίου.

18. H. Markström (1988): "Testing Methods and Instruments for Corrugated Board". Lorentzen & Wettre, Sweden.
19. M. A. Hubbe (2005): "Paper". Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (online version), John Wiley & Sons, Inc.
20. C. J. Biermann (2002): "Paper". AccessScience@McGraw-Hill, (<http://www.accessscience.com>).
21. R. Patt et al. (2000): "Paper and Pulp". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (online version), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
22. World Resources Institute. (Διαδικτυακός τόπος: <http://earthtrends.wri.org>)
23. Στατιστική βάση δεδομένων του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργία των Ηνωμένων Εθνών (Διαδικτυακός τόπος: <http://faostat.fao.org>)
24. Α. Κ. Γ. Μανσούρ (2001): *Το Χαρτί/Χαρτόνι στη Συσκευασία Τροφίμων*. 2<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο Τεχνολογίας Τροφίμων Αρτοποιίας, Ζαχαροπλαστικής και Παγωτού, Πανελλήνια Ένωση Τεχνολόγων Τροφίμων, Πειραιάς.
25. [http://www.aracruz.com.br/img/conteudo/curios\\_histpap\\_ilustra.gif](http://www.aracruz.com.br/img/conteudo/curios_histpap_ilustra.gif)
26. F. Forstall (2002): "Industry & Trade Summary: Wood Pulp and Waste Paper". U.S. International Trade Commission, USITC Publication 3490, Washington. [Διαθέσιμο στο [διαδικτυακό τόπο: http://hotdocs.usitc.gov/docs/pubs/industry\\_trade\\_summaries/pub3490.pdf](http://hotdocs.usitc.gov/docs/pubs/industry_trade_summaries/pub3490.pdf)]
27. M. J. Kirwan (Ed.) (2005): "Paper and Paperboard Technology". Blackwell Publishing Ltd.
28. H. F. Lund (Ed.) (2001): "The McGraw-Hill Recycling Handbook". 2<sup>nd</sup> Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
29. CEPI, ERPA (2002): "European List of Standard Grades of Recovered Paper and Board".
30. Commission of the European Communities (2005): "Taking Sustainable Use of Resources Forward: A Thematic Strategy on The Prevention and Recycling of Waste", COM(2005)666. Brussels.
31. Y. Guo, Y. Fu, W. Zhang (2007): "Creep Properties and Recoverability of Double-wall Corrugated Paperboard". *Experimental Mechanics*, Vol. 48, Issue 3, p. 327-333.
32. T. J. Urbani (2001): "Effect of Corrugated Flute Shape on Fibreboard Edgewise Crush Strength and Bending Stiffness". *Journal of Pulp and Paper Science*, Vol. 27, No. 10, p. 330-335.
33. European Federation of Corrugated Board Manufacturers: "The Origin of Corrugated". [[www.fefco.org](http://www.fefco.org)]
34. R. J. Hernandez, S. E. Selke (2007): "Packaging: Corrugated Paperboard" *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, p. 6637-6642.
35. Friends of the Earth: "Paper Recycling: Exposing the Myths". [[http://www.foe.co.uk/resource/briefings/paper\\_recycling.html](http://www.foe.co.uk/resource/briefings/paper_recycling.html)]

36. Διαδικτυακός τόπος της Συνομοσπονδίας Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Χάρτου (CEPI – Confederation of European Paper Industries-). [www.cepi.org]
37. Διαδικτυακός τόπος του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Ανακτημένου Χάρτου (European Recovered Paper Council). [www.paperrecovery.org]
38. European Recovered Paper Council: “European Declaration on Paper Recycling, 2006 – 2010”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: www.paperrecovery.org]
39. Δ. Οικονομίδης (2005): *Ανακύκλωση Παλιόχαρτου*. Παραδόσεις ύλης του μαθήματος «Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων Καθαρών Βιομηχανιών», Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
40. K. Cathie, D. Guest (1991): “Wastepaper”. Pira International, England.
41. B. V. Kokta, A. Ahmed (1998): “Steam Explosion Pulping”. In “Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry” (Edited by R. A. Young, M. Akhtar), John Wiley & Sons, Inc., New York. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1998/kokta98a.pdf]
42. F. R. Hamilton (1987): “Pulping Systems”. In “Pulp and Paper Manufacture”, 3<sup>rd</sup> Edition, Vol. 3, “Secondary Fibers and Non-Wood Pulping” (Edited by F. Hamilton, B. Leopold, M. J. Kocurek), Joint Textbook Committee of the Paper Industry, TAPPI, CPPA, Atlanta.
43. CEPI, FEFCO, ERPA (2002): “Proceedings-Spotlight on Paper Collection and Recycling: Challenges and Opportunities of the Future”. Brussels. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.paperrecovery.org/files/Proceedings-081225A.pdf>]
44. R. Liljenwall (2004): “The Power of Point-of-Purchase Advertising: Marketing at Retail”. Point-of-Purchase Advertising International, Washington.
45. J. K. Borchardt (1997): “An Introduction to Deinking Chemistry”. In “Paper Recycling Challenge. Volume II: Deinking & Bleaching”, (Ed.: M. R. Doshi, J. M. Dyer), Doshi & Associates, Inc., Appleton.
46. E. V. Thompson (1997): “Review of Flotation Research by the Cooperative Recycled Fiber Studies Program, Department of Chemical Engineering, University of Maine”. *ibid.*
47. T. Bliss, M Ostoja-Starzewski (1997): “Suspended Solids Washing Overview”. *ibid.*
48. R. H. Leach (Ed.), Pierce R. J. (Ed.) (1993): “The Printing Ink Manual”, 5th Edition, Reprinted 2007, Springer, Netherlands.
49. C. G. Thompson (1992): “Recycled Papers: The Essential Guide”. The MIT Press, London, p. 51.
50. T. P. Eriksson, M. A. McCool (1997): “A Review of Flotation Deinking Cell Technology”. In “Paper Recycling Challenge. Volume II: Deinking & Bleaching”, (Ed.: M. R. Doshi, J. M. Dyer), Doshi & Associates, Inc., Appleton.
51. H. E. Ortner (1987): “The Flotation Deinking”. Pulp and Paper Manufacture, 3<sup>rd</sup> Edition, Vol. III: Secondary Fibers and Non-Wood Pulping (Reprinted 1993), The Joint Textbook Committee of The Paper Industry, TAPPI-CPPA, Atlanta, p. 206-207.

52. A. Larsson, P. Stenius, L. Odberg (1984): "Surface Chemistry in Flotation Deinking. Part 1: The floatability of Model Ink Particles". Svensk Papperstidning, no. 18, Stockholm, p. 158.
53. R. W. Turvey (1991): "An Overview on the Deinking Process". 22nd International Symposium on Wet End Chemistry Developments for the 90's. Miami Univ. May 20-23<sup>rd</sup> 1991, Miami.
54. F. Bloom, T. J. Heindel (1997): "A Theoretical Model of Flotation Deinking Efficiency". Journal of Colloid and Interface Science, 190, Academic Press, p. 182.
55. J. A. Finch, C. A. Hardie (1999): "An Example of Innovation from the Waste Management Industry: Deinking Flotation Cells". Minerals Engineering, Vol. 12, No. 5, Elsevier Science Ltd, p. 467-475.
56. M. Kemper (1999): "State-of-the-Art and New Technologies in Flotation Deinking". Int. J. Miner. Process. 56, p. 322.
57. J. Labidi et al. (2007): "Predicting Flotation Efficiency Using Neural Networks". Chemical Engineering and Processing 46, Elsevier B.V., p. 315.
58. E. Linck, H. Britz (1990): "Ink and Speck Removal Efficiency-A Matter of the Right Flotation Cells". 1990 Pulping Conference, TAPPI Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, p. 123.
59. C. P. Sauvé (1999): "The Effect of Flotation Deinking Process Parameters on Air Bubble Size and Deinking Efficiency", (Thesis). Mc Gill University, Montreal, p. 7.
60. Στοιχεία από προσωπική επικοινωνία με τον κ. Κ. Μανσούρ, Χημικό Χαρτοποιίας.
61. J. K. Borchardt, J. H. Rask, G. A. York, K. Cathie (1995): "Microscopic Analysis of Toner-Printed Paper After Pulping". Progress in Paper Recycling, p. 16-25.
62. S. T. Moe, A. Roring: "Theory and Practice of Flotation Deinking". [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.chemeng.ntnu.no/research/paper/Publications/2001/moe&roring.pdf>]
63. T. Moon, R. Nagarajan (1998): "Deinking Xerographic and Laser-Printed Paper Using Block Copolymers". Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 132, Issues 2-3, Elsevier, p. 275-288
64. A. Fricker, R. Thompson, A. Manning (2007): "Novel Solution to New Problems in Paper Deinking". Pigment & Resin Technology, Vol. 36, Issue 3, Emerald Group Publishing Limited, p. 141-152.
65. B. Yarar (2000): "Flotation". Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (online version), John Wiley & Sons, Inc.
66. J. K. Borchardt (2006): "Recycling, Paper". Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (online version), John Wiley & Sons, Inc.
67. T. G. M. van de Ven, C. P. Sauvé, G. Garnier (2001): "Deinking of recycled fibers in a flotation flow loop". Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 192, Issues 1-3, p. 53-60.

68. J. Wagner, H-J Putz, S. Schabel, A. Faul (2004): “Development of a European Deinkability Test Method and Results of Selected Types of Printed Products”. 7th Research Forum on Recycling, Quebec.
69. J. Behin, Sh. Vahed. (2007): “Effect of alkyl chain in alcohol deinking of recycled fibers by flotation process”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 297, Issues 1-3, p. 131-141.
70. M. A. McCool, L. Silveri (1987): “Removal of Specks and Nondispersed Ink from A Deinking Furnish”. *TAPPI Journal*.
71. A. Larsson, P. Stenius, L. Odberg (1984): “Surface Chemistry in Flotation Deinking. Part 2: The Importance of Ink Particle Size”. *Svensk Papperstidning* no. 18, p. 165-169.
72. M. Lapointe, L. Marchildon, B. Bonnelly: “The Deinking of Xerographic Paper Flotation”. *Recycling Paper: From Fiber to Finished Product*, p. 317-330.
73. Shrinath A., Szewczak J. T., Bowen I. J. (1991): “A Review of Ink-Removal Techniques in Current Deinking Technology”. *TAPPI Journal*, p. 85-93.
74. P. Seifert (1997): “Deinking Technology Basics”. In “Paper Recycling Challenge. Volume II: Deinking & Bleaching”, (Ed.: M. R. Doshi, J. M. Dyer), Doshi & Associates, Inc., Appleton.
75. Σύμπραξη γραφείων μελετών (1991): *Η Οδηγία 96/61/ΕΚ για την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Περιορισμό της Ρύπανσης (IPPC) και οι Ελληνικές Προτάσεις για τις Διαθέσιμες Τεχνικές. Παραγωγή Χαρτοπολιού, Χάρτιου & Χαρτονιού. Βαφεία Φινιριστήρια. Δέψη Δέρματος*. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Αθήνα. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.minenv.gr/4/ypexode4/docs/xarto\\_klosto\\_byrso.doc](http://www.minenv.gr/4/ypexode4/docs/xarto_klosto_byrso.doc)]
76. IPPC (2001): “Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry”. European Commission.
77. M. C. Monte, E. Fuente, A. Blanco, C. Negro (2008): “Waste Management from Pulp and Paper Production in the European Union”. *Waste Management*, Article in Press, Corrected Proof, Elsevier Ltd.
78. Y. Virtanen, S. Nilsson (1993): “Environmental Impacts of Waste Paper Recycling”. International Institute for Applied Systems Analysis, Earthscan Publications Ltd, London.
79. P. Lens, et al. (Ed.) (2005): “Biofuels for Fuels Cells–Renewable Energy from Biomass Fermentation”. IWA Publishing, London.
80. Α. Μπούρα (1998): *Αναλυτική Παρουσίαση της Μεθοδολογίας κατά την Διεξαγωγή μιας Μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ)*. Στο «Ανάλυση Κύκλου Ζωής», Επιμέλεια: Ν. Μουσιόπουλος, Α. Μπούρα, Π. Ζήτη & Σία Ο.Ε., Θεσσαλονίκη.
81. Α. Μπούρα, Μ. Μουσιόπουλος (1998): *Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) ως Εργαλείο Περιβαλλοντικής Διαχείρισης*. Ημερίδα: «Περιβαλλοντική Διαχείριση και Οικολογικός Έλεγχος». ΤΕΕ



82. M. A. Curran (1996): “Environmental Life-Cycle Assessment”. McGraw-Hill, USA.
83. J. B. Guinée (Final Ed.) et al. (2004): “Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards”. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html#gb>]
84. G. Sonnemann, F. Castells, M. Schuhmacher (2004): “Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes”. Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca, Raton, London, New York, Washington, D.C.
85. S. L. LeVan (1998): “Life Cycle Assessment: Measuring Environmental Impact”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1998/levan98b.pdf>]
86. J. Sheehan, et al. (1998): “A Look Back at the U.S. Department of Energy’s Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae”. National Renewable Energy Laboratory. U.S. Department of Energy. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24772.pdf>]
87. G. A. Keoleian et al. (1994): “Product Life Cycle Assessment to Reduce Health Risks and Environmental Impacts”. Noyes Data Corporation, New Jersey.
88. SAIC (2006): “Life Cycle Assessment: Principles and Practice”. National Risk Management Research laboratory, Office of Research and Development, US EPAQ Ohio (USA). [Διαθέσιμο (22.3.08) στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.epa.gov/NRMRL/lcaccess/pdfs/chapter1\\_frontmatter\\_lca101.pdf](http://www.epa.gov/NRMRL/lcaccess/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf)]
89. X. Κορωνάιος, Α. Μπούρα, Ν. Μουσιόπουλος, Χ. Μπαλλά (1999): *Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Η Ολοκληρωμένη Προσέγγιση*. Πρακτικά Συνεδρίου Heleco '99: «Τεχνολογία Περιβάλλοντος για τον 21<sup>ο</sup> Αιώνα», Τόμος II. Γ' Διεθνής έκθεση και συνέδριο (3-6 Ιουνίου 1999, Θεσσαλονίκη), ΤΕΕ, Αθήνα.
90. Α. Ανδρεαδάκης (2006): *Κύριες Μορφές Ρύπανσης του Νερού*. Διδακτικές σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος «Ρύπανση Περιβάλλοντος» του ΔΠΜΣ του Ε.Μ.Π. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».
91. RDC, Pira (2003): “Evaluation of Costs and Benefits for the Achievement of Reuse and Recycling Targets for the Different Packaging Materials in the Frame of the Packaging and the Packaging Waste Directive 94/62/EC”. Final Consolidated Report.
92. T. Grant, K. L. James, S. Lundie, K. Sonneveld (2001): “Stage 2: Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.cfd.rmit.edu.au/content/download/123/836/file/Pkg&PapWaste2\\_Main\\_Report.pdf](http://www.cfd.rmit.edu.au/content/download/123/836/file/Pkg&PapWaste2_Main_Report.pdf)]
93. Δ. Α. Γεωργακέλλος (1999): *Συγκριτική Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής με τη Μέθοδο του Πολυγώνου*. Πρακτικά Συνεδρίου Heleco '99: «Τεχνολογία Περιβάλλοντος για τον 21<sup>ο</sup> Αιώνα», Τόμος II. Γ' Διεθνής έκθεση και συνέδριο (3-6 Ιουνίου 1999, Θεσσαλονίκη), ΤΕΕ, Αθήνα.

94. H. Dahlbo, M. Ollikainen, S. Peltola, T. Myllymaa, M. Melanen (2007): “Combining Ecological and Economic Assessment of Options for Newspaper Waste Management”. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 51, Issue 1, Elsevier B.V., p. 42-63.
95. E. Lopes, A. Dias, L. Arroja, I. Capela, F. Pereira (2003): “Application of Life Cycle Assessment to the Portuguese Pulp and Paper Industry”. Journal of Cleaner Production, Vol. 11, Issue 1, Elsevier Science Ltd, p 51-59
96. C. T. Mbohwa, L. Mashoko: “Application of Life Cycle Assessment in the Zimbabwean Pulp and Paper Industry”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.lcm2007.org/presentation/Wed\\_1.11-Mashoko.pdf](http://www.lcm2007.org/presentation/Wed_1.11-Mashoko.pdf)]
97. J. F. Waterhouse: “Paper Products: Classification”. The Encyclopedia of Materials: Science and Technology (online version).
98. Y. M. Lee, C. Y. Ding (2000): “Life-cycle Assessment and Production Policy: An Application to Corrugated Paperboard Manufacture”. Journal of Environmental Management, Vol. 59, Issue 2, p. 157-165.
99. T. Ekvall (1999): “Key Methodological Issues for Life Cycle Inventory Analysis of Paper Recycling”. Journal of Cleaner Production, Vol. 7, Issue 4, Elsevier Science Ltd, p. 281-294.
100. FEFCO, GROUPEMENT Ondulē, ECO (2006): “European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.fefco.org/fileadmin/Fefco/pdfs\\_\\_words/Publications/lca2006.pdf](http://www.fefco.org/fileadmin/Fefco/pdfs__words/Publications/lca2006.pdf)]
101. FEFCO: “Environmental Benefits of Re-Cycling Versus Re-Use Corrugated Board Packaging As Illustration”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.fefco.org/fileadmin/Fefco/pdfs\\_\\_words/Publications/aTriptique-03.pdf](http://www.fefco.org/fileadmin/Fefco/pdfs__words/Publications/aTriptique-03.pdf)]
102. A. Villanueva, H. Wenzel (2007): “Paper Waste–Recycling, Incineration or Landfilling? A Review of Existing Life Cycle Assessments”. Waste Management, Vol. 27, Issue 8, 27, p. 29–46.
103. European Environment Agency (2006): “Paper and Cardboard–Recovery or Disposal? Review of Life Cycle Assessment and Cost-Benefit Analysis on the Recovery and Disposal of Paper and Cardboard”. Copenhagen. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)]
104. Project of AXEL SPRINGER VERLAG AG, STORA, CANFOR (1998): “A Life Cycle Assessment of The Production of A Daily Newspaper and A Weekly Magazine”
105. R. Heijungs, J. B. Guinéea (2007): “Allocation and ‘What-If’ Scenarios in Life Cycle Assessment of Waste Management Systems”. Waste Management, Vol.27, Issue 8, Elsevier Ltd, p. 997-1005
106. T. Weißenbach, H. Jakobsen (2006): “Review of Waste Management Planning in EEA Member Countries”. European Topic Centre on Resource and Waste Management, Copenhagen.

107. R. B. H. Tan, H. H. Khoo (2005): “Life Cycle Assessment of EPS and CPB Inserts: Design Considerations and End of Life Scenarios”. *Journal of Environmental Management*, Vol. 74, Issue 3, Elsevier Ltd, p. 195-205.
108. J. H. Schmidt, P. Holm, A. Merrild, P. Christensen (2007): “Life cycle assessment of the waste hierarchy – A Danish case study on waste paper”, *Waste Management*, Vol. 27, Issue 11, Elsevier Ltd., p. 1519-1530.
109. Προσωπική επικοινωνία με την κα Θεοδώρα Φιλιππακοπούλου, Δρ. Χημικό Μηχανικό και υπεύθυνη Ποιότητας και Ανάπτυξης στη Χαρτοποιία Φθιώτιδος Α.Ε.
110. <http://www.buildings.gr/greek/greek.htm>
111. Χ. Κορωνάιος, Α. Μπούρα, Ν. Μουσιόπουλος, Θ. Σεϊταρίδης (1999): *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την Παραγωγή Χαρτονιού Συσκευασίας: Εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής*. Πρακτικά Συνεδρίου Heleco '99: «Τεχνολογία Περιβάλλοντος για τον 21<sup>ο</sup> Αιώνα», Τόμος ΙΙ. Γ' Διεθνής έκθεση και συνέδριο (3-6 Ιουνίου 1999, Θεσσαλονίκη), ΤΕΕ, Αθήνα.
112. Volvo Truck Corporation (2006): “Emissions from Volvo’s trucks”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.volvo.com/NR/rdonlyres/8F7802B0-1F27-49AD-9864-C84BCFFA5CCC/0/Emis\\_eng\\_20640\\_05008.pdf](http://www.volvo.com/NR/rdonlyres/8F7802B0-1F27-49AD-9864-C84BCFFA5CCC/0/Emis_eng_20640_05008.pdf)]
113. Δελτίο τύπου της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε. (2005). [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.dei.gr/Default.aspx?id=2327&nt= 18&lang=1>]
114. Δ. Κανελλόπουλος, Δ. Κρόμπα, Ν. Περδικάρης (2007): *Αντιμετώπιση του Φαινομένου της Κλιματικής Αλλαγής στην Ηλεκτροπαραγωγή*. Ημερίδα ΙΕΝΕ: «Κλιματική Αλλαγή & Στρατηγικές για την Αντιμετώπισή της». *Γεννάδειος Βιβλιοθήκη, Αθήνα*. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.dei.gr/Documents/ΙΕΝΕ-DEH.pdf>]
115. A. S. Dagoumas, E. Kalaitzakis, G. K. Papagiannis, P. S. Dokopoulos (2007); “A Post-Kyoto Analysis of the Greek Electric Sector”. *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 3, p. 1551-156.
116. J. K. Kaldellis, G. Th. Vlachos, A. G. Paliatsos, E. M. Kondili (2005): “Detailed examination of the Greek electricity sector nitrogen oxides emissions for the period 1995–2002” *Environmental Science & Policy*, Vol. 8, Issue 5, p. 502-514.
117. Ζ. Σαμαράς, Λ. Ντζιαχρήστος (1998): *Ανάλυση Κύκλου Ζωής Εκπομπών Αερίων Ρύπων από Καύσιμα Οχημάτων*. Στο «Ανάλυση Κύκλου Ζωής», Επιμέλεια: Ν. Μουσιόπουλος, Α. Μπούρα, Π. Ζήτη & Σία Ο.Ε., Θεσσαλονίκη.
118. Paper Task Force (1995): “Lifecycle Environmental Comparison: Virgin Paper and Recycled Paper-Based Systems”. White Paper No. 3. Updated in February 2002, Environmental Defense. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.edf.org/documents/1618\\_WP3.pdf](http://www.edf.org/documents/1618_WP3.pdf)]
119. G. Thompson, C. Forster (2003): “Bulking in Activated Sludge Plants Treating Paper Mill Wastewaters”. *Water Research*, Vol. 37, Issue 11, Elsevier Science Ltd., p. 2636-2644.

120. J. K. Kaldellis, M. Voutsinas, A. G. Paliatsos, P. S. Koronakis (2004): “Temporal Evolution of the Sulphur Oxides Emissions from the Greek Electricity Generation Sector”. *Environmental technology*, Vol. 25, no12, p. 1371-1384.
121. Κατευθυντήριες οδηγίες Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. στο πλαίσιο της διάρθρωσης του Ευρωπαϊκού Μητρώου Ρυπογόνων Εκπομπών. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.minenv.gr/4/41/g4106.html>]
122. C. Gallert, J. Winter (2005): “Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment Systems”. In “Environmental Biotechnology” (Edited by H.-J. Jördening and J. Winter), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
123. Ministry for the Environment (Greece), Physical Planning and Public Works (2008): “Annual Inventory Submission Under the Convention and the Kyoto for Green house and Other Gases Protocol for Years 1990-2006”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4303.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php)]
124. G. Finnveden, T. Ekvall (1998): “Life-Cycle Assessment as a Decision-Support Tool-The Case of Recycling Versus Incineration of Paper”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 24, Issues 3-4, p. 235-256.
125. G. Kozak (2003): “Printed Scholarly Books and E-book Reading Devices: A Comparative Life Cycle Assessment of Two Book Options”. A project submitted in partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science (Resource Policy and Behavior) School of Natural Resources and Environment. Center for Sustainable Systems, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://css.snre.umich.edu>]
126. Anonymous (1998): “Newsprint: A Life Cycle Study. An Independent Assessment of the Environmental Benefits of Recycling at Aylesford Newsprint Compared with Incineration”. Consultant: ECOBILAN GROUP. Commissioned by Aylesford Newsprint. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.aylesford-newsprint.co.uk/ReportFiles/lcs.pdf>]
127. H. Dahlbo et al. (2005): “Waste Management Options for Discarded Newspaper in the Helsinki Metropolitan Area: Life cycle assessment report” Finnish Environment Institute, Helsinki. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=34817&lan=en>]
128. H. Dahlbo et al.: “Recycle, Burn or Landfill - Impacts of the Life Cycle of Newspaper with Different Waste Management Options”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54886&lan=en>]
129. F. van Oostvoorn (Ed.) (2003): “CHP Statistics and Impacts of the Gas Directive on the Future Development of CHP in Europe (CHP STAGAS)”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03123.pdf>]
130. Φραγκόπουλος Χ.Α., Καρυδογιάννης Η.Π., Καραλής Γ.Κ. (1994): *Συμπαράγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού*. ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ, Αθήνα.

131. A-M. Borbely (Ed.), J. F. Kreider (Ed.) (2001): “Distributed Generation: The Power Paradigm for the New Millenium”. CRC Press.
132. L. L. Lai (Ed.) (2001): “Power System Restructuring and Deregulation”, J. Wiley & Sons Ltd.
133. <http://www.chpa.co.uk/>
134. <http://www.chpcentermw.org>
135. European Environmental Agency (2007): “EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook-2007”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR5/en/page002.html>]
136. <http://www.depa.gr/default.asp?pid=79&la=1>
137. IPCC (2006): “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. (Edited by S. Egglestrom, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama, Japan. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>]
138. V. Narayanaswamy, J. A. Scott, J. N. Ness, M. Lochhead (2003): “Resource flow and product chain analysis as practical tools to promote cleaner production initiatives”. Journal of Cleaner Production, Vol. 11, Issue 4, p. 375-387.
139. Tiedemann et al. (2001): “Life cycle assessments for graphic papers”. No 2/2001, Umweltbundesamt, German Federal Environmental Agency, Berlin: [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien-e/mysql-media-detail.php3?Kennnummer=1925>]
140. A. J. Hickman (Ed.) (1999): “Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption”. Project Report SE/491/98, Transport Research Laboratory, United kingdom. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.inrets.fr/infos/cost319/M22.pdf](http://www.inrets.fr/infos/cost319/M22.pdf)]
141. W. Knörr, C. Reuter (2005): “EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool. Environmental Methodology and Data” IFEU Heidelberg. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.portal-c.info/fileadmin/ecotransit/Daten/Grundlagenbericht.pdf](http://www.portal-c.info/fileadmin/ecotransit/Daten/Grundlagenbericht.pdf)]
142. OECD (1997): “The Environmental Effects of Freight”. Paris. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.joyhecht.net/professional/papers/envtl-effects-of-freight.OECD.1997.pdf](http://www.joyhecht.net/professional/papers/envtl-effects-of-freight.OECD.1997.pdf)]
143. M. H. Ramos et al. (2006): “Deliverable 6.24: First report on the sustainability evaluation of the selected materials and technologies (LCA and LCC analysis)”. Packaging, Transport & Logistics Research Institute (ITENE). [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.sustainpack.com/project%20reports/Itene\\_D6.24.pdf](http://www.sustainpack.com/project%20reports/Itene_D6.24.pdf)]
144. COPERT 4, Version 5.1 (2008). [Το λογισμικό αυτό διατίθεται στο διαδικτυακό τόπο: <http://lat.eng.auth.gr/copert/>]
145. R. Spriensma (2004): “SimaPro Database Manual: The BUWAL 250 Library”. PRé Consultants, Netherlands.

146. Κ. Σιούλας κ.ά. (2006): *Οδηγός Εφαρμογής του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων στην Ελλάδα*. Κ.Α.Π.Ε. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.cres.gr/kape/ekpompes/pdf/Odigos\\_emporias.pdf](http://www.cres.gr/kape/ekpompes/pdf/Odigos_emporias.pdf)]
147. GEMIS, Version 4.42 [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm>]
148. ΕΕΑ: “EN05 Energy-related emissions of ozone precursors”. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://themes.eea.europa.eu/Sectors\\_and\\_activities/energy/indicators/EN05%2C2007.04/EN05\\_EU25\\_Ozone\\_precursors\\_2006.pdf](http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN05%2C2007.04/EN05_EU25_Ozone_precursors_2006.pdf)]
149. <http://www.pointcarbon.com/productsandservices/carbon/>
150. <http://www.scrapindex.com/index.html>
151. G. M. Masters, W. P. Ela (2008): “Introduction to Environmental Engineering and Science”. 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice Hall, Pearson Education Inc.
152. J. M. Bloemhof-Ruwaard, L. N. Van Wassenhove, H. L. Gabel, P. M. Weaver (1996): “An Environmental Life Cycle Optimization Model for the European Pulp and Paper Industry”. *Omega*, Vol. 24, Issue 6, p. 615-629.
153. M. N. Asghar, S. Khan, S. Mushtaq (2008): “Management of treated pulp and paper mill effluent to achieve zero discharge”. *Journal of Environmental Management*, Vol. 88, Issue 4, p. 1285-1299.
154. G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. -P. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema, D. W. Pennington (2004): “Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications”. *Environment International*, Vol. 30, Issue 5, p. 701-720.
155. T. Ekvall, G. Finnveden (2000): “The Application of Life Cycle Assessment to Integrated Solid Waste Management: Part 2—Perspectives on Energy and Material Recovery from Paper”. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 78, Issue 4, p. 288-294.
156. R. U. Ayres (1995): “Life Cycle Analysis: A Critique” *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 14, Issues 3-4, p. 199-223.
157. A. A. Jensen (1997): “Life Cycle Assessment: A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources”. *Environmental Issues Series*, no. 6, European Environmental Agency.
158. K. Nakazawa, T. Katsura, K. Katayama, I. Yasui (2004): “Life Cycle Impact Assessment of Printing Paper Using Non-Wood Pulp and De-Inked Pulp”. *Japan Science and Technology Corporation* [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.yasuienv.net/CREST/l\\_list/1004.pdf](http://www.yasuienv.net/CREST/l_list/1004.pdf)]
159. Χ. Λούκος (Επ.) (2008): *Βιομηχανίες Χάρτιου στην Ελλάδα (19<sup>ος</sup>-20<sup>ος</sup> αιώνας)*. Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς.
160. H. Merrild, A. Damgaard, T. H. Christensen (2008): “Life Cycle Assessment of Waste Paper Management: The Importance of Technology Data and System

- Boundaries in Assessing Recycling and Incineration”. Resources, Conservation and Recycling, Article in Press.
161. G. Finnveden, J. Johanson, P. Lind, A. Moberg (2005): “Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste-part 1: General Methodology and Results”. Journal of Cleaner Production, Vol. 13, p. 213-229.
162. W. Tarnawski (2004): “Emission Factors for Combustion of Biomass Fuels in the Pulp and Paper Mills”. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Vol. 12, p. 91-95. [Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.fibtex.lodz.pl/47\\_22\\_91.pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/47_22_91.pdf)]
163. R. G. Hunt (1995): “LCA Considerations of Solid Waste Management Alternatives for Paper and Plastics”. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 14, Issues 3-4, p. 225-231.
164. SimaPro 7.1, Demo Version, PRé Consultants, Netherlands, 2008.
165. Βάση δεδομένων του CPM (Center of Environmental Assessment of Product and Material Systems). [Διαθέσιμη στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.cpm.chalmers.se/CPMDatabase/>]
166. A. Iriarte, X. Gabarrell, J. Rieradevall (2008): “LCA of Selective Waste Collection Systems in Dense Urban Areas”. Waste Management, In Press, Corrected Proof.
167. X. I. Κορωνάιος (2007): *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Διδακτικές σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Π. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».
168. Δ. Γ. Οικονομίδης (1989): *Ι. Τεχνολογία Βιομηχανικής Αξιοποίησης των Κυτταρινούχων Φυτικών Υλών*. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος «Οργανικών Χημικών Βιομηχανιών» της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

## **10 ΒΡΑΧΥΓΡΑΦΙΕΣ**

A.K.Z.	Ανάλυση Κύκλου Ζωής
A.K.K.Z.	Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής
B.Δ.Τ.	Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές
K.Θ.Δ.	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη
Σ.Ε.Δ.Ε.	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών
Σ.Η.Θ.	Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας
ξ.μ.	Ξηρή μάζα
ξ.σ.	Ξηρά στερεά
X.Y.T.A.	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
BOD	(Biochemical Oxygen Demand) Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
CEPI	(Confederation of European Paper Industries) Συνομοσπονδία Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Χάρτου
COD	(Chemical Oxygen Demand) Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
DAF	(Dissolved Air Flotation) Επίπλευση Διαλελυμένου Αέρα
GEMIS	(Global Emission Model for Integrated Systems) Λογισμικό υποστήριξης A.K.Z.
FEFCO	(European Federation of Corrugated Board Manufacturers) Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία των Κατασκευαστών Κυματοειδών Χαρτοκιβωτίων
GWP	(Global Warming Potential) Δυναμικό Όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου
IPPC	(Integrated Pollution Prevention and Control) Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχος της Ρύπανση
ISO	(International Organization for Standardization) Διεθνής Οργανισμός Πιστοποίησης
OCC	(Old Corrugated Cardboard) Παλαιά κυματοειδή χαρτοκιβώτια
ONP	(Old Newsprint) Παλαιές εφημερίδες
SETAC	(Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας
TSP	(Total Solid Particles) Ολικά Στερεά Σωματίδια
tn CO <sub>2</sub> eq.	Τόνοι ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου πατάτας

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου πατάτας		
Λειτουργική μονάδα	1 kg αμύλου πατάτας	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	543,99*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	2,2431*10 <sup>-3</sup>	kg
HCl	9,4921*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	395,83*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	253,37*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	687,96*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOC	118,86*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	4,1152*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	142,95*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	4,1764*10 <sup>-9</sup>	kg
Cd (air)	3,1809*10 <sup>-9</sup>	kg
Cr (air)	4,6908*10 <sup>-9</sup>	kg
Hg (air)	3,7265*10 <sup>-9</sup>	kg
Ni (air)	50,630*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	38,07*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	18,475*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	52,82*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	641,42*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	1,1662*10 <sup>-3</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	338,57*10 <sup>-6</sup>	kg
Perfluoromethane	3,4828*10 <sup>-9</sup>	kg
Perfluoroethane	437,7*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	15,047*10 <sup>-3</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης	3,0119*10 <sup>-3</sup>	kg
Ιλύς	1,7253*10 <sup>-3</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	1,8763882	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	1,0464570	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	398,29*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	5,1199*10 <sup>-9</sup>	kg
N	300,37*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	395,8*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	1,3238*10 <sup>-3</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	2,1216*10 <sup>-6</sup>	kg
inorg. salt	397,81*10 <sup>-3</sup>	kg

As (liquid)	1,832*10 <sup>-15</sup>	kg
Cd (liquid)	4,475*10 <sup>-15</sup>	kg
Cr (liquid)	4,427*10 <sup>-15</sup>	kg
Hg (liquid)	2,238*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (liquid)	29,19*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	9,5907574	MJ
Ανανεώσιμη ενέργεια	123,84*10 <sup>-3</sup>	MJ
Άλλη	224,65*10 <sup>-3</sup>	MJ
Σύνολο	9,9392483	MJ
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	521,82*10 <sup>-3</sup>	kg
Ανανεώσιμα	12,665390	kg
Άλλα	795,17*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	13,188007	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	1,52	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Από το στάδιο της καλλιέργειας της πατάτας έως τη βιομηχανική παραγωγή του αμύλου		

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου σιταριού

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής του αμύλου		
	Παράμετρος	Εκπομπές ανά kg αμύλου
Στάδιο 1: Καλλιέργεια σιταριού		
1.1 Εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων		
	CO <sub>2</sub> (g)	260
	CO (g)	13
	NO <sub>x</sub> (g)	1,8
	SO <sub>2</sub> (g)	0,061
	VOC (g)	3,7
1.2 Εκπομπές από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας		
	CO <sub>2</sub> (g)	164
	CO (g)	0,02
	NO <sub>x</sub> (g)	0,662
	SO <sub>2</sub> (g)	0,402
	VOC (g)	0,0026
1.3 Δυναμικό καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος		
	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό και ψύξη (5% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας) (Wh)	Μετρίως σημαντικό 7
1.4 Δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος		
	Κατανάλωση diesel και βενζίνης (lt)	Σημαντικό 0,06
1.5 Δυναμικό ευτροφισμού		
		Υψηλά σημαντικό
Στάδιο 2: Μεταφορά από τη γη στην αποθήκη		
2.1 Εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων		
	CO <sub>2</sub> (g)	1,64
	CO (g)	0,01
	NO <sub>x</sub> (g)	0,00764
	SO <sub>2</sub> (g)	0,00465
	VOC (g)	0,0024
1.2 Δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος		
		Χαμηλό
1.3 Επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία		
		Χαμηλή
Στάδιο 3: Αποθήκευση σιταριού		
3.1 Εκπομπές από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας		
	CO <sub>2</sub> (g)	17
	CO (g)	0,0021
	NO <sub>x</sub> (g)	0,0765
	SO <sub>2</sub> (g)	0,0465
	VOC (g)	0,003
3.2 Δυναμικό καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος		
	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό και ψύξη (30% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας) (Wh)	Μετρίως σημαντικό >4,41
3.3 Επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία		
		Πολύ σημαντική

Στάδιο 4: Μεταφορά σιταριού από την αποθήκη στον αλευρόμυλο		
4.1 Εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων		
	CO <sub>2</sub> (g)	93
	CO (g)	4,65
	NO <sub>x</sub> (g)	0,47
	SO <sub>2</sub> (g)	0,28
	VOC (g)	1,3
4.2 Δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος		
4.3 Επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία		
Χαμηλό		
Στάδιο 5: Διεργασίες αλευρόμυλου		
5.1 Εκπομπές από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας		
	CO <sub>2</sub> (g)	110
	CO (g)	0,013
	NO <sub>x</sub> (g)	0,38
	SO <sub>2</sub> (g)	0,23
	VOC (g)	0,002
5.2 Δυναμικό καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος		
	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό και ψύξη (15% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας) (Wh)	13,8 (και άγνωστες ποσότητες εκλυόμενου μεθυλοβρωμιδίου)
5.3 Δυναμικό ευτροφισμού		
Μηδενικό		
5.4 Απαιτούμενο οξυγόνο		
Μηδενικό		
5.5 Επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία		
Υψηλή εξαιτίας των εκπομπών μεθυλοβρωμιδίου		
Στάδιο 6: Μεταφορά αλευριού στη μονάδα παραγωγής αμύλου		
6.1 Δεν λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις αυτού του σταδίου καθώς ο αλευρόμυλος και η μονάδα παραγωγής αμύλου γειτνιάζουν		
Μηδενικές επιπτώσεις		
Στάδιο 7: Διεργασίες παραγωγής αμύλου		
7.1 Εκπομπές από την καύση φυσικού αερίου και βιοαερίου		
	CO <sub>2</sub> (g)	195
	CO (g)	2
	NO <sub>x</sub> (g)	Ίχνη
	SO <sub>2</sub> (g)	Ίχνη
	VOC (g)	<0,5
7.2 Εκπομπές λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας		
	CO <sub>2</sub> (g)	530
	CO (g)	0,065
	NO <sub>x</sub> (g)	2,3
	SO <sub>2</sub> (g)	1,4
	VOC (g)	0,008
7.3 Δυναμικό καταστροφής στρατοσφαιρικού όζοντος		
	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό και ψύξη (10% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας) (Wh)	>45
7.4 Δυναμικό ευτροφισμού		
	Νιτρικά (g)	2
	Φωσφορικά (g)	15,5

7.5 Απαιτούμενο οξυγόνο		
	Φορτίο BOD μετά το στάδιο της επεξεργασίας	0,25
7.6 Επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία		Χαμηλή
Στάδιο 8: Μεταφορά αμύλου μέχρι την τελική χρήση		
4.1 Εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων		
	CO <sub>2</sub> (g)	187
	CO (g)	1,1
	NO <sub>x</sub> (g)	0,84
	SO <sub>2</sub> (g)	0,51
	VOC (g)	0,3
4.2 Δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος		Σχετικά σημαντικό

[Πηγή: V. Narayanaswamy et al. (2003) [138]]

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3:

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας (περίπτωση Ελλάδας, 2000)</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	10,963*10 <sup>-3</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	2,2451*10 <sup>-3</sup>	kg
HCl	306,69*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	62,756*10 <sup>-6</sup>	kg
Σωματίδια	694,81*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	523,44*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOC	56,981*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	1,1821*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	302,48*10 <sup>-9</sup>	kg
As (air)	79,44*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	52,51*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	401,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	98,91*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	389,7*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	5,939*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (air)	2,6235*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	4,062*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	845,15*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	880,28*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	27,271*10 <sup>-6</sup>	kg
Perfluoromethane	18,69*10 <sup>-12</sup>	kg
Perfluoroethane	2,349*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	40,765*10 <sup>-3</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης	189,67*10 <sup>-6</sup>	kg
Ιλύς	30,202*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	426,56*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	2,8579*10 <sup>-3</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	1,3188*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	10,47*10 <sup>-12</sup>	kg
N	683,7*10 <sup>-12</sup>	kg
AOX	10,23*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	33,811*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	948,39*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	14,373*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		

Μη ανανεώσιμη ενέργεια	2,4273817	kWh
Ανανεώσιμη ενέργεια	78,634*10 <sup>-3</sup>	kWh
Άλλη	28,514*10 <sup>-3</sup>	kWh
Σύνολο	2,5345292	kWh
<b>Συνολική κατανάλωση υλικών</b>		
Μη ανανεώσιμα υλικά	8,1139*10 <sup>-3</sup>	kg
Ανανεώσιμα	387,45*10 <sup>-3</sup>	kg
Άλλα	369,45*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	395,94*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Εντός αυτών περιλαμβάνεται η εξόρυξη και η αξιοποίηση του λιγνίτη και τα υποσυστήματα των λοιπών ενεργειακών πηγών.		

[Πηγή: GEMIS [147]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή μαζούτ

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή μαζούτ</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	Μαζούτ ισοδύναμης ενέργειας 1 MJ (βάσει της Κ.Θ.Δ.) (Ελλάδα, 2000)	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	85,765*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	34,661*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	69,14*10 <sup>-12</sup>	kg
HF	17,28*10 <sup>-12</sup>	kg
Σωματίδια	3,8383*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	12,346*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOC	21,790*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	-227,2*10 <sup>-18</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	10,59*10 <sup>-12</sup>	kg
As (air)	11,41*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	7,300*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	58,31*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	14,36*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	49,90*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	331,1*10 <sup>-18</sup>	kg
Pb (air)	381,5*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	591,0*10 <sup>-18</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	9,4007*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	18,143*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	181,02*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Ιλύς	21,439*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	66,393*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	356,07*10 <sup>-6</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	836,0*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	593,9*10 <sup>-15</sup>	kg
N	83,98*10 <sup>-12</sup>	kg
AOX	1,466*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	4,9248*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	138,13*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	1,0792*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	1,0343786	MJ
Ανανεώσιμη ενέργεια	1,2315*10 <sup>-3</sup>	MJ
Άλλη	0,0000000	MJ
Σύνολο	1,0356101	MJ
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	481,21*10 <sup>-6</sup>	kg
Ανανεώσιμα	1,5953*10 <sup>-3</sup>	kg
Άλλα	53,822*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	2,1303*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Από την εξόρυξη του αργού πετρελαίου έως την παραγωγή του μαζούτ μέσω του σταδίου της διύλισης.		

[Πηγή: GEMIS [147]]



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή πετρελαίου κίνησης

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή πετρελαίου κίνησης</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kg πετρελαίου κίνησης</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>x</sub>	3,24*10 <sup>-3</sup>	kg
NO <sub>2</sub>	2,26*10 <sup>-3</sup>	kg
HCl	2,92*10 <sup>-5</sup>	kg
HF	3,65*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	2*10 <sup>-3</sup>	kg
NM VOC	3,77*10 <sup>-4</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	8,84*10 <sup>-6</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	9,84*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	4,92*10 <sup>-8</sup>	kg
Cd (air)	3,00*10 <sup>-9</sup>	kg
Cr (air)	7,66*10 <sup>-9</sup>	kg
Hg (air)	3,18*10 <sup>-9</sup>	kg
Ni (air)	3,79*10 <sup>-7</sup>	kg
PAH (air)	3,02*10 <sup>-13</sup>	kg
Pb (air)	4,49*10 <sup>-8</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	0,67	kg
CH <sub>4</sub>	3,34*10 <sup>-3</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	5,43*10 <sup>-5</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	3,01*10 <sup>-9</sup>	kg
N	1,42*10 <sup>-4</sup>	kg
COD	8,22*10 <sup>-3</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	9,71*10 <sup>-4</sup>	kg
AOX	1,93*10 <sup>-12</sup>	kg
SS	4,41*10 <sup>-3</sup>	kg
inorg. salt	1,0792*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	57,8	MJ
Ανανεώσιμη ενέργεια	6,59*10 <sup>-2</sup>	MJ

[Πηγή: G. Kozak (2003) [125]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή φυσικού αερίου

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή φυσικού αερίου</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	Φυσικό αέριο ισοδύναμης ενέργειας 1 MJ (βάσει της Κ.Θ.Δ.) (Ελλάδα, 2000)	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	1,1177*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	51,335*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	111,1*10 <sup>-12</sup>	kg
HF	27,78*10 <sup>-12</sup>	kg
Σωματίδια	1,6393*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	31,479*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOOC	5,2315*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	1,5277*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	20,63*10 <sup>-12</sup>	kg
As (air)	18,30*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	11,70*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	93,49*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	23,03*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	79,97*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	527,4*10 <sup>-18</sup>	kg
Pb (air)	611,6*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	947,6*10 <sup>-18</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	9,0237*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	293,51*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	380,40*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Ιλύς	14,614*10 <sup>-9</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	97,828*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	562,05*10 <sup>-6</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	283,7*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	954,8*10 <sup>-15</sup>	kg
N	56,08*10 <sup>-12</sup>	kg
AOX	2,262*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	7,8925*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	221,37*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	1,2741*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	1,1454135	MJ
Ανανεώσιμη ενέργεια	323,27*10 <sup>-6</sup>	MJ
Άλλη	0	MJ
Σύνολο	1,1457367	MJ
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	688,84*10 <sup>-6</sup>	kg
Ανανεώσιμα	8,7464*10 <sup>-3</sup>	kg
Άλλα	86,292*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	9,5216*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Από την εξόρυξη του φυσικού αερίου μέχρι τη μεταφορά του στην Ελλάδα.		

[Πηγή: GEMIS [147]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7:**

Συντελεστές αέριων εκπομπών από την καύση μαζούτ χαμηλού θείου

<b>Συντελεστές αέριων εκπομπών από την καύση μαζούτ χαμηλού θείου</b>			
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	1 kg μαζούτ χαμηλού θείου (Θ.Δ.: 40,403 MJ)		
<b>Αέριες εκπομπές</b>			<b>Πηγή</b>
SO <sub>2</sub>	14	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
NO <sub>x</sub>	6,83	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
Σωματίδια	1,23	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
CO	0,64	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
NM VOC	0,72	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
NH <sub>3</sub>	4,014*10 <sup>-4</sup>	g	CORINAIR [135]
As (air)	5,7*10 <sup>-4</sup>	g	CORINAIR [135]
Cd (air)	5,5*10 <sup>-4</sup>	g	CORINAIR [135]
Cr (air)	1,35*10 <sup>-3</sup>	g	CORINAIR [135]
Hg (air)	1,75*10 <sup>-4</sup>	g	CORINAIR [135]
Ni (air)	2,6*10 <sup>-2</sup>	g	CORINAIR [135]
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>			<b>Πηγή</b>
CO <sub>2</sub>	3.078,27	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
CH <sub>4</sub>	0,2	g	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [121]
N <sub>2</sub> O	2,424*10 <sup>-2</sup>	g	IPCC [137]
Οι τιμές αφορούν καυστήρα χωρίς αντιρρυπαντική τεχνολογία			

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8:**

Τιμές συντελεστών υπολογισμού αέριων εκπομπών από τη μεταφορά με φορτηγά οχήματα

Τιμές συντελεστών Εξίσωσης 1							
	K	a	b	c	d	e	f
CO	1,53	0	0	0	60,6	117	0
CO2	765	-7,04	0	0,000632	8334	0	0
VOC	0,207	0	0	0	58,3	0	0
NOX	9,45	-0,107	0	7,55E-06	132	0	0
PM	0,184	0	0	1,72E-07	15,2	0	0

Τιμές συντελεστών Εξίσωσης 3								
	k	n	p	q	r	s	t	u
CO	1,17	0,0563	0	-8,19E-04	0	0	0	-0,755
CO2	1,27	0,0882	0	-0,00101	0	0	0	-0,483
VOC	1,01	0,0066	0	2,09E-04	8,89E-04	0	-2,54E-07	0
NOX	1,28	0,0795	-0,00105	-0,00117	0	0	0	-0,874
PM	1,24	0,0727	0	-0,00113	0	0	0	-1,06

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ε.Ε. 15-2000)

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας (Ε.Ε. 15 , 2000)</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	1,2143*10 <sup>-3</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	929,16*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	39,779*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	4,5126*10 <sup>-6</sup>	kg
Σωματίδια	71,427*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	213,78*10 <sup>-6</sup>	kg
NM VOC	27,589*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	612,5*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,8209*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	2,1935*10 <sup>-9</sup>	kg
Cd (air)	693,4*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	2,1803*10 <sup>-9</sup>	kg
Hg (air)	2,3663*10 <sup>-9</sup>	kg
Ni (air)	5,5006*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	63,11*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (air)	8,1650*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	6,110*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	374,61*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	539,80*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	16,735*10 <sup>-6</sup>	kg
Perfluoromethane	139,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Perfluoroethane	17,55*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	30,452*10 <sup>-3</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης	3,9341*10 <sup>-3</sup>	kg
Ίλύς	6,2697*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	326,27*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	873,64*10 <sup>-3</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	1,6452*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	45,50*10 <sup>-12</sup>	kg
N	2,6968*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	10,71*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	26,134*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	733,57*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	61,680*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	1,9610399	kWh
Ανανεώσιμη ενέργεια	147,31*10 <sup>-3</sup>	kWh
Άλλη	171,60*10 <sup>-3</sup>	kWh

Σύνολο	2,2799502	kWh
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	$10,828 \cdot 10^{-3}$	kg
Ανανεώσιμα	3,2919329	kg
Άλλα	$285,55 \cdot 10^{-6}$	kg
Σύνολο	3,3030462	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>

[Πηγή: GEMIS [147]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ελλάδα, 2010)

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας (περίπτωση Ελλάδας, 2010)</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	1,7414*10 <sup>-3</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	1,5401*10 <sup>-3</sup>	kg
HCl	14,684*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	2,8769*10 <sup>-6</sup>	kg
Σωματίδια	106,29*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	534,73*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOG	48,305*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	1,7330*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	784,11*10 <sup>-9</sup>	kg
As (air)	84,14*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	57,61*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	421,2*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	103,5*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	461,9*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	10,48*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (air)	2,7473*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	4,250*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	765,06*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	906,46*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	26,035*10 <sup>-6</sup>	kg
Perfluoromethane	20,73*10 <sup>-12</sup>	kg
Perfluoroethane	2,605*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	42,536*10 <sup>-3</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης	22,874*10 <sup>-3</sup>	kg
Ιλύς	18,582*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	442,79*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	5,3802*10 <sup>-3</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	964,4*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	17,91*10 <sup>-12</sup>	kg
N	1,0933*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	11,17*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	35,345*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	991,49*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	24,133*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	2,2502591	kWh
Ανανεώσιμη ενέργεια	105,30*10 <sup>-3</sup>	kWh
Άλλη	73,936*10 <sup>-3</sup>	kWh
Σύνολο	2,4294906	kWh
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	21,336*10 <sup>-3</sup>	kg
Ανανεώσιμα	361,33*10 <sup>-3</sup>	kg
Άλλα	386,17*10 <sup>-6</sup>	kg

Σύνολο	383,06*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Εντός αυτών περιλαμβάνεται η εξόρυξη και η αξιοποίηση του λιγνίτη και τα υποσυστήματα των λοιπών ενεργειακών πηγών.		
<b>Κατανομή ενεργειακών πηγών:</b> λιγνίτης 57,5%, πετρελαιοειδή 10,22%, φυσικό αέριο 21,1%, υδροηλεκτρική ενέργεια 7%, αιολική ενέργεια 2,4%, ενέργεια απορριμμάτων 0,78%.		

[Πηγή: GEMIS [147]]



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 11:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ελλάδα, 2020)

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας (περίπτωση Ελλάδας, 2020)</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	1,3708*10 <sup>-3</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	1,3623*10 <sup>-3</sup>	kg
HCl	13,294*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	2,5625*10 <sup>-6</sup>	kg
Σωματίδια	87,605*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	485,96*10 <sup>-6</sup>	kg
NM VOC	43,668*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	1,8206*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,0709*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	88,18*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	60,33*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	441,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	108,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	482,8*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	12,55*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (air)	2,8803*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	4,456*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	706,69*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	839,30*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	22,909*10 <sup>-6</sup>	kg
Perfluoromethane	20,56*10 <sup>-12</sup>	kg
Perfluoroethane	2,584*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	40,478*10 <sup>-3</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης	20,600*10 <sup>-3</sup>	kg
Ιλύς	15,432*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	463,24*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	5,2806*10 <sup>-3</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	780,1*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	18,73*10 <sup>-12</sup>	kg
N	1,1347*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	11,70*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	37,058*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	1,0395*10 <sup>-6</sup>	kg
inorg. salt	25,194*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	2,0950683	kWh
Ανανεώσιμη ενέργεια	113,47*10 <sup>-3</sup>	kWh
Άλλη	90,929*10 <sup>-3</sup>	kWh
Σύνολο	2,2994691	kWh
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	20,430*10 <sup>-3</sup>	kg
Ανανεώσιμα	380,47*10 <sup>-3</sup>	kg

Άλλα	404,87*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	401,31*10 <sup>-3</sup>	kg
<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Εντός αυτών περιλαμβάνεται η εξόρυξη και η αξιοποίηση του λιγνίτη και τα υποσυστήματα των λοιπών ενεργειακών πηγών.		
<b>Κατανομή ενεργειακών πηγών:</b> λιγνίτης 52,16%, πετρελαιοειδή 9,14%, φυσικό αέριο 26,52%, υδροηλεκτρική ενέργεια 7%, αιολική ενέργεια 4,2%, ενέργεια απορριμμάτων 0,96%.		

[Πηγή: GEMIS [147]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 12:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη δασική αξιοποίηση για την παραγωγή ξυλείας

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη δασική αξιοποίηση για την παραγωγή ξυλείας</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kg ξυλείας με υγρασία 25% (Ε.Ε., 2000)</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	316,64*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	780,49*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	31,009*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	410,09*10 <sup>-6</sup>	kg
Σωματίδια	160,7*10 <sup>-12</sup>	kg
CO	40,17*10 <sup>-12</sup>	kg
NM VOC	37,122*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	534,76*10 <sup>-6</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	221,28*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	2,323*10 <sup>-15</sup>	kg
Cd (air)	55,764*10 <sup>-9</sup>	kg
Cr (air)	219,0*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	495,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	375,6*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	61,14*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	9,6838*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	751,7*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	33,723*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	5,9231*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	458,57*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	4,1837*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης		kg
Ιλύς	5,5251*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	159,32*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	755,93*10 <sup>-6</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	388,2*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	1,1121*10 <sup>-9</sup>	kg
N	65,247*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	84,73*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	11,502*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	333,50*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	1,4875*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	367,79*10 <sup>-6</sup>	kWh
Ανανεώσιμη ενέργεια	344,35*10 <sup>-9</sup>	kWh
Άλλη	-317,1*10 <sup>-12</sup>	kWh
Σύνολο	368,13*10 <sup>-6</sup>	kWh
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	652,29*10 <sup>-6</sup>	kg
Ανανεώσιμα	1,0199809	kg
Άλλα	124,72*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	1,0207579	kg
<b>Χρήση γης</b>		

Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Εντός αυτών περιλαμβάνεται η κοπή των δέντρων και η μεταφορά των κορμών στις χαρτοβιομηχανίες. Το στάδιο της δασικής αξιοποίησης αφορά την περίπτωση της Σουηδίας, ενώ το υποσύστημα της μεταφοράς βασίστηκε στις μέσες διανυόμενες αποστάσεις της ξυλείας προς τις ευρωπαϊκές βιομηχανίες χάρτου. Θεωρήθηκε πως το 72% της ξυλείας μεταφέρεται με φορτηγά για 120 km, το 21% με τρένα για 310 km και το 7% με πλοία για 1.300 km.		

[Πηγή: GEMIS [147]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 13:**

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Ε.Ε. 15, 2000)

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</b>		
<b>Λειτουργική μονάδα</b>	<b>1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας (Ε.Ε. 15, 2000)</b>	
<b>Αέριες εκπομπές</b>		
SO <sub>2</sub>	1,2143*10 <sup>-3</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	929,16*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	39,779*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	4,5126*10 <sup>-6</sup>	kg
Σωματίδια	71,427*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	213,78*10 <sup>-6</sup>	kg
NM VOC	27,589*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	612,5*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,8209*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	2,1935*10 <sup>-9</sup>	kg
Cd (air)	693,4*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	2,1803*10 <sup>-9</sup>	kg
Hg (air)	2,3663*10 <sup>-9</sup>	kg
Ni (air)	5,5006*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	63,11*10 <sup>-15</sup>	kg
Pb (air)	8,1650*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	6,110*10 <sup>-15</sup>	kg
<b>Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>		
CO <sub>2</sub>	374,61*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	539,80*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	16,735*10 <sup>-6</sup>	kg
Perfluoromethane	139,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Perfluoroethane	17,55*10 <sup>-12</sup>	kg
<b>Στερεά απορρίμματα</b>		
Τέφρα	30,452*10 <sup>-3</sup>	kg
Στερεό υπόλειμμα αποθείωσης	3,9341*10 <sup>-3</sup>	kg
Ιλύς	6,2697*10 <sup>-6</sup>	kg
Παραγόμενα στερεά απορρίμματα	326,27*10 <sup>-6</sup>	kg
Στερεά απορρίμματα από την εξόρυξη ενεργειακών και μη πόρων	873,64*10 <sup>-3</sup>	kg
Ραδιενεργά στερεά απορρίμματα	1,6452*10 <sup>-6</sup>	kg
<b>Ρυπαντικό φορτίο υγρών αποβλήτων</b>		
P	45,50*10 <sup>-12</sup>	kg
N	2,6968*10 <sup>-9</sup>	kg
AOX	10,71*10 <sup>-12</sup>	kg
COD	26,134*10 <sup>-6</sup>	kg
BOD <sub>5</sub>	733,57*10 <sup>-9</sup>	kg
inorg. salt	61,680*10 <sup>-9</sup>	kg
<b>Κατανάλωση πρώτων υλών</b>		
Συνολική κατανάλωση ενέργειας		
Μη ανανεώσιμη ενέργεια	1,9610399	kWh
Ανανεώσιμη ενέργεια	147,31*10 <sup>-3</sup>	kWh
Άλλη	171,60*10 <sup>-3</sup>	kWh
Σύνολο	2,2799502	kWh
Συνολική κατανάλωση υλικών		
Μη ανανεώσιμα υλικά	10,828*10 <sup>-3</sup>	kg
Ανανεώσιμα	3,2919329	kg
Άλλα	285,55*10 <sup>-6</sup>	kg
Σύνολο	3,3030462	kg

<b>Χρήση γης</b>		
Χρήση γης	0	m <sup>2</sup>
<b>Όρια συστήματος:</b> Εντός αυτών περιλαμβάνεται η εξόρυξη και η αξιοποίηση του λιγνίτη και τα υποσυστήματα των λοιπών ενεργειακών πηγών.		

[Πηγή: GEMIS [147]]

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 14:**

Προδιαγραφές μαζούτ

Προδιαγραφές μαζούτ			
Προδιαγραφές	Μέθοδοι ελέγχου		Μαζούτ χαμηλού θειού
ΦΕΚ			320B/26-4-94 887B/19-9-96
Πυκνότητα, 15 °C, kg/m <sup>3</sup> , max	D-1298	EN ISO 3675:1998	970
Σημείο Ανάφλεξης, °C, min	D-93	EN 22719	66
Θείο, % m/m, max	D-4294	EN ISO 14596:1998 EN ISO 8754:1995 EN 24260:1994	0.7
Ιξώδες στους 50 °C cst Ελάχ. (min) Μέγ. (max)	D-445	EN ISO 3104	- 180
Σημείο Ροής, °C, max - από 1/10 έως 15/5 - από 16/5 έως 30/9	D-97	ISO 3016	10 15
Νερό % m/m, max	D-95	ISO 3733	0.5
Ολικό Ιζημα, % m/m, max	D-4870 IP375	-	0.15
Ανθρακούχο Υπόλειμμα, (%m/m), max	D-189	EN ISO 10370	15
Τέφρα, %m/m, min	D-482	EN ISO 6245	0.10
Βανάδιο, ppm, min	IP-288		120
Νάτριο, ppm, max	IP-288		100