



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

17

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ  
ΠΑΛΑΙΟΧΑΡΤΟΥ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ ΜΕ  
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ  
SELECTION OF OLD NEWSPAPERS  
UTILISATION METHOD BY  
MULTICRITERIA ANALYSIS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
(MSc Dissertation)

ΤΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Π. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής: Φραγκίσκος ΜΠΑΤΖΙΑΣ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2002



00140684

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ.ΕΙΣ.	40684
ΟΜΠ.	28351
ΤΑΞΙΝ.	628 445 '8 ΒΑ2
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ  
ΠΑΛΑΙΟΧΑΡΤΟΥ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ ΜΕ  
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ  
SELECTION OF OLD NEWSPAPERS  
UTILISATION METHOD BY  
MULTICRITERIA ANALYSIS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
MSc Dissertation

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Π. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής: Φραγκίσκος ΜΠΑΤΖΙΑΣ



στην Αγγελική, τον Παύλο, τον Κωνσταντίνο και  
στους γονείς μου, για την αγάπη που μου δίνουν

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σχέση του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον είναι μια συνεχής αλληλεπίδραση και μια αλληλένδετη πορεία, που έχει αφετηρία την ίδια την ύπαρξή του. Η σχέση αυτή για χιλιάδες χρόνια ήταν μονόδρομη, πλην όμως σταθερή αφού το φυσικό περιβάλλον αποτελούσε το «δότη» και ο άνθρωπος το «λήπτη» αγαθών και υπηρεσιών, ενώ παράλληλα ήταν ο «δέκτης» των αποβλήτων του ανθρώπινου πολιτισμού.

Κατά το τελευταίο μισό του προηγούμενου αιώνα, η σχέση αυτή μετατράπηκε σε ασταθή, αφού «κλονίστηκε» σοβαρά από την απληστία του σύγχρονου ανθρώπου, ο οποίος εκμεταλλεύθηκε αλόγιστα το φυσικό περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα ήταν να εξαφανιστούν πολλές μορφές ζωής (πανίδα και χλωρίδα), να αλλοιωθούν οι κλιματικές συνθήκες του πλανήτη (φαινόμενο θερμοκηπίου), να ελαττωθούν τα φυσικά κεφάλαια (μιλάμε πλέον για αποθέματα φυσικών πόρων), να μειωθεί η ικανότητα του περιβάλλοντος να δέχεται τα απόβλητα και τελικά να διαταραχθεί οριστικά η σχέση του με το περιβάλλον.

Μετά τις αρχικές ανησυχίες και τις μετέπειτα διαπιστώσεις για τα παραπάνω «ειδοποιά στοιχεία» η ανθρωπότητα συνειδητοποίησε αφενός τη «ζημία» που έχει προκληθεί στο περιβάλλον και τις λιγιστές δυνατότητες που υπάρχουν για επαναφορά στην προτεραία κατάσταση και αφετέρου ότι αν δεν ληφθεί μέριμνα για το περιβάλλον τίποτα δεν εγγυάται τη συνέχεια της ύπαρξης του ανθρώπου πάνω στην γη. Έτσι, αποφασίστηκε ότι είναι ανάγκη να συνεισφέρουμε και εμείς στο περιβάλλον, υιοθετώντας την λεγόμενη «αειφορική ανάπτυξη», δηλαδή μια πιο ισότιμη και αμφίδρομη σχέση με το περιβάλλον.

Για το σκοπό αυτό τέθηκε σε εφαρμογή σειρά δράσεων, σχεδιασμών και εφαρμογών με στόχο την επίτευξη της αειφορικής ανάπτυξης. Έτσι, υιοθετήθηκαν μεταξύ άλλων πρακτικές και σχεδιασμοί διαχείρισης των αποβλήτων του πολιτισμού μας, όπως η ανακύκλωση υλικών, η ανάκτηση ενέργειας από την εκμετάλλευση των αποβλήτων και όλα αυτά να γίνονται με τον πλέον φιλικό τρόπο για το περιβάλλον, μέσω λήψης απόφασης με διαδικασίες που έχουν την ικανότητα ενσωματώνουν πολλές και διαφορετικές πληροφορίες για το ίδιο πρόβλημα διαχείρισης.

Στο πνεύμα αυτό κινείται και το θέμα της παρούσας εργασίας, η οποία διερευνά τη δυνατότητα επιλογής μεθόδου για την αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων, οι οποίες είναι ανακυκλωμένες και δεν δύνανται να ανακυκλωθούν περαιτέρω, με πολυκριτηριακή ανάλυση.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, ο συγγραφέας είχε ουσιαστική βοήθεια και συνδρομή από αρκετούς ανθρώπους, τους οποίους θεωρεί ως ελάχιστο χρέος του να ευχαριστήσει, με το δέοντα σεβασμό και την αναγνώριση της ξεχωριστής συμβολής τους.

Έτσι, ευχαριστώ ιδιαίτερα:

Τον **Δρα Φ. Μπατζιά**, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την άοκνη και ουσιαστική επίβλεψη-συμμετοχή του στην επιλογή, καθορισμό και επεξεργασία του συγκεκριμένου θέματος, καθώς και για τον διακριτικό πλην όμως ξεχωριστά αποδοτικό ρόλο του στην βελτίωση της επιστημονικής παιδείας αλλά και της εκμείυσης των διαχειριστικών δυνατοτήτων του γράφοντος.

Τους κ.κ. **Δρ Δ. Σιδηρά** και **Δρ Ε. Μαρκουλάκη**, Λέκτορες του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για τις χρήσιμες και ουσιαστικές παρατηρήσεις και υποδείξεις τους στο περιεχόμενο και την τεκμηρίωση του κειμένου καθώς και την εν γένει συμμετοχή τους στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

Τον κ. **Α. Μπατζιά**, Αναλυτή Συστημάτων Πληροφορικής, για την παραχώρηση του προγράμματος πολυκριτηριακής ανάλυσης με ασαφή λογική, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων της ανάλυσης.

Τους **Δρα Γ. Λυριντζή**, Διευθυντή Α' Δ/σης ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. και **Δρα Λ. Μπόσκο**, Διευθυντή του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών, τόσο για τη διαρκή υποστήριξη και κατανόησή τους, που συνετέλεσε στην κατά το δυνατόν ομαλότερη ενασχόληση του γράφοντος με το θέμα, όσον και για την παροχή των επιστημονικών γνώσεων και απόψεών τους.

Τους κ.κ. **Δρ. Κ. Αλμπάνη**, **Δρ. Α. Σκορδίλη**, **Δρ. Π. Κάββουρα** και **Δρ. Ι. Πετειναράκη** για την πολύτιμη συμμετοχή τους στην παρούσα εργασία τόσο με τη διατύπωση των εξειδικευμένων επιστημονικών γνώσεων τους όσο και με την αποκάλυψη των προσωπικών τους απόψεων, σε όλες τις φάσεις λήψης στοιχείων της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Τον κ. **Ν. Πετράτο**, διευθυντή της εταιρείας διανομής ημερήσιου τύπου ΑΡΓΟΣ Α.Ε., για τη φιλική συνεισφορά του, με την παροχή ποσοτικών στοιχείων διακίνησης εφημερίδων εντός του νομού Αττικής καθώς και για το σύνολο της χώρας, που αποτέλεσαν σημαντική πληροφορία για την εν λόγω εργασία.

Τον κ. **Ν. Παπαστέργιο**, υπεύθυνο διακίνησης της εταιρείας ΕΥΡΩΠΗ Α.Ε., για τη φιλική συνεισφορά του, με την παροχή ποσοτικών στοιχείων διακίνησης εφημερίδων στο νομό Αττικής.

Τον κ. **Χ. Ρούμπο**, M.Sc. Μεταλλειολόγο Μηχανικό, υποψήφιο διδάκτορα ΕΜΠ, για την υποστήριξή του και τις χρήσιμες υποδείξεις στον γράφοντα.

Τη δίδα **Δ. Παναγιωτοπούλου**, Βιβλιοθηκονόμο του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών, για τη βοήθειά της στην εξεύρεση βιβλιογραφίας.

Τέλος, ευχαριστίες εκφράζονται σε όλους όσους βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	<u>Σελίδα</u>
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ- ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ	7
3. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	12
3.1. Υλικό Μελέτης	12
3.1.1. Στοιχειακή-χημική σύσταση ξύλου και χαρτιού	12
3.2. Πεδίο Μελέτης	16
4. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	23
5. ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ – ΣΥΛΛΟΓΗ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΤΤΙΚΗΣ	27
5.1. Γενικά	27
5.1.2. Σύστημα διακίνησης των εφημερίδων στην Αττική	28
5.1.2.1. Στοιχεία διακίνησης από την εταιρεία ΑΡΓΟΣ Α.Ε.	30
5.1.2.2. Στοιχεία διακίνησης από την εταιρεία ΕΥΡΩΠΗ Α.Ε.	31
5.2. Συλλογή - Ανάκτηση	32
5.2.1. Γενικά	32
5.2.2. Ανάκτηση παλαιόχαρτου εφημερίδων στην Αττική-παρούσα κατάσταση	33
5.2.3. Ποσοτικά-οικονομικά στοιχεία για το παλαιόχαρτο εφημερίδων	34
5.3. Οργανωτικό σχήμα διακίνησης – Συνολικές ποσότητες παλαιόχαρτου εφημερίδων στην Αττική	38
6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	45
6.1. Γενικά	45
6.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την ανακύκλωση του χαρτιού	48
6.2.1. Οικονομική θεώρηση	48
6.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	52
6.2.3. Κοινωνική θεώρηση	54

	<u>Σελίδα</u>
7. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	56
7.1. Καύση με ανάκτηση ενέργειας	57
7.1.1. Γενικά	57
7.1.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την καύση με ανάκτηση ενέργειας	63
7.1.2.1. Οικονομική θεώρηση	63
7.1.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	66
7.1.2.3. Κοινωνική θεώρηση	69
7.2. Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού με αερόβια αποσύνθεση (βιοσταθεροποίηση)	71
7.2.1. Γενικά	71
7.2.2. Επιπτώσεις και οφέλη από τη βιοσταθεροποίηση	76
7.2.2.1. Οικονομική θεώρηση	76
7.2.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	79
7.2.2.3. Κοινωνική θεώρηση	81
7.3. Παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων με αναερόβια αποσύνθεση	83
7.3.1. Γενικά	83
7.3.2. Επιπτώσεις και οφέλη αναερόβιας αποσύνθεσης	92
7.3.2.1. Οικονομική θεώρηση	92
7.3.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	94
7.3.2.3. Κοινωνική θεώρηση	96
7.4. Παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών με ζύμωση	98
7.4.1. Γενικά	98
7.4.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών	103
7.4.2.1. Οικονομική θεώρηση	103
7.4.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	105
7.4.2.3. Κοινωνική θεώρηση	106
7.5. Παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση	107
7.5.1. Γενικά	107
7.5.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την παραγωγή βιοαιθανόλης	115
7.5.2.1. Οικονομική θεώρηση	115
7.5.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	117
7.5.2.3. Κοινωνική θεώρηση	120

7.6. Υγειονομική ταφή με σύγχρονες προδιαγραφές	123
7.6.1. Γενικά	123
7.6.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την υγειονομική ταφή	125
7.6.2.1. Οικονομική θεώρηση	125
7.6.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση	128
7.6.2.3. Κοινωνική θεώρηση	132
8. Η ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE	134
8.1. Γενικά	134
8.2. Θεωρητικό υπόβαθρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης με τη μέθοδο PROMETHEE	135
8.2.1. Ροές στο γράφημα-ιεράρχηση των επιλογών	141
8.2.2. Άλλα γενικευμένα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές	144
8.2.3. Προβλήματα με στοχαστικά χαρακτηριστικά	149
8.3. Συναρτήσεις χρησιμότητας των κριτηρίων	151
8.3.1. Προετοιμασία των δεδομένων του προβλήματος	151
8.3.2. Συνάρτηση χρησιμότητας ενός κριτηρίου	151
8.3.3. Συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων	157
8.4. Υπολογισμός των σταθερών $F_i$	158
8.5. Κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών μεθόδων	164
8.5.1. Γενικά	164
8.5.2. Επιλογή κριτηρίων της παρούσας ανάλυσης	164
9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ	166
9.1. Γενικά	166
9.2. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης με ασαφή λογική	168
9.2.1. Πίνακας προτιμήσεων-κατάταξη των μεθόδων	168
9.2.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων	172
9.3. Αποτελέσματα απλής πολυκριτηριακής μεθόδου-ανάλυση	175
9.3.1. Πίνακας επίδοσης – κατάταξη των μεθόδων	175
9.3.2. Συζήτηση-Συγκρίσεις κατά ζεύγη	178

	<u>Σελίδα</u>
10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	197
10.1. Προτάσεις με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική	197
10.2. Πρόταση με βάση την απλή πολυκριτηριακή ανάλυση	201
10.3. Συμπερασματικές παρατηρήσεις	207
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	209
α) Ξενόγλωσση	209
β) Ελληνική	220
γ) Websites visited	222
SUMMARY	223

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



# ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΛΑΙΟΧΑΡΤΟΥ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ ΜΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης ως εργαλείου υποστήριξης της λήψης απόφασης στην επιλογή μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Για το σκοπό αυτό, έξι (6) εναλλακτικές μεταξύ τους μέθοδοι αξιοποίησης του παλαιόχαρτου ανακυκλωμένων εφημερίδων και των υγρών αποβλήτων ανακύκλωσης χαρτιού, αξιολογούνται με εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης, ώστε να επιλεγεί ένας άριστος συνδυασμός εξ' αυτών.

Για την πολυκριτηριακή ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά και τεχνολογικά, χαρακτηριζόμενα ανάλογα με την προέλευσή τους και τον τρόπο που εισέρχονται στην ανάλυση. Η πολυκριτηριακή ανάλυση στηρίχθηκε στη βαθμολόγηση με σταθμισμένα κριτήρια των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων. Η βαθμολόγηση της πολυκριτηριακής μήτρας έγινε από ειδικούς βαθμολογητές. Για λόγους ολιστικής προσέγγισης του θέματος εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες ανάλυσης, η πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική και η απλή. Η επιλογή μεταξύ των μεθόδων αξιοποίησης στηρίχθηκε στη σειρά κατάταξης που επιτεύχθηκε, δηλαδή ως άριστη επιλέχθηκε η μέθοδος αξιοποίησης που συγκέντρωσε την υψηλότερη βαθμολογία με εναλλακτική επιλογή την αμέσως επόμενη στη βαθμολογία κ.ο.κ.

Στη συνέχεια έγινε ανάλυση των αποτελεσμάτων και συγκρίσεις κατά ζεύγη, για να διαπιστωθεί αν το αποτέλεσμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης συμβάλλει στη διαμόρφωση υλοποιήσιμων προτάσεων-σχεδιασμών υποστηρίζοντας τη λήψη απόφασης στην επιλογή μεθόδου ή συνδυασμού μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι ο πολιτισμός του ανθρώπου εξαρτάται απόλυτα από το φυσικό περιβάλλον, αφού το φυσικό περιβάλλον<sup>1</sup> περιέχει και παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη ζωή, διαβίωση και εξέλιξη του ανθρώπου αλλά και όλων των άλλων έμβιων. Χωρίς φυσικό περιβάλλον δεν υπάρχει ζωή. Ο άνθρωπος στήριξε και στηρίζει ολοκληρωτικά τον πολιτισμό του στο φυσικό περιβάλλον.

Από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι πρόσφατα, η αντίληψη που επικρατούσε ήταν ότι το περιβάλλον είναι μια ανεξάντλητη πηγή φυσικών πόρων, απαραίτητων για τον πολιτισμό μας και ταυτόχρονα μια ανεξάντλητη «χωματερή» που μπορεί να δέχεται όλα τα απόβλητά του. Η διπλή αυτή θεώρηση είχε πολύ σοβαρές επιπτώσεις, αφού δημιούργησε ένα οικονομικό μοντέλο, το οποίο παρουσίαζε ως «μοχλό» οικονομικής ανάπτυξης την εντατικοποίηση της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων. Αποτέλεσμα του οικονομικού μοντέλου αυτού ήταν η προσπάθεια για ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων, που όμως αδιαφορούσαν για την οποιαδήποτε ζημία (καταστροφή, υποβάθμιση, ρύπανση κλπ.) προκαλείτο στο φυσικό περιβάλλον καθώς και η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη που ήταν προσανατολισμένη κατά ανάλογο τρόπο.

Την ίδια περίοδο, ο πληθυσμός του πλανήτη μας αυξήθηκε με ιλιγγιώδη ταχύτητα<sup>2</sup> και κατά συνέπεια αυξήθηκε αντίστοιχα η παραγωγή αποβλήτων. Όμως, δεν ήταν μόνο η ποσότητα των αποβλήτων που αυξάνονταν, αλλά σημαντικό είναι το γεγονός ότι η διάθεσή τους στο περιβάλλον γινόταν χωρίς να λαμβάνεται καμία απολύτως μέριμνα (Σχήμα 1.1).

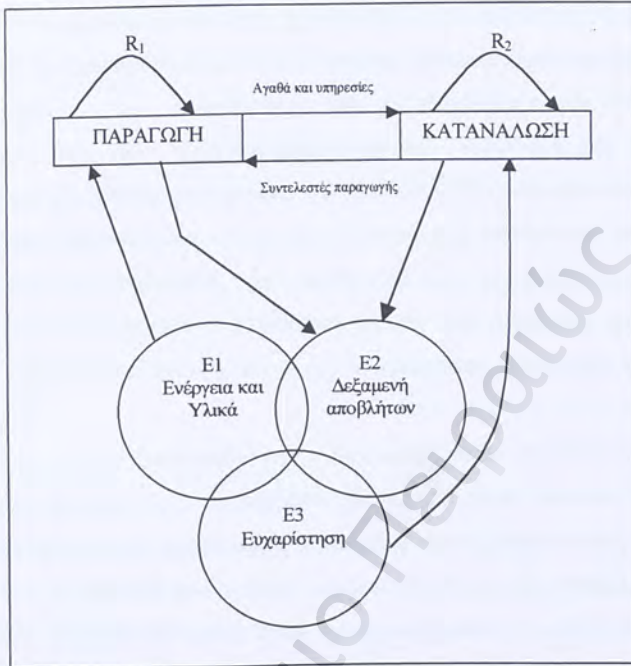
Έτσι, οι κρίσιμοι παράγοντες που επέδρασαν συνεχώς και αποφασιστικά στην ισορροπία του ισοζυγίου ήταν η πληθυσμιακή έκρηξη και η τεχνολογική εξέλιξη. Με την αύξηση του πληθυσμού αυξήθηκαν σταδιακά οι ανάγκες για τροφή, ένδυση, υπόδηση, κατοικία κλπ. και επιπλέον αυξήθηκε η παραγωγή αποβλήτων. Πιο απλά, εντάθηκε η πίεση προς το φυσικό περιβάλλον για απόληψη πρώτων υλών, αγροτική παραγωγή, οικιστική ανάπτυξη κ.α., καθώς επίσης εντάθηκε η διάθεση αποβλήτων προς το φυσικό περιβάλλον. Από την άλλη πλευρά, η διαρκώς βελτιούμενη τεχνολογία κατέστησε δυνατή την εντατικότερη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων

<sup>1</sup> Μια πολύ απλουστευμένη θεώρηση του φυσικού περιβάλλοντος θα το χαρακτήριζε σαν τον πλέον ολοκληρωμένο και ταυτόχρονα πολύπλοκο φορέα όλων των απαραίτητων στοιχείων της ζωής.

<sup>2</sup> Την περίοδο 1900-2000 ο πληθυσμός της Γης σχεδόν εξαπλασιάστηκε (UN, Human Development Report, 2001).



για κάλυψη των αναγκών και κατ' επέκταση επιτάχυνε την υποβάθμιση και την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος.



**Σχήμα 1.1.** Σύνολο υπηρεσιών υποστήριξης της ζωής

**Figure 1.1.** Global life-support services

(Πηγή: *Environmental economics, Hanley N. et. al. 1997, Προσαρμογή από το συγγραφέα*)

Κατά το τελευταίο τέταρτο του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η ανθρωπότητα διαπίστωσε πόσο λαθεμένη και ολέθρια ήταν αυτή η θεώρηση, αφού υποχρεώθηκε να υποστεί τα αποτελέσματά της, που γίνονταν ολοένα και πιο έντονα (μεταβολές του κλίματος με εμφάνιση ακραίων φαινομένων, ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, εμφάνιση νέων ασθενειών, ελάττωση των διαθέσιμων ποσοτήτων του O<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα λόγω καταστροφής των δασών κλπ.).

Η «εντατική» ανάπτυξη εγκαταλείφθηκε και κατά την τελευταία 25ετία γίνεται προσπάθεια για επίτευξη της «αιεφορικής ανάπτυξης<sup>3</sup>» ή πιο απλά της ανάπτυξης που

<sup>3</sup> Σύμφωνα με την Έκθεση Brundtland ως αιεφορική ανάπτυξη εννοείται η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενεάς χωρίς να διαπραγματεύεται (ή να θέτει σε κίνδυνο) την ικανότητα των μελλουσών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες (Brundtland Report, 1987). Θεωρείται η ανάπτυξη που σέβεται το περιβάλλον, είναι τεχνολογικά κατάλληλη, οικονομικά εφικτή και κοινωνικά αποδεκτή και ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενεάς χωρίς να βάζει σε κίνδυνο την ικανοποίηση των αναγκών των μελλοντικών γενεών (United Nations Environmental Program UNEP, 1996).

λαμβάνει ισομερώς υπόψη, πέραν της καθαυτή ανάπτυξης, την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή «αιφορικής ανάπτυξης» προϋποθέτει την ορθολογική και ελεγχόμενη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογίας φιλικής προς το περιβάλλον, την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων και γενικότερα τη μείωση των αποβλήτων που διατίθενται στο φυσικό περιβάλλον. Παράλληλα με τα παραπάνω, η αιφορική ανάπτυξη σκοπεύει στην ικανοποίηση της κοινωνικής απαίτησης για προστασία του περιβάλλοντος, για διατήρηση των χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων και γενικά της βιόσφαιρας και για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ανάγκες των σημερινών όσο και των επόμενων γενιών.

Έτσι, θα μπορούσε να διατυπωθεί ότι η αιφορική ανάπτυξη είναι ο «κινητήριος άξονας» που προωθεί και ταυτόχρονα βασίζεται στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, η επίλυση των οποίων οφείλει να γίνεται με κατάλληλο (άριστο) σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων, ώστε να επιτυγχάνεται η υιοθέτηση αιφορικών «μοντέλων» και πρακτικών στη σχέση του πολιτισμού μας με το φυσικό περιβάλλον. Στο κατόπιν της Παγκόσμιας Συνδιάσκεψης για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη που οργανώθηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών στο Ρίο ντε Ζανέιρο (UNCED 1992), η παγκόσμια κοινότητα και ειδικότερα οι προηγμένες βιομηχανικά ή αλλιώς αναπτυγμένες χώρες, επιδόθηκαν σε έναν φιλόδοξο «αγώνα» με συνολικό στόχο την επίτευξη της αιφορικής ανάπτυξης.

Με την έκφραση «αγώνας» ουσιαστικά εννοούνται οι πολλαπλές δράσεις που έχουν ξεκινήσει στη βάση του βραχυπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου σχεδιασμού, ο οποίος τέθηκε από τις αναπτυγμένες χώρες κατά τη Συνδιάσκεψη του Ρίο. Οι δράσεις αυτές περιγράφονται στη λεγόμενη AGENDA 21, που είναι το «εγχειρίδιο» των κατευθύνσεων δράσης προς επίτευξη αιφορικής ανάπτυξης στον 21<sup>ο</sup> αιώνα, τον οποίο ήδη διανύουμε. Στην AGENDA 21 περιλαμβάνονται σαράντα (40) κεφάλαια ειδικού, νομικού και πολιτικού περιεχομένου, τα οποία αποσκοπούν στο να δώσουν το ειδικότερο πλαίσιο εφαρμογής και το περίγραμμα μεσο- και μακροπρόθεσμης στοχοθεσίας, για κάθε επιμέρους δράση (π.χ. Chapter 11, Combating Deforestation) που θα αναληφθεί από τα κράτη προς επίτευξη του συνολικού στόχου της αιφορίας.



Οι δράσεις μπορεί να εκτελούνται σε διεθνές, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, ανάλογα με την ευρύτητα ή τη στενότητα του θέματος που εξετάζεται (π.χ. διαχείριση σημειακής ρύπανσης σε τοπικό επίπεδο, μείωση της αέριας ρύπανσης σε διεθνές/ περιφερειακό επίπεδο) και να στηρίζονται σε βραχυπρόθεσμο, μεσο- ή μακροπρόθεσμο σχεδιασμό (π.χ. η εφαρμογή άμεσων μέτρων περιορισμού σημειακής ρύπανσης ως βραχυπρόθεσμος σχεδιασμός, η ανάπτυξη στρατηγικών για μείωση του όγκου των προς διάθεση στο περιβάλλον απορριμμάτων με ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση κ.λπ. ως μακροπρόθεσμος σχεδιασμός).

Μεταξύ των δράσεων που έχουν ξεκινήσει σε διεθνές επίπεδο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνει ο σχεδιασμός και η διαχείριση των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ-municipal solid waste, MSW) σε τοπικό, περιφερειακό και διεθνές επίπεδο, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο, κυρίως, μακροπρόθεσμα, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό επιδιώκεται αφενός αξιοποιώντας κατάλληλες στρατηγικές όπως ανακύκλωση (recycling), επαναχρησιμοποίηση (re-use) υλικών από το «ρεύμα» των ΑΣΑ, καύση (incineration) για ανάκτηση ενέργειας, μείωση στην πηγή (source reduction), βιοσταθεροποίηση (composting) κ.λπ. και αφετέρου με εφαρμογή περιβαλλοντικής νομοθεσίας και διεθνών συμφωνιών σε θέματα όπως μείωση εκπομπών ρύπων, αξιοποίηση ανακυκλώσιμων υλικών στην προστασία του περιβάλλοντος κ.α.

Για την αντιμετώπιση των πολύπλοκων και πολύπλευρων προβλημάτων που ανακύπτουν κατά την προσπάθεια συνδυασμού της διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων και της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, που καλείται να αντιμετωπίσει και να επιλύσει ο σύγχρονος άνθρωπος, επινοήθηκαν και εφαρμόστηκαν νέα «εργαλεία», με τα οποία υποβοηθείται η λήψη αποφάσεων και κατ' επέκταση ο άριστος κάθε φορά σχεδιασμός και διαχείριση των προβλημάτων.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αξιοποιείται και εφαρμόζεται ένα «εργαλείο» υποστήριξης της λήψης απόφασης για το σχεδιασμό και διαχείριση ενός υλικού από το συνολικό «ρεύμα» υλικών των στερεών αστικών απορριμμάτων. Πρόκειται για την πολυκριτηριακή ανάλυση (multicriteria analysis-MCA) ή πολυκριτηριακή ανάλυση απόφασης (multicriteria decision analysis-MCDA) οι πολλαπλές δυνατότητες της οποίας την καθιστούν σημαντικό «εργαλείο» στη λήψη απόφασης.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση χρησιμοποιείται για την λήψη απόφασης στην επιλογή μεταξύ εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων. Η

εφαρμογή της στηρίζεται στην αρχική και τελική βαθμολόγηση των επιλογών μεθόδου αξιοποίησης και τη στάθμιση κριτηρίων μιας πολυκριτηριακής μήτρας, η οποία γίνεται από ειδικούς με συμπλήρωση κατάλληλα διαμορφωμένων ερωτηματολογίων.

Η επιλογή μεθόδου ή μεθόδων αξιοποίησης στηρίζεται στη σειρά κατάταξης (outranking) των μεθόδων αξιοποίησης που επιτεύχθηκε μετά τη βαθμολόγηση, δηλαδή πρώτη επιλέγεται αυτή που έχει την υψηλότερη βαθμολογία, με εναλλακτική επιλογή την αμέσως επόμενη στη βαθμολογία κ.ο.κ.

Τέλος, γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων και συγκρίσεις κατά ζεύγη, για να διαπιστωθεί αν το αποτέλεσμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης συμβάλλει στη διαμόρφωση υλοποιήσιμων προτάσεων-σχεδιασμών διαχείρισης, υποστηρίζοντας τη λήψη απόφασης στην επιλογή μεθόδου ή συνδυασμού μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

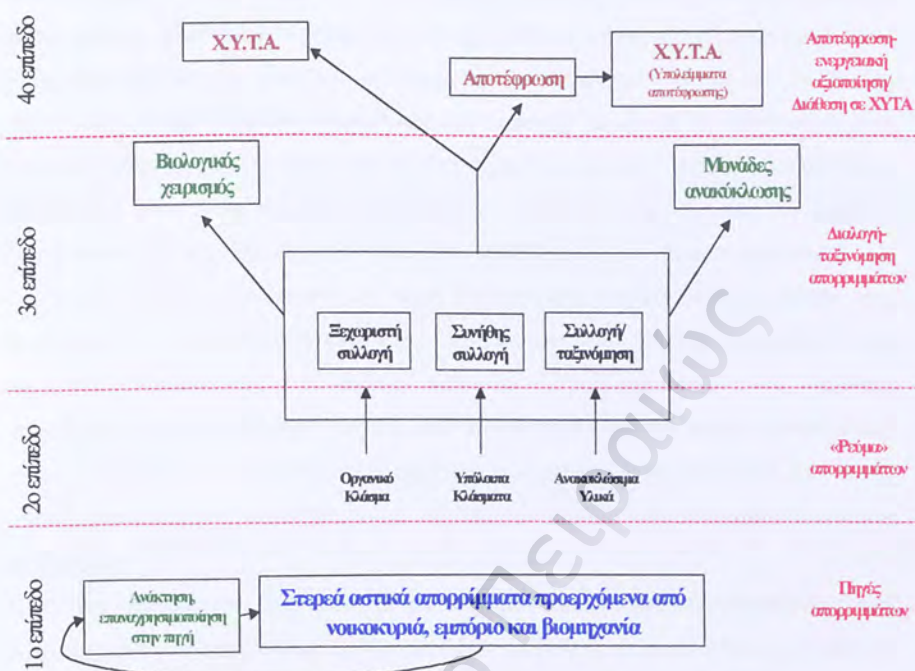


## 2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ – ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής, δηλαδή η διαβίωση σε εκτεταμένα αστικά συγκροτήματα (αστικοποίηση-urbanization), η συνεχώς αυξανόμενη οικιακή κατανάλωση (household consumption) αλλά και η βιομηχανική παραγωγή (industrial production), στοιχεία που έχουν συνδεθεί με την έντονη οικονομική ανάπτυξη, χαρακτηρίζονται από την υψηλή παραγωγή αποβλήτων προς το φυσικό περιβάλλον. Τα απόβλητα αυτά ανάλογα με τη μορφή τους, χαρακτηρίζονται ως στερεά (solid) και υγρά (fluid) και αέρια (gaseous) απόβλητα (waste). Σήμερα έχει γίνει, αργά αλλά σταθερά, η μετάβαση του πολιτισμού μας από το μοντέλο της έντονης οικονομικής ανάπτυξης προς το μοντέλο της αειφορικής ανάπτυξης, δηλαδή της οικονομικής ανάπτυξης που λαμβάνει υπόψη τα όρια και τις ανοχές του φυσικού περιβάλλοντος και στοχεύει στην αειφορική ευημερία.

Η διαχείριση των ΑΣΑ σήμερα γίνεται με ένα πλήρως αποδεκτό και παγκοσμίως εφαρμοσμένο σύστημα. Το σύστημα αυτό διοικείται και εφαρμόζεται από τους τοπικούς διοικητικούς φορείς (τοπική αυτοδιοίκηση και όχι από την κεντρική κρατική διοίκηση) και σε γενικές γραμμές η οργάνωσή του αποτελείται από δύο βασικά μέρη: α) την αποκομιδή των απορριμμάτων, που γίνεται από τον λεγόμενο «στολό» απορριμματοφόρων (ειδικά σχεδιασμένα φορτηγά με πρέσσα προσυμπίεσης των απορριμμάτων), τα οποία συλλέγουν σε καθημερινή βάση τα στερεά αστικά απορρίμματα και β) τη διαλογή και τη διάθεση των απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA-sanitary landfill), ή όπου δεν υπάρχουν τέτοιοι ειδικά σχεδιασμένοι και διαμορφωμένοι χώροι η διάθεση γίνεται σε «χλωματερές» (landfill) (με διαδοχική εφαρμογή των φάσεων: συμπίεση, τεμαχισμός και ενταφιασμός με ενδιάμεση στρώση εδάφους).

Σύμφωνα με τον Οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (ΟΟΣΑ-Organization for Economic Cooperation and Development, OECD 1999) το συνολικό σύστημα διαχείρισης των στερεών αστικών απορριμμάτων από την πηγή παραγωγής τους μέχρι την τελική διάθεση, παρουσιάζόμενο σχηματικά έχει ως ακολούθως:



**Σχήμα 2.1.** Σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ) από την παραγωγή μέχρι την τελική διάθεσή τους.

**Figure 2.1.** Municipal Solid Waste (MSW) management system from production to their final disposal

(Πηγή: ΟΟΣΑ, 1999. Μετάφραση-προσαρμογή από το συγγραφέα)

Από το Σχήμα 2.1 γίνεται αντιληπτή η ύπαρξη τεσσάρων διαδοχικών επιπέδων στην «αλυσίδα διαχείρισης» των ΑΣΑ (MSW chain of custody), δηλαδή:

- Παραγωγή των στερεών αστικών απορριμμάτων
- «Ρεύμα» των στερεών αστικών απορριμμάτων
- Διαλογή-ταξινόμηση των στερεών αστικών απορριμμάτων
- Ενεργειακή αξιοποίηση - διάθεση σε ΧΥΤΑ

Τα επίπεδα αυτά λαμβάνονται υπόψη τόσο στο σχεδιασμό αποτελεσματικότερης διαχείρισης των ΑΣΑ όσον και στο σχεδιασμό που στοχεύει στην μείωση (abatement) των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Έτσι, οι επιμέρους διαδικασίες της αλυσίδας των ΑΣΑ έγιναν αντικείμενο οικονομοτεχνικών μελετών, τόσο σε κάθε επίπεδό τους όσο και στη συνολική θεώρησή τους.

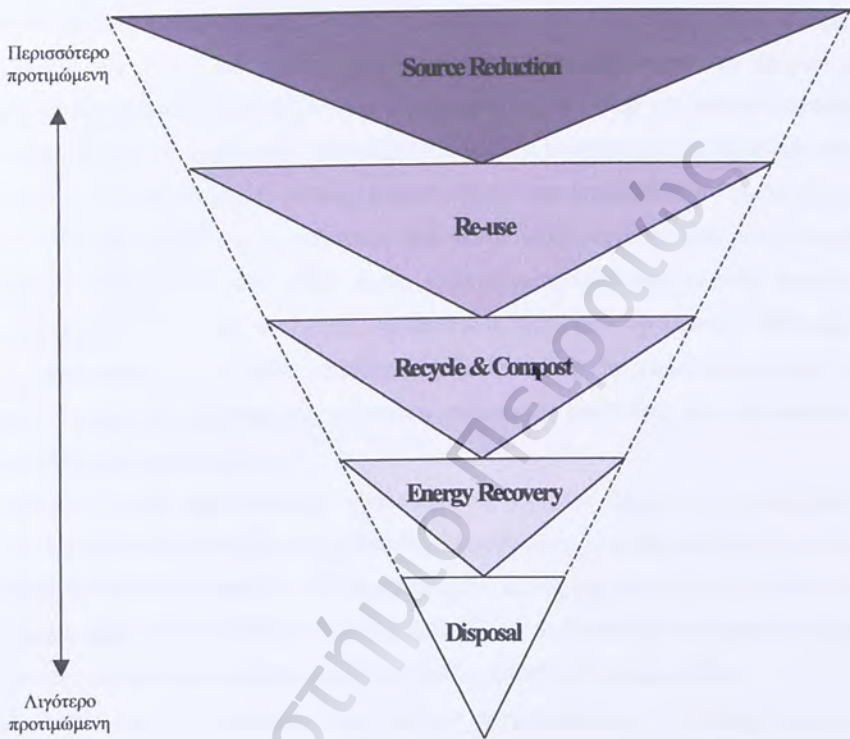


Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 35-40 ετών, οι παραγόμενες ποσότητες στερεών αστικών απορριμμάτων παρουσιάζουν συνεχή αύξηση, λόγω του σύγχρονου τρόπου ζωής (modern lifestyle). Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του '80 και υπό τη συνεχή πίεση των περιβαλλοντικών φορέων και οργανώσεων αλλά και τη διαπίστωση από τους επιστήμονες της ανάγκης για εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων, το σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας, κυρίως στις προηγμένες βιομηχανικά χώρες, δηλαδή εκεί όπου το πρόβλημα έγινε πρώτα αντιληπτό. Οι έρευνες έδειξαν ότι η συμπίεση και ταφή των στερεών αστικών απορριμμάτων στις χωματερές και γενικότερα η αλόγιστη διάθεσή τους στο φυσικό περιβάλλον έχει σημαντικές επιπτώσεις, οι οποίες μάλιστα χαρακτηρίστηκαν ως «πρώτης προτεραιότητας» στις δράσεις της ΕΕ που θεσπίστηκαν για την αντιμετώπισή τους. Από τα παραπάνω έγινε αναγκαία η επίτευξη «αειφορίας» στη διαχείριση των ΑΣΑ, στοιχείο που τόνισε την αναζήτηση και υιοθέτηση-εφαρμογή αντίστοιχων λύσεων και σχεδιασμών.

Προς την κατεύθυνση της αποτελεσματικότερης και αειφορικής διαχείρισης των ΑΣΑ, έχουν υιοθετηθεί και εφαρμόζονται τόσο σε διεθνή κλίμακα όσο και σε επίπεδο Ε.Ε., συγκεκριμένοι σχεδιασμοί διαχείρισης που αποσκοπούν στην «αειφορικότερη» διαχείριση των αποβλήτων, που διατίθενται στο περιβάλλον. Οι σχεδιασμοί αυτοί περιέχονται στην λίγο-πολύ γνωστή «**ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων**» (waste management hierarchy). Η ιεραρχία διαχείρισης των απορριμμάτων δεν είναι τίποτα άλλο παρά η «σειρά» με την οποία πρέπει να εφαρμόζονται οι διάφορες επιλογές στο σχεδιασμό της διαχείρισης των ΑΣΑ και η οποία αποτυπώνεται στην Οδηγία-Πλαίσιο για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων 75/442 όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΕ (Waste Framework Directive, 75/442 as amended by 91/156). Η ιεράρχηση των μεθόδων για τη διαχείριση των ΑΣΑ δεν έχει συγκεκριμένη και ειδική επιστημονική τεκμηρίωση αλλά προέκυψε κυρίως από τη σχετική εμπειρία σε συνδυασμό με την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος (van Beukering and Brander 2001) και αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους επίπεδα ή διακριτά στοιχεία:

- *ελαχιστοποίηση απορριμμάτων (waste reduction or minimisation),*
- *επανααρρησιμοποίηση υλικών (material re-use)*
- *ανάκτηση με ανακύκλωση, βιοσταθεροποίηση και ενέργεια (recovery including recycling, composting and energy) και*
- *διάθεση απορριμμάτων με περιβαλλοντικά ορθό τρόπο (environmentally sound waste disposal)*

Τα επιμέρους αυτά στοιχεία στο σχεδιασμό της διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ε.Ε. παρουσιάζονται συνήθως σε σχήματα αντίστροφης πυραμίδας, όπως αυτό που ακολουθεί (Σχήμα 2.2).



**Σχήμα 2.2.** Η ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων

**Figure 2.2.** The waste management hierarchy

(Πηγές: Scottish Environment Protection Agency 2001, van Beukering and Brander 2001

Προσαρμογή από το συγγραφέα)

Τα επιμέρους στοιχεία της «ιεραρχίας των απορριμμάτων» έχουν γίνει αντικείμενο πιλοτικών εφαρμογών και τα αποτελέσματά τους επεξεργάζονται οι συμβουλευτικές ομάδες ειδικών (Advisory Groups of Experts), οι οποίες συντάσσουν πορίσματα ερευνών (research reports), που υποβάλλονται στο διαχειριστικό-νομοθετικό όργανο, το οποίο για την Ε.Ε. είναι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission). Τα όργανα αυτά αποφασίζουν για το κάθε φορά υιοθετούμενο «οργανωτικό σχήμα» των



επιλογών αυτών, έχοντας σαν απώτερο στόχο την ελαχιστοποίηση των ποσοτήτων που διατίθενται τελικά στο περιβάλλον (minimization of waste disposal to the environment).

Παράλληλα, η Γενική Διεύθυνση για το Περιβάλλον (Directorate General for the Environment), η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environmental Agency-EEA) και άλλοι κυβερνητικοί και μη φορείς, εργάζονται από κοινού σε ερευνητικές δράσεις, πλοτικές εφαρμογές και μελέτες με στόχο την «αειφορικότερη» διαχείριση των απορριμμάτων. Αποτέλεσμα αυτών των οργανωμένων δράσεων είναι αφενός η δημιουργία και προώθηση ειδικού νομοθετικού πλαισίου για τη διαχείριση των ΑΣΑ και αφετέρου η ανάπτυξη και αξιοποίηση τεχνικών και συνδυασμών τεχνικών διαχείρισης των ΑΣΑ όπως ανακύκλωση-ανάκτηση υλικών (material recycling/recovery) από τα ΑΣΑ, κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος (biowaste compost) των ΑΣΑ, αποτέφρωση (incineration) των καύσιμων υλικών των απορριμμάτων με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας, πυρόλυση και αεριοποίηση, αναερόβια αποσύνθεση κλπ.

Επιπλέον, η Ε.Ε. έχει θεσπίσει εξειδικευμένες Οδηγίες όπως η Οδηγία-Πλαίσιο 78/319/ΕΟΚ «για τα τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα» που τροποποιήθηκε με την Οδηγία 91/689/ΕΟΚ «για τα τοξικά απόβλητα» καθώς και η Οδηγία 99/31/ΕΕ «για τις χωματερές» (Landfill Directive), που καθορίζουν το συνολικό νομοθετικό πλαίσιο μέσα στο οποίο τίθεται ο σχεδιασμός και η διαχείριση των απορριμμάτων.

Ειδικότερα για την περίπτωση του χαρτιού απορριμμάτων, η Ε.Ε. έχει θεσπίσει νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις, έχει εκδώσει την Οδηγία 94/62/ΕΕ “για τη Συσκευασία και τα Απορρίμματα Συσκευασίας” (Packaging Directive) η οποία αφορά το χαρτί συσκευασίας (packaging paper) αλλά παράλληλα δίνει κατευθυντήριες γραμμές για το ποια πρέπει να είναι η διαχείριση όλων των τύπων χαρτιού των ΑΣΑ. Τέλος, σε ότι αφορά το παλαιόχαρτο εφημερίδων (old newsprint-ONP) η Ε.Ε. δεν εφαρμόζει κάποιο ειδικό σχεδιασμό και διαφορετική διαχείριση, αφού εκτός από την τυποποίηση του παλαιόχαρτου των απορριμμάτων (standardization of wastepaper) δεν έχουν ληφθεί ειδικότερες αποφάσεις καθότι το θέμα της διαχείρισης του παλαιόχαρτου των ΑΣΑ στην Ε.Ε. βρίσκεται σε εξέλιξη και διότι πλέον η Ε.Ε. δεν εισάγει<sup>1</sup> μεγάλες ποσότητες ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού.

<sup>1</sup> Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι Σκανδιναβικές χώρες και ειδικότερα η Φινλανδία και η Σουηδία, οι οποίες μαζί με τη Γερμανία είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί ανακυκλωμένου χαρτιού εφημερίδων στην ΕΕ.



### 3. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ (MATERIAL AND SCOPE)

#### 3.1 Υλικό μελέτης

Υλικό της παρούσας μελέτης αποτελεί το χαρτί. Το χαρτί παράγεται από το ξύλο, με διάλυση της φυσικής δομής του (αποϊνώση του ξύλου-ξυλοπολτός) και με κατάλληλη χημική επεξεργασία. Για τον λόγο αυτό, επειδή καταστρέφεται (διαλύεται) η φυσική δομή του ξύλου και απομονώνονται χημικές ουσίες (πολυμερείς ή απλές χημικές ενώσεις), το χαρτί ανήκει στα χημικά προϊόντα του ξύλου, τα οποία αποτελούν αντικείμενο της χημικής τεχνολογίας του ξύλου (Φιλίππου 1986). Το ξύλο λόγω της χημικής σύστασής του καθώς και άλλων ειδικότερων παραγόντων<sup>1</sup>, αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη στην παραγωγή όλων των τύπων χαρτιού.

#### 3.1.1 Στοιχειακή-χημική σύσταση ξύλου και χαρτιού

Το ξύλο είναι ανομοιομορφο υλικό τόσον από άποψη δομής και φυσικών ιδιοτήτων όσον και από άποψη χημικής σύστασης και συμπεριφοράς. Ως οργανικό υλικό το ξύλο αποτελείται από άνθρακα (carbon, C), οξυγόνο (oxygen, O) και υδρογόνο (hydrogen, H) και από τη στοιχειακή ανάλυση (με βάση το ξηρό βάρος του ξύλου) προκύπτει ότι το ξύλο αποτελείται κατά 50% C, 44% O και 6% H, ενώ από αυτές τις αναλογίες προκύπτει ένας εμπειρικός τύπος ( $C_{1.5}H_{1.1}O_{1.0}$ ) για το ξύλο (Φιλίππου 1986). Επίσης, στο ξύλο υπάρχουν και μικρές ποσότητες (0.1-1.0%) αζώτου (N) και μεγάλος αριθμός μεταλλικών στοιχείων (K, Na, Ca, Mg, Fe, S, P, Al, Si, Ni κ.α.), τα οποία μετά την πλήρη καύση του ξύλου παραμένουν στην τέφρα (Τσουμής 1986, Φιλίππου 1986). Σε γενικές γραμμές δεν υπάρχουν ουσιαδεις διαφορές στη στοιχειακή σύσταση του ξύλου μεταξύ κωνοφόρων (coniferous) και πλατυφύλλων (deciduous) δασικών ειδών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

<sup>1</sup> Οι ίνες του ξύλου θεωρούνται ότι είναι οι πλέον κατάλληλες για παραγωγή χαρτιού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι συγκεντρώνουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα όπως μεγαλύτερο μήκος ίνας, αντοχή σε κάμψη, εφελκυσμό και διάτμηση (shearing) σε σχέση με τις ίνες άλλων λιγνοκυτταρικών υλικών (όπως π.χ. άχυρο), στοιχεία που τις καθιστούν προτιμότερες στη χαρτοποιία. Επίσης έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα διαδοχικής επαναπολοποίησης και λεύκανσης σε σχέση με άλλα υλικά. Τέλος, το χαρτί από ίνες ξύλου έχει μεγαλύτερη αντοχή στη σχίση, απορροφητικότητα και συνοχή σε σχέση με χαρτί από ίνες άλλων πρώτων υλών (Τσουμής 1986).

**Πίνακας 3.1.** Στοιχειακή σύσταση διαφόρων ειδών ξύλου (%)

**Table 3.1.** Elemental composition of several wood species (%)

Είδος ξύλου Wood species	Άνθρακας Carbon (C)	Οξυγόνο Oxygen (O)	Υδρογόνο Hydrogen (H)	Άζωτο Nitrogen (N)	Τέφρα Ash
Κωνοφόρα – Coniferous					
Πεύκη (Pine)	50.2	43.4	6.1	0.2	0.2
Ερυθρελάτη (Spruce)	50.0	43.5	6.0	0.2	0.3
Λάρικα (Larch)	49.6	44.2	5.8	0.2	0.2
Πλατύφυλλα – Broadleaves					
Δρυς (Oak)	49.2	44.2	5.8	0.4	0.4
Οξιά (Beech)	48.9	44.5	5.9	0.2	0.5
Σημύδα (Birch)	48.6	44.7	6.4	0.3	-
Λεύκη (Poplar)	49.7	44.0	6.3	-	-

Πηγή: Φιλίππου, 1986

Από άποψη χημικής σύστασης το ξύλο αποτελείται από μακρομοριακές (πολυμερείς) χημικές ενώσεις όπως πολυσακχαρίτες και λιγνίνη, οι οποίες μαζί με τα εκχυλίσματα<sup>2</sup> και την τέφρα (στερεό υπόλειμμα της πλήρους καύσης του ξύλου) σχηματίζουν τα δομικά συστατικά του ξύλου. Στους πολυσακχαρίτες (polysaccharides) ανήκουν ουσίες όπως η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες, οι πηκτινικές ουσίες και το άμυλο, οι δύο πρώτες εκ των οποίων είναι τα βασικά συστατικά του χαρτιού (Φιλίππου 1986). Η κυτταρίνη αποτελείται από μόρια γλυκόζης ( $C_6H_{12}O_6$ ), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μακρές αλυσίδες. Ο εμπειρικός τύπος της κυτταρίνης είναι  $(C_6H_{12}O_5)_n$ , όπου  $n$  είναι ο βαθμός πολυμερισμού, δηλαδή ο αριθμός των μορίων άνυδρης γλυκόζης σε κάθε αλυσίδα κυτταρίνης. Ο αριθμός αυτός στη «φυσική» κυτταρίνη, δηλαδή στην κυτταρίνη του ξύλου, κυμαίνεται κατά μέσο όρο μεταξύ 8.000-10.000 (Τσουμής 1986).

Υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα (variability) στη σχετική αναλογία της χημικής σύστασης του ξύλου, η οποία διαφέρει τόσο μεταξύ των διαφόρων δασικών ειδών όσο και μεταξύ των τμημάτων του ίδιου δέντρου (κορμός, κλάδοι, ρίζα), καθώς επίσης και μεταξύ κωνοφόρων και πλατυφύλλων ειδών ξύλου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

<sup>2</sup> Πρόκειται για χημικές ουσίες όπως λιπαρά οξέα, τερπένια (φαινόλες, λιγνάνες), χρωστικές ουσίες (ταννίνες), υδατάνθρακες και ανόργανες ουσίες, οι οποίες απομακρύνονται σχετικά εύκολα από το ξύλο με εκχύλιση (extraction) σε ουδέτερους διαλύτες (Φιλίππου 1986).



Πίνακας 3.2. Χημική σύσταση διαφόρων ειδών ξύλου (%)

Table 3.2. Chemical composition of several wood species (%)

Είδος ξύλου Wood species	Κυτταρίνη Cellulose	Ημικυτταρίνες Hemi-celluloses	Λιγνίνη Lignin	Εκχυλίσματα Extractives	Τέφρα Ash
Κωνοφόρα – Coniferous					
Ελάτη (Fir)	44.1	22.7	28.0	1.2	0.4
Λάρικα (Larch)	44.4	21.0	26.2	6.8	0.3
Ερυθρελάτη (Spruce)	46.0	22.4	27.3	4.0	0.3
Πεύκη (Pine)	52.2	18.3	26.3	3.0	0.2
Κυπαρίσσι (Cypress)	46.7	17.6	26.8	8.5	0.4
Πλατύφυλλα – Broadleaves					
Σφενδάμι (Maple)	41.5	33.3	23.1	1.8	0.3
Σημύδα (Birch)	48.5	29.3	19.4	2.5	0.3
Οξυά (Beech)	49.1	26.0	23.8	0.8	0.3
Δρυς (Oak)	41.1	16.4	29.6	12.6	0.3
Φράξος (Ash)	38.5	31.3	25.2	4.5	0.5

Πηγή: Φιλίππου, 1986

Όπως προαναφέρθηκε, για να παραχθεί χαρτί από το ξύλο απαιτείται η διάλυση της φυσικής δομής του ξύλου, δηλαδή αποϊνώση του ξύλου και δημιουργία του ξυλοπολτού. Στην παραγωγή ξυλοπολτού και κατ' επέκταση χαρτοπολτού διακρίνονται τρεις κατηγορίες μεθόδων: οι μηχανικές μέθοδοι (mechanical pulp), οι χημικές (chemical pulp) και οι ημιχημικές μέθοδοι (chemi-mechanical pulp), με διάφορες παραλλαγές ανάλογα με τον τεχνολογικό εξοπλισμό και το είδος του παραγόμενου χαρτιού<sup>3</sup>. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες συμμετέχουν στη σύσταση του χαρτιού σε μεγάλο (>85%) έως πολύ μεγάλο (~95%) ποσοστό και σε μικρότερα ποσοστά άλλες ουσίες όπως φαινόλες, αμμωνία και άλλα ανόργανα που περιέχονται σε υλικά επικάλυψης (coating) ή αδιαβροχοποίησης και σε πρόσθετα (fillers) βελτίωσης της ποιότητας επιφανείας, της δυνατότητας εκτύπωσης και άλλων ιδιοτήτων του χαρτιού<sup>4</sup> (Τσουμής 1986, Φιλίππου 1986).

Τέλος, σε ότι αφορά τη χημική σύσταση των αποβλήτων της ανακύκλωσης (απομελάνωση-επαναπολοποίηση) χαρτιού (de-inking papermill sludge, DPS), αυτά

<sup>3</sup> Ανάλογα με τον τύπο (είδος) του χαρτιού ακολουθείται διαφορετική επεξεργασία. Όταν απαιτείται υψηλή λευκότητα, γίνεται αποχωρισμός της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών από τη λιγνίνη (απολιγνινοποίηση, delignification) και τις άλλες χημικές ουσίες και λεύκανση (bleaching) του πολτού. Έτσι, γίνεται θερμική και μηχανική επεξεργασία και λεύκανση του πολτού και το χαρτί είναι προϊόν θερμομηχανικού πολτού (thermomechanical pulp, TMP). Αν γίνεται και χημική επεξεργασία κατά την αποϊνώση τότε πρόκειται για χημικό θερμομηχανικό πολτό (chemi-thermomechanical pulp, CTMP) κ.ο.κ.

<sup>4</sup> Ανάλογα με τη χρήση που προορίζεται το χαρτί μπορεί να προστίθενται και χρωστικές (pigments) ουσίες για χρωματισμό ή ακόμα και για βελτίωση της λευκότητας του χαρτιού (Τσουμής 1986).



περιέχουν οργανικά στοιχεία, όπως ίνες ξύλου (κύτταρα ξύλου), κυτταρίνη και ημικυτταρίνες, λιγνίνη και μικροοργανισμούς, καθώς και ελάχιστες ποσότητες ιχνοστοιχείων και ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>) (Baker 1991, Landmark 1999, Matsyik et al 2001). Το pH τους κυμαίνεται από 7.0–8.0 και η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N) είναι πολύ μεγάλη της τάξεως 100 - 400:1, δηλαδή πρόκειται για υλικό που είναι πολύ φτωχό σε άζωτο. Μετά την απομάκρυνση του νερού, προκύπτει ότι στα απόβλητα ανακύκλωσης περιέχονται σημαντικές ποσότητες στερεών υπολειμμάτων (solid de-inking residues) καθώς και ίχνη πολλών στοιχείων (Bates 2002), όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3 που ακολουθεί.

**Πίνακας 3.3.** Τυπικά πεδία των χημικών ιδιοτήτων βιοστερεών χαρτοποιίας

**Table 3.3.** Typical ranges of chemical properties of PPMB<sup>5</sup>

Παράμετρος	Μονάδες	Στερεά υπολείμματα ανακύκλωσης χαρτιού (Solid De-inking Residues)
Συνολικά στερεά	% (σε υγρή βάση)	41 - 57
Πτητικά στερεά	%	30 - 45
pH	-	7.0 - 8.0
Οργανικός άνθρακας	%	15 - 23
Αναλογία C:N	-	100:1 έως 400:1
Συνολικό άζωτο	mg/kg	500 - 1.500
Αμμωνία	mg/kg	5 - 167
Φώσφορος	mg/kg	190 - 940
Κάλιο	mg/kg	500 - 1.100
Μαγνήσιο	mg/kg	465 - 1.400
Θείο	mg/kg	1.200 - 4.200
Χαλκός	mg/kg	12 - 90
Ψευδάργυρος	mg/kg	17 - 40

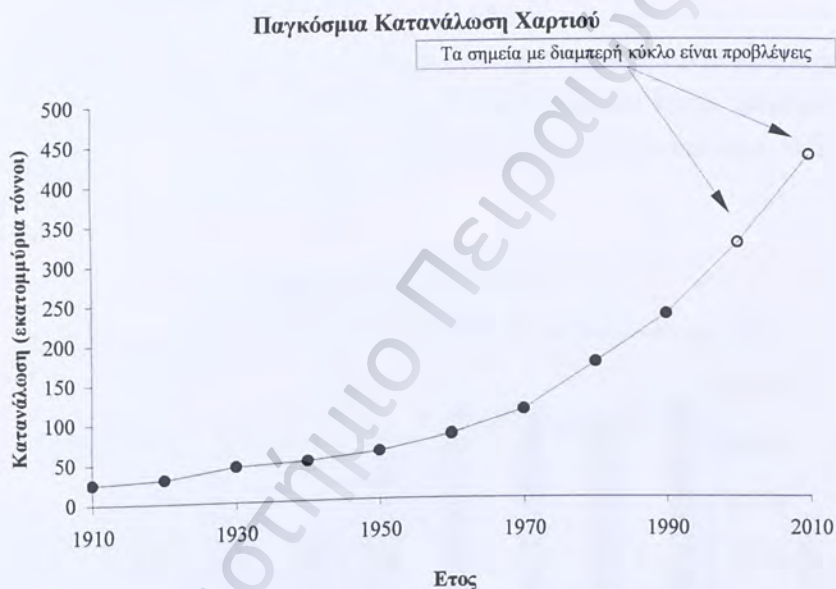
(Απόσπασμα από: Bates 2002, προσαρμογή-μετάφραση από το συγγραφέα)

<sup>5</sup> Pulp and Paper Mill Biosolids-PPMB

### 3.2 Πεδίο μελέτης (Scope)

Πεδίο μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί η αξιοποίηση του μεταχειρισμένου χαρτιού των απορριμμάτων (παλαιόχαρτο-wastepaper) και ειδικότερα μιας κατηγορίας αυτού, του παλαιόχαρτου εφημερίδων (old newspapers-ONP).

Είναι γνωστό ότι από το τέλος του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου και ειδικότερα μετά το 1950 παρατηρήθηκε μια σταθερά αυξανόμενη χρήση χαρτιού<sup>6</sup> (Σχήμα 3.1).



**Σχήμα 3.1.** Εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης χαρτιού την περίοδο 1910-2010.

**Figure 3.1.** Evolution of world paper consumption over the 1910-2010 period.

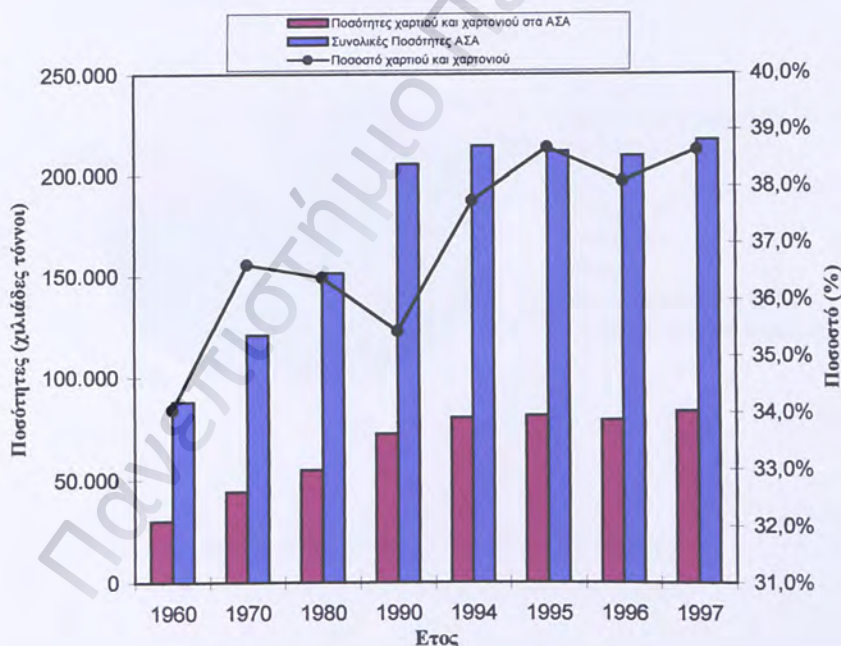
(Πηγή: IIED 1998, Προσαρμογή από το συγγραφέα)

Αυτή η εξέλιξη στην κατανάλωση του χαρτιού αποδόθηκε, αρχικά, στη μεταβολή των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών μετά τον πόλεμο και ιδιαίτερα στην αύξηση του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (ΑΕΠ) των αναπτυσσόμενων βιομηχανικά κρατών. Όμως, στη συνέχεια διαπιστώθηκαν και άλλοι λόγοι με ανάλογο βαθμό συμμετοχής.

<sup>6</sup> Ο όρος «χαρτί» περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες χαρτιού όπως χαρτί γραφείου, χαρτί εκτύπωσης, χαρτί οικιακής χρήσης, δημοσιογραφικό χαρτί, χαρτί συσκευασίας, χαρτόνι κ.λπ. και θα έχει αυτή την έννοια σε όλο το κείμενο, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

Στο Σχήμα 3.1, παρατηρείται ένα «κατώφλι» (threshold) στην παγκόσμια κατανάλωση χαρτιού. Από τη δεκαετία του 1970 και μετά η παγκόσμια κατανάλωση χαρτιού αυξάνει περισσότερο (εντονότερη κλίση της καμπύλης), αφού αφενός η χρήση των εφαρμογών Η/Υ (μηχανοργάνωση, εκτυπώσεις κλπ.) επεκτείνεται συνεχώς και αφετέρου η ευκολία χρήσης (σε πολλές και διαφορετικής φύσης εφαρμογές) και η χαμηλή τιμή του χαρτιού, συμβάλλουν στην εκθετική αύξηση της κατανάλωσης σε παγκόσμια κλίμακα. Αποτέλεσμα ήταν να αυξηθεί η ποσότητα του χαρτιού που συμμετέχει στη σύνθεση των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΠΕΔ 1998).

Σύμφωνα με μια μελέτη, που έγινε για λογαριασμό της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency-EPA), προκύπτει ότι η ποσότητα του χαρτιού διαχρονικά, σαν υλικό του «ρεύματος» των ΑΣΑ, είναι διαρκώς αυξανόμενη (EPA 1998, Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2. Ποσότητες παλαιόχαρτου στις ΗΠΑ

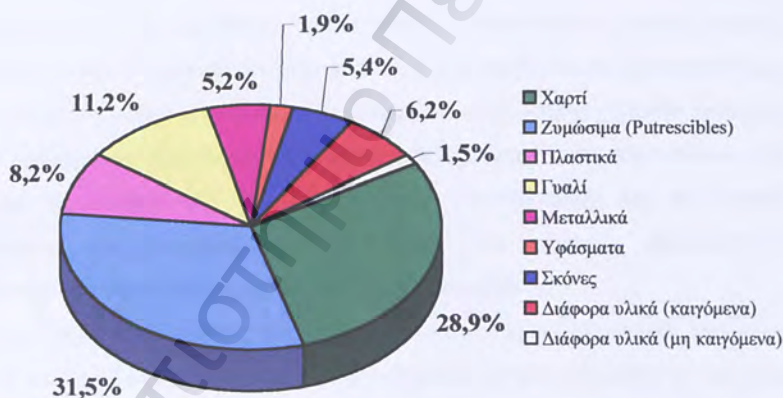
Figure 3.2. Quantities of wastepaper in the US

(Πηγή: Environmental Protection Agency, 1998)



Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.2, το χαρτί αποτελεί σημαντικό μέρος του «ρεύματος» των ΑΣΑ, αφού σύμφωνα με την ΕΡΑ (1998) ανέρχεται στο 37% των συνολικών ποσοτήτων των ΑΣΑ που παράγονται στις ΗΠΑ και θεωρείται ελάχιστα μειωμένο σε σχέση με στοιχεία του Denison (1996) όπου το ποσοστό συμμετοχής του χαρτιού στα ΑΣΑ των ΗΠΑ ανερχόταν σε 38,9%.

Κατά αντίστοιχο τρόπο, στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.-European Union, EU) το χαρτί συμμετείχε σε ποσοστό 25,2% (World Bank 1999) ή σε 26,2% (ECOTEC et al. 1999) κατά μέσο όρο<sup>7</sup> στο «ρεύμα» των ΑΣΑ, ενώ σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη (Smith et al. 2001), το ποσοστό αυτό αυξήθηκε ελαφρά το έτος 2000 και ανήλθε στο 28,9% των συνολικών ποσοτήτων ΑΣΑ (Σχήμα 3.3), που αν και αυξημένο παραμένει χαμηλότερο απ' ό τι το αντίστοιχο ποσοστό για τις ΗΠΑ.



Σχήμα 3.3. Μέση σύνθεση των ΑΣΑ στην Ε.Ε.-15

Figure 3.3 Average MSW composition in the EU-15

<sup>7</sup> Αυτό εν μέρει οφείλεται στο υψηλό ποσοστό ανάκτησης του χαρτιού πριν την είσοδό του στο «ρεύμα» των ΑΣΑ, με εφαρμογή προγραμμάτων μείωσης των απορριμμάτων στην πηγή (π.χ. ειδικοί κάδοι συλλογής χαρτιού) και εν μέρει στις διαφορετικές καταναλώσεις χαρτιού των επιμέρους χωρών-μελών της Ε.Ε.

Από την άλλη πλευρά, η ανάγκη για κάλυψη της αυξανόμενης κατανάλωσης χαρτιού έχει, μεταξύ άλλων, μια πάρα πολύ σημαντική συνέπεια: την καταστροφή των δασών και εν γένει των δασικών οικοσυστημάτων. Είναι γνωστό ότι το χαρτί προέρχεται από το ξύλο, με πολτοποίηση και κατάλληλη επεξεργασία. Μάλιστα, για κάθε τύπο χαρτιού έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται ειδικότερη τεχνολογία παραγωγής. Τα δύο τρίτα της παραγωγής χαρτιού βασίζονται σήμερα σε «παρθένες» πρώτες ύλες<sup>8</sup>, δηλαδή προέρχονται από το ξύλο των δέντρων.

Τα δέντρα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή χαρτιού είτε προέρχονται από ελεγχόμενη διαχείριση δασών είτε από ειδικές για το σκοπό αυτό καλλιέργειες (φυτείες). Όμως, η καταστροφή παρθένων ή σημαντικών δασών συνεχίζεται με σκοπό την αντικατάστασή τους από εντατικές καλλιέργειες επιλεγμένων δέντρων, τα οποία αναπτύσσονται πολύ γρήγορα, είναι δηλαδή ταχυαυξη (όπως διάφορα είδη ευκαλύπτου, λεύκης κλπ). Τα τεχνητά «δάση» όμως αποτελούν μονοκαλλιέργεια, που δεν έχει καμία σχέση με την ποικιλότητα των μορφών ζωής (χλωρίδα και πανίδα) που απαντώνται σε ένα φυσικό δασικό οικοσύστημα. Οι καλλιέργειες (φυτείες) ταχυαζών δασοπονικών ειδών «συνοδεύονται» από όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η σύγχρονη αγροτική καλλιέργεια, όπως: εντατική χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, εξάντληση της παραγωγικής ικανότητας και του υπόγειου νερού που έχει ως επακόλουθο την ερημοποίηση (desertification) και σε ορισμένες περιπτώσεις την αλατοποίηση (salinisation) των εδαφών, εξαφάνιση και ελαχιστοποίηση της ποικιλίας των ειδών (βιοποικιλότητας).

Επίσης, οι εργασίες υλοτομίας των δέντρων, συγκομιδής και μεταφοράς των κορμών γίνονται με βαριά μηχανήματα και λοιπά οχήματα, τα οποία συμπιέζουν το έδαφος, προκαλούν εκτεταμένες ζημιές στα ιστάμενα δέντρα και σημαντική ηχητική ενόχληση στα έμβια του δασικού οικοσυστήματος.

Τέλος, παρά τις περί του αντιθέτου νεοεμφανισθείσες απόψεις ειδικών και μη, τα νεκρά και κατακείμενα δέντρα καθώς και όλο το φυτικό υλικό που νεκρώνεται, πρέπει να παραμένει στο δάσος και όχι να απομακρύνεται από αυτό, αφού αποτελεί πηγή τροφής και καταφύγιο για πολλές μορφές ζωής όπως πουλιά και ζώα, έντομα, μικροοργανισμοί, συμβάλλοντας έτσι και ενισχύοντας σημαντικά τη διατήρηση της βιοποικιλότητας του δασικού οικοσυστήματος (Earth Summit, 1992).

<sup>8</sup> Το ποσοστό ανακύκλωσης χαρτιού σε παγκόσμιο επίπεδο έχει ανέλθει κατά μέσο όρο στο 40% με ανοδικές τάσεις, κυρίως στις βιομηχανικές χώρες, ενώ στην παραγωγή χαρτιού χρησιμοποιούνται και πρώτες ύλες που προέρχονται από άλλες φυτικές πηγές, όπως φύκια, άχυρα, ρύζι, πάπυρος κ.λπ. σε πολύ μικρές ποσότητες.



Σημειώνεται εδώ ότι η μείωση του ποσοστού δασοκάλυψης παγκοσμίως συνδέεται με την αλλαγή του κλίματος του πλανήτη, την αύξηση των ποσοτήτων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, με την «τρύπα» του όζοντος και γενικά με πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που είναι άκρως σημαντικές ακόμα και για τη ζωή του ανθρώπου (FAO, 2001).

Ο συνδυασμός των γεγονότων αυτών, δηλαδή της αυξανόμενης κατανάλωσης χαρτιού και της αυξανόμενης καταστροφής των δασικών οικοσυστημάτων, μαζί με τις απαιτήσεις του μοντέλου «αειφορικής ανάπτυξης», έχει οδηγήσει σε προσπάθεια για μείωση της κατανάλωσης χαρτιού με εφαρμογή κατάλληλων πολιτικών<sup>9</sup> και με ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων διαχείρισης του χαρτιού των απορριμμάτων.

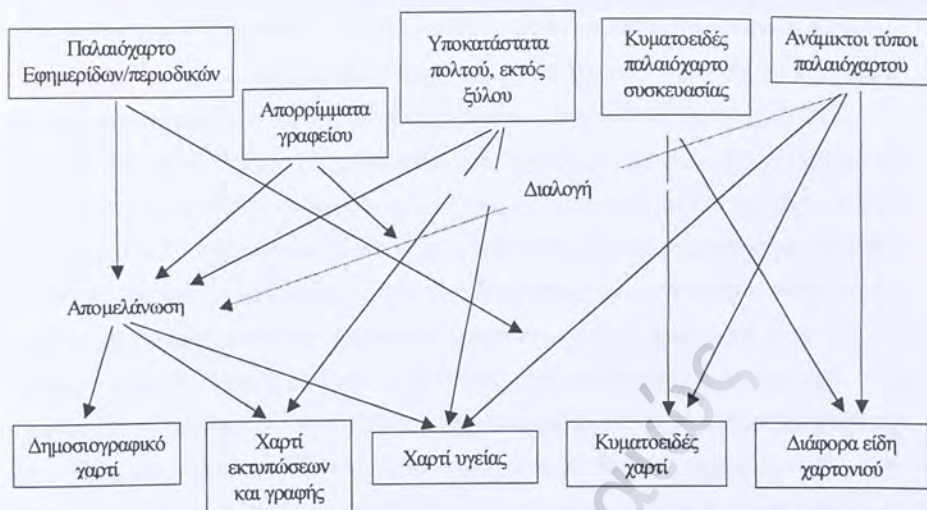
Μεταξύ των τύπων του χαρτιού των αστικών στερεών απορριμμάτων, το παλαιόχαρτο εφημερίδων παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά (**πλεονεκτήματα**) που το καθιστούν στόχο της παρούσας εργασίας. Σε γενικές γραμμές αυτά είναι:

- \* Είναι υλικό καθημερινής χρήσης
- \* Αποτελεί βασικό συστατικό των ΑΣΑ, αφού συμμετέχει με μεγάλο ποσοστό σ' αυτά
- \* Μπορεί να ανακτηθεί εύκολα και σχετικά οικονομικά από το «ρεύμα» των ΑΣΑ
- \* Με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί ν' αποτελέσει πρώτη ύλη για όλους τους άλλους τύπους χαρτιού (σε μικρότερο ποσοστό συμμετέχει στην παραγωγή ανακυκλωμένου κυματοειδούς χαρτονιού συσκευασίας και άλλων τύπων χαρτονιού, βλ. σχήμα 3.4)
- \* Έχει σημαντικά υψηλό θερμικό περιεχόμενο

---

<sup>9</sup> Στις ΗΠΑ και την ΕΕ γίνεται τελευταία μια προσπάθεια για μείωση της χρήσης χαρτιού γραφείου για επικοινωνία, μέσω κατάλληλης προπαγάνδας (service substitution) ώστε να χρησιμοποιείται η ηλεκτρονική αλληλογραφία (e-mail), αφού έτσι καταναλώνεται λιγότερο χαρτί, εξοικονομείται ενέργεια και δεν προκαλείται ρύπανση στο περιβάλλον -η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των Η/Υ δε ρυπαίνει το περιβάλλον- (ΠΕΔ, 1998)





**Σχήμα 3.4.** Τύποι παλαιόχαρτου (ανακτώμενο) – κύριες τελικές χρήσεις

**Figure 3.4.** Recovered wastepaper grades – main end uses

(Πηγή: CEPI, Special Report, Recycling 1999.-Μετάφραση από το συγγραφέα)

Στο θέμα για το ποιος τύπος χαρτιού συμφέρει περισσότερο να παράγεται από παλαιόχαρτο εφημερίδων, υπάρχει διάσταση απόψεων. Άλλοι υποστηρίζουν ότι πρέπει να παράγονται όλοι οι τύποι χαρτιού (όπως η Ε.Ε.), άλλοι μόνο δημοσιογραφικό χαρτί (όπως ο Καναδάς) και άλλοι χαρτί συσκευασίας (όπως η Ινδία και ορισμένες τρίτες χώρες). Το θέμα αυτό έχει αντιμετωπισθεί στις λεγόμενες χαρτοπαραγωγικές χώρες (Καναδάς, Φινλανδία, Σουηδία) καθώς και στις ΗΠΑ. Η άποψη που διατυπώνεται είναι ότι από παλαιές εφημερίδες πρέπει να παράγεται δημοσιογραφικό χαρτί (newsprint to newsprint manufacture) διότι το δημοσιογραφικό χαρτί έχει ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά<sup>10</sup>. Επίσης, με την ανάπτυξη των μεθόδων απομελάνωσης και παράλληλα τη χρήση νέων τύπων μελάνης, έχει γίνει πιο συμφέρουσα η απομελάνωση και παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού από παλαιόχαρτο εφημερίδων (Newspaper Association of America-NAA, 2001).

Αυτό βεβαίως δεν αποκλείει το γεγονός σημαντικές ποσότητες παλαιόχαρτου εφημερίδων να συμμετέχουν στην παραγωγή και άλλων τύπων χαρτιού, κυρίως σε έντονα εισαγωγικές σε χαρτί χώρες. Κάτι τέτοιο γίνεται στη χώρα μας από ορισμένες

<sup>10</sup> Σημαντικό μάκρος ινών, αντοχή σε περιτύλιξη και σχίσση, εκτυπωσιμότητα (printability), αδιαφάνεια (opacity), ικανοποιητική λευκότητα είναι μερικές από τις ιδιότητες που πρέπει να έχει το δημοσιογραφικό χαρτί, τις οποίες σε ικανοποιητικό έως αρκετά ικανοποιητικό βαθμό συνεχίζει να έχει μετά από ανακύκλωση (Eriksson et al. 1997).

μονάδες παραγωγής χαρτιού, οι οποίες χρησιμοποιούν το παλαιόχαρτο απορριμμάτων (και μεταξύ αυτού και εφημερίδων) στην παραγωγή χαρτιών οικιακής χρήσης αλλά και χαρτιού εκτυπώσεων και συσκευασίας (website, Χαρτοποιία Θράκης 2002).

Στο σημείο αυτό αξίζει ν' αναφερθεί ότι, σύμφωνα με την EPA (1998) το παλαιόχαρτο εφημερίδων ανέρχεται στο 16,5% της συνολικής ποσότητας χαρτιού στα ΑΣΑ ή στο 7-8% της συνολικής ποσότητας των ΑΣΑ. Επίσης, σύμφωνα με την EPA (1998) καθώς και με μια άλλη μελέτη (Denison 1996) το παλαιόχαρτο εφημερίδων έχει το υψηλότερο ποσοστό ανάκτησης (recovery rate) σε σχέση με τους άλλους τύπους χαρτιού απορριμμάτων. Άλλωστε, ο σχεδιασμός διαχείρισης του παλαιόχαρτου εφημερίδων είναι μέρος ενός συνολικότερου σχεδιασμού διαχείρισης των ΑΣΑ και θεωρείται δεδομένο ότι στόχος ενός τέτοιου σχεδιασμού είναι η ελαχιστοποίηση της τελικής προς διάθεση στο περιβάλλον ποσότητας απορριμμάτων. Επιπλέον, ουσιαστικής σημασίας για έναν τέτοιο σχεδιασμό είναι η λήψη απόφασης σχετικά με το ποιες επιλογές (options) μπορούν να εφαρμοσθούν στη σχεδιαζόμενη διαχείριση του υλικού-στόχου. Η λήψη αποφάσεων σήμερα στηρίζεται σε σύγχρονες μεθοδολογίες υποστήριξης αποφάσεων, όπως είναι η πολυκριτηριακή ανάλυση (multi-criteria analysis, MCA) και οι διάφορες τεχνικές της.

Απ' όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, γίνεται κατανοητό ότι το παλαιόχαρτο εφημερίδων είναι υλικό που μπορεί να συμπεριληφθεί στον αειφορικό σχεδιασμό και διαχείριση των αστικών στερεών απορριμμάτων. Λαμβανομένου δε υπόψη του γεγονότος ότι το χαρτί απορριμμάτων έχει τύχει από καιρό του ενδιαφέροντος των επιστημόνων αλλά και τα υγρά απόβλητα της ανακύκλωσης του χαρτιού πιο πρόσφατα, η παρούσα εργασία εστιάζει στην επιλογή μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων και των υγρών αποβλήτων της ανακύκλωσης με εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης, σκοπεύοντας έτσι σε μια μικρή συμβολή προς την αειφορική χρήση των πόρων μέσω κατάλληλων σχεδιασμών και διαχείρισης των υλικών από τα ΑΣΑ.



#### 4. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας θεωρείται ότι αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι σε οποιαδήποτε μελέτη περίπτωσης (case study) και εν γένει έρευνα και αποτελεί βασικό στοιχείο τεκμηρίωσης των θέσεων και απόψεων που παρουσιάζονται στην διαπραγμάτευση ενός ζητήματος τόσο ενδιαφέροντος, όσο μπορεί να είναι η διαχείριση των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ).

Ένας τεράστιος όγκος βιβλιογραφίας που σχετίζεται με γενικά και ειδικά (επιμέρους) θέματα της διαχείρισης των ΑΣΑ, έχει αναπτυχθεί σε διεθνές και εθνικό/τοπικό επίπεδο, σε παγκόσμια κλίμακα. Ο βιβλιογραφικός αυτός όγκος παρουσιάζει εντυπωσιακή αύξηση ειδικότερα μετά τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αυτό εξηγείται από την εντατικοποίηση της έρευνας με στόχο την επίτευξη της άριστης κάθε φορά ή αειφορικής διαχείρισης των ΑΣΑ, γεγονός που εμπίπτει στα πλαίσια της γενικότερης προσπάθειας για επίτευξη της καλούμενης «αειφορικής» ανάπτυξης.

Η διαχείριση των απορριμμάτων και ειδικότερα των ΑΣΑ έχει να επιδείξει πλούσια, εκτενή και διαρκώς εμπλουτιζόμενη βιβλιογραφία. Η βιβλιογραφία καλύπτει σχεδόν όλα τα αντικείμενα της διαχείρισης των ΑΣΑ, διαφέρει όμως ως προς την έκταση για κάθε περίπτωση που εξετάζεται. Έτσι, ενώ η βιβλιογραφία που αναφέρεται γενικά στα διάφορα συστήματα διαχείρισης των ΑΣΑ (π.χ. ένα σύστημα είναι «διαχωρισμός στην πηγή και συλλογή του παλαιόχαρτου στο κράσπεδο-source reduction and curbside collection of wastepaper», άλλο σύστημα είναι «μεταφορά σε ειδικά δοχεία-bring system» κ.α.) είναι εκτενής, ενώ αυτή που αναφέρεται στις επιλογές μεθόδου διαχείρισης των ΑΣΑ ή στα επιμέρους στοιχεία τους είναι λίγο ή πολύ περιορισμένη. Αυτό οφείλεται σε πολλούς λόγους, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι η διαφορετική σύσταση των ΑΣΑ<sup>1</sup>, τα εφαρμοσμένα διαφορετικά συστήματα διαχείρισης των ΑΣΑ, η ανομοιόμορφη «πίεση» που δημιουργεί η διάθεση των ΑΣΑ στο περιβάλλον<sup>2</sup>, οι διαφορές στη διερεύνηση των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης των ΑΣΑ, οι διαφορετικές τεχνολογικές δυνατότητες από περιοχή σε περιοχή της γης, καθώς και αρκετοί άλλοι, που δεν κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν εδώ.

<sup>1</sup> Διαφορετική σύσταση έχουν τα ΑΣΑ των προηγμένων χωρών και άλλη των αναπτυσσόμενων.

<sup>2</sup> Ενώ από τα μέσα της δεκαετίας του '80 οι ΗΠΑ αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα στην εξεύρεση χώρων για δημιουργία «χωματερών» διάθεσης των ΑΣΑ, στην Ελλάδα δεν είχε παρατηρηθεί κάτι ανάλογο την ίδια χρονική περίοδο.

Για λόγους καλύτερης αντιμετώπισης του θέματος της εργασίας, η βιβλιογραφία διακρίθηκε σε γενική και ειδική. Πιο αναλυτικά, η γενική βιβλιογραφία σχετίζεται με την ανακύκλωση των απορριμμάτων, στα πλαίσια ενός συνολικού σχεδιασμού της διαχείρισης των ΑΣΑ. Επιπλέον, μέρος της γενικής βιβλιογραφίας αναφέρεται στη θεωρία των πολυκριτηριακών μεθόδων, παρέχοντας έτσι τη βάση της επιστημονικής τεκμηρίωσή τους. Η ειδική βιβλιογραφία αναφέρεται σε βιβλία, μελέτες, ερευνητικές εργασίες και άρθρα ανασκόπησης, που δίνοντας έμφαση σε δευτερεύουσες (εναλλακτικές μεταξύ τους) μεθόδους όπως, αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας, κομποστοποίηση με αερόβια αποσύνθεση μαζί με άλλα οργανικά υλικά των ΑΣΑ, αναερόβια χώνευση για παραγωγή βιοαερίου κ.λπ. σχετίζονται με τη διαχείριση του παλαιόχαρτου των απορριμμάτων και, όπου στάθηκε δυνατόν, με τη λήψη απόφασης για την αξιοποίησή του.

Ακόμη, θεωρείται σημαντικό να αναφερθούν οι ευρύτερες πηγές της βιβλιογραφίας που ανασκοπήθηκε. Έτσι, το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας, προήλθε κατά κύριο λόγο από διάφορες χώρες-μέλη της Ε.Ε. και από τις ΗΠΑ, τον Καναδά και δευτερευόντως την Αυστραλία, συνεπώς ως επί το πλείστον η βιβλιογραφία είναι ξενόγλωσση, ενώ ελάχιστη είναι η σχετική ελληνική βιβλιογραφία. Επιπλέον, σημειώνεται ότι τα περισσότερα βιβλιογραφικά στοιχεία αντλήθηκαν από το Διαδίκτυο (Internet) καθώς και από συλλογές εξειδικευμένων βιβλιοθηκών (π.χ. βιβλιοθήκη του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών Αθηνών), ενώ ορισμένα ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, που παρουσιάζονται σε διάφορα κεφάλαια μέσα στο κείμενο, προήλθαν από προσωπική επικοινωνία του συγγραφέα με διάφορες πηγές.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι γενικά το παλαιόχαρτο των απορριμμάτων έχει γίνει αντικείμενο έρευνας ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του '70 (ΗΠΑ), τόσο από άποψη διαχείρισης (managerial viewpoint) όσο και από άποψη σχεδιασμού (planning) μεθόδων για την αξιοποίησή του (Liberatore, Rauer and Krendel, 1974).

Όσον αφορά τη διαχείριση του παλαιόχαρτου απορριμμάτων η διεθνής βιβλιογραφία καλύπτει τις γνωστές μεθόδους αξιοποίησής του και αξιοποιεί εν μέρει μεθοδολογίες που είναι αποδεκτές στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων. Οι περισσότερες μελέτες και ερευνητικές εργασίες αναφέρονται σε μεθόδους αξιοποίησης μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, περιλαμβάνουν συγκρίσεις μεταξύ σχημάτων διαχείρισης ή/και μεθόδων αξιοποίησης (κατά κύριο λόγο αναφέρονται στην ανακύκλωση και την καύση με ανάκτηση ενέργειας). Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος των βιβλιογραφικών



αναφορών βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά στη μεθοδολογία της ανάλυσης ή εκτίμησης κύκλου ζωής (life cycle analysis/assessment – LCA), τα αποτελέσματα της οποίας λίγες φορές αξιοποιούνται στη λήψη αποφάσεων, αφού σχεδόν πάντα αποτελούν θέμα έντονης κριτικής και αμφισβήτησης.

Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες δημοσιεύσεις (άρθρα, ερευνητικές εργασίες, μελέτες κ.λπ.) προσεγγίζουν το θέμα της ανακύκλωσης του χαρτιού των απορριμμάτων ως κύριας μεθόδου διαχείρισης είτε εξετάζοντας αυτή ως μοναδική μέθοδο αξιοποίησής του είτε συγκρίνοντάς τη με μια διαφορετική επιλογή διαχείρισης, είτε έμμεσα προωθώντας την ανακύκλωση παρουσιάζοντας τις διάφορες οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις από την εφαρμογή της καθώς και καθαυτό μεθοδολογικές προσεγγίσεις-απόψεις, όπως:

- οικονομικότητα του συστήματος (συλλογής-ανάκτησης-ανακύκλωσης του χαρτιού σε σχέση με άλλες πρακτικές, με σύγκριση της ανακύκλωσης με την καύση του παλαιόχαρτου για ανάκτηση ενέργειας (Powell 1996, Powell, Craighill, Parfitt and Turner 1996, Powell, Pearce and Howarth 1999),
- οικονομική διερεύνηση της ανακύκλωσης ως κύριας μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου, που αναφέρεται στην ωριμότητα του κοινωνικού συνόλου, το βαθμό αποδοχής-απόρριψης άλλων πρακτικών, το ρόλο των αγορών ανακυκλώσιμων υλικών (Nestor 1994, Huhtala and Samakovlis 1996, Huhtala 1999),
- εκτίμηση οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εφαρμογή της ανακύκλωσης του χαρτιού (Byström and Lönnstedt 1997)
- μεθοδολογικές προσεγγίσεις σχετικά με την ανακύκλωση του χαρτιού (Byström and Lönnstedt 2000), την ανάλυση κύκλου ζωής της ανακύκλωσης του χαρτιού (Grieg-Gran 1995, Ekvall 1999, 2000), τις διαφορές μεταξύ χωρών στην ανάκτηση και αξιοποίηση του παλαιόχαρτου (Berglund, Söderholm and Nilsson 2002),

Επίσης, για τη διαμόρφωση άποψης πάνω στην πολιτική που ακολουθείται στην Ε.Ε. διερευνήθηκαν τεχνικές εκθέσεις για την πολιτική αειφορικής διαχείρισης των ΑΣΑ σε σχέση με τις υπάρχουσες λύσεις και τη θέση τους στην ιεραρχία των μεθόδων (ECOTEC 2001, Powell *et al.* 2001) καθώς και ειδικές κλαδικές μελέτες για την πολιτική ανάκτησης-ανακύκλωσης μεμονωμένων προϊόντων, όπως του δημοσιογραφικού χαρτιού (BNMA 1995, 1999).

Από την πλειοψηφία της ανασκοπηθείσας βιβλιογραφίας για την ανακύκλωση του χαρτιού τεκμηριώνεται η άποψη ότι η ανακύκλωση του χαρτιού αποτελεί ουσιαστικά κύρια μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ και εντάσσεται στην προσπάθεια για αειφορική χρήση των φυσικών πόρων και διαχείριση των απορριμμάτων.

Η ειδική βιβλιογραφία αναφέρεται στο ιστορικό (εξέλιξη) και τη συμμετοχή στη διαχείριση των ΑΣΑ αλλά και την τρέχουσα κατάσταση (state-of-the-art) των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου ανακυκλωμένων εφημερίδων και των υγρών αποβλήτων ανακύκλωσης χαρτιού, οι οποίες αποτελούν το υλικό που θα αξιολογηθεί με την πολυκριτηριακή ανάλυση.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## 5. ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ-ΣΥΛΛΟΓΗ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ

Όπως τονίστηκε στο πεδίο μελέτης (scope), αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελούν οι παλιές εφημερίδες και συγκεκριμένα η επιλογή μεθόδου αξιοποίησής τους με πολυκριτηριακή ανάλυση.

Για την ολοκληρωμένη και επιτυχή αντιμετώπιση του θέματος θεωρείται ουσιαστική η καταγραφή των εισροών (inputs) στο συνολικό σύστημα. Δηλαδή, είναι σημαντικό να γίνει εντοπισμός των «πηγών» και καταγραφή των ποσοτήτων των παλαιών εφημερίδων, οι οποίες δεν οδηγούνται στη χωματερή, αλλά είναι διαθέσιμες για εναλλακτική αξιοποίηση (όπως ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, αερόβια χώνευση κ.λπ.). Οι εισροές (διαθέσιμες ποσότητες) παλαιών εφημερίδων προέρχονται τόσο από το σύστημα διακίνησης των εφημερίδων όσον και από το σύστημα συλλογής-ανάκτησης των παλαιών εφημερίδων από τα ΑΣΑ. Έτσι, θα εξετασθούν οι δύο αυτές «πηγές», όσον αφορά τη συμβολή τους στο όλο σύστημα διαχείρισης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Στην παρούσα εργασία, λόγω του τεθέντος σκοπού και της περιορισμένης γεωγραφικής εκτάσεως στην οποία αναφέρεται ο σκοπός, θα γίνει εστίαση στο σύστημα διακίνησης των εφημερίδων και στο σύστημα συλλογής παλαιών εφημερίδων από τα ΑΣΑ, στο επίπεδο του νομού και ειδικότερα για το νομό Αττικής.

### 5.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ

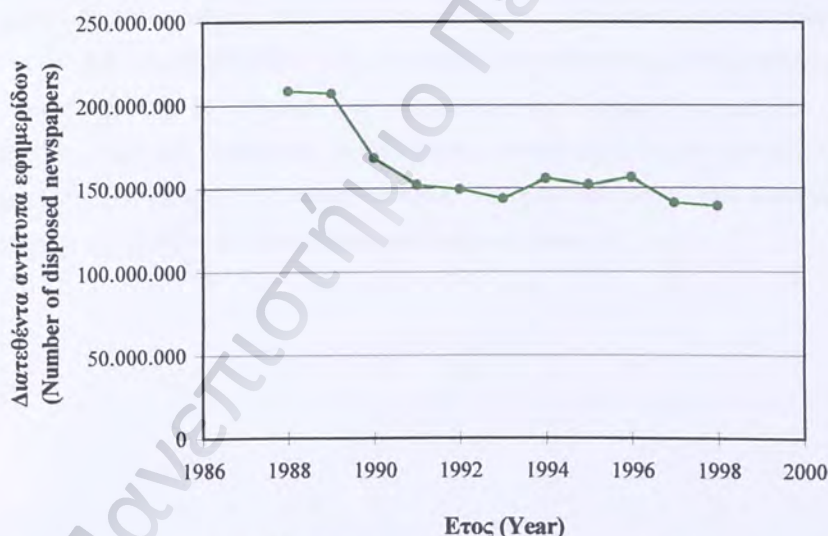
#### 5.1.1 Γενικά

Η σύγχρονη πρακτική για την «κυκλοφορία» ενός αγαθού ή η διαδικασία με την οποία ένα προϊόν «φθάνει» στην αγορά γίνεται μέσω της λεγόμενης «εφοδιαστικής αλυσίδας», που αποδίδεται με τον όρο 'logistics'. Στην περίπτωση που τα αγαθά που διακινούνται είναι ανακυκλώσιμα υλικά (recyclable materials) όπως χαρτί, γυαλί κ.λπ. και εφόσον η ζήτηση καλυφθεί από την προσφορά, τότε οι αδιάθετες ποσότητες των υλικών αυτών επιστρέφουν μέσω «αντίστροφης» εφοδιαστικής αλυσίδας (reverse logistics) εκεί απ' όπου προήλθαν. Εφαρμόζεται δηλαδή μια εφοδιαστική αλυσίδα διπλής κατεύθυνσης, η οποία εξυπηρετεί τόσο την προώθηση και διακίνηση των προϊόντων προς την αγορά όσον και την επιστροφή αδιάθετων ποσοτήτων, χρησιμοποιημένων προϊόντων, εξαρτημάτων κ.λπ. (Παπής 2002). Όπως για κάθε εμπορεύσιμο ανακυκλώσιμο υλικό, έτσι και για τις εφημερίδες, ισχύει αυτή η εφοδιαστική και αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα ή «σύστημα διακίνησης».

Στην έννοια του «συστήματος διακίνησης» περιλαμβάνεται το σύνολο των ποσοτήτων των προϊόντων που διακινούνται μέσα στην αγορά ή σε ένα τμήμα της. Η έκφραση «σύστημα διακίνησης» έχει νόημα ακόμη και όταν αναφέρεται στη διακίνηση των ποσοτήτων ενός μόνο προϊόντος. Επίσης, η έννοια του συστήματος διακίνησης είναι στενά συνδεδεμένη με το μέγεθος της γεωγραφικής περιοχής στην οποία αυτό αναφέρεται (νομός, χώρα κ.λπ.).

### 5.1.2 Σύστημα διακίνησης των εφημερίδων στην Αττική

Η διακίνηση των εφημερίδων στο νομό Αττικής, αλλά και γενικότερα σε ολόκληρη την Ελλάδα γίνεται από τα πρακτορεία διανομής ημερήσιου και περιοδικού τύπου. Η διανομή των εφημερίδων γίνεται σε ημερήσια βάση και καλύπτει το σύνολο του πολιτικού, αθλητικού και λοιπού περιεχομένου τύπου. Αναλυτικά στοιχεία για τη διανομή των εφημερίδων παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1. Διατεθέντα<sup>1</sup> αντίτυπα εφημερίδων στην περιοχή της Αττικής, κατά την περίοδο 1988-1998.

Figure 5.1. Number of disposed newspapers in greater Athens region, over the 1988-1998 period.

(Πηγή: Στατιστική Επετηρίδα της Ελλάδας, Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας, ΕΣΥΕ)

<sup>1</sup> Σημειώνεται ότι με τον όρο «διατεθέντα» εννοούνται τα πωληθέντα αντίτυπα εφημερίδων και όχι τα διακινήθέντα. Προκύπτουν από τη διαφορά μεταξύ διανεμηθέντων μείον τα επιστραφέντα αντίτυπα εφημερίδων.



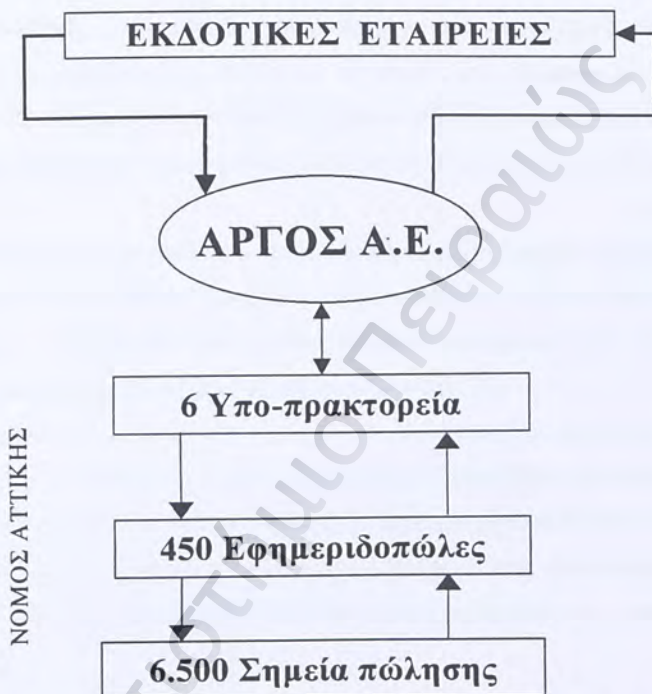
Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.1, τα διατεθέντα αντίτυπα εφημερίδων μειώνονται συνεχώς διαχρονικά, υπάρχει δηλαδή μια πτωτική τάση στην κατανάλωση εφημερίδων. Η πτωτική τάση αυτή αντιστοιχεί σε μεταβολή της τάξης του -33,3% για όλη την περίοδο (11ετία), ή του -3,03% σε ετήσια βάση. Μάλιστα, το σημείο στο οποίο παρουσιάζεται έντονη μεταβολή (έντονη πτώση) εντοπίζεται στο έτος 1989. Ιστορικά, το έτος αυτό συμπίπτει με την ανάπτυξη της ελεύθερης ιδιωτικής ραδιοφωνίας και ειδικότερα με την έναρξη λειτουργίας και εκπομπής σε ημερήσια βάση των ιδιωτικών τηλεοπτικών καναλιών, στο πρόγραμμα των οποίων περιλαμβάνονται τουλάχιστον τρία (3) δελτία ειδήσεων (Μπασαντής 2001).

Στα πλαίσια της προσπάθειας για την καταγραφή του ισχύοντος σήμερα συστήματος διακίνησης των εφημερίδων εντός του νομού Αττικής, με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια, θεωρήθηκε αναγκαία η λήψη ποσοτικών και άλλων στοιχείων για το όλο σχήμα διακίνησης (εφοδιαστική αλυσίδα) των εφημερίδων.

Έτσι, πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις στις δύο μεγαλύτερες εταιρείες διανομής εφημερίδων στην Αττική (και όλη την Ελλάδα). Πρόκειται για τις εταιρείες «ΑΡΓΟΣ» Α.Ε και «ΕΥΡΩΠΗ» Α.Ε., οι οποίες διακινούν σε ημερήσια βάση εντός και εκτός Αττικής το σύνολο των αθηναϊκών (και λοιπών) εφημερίδων που εκδίδονται. Εξαιρέση αποτελούν οι επαρχιακές, συνδικαλιστικές, συλλογικές κ.λπ. εφημερίδες και έντυπα, τα οποία συνήθως διακινούνται μέσω των Ελληνικών Ταχυδρομείων (ΕΛΤΑ) ή άλλων ιδιωτικών εταιρειών διανομής.

### 5.1.2.1 Στοιχεία διακίνησης από την εταιρεία ΑΡΓΟΣ Α.Ε.

Η εταιρεία ΑΡΓΟΣ Α.Ε., η οποία είναι μέλος του ομίλου του ΔΟΛ (Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη), είναι η ηγέτιδα εταιρεία στη διακίνηση των εφημερίδων, αφού διακινεί το 60-65% περίπου του ημερήσιου και κυριακάτικου αθηναϊκού τύπου. Η εταιρεία εφαρμόζει εφοδιαστική αλυσίδα διπλής κατεύθυνσης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2. Σύστημα διακίνησης εφημερίδων εντός του νομού Αττικής

Figure 5.2. Newspapers' logistics within the prefecture of Attica

(Πηγή: Πρακτορείο διανομής τύπου ΑΡΓΟΣ Α.Ε.)

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.2, η αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα ξεκινά από τις εκδοτικές εταιρείες και καταλήγει πάλι σ' αυτές. Ειδικότερα για το έτος 2001, η εταιρεία ΑΡΓΟΣ Α.Ε. παρέλαβε και διακίνησε στην εντός του νομού Αττικής αγορά περίπου 240 εκατομμύρια φύλλα<sup>2</sup> εκ των οποίων επιστράφηκαν περίπου 110 εκατομμύρια φύλλα. Δηλαδή από την ποσότητα των εφημερίδων που

<sup>2</sup> Σύμφωνα με την ορολογία που υφίσταται στη διακίνηση, η έκφραση φύλλα αντιστοιχεί σε εφημερίδες.



παραλαμβάνονται και διατίθενται σε ετήσια βάση στην αγορά της Αττικής, επιστρέφεται ποσοστό της τάξεως του 45,8%.

#### 5.1.2.2 Στοιχεία διακίνησης από την εταιρεία ΕΥΡΩΠΗ Α.Ε.

Η εταιρεία ΕΥΡΩΠΗ Α.Ε. πρακτορείο διανομής τύπου, με κύριο μέτοχο τον κ. Γ. Μπόμπολα, καλύπτει το υπόλοιπο μέρος της διανομής του συνόλου των αθηναϊκών εφημερίδων, τόσο εντός όσο και εκτός Αττικής.

Η εταιρεία διαθέτει εκτεταμένο δίκτυο διακίνησης που περιλαμβάνει ανάλογη δομή με αυτό της εταιρείας ΑΡΓΟΣ ΑΕ (βλέπε σχήμα 5.2) και σύμφωνα με την εταιρεία για το έτος 2001 διακινήθηκαν στην εντός του νομού Αττικής αγορά περίπου 145 εκατομμύρια φύλλα και οι επιστροφές ανήλθαν σε 70 εκατομμύρια φύλλα (ποσοστό 48,3%).

Από τα στοιχεία των εταιρειών για τη διακίνηση των εφημερίδων, προκύπτει ότι για το έτος 2001 διακινήθηκαν προς την αγορά συνολικά 385.000.000 φύλλα και επιστράφηκαν 180.000.000 φύλλα. Το ποσοστό επιστροφής για τις συνολικές ποσότητες (και από τις δύο εταιρείες) ανέρχεται σε 46,75%.

Σημειώνεται εδώ, ότι σύμφωνα με τις εταιρείες διανομής, σημαντικό ρόλο στο μεγάλο ποσοστό αδιάθετου υλικού (απούλητες εφημερίδες) φαίνεται ότι παίζει κυρίως η ενημέρωση των πολιτών από το Διαδίκτυο (Internet) καθώς και από τα ηλεκτρονικά μέσα ενημέρωσης (τηλεόραση), στοιχεία που παρουσιάζουν συνεχή αύξηση σε προτίμηση και χρήση (ειδικότερα η ενημέρωση των πολιτών μέσω του Διαδικτύου).

## 5.2. ΣΥΛΛΟΓΗ-ΑΝΑΚΤΗΣΗ

### 5.2.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια, στη συλλογή των ΑΣΑ έχει εφαρμοστεί η λεγόμενη ανάκτηση (recovery) υλικών από το «ρεύμα» των ΑΣΑ, ο στόχος της οποίας είναι διπλός: αφενός η μείωση των ποσοτήτων που θα διατεθούν τελικά στο περιβάλλον και αφετέρου η αξιοποίηση και εκμετάλλευση υλικών με διάφορες εναλλακτικές μεθόδους.

Για την αξιοποίηση και εκμετάλλευση του παλαιοχαρτου εφημερίδων από τα ΑΣΑ, έχουν υιοθετηθεί και εφαρμόζονται σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα, διάφορα σχήματα συλλογής με αρκετές παραλλαγές. Σύμφωνα με μια έκθεση του ΟΟΣΑ<sup>3</sup> (1997) τα συστήματα συλλογής που εφαρμόζονται για το παλαιοχαρτο εφημερίδων διαφέρουν από χώρα σε χώρα και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το φορέα συλλογής (δήμοι ή ιδιωτικοί φορείς), το βαθμό οργάνωσης, την ύπαρξη αγοράς ανακτημένων υλικών και τη συμμετοχή του κοινού. Κατά την ίδια μελέτη (ΟΟΣΑ, 1997) μεταξύ ορισμένων χωρών της Ε.Ε., όπως η Μεγάλη Βρετανία, η Γαλλία, η Γερμανία κ.ά. επικρατούν κατά κύριο λόγο δύο (2) σχήματα συλλογής: η συλλογή από το πεζοδρόμιο (curbside collection) και το σύστημα προσαγωγής (bring system). Το πρώτο βασίζεται στη κατ' οίκον συλλογή (household collection) των παλαιών εφημερίδων και στη συνέχεια την τοποθέτησή τους σε ειδικούς κάδους, που βρίσκονται συνήθως σε ειδικά διαμορφωμένη θέση στην άκρη (κράσπεδο) του πεζοδρομίου. Το δεύτερο σύστημα εφαρμόζεται πάλι με κατ' οίκον συλλογή των παλαιών εφημερίδων αλλά όμως απαιτεί τη μεταφορά και τοποθέτησή τους (προσαγωγή) σε ειδικά διαμορφωμένα μεγάλης χωρητικότητας δοχεία-κονταίηνες (paper banks-containers) που έχουν τοποθετηθεί σε κεντρικά σημεία, όπως χώροι στάθμευσης μεγάλων πολυκαταστημάτων, δημοτικά πάρκα αναψυχής-πλατείες κ.λπ. (Powell et al. 1996).

Σε ότι αφορά την Ελλάδα, η ανάκτηση υλικών από τα ΑΣΑ, πόσο μάλλον η συλλογή παλαιών εφημερίδων, γίνεται σε μεμονωμένες περιοχές, στις οποίες υπάρχει μια στοιχειώδης υποδομή και οργάνωση για την επίτευξη του σκοπού αυτού. Ειδικότερα για την Αττική, η συλλογή των παλαιών εφημερίδων γίνεται την τελευταία 10ετία από τον Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ) και παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

<sup>3</sup> Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη-Organization for Economic Development and Cooperation-OECD.



### 5.2.2 Ανάκτηση του παλιόχαρτου εφημερίδων στην Αττική-παρούσα κατάσταση

Η ανάκτηση χαρτιού από τα οικιακά και γενικότερα τα αστικά απορρίμματα στην Αττική πραγματοποιείται, όπως αναφέρθηκε, από τον Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ).

Ο ΕΣΔΚΝΑ είναι ο αποκλειστικά θεσμοθετημένος φορέας Σχεδιασμού και Διαχείρισης των Απορριμμάτων της Αττικής. Ο όρος «Ενιαίος» οφείλεται σε ιστορικούς λόγους, καθόσον ο ΕΣΔΚΝΑ προέκυψε το 1970 από τη συγχώνευση των δύο επιμέρους συνδέσμων των Ο.Τ.Α.<sup>4</sup> της Αττικής (όπως ονομάζονταν τότε) και του Πειραιά σε ένα ενιαίο φορέα. Σήμερα, ο ΕΣΔΚΝΑ έχει ως μέλη 72 Δήμους και 17 Κοινότητες της Αττικής, που αντιπροσωπεύουν το 95% περίπου του πληθυσμού της Αττικής. Το διοικητικό και λειτουργικό καθεστώς του ΕΣΔΚΝΑ, όπως και όλων των Συνδέσμων ρυθμίζεται από το Δημοκοινοτικό Κώδικα (Π.Δ. 410/95).

Ο ΕΣΔΚΝΑ εφαρμόζει το σύστημα συλλογής στο πεζοδρόμιο ή αλλιώς διαλογή στην πηγή (source separation), μέσω του προγράμματος "ΚΑΝ' ΤΟ ΚΙ ΕΣΥ". Το πρόγραμμα "ΚΑΝ' ΤΟ ΚΙ ΕΣΥ" είναι ένα δίκτυο ανάκτησης-αξιοποίησης του χαρτιού από τα οικιακά απορρίμματα.



Το δίκτυο "ΚΑΝ'ΤΟ ΚΙ ΕΣΥ" συμβάλλει στην περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση του κοινού και ιδιαίτερα των νέων ηλικίας ατόμων. Στηρίζεται στην εθελοντική συμμετοχή και πρωτοβουλία του πολίτη. Δεδομένου ότι το 30-35% των απορριμμάτων είναι υλικά συσκευασίας που μπορούν να ανακτηθούν και αξιοποιηθούν αποδοτικότερα με διαλογή στην πηγή, ο ΕΣΔΚΝΑ σχεδιάζει την επέκταση του προγράμματος διαλογής, με την κατασκευή εργοστασίων μηχανικής ανακύκλωσης και καθιέρωση δύο χωριστών ρευμάτων συλλογής απορριμμάτων (website ΕΣΔΚΝΑ, 2002).

<sup>4</sup> Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης- Local Authorities, LAs

### 5.2.3 Ποσοτικά – Οικονομικά στοιχεία για το παλαιόχαρτο εφημερίδων

Στο πρόγραμμα συμμετέχουν 62 δήμοι και κοινότητες της Αττικής, που αντιστοιχούν σε πληθυσμό περίπου 2.500.000 κατοίκων. Στην εκτέλεση του προγράμματος ο ΕΣΔΚΝΑ διαθέτει 25 εργαζόμενους, 6 φορτηγά συλλογής με συμπιεστή-πρέσσα, 30 κονταίηνες και 2 μεγάλα φορτηγά μεταφόρτωσης-μεταφοράς. Επίσης, για τη συγκέντρωση του χαρτιού ο ΕΣΔΚΝΑ έχει τοποθετήσει σε πολλά σημεία των Δήμων περίπου 2.500 ειδικούς κάδους, χωρητικότητας 1.000 λίτρων, για τη συγκέντρωση του υλικού. Η συλλογή του χαρτιού γίνεται σε εβδομαδιαία βάση, μία φορά την εβδομάδα. Έτσι, συλλέγονται και ανακυκλώνονται περίπου 500 τόνοι χαρτιού κάθε μήνα, δηλαδή γύρω στους 6.000 τόνους ετησίως. Από την ποσότητα αυτή σύμφωνα με εκτιμήσεις το παλαιόχαρτο εφημερίδων αποτελεί περίπου το 1/6 αυτής της ποσότητας, δηλαδή περίπου 1.000 τόνοι παλαιόχαρτου εφημερίδων ετησίως (ΕΣΔΚΝΑ 2002). Σημειώνεται εδώ ότι οι ποσότητες που συλλέγονται από το δίκτυο διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή αλλά και από δήμο σε δήμο. Έτσι, οι μεγαλύτερες ποσότητες παλαιόχαρτου εφημερίδων προέρχονται από περιοχές της ΒΑ Αττικής, στις οποίες η πλειοψηφία του πληθυσμού που κατοικεί έχει οικονομική άνεση αλλά και περισσότερα ενδιαφέροντα (χρηματιστήριο, αγορά ακινήτων κ.ά.), στοιχεία που επιτρέπουν την κατανάλωση (αγορά) μεγαλύτερου όγκου εφημερίδων διαφορετικής ύλης (οικονομικές, πολιτικές, αθλητικές κ.λπ.) (ΕΣΔΚΝΑ, προσωπική επικοινωνία, 2002).

Ο ΕΣΔΚΝΑ συγκεντρώνει τις ποσότητες του χαρτιού που συλλέγεται σε σταθμούς μεταφόρτωσης απορριμμάτων (ΣΜΑ), απ' όπου τις διαθέτει με τιμή πώλησης γύρω στα 0,07 €/κιλό (25 δρχ / κιλό) ή 73,5 €/τόννο. Τις ποσότητες αυτές προμηθεύονται (δύο μεγάλες) ιδιωτικές εταιρείες οι οποίες μεταφέρουν το χαρτί δικές τους σε εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (Material Recovery Facilities-MRFs) όπου και γίνεται χειρωνακτική διαλογή, ταξινόμηση και δεματοποίηση (baling) του χαρτιού με βάση τον τύπο του (εφημερίδες, περιοδικά, χαρτί συσκευασίας κ.λπ.).

Τονίζεται ότι στον ίδιο χώρο που δραστηριοποιείται ο ΕΣΔΚΝΑ, δηλαδή στη συλλογή και μεταφορά ανακυκλώσιμων υλικών από τα ΑΣΑ, δραστηριοποιούνται επίσης και ιδιωτικές εταιρείες (όπως η LOBBE TZILALIS), που έχουν συμβόλαια συνεργασίας με τους Δήμους και τοποθετούν κονταίηνες σε καθορισμένα σημεία, για τη συλλογή κυρίως οικοδομικών απορριμμάτων (π.χ. μάζα), τα οποία και μεταφέρουν σε μονάδες ανάκτησης υλικών. Οι εταιρείες αυτές εξειδικεύονται σε δραστηριότητες όπως συλλογή και μεταφορά απορριμμάτων του οικοδομικού τομέα,



αλουμινίου, πλαστικού και δευτερευόντως του χαρτιού, αφού όπως φαίνεται η διαχείριση των πρώτων απαιτεί ειδικό εξοπλισμό, αφορά σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες, έχει υψηλότερα κόστη μεταφοράς και χειρισμού (διαλογή, ταξινόμηση) και άρα συνεπάγεται μεγαλύτερα κέρδη για αυτές, από τη διάθεσή τους στην αγορά ανακυκλώσιμων υλικών.

Όμως, ειδικότερα για το χαρτί από τα ΑΣΑ, στην Αττική υπάρχουν περί τις 5 εταιρείες, οι οποίες έχουν ως αντικείμενο την επεξεργασία, διαλογή και συσκευασία (δεματοποίηση) του χαρτιού, που αποτελεί πρώτη ύλη για τις τους εμπόρους παλαιόχαρτου, οι οποίοι με τη σειρά τους εφοδιάζουν τις χαρτοποιίες<sup>5</sup>. Οι εταιρείες αυτές, σύμφωνα με τα στοιχεία που στάθηκε δυνατό να συγκεντρωθούν, προμηθεύονται παλαιόχαρτο κυρίως από τον ΕΣΔΚΝΑ (Σταθμός Μεταφόρτωσης στο Σχιστό) και το Σταθμό Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων που βρίσκεται στον Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), στα Άνω Λιόσια, καθώς και κάποιες μικρότερες ποσότητες, οι οποίες όμως αφορούν χαρτόνι και όχι παλαιόχαρτο εφημερίδων, από ρακοσυλλέκτες. Στην περίπτωση που δεν καλύπτεται η ζήτηση, γίνεται συμπληρωματική εισαγωγή παλαιόχαρτου απορριμμάτων από το εξωτερικό, κυρίως από την Ε.Ε.. Δυστυχώς, παρά τις προσπάθειες που καταβλήθηκαν, δεν έγινε δυνατή η συγκέντρωση στοιχείων για τις ποσότητες του χαρτιού απορριμμάτων και ειδικότερα παλαιών εφημερίδων που διακινούν σε ετήσια βάση οι εταιρείες αυτές.

Σε ότι αφορά την τιμή πώλησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, αυτή θεωρείται ότι είναι μια έντονα κυμαινόμενη και ασταθής (volatile) τιμή, η οποία εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν τόσο στη διεθνή και εγχώρια αγορά ανακτημένων υλικών, όσον και την εκάστοτε πολιτική που εφαρμόζεται στο θέμα αυτό (ανακύκλωση-ανάκτηση υλικών). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η τιμή πώλησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων για το Ηνωμένο Βασίλειο κυμαίνονταν μεταξύ -5 και 5£ ανά τόνο το 1999, τη στιγμή που ήταν 20£ ανά τόνο το 1997 και περίπου 100£ ανά τόνο το 1995 (Grieg-Gran 1999).

Με βάση πρόσφατη έκθεση προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος (ECOTEC et al. 2001), σχετικά με το κόστος διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων, η οποία έγινε για λογαριασμό της Ε.Ε. από ομάδα εταιρειών-

<sup>5</sup> Σημειώνεται ότι επειδή η αγορά ανακυκλώσιμων υλικών στην Ελλάδα βρίσκεται σε εξελικτική φάση με συνέπεια να υφίσταται διαρκώς μεταβολές, κατά την τελευταία 2ετία έχει παρατηρηθεί να προμηθεύονται παλαιόχαρτο απορριμμάτων και ειδικότερα εφημερίδων απευθείας οι χαρτοποιίες χωρίς τη μεσολάβηση των χαρτεμπόρων.

συμβούλων από κάθε κράτος-μέλος, οι ενδεικτικές τιμές αγοράς ανά είδος υλικού<sup>6</sup> που εκτιμήθηκαν για την Ελλάδα<sup>7</sup> κυμαίνονται μεταξύ 30 και 1.115 €/τόννο υλικού, ενώ το κόστος οδικής μεταφοράς κυμαίνεται μεταξύ 6 και 9 €/τόννο υλικού, όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.1) που ακολουθεί.

**Πίνακας 5.1.** Ενδεικτικά κόστη αγοράς, μεταφοράς ανακτημένων υλικών  
**Table 5.1.** Indicative market and transport costs for recovered materials

Είδος υλικού	Ενδεικτική τιμή υλικού (€/τόννο)	Ενδεικτική τιμή για οδική μεταφορά (€/τόννο/100km)	Τιμή πώλησης (€/τόννο)
<b>Χαρτί</b>			
Τυπωμένο χαρτί (εφημερίδες, περιοδικά, χαρτί εκτυπώσεων, γραφείου)	147	6	153
Συσκευασίας	70	6	76
Χαρτόνι	73	6	79
Ανάμικτο	65	6	71
<b>Πλαστικό</b>			
Φύλλα πλαστικά	176	6	182
PET <sup>8</sup>	132	6	138
PVC <sup>9</sup>	132	6	138
LDPE <sup>10</sup>	440	6	446
HDPE <sup>11</sup>	440	6	446
<b>Μέταλλο</b>			
Σιδηρούχα μέταλλα (χύμα)	65	9	74
Σιδηρούχα μέταλλα (δέμα)	67	9	76
Αλουμίνιο	1115	6	1121
<b>Γυαλί</b>			
Διαφανές	44	9	53
Έγχρωμο	29	9	38

(Πηγή στοιχείων: ECOTEC 2001. Προσαρμογή από το συγγραφέα)

Όπως προκύπτει από την παραπάνω έκθεση (ECOTEC 2001), στη διαμόρφωση της τιμής σημαντικό ρόλο παίζουν το κόστος διαλογής, ταξινόμησης και δεματοποίησης, το κόστος μεταφοράς καθώς και το επιχειρηματικό κέρδος.

<sup>6</sup> Χαρτί, γυαλί, αλουμίνιο, πλαστικά κ.λπ. Διευκρινίζεται ότι οι τιμές αυτές αφορούν καθαρό υλικό π.χ. παλιές εφημερίδες χωρίς προσμίξεις άλλων υλικών και καταβάλλονται για ελάχιστη ποσότητα υλικού ισοδύναμη ένα πλήρες φορτίο (φορτηγού αυτοκινήτου).

<sup>7</sup> Τιμές α' τριμήνου 2001.

<sup>8</sup> Polyethylene terephthalate (πολυαιθυλενικό άλας τερεφθαλικού οξέος)

<sup>9</sup> Polyvinyl chloride (Πολυβινυλοχλωρίδιο)

<sup>10</sup> Low Density Polyethylene (Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας)

<sup>11</sup> High Density Polyethylene (Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας)



Έτσι, με αρχικό κόστος (προμήθεια υλικού) 73,5 €/τόννο, κόστος μεταφοράς 6 €/τόννο και λαμβάνοντας το επιχειρηματικό κέρδος σε 20,5 €/τόννο, μπορεί να εκτιμηθεί το κόστος διαλογής, ταξινόμησης και δεματοποίησης. Με βάση τις τιμές του πίνακα 5.1, για τιμή πώλησης 153 €/τόννο μείον την τιμή προμήθειας 73,5 €/τόννο, μείον 26,5 €/τόννο (κόστος μεταφοράς και επιχειρηματικό κέρδος) προκύπτει ότι το κόστος διαλογής, ταξινόμησης και δεματοποίησης ανέρχεται (κατ' εκτίμηση) σε 53 €/τόννο ανακτημένου υλικού. Σημειώνεται, ότι αν η μεταφορά του ανακτημένου υλικού γίνεται δια θαλάσσιας οδού<sup>12</sup>, τότε η τιμή πώλησης επιβαρύνεται με υψηλότερο κόστος μεταφοράς και ανέρχεται στο διπλάσιο της τιμής προμήθειας (170 €/τόννο).

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

---

<sup>12</sup> Λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού νησιών στην Ελλάδα, η θαλάσσια μεταφορά θεωρείται ότι είναι απαραίτητη, για να προσεγγιστούν οι κοντινότερες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ή οι σταθμοί αποθήκευσης ανακτημένων υλικών

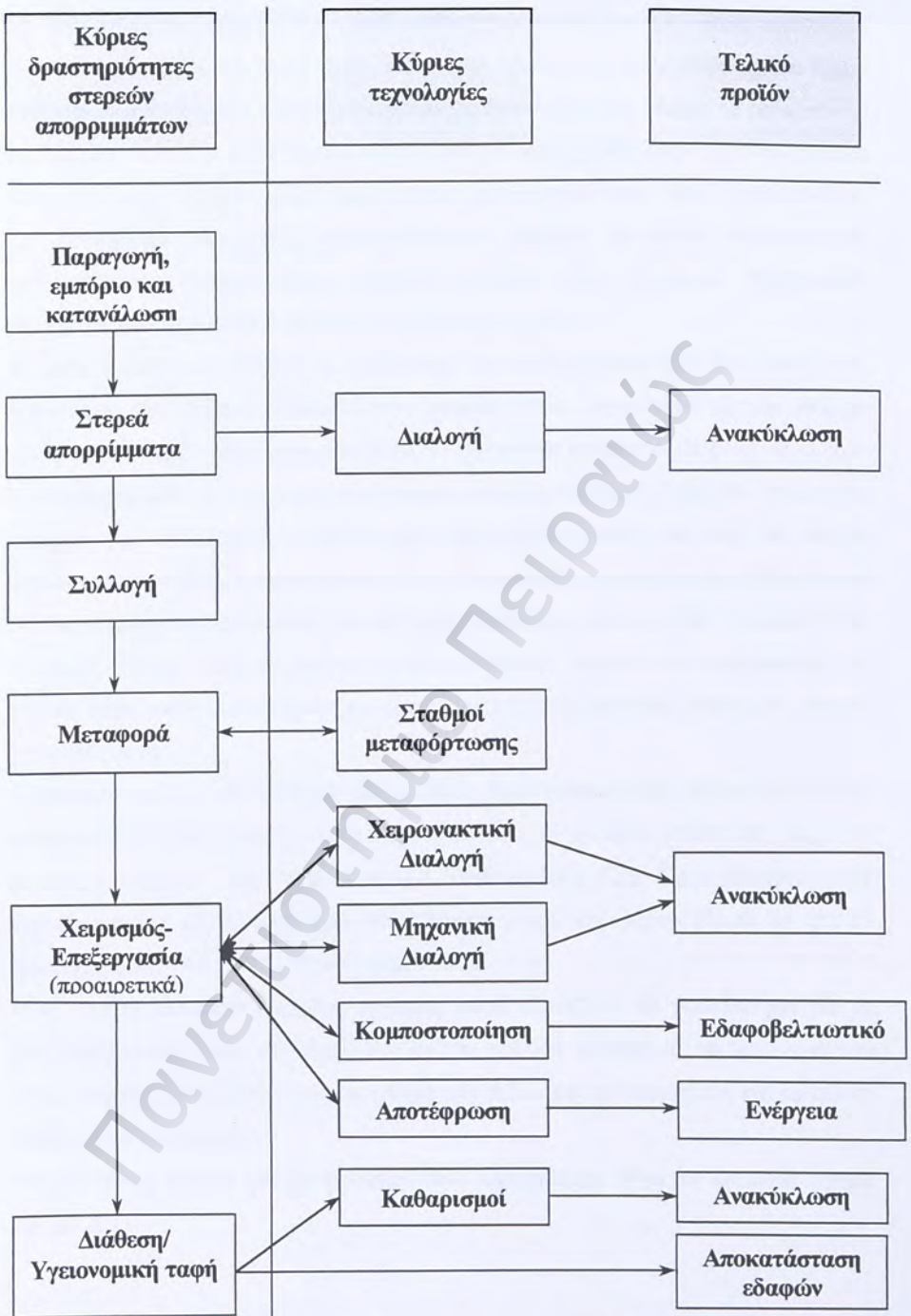
### 5.3. ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ - ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ

Η διαπίστωση ότι το χαρτί των απορριμμάτων μπορεί να αξιοποιηθεί και να «επιστρέψει» με ίδια ή άλλη χρήση στον καταναλωτή είχε σαν αποτέλεσμα την θέσπιση και δημιουργία πολλών δράσεων, που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα (εθνικό, διεθνές) και από διάφορους -περιβαλλοντικούς και μη- φορείς [όπως επί παραδείγματι η Ε.Ε./ Γενική Διεύθυνση «Περιβάλλον»-Ε.Υ./DG XII Environment, ο Σύνδεσμος Χάρτου του Ηνωμένου Βασιλείου-The Paper Association of the UK κλπ.], οι οποίες αφορούσαν τόσο τη συλλογή του παλαιόχαρτου εφημερίδων, όσο και τις περαιτέρω ενέργειες-διαδικασίες «επανεισόδου» του στην αγορά αγαθών ως «ανακυκλωμένου» ή «μετα-καταναλωτικού υλικού» (recycled or post-consumer material).

Αυτές οι δραστηριότητες «αποτυπώνονται» στις εκφράσεις «οργανωτικό σχήμα» ή «σύστημα διαχείρισης» των ανακυκλώσιμων υλικών των ΑΣΑ. Τα συστήματα διαχείρισης δεν είναι τίποτα άλλο παρά συνολικός σχεδιασμός που διαχειρίζεται τα στερεά αστικά απορρίμματα, αξιοποιώντας για το σκοπό αυτό εκπαιδευμένο ανθρώπινο δυναμικό και εξειδικευμένη τεχνολογία, τα οποία είναι οργανωμένα κατά χώρο και χρόνο. Επίσης, εξυπακούεται ότι το όλο σχήμα επιτυγχάνεται με οικονομική αποτελεσματικότητα (economic efficiency).

Στην κατεύθυνση της οργάνωσης αποτελεσματικών «σχημάτων» διαχείρισης των ΑΣΑ, έχουν γίνει κατά την τελευταία 25ετία από την επιστημονική και μη κοινότητα πολλές προσπάθειες, από τις οποίες κάποιες ήταν επιτυχημένες και εφαρμόζονται, με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχει ένα καλά διαμορφωμένο σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank, 1999) το οργανωτικό σχήμα για το σύνολο των ΑΣΑ, το οποίο θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στη σημερινή κατάσταση είναι το ακόλουθο:





Σχήμα 5.3. Συνιστώσες διακίνησης-χειρισμού των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Figure 5.3. Municipal solid waste handling and treatment components

(Πηγή: World Bank 1999. Μετάφραση-προσαρμογή από το συγγραφέα)

Το όλο σύστημα διαχείρισης περιλαμβάνει υποσυστήματα για κάθε κατηγορία ανακυκλώσιμου υλικού, όπως γυαλί, αλουμίνιο, χαρτί κ.λπ. Τα υποσυστήματα έχουν καθορισμένο σχεδιασμό των επιμέρους συνιστωσών τους και μπορεί να εκτελούνται παράλληλα, όταν αφορούν διαφορετικά υλικά, ή ταυτόχρονα, όταν αφορούν το ίδιο υλικό ή τύπους του, όπως χαρτί εφημερίδων, χαρτί εκτυπώσεων, χαρτί γραφείου κλπ. Τα συστήματα διακίνησης ανακυκλώσιμων υλικών αποτελούν περιφερειακά υποσυστήματα «δορυφόρους» (satellite systems) του συνολικού σχεδιασμού (οργανωτικού σχήματος) διακίνησης υλικών από τα ΑΣΑ.

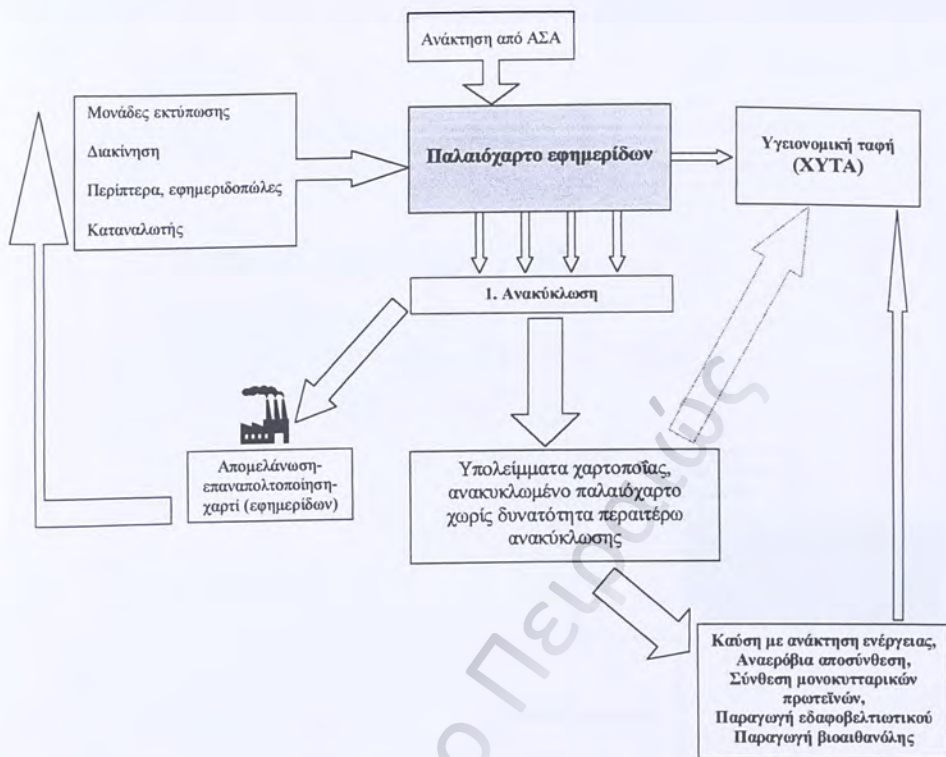
Σε κάθε μελέτη που αφορά το σχεδιασμό για τη διαχείριση είτε των συνολικών ποσοτήτων των ΑΣΑ είτε ποσοτήτων μεμονωμένων κατηγοριών υλικών από το «ρεύμα» των ΑΣΑ, είναι απαραίτητο να καταγραφούν οι εισροές (inputs) δηλαδή οι ποσότητες υλικών ή υλικού που εισέρχονται στο όλο σύστημα. Επιπλέον, σημαντικό στοιχείο για την εκτέλεση σχεδιασμού είναι να εντοπιστεί, με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια, η προέλευση των ποσοτήτων που καταγράφηκαν, δηλαδή από ποιους επιμέρους παραγωγούς και σε ποιες ποσότητες προέρχονται οι εισροές στο σύστημα. Τέλος, πολύ σημαντικό είναι να υπάρξει δυνατότητα καταγραφής του χώρου, στον οποίο καταλήγουν τα υλικά και ποιες δυνατότητες υπάρχουν για την ανάκτησή τους.

Ειδικότερα για το παλαιόχαρτο εφημερίδων είναι ουσιαστικής σημασίας να γίνει καταγραφή της «διαδρομής» που ακολουθεί από τη μονάδα εκτύπωσης μέχρι τη χωματερή, κάτι το οποίο στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis-LCA) αναφέρεται ως προσέγγιση από την «πόρτα μέχρι τον τάφο» (“gate to grave” approach) (ISO-1440 1997, Powell et al. 1999).

Αυτό γίνεται και στην παρούσα εργασία, αφού εξετάζεται το υποσύστημα για το χαρτί εφημερίδων μετά την έξοδό του από τη μονάδα εκτύπωσης, τη διακίνησή του στους χρήστες, την είσοδό του στο ρεύμα των ΑΣΑ, την ανάκτησή του και τελικά τη διάθεση στο περιβάλλον.

Μια εποπτική εικόνα για το σύστημα που περιγράφηκε δίνει το επόμενο σχήμα (Σχήμα 5.4).

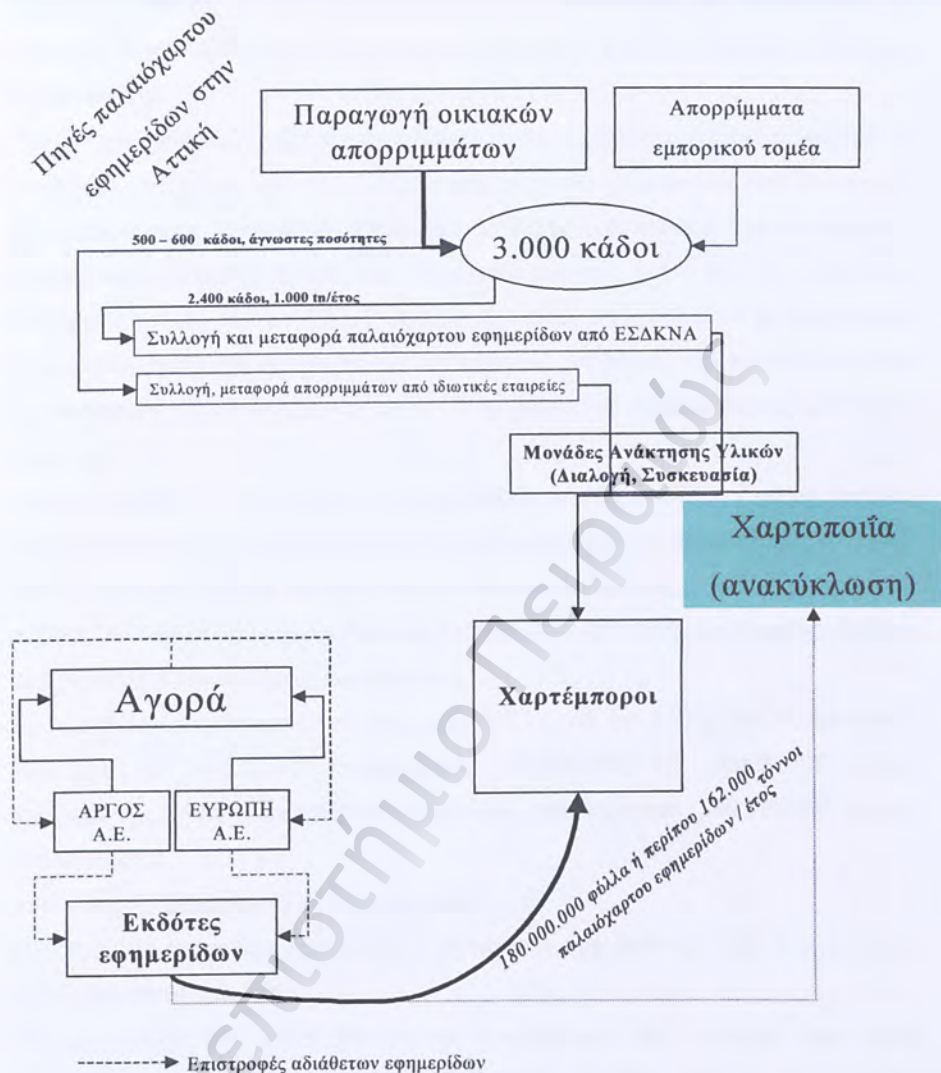




**Σχήμα 5.4.** «Διαδρομή» χαρτιού εφημερίδων από την εκτύπωση ως τη χωματερή  
**Figure 5.4.** Newsprint “route” from printing to landfill (“from gate to grave”<sup>13</sup>)

Από την παράθεση των βασικών στοιχείων του συστήματος για το παλιόχαρτο των εφημερίδων και μετά την καταγραφή των επιμέρους τμημάτων του, είναι δυνατή η αποτύπωση του συνολικού συστήματος συλλογής και διακίνησης του παλιόχαρτου εφημερίδων στο νομό Αττικής. Το συνολικό σύστημα παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.5).

<sup>13</sup> Η έκφραση “from gate to grave” διευκρινίζεται ότι αντιστοιχεί στην έκφραση «από την πόρτα της βιομηχανίας μέχρι τη χωματερή»



Σχήμα 5.5. Συνολικό σύστημα διακίνησης παλαιόχαρτου εφημερίδων στην Αττική  
 Figure 5.5. Aggregate system of old newspapers' logistics in greater Athens region

Αθροίζοντας τα διαθέσιμα στοιχεία που προκύπτουν αφενός από την ανάκτηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων από τα απορρίμματα και αφετέρου από τη διακίνηση (επιστροφές) παλαιών εφημερίδων προκύπτει ότι για το έτος 2001 διακινήθηκαν 163.000 τόνοι παλαιόχαρτου εφημερίδων, με κύριο αποδέκτη την ανακύκλωση.



Σημειώνεται ότι για να γίνει αναγωγή του αριθμού των φύλλων που διακινήθηκαν το έτος 2001 στην Αττική σε ποσότητα βάρους (τόννους), χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω συλλογιστική.

Για την αναγωγή του αριθμού των φύλλων σε βάρος (τόννοι υλικού) χρειάζεται να γνωρίζουμε το βάρος του δημοσιογραφικού χαρτιού. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Δημοσιογραφικού Χάρτου ΑΕ (ΟΔΧ ΑΕ), το βάρος ενός φύλλου δημοσιογραφικού χαρτιού στην ελληνική αγορά (είτε παράγεται από τον ΟΔΧ ΑΕ, είτε εισάγεται) κυμαίνεται μεταξύ 45 και 70 gr, δηλαδή έχει μέση τιμή στα 57,5 gr (προσωπική επικοινωνία 2002). Με την παραδοχή της αύξησης του βάρους του κατά 2,5 gr λόγω της εκτύπωσης (δημοσιογραφικό μελάνι<sup>14</sup>) το βάρος του φύλλου στρογγυλοποιείται στα 60 gr.

Ακόμη, ο αριθμός των φύλλων μιας εφημερίδας ποικίλλει ανάλογα με την έκδοση (καθημερινή έκδοση λιγότερες σελίδες – κυριακάτικη έκδοση περισσότερες σελίδες). Έτσι, κατά μέσο όρο μια πολιτική εφημερίδα αποτελείται από 15 φύλλα χάρτου ή 60 σελίδες (εκτύπωση δύο όψεων-δίπλωση στα δύο, δηλαδή τέσσερις τυπωμένες σελίδες από ένα φύλλο δημοσιογραφικού χάρτου).

Από τα στοιχεία διακίνησης των εταιρειών ΑΡΓΟΣ ΑΕ και ΕΥΡΩΠΗ ΑΕ προκύπτει ότι κατά το έτος 2001 επιστράφηκαν 110.000.000 και 70.000.000 φύλλα (εφημερίδες), αντίστοιχα. Δηλαδή συνολικά επιστράφηκαν 180.000.000 φύλλα (εφημερίδες).

Αυτό μπορεί να εκφραστεί σε βάρος ως εξής:

$$[180.000.000 \text{ εφημερίδες} \times 15 \text{ φύλλα} / \text{εφημερίδα} \times 60 \text{ gr/φύλλο}] / 1.000.000 \text{ gr/τόννο} \\ = 162.000 \text{ τόννοι κατ' έτος.}$$

Αν προστεθούν και 1.000 τόννοι που προέρχονται από συλλογή στην πηγή (ΕΣΔΚΝΑ), τότε έχουμε συνολική διακίνηση **163.000 τόννων** παλαιόχαρτου εφημερίδων κατ' έτος.

Αν θεωρητικά αυτή η ποσότητα ληφθεί ως σταθερή (χωρίς προσθήκη παρθένων ινών στο χαρτοπολτό), τότε μετά από δύο διαδοχικές ανακυκλώσεις του συνόλου αυτής, που έστω ότι συμβαίνουν σε δύο έτη και με ποσοστά απωλειών σε χαρτοπολτό 35-40 και 55-60% σε κάθε ανακύκλωση αντίστοιχα, η ποσότητα του ανακυκλωμένου παλαιόχαρτου εφημερίδων, η οποία δεν μπορεί να ανακυκλωθεί περαιτέρω για

<sup>14</sup> Σύμφωνα με μια μελέτη των Bergeron and Riley (1991) το βάρος των μελανιών εκτύπωσης κυμαίνεται μεταξύ 1-2% του βάρους των εφημερίδων.

τεχνικούς και οικονομικούς λόγους, εκτιμάται ότι θα ανέρχεται γύρω στους 160.000 τόννους (δηλαδή σχεδόν ίση με τη διακινούμενη ποσότητα).

Σημειώνεται ότι, στην ποσότητα αυτή πρέπει προστεθούν και οι ποσότητες των διαφόρων τύπων χαρτιού που δεν ανακυκλώνονται, όπως το χαρτί οικιακής χρήσης (υγείας, κουζίνας), τα χαρτομάντιλα, και άλλοι τύποι χαρτιού (χαρτοβάμβακας, σερβιέτες, ταμπόν κ.α.). Οι ποσότητες αυτές σύμφωνα με την ΕΣΥΕ (2001) ανήλθαν σε περίπου 80.000 τόννους (για το σύνολο της χώρας) το έτος 2000, χωρίς όμως να αναφέρονται ποσοτικά στοιχεία για το νομό Αττικής ειδικότερα.

Επίσης, από την ποσότητα των 160.000 τόννων παλαιόχαρτου, πρέπει να αφαιρεθούν οι ποσότητες παλαιόχαρτου που εξάγονται και οι οποίες σύμφωνα με την ΕΣΥΕ (2001) ανέρχονται σε 40.000 τόννους παλαιόχαρτου (για το σύνολο της χώρας), χωρίς επίσης να προσδιορίζονται ποσοτικά στοιχεία για το νομό Αττικής ειδικότερα.

Επιπλέον, από την παραπάνω ποσότητα (160.000 τόννοι) θα πρέπει να αφαιρεθούν οι ποσότητες που αγοράζονται από τη Χαρτοποιία Θράκης και ανέρχονται σε 8-10.000 τόννους παλαιόχαρτου ετησίως. Δηλαδή, για εναλλακτική αξιοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ότι θα είναι διαθέσιμοι περίπου 140.000 (160.000-20.000) τόννοι παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Τέλος, με δεδομένο το χαμηλό βαθμό συλλογής (collection rate) του παλαιόχαρτου στην Ελλάδα, που φθάνει το 21% της ποσότητας του χαρτιού που καταναλώνεται (CEPI 1999, Bates and Haworth 2001), θεωρείται ότι σχεδόν όλη αυτή η ποσότητα των 140.000 τόννων παλαιόχαρτου οδηγείται στη χωματερή.

Συνεπώς, για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής η ποσότητα των 140.000 τόννων παλαιόχαρτου εφημερίδων θα θεωρηθεί ότι αποτελεί την αρχική ποσότητα-εισροή (input) που διατίθεται στις εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης του παλαιόχαρτου.



## 6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ (RECYCLING)

### 6.1. Γενικά

Η έννοια της ανακύκλωσης φιγουράρει στη σύγχρονη ζωή εδώ και μια 25ετία περίπου. Η ανακύκλωση είναι μια σύνθετη έκφραση από τις λέξεις «ξ-ανά» και «κύκλος», που επιχειρεί να περιγράψει μια επαναληπτική κυκλική διαδικασία. Η τεχνική σημασία του όρου είναι σαφής και αναφέρεται στην «επανεισαγωγή» ενός υλικού στον γνωστό κύκλο της οικονομίας (παραγωγή-κατανάλωση). Στην προκείμενη περίπτωση αναφέρεται στην «επανεισαγωγή» υλικών από τα αστικά στερεά απορρίμματα (ΑΣΑ). Πρόκειται για όρο με ευρύ περιεχόμενο, ο οποίος περιλαμβάνει μεθόδους αξιοποίησης των «ανακυκλώσιμων» υλικών, όπως το γυαλί, το αλουμίνιο και το χαρτί που ανακτώνται από το «ρεύμα» των ΑΣΑ, οι οποίες μπορεί να είναι ασυμβίβαστες, μερικά επικαλυπτόμενες ή/και συμπληρωματικές, ανάλογα με το ανακυκλούμενο υλικό, το συνολικό σχεδιασμό-οργάνωση διαχείρισής του και την τεχνολογία που εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση.

Σύμφωνα με το National Recycling Forum, UK (website: <http://www.nrf.org.uk/buy-recycled/buyrecycled/terminology.htm>) η ανακύκλωση αναφέρεται: «στη συλλογή και το διαχωρισμό υλικών από το ρεύμα των απορριμμάτων και στην επακόλουθη επεξεργασία τους, για παραγωγή εμπορεύσιμων προϊόντων. Η ανακύκλωση διαφέρει από την επαναχρησιμοποίηση (re-use) του προϊόντος λόγω της ανάγκης επεξεργασίας του ανακτημένου υλικού ώστε να αποκτήσει (εκ νέου) εμπορική αξία. Ουσιαστικά, η ανακύκλωση κατευθύνει προς μια περιβαλλοντικά υπεύθυνη βιομηχανική οικονομία, η οποία εξοικονομεί φυσικούς πόρους και ενέργεια και διατηρεί την ικανότητα του περιβάλλοντος για αποδοχή αποβλήτων. Η πιο επιθυμητή, από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη, μορφή ανακύκλωσης είναι αυτή όπου τα παραγόμενα προϊόντα από τη διαδικασία ανακύκλωσης είναι συγκρίσιμης ή ελαφρώς χαμηλότερης ποιότητας σε σχέση με τα αρχικά. Σημαντική είναι επίσης η ενεργειακή εξοικονόμηση που δημιουργείται από την υψηλού βαθμού ανακύκλωση».

Κατά την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency-EPA) η ανακύκλωση περιλαμβάνει τρία διακριτά βήματα, που αντιπροσωπεύουν τα τρία εσωστρεφή βέλη του γνωστού σήματος ανακύκλωσης (recycling loop) και τα οποία είναι: (1) συλλογή και επεξεργασία του ανακυκλώσιμου υλικού, (2) βιομηχανική παραγωγή νέου προϊόντος και (3) πώληση και χρήση του -με ανακυκλωμένο περιεχόμενο- νέου προϊόντος (EPA 1991, [www.epa.org](http://www.epa.org), Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1. Οι τρεις βρόχοι του σχήματος ανακύκλωσης.

Figure 6.1. The three loops of the recycling logo

Η ανακύκλωση ως μέθοδος αξιοποίησης είναι επόμενο να αναφέρεται στα ανακυκλώσιμα υλικά του ρεύματος των ΑΣΑ, για τα οποία αποκτά ιδιαίτερη σημασία και συνήθως αποτελεί την πρώτη επιλογή (*κύρια μέθοδος*) στο σύγχρονο σχεδιασμό διαχείρισης των ΑΣΑ, αφού θα πρέπει να ληφθεί άλλωστε υπόψη ότι τα ανακυκλώσιμα υλικά ανέρχονται σε ποσοστό 75-85% των συνολικών ποσοτήτων των ΑΣΑ (EPA 1998, Bates and Haworth 2001).

Σε ότι αφορά την ανακύκλωση του χαρτιού από τα αστικά στερεά απορρίμματα (ΑΣΑ) κατά ανάλογο τρόπο αυτή αναφέρεται στη συλλογή και το διαχωρισμό του (κατά τύπο χαρτιού), την επεξεργασία (καθαρισμός από ρύπους, απομελάνωση), την επαναπολτοποίησή (re-pulping) του και παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού και τέλος, την πώληση και χρήση του ανακυκλωμένου χαρτιού.

Ειδικότερα για το παλαιόχαρτο εφημερίδων η ανακύκλωση έχει τα παρακάτω συγκεκριμένα βήματα: α) ανάκτηση από τα ΑΣΑ, β) μεταφορά στις χαρτοβιομηχανίες γ) απομελάνωση, δ) επαναπολτοποίηση, ε) παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού εφημερίδων και στ) διανομή στις μονάδες εκτύπωσης εφημερίδων.

Σχετικά με τις δυνατότητες ανακύκλωσης του χαρτιού, δηλαδή πόσες φορές μπορεί να ανακυκλωθεί η ίδια ποσότητα χαρτοπολτού χωρίς να επηρεαστούν σημαντικά οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του χαρτιού, οι γνώμες των ειδικών διίστανται, ανάλογα με τη μέθοδο πολτοποίησης που ακολουθείται. Έτσι στους λεγόμενους θερμοχημικούς πολτούς<sup>1</sup> έχει βρεθεί ότι το χαρτί που παράγεται με τη μέθοδο αυτή μπορεί να ανακυκλωθεί λιγότερες φορές, αφού η χημική κατεργασία μπορεί να

<sup>1</sup> Thermochemical pulp (TCP): Θερμοχημικός χαρτοπολτός που παράγεται με χημική μέθοδο (ή αλλιώς Kraft ή Alkali process). Thermomechanical pulp (TMP): Θερμομηχανικός χαρτοπολτός



επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα στην κατάσταση της επιφάνειας του χαρτιού αλλά προκαλεί σημαντική φθορά στις φυσικές ιδιότητές του μετά από αρκετές ανακυκλώσεις (Grieg-Gran 1999). Έτσι ο χημικός πολτός γίνεται δυσκολότερος (stiffer) στην επεξεργασία του και λιγότερο εύκαμπτος στις φάσεις πίεσης, στέγνωσης και καλανταρίσματος, δηλαδή κυλινδρικής πιεζο-περιτύλιξης (Ferguson 1992). Αντίθετα, στους θερμομηχανικούς πολτούς (TMP) υπάρχει δυνατότητα περισσότερων ανακυκλώσεων, αφού δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό οι ιδιότητες του πολτού.

Έτσι, σε μια εργαστηριακή εφαρμογή έγινε δυνατή η πολλαπλή ανακύκλωση της ίδιας ποσότητας χαρτοπολτού (όλες οι φάσεις ενός πλήρους κύκλου<sup>2</sup>) για πέντε (5) φορές (Eriksson et al. 1997). Εντούτοις, τα παραπάνω έρχονται σε αντίθεση με ευρήματα άλλων (Gottsching 1997), όπου βρέθηκε ότι οι διαδοχικές ανακυκλώσεις θερμομηχανικού χαρτοπολτού έχουν σημαντική επίπτωση στο μήκος θραύσης (breaking length) των ινών, καθιστώντας αδύνατη την παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού με διαδοχικές πολλαπλές ανακυκλώσεις. Κατά τη συνήθη εμπειρία φαίνεται ότι ιδιαίτερα για το δημοσιογραφικό χαρτί θεωρείται εφικτή η ανακύκλωσή του για δύο (2) πλήρεις κύκλους (Grieg-Gran 1999).

---

<sup>2</sup> Πλήρης κύκλος εδώ θεωρείται η εργαστηριακή διαδικασία παραγωγής του χαρτιού (αποϊνώση, πολτοποίηση, στρωμάτωση, υγρή πίεση, στέγνωμα, εκτύπωση) καθώς και ο χρόνος αποθήκευσης (που αντιστοιχεί στο χρόνο που μεσολαβεί μέχρι να «επιστρέψει» στη χαρτοποιία).

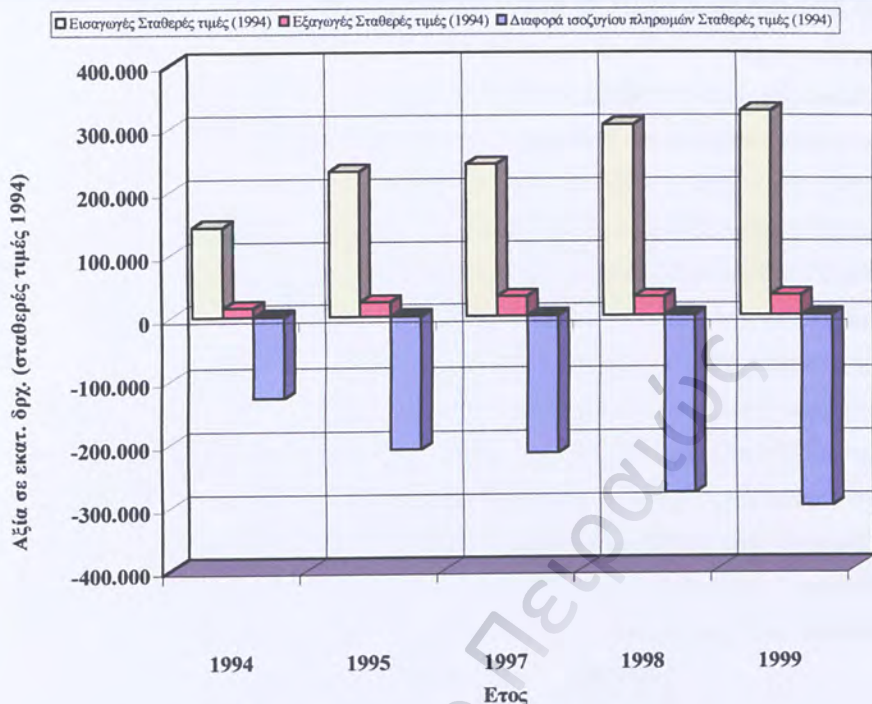
## 6.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την ανακύκλωση του χαρτιού

### 6.2.1. Οικονομική θεώρηση

Η ανακύκλωση ως μέθοδος αξιοποίησης υλικών από τα ΑΣΑ έχει συνήθως θετικές οικονομικές συνέπειες τόσο σε άμεσα οικονομικά οφέλη όσο και σε έμμεσα (Powell 1993). Μεταξύ των άμεσων οικονομικών ωφελειών αναφέρεται η εξοικονόμηση πρώτων υλών και κατ' επέκταση φυσικών πόρων, αφού η ανακύκλωση «επανεισάγει» ποσότητες υλικών στην παραγωγική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα για το χαρτί εφημερίδων η ανακύκλωση οδηγεί σε σημαντική μείωση της δαπάνης για παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού, αφού δεν υλοτομούνται δέντρα για παραγωγή χαρτοπολτού, δηλαδή υπάρχει εξοικονόμηση στην αγορά + μεταφορά της πρώτης ύλης στο εργοστάσιο χαρτοποιίας (δηλαδή στο κόστος προμήθειας πρώτης ύλης). Μικρότερο κόστος προμήθειας πρώτης ύλης, συνεπάγεται χαμηλότερη τιμή διάθεσης του προϊόντος, λαμβάνοντας ως σταθερό το κόστος παραγωγής. Τα άμεσα οικονομικά οφέλη γίνονται ακόμη μεγαλύτερα στην περίπτωση μιας χώρας (ή μιας ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής, όπως η ΕΕ) που η παραγωγή δημοσιογραφικού χαρτιού δεν καλύπτει τις ανάγκες της εσωτερικής ζήτησης και υποχρεωτικά γίνεται εισαγωγή της υπόλοιπης ποσότητας για την κάλυψή της.

Ακόμη μεγαλύτερα μπορούν να θεωρηθούν τα άμεσα οφέλη από τη μείωση των συναλλαγματικών εκροών για έντονα εισαγωγικές σε χαρτί χώρες, όπως η Ελλάδα. (Σχήμα 6.2).





Σχήμα 6.2. Εισαγωγές-Εξαγωγές χαρτιού<sup>3</sup>

Figure 6.2. Imports-Exports of paper

(Πηγή: Στατιστική Επετηρίδα της Ελλάδας, ΕΣΥΕ)

Σε σχέση με το κόστος της ανακύκλωσης, ως μεθόδου διαχείρισης των ΑΣΑ, έχουν γίνει πολλές μελέτες ορισμένες εκ των οποίων αναφέρονται στην ανακύκλωση του παλαιόχαρτου, ενώ ελάχιστες αναφέρουν στοιχεία σχετικά με την ανακύκλωση των παλαιών εφημερίδων.

Σημειώνεται ότι το κόστος ανακύκλωσης του χαρτιού (συνεπώς και του χαρτιού εφημερίδων) εξαρτάται από α) το κόστος συλλογής και β) το κόστος διαλογής και ταξινόμησης, δηλαδή το κόστος ανάκτησης (OECD 1997, Berglund, Söderholm and Nilsson 2002).

<sup>3</sup> Αναφέρεται στους κωδικούς αριθμούς 251, 641 και 642, οι οποίοι αφορούν το χαρτί σύμφωνα με την Τυποποιημένη Ταξινόμηση του Διεθνούς Εμπορίου (ΤΤΔΕ) που ακολουθεί η ΕΣΥΕ.

Όμως, με αυτή την εκτίμηση δεν λαμβάνονται υπόψη τα κόστη δεματοποίησης και μεταφοράς καθώς και το κέρδος των εμπόρων παλαιόχαρτου. Έτσι, σύμφωνα με μια μελέτη για το χαρτί εφημερίδων στο Ηνωμένο Βασίλειο, προκύπτει ότι οι χαρτοποιείς για την προμήθεια και μεταφορά παλαιόχαρτου εφημερίδων στις εγκαταστάσεις τους, αντιμετωπίζουν κόστος που ανέρχεται σε 40-50£ ανά τόνο (Grieg-Gran 1999). Όμως, σύμφωνα με διάφορους ερευνητές (Craighill and Powell 1996, Finnveden and Ekvall 1998, Powell et al. 1999) και τις σχετικές μελέτες που έχουν γίνει (Jaakko Pöyry and EFTEC 1999) θεωρείται ότι η ανακύκλωση του παλαιόχαρτου εφημερίδων επιβαρύνεται και με κόστη που αφορούν την επεξεργασία του (απομελάνωση και επαναπολτοποίηση) και τα οποία συνδέονται τόσο με την εφαρμογή νέας (και ενδεχομένως αρκετά ακριβής) τεχνολογίας όσον και με ενεργειακή κατανάλωση και κατά συνέπεια με οικονομική δαπάνη, η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό συστήματος διαχείρισης του παλαιόχαρτου εφημερίδων που εφαρμόζει ανακύκλωση. Έτσι, από μια μελέτη για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Smith et al. 2001) προκύπτει ότι το μέσο κόστος ανακύκλωσης των παλαιών εφημερίδων στην Ε.Ε. ανέρχεται σε 475€ ανά τόνο εφημερίδων<sup>4</sup>.

Πολλοί είναι οι ερευνητές και οι ειδικοί οι οποίοι υποστηρίζουν ότι στο κόστος ανακύκλωσης πρέπει να συνυπολογιστούν και τα λεγόμενα «εξωτερικά» κόστη (ή οφέλη) που συνδέονται με την ανακύκλωση υλικών από τα ΑΣΑ.

Έτσι, σύμφωνα με την Brisson (1997) τα συνολικά εξωτερικά κόστη από την ανακύκλωση (γενικά ως μεθόδου διαχείρισης) ανέρχονται κατά μέσο όρο σε -170 € ανά τόνο υλικού (δηλαδή πρόκειται για κέρδος, αυτό υποδηλώνει το αρνητικό πρόσημο).

Σύμφωνα με άλλες εργασίες σχετικά με την οικονομική αποτίμηση της ανακύκλωσης με αξιολόγηση των περιβαλλοντικών ωφελειών που προκύπτουν από την ανάλυση κύκλου ζωής (Powell et al. 1996, Craighill and Powell 1996) προκύπτει ότι η ανακύκλωση του χαρτιού δημιουργεί καθαρό εξωτερικό κέρδος £226 ανά τόνο χαρτιού (σε τρέχουσες τιμές του 1995).

Σε άλλη μελέτη ειδικά για την ανακύκλωση του χαρτιού εφημερίδων από τα ΑΣΑ παρουσιάζεται ότι για μια χαρτοποιία με απομελάνωση παλαιόχαρτου εφημερίδων, δυναμικότητας 200 τόννων ανά ημέρα, προκύπτει κόστος προμήθειας 59 €<sub>1990</sub> ανά

<sup>4</sup> Η μελέτη θεωρεί ότι το χαρτί εφημερίδων ανήκει στους ανώτερους τύπους χαρτιού (higher grades) και άρα αποκτά υψηλότερη τιμή σε κάθε στάδιο της διαδρομής του από τη συλλογή μέχρι την χαρτοποιία (υπό μορφή προστιθέμενης αξίας).



τόννο παλαιόχαρτου, τη στιγμή που το ισοδύναμο όφελος από την μη προμήθεια παρθένου πολτού ανέρχεται σε 295 €<sub>1990</sub> ανά τόννο (περίπου 5πλάσιο του αντίστοιχου κόστους). Δηλαδή προκύπτει όφελος 236 €<sub>1990</sub> ανά τόννο επεξεργαζόμενου παλαιόχαρτου εφημερίδων (Bates and Haworth 2001).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το κόστος της ανακύκλωσης είναι κυμαινόμενο, διαφέρει από χώρα σε χώρα και το ύψος του εξαρτάται κυρίως από τις τοπικές συνθήκες (εγκατεστημένο δυναμικό ανακύκλωσης χαρτιού, περιβαλλοντική φορολογία, κόστη εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης) καθώς και το σύστημα συλλογής και διαλογής-ανάκτησης υλικών που εφαρμόζεται, καθώς και από το σχήμα εμπορίας και μεταφοράς. Τέλος, θεωρείται σημαντική η αποτίμηση σε χρηματικούς όρους των περιβαλλοντικών ωφελειών που συνδέονται με την ανακύκλωση και η ενσωμάτωσή τους στον προσδιορισμό του κόστους ανακύκλωσης.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 6.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση

Η ανακύκλωση θεωρείται, ως μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ, ότι είναι περιβαλλοντικά ορθή (environmentally sound), αφού συμβάλλει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών και κατ' επέκταση της διαβίωσης του ανθρώπου.

Σύμφωνα με αρκετούς επιστήμονες η ανακύκλωση έχει μόνο περιβαλλοντικά οφέλη και επιβαρύνει ελάχιστα το φυσικό περιβάλλον συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους διαχείρισης, όπως η ταφή σε χωματερή ή η καύση (Denison 1996). Όμως, παρά τις προσπάθειες των επιστημόνων για ποσοτικοποίηση των συνολικών περιβαλλοντικών ωφελειών και επιπτώσεων από την ανακύκλωση και ακολούθως την αποτίμησή τους σε χρηματικούς όρους, κάτι τέτοιο δεν έχει γίνει δυνατό. Έτσι, οι περιβαλλοντικές ωφέλειες και επιπτώσεις εκτιμώνται με βάση τα ποιοτικά στοιχεία που τις περιγράφουν και με βάση τη μεθοδολογία αποτίμησης των εξωτερικών οικονομιών (external economies). Οπότε, οι μέθοδοι αποτίμησης βασίζονται στα στοιχεία που προκύπτουν από την «προθυμία για πληρωμή» (willingness to pay, WTP) ή την «επιθυμία για αποδοχή ή αποζημίωση» (willingness to accept or compensate, WTA or WTC), που συνεπάγονται τα περιβαλλοντικά οφέλη ή κόστη στους ενδιαφερόμενους (stakeholders). Τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ανακύκλωση του παλαιόχαρτου, συγκρίνονται με την παραγωγή χαρτιού από παρθένα πρώτη ύλη-παρθένο χαρτοπολτό (virgin pulp), τόσον από άποψη εξοικονόμησης πρώτης ύλης όσον και από άποψη μείωσης στη χρήση ενέργειας, χρήση νερού και παραγωγή ρύπων (Denison 1996). Έτσι, με την παραγωγή ενός (1) τόννου χαρτιού από παλαιόχαρτο (ή ακόμη και από ήδη ανακυκλωμένο χαρτί εξοικονομούνται (MPSC<sup>5</sup> 2001):

- περίπου 17 (ώριμα) δέντρα
- το 40% της κατανάλωσης ενέργειας στην παραγωγή χαρτιού ή 4.1 MWh
- το 60% της κατανάλωσης νερού στην παραγωγή χαρτιού ή 26.500 λίτρα νερού
- 74% λιγότερη ατμοσφαιρική ρύπανση, λόγω μείωσης ατμοσφαιρικών ρύπων
- 34% λιγότερη ρύπανση του νερού για αντίστοιχο λόγο
- περίπου 0,57 m<sup>3</sup> διαθέσιμου χώρου στη χωματερή.

<sup>5</sup> Manitoba Product Stewardship Corporation



Η ανακύκλωση ως πρακτική διαχείρισης και ανάκτησης υλικών από το ρεύμα των ΑΣΑ έχει βρει πολλές εφαρμογές τόσο σε αναπτυγμένες όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Η ανακύκλωση του χαρτιού και ειδικότερα των παλαιών εφημερίδων είναι πρακτική που εφαρμόστηκε αρχικά σε χώρες των οποίων η εθνική οικονομία τους στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή χαρτιού όπως ο Καναδάς, η Σουηδία, η Φινλανδία και κατά δεύτερο λόγο οι ΗΠΑ, ενώ σήμερα αποτελεί πρωτεύοντα στόχο για αρκετές από τις χώρες-μέλη της Ε.Ε., όπως η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ολλανδία, το Βέλγιο κ.α. Επίσης, ανακύκλωση του παλαιόχαρτου εφημερίδων εφαρμόζουν χώρες που εισάγουν χαρτί ή/και χαρτοπολτό, όπως η Αυστραλία, η Ιαπωνία, και σε μικρότερο βαθμό η Κίνα και η Ινδία.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε μια μελέτη περίπτωσης (case study) για την ανακύκλωση παλαιών εφημερίδων, που έγινε το 1999 στο Ηνωμένο Βασίλειο, προκύπτει ότι από οικονομική άποψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανακύκλωσης είναι μικρότερες σε σχέση με την αποτέφρωση, εκφραζόμενες σε όρους περιβαλλοντικού κόστους. Έτσι, το περιβαλλοντικό κόστος της ανακύκλωσης εκτιμήθηκε σε £15 ανά τόνο παλαιών εφημερίδων ενώ το αντίστοιχο κόστος της αποτέφρωσης σε £24, που δείχνει την ανακύκλωση να έχει καλύτερη περιβαλλοντική επίδοση<sup>6</sup> κατά 37.5% έναντι της αποτέφρωσης (Jaakko Pöyry and EFTEC 1999, Powell, Pearce and Howarth 1999). Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη μελέτη των Hanley και Slark (1994) για την ανακύκλωση του χαρτιού, σύμφωνα με την οποία η ανακύκλωση έχει καθαρά οφέλη (net benefits) σε σχέση με την υγειονομική ταφή λαμβανομένων υπόψη των περιβαλλοντικών κοστών της τελευταίας.

<sup>6</sup> Σημειώνεται ότι η σύγκριση έγινε για σενάριο εφαρμογής της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας (best available technology-BAT), τόσο στις χαρτοποιίες όσο και στους αποτεφρωτήρες ((Jaakko Pöyry and EFTEC 1999).

### 6.2.3. Κοινωνική θεώρηση

Η ανακύκλωση των ανακυκλώσιμων υλικών που ανακτώνται από το ρεύμα των ΑΣΑ, εκτός των οικονομικών και περιβαλλοντικών ωφελειών, παρουσιάζει και σημαντικά κοινωνικά οφέλη.

Έτσι, σύμφωνα με πολλούς συγγραφείς, η ανακύκλωση συνδέεται άμεσα με κοινωνικά οφέλη όπως η δημιουργία απασχόλησης, δηλαδή θέσεων εργασίας που προκύπτουν από την εφαρμογή προγραμμάτων ανακύκλωσης στη διαχείριση των ΑΣΑ, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και κατά συνέπεια του βιοτικού επιπέδου, η ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης κ.λπ. (Denison 1996, Craighill and Powell 1996, Powell et al. 1999).

Σε ότι αφορά τη δημιουργία απασχόλησης, η ανακύκλωση θεωρείται ότι έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση. Σημειώνεται ότι στις σχετικές μελέτες για την απασχόληση, η ανακύκλωση είτε θεωρείται ενιαία με τη διαλογή-ταξινόμηση και την επανεπεξεργασία των ανακτώμενων υλικών είτε αυτοτελώς. Έτσι, σύμφωνα με στοιχεία της μελέτης των Risk and Policy Analysts Limited (2001) η ανακύκλωση έχει θετική επίδραση στην απασχόληση αφού δημιουργεί αρκετές θέσεις εργασίας, οι οποίες αντιστοιχούν σε ποσοστό απασχόλησης που κυμαίνεται από 11-27% της συνολικής απασχόλησης στον τομέα διαχείρισης απορριμμάτων, στις χώρες της ΕΕ. Σύμφωνα με τη μελέτη, η ανακύκλωση, αυτοτελώς εξεταζόμενη, έχει «εργασιακό περιεχόμενο» που ισοδυναμεί με 242-300 τόννους υλικών ανά θέση εργασίας ανά έτος ή περίπου 2-3 θέσεις εργασίας ανά 1.000 τόννους υλικών. Επίσης, σύμφωνα με τα στοιχεία της ίδιας μελέτης (Risk and Policy Analysts Limited 2001) η ανακύκλωση του παλαιόχαρτου (χαρτί/χαρτόνι) φαίνεται να δημιουργεί από 3 έως 5 θέσεις εργασίας ανά 1.000 τόννους υλικού.

Σχετικά με την απασχόληση που δημιουργεί η ανακύκλωση των παλαιών εφημερίδων, αναφέρεται ότι θα μπορούσαν να δημιουργηθούν 12 θέσεις εργασίας για κάθε επιπρόσθετος 1.000 τόννους ανακυκλωμένων εφημερίδων (BNMA 1995). Ειδικότερα για την ανακύκλωση των εφημερίδων, από σχετική μελέτη για το χαρτί εφημερίδων στο Ηνωμένο Βασίλειο, προκύπτει ότι η εγκατάσταση και λειτουργία μονάδας παραγωγής δημοσιογραφικού χαρτιού από ανακύκλωση των παλαιών εφημερίδων, δυναμικότητας επεξεργασίας 300.000 τόννων, εκτιμάται η δημιουργία περίπου 4.000 θέσεων εργασίας. Από αυτές οι 615 αφορούν άμεση απασχόληση κατά την κατασκευή και 300 αφορούν άμεση απασχόληση από τη λειτουργία της μονάδας (Grieg-Gran 1999).



Επίσης, από την ανακύκλωση του παλαιόχαρτου προκύπτουν και έμμεσες κοινωνικές ωφέλειες, ως δευτερογενείς θετικές συνέπειες από:

- την εξοικονόμηση πόρων, λόγω μικρότερων εισαγωγών χαρτιού
- από την εξοικονόμηση πόρων, από τη μείωση της χρήσης ενέργειας
- από τη βελτίωση του περιβάλλοντος, λόγω μείωσης της ρύπανσης
- από τη διατήρηση των δασών, λόγω μείωσης της υλοτόμησης δέντρων.

Ακόμη, είναι ευρύτατα αποδεκτό και θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό το κοινωνικό όφελος από τη συμμετοχή των διαφόρων κοινωνικών ομάδων σε προγράμματα-δράσεις ανακύκλωσης στην πηγή, αφού έτσι αναπτύσσεται η περιβαλλοντική συνείδηση και ευαισθησία, ειδικότερα δε των μικρών μαθητών και μεταδίδεται εμπειρία-πληροφόρηση και αφετέρου δημιουργείται στους εμπλεκόμενους η ικανοποίηση ότι συμβάλλουν άμεσα σε μια περιβαλλοντικά υγιή μέθοδο διαχείρισης των ΑΣΑ.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 7. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Είναι γνωστό ότι στόχος μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η αξιολόγηση εναλλακτικών μεταξύ τους επιλογών, η οποία γίνεται με βάση την επίδοση (βαθμολογία) που λαμβάνουν σε ειδικώς επιλεγμένα για το σκοπό αυτό κριτήρια, ώστε να υποστηριχθεί η λήψη απόφασης.

Γενικά οι μέθοδοι αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, διακρίνονται σε κύριες και δευτερεύουσες. Ως κύρια μέθοδος έχει αναφερθεί ότι είναι η ανακύκλωση του παλαιόχαρτου εφημερίδων, δηλαδή η συλλογή, η διαλογή και ταξινόμηση, το εμπόριο και η μεταφορά στις χαρτοποιείες, η απομελάνωση, η επαναπολτοποίηση και η παραγωγή ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού (recycled content newsprint). Οι δευτερεύουσες μέθοδοι αφορούν την αξιοποίηση του ήδη ανακυκλωμένου παλαιόχαρτου που δεν μπορεί να ανακυκλωθεί περαιτέρω. Οι δευτερεύουσες μέθοδοι είναι αυτές που αποτελούν τις εναλλακτικές (alternatives) μεθόδους αξιοποίησης ή επιλογές (options) και αξιολογούνται μέσω του πολυκριτηριακού μοντέλου που χρησιμοποιεί η παρούσα εργασία.

Στη συνέχεια γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης, προσδιορίζονται τα στοιχεία που έχουν σημαντική αξία από οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική άποψη και γίνονται αναφορές σε βιβλιογραφικές πηγές ή/και σε περιπτώσεις μελέτης (case studies) από την εφαρμογή τους.



## 7.1. Καύση με ανάκτηση ενέργειας (Incineration with energy recovery)

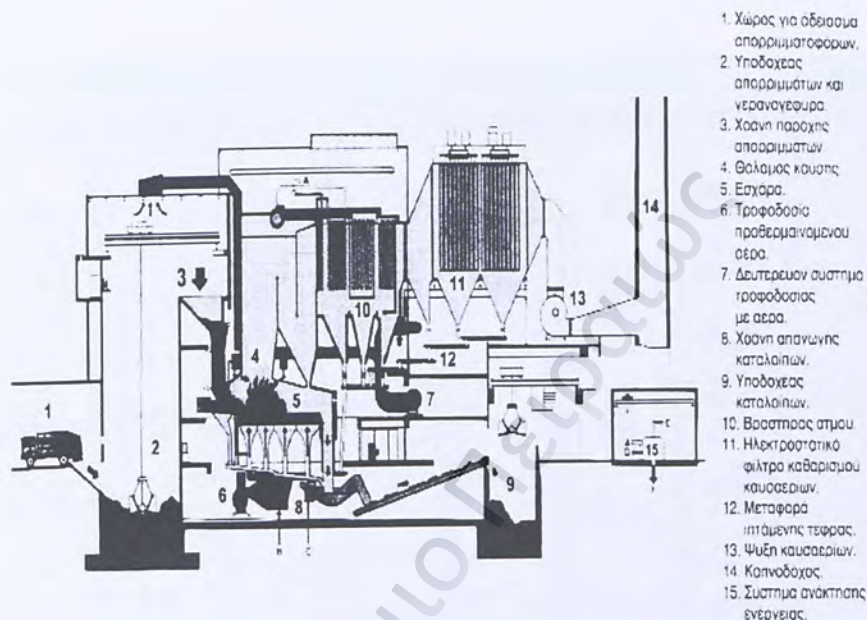
### 7.1.1. Γενικά

Είναι γνωστό ότι κατά την τελευταία 20ετία έχει γίνει πολύς λόγος και έχουν κατασκευαστεί αρκετές και διαφορετικού χαρακτήρα εγκαταστάσεις<sup>1</sup>, οι οποίες στηρίζονται στην καύση των οργανικών υλικών (mass burning) των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ, municipal solid waste-MSW) με ανάκτηση ενέργειας. Τα οργανικά υλικά που περιέχονται στο ρεύμα των ΑΣΑ έχουν σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο, το οποίο καλύπτει ένα μεγάλο εύρος ανάλογα με το υλικό το οποίο καίγεται (World Bank 1999).

Η διαδικασία της καύσης των οργανικών υλικών των ΑΣΑ χωρίς εκμετάλλευση του ενεργειακού τους περιεχομένου θεωρείται ότι επιτυγχάνει μείωση κατά 90% σε όγκο (ή κατά 70% σε βάρος) των ΑΣΑ που τελικά διατίθενται στο περιβάλλον. Ταξινομημένα καύσιμα υλικά από τα ΑΣΑ μπορούν να θρυμματιστούν, να συμπιεστούν σε σφαιρίδια (pellets) ή να κονιοποιηθούν (pulverize) και να καούν μεμονωμένα ή μαζί με άλλα στερεά καύσιμα σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας και σε βιομηχανικές μονάδες, αντικαθιστώντας τα συμβατικά καύσιμα. Αν η εγκατάσταση καύσης συνδυάζει την ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας, εκμεταλλευόμενη το ενεργειακό περιεχόμενο των ΑΣΑ που απελευθερώνεται κατά την καύση, τότε είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικών οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών ωφελειών. Η καύση των ΑΣΑ είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει διάφορα στάδια, τα οποία σε γενικές γραμμές είναι (EEA 2000): ξήρανση (σε θερμοκρασία 50-200 °C) και εν συνεχεία ανάλογα με τη μέθοδο καύσης εφαρμόζεται τεμαχισμός ή κονιορτοποίηση, απομάκρυνση αερίων (κυρίως στους 250-400 °C), αεριοποίηση (στους 400-600 °C) και καύση (σε θερμοκρασία > 600 °C).

Μια τυπική εγκατάσταση αποτεφρωτή οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας περιλαμβάνει τις επιμέρους μονάδες και τα στοιχεία που φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα.7.1).

<sup>1</sup> Πρόκειται για εγκαταστάσεις στις οποίες διαφέρει το σύστημα εκμετάλλευσης της ενέργειας, π.χ. καύση RDF (Refuse Derived Fuel) από ΑΣΑ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή καύση συμπιεσμένων και κονιορτοποιημένων υλικών από τα ΑΣΑ για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, καύση ΑΣΑ για τηλέθρμανση, για παροχή ενέργειας στις μονάδες που βρίσκονται στη χωματερή κ.α.



**Σχήμα 7.1.** Διάταξη (σε τομή) μιας τυπικής εγκατάστασης καύσης ΑΣΑ  
**Figure 7.1.** Layout (section) of a typical MSW incineration plant

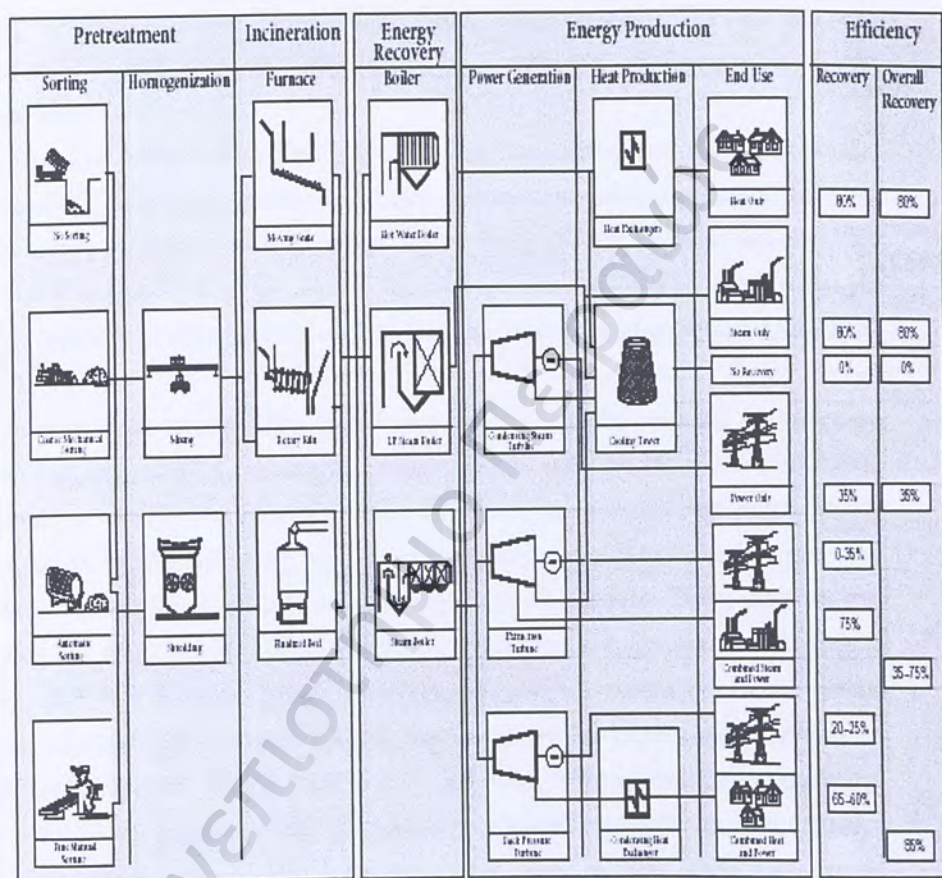
(Πηγή: Αλεξάκη και Αγαπητίδης, 1993)

Η μέθοδος είναι τεχνολογικά εφικτή, αφού υπάρχει ώριμη τεχνολογία τόσο σε ότι αφορά την καύση (υλικά κατασκευής - διαμόρφωση θαλάμου καύσης, σύγχρονες τεχνικές καύσης με στόχο την αύξηση απόδοσης της καύσης<sup>2</sup>) όσο και τις λοιπές τεχνολογικές εφαρμογές (ξηραντήρια, τεμαχιστές, θραυστήρες κ.λπ.) καθώς και τις διατάξεις περιορισμού και ελέγχου της ρύπανσης.

<sup>2</sup> Οι συνθεότερες τεχνικές που εφαρμόζονται σήμερα για την καύση στερεών καυσίμων (όπως βιομάζα, υλικά από τα ΑΣΑ κ.λπ.) είναι: α) η καύση σε κινούμενες σχάρες (moving grate systems) και β) η καύση «ρευστοποιημένης κλίνης» (fluidized bed systems). Με την πρώτη επιδιώκεται η καλύτερη και ομοιόμορφη διασπορά του καυσίμου υλικού στο θάλαμο καύσης, ενώ με τη δεύτερη γίνεται κοκιορτοποίηση (pulverization) του καυσίμου και στη συνέχεια εισαγωγή στο θάλαμο καύσης. Και οι δύο τεχνικές αποσκοπούν στην επίτευξη όσο το δυνατόν τελείας καύσης των υλικών που καίγονται με συνέπεια την αύξηση του βαθμού απόδοσης της καύσης και κατ' επέκταση αύξηση της ενέργειας που ανακτάται και παράλληλα τη μείωση της παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα (CO) που είναι προϊόν της ατελούς καύσης.



Το θεωρητικά άριστο οργανωτικό και τεχνολογικό σχήμα από την εφαρμογή (εγκατάσταση-δικτύωση) μονάδων καύσης υλικών από τα ΑΣΑ με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας είναι όπως αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.2 (World Bank, 1999).



Σχήμα 7.2. Σύνοψη της τεχνολογίας καύσης των ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας  
**Figure 7.2.** Technological overview of MSW incineration with energy recovery

(Πηγή: World Bank, 1999)

Βέβαια, στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν μπορεί να επιτευχθεί απόλυτα και σε κάθε περίπτωση καύσης υλικών από τα ΑΣΑ. Για την εγκατάσταση σε μια περιοχή (συνήθως αστική) μονάδων καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας πρέπει να πληρούνται ορισμένες κρίσιμες προϋποθέσεις, όπως να υπάρχει παραγωγή μεγάλων

ποσοτήτων ΑΣΑ και ιδιαίτερα οργανικών υλικών, η μονάδα να είναι σε σχετικά κοντινή απόσταση (εγγύτητα) σε σχέση με τα κέντρα κατανάλωσης ενέργειας (ειδικότερα της θερμικής), να επιτυγχάνεται η οικονομική μεταφορά των ΑΣΑ κ.λπ. Οι μονάδες καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας συνήθως περιλαμβάνονται στο συνολικό σχεδιασμό διαχείρισης απορριμμάτων, είτε στα πλαίσια της δημιουργίας ενός σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) είτε στο σχεδιασμό συνδυασμένης διαχείρισης με ανάκτηση ενέργειας-υλικών και ανακύκλωση.

Η καύση με ανάκτηση ενέργειας ως μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ παρουσιάζει ενδιαφέρον αφού επιτυγχάνεται σημαντική ανάκτηση θερμικής και (κατά περίπτωση) ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα για την Ευρώπη, από τις μονάδες καύσης ΑΣΑ ανακτώνται 49,6 TWh<sup>3</sup> ενέργειας κατ' έτος, από τα οποία το 70% χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση (district heating) και το 30% για παραγωγή ηλεκτρισμού (ASSURE<sup>4</sup> 2001).

Η δυναμικότητα επεξεργασίας (input capacity) των μονάδων καύσης με ανάκτηση ενέργειας από τα ΑΣΑ, κυμαίνεται ανάμεσα σε 50.000-450.000 τόννους κατ' έτος (tonnes per annum, tpa). Η δυναμικότητα παραγωγής (output capacity), ειδικά για την περίπτωση της συμπαραγωγής (combined heat and power, CHP), εξαρτάται από τους επιμέρους βαθμούς απόδοσης σε θερμότητα και ηλεκτρισμό. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2 ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται ανάμεσα σε 20-25% (μέσος όρος 22,5%), ο θερμικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται ανάμεσα σε 60-65% (μέσος όρος 62,5%), ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης για τη συμπαραγωγή φθάνει το  $(22,5+62,5)\%=85\%$  (World Bank 1999). Συνεπώς, η δυναμικότητα σε παραγωγή ενέργειας στην περίπτωση της συμπαραγωγής, κυμαίνεται ανάμεσα στις 25.000 – 225.000 MWh<sub>e</sub> (ηλεκτρικής ενέργειας) κατ' έτος ή 500 kWh<sub>e</sub> ανά τόνο απορριμμάτων και ανάμεσα στις 70.000-630.00 MWh<sub>th</sub> (θερμικής ενέργειας) ή 1.400 kWh ανά τόνο απορριμμάτων (World Bank 1999, ECOTEC 2001). Αν ληφθεί υπόψη ότι 1 λίτρο πετρελαίου οικιακής χρήσης αποδίδει περίπου 2 kWh θερμότητας, τότε ένας τόννος απορριμμάτων ισοδυναμεί ενεργειακά με 700 λίτρα πετρελαίου.

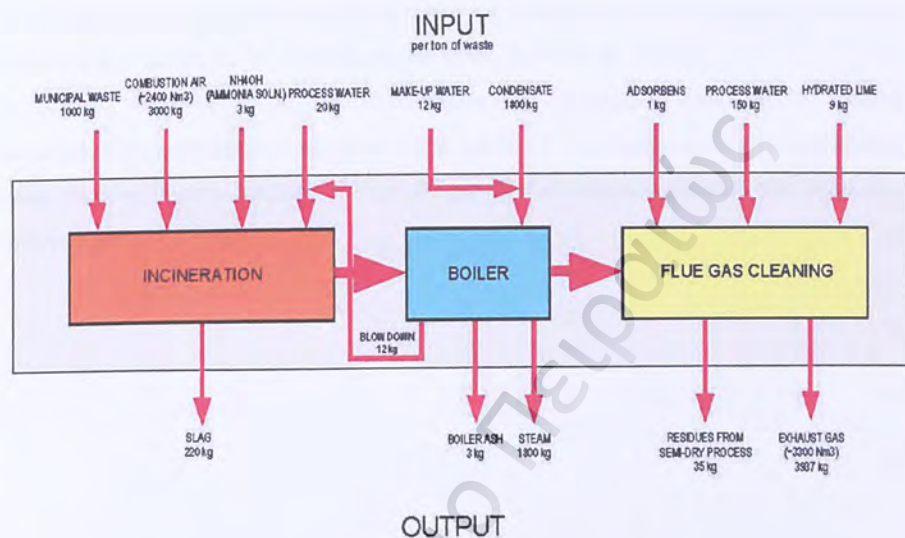
Σε μια μονάδα καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας, εκτός των ποσοτήτων των ΑΣΑ, στο όλο σύστημα εισέρχονται μεγάλες ποσότητες αέρα καθώς και διάφορες ποσότητες και από άλλα υλικά (π.χ. νερό) καθώς και εξέρχονται ποσότητες

<sup>3</sup> Terra Watt hours, 1 TWh = 1.000.000 MWh

<sup>4</sup> Association for the Sustainable Use and Recovery of Resources in Europe



καυσαερίων, ατμού, υπτάμενης τέφρας, τέφρας πυθμένα κ.α. Μια σχηματική εικόνα για το ισοζύγιο μάζας (mass balance) μιας εγκατάστασης καύσης ΑΣΑ δίνεται στο σχήμα 7.3.



**Σχήμα 7.3.** Ισοζύγιο μάζας εγκατάστασης καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας

**Figure 7.3.** Mass balance of an MSW incineration with energy recovery plant

(Πηγή: Ecoling 2002, [www.ecoling.ch](http://www.ecoling.ch))

Η καύση με ανάκτηση ενέργειας έχει ιδιαίτερη σημασία στην προκείμενη περίπτωση, αφού όπως προαναφέρθηκε, το χαρτί αποτελεί σημαντικό μέρος από το οργανικό υλικό του ρεύματος των ΑΣΑ. Το χαρτί και κατ' επέκταση το παλαιόχαρτο εφημερίδων ως οργανικό υλικό, πέρα από τις άλλες ιδιότητές του, έχει σημαντική θερμογόνο δύναμη ή αλλιώς θερμαντική αξία (calorific value) η οποία κυμαίνεται από μετρίως χαμηλή έως αρκετά υψηλή, ανάλογα με το είδος του χαρτιού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμαντική αξία του χαρτιού και κατ' επέκταση του παλαιόχαρτου εφημερίδων είναι η ποσοστιαία περιεκτικότητα σε κυτταρίνη, η πρόσμιξη με υλικά χαμηλού θερμικού περιεχομένου, η περιεχόμενη υγρασία και δευτερευόντως το μίγμα της καύσης και οι συνθήκες καύσης (World Bank 1999).

Σύμφωνα με μια συγκριτική μελέτη για την ανάκτηση ενέργειας μέσω καύσης, από μίγματα διαφόρων τύπων χαρτιού, οι οποίοι (τύποι χαρτιού) ανακτώνται από τα αστικά στερεά απορρίμματα, προκύπτει ότι η θερμομαντική αξία ειδικότερα του χαρτιού παλαιών εφημερίδων έχει την υψηλότερη μέση τιμή σε σχέση με τους άλλους τύπους χαρτιού που ανακτώνται από τα ΑΣΑ, η οποία ανέρχεται στα 17,5 MJ/kg (Erdinçler & Vesilind 1993), αλλά και μεγαλύτερη από τη μέση θερμομαντική αξία των ΑΣΑ που κυμαίνεται ανάμεσα σε 9-12 MJ/kg (Eden 2000, Smith et al. 2001).

Η μέθοδος της καύσης με ανάκτηση ενέργειας, όπως προκύπτει από τη διεθνή πρακτική, έχει σημαντικές οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις και αντίστοιχα οφέλη, στοιχεία για τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

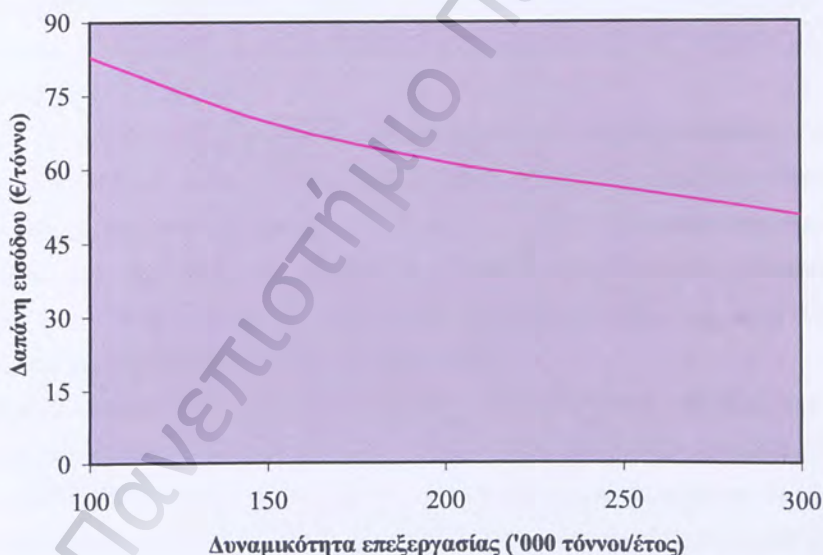


## 7.1.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την καύση με ανάκτηση ενέργειας

### 7.1.2.1. Οικονομική θεώρηση

Όπως για κάθε εγκατάσταση, έτσι και για τις μονάδες ενέργειας από απορρίμματα (Energy from Waste-EfW plants) ισχύουν οι αρχές της οικονομίας κλίμακας (economy of scale). Αυτό έχει να κάνει κυρίως με το μέγεθος της μονάδας, δηλαδή τη δυναμικότητά της ή πιο απλά με το πόσους τόννους ΑΣΑ μπορεί να επεξεργάζεται η μονάδα σε ετήσια βάση.

Ο γενικός κανόνας στην περίπτωση των μονάδων καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας είναι ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της μονάδας (δυναμικότητα) τόσο μικρότερη είναι η δαπάνη εισόδου<sup>5</sup> (gate fee) και άρα οικονομικότερη η λειτουργία της (Σχήμα 7.4).



Σχήμα 7.4. Δαπάνες εισόδου σε σχέση με τη δυναμικότητα μονάδας καύσης ΑΣΑ

Figure 7.4. Gate fees related to MSW incineration plant processing capacity

(Πηγή: AEA Technology 2001)

<sup>5</sup> Η δαπάνη εισόδου (gate fee) είναι ένας τεχνικός όρος με τον οποίο αντιπροσωπεύεται η ανά μονάδα δαπάνη (συνήθως euro ανά τόνο), που πληρώνει ο ΟΤΑ για τη συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία-διαλογή του υλικού που θα φτάσει στη μονάδα καύσης (EC 2001). Πάντως, δεν πρόκειται για σταθερή δαπάνη, αφού εξαρτάται από το σύστημα συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης των απορριμμάτων καθώς και το φορέα διαχείρισής του.

Βέβαια, η οικονομικότητα μια μονάδας καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας δεν καθορίζεται μόνο από το μέγεθος της μονάδας αλλά και από πολλές και διαφορετικές δαπάνες. Οι δαπάνες για την εγκατάσταση και λειτουργία μιας μονάδας καύσης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η αξία κτήσεως γης<sup>6</sup>, ο βαθμός απόδοσης, το κόστος διαχείρισης των αέριων ρύπων και των καταλοίπων της καύσης, η αποδοτικότητα (efficiency) ανάκτησης ενέργειας, οι περιβαλλοντικοί φόροι που επιβάλλονται στην καύση και τα έσοδα από τη διανομή της ενέργειας.

Σε γενικές γραμμές το ειδικό κόστος (€/τόννο) που απαιτείται για την εγκατάσταση και λειτουργία μιας μονάδας καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι έντονα μεταβαλλόμενο, διαφέρει από χώρα σε χώρα<sup>7</sup> και κυμαίνεται μεταξύ 30-230 €/τόννο ΑΣΑ (ECOTEC 2001). Δηλαδή, κατά προσέγγιση, ένα μέσο κόστος 125 €/τόννο ΑΣΑ για την Ε.Ε. των 15 χωρών-μελών, μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό. Συνεπώς, για μια μονάδα καύσης ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας, δυναμικότητας επεξεργασίας 150.000 tpa, το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας αναμένεται ότι θα ανέλθει κατά προσέγγιση σε 18.750.000 € (ή 6,3 δισεκατομμύρια δραχμές).

Παρά τη σχετικά μεγάλη δαπάνη που απαιτείται για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τέτοιων μονάδων, θεωρείται ότι αυτές μπορούν να καταστούν βιώσιμες και, κατά περίπτωση, ανταγωνιστικές. Άλλωστε, η μέσω της καύσης ανακτώμενη ενέργεια που παρέχεται στην κατανάλωση, θεωρείται ότι είναι ανταγωνιστική σε σχέση με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στην αγορά ενέργειας, αφού η τιμή πώλησης ανά kWh βρίσκεται σε αντίστοιχα επίπεδα.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι τιμές πώλησης της ανακτώμενης ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ στις χώρες-μέλη της Ε.Ε. κυμαίνονται μεταξύ 0,02 και 0,040 €/kWh (ECOTEC 2001), δηλαδή σε επίπεδα αντίστοιχα αν όχι χαμηλότερα από αυτά του φυσικού αερίου (0,020-0,031 €/kWh, ΔΕΠΑ 2002) και του πετρελαίου (0,046-0,050 €/kWh, ΡΑΕ 2002).

<sup>6</sup> Σε όλες τις περιπτώσεις αγοράς γης, ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση του ύψους της αξίας κτήσεώς της έχει η χρήση της γης δηλαδή αν είναι αστική, αγροτική ή άλλη χρήση.

<sup>7</sup> Το κόστος αυτό διαφέρει λόγω της διαφορετικής φορολογίας που επιβάλλεται στις μονάδες καύσης ΑΣΑ και των πολύ διαφορετικών δαπανών εισόδου (gate fees) από χώρα σε χώρα, καθώς και του γενικότερου συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ, με αποτέλεσμα της ανομοιομορφίας και των ειδικότερων τοπικών συνθηκών να διαφέρουν σημαντικά οι τιμές του ειδικού κόστους (ECOTEC 2001).



Μεταξύ των οικονομικών ωφελειών, που «απονέμονται» στην καύση οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας, είναι η ανάκτηση και η παροχή θερμικής και (σε κάποιες περιπτώσεις) ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που συνεπάγεται εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ενέργειας (λόγω μη κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων<sup>8</sup>) και κατ' επέκταση σημαντική εξοικονόμηση κεφαλαίων (συναλλάγματος), τα οποία (κεφάλαια) μπορούν να διατεθούν σε άλλους, ίσως πιο προσοδοφόρους, σκοπούς.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

---

<sup>8</sup> Επίσης ως εξοικονόμηση πρέπει να θεωρηθεί και η διατήρηση των (στρατηγικών) αποθεμάτων ενέργειας.

### 7.1.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση

Είναι γνωστό ότι η καύση οργανικών υλικών έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και νερού (H<sub>2</sub>O) όταν αυτή είναι τέλεια, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση (ατελής καύση λόγω π.χ. ανομοιογένειας υλικού, υγρασίας) παράγονται επιπλέον αέρια καύσης (flue gases), ιπτάμενη τέφρα (fly ash) και στερεό κατάλοιπο (τέφρα βάσης, bottom ash). Ειδικότερα στην περίπτωση των μονάδων καύσης ΑΣΑ, όπου γίνεται καύση πολλών υλικών διαφορετικής υγρασίας και σύστασης, η καύση παράγει πολλούς και διαφορετικής φύσεως ρύπους που επιβαρύνουν το περιβάλλον και την υγεία όλων των έμβιων. Για το θέμα της ρύπανσης από την καύση των ΑΣΑ έχουν γίνει πολλές έρευνες και μελέτες και έχει βρεθεί ότι εκλύονται πολλοί και διαφορετικής μορφής ρύποι.

Στο θέμα αυτό η Ε.Ε. με τις Οδηγίες 89/369/ΕΟΚ, 89/339/ΕΟΚ για την Καύση Απορριμμάτων (Waste Incineration Directives) και την 94/67/ΕΕ για την Καύση Τοξικών ή Επικίνδυνων Αποβλήτων (Incineration of Hazardous Waste Directive), που εστιάζονται στην πρόληψη και την ελάττωση της αέριας (και όποιας άλλης μορφής) ρύπανσης από μονάδες καύσης ΑΣΑ, προσπάθησε και πέτυχε να ελέγξει και να μειώσει δραστικά τις εκπομπές αέριων ρύπων από τις μονάδες αυτές.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις εκπομπές ρύπων των μονάδων καύσης ΑΣΑ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1. για κάθε είδος ρύπου, με βάση σχετική μελέτη της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EEA<sup>9</sup> 2000).

<sup>9</sup> European Environmental Agency, EEA



**Πίνακας 7.1.** Κυριότεροι ρύποι από μονάδες καύσης των ΑΣΑ

**Table 7.1.** Main pollutants from MSW mass burn incineration plants

Είδος ρύπανσης	Ρύπος	Τοξικότητα <sup>10</sup>	Περιβαλλοντική Επίπτωση
Αέρια	Διοξίνες	Υψηλή – πολύ υψηλή <sup>11</sup>	Σημαντική-πολύ σημαντική
	Φουράνες	- // -	- // -
	Καπνιά	Μέτρια-υψηλή	Σημαντική
	Βαρέα μέταλλα	Υψηλή – πολύ υψηλή	Σημαντική-πολύ σημαντική
	Ανόργανα αέρια (NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> & HCl)	- // -	- // -
	Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	Μέτρια – υψηλή	Σχετικά σημαντική
	Σκόνη, σωματίδια	- // -	Σημαντική
Υδατική	Βαρέα μέταλλα	Υψηλή – πολύ υψηλή	
	Σκουριές, τέφρα	- // -	
Εδαφική	Σκόνες, τέφρα, σκουριές	Υψηλή – πολύ υψηλή	
	Καταλύτες	- // -	
	Βαρέα μέταλλα	- // -	

Πηγή: EEA 2000. Προσαρμογή από το συγγραφέα.

Για τον έλεγχο των εκπομπών και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από την εφαρμογή της καύσης των ΑΣΑ, απαιτούνται τεχνολογικές λύσεις όπως η τοποθέτηση κατάλληλων διατάξεων (φίλτρα, συλλέκτες κ.α.) συγκράτησης ή εξουδετέρωσης των αέριων ρύπων (flue gases), της σκόνης και ειδικότερα των σωματιδίων (particulate matter, PM). Επίσης, λαμβάνονται ειδικά μέτρα (φίλτρα συγκράτησης, καταλύτες) με σκοπό τη μείωση μέχρι μηδενισμού του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το οποίο εκλύεται σε σημαντικές ποσότητες καθόσον είναι από τα κύρια παράγωγα της καύσης καθώς και άλλων οξειδίων (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) που επίσης παράγονται κατά την καύση.

Εδώ κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι ειδικότερα για την καύση του παλαιόχαρτου και των υπολειμμάτων ανακύκλωσης χαρτιού οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) θεωρείται ότι ανακυκλώνονται, με την έννοια ότι το CO<sub>2</sub> θα δεσμευτεί από τις

<sup>10</sup> Αναφέρεται σε ζώα (κυρίως θηλαστικά) και όχι σε φυτά, αφού το θέμα αυτό βρίσκεται υπό διερεύνηση.

<sup>11</sup> Οι διοξίνες και οι φουράνες είναι τοξικές ουσίες που έχουν την ιδιότητα να είναι λιποδιαλυτές (liposoluble) και παράλληλα είναι δύσκολο να αποσυντεθούν ενώ είναι βιοσυσσωρευσιμες (bioaccumulative)(EEA 2000).

επόμενες γενιές δέντρων προτού αυτά υλοτομηθούν. Η θεώρηση αυτή τεκμηριώνεται με την ακόλουθη συλλογιστική: αν ληφθεί ως δεδομένο ότι τα δάση διαχειρίζονται αειφορικά, τότε το διοξείδιο του άνθρακα που  $\text{CO}_2$  που απελευθερώνεται από την καύση του χαρτιού, είχε δεσμευθεί κατά την αύξηση και ανάπτυξη των δέντρων, τα οποία κάποια στιγμή υλοτομήθηκαν και οδηγήθηκαν στην παραγωγή χαρτιού (Leach et al. 1997). Δηλαδή, το διοξείδιο του άνθρακα ανακυκλώνεται μέσα σ' ένα αειφορικό κύκλο ενός ανανεώσιμου φυσικού πόρου όπως είναι το ξύλο και κατ' επέκταση το χαρτί. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ως ουδέτερη η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (neutral  $\text{CO}_2$ ) όταν η ενέργεια (θερμότητα, ηλεκτρισμός) παράγεται από καύση δασικής βιομάζας ή από καύση χαρτιού (Leach et al. 1997).

Τέλος, στα πλαίσια αποφυγής των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την καύση των ΑΣΑ, επιβάλλεται η λήψη μέτρων περαιτέρω ελέγχου των υπολειμμάτων της καύσης όπως η τέφρα πυθμένα (bottom ash) και η ιπτάμενη τέφρα (fly ash), για τα οποία πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη διαχείριση. Έτσι, σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US-EPA), η τέφρα βάσης (bottom ash) μπορεί να διατεθεί σε άλλες χρήσεις, όπως στην οδοποιΐα στα υλικά οδόστρωσης ή στην κατασκευή τμημάτων ΧΥΤΑ κ.λπ. Βέβαια, εκφράζονται φόβοι για την περιεκτικότητά της σε τοξικές και επικίνδυνες ουσίες όπως βαρέα μέταλλα, οπότε θεωρείται αναγκαία η λήψη επιπλέον μέτρων ελέγχου και διάθεσης των υλικών αυτών σε ΧΥΤΑ. Όμως το κόστος διάθεσης τέτοιων ουσιών καθώς και η μη αποδοχή αυτής της διάθεσης στο περιβάλλον (ΧΥΤΑ), έχει οδηγήσει τη βιομηχανία στη διερεύνηση εναλλακτικών τεχνικών διάθεσης, που πιθανώς περιλαμβάνουν σταθεροποίηση ή υαλοποίηση με σκοπό την αδρανοποίηση των ουσιών αυτών (AEA Technology 1998).



### 7.1.2.3. Κοινωνική θεώρηση

Μεταξύ των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη στην λήψη αποφάσεων είναι και οι κοινωνικές επιδράσεις, δηλαδή οι θετικές συνέπειες και οι επιπτώσεις που μπορεί να δημιουργήσει η εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων καύσης των ΑΣΑ στο κοινωνικό σύνολο.

Από την άποψη των κοινωνικών επιπτώσεων, η πράξη δείχνει ότι όπου εγκαθίσταται και λειτουργεί μονάδα καύσης ΑΣΑ (waste mass-burning plant) αυτή συνδέεται με σημαντικές κοινωνικές επιπτώσεις (οχλήσεις), κυρίως για τους κατοίκους των γειτονικών οικισμών, για τους επισκέπτες αλλά ακόμη και για τους διερχόμενους από την περιοχή που βρίσκεται η μονάδα καύσης των ΑΣΑ.

Σημαντική επίπτωση προκαλείται από την κυκλοφοριακή επιβάρυνση της περιοχής, η οποία οφείλεται στην αύξηση της κίνησης των οχημάτων μεταφοράς απορριμμάτων από και προς το χώρο της μονάδας καύσης των ΑΣΑ, την κίνηση των οχημάτων εντός των εγκαταστάσεων της μονάδας (μεταφορά από την αποθήκη στη διαλογή), τη μεταφορά των ανακτημένων υλικών στους χώρους περαιτέρω επεξεργασίας, τη μεταφορά των αποβλήτων της μονάδας καύσης στη χωματερή κ.λπ.

Στις κοινωνικές επιπτώσεις εντάσσονται και οι οχλήσεις που συνδέονται με την καύση των ΑΣΑ. Μεταξύ των σημαντικότερων οχλήσεων είναι ο έντονος θόρυβος που προκαλείται από την κίνηση των οχημάτων και από τη λειτουργία των μηχανικών εγκαταστάσεων στα επιμέρους τμήματα (μεταφορικά συστήματα, σπαστήρες υλικών, ξηραντήρες κ.ά.) εντός της μονάδας καύσης των ΑΣΑ.

Επίσης, σημαντική όχληση προκαλείται από τις εκλυόμενες οσμές που οφείλονται στην αποσύνθεση και γενικά τη χημική αλλοίωση των οργανικών κυρίως υλικών των ΑΣΑ και οι οποίες εκλύονται κυρίως από την παραμονή (αποθήκευση) των υλικών μέχρι τη διαλογή-ανάκτηση και κατά δεύτερο λόγο από την καύση τους. Οι οσμές γίνονται εντονότερες κατά τους θερινούς μήνες, αφού, όπως είναι γνωστό, τότε επιταχύνεται η αποσύνθεση των οργανικών υλικών των ΑΣΑ και λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του αέρα η μεταφορά των «οσμών» γίνεται σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό και έκταση.

Σημαντική, ως ένα βαθμό, είναι η οπτική επίπτωση που προκαλείται από την ύπαρξη υψηλών καμινάδων που είναι ορατές από μακριά, αφού προκαλείται η λεγόμενη «οπτική» όχληση των περιοίκων αλλά και των επισκεπτών ακόμα και των διερχόμενων από την περιοχή.

Γενικά, από τη μέχρι σήμερα αποκτηθείσα εμπειρία, έχει παρατηρηθεί ότι η λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας δε βρίσκει σχεδόν ποτέ σύμφωνους τους κατοίκους των γύρω περιοχών, αφού είναι γνωστή άλλωστε η στάση που υπάρχει στις περιπτώσεις αυτές (Not in my backyard attitude).

Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος έχει και θετικές κοινωνικές συνέπειες. Μεταξύ αυτών είναι η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Τέτοιες επενδύσεις, θεωρείται ότι επιφέρουν αύξηση (βελτίωση) στους λεγόμενους κοινωνικούς δείκτες όπως η απασχόληση, αφού για να λειτουργήσει αποδοτικά μια τέτοια μονάδα απαιτείται αρκετός αριθμός εργαζομένων από διάφορες ειδικότητες και βαθμίδες εκπαίδευσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη για τις επιπτώσεις των επιλογών διαχείρισης των ΑΣΑ στην απασχόληση που έγινε για λογαριασμό της E.E., φαίνεται ότι η καύση των ΑΣΑ δημιουργεί 19-37 θέσεις εργασίας για κάθε 100.000 τόννους απορριμμάτων, δηλαδή κατά μέσο όρο 28 θέσεις εργασίας ανά 100.000 τόννους. Έτσι, η εγκατάσταση και λειτουργία μιας μονάδας μέσης δυναμικότητας (150.000 tpa) αναμένεται ότι θα δημιουργήσει περίπου 40 νέες θέσεις εργασίας (Risk & Policy Analysts Ltd. 2001).

Επίσης, η καύση των ΑΣΑ με ανάκτηση ενέργειας συμβάλλει στη ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών των κοντινών οικισμών με την παροχή (δωρεάν ή σε πολύ χαμηλή τιμή) ενέργειας (κυρίως θερμότητας) είτε μέσω τοπικού συστήματος (δίκτυο τηλεθέρμανσης) που συνδέει τη μονάδα καύσης των ΑΣΑ με τους γύρω οικισμούς είτε μέσω του δικτύου ενέργειας (στην περίπτωση που παράγεται και ηλεκτρική ενέργεια).

Τέλος, η καύση με ανάκτηση ενέργειας, ως μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων, θεωρείται ότι συμβάλλει στη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που τελικά αποτίθενται στο περιβάλλον.



## 7.2. Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού με αερόβια αποσύνθεση (composting)

### 7.2.1. Γενικά

Μια άλλη μέθοδος, που σχετίζεται με την «αειφόρο» διαχείριση των ΑΣΑ, είναι η αερόβια αποσύνθεση (αλλιώς αερόβια χώνευση) του οργανικού μέρους των ΑΣΑ. Είναι γνωστό ότι κάθε ζωντανός οργανισμός (ζωικός ή φυτικός) μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του καταλήγει σε αποσύνθεση, δηλαδή σε απελευθέρωση των βασικών συστατικών του στο περιβάλλον. Η βιολογική αποσύνθεση της οργανικής ύλης των απορριμμάτων γίνεται υπό ελεγχόμενες συνθήκες, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι η ύπαρξη οξυγόνου (αερόβιες συνθήκες) και η θερμοκρασία. Η βιολογική αποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων (όπως είναι το χαρτί, τα υπολείμματα κλαδεμάτων και περιποίησης κήπων κ.λπ.) έχει τύχει μεγάλου ενδιαφέροντος σε παγκόσμια κλίμακα και έχουν αναπτυχθεί πολλά και διαφορετικά συστήματα για την αξιοποίησή του.

Η αερόβια αποσύνθεση συντελείται με τη βοήθεια διαφόρων μικροοργανισμών, οι οποίοι αποικοδομούν τις σύνθετες δομές των οργανικών μορίων σε  $H_2O$ ,  $CO_2$  και σε υπόλειμμα. Περαιτέρω βιολογική αποικοδόμηση, όπως συμβαίνει μέσα στο έδαφος, μετατρέπει το υπόλειμμα σε χούμο (humus). Η αποσύνθεση μπορεί να γίνει υπό ελεγχόμενες συνθήκες, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι η ύπαρξη οξυγόνου (αερόβιες συνθήκες) και η θερμοκρασία.

Στην προκείμενη περίπτωση της αερόβιας αποσύνθεσης οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ, ο συνήθης στόχος είναι η βιοσταθεροποίηση (composting) για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, το οποίο μπορεί να συνεισφέρει θετικά στην αύξηση των φυτών και να αξιοποιηθεί σε αγροτικές και γενικά καλλιεργητικές και φυτοκομικές χρήσεις. Η αερόβια αποσύνθεση ολοκληρώνεται σε τέσσερα στάδια (φάσεις), τα οποία συνοπτικά αναφέρονται στη συνέχεια (Αλεξάκη και Αγαπητίδης 1999, ReMaDe<sup>12</sup>, 2000):

- Πρώτο στάδιο (ή λανθάνουσα φάση), είναι το στάδιο το οποίο αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για να εποικισθεί όλη η μάζα των οργανικών απορριμμάτων από μικροοργανισμούς.

<sup>12</sup> Recyclate Market Development – ReMaDe. Πρόκειται για εθνική δράση του Ηνωμένου Βασιλείου, με στόχο τη δημιουργία και ανάπτυξη εγχώριας αγοράς των ανακυκλώσιμων υλικών από τα απορρίμματα.

- Δεύτερο στάδιο (αυξητική φάση ή φάση μεσοφιλικής ανάπτυξης), είναι το στάδιο το οποίο χαρακτηρίζεται από ανάπτυξη πληθυσμών βακτηριδίων και θερμοκρασίες μεταξύ 25 - 40 °C.
- Τρίτο στάδιο (θερμοφιλική φάση), είναι το στάδιο όπου τα βακτηρίδια και οι μύκητες (αποσυνθέτες πρώτου επιπέδου) παρόντα σε θερμοκρασίες 50-60°C, διασπούν την κυτταρίνη, τη λιγνίνη και άλλα ανθεκτικά οργανικά υλικά, και
- Τέταρτο στάδιο (φάση ωρίμανσης), είναι το τελικό στάδιο της όλης διαδικασίας, κατά το οποίο το υλικό σταθεροποιείται και στη συνέχεια μπορεί να γίνει διασπορά του σε μεγάλες επιφάνειες εδάφους (καλλιεργητικές, φυτοκομικές χρήσεις).

Σε ότι αφορά τις χρήσεις του εδαφοβελτιωτικού, αυτές προσδιορίζονται από το την αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N ratio). Έτσι, ανάλογα με το μέγεθος του λόγου άνθρακα προς άζωτο (C/N) το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα σε κήπους και σε αγροτικές καλλιέργειες (μικρός λόγος C/N, 10/1), ως εδαφοβελτιωτικό σε φτωχά ή έντονα διαταραγμένα από μεταλλευτική εκμετάλλευση εδάφη στα οποία γίνεται βλαστητική αποκατάσταση (μεγάλος λόγος C/N, 40/1) κ.λπ.



**Φωτ. 7.1.** Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, μέθοδος αναστρεφόμενων σωρών

**Photo 7.1.** Composting, agitated windrow system

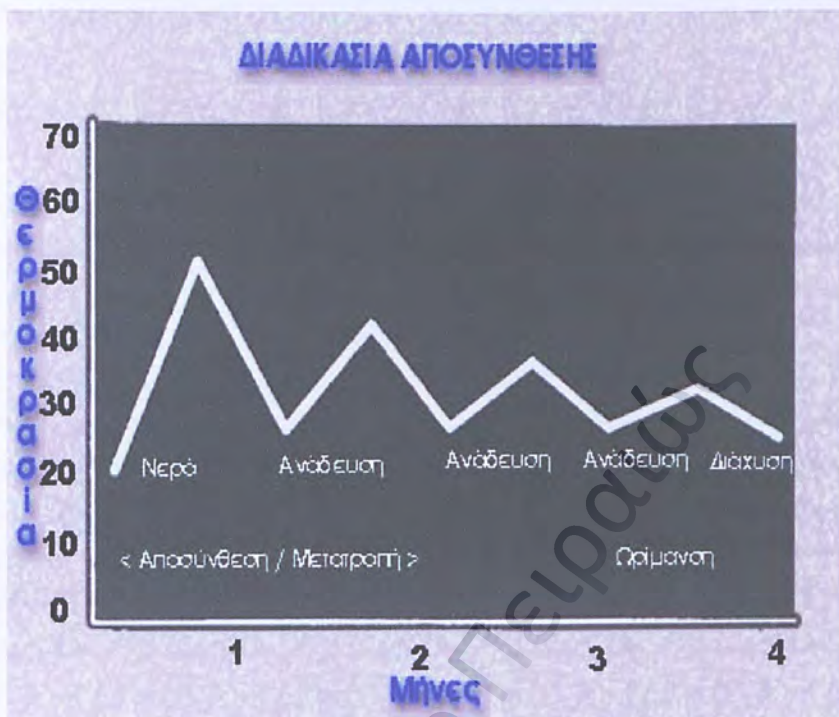


Για την εφαρμογή βιοσταθεροποίησης υπάρχει ώριμη τεχνολογία, που ανάλογα με την πολυπλοκότητά της και τα απαιτούμενα μέτρα ελέγχου της ρύπανσης απαιτεί χαμηλές και υψηλές δαπάνες, αντίστοιχα.

Οι συνηθέστεροι τρόποι βιοσταθεροποίησης που αναφέρονται στη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία σε γενικές γραμμές είναι α) οι αναστρεφόμενοι σωροί (agitated windrow), β) οι αεριζόμενοι σωροί (aerated piles) και γ) η χρήση κλειστού αντιδραστήρα ή ειδικού σιλό (in-vessel).

Η τελευταία μέθοδος (in vessel) χαρακτηρίζεται και ως «επιταχυνόμενη» βιοσταθεροποίηση, αφού έχει μικρή χρονική διάρκεια (περίπου 15-30 ημέρες) και μπορεί να γίνεται είτε με κατακόρυφη ροή (vertical flow) του υλικού, είτε με οριζόντια ή κεκλιμένη ροή (horizontal or inclined flow) ή τέλος με διακεκομμένη ροή (Non-flow, batch) (Τάτση 1993, Spanos *et al.* 1998, ReMaDe 2000).

Η διαδικασία βιοσταθεροποίησης έχει διαφορετική χρονική διάρκεια, η οποία εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την εφαρμοζόμενη μέθοδο και κατά δεύτερο από τη σύσταση των υλικών που αποσυντίθενται (δηλαδή αν υπάρχουν προσμίξεις ή αν έχει προηγηθεί διαλογή) και για την πιο απλή περίπτωση βιοσταθεροποίησης (αναστρεφόμενοι σωροί) η διαδικασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.5.



**Σχήμα 7.5.** Διαδικασία αποσύνθεσης (μέθοδος αναστρεφόμενων σειραδίων)

**Figure 7.5.** Composting process duration (windrow system)

(Πηγή: Περιοδικό «Νέα Οικολογία», Τεύχος Νοεμβρίου 1999)

Η δυναμικότητα επεξεργασίας των μονάδων βιοσταθεροποίησης κυμαίνεται μεταξύ 5.000-100.000 tpa. Η δυναμικότητα παραγωγής σε εδαφοβελτιωτικό ανέρχεται στο 0,5-0,6 της δυναμικότητας επεξεργασίας, δηλαδή κυμαίνεται μεταξύ 2.500-60.000 τόννων εδαφοβελτιωτικού το χρόνο και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη μέθοδο που εφαρμόζεται.

Μεταξύ των υλικών από το ρεύμα των ΑΣΑ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βιοσταθεροποίηση είναι και το χαρτί, αφού έχει χαρακτηριστικά που ευνοούν την αποσύνθεση, όπως: α) το υψηλό (85%) έως πολύ υψηλό (~94%) ποσοστό πολυσακχαριτών (polysaccharides) και ιδιαίτερα κυτταρίνης (cellulose) στη μάζα του, η οποία αποτελεί άριστη τροφή για τους αποσυνθετικούς μικροοργανισμούς (Φιλίππου1986) και β) η περιεχόμενη υγρασία του, που μέχρι ενός σημείου ευνοεί την αποικοδόμηση από τους μικροοργανισμούς. Επίσης, τα απόβλητα απομελάνωσης



και επαναπολτοποίησης (de-inking pulp sludge-DPS) του χαρτιού, μετά την απομάκρυνση του νερού (de-watering) το οποίο επαναχρησιμοποιείται στη διαδικασία πολτοποίησης, μπορούν να αποτελέσουν υλικό βιοσταθεροποίησης, παρά το γεγονός ότι είναι φτωχά έως πολύ φτωχά σε άζωτο (N), όταν έχει προηγηθεί προσθήκη αζώτου π.χ. πρόσμιξη με κοπριά κτηνοτροφικών μονάδων, προσθήκη ουρίας, αμμωνίας κ.α. σε κατάλληλες ποσότητες (Phillips et al. 1997, Landmark 1999, Cooperband et al. 2000, Matysik et al. 2001, Bates 2002, Charest and Beauchamp 2002).

Σε πειραματική εφαρμογή αερόβιας αποσύνθεσης στη Μεγάλη Βρετανία, όπου χρησιμοποιήθηκαν παλαιές εφημερίδες σε μίξη με κοπριά αλόγων (horse manure) από κτηνοτροφικές μονάδες και στάβλους, με στόχο την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, υπήρξαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα στην φύτευση και ανάπτυξη φυταρίων ντομάτας σε χρονική διάρκεια εννέα εβδομάδων. Μάλιστα, η μελέτη θεωρεί ότι το εδαφοβελτιωτικό που παράγεται με αυτό τον τρόπο είναι εναλλακτικό έναντι του εδαφοβελτιωτικού με βάση την τύρφη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κηποτεχνικές εργασίες και να αποτελέσει τεχνολογία αξιοποίησης των μεγάλων ποσοτήτων του παλαιόχαρτου απορριμμάτων (Ball, Shah and Wheatley, 2000). Επίσης, ενθαρρυντικά αποτελέσματα είχε η εφαρμογή εδαφοβελτιωτικού από υπολείμματα χαρτοποιίας στην παραγωγή πατάτας σε σχετικά πειράματα που έγιναν στον Καναδά (Cooperband et al. 2000, Simard et al. 1999, 2001).

Τέλος, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα και τις μετρήσεις από πειραματική εφαρμογή εδαφοβελτιωτικού από υπολείμματα χαρτοποιίας σε δασικά εδάφη, μόνο του ή σε μίξη με λίπασμα ιχνοστοιχείων, φαίνεται ότι έχει ευεργετική επίδραση στη θρέψη και αύξηση των δέντρων, παρά τη μικρή αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N ratio) (Matysik et al. 2001).

## 7.2.2 Επιπτώσεις και οφέλη από τη βιοσταθεροποίηση (composting)

### 7.2.2.1 Οικονομική θεώρηση

Όπως για κάθε εγκατάσταση, έτσι και για τις μονάδες παραγωγής εδαφοβελτιωτικού με βιοσταθεροποίηση ισχύουν οι αρχές της οικονομίας κλίμακας (economy of scale). Αυτό έχει να κάνει κυρίως με τη μέθοδο βιοσταθεροποίησης και το μέγεθος της μονάδας, δηλαδή τη δυναμικότητά της σε ετήσια βάση.

Από οικονομική άποψη η εγκατάσταση μονάδων παραγωγής εδαφοβελτιωτικού είναι οικονομικά εφικτή σε περιοχές με παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ΑΣΑ, κατά κύριο λόγο αστικές. Σημαντικό παράγοντα αποτελεί το ποσοστό συμμετοχής των οργανικών υλικών (υπολείμματα τροφών, υπολείμματα κλαδέματος και περιποίησης κήπων, παλαιόχαρτο) στις συνολικές ποσότητες ΑΣΑ (βλ. κεφ. 3), αφού έτσι εξασφαλίζεται, σε ετήσια βάση, η ομαλότερη λειτουργία των μονάδων βιοσταθεροποίησης.

Οι δαπάνες που απαιτούνται για εγκατάσταση και λειτουργία μιας μονάδας βιοσταθεροποίησης εξαρτώνται από την αξία κτήσεως γης και ειδικότερα τις απαιτήσεις σε εδαφική επιφάνεια, από τη δυναμικότητα της μονάδας, το βαθμό απόδοσης, την εγκατεστημένη τεχνολογία, την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος και από τα έσοδα της πώλησής του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη για λογαριασμό της ΕΕ προκύπτει ότι το ειδικό κόστος (€/τόννο) για τη μέθοδο βιοσταθεροποίησης, σε γενικές γραμμές, κυμαίνεται μέσα σε ευρεία περιοχή τιμών, από 25-185€/τόννο (ECOTEC 2001), εξαρτάται από τη μέθοδο και ιδιαίτερα από την τεχνολογία που εφαρμόζεται και απαρτίζεται από διαφορετικά επιμέρους κόστη. Από τα στοιχεία αυτής της μελέτης, σε μια μονάδα βιοσταθεροποίησης στην Ιταλία, δυναμικότητας επεξεργασίας 20.000 tpa, το ειδικό κόστος είναι 52,93 €/τόννο, το οποίο αναλύεται στα επιμέρους κόστη:

Κόστος κτήσεως γης	2,36 €/τόννο
Κόστος έργων	10,41 €/τόννο
Κόστος συντήρησης έργων	1,62 €/τόννο
Κόστος εξοπλισμού	10,58 €/τόννο
Κόστος συντήρησης εξοπλισμού	2,85 €/τόννο
Σταθερά και μεταβλητά κόστη	25,11 €/τόννο



Σύμφωνα με τα στοιχεία της ίδιας μελέτης προκύπτει ότι για την Ελλάδα και για μονάδα βιοσταθεροποίησης με τη μέθοδο κλειστού αντιδραστήρα ή σιλό (in-vessel system ή bay composting), δυναμικότητας επεξεργασίας 50.000 τόννων οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ κατ' έτος, το ειδικό κόστος ανέρχεται σε **132 €/τόννο** και είναι από τα υψηλότερα στην ΕΕ κάτι που προκύπτει και από σχετικές ελληνικές μελέτες (Αλεξάκη και Αγαπητίδης 1999, Manios et al. 2001). Το γεγονός αυτό, εν μέρει, ερμηνεύεται από τη μη συμμετοχή του κοινού (δηλαδή δεν εφαρμόζεται διαλογή στην πηγή), τις αδυναμίες του υπάρχοντος συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ και την έλλειψη αγοράς.

Από την άλλη πλευρά, τα έσοδα της μονάδας που προέρχονται κυρίως από τις πωλήσεις του εδαφοβελτιωτικού είναι κυμαινόμενα και εξαρτώνται από την ποιότητα του εδαφοβελτιωτικού, τη χρήση για την οποία προορίζεται και τις ειδικές τοπικές συνθήκες σύμφωνα με μελέτη (ECOTEC 2001) που έγινε για λογαριασμό της Ε.Ε. Έτσι, η τιμή πώλησης του εδαφοβελτιωτικού από οργανικά υλικά των ΑΣΑ, για τις βόρειες χώρες της Ε.Ε. (Ολλανδία, Γερμανία, Γαλλία, Αυστρία, Ηνωμένο Βασίλειο) κυμαίνεται μεταξύ 0 και 25 €/τόννο, ενώ για τις νότιες περιοχές και ιδιαίτερα την περιοχή της Μεσογείου (Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία) η τιμή αυτή αναμένεται να είναι υψηλότερη (50-100€/τόννο), λόγω των ξηροθερμικών κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σ' αυτές τις χώρες και τις αυξημένες ανάγκες για οργανικό υλικό, ιδιαίτερα στις εντατικές, υψηλής προστιθέμενης αξίας καλλιέργειες (Bates and Haworth 2001).

Από όσα αναφέρθηκαν, προκύπτει αβίαστα ότι η εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων βιοσταθεροποίησης πρέπει να αποτελεί μέρος ενός συνολικού σχεδιασμού σύγχρονων ΧΥΤΑ και να βρίσκεται κοντά σε αστικές περιοχές με μεγάλη παραγωγή ΑΣΑ, χωρίς όμως αυτό να αποκλείει την εγκατάστασή τους σε άλλες περιοχές (ημιαστικές, αγροτικές) όταν σ' αυτό συνηγορούν ορισμένες ειδικότερες συνθήκες. Έτσι, σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη περίπτωσης (Μπατζιάς, Βασιλόπουλος, Γεωργιόπουλος 2002) που αφορά τη συνδυασμένη διαχείριση βιοσταθεροποίησης οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ και χρησιμοποίησης του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού στην αποκατάσταση περιβάλλοντος στα λιγνιτικά κέντρα της ΔΕΗ<sup>13</sup> στη Μεγαλόπολη Αρκαδίας, η εγκατάσταση και λειτουργία μονάδας βιοσταθεροποίησης με εφαρμογή της μεθόδου των αναστρεφόμενων σωρών μπορεί,

<sup>13</sup> Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Public Power Corporation-PPC

θεωρητικά τουλάχιστον, να καταστεί εφικτή και σε αστικά/ημιαστικά συγκροτήματα με μικρή παραγωγή ΑΣΑ που όμως στην ευρύτερη περιοχή τους παρουσιάζεται έντονη και εκτεταμένη αλλοίωση του φυσικού τοπίου και σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των επιφανειακών εξορυκτικών εκμεταλλεύσεων λιγνίτη.

Επίσης, σημειώνεται ότι το εδαφοβελτιωτικό από οργανικά υλικά απορριμμάτων, παρουσιάζει σχετικά μικρή διείσδυση στην αγορά εδαφοβελτιωτικών, η οποία διαχρονικά αναμένεται να αυξηθεί και θεωρείται ότι με εφαρμογή κατάλληλης τεχνολογίας («βιο-καθαρισμός», δηλαδή ανάκτηση υλικών και ελαχιστοποίηση περιεχόμενων τοξικών ουσιών και βαρέων μετάλλων στο τελικό προϊόν) καθώς και τυποποίηση (standardization), θα μπορέσει να ανταγωνιστεί παραδοσιακά προϊόντα στο χώρο, όπως η τύρφη, τα διάφορα χημικά (πολυμερή υλικά) και τα λιπάσματα.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



### 7.2.2.2 Περιβαλλοντική θεώρηση

Η βιοσταθεροποίηση ως μέθοδος επεξεργασίας και αξιοποίησης του οργανικού μέρους των ΑΣΑ παρουσιάζει σχετικά περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την εφαρμοζόμενη μέθοδο.

Έτσι, οι μέθοδοι των αναστρεφόμενων και των αεριζόμενων σωρών παρουσιάζουν ουσιαστικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως έκλυση βαρέων μετάλλων και τοξικών υλικών και διήθησή τους στο έδαφος-υπέδαφος, καθώς και εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που είναι το κύριο «αέριο του θερμοκηπίου». Οι επιπτώσεις αυτές ελαχιστοποιούνται όταν εφαρμόζεται η μέθοδος του κλειστού αντιδραστήρα ή ειδικού σιλό (in-vessel) κατά την οποία ελέγχονται οι αέριοι ρύποι με βιοφίλτρα (biofilters) συγκράτησης ενώ παράλληλα αφού η διεργασία συμβαίνει σε κλειστό χώρο αποφεύγεται η έκλυση βαρέων μετάλλων και τοξικών ουσιών στο έδαφος και τα παραγόμενα υγρά απόβλητα συλλέγονται και απομονώνονται, ενώ το νερό αφού «βιο-καθαριστεί» επαναχρησιμοποιείται στη διεργασία.

Ακόμη, σε εγκαταστάσεις παραγωγής εδαφοβελτιωτικού με βιοσταθεροποίηση ανεξαρτήτως του τρόπου παραγωγής του, είναι υποχρεωτική η εφαρμογή μέτρων ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) των εργαζομένων, σύμφωνα με τα οποία κάθε εργαζόμενος πρέπει να φορά στολή εργασίας ώστε να αποφεύγεται η έκθεσή του σε επικίνδυνες για την υγεία του ουσίες.

Η βιοσταθεροποίηση ως μέθοδος ανάκτησης υλικών από τα ΑΣΑ παρουσιάζει άμεσα και έμμεσα περιβαλλοντικά οφέλη. Τα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη της βιοσταθεροποίησης, που θεωρούνται και τα σημαντικότερα, είναι η συμβολή της στην ενίσχυση και συντήρηση της παραγωγικής ικανότητας του εδάφους με «φυσικό» τρόπο, στην αποφυγή της χρήσης χημικών λιπασμάτων με συνέπεια τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων και στη μείωση των ποσοτήτων των αποβλήτων που τελικά διατίθενται στο περιβάλλον.

Ειδικότερα, η χρησιμοποίηση εδαφοβελτιωτικού συμβάλει στον περιορισμό της επιφανειακής διάβρωσης των εδαφών, την αποτροπή δημιουργίας χειμαρρικών αιχμών και πλημμυρών σε υποβαθμισμένα εδάφη, στον εμπλουτισμό του εδάφους με ιχνοστοιχεία σε εύληπτη μορφή για τα φυτά με αποτέλεσμα τη βελτίωση των συνθηκών αύξησης των φυτών και στην εξομάλυνση του μικροκλίματος του εδάφους και ειδικά της εδαφικής υγρασίας στο τμήμα του εδάφους στο οποίο βρίσκεται το ριζικό σύστημα των περισσότερων φυτών.

Μεταξύ των έμμεσων περιβαλλοντικών ωφελειών που προκύπτουν από τη βιοσταθεροποίηση μπορούν να «καταλογιστούν» η αναβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος, κάτι που επιδιώκεται ειδικότερα στους αστικούς-ημιαστικούς χώρους, όπου κυριαρχούν ανθρωπογενείς δραστηριότητες υποβάθμισης του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια εξοικονόμηση φυσικού κεφαλαίου και χρηματικών πόρων, καθώς και το γεγονός ότι η βιοσταθεροποίηση σαν μέθοδος αξιοποίησης υλικών από τα ΑΣΑ συνήθως συνδέεται με περιβαλλοντικά ορθές πρακτικές διαχείρισης των ΑΣΑ όπως με ανακύκλωση και με επαναχρησιμοποίηση υλικών.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



### 7.2.2.3 Κοινωνική θεώρηση

Μια διαδικασία όπως η βιοσταθεροποίηση, που συμβάλλει στην «αιφορική» διαχείριση των ΑΣΑ μετατρέποντάς τα σε δευτερογενή «παραγωγικό πόρο», αναμένεται ότι θα έχει πέραν των άλλων, κοινωνικά οφέλη και επιπτώσεις.

Η εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων υπαίθριας βιοσταθεροποίησης συνδέεται με σημαντικές οχλήσεις, κυρίως για τους κατοίκους των γειτονικών οικισμών αλλά και για τους επισκέπτες, ακόμη και για τους διερχόμενους από την περιοχή.

Σημαντική επίπτωση (όχληση) δημιουργείται από την παραγωγή έντονων οσμών, που εκλύονται από το σηπόμενο υλικό στους χώρους της υπαίθριας βιοσταθεροποίησης, οι οποίες (οσμές) μπορούν να γίνουν αντιληπτές από μεγάλη απόσταση. Οι οσμές γίνονται εντονότερες κατά τους θερινούς μήνες, αφού, όπως είναι γνωστό, τότε επιταχύνεται η αποσύνθεση των οργανικών υλικών των ΑΣΑ και λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του αέρα η μεταφορά των «οσμών» γίνεται σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό και έκταση.

Μια άλλη όχληση που συνδέεται με τη λειτουργία των μονάδων βιοσταθεροποίησης είναι η δημιουργία έντονου θορύβου. Ο θόρυβος προκαλείται από την κίνηση των οχημάτων από και προς τη μονάδα αλλά και από τα οχήματα εντός αυτής, καθώς και από τη λειτουργία των μηχανημάτων (μεταφορικά συστήματα, σπαστήρες και τεμαχιστές υλικών, φορτωτές JCB) που απασχολούνται στη μονάδα βιοσταθεροποίησης.

Από την άλλη πλευρά, όμως, η δημιουργία μονάδων βιοσταθεροποίησης, έχει θετικές κοινωνικές συνέπειες (οφέλη), αφού δημιουργεί έστω και λίγες θέσεις εργασίας ακόμα και σε μικρής δυναμικότητας μονάδες. Με βάση μια μελέτη περίπτωσης (Μπατζιάς, Βασιλόπουλος, Γεωργιόπουλος 2002) σε μια μικρή μονάδα βιοσταθεροποίησης (δυναμικότητα επεξεργασίας 6.500 tpa) με τη μέθοδο των αναστρεφόμενων σωρών μπορούν να δημιουργηθούν θέσεις εργασίας για 1-3 άτομα. Ακόμη, σύμφωνα με άλλη μελέτη (ECOTEC 2001) σε μεγαλύτερες μονάδες βιοσταθεροποίησης, οι θέσεις εργασίας μπορεί να φθάνουν τις 5-7, όπως συμβαίνει στην Ιταλία σε μονάδα δυναμικότητας επεξεργασίας 20.000 tpa. Η δημιουργία απασχόλησης είναι ανάλογη με την αυτοματοποίηση των επιμέρους εργασιών της μονάδας και ελαχιστοποιείται σε μονάδες πλήρως αυτοματοποιημένης γραμμής παραγωγής.

Παράλληλα, η χρησιμοποίηση του εδαφοβελτιωτικού σε φυτοκομικές, αγροτικές εργασίες και σε εργασίες ανάπλασης τοπίου, αναβαθμίζει μακροπρόθεσμα την ποιότητα ζωής των κατοίκων υποβαθμισμένων περιοχών μέσω σημαντικών περιβαλλοντικών ωφελειών, όπως είναι η αποκατάσταση διαταραγμένων γαιών από εξορυκτικές ή άλλες δραστηριότητες και η απόδοσή τους για αγροτική, οικιστική-αστική, αναψυχική και άλλη χρήση.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## 7.3. Παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων με αναερόβια αποσύνθεση

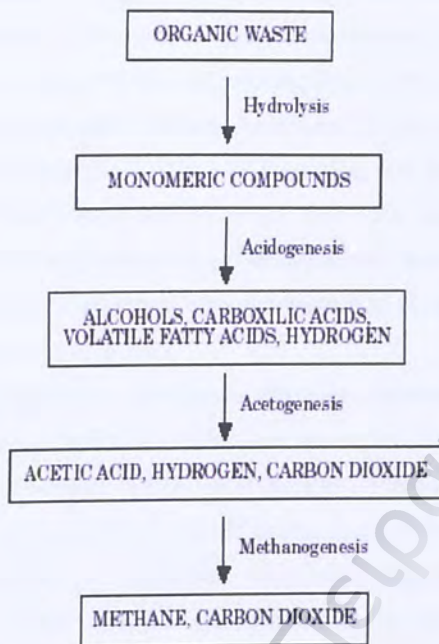
### 7.3.1. Γενικά

Ως γνωστό, η ανάκτηση ενέργειας από τα ΑΣΑ μπορεί να γίνει είτε με άμεση καύση (incineration) τους και ανάκτηση της παραγόμενης ενέργειας είτε με αναερόβια αποικοδόμησή τους και παραγωγή-καύση του βιοαερίου με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας. Η αναερόβια αποσύνθεση ή αναερόβια χώνευση (anaerobic digestion) είναι μια διαδικασία αποσύνθεσης κατά την οποία οργανική ύλη αποικοδομείται βιολογικά, υπό συνθήκες έλλειψης οξυγόνου.

Η διαδικασία επιτυγχάνεται από τους λεγόμενους «αναερόβιους» μικροοργανισμούς (βακτήρια και μικρόβια) οι οποίοι ζουν και αναπτύσσονται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Για να επιτευχθεί αναερόβια αποσύνθεση εκτός από την απουσία οξυγόνου απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών όπως: υγρασία, pH και θερμοκρασία. Τα περισσότερα αναερόβια βακτήρια αναπτύσσονται σε εύρος pH από 4,0 έως 9,5, με άριστο μεταξύ 6,5 και 7,5, σε θερμοκρασίες από 0 έως 50 °C, με άριστο τους 30-35°C. Η αναερόβια αποσύνθεση χαρακτηρίζεται από δύο διαδοχικές ή ανάλογα με το υλικό τροφοδοσίας (feedstock) δύο σχεδόν παράλληλες διαδικασίες: τη διάσπαση του σηπόμενου υλικού και τη μεθανογένεση. Τα συνήθη προϊόντα της αναερόβιας αποσύνθεσης είναι (AEA Technology 1998, Smith et al. 2001):

- Βιοαέριο, που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) σε ποσοστό 60-70% και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε ποσοστό 30-40%.
- Οργανικό υπόλειμμα (digestate) που είναι το στερεό παραπροϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης, έχει ινώδη μορφή (fibrous material) και το οποίο με κατάλληλη διαδικασία (βιοσταθεροποίηση) μετατρέπεται σε εδαφοβελτιωτικό (compost), και
- Υγρό (liquor) υπόλειμμα, το οποίο περιέχει μεγάλη αναλογία των θρεπτικών στοιχείων των απορριμμάτων που αποσυντέθηκαν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υγρό λίπασμα ή να διατεθεί μέσω υπονόμων (αποχετευτικού δικτύου) στο περιβάλλον.

Η παραγωγή του βιοαερίου, ειδικότερα, πραγματοποιείται σε πέντε (5) φάσεις: φάση I της αερόβια αποδόμησης, φάση II της όξινης ζύμωσης (αναερόβια αποδόμηση), φάση III της παραγωγής μεθανίου (ασταθής), φάση IV της παραγωγής μεθανίου (σταθερή) και φάση V της μειωμένης παραγωγής βιοαερίου (Σκορδύλης 2001, Σχήμα 7.6).



**Σχήμα 7.6.** Κύρια βήματα της αποικοδόμησης κατά την αναερόβια αποσύνθεση

**Figure 7.6.** Major degradation steps during the anaerobic decomposition

(Πηγή: El Fadel, Findikakis and Leckie, 1997)

Για την εκτίμηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου έχει βρεθεί ότι ισχύει η επόμενη μαθηματική σχέση (Σκορδύλης 2001):

$$G_t = G_\beta \cdot (1 - e^{-kt}),$$

όπου:  $G_t$  = Παραγωγή αερίων στο χρόνο ( $m^3$ /τόννο αποβλήτων),  $G_\beta$  = Συνολική παραγωγή αερίων από 1 τόννο αποβλήτων,  $t$  = χρόνος σε έτη (μετά την εναπόθεση),  $k$  = συντελεστής αποδόμησης =  $\ln 2 / t_{1/2}$ , όπου  $t_{1/2}$  χρόνος ημίσειας ζωής.

Σημειώνεται ότι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας αναερόβιας αποσύνθεσης, συνήθως έχει διάρκεια τρεις-τέσσερις εβδομάδες (AEA Technology 1998, Σκορδύλης 2001).



Σε ότι αφορά τη θερμαντική αξία (calorific value) του βιοαερίου, αυτή θεωρείται αξιόλογη και εξαρτάται κυρίως από τη χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη (feedstock)<sup>14</sup> και κατά δεύτερον από τις συνθήκες παραγωγής (θερμοκρασία, pH). Έτσι, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή/ Γενική Διεύθυνση Ενέργεια-Μεταφορές (EC/DG Energy-Transport) η θερμαντική αξία του βιοαερίου που παράγεται με αναερόβια αποσύνθεση οργανικών υλικών από το ρεύμα των ΑΣΑ, κυμαίνεται μεταξύ 17-25 MJ/m<sup>3</sup><sup>15</sup> (Atlas 1997), ενώ σύμφωνα με πείραμα του Πανεπιστημίου DuMontfort στη Μεγάλη Βρετανία, η θερμαντική αξία του βιοαερίου εκτιμήθηκε σε 26-28 MJ/m<sup>3</sup> ([www.dmu.ac.uk/ln/itc/biovalue.htm](http://www.dmu.ac.uk/ln/itc/biovalue.htm)).

Σε αντίστοιχα συμπεράσματα καταλήγουν και άλλοι ερευνητές, σύμφωνα με τους οποίους η θερμαντική αξία του βιοαερίου που παράγεται με αναερόβια αποσύνθεση των ΑΣΑ κυμαίνεται μεταξύ 5.000-5.800 kcal/m<sup>3</sup> (Marchaim 1992, UNDP/GEF 2002) ή βάσει της ισοδυναμίας 1cal ~ 4,187 joules, σε 21-24 MJ/m<sup>3</sup>.

Επίσης, σε ότι αφορά το οργανικό υπόλειμμα (digestate) της αναερόβιας αποσύνθεσης, αυτό μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (Poggi-Varaldo et al. 1999) είτε να διατεθεί σε ΧΥΤΑ, ανάλογα με την ποιότητά του (αυτή καθορίζεται από το αν έχει προηγηθεί διαχωρισμός υλικών). Συνήθως το οργανικό υπόλειμμα είναι υψηλής ποιότητας, υφίσταται αφυδάτωση (de-watering) ώστε να μειωθεί η περιεχόμενη υγρασία του και στη συνέχεια ακολουθεί βιοσταθεροποίηση, για να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικό κατάλληλο για αγροτική χρήση, δηλαδή έχει αποδεκτή για το σκοπό αυτό ποιότητα (AEA Technology, 2001).

Η αναερόβια αποσύνθεση έχει παρατηρηθεί να συμβαίνει κατά κύριο λόγο στους ΧΥΤΑ, όπου αφενός επικρατούν ευνοϊκές για τη διαδικασία συνθήκες (έλλειψη οξυγόνου, υψηλό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας στη μάζα των απορριμμάτων, θερμοκρασία κλπ.) και αφετέρου υπάρχουν επαρκείς ποσότητες οργανικού υλικού. Όμως, κατά την τελευταία 15ετία οι διεθνείς συμφωνίες (π.χ. Πρωτόκολλο του Κιότο) αλλά και η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία για τις χωματερές (Landfill Directive 99/31/EC) αποτελούν την «αιχμή» της περιβαλλοντικής νομοθεσίας που

<sup>14</sup> Στην περίπτωση που αξιοποιούνται οργανικά υλικά από τα ΑΣΑ, αυτά παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια λόγω διαφορών στη συμμετοχή των επιμέρους οργανικών υλικών (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.λπ.) και κατά συνέπεια ο βαθμός αποσύνθεσης καθεμιάς κατηγορίας υλικού είναι διαφορετικός όπως και η σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου. Άλλα οργανικά υλικά όπως απόβλητα μονάδων επεξεργασίας φρούτων, κτηνοτροφικών μονάδων κ.α., όταν χρησιμοποιούνται αυτούσια χωρίς προσμίξεις έχουν μεγαλύτερη ομοιογένεια και επομένως αποσυντίθενται ομοιόμορφα.

<sup>15</sup> Σημειώνεται ότι 100 m<sup>3</sup> βιοαερίου ισοδυναμούν με 130 kg βιοαερίου όταν αυτό παράγεται με αναερόβια αποσύνθεση οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ και κατά συνέπεια 17-25 MJ/m<sup>3</sup> ισοδυναμούν με 13-19 MJ/kg (Smith et al. 2001).

διέπει τη διαχείριση των ΑΣΑ και υποχρεώνουν στη μείωση των τελικά διατιθέμενων ποσοτήτων απορριμμάτων σε χωματερές καθώς και στη δημιουργία σύγχρονων ΧΥΤΑ<sup>16</sup>.

Μ' αυτόν τον τρόπο, οι διεθνείς συνθήκες και δεσμεύσεις καθώς και τα νομοθετικά μέτρα υποστηρίζουν έμμεσα τις εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης που έχουν στόχο τη μείωση των ποσοτήτων που τελικά διατίθενται στο περιβάλλον και μεταξύ αυτών τη δημιουργία εγκαταστάσεων αναερόβιας αποσύνθεσης των οργανικών υλικών των ΑΣΑ είτε ως αυτόνομων μονάδων είτε σε συνδυασμό με άλλες εγκαταστάσεις σε έναν συνολικό σχεδιασμό της διαχείρισης των ΑΣΑ.

Η αναερόβια αποικοδόμηση του χαρτιού και των αποβλήτων ανακύκλωσης χαρτιού, οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη (Φιλίππου, 1986). Από τις ουσίες αυτές οι δύο πρώτες κατηγορίες ουσιών αποτελούν άριστο υλικό για τη θρέψη των αναερόβιων αποικοδομητών (decomposers), υπό συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και ελεγχόμενης υγρασίας, pH και θερμοκρασίας. Από έρευνες έχει βρεθεί ότι ειδικότερα για το χαρτί εφημερίδων τα κυριότερα στοιχεία στη σύστασή του είναι άνθρακας, υδρογόνο και οξυγόνο, τα οποία αποτελούν το 93,5% των συνολικών στερεών της μάζας του. Η κατά προσέγγιση μοριακή αναλογία του είναι  $C_6H_9O_4$  (Τσουμής 1986). Τέλος, η στοιχειακή σύνθεση του χαρτιού εφημερίδων (Πίνακας 7.2) είναι τέτοια που το καθιστά ως μια από τις προτιμητέες «τροφές» για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς.

<sup>16</sup> Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, ο σχεδιασμός των οποίων υπαγορεύει την εφαρμογή όλων των ελέγχων και μέτρων πρόληψης της οιασδήποτε μορφής ρύπανσης. Ο όρος συναντάται επίσης και ως ΧΥΔΑ, Χώροι Υγειονομικής Διάθεσης Απορριμμάτων.



**Πίνακας 7.2.** Στοιχειακή σύνθεση του χαρτιού εφημερίδων

**Table 7.2.** Elemental composition of newsprint

Συστατικό (Constituent)	Χαρτί εφημερίδων (Newsprint)
C	49,1%
H	6,1%
O	43,0%
NH <sub>4</sub> -N	4 ppm <sup>17</sup>
NO <sub>3</sub> -N	4 ppm
P	44 ppm
PO <sub>4</sub> -P	20 ppm
K	0,35%
SO <sub>4</sub> -S	159 ppm
Ca	0,01%
Mg	0,02%
Na	0,74%
B	14 ppm
Zn	22 ppm
Mn	49 ppm
Fe	57 ppm
Cu	12 ppm

(Πηγή: Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993)

Στην περίπτωση του χαρτιού των απορριμμάτων (συμπεριλαμβανομένου του παλαιόχαρτου εφημερίδων) η αναερόβια αποσύνθεση ως διαδικασία παραγωγής βιοαερίου θεωρείται ότι έχει ιδιαίτερη σημασία και προοπτικές εξέλιξης, αφενός διότι το χαρτί είναι υλικό με μεγάλη συμμετοχή στην σύνθεση των ΑΣΑ (βλ. κεφ. 3) και αφετέρου διότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια αξιοποίησής του για παραγωγή βιοαερίου. Αυτό το στοιχείο (περιθώρια αύξησης) γίνεται εμφανές σε μια πρόσφατη μελέτη, που έγινε για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής/ Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, (EC/DG Environment), στην οποία αναφέρεται ότι η συμμετοχή του παλαιόχαρτου μπορεί να φθάσει έως το 40% στο υλικό αποσύνθεσης (feedstock), αν και κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει προς το παρόν αφού, όπως προκύπτει από τα στοιχεία της εν λόγω μελέτης, μόνο το 10% του παλαιόχαρτου, μετά την αφαίρεση των ποσοτήτων που ανακυκλώνονται, οδηγείται σε αναερόβια αποσύνθεση (Smith et al. 2001).

<sup>17</sup> Parts per million (μέρη στο εκατομμύριο)

Η αναερόβια αποσύνθεση είναι διαδικασία γνωστή, καλά αναπτυγμένη και τεχνολογικά ώριμη και συνεπώς δεν αναμένεται ιδιαίτερη εξέλιξή της στο μέλλον. Σημειώνεται ότι με αναερόβια αποσύνθεση μπορεί να γίνει επεξεργασία των βιοδιασπώμενων (ή σπτόμενων-putrescible) απορριμμάτων τόσο οικιακού τύπου (υπολείμματα τροφών, χαρτί, υπολείμματα περιποίησης κήπων) όσο και βιομηχανικού τύπου (απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων, λύματα, κοπριές ζώων), δηλαδή στην ίδια εγκατάσταση μπορεί να γίνεται προμήθεια αποβλήτων από πολλές και διαφορετικές πηγές παραγωγής (Bates and Haworth 2001).

Η δυναμικότητα επεξεργασίας των μονάδων αναερόβιας αποσύνθεσης κυμαίνεται μεταξύ 15.000-100.000 tpa βιοδιασπώμενων (σπτόμενων) υλικών από τα ΑΣΑ. Η δυναμικότητα παραγωγής βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 50-150 m<sup>3</sup>/τόννο σπτόμενων υλικών από τα ΑΣΑ, με συνήθη τιμή 100 m<sup>3</sup>/τόννο ή 130 kg/τόννο σπτόμενων υλικών από τα ΑΣΑ και για τις δυναμικότητες επεξεργασίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως, κυμαίνεται μεταξύ 2.000-13.000 τόννων βιοαερίου ανά έτος (Smith et al. 2001).

Ανάλογα με την περιεκτικότητα του παραγόμενου βιοαερίου σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), που κυμαίνεται μεταξύ 60-70%, προκύπτει ότι παράγονται 78-90 (μέσος όρος 84) kg μεθανίου ανά τόννο σπτόμενων υλικών απορριμμάτων. Τονίζεται εδώ ότι η απόδοση της αναερόβιας αποσύνθεσης σε βιοαέριο και κατά συνέπεια σε μεθάνιο, εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τη σύσταση του υλικού (feedstock composition) που αποσυντίθεται. Εκτός του βιοαερίου παράγονται οργανικό (organic digestate) και υγρό (liquor) υπόλειμμα, σε ποσότητες που κυμαίνονται μεταξύ 10.500-70.500 τόννων (organic digestate) και 1.000-8.000 τόννων (liquor), αντίστοιχα. Τέλος, οι παραγόμενες ποσότητες οργανικού υπολείμματος, που είναι χαμηλής ποιότητας (low quality material), κυμαίνονται μεταξύ 1.500-8.500 τόννων ανά έτος και συνήθως διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Ειδικά για την αναερόβια αποσύνθεση του παλαιόχαρτου εφημερίδων, η οποία σημειωτέον είναι σχετικά δυσκολότερη και πιο αργή σε σχέση με την αναερόβια αποσύνθεση άλλων υλικών (π.χ. υπολειμμάτων τροφών), η παραγωγή βιοαερίου ανέρχεται σε 240 lt ανά κιλό ξηρού υλικού (lt/kg dry matter), ενώ το περιεχόμενο μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) ανέρχεται στο 52% της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου (New Zealand Standards Association, 2002).

Τα τελευταία χρόνια, κυρίως μετά το 1990, παρατηρείται αύξηση στην αξιοποίηση της μεθόδου αναερόβιας αποσύνθεσης με εφαρμογές στη διαχείριση των ΑΣΑ. Ειδικότερα στην Ε.Ε. παρατηρείται συνεχώς αυξανόμενη εφαρμογή της μεθόδου



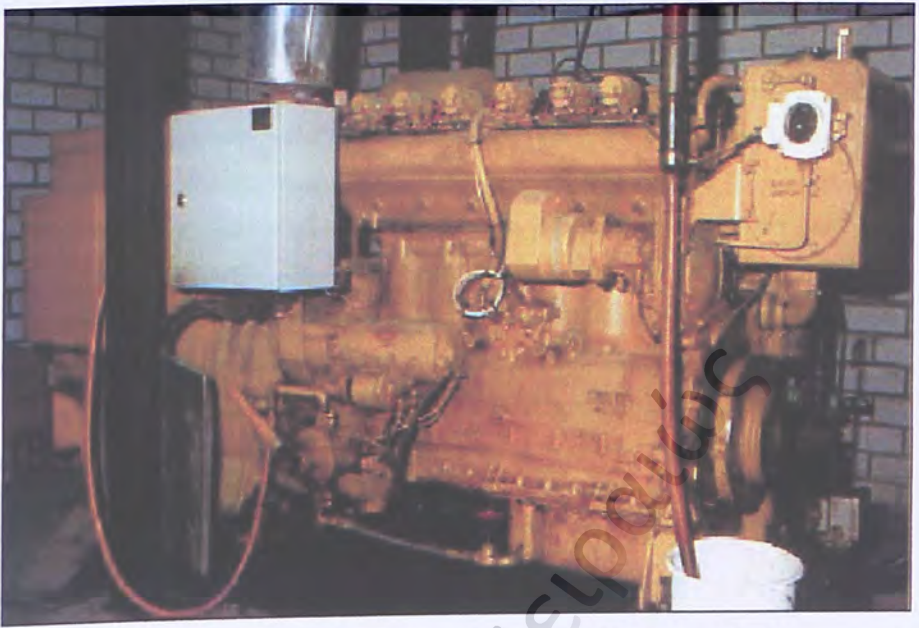
αναερόβιας αποσύνθεσης με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου. Αξίζει ν' αναφερθεί ότι η συνολική δυναμικότητα των μονάδων αναερόβιας αποσύνθεσης από τους 1.037.000 τόννους το έτος 2000, αναμένεται ότι θα φτάσει τους 1.648.000 τόννους στο τέλος του 2002, δηλαδή θα επιτευχθεί αύξηση της τάξης του 60% μέσα σε διάστημα 2 ετών, γεγονός που υποδηλώνει τη σημασία της αναερόβιας αποσύνθεσης στην «αειφόρο» διαχείριση των ΑΣΑ (De Baere, 2002) και καθιστά την Ε.Ε. παγκόσμια «ηγέτιδα» στην ανάκτηση ενέργειας από τα ΑΣΑ μέσω αναερόβιας αποσύνθεσης.

Σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογής της μεθόδου αναερόβιας αποσύνθεσης οργανικών υλικών από ίδιας ή διαφορετικής σύνθεσης πρώτη ύλη (feedstock) υπήρξαν αξιόλογα αποτελέσματα. Η μέθοδος της αναερόβιας αποσύνθεσης έχει τύχει εκτεταμένης εφαρμογής σε αναπτυσσόμενες μέρη (Ε.Ε., ΗΠΑ, Καναδάς) καθώς και σε αρκετές αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη (Ινδία, Κίνα, Ταϊλάνδη, Ουκρανία κ.α.).

Μια περίπτωση εφαρμογής (case study) αναερόβιας αποσύνθεσης για παραγωγή βιοαερίου στην Ινδία (κοινότητα Pura) με χρησιμοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων της κοινότητας, το παραγόμενο βιοαέριο αξιοποιείται τόσο για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, συμπληρωματικά προς την ηλεκτροδότηση μέσω του δικτύου, όσο και για οικιακή χρήση (μαγείρεμα, θέρμανση, θερμό νερό). Πέραν του βιοαερίου, γίνεται χρησιμοποίηση του οργανικού υπολείμματος της αναερόβιας αποσύνθεσης (το οποίο είναι σε μορφή λάσπης) ως υγρού λιπάσματος στις αγροτικές καλλιέργειες που βρίσκονται στην περιοχή της κοινότητας (Reddy, Rajabaraiah and Somasekhar 1995).

Πολλές εφαρμογές αναερόβιας αποσύνθεσης έχουν λάβει χώρα στις ΗΠΑ σε επίπεδο μονάδας (small-scale) την τελευταία 15ετία, όπου σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία ([www.biogasworks.com](http://www.biogasworks.com)) γίνεται αναερόβια αποσύνθεση των αποβλήτων που προέρχονται από κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες με κύριο στόχο την παραγωγή βιοαερίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους.

Παρόμοιες εφαρμογές έχουν γίνει και στην Ε.Ε. σε μικρότερο όμως βαθμό. Πιο συγκεκριμένα σε εφαρμογή αναερόβιας αποσύνθεσης σε ένα πτηνοτροφείο στην Ολλανδία (στην πόλη Nistelrode), γίνεται αναερόβια αποσύνθεση των αποβλήτων του πτηνοτροφείου για την παραγωγή βιοαερίου, με σκοπό την αντικατάσταση του καυσίμου φυσικού αερίου στον κινητήρα της μονάδας συμπαραγωγής του εν λόγω πτηνοτροφείου (Φωτ. 7.2).



**Φωτ. 7.2.** Άποψη του κινητήρα βιοαερίου στο σταθμό συμπαραγωγής.

**Photo 7.2.** View of the gas engine in the cogeneration plant

(Πηγή: *CADDET*<sup>18</sup> 1994)

Η μονάδα της αναερόβιας αποσύνθεσης χρησιμοποιεί 3.326 m<sup>3</sup> μίγματος αποβλήτων και ενεργούς υλός και παράγει 296 m<sup>3</sup> βιοαερίου ετησίως. Στο σταθμό συμπαραγωγής παράγονται 340 MWh/έτος ηλεκτρικής ενέργειας (εκ των οποίων 310 MWh καταναλώνονται επιτόπου και 30 MWh πωλούνται στο ηλεκτρικό δίκτυο). Η μονάδα συμπαραγωγής και ο καυστήρας του βιοαερίου παράγουν 690 MWh/έτος θερμικής ενέργειας, εκ των οποίων 169MWh καταναλώνονται για θέρμανση του χωνευτή (digester) και 163MWh για τη θέρμανση των εγκαταστάσεων, ενώ οι υπόλοιπες 358 MWh δεν χρησιμοποιούνται και μ' αυτόν τον τρόπο η μονάδα εξοικονομεί περίπου 50.000 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου/έτος. Έτσι, για το έτος 1988, η μονάδα είχε έσοδα 73.700 NLG<sup>19</sup> που προήλθαν από πωλήσεις ενέργειας (62%) και εξοικονόμηση φυσικού αερίου (38%), πέραν των εσόδων της επιχείρησης από τις πωλήσεις των κύριων προϊόντων της (CADDET 1994).

<sup>18</sup> Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies-CADDET

<sup>19</sup> Netherlands Guilder, Ολλανδικό φιορίνι



Βέβαια, η μέθοδος της αναερόβιας αποσύνθεσης έχει εφαρμογή και σε μεγάλη κλίμακα (large-scale), δηλαδή στην ανάκτηση ενέργειας με παραγωγή βιοαερίου από το οργανικό μέρος των ΑΣΑ σε αστικά συγκροτήματα των χωρών της Ε.Ε. Επί παραδείγματι, στη Δανία σε 22 αστικά κέντρα λειτουργούν μονάδες αναερόβιας αποσύνθεσης, με δυναμικότητα επεξεργασίας που κυμαίνεται από 15.000 τόννους κοπριάς-οργανικών υλικών ΑΣΑ ανά έτος (πόλη Davinde) μέχρι 160.000 τόννους κοπριάς-οργανικών υλικών από ΑΣΑ ανά έτος (πόλη Lemvig).

Η μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων με αξιοποίηση της αναερόβιας αποσύνθεσης παρουσιάζει θετικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις, από άποψη οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

### 7.3.2. Επιπτώσεις και οφέλη αναερόβιας αποσύνθεσης

#### 7.3.2.1. Οικονομική θεώρηση

Όπως τονίστηκε και στις προηγούμενες εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης, έτσι και εδώ ο κύριος «ρυθμιστής» της οικονομικότητας στην εφαρμογή της μεθόδου της αναερόβιας αποσύνθεσης είναι το μέγεθος της μονάδας. Ως μέγεθος της μονάδας λαμβάνεται και εδώ η δυναμικότητα επεξεργασίας της μονάδας ή πιο απλά πόσους τόννους ΑΣΑ μπορεί να επεξεργάζεται η μονάδα σε ετήσια βάση. Σαφώς, ισχύουν και εδώ τα περί οικονομίας κλίμακας (economy of scale).

Από τη μέχρι σήμερα αποκτηθείσα εμπειρία από την εφαρμογή της μεθόδου, προκύπτει ότι οι δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας μιας μονάδας αναερόβιας αποσύνθεσης οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ (ή /και άλλες πηγές), εξαρτώνται από τα επιμέρους κόστη, όπως: την αξία κτήσεως γης, την εφαρμοζόμενη μέθοδο αποσύνθεσης (υπάρχουν αρκετές παραλλαγές), το είδος των υλικών που χρησιμοποιούνται, το συντελεστή ανάκτησης ενέργειας, τα έσοδα από πωλήσεις της ενέργειας και του συνήθως βιοσταθεροποιημένου οργανικού υπολείμματος (composted digestate). Σε γενικές γραμμές, το κόστος της παραγωγής βιοαερίου με αναερόβια χώνευση στην Ε.Ε. ανέρχεται -κατά μέσο όρο- σε 70 €/τόνο επεξεργαζόμενων απορριμμάτων (ECOTEC, 2001). Ένα σημαντικό στοιχείο που επιδρά στην οικονομικότητα της μονάδας είναι η ύπαρξη (ή η απουσία) κρατικής επιχορήγησης (ή επιδότησης) για την παραγωγή ενέργειας, ειδικότερα όταν η μονάδα αναερόβιας αποσύνθεσης είναι αυτοτελής, όπως συμβαίνει στην περίπτωση εγκατάστασης σε μικρές αγροτοκτηνοτροφικές μονάδες. Ουσιαστικά, με την κρατική οικονομική βοήθεια δημιουργείται ένα «κίνητρο», που έχει στόχο την ενθάρρυνση των μικρομεσαίων επιχειρήσεων του αγροτοκτηνοτροφικού τομέα στην εφαρμογή της μεθόδου. Η επιδότηση της παραγωγής ενέργειας από καύση του αναερόβια παραγόμενου βιοαερίου, έστω και όταν αυτή αφορά μόνο τις ανάγκες της επιχείρησης, θεωρείται ότι καλύπτει μέρος των εξόδων εγκατάστασης και λειτουργίας και άρα έχει επίδραση στην οικονομικότητα.

Η αναερόβια αποσύνθεση παρουσιάζει μια σχετική «ευελιξία» στην εφαρμογή της και μπορεί να τύχει εφαρμογής σε διαφορετικές κλίμακες (economies of scale) και με διαφορετικά υλικά τροφοδοσίας. Έτσι, εντοπίζονται διεθνώς τέσσερις (4) τρόποι οικονομικής εφαρμογής της μεθόδου, δηλαδή:



- ως μεμονωμένη μονάδα (εγκατάσταση) με αξιοποίηση οργανικών υλικών από την παραγωγική διαδικασία μιας επιχείρησης, όπως π.χ. κοπριάς, υπολειμμάτων χαρτοποιίας κ.λπ.
- σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους αξιοποίησης, π.χ. αναερόβια αποσύνθεση των στερεών αποβλήτων και των λυμάτων μιας βιομηχανίας τροφίμων και στη συνέχεια παραγωγή εδαφοβελτιωτικού με βιοσταθεροποίηση του υπολείμματος
- ενσωματωμένη στην εφαρμογή συνολικού σχεδιασμού διαχείρισης των αποβλήτων σε αστικά κέντρα, π.χ. βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων του αποχετευτικού δικτύου ενός αστικού κέντρου σε συνδυασμό με αναερόβια αποσύνθεση των οργανικών υλικών που ανακτώνται από τα λύματα
- ως συ-χώνευση (co-digestion) αποβλήτων από διαφορετικές πηγές σε μεγάλα αστικά κέντρα ή βιομηχανικά πάρκα (AEA Technology 1998)

Σημειώνεται επίσης ότι, η αναερόβια αποσύνθεση είναι διαδικασία που μέχρι πρόσφατα δεν είχε τύχει εκτεταμένης εφαρμογής στον ιδιωτικό τομέα, αφού οι παράγοντες που επιδρούν περιοριστικά στην εφαρμογή της είναι το υψηλό λειτουργικό κόστος (εγκαταστάσεις-λοιπός εξοπλισμός-έλεγχος) που απαιτείται και όπως αναφέρθηκε η έλλειψη κρατικής επιδότησης, η εγγύτητα ή μη με τους τελικούς καταναλωτές του βιοαερίου, η απροθυμία των κατοίκων γειτονικών περιοχών για κατανάλωση του παραγόμενου βιοαερίου<sup>20</sup> και βεβαίως οι ανταγωνιστικές χρήσεις των οργανικών υλικών των ΑΣΑ (κομποστοποίηση για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, ανακύκλωση και επανεισαγωγή του ανακυκλωμένου υλικού στην αγορά, διαλογή και επαναχρησιμοποίηση υλικών από τα ΑΣΑ).

Τέλος, η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να θεωρηθεί οικονομικά εφικτή για παραγωγή ενέργειας, σε συνδυασμό με υγειονομική ταφή των ΑΣΑ, κυρίως βιομηχανικών χρήσεων ή ακόμη και για τηλεθέρμανση, γειτονικών ως επί το πλείστον, οικισμών.

<sup>20</sup> Σύμφωνα με έρευνες (Powell et al. 1999) η απροθυμία των καταναλωτών για το βιοαέριο πηγάζει από την εσφαλμένη αντίληψη ότι «αυτό παράγεται από απόβλητα και θα το βάλω στο σπίτι μου;», για την εξάλειψη της οποίας πρέπει να γίνει ενημέρωση των καταναλωτών, για τα οικονομικά οφέλη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων και την περιβαλλοντική αναβάθμιση που συνδέονται με μια τέτοια πρακτική. Επίσης η ιδέα μιας καμινάδας ή ενός εργοταξίου δίπλα σε οικισμό προκαλεί αντιδράσεις για ενδεχόμενη ρύπανση και όχληση (Not in my back yard attitude).

### 7.3.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση

Όπως και στις εφαρμογές των προηγούμενων εναλλακτικών μεθόδων, έτσι και η εφαρμογή της αναερόβιας αποσύνθεσης, έχει επίδραση στο περιβάλλον με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική, η αναερόβια αποσύνθεση από περιβαλλοντική άποψη παρουσιάζει ως επί το πλείστον θετικές συνέπειες και σχετικά λίγες επιπτώσεις.

Στις θετικές περιβαλλοντικές συνέπειες από την εφαρμογή της αναερόβιας αποσύνθεσης «καταλογίζεται» το ότι με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον παράγεται καύσιμο (βιοαέριο), αφού ως πρώτη ύλη αξιοποιούνται απόβλητα τα οποία διαφορετικά θα διατίθεντο σε χωματερή και θα επιβάρυναν το περιβάλλον. Δηλαδή πρόκειται για ανάκτηση ενέργειας από τα ΑΣΑ με παράλληλη μείωση των ποσοτήτων των αποβλήτων που τελικά διατίθενται στο περιβάλλον.

Ένα άλλο θετικό περιβαλλοντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι η αυτή εφαρμόζεται σε κλειστό (αεροστεγές, υδατοστεγές) και πλήρως ελεγχόμενο σύστημα και κατά συνέπεια το παραγόμενο βιοαέριο δεν διαφεύγει στο περιβάλλον αλλά συλλέγεται και έτσι αποφεύγονται εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα.

Εξάλλου, εκτός του βιοαερίου η μέθοδος παράγει και σημαντικές ποσότητες παραπροϊόντων, μεταξύ των οποίων οργανικό υπόλειμμα (organic digestate) πλούσιο σε ιχνοστοιχεία και θρεπτικά συστατικά, το οποίο με κατάλληλη διαδικασία (υπαίθρια ή κλειστή βιοσταθεροποίηση) μπορεί να αποτελέσει υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό (soil improver).

Από άποψη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όταν η εφαρμογή της μεθόδου δεν γίνεται με τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν (πλήρης αεροστεγής κατασκευή, υδατοστεγανοποίηση) τότε συνοδεύεται από εκπομπές (διαφυγή) αερίων θερμοκηπίου (κυρίως CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα και έκλυση στο έδαφος τοξικών ή επικίνδυνων ουσιών (στραγγίσματα) με αποτέλεσμα τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων.

Ακόμη, στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την εφαρμογή της μεθόδου «καταλογίζονται» η διάθεση του παραγόμενου υγρού υπολείμματος της διεργασίας (liquid digestate) στο δίκτυο αποχέτευσης, ειδικότερα όταν δεν υπάρχει μέριμνα για την ασφαλή διάθεσή του (απομάκρυνση τοξικών και επικίνδυνων ουσιών κ.λπ.).



Επίσης, ως περιβαλλοντική επίπτωση θεωρείται η διάθεση σε ΧΥΤΑ του υπολείμματος το οποίο είναι χαμηλής ποιότητας και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

### 7.3.2.3. Κοινωνική θεώρηση

Η εφαρμογή της μεθόδου αναερόβιας αποσύνθεσης θεωρείται ότι συνδέεται με κοινωνικές επιπτώσεις αλλά κυρίως με άμεσα και έμμεσα κοινωνικά οφέλη. Στη συνήθη εφαρμογή τους σε αστικές περιοχές με μεγάλη παραγωγή ΑΣΑ, οι εγκαταστάσεις αναερόβιας αποσύνθεσης αποτελούν μέρος ενός σύγχρονου ΧΥΤΑ και έχουν τη συλλογή και εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου.

Το παραγόμενο από αναερόβια αποσύνθεση βιοαέριο μπορεί να διατίθεται:

- α) απευθείας στους χρήστες μέσω τοπικού δικτύου αγωγών (όπως π.χ. το φυσικό αέριο) με σκοπό την κάλυψη των αναγκών οικιακής χρήσης (μαγειρέμα, θέρμανση) ή
- β) για επιτόπου καύση του με σκοπό:
  - β<sub>1</sub>) την παραγωγή θερμικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών είτε της ίδιας της μονάδας είτε άλλων γειτονικών μονάδων, είτε ακόμη των γειτονικών οικισμών μέσω τοπικού δικτύου τηλεθέρμανσης (παροχή θερμότητας και θερμού νερού χρήσης),
  - β<sub>2</sub>) την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. σύστημα κινητήρα βιοαερίου-ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους) με σκοπό είτε την ιδιοκατανάλωση είτε την πώληση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας,
  - β<sub>3</sub>) τη συμπαραγωγή θερμότητας-ηλεκτρισμού (combined heat and power-CHP) για τους ίδιους ανωτέρω σκοπούς.

Από τα παραπάνω προκύπτουν σημαντικές ωφέλειες για το κοινωνικό σύνολο, όπως η χρήση του βιοαερίου για παρασκευή φαγητού αντικαθιστά συσκευές μαγειρέματος, όπως οι εστίες υγραερίου και οι ηλεκτρικές κουζίνες, οι οποίες είναι ακριβότερες, πιο επικίνδυνες (εκρήξεις φιαλών υγραερίου<sup>21</sup>, ηλεκτροπληξίες και εγκαύματα στις ηλεκτρικές κουζίνες) και πιο κουραστικές στη χρήση τους και συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Επίσης, από την εφαρμογή της μεθόδου αναερόβιας αποσύνθεσης προκύπτουν θέσεις απασχόλησης έστω και πολύ περιορισμένες αριθμητικά, αφού οι απαιτήσεις σε ανθρώπινους πόρους είναι πολύ μειωμένες και αντίστοιχες εκείνων της μεθόδου βιοσταθεροποίησης. Έτσι, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα για τη

<sup>21</sup> Η θερμοκρασία ανάφλεξης του υγραερίου είναι περίπου 500 οC, τη στιγμή που η αντίστοιχη για το βιοαέριο είναι γύρω στους 700 °C (FAO, 1996)



βιοσταθεροποίηση, θεωρείται ενδεικτικός ένας αριθμός 2-5 θέσεων εργασίας για μια μονάδα δυναμικότητας επεξεργασίας 20.000 tpa.

Τέλος, σε ότι αφορά τις κοινωνικές επιπτώσεις από την εφαρμογή της μεθόδου της αναερόβιας αποσύνθεσης αυτές είναι πρακτικά αμελητέες και μόνο όταν η μέθοδος γίνεται σε συνδυασμό με άλλη μέθοδο διαχείρισης των ΑΣΑ (π.χ. αναερόβια αποσύνθεση ως υπομονάδα σε σύγχρονη εγκατάσταση ΧΥΤΑ) τότε συνδέεται με την δημιουργία θορύβου από τη λειτουργία διαφόρων μηχανημάτων και την κίνηση οχημάτων, καθώς και με εκπομπή δυσάρεστων οσμών. Συνοψίζοντας, η αναερόβια αποσύνθεση για παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων έχει σημαντικά κοινωνικά οφέλη σε σχέση με τις ελάχιστες επιπτώσεις στο κοινωνικό σύνολο.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 7.4. Παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών (single-cell proteins) με ζύμωση

### 7.4.1. Γενικά

Μια μέθοδος αξιοποίησης των οργανικών υλικών από τα ΑΣΑ είναι και η ζύμωση (fermentation), κατά την οποία γίνεται αποίκιση μικροβιακών οργανισμών (μικρόβια ή μύκητες) σε κατάλληλο υπόστρωμα (μαγιά, γλυκόζη, κυτταρίνη). Το προϊόν μιας τέτοιας διεργασίας (ζύμωσης) είναι συνήθως μονοκυτταρικές πρωτεΐνες (single-cell proteins-SCP) και το οποίο χρησιμοποιείται αφού νεκρωθεί (συνήθως με χρήση ακτινοβολίας) στη διατροφή ζώων (ζωοτροφές) ή/και ανθρώπων (εδωδιμοί μύκητες). Ο όρος μονοκυτταρική πρωτεΐνη (SCP) αναφέρεται στα νεκρά, ξηρά στοιχεία των μικροοργανισμών όπως η ζύμη (yeast), τα βακτηρίδια, τους μύκητες και τα φύκια, οι οποίοι αυξάνονται στις διαφορετικές πηγές άνθρακα.

Ο όρος «μονοκυτταρική πρωτεΐνη» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την καθηγήτρια Carol Wilson του MIT<sup>22</sup> για να δώσει μια καλύτερη εικόνα και ίσως πιο δόκιμη έκφραση σε σχέση με την έννοια "μικροβιακή πρωτεΐνη". Η παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών ήρθε στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος στα τέλη της δεκαετίας του '50-αρχές της δεκαετίας του '60. Οι λόγοι που αρχικά οδήγησαν στην έρευνα για την παραγωγή SCP ήταν:

- η πληθυσμιακή έκρηξη, που παρατηρείται από το τέλος του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου και εντεύθεν,
- ο υποσιτισμός, που επακολούθησε την πληθυσμιακή έκρηξη, σε πολλές, αναπτυσσόμενες κυρίως, περιοχές του πλανήτη και
- η πίεση για εξεύρεση εναλλακτικών πηγών παραγωγής θρεπτικών ουσιών κυρίως ζωοτροφών, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες θρέψης των μονάδων ενσταβλισμένης κτηνοτροφίας.

Στους παραπάνω λόγους, ήρθαν να προστεθούν και κάποιοι άλλοι, που συνηγορούν σήμερα στην έρευνα για παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- τα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την υποβάθμιση και την καταστροφή του περιβάλλοντος λόγω της, μέχρι πρόσφατα, αλόγιστης διάθεσης αποβλήτων, ώστε να καταστεί αναγκαία η αειφορική διαχείρισή τους και τέλος,

<sup>22</sup> Massachusetts Institute of Technology-MIT, University of Massachusetts



- η πρόσφατα εμφανισθείσα ασθένεια της Σπογγώδους Εγκεφαλοπάθειας των Βοοειδών (Bovine Spongiform Encephalopathy), που υπογράμμισε την επιτακτική ανάγκη για διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ζωοτροφών, ώστε να ανταποκρίνονται τόσο στις ανάγκες θρέψης των ζώων όσο και στην περιβαλλοντική νομοθεσία.
- το γεγονός ότι οι μονοκυτταρικές πρωτεΐνες λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε αμινοξέα, σε βιταμίνη Β και των θρεπτικών στοιχείων που περιέχουν σε εύληπτη μορφή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μερική ή ολική αντικατάσταση των συνήθων πρωτεϊνούχων υλικών στη διατροφή των κτηνοτροφικών ζώων (Balagopalan, Padmaja and George 1990).

Έτσι, η ζύμωση των υδατανθράκων (carbohydrates) και η παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών έγινε χώρος έρευνας και δοκιμάστηκε σε πολλά και διαφορετικά υποστρώματα, όπως κλάσματα υδρογονανθράκων (hydrocarbons), διάφορες μελάσες (π.χ. υπολείμματα βιομηχανίας ζάχαρης), φυτικά άμυλα (όπως το άμυλο του φοίνικα *Sagopalms*<sup>23</sup>), ζωικά λιπάσματα (μίγματα κοπριάς με φυτικά άλευρα) ακόμη και ορός γάλακτος (Israelidis 1993). Στα υποστρώματα αυτά έγιναν καλλιέργειες μικροβιακών οργανισμών και μυκήτων και τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν για παραγωγή SCP και κατ' επέκταση ζωοτροφών θεωρήθηκαν ικανοποιητικά (Gregory 1977, Sukara and Doelle 1989a, 1989b), χωρίς όμως να γίνουν εφαρμογές για βιομηχανική παραγωγή.

Κατά τα τελευταία 25-30 έτη, άλλα υλικά όπως τα λιγνοκυτταρικά υλικά (lignocellulosic materials), δηλαδή υπολείμματα αγροτικών καλλιεργειών (στελέχη αραβοσίτου, βαμβακιού κ.α.), υπολείμματα δασικών εργασιών (κλαδιά, φύλλα, φλοιός) καθώς και χαρτί και απόβλητα χαρτοποιίας, αποτέλεσαν το σύγχρονο πεδίο έρευνας. Στα υποστρώματα αυτά έγιναν καλλιέργειες μικροοργανισμών και μυκήτων, οι οποίοι περιέχουν λιγνοκυτταρινολυτικά ένζυμα (lignocellulolytic enzymes), όπως *Volvariella* sp., *Lentinus edodes*, και *Pleurotus* sp., υπό διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας-ακτινοβολίας και τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν στην παραγωγή πρωτεϊνών για ζωοτροφές ήταν ενθαρρυντικά (Israelidis 1993). Όμως παρά τα θετικά αποτελέσματα, η παραγωγή SCP βρίσκεται ακόμη υπό εργαστηριακή εξέλιξη. Εντούτοις, θεωρείται ότι στο άμεσο μέλλον, κάτω από τη συνεχώς αυξανόμενη πίεση

<sup>23</sup> Πρόκειται για το φυτικό είδος *Metroxylon sagu*, δηλαδή για φοίνικα που φύεται στην ΝΑ Ασία και σε νησιωτικές χώρες (Ινδονησία, Πολυνησία) του Ειρηνικού ωκεανού, με μεγάλη παραγωγή αμύλου, περίπου 165 κλά άμυλο ανά δέντρο (Doelle 1998).

για εφαρμογή αειφορίας και περιβαλλοντικής προστασίας αλλά με τη βοήθεια την τεχνολογικής προόδου, αναμένεται ότι δεν θα αργήσει η εφαρμογή της παραγωγής SCP και σε βιομηχανική κλίμακα.

Η παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών έχει γνωστή τεχνολογία και ποικίλους τρόπους παραγωγής, αφού στηρίζεται στη ζύμωση (μέσω των ενζύμων των μικροοργανισμών) των οργανικών υλών (πλούσιων σε γλυκόζη, κυτταρίνη ή άλλη ουσία) που δεν είναι τίποτε άλλο παρά υδρόλυση των γλυκοζιτικών δεσμών χωρίς χημική διεργασία, με προϊόντα συνήθως αιθανόλη, μικροβιακή πρωτεΐνη και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Η συνήθης διαδικασία παραγωγής SCP περιλαμβάνει το στάδιο χειρισμού και προετοιμασίας του υποστρώματος, το στάδιο ζύμωσης, το στάδια διαχωρισμού της μικροβιακής βιομάζας, το στάδιο του καθαρισμού και την ξήρανση-νέκρωση (με ακτινοβολία) του τελικού προϊόντος.

Επιπλέον, για την εφαρμογή της μεθόδου υπάρχουν σχετικά φθηνές, εύκολα διαθέσιμες πρώτες ύλες (όπως π.χ. παλαιόχαρτο, υπολείμματα τροφών από το ρεύμα των ΑΣΑ καθώς και τα υγρά απόβλητα από ανακύκλωση του χαρτιού αφού απομακρυνθούν τα ανόργανα στοιχεία της απομελάνωσης, αλλά και αντίστοιχα απόβλητα και παραπροϊόντα διεργασιών όπως κονσερβοποιΐα τροφίμων και ιχθυρών, βιομηχανία γλυκισμάτων και τροφίμων κ.α.), η παραγωγή μονοκυτταρικής πρωτεΐνης γίνεται ταχύτατα, είναι ανεξάρτητη κλιματικών συνθηκών, γίνεται σε συνεχή βάση και με μεγάλη πρωτεϊνική παραγωγή (Israelidis 1993).

Στοιχεία για τη δυναμικότητα επεξεργασίας μιας μονάδας παραγωγής SCP υφίστανται μόνο από πειραματικές εφαρμογές, αφού η μέθοδος εξακολουθεί να γίνεται σε εργαστηριακή κλίμακα. Σε ένδειξη των ποσοτικών δυνατοτήτων της μεθόδου σημειώνεται ότι μια ποσότητα βακτηρίων 1.000 κλών περιέχει, σε ξηρό βάρος, περίπου 800 κιλιά πρωτεΐνη (Steinkraus 1982) και έχει δυνατότητα για διπλασιασμό της μέσα σε χρόνο από 1-2 ώρες, κάτι που, θεωρητικά τουλάχιστον, σημαίνει ότι στη διάρκεια ενός 24ώρου μπορούν να παραχθούν περίπου 9,6-19,2 τόννοι μονοκυτταρικών πρωτεϊνών (SCP).

Ειδικότερα για την αξιοποίηση του χαρτιού από το ρεύμα των ΑΣΑ και κατ' επέκταση των παλαιών εφημερίδων στην παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών, θεωρείται ότι συνηγορούν ορισμένα στοιχεία, που όμως εξειδικεύουν το πλαίσιο εφαρμογής της. Το κυριότερο στοιχείο είναι η μεγάλη περιεκτικότητα σε κυτταρίνη και ημικυτταρίνες τόσο του παλαιόχαρτου απορριμμάτων όσον και των υγρών



αποβλήτων από την ανακύκλωση του χαρτιού αφού απομακρυνθούν οι ανόργανες ουσίες που περιέχονται σ' αυτά.

Σύμφωνα με μια μελέτη περίπτωσης ή καλύτερα μια πειραματική εφαρμογή του Ινστιτούτου Ερευνών Χαρτοπολτού και Χάρτου της Φινλανδίας (Finnish Pulp and Paper Research Institute, FPPRI) το 1973, εγκαταστάθηκε μια μικρή μονάδα ζύμωσης κοντά σε μια βιομηχανία χάρτου (United Paper Mills στην πόλη Jämsänkoski), με στόχο την αξιοποίηση μέρους από τα υγρά απόβλητα της χαρτοποιίας για παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών. Η δυναμικότητα της βιομηχανίας σε χαρτοπολτό ήταν 100.000 τόννοι χημικού χαρτοπολτού ανά έτος, ενώ της μονάδας παραγωγής SCP προβλέπονταν στους 10.000 τόννους πρωτεΐνης ανά έτος. Χρησιμοποιήθηκε διάλυμα υπολειμμάτων παραγωγής θειώδους χαρτοπολτού (spent liquor of sulphite pulp), μετά από ελαφρά προπαρασκευή, η οποία αφορούσε την απομάκρυνση του διοξειδίου του θείου (sulphur dioxide, SO<sub>2</sub>) από το διάλυμα, με χρήση ατμού από το εργοστάσιο χαρτοποιίας. Μετά από ψύξη το διάλυμα οδηγήθηκε σε ειδικό θάλαμο ζύμωσης, μαζί με άλλα θρεπτικά στοιχεία (όπως άλευρα) που είναι απαραίτητα για τη θρέψη του μικροοργανισμού *Paecilomyces variotii*, ο οποίος είχε επλεγεί ως ο καταλληλότερος για τη συγκεκριμένη ζύμωση. Έτσι έγινε δυνατή η παραγωγή μικροβιακής μάζας και κατ' επέκταση έγινε δυνατή η παραγωγή SCP με την εν λόγω μέθοδο (Pekilo process). Τα αποτελέσματα της μεθόδου ήταν εκπληκτικά, αφού μέσα σε πέντε (5) ώρες παρήχθησαν 15 κιλά μυκήτων (micro-fungi) ανά κυβικό μέτρο (m<sup>3</sup>) διαλύματος. Αυτό αντιστοιχεί κατά προσέγγιση σε περίπου 8 κιλά SCP ανά κυβικό μέτρο διαλύματος υπολειμμάτων από θειώδη χαρτοπολτό (Romantschuk 1974).

Επίσης, από άλλες μελέτες προκύπτουν θετικά έως πολύ ενθαρρυντικά στοιχεία για τη ζύμωση οργανικών υλικών που είτε διαχωρίζονται στην πηγή είτε ανακτώνται από το ρεύμα των ΑΣΑ. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται κυρίως για υπολείμματα τροφών και τα λεγόμενα «πράσινα» απορρίμματα, δηλαδή υπολείμματα κλαδέματος και περιποίησης κήπων καθώς και υπολείμματα φυτικών πολτών από βιομηχανική επεξεργασία (όπως μπανανοπολτός, πολτός τεύτλων) και είναι πλούσιοι σε άμυλο, τα οποία μεμονωμένα ή σε μίξη με άλλα υλικά (άλευρα, λύματα κτηνοτροφικών μονάδων) γίνονται το «υπόστρωμα» για την καλλιέργεια πολλών και διαφορετικών μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, ζυμομύκητες κ.α.) με στόχο την παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών (Manilal, Narayanan and Balagopalan 1987, Balagopalan and Padmaja 1988).

Η παρουσίαση των χαρακτηριστικών της μεθόδου που ενδιαφέρουν από άποψη οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων και ωφελειών, θα γίνει βάση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## 7.4.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών

### 7.4.2.1. Οικονομική θεώρηση

Όπως σε κάθε περίπτωση βιομηχανικής εγκατάστασης έτσι και εδώ θεωρείται βασικής σημασίας η επίτευξη οικονομίας κλίμακας, ώστε να έχει νόημα η εφαρμογή της μεθόδου.

Σύμφωνα με αρκετούς συγγραφείς, η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής μονοκυτταρικών πρωτεϊνών με υπόστρωμα το παλαιόχαρτο εφημερίδων παρουσιάζει οικονομικά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων

- η οικονομικότητα εφαρμογής λόγω της σχετικά φθηνής και εύκολα διαθέσιμης πρώτης ύλης αλλά και της μεγάλης δυνατότητας ζύμωσης του χαρτιού εφημερίδων (μετά την απομελάνωσή του) και των υπολειμμάτων παραγωγής χαρτοπολτού από ανακύκλωση (αφού απομακρυνθούν μέρος του νερού και όλα τα ανόργανα στοιχεία) υπό κατάλληλες συνθήκες.
- Το γεγονός ότι η μονοκυτταρική πρωτεΐνη είναι προϊόν ανταγωνιστικό της σόγιας σε πολλές εφαρμογές και προέρχεται από φθηνότερη διαδικασία παραγωγής του.

Επιπρόσθετα στα παραπάνω στοιχεία, θεωρείται ότι από την παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών προκύπτει σημαντικό οικονομικό όφελος από την αντικατάσταση των κατά πολύ ακριβότερων συνθετικών τροφών (φυράματα, βιταμινούχα συμπληρώματα) στη διατροφή των κτηνοτροφικών ζώων και των πουλερικών και από την άλλη πλευρά αντικαθίστανται ορισμένες ακριβότερες μέθοδοι παραγωγής των υλικών αυτών (συνθετικών τροφών, βιταμινούχων συμπληρωμάτων) καθώς και το γεγονός ότι εξοικονομούνται τα «φυσικά αποθέματα» πρώτων υλών.

Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής μονοκυτταρικών πρωτεϊνών που θα αξιοποιεί κυρίως απόβλητα ανακύκλωσης χαρτιού, παλαιόχαρτο εφημερίδων και επλεγμένα οργανικά υλικά από τα ΑΣΑ, θεωρείται ότι είναι αρκετά υψηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της αναερόβιας χώνευσης ή της βιοσταθεροποίησης, αφού η μέθοδος παραγωγής SCP αφενός δεν είναι βιομηχανικά αναπτυγμένη και αφετέρου για να λειτουργήσει, έστω εργαστηριακά, απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό.

Και σ' αυτή την περίπτωση οι δαπάνες εξαρτώνται από την αξία κτήσεως γης, τον τεχνολογικό εξοπλισμό (αρκετά έως πολύ ακριβός), το κόστος μηχανικής ή άλλης διαλογής των υλικών που θα χρησιμοποιούνται, το κόστος παραγωγής, το κόστος ποιοτικού ελέγχου του τελικού προϊόντος, το κόστος περιβαλλοντικής προστασίας, την ύπαρξη ή μη κρατικής επιδότησης καθώς και από τα έσοδα από τις πωλήσεις του προϊόντος.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



#### 7.4.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση

Όπως κάθε μέθοδος που συμβάλλει στη μείωση των ποσοτήτων των ΑΣΑ που τελικά διατίθενται στο περιβάλλον μέσω ανάκτησης υλικών ή/και ενέργειας από αυτά, έτσι και η αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων και των υπολειμμάτων ανακύκλωσης χαρτιού για την παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών, θεωρείται ότι συμβάλλει στην προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος.

Οι περιβαλλοντικές συνέπειες από την εφαρμογή της μεθόδου θεωρούνται στην πλειοψηφία τους ότι είναι θετικές τη στιγμή που οι μόνες επιπτώσεις που καταγράφονται είναι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ως παραπροϊόν της διεργασίας καθώς και τα ανόργανα στοιχεία, τα οποία μέσω κατάλληλης διαχείρισης ή/και εξουδετέρωσής τους πρέπει να διατεθούν σε άλλες χρήσεις. Έτσι, το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) πρέπει να συλλέγεται και να χρησιμοποιείται σε άλλες χρήσεις όπως π.χ. ως ψυκτικό μέσο στην ίδια τη μονάδα ή με κατάλληλη συσκευασία και μεταφορά να διατίθεται στην παραγωγή αναψυκτικών κ.λπ.

Επίσης θεωρείται υποχρεωτική η λήψη μέτρων για την αποφυγή της πρόκλησης αέριας ρύπανσης, όπως τοποθέτηση ειδικών συσκευών καθαρισμού αερίων (scrubbers) καθώς και άλλων διατάξεων (συλλέκτες, συμπυκνωτές κ.λπ.). Επίσης, είναι πολύ σημαντικό στην (εργαστηριακή ή βιομηχανική) παραγωγή SCP να λαμβάνονται μέτρα τόσο για την ατομική προστασία των εργαζομένων (ΜΑΠ), αφού ορισμένοι μικροοργανισμοί μπορεί είναι ιδιαίτερα έως άκρως επικίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου, όσο και για τον αερισμό (ventilation) των χώρων εργασίας όπως και των κοινόχρηστων χώρων και επιπλέον να λαμβάνεται μέριμνα για την αποστείρωση των παντοειδών αντικειμένων προσωπικής χρήσης.

### 7.4.2.3. Κοινωνική θεώρηση

Η παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών σε βιομηχανική κλίμακα, αναμένεται ότι θα έχει ως θετική κοινωνική συνέπεια τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Οι θέσεις εργασίας αυτές αναμένεται ότι ακόμη και στην περίπτωση της βιομηχανικής παραγωγής μονοκυτταρικών πρωτεϊνών θα είναι πολύ έως εξαιρετικά περιορισμένη, αφού απαιτείται ολιγάριθμο και με μεγάλο βαθμό εξειδίκευσης επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό για τη στελέχωση μιας τέτοιας μονάδας.

Επίσης θεωρείται ότι, εφόσον γίνει βιομηχανική παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών, η χρήση τους στη διατροφή των ζώων θα έχει θετική συνέπεια τόσο στη θρέψη τους, αφού θα τρέφονται με τροφές πλούσιες σε πρωτεΐνες όσον και στην εξοικονόμηση φυσικών πρώτων υλών και την αποφυγή των επιπτώσεων από τις συνθετικές τροφές και τα συμπληρώματα. Τα στοιχεία αυτά θα έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα διατροφής του ανθρώπου, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή της λεγόμενης «τροφικής αλυσίδας», η ισορροπία της οποίας έχει διαταχθεί σημαντικά.

Η παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών θεωρείται ότι μπορεί να έχει και ορισμένα άλλα κοινωνικά οφέλη, όπως το γεγονός ότι συμβάλλει στη μείωση των ποσοτήτων απορριμμάτων που διατίθενται τελικά στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στην προστασίας και την ποιοτική αναβάθμιση του περιβάλλοντος.

Από άποψη των ενδεχόμενων κοινωνικών επιπτώσεων, πρέπει να σημειωθεί ότι θεωρείται απαραίτητος ο συχνός υγειονομικός έλεγχος των εργαζομένων στη μονάδα, ώστε να αποφευχθεί πιθανή προσβολή τους από μικροοργανισμούς, οι οποίοι υπό ορισμένες συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην ατομική και τη δημόσια υγεία (ανάπτυξης αντοχής σε αντιβιοτικά, επιδημικές τάσεις κ.α.).



## 7.5. Παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση (bioethanol production)

### 7.5.1. Γενικά

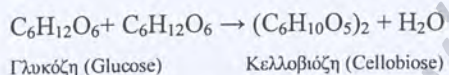
Είναι γνωστό ότι τα τελευταία περίπου 50 χρόνια, οι παγκόσμιες ανάγκες σε καύσιμα (για ενέργεια και μεταφορές) αυξάνονται συνεχώς. Οι εισαγωγές καυσίμων (πετρελαίου και προϊόντων του) για την κάλυψη των διογκούμενων αναγκών, παρουσιάζουν αύξηση σε πολλές χώρες (McMillan 1996).

Όμως, αυτή η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των συμβατικών ή ορυκτών καυσίμων (conventional or fossil fuels) έχει προκαλέσει τεράστια ατμοσφαιρικά και γενικά περιβαλλοντικά προβλήματα, το μέγεθος των οποίων έγινε αντιληπτό ιδιαίτερα κατά την τελευταία 25ετία. Μεταξύ των πολλών και διαφορετικών περιβαλλοντικών προβλημάτων, αυτά που θεωρούνται σημαντικότερα σήμερα είναι:

- ο η εκπομπή «αερίων του θερμοκηπίου» (greenhouse gases, GHG) όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), αλλά και πολλές άλλες ουσίες, τα οποία παράγονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, με συνέπεια τη μεταβολή των ατμοσφαιρικών και των κλιματικών συνθηκών,
- ο η καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα, ως επακόλουθο της εκπομπής αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που προκαλεί σημαντικότερες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων,
- ο η ρύπανση των θαλασσών, αφενός από ατυχήματα (ναυάγια) κατά τη μεταφορά του αργού πετρελαίου, που σχηματίζει τις λεγόμενες πετρελαιοκηλίδες (oil spills) και αφετέρου από τα απόβλητα της διύλισης του πετρελαίου, τα οποία είναι τοξικά για πολλούς χερσαίους και θαλάσσιους οργανισμούς.

Κάτω από την πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και μετά τη θέσπιση γενικής και ειδικότερης περιβαλλοντικής νομοθεσίας ως προς τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, η διεθνής κοινότητα στράφηκε στην αναζήτηση εναλλακτικών και περιβαλλοντικά αποδεκτών λύσεων. Έτσι, η έρευνα, αξιοποιώντας νέες ιδέες και αναπτύσσοντας κατάλληλες τεχνολογικές μεθόδους στράφηκε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Μεταξύ των ΑΠΕ ήταν και τα βιοκαύσιμα. Με τον όρο «βιοκαύσιμα» εννοούνται τα καύσιμα που παράγονται με βιολογική επεξεργασία ανανεώσιμων υλικών όπως είναι η βιομάζα και τα λιγνοκυτταρικά υλικά.

Τα λιγνοκυτταρικά υλικά (lignocellulosic materials) έχουν σύνθετη δομή και γι' αυτό αποσυντίθεται δυσκολότερα και αποτελούνται από τρεις τύπους πολυμερών, τα οποία είναι η κυτταρίνη (~45% επί ξηρού βάρους), οι ημικυτταρίνες (~30% επί ξηρού βάρους) και η λιγνίνη (~25% επί ξηρού βάρους). Η κυτταρίνη είναι το πλέον άφθονο πολυμερές στη γη και αποτελείται από χιλιάδες μόρια ανυδρογλυκόζης, που συνδέονται με β(1,4)-γλυκοζιτικούς δεσμούς, όπου η βασική επαναλαμβανόμενη μονάδα είναι η δισακχαρική κελλοβιόζη (disaccharide cellobiose). Η παραγωγή κυτταρίνης με πολυμερισμό της γλυκόζης μπορεί να αποδοθεί με την αντίδραση:



Οι ημικυτταρίνες είναι μίγματα συμπολυμερών σακχάρων (πολυσακχαρίτες, polysaccharides) και περιέχουν ουσίες όπως πεντόζες (ξυλόζη, αραβινόζη), εξόζες (γαλακτόζη, μανόζη, γλυκόζη) και ουρονικά οξέα (όπως το D-γλυκουρονικό οξύ). Τέλος, η λιγνίνη είναι ένα αρωματικό πολυμερές που υπάρχει σε αφθονία στη φύση και είναι μακρομοριακή ουσία φαινολικού χαρακτήρα που σχηματίζεται με πολυμερισμό τριών μονομερών αλκοολών, της π-κωνυφερυλικής αλκοόλης (*trans-p-coniferyl alcohol*), της π-κουμαρυλικής αλκοόλης (*trans-p-coumaryl alcohol*) και της π-συναυλικής αλκοόλης (*trans-p-sinaryl alcohol*) (Φιλίππου 1986, Zaldivar et al. 2001).

Όπως προαναφέρθηκε, η ρύπανση του περιβάλλοντος και η περιβαλλοντική νομοθεσία οδήγησαν στην υποχρεωτική αποθείωση των κλασμάτων απόσταξης πετρελαίου, στη χρήση αμόλυβδης βενζίνης, στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών (τοποθέτηση τριοδικού καταλύτη στις εξαμίσεις, κινητήρες βιο-αλκοόλης) στην παραγωγή αυτοκινήτων, καθώς και στην αύξηση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων. Μεταξύ των εναλλακτικών καυσίμων είναι και η βιολογικά παραγόμενη αιθανόλη (ethanol, EtOH).

Η βιο-αιθανόλη (bioethanol) μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε βιολογική πρώτη ύλη που περιέχει σημαντική ποσότητα σακχάρου ή από ύλες που μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε σάκχαρα, όπως το άμυλο (starch) ή σχετικά εύκολα όπως η κυτταρίνη (cellulose). Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες, σήμερα, για παραγωγή βιοαιθανόλης είναι το ζαχαροκάλαμο (sugarcane) στη Βραζιλία, το καλαμπόκι (maize) στις ΗΠΑ, το ζαχαρότευτλο (sugar beet) και το σιτάλευρο (wheat)



στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ σε μικρότερο βαθμό αξιοποιούνται τα λιγνοκυτταρικά υλικά όπως άχυρα, βλαστοί καλαμποκιού, ξύλο και χαρτί και πιο πρόσφατα οργανικά υλικά (υπολείμματα τροφών και παλαιόχαρτο) από τα ΑΣΑ (European Commission 1994, Enguídanos et al. 2002, Pérez et al. 2002).

Μεταξύ των πιο εύκολα διαθέσιμων και σχετικά φθηνών υλικών, που μπορούν ν' αποτελέσουν υλικό τροφοδοσίας (feedstock) για την παραγωγή βιοαιθανόλης, είναι το χαρτί και ειδικότερα το παλαιόχαρτο (wastepaper) από τα ΑΣΑ, το οποίο δεν προορίζεται για ανακύκλωση είτε επειδή δεν μπορεί να ανακυκλωθεί περαιτέρω είτε επειδή ανακτάται αναμιγμένο σε μεγάλο βαθμό με υγρά ή άλλα απόβλητα στο ρεύμα των ΑΣΑ.

Σε σχετική μελέτη του NREL<sup>24</sup> προκύπτει ότι το παλαιόχαρτο εφημερίδων (old newspapers) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή αιθανόλης. Στην ίδια μελέτη παρουσιάζεται η σύσταση σε σάκχαρα δειγμάτων από διάφορους τύπους παλαιόχαρτων (Πίνακας 7.3).

**Πίνακας 7.3.** Σύσταση δειγμάτων παλαιόχαρτου (βάρος % σε ξηρή βάση)

**Table 7.3.** Composition of wastepaper samples (weight % on dry basis)

	Παλαιές εφημερίδες (ONP)	Απορρίμματα κυματοειδούς χαρτονιού (OCC <sup>25</sup> )	Παλαιά περιοδικά (Old Magazines)	Ανάμικτο χαρτί (Mixed paper)
Γλυκόζη	51.7	62.3	46.8	53.0
Ξυλόζη	5.3	10.5	7.0	8.0
Άλλα σάκχαρα	8.1	2.4	3.0	2.6
Σύνολο σακχάρων	65.1	75.2	56.8	63.6

*Απόσπασμα από Bergeron and Riley 1991, προσαρμογή από συγγραφέα*

Από τον Πίνακα 7.3. γίνεται φανερό ότι η σύσταση σε σάκχαρα των διαφόρων τύπων παλαιόχαρτων κυμαίνεται ανάμεσα στο 56,8 και 75,2%, με το παλαιόχαρτο εφημερίδων να είναι στη δεύτερη θέση από άποψη ποσοστιαίας συμμετοχής σακχάρων (65%) επί της ξηρής μάζας του (Bergeron and Riley 1991).

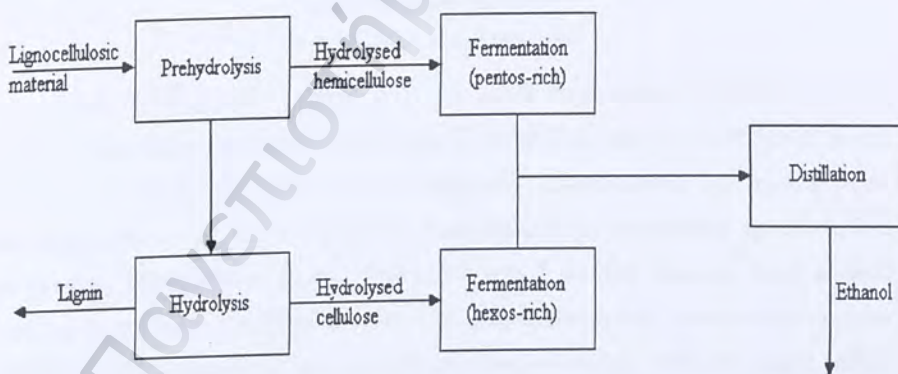
<sup>24</sup> National Renewable Energy Laboratory, USA (Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας των ΗΠΑ)

<sup>25</sup> Old Corrugated Carton-OCC

Η βιοαιθανόλη, μπορεί να παραχθεί με βιολογική διαδικασία από διάφορα οργανικά υλικά, μεταξύ αυτών και τα λιγνοκυτταρικά υλικά (αγροτικά υπολείμματα, ξύλο, χαρτί). Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης αποτελείται από τρία διαφορετικά στάδια: α) ενζυματική υδρόλυση, β) ζύμωση των παραγόμενων σακχάρων (πολυσακχαρίτες) και γ) παραλαβή της βιοαιθανόλης με απόσταξη (distillation). Ειδικά για τα στάδια υδρόλυσης και ζύμωσης, μπορούν να εφαρμοστούν (Gregg, Boussaid and Saddler 1998, Taherzadeh 1999, Zaldivar et al. 2001, Zybraeva et al. 2001, Enguídanos et al. 2002, Pérez et al. 2002):

- η διαδικασία ξεχωριστής υδρόλυσης και ζύμωσης (separate hydrolysis and fermentation, SHF)
- η διαδικασία ταυτόχρονης υδρόλυσης και ζύμωσης (simultaneous hydrolysis and fermentation, SSF), οι οποίες χρησιμοποιούν κυτταρίνες από εξωτερικές πηγές και
- η απευθείας μικροβιακή μετατροπή (direct microbial conversion, DMC) στην οποία ο μικροοργανισμός παράγει κυτταρίνες.

Μια σχηματική απεικόνιση των δύο πρώτων διαδικασιών παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά, παρουσιάζεται στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 7.7 και 7.8).

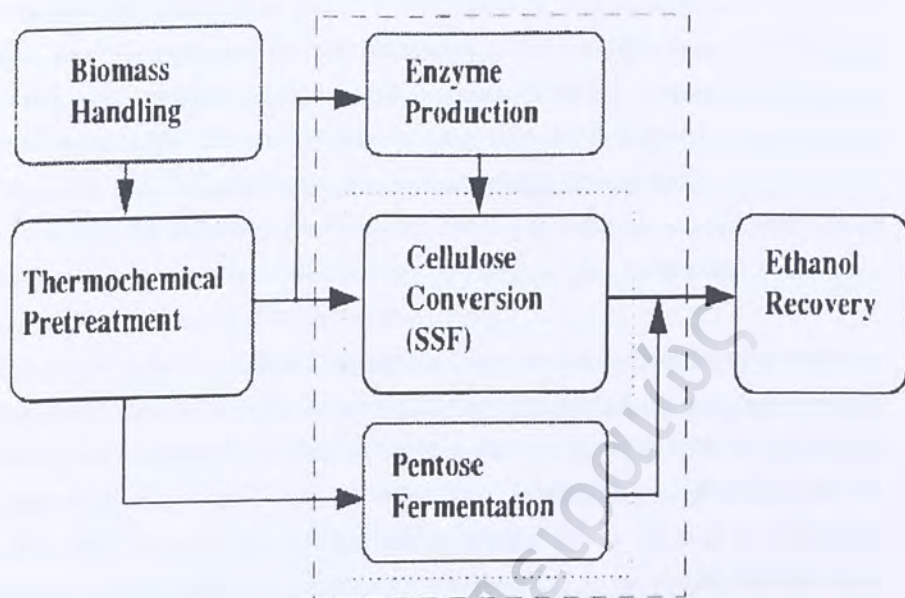


**Σχήμα 7.7.** Διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά με ξεχωριστά στάδια υδρόλυσης και ζύμωσης

**Figure 7.7.** Bioethanol production from lignocellulosic materials, with separate hydrolysis and fermentation (SHF)

(Προσαρμογή από: Nilsson 2001)





**Σχήμα 7.8.** Διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από βιομάζα, με ταυτόχρονη υδρόλυση και ζύμωση

**Figure 7.8.** Bioethanol production from biomass with simultaneous saccharification and fermentation (SSF)

(Προσαρμογή από: McMillan 1996)

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά, είναι η σχετική ομοιομορφία και η κατάλληλη προετοιμασία της πρώτης ύλης (παλαιόχαρτου), αφού είναι γνωστό ότι τα συστατικά του (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη) παρουσιάζουν σχετική δυσκολία στη βιολογική ζύμωση. Αυτό απαιτεί κατάλληλο χειρισμό, που περιλαμβάνει την απομάκρυνση των ξένων υλών και των ανόργανων στοιχείων καθώς και την επεξεργασία με διάλυμα ασθενούς οξέος (dilute acid treatment) του υλικού που θα οδηγηθεί στη ζύμωση. Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται η αποφυγή της δημιουργίας ουσιών όπως οι φουράνες (furans), η φουρφοουρόλη (furfural) και το οξικό οξύ (acetic acid), που είναι παράγοντες απαγόρευσης (inhibitors) της έναρξης της δράσης των μικροοργανισμών, όπως π.χ. του μύκητα *Saccharomyces cerevisiae* με αποτέλεσμα να καταστρέφεται το υλικό (McMillan 1996, Taherzadeh 1997 and 1999, Zaldivar et al. 2001).

Η δυναμικότητα επεξεργασίας μιας μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης, με τη διαδικασία SSF, κυμαίνεται μεταξύ 10.000-300.000 τόννων οργανικών υλικών το χρόνο, με αντίστοιχη δυναμικότητα παραγωγής 5.000-140.000 τόννων βιοαιθανόλης ανά έτος. Το συνολικό εγκαταστημένο δυναμικό (installed capacity) για παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. ανέρχονταν το έτος 2000 σε 800.000 τόννους ανά έτος ([http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/atlas/htmlu/lbtech1.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/lbtech1.html)).

Σε ότι αφορά την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά, η απόδοση σε βιοαιθανόλη κυμαίνεται ανάμεσα σε 237-340 λίτρα αιθανόλης ανά τόνο επεξεργαζόμενου υλικού (Enguídanos et al. 2002).

Ειδικά για το χαρτί εφημερίδων, σύμφωνα με τον «υπολογιστή θεωρητικής απόδοσης αιθανόλης»<sup>26</sup> του NREL ([http://www.ott.doe.gov/biofuels/ethanol\\_calculator.html](http://www.ott.doe.gov/biofuels/ethanol_calculator.html)), η απόδοση σε βιοαιθανόλη ανέρχεται σε 96,4 γαλόνια (ή  $96,4 \times 3,785 = 365$  λίτρα) βιοαιθανόλης ανά τόνο χαρτιού (κάτι που αντιστοιχεί σε περίπου 290 kg βιοαιθανόλης ανά τόνο χαρτιού, η ειδική πυκνότητα της αιθανόλης είναι 0,79 kg/l). Παρά τα όσα αναφέρθηκαν, η παραγωγή βιοαιθανόλης σε παγκόσμια κλίμακα είναι ακόμα αρκετά περιορισμένη. Εξαίρεση αποτελούν η Βραζιλία και οι ΗΠΑ και κατά δεύτερο λόγο η Ε.Ε.. Στη Βραζιλία, η οποία είναι ο μεγαλύτερος παγκόσμιος παραγωγός, η ετήσια παραγωγή βιοαιθανόλης που ανέρχεται σε 13,5 δισεκατομμύρια λίτρα, ενώ για τις ΗΠΑ ανέρχεται σε 6,4 δις λίτρα (Zaldivar et al. 2001).

Σύμφωνα με τους ειδικούς, οι παράγοντες που επιδρούν περιοριστικά στην ανάπτυξη σε βιομηχανική κλίμακα της παραγωγής βιοαιθανόλης είναι (Enguídanos et al. 2002):

- α) οι τιμές των υλικών τροφοδοσίας (feedstock prices), οι οποίες είναι αρκετά έως πολύ υψηλές,
- β) το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης, το οποίο εξαρτάται κατά 50-80% από την τιμή του υλικού τροφοδοσίας (σιτάλευρο, πολτός ζαχαρότευτλων κ.λπ.),
- γ) η τιμή του πετρελαίου και των προϊόντων του και
- δ) η φορολογία των ενεργειακών προϊόντων

Κατά τ' άλλα, η αιθανόλη είναι προϊόν που τυγχάνει ευρύτατης εφαρμογής σε πολλές περιπτώσεις της καθημερινής ζωής, χρησιμοποιούμενο ως έχει ή συμμετέχοντας σε διάφορα υλικά.

<sup>26</sup> Για να υπολογιστεί η θεωρητική απόδοση σε βιοαιθανόλη απαιτήθηκαν τα ποσοστά συμμετοχής των σακχάρων στην ξηρή μάζα του χαρτιού εφημερίδων. Τα ποσοστά αυτά αντλήθηκαν από μελέτη του NREL (1999) που έγινε για την Επιτροπή Ενέργειας της Καλιφόρνιας (Παράρτημα VI-A, Πίνακας VI-A-1, υπό Quang Nguyen).



Μια από τις, σχετικά πρόσφατες, εφαρμογές της αιθανόλης είναι ως καύσιμο ή ως πρόσθετο καυσίμου (fuel additive). Η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται στην παραγωγή του ETBE (ethyl tertio butyl ether), το οποίο είναι πρόσθετο καυσίμου στους κινητήρες των αυτοκινήτων. Η προσθήκη του ETBE σε μικρές αναλογίες (π.χ. E10, δηλαδή μίγμα 10% ETBE-90% βενζίνη) έχει σκοπό αφενός την αύξηση του αριθμού οκτανίων του καυσίμου (βενζίνη) και του περιεχόμενου οξυγόνου στο θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η καύση και έτσι να επιτυγχάνεται η μείωση των ποσοτήτων των εκπεμπόμενων ρύπων από τους κινητήρες των αυτοκινήτων.

Η αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιείται ως καύσιμο και σε μεγαλύτερες αναλογίες όπως τα καύσιμα E85 και E95 (δηλαδή 85% και 95% περιεκτικότητα σε αιθανόλη), κάτι που, πειραματικά τουλάχιστον, έχει γίνει με μεγάλη επιτυχία στις ΗΠΑ (NREL 2000) σε διαφόρους τύπους οχημάτων, όπως σε κυβερνητικά αυτοκίνητα ταχύτητας government fleet vehicles και σε οχήματα ευελιξίας καυσίμου (flexible-fuel vehicles). Όταν η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται ως σκέτο καύσιμο, είναι ανώτερη σε οκτάνια της βενζίνης, υστερεί όμως σε ενεργειακό περιεχόμενο και παρουσιάζει προβλήματα εκκίνησης του κινητήρα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (McMillan 1996). Στον πίνακα 7.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται μερικές ιδιότητες της αιθανόλης και της βενζίνης, απ' όπου μπορεί εύκολα κανείς να συγκρίνει τα δύο αυτά καύσιμα.

**Πίνακας 7.4.** Μερικές φυσικές ιδιότητες των καυσίμων αιθανόλης και βενζίνης

**Table 7.4.** Some physical properties of ethanol and gasoline fuel

	Αιθανόλη-Ethanol	Βενζίνη-Gasoline
Πυκνότητα – Density (15 °C)	0.79	0.70-0.78
Θερμοκρασία βρασμού-boiling temperature (°C)	78.3	99.3
Αριθμός οκτανίων – Octane number (MON <sup>27</sup> )	106	79-98
Θερμαντική αξία – Calorific value (MJ/kg)	26.9	43.7

Απόσπασμα από: European Commission 1994.

Η αιθανόλη χρησιμοποιείται επίσης στη χημική βιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών ειδών, για την παραγωγή σειράς προϊόντων,

<sup>27</sup> Motor Octane Number-MON

όπως παραγωγή αιθυλενίου, μελανιών και λούστρων, παραγωγή αλκοολούχων ποτών και αναψυκτικών, αντισηπτικών σαπουνιών και διαφόρων καθαριστικών, βερνικιών για νύχια, αποσμητικών και πάσης φύσεως αρωμάτων (European Commission 1994). Στη συνέχεια αναλύονται οι οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές παράμετροι που συνδέονται με την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## 7.5.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την παραγωγή βιοαιθανόλης

### 7.5.2.1. Οικονομική θεώρηση

Η παραγωγή βιοαιθανόλης ήδη βρίσκεται σε βιομηχανική παραγωγή (οικονομία κλίμακας) σε αρκετές χώρες (Βραζιλία, ΗΠΑ κ.λπ.) και θεωρείται ως μια εξελίξιμη και μάλιστα με σημαντικές προοπτικές εφαρμογή στον τομέα της παραγωγής καυσίμων, που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (McMillan 1996).

Η μέχρι σήμερα εμπειρία από την εφαρμογή της μεθόδου, δείχνει ότι οι δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά (συμπεριλαμβανομένων και όσων που ανακτώνται από ρεύμα των ΑΣΑ, όπως το παλαιόχαρτο), εξαρτώνται από τα επιμέρους κόστη, ήτοι: την αξία κτήσεως γης, το κόστος προμήθειας της πρώτης ύλης, το κόστος παραγωγής, το κόστος διαχείρισης των υποπροϊόντων (by-products) και τα έσοδα από πωλήσεις των συμποϊόντων (co-products).

Για την Ευρωπαϊκή Ένωση το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης χωρίς φόρους, κυμαίνεται, ανάλογα με την πρώτη ύλη, μεταξύ 482 €/1.000 λίτρα βιοαιθανόλης (με πρώτη ύλη σιτάλευρο) και 557€/1.000 λίτρα βιοαιθανόλης (με πρώτη ύλη λιγνοκυτταρικά υλικά), τη στιγμή που η τιμή της αμόλυβδης βενζίνης 95 οκτανίων την τελευταία διετία ήταν, κατά μέσο όρο, 330 €/1.000 λίτρα, ενώ μετά τους φόρους<sup>28</sup>, τα ανωτέρω κόστη γίνονται 982 €/1.000 λίτρα και 1.057 €/1.000 λίτρα για τη βιοαιθανόλη και 830 €/1.000 λίτρα για τη βενζίνη, αντίστοιχα (Enguídanos et al. 2002). Έτσι, με βάση τα κόστη μετά τους φόρους και την απόδοση του χαρτιού εφημερίδων σε βιοαιθανόλη (365 λίτρα /τόννο παλαιόχαρτου) μπορεί προσεγγιστικά να λεχθεί ότι το ειδικό κόστος (€/τόννο) για την παραγωγή βιοαιθανόλης από παλαιόχαρτο θα κυμαίνεται ανάμεσα στα **358** έως **386€/τόννο**.

Όμως, ελπίζεται ότι με τη διαμόρφωση κατάλληλης φορολογικής πολιτικής θα καταστεί δυνατό να ελαττωθεί η τιμή της αιθανόλης σε σχέση με αυτή της βενζίνης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, όπως με επιδότηση είτε άμεσα από το κράτος (ως οικονομική ενίσχυση) είτε έμμεσα από το τραπεζικό σύστημα (π.χ. παροχή χαμηλότοκων επιχειρηματικών δανείων ή/και κεφαλαίων κίνησης για παραγωγή βιοκαυσίμων), σε συνδυασμό με κατάλληλη (ευνοϊκή) φορολόγηση των

<sup>28</sup> Οι φόροι (full gasoline taxation) ανέρχονται σε 500 €/1.000 λίτρα αμόλυβδης βενζίνης (Enguídanos et al. 2002).

βιοκαυσίμων σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα καθώς και με συνεχή ενημέρωση του καταναλωτή για τα οφέλη που συνδέονται με τη χρήση βιοκαυσίμων.

Ενδεικτικά αναφέρεται η περίπτωση κατά την οποία η φορολόγηση της βιοαιθανόλης μειωθεί σε επίπεδο 50% σε σχέση με τον αντίστοιχο φόρο για τη βενζίνη. Έτσι, σε μια τέτοια περίπτωση, το κόστος παραγωγής μετά τους φόρους θα ήταν 830 €/1.000 λίτρα για τη βενζίνη, ενώ για τη βιοαιθανόλη θα ήταν 732 και 807 €/1.000 λίτρα, αντίστοιχα (Enguidanos et al. 2002).

Εξάλλου, με την υιοθέτηση και εφαρμογή μέτρων στήριξης της παραγωγής βιοκαυσίμων (φορολογικά και άλλα κίνητρα) και παράλληλα με την αύξηση της τιμής των ορυκτών καυσίμων, αναμένεται ότι το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης θα μειωθεί στο άμεσο μέλλον, ώστε αυτή να ανταγωνιστεί επιτυχώς τα ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα στον τομέα των μεταφορών.

Για το θέμα αυτό, αναφέρονται στη συνέχεια μερικά στοιχεία, που σχετίζονται με ενδεχόμενη μείωση του κόστους παραγωγής βιοαιθανόλης. Έτσι, σύμφωνα με το σχέδιο δράσης της Ε.Ε. για τα βιοκαύσιμα είναι σε προτεραιότητα η μείωση του κόστους παραγωγής των υγρών βιοκαυσίμων κατά 0,152 €/λίτρο βιοαιθανόλης πριν το 2005 (ATLAS 1997). Ακόμη, τα πιθανά «εξωωτερικά οφέλη» που συνδέονται με τη χρήση βιοκαυσίμων (όπως η θετική επίδραση στην κλιματική αλλαγή) καθώς και η βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου σε επίπεδο Ε.Ε. (λόγω εξοικονόμησης συναλλάγματος από τη μη αγορά πετρελαίου), εκτιμήθηκαν από ειδικούς στη Γαλλία, ότι μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του κόστους παραγωγής που να φθάνει τα 0,17€/λίτρο βιοαιθανόλης (Enguidanos et al. 2002).

Άλλωστε, στο όλο θέμα περί μείωσης της τιμής της βιοαιθανόλης συνηγορούν και διάφορες προβλέψεις (μερικές από τις οποίες έχουν επαληθευτεί σε μεγάλο βαθμό) σύμφωνα με τις οποίες η ζήτηση για βιοκαύσιμα και ιδιαίτερα για βιοαιθανόλη αναμένεται ότι θα είναι αυξητική, λαμβάνοντας ως δεδομένα αφενός την τάση για μείωση και έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αφετέρου την τάση για μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων.



### 7.5.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση

Η περιβαλλοντική θεώρηση για την βιοαιθανόλη αναφέρεται τόσο στη διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης όσον και στη χρήση της ως πρόσθετο καυσίμου ή ως καύσιμο.

Έτσι, σε ότι αφορά την διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης, αυτή δεν παρουσιάζει έκλυση άλλων ρύπων, παρά μόνο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που παράγεται κατά τη φάση της ζύμωσης και το οποίο μπορεί να συλλεχθεί και να διατεθεί ως πρώτη ύλη σε άλλες χρήσεις, όπως στη βιομηχανία παραγωγής ανθρακούχων ποτών και αναψυκτικών, στα θερμοκήπια για ταχύτερη αύξηση των λαχανικών, ως ψυκτικό μέσο κ.α. (Enguídanos et al. 2002).

Σε ότι αφορά τα παραπροϊόντα (by-products) που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία παραγωγή της βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά, δε θεωρείται ότι μπορεί να έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αφού με κατάλληλη διαχείριση μπορούν να έχουν «αειφορική» αξιοποίηση. Έτσι, τα παραπροϊόντα της διαδικασίας παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά αφορούν:

- α) το ινώδες διαλυτό υπόλειμμα (dried distillers grains soluble, DDGS) που παραμένει μετά την απόσταξη και παραλαβή της αιθανόλης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο του ή σε μίξη με παρόμοια υλικά (όπως υπολείμματα αποχύμωσης φρούτων-bagasse) ως ζωοτροφή, στοιχείο που αποκτά ιδιαίτερη σημασία μετά την εμφάνιση της νόσου της «σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας των βοοειδών» (Bovine Spongiform Encephalopathy),
- β) τη λιγνίνη, που παραλαμβάνεται από τη λιγνοκυτταρική ύλη κατά τη φάση της ενζυματικής υδρόλυσης και η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως «ανανεώσιμο» στερεό καύσιμο, κατάλληλο για χρήση σε μονάδες τηλεθέρμανσης (district heating plants) καθώς και σε καυστήρες εγκαταστάσεων οικιακής θέρμανσης (Enguídanos et al. 2002).

Επίσης, με την ενζυματική υδρόλυση, δε γίνεται χρήση των χημικών ουσιών (συνήθως ασθενή οξέα) που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα, με αποτέλεσμα η διαδικασία να λαμβάνει χώρα, σχεδόν, χωρίς ρύπους. Ακόμη, η ποσότητα ατμού που χρησιμοποιείται για την προετοιμασία (pre-treatment) των λιγνοκυτταρικών υλικών, μπορεί να προέρχεται από καύση ανανεώσιμου καυσίμου, όπως είναι η συλλεγόμενη λιγνίνη αλλά και τα υπολείμματα επεξεργασίας φυτικών προϊόντων όπως πυρηνόξυλο από ελαιοπιεστήρια, στελέχη βαμβακιού, φύλλα και στελέχη καλαμποκιού κ.ά. Η

καύση μπορεί να γίνεται στην ίδια τη μονάδα βιοαιθανόλης ή να προέρχεται από γειτονική μονάδα (π.χ. μονάδα τηλεθέρμανσης). Τέλος, το νερό που παράγεται κατά τη διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης, συλλέγεται και ανακυκλώνεται εντός της μονάδας παραγωγής στην ίδια ή σε άλλη χρήση.

Σε ότι αφορά τη χρήση της βιοαιθανόλης ως πρόσθετο καυσίμου (fuel additive) δηλαδή υπό μορφή ETBE (ethyl tertio butyl ether) ή ως καυσίμου, αυτή φαίνεται να είναι περιβαλλοντικά φιλική ή να παρουσιάζει περιβαλλοντικά οφέλη (European Commission 1994, McMillan 1996, Zaldivar et al. 2001, Zybraeva et al. 2001, Enguídanos et al. 2002, Pérez et al. 2002).

Έτσι, μεταξύ των κυριότερων περιβαλλοντικών ωφελειών, που επιτυγχάνονται από τη χρήση της βιοαιθανόλης ως πρόσθετου ή ως καυσίμου, θεωρούνται οι παρακάτω (McMillan 1996, Enguídanos et al. 2002):

- Η βιοαιθανόλη είναι μη τοξική ουσία, πολύ ευδιάλυτη στο νερό και βιοδιασπώμενη.
- Η βιοαιθανόλη περιέχει 35% οξυγόνο κατ' όγκο και όταν προστεθεί στη βενζίνη έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της καύσης, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εκπομπές επικίνδυνων και βλαπτικών ρύπων από τις εξατμίσεις των οχημάτων.
- Η προσθήκη βιοαιθανόλης προερχόμενης από ινώδη υλικά όπως δημητριακά, καλαμπόκι μειώνει τις εκπομπές των «αερίων θερμοκηπίου» κατά 35-45%, συγκριτικά με τη συμβατική βενζίνη. Μάλιστα, όταν η βιοαιθανόλη προκύπτει από λιγνοκυτταρικά υλικά παρέχει ακόμα μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών αυτών.
- Η βιοαιθανόλη αντικαθιστά τα τοξικά συστατικά της βενζίνης με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εκπομπές αρωματικών όπως το βενζένιο (benzene) και το βουταδιένιο (butadiene) μέχρι 50%.

Μια εποπτική εικόνα για τις μειώσεις στις εκπομπές ρύπων από μίγματα βενζίνης-αιθανόλης διαφορετικών αναλογιών (low and high-level blends) παρουσιάζεται στον πίνακα 7.5.



**Πίνακας 7.5.** Μειώσεις εκπομπών ρύπων από χρήση μίγματος βενζίνης-αιθανόλης

**Table 7.5.** Emissions reductions using gasoline-ethanol blend

Εκπομπή	Μίγμα μικρής αναλογίας (E10), δηλ. 10% αιθανόλη-90% βενζίνη (μείωση)	Μίγμα υψηλής αναλογίας (E85), δηλ. 85% αιθανόλη-15% βενζίνη (μείωση)
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	25-30%	25-30%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	6-10%	μέχρι 100% (για το E100)
Οξείδια αζώτου (NO <sub>x</sub> )	5%	μέχρι 20%
Πτητικά οργανικά συστατικά (Volatile Organic Compounds)	7%	30% και πλέον
Σωματιδιακό υλικό (Particulate Matter)*	Μείωση	Σημαντική μείωση
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Μείωση	Πάνω από 50%

Πηγή: Enguídanos et al. 2002

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η παραγωγή και η χρήση βιοαιθανόλης συνδέεται με περιβαλλοντικά οφέλη, χωρίς παράλληλα να προκαλεί επιπτώσεις στο περιβάλλον τόσον κατά την παραγωγή της όσον και κατά τη χρήση της.

### 7.5.2.3. Κοινωνική θεώρηση

Η παραγωγή βιοαιθανόλης έχει πέραν των οποιονδήποτε άλλων, σημαντικές κοινωνικές συνέπειες, υπό τη μορφή άμεσων και έμμεσων ωφελειών.

Στις άμεσες κοινωνικές ωφέλειες, που συνδέονται με την παραγωγή βιοαιθανόλης ως δραστηριότητας σε οικονομία κλίμακας, «πιστώνεται» το γεγονός ότι συνεισφέρει στην απασχόληση, μέσω δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας στις μονάδες παραγωγής αλλά κυρίως στον αγροτικό τομέα.

Για τη δημιουργία απασχόλησης, αναφέρεται ότι η παραγωγή βιοαιθανόλης δημιούργησε περίπου 700.000 θέσεις εργασίας στη Βραζιλία, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων αφορά τον αγροτικό τομέα, δηλαδή την καλλιέργεια, παραγωγή, συγκομιδή και μεταφορά φυτικών πρώτων υλών για παραγωγή βιοαιθανόλης και το υπόλοιπο τις μονάδες παραγωγής βιοαιθανόλης (Goldemberg *et al.* 1992), χωρίς όμως να προσδιορίζονται: α) το χρονικό διάστημα εντός του οποίου επιτεύχθηκε αυτή η απασχόληση, β) η αναλογία μόνιμης και εποχικής απασχόλησης επί του συνόλου των θέσεων εργασίας και γ) ο αριθμός εργαζομένων ανά μονάδα προϊόντος (βιοαιθανόλης). Σημειώνεται, ότι η παραγωγή βιοαιθανόλης στη Βραζιλία είναι νομικά κατοχυρωμένη (Decreto 76593/75 “ProAlcool”) και υποστηρίζεται οικονομικά (χρηματοδότηση) από διεθνείς συμβάσεις και προγράμματα οικονομικής βοήθειας διεθνών οργανισμών (κυρίως μέσω δράσεων του προγράμματος του ΟΗΕ για το περιβάλλον-UNEP<sup>29</sup>).

Σε μια πρόσφατη έκδοση του ΟΗΕ/Πρόγραμμα Ανάπτυξης (Kartha and Larson 2000) για τη «βιοενέργεια», στο σχετικό με τα κοινωνικά οφέλη από την παραγωγή βιοαιθανόλης κεφάλαιο, αναφέρεται ότι η λειτουργία μιας μικρής μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο (sugar cane) στην Κεντρική Βραζιλία, με δυναμικότητα παραγωγής 20 εκατομμύρια λίτρα βιοαιθανόλης ανά έτος (που ισοδυναμούν με 15.800.000 κλά ή 15.800 τόννους αιθανόλης ανά έτος, ειδική πυκνότητα αιθανόλης 0.79 kg/l), δημιουργεί άμεσα 150 θέσεις βιομηχανικών εργατών και 455 θέσεις αγροτικών εργατών πλήρους απασχόλησης (full-time). Από το στοιχείο αυτό προκύπτει ότι η άμεση απασχόληση που δημιουργεί η παραγωγή βιοαιθανόλης ανέρχεται 38 θέσεις εργασίας ανά 1.000 τόννους παραγόμενης βιοαιθανόλης (ή 0,038 θέσεις εργασίας ανά τόννο βιοαιθανόλης).

<sup>29</sup> United nations Environmental Programme-UNEP



Στην ίδια μελέτη των Kartha and Larson (2000), σε συνοπτική παρουσίαση των τεχνολογικών στοιχείων που αφορούν μια τυπική μονάδα<sup>30</sup> βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο, στην πολιτεία του Σάο Πάουλο (Sao Paulo State) της Βραζιλίας, αναφέρεται ότι οι συνολικές άμεσες θέσεις εργασίας που δημιουργούνται ανέρχονται σε 2.200 ανά 1.000.000 τόννους επεξεργαζόμενου ζαχαροκάλαμου ή ανά 55.300-63.200 τόννους βιοαιθανόλης (σύμφωνα με τη μελέτη, η απόδοση σε βιοαιθανόλη ανέρχεται σε 70-80 λίτρα ανά τόννο ζαχαροκάλαμου). Έτσι, η άμεση απασχόληση υπολογίζεται ότι κυμαίνεται μεταξύ 35-39 θέσεων εργασίας ανά 1.000 τόννους παραγόμενης βιοαιθανόλης.

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, τα διαθέσιμα στοιχεία για τη δημιουργία απασχόλησης βασίζονται κυρίως σε προβλέψεις, αφού οι παραγωγικές επενδύσεις στον τομέα των βιοκαυσίμων (και της βιοαιθανόλης) είναι σχετικά πρόσφατες. Έτσι, στο πρόγραμμα για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη (Renewable Energy for Europe) της Ε.Ε. και ειδικότερα στα πλαίσια του υποπρογράμματος «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ενέργειας στις Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις» (Integrated Energy Management for SMEs<sup>31</sup>), ένα διεπιχειρησιακό έργο με σκοπό την παραγωγή 176.000 τόννων βιοαιθανόλης ανά έτος, ώστε να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ETBE, εκτελείται στην Ισπανία<sup>32</sup>. Η δημιουργία απασχόλησης που αναμένεται να προκύψει, ανέρχεται σε 150 άμεσες θέσεις εργασίας, ενώ επίσης εκτιμάται η δημιουργία 2.500 άμεσων θέσεων εργασίας στον αγροτικό τομέα. Επίσης, εκτιμάται ότι θα δημιουργηθούν 500 έμμεσες θέσεις εργασίας σε κλάδους που σχετίζονται με την παραγωγή της βιοαιθανόλης, δηλαδή στους τομείς των μεταφορών και εφοδιασμού, της συντήρησης των εγκαταστάσεων κ.λπ. Συνολικά η απασχόληση, άμεση και έμμεση, φθάνει τις 3.150 θέσεις εργασίας, κάτι που αντιστοιχεί σε περίπου σε 18 θέσεις εργασίας ανά 1.000 τόννους παραγόμενης βιοαιθανόλης (0,018 θέσεις εργασίας ανά τόννο) (IDAE 2002).

Επιπλέον, ένα στοιχείο που παίζει σημαντικότατο ρόλο στη δημιουργία απασχόλησης στον τομέα της παραγωγής βιοκαυσίμων (αγροτική + βιομηχανική απασχόληση), είναι το κόστος επένδυσης ανά θέση εργασίας. Έτσι, το κόστος επένδυσης ανά θέση εργασίας στον τομέα παραγωγής βιοαιθανόλης (αγροτική + βιομηχανική

<sup>30</sup> Σύμφωνα με την εν λόγω μελέτη (Kartha and Larson 2000), η τυπική μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης για τη Βραζιλία έχει δυναμικότητα παραγωγής 120.000 λίτρα αιθανόλης ημερησίως (standard Brazilian distillery unit).

<sup>31</sup> Small Medium Enterprises-SMEs

<sup>32</sup> Ο φορέας διαχείρισης και συντονισμού του εν λόγω έργου είναι το IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, [www.idae.es](http://www.idae.es))

απασχόληση) στη Βραζιλία, βρίσκονταν μεταξύ 12 και 22.000 δολαρίων ΗΠΑ ανά θέση εργασίας, τη στιγμή που το αντίστοιχο κόστος στην βιομηχανία πετροχημικών (πετρέλαιο και παραγόμενα προϊόντα) έφθανε τα 800.000 δολάρια ΗΠΑ ανά θέση εργασίας (Carpentieri *et al.* 1993).

Αναφορικά με τις έμμεσες κοινωνικές ωφέλειες, αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως δευτερογενώς προκύπτουσες ωφέλειες, δηλαδή ως παραγόμενες από τις πρωτογενείς κοινωνικοοικονομικές ωφέλειες. Ως τέτοιες (έμμεσες κοινωνικές ωφέλειες) μπορούν να θεωρηθούν οι ωφέλειες που προκύπτουν από την εξοικονόμηση συναλλάγματος (κεφαλαίων), που εμφανίζεται ως μείωση των εισαγωγών πετρελαίου στο εμπορικό ισοζύγιο της χώρας και προκύπτει από τη μη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων (κυρίως βενζίνης). Αυτό έχει αποτέλεσμα ένα έμμεσο κοινωνικό όφελος που παρουσιάζεται με τη μορφή της σταθερότητας τιμών των καταναλωτικών αγαθών. Τέλος, στις έμμεσες κοινωνικές ωφέλειες, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα μακροπρόθεσμα οφέλη, τα οποία αναμένονται από τη μείωση των αέριων ρύπων και τον περιορισμό του φαινομένου θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής, καθώς και από τη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης.



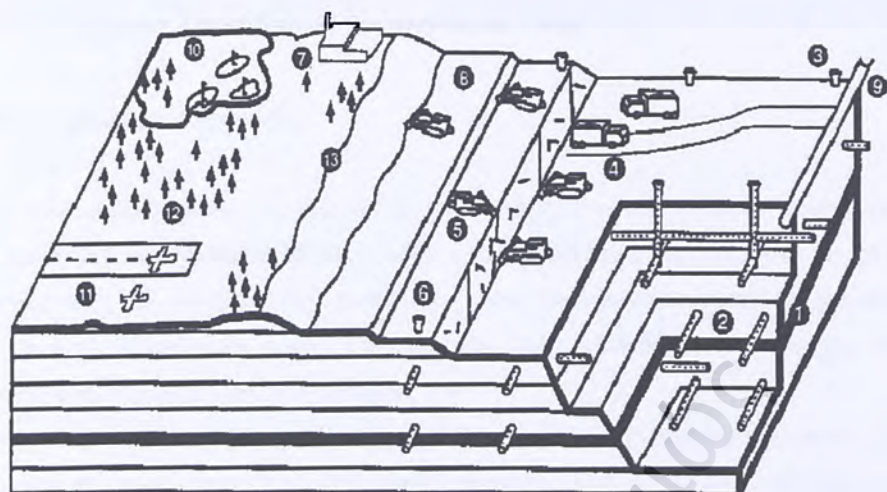
## 7.6. Υγειονομική ταφή (sanitary landfill) με σύγχρονες προδιαγραφές

### 7.6.1. Γενικά

Η υγειονομική ταφή (sanitary landfilling) ή «ελεγχόμενη εναπόθεση» είναι μια πολύ γνωστή και ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδος διάθεσης των ΑΣΑ. Δεν είναι παρά μια ορθή περιβαλλοντικά, υγειονομικά και οργανωτικά διαχείριση των παραγόμενων ΑΣΑ, με την οποία η περιβαλλοντική προστασία και η υγεία του κοινωνικού συνόλου τίθενται σε πρώτη προτεραιότητα (Σκορδύλης, 2001). Η υγειονομική ταφή αντικατέστησε την παλαιότερη μέθοδο της απλής ταφής (χωματερή) των ΑΣΑ, η οποία αποδείχθηκε ότι σχετίζονταν με σημαντική αέρια και υγρή ρύπανση, με καταστροφή και υποβάθμιση του τοπικού ή/και του ευρύτερου περιβάλλοντος καθώς και με κοινωνικές επιπτώσεις-οχλήσεις.

Η χρήση της απλής ταφής (χωματερής) έχει συνδεθεί με περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η αντιμετώπιση ή μετριασμός των οποίων συνεπάγεται πολύ υψηλό κόστος. Οι απόψεις που επικρατούν τόσο στην επιστημονική κοινότητα όσο και το ευρύ κοινωνικό σύνολο τοποθετούν την υγειονομική ταφή των ΑΣΑ ως τελευταία επιλογή στην «ιεραρχία των απορριμμάτων». Η θέση αυτή έχει τύχει ευρείας αποδοχής σε όλες τις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες και την Ε.Ε., όμως δεν έχει μέχρι σήμερα γίνει εφικτή η πλήρης κατάργησή της ή έστω η χρήση της σε μικρό βαθμό. Εντούτοις, η υγειονομική ταφή δεν παύει να είναι μια αναγκαία (σήμερα) και αναπόφευκτη (μελλοντικά) λύση του γενικότερου προβλήματος διαχείρισης των ΑΣΑ (Σκορδύλης 2001). Αυτό συμβαίνει διότι με οποιαδήποτε μορφή κι αν εμφανίζεται, πάντα θα υπάρχει μια ανεπίδεκτη μείωσης ελάχιστη ποσότητα ΑΣΑ, η οποία πιθανώς θα πρέπει να διατεθεί σε υγειονομική ταφή (Daskalopoulos *et al.* 1997).

Οι σύγχρονοι ΧΥΤΑ σχεδιάζονται έτσι ώστε η λειτουργία τους να γίνεται κάτω από πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες και με πρώτο στόχο την περιβαλλοντική προστασία, σύμφωνα με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία αλλά και την κοινωνική απαίτηση. Μια εικόνα για τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ σύγχρονης σχεδίασης δίνεται στο σχήμα 7.9 που ακολουθεί.



1. Ο ΧΥΤΑ στεγανώνεται με υψηλής πυκνότητας πλαστική μεμβράνη και συμπιεσμένη άργιλο.
2. Εγκαθίσταται σύστημα διάτρητων αγωγών, ακόμη και κάτω από τη στεγάνωση, με σκοπό τη συλλογή των «στραγγισμάτων».
3. Τα υπόγεια νερά παρακολουθούνται από σύστημα φρεατίων, διασκορπισμένων σε όλη την έκταση.
4. Κάθε μέρα τα συλλεγόμενα ΑΣΑ αποτίθενται στα «κελιά» του ΧΥΤΑ και συμπιέζονται.
5. Στο τέλος της μέρας, τα κελιά σκεπάζονται με χώμα και σκόνη και συμπίεζονται εκ νέου.
6. Αγωγοί που διαπερνούν ολόκληρη τη χωματερή, συλλέγουν το αέριο (μεθάνιο) που δημιουργείται εντός του ΧΥΤΑ.
7. Το συλλεγόμενο αέριο μπορεί να καίγεται για παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού.
8. Όταν ο χώρος πληρωθεί, τότε «σφραγίζεται» με στρώματα αργίλου.
9. Ένα στραγγιστικό κανάλι γύρω από το ΧΥΤΑ συλλέγει και απομακρύνει το βρόχινο νερό.
- 10-13. Η επιφάνεια της σκεπασμένης χωματερής μπορεί να γίνει γήπεδο γκολφ (10), αεροδρόμιο (11), ή καταφύγιο θηραμάτων (12) με κατάλληλη ανάπλαση. Αυτά θα κατασκευαστούν πάνω στο τελικό στρώμα κάλυψης (13).

**Σχήμα 7.9.** Σχηματική παράσταση ενός ΧΥΤΑ σύγχρονου σχεδιασμού.

**Figure 7.9.** Schematic depiction of a modern design' sanitary landfill

(Πηγή: Tennessee solid waste education project)

Η εφαρμογή της υγειονομικής ταφής ή ελεγχόμενης εναπόθεσης των ΑΣΑ, γίνεται σε επιλεγμένες περιοχές (χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, ΧΥΤΑ), κατά τον άριστο κάθε φορά σχεδιασμό με στόχο τον έλεγχο των περιβαλλοντικών και λοιπών επιπτώσεων και υπό αυτή την έννοια ως μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ παρουσιάζει σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά, τα οποία αναλύονται διεξοδικά στη συνέχεια.



## 7.6.2. Επιπτώσεις και οφέλη από την υγειονομική ταφή

### 7.6.2.1. Οικονομική θεώρηση

Από οικονομική άποψη, η υγειονομική ταφή θεωρείται ως η πλέον οικονομική μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ και μάλιστα η οικονομικότητα της μεθόδου εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του πληθυσμού που εξυπηρετείται (μεγάλο μέγεθος πληθυσμού συνεπάγεται μικρό κόστος), κάτι που συμβαδίζει με τις αρχές της οικονομίας κλίμακας (economy of scale).

Εντούτοις, η έντονη ανάγκη για λήψη μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος και ελέγχου-αποφυγής της αέριας και υγρής ρύπανσης, καθώς και των οχλήσεων σε συνδυασμό με την υποχρεωτική αποκατάσταση του περιβάλλοντος και την παρακολούθηση μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, που ισχύουν διεθνώς κατά την τελευταία 10ετία, έχουν αυξήσει αισθητά το κόστος της υγειονομικής ταφής των ΑΣΑ. Ειδικότερα για την Ε.Ε. με την έκδοση της Οδηγίας για τις χωματερές, στην οποία προβλέπεται το γενικό και το ειδικό πλαίσιο λειτουργία των ΧΥΤΑ, αναμένεται ότι η εφαρμογή της θα επιφέρει αύξηση του κόστους διάθεσης σε ΧΥΤΑ, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μέσω αύξησης των διαφόρων τελών και εισφορών ή επιβολής ειδικού φόρου χωματερής (Landfill Directive 99/31/EC).

Σε γενικές γραμμές οι δαπάνες για την κατασκευή και λειτουργία ενός ΧΥΤΑ επιμερίζονται σε έξι (6) κύριες κατηγορίες δαπανών, οι οποίες αναλυτικά έχουν ως εξής (Daskalopoulos *et al.* 1997):

- το κόστος κτήσεως γης (ή διαφορετικά η αξία κτήσεως της γης). Το κόστος αυτό αφορά τη δαπάνη για την απόκτηση ενός χώρου που θα εγκατασταθεί ο ΧΥΤΑ και είναι διαφορετικό από περιοχή σε περιοχή. Αυτό διαμορφώνεται από πολλές παραμέτρους, οι κυριότερες από τις οποίες είναι η χρήση γης (αστική, αγροτική), η προσβασιμότητα, η χωρητική ικανότητα του κενού χώρου κ.α.. Επιπλέον, η σπανιότητα διαθέσιμων περιοχών για δημιουργία ΧΥΤΑ, οδηγεί σε σημαντική αύξηση του κόστους απόκτησης γης.
- το κόστος αξιολόγησης της περιοχής. Το κόστος αυτό αντιπροσωπεύει μικρό μέρος (περίπου 1%) του συνολικού κόστους και αφορά τις δαπάνες γεωλογικών και υδρολογικών μελετών καθώς και άλλων εργασιών που αφορούν την εκτίμηση του τόπου.

- το κόστος εγκατάστασης. Από τις βασικές δαπάνες αυτής της κατηγορίας είναι οι δαπάνες που αφορούν την τοποθέτηση στεγάνωσης (lining), δικτύου αγωγών συλλογής και αποχέτευσης των στραγγισμάτων (leachate collection and treating system) καθώς και συστήματος ελέγχου και αξιοποίησης του αερίου της χωματερής (landfill gas management system). Αυτές οι δαπάνες αθροιστικά αντιστοιχούν περίπου στο 90% του συνολικού κόστους αυτής της κατηγορίας.
- το λειτουργικό κόστος. Πρόκειται για τις δαπάνες της καθημερινής λειτουργίας του ΧΥΤΑ, οι οποίες αποτελούν το κυριότερο κόστος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ.
- το κόστος αποκατάστασης. Το κόστος αποκατάστασης αφορά πρωτίστως τη δαπάνη κάλυψης του τόπου [σύμφωνα με τους συγγραφείς αυτή περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την κάλυψη με υπόστρωμα αργίλου και πάνω από αυτό τοποθέτηση στρώματος επιφανειακού εδάφους (topsoil) πάχους 2 μέτρων] και δευτερευόντως τις εργασίες αποκατάστασης του τοπίου όπως σπορές, φυτεύσεις, αναχλοάσεις κ.α.
- το κόστος συντήρησης-παρακολούθησης της αποκατάστασης. Αν και η πρόβλεψη εγκατάσταση και λειτουργία του χώρου αναμένεται ότι θα ελαχιστοποιήσει την ανάγκη για δαπάνες συντήρησης της αποκατάστασης, εντούτοις, κατά περίπτωση, ίσως απαιτηθεί κάποια δαπάνη για συντήρηση και παρακολούθηση του χώρου μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ.

Μια επιπρόσθετη κατηγορία κόστους φαίνεται ότι αποτελούν οι φόροι χωματερής (landfill taxes) που εφαρμόζονται σε διάφορες χώρες για την εναπόθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ και οι οποίοι τυγχάνουν ευρείας διάδοσης και γίνονται ολοένα και υψηλότεροι (ECOTEC 2001).

Από πολλές μελέτες αλλά κυρίως από μια πρόσφατη μελέτη (ECOTEC 2001) για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή/Διεύθυνση Περιβάλλοντος σχετικά με το κόστος διαχείρισης με εναπόθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ, προκύπτει ότι το ειδικό κόστος (€/τόννο απορριμμάτων) είναι διαφορετικό μεταξύ των χωρών-μελών της Ε.Ε., εξαρτάται δε κύρια από τις τοπικές συνθήκες (σύστημα συλλογής-μεταφοράς των ΑΣΑ, ποσότητες παραγόμενων ΑΣΑ, επιμέρους κόστη του συστήματος συλλογής-μεταφοράς και διαχείρισης των ΑΣΑ) και κυμαίνεται από 9-147 €/τόννο απορριμμάτων. Ειδικότερα για την Ελλάδα, προκύπτει ότι το ειδικό κόστος κυμαίνεται μεταξύ 9-30€/τόννο και είναι αντιστρόφως ανάλογο του πληθυσμιακού μεγέθους που εξυπηρετείται από το ΧΥΤΑ. Σημειώνεται ότι ένα μέρος του κόστους αυτού αντιστοιχεί σε δημοτικό τέλος



για την αποκομιδή-μεταφορά των ΑΣΑ, ενώ δεν επιβάλλεται κανένα άλλο είδος οικονομικής επιβάρυνσης π.χ. εισφορά ή φόρος, κάτι που αναμένεται ότι θα συμβεί στο άμεσο μέλλον (ECOTEC 2001).

Εξάλλου, τα τελευταία χρόνια, υπάρχει έντονη δημόσια συζήτηση (debate) σχετικά με την οικονομικότητα της υγειονομικής ταφής, αφού θεωρείται ότι αυτή πρέπει να συμπεριλάβει και τα λεγόμενα «εξωτερικά» κόστη (externalities), τα οποία δημιουργούνται τόσο άμεσα όσο και έμμεσα από την εφαρμογή της. Έτσι, σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη (Powell, Pearce and Craighill, 1999) όταν εκτιμηθούν τα «εξωτερικά» κόστη της ρύπανσης, της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και των οχλήσεων που προκαλούνται από τη λειτουργία μιας χωματερής και ενσωματωθούν στο συνολικό οικονομικό κόστος κατά το σχεδιασμό για την επιλογή μεθόδου διαχείρισης των ΑΣΑ, τότε η επιλογή της διάθεσης των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ, σε σχέση με τις επιλογές της ανακύκλωσης και της καύσης με ανάκτηση ενέργειας, έρχεται τελευταία. Βέβαια, αυτό δε φαίνεται να ισχύει στην περίπτωση των σύγχρονων ΧΥΤΑ, αφού όπως αναφέρθηκε λαμβάνονται εξ' αρχής όλα τα απαραίτητα και αναγκαία μέτρα για την αποφυγή της άμεσης ρύπανσης και λογικά πρέπει να αναφέρεται στις έμμεσες «εξωτερικότητες» που δημιουργούνται από τη λειτουργία του.

### 7.6.2.2. Περιβαλλοντική θεώρηση

Η απλή ταφή-χωματερή (landfilling) των ΑΣΑ που εφαρμόζεται ακόμη στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, δέχεται εντονότατη κριτική από την επιστημονική κοινότητα και υπάρχει σωρεία μελετών που καταγράφει ένα κατάλογο ή μια «αλυσίδα» περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται ή συνδέονται με την ταφή των ΑΣΑ.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διάθεση των ΑΣΑ σε απλή ταφή-χωματερή (landfill), που αναφέρονται στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, οφείλονται σε διεργασίες που συμβαίνουν εντός της χωματερής και οι οποίες είναι (Daskalopoulos et al. 1997, El-Fadel et al. 1997, AEAT 1998, Bates and Haworth 2001, Smith et al. 2001, Σκορδύλης 2001, ECOTEC 2001):

#### ■ η παραγωγή του αερίου χωματερής (landfill gas, LFG)

Μετά την εναπόθεση των ΑΣΑ στη χωματερή, λαμβάνει χώρα βιολογική και βιοχημική αποσύνθεση των απορριμμάτων, η οποία παράγει αέριο και διαρκεί για κάποιο αριθμό ετών, ενώ μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα η φύση και η ποσότητα του αερίου αλλάζει σημαντικά. Αυτό οφείλεται στο ότι το αέριο παράγεται αρχικά από αερόβια διεργασία αποσύνθεσης και στη συνέχεια (αφού καταναλωθεί ο εγκλωβισμένος αέρας στα απορρίμματα) από αναερόβια διεργασία. Το αέριο αποτελείται από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) κατά 60-65% και από διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) κατά 35-40% περίπου. Οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με το αέριο της χωματερής και αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Daskalopoulos et al. 1997, El-Fadel et al. 1997, Σκορδύλης 2001) είναι:

- **εκρήξεις**, λόγω της μετανάστευσης του LFG και της συσσώρευσής του σε περιορισμένους χώρους (LFG pockets) είτε εντός τη χωματερής είτε σε παρακείμενους χώρους, με αποτέλεσμα σοβαρούς τραυματισμούς, θανάτους ή/και καταστροφές σε κτίρια.
- **αστραπιαίες πυρκαγιές**, σε ανοικτούς χώρους, με ενδεχόμενη ανάφλεξη των απορριμμάτων στη χωματερή, αν υπάρχει διαφυγή αερίου από σχισμή στην επιφάνειά της
- **ασφυξία**, από αναθυμιάσεις κυρίως σε κλειστούς ή περιορισμένους χώρους. Αυτή μπορεί να αφορά τόσο τους εργάτες που εργάζονται μέσα ή κοντά σε τάφρο της χωματερής, όσον και τους περαστικούς που διέρχονται μέσα από



κλειστούς χώρους (π.χ. διαβάσεις πεζών), οι οποίοι βρίσκονται πάνω από υπόγειους αγωγούς LFG.

- **καταστροφή της βλάστησης**, κυρίως λόγω αντικατάστασης του εδαφικού οξυγόνου στη ζώνη των ριζών των φυτών με LFG, που προκαλεί ασφυξία των φυτών. Ακόμη η κατανάλωση οξυγόνου μπορεί να συμβαίνει λόγω μετατροπής του LFG σε CO<sub>2</sub>, σύμφωνα με την αντίδραση:  $CH_4 + 2O_2 \Rightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{heat}$ , όπου η έκλυση θερμότητα αυξάνει τη θερμοκρασία του εδάφους με αποτέλεσμα τη νέκρωση των φυτών.
- **ποικίλες οχλήσεις**, όπως:
  - ο **άσχημες οσμές**, ως αποτέλεσμα των ιχνών οσμωδών συστατικών (εστέρες, υδροθείο, λεμονίνη και άλλοι υδρογονάνθρακες) που περιέχονται στο LFG. Η οσμώδης φύση του LFG μπορεί να ποικίλει από σχετικά ευχάριστη σε πικρή και δριμεία, εξαρτώμενη από τη συγκέντρωση των οσμωδών συστατικών στο αέριο.
  - ο **οπτική όχληση**, τόσο από την ύπαρξη καμινάδων και πυρσών καύσης του LFG όσο και από την καταστροφή του τοπίου γενικότερα.
  - ο **θόρυβος**, από τους συμπιεστές του συστήματος συλλογής του LFG και τη λειτουργία των μηχανημάτων.
- **ρύπανση του νερού**, που οφείλεται στη μεγάλη διαλυτότητας του CO<sub>2</sub> στο νερό, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η σκληρότητά του.
- **ρύπανση του αέρα**, διότι εκτός του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα, στο LFG περιέχονται και ουσίες, που έστω και σε μικροποσότητες αποτελούν απειλή για το περιβάλλον και την υγεία, όπως τα πτητικά οργανικά σύμπλοκα (volatile organic compounds-VOC), τα οποία θεωρούνται υπεύθυνα για κινδύνους καρκινογένεσης στις γειτονικές με τη χωματερή κοινωνίες καθώς και τη δημιουργία όζοντος στον περιβάλλοντα αέρα.
- **διάβρωση του εξοπλισμού**, από χημικές ουσίες που περιέχονται σε μικροποσότητες μέσα στο αέριο, όπως υδροχλώριο (HCl) και διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)
- **συμβολή στην παγκόσμια θέρμανση (global warming)**, διότι το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται ότι συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό στην παγκόσμια θέρμανση ή φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι εκπομπές του αερίου χωματερής, εκτός από τις ανωτέρω πρωτογενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έχουν και μια σειρά δευτερογενών επιπτώσεων, οι οποίες αναφέρονται όταν εξετάζεται μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής το σύνολο των επιπτώσεων στη βίωση (Denison 1996), όπως είναι η επίδραση σε ζωικούς οργανισμούς, η απορρόφηση βαρέων μετάλλων και η βιοσυσσώρευση (bioaccumulation) τους σε ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, η εισαγωγή τοξικών ουσιών στην τροφική αλυσίδα κ.λπ.

#### ■ η παραγωγή του λεγόμενου «στραγγίσματος» της χωματερής (leachate)

Τα απορρίμματα που εισέρχονται στον αντιδραστήρα της χωματερής (landfill reactor) υπόκεινται σε διάφορους μετασχηματισμούς, που είναι ελεγχόμενοι από τις ροές του εισερχόμενου νερού (Daskalopoulos *et al.* 1997). Τα στραγγίσματα είναι «προϊόν» της μετακίνησης των διαλυτών συστατικών, μέσω μη ενιαίας και διαλείπουσας διήθησης του νερού μέσα από τη μάζα των αποβλήτων (El-Fadel *et al.* 1997). Η σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση που συνδέεται με τα στραγγίσματα της χωματερής και αναφέρεται κατά κόρον στη βιβλιογραφία (Daskalopoulos *et al.* 1997, El-Fadel *et al.* 1997, Σκορδύλης 2001) είναι η ρύπανση του υπόγειου νερού. Τα στραγγίσματα είτε κινούνται καθοδικά οπότε φθάνοντας στον «πάτο» της χωματερής και αφού συναντήσουν διαπερατά εδαφικά στρώματα ή κατεστραμμένη στεγάνωση, εισέρχονται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα με αποτέλεσμα τη σημαντική ρύπανση των υπόγειων υδάτων, είτε κινούνται πλευρικά της χωματερής μέχρι του σημείου που θα «βρουν» διέξοδο οπότε εξέρχονται ως παροχή (discharge) δημιουργώντας μικρές «πηγές» ή λιμνάζουν (leachate seep) επιφανειακά (El-Fadel *et al.* 1997).

Συνοψίζοντας, σε ότι αφορά τη μέθοδο διάθεσης των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ είναι πλέον απαίτηση αυτή να γίνεται με βάση πολύ αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια και με στόχο την ελαχιστοποίηση (θεωρητικά μηδαμινή) της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος.

Έτσι, διαδικασίες όπως η επιλογή της θέσης εγκατάστασης ενός ΧΥΤΑ με πολλαπλά κριτήρια (Frantzis 1993), το σχέδιο διαχείρισης του ΧΥΤΑ πριν και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του, τα ειδικά μέτρα αποφυγής ρύπανσης του υπόγειου νερού (γεωμεμβράνες), οι εγκαταστάσεις συλλογής των στραγγισμάτων και του παραγόμενου βιοαερίου, η επιφανειακή αποκατάσταση της βλάστησης και του τοπίου καθώς και τα μέτρα ελέγχου (αέριας και υγρής) ρυπάνσεως τόσο κατά τη λειτουργία



όσο και παρακολούθησης μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ θεωρούνται ως πολύ σημαντικά στοιχεία για θετική περιβαλλοντική «επίδοση» της συγκεκριμένης επιλογής (Σκορδύλης, 2001).

Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τον Frantzis (1993), τα κριτήρια για την επιλογή ΧΥΤΑ είναι περιβαλλοντικά, μηχανικά/τεχνολογικά και οικονομικά, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι η υδρογεωλογία της περιοχής, η τοπογραφία του εδάφους, η απόσταση από οικισμούς, η προσβασιμότητα στο χώρο, το κλίμα, η αισθητική όχληση, η αγορά γης, η αξιοποίηση του χώρου, η απόσταση μεταφοράς, το ετήσιο κόστος.

Βέβαια, ειδικότερα για την περίπτωση της υγειονομικής ταφής ενός υλικού όπως το παλαιόχαρτο απορριμμάτων και δη των εφημερίδων, η επιλογή να διατίθεται στο ΧΥΤΑ χωρίς καμία αξιοποίηση θεωρείται σήμερα περιβαλλοντικά λανθασμένη και οικονομικά ασύμφορη, τη στιγμή που το χαρτί εφημερίδων είναι υλικό το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί μέχρι και πέντε φορές (Eriksson et al. 1997). Εξάλλου, σύμφωνα με μια πρόσφατη δημοσίευση των Rathje και Murphy (2001), αρχαιολόγοι του Πανεπιστημίου της Αριζόνα κατόρθωσαν να διαβάσουν τα γράμματα των τίτλων εφημερίδων που είχαν «θαφτεί» σε παλαιά χωματερή πριν από 40 χρόνια (!), λόγω της περιορισμένης αποσύνθεσης υπό τις συνθήκες εντός της χωματερής.

### 7.6.2.3. Κοινωνική θεώρηση

Η μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ με εναπόθεση σε ΧΥΤΑ έχει περιορισμένες κοινωνικές επιπτώσεις σε σχέση με τα κοινωνικά οφέλη που μπορεί να συνεπάγεται.

Η υγειονομική ταφή των ΑΣΑ μπορεί να συνεισφέρει στη δημιουργία κοινωνικών ωφελειών όπως:

- με τη δημιουργία απασχόλησης. Σε ένα σύγχρονο ΧΥΤΑ αναμένεται ότι θα υπάρχουν δυνατότητες απασχόλησης προσωπικού από διάφορες ειδικότητες και μορφωτικά επίπεδα (manager του ΧΥΤΑ, τεχνικοί, χειριστές-οδηγοί μηχανημάτων) που θα εργάζεται σε καθημερινή βάση στις εγκαταστάσεις και τους χώρους του ΧΥΤΑ. Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι θέσεις εργασίας αποκλειστικά στο ΧΥΤΑ είναι περιορισμένες και ανέρχονται σε 8-12 ανά 100.000 τόννους απορριμμάτων (Risk and Policy Analysts Limited 2001).
- με την παροχή ενέργειας, υπό μορφή ηλεκτρισμού ή (κυρίως) θερμότητας σε γειτονικές του ΧΥΤΑ περιοχές, η οποία ενέργεια μπορεί να παράγεται σε ξεχωριστή μονάδα (π.χ. τηλεθέρμανσης, συμπαραγωγής) εγκαταστημένη εντός των ορίων του ΧΥΤΑ,
- με την αποκατάσταση του περιβάλλοντος και του τοπίου γενικότερα, που όταν αυτή γίνει με επιστημονικά ορθό τρόπο, η επιφανειακή έκταση του καλυμμένου ΧΥΤΑ μπορεί να αποδοθεί σε διάφορες χρήσεις -πλην ίσως της καλλιεργητικής- όπως για δημιουργία πάρκων και λοιπών οργανωμένων χώρων αναψυχής, χώρων αθλοπαιδιών, κέντρων περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και ενημέρωσης των πολιτών κ.α., συμβάλλοντας έτσι στην παροχή ευκαιριών απόλαυσης με αποτέλεσμα τη συμβολή στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης.

Τέλος, σημαντική θεωρείται η ενημέρωση του κοινού για τους σύγχρονους ΧΥΤΑ. Είναι γνωστό ότι η απλή ταφή των ΑΣΑ συνδέθηκε με ποικίλες περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις και οχλήσεις και σε συνδυασμό με την έντονη κριτική που δέχθηκε, έλαβε τον «τίτλο» της πλέον ανεπιθύμητης διαχείρισης των ΑΣΑ, στην κοινωνική συνείδηση.

Αυτή η κοινωνική απόρριψη είναι εσφαλμένη και δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα ειδικά για την περίπτωση των ΧΥΤΑ, όπου όπως αναφέρθηκε



λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα και έλεγχοι για την αποφυγή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Παρά ταύτα θεωρείται η άποψη αυτή θεωρείται και είναι πολύ ισχυρή, κάτι που διαπιστώθηκε άλλωστε σχετικά πρόσφατα και στη χώρα μας, μετά από τις αντιδράσεις των κατοίκων περιοχών που ήταν υποψήφιος για τη δημιουργία όχι χωματερής αλλά οργανωμένων και σύγχρονα σχεδιασμένων ΧΥΤΑ.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 8. Η ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE

### 8.1. Γενικά

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα σημαντικό «εργαλείο» στη διάθεση των ληπτών αποφάσεων σχετικά με τις μεθόδους διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ) θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσει η πολυκριτηριακή ανάλυση (multi-criteria analysis, MCA), δηλαδή η συνεξέταση περισσότερων του ενός κριτηρίων που αυξάνουν την ποσότητα (ενδεχομένως και την ποιότητα) των διαθέσιμων κάθε φορά πληροφοριών στο λήπτη της απόφασης. Προς την κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκαν πολλά τέτοια συστήματα που αποτελούν την πλατφόρμα εφαρμογής της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία και πρακτική, την τελευταία 35ετία έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί στην υποστήριξη της λήψης απόφασης σε πολλά και διαφορετικής φύσεως προβλήματα (επιχειρησιακή έρευνα για στρατιωτικούς ή άλλους σκοπούς, διαχείριση αστικών στερεών και υγρών αποβλήτων, διαχείριση ενέργειας, σχεδιασμός περιβαλλοντικών έργων όπως έργα υδροσυστημάτων κ.λπ.) ποικίλες πολυκριτηριακές μέθοδοι, όπως η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP), η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation) η μέθοδος ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la RÉalité), η μέθοδος SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το θεωρητικό ή/και το μεθοδολογικό πλαίσιο στο οποίο στηρίζονται αλλά καταλήγουν σε κοινό στόχο την υποστήριξη λήψης απόφασης (Roy 1968, Edwards 1971, Keeny and Raiffa 1976, Saaty 1980, Brans and Vincke 1985, Mareschal 1986, Brans, Mareschal and Vincke 1986, Zahedi 1986, Brans and Mareschal 1990).

Αρκετές από αυτές έχουν εφαρμοστεί στη λήψη απόφασης σχετικά με το σχεδιασμό-διαχείριση των κάθε λογής αποβλήτων, ακόμη και για διάθεση πυρηνικών αποβλήτων στη Γαλλία (Briggs, Kunsch and Mareschal 1990). Από τις μεθόδους αυτές, οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες για την υποστήριξη λήψης απόφασης σχετικά με τη διαχείριση των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ) είναι η μέθοδος PROMETHEE και η μέθοδος ELECTRE, οι οποίες φαίνεται να ανταποκρίνονται καλύτερα στην ειδικότερη φύση αυτών των προβλημάτων (Hokkanen and Salminen 1994 και 1997, Karagiannidis and Moussiopoulos 1997, Salminen, Hokkanen and Lahdelma 1998). Για τις ανάγκες της παρούσας πολυκριτηριακής ανάλυσης σχετικά με την επιλογή μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων εφαρμόστηκε η μέθοδος PROMETHEE, αφού είναι σχετικά λιγότερο απαιτητική σε υπολογισμούς από τη μέθοδο ELECTRE, ενώ έχει ίδια επίπεδο αξιοπιστίας.



## 8.2. Θεωρητικό υπόβαθρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης με τη μέθοδο PROMETHEE.

Θεωρούμε  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών επιλογών ενός μεμονωμένου ατόμου ή φορέα, οι οποίες αξιολογούνται ως προς  $m$  κριτήρια  $f_i$   $i = 1, \dots, m$ . Συμβολίζουμε με  $f_i(a_j) = X_{ij}$  την αξιολόγηση (βαθμολόγηση) της  $j$  επιλογής ως προς το κριτήριο  $f_i$ . Δεχόμαστε, χωρίς βλάβη της γενικότητας, ότι πρόκειται για πρόβλημα μεγιστοποίησης δηλ. όσο μεγαλύτερη η βαθμολογία, τόσο καλύτερη είναι η αντίστοιχη λύση. Κάθε κριτήριο αποτελεί μία απεικόνιση του συνόλου  $A$  στο σύνολο των πραγματικών αριθμών  $R$  (δηλ. για κάθε επιλογή  $a_j$  που ανήκει στο  $A$  η τιμή  $f_i(a_j) = X_{ij}$ , που αποτελεί την αξιολόγησή της ως προς το κριτήριο  $f_i$ , είναι πραγματικός αριθμός) ή σε οποιοδήποτε άλλο διατεταγμένο σύνολο ( Πίνακας 6.1).

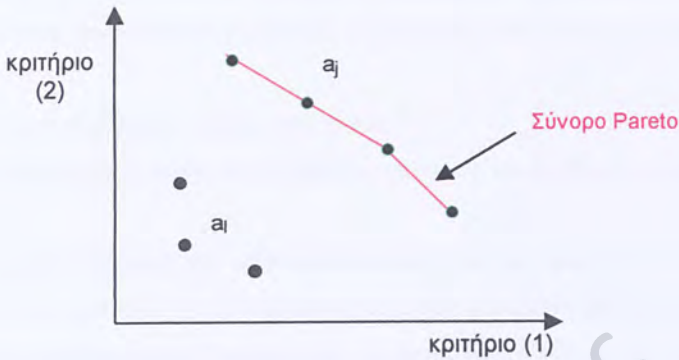
Κάθε επιλογή  $a_j$  περιγράφεται πλήρως από ένα διάνυσμα  $F_j$  του  $m$ -διάστατου χώρου:

$F_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ , με στοιχεία τις επιδόσεις (βαθμολογίες) της επιλογής  $a_j$  ως προς τα κριτήρια  $f_1, f_2, \dots, f_m$ .

Πίνακας 8.1. Η πολυκριτηριακή μήτρα

Κριτήρια \ Εναλλακτικές λύσεις						
	$a_1$	$a_2$	.....	$a_j$	.....	$a_n$
$f_1$						
$f_2$						
$f_i$				$X_{ij}$		
⋮						
$f_m$						

Προφανώς, αν  $f_i(a_j) \geq f_i(a_1)$  για κάθε  $i = 1, \dots, m$ , τότε η επιλογή  $a_j$  προτιμάται από την  $a_1$  (συμβολίζουμε  $a_j \succcurlyeq a_1$ ), δηλ. η  $a_1$  κυριαρχείται από την  $a_j$ .



Σχήμα 8.1. Σύνολο Pareto (μη κυριαρχούμενες επιλογές για δύο κριτήρια)

Το σύνολο των μη κυριαρχούμενων επιλογών ή σύνολο Pareto ορίζεται ως εξής:

$$\Pi = \{a \mid \text{δεν υπάρχει } a' \in A \text{ έτσι ώστε } a' \dots a\}$$

Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η μορφή του συνόρου Pareto (τεθλασμένη γραμμή) για δυο κριτήρια αξιολόγησης. Για  $m$  κριτήρια, το σύνολο θα έχει τη μορφή επιφάνειας του  $m$ -διάστατου χώρου.

Ο υπεύθυνος της απόφασης θα αναζητήσει τη λύση μεταξύ των επιλογών του συνόλου  $\Pi$ . Οι επιλογές αυτές, συγκρινόμενες μεταξύ τους, παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις σε κάποια κριτήρια και χειρότερες σε κάποια άλλα. Οι παραπάνω επιλογές ονομάζονται αποτελεσματικές (efficient) ή μη κυριαρχούμενες (non dominated) ή άριστες κατά Pareto (Pareto optimal)

Οι υπόλοιπες επιλογές, εκτός του συνόρου, δεν μπορούν να αποτελούν ικανοποιητική επιλογή για έναν ορθολογικό αποφασίζοντα, αφού παρουσιάζουν χειρότερες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια από τις επιλογές του συνόλου  $\Pi$ .

Το αιτιοκρατικό (deterministic) πρόβλημα πολυκριτηριακής απόφασης (μεγιστοποίησης) διαμορφώνεται ως εξής (Brans et al, 1986) :

$$\text{Max } \{(f_1(a), \dots, f_i(a)) \mid a \in A\} \quad (8.1)$$



Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) ανήκει στη οικογένεια των μεθόδων ιεράρχησης των λύσεων και περιλαμβάνει δύο φάσεις :

- Την κατασκευή μιας ιεραρχικής σχέσης στο  $A$  και
- Την αξιοποίηση της σχέσης αυτής για να δοθεί η απάντηση στο πρόβλημα (8.1)

Αρχικά οι βαθμολογίες (επιδόσεις)  $X_{ij}$  κάθε εναλλακτικής επιλογής  $a_j$  ως προς τα κριτήρια  $f_i$  κανονικοποιούνται στο διάστημα  $[1,5]$  θεωρώντας τη μέγιστη επίδοση βέλτιστη. Στην πρώτη φάση δομείται μια ιεραρχική σχέση βασισμένη σε μια γενικευμένη έννοια του κριτηρίου. Οι εναλλακτικές επιλογές συγκρίνονται ανά δύο και για κάθε ένα κριτήριο ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση προτίμησης  $P(a_j, a_k)$ :

$$P : A \times A \rightarrow [0, 1],$$

η οποία αντιπροσωπεύει το βαθμό προτίμησης (intensity of preference) της επιλογής  $a_j$  σε σχέση με την επιλογή  $a_k$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ , δηλαδή το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι ένας αριθμός (δείκτης προτίμησης) που ανήκει στο διάστημα  $[0, 1]$  ο οποίος εκφράζει το μέτρο της προτίμησης της πρώτης επιλογής ως προς τη δεύτερη για το δεδομένο κάθε φορά κριτήριο.

Οι παρακάτω ακραίες τιμές της συνάρτησης  $P$  απεικονίζουν το σχετικό βαθμό προτίμησης:

Όταν  $P(a_j, a_k) = 0$ , τότε υπάρχει αδιαφορία κατά τη σύγκριση των επιλογών  $a_j$  και  $a_k$  ή όχι προτίμηση της  $a_j$  έναντι της  $a_k$ .

Όταν  $P(a_j, a_k) \sim 0$ , τότε υπάρχει ασθενής προτίμηση της  $a_j$  έναντι της  $a_k$

Όταν  $P(a_j, a_k) \sim 1$ , τότε η προτίμηση της  $a_j$  έναντι της  $a_k$  είναι ισχυρή

Όταν  $P(a_j, a_k) = 1$ , υπάρχει αυστηρή ή απόλυτη (strict preference) της  $a_j$  έναντι της  $a_k$

Στην πράξη, η συνάρτηση προτίμησης  $P(a_j, a_k)$  είναι συχνά μία συνάρτηση  $H(d_{jk})$  γενικευμένου κριτηρίου (generalized criterion function), όπου  $d_{jk} = X_{ij} - X_{ik}$  η διαφορά  $d_{jk}$  μεταξύ των δύο αξιολογήσεων  $f_i(a_j)$  και  $f_i(a_k)$ :

$$P(a_j, a_k) = H(f_i(a_j) - f_i(a_k)) \quad (8.2)$$

Η συνάρτηση αυτή πρέπει να είναι μη φθίνουσα και να μηδενίζεται για αρνητικές τιμές της διαφοράς

$$d_{jk} = X_{ij} - X_{ik}$$

Δηλαδή αν  $X_{ij} - X_{ik} \leq 0$  τότε ισχύει  $H(d_{jk}) = 0$

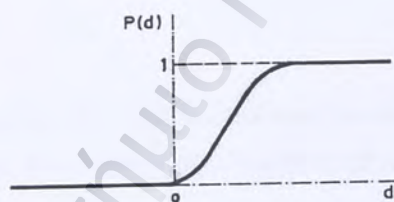
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο κανονικής κατανομής (Gaussian criterion) το οποίο βασίζεται στην κανονική κατανομή.

Η συνάρτηση δίνεται στην παρακάτω σχέση :

$$H(d_{jk}) = 1 - \exp\left\{-\frac{d_{jk}^2}{2\sigma_i^2}\right\} \quad (8.3)$$

όπου  $\sigma_i = \max X_{ij} - \min X_{ij}$

Η γραφική παράσταση μιας τέτοιας συνάρτησης δίνεται στο σχήμα 8.2.



Σχήμα 8.2 . Η γραφική παράσταση του γενικευμένου κριτηρίου κανονικής κατανομής.

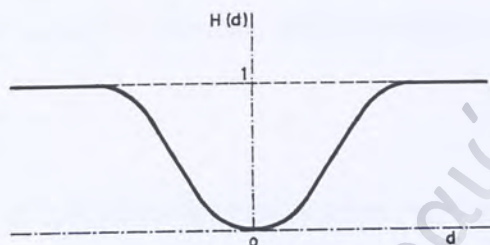
Προτιμήθηκε αυτή η συνάρτηση διότι δεν παρουσιάζει ασυνέχειες και εξασφαλίζει τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων. Απαιτεί μόνο τον προσδιορισμό του  $\sigma$ , ο οποίος είναι ευκολότερος σε σχέση με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη χρήση της κανονικής κατανομής στη στατιστική.

Για να δοθεί μία καλύτερη άποψη της περιοχής αδιαφορίας, η συνάρτηση  $H(d)$  η οποία συνδέεται άμεσα με τη συνάρτηση προτίμησης  $P$  ορίζεται ως εξής:



$$H(d) = \begin{cases} P(a_j, a_k), & d \geq 0 \\ P(a_k, a_j), & d \leq 0 \end{cases} \quad (8.4)$$

Η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 8.3



Σχήμα 8.3 . Η γραφική παράσταση του γενικευμένου κριτηρίου κανονικής κατανομής για θετικές και αρνητικές τιμές της διαφοράς d.

Για κάθε κριτήριο f θεωρούμε ένα γενικευμένο κριτήριο (Generalized criterion) οριζόμενο από το f και από μία αντίστοιχη συνάρτηση προτίμησης P. Αρχικά, οι εναλλακτικές επιλογές συγκρίνονται ανά δύο. Οι παραπάνω δείκτες  $P(a_j, a_k)$  συντίθενται σε μια συνολική δυαδική σχέση, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη όλα τα κριτήρια και τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας.

Ορίζεται έτσι ένας πολυκριτηριακός δείκτης προτίμησης (Multicriteria Preference Index)  $I(A_j, A_k)$  με τιμές στο διάστημα  $[0,1]$ , που εκφράζει το μέτρο προτίμησης της πρώτης επιλογής έναντι της δεύτερης, ως ο μεσοσταθμικός των συναρτήσεων προτίμησης  $P_i$  ως εξής :

$$I(a_j, a_k) = \sum_{i=1}^m W_i P_i(a_j, a_k), \quad (\forall i \text{ για το οποίο ισχύει } d_{jk} > 0) \quad (8.5)$$

αντίστοιχα,

$$I(a_k, a_j) = \sum_{i=1}^m w_i P(a_k, a_j), \quad (\forall i \text{ για το οποίο ισχύει } d_{jk} < 0) \quad (8.6)$$

όπου  $w_i$  ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου  $f_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ).

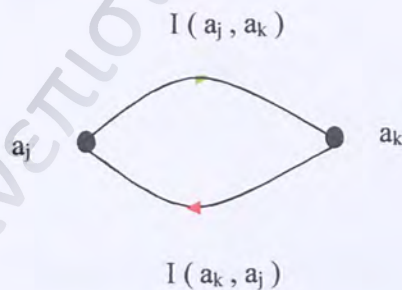
Ο συντελεστής  $w_i$  αντιπροσωπεύει το μέτρο της σχετικής σπουδαιότητας του κριτηρίου  $f_i$ . Αν όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια σπουδαιότητα για τον αποφασίζοντα, τότε όλοι οι συντελεστές λαμβάνονται ίσοι.

Ο καθορισμός των βαρών αποτελεί συνήθως ένα δύσκολο πρόβλημα κατά την εφαρμογή της μεθόδου

$$\text{Ισχύει } \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (8.7)$$

Η τιμή  $I(a_j, a_k) \approx 0$  δηλώνει ασθενή προτίμηση της  $a_j$  έναντι της  $a_k$  για όλα τα κριτήρια, ενώ η τιμή  $I(a_j, a_k) \approx 1$  δηλώνει ισχυρή προτίμηση της  $a_j$  έναντι της  $a_k$  για όλα τα κριτήρια.

Ο πολυκριτηριακός δείκτης προτίμησης καθορίζει μία σχέση ιεραρχίας στο σύνολο  $A$  των επιλογών. Η σχέση αυτή μπορεί να παρασταθεί (αντιπροσωπευθεί) ως ένα γράφημα ιεραρχίας όπου οι κόμβοι είναι οι επιλογές του συνόλου  $A$ . Μεταξύ δύο κόμβων (επιλογών)  $a_j$  και  $a_k$  υπάρχουν δύο τόξα με τιμές  $I(a_j, a_k)$  και  $I(a_k, a_j)$ . Δεν υπάρχει ιδιαίτερη σχέση μεταξύ  $I(a_j, a_k)$  και  $I(a_k, a_j)$ . Προκύπτει έτσι ένα γράφημα (σχήμα 8.4) που απεικονίζει τις προτιμήσεις του υπευθύνου για τη λήψη της απόφασης.



Σχήμα 8.4 . Γράφημα σύγκρισης δύο επιλογών.

Στο δεύτερο στάδιο, αξιοποιείται η παραπάνω ιεραρχική σχέση μεταξύ των επιλογών συγκρινόμενων ανά δύο και κάθε μια εναλλακτική επιλογή συγκρίνεται με όλες τις υπόλοιπες. Για κάθε επιλογή υπολογίζεται μία ροή εξόδου η οποία εκφράζει την υπεροχή της συγκεκριμένης επιλογής έναντι των υπολοίπων, μία ροή εισόδου η οποία εκφράζει την



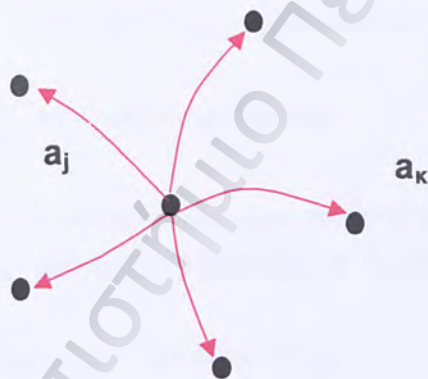
υπεροχή των υπόλοιπων επιλογών ως προς την επιλογή αυτή και μια **καθαρή ροή** ,η οποία είναι η διαφορά της ροής εισόδου από τη ροή εξόδου και αποτελεί το μέτρο προτίμησης της επιλογής ως προς τις υπόλοιπες .Η καθαρή ροή είναι το κριτήριο της τελικής κατάταξης των εναλλακτικών επιλογών.

### 8.2.1. Ροές στο γράφημα ιεράρχησης των επιλογών (*Flows in the valued outranking graph*)

Για κάθε κόμβο  $a$  στο γράφημα ιεράρχησης, ορίζεται η ροή εξόδου (leaving flow) ως εξής:

$$\Phi_j^+ = \sum_{k=1}^n I(a_j, a_k) \quad (8.8)$$

δηλαδή ,η ροή εξόδου είναι το άθροισμα των τιμών των τόξων που απομακρύνονται από τον κόμβο  $a_j$ , επομένως παρέχει ένα μέτρο του χαρακτήρα κυριαρχίας (outranking character) της επιλογής  $a_j$  (σχήμα 6.5).

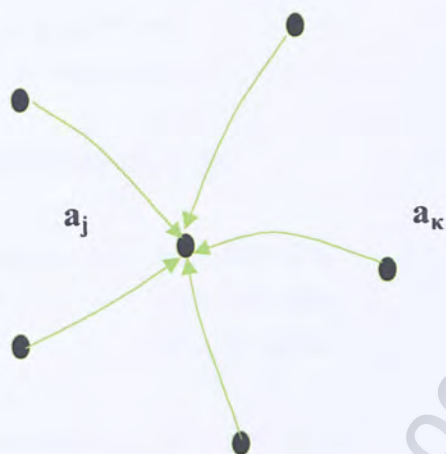


Σχήμα 8.5 Γράφημα ροών εξόδου.

Συμμετρικά, ορίζεται η Ροή εισόδου (entering flow) ως εξής:

$$\Phi_j^- = \sum_{k=1}^n I(a_k, a_j) \quad (8.9)$$

Η ροή εισόδου μετρά τον κυριαρχούμενο χαρακτήρα (outranked character) της επιλογής  $a_j$  (σχήμα 8.6).



Σχήμα 8.6 Γράφημα ροών εισόδου.

Η καθαρή ροή (**net flow**), η οποία ορίζεται ως η διαφορά

$$\Phi(a_j) = \Phi_j^+ - \Phi_j^-$$

χρησιμοποιείται για την πλήρη (διάταξη) ιεράρχηση (complete preorder) των επιλογών στο σύνολο  $A$  σύμφωνα με την μεθοδολογία PROMETHEE II, δηλαδή:

$$a_j P_{II} a_k \text{ (η } a_j \text{ κυριαρχεί έναντι της } a_k \text{)} \quad \text{αν } \Phi(a_j) > \Phi(a_k)$$

$$a_j I_{II} a_k \text{ (η } a_j \text{ αδιάφορη έναντι της } a_k \text{)} \quad \text{αν } \Phi(a_j) = \Phi(a_k)$$

Επιπρόσθετα, η συνδυασμένη σχετική ιεράρχηση κάθε εναλλακτικής επιλογής  $a_j$  με βάση τα υποσύνολα τιμών  $\Phi_j^+$  και  $\Phi_j^-$ ,  $j=1,2,\dots,n$  δίνει μερική ιεράρχηση (partial preorder) στο σύνολο των εναλλακτικών επιλογών, σύμφωνα με την μεθοδολογία PROMETHEE I. Όσο μεγαλύτερη είναι η ροή εξόδου  $\Phi_j^+$  και μικρότερη η ροή εισόδου  $\Phi_j^-$  τόσο καλύτερη η επιλογή.



Οι ροές εισόδου και εξόδου, εισάγουν αντίστοιχα τις ακόλουθες ταξινομήσεις.

$aP^+b$  αν  $\Phi^+(a_j) > \Phi^+(a_k)$  δηλαδή προτιμείται η  $a_j$  έναντι της  $a_k$

$aI^+(b)$  αν  $\Phi^+(a_j) = \Phi^+(a_k)$  δηλαδή υπάρχει αδιαφορία μεταξύ της  $a_j$  και  $a_k$

$aP^-b$  αν  $\Phi^-(a_j) < \Phi^-(a_k)$

$aI^-(b)$  αν  $\Phi^-(a_j) = \Phi^-(a_k)$

## PROMETHEE I Partial Preorder ( $P_I, I_I, R$ )

$a_j P_I a_k$  ( $a_j$  κυριαρχεί της  $a_k$ )  $a_j P^+ a_k$  και  $a_j P^- a_k$

$a_j P^+ a_k$  και  $a_j I^+ a_k$

$a_j I^+ a_k$  και  $a_j P^- a_k$

$a_j I_I a_k$  ( $a_j$  αδιάφορη έναντι της  $a_k$ )  $a_j I^+ a_k$  και  $a_j I^- a_k$

$a_j R a_k$  (Οι  $a_j$  και  $a_k$  είναι ασύμβατες) σε κάθε άλλη περίπτωση.

Με τη χρήση της μεθόδου PROMETHEE I κάποιες επιλογές παραμένουν ασύμβατες (δεν υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης).

Μολονότι είναι εύκολο για τον αποφασίζοντα να καταλήξει στη λύση του προβλήματος χρησιμοποιώντας  $P_{II}$  (complete preorder), η μερική ταξινόμηση παρέχει περισσότερο ρεαλιστικές πληροφορίες. Αυτές οι πληροφορίες, ειδικά στις περιπτώσεις ασυμβατότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη λήψη της απόφασης. Επισημαίνεται, ότι για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η χρήση κριτηρίων τέτοιων, ώστε να είναι εύκολη η εκτίμηση των επιδόσεων των επιλογών ως προς αυτά.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου PROMETHEE είναι τα ακόλουθα:

- Ο περιορισμένος αριθμός των δεδομένων που απαιτούνται για την εφαρμογή της και επομένως είναι εύκολο να μελετηθεί η επίδραση των μεταβολών των δεδομένων εισόδου στα αποτελέσματα της μεθόδου.
- Η δυνατότητα που παρέχει η μέθοδος για την πιστότερη, κατά το δυνατόν, έκφραση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα.
- Η μέθοδος είναι κατανοητή από τον αποφασίζοντα σε όλα τα στάδια της εφαρμογής της. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό για τη κατανόηση της σημασίας των υπολογιζόμενων

μεγεθών από τον αποφασίζοντα έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή αποτελεσμάτων συνεπών με την “φιλοσοφία” του αποφασίζοντα.

### 8.2.2. Άλλα γενικευμένα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές

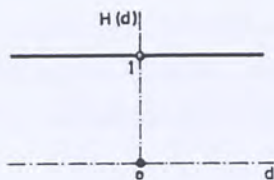
Στη συνέχεια αναπτύσσονται πέντε άλλοι τύποι γενικευμένων κριτηρίων που προτείνονται για τις εφαρμογές. Προφανώς δεν εξαντλούν όλες τις περιπτώσεις αλλά επαρκούν για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές.

#### (1) Σύνηθες (usual) κριτήριο

Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αδιαφορία μεταξύ των λύσεων  $a$  και  $b$  αν και μόνο αν  $f(a)=f(b)$ . Όταν όμως οι δύο τιμές είναι διαφορετικές, τότε ο υπεύθυνός της απόφασης παρουσιάζει ισχυρή προτίμηση στην επιλογή με την μεγαλύτερη τιμή αξιολόγησης. Η συνάρτηση είναι

$$H(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, & d \neq 0 \end{cases} \quad (8.10)$$

και η γραφική παράσταση δίνεται στο σχήμα 8.7. Το γενικευμένο αυτό κριτήριο ανταποκρίνεται στη συνήθη έννοια των κριτηρίων.



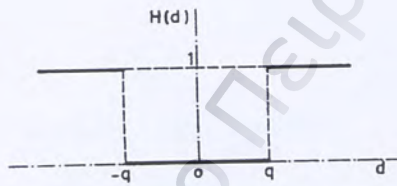
Σχήμα 8.7. Γραφική παράσταση του συνήθους κριτηρίου



(2) Ψευδοκριτήριο (Quasi – criterion)

$$H(d) = \begin{cases} 0, & -q \leq d \leq q \\ 1, & d < -q \text{ ή } d > q \end{cases} \quad (8.11)$$

Οι δύο πράξεις είναι αδιάφορες για τον αποφασίζοντα όταν η διαφορά  $d$  δεν υπερβαίνει το κατώφλι αδιαφορίας  $q$ , διαφορετικά παρατηρείται αυστηρή προτίμηση (σχήμα 8.8).



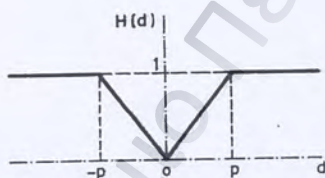
Σχήμα 8.8 Γραφική παράσταση του ψευδοκριτηρίου

Αν ο αποφασίζων επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το κριτήριο αυτό, πρέπει να προσδιορίσει την τιμή του  $q$ . Αυτή είναι η μεγαλύτερη τιμή της διαφοράς μεταξύ των δύο τιμών αξιολογήσεων, κάτω από την οποία οι δύο επιλογές είναι αδιάφορες για τον λήπτη της απόφασης .

### (3) Κριτήριο με γραμμική προτίμηση

$$H(d) = \begin{cases} \frac{1}{p} \cdot |d|, & -p \leq d \leq p \\ 1, & d < -p \text{ ή } d > p \end{cases} \quad (8.12)$$

Καθώς η τιμή της διαφοράς  $d$  είναι μικρότερη από την τιμή  $p$ , η προτίμηση του αποφασίζοντα αυξάνεται γραμμικά με το  $d$ . Αν  $d > p$  τότε υπάρχει κατάσταση αυστηρής προτίμησης. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής δίνεται στο σχήμα 8.9.



Σχήμα 8.9. Γραφική παράσταση του κριτηρίου με γραμμική προτίμηση

Όταν ο υπεύθυνος της απόφασης ορίζει κριτήριο τέτοιου είδους, πρέπει να προσδιορίσει το κατώφλι προτίμησης  $p$  που είναι η κατώτερη τιμή του  $d$  πάνω από την οποία υπάρχει αυστηρή προτίμηση σε μία από τις επιλογές.

Στα παραπάνω έχουν δοθεί δύο είδη κατωφλίων (thresholds) :

- ένα κατώφλι αδιαφορίας  $q$  : η μεγαλύτερη τιμή του  $d$  κάτω από την οποία υπάρχει αδιαφορία και
- ένα κατώφλι προτίμησης  $p$  : η μικρότερη τιμή του  $d$  πάνω από την οποία υπάρχει προτίμηση.

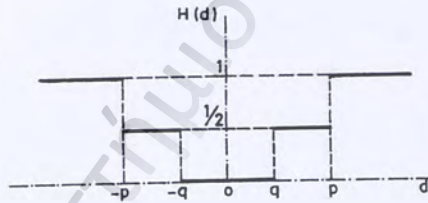


Στην πράξη τα δύο κατώφλια δεν είναι απαραίτητα ίσα, επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε τα επόμενα δύο είδη κριτηρίων.

(4) Κριτήριο στάθμης (Level criterion)

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq q \\ 1/2, & q < |d| \leq p \\ 1, & p < |d| \end{cases} \quad (8.13)$$

Στην περίπτωση αυτή ορίζονται ταυτόχρονα το κατώφλι προτίμησης  $p$  και το κατώφλι αδιαφορίας  $q$ . Όταν η διαφορά  $d$  βρίσκεται μεταξύ των  $p$  και  $q$ , τότε υπάρχει κατάσταση ασθενούς προτίμησης (σχήμα 8.10)

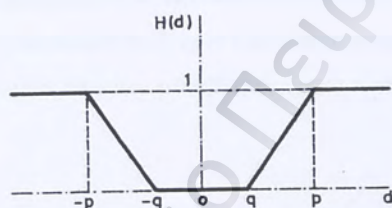


Σχήμα 8.10. Γραφική παράσταση του κριτηρίου στάθμης

(5) Κριτήριο με γραμμική προτίμηση και περιοχή αδιαφορίας

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq q \\ \frac{|d| - q}{p - q}, & q < |d| \leq p \\ 1, & p < |d| \end{cases} \quad (8.14)$$

Στην περίπτωση αυτή, ο υπεύθυνος της απόφασης θεωρεί ότι η προτίμηση αυξάνει γραμμικά από την αδιαφορία μέχρι την αυστηρή προτίμηση στην περιοχή μεταξύ των κατωφλίων  $p$  και  $q$ , όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα 8.11.



Σχήμα 8.11 Γραφική παράσταση του κριτηρίου με γραμμική προτίμηση και περιοχή αδιαφορίας



### 8.2.3. Προβλήματα με στοχαστικά χαρακτηριστικά

Οι περισσότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης δεν λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα των δεδομένων που αναλύουν. Από τον B. Mareschal (1986), προτείνεται μία γενίκευση για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και μια γενικότερη προσέγγιση στοχαστικής αξιολόγησης. Δίνεται έμφαση στην ειδική περίπτωση της αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων από εμπειρογνώμονες καθώς και στα προβλήματα στοχαστικής ανεξαρτησίας μεταξύ των αξιολογήσεων

Όταν τα δεδομένα του προβλήματος είναι ποιοτικά ή / και ενέχουν αβεβαιότητα, (experts case) χρησιμοποιείται η έννοια της αναμενόμενης προτίμησης (expected preference function, EPF). Η μοντελοποίηση της αβεβαιότητας σε προβλήματα με στοχαστικό χαρακτήρα περιγράφεται από τον B. Mareschal (1986). Στο πρόβλημα προς επίλυση -βλ. εξίσωση (8.1)- της αξιολόγησης δηλαδή,  $n$  διακεκριμένων εναλλακτικών λύσεων  $a_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), ως προς  $m$  κριτήρια – θεωρούμε ότι οι βαθμολογήσεις  $e_{ij} = f_j(a_i)$  είναι τυχαίες μεταβλητές:  $f_j: K \rightarrow T$ , όπου  $T$  ένα σύνολο πραγματικών τυχαίων μεταβλητών, ενώ η συνάρτηση κατανομής των  $e_{ij}$  είναι η  $F_{ij}$ .

Η πολυκριτηριακή μήτρα  $E$  είναι, στην περίπτωση αυτή, μία στοχαστική μήτρα, της οποίας η κοινή συνάρτηση κατανομής συμβολίζεται με  $F$ :

$$F(E_0) = P(E \leq E_0), E_0 \in R^{n \times k} \quad (8.15)$$

Η σχέση (8.15) δίνει τον στοχαστικό χαρακτήρα του πολυκριτηριακού προβλήματος.

Ο συνήθης τρόπος να λυθεί ένα πρόβλημα είναι να αντικατασταθούν οι βαθμολογήσεις  $e_{ij}$  από τις αναμενόμενες τιμές τους και να επιλυθεί το πρόβλημα με τον κλασικό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό όμως, χάνεται πολύτιμη πληροφορία, εφόσον δεν λαμβάνουμε υπόψη τον στοχαστικό χαρακτήρα του προβλήματος. Στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις, η κοινή συνάρτηση κατανομής  $F$  των βαθμολογιών δεν είναι γνωστή, και γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι βαθμολογήσεις  $e_{ij}$  είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η γενική μέθοδος επίλυσης ενός τέτοιου αναφέρεται στον υπολογισμό της κατανομής των διαφορών:

$$e_{i1,j} - e_{i2,j}, \forall i, i_{2,j} \quad (8.16)$$

και στη συνέχεια, υπολογίζεται η αναμενόμενη συνάρτηση προτίμησης  $E(P_f(d))$  (expected preference function, EPF).

Στη σχέση (8.16) προϋποτίθεται ανεξαρτησία μεταξύ των βαθμολογιών δύο μεμονωμένων κριτηρίων, υπόθεση που είναι πιο ρεαλιστική από ότι η υπόθεση της ανεξαρτησίας των κριτηρίων μεταξύ τους, κυρίως όταν η αβεβαιότητα ενδέχεται να οφείλεται στην αξιολόγηση και στην απόδοση της βαθμολογίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



### 8.3. ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

#### 8.3.1. Προετοιμασία των δεδομένων του προβλήματος

Η επόμενη ενέργεια του λήπτη της απόφασης μετά τον προσδιορισμό των κριτηρίων  $f_1, f_2, \dots, f_m$  είναι να ορίσει τις αντίστοιχες μεταβλητές  $X_1, X_2, \dots, X_m$  που θα παίρνουν τιμές για κάθε στοιχείο του συνόλου  $A$ . Για τις μεταβλητές που αντιστοιχούν σε ποσοτικά κριτήρια, δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα, ο υπολογισμός όμως της αντίστοιχης τιμής απαιτεί λεπτομερή πολλές φορές μελέτη. Όσον αφορά τις μεταβλητές που αντιστοιχούν σε ποιοτικά κριτήρια ενεργούμε με τον ακόλουθο τρόπο : Ζητάμε από τον λήπτη της απόφασης να δώσει για κάθε στοιχείο  $a_j$  του συνόλου  $A$  στη μεταβλητή  $X_i$  που αντιστοιχεί στο ποιοτικό κριτήριο  $f_i$  μια τιμή  $X_{ij}^i$  που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 10 και που εκφράζει τον βαθμό ικανοποίησης που παρέχει το στοιχείο  $a_j$  στο λήπτη απόφασης ως προς το κριτήριο  $f_i$ .

Αφού περατωθεί αυτή η εργασία, συντάσσουμε έναν πίνακα που δείχνει για κάθε μεταβλητή  $X_i$  δύο τιμές : Την καλύτερη, που συμβολίζεται  $X_i^*$  και τη χειρότερη που συμβολίζεται  $X_i^0$ . Η ποσότητα  $X_i^*$  (αντίστοιχα  $X_i^0$ ) παριστάνει την τιμή που παίρνει η μεταβλητή  $X_i$  για το καλύτερο (αντίστοιχα χειρότερο) στοιχείο του συνόλου  $A$  ως προς το κριτήριο  $f_i$ .

Στο εξής, κάθε στοιχείο  $a_i$  του συνόλου  $A$  θα αντιστοιχεί το διάνυσμα  $(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni})$  των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές  $X_1, X_2, \dots, X_m$  για το στοιχείο  $a_j$ .

#### 8.3.2. Συνάρτηση χρησιμότητας ενός κριτηρίου

Για το σύνολο των προτεινόμενων εναλλακτικών επιλογών, η μεταβλητή  $X_i$  παίρνει τιμές από την καλύτερη  $X_i^*$  έως τη χειρότερη  $X_i^0$ . Αυτό σημαίνει ότι ο λήπτης της απόφασης προτιμάει την επιλογή για την οποία η μεταβλητή  $X_i$  ισούται με  $X_i^*$  από οποιοδήποτε άλλη επιλογή, υπό την προϋπόθεση ότι επιλέγει μόνο με το κριτήριο  $f_i$ . Με την ίδια προϋπόθεση, επιλογή όπου η μεταβλητή  $X_i$  παίρνει την τιμή  $X_i^0$  έρχεται τελευταία στη σειρά προτίμησής του.

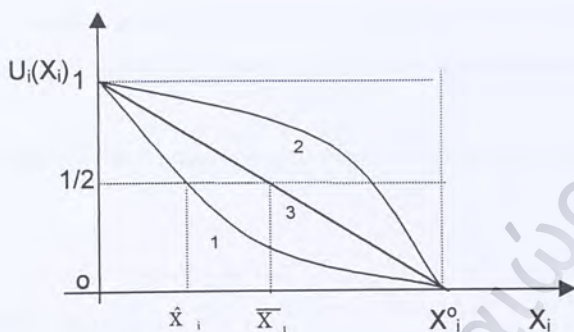
Αυτή η μεταβολή στις προτιμήσεις του λήπτη της απόφασης για ένα κριτήριο  $f_i$  παριστάνεται με τη βοήθεια μίας συνάρτησης  $U_i(X_i)$  η οποία λέγεται **συνάρτηση χρησιμότητας** του κριτηρίου  $f_i$  και έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Yun, 1999):

$$1. U_i(X_i^*) = 1$$

$$2. U_i(X_i^0) = 0$$

3. Είναι αυστηρά μονότονη (αύξουσα ή φθίνουσα )

4. Είναι κοίλη ή κυρτή ή γραμμική όπως φαίνεται στο σχήμα 8.12



Σχήμα 8.12. Μορφές συναρτήσεων προτίμησης

Εάν ισχύει  $X_i^* > X_i^0$ , τότε η συνάρτηση χρησιμότητας  $U_i(X_i)$  είναι αύξουσα, εάν όχι τότε είναι φθίνουσα. Στο εξής θα αναφερόμαστε, χωρίς βλάβη της γενικότητας σε φθίνουσες συναρτήσεις χρησιμότητας.

Το σημείο  $\hat{X}_i$  του άξονα  $X_i$  για το οποίο έχουμε  $U_i(X_i) = 1/2$  λέγεται **σημείο αδιαφορίας** της συνάρτησης και ο προσδιορισμός του οδηγεί – όπως θα δούμε – στην εύρεση της εξίσωσης της καμπύλης της συνάρτησης χρησιμότητας. Ο προσδιορισμός του σημείου αδιαφορίας  $\hat{X}_i$  γίνεται με τη μέθοδο που ακολουθεί :

I. Θεωρούμε τον λαχνό στον οποίο εμφανίζονται δύο ενδεχόμενα : την επιλογή για την οποία η μεταβλητή  $X_i$  παίρνει την καλύτερη τιμή  $X_i^*$  και την επιλογή για την οποία η μεταβλητή  $X_i$  παίρνει τη χειρότερη τιμή  $X_i^0$ . Τα δύο ενδεχόμενα εμφανίζονται με ίσες πιθανότητες .

Ο λαχνός συμβολίζεται με  $\lambda_i \equiv (X_i^*, 1/2 ; X_i^0, 1/2)$

Η **αναμενόμενη χρησιμότητα** (expected utility) ενός λαχνού

$\lambda_i \equiv (X_i, \rho ; X_i'', 1-\rho)$  είναι ίση με

$$U(\lambda_i) = \rho U_i(X_i) + (1-\rho) U_i(X_i'')$$



II. Θεωρούμε την επιλογή για την οποία η μεταβλητή  $X_i$  παίρνει την τιμή  $\bar{X}_i$  ίση με  $\frac{1}{2} (X_i^o + X_i^*)$ , δηλαδή το σημείο  $\bar{X}_i$  είναι το μέσον του διαστήματος  $(X_i^*, X_i^o)$ .

III. Προτείνουμε στο λήπτη της απόφασης να επιλέξει ανάμεσα στο λαχνό της παραγράφου α και στη επιλογή της παραγράφου β .Η απάντηση του δεν μπορεί παρά να είναι από τις τρεις που ακολουθούν:

1. Ο λήπτης της απόφασης προτιμάει το λαχνό. Αυτό συνεπάγεται τη σχέση

$$U(\lambda_i) > U_i(\bar{X}_i)$$

δηλαδή

$$\frac{1}{2} U(X_i^*) + \frac{1}{2} U_i(X_i^o) > U_i(\bar{X}_i)$$

$$\text{άρα } U_i(\bar{X}_i) < \frac{1}{2}$$

που σημαίνει ότι το σημείο αδιαφορίας  $\hat{X}_i$  βρίσκεται μεταξύ των σημείων  $X_i^*$  και  $\bar{X}_i$  ( βλέπε καμπύλη 1 του σχήματος 8.10)

2. Ο λήπτης της απόφασης προτιμάει την επιλογή . Αυτό συνεπάγεται τη σχέση

$$U(\lambda_i) < U_i(\bar{X}_i)$$

που οδηγεί στην ανισότητα

$$U_i(\bar{X}_i) > \frac{1}{2}$$

που σημαίνει ότι το σημείο αδιαφορίας  $\bar{X}_i$  βρίσκεται μεταξύ των σημείων  $\bar{X}_i$  και  $X_i^o$  (βλέπε καμπύλη 2 του σχήματος 8.10 ).

3. Ο λήπτης της απόφασης μένει αδιάφορος μπροστά στην επιλογή. Ισχύει λοιπόν

$$U(\lambda_i) = U_i(\bar{X}_i)$$

άρα

$$U_i(\bar{X}_i) = 1/2$$

δηλαδή το σημείο της αδιαφορίας  $\hat{X}_i$  είναι το μέσον του διαστήματος  $[X_i^*, X_i^0]$  (βλέπε καμπύλη 3 του σχήματος 8.12).

Είναι ενδιαφέρον να δούμε το σκεπτικό που ακολουθεί ο λήπτης της απόφασης προκειμένου να επιλέξει το λαχνό ή την επιλογή. Όταν επιλέγει το λαχνό, το κάνει γιατί αποστρέφεται τόσο πολύ τη λύση που του προσφέρεται ώστε προτιμάει να διακινδυνεύσει στο απρόοπτο μιας καλύτερης ή χειρότερης λύσης με ίσες πιθανότητες εμφάνισης. Στην περίπτωση αυτή, λέμε ότι ο λήπτης της απόφασης είναι **ρισκοκίνδυνος** (risk-prone). Όταν προτιμά την επιλογή, το κάνει γιατί η χειρότερη λύση που θα του προσέφερε ενδεχομένως ο λαχνός του είναι τόσο αποκρουστική ώστε προτιμάει τη λύση που του προσφέρεται δίχως τον κίνδυνο του τυχαίου. Στην περίπτωση αυτή ο λήπτης της απόφασης λέγεται **συντηρητικός** (risk-averse). Στην τρίτη, τέλος, περίπτωση στην οποία ο λήπτης της απόφασης δεν έχει λόγους να προτιμήσει τη μία από την άλλη λύση, λέγεται **αδιάφορος** (risk-neutral).

Αφού πάρουμε την απάντηση του λήπτη της απόφασης, εάν είναι αδιάφορος έχουμε εντοπίσει το σημείο αδιαφορίας του για το κριτήριο  $F_i$ , εάν όχι, τότε περιορίζουμε το διάστημα έρευνας του σημείου αυτού στο διάστημα  $[X_i^*, \bar{X}_i]$  ή  $[\bar{X}_i^*, X_i^0]$  ανάλογα με το αν ο λήπτης της απόφασης είναι ρισκοκίνδυνος ή συντηρητικός αντίστοιχα. Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία μέχρις ότου εντοπίσουμε το σημείο αδιαφορίας  $\hat{X}_i$ . Η μέθοδος αυτή ονομάζεται **διχοτομική αναζήτηση**.

Αποφεύγοντας τις τεχνικές λεπτομέρειες, αναφέρουμε ότι για έναν λήπτη αποφάσεων συντηρητικό, αδιάφορο και ρισκοκίνδυνο η συνάρτηση χρησιμότητας  $u(x)$  μπορεί να πάρει τη μορφή :

$$u(x) = a - be^{-cx} \quad (6.17\alpha)$$

$$u(x) = a + \beta x \quad (6.17\beta)$$

$$u(x) = a + be^{cx} \quad (6.17\gamma)$$



όπου οι σταθερές  $a$  και  $b > 0$  παίρνουν τιμές τέτοιες που να περιορίζουν το πεδίο τιμών της συνάρτησης στο διάστημα  $[0,1]$  και η σταθερά  $c$  είναι θετική για αύξουσες συναρτήσεις χρησιμότητας και αρνητική για φθίνουσες.

Πιο αναλυτικά, η μορφή της συνάρτησης δίδεται στον πίνακα 8.2.

**Πίνακας 8.2: Μορφές της συνάρτησης χρησιμότητας  $u(x)$**

$u(x)$ φθίνουσα $\Leftrightarrow x^* < x^0$			
Θέση σημείου αδιαφορίας	Λήπτης της απόφασης	Μορφή της καμπύλης	Εξίσωσης της καμπύλης $C < 0$
$\bar{x} < 1/2(x^* + x^0)$	ριψοκίνδυνος	κοίλη	$u(x) = a + be^{\alpha x}$
$\bar{x} > 1/2(x^* + x^0)$	συντηρητικός	κυρτή	$u(x) = a - be^{\alpha x}$
$\bar{x} = 1/2(x^* + x^0)$	αδιάφορος	ευθεία	$u(x) = a + bx$
$u(x)$ αύξουσα $\Leftrightarrow x^* > x^0$			
Θέση σημείου αδιαφορίας	Λήπτης της απόφασης	Μορφή της καμπύλης	Εξίσωσης της καμπύλης $C < 0$
$\bar{x} < 1/2(x^* + x^0)$	συντηρητικός	κυρτή	$u(x) = a - be^{\alpha x}$
$\bar{x} > 1/2(x^* + x^0)$	ριψοκίνδυνος	κοίλη	$u(x) = a + be^{\alpha x}$
$\bar{x} = 1/2(x^* + x^0)$	αδιάφορος	ευθεία	$u(x) = a + bx$

Στην περίπτωση που ο λήπτης της απόφασης είναι αδιάφορος, οι σταθερές  $\alpha$ ,  $\beta$  της συνάρτησης χρησιμότητας υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = \frac{x^0}{x^0 - x^*} \quad (8.18a)$$

$$\beta = \frac{1}{x^* - x^0} \quad (8.18.\beta)$$

Στην περίπτωση που ο λήπτης της απόφασης είναι ριψοκίνδυνος ή συντηρητικός, οι σταθερές  $a$ ,  $b$ ,  $c$  της συνάρτησης χρησιμότητας υπολογίζονται με την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων:

$$u(x^0) = \alpha + be^{\alpha x^0} = 0$$

$$u(x^*) = \alpha + be^{\alpha x^*} = 1$$

$$u(\bar{x}) = \alpha + be^{\alpha \bar{x}} = 1/2$$

από το οποίο συνεπάγονται οι σχέσεις:

$$\alpha = \frac{e^{\alpha x^0}}{e^{\alpha x^*} - e^{\alpha x^0}} \quad (8.19\alpha)$$

$$b = \frac{1}{e^{\alpha x^*} - e^{\alpha x^0}} \quad (8.19\beta)$$

$$c = \frac{1}{\bar{x}} \log\left(\frac{e^{\alpha x^*} - e^{\alpha x^0}}{2} - e^{\alpha \bar{x}}\right) \quad (8.19\gamma)$$

Με την εφαρμογή της μεθόδου των κυκλικών υπολογισμών (iteration method) υπολογίζουμε τη σταθερά  $c$  από τη σχέση (8.19γ). Στη συνέχεια με τη βοήθεια των σχέσεων (8.19α) και (8.19β) υπολογίζουμε τις σταθερές  $a$  και  $b$  αντίστοιχα.



### 8.3.3. Συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων

Ο βαθμός χρησιμότητας μιας εναλλακτικής επιλογής  $(X_1, X_2, \dots, X_m)$  για τον λήπτη της απόφασης εκφράζεται με τη συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων  $u(X_1, X_2, \dots, X_m)$  η οποία κάτω από ορισμένες συνθήκες πληροί τη σχέση:

$$fu(X_1, X_2, \dots, X_m) + 1 = \prod_{i=1}^m [f - fi \cdot Ui(Xi) + 1] \quad (8.20)$$

Η αναφορά στις συνθήκες που πρέπει να πληρούνται για να ισχύει η σχέση (6.20) ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρουσίασης αυτής της μεθόδου. Θα αναφέρουμε μόνο – με κίνδυνο υπεραπλούστευσης – ότι αν τα κριτήρια επιλογής είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, τότε η παραπάνω σχέση αληθεύει.

Οι σταθερές  $F_i$  εκφράζουν τη σπουδαιότητα των κριτηρίων  $f_i$  για το λήπτη της απόφασης. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται θα περιγραφεί στην επόμενη παράγραφο. Η σταθερή  $F$  εξάλλου ικανοποιεί τη σχέση:

$$1 + F = \prod_{i=1}^m (F \cdot Fi + 1) \quad (8.21)$$

Επίσης αποδεικνύει ότι αν ισχύει  $\sum_{i=1}^m Fi = 1$ , τότε η σταθερά  $K$  ισούται με 0 και η συνάρτηση χρησιμότητας  $u(X_1, X_2, \dots, X_m)$  δίδεται από τη σχέση:

$$U(X_1, X_2, \dots, X_m) = \sum_{i=1}^m Fi Ui(Xi) \quad (8.22)$$

Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι η συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων είναι προσθετική (additive).

#### 8.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ $F_i$

Για δύο επιλογές  $a'=(X'_1, X'_2, \dots, X'_m)$  και  $a''=(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$  ισχύει μια από τις παρακάτω σχέσεις:

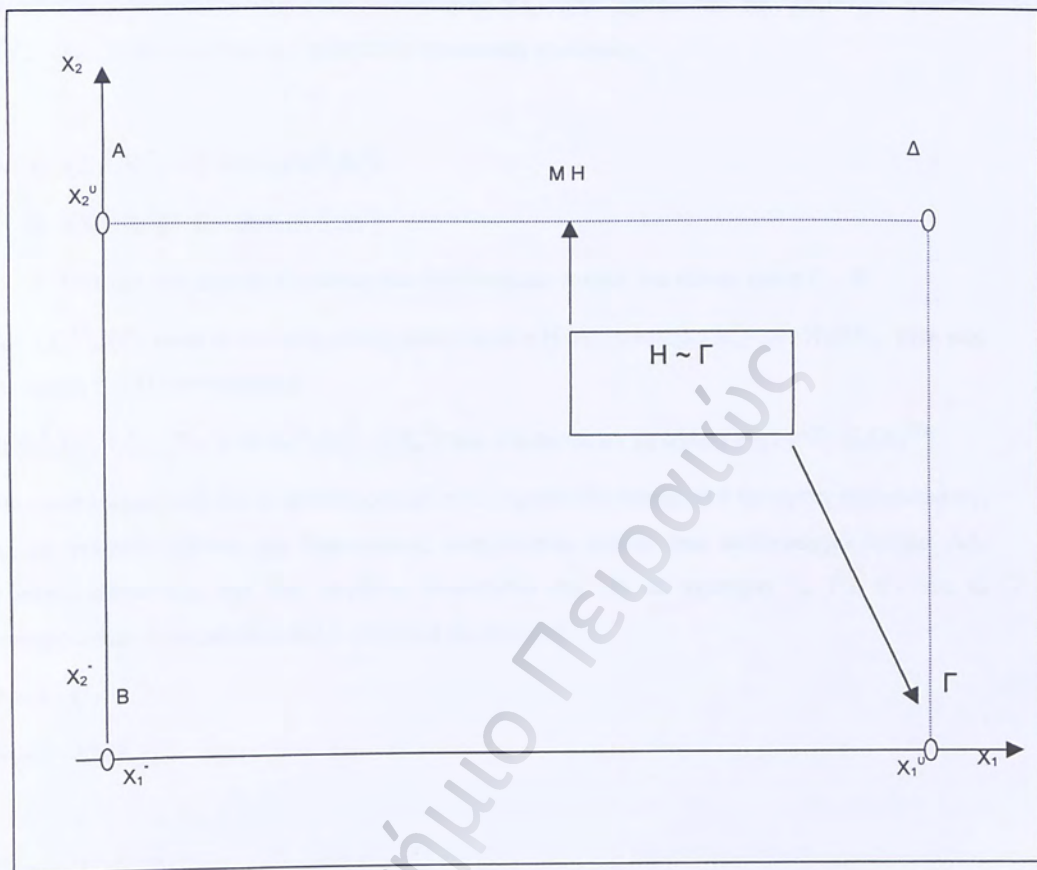
1.  $u(X'_1, X'_2, \dots, X'_m) > u(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$
2.  $u(X'_1, X'_2, \dots, X'_m) < u(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$
3.  $u(X'_1, X'_2, \dots, X'_m) = u(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$

Στην πρώτη περίπτωση, η επιλογή  $a'$  είναι πιο συμφέρουσα από την επιλογή  $a''$  (συμβολικά  $a' > a''$ ). Στη δεύτερη περίπτωση η επιλογή  $a'$  είναι λιγότερο συμφέρουσα από την επιλογή  $a''$  (συμβολικά  $a' < a''$ ). Στην τρίτη περίπτωση καμιά από τις δύο προηγούμενες προτάσεις δεν αληθεύει (συμβολικά  $a' \sim a''$ ).

Για να εκτιμήσουμε τη χρησιμότητα μιας επιλογής δεν έχουμε παρά να υπολογίσουμε τις συναρτήσεις χρησιμότητας  $U_i(X_i)$  κάθε κριτηρίου  $f_i$ , τις σταθερές  $F_i$  και στη συνέχεια να υπολογίσουμε τη συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων  $U(X_1, X_2, \dots, X_m)$  με τη βοήθεια της σχέσης (4) ή (6).

Ας δούμε όμως πώς πραγματοποιείται ο υπολογισμός των σταθερών  $f_i$ . Κατ' αρχήν ζητάμε από το λήπτη της απόφασης να μας πει ποιο κριτήριο απ' όλα θεωρεί το πιο σημαντικό. Έστω ότι το κριτήριο αυτό είναι το  $f_1$  (σταθερό κόστος). Σε ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων  $X_1 O X_2$  ο άξονας των τεταγμένων  $O X_1$  περιέχει τις τιμές της μεταβλητής  $X_1$ , ενώ ο άξονας των τεταγμένων  $O X_2$  περιέχει τις τιμές της μεταβλητής  $X_2$  (μεταβλητό κόστος). Οι τιμές των δύο μεταβλητών κυμαίνονται στα διαστήματα  $[X^*_1, X_1^0]$  και  $[X^*_2, X_2^0]$  όπως δείχνει το σχήμα 8.13.





Σχήμα 8.13. Διάταξη των μεταβλητών  $X_1, X_2$

Θεωρώντας ότι όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές  $X_3, \dots, X_6$  βρίσκονται στο χειρότερο επίπεδο  $X_3^0, \dots, X_6^0$ , διατυπώνουμε τις παρακάτω προφανείς προτάσεις:

1.  $(X_1^0, X_2^*) = \Gamma > \Delta = (X_1^0, X_2^0)$
2.  $(X_1^0, X_2^*) = \Gamma < A = (X_1^*, X_2^0)$
3. Υπάρχει ένα σημείο  $H$  επάνω στο ευθύγραμμο τμήμα  $A\Delta$  τέτοιο ώστε  $\Gamma \sim H$ .

Αν  $(X_1^{(2)}, X_2^0)$  είναι οι συντεταγμένες του σημείου  $H$  στο σύστημα αξόνων  $X_1OX_2$ , τότε από τη σχέση  $\Gamma \sim H$  συνεπάγεται:

$$u(X_1^0, X_2^*, X_3^0, \dots, X_m^0) = u(X_1^{(2)}, X_2^0, \dots, X_m^0) \text{ και σύμφωνα με τη σχέση (4) } F_2 = F_1 U_1(X_1^{(2)}).$$

Θα αναφέρουμε εδώ ότι ο προσδιορισμός του σημείου  $H$  γίνεται από το λήπτη της απόφασης με τη γνωστή μέθοδο της διχοτομικής αναζήτησης επάνω στο ευθύγραμμο τμήμα  $A\Delta$ . Επαναλαμβάνοντας την ίδια ακριβώς διαδικασία και για τα κριτήρια  $f_3, f_4, f_5$  και  $f_m$  συγκροτούμε το παρακάτω απλό σύστημα εξισώσεων:

$$F_2 = F_1 U_1(X_1^{(2)})$$

$$F_3 = F_1 U_1(X_1^{(3)})$$

:

$$F_m = F_1 U_1(X_1^{(n)}) \quad (8.23)$$

Απομένει, λοιπόν, ο προσδιορισμός της σταθεράς  $F_1$  για να ορισθεί πλήρως η συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων  $u(X_1, X_2, \dots, X_m)$ . Για το σκοπό αυτό, ενεργούμε πάλι με τη μέθοδο της επιλογής από το λήπτη της απόφασης ανάμεσα σε ένα λαχνό και σε μία συγκεκριμένη επιλογή  $a$ . Ορίζουμε ένα λαχνό  $\lambda$  στον οποίο εμφανίζονται δύο ενδεχόμενα:

1. Όλες οι μεταβλητές βρίσκονται στο καλύτερο επίπεδο.
2. Όλες οι μεταβλητές βρίσκονται στο χειρότερο επίπεδο.

Τα δύο ενδεχόμενα εμφανίζονται με αντίστοιχες πιθανότητες  $p$  και  $1-p$ . Η αναμενόμενη χρησιμότητα του λαχνού ισούται με:

$$u(\lambda) = p u(X_1^*, \dots, X_m^*) + (1-p) u(X_1^0, \dots, X_m^0) \text{ οπότε } u(\lambda) = p.$$



Θεωρούμε την επιλογή  $a=(X_1^*, X_2^0, \dots, X_m^0)$ . Η συνάρτηση χρησιμότητας παίρνει για την επιλογή αυτό την τιμή:

$$u(a) = F_1$$

Θέτουμε λοιπόν στο λήπτη της απόφασης το ακόλουθο ερώτημα: Για ποια τιμή της πιθανότητας  $\rho$  μένει αδιάφορος μπροστά στο πρόβλημα επιλογής ανάμεσα στο λαχνό  $\lambda$  και στη επιλογή  $\sigma$ . Η απάντηση του δίνει την τιμή της σταθεράς  $F_1$  αφού  $F_1 = u(a) = u(\lambda) = \rho$ . Έτσι, γνωρίζοντας την σταθερά  $F_1$  προσδιορίζουμε τις  $F_2, \dots, F_m$  με τη βοήθεια του συστήματος εξισώσεων (8.23).

Ο προσδιορισμός της πιθανότητας  $\rho$  για την οποία ισχύει  $\lambda \sim \sigma$  γίνεται και πάλι με τη μέθοδο της διχοτομικής αναζήτησης στο διάστημα  $[0, 1]$ .

Ο αλγόριθμος υπολογισμού της συνάρτησης χρησιμότητας για κάθε στοιχείο του συνόλου  $\Sigma$  διακρίνεται σε 3 τμήματα.

1. **Προσδιορισμός της συνάρτησης χρησιμότητας κάθε κριτηρίου.** Επιτυγχάνεται με την ανάγνωση των ποσοτήτων  $X^*_1, X^0_1, \bar{X}_1$  για κάθε κριτήριο  $f_i$  και, με τη βοήθεια αυτών, του υπολογισμού των σταθερών  $a, b, c$  αν πρόκειται για μη γραμμική συνάρτηση.
2. **Προσδιορισμός των σταθερών  $F_i$ .** Γίνεται με τον τρόπο που περιγράφεται στην αντίστοιχη παράγραφο. Εάν το άθροισμά τους είναι διάφορο της μονάδας, τότε υπολογίζουμε τη σταθερά  $F$  από τη σχέση (5) με τη μέθοδο των κυκλικών υπολογισμών.
3. **Ανάγνωση των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές  $X_1, X_2, \dots, X_{11}$  για κάθε στοιχείο  $a$  του συνόλου  $A$ .** Με τη βοήθεια των τιμών αυτών και των σταθερών που υπολογίστηκαν στα δύο προηγούμενα τμήματα, προβαίνουμε στον υπολογισμό της συνάρτησης χρησιμότητας για κάθε στοιχείο.

Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου δίνεται στο σχήμα 8.14.

Η μέθοδος της συνάρτησης χρησιμότητας, η οποία χρησιμοποιείται γενικά για τη σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων βασίζεται στην ιδέα της χρησιμότητας, που εξαρτά την αξία μιας ωφέλειας ή ζημιάς, από το μέγεθός της και από την προσωπική συμπεριφορά του λήπτη της απόφασης απέναντι σε αυτό (Λαμπρόπουλος 1985, Rowe & Wright 1999). Είναι γεγονός ότι οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αποδέχονται να συμμετάσχουν σε ένα τυχερό παιχνίδι με μηδενική μέση πληρωμή, ιδιαίτερα όταν αυτό περικλείει περίπτωση μεγάλης οικονομικής

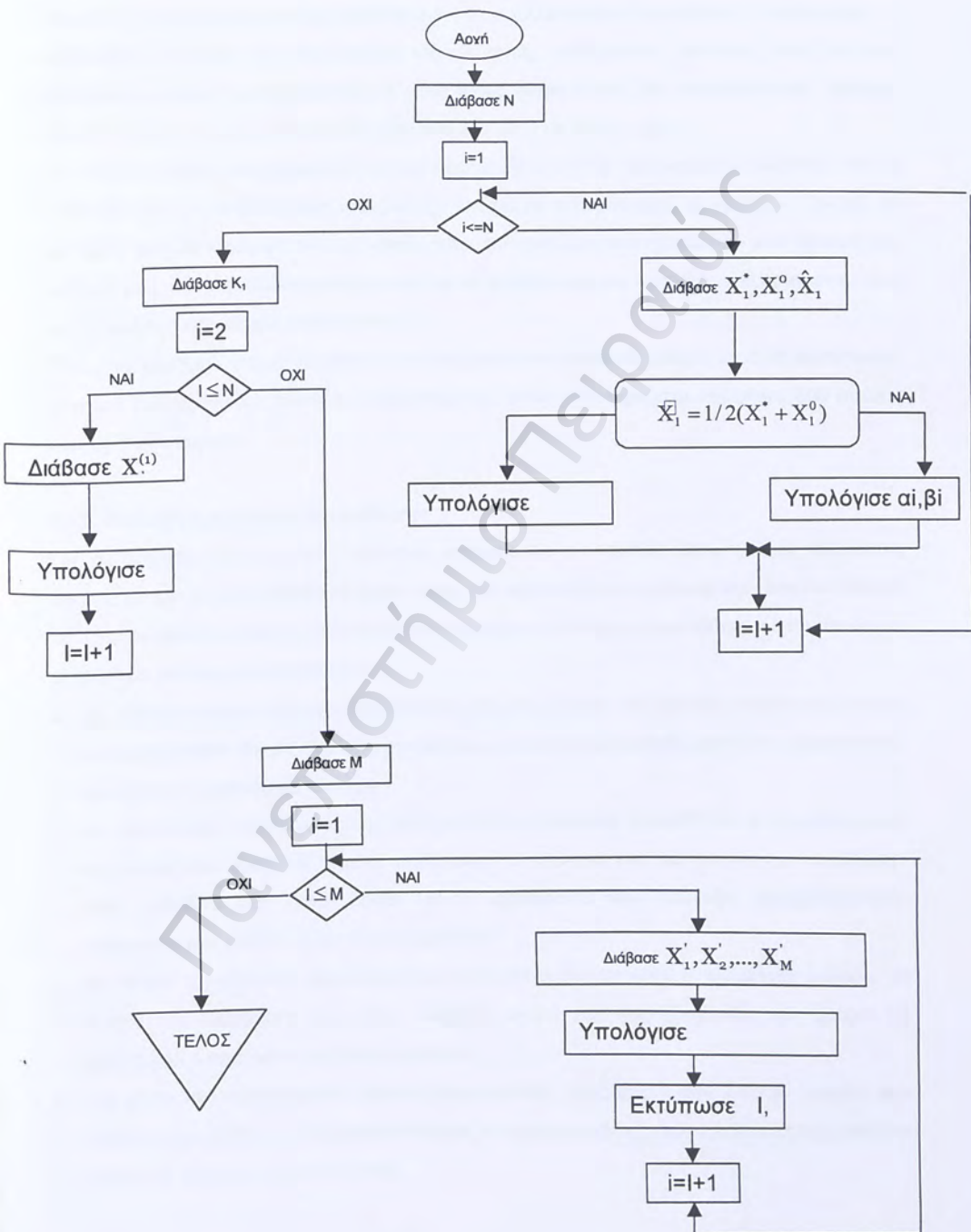
ζημιάς. Ο μέσος άνθρωπος αξιολογεί διαφορετικά ίσες χρηματικές ζημιές και κέρδη και πάντα σε σχέση με τα ποσά που αφορούν. Η μέθοδος έχει επικριθεί στα παρακάτω (Λαμπρόπουλος 1985)

- Δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν οι αντιδράσεις ενός ατόμου όταν βρεθεί στην ανάγκη να πάρει ριψοκίνδυνες αποφάσεις που το αποτέλεσμα τους θα κρίνει το μέλλον
- Η συνάρτηση χρησιμότητας ενός ατόμου μεταβάλλεται με τον καιρό σύμφωνα με το συνολικό οικονομικό δυναμικό του.
- Δεν υπάρχει τρόπος συνδυασμού διαφόρων συναρτήσεων χρησιμότητας και συνεπώς δεν υπάρχει δυνατότητα κατασκευής υποδείγματος για τη λήψη ομαδικών αποφάσεων.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Σχήμα 8.14. Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό της συνάρτησης χρησιμότητας πολλών κριτηρίων



## 8.5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ

### 8.5.1. Γενικά

Η πολυκριτηριακή ανάλυση χρησιμοποιεί κάποια ποιοτικά ή ποσοτικά «μέτρα» για να γίνει εφικτή η αξιολόγηση μεταξύ αντίστοιχων ή εναλλακτικών προτάσεων ή επιλογών. Η διαδικασία αυτή έχει να κάνει ακόμη και με απλές, καθημερινές επιλογές, όπως το ποια ηλεκτρική σκούπα θα αγοράσουμε ή ποιο είδος διασκέδασης θα προτιμήσουμε, πάντοτε μεταξύ κάποιων εναλλακτικών επιλογών που έχουμε στη διάθεσή μας.

Για να μπορέσουμε να σχηματίσουμε μια όσο το δυνατόν πιο «αντικειμενική» άποψη για το τι θα επιλέξουμε τελικά (λήψη απόφασης), πρέπει να καθορίσουμε τα «μέτρα», δηλαδή τα κριτήρια, που θα «μετρήσουν» τις «επιδόσεις» των εναλλακτικών επιλογών που έχουμε στη διάθεσή μας, ώστε να λάβουμε απόφαση και να επιλέξουμε μια ή συνδυασμό ορισμένων από αυτές, εφόσον κάτι τέτοιο είναι εφικτό.

Τέλος, τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται σε μια τέτοια ανάλυση μπορεί να είναι ποσοτικά ή ποιοτικά (περιγραφικά), αφού η πολυκριτηριακή ανάλυση στηρίζεται και στους δύο αυτούς τύπους πληροφοριών.

### 8.5.2. Επιλογή κριτηρίων της ανάλυσης

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, αντικείμενο της οποίας είναι η λήψη απόφασης σχετικά με την επιλογή μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, που δεν μπορεί να ανακυκλωθεί περαιτέρω, η επιλογή των κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση στηρίχθηκε στα παρακάτω στοιχεία:

- α. στα σταθερά και μεταβλητά κόστη καθώς και στα άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή καθεμιάς από τις εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης, δηλαδή στην οικονομική απόδοση
- β. στο κατά πόσον η εφαρμογή της κάθε μεθόδου συνδέεται ή συμβάλλει στην ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, ουσιαστικά εννοώντας την περιβαλλοντική «επίδοση» κάθε μεθόδου και κατά πόσον αυτή εξυπηρετεί την επίτευξη περιβαλλοντικής αειφορικότητας (environmental sustainability)
- γ. στα ειδικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά που αφορούν την κάθε εναλλακτική μέθοδο, τη δυνατότητα διείσδυσης της στην ελληνική αγορά και την αξιοπιστία που μπορεί να επιτυγχάνει η εφαρμογή της κάθε μεθόδου.
- δ. στη φύση του εξεταζόμενου υλικού τροφοδοσίας (feedstock), των λοιπών υλικών που ενδεχόμενα μπορούν να αξιοποιούνται από την εφαρμογή της κάθε εναλλακτικής μεθόδου καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.



Από την ανάλυση και στη συνέχεια τη σύνθεση των πληροφοριών που προέκυπταν από την αναζήτηση των παραπάνω στοιχείων σε κάθε εναλλακτική μέθοδο προέκυψαν τα παρακάτω κριτήρια ( $f_i$ ) :

$f_1$  = οικονομική απόδοση, λογιζόμενη ανά μονάδα μάζας επεξεργαζόμενης πρώτης ύλης (economic efficiency)

$f_2$  = συμβολή στη μακροπρόθεσμη ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, περιλαμβανομένου του περιβάλλοντος (environmental sustainability)

$f_3$  = ωριμότητα και διασπορά της μεθόδου, όπως προκύπτει από εμπειρικά δεδομένα των επιτυχών εφαρμογών της (technological maturity and applicability)

$f_4$  = συμβολή στη μεταφορά τεχνολογίας με έμφαση στη δυνατότητα διάδοσης της μεθόδου στην ελληνική αγορά (transferability of technology)

$f_5$  = αξιοπιστία / ευαισθησία της μεθόδου (σταθερότητα χαρακτηριστικών ποιότητας προϊόντος και εξάρτησή τους από την αναμενόμενη διακύμανση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης) (reliability)

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ

### 9.1. Γενικά

Από την πολυκριτηριακή ανάλυση, η παρουσίαση-τεκμηρίωση της οποία προηγήθηκε στο κεφάλαιο 8, προέκυψαν αναλυτικά στοιχεία που αφορούν την επίδοση των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης  $a_j$  ( $j=1,2,3,4,5,6$ ) του παλαιόχαρτου εφημερίδων σε σχέση με τα κριτήρια  $f_i$  ( $i=1,2,3,4,5$ ) με τα οποία αξιολογήθηκαν.

Σημειώνεται ότι οι εναλλακτικές μέθοδοι αξιοποίησης του παλαιόχαρτου στη συνέχεια του κειμένου, σε σχήματα και πίνακες θα αναφέρονται για λόγους συντομίας ως ακολούθως:

**K** = καύση με ανάκτηση ενέργειας

**E** = παραγωγή εδαφοβελτιωτικού με αερόβια αποσύνθεση

**A** = παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων με αναερόβια αποσύνθεση

**M** = παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών με ζύμωση

**B** = παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση

**Y** = απόθεση σε ΧΥΤΑ που λειτουργεί με σύγχρονες προδιαγραφές, με ενδεχόμενη συμπαραγωγή ενέργειας ή/και εδαφοβελτιωτικού, αν αυτό περιλαμβάνεται στη διαχείριση του συγκεκριμένου ΧΥΤΑ.

καθώς και τα κριτήρια, με τα οποία αξιολογούνται οι εναλλακτικές μέθοδοι, θα αναφέρονται ως:

$f_1$  = οικονομική απόδοση, λογιζόμενη ανά μονάδα μάζας επεξεργαζόμενης πρώτης ύλης (economic efficiency)

$f_2$  = συμβολή στη μακροπρόθεσμη ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, περιλαμβανομένου του περιβάλλοντος (environmental sustainability)

$f_3$  = ωριμότητα και διασπορά της μεθόδου, όπως προκύπτει από εμπειρικά δεδομένα των επιτυχών εφαρμογών της (technological maturity)

$f_4$  = συμβολή στη μεταφορά τεχνολογίας με έμφαση στη δυνατότητα διάδοσης της μεθόδου στην ελληνική αγορά (transferability of technology)

$f_5$  = αξιοπιστία / ευαισθησία της μεθόδου (σταθερότητα χαρακτηριστικών ποιότητας προϊόντος και εξάρτησή τους από την αναμενόμενη διακύμανση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης) (reliability)

Επίσης, σημειώνεται ότι για την απόδοση βαρύτητας (weighting) στο κάθε κριτήριο καθώς και τη βαθμολόγηση (score) των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης του παλαιόχαρτου εφημερίδων ακολουθήθηκε η τεχνική της πολυκριτηριακής ανάλυσης



σε συνδυασμό με μία τροποποιημένη μέθοδο DELPHI τριών σταδίων, δηλαδή με αποστολή ερωτηματολογίων σε εμπειρογνώμονες (experts).

Είναι γνωστό και έχει διατυπωθεί από την επιστημονική κοινότητα η ανάγκη για πιο ολιστική προσέγγιση (holistic approach) στην πολυκριτηριακή ή την κάθε μορφής ανάλυση στη λήψη αποφάσεων. Με τη διατύπωση αυτή επιχειρείται να εννοηθεί ότι η ανάλυση δεν πρέπει να περιορίζεται σε αυστηρά προκαθορισμένα «όρια» αλλά να γίνεται ακόμη και υπό συνθήκες αβεβαιότητας (uncertainty), ώστε να επιτυγχάνεται μια διαφορετική προσέγγιση στην υποστήριξη της λήψης απόφασης.

Έτσι, για λόγους πληρέστερης ή αλλιώς ολιστικής προσέγγισης και συνολικότερης αξιολόγησης του πλέγματος μέσα στο οποίο εντάσσονται οι κύριοι άξονες λήψης απόφασης για μια τέτοια διαδικασία, δηλαδή την επιλογή μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων με πολυκριτηριακή ανάλυση, εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Η πρώτη μεθοδολογία είναι πιο σύγχρονη και σύνθετη (comprehensive) και ουσιαστικά πρόκειται για πολυκριτηριακή ανάλυση με «ασαφή λογική» (fuzzy logic), δηλαδή πρόκειται για πολυκριτηριακή ανάλυση που ενσωματώνει την αβεβαιότητα με την οποία «συνοδεύεται» η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων στα κριτήρια της ανάλυσης, όπως αυτή προέκυψε από τους βαθμολογητές-εμπειρογνώμονες.

Η δεύτερη μεθοδολογία είναι πιο απλή, δεν περιλαμβάνει αβεβαιότητα και στηρίζεται στα βάρη των κριτηρίων και την κεντρική τιμή των βαθμών που δόθηκαν από τους εμπειρογνώμονες.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ξεχωριστή παρουσίαση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δύο μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόστηκαν.

## 9.2. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης με ασαφή λογική-ανάλυση

### 9.2.1. Πίνακας προτίμησης (Preference matrix) – κατάταξη μεθόδων

Από την επεξεργασία των επιδόσεων του πολυκριτηριακού πίνακα για κάθε έναν από τους εμπειρογνώμονες και λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη την αβεβαιότητα στην επίδοση κάθε εναλλακτικής μεθόδου στα αντίστοιχα κριτήρια, προέκυψε ο πίνακας προτιμήσεων. Ο πίνακας αυτός σχηματίζεται από τη σειρά κατάταξης των εναλλακτικών μεθόδων για κάθε εμπειρογνώμονα, απ' όπου αθροιστικά λαμβάνεται η τελική κατάταξη των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια (Πίνακας 9.1).

Πίνακας 9.1. Πίνακας προτιμητέων μεθόδων, συνολικής επίδοσης και κατάταξης

Table 9.1. Preference, total score and ranking matrix of the methods

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Εμπειρογνώμονες	E1	E2	E3	E4	E5	E6			
Εναλλακτική μέθοδος							Αθροίσματα	Συνολική επίδοση	Κατάταξη
K	4	2	5	5	4	3	23	2,373	5
E	5	4	4	4	2	2	21	3,177	4
A	2	5	3	3	3	4	20	3,625	3
M	6	6	6	6	6	6	36	0,555	6
B	3	1	1	2	5	1	13	4,186	1
Y	1	3	2	1	1	5	13	4,086	2

Σημείωση: Τα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάζονται στις στήλες (1) έως (6) αφορούν τη σειρά κατάταξης των εναλλακτικών επιλογών από κάθε εμπειρογνώμονα και δεν είναι ο βαθμός ή η επίδοση της μεθόδου στον κάθε εμπειρογνώμονα.

Ως κριτήριο κατάταξης λαμβάνεται η πρόταση  $S_h = \min (S_1, S_2, \dots, S_k)$ , δηλαδή η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο άθροισμα, λαμβάνεται ως καλύτερη, αφού αυτό υποδηλώνει ότι αυτή έχει καταταγεί πρώτη περισσότερες φορές εν σχέση με τις άλλες εναλλακτικές μεθόδους.

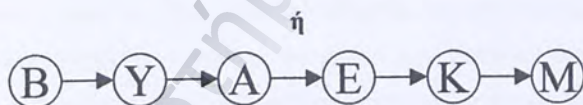
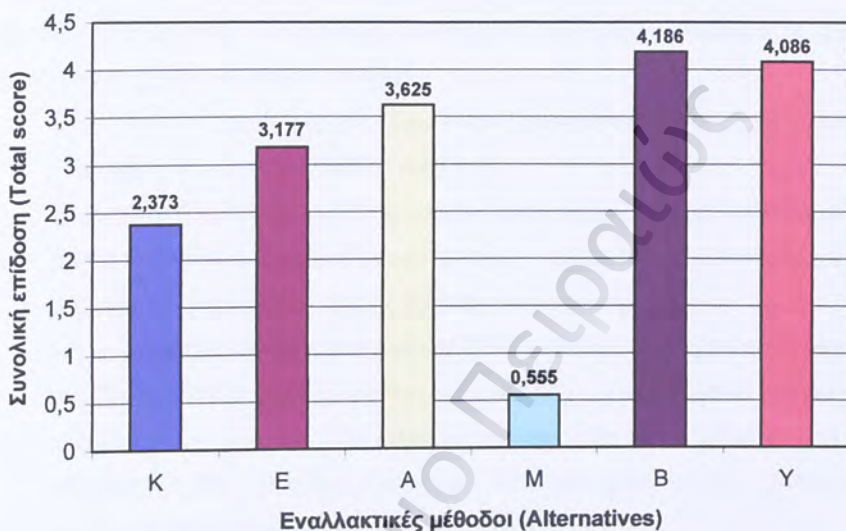
Από τη στήλη (7), στην οποία αθροίζονται οι επιμέρους σειρές κατάταξης των εναλλακτικών επιλογών κατά εμπειρογνώμονα, γίνεται αντιληπτό ότι οι επιλογές B και Y συγκεντρώνουν τον ίδιο συνολικό βαθμό, στοιχείο που οδηγεί στο ότι οι μέθοδοι αυτές έχουν (σχεδόν) την ίδια σειρά προτίμησης μεταξύ των εμπειρογνομώνων.

Σ' αυτό συνηγορούν και τα στοιχεία συνολικής επίδοσης των εναλλακτικών μεθόδων (στήλη 8 του πίνακα 9.1.), απ' όπου προκύπτει ότι η μέθοδος B έχει ένα πολύ μικρό



προβάδισμα σε σχέση με τη μέθοδο Υ, αφού η διαφορά επίδοσης είναι της τάξεως του  $(4,186-4,086=) 0,1$ .

Συνεπώς η τελική σειρά κατάταξης (ή προτίμησης) των μεθόδων που προκύπτει από την πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική (σύνθετο σύστημα) είναι η ακόλουθη:



**Σχήμα 9.1.** Κατάταξη των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης παλαιόχαρτου εφημερίδων (πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική)

**Figure 9.2.** Ranking of the alternative methods for old newspapers utilization (multicriteria analysis with fuzzy logic)

Από την τελική κατάταξη των εναλλακτικών μεθόδων, όπως αυτή προέκυψε από την πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική, είναι εμφανές ότι οι μέθοδοι Β και Υ θεωρούνται ότι έχουν την ίδια «προτίμηση» μεταξύ των εμπειρογνομόνων, αφού και οι δύο τοποθετούνται στην «κορυφή» της σειράς κατάταξης των μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, ακολουθούμενες από τις μεθόδους Α, Ε, Κ και Μ.

*Τέλος, σε σχέση με τους εμπειρογνώμονες, πρέπει να γίνει ξεχωριστή μνεία, αφού η συμμετοχή τους σε μια πολυκριτηριακή ανάλυση για την αξιολόγηση μεθόδων που αφορούν την αξιοποίηση μεμονωμένου υλικού-στόχου από το ρεύμα των ΑΣΑ προϋποθέτει εύρος και βάθος γνώσεων καθώς και ο τρόπος με τον οποίον βαθμολόγησαν τις εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, συνηγορεί για την ιδιαίτερη αυτή μνεία.*

Έτσι, επιχειρώντας να προσδιορίσουμε το «προφίλ» των εμπειρογνομένων θα πρέπει να γίνει αναφορά στα παρακάτω στοιχεία:

- έχουν όλοι υψηλή παιδεία (απόφοιτοι πανεπιστημιακών τμημάτων με διδακτορικά) (εύρος και βάθος γνώσεων),
- προέρχονται από διαφορετικούς χώρους εργασίας, αλλά ασχολούνται με την έρευνα και με τη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων (συνάφεια με το αντικείμενο έρευνας από πολλές «οπτικές γωνίες») και
- παρά το γεγονός ότι προέρχονται από διαφορετικούς επιστημονικούς χώρους ή αλλιώς έχουν ξεχωριστά γνωστικά αντικείμενα, εντούτοις είναι αρκετά έως πολύ ευαίσθητοποιημένοι σε σχέση με τη διαχείριση των αποβλήτων και την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων (αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση).

Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά, που εντοπίζονται στις παρενθέσεις, προκύπτει ότι το «προφίλ» των εμπειρογνομένων ήταν τέτοιο που βοήθησε ουσιαστικά σε μια σύγχρονη και κατά το δυνατόν «αειφορικότερη» αντιμετώπιση του θέματος, καθώςον διέθετε και την ομοιογένεια (εύρος και βάθος γνώσεων) αλλά και τη «διαφορετικότητα» (πολυεπιστημονική αξιολόγηση), δηλαδή στοιχεία που απαιτούνται σήμερα για την αντιμετώπιση ενός τόσο πολύπλοκου θέματος.

Κατόπιν μιας πρόχειρης εκτίμησης της σειράς κατάταξης των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, θα έλεγε κανείς ότι η πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική δεν προτείνει συγκεκριμένη λύση. Αυτό, μπορεί εκ πρώτης όψεως να φαίνεται ως μειονέκτημα, όμως δεν ευσταθεί αφού με την πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική (ή αλλιώς υπό συνθήκες αβεβαιότητας) διευρύνονται τα «όρια» του χώρου λήψης απόφασης και κατά συνέπεια αυξάνονται οι πληροφορίες που υποστηρίζουν τη διαμόρφωση εναλλακτικών προτάσεων. Με τον τρόπο αυτό συμπεριλαμβάνονται στη διαδικασία λήψης απόφασης πολλές και διαφορετικές πληροφορίες (ακόμη και έμμεσες ή ποιοτικές), η ανάλυση και σύνθεση



των οποίων μπορεί να αποτελέσει ουσιαστικό «εργαλείο» για τη λήψη απόφασης καθώς και για το σχεδιασμό εφικτής λύσης.

Έτσι, οι μέθοδοι K (καύση με ανάκτηση ενέργειας) και M (παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών) είχαν τις μικρότερες συνολικές επιδόσεις, 2,373 η μέθοδος K και 0,555 η μέθοδος M. Το στοιχείο αυτό αν μη τι άλλο είναι ενδεικτικό του ότι οι εν λόγω μέθοδοι δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του σύγχρονου σχεδιασμού-διαχείρισης του παλαιόχαρτου εφημερίδων. Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αβεβαιότητα που «συνόδευε» τους βαθμούς των εμπειρογνομόνων για τις εν λόγω μεθόδους ήταν μικρή, με αποτέλεσμα οι μέθοδοι K και M να τύχουν μικρής ή ελάχιστης προτίμησης από τους εμπειρογνώμονες και μάλιστα αυτό να γίνεται με σχετική βεβαιότητα! (η μέθοδος M είναι τελευταία σε σειρά προτίμησης σε όλους τους βαθμολογητές).

Οι μέθοδοι B (παραγωγή βιοαιθανόλης), Y (υγειονομική ταφή), A (παραγωγή βιοαερίου με αναερόβια αποσύνθεση) και E (παραγωγή εδαφοβελτιωτικού με αερόβια αποσύνθεση), μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν τις κύριες προτιμήσεις για την αξιοποίηση του παλαιόχαρτου των εφημερίδων, για τους εξής λόγους:

- Η διαφορά των συνολικών επιδόσεων μεταξύ των μεθόδων B,Y,A και E κείται εντός του διαστήματος τιμών (0,1), δηλαδή παρατηρείται συσσώρευση σε μικρό εύρος τιμών, δεδομένου ότι η κλίμακα βαθμολόγησης κυμαίνονταν μεταξύ 2 και 8 με ακρίβεια πρώτου δεκαδικού ψηφίου.
- Είναι μέθοδοι που «επιτρέπουν» τη συνδυασμένη εφαρμογή τους, με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας και υλικών. Δηλαδή, η χρησιμοποίησή τους είναι συμβιβαστή, υπό τον κατάλληλο κάθε φορά σχεδιασμό διαχείρισης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Συνεπώς, οι μέθοδοι B, Y, A και E θα συμπεριληφθούν στη συζήτηση που ακολουθεί, για τον εντοπισμό μιας θεωρητικά άριστης λύσης με σκοπό την αξιοποίηση του παλαιόχαρτου (ήδη ανακυκλωμένου και μη δυνάμενου να ανακυκλωθεί περαιτέρω) εφημερίδων στο νομό Αττικής.

Στη συνέχεια επιχειρείται μια συζήτηση πάνω στα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης με ασαφή λογική.

## 9.2.2. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο η συζήτηση αφορά τις μεθόδους B, Y, A και E, για τις οποίες θεωρείται ενδιαφέρον να γίνει μια προσδιοριστική ανάλυση με έμφαση στα ιδιαίτερα στοιχεία που «δείχνει» η σειρά κατάταξης. Η προσδιοριστική ανάλυση θα γίνει κατά ζεύγη, με γνώμονα πάντοτε την «απόσταση» (διαφορά επίδοσης) μεταξύ των δύο μεθόδων, δηλαδή το πόσο κοντά βρίσκονται αυτές. Σημειώνεται ότι στην εν λόγω πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική δεν χρησιμοποιείται η ακριβής τεχνική της σύγκρισης κατά ζεύγη (pairwise comparison) λόγω της αβεβαιότητας που υφίσταται στην ανάλυση, αλλά γίνεται μια ερμηνεία της σειράς κατάταξης και εντοπίζονται τα κυρίαρχα στοιχεία.

Έτσι, με βάση την τελική συνολική βαθμολογία, σχηματίζονται δύο ζεύγη μεθόδων, το ζεύγος B και Y (B-Y) και το ζεύγος A και E (A-E), για τα οποία η διαφορά επίδοσης είναι 0,1 για το πρώτο και 0,445 για το δεύτερο ζεύγος, αντίστοιχα.

### Πρώτο ζεύγος (B-Y)

Το γεγονός ότι η μέθοδος B (παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση) έρχεται πρώτη σε προτίμηση από μέρους των εμπειρογνομώνων, έστω και με πολύ μικρή διαφορά σε σχέση με τη μέθοδο Y (υγειονομική ταφή), συνδέεται και ουσιαστικά οφείλεται κατά κύριο λόγο στα παρακάτω στοιχεία:

α) Παρά το υψηλό κόστος (κατά μέσο όρο 370 €/τόννο) που συνεπάγεται η εφαρμογή της, η μέθοδος B έρχεται πρώτη σε σειρά προτίμησης. Αυτό το στοιχείο φανερώνει την εκτίμηση από την πλευρά των εμπειρογνομώνων για τις δυνατότητες που έχει η μέθοδος στην επίτευξη πολύ σημαντικών πολλαπλών ωφελειών. Ουσιαστικά, πρόκειται για τα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη που θεωρείται ότι προκύπτουν (άμεσα και έμμεσα) από τις πολλαπλές χρήσεις της βιοαιθανόλης (κύριο προϊόν της μεθόδου) στην καθημερινή ζωή, όπως επίσης και από τις προοπτικές των εφαρμογών που μπορεί να έχει η βιοαιθανόλη στη χώρα μας ως πρόσθετο καυσίμου (δηλαδή ETBE) ή ακόμη και ως καύσιμο (neat fuel), οι οποίες συνδέονται με σημαντικά περιβαλλοντικά (μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων), οικονομικά (εξοικονόμηση συναλλάγματος) και κοινωνικά (δημιουργία απασχόλησης) οφέλη.

β) Η μέθοδος Y (υγειονομική ταφή), παρά την έντονη κριτική που δέχεται, την αυστηρή περιβαλλοντική νομοθεσία και την τοποθέτησή της στο κατώτερο επίπεδο στην ιεραρχία διαχείρισης των απορριμμάτων, εντούτοις χάρη στο βαθμό αξιοποίησης (100%) των επεξεργαζόμενων αποβλήτων, στην πολύ καλή οικονομική



απόδοση και στο γεγονός ότι θεωρείται ως «αναγκαστική λύση» για ορισμένες ποσότητες αποβλήτων, για τα οποία δεν υφίσταται προς το παρόν οικονομικά, τεχνολογικά και περιβαλλοντικά αποδεκτός τρόπος διαχείρισής τους, κατατάσσεται στην ίδια θέση με τη μέθοδο Β, με πολύ μικρή διαφορά.

γ) Το «προφίλ» των εμπειρογνομόνων, όπως αυτό περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα, είναι τέτοιο που αποκαλύπτει μια ιδιαίτερη προτίμηση προς την «αιεφορικότερη» μέθοδο Β, η οποία έστω και οριακά υπερβαίνει την «ορθολογική» μέθοδο Υ.

Ειδικότερα για το στοιχείο αυτό («προφίλ» των εμπειρογνομόνων) θεωρείται ότι δίνει μια επιβεβαίωση για το εάν και κατά πόσο έχει «ωριμάσει» η ελληνική επιστημονική κοινότητα και κατ' επέκταση η κοινωνία, ώστε να δεχθεί νεωτεριστικές και καινοτόμες λύσεις στη διαχείριση των ΑΣΑ και ειδικότερα του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

#### Δεύτερο ζεύγος (Α-Ε)

Η σχετικά μικρή διαφορά επίδοσης μεταξύ των μεθόδων Α και Ε καθώς και η τοποθέτησή τους σε διαδοχικές θέσεις στη σειρά προτίμησης, μετά από τις μεθόδους Β και Υ, μπορεί σε γενικές γραμμές ν' αποδοθεί στα εξής στοιχεία:

- οι μέθοδοι Α και Ε έχουν σχετικά αντίστοιχες ή παρεμφερείς τεχνολογικές απαιτήσεις ως προς την εφαρμογή τους, αφού στηρίζονται στην αποσύνθεση του παλαιόχαρτου, η οποία όμως διαφέρει ως προς τον τρόπο ή τις συνθήκες της διαδικασίας αποσύνθεσης (αναερόβια και αερόβια, αντίστοιχα)
- μπορούν να αξιοποιηθούν αυτόνομα ή (ακόμα καλύτερα) συμπληρωματικά η μια προς την άλλη, αφού μεγάλο μέρος των υπολειμμάτων της μεθόδου Α μπορεί ν' αποτελέσει «εισροή» για τη μέθοδο Ε. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός αξιοποίησης των αποβλήτων, που για το παλαιόχαρτο εφημερίδων κατά προσέγγιση ανέρχεται στο 70-75%.
- είναι μέθοδοι με σχετικά χαμηλού κόστους, γνωστής τεχνολογίας και συμβατές τόσο μεταξύ τους όσο και με το υπάρχον σύστημα διαχείρισης αποβλήτων στην Αττική.
- από τα προϊόντα των μεθόδων Α και Ε (βιοαέριο και εδαφοβελτιωτικό, αντίστοιχα), προκύπτουν σημαντικά οφέλη, τα οποία όμως λόγω των

περιορισμένων χρήσεων που μπορούν να έχουν τα προϊόντα αυτά θεωρούνται μικρότερα εν σχέση με τα οφέλη που προκύπτουν από το προϊόν της μεθόδου Β (βιοαιθανόλη).

Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται ότι έπαιξαν ουσιαστικό ρόλο στην επίτευξη μικρότερης συνολικής επίδοσης για τις παραπάνω μεθόδους, σε σχέση με τις μεθόδους Β και Υ.

Με δεδομένη την αβεβαιότητα της ανάλυσης (πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική) από την οποία δεν προκύπτει μια απόλυτα σαφής λύση, στο επόμενο κεφάλαιο (κεφ. 10.1.) θα επιχειρηθεί να διατυπωθούν ορισμένες, ενδεχομένως εφαρμόσιμες κατά τη γνώμη μας, λύσεις-διαχειριστικές προτάσεις που συνδυάζουν όλες ή κάποιες από τις παραπάνω μεθόδους και αποσκοπούν στην «ολιστική» αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



### 9.3. Αποτελέσματα απλής πολυκριτηριακής μεθόδου – ανάλυση.

#### 9.3.1. Πίνακας επίδοσης (Performance matrix) – κατάταξη μεθόδων

Από την επεξεργασία των βαθμολογημένων ερωτηματολογίων από τους εμπειρογνώμονες, προέκυψαν αριθμητικά αποτελέσματα, βάσει των οποίων δημιουργήθηκε ο ακόλουθος πίνακας επίδοσης των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Πίνακας 9.2. Πίνακας επίδοσης των εναλλακτικών μεθόδων

Table 9.2. Performance matrix of the alternative methods

Κριτήριο (βάρος κριτηρίου)	K	E	A	M	B	Y
f <sub>1</sub> (23,2%)	1,165	1,190	1,239	0,858	0,9837	1,373
f <sub>2</sub> (27,3%)	1,076	1,581	1,602	1,220	1,624	1,562
f <sub>3</sub> (17,2%)	1,063	0,960	0,979	0,695	0,783	1,082
f <sub>4</sub> (16,3%)	0,716	0,857	0,812	0,745	0,929	0,761
f <sub>5</sub> (16,0%)	0,858	0,805	0,760	0,586	0,723	0,882
<b>Συνολικός βαθμός (Total score)</b>	<b>4,876</b>	<b>5,393</b>	<b>5,392</b>	<b>4,104</b>	<b>5,043</b>	<b>5,660</b>
<b>Κατάταξη (Ranking)</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>

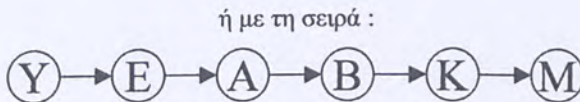
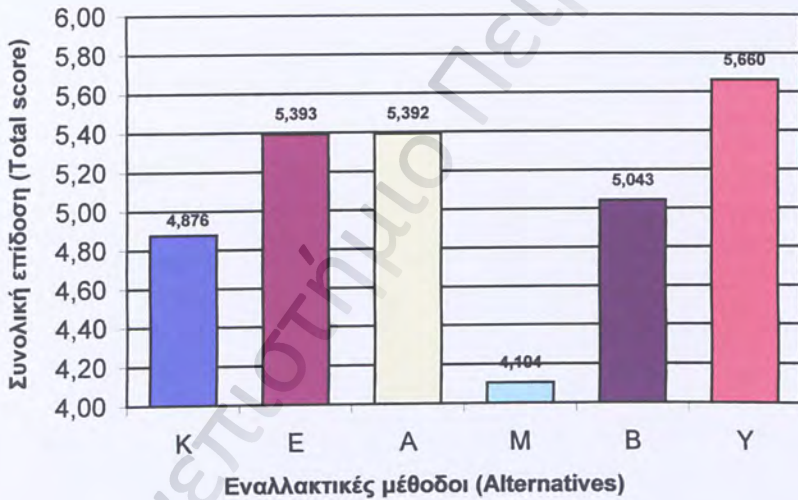
Οι στήλες του πίνακα αυτού, αντιστοιχούν στις εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης και οι γραμμές στη βαθμολογία που λαμβάνει σε κάθε κριτήριο η αντίστοιχη μέθοδος, η οποία προκύπτει ως το γινόμενο του αντίστοιχου βάρους ενός κριτηρίου επί το βαθμό<sup>1</sup> που έλαβε η εν λόγω μέθοδος στο κριτήριο αυτό. Το άθροισμα των τιμών των επιμέρους γινομένων σε κάθε στήλη, δίνει το συνολικό βαθμό (ή επίδοση) που λαμβάνει η κάθε μέθοδος. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα, γίνεται η κατάταξη (ranking) των μεθόδων με βάση το συνολικό βαθμό τους.

Σημειώνεται ότι για την κατάταξη των εναλλακτικών μεθόδων εφαρμόζεται η απλούστερη εκδοχή της πολυκριτηριακής μεθόδου. Πιο αναλυτικά, στην αρχή γίνεται ο σχηματισμός των επιμέρους επιδόσεων ( $S_1, S_2, \dots, S_m$ ), όπου  $S_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) είναι το σταθμισμένο άθροισμα των βαθμών  $a_{ij}$  που παίρνει κάθε εναλλακτική μέθοδος  $j$ , δηλαδή  $S_j = w_1 \cdot a_{1j} + \dots + w_n \cdot a_{nj}$ , όπου  $w_i$  το βάρος του κριτηρίου  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ).

<sup>1</sup> Αναφέρεται στο μέσο όρο των επιμέρους βαθμών που έλαβε μια μέθοδος ( $a_j$ ) σε ένα κριτήριο ( $f_i$ ).

Οι βαθμοί που δόθηκαν από τους εμπειρογνώμονες καθορίστηκε να βρίσκονται στην κλίμακα (πεδίο τιμών) από 2 έως 8 (με άριστα το 8) με ακρίβεια πρώτου δεκαδικού ψηφίου. Η βέλτιστη επιλογή είναι εκείνη για την οποία ισχύει  $S_h = \max[S_1, S_2, \dots, S_m]$ . Έτσι, πρώτη κατατάσσεται η μέθοδος που συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη συνολική επίδοση (score), δεύτερη η αμέσως επόμενη, τρίτη η αμέσως επόμενη της δεύτερης κ.ο.κ. Δηλαδή σχηματίζεται μια σειρά φθίνουσας προτίμησης που έχει τη μορφή  $S_{h1} > S_{h2} > \dots > S_{hm}$  (Μπατζιάς και Σιδηράς 2001).

Από την εξέταση του πίνακα προκύπτει ότι η επιλογή Y επιτυγχάνει την υψηλότερη βαθμολογία (5,660) με επόμενη την E (5,393), αμέσως επόμενη την A (5,392), επόμενη τη B (5,043), επόμενη την K (4,876) και τελευταία τη M (4,104). Η κατάταξη γραφικά μπορεί να παρασταθεί με το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 9.2. Κατάταξη των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης παλαιόχαρτου εφημερίδων

Figure 9.2. Ranking of the alternative methods for old newspapers utilization



Η κατάταξη (ranking) ή αλλιώς σειρά προτίμησης των εναλλακτικών μεθόδων όπως προκύπτει από την πολυκριτηριακή ανάλυση δείχνει τη «διαδοχή», μεταξύ των εναλλακτικών, που επιτυγχάνεται όταν τα κριτήρια αξιολόγησης έχουν τα συγκεκριμένα βάρη. Συνήθως, η ερμηνεία των αριθμητικών αποτελεσμάτων που απεικονίζονται στον πίνακα επίδοσης καθώς και η τεκμηρίωση της σειράς κατάταξης των εναλλακτικών γίνεται με την «σύγκριση κατά ζεύγη» (pairwise comparison). Η διαδικασία αυτή αποτελεί ουσιαστικό μέρος της πολυκριτηριακής ανάλυσης και η εφαρμογή της στην παρούσα ανάλυση παρουσιάζεται στην αμέσως επόμενη ενότητα.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

### 9.3.2. Συζήτηση – σύγκριση κατά ζεύγη (pairwise comparison)

Για να γίνουν πιο κατανοητά τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την πρώτη φάση της πολυκριτηριακής ανάλυσης, να αποτυπωθούν οι ποσοτικές και ποιοτικές διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών μεθόδων και γενικά να καταγραφούν τα συνολικά στοιχεία που συνηγορούν στη σειρά κατάταξης που παρουσιάστηκε προηγουμένως, ακολουθείται η τεχνική της σύγκρισης κατά ζεύγη (pairwise comparison). Η σύγκριση κατά ζεύγη είναι τεχνική που χρησιμοποιείται στην ανάλυση των αριθμητικών αποτελεσμάτων μιας πολυκριτηριακής μήτρας ανάλυσης και έχει τύχει εφαρμογής στη διαχείριση αστικών στερεών απορριμμάτων (Sobral, Hipel and Farquhar 1981)

Με τον τρόπο αυτό, επιλέγονται ανά δύο εναλλακτικές μέθοδοι και συγκρίνονται οι επιδόσεις τους στα επιμέρους κριτήρια, αιτιολογώντας κάθε φορά ποια εναλλακτική και κατά πόσο υπερτερεί έναντι της άλλης στο κριτήριο που εξετάζεται. Έτσι, γίνεται μια περιγραφική και συνάμα ποσοτική σύγκριση-αποτίμηση των ειδικών πληροφοριών που «κρύβονται» πίσω από στη συνολική επίδοση (total score) της κάθε εναλλακτικής μεθόδου.

Πριν να γίνει οποιαδήποτε σύγκριση θεωρείται σκόπιμο να διευκρινισθεί ποιες εναλλακτικές μέθοδοι αποκλείονται από τη διαδικασία αυτή.

Για το σκοπό αυτό ακολουθείται το εξής σκεπτικό. Η κλίμακα βαθμολόγησης επίδοσης της κάθε εναλλακτικής μεθόδου στα αντίστοιχα κριτήρια της παρούσας ανάλυσης ήταν μεταξύ των 2 και 8 βαθμών, με ακρίβεια πρώτου δεκαδικού ψηφίου. Από αυτό το πεδίο τιμών [2,8] της κλίμακας βαθμολόγησης, ως «κατώφλι» (threshold) για την είσοδο μιας μεθόδου στη διαδικασία της σύγκρισης κατά ζεύγη, λαμβάνεται το σημείο που ισαπέχει από τα άκρα του πεδίου τιμών, δηλαδή το σημείο με τιμή 5,0. Έτσι, όποια μέθοδος έχει συνολική βαθμολογία μικρότερη του ανωτέρω ορίου δεν περιλαμβάνεται στη σύγκριση κατά ζεύγη, αφού υπολείπεται σημαντικά σε σχέση με τις άλλες εναλλακτικές μεθόδους.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα επίδοσης, από τη σύγκριση κατά ζεύγη πρέπει να αποκλειστούν οι μέθοδοι Κ (καύση με ανάκτηση ενέργειας) και Μ (παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών), οι οποίες είχαν τις χαμηλότερες επιδόσεις (score) με 4,884 και 4,086 βαθμούς, αντίστοιχα. Τον αποκλεισμό από την περαιτέρω ανάλυση ενισχύει το γεγονός ότι:

- α) για μεν τη μέθοδο Μ, η πιο πρόσφατη βιβλιογραφία που αναφέρεται σε εφαρμογή της μεθόδου με πρώτη ύλη το παλαιόχαρτο εφημερίδων ή τα υπολείμματα



χαρτοποιίας, βρίσκεται χρονολογικά στο έτος 1974 (Romantschuk 1974) σε ευρωπαϊκό επίπεδο και στο έτος 1975 (Wilke and Yang 1975) για τις ΗΠΑ αντίστοιχα, στοιχείο που αν μη τι άλλο, φανερώνει την έλλειψη ενδιαφέροντος για την εν λόγω μέθοδο αλλά και τη μη ύπαρξη σύγχρονων ερευνητικών αποτελεσμάτων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στην παρούσα εργασία.

β) για τη μέθοδο K, το γεγονός ότι έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα ανά τον κόσμο καθώς και το ότι από μελέτες για την περιβαλλοντική «συμπεριφορά» της, που εν μέρει οφείλεται σε αυτή την μεγάλη διασπορά της, έχουν προκύψει σημαντικά στοιχεία για εκτεταμένη περιβαλλοντική ρύπανση που «καταλογίζονται» στην εν λόγω μέθοδο, σε συνδυασμό με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία, ήταν τα κύρια αίτια για την χαμηλή βαθμολογία της από τους εμπειρογνώμονες.

Έτσι, η σύγκριση κατά ζεύγη θα γίνει για τις εναλλακτικές μεθόδους Y,E,A και B, όπως αυτές κατατάσσονται, δηλαδή η πρώτη εναλλακτική (υψηλότερη συνολική επίδοση) συγκρίνεται με την δεύτερη, την τρίτη κ.λπ., μετά η δεύτερη σε επίδοση συγκρίνεται με την τρίτη, την τέταρτη κ.ο.κ. για κάθε κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση.

Τα ζεύγη που συγκρίνονται εδώ είναι συνολικά έξι<sup>2</sup> και θα παρίστανται στη συνέχεια ως Y-E, Y-A, Y-B, E-A, E-B και A-B, τα οποία αναλυτικά είναι:

Y-E: Υγειονομική ταφή συγκρίνεται με παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού

Y-A: Υγειονομική ταφή συγκρίνεται με Αναερόβια αποσύνθεση

Y-B: Υγειονομική ταφή συγκρίνεται με παραγωγή Βιοαιθανόλης

E-A: Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού συγκρίνεται με Αναερόβια αποσύνθεση

E-B: Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού συγκρίνεται με παραγωγή Βιοαιθανόλης

A-B: Αναερόβια αποσύνθεση συγκρίνεται με παραγωγή Βιοαιθανόλης

Η σύγκριση των ζευγών θα γίνει για τα πέντε κριτήρια της ανάλυσης, δηλαδή συνολικά θα γίνουν είναι  $6 \text{ (ζεύγη)} \times 5 \text{ (κριτήρια)} = 30$  συγκρίσεις. Η παρουσίαση των συγκρίσεων θα γίνει με βάση το βάρος (weight) του κάθε κριτηρίου, όπως αυτό καθορίστηκε από τους εμπειρογνώμονες, δηλαδή από το κριτήριο με το μεγαλύτερο προς το κριτήριο με το μικρότερο βάρος, δηλαδή οι κατά ζεύγη συγκρίσεις θα αναφέρονται στα κριτήρια  $f_2, f_1, f_3, f_4$  και  $f_5$ .

---

<sup>2</sup> Ο αριθμός των ζευγών προσδιορίζεται από τον τύπο  $\frac{n(n-1)}{2}$  και για  $n=4$  είναι  $(4 \times 3)/2 = 6$  ζεύγη (Keeny and Raiffa, 1976).

## 1. Υγειονομική ταφή σε σύγκριση με παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού (Υ-Ε)

Ως προς το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος ( $f_2$ , συμβολή στη μακροπρόθεσμη ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, περιλαμβανομένου του περιβάλλοντος, environmental sustainability) η μέθοδος Ε έχει οριακά υψηλότερη επίδοση (1,581) συγκρινόμενη με τη μέθοδο Υ (1,562), καίτοι η διαφορά επίδοσης ( $1,581-1,562=0,019$ ) είναι πολύ μικρή. Αυτό οφείλεται εν μέρει οφείλεται στο γεγονός ότι η συμπεριφορά προς το περιβάλλον της παραγωγής εδαφοβελτιωτικού από παλαιόχαρτο εφημερίδων (που δεν μπορεί να ανακυκλωθεί περαιτέρω) είναι φιλικότερη σε σχέση με την υγειονομική ταφή, κάτι που αναγνωρίζεται από πολλούς επιστήμονες και θεωρείται ως «αιεφορικότερη» διαχείριση ακόμη και για και τα απόβλητα απομελάνωσης και επαναπολτοποίησης χαρτιού. Ενδεικτικά αναφέρονται τα θετικά αποτελέσματα είχε η εφαρμογή εδαφοβελτιωτικού από υπολείμματα χαρτοποιίας στην παραγωγή πατάτας σε πειράματα που έγιναν στον Καναδά (Landmark 1999, Cooperband et al. 2000, Simard et al. 1999 και 2001), στην παραγωγή εδαφοβελτιωτικού σε μίξη παλαιόχαρτου εφημερίδων με κοπριά από κτηνοτροφικές μονάδες (Ball, Shah and Wheatley, 2000) καθώς και στη βελτίωση της παραγωγικότητας διαφόρων τύπων εδαφών (Matysik et al. 2001, Bates 2002, Charest and Beauchamp 2002).

Εντούτοις, η διαφορά των επιδόσεων είναι πολύ μικρή, διότι είναι αποδεκτό σήμερα ότι ένας καλά οργανωμένος ΧΥΤΑ, που πληροί όλες τις σύγχρονες τεχνικές προδιαγραφές και εφαρμόζει αυστηρά μέτρα αποφυγής και ελέγχου της ρύπανσης μπορεί να επιτύχει μια αρκετά «θετική» περιβαλλοντική επίδοση (Σκορδύλης 2001).

Ως προς το κριτήριο της οικονομικής απόδοσης ( $f_1$ ), η υγειονομική ταφή επιτυγχάνει αρκετά υψηλότερη επίδοση (1,373) σε σχέση με την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού (1,190). Η διαφορά επίδοσης ( $1,373-1,190= 0,183$ ) θεωρείται αναμενόμενη, αφού η μέθοδος Υ είναι σημαντικά φθηνότερη σε σχέση με τη μέθοδο Ε. Σημειώνεται ότι, για τα ελληνικά δεδομένα, το κόστος ανά μονάδα επεξεργαζόμενου υλικού ανέρχεται για τη μέθοδο Υ σε 30 €/τόννο, τη στιγμή που το αντίστοιχο κόστος της μεθόδου Ε ανέρχεται σε 132 €/τόννο (μέσο ευρωπαϊκό κόστος περίπου 105 €/τόννο), δηλαδή το κόστος εφαρμογής της μεθόδου Ε είναι κατά 440% υψηλότερο από το κόστος εφαρμογής της μεθόδου Υ (ECOTEC 2001). Όμως, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στην Ελλάδα δεν εφαρμόζεται μέχρι τώρα φόρος για την απόθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ (landfill tax), κάτι που θα γίνει ταυτόχρονα με την ενσωμάτωση της Οδηγίας 99/31/EC (Landfill Directive) στην εθνική νομοθεσία (Bates and Haworth 2001,



ECOTEC 2001). Έτσι, στο μέλλον αναμένεται η σμίκρυνση της «ψαλίδας» στην οικονομική απόδοση μεταξύ των μεθόδων Υ και Ε, προς όφελος της δεύτερης.

Ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας και διασποράς ( $f_3$ ), η μέθοδος Υ έχει υψηλότερη επίδοση (1,082) σε σχέση με τη μέθοδο Ε (0,960). Και σ' αυτό το κριτήριο η μέθοδος Υ (υγειονομική ταφή) προτιμάται, αφού θεωρείται πιο ώριμη τεχνολογικά και παράλληλα είναι η πλέον εφαρμοσμένη διεθνώς (μεγάλη διασπορά σε παγκόσμιο επίπεδο). Η διαφορά επίδοσης είναι αισθητή ( $1,082-0,960=0,122$ ) αλλά όχι ιδιαίτερα μεγάλη, στοιχείο που υποδηλώνει την τάση που διαμορφώνεται διεθνώς και εκφράζεται με την «ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων» (waste management hierarchy). Σύμφωνα με αυτή την ιεραρχία, η διαχείριση των ΑΣΑ με απόθεση σε ΧΥΤΑ τοποθετείται στο χαμηλότερο επίπεδο. Η τάση αυτή αναμένεται ότι θα ισχυροποιηθεί στο άμεσο μέλλον:

- α) υπό τη πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνεχώς διογκώνονται (van Beukering and Brander 2001) και
- β) με την εναρμόνιση σε διεθνές επίπεδο αφενός της περιβαλλοντικής νομοθεσίας για τους ΧΥΤΑ και αφετέρου της εφαρμογής συστημάτων διαλογής και ανάκτησης υλικών από τα ΑΣΑ.

Ως προς το κριτήριο της μεταφοράς τεχνολογίας ( $f_4$ ) η μέθοδος Ε επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση (0,857) από τη μέθοδο Υ (0,761). Όμως η διαφορά επίδοσης ( $0,857-0,761=0,096$ ) είναι αισθητή, στοιχείο που ενδεχόμενα υποδηλώνει την τάση που επικρατεί για βελτίωση της μεταβιβασιμότητας (transferability) των τεχνολογικών εφαρμογών που αξιοποιεί η μέθοδος Ε σε σχέση με τη μέθοδο Υ. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο το γεγονός ότι η μέθοδος Ε τίθεται σε υψηλότερο επίπεδο (προτεραιότητα) από την «ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων» εν σχέση με τη μέθοδο Υ, με αποτέλεσμα να γίνονται προσπάθειες για εξεύρεση άριστων τεχνολογικών λύσεων που να μη συνεπάγονται υψηλό κόστος<sup>3</sup> και να μπορούν να εφαρμοστούν σε όποια οικονομική κλίμακα (μικρή μονάδα, μεγάλη μονάδα). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε μια παραλλαγή της μεθόδου Ε, δηλαδή στην παραγωγή εδαφοβελτιωτικού σε κλειστό αντιδραστήρα (in-vessel method) έχει επιτευχθεί σημαντική απλοποίηση στην παραγωγή των συστημάτων ελέγχου και κατ' επέκταση σημαντική μεταβιβασιμότητα (ECOTEC 2001). Βέβαια, το αρχικό κόστος εφαρμογής αυτής της μεθόδου μπορεί να είναι αρκετά υψηλό, όμως

<sup>3</sup> Ουσιαστικά ακολουθείται η αρχή της «καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας που δε συνεπάγεται υπερβολικό κόστος»-Best Available Technology Not Entailing Excessive Cost, BATNEEC.

η χρονική διάρκεια παραγωγής είναι μικρή και το παραγόμενο προϊόν είναι υψηλότερης ποιότητας, άρα επιτυγχάνει υψηλότερη τιμή πώλησης, ενώ παράλληλα παράγεται με ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα σε μια μεγάλη εγκατάσταση (large-scale plant) να ισχύουν οι οικονομίες κλίμακας και μεσοπρόθεσμα η μέθοδος να αποδεικνύεται φθηνότερη απ' ό τι αρχικά είχε εκτιμηθεί. Από την άποψη διάδοσης της μεθόδου στην ελληνική αγορά, θεωρείται ότι η μέθοδος E έχει πολύ καλές προοπτικές, δεδομένου ότι δεν τυγχάνει εφαρμογής μέχρι σήμερα. Άλλωστε, αν ληφθεί υπόψη ότι η μέθοδος Y δεν έχει προοπτικές εξέλιξης (Οδηγία 99/31/EC) τότε η εφαρμογή της μεθόδου E αναμένεται ότι έχει δυνατότητα διάδοσης στην ελληνική αγορά στο κοντινό μέλλον.

Σε σχέση με το κριτήριο της αξιοπιστίας ( $f_5$ ), η μέθοδος Y έχει υψηλότερη επίδοση (0,882) σε σχέση με τη μέθοδο E (0,805). Η διαφορά επίδοσης (0,882-0,805=0,077) είναι μικρή. Σημειώνεται ότι η μέθοδος Y έχει απόδοση 100% σε σχέση με τις εισερχόμενες ποσότητες ΑΣΑ, ενώ η μέθοδος E, παρά το ότι έχει εφαρμογή για το οργανικό τμήμα των ΑΣΑ και έχει απόδοση περίπου 65-80%<sup>4</sup>, εντούτοις θεωρείται ως αρκετά αξιόπιστη. Επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία σύστασης των ΑΣΑ που διαθέτουν αρκετοί φορείς και περιέχονται σε σχετικές μελέτες, η συμμετοχή των οργανικών υλικών στη σύσταση των ΑΣΑ είναι διαχρονικά αυξανόμενη, στοιχείο που υποδηλώνει τη σταθερότητα τροφοδοσίας σε πρώτη ύλη (EPA 1998, World Bank 1999).

Συνοπτικά οι διαφορές επίδοσης στα κριτήρια καθώς και η συνολική διαφορά της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων Y και E παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Κριτήριο	Y	E
$f_2$	-0,019	+0,019
$f_1$	+0,183	-0,183
$f_3$	+0,122	-0,122
$f_4$	-0,096	+0,096
$f_5$	+0,077	-0,077
Άθροισμα	<b>+0,267</b>	<b>-0,267</b>

Από τις παραπάνω συγκρίσεις και τον πίνακα των διαφορών επίδοσης προκύπτει ότι για το σύνολο των κριτηρίων η μέθοδος Y είναι προτιμότερη (preferred) έναντι της μεθόδου E, δηλαδή  $Y > E$ .

<sup>4</sup> Το άνω ποσοστό (80%) επιτυγχάνεται στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου in-vessel και αφού έχει προηγηθεί σχολαστική ανάκτηση υλικών όπως μέταλλα, ανόργανα κ.α.



## 2. Υγειονομική ταφή σε σύγκριση με Αναερόβια αποσύνθεση (Y-A)

Ως προς το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος, της συμβολής στη μακροπρόθεσμη ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, περιλαμβανομένου του περιβάλλοντος ( $f_2$ ) (environmental sustainability), η μέθοδος A έχει υψηλότερη επίδοση (1,602) συγκρινόμενη με τη μέθοδο Y (1,562), παρά το ότι η διαφορά επίδοσης ( $1,602 - 1,562 = 0,040$ ) είναι σχετικά μικρή. Αυτό κατά μεγάλο μέρος οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της αναερόβιας αποσύνθεσης του παλαιόχαρτου εφημερίδων για παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων προκαλεί μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (σε όρους υγρής και αέριας ρύπανσης), ενώ παράλληλα είναι μέθοδος που «υποστηρίζεται» από την «ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων» (δηλαδή τοποθετείται σε υψηλότερο επίπεδο), πληροί τις διατάξεις και τις υποχρεώσεις που απορρέουν από την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία (π.χ. Οδηγία 99/31/EC) και παράλληλα συμμορφώνεται με την αρχή για εφαρμογή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας που δε συνεπάγεται υπερβολικό κόστος (BATNEEC) σε σχέση προς τη μέθοδο Y (ECOTEC 2001). Σημειώνεται ότι, η διαφορά επίδοσης μεταξύ των μεθόδων Y και A (0,040) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη διαφορά επίδοσης μεταξύ των μεθόδων Y-E (0,019), για το ίδιο κριτήριο ( $f_2$ ). Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι απαιτείται κατάλληλη διαχείριση των παραπροϊόντων της μεθόδου A (κομποστοποίηση του οργανικού υπολείμματος και κατάλληλη διάθεση του υγρού υπολείμματος) για την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κάτι που δεν ισχύει στο ίδιο βαθμό για τη μέθοδο E.

Ως προς το κριτήριο της οικονομικής απόδοσης ( $f_1$ ), η υγειονομική ταφή επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση (1,373) σε σχέση με την αναερόβια αποσύνθεση (1,239). Σχετικά με το κόστος ανά μονάδα επεξεργαζόμενου υλικού, αναφέρεται ότι σε ευρωπαϊκό επίπεδο ανέρχεται, κατά μέσο όρο, σε 70 €/τόννο (ECOTEC 2001). Επειδή η μέθοδος A δεν εφαρμόζεται στη διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα, το κόστος εφαρμογής για τη μέθοδο A ειδικά για τα ελληνικά δεδομένα, εκτιμάται ότι θα ανέρχεται στα 80 €/τόννο<sup>5</sup>, τη στιγμή που το αντίστοιχο κόστος για την εφαρμογή της μεθόδου Y ανέρχεται σε 30 €/τόννο (ECOTEC 2001). Δηλαδή η μέθοδος A έχει κατά 270% υψηλότερο κόστος εφαρμογής σε σχέση με τη μέθοδο Y. Αν στην σύγκριση

<sup>5</sup> Επειδή όπως προκύπτει από σχετική μελέτη (ECOTEC 2001) η μέθοδος A δεν εφαρμόζεται στην Ελλάδα, για υπάρξει μέτρο σύγκρισης της οικονομικής απόδοσης, ως κόστος εφαρμογής της μεθόδου A, λαμβάνεται το μέσο κόστος εφαρμογής της μεθόδου A στην Ευρώπη, προσαυξημένο κατά 15%, αφού αναμένεται ότι σε πρώτη εφαρμογή η μέθοδος θα κοστίζει σχετικά περισσότερο από το μέσο όρο σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Δηλαδή θα είναι  $70 \text{ €/τόννο} + 15\% = 80 \text{ €/τόννο}$ .

αυτή όπως και σε προηγούμενη (Y-E στο κριτήριο  $f_1$ ), ληφθεί υπόψη ότι στην Ελλάδα δεν εφαρμόζεται φόρος για την απόθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ (landfill tax), κάτι που θα γίνει ταυτόχρονα με την ενσωμάτωση της Οδηγίας 99/31/EC (Landfill Directive) στην εθνική νομοθεσία (Bates and Haworth 2001, ECOTEC 2001), τότε γίνεται αντιληπτό ότι στο άμεσο μέλλον η «ψαλίδα» στην οικονομική απόδοση μεταξύ των μεθόδων Y και A, θα μικρύνει αρκετά προς όφελος της δεύτερης μεθόδου.

Η διαφορά επίδοσης ( $1,373-1,239=0,134$ ) είναι αισθητή, αλλά είναι μικρότερη της αντίστοιχης διαφοράς μεταξύ των μεθόδων Y και E ( $0,183$ ). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μέρος των παραπροϊόντων της μεθόδου A μπορούν να πωληθούν, μετά από κατάλληλη διαδικασία και να αποτελέσουν πηγή εσόδων, κάτι που δεν ισχύει για τη μέθοδο E.

Ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας και διασποράς ( $f_3$ ), η μέθοδος Y έχει υψηλότερη επίδοση ( $1,082$ ) σε σχέση με τη μέθοδο A ( $0,979$ ). Η μέθοδος Y (υγειονομική ταφή) προτιμάται έναντι της μεθόδου A, αφού -και στην περίπτωση αυτή- θεωρείται πιο ώριμη τεχνολογικά και παράλληλα είναι η πλέον εφαρμοσμένη σε διεθνές επίπεδο (μεγάλη διασπορά σε παγκόσμιο επίπεδο). Η διαφορά επίδοσης είναι σχετικά μικρή ( $1,082-0,979=0,103$ ), ελαφρώς μικρότερη της αντίστοιχης διαφοράς μεταξύ των μεθόδων Y και E ( $0,122$ ) στο ίδιο κριτήριο. Αυτό οφείλεται στο ότι η μέθοδος A είναι γνωστή και ώριμη, χωρίς να αποκλείεται η περαιτέρω βελτίωση ή η εξέλιξή της και μάλιστα η μικρότερη διαφορά υποδηλώνει ότι τυγχάνει μεγαλύτερης διασποράς σε διεθνές επίπεδο, κάτι που επικυρώνεται από μελέτες παραγωγής βιοαερίου από ΑΣΑ (Bates and Haworth 2001, Smith et al. 2001) αλλά και τις καθημερινές εφαρμογές χρήσης του βιοαερίου τόσο σε βιομηχανικό (CADDET 1994) όσο και σε αστικό-οικιακό επίπεδο (Reddy, Rajabaraiah and Somasekhar 1995).

Ως προς το κριτήριο της μεταφοράς τεχνολογίας ( $f_4$ ) η μέθοδος A επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση ( $0,812$ ) από τη μέθοδο Y ( $0,761$ ). Η διαφορά επίδοσης ( $0,812-0,761=0,051$ ) είναι σχετικά μικρή, αλλά όμως μικρότερη της αντίστοιχης διαφοράς επίδοσης μεταξύ των μεθόδων E και Y ( $0,096$ ) και αυτό ενδεχομένως να οφείλεται κύρια στο γεγονός ότι η μέθοδος A είναι τεχνολογικά ώριμη (βλ. κεφ. 7, παραγρ. 7.3.1) όπως και η μέθοδος Y. Όμως, επειδή η μέθοδος A δεν εφαρμόζεται στη διαχείριση των απορριμμάτων και δη του παλαιόχαρτου εφημερίδων στην Ελλάδα,



θεωρείται ότι υπάρχουν προοπτικές σχετικά με τη δυνατότητα διάδοσης της μεθόδου στην ελληνική αγορά (ECOTEC 2001).

Ως προς το κριτήριο της αξιοπιστίας ( $f_5$ ), η μέθοδος Y έχει υψηλότερη επίδοση (0,882) σε σχέση με τη μέθοδο A (0,760). Η διαφορά επίδοσης (0,882-0,760=0,122) είναι αισθητή, γεγονός που κατά κύριο λόγο οφείλεται στην μικρή απόδοση της μεθόδου A (απόδοση σε βιοαέριο περίπου 15% της εισερχόμενης ποσότητας υλικών) και στα μικρά περιθώρια βελτίωσής της (η ποσοτική και ποιοτική παραγωγή βιοαερίου εξαρτάται από τα υλικά που αποσυντίθενται, βλ. κεφ.7), τη στιγμή που η μέθοδος Y έχει απόδοση 100%. Τέλος, ενώ είναι φανερό ότι η μέθοδος A έχει μεγάλη εξάρτηση από τη διακύμανση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης, στην προκειμένη περίπτωση, δηλαδή στην αναερόβια αποσύνθεση του παλαιόχαρτου εφημερίδων για παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων, γίνεται αποδεκτό ότι η πρώτη ύλη είναι σχετικά ομοιογενής, δηλαδή δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά της και συνεπώς εξασφαλίζεται σταθερότητα στα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος (βιοαερίου) καθώς και των παραπροϊόντων.

Συνοπτικά οι διαφορές επίδοσης στα κριτήρια καθώς και η συνολική διαφορά της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων Y και A παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Κριτήριο	Y	A
$f_2$	-0,041	0,041
$f_1$	0,135	-0,135
$f_3$	0,103	-0,103
$f_4$	-0,051	0,051
$f_5$	0,122	-0,122
Άθροισμα	<b>0,268</b>	<b>-0,268</b>

Από τις παραπάνω συγκρίσεις και τον πίνακα των διαφορών επίδοσης προκύπτει ότι για το σύνολο των κριτηρίων η μέθοδος Y είναι προτιμότερη (preferred) έναντι της μεθόδου A, δηλαδή  $Y > A$ .

### 3. Υγειονομική ταφή σε σύγκριση με παραγωγή Βιοαιθανόλης (Y-B)

Ως προς το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος, της συμβολής στη μακροπρόθεσμη ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, περιλαμβανομένου του περιβάλλοντος ( $f_2$ ) (environmental sustainability), η μέθοδος B έχει υψηλότερη επίδοση (1,624) συγκρινόμενη με τη μέθοδο Y (1,562). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος B έχει σαφώς μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τη μέθοδο Y. Ισχύει δηλαδή και εδώ ότι η μέθοδος B ρυπαίνει πολύ λιγότερο σε σχέση με τη μέθοδο Y και επιπλέον πληροί τις διατάξεις της ισχύουσας περιβαλλοντικής νομοθεσίας αλλά και συμμορφώνεται προς την αρχή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας που δε συνεπάγεται υπερβολικό κόστος (BATNEEC).

Η διαφορά επίδοσης ( $1,624-1,562=0,062$ ) μεταξύ των μεθόδων B και Y, είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες διαφορές μεταξύ των μεθόδων Y-E (0,019) και Y-B (0,041) αντίστοιχα. Μια ερμηνεία για τη μεγαλύτερη διαφορά είναι κυρίως το γεγονός των θετικών περιβαλλοντικών συνεπειών (περιβαλλοντικά οφέλη) που συνδέονται με τη χρήση της βιοαιθανόλης, είτε ως καυσίμου (neat fuel) είτε ως ETBE (ethyl tertio butyl ether) δηλαδή ως πρόσθετο καυσίμου (fuel additive), όπως άλλωστε προκύπτει από σωρεία σχετικών μελετών (Bergeron and Riley 1991, European Commission 1994, McMillan 1996, Gregg, Boussaid and Saddler 1998, Zaldivar et al. 2001, Zybraeva et al. 2001 Enguídanos et al. 2002, Pérez et al. 2002), αλλά και μερικές από τις φυσικές ιδιότητές της όπως επί παραδείγματι η μεγάλη βιοδιασπασιμότητά της και η διαλυτότητά της στο νερό, στοιχεία που της δίνουν μια πολύ καλή περιβαλλοντική επίδοση.

Ως προς το κριτήριο της οικονομικής απόδοσης ( $f_1$ ), η υγειονομική ταφή επιτυγχάνει πολύ υψηλότερη επίδοση (1,373) σε σχέση με την παραγωγή βιοαιθανόλης (0,9837). Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο πολύ υψηλό κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης, το οποίο για την Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμήθηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ 358 και 386 €/τόννο υλικού (βλ. κεφ. 7, παραγρ. 7.5.2.1), τη στιγμή που το κόστος της μεθόδου Y κυμαίνεται μεταξύ 9-147 €/τόννο επεξεργαζόμενου υλικού (ECOTEC 2001). Αυτό απεικονίζεται εύγλωττα στη διαφορά επίδοσης ( $1,373-0,9837=0,3893$ ) που είναι σημαντικά μεγάλη.

Ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας και διασποράς ( $f_3$ ), η μέθοδος Y έχει υψηλότερη επίδοση (1,082) σε σχέση με τη μέθοδο B (0,783). Αυτό είναι επόμενο, διότι η παραγωγή βιοαιθανόλης χαρακτηρίζεται κυρίως από την



περιορισμένη γεωγραφική διασπορά της<sup>6</sup> και από την εξελισσόμενη (μη ώριμη) τεχνολογία της (McMillan 1996, Zaldivar et al. 2001, Enguidanos et al. 2002), ενώ για την τεχνολογική ωριμότητα και τη διασπορά της μεθόδου Y δεν υφίσταται τέτοια κατάσταση.

Ως προς το κριτήριο της μεταφοράς τεχνολογίας ( $f_4$ ) η μέθοδος B έχει υψηλότερη επίδοση (0,929) σε σχέση με τη μέθοδο Y (0,761). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος B είναι τεχνολογικά εξελισσόμενη, στοιχείο που συνδέεται με τη μεταφορά τεχνολογίας και γνώσης. Η διαφορά επίδοσης μεταξύ των μεθόδων B και Y ( $0,929 - 0,761 = 0,168$ ) είναι πολύ σημαντική και αυτό συνδέεται με τις εξαιρετικές προοπτικές που υπάρχουν για τη δυνατότητα διάδοσης της μεθόδου στην ελληνική αγορά, αφού από τη μια πλευρά η χώρα μας είναι έντονα εισαγωγική σε πετρέλαιο και γενικά σε συμβατικά καύσιμα και θα πρέπει να εντείνει τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αγορά της (PAE<sup>7</sup> 2002) και από την άλλη σημαντικές ποσότητες λιγνοκυτταρικών υλικών (παλαιόχαρτο, γεωργικά υπολείμματα, δασικά υπολείμματα κ.α.) παραμένουν αναξιοποίητες ή διατίθενται σε λανθασμένες περιβαλλοντικά χρήσεις (όπως καύση χωρίς ανάκτηση ενέργειας). Μια τέτοια προοπτική, για διάδοση εφαρμογής της μεθόδου B στην ελληνική αγορά, θα μπορούσε να μετασχηματιστεί σε πραγματικότητα υπό κατάλληλες προϋποθέσεις, όπως είναι η αναθεώρηση του θεσμικού και νομικού πλαισίου για τα συμβατικά καύσιμα, η οικονομική ενίσχυση ή καλύτερα η μείωση της φορολόγησης της παραγωγής βιοαιθανόλης και γενικά επίδότηση της χρήσης βιοκαυσίμων (π.χ. οικονομική ενίσχυση των αγροτών που χρησιμοποιούν βιοντίζελ).

Ως προς το κριτήριο της αξιοπιστίας ( $f_5$ ), η μέθοδος Y έχει υψηλότερη επίδοση (0,882) έναντι της μεθόδου B (0,723). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος B έχει απόδοση σε βιοαιθανόλη που ανέρχεται σε 30% (παράγονται 290-300 κιλά αιθανόλης ανά τόνο παλαιόχαρτου) συγκριτικά αρκετά μικρότερη από την απόδοση της μεθόδου Y (100%). Όμως η κύρια αιτία για αυτή τη διαφορά επίδοσης ( $0,882 - 0,723 = 0,159$ ) πιστεύεται ότι είναι η ευαισθησία της μεθόδου στις έντονες διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης. Αυτό εξηγείται περαιτέρω λόγω της μεταβλητότητας που υπάρχει στη σύσταση των ΑΣΑ σε λιγνοκυτταρικά υλικά (εποχιακή διακύμανση) όσο κυρίως στην αβεβαιότητα σχετικά με την επάρκεια

<sup>6</sup> Το 64% περίπου της παγκόσμιας ποσότητας βιοαιθανόλης παράγεται στη Βραζιλία (43,3%) και τις ΗΠΑ (20,5%), στοιχείο που αν μη τι άλλο δείχνει περιορισμένη γεωγραφική διασπορά.

<sup>7</sup> Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ([www.rae.gr](http://www.rae.gr))

τροφοδοσίας σε πρώτη ύλη, αφού για πολλά υλικά τροφοδοσίας (π.χ. γεωργικά υπολείμματα) υπάρχουν άλλες χρήσεις (π.χ. κομποστοποίηση) ανταγωνιστικές της παραγωγής βιοαιθανόλης.

Συνοπτικά οι διαφορές επίδοσης στα κριτήρια καθώς και η συνολική διαφορά της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων Y και B παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Κριτήριο	Y	B
$f_2$	-0,063	0,063
$f_1$	0,390	-0,390
$f_3$	0,299	-0,299
$f_4$	-0,168	0,168
$f_5$	0,158	-0,158
Άθροισμα	<b>0,617</b>	<b>-0,617</b>

Από τις παραπάνω συγκρίσεις και τον πίνακα των διαφορών επίδοσης προκύπτει ότι για το σύνολο των κριτηρίων η μέθοδος Y είναι απολύτως προτιμότερη (strictly preferred) έναντι της μεθόδου B, δηλαδή  $Y > B$ .



#### 4. Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού σε σύγκριση με Αναερόβια αποσύνθεση (E-A)

Ως προς το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος, δηλαδή της περιβαλλοντικής αειφορικότητας ( $f_2$ ) η μέθοδος Α έχει ελαφρώς υψηλότερη επίδοση (1,602) σε σχέση με τη μέθοδο Ε (1,581). Αυτό φαίνεται να εξηγείται εν μέρει από τα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη που συνδέονται με τις μεθόδους αυτές. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος Α θεωρείται ότι έχει μεγαλύτερα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη, αφού το παραγόμενο βιοαέριο αντικαθιστά τα συμβατικά καύσιμα στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής τους είτε αφορά βιομηχανική χρήση (CADDET 1994), είτε αστική-οικιακή χρήση (Reddy, Rajabaraiah and Somasekhar 1995). Το στοιχείο αυτό είναι που δίνει υψηλότερη επίδοση στη μέθοδο Α κατά  $(1,601-1,581)=0,021$  βαθμούς, αφού κατά τα άλλα και οι δύο μέθοδοι Α και Ε θεωρούνται ότι σε γενικές γραμμές έχουν αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ως προς το κριτήριο της οικονομικής απόδοσης ( $f_1$ ), η μέθοδος Α έχει υψηλότερη επίδοση (1,239) σε σχέση με την μέθοδο Ε (1,190). Η εξήγηση της διαφοράς επίδοσης  $(1,239-1,190=0,049)$  είναι ξεκάθαρη, αφού η οικονομική απόδοση, δηλαδή το κόστος ανά μονάδα μάζας του επεξεργαζόμενου υλικού, για τα ελληνικά δεδομένα έχει εκτιμηθεί σε 80 €/τόννο για τη μέθοδο Α, ενώ για τη μέθοδο Ε ανέρχεται σε 132 €/τόννο (ECOTEC 2001). Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος Α είναι οικονομικότερη κατά 65% έναντι της μεθόδου Ε, για την ίδια ποσότητα επεξεργαζόμενου υλικού. Σημειώνεται ότι αν λαμβάνονταν υπόψη από τους εμπειρογνώμονες τα έσοδα από πώληση των παραπροϊόντων της μεθόδου Α που αναφέρονται σε ορισμένες επιτυχείς εφαρμογές (Bates and Haworth 2001, ECOTEC 2001) τότε ενδέχεται η επίδοση της μεθόδου Α στο συγκεκριμένο κριτήριο να ήταν ακόμα μεγαλύτερη έναντι της αντίστοιχης επίδοσης της μεθόδου Ε.

Ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας και διασποράς ( $f_3$ ), η μέθοδος Α έχει μεγαλύτερη επίδοση (0,979) σε σχέση με τη μέθοδο Ε (0,960). Αυτό οφείλεται εν μέρει στο ότι η αναερόβια αποσύνθεση είναι πιο ώριμη τεχνολογικά και έχει μεγαλύτερη διασπορά εφαρμογής μέσω των περισσότερων χρήσεων που έχει το βιοαέριο σε σχέση με τη μέθοδο Ε. Όμως, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός των επιτυχημένων και συνεχώς επεκτεινόμενων εφαρμογών της παραγωγής εδαφοβελτιωτικού, τότε γίνεται σαφές το γιατί η διαφορά επιδόσεων  $(0,979-0,960=0,019)$  είναι πολύ μικρή υπέρ της μεθόδου Α.

Ως προς το κριτήριο της μεταφοράς τεχνολογίας ( $f_4$ ) η μέθοδος Ε έχει υψηλότερη επίδοση (0,857) σε σχέση με τη μέθοδο Α (0,812). Αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός

ότι η τεχνολογία που απασχολείται στην εφαρμογή της μεθόδου E (καθώς και των παραλλαγών της) είναι σε όλες τις περιπτώσεις μεταβιβάσιμη ανεξαρτήτως κλίμακας εφαρμογής (μικρή, μεγάλη μονάδα), κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στην περίπτωση της μεθόδου A, στην εφαρμογή της οποίας η τεχνολογία που χρησιμοποιείται μπορεί να εξειδικεύεται ανάλογα με το μέγεθος και το σκοπό επένδυσης (π.χ. άλλη και συνήθως απλή τεχνολογία απαιτείται για μια μικρή μονάδα παραγωγής βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα, ενώ άλλη και συνήθως πιο περίπλοκη τεχνολογία απαιτείται για την παραγωγή βιοαερίου από διαφορετικές πηγές αποβλήτων). Επίσης, ένα σχετικό προβάδισμα στη μέθοδο E αναφορικά με τη δυνατότητα διάδοσής της στην ελληνική αγορά, ως καταλληλότερης μεθόδου ειδικά για την αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων που δεν δύναται να ανακυκλωθεί περαιτέρω, δίνουν οι ειδικότερες κλιματικές συνθήκες. Σ' αυτή τη θεώρηση συνηγορεί εξάλλου ότι το ξηροθερμικό κλίμα των παραμεσόγειων χωρών σε συνδυασμό με την έλλειψη μονάδων κομποστοποίησης αναμένεται να διαμορφώσουν υψηλότερη τιμή πώλησης σε σχέση με την εσωτερική αγορά εδαφοβελτιωτικού που παράγεται σε βόρειες χώρες, στοιχείο που αναφέρεται σε σχετική μελέτη για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Bates and Haworth 2001).

Ως προς το κριτήριο της αξιοπιστίας ( $f_2$ ), η μέθοδος E επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση (0,805) σε σχέση με τη μέθοδο A (0,760). Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι η μέθοδος E παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση σε προϊόν (65-80% των επεξεργαζόμενων ποσοτήτων οργανικών υλικών) σε σχέση με τη μέθοδο A, η απόδοση της οποίας σε βιοαέριο ανέρχεται στο 15% της εισερχόμενης ποσότητας οργανικής ύλης. Ακόμη, όπως τονίστηκε σε προηγούμενη σύγκριση στο ίδιο κριτήριο (Y-A), η μέθοδος της αναερόβιας αποσύνθεσης είναι αρκετά έως πολύ ευαίσθητη και εξαρτάται από τη διακύμανση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης, κάτι που όμως δε φαίνεται να ισχύει στην περίπτωση της αναερόβιας αποσύνθεσης του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Συνοπτικά οι διαφορές επίδοσης στα κριτήρια καθώς και η συνολική διαφορά της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων E και A παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.



Κριτήριο	<b>E</b>	<b>A</b>
$f_2$	-0,022	0,022
$f_1$	-0,049	0,049
$f_3$	-0,019	0,019
$f_4$	0,046	-0,046
$f_5$	0,045	-0,045
<b>Άθροισμα</b>	<b>0,001</b>	<b>-0,001</b>

Από τις παραπάνω συγκρίσεις και τον πίνακα των διαφορών επίδοσης προκύπτει ότι για το σύνολο των κριτηρίων η μέθοδος E είναι μάλλον αδιάφορη (indifferent) έναντι της μεθόδου A, δηλαδή  $E \geq A$ .

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

##### 5. Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού σε σύγκριση με την παραγωγή Βιοαιθανόλης (E-B)

Ως προς το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος, δηλαδή της περιβαλλοντικής αειφορικότητας ( $f_2$ ), η μέθοδος Β λαμβάνει υψηλότερη επίδοση (1,624) έναντι της μεθόδου Ε (1,581). Η διαφορά επίδοσης (1,624-1,571=) 0,043 υπέρ της μεθόδου Β είναι μικρή και οφείλεται κυρίως στο ότι η εφαρμογή της μεθόδου Β γίνεται με περιβαλλοντικά φιλικότερο τρόπο σε σχέση με την εφαρμογή της μεθόδου Ε. Πράγματι, η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης με ζύμωση παλαιόχαρτου εφημερίδων χαρακτηρίζεται από ελάχιστη ρύπανση, αφού αφενός το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) συλλέγεται και χρησιμοποιείται σε άλλες χρήσεις όπως στην παραγωγή ανθρακούχων αναψυκτικών, ως ψυκτικό μέσο κ.λπ. και αφετέρου η συλλεγόμενη λιγνίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο σε μονάδες τηλεθέρμανσης ακόμη και σε κατάλληλους καυστήρες οικιακής θέρμανσης (Enguídanos et al. 2002).

Ως προς το κριτήριο της οικονομικής απόδοσης ( $f_1$ ), η μέθοδος Ε έχει υψηλότερη επίδοση (1,190) έναντι της μεθόδου Β (0,9837). Η διαφορά επίδοσης (1,190-0,9837=) 0,2063 υπέρ της μεθόδου Ε είναι πολύ μεγάλη. Είναι ξεκάθαρο ότι η οικονομική απόδοση της παραγωγής εδαφοβελτιωτικού σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχει κόστος που κυμαίνεται από 25-185 €/τόννο επεξεργαζόμενης πρώτης ύλης, που βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα του αντίστοιχου κόστους της μεθόδου Β που κυμαίνεται μεταξύ 358 μέχρι 386 €/τόννο επεξεργαζόμενης πρώτης ύλης.

Ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας και διασποράς ( $f_3$ ), η μέθοδος Ε παρουσιάζει υψηλότερη επίδοση (0,960) έναντι της μεθόδου Β (0,783). Αυτή η διαφορά επιδόσεων (0,177) υπέρ της μεθόδου Ε, κρίνεται ως αναμενόμενη, αφού όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (βλέπε τη σύγκριση Υ-Β για το ίδιο κριτήριο) η παραγωγή βιοαιθανόλης χαρακτηρίζεται κυρίως από την περιορισμένη γεωγραφική διασπορά της και τη μη ώριμη τεχνολογία, στοιχεία που δεν φαίνεται να ισχύουν, τουλάχιστον στον ίδιο βαθμό, για τη μέθοδο Ε.

Ως προς το κριτήριο της μεταφοράς τεχνολογίας ( $f_4$ ) η μέθοδος Β έχει υψηλότερη επίδοση (0,929) έναντι της μεθόδου Ε (0,857). Η διαφορά επίδοσης (0,929-0,857=) 0,072 υπέρ της μεθόδου της παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρικά υλικά εξηγείται εν μέρει από το γεγονός της εξελισσόμενης τεχνολογίας που εφαρμόζεται στη μέθοδο, στοιχείο που συνδέεται με τη μεταφορά τεχνολογίας και γνώσης. Επίσης, για τη διαφορά υπέρ της μεθόδου Β φαίνεται να συνηγορεί ο μεγάλος αριθμός χρήσεων που τυγχάνει το παραγόμενο προϊόν (αιθανόλη) συγκριτικά με τις πιο



εξειδικευμένες χρήσεις που μπορεί να έχει το εδαφοβελτιωτικό που είναι το κύριο προϊόν της μεθόδου Ε. Ακόμη, σε σχέση με τη δυνατότητα διάδοσης στην ελληνική αγορά, οι προοπτικές είναι πολύ θετικές και για τις δύο μεθόδους, με ένα μικρό προβάδισμα να δίνεται, θεωρητικά πάντα, στην παραγωγή βιοαιθανόλης. Σε αυτό το μικρό προβάδισμα συνηγορούν οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της χώρας σε ενέργεια (βλέπε εισαγωγές πετρελαίου), που έχουν ως αποτέλεσμα να εντείνονται, στον αντίποδα, οι τάσεις για μείωση της εξάρτησης από εξωτερικές πηγές ενέργειας, μέσω αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κάτι που άλλωστε αποτελεί δέσμευση της ΕΕ στη λεγόμενη Λευκή Βίβλο (White Book, 1997).

Ως προς το κριτήριο της αξιοπιστίας ( $f_2$ ), η μέθοδος Ε επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση (0,805) σε σχέση με τη μέθοδο Β (0,723). Η διαφορά επίδοσης (0,805-0,723=) 0,082 υπέρ της μεθόδου Ε, οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεγαλύτερη απόδοσή της σε προϊόν (65-80%), σε σχέση με τη μέθοδο Β (περίπου 30%) για την ίδια ποσότητα οργανικού υλικού. Το υπόλοιπο μέρος της διαφοράς αυτής, οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος Β εξαρτάται έντονα από τη διακύμανση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης, στοιχείο που συνδέεται με μικρότερη αξιοπιστία. Συνοπτικά οι διαφορές επίδοσης στα κριτήρια καθώς και η συνολική διαφορά της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων Ε και Β παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Κριτήριο	Ε	Β
$f_2$	-0,044	0,044
$f_1$	0,206	-0,206
$f_3$	0,177	-0,177
$f_4$	-0,072	0,072
$f_5$	0,082	-0,082
Άθροισμα	<b>0,350</b>	<b>-0,350</b>

Από τις παραπάνω συγκρίσεις και τον πίνακα των διαφορών επίδοσης προκύπτει ότι για το σύνολο των κριτηρίων η μέθοδος Ε είναι προτιμότερη (preferred) έναντι της μεθόδου Β, δηλαδή  $E > B$ .

## 6. Αναερόβια αποσύνθεση σε σύγκριση με την παραγωγή Βιοαιθανόλης (A-B)

Ως προς το κριτήριο με το μεγαλύτερο βάρος, δηλαδή της περιβαλλοντικής αιφορικότητας ( $f_2$ ), η μέθοδος B λαμβάνει υψηλότερη επίδοση (1,624) έναντι της μεθόδου A (1,602). Αυτό εν μέρει οφείλεται στο ότι η εφαρμογή της μεθόδου B φαίνεται συνδέεται με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τη μέθοδο A και δεν πρέπει να αναζητηθεί στα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη, αφού από την εφαρμογή και των δύο μεθόδων τα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη είναι ανάλογα (κοινός παρονομαστής η μερική ή ολική αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων). Η πολύ μικρή διαφορά επίδοσης (1,624-1,602=) 0,022 υπέρ της μεθόδου B, τελικά ερμηνεύεται με βάση την ανάγκη διαχείρισης των παραπροϊόντων της μεθόδου A ώστε να αποφευχθούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις (οργανικό υπόλειμμα και υγρό υπόλειμμα) και κυρίως το γεγονός ότι, έστω και ένα μικρό, μέρος τους τελικά διατίθεται στο περιβάλλον (Bates and Haworth 2001, ECOTEC 2001, Smith et al. 2001).

Ως προς το κριτήριο της οικονομικής απόδοσης ( $f_1$ ), η μέθοδος A έχει υψηλότερη επίδοση (1,239) έναντι της μεθόδου B (0,9837). Είναι προφανές, ότι το κόστος της μεθόδου A, που ανέρχεται σε 70 €/τόννο επεξεργαζόμενου υλικού, είναι σημαντικά μικρότερο του αντίστοιχου κόστους της μεθόδου B, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 358 και 386 €/τόννο, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από τη σύγκριση του κόστους προκύπτει ότι η μέθοδος A έχει οικονομική απόδοση κατά πολύ μεγαλύτερη, σε σχέση με τη μέθοδο B, για την ίδια επεξεργαζόμενη ποσότητα πρώτης ύλης.

Ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας και διασποράς ( $f_3$ ), η μέθοδος A παρουσιάζει υψηλότερη επίδοση (0,979) σε σχέση με τη μέθοδο B (0,783). Η διαφορά επίδοσης (0,979-0,783=) 0,196 υπέρ της μεθόδου A, οφείλεται στο ότι η μέθοδος A είναι τεχνολογικά ώριμη και έχει τυγχάνει σημαντικής και σχετικής ευρείας διασποράς σε παγκόσμιο επίπεδο (Bates and Haworth 2001), ενώ η μέθοδος B χαρακτηρίζεται από περιορισμένη διασπορά (συγκεντρωτική παραγωγή) στη Βραζιλία και τις ΗΠΑ, που αντιπροσωπεύουν το 64% περίπου των παγκόσμιων ποσοτήτων βιοαιθανόλης (McMillan 1996, Zaldivar et al. 2001).

Ως προς το κριτήριο της μεταφοράς τεχνολογίας ( $f_4$ ) η μέθοδος B έχει υψηλότερη επίδοση (0,929) έναντι της μεθόδου A (0,812). Η διαφορά επίδοσης (0,117) υπέρ της μεθόδου B είναι αισθητή και σαφώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη διαφορά της σύγκρισης E-B στο ίδιο κριτήριο. Αυτό αποδίδεται αφενός στο ότι η μέθοδος B είναι τεχνολογικά εξελίξιμη, στοιχείο που συνδέεται με μεταφορά τεχνολογίας, γνώσης και



με ευελιξία εφαρμογής στις ειδικότερες τοπικές συνθήκες ενώ η μέθοδος Α είναι ώριμη τεχνολογικά με περιορισμένες δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης, και αφετέρου στις πολύ καλές έως εξαιρετικές προοπτικές για τη δυνατότητα διάδοσης της μεθόδου Β στην ελληνική αγορά. Υπενθυμίζεται ότι όπως ελέχθη και αλλού, ότι από τη μια πλευρά η χώρα μας είναι έντονα εισαγωγική σε πετρέλαιο και γενικά σε συμβατικά καύσιμα και θα πρέπει να εντείνει τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αγορά της (ΡΑΕ 2002) και από την άλλη σημαντικές ποσότητες λιγνοκυτταρικών υλικών (παλαιόχαρτο απορριμμάτων, γεωργικά υπολείμματα, δασικά υπολείμματα κ.α.) παραμένουν αναξιοποίητες ή διατίθενται σε λανθασμένες περιβαλλοντικά χρήσεις (όπως καύση χωρίς ανάκτηση ενέργειας). Μια τέτοια προοπτική, για διάδοση εφαρμογής της μεθόδου Β στην ελληνική αγορά, θα μπορούσε να μετασηματοδοτηθεί σε πραγματικότητα υπό κατάλληλες προϋποθέσεις, όπως είναι η αναθεώρηση του θεσμικού και νομικού πλαισίου για τα συμβατικά καύσιμα, η οικονομική ενίσχυση ή καλύτερα η μείωση της φορολόγησης της παραγωγής βιοαιθανόλης και γενικά επιδότηση της χρήσης βιοκαυσίμων (π.χ. οικονομική ενίσχυση των αγροτών που χρησιμοποιούν βιοντίζελ). Εξάλλου, ένα σημαντικό στοιχείο που δίνει υψηλότερη επίδοση στη μέθοδο Β στο εν λόγω κριτήριο ( $f_4$ ) φαίνεται ότι είναι οι σαφώς περισσότερες χρήσεις του παραγόμενου προϊόντος (αιθανόλη) από τη μέθοδο Β αφού αυτό χρησιμοποιείται σε μεγάλο εύρος χρήσεων, έναντι του παραγόμενου βιοαερίου και των παραπροϊόντων (οργανικό υπόλειμμα και υγρό υπόλειμμα) που παράγονται από την εφαρμογή της μεθόδου Α.

Ως προς το κριτήριο της αξιοπιστίας ( $f_5$ ), η μέθοδος Α επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση (0,760) έναντι της μεθόδου Β (0,723). Η μικρή διαφορά (0,037) υπέρ της μεθόδου Α, οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν έχουν την ίδια ευαισθησία στη διακύμανση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης, αφού η μέθοδος Α μπορεί να επεξεργάζεται υλικά που προέρχονται από διαφορετικές πηγές χωρίς να απαιτούνται διαφορετικές εγκαταστάσεις για κάθε υλικό, δηλαδή στην ίδια εγκατάσταση μπορεί να γίνεται προμήθεια αποβλήτων από πολλές και διαφορετικές πηγές παραγωγής (Bates and Haworth 2001), σε αντίθεση με τη μέθοδο Β για την οποία αυτό ισχύει σε μικρότερο βαθμό. Η μέθοδος Β (παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση) μπορεί να επεξεργάζεται υλικά από διαφορετικές πηγές με την προϋπόθεση ότι αυτά είναι παρόμοιας σύστασης, όπως τα λιγνοκυτταρικά υλικά (υπολείμματα ξύλου, χαρτιού, πολτός σακχαρότευτλων, βλαστοί ζαχαροκάλαμου κ.λπ.) και έχουν υποστεί κατάλληλη προετοιμασία (π.χ. επεξεργασία σε διάλυμα ασθενούς οξέος) πριν από τη

ζύμωση. Στην περίπτωση που δεν γίνει κατάλληλη προετοιμασία ή χρησιμοποιηθούν πολύ ανομοιομορφα υλικά, αυτό έχει ως συνέπεια την αποτροπή (inhibition) έναρξης της ζύμωσης (Taherzadeh 1997, 1999). Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι η μέθοδος A είναι γνωστή και εφαρμόζεται ευρύτατα στην Ευρώπη, ενώ η μέθοδος B (παραγωγή βιοαιθανόλης) μόλις τα τελευταία 3 χρόνια έτυχε ουσιαστικής εφαρμογής στην Ευρωπαϊκή Ένωση (IDAE 2002) και κατά την τρέχουσα περίοδο εξετάζονται οι δυνατότητες για παραγωγή βιοαιθανόλης είτε σε νέες μονάδες (European Commission 1994) είτε με μετατροπή ορισμένων μονάδων παραγωγής βιοντιζελ<sup>8</sup> σε μονάδες παραγωγής βιοαιθανόλης (Enguidanos et al. 2002). Συνοπτικά οι διαφορές επίδοσης στα κριτήρια καθώς και η συνολική διαφορά της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων A και B παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Κριτήριο	A	B
f <sub>2</sub>	-0,022	0,022
f <sub>1</sub>	0,255	-0,255
f <sub>3</sub>	0,196	-0,196
f <sub>4</sub>	-0,117	0,117
f <sub>5</sub>	0,037	-0,037
Άθροισμα	<b>0,349</b>	<b>-0,349</b>

Από τις παραπάνω συγκρίσεις και τον πίνακα των διαφορών επίδοσης προκύπτει ότι για το σύνολο των κριτηρίων η μέθοδος A είναι προτιμότερη (preferred) έναντι της μεθόδου B, δηλαδή A>B.

Από τα αποτελέσματα των συγκρίσεων κατά ζεύγη προκύπτει ότι η κατάταξη των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, βάσει της πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόστηκε, είναι η ακόλουθη:

$Y > E, Y > A, Y > B, E \geq A, E > B, A > B.$

Η σύνθεση των αποτελεσμάτων των επιμέρους συγκρίσεων οδηγεί τελικά σε μια «συμπυκνωμένη» μορφή ή καλύτερα συνολική διατύπωση των παραπάνω επιμέρους σχέσεων μεταξύ των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων:  $Y > E \geq A > B.$

<sup>8</sup> Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοντιζελ σε παγκόσμιο επίπεδο.



## 10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ– ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η διατύπωση των συμπερασματικών προτάσεων όπως αυτές προκύπτουν από την ανάλυση και σύνθεση των αποτελεσμάτων των δύο πολυκριτηριακών αναλύσεων που έγιναν, οι οποίες παρουσιάζονται με τη μορφή των ενδεχόμενων εφικτών λύσεων που μπορούν να εφαρμοστούν στη διαχείριση του παλαιόχαρτου εφημερίδων στο νομό Αττικής.

*Σημειώνεται ότι τόσο στη διατύπωση όσον και στην αξιολόγηση των προτάσεων λαμβάνεται υπόψη α) η ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων (waste management hierarchy) και β) η συμβατότητα των επιμέρους μεθόδων στο σχεδιασμό για την αξιοποίηση του υλικού-στόχου της παρούσας εργασίας, στοιχεία που αποτελούν βασικά συστατικά της σύγχρονης αντίληψης για τη διαχείριση των ΑΣΑ.*

### 10.1. Προτάσεις με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική

Όπως τονίστηκε στην ανάλυση του αποτελέσματος, δηλαδή από τη σειρά κατάταξης των εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων που έδωσε η μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης με ασαφή λογική, στη διατύπωση προτάσεων θα χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι Β, Υ, Α και Ε.

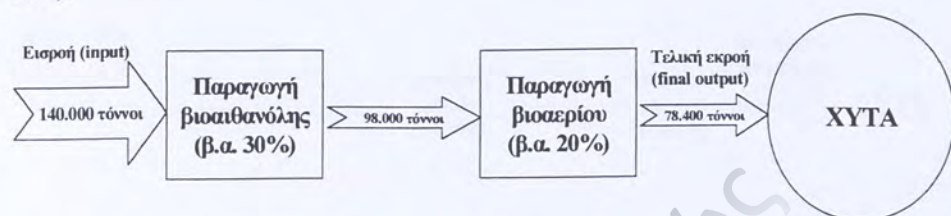
Με βάση όσα λέχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια (κεφ. 7 και 9), την αβεβαιότητα που υπεισήλθε στην ανάλυση αλλά και τις σύγχρονες τάσεις στη διαχείριση των απορριμμάτων (ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων), παρουσιάζονται στη συνέχεια τρεις (3) σχετικά διαφορετικές προτάσεις που αφορούν την επιλογή ενός συνδυασμού μεθόδων αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας και υλικών από τη διαχείριση ενός υλικού με μεγάλη συμμετοχή στο ρεύμα των αστικών στερεών απορριμμάτων όπως είναι το παλαιόχαρτο εφημερίδων.

*Από τους δυνατούς συνδυασμούς των παραπάνω μεθόδων, για το σχηματισμό των προτάσεων επιλέγονται οι συνδυασμοί Β-Α-Υ, Β-Ε-Υ και Β-Α-Ε-Υ, με τη λογική ότι τα παραπροϊόντα της μιας μεθόδου να μπορούν να αποτελέσουν υλικό τροφοδοσίας για την επόμενη της. Σημειώνεται ότι η μέθοδος Υ τοποθετείται τελευταία αφού αυτό επιβάλλει η σύγχρονη αντίληψη στη διαχείριση των ΑΣΑ.*

Επίσης, για λόγους συγκρισιμότητας και αξιολόγησης των τριών προτάσεων, θα χρησιμοποιηθεί ως ποσότητα τροφοδοσίας η ποσότητα των 140.000 τόννων ήδη ανακυκλωμένων εφημερίδων.

α) Συνδυασμός των μεθόδων B-A-Y (παραγωγή βιοαιθανόλης-παραγωγή βιοαερίου-υγειονομική ταφή)

Σχηματικά ο συνδυασμός αυτός μπορεί να παρασταθεί με το επόμενο σχήμα (Σχήμα 10.1):



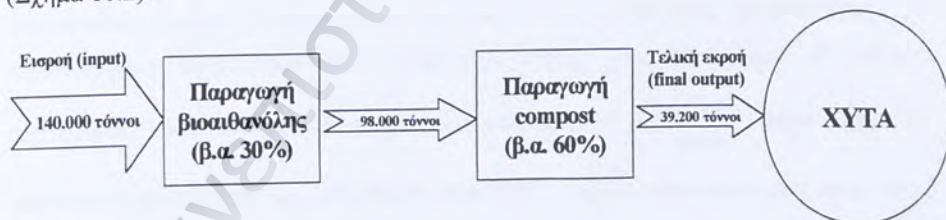
Σχήμα 10.1. Συνδυασμός των μεθόδων B, A, Y στην αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων

Figure 10.1. Combination of the B, A, Y alternatives to the utilization of old newspapers

Σημείωση: η ένδειξη β.α. είναι ο βαθμός αξιοποίησης που επιτυγχάνει κάθε μέθοδος (βλ. κεφ. 7)

β) Συνδυασμός των μεθόδων B-E-Y (παραγωγή βιοαιθανόλης-παραγωγή εδαφοβελτιωτικού-υγειονομική ταφή)

Σχηματικά ο συνδυασμός των μεθόδων μπορεί να παρασταθεί με το επόμενο σχήμα (Σχήμα 10.2):



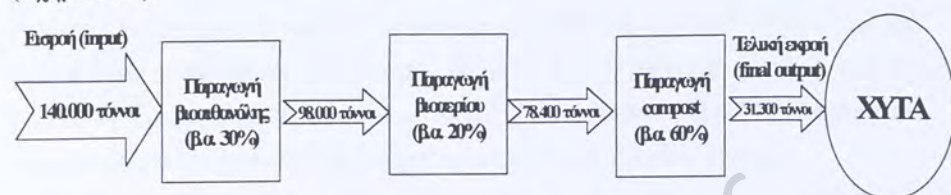
Σχήμα 10.2. Συνδυασμός των μεθόδων B, E, Y στην αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων

Figure 10.2. Combination of the B, E, Y alternatives to the utilization of old newspapers



γ) Συνδυασμός των μεθόδων Β,Α,Ε,Υ (παραγωγή βιοιθανόλης-παραγωγή βιοαερίου-παραγωγή εδαφοβελτιωτικού-υγειονομική ταφή)

Σχηματικά ο συνδυασμός των μεθόδων μπορεί να παρασταθεί με το επόμενο σχήμα (Σχήμα 10.3):



Σχήμα 10.3. Συνδυασμός των μεθόδων Β, Α, Ε, Υ στην αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων

Figure 10.3. Combination of the B, A, E, Y alternatives to the utilization of old newspapers

Παρά τη δεδομένη αβεβαιότητα της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης με ασαφή λογική, θα επιχειρηθεί να γίνει μια αξιολόγηση των παραπάνω προτάσεων ώστε να αναδειχθεί κάποια που να είναι «προτιμότερη» έναντι των άλλων.

Με την παραδοχή ότι οι παραπάνω συνδυασμοί έχουν σχεδόν αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά οφέλη, από τα παραπάνω σχήματα, γίνεται εμφανές ότι ως κριτήριο αξιολόγησης πρέπει να ληφθεί ο συνολικός βαθμός αξιοποίησης (σ.β.α.) ή διαφορετικά το κατά πόσο μειώνονται οι ποσότητες του παλαιόχαρτου εφημερίδων που διατίθενται τελικά στο περιβάλλον. Ο βαθμός

αξιοποίησης κάθε συνδυασμού λαμβάνεται από το λόγο:  $1 - \frac{\text{output}}{\text{input}}$ , όπου output: οι

ποσότητες αποβλήτων<sup>1</sup> που οδηγούνται στο ΧΥΤΑ, input: οι εισερχόμενες ποσότητες παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Έτσι, από τα σχήματα 10.1 έως 10.3 προκύπτει ότι:

α) για το συνδυασμό Β,Α,Υ ο συνολικός βαθμός αξιοποίησης ανέρχεται σε

$$1 - \frac{78.400}{140.000} = 1 - 0,56 = 0,44 \text{ ή } 44\%$$

β) για το συνδυασμό Β,Ε,Υ ο συνολικός βαθμός αξιοποίησης ανέρχεται σε

$$1 - \frac{39.200}{140.000} = 1 - 0,28 = 0,72 \text{ ή } 72\% \text{ και}$$

<sup>1</sup> Δεν πρόκειται πλέον για παλαιόχαρτο εφημερίδων αλλά για απόβλητα.

γ) για το συνδυασμό B,A,E,Y ο συνολικός βαθμός αξιοποίησης ανέρχεται σε  $1 - \frac{31.300}{140.000} = 1 - 0,22 = 0,78$  ή 78%.

Από την παραπάνω αξιολόγηση προκύπτει προβάδισμα του συνδυασμού B,A,E,Y (σ.β.α. 78%) σε σχέση με το συνδυασμό B,E,Y (σ.β.α. 72%) και το συνδυασμό B,A,Y (σ.β.α. 44%) που έρχεται τελευταίος. Δηλαδή στοιχείο που μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια ένδειξη για την προτίμηση στον ένα ή τον άλλο συνδυασμό.

Όμως λόγω της αυξημένης αβεβαιότητας της πολυκριτηριακής ανάλυσης και παρά την ύπαρξη πληροφορίας που συνηγορεί σε μια πρώτη λήψη απόφασης, ο ειδικός (μάνατζερ) οφείλει να λάβει υπόψη και άλλες πληροφορίες όπως την ανάλυση ευαισθησίας, το χρονικό ορίζοντα του σχεδιασμού, το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, την ύπαρξη ή μη αγοράς για το εν λόγω υλικό-στόχο κ.ά, η επίδραση των οποίων ενδεχομένως να τροποποιεί ή ακόμα και να μεταβάλλει την αρχικά ληφθείσα απόφαση.



## 10.2. Πρόταση με βάση την απλή πολυκριτηριακή ανάλυση

Μετά από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, τη διαμόρφωση της ιεραρχίας προτιμήσεων όπως προέκυψε από τις συγκρίσεις κατά ζεύγη, τα επιμέρους οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των μεθόδων καθώς και τα ιδιαίτερα στοιχεία που αφορούν το υλικό-στόχο της παρούσας εργασίας, στη συνέχεια προτείνεται μια ενδεχομένως υλοποιήσιμη πρόταση για τη διαχείριση του παλαιόχαρτου εφημερίδων στο νομό Αττικής.

Η σειρά προτίμησης (κατάταξη) των εναλλακτικών μεθόδων που προέκυψε από την εφαρμογή της απλής μεθοδολογίας πολυκριτηριακής ανάλυσης, είναι η ακόλουθη: Υγειονομική ταφή σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών ή/και ενέργειας (Y) > παραγωγή εδαφοβελτιωτικού με αερόβια αποσύνθεση (E) ≥ παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων με αναερόβια αποσύνθεση (A) > παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση (B), ή συνοπτικά  $Y > E \geq A > B$ . Σημειώνεται ότι δύο άλλες εναλλακτικές μέθοδοι που προτάθηκαν για την αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων, η καύση με ανάκτηση ενέργειας (K) και η παραγωγή μονοκυτταρικών πρωτεϊνών με ζύμωση (M), εξαιρέθηκαν από την περαιτέρω ανάλυση, διότι οι συνολικές επιδόσεις τους βρίσκονταν κάτω από το όριο (threshold) που τέθηκε για την περαιτέρω ανάλυση (βλ. κεφ. 9).

Από μια πρώτη παρατήρηση των συνολικών επιδόσεων, που παρουσιάζονται στον πίνακα επίδοσης των εναλλακτικών μεθόδων (βλ. κεφ. 9.3.1) γίνεται αντιληπτό ότι δύο από τις εναλλακτικές, οι μέθοδοι E και A επιτυγχάνουν σχεδόν ίση συνολική επίδοση. Από το στοιχείο αυτό συμπεραίνεται ότι πρόκειται για μεθόδους «αδιάφορες» μεταξύ τους, κάτι που συνήθως διατυπώνεται και με μια άλλη έκφραση, δηλαδή ως «μη αμοιβαία αποκλειόμενες». Το στοιχείο αυτό είναι πολύ σημαντικό και υποδηλώνει τη συμπληρωματικότητα που μπορεί να έχουν οι μέθοδοι E και A εν σχέση προς την άριστη κάθε φορά αξιοποίησή τους στο σχεδιασμό διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων και ιδιαίτερος στη διαχείριση του παλαιόχαρτου εφημερίδων.

Ερμηνεύοντας το αποτέλεσμα της ιεραρχίας προτιμήσεων και λαμβάνοντας υπόψη τα ειδικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στις συγκρίσεις κατά ζεύγη μεταξύ των εναλλακτικών μεθόδων, θεωρείται ότι η επικρατέστερη λύση για τη διαχείριση των ποσοτήτων του μη δυνάμενου περαιτέρω ανακύκλωσης παλαιόχαρτου εφημερίδων που παράγονται σε ετήσια βάση στην Αττική είναι ο συνδυασμός ενός Χώρου

Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) με σύγχρονες προδιαγραφές (ο οποίος ήδη υπάρχει στα Άνω Λιόσια Αττικής), ο οποίος θα «συνεργάζεται» με μια *ξεχωριστή μικτή εγκατάσταση (μονάδα) εγκαταστημένη εντός Αττικής<sup>2</sup>, που θα αποτελείται από δύο υπομονάδες, μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου και μια μονάδα παραγωγής εδαφοβελτιωτικού, με συνολική (αθροιστική) δυναμικότητα επεξεργασίας 240.000 τόννων κατ'έτος.*

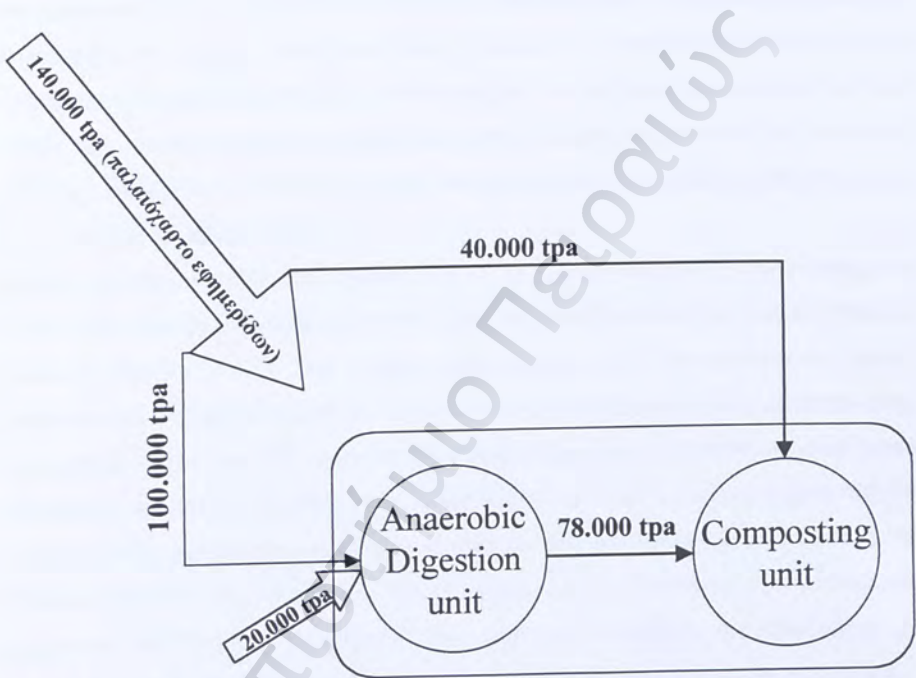
Πιο αναλυτικά, στη μια μονάδα θα γίνεται αναερόβια αποσύνθεση του παλαιόχαρτου εφημερίδων μαζί με άλλα υλικά όπως απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, γεωργικών βιομηχανιών κ.α. με στόχο την παραγωγή βιοαερίου και παραπροϊόντων. Στην άλλη μονάδα θα γίνεται η βιοσταθεροποίηση αφενός του στερεού υπολείμματος (solid digestate) και μέρους του υγρού υπολείμματος (liquid digestate) που θα προκύπτουν από τη μονάδα αναερόβιας αποσύνθεσης και αφετέρου άλλων βιοδιασπώμενων υλικών που θα ανακτώνται από το ρεύμα των ΑΣΑ όπως υπολείμματα τροφών, υπολείμματα περιποίησης κήπων και πάρκων, με στόχο την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού.

Για τον καθορισμό της δυναμικότητας επεξεργασίας κάθε μονάδας πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλά στοιχεία, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμησή της. Σε προηγούμενο κεφάλαιο (κεφ. 5) αναφέρεται ότι η διαθέσιμη ποσότητα παλαιόχαρτου εφημερίδων που διακινείται εντός του νομού Αττικής, ανέρχεται σε περίπου 140.000 τόννους κατ'έτος. Από την ποσότητα αυτή, θεωρείται ότι περίπου το 70% αυτής της ποσότητας (100.000 τόννοι) μαζί με μικρότερες ποσότητες οργανικών αποβλήτων από άλλες πηγές (κατ'εκτίμηση 20.000 τόννοι) μπορούν ν' αποτελέσουν την ποσότητα εισόδου (input) στη μονάδα αναερόβιας αποσύνθεσης. Κατά συνέπεια η *εκτιμώμενη δυναμικότητα επεξεργασίας της μονάδας αναερόβιας αποσύνθεσης ανέρχεται σε 120.000 τόννους κατ'έτος.* Η υπόλοιπη ποσότητα παλαιόχαρτου, 40.000 τόννοι, θα οδηγείται στη μονάδα παραγωγής εδαφοβελτιωτικού. Ακόμη, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το οργανικό υπόλειμμα της αναερόβιας αποσύνθεσης ανέρχεται κατά προσέγγιση στο 65% της ποσότητας εισόδου (εισροή), οπότε προκύπτει ότι προς τη μονάδα παραγωγής εδαφοβελτιωτικού θα διακινείται (εσωτερική διακίνηση στο σύστημα) μια ποσότητα εισροής περίπου 78.000 τόννων κατ'έτος. Έτσι, η *εκτιμώμενη δυναμικότητα επεξεργασίας της μονάδας*

<sup>2</sup> Σύμφωνα με μια πρώτη εκτίμηση υποψήφιας περιοχής, οι οποίες θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν μια τέτοια μικτή εγκατάσταση, μπορούν να είναι μερικές από αυτές που είχαν προταθεί σε παλαιότερη μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ για την επιλογή ΧΥΤΑ στο νομό Αττικής (ΥΠΕΧΩΔΕ 1990). Άλλωστε, είναι γνωστό ότι για την επιλογή χώρου εγκατάστασης τέτοιας μικτής μονάδας απαιτείται ξεχωριστή ειδική για το σκοπό αυτό μελέτη.



παραγωγής εδαφοβελτιωτικού ανέρχεται περίπου στους 120.000 τόννους κατ' έτος. Συνεπώς, η συνολική (αθροιστική) δυναμικότητα επεξεργασίας του συστήματος (μικτή μονάδα) προκύπτει ότι θα ανέρχεται στους 240.000 τόννους κατ' έτος. Σημειώνεται ότι κάποιες ποσότητες υλικών που προκύπτουν από τις δύο αυτές μονάδες, τα οποία δεν θα μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω, θα διατίθενται στον ΧΥΤΑ.



Σχήμα 10.4. Απεικόνιση (εξωτερικών-εσωτερικών) εισροών υλικών στο σύστημα  
 Figure 10.4. Overview of (external and internal) material inputs to the system

Στην επιλογή της παραπάνω διαμορφωθείσας επικρατέστερης λύσης-πρότασης φαίνεται να συνηγορούν και ορισμένα στοιχεία που παρατίθενται στη συνέχεια:

#### α) Οργανωτικό σχήμα (logistics)

Η συλλογή, προμήθεια και μεταφορά (logistics) των ποσοτήτων εισροής του παλαιόχαρτου εφημερίδων που γίνεται με το υπάρχον σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ είναι χωροχρονικά οργανωμένη. Θεωρείται ότι το υπάρχον σύστημα διακίνησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων, που αποτυπώθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν δημιουργεί προβλήματα αλλά αντιθέτως δύναται ν' αποτελέσει μέρος του όλου συστήματος διακίνησης των ΑΣΑ. Υπενθυμίζεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των ΑΣΑ καθώς και του παλαιόχαρτου εφημερίδων, στην Ελλάδα και συνεπώς και στο νομό Αττικής, καταλήγει στο ΧΥΤΑ χωρίς να αξιοποιείται σε εναλλακτική διαχείριση (OECD 1999, ΕΣΔΚΝΑ 2002).

Σχετικά με την ανάκτηση των υλικών από τα ΑΣΑ σημειώνεται ότι, στον υπάρχοντα ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων Αττικής λειτουργεί ήδη μια μονάδα ανάκτησης υλικών (Material Recovery Facility, MRF). Στη μονάδα αυτή μεταξύ άλλων ανακτώνται και μικρές ποσότητες παλαιόχαρτου (μεταξύ αυτού και παλαιές εφημερίδες) που αφορούν μόνο το «καθαρό» χαρτί, δηλαδή χαρτί που δεν έχει αναμιχθεί («λερωθεί») με άλλα υλικά των ΑΣΑ, οι οποίες διατίθεται σε εμπόρους παλαιόχαρτου. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το μεγαλύτερο μέρος των ποσοτήτων του παλαιόχαρτου από τα ΑΣΑ της Αθήνας οδηγείται για ταφή στο ΧΥΤΑ χωρίς να γίνεται καμία προσπάθεια για ξεχωριστή συλλογή και διαχείρισή του. Αυτές οι ποσότητες θα μπορούσαν με κατάλληλο σχεδιασμό να τροφοδοτούν τη μικτή εγκατάσταση και να μην «χάνονται».

#### β) Οικονομικότητα

Η επικρατέστερη λύση θεωρείται οικονομικά εφικτή, τόσο ως προς το κόστος υλοποίησης και λειτουργίας της όσο και ως προς την εξεύρεση των οικονομικών πόρων (χρηματοδότηση) που απαιτούνται, αφού ουσιαστικά πρόκειται για την κατασκευή της μικτή εγκατάστασης (ο ΧΥΤΑ υπάρχει και λειτουργεί στα Άνω Λιόσια).

Η μικτή εγκατάσταση ουσιαστικά αφορά την κατασκευή της μονάδας αναερόβιας αποσύνθεσης με κύριο υλικό τροφοδοσίας το παλαιόχαρτο εφημερίδων και συμπληρωματικά άλλα οργανικά υλικά από διάφορες πηγές αποβλήτων, που θα



παράγει βιοαέριο υψηλής ποιότητας<sup>3</sup> και την κατασκευή της μονάδας παραγωγής εδαφοβελτιωτικού με κύριο υλικό τροφοδοσίας τα παραπροϊόντα της αναερόβιας καθώς και ποσότητες οργανικών υλικών (υπολείμματα τροφών, περιποίησης κήπων). Η δαπάνη εγκατάστασης μιας τέτοιας μικτής μονάδας θεωρείται ότι θα είναι σαφώς μικρότερη από την αντίστοιχη συνολική δαπάνη που απαιτείται για την ξεχωριστή εγκατάσταση μονάδων αναερόβιας αποσύνθεσης και παραγωγής εδαφοβελτιωτικού ίδιας δυναμικότητας.

Έτσι, για την περίπτωση των δύο ξεχωριστών μονάδων η συνολική δαπάνη εκτιμάται σε:

- Μονάδα αναερόβιας αποσύνθεσης

$$\text{Μέγιστες εξωτερικές εισροές } 120.000 \text{ tpa}^4 \times 80\text{€ /τόννο επεξεργαζόμενο υλικό} = 9.600.000 \text{ €}$$

- Μονάδα παραγωγής εδαφοβελτιωτικού

$$\text{Μέγιστες εξωτερικές εισροές } 120.000 \text{ tpa} \times 132\text{€/τόννο επεξεργαζόμενο υλικό} = 15.840.000 \text{ €}$$

Σύνολο 25.440.000 €

Ενώ για την περίπτωση συστήματος (μικτής μονάδας) και για κόστος λίγο μεγαλύτερο από το μέσο όρο των ανωτέρω κοστών, δηλαδή για 110 €/τόννο, η συνολική δαπάνη εκτιμάται σε:

$$\text{Μέγιστες εξωτερικές εισροές συστήματος}^5 (140.000 + 20.000=) 160.000 \text{ tpa} \times 110 \text{ €/τόννο επεξεργαζόμενου υλικού} = \underline{17.600.000 \text{ €}}$$

Δηλαδή προκύπτει μια εξοικονόμηση της τάξεως των 7.480.000 €. Επιπλέον, αν συνυπολογιστούν τα έσοδα που θα προκύψουν από την πώληση των παραγόμενων προϊόντων, του βιοαερίου και του εδαφοβελτιωτικού, καθώς και η ελαχιστοποίηση του κόστους διάθεσης των παραπροϊόντων από μια τέτοια μονάδα τότε γίνεται αντιληπτό ότι μπορούν να προκύψουν σημαντικά οικονομικά οφέλη από ένα τέτοιο σύστημα.

Τέλος, σχετικά με την εξεύρεση χρηματικών πόρων για την κατασκευή και αρχική λειτουργία του συστήματος, αναφέρεται ότι οι χρηματικοί πόροι μπορεί να προέλθουν είτε από αυτοχρηματοδότηση (αν η κατασκευή και λειτουργία του συστήματος γίνει από δημόσιο φορέα ή ΟΤΑ) μέσω κατάλληλης αύξησης των τελών καθαριότητας ή με

<sup>3</sup> Υπενθυμίζεται ότι η αναερόβια αποσύνθεση του χαρτιού παράγει βιοαέριο με σύσταση μεθάνιο-διοξείδιο του άνθρακα 65-35%, αντίστοιχα.

<sup>4</sup> Tonnes per annum, tpa – τόνοι ανά έτος

<sup>5</sup> Σημειώνεται ότι για την εσωτερική ροή των 78.000 τόννων από τη μια μονάδα στην άλλη δεν απαιτείται δαπάνη, αφού αυτή έχει καταβληθεί στην είσοδο των ποσοτήτων στο σύστημα

επιβολή ειδικού τέλους (gate fee) είτε με επιδότηση μέρους της συνολικής κεφαλαιακής δαπάνης από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο Στήριξης και το υπόλοιπο μέρος, με τη σύναψη μακροπρόθεσμου και χαμηλότοκου δανείου από χρηματοπιστωτικό ίδρυμα.

#### γ) Περιβαλλοντικά, κοινωνικά και νομοθετικά οφέλη

Στα υπέρ της προτεινόμενης μονάδας, συγκαταλέγονται και κάποιες άλλες συνιστώσες που συνηγορούν στην λύση αυτή.

Πρώτον, είναι τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά οφέλη που αναμένεται ότι θα προκύψουν, αφού η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων, έστω και μεμονωμένων, έχει αποδεδειγμένα συνδεθεί με βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων (μείωση ρύπανσης, αειφορική αξιοποίηση των πόρων) σε διεθνή κλίμακα καθώς και με σημαντικά κοινωνικά οφέλη όπως δημιουργία άμεσων και έμμεσων θέσεων εργασίας τόσο στον τομέα της διαχείρισης των απορριμμάτων όσον και αλλού στην οικονομία (βλ. κεφ. 7).

Δεύτερον, είναι η νομοθετική συμβατότητα που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή των μεθόδων αναερόβιας αποσύνθεσης και παραγωγής εδαφοβελτιωτικού, δηλαδή η συμμόρφωση της χώρας με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία για τις μεθόδους διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων τόσο σε διεθνές όσον και σε επίπεδο Ε.Ε. και παράλληλα η αποφυγή επιβολής προστίμων από την Ε.Ε. για μη συμμόρφωση καθώς και η διαπόμπευσή στα διεθνή for a των εφαρμοζόμενων πρακτικών διαχείρισης των απορριμμάτων στην Ελλάδα.

Κλείνοντας, από διαχειριστική άποψη (managerial viewpoint) η λύση αυτή φαίνεται να είναι εφικτή για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης (25 έτη) που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, διότι αφενός συνδυάζει την αξιοποίηση πολλαπλής διαχείρισης ενός μεγάλου μέρους του οργανικού τμήματος των ΑΣΑ μέσω συνδυασμένης εφαρμογής μεθόδων ανάκτησης ενέργειας (βιοαέριο) και υλικών (κομπόστα) από τα ΑΣΑ και αφετέρου επιτυγχάνει την καλύτερη δυνατή ενσωμάτωσή (incorporation) της στο υπάρχον σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ στην Αττική, αναβαθμίζοντας τη λειτουργικότητά του και επιτυγχάνοντας μια υψηλότερη «επίδοση» στην προσπάθεια για αειφορικότερη διαχείριση των ΑΣΑ.



### 10.3. Συμπερασματικές παρατηρήσεις (concluding remarks)

Από την παράθεση των προτάσεων, τη διαδικασία λήψης των στοιχείων της ανάλυσης (τροποποιημένη μέθοδος DELPHI) καθώς και τις επιμέρους μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης (με ασαφή λογική και απλή) προκύπτουν ορισμένες συμπερασματικές παρατηρήσεις.

- 1) Το **παλαιόχαρτο εφημερίδων**, που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν περαιτέρω, είναι ένα υλικό το οποίο συμμετέχει σε μεγάλο βαθμό στη σύσταση των ΑΣΑ στην Αττική και μπορεί να αποτελέσει **αντικείμενο ξεχωριστού σχεδιασμού και διαχείρισης**.
- 2) Το παλαιόχαρτο εφημερίδων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να διατίθεται αναξιοποίητο στο περιβάλλον (ΧΥΤΑ), αφού στην **περαιτέρω αξιοποίησή του** συνηγορούν οι σημαντικές **φυσικές ιδιότητες** που διατηρεί όπως το θερμικό περιεχόμενο, η βιοδιασπαστικότητα καθώς και η μοναδική **χημική σύστασή του**, το καθιστούν άκρως αξιοποιήσιμο.
- 3) Η αξιοποίηση του παλαιόχαρτου εφημερίδων με εφαρμογή των μεθόδων που εξετάζονται στην παρούσα εργασία συνδέεται με σημαντικά **περιβαλλοντικά, κοινωνικά καθώς και οικονομικά οφέλη**, όπως τουλάχιστον προκύπτει από τη διεθνή εμπειρία και πρακτική.
- 4) Η **λήψη απόφασης** για την επιλογή μεθόδου αξιοποίησης του παλαιόχαρτου εφημερίδων που δεν μπορεί να ανακυκλωθεί περαιτέρω, θεωρείται ότι μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της **πολυκριτηριακής ανάλυσης**, όπως άλλωστε προκύπτει από την παρούσα εργασία.
- 5) Η **πολυκριτηριακή ανάλυση με ασαφή λογική** θεωρείται ότι δίνει μεγαλύτερη **ευχέρεια** στο λήπτη απόφασης σε σχέση με την απλή μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης, αφού **διευρύνει τα «όρια» του χώρου λήψης**

απόφασης, **επιτυγχάνει** την αξιοποίηση περισσότερων πληροφοριών, **προσεγγίζει** το πρόβλημα με όσο το δυνατόν ολιστικό τρόπο και **διαμορφώνει** ένα σύνολο δυνατών λύσεων. Δηλαδή, με την μέθοδο αυτή, σκιαγραφείται έμμεσα ο «χώρος» λήψης απόφασης και δεν «ωθείται» ο λήπτης της απόφασης σε μια και μοναδική απόφαση, αλλά «καλείται» να εντοπίσει την κάθε φορά καλύτερη λύση.

- 6) Τα επιμέρους στοιχεία και οι πληροφορίες που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, αποκάλυψαν την ωριμότητα των **Ελλήνων επιστημόνων** στα θέματα που άπτονται της διαχείρισης των απορριμμάτων, προστασίας του περιβάλλοντος και γενικά της **αιφορικής διαχείρισης** των φυσικών πόρων, στοιχείο που πιστεύεται ότι αντανάκλα την ωριμότητα της ελληνικής κοινωνίας προς την κατεύθυνση αυτή.
- 7) Τέλος, ο **σχεδιασμός και η διαχείριση των ΑΣΑ** στο νομό Αττικής, πρέπει να αναδιοργανωθούν και να αναχθούν σε θέματα μείζονος ενδιαφέροντος και υιοθέτησης σύγχρονων λύσεων και πρακτικών, ενόψει μάλιστα και της διοργάνωσης των **Ολυμπιακών Αγώνων**, κατά τη διάρκεια τέλεσης των οποίων η Ελλάδα θα βρίσκεται στο επίκεντρο του διεθνούς ενδιαφέροντος.



## 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### α) Ξενόγλωσση

- AEA Technology, 1998. Options to reduce methane emissions (Final Report by J.E. Bates). AEA Technology Report AEAT-3733, issue 3, 255 pages
- AEA Technology, 2001. Appendix 3 - Review of waste collection and management options. Final Report, Cheshire Joint Integrated Household Waste Management Strategy (AEAT/ENV/R/0439), 27 pages.
- ASSURE, 2001. Energy from Waste. Fact Sheets, Association for the Sustainable Use and Recovery of Resources in Europe, December 2001.
- ATLAS, 1997. Energy Technology -The Next Steps. Summary findings from the ATLAS project. European Commission, December 1997, 80 pages.
- Baker, A., 1991. Research on combustion of wood containing non-wood materials. In: Suadicani, Kjell (eds.) Proceedings of joint meeting, IEA/BEA Activity 4&5. June 12-14, Silsoe Sweden, pp.114-122.
- Balagopalan, C. and Padmaja, G. 1988. Protein enrichment of cassava flour by solid-state fermentation with *Trichoderma pseudokonigii* Rifai for cattle feed. In: *Proceedings of the eighth symposium of the International Society for tropical root crops*. Bangkok, Oct. 30 - Nov. 5, 1988: 426-432.
- Ball, A.S., Shah, D., Wheatley C.F., 2000. Assessment of the potential of a novel newspaper/horse manure-based compost. *Bioresource Technology*, vol. 73, pp. 163-167.
- Bates, J.E. and A. Haworth, 2001. Economic evaluation of emission reductions of methane in the waste sector in the European Union. Bottom-up Analysis. Final Report to the European Commission, Directorate General Environment, 73 pages.
- Bates, T.E., Water and Earth Science Associates Ltd., 2002. Guidelines for the utilization of pulp and paper biosolids on agricultural land. Technical Annex. Final Report for the Ontario Forest Industries Association, 38 pages.
- Bergeron, P.W. and C.J. Riley, 1991. Wastepaper as a Feedstock for Ethanol Production. National Renewable Energy Laboratory, Technical Paper 4237, 22 pages.

- Berglund, C., Söderholm, P., Nilsson, M., 2002. A note on inter-country differences in waste paper recovery and utilization. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 34, pp. 175-191.
- Brans, J.P. and P. Vincke, 1985. A Preference Ranking Organisation Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management Science*, vol. 31, No. 6, pp. 647-656.
- Brans, J.P., Vincke, P. and B. Mareschal, 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, vol. 24, pp. 228-238.
- Brans, J.P. and B. Mareschal, 1990. The PROMETHEE methods for MCDM; The PROMCALC, GAIA and BANKADVISER Software. In: Carlos Bana e Costa (Ed.) *Readings in multicriteria decision aid*, Springer-Verlag 1990, pp. 216-252.
- Briggs, T., Kunsch, P.L. and B. Mareschal, 1990. Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE methods. *European Journal of Operational Research*, vol. 44, pp. 1-10.
- Brisson, I., 1997. *Assessing the Waste Hierarchy – A Social Cost-Benefit Analysis of Municipal Solid Waste Management in the European Union*. AKF Forlaget, 26 pages, April 1997.
- British Newsprint Manufacturers Association (BNMA), 1995. *Recycling or Incineration-an independent evaluation of the alternatives*. Research report.
- British Newsprint Manufacturers Association (BNMA), 1999. *An analysis of the policy options for the sustainable recovery of used newspapers in the UK*. Final Draft, 120 pages, February 1999, Jaakko Pöyry Consulting and EFTEC, London.
- Brundtland Report, 1987. *Our common future*. Final Report by Gro Harlem Brundtland, Swedish Prime Minister, World Conference on Environment and Development. UN, New York.
- Byström, S. and L. Lönnstedt, 1997. Paper recycling: environmental and economic impact. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 21, pp. 109-127.
- Byström, S. and L. Lönnstedt, 2000. Paper recycling: a discussion of methodological approaches. *Resources, Conservation and Recycling* vol. 28, pp. 55-65.
- CADDET, 1994. *Manure digestion in a poultry farm in the Netherlands*. Technical Brochure No 2.



- Carpentieri, A.E., Larson, E.D. and J. Woods, 1993. Future biomass-based electricity supply in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, vol.4, issue 3, pp. 149-176.
- CEPI 2000. *Special Recycling 1999 Statistics*. Confederation of European Paper Industries, independent edition, 30 pages.
- Charest, M.H. and C.J. Beauchamp, 2002. Composting of de-inking paper sludge with poultry manure at three nitrogen levels using mechanical turning: behavior of physico-chemical parameters. *Bioresource Technology*, vol. 81, pp. 7-17.
- Cooperband, L., Stone, A. and B. Foley, 2000. Using papermill sludge and compost in potato production: First year effects on soil quality and crop production. *Proceeding of the Conference Fertilizer and Pest Management*, p. 7., University of Wisconsin, 2000.
- Craighill, A.L. and J.C. Powell, 1996. Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 17 (1996), pp. 75-96.
- Daskalopoulos, E., Badr, O. and S.D. Probert, 1997. Economic and Environmental Evaluations of waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste. *Applied Energy*, vol. 58, No. 4, pp. 209-255.
- De Baere L., 2002. *Worldwide state-of-the-art of anaerobic digestion of solid waste*. Independent edition, Organic Waste Systems NV, Dok Noord 4, 9000 Gent Belgium.
- Denison, R.A., 1996. Environmental life-cycle comparisons of recycling, landfilling and incineration: A review of recent studies. *Annual Review of Energy and Environment*, 21:191-237.
- Earth Summit, 1992. *Rio Declaration*. United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brazil, June 1992.
- ECOTEC, 1999. *Cost for Municipal Waste Management in the EU*. Final Report, compiled by Dr Dominic Hogg, director of the ECOTEC, to the Directorate General Environment, European Commission, 71 pages.
- ECOTEC, 1999. *Cost for Municipal Waste Management in the EU, Annexes*. Final Report to Directorate General Environment, European Commission, 336 pages.
- Eden, R., 2000. *The gasification of domestic waste for energy recovery and waste minimization*. Organics Ltd., Technical Paper (OTP05), 8 p. The Barclay Centre, University of Warwick Science Park, Coventry, UK.

- Edwards, W., 1971. Social Utilities. *Engineering Economist*, Summer Symposium, Series 6, pp.119-129.
- EEA, 2000. Dangerous substances in waste. Technical Report No 38. Edited by the European Environmental Agency, Copenhagen Denmark.
- Ekvall, T., 1999. Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling. *Journal of Cleaner Production*, vol. 7, pp. 281-294.
- Ekvall, T., 2000. A market-based approach to allocation at open-loop recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 29, pp. 91-109.
- El-Fadel, M., Findikakis A.N. and J.O. Leckie, 1997. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management*, vol. 50, pp. 1-25.
- Enguïdanos, M., Soria, A. Christidis, P. and B. Kavalov, 2002. Techno-economic analysis of Bio-alcohol production in the EU: a short summary for decision-makers. European Commission, Joint Research Centre, 30 pages.
- EPA 1998. Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 1998 Update. Final report by Franklin Associates prepared for the United States Environmental Protection Agency (EPA), Municipal and Industrial Solid Waste Division, 167 pages.
- Erdinçler, A.U. and P.A. Vesilind, 1993. Energy recovery from mixed waste paper. *Waste Management and Research*, vol. 11, pp. 507-513.
- Eriksson, I., Lunabba, P., Petterson, A. and G. Carlsson, 1997. Recycling potential of printed thermomechanical fibers for newsprint. *TAPPI Journal*, vol. 80, No 7, pp. 151-158.
- European Commission, 1994. Biofuels. Application of biologically derived products as fuels or additives in combustion engines. Independent edition, 185 pages.
- FAO 1996. European timber trends and prospects: into the 21<sup>st</sup> century. UN-ECE-FAO, Timber and Forest Study Papers, Chapter 7 Residues, recycling and re-use. (ECE/TIM/SP/11).
- FAO 2001. State of World's Forests. Independent study by the Food and Agriculture Organisation (FAO), Forestry Division, SOFO 2001, 181 pages.
- Ferguson, L.D., 1992. Effects of recycling on strength properties. *Paper Technology*, Oct. 1992, pp. 14-20.
- Finnveden, G., Ekvall, T., 1998. Life-cycle assessment as a decision support tool – the case of recycling versus incineration of paper. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 24, pp. 235-256.



- Frantzis, I., 1993. Methodology for municipal landfill sites selection. *Waste Management and Research*, vol. 11, pp. 441-451.
- Goldemberg, J., Monaco, L.C. and I.C. Macedo, 1992. The Brazilian Fuel-Alcohol Program. In: Johansson, B.J., Kelly, H., Reddy, A.K.N., Williams, R.H. (eds.) "Renewables for Fuels and Electricity", Island Press, Washington, pp.841-864.
- Gottsching, L., 1997. Recycled newsprint: The future. *The Papermaker*, March 1997, pp. 28-30.
- Gregg, D. and J.N. Saddler, 1995. Bioconversion of lignocellulosic residue to ethanol: Process flowsheet development. *Biomass and Bioenergy*, vol. 9, pp. 287-302.
- Gregg, D.J., Boussaid, A. and J.N. Saddler, 1998. Techno-economic evaluations of a generic wood-to-ethanol process: effect of increased cellulose yields and enzyme recycle. *Bioresource Technology*, vol. 63, pp. 7-12.
- Gregory, K.F. 1977. Cassava as a source of substrate for single cell protein production: Microbiological aspects. In Nestel, B. and Graham, M. ed. *Cassava as animal feed: Proceedings of a workshop*, Guelph Canada. 18-20 April, IDRC, Ottawa, - 080e: 72-78.
- Grieg-Gran, M., 1995. LCAs of paper products-What can they tell us about the sustainability of recycling? Proceedings of the International Workshop "Life Cycle Analysis-A Challenge for Forestry and Forest Industry", which organized by the European Forest Institute (EFI) and the Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, 3-5 May 1995, Hamburg, Germany, pp.123-133.
- Grieg-Gran, M., 1999. Review of the recycled content target for UK newspapers. Final Report of the International Institute for Environment and Development (IIED) to the Newspaper Recycling Working Group, 83 pages.
- Hanley, N. and R. Slark, 1994. Cost-Benefit analysis of Paper Recycling: A Case Study and some General Principles. *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 37, issue 2, pp.189-197.
- Hanley, N., Shogren, J.F., and B. White, 1997. *Environmental Economics in Theory and Practice*. Macmillan Press Ltd, 464 pages, London.

- Hokkanen, J. and P. Salminen, 1994. The choice of a solid waste management system by using the ELECTRE III decision-aid method. In: Paruccini M. (ed.) "Applying multicriteria aid for decision to environmental management", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hokkanen, J., Salminen, P., 1997. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, vol. 98, pp. 19-36.
- Huhtala, A., 1999. Optimizing production technology choices: conventional production vs. recycling. *Resource and Energy Economics*, vol. 21, pp. 1-18.
- Huhtala, A. and E. Samakovlis, 1999. Does international harmonization of environmental policy instruments make economic sense? The case of paper recycling in Europe. *Scandinavian working papers in Economics*, National Institute of Economic Research, working paper no 65, 35 pages.
- IIED 1998. Rethinking paper consumption. Discussion paper by Nick Robins and Sarah Roberts. International Institute for Environment and Development, London, UK.
- IIED, 1996. Towards a Sustainable Paper Cycle. International Institute for Environment and Development, London, UK, April 1996.
- International Standardization Organization (ISO), 2002. The ISO-14000 series, ISO 1440 LCA methodology. ([www.iso.ch](http://www.iso.ch))
- Israelidis, C., 1993. Nutrition - Single cell protein, twenty years later.
- Jokela, J., Rintala, J., Oikari, A., Reinikainen, O., Mutka, K. and T. Nyrönen, 1997. Aerobic composting and anaerobic digestion of pulp and paper mill sludges. *Water science and Technology*, vol. 36, No. 11, pp.181-188.
- Karagiannidis, A., Moussiopoulos N., 1997. Application of ELECTRE III for the integrated management of solid wastes in the Greater Athens area. *European Journal of Operational Research*, vol. 97, pp. 439-449.
- Kartha, S. and E. Larson, 2000. Bioenergy Primer. Modernised biomass energy for sustainable development. Edited by the United Nations Development Programme (UNDP) with the support of the Government of Norway, 133 pages.
- Keeny, R.L. and Raiffa, H., 1976. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. Wiley, New York. Reprinted, Cambridge University Press, 1993.



- Kinnaman, T.C. and D. Fullerton, 1999. The economics of residential solid waste management. National Bureau of Economic Research (NBER), Working Paper Series, wp7326, 47 pages.
- Lahdelma, R., Salminen, P. and J. Hokkanen, 2000. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environmental Management*, vol. 26, No. 6, pp. 595-605.
- Landmark, A., 1999. Soil degradation and the use of agricultural and organic industrial byproducts as soil amendments. "Restoration and Reclamation Review", Vol. 5, issue 3: "Amendments and Techniques for restoring soil quality", University of Minnesota. [www.hort.agr.edu/hort5015/rrr.htm](http://www.hort.agr.edu/hort5015/rrr.htm)
- Leach, M.A., Bauen, A. and Lucas, N.J.D., 1997. A Systems Approach to Materials Flow in Sustainable Cities: A Case Study of Paper. *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 40, issue 6, pp. 705-723.
- Liberatore, M.J., Rauer, M.G. and Krendel E.S., 1974. Alternative methods for waste paper disposal. *Socio-Economic Planning Science*, Vol.8, pp. 207-213.
- Lundmark, R., 2001. Choice of location for investments in the European paper industry: the impact of wastepaper. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 33, pp. 167-180.
- Lundmark, R. and M. Nilsson, 2001. Increasing rates of paper recycling and the locational behaviour of newsprint producing facilities in Europe. *Journal of Forest Economics*, vol. 7, issue 3, pp.245-262.
- Manilal, V.B., Narayanan, C.S. and Balagopalan, C. 1987. Amyloglucosidase and cellulase activity of *Aspergillus niger* in cassava starch factory wastes. *Tropical Tuber Crops Production and Utilization*. Indian Society for root crops, CTCRI, Trivandrum, India: 211– 213.
- Manios, T., Kanakopoulos, D., Petounis, D. and V. Manios, 2001. The organic waste management in Greece. "Gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo", Cátedra Zurich Medio Ambiente de la Universidad de Navarra.
- Manitoba Product Stewardship Corporation (MPSC), 2001. Newspaper-Recycling newspaper.
- Marchaim, U., 1992. Biogas processes for sustainable development. ISBN 92-5-103126-6, Food and Agriculture Organisation (FAO) edition.
- Mareschal, B., 1986. Stochastic multicriteria decision making and uncertainty. *European Journal of Operational Research*, vol. 26, pp. 58-64.

- Matysik, M.A., Gilmore, D.W., Mozaffari, M., Rosen, C.J. and T.R. Halbach, 2001. Application of wood ash, biosolids and papermill residuals to forest soils-A review of the literature. College of Natural Resources/Department of forest resources and University of Minnesota/Minnesota Agricultural Experiment Station, Staff Paper Series, number 153, 18 pages.
- McMillan, J.D., 1996. Bioethanol production: Status and prospects. *Renewable Energy*, vol. 10, No 2/3, pp.295-302.
- NAA, 2001. Newspaper recycling rates in the US. Newsprint Association of America (NAA). Information from the website: [www.naa.org](http://www.naa.org)
- Nestor, D.V., 1994. Issues in the design of recycling policy: the case of old newspapers. *Journal of Environmental Management*, vol. 40, pp.245-256.
- Nilsson, A., 1999. Control of fermentation of lignocellulosic hydrolysates. Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden.
- NREL, 1999. Lignocellulosic Biomass to Ethanol process, design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis current and futuristic scenarios. Technical Report, Independent edition of National Renewable Energy Laboratory (NREL), 130 pages.
- NREL, 2000. Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks. Technical Paper 28893, 43 pages, October 2000.
- OECD 1999. Environmental Issues: Recovered paper fibre collection systems. Independent edition, 28 pages.
- Padmaja, G. and Balagopalan, C. 1990. Evaluation of single cell protein enriched cassava waste as an energy source in broiler rations. *Paper presented at National Symposium on Recent advance in production and utilization of tropicaltuber crops*. Trivandrum, 7-9th Nov. 1990.
- Pérez, J., Muñoz-Dorado, J., de la Rubia, T. and J. Martínez, 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *International Microbiology*, vol. 5, pp. 53-63.
- Phillips, V.R., Kirkpatrick, N., Scotford, I.M., White, R.P. and R.G.O. Burton, 1997. The use of paper-mill sludges on agricultural land. *Bioresource Technology*, vol. 60, pp. 73-80.



- Poggi-Varaldo, H.M., Trejo-Espino, J., Fernández-Villagómez, G., Esparza-García, F., Caffarel-Méndez, S. and N. Rinderknecht-Seijas, 1999. Quality of anaerobic compost from paper mill and municipal solid wastes for soil amendment. *Water Science and Technology*, vol. 40, No 11, pp.179-186.
- Powell, J.C., 1996. The evaluation of waste management options. *Waste Management and Research* (1996), Vol. 14, pp. 515-526.
- Powell, J.C., Craighill, A.L., Parfitt, J.P. and R.K. Turner, 1996. A Lifecycle Assessment and Economic Evaluation of Recycling. *Journal of Environmental Planning and Management*, 39 (1), pp. 97-112.
- Powell, J.C., Pearce, D.W. and A. Howarth, 1999. Burn or Return? A Review of the Life Cycle Assessments of Waste Newspaper Management. June 1999. CSERGE and EFTEC, 27 pages.
- Powell, J.C., Strobl, B., Peters, M., Tinch, R., Turner, K. and O. White, 1999. The development of a sustainable and effective waste management policy for the UK. Final Report, 112 p.
- Quaye, E.C., 1996. Energy demand in the 21<sup>st</sup> century: the role of biofuels in a developing country. *Renewable Energy*, vol. 9, issues 1-4, pp. 1029-1032.
- Recyclate Market Development (ReMaDe), 2000. Chapter 4. Resource Recovery: Material recycling and composting. 16 pages. Series for the waste management, UK.
- Reddy, A.K.N., Rajabapaiah, P. and H.I. Somasekhar, 1995. Community biogas plants supply rural energy and waster: The Pura village Case Study. In: J. Goldemberg and T.B. Johansson (eds.) "Energy as an Instrument for Socio-Economic Development", Chapter 8. UNDP, New York, 1995.
- Risk and Policy Analysts Ltd., 2001. Employment effects of Waste Policies. Final Report prepared for the European Commission, Directorate General Environment, 160 pages.
- Romantschuk, H., 1974. Feeding cattle at the pulp mill. *Unasylya*, vol. 26, No 106, "A time to invest in forestry", summer 1974.
- Rowe, G. and G. Wright, 1999. The DELPHI technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of forecasting*, vol. 15, pp. 353-375.
- Roy, B., 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode Electre). *Revue Française de l'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, 8, pp.57-75.

- Saaty, T., 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. John Wiley, New York.
- Salminen, P., Hokkanen, J., Lahdelma R., 1998. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. *European Journal of Operational Research*, vol. 104, pp. 485-496.
- SEPA, 2001. No option but change. Shaping the future of waste management in Forth Valley – The Development of an Area Waste Plan. Scottish Environmental Protection Agency, Issues Paper, 16 pages.
- Simard, R.R., Lalande, R., Gagnon, B., Parent, G. and P. Parent, 2001. Beneficial use of paper-mill residue compost in potato production. The Composting Council of Canada.
- Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K. and J. Bates, 2001. Waste Management Options and Climate Change. Final Report to the European Commission, DG Environment, 225 pages.
- Sobral, M.M., Hipel, K.W. and G.J. Farquhar, 1981. A multi-criteria model for solid waste management. *Journal of Environmental Management*, vol. 12, pp. 97-110.
- Spanos, K., Skordas, G. and P. Koukos, 1998. Composting of organic residues. Cost Action E9-Life Cycle Assessment of forestry and forest products (WG 1-4), 8-9/11/1998, Hamburg, Germany, 6 pages.
- Sukara, E. and H.W.Doelle 1989a Optimisation of single-cell protein production from cassava starch (*Rhizopus oligosporus*). *Acta Biotechnology* 9,99-110.
- Sukara, E. and H.W.Doelle 1989b A one-step process for the production of single cell protein and amyloglucosidase. *Applied Microbiology and Biotechnology* 30,135-140.
- Taherzadeh, M.J., 1999. Ethanol from Lignocellulose: Physiological Effects of Inhibitors and Fermentation Strategies. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Chemical reaction Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 66 pages.
- Tatsi, A.A. and A.I. Zouboulis, 2002. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece). *Advances in Environmental Research*, vol. 6, pp. 207-219.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and A.S. Vigil, 1993. *Integrated solid waste management*. 1<sup>st</sup> Edition McGraw-Hill, 978 pages.



- The Paper Federation of Great Britain, 2001. Why Waste Paper ? How to recycle Britain's paper mountain. Independent leaflet edition by the Paper Federation of Great Britain, 12 p.
- UN, 2001. Human Development Report 2001. United Nations, New York.
- UNCED, 1992. Agenda 21, Chapter 11: "Combating Deforestation". United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brazil, June 1992.
- UNEP, 1996. World Conservation Monitoring Centre (WCMC). United Nations Environment Programme, Framework for information management in the context of the Convention on Biological Diversity. Cambridge, UK.
- Van Beukering P.J.H. and L.M. Brander, 2001. Policies to promote the waste management hierarchy. With special attention to the paper cycle in Europe. Institute for Environmental Studies, Vrije University, Amsterdam, The Netherlands, 20 p.
- White Book, 1997. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan, European Commission, COM(97)599, Final (26/11/1997), 55 pages.
- Wilke, C.R. and R.D. Yang, 1975. Process-development studies of the enzymatic hydrolysis of newsprint. *Applied Polymer Symposium No 28*, pp. 175-188.
- Wistara, N. and R.A. Young, 1999. Properties and treatments of pulps from recycled paper. Part I. Physical and chemical properties of pulps. *Cellulose*, vol. 6, pp. 291-324.
- World Bank, 1999. Municipal Solid Waste Incineration. Technical Guidance Report. World Bank, Washington D.C., Independent edition, 112 pages.
- Zahedi, F., 1986. The analytic hierarchy process: a survey of the method and its applications. *Interfaces*, vol. 16, pp.96-108.
- Zaldivar, J., Nielsen, J. and L. Olsson, 2001. Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 56, pp. 17-34.
- Zyabreva, N.V., Isakova, E.P. and V.V. Biryukov, 2001. Conditions for Ethanol Production during Bioconversion of Cellulose-Containing Raw Material. *Applied Biochemistry and Microbiology*, vol. 37, No 5, pp. 483-488.

## **β) Ελληνική**

- Αλεξάκη, Μ. και Ι. Αγαπητίδης, 1999. Η διαχείριση των απορριμμάτων στην ελληνική περιφέρεια. Ελληνική Εταιρεία Τοπικής Ανάπτυξης και Αυτοδιοίκησης (ΕΕΤΑΑ), Δ΄ έκδοση, 215 σελίδες.
- ΔΕΠΑ, 2002. Τιμολόγια παροχής φυσικού αερίου. Δημόσια Επιχείρηση Αερίου ([www.depa.gr](http://www.depa.gr))
- ΕΣΔΚΝΑ, 2002. Στοιχεία συστήματος συλλογής και διαχείρισης του παλαιόχαρτου από το website του Ενιαίου Συνδέσμου Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής ([www.esdkna.org](http://www.esdkna.org)).
- Λαμπρόπουλος, Σ., 1985. Η μεθοδολογία της λήψεως αποφάσεων στην αξιολόγηση των επενδύσεων. Τεχνικά Χρονικά, σειρά Α΄, Τόμος 5, τεύχος 1, 1985.
- Μπασάντης Δ., 2001. Ο ημερήσιος τύπος από τον 18<sup>ο</sup> στον 20 αιώνα. Εκδόσεις ΟΔΥΣΣΕΑΣ, 219 σελίδες.
- Μπατζιάς, Φ., Σιδηράς, Δ., 2001. Η διαχείριση των Στερεών Απορριμμάτων. Σημειώσεις Β΄ εξαμήνου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σποδών, ειδίκευση «Διαχείριση ενέργειας και Προστασία Περιβάλλοντος», 40 σελίδες
- Μπατζιάς, Φ., Βασιλόπουλος, Γ. και Ν. Γεωργιόπουλος, 2002. Προμελέτη σκοπιμότητας παραγωγής εδαφοβελτιωτικού από στερεά αστικά απόβλητα στον υπό κατασκευή ΧΥΤΑ Μεγαλόπολης Αρκαδίας, για χρήση στην αποκατάσταση εξαντλημένων λιγνιτικών πεδίων του τοπικού ατμοηλεκτρικού σταθμού της ΔΕΗ. Αδημοσίευτη εργασία, 77 σελίδες.
- ΟΔΧ Α.Ε. 2002. Προσωπική επικοινωνία με τον Οργανισμό Δημοσιογραφικού Χάρτου Α.Ε.
- Παππής, Κ., 2002. Αντίστροφη εφοδιαστική και ηλεκτρονικό εμπόριο. Άρθρο στην ηλεκτρονική έκδοση του περιοδικού “Plant Management” (<http://www.plant-management.gr/development/article.asp?vol=2002&articleid=2>).
- ΡΑΕ, 2002. Πίνακας τιμών ενέργειας. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ([www.rae.gr](http://www.rae.gr))
- Σκορδύλης Α., 2001. Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων. Εκδόσεις «ΙΩΝ», 290 σελίδες.
- Τάτση Α., 1993. Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού. Πρακτικά Συνεδρίου του ΤΕΕ για τη διαχείριση αποβλήτων, 13 σελίδες.



- Τσουμής, Γ., 1986. Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου. Τόμος Α'. Δομή και Ιδιότητες του ξύλου. Πανεπιστημιακό βιβλίο, 350 σελίδες, Έκδοση της Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
- Φιλίππου, Ι., 1986. Χημεία και χημική τεχνολογία του ξύλου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιακό Βιβλίο, 358 σελίδες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

### **Websites visited (no alphabetic order)**

National Recycling Forum, UK, <http://www.nrf.org.uk>  
European Union, <http://europa.eu.int/comm/environment>  
Organics Ltd., <http://www.leachate.com/download.htm>  
Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), [www.oecd.org](http://www.oecd.org)  
Manitoba Product Stewardship Corporation, [www.mpssc.com](http://www.mpssc.com)  
Ecoling, [www.ecoling.ch](http://www.ecoling.ch)  
Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, [www.rae.gr](http://www.rae.gr)  
Δημόσια Επιχείρηση Αερίου, [www.depa.gr](http://www.depa.gr)  
New Zealand Standards Association, [www.standards.co.nz](http://www.standards.co.nz)  
Biogas Works, [www.biogasworks.com](http://www.biogasworks.com)  
National Renewable Energy Laboratory, 2002. [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)  
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), [www.idae.es](http://www.idae.es)  
Elsevier Science Direct, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)  
Food and Agriculture Organization, [www.fao.org](http://www.fao.org)  
Office of Transportation Technologies, US Department of Energy, [www.ott.doe.gov](http://www.ott.doe.gov)  
International Energy Agency (IEA) Bioenergy, [www.ieabioenergy.com](http://www.ieabioenergy.com)  
Friends of the Earth, [www.foe.org](http://www.foe.org)  
Paper online, [www.paperonline.org](http://www.paperonline.org)  
Confederation of European Paper Industries (CEPI), [www.cepi.org](http://www.cepi.org)  
Bureau of International Recycling (BIR), [www.bir.org](http://www.bir.org)  
Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων & Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ),  
[www.esdkna.org](http://www.esdkna.org)  
Χαρτοποιία Θράκης, [www.zeritis.gr](http://www.zeritis.gr)  
Οργανισμός Δημοσιογραφικού Χάρτου ΑΕ, [www.organismoshartou.gr](http://www.organismoshartou.gr)  
Waste Watch UK, [www.wastewatch.org.uk](http://www.wastewatch.org.uk)  
The Paper Federation of Great Britain, [www.paper.org.uk](http://www.paper.org.uk)  
Publishers National Environment Bureau PNEB, [www.pneb.com.au](http://www.pneb.com.au)  
Recycler's World, [www.recycle.net](http://www.recycle.net)  
Waste and Resources Action Programme (WRAP) UK, [www.wrap.org.uk](http://www.wrap.org.uk)  
Recycling and Composting online, [www.recycle.cc](http://www.recycle.cc)  
American Forest and Paper Association, [www.afandpa.org](http://www.afandpa.org)  
Newspaper Association of America (NAA), [www.naa.org](http://www.naa.org)  
United Nations Environment Programme UNEP, [www.unep.org](http://www.unep.org)



## SUMMARY

In this study, the application of multicriteria analysis (MCA) is employed as a “tool” for decision-making on the selection of utilization method of old newspapers.

For this purpose, six (6) alternatives for the utilization of old newspapers and papermill sludge were evaluated by multicriteria analysis so as to select an optimal combination. Economic, social, environmental and technical evaluation criteria were weighted and employed to the multicriteria analysis, according to the origin and the way they were involved in the problem.

The multicriteria analysis was based on experts who ranked the alternatives to the set of weighted criteria. For holistic approach reasons two procedures were applied; an MCA with fuzzy logic and the usual MCA (central value). The selection was done according to the ranking of the alternatives.

Finally, on the MCA results that stemmed from the two procedures employed, a further analysis with pairwise comparisons was conducted to determine if the result of the MCA promotes the formation of feasible plans, providing essential support to the decision-makers for the selection of an optimal method combination for the utilization of old newspapers in the Attica region.