

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

**“ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ
ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ”**



Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής: Δημουλάς

Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος
Γεώργιος

ΑΜ: 28484

Αθήνα

Σεπτέμβριος 2013

Copyright © Α. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον επιβλέπων καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο, για την καθοδήγηση και την υπομονή του, την ξαδέλφη μου Γεωργία για την πολύτιμη βοήθειά της, και τους γονείς μου για την στήριξή τους κατά τη διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής αυτής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Ευρετήριο Σχημάτων	v
Ευρετήριο Πινάκων.....	vi
Ευρετήριο Εικόνων	vii
Ευρετήριο Ακρωνυμίων.....	viii
Summary	ix
Πρόλογος	1
1^ο Κεφάλαιο “Αστικά Στερεά Απόβλητα: Ορισμός, Είδη, Χαρακτηριστικά και Ιδιότητες”	1
1.1 Εισαγωγικά	1
1.2 Είδη αστικών στερεών αποβλήτων	3
1.3 Ποσοτική ανάλυση ΑΣΑ	6
1.4 Ποιοτική ανάλυση ΑΣΑ	7
1.5 Απόβλητα ως καύσιμη ύλη.....	9
1.5.1 Ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη.....	9
1.5.2 Περιεκτικότητα σε υγρασία.....	10
1.5.3 Σημείο τήξης και περιεκτικότητα υπολειμμάτων σε στάχτη.....	11
1.5.4 Χημική ανάλυση των καυσίμων συστατικών.....	11
2^ο Κεφάλαιο “Η Διαχείριση των ΑΣΑ στην Ευρώπη και στην Ελλάδα”	13
2.1 Εισαγωγικά	13
2.2 Το ευρωπαϊκό θεσμικό και νομικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ.....	15
2.2.1 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη.....	15
2.3 Το θεσμικό και νομικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα	19
2.3.1 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα	19
2.3.2 Τεχνολογίες επεξεργασίας των ΑΣΑ και πολιτική διαχείριση.....	24
2.4 Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ και δευτερογενών καυσίμων υψηλής απόδοσης	25
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ “Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία”	27
3.1 Εισαγωγικά	27
3.2 Μηχανική επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων	29
3.2.1 Προϊόντα μηχανικής επεξεργασίας και δυνατότητες διάθεσης.....	30
3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα απορριμματογενών καυσίμων.....	32
3.3 Βιολογική επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων	34
3.3.1 Αερόβια μηχανική βιολογική επεξεργασία	36
3.3.2 Προϊόντα ενέργειας αερόβιας ΜΒΕ και η αξιοποίησή τους	36
3.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αερόβιας μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας	37
3.4 Αναερόβια μηχανική βιολογική επεξεργασία	38
3.4.1 Περιγραφή τεχνολογίας.....	38
3.4.2 Προϊόντα ενέργειας αναερόβιας ΜΒΕ και η αξιοποίησή τους.....	40
3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναερόβιας μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας ..	40
3.5 Βιοξήρανση	42
3.6 Συγκριτική αξιολόγηση των τεχνολογιών μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας.....	44
4^ο Κεφάλαιο “Καύση-Αποτέφρωση”	45
4.1 Εισαγωγικά	45
4.2 Περιγραφή τεχνολογίας	47
4.2.1 Είδη εστιών καύσης-αποτέφρωσης	47

4.2.1.1	Μονάδες τύπου <i>mass-fired</i>	47
4.2.1.2	Μονάδες τύπου <i>RDF-fired</i>	47
4.3	Διάγραμμα ροής μονάδας καύσης ΑΣΑ.....	48
4.4	Θερμική επεξεργασία αποβλήτων - Εστίες καύσης.....	50
4.5	Συστήματα ελέγχου εκπομπών και αέριας ρύπανσης.....	52
4.5.1	Σύσταση καυσαερίων.....	52
4.5.2	Επεξεργασία και έλεγχος καυσαερίων.....	53
4.6	Ενεργειακή απόδοση μονάδων καύσης – αποτέφρωσης ΑΣΑ.....	56
4.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών καύσης - αποτέφρωσης.....	59
5^ο	Κεφάλαιο “Πυρόλυση”.....	61
5.1	Εισαγωγικά.....	61
5.2	Περιγραφή τεχνολογίας.....	62
5.2.1	Αντιδραστήρες πυρόλυσης.....	63
5.2.2	Χημικές αντιδράσεις της πυρόλυσης.....	64
5.2.3	Μεταφορά θερμότητας.....	66
5.2.4	Απομάκρυνση άνθρακα.....	66
5.3	Προϊόντα μέσω της πυρόλυσης των ΑΣΑ.....	66
5.4	Ενεργειακή αξιοποίηση προϊόντων πυρόλυσης.....	67
5.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών πυρόλυσης.....	68
6^ο	Κεφάλαιο “Αεριοποίηση”.....	70
6.1	Εισαγωγικά.....	70
6.2	Περιγραφή τεχνολογίας.....	71
6.2.1	Τύποι αεριοποιητών.....	73
6.2.2	Χημικές αντιδράσεις αεριοποίησης.....	76
6.2.3	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	76
6.3	Προϊόντα μέσω της αεριοποίησης των ΑΣΑ.....	77
6.4	Ενεργειακή αξιοποίηση των προϊόντων αεριοποίησης.....	78
6.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών αεριοποίησης.....	79
7^ο	Κεφάλαιο “Αεριοποίηση Πλάσματος”.....	81
7.1	Εισαγωγικά.....	81
7.2	Περιγραφή τεχνολογίας.....	82
7.2.1	Πυρσοί πλάσματος.....	82
7.2.2	Ξήρανση τροφοδοσίας.....	84
7.2.3	Συστήματα καθαρισμού.....	84
7.2.4	Περιβαλλοντικές συνέπειες.....	85
7.3	Προϊόντα μέσω αεριοποίησης πλάσματος των ΑΣΑ.....	85
7.4	Ενεργειακή αξιοποίηση προϊόντων αεριοποίησης πλάσματος.....	86
7.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών αεριοποίησης πλάσματος.....	86
8^ο	Κεφάλαιο “Διεθνής Εμπειρία για Τεχνολογίες Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ και Δευτερογενών Καυσίμων και Παραδείγματα Μονάδων στην Ευρώπη”.....	88
8.1	Τεχνολογίες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην ΕΕ.....	88
8.1.1	Μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας στην ΕΕ.....	88
8.1.2	Καινοτόμες μονάδες ΜΒΕ με υψηλή ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ.....	90
8.1.2.1	Τεχνολογία <i>Waasa</i>	90
8.1.2.2	Τεχνολογία <i>Valorga</i>	91
8.1.2.3	Τεχνολογία <i>Dranco</i>	92
8.1.2.4	Τεχνολογία <i>Kompogas</i>	94
8.1.2.5	Τεχνολογία <i>BTA</i>	95
8.2	Τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην ΕΕ.....	96
8.2.1	Μονάδες καύσης - αποτέφρωσης στην ΕΕ.....	96
8.2.2	Μονάδες πυρόλυσης στην ΕΕ.....	99
8.2.3	Μονάδες αεριοποίησης στην ΕΕ.....	99

8.2.4	Μονάδες αεριοποίησης οργανικού πλάσματος στην ΕΕ.....	99
8.3	Καινοτόμες μονάδες ΘΕ με υψηλή ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ.....	100
8.3.1	Θερμόλυση και τεχνολογία Siemens.....	100
8.3.2	Τεχνολογία Thermoselect.....	103
8.3.3	Τεχνολογία Noell.....	104
8.3.4	Τεχνολογία EDDITh.....	105
8.3.5	Τεχνολογία Van Roll.....	107
8.3.5.1	Τεχνολογία RCP.....	107
8.3.5.2	Εγκατάσταση WTI.....	107
8.3.6	Τεχνολογία TPS.....	108
8.3.7	Τεχνολογία PKA.....	109
8.3.8	Τεχνολογία Nexus.....	110
8.3.9	Τεχνολογία Andco Torrax.....	111
8.3.10	Τεχνολογία WGT.....	112
9^ο	Κεφάλαιο “Δυνατότητες Εφαρμογής στην Ελλάδα και Αναμενόμενα	
	Αποτελέσματα”	113
9.1	Εισαγωγικά.....	113
9.2	Θερμογόνος δύναμη των ελληνικών ΑΣΑ.....	114
9.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων.....	116
9.4	Κριτήρια αξιολόγησης τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ.....	118
9.5	Οικονομικά κριτήρια.....	119
9.5.1	Τέλη πύλης.....	119
9.5.2	Επενδυτικό και λειτουργικό κόστος.....	121
9.5.3	Οικονομική αποτίμηση.....	122
9.6	Περιβαλλοντικά κριτήρια.....	122
9.7	Τεχνικά κριτήρια.....	124
9.8	Κοινωνικά-θεσμικά κριτήρια.....	126
10^ο	Κεφάλαιο “Συμπεράσματα”	128
10.1	Συμπεράσματα σχετικά με την καλύτερη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ.....	128
10.2	Συμπεράσματα σχετικά με την καλύτερη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για την Ελλάδα.....	129
10.3	Αντί επιλόγου.....	130
	Βιβλιογραφία	132
	Παράρτημα 1	141
	Παράρτημα 2	144
	Παράρτημα 3	146

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Παραγωγή ΑΣΑ στην Ελλάδα ανά έτος, 1997-2001 [2]	2
Σχήμα 1.2 Ετήσια συμμετοχή Περιφερειών στην παραγωγή ΑΣΑ [4]	3
Σχήμα 1.3 Μέση σύσταση στερεών αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα [5]	4
Σχήμα 1.4 Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ ανά Περιφέρεια της Ελλάδας [4]	5
Σχήμα 1.5 Παραγωγή αστικών αποβλήτων κατά κεφαλήν στη Δυτική Ευρώπη (ΕΕ-15 συν Νορβηγία, Ισλανδία και Ελβετία), στα νέα κράτη μέλη (ΕΕ-12), στις χώρες της ΕΕ (ΕΕ-27), στην Τουρκία, στις χώρες των Δυτικών Βαλκανίων και στην Ευρώπη συνολικά, 2010. [6]	5
Σχήμα 1.6 Κατώτερη θερμογόνος τιμή των Ελληνικών οικιακών απόβλητων [4]	9
Σχήμα 1.7 Συμμετοχή στην ενέργεια των Ελληνικών οικιακών απορριμμάτων [4].....	10
Σχήμα 2.1 Ποσοστά χρησιμοποίησης των τεχνικών διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη [13]	17
Σχήμα 2.2 Εκτίμηση υφιστάμενης κατάστασης για τους τρόπους διαχείρισης των ΑΣΑ στην ελληνική επικράτεια [4]	20
Σχήμα 4.1 Εκπομπές από μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με ολικές εκπομπές στην Αυστρία [46]	55
Σχήμα 4.2 Πηγή διοξινών και ποσοτικοποίησή τους στη Γερμανία [50]	56
Σχήμα 4.3 Ενεργειακή απόδοση μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρισμού και αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας [3]	57
Σχήμα 4.4 Εξέλιξη του βαθμού απόδοσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων [46]	58
Σχήμα 4.5 Τυπικό Ενεργειακό ισοζύγιο σε μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ [46]	59
Σχήμα 8.1 Διάγραμμα ροής της διεργασίας Waasa [92]	91
Σχήμα 8.2 Ο αντιδραστήρας της μεθόδου Valorga [93]	92
Σχήμα 8.3 Διάγραμμα ροής της διεργασίας Dranco [94]	93
Σχήμα 8.4 Διάγραμμα ροής της διεργασίας Kompogas [98]	95
Σχήμα 8.5 Διάγραμμα ροής της διεργασίας BTA [99, 100]	96
Σχήμα 8.6 Η μέθοδος της θερμόλυσης [1]	101
Σχήμα 8.7 Μονάδα Siemens	102
Σχήμα 8.8 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Siemens	102
Σχήμα 8.9 Διάγραμμα της μεθόδου Thermoselect	103
Σχήμα 8.10 Μονάδα Thermoselect [1]	104
Σχήμα 8.11 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Noell	105
Σχήμα 8.12 Διάγραμμα ροής της μεθόδου EDDITH	106
Σχήμα 8.13 Τεχνολογίες ΔΑ από την εταιρία Von Roll	107
Σχήμα 8.14 Η διαδικασία αεριοποίησης TPS [1]	109
Σχήμα 8.15 Διάγραμμα ροής της μεθόδου PKA	110
Σχήμα 8.16 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Andco Torrax[1]	111
Σχήμα 8.17 Διάγραμμα ροής της μεθόδου WGT (Waste Gas Technology)	113
Σχήμα 9.1 Ανάλυση κόστους πύλης για ενδεικτική μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης στην Κεντρική Ελλάδα [117]	121
Σχήμα 9.2 Μεταβολή του gate fee σε σχέση με τη δυναμικότητα [13]	121

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Μεταβολή ΜΠΑ ανάλογα την ανάπτυξη των χωρών	7
Πίνακας 1.2 Πρόσφατες μετρήσεις φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού Προγράμματος «Προσδιορισμός Φυσικοχημικών Παραμέτρων & Ποιοτικής Σύστασης Απορριμμάτων Λεκανοπεδίου Αττικής» που εκπόνησε ο ΕΣΔΚΝΑ από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Μάρτιο του 2008 σε συνεργασία με το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και το Πολυτεχνείο της Δρέσδης.	8
Πίνακας 1.3 Τυπικές τιμές υγρασίας αποβλήτων (% κ.β.)	11
Πίνακας 2.1 Τα χαρακτηριστικά των πέντε εργοστασίων ανάκτησης βιοαερίου και παραγωγής ενέργειας της Ελλάδας. [4]	21
Πίνακας 2.2 Συνοπτικά στοιχεία παραγωγής και διάθεσης Α.Σ.Α. στην Ελλάδα. [4]	22
Πίνακας 2.3 Υφιστάμενα έργα διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων. [4].....	23
Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικοί τύποι ΜΒΕ	28
Πίνακας 3.2 Παραγόμενα προϊόντα από τη ΜΒΕ και τομείς αξιοποίησή τους	29
Πίνακας 3.3 Σύσταση RDF βάσει της ΚΥΑ 114218/97	28
Πίνακας 3.4 Τιμές παραμέτρων για τη χρήση RDF στην τσιμεντοβιομηχανία, κατά EURITS. [32]	33
Πίνακας 3.5 Συγκριτική αξιολόγηση των ειδών ΜΒΕ	44
Πίνακας 4.1 Ποσότητες ΑΣΑ σε χιλιάδες τόνων που αποτεφρώθηκαν τις αναγραφόμενες χρονολογίες	45
Πίνακας 4.2 Συγκριτική απεικόνιση των αντιπροσωπευτικότερων συστημάτων καύσης	51
Πίνακας 5.1 Η σύνθεση των προϊόντων πυρόλυσης σε σχέση με τη θερμοκρασία.	67
Πίνακας 6.1 Χαρακτηριστικά αεριοποιητών. [77]	75
Πίνακας 9.1 Ενεργειακά δεδομένα και θερμογόνος δύναμη ελληνικών οικιακών Αποβλήτων. [114]	115
Πίνακας 9.2 Αδρανή υπολείμματα, θερμογόνος δύναμη, ποσοστό υγρασίας και ειδικό βάρος Α.Σ.Α. στον κάδο.[52]	116
Πίνακας 9.3 Ανάλυση καταλληλότητας Α.Σ.Α. για καύση.[52]	118
Πίνακας 9.4 Συγκριτικό κόστος για την καύση αποβλήτων σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες. [8]	122
Πίνακας 9.5 Στοιχεία δυναμικότητας και επενδυτικού και λειτουργικού κόστους θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. [*41, ** 118 , ***84]	122
Πίνακας 9.6 Ποιοτική αποτίμηση-σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. [83, 119]	125
Πίνακας 9.7 Ποιοτική αποτίμηση-σύγκριση τεχνικών παραμέτρων από τη χρήση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. [22, 8, 117]	127

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Μόριο διοξινών	11
Εικόνα 1.2 Μόριο Φουρανίων	12
Εικόνα 2.1 Ορθολογική διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων	14
Εικόνα 2.2 Ιεράρχηση στην διαχείριση αποβλήτων [11].....	16
Εικόνα 3.1 Μορφή RDF χύδην (α)	31
Εικόνα 3.2 Μορφή RDF πελλετοποιημένου (β)	31
Εικόνα 3.3 Πιθανό διάγραμμα ροής τεχνικής βιοξήρανσης και παραγωγής RDF	41
Εικόνα 3.4 Μονάδα αναερόβιας ΜΒΕ στο Lubeck, Γερμανία	42
Εικόνα 3.5 Μονάδα αναερόβιας ΜΒΕ στο Τέλ-Αβίβ, Ισραήλ	43
Εικόνα 4.1 Αριθμός εργοστασίων καύσης σε λειτουργία σε Ευρωπαϊκές Χώρες το 2007 [43]	46
Εικόνα 4.2 Τυπική μονάδα καύσης αστικών στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [8]	49
Εικόνα 4.3 Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης καύσης ΑΣΑ [8]	50
Εικόνα 4.4 Τύποι Αποτεφρωτών (α) κινούμενων εσχάρων (β) περιστρεφόμενου κλιβάνου (γ) ρευστοποιημένης κλίνης [46]	46
Εικόνα 4.5 Διάγραμμα ροής διεργασίας ελέγχου αέριας ρύπανσης	54
Εικόνα 5.1 Διάγραμμα ροής διεργασίας πυρόλυσης [59]	62
Εικόνα 5.2 Αντιδράσεις πυρόλυσης [65]	65
Εικόνα 5.3 Μονάδα πυρόλυσης στην Αγγλία	68
Εικόνα 6.1 Διάγραμμα ροής της διεργασίας της αεριοποίησης [8]	71
Εικόνα 6.2 Αεριοποιητής [75]	72
Εικόνα 6.3 Επισκόπηση των διαφόρων τεχνολογιών αεριοποίησης [76]	73
Εικόνα 6.4 Αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης [78]	74
Εικόνα 6.5 Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε κάθε στάδιο της αεριοποίησης [79]	76
Εικόνα 6.6 Χρήσεις του αερίου σύνθεσης – syngas [81]	79
Εικόνα 7.1 Τυπικό σχήμα Αεριοποιητή Πλάσματος [85]	83
Εικόνα 7.2 Τυπική μονάδα αεριοποίησης πλάσματος	85
Εικόνα 7.3 Εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα κατά την αεριοποίηση πλάσματος [86]	86
Εικόνα 8.1 Χάρτης με τις μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ στην Ευρώπη το 2006 και συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 [102]	97
Εικόνα 8.2 Ποσοστό αποτέφρωσης αποβλήτων στην ΕΕ [103]	98
Εικόνα 8.3 Εγκατάσταση Von Roll WTI [1]	108

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣΑ	Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΔΕΥΑ	Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης
ΔσΠ	Διαλογή στην Πηγή
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
Ε.Ε.Α.Α.	Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης και Ανακύκλωσης
ΕΕΔΣΑ	Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
ΕΕΤ	Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης
ΕΚΑ	Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων
ΕΜΑΚ	Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης
ΕΣΔΚΝΑ	Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής
ΚΔΑΥ	Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών
ΜΒΕ	Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία
ΜΠΑ	Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων
ΟΠΣ	Ολοκληρωμένο Πληροφοριακό Σύστημα
ΟΤΑ	Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης
Π.Δ.	Προεδρικό Διάταγμα
ΠΕ.Σ.Δ.Α.	Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Αττικής
ΡΠΑ	Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων
ΣΜΑ	Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΥΠΕΣ	Υπουργείο Εσωτερικών
ΦοΔΣΑ	Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
ΧΑΔΑ	Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων
ΧΔΑ	Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων
ΧΥΤΑ	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων
ΧΥΤΥ	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων
ΒΤΑ	Biotechnische Abfallverwertung
CEN	Comité Européen de Normalisation
CEWEP	Confederation Waste to Energy Plants
CLO	Compost Like Output
DEFRA	Department of Environment Food and Rural Affairs
ESP	Electrostatic Precipitator
EURITS	European Union for Responsible Incineration and Treatment Special Waste
DRI	Dynamic Respiration Index
HSR	High Temperature Smelt Redox
PKA	Pyrolyse Kraft Anlagen
RCP	Recycled Clean Products
RDF	Refuse Derived Fuel
SRF	Solid Recovered Fuel
TPS	Terminska Processor
WGT	Waste Gas Technology
WTI	Waste Technology Inc.

SUMMARY

The ever-increasing production of solid wastes is making their management a problem so serious that requires ways to be dealt with. With regards to the EU, the recent Directive (2008/98) sets the framework for the management of MSW in terms of sustainable development and conservation of natural resources and recommends the thermal treatment of MSW with simultaneous production of energy (principle of reuse, recycling, etc). For the reasons above, the aim of this thesis is to present those technologies which process MSW in order to recover energy. Initially, technologies from MBT such as *Mechanical Biological Treatment with Composting*, *Mechanical Biological Treatment with Anaerobic Digestion* and *Mechanical Biological Treatment with Biodrying* are being presented. As it will be shown, the secondary recovered fuels such as *biogas*, *RDF*, *SRF*, associate their thermal power on the degree of purity of the types of waste that are being processed. Moreover, the rates of the energy produced do not reach these levels of Thermal Treatment. Additionally, the technologies of Thermal Treatment that produce energy, like *combustion-incineration*, *pyrolysis*, *gasification* and *plasma gasification* are presented too. As shown, combustion - incineration can produce the highest energy, are considered a reliable technology, but produce emissions due to the processing of mixed MSW. On the contrary, the other three technologies are more environment-friendly but require chosen MSW and have not yet been tested enough. Additionally, examples of Thermal Treatment plants in the EU with high energy recovery are presented. Regarding Greece, which has 5 *Plants for Mechanical Recycling and Composting*, has the largest percentage of MSW disposed in landfills. Therefore, thermal treatment technologies are estimated under economic, environmental, technical and social criteria and the possibility of such a plant constructed in Greece is being explored.

Keywords: MSW, aerobic composting, anaerobic digestion, biodrying, biogas, RDF, SRF, combustion- incineration, pyrolysis, gasification, plasma gasification.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ολοένα και αυξανόμενη παραγωγή στερεών αποβλήτων, καθιστά τη διαχείρισή τους ζήτημα σοβαρό που απαιτεί την εξεύρεση τρόπων αντιμετώπισής του. Ειδικότερα για την ΕΕ, η τελευταία οδηγία (2008/98) θέτοντας το πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ με όρους αιεφόρου ανάπτυξης και εξοικονόμησης φυσικών πόρων, συστήνει την επεξεργασία των ΑΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας (αρχή επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης, κ.ο.κ). Για τους παραπάνω λόγους, στόχος της εργασίας τούτης είναι να παρουσιάσει τις τεχνολογίες εκείνες που επεξεργάζονται τα ΑΣΑ ώστε να ανακτάται ενέργεια. Αρχικά παρουσιάζονται τα είδη των τεχνολογιών από τη ΜΒΕ όπως η *αερόβια και αναερόβια ζύμωση και η βιοζήρανση*. Όπως θα παρουσιαστεί, τα δευτερογενή καύσιμα που ανακτώνται όπως τα *βιοαέριο, RDF, SRF*, συναρτούν τη θερμογόνο δύναμή τους με τον βαθμό καθαρότητας του είδους των αποβλήτων προς επεξεργασία. Επιπλέον, η ανάκτηση ενέργειας δεν φτάνει τα επίπεδα αυτών της Θερμικής Επεξεργασίας. Ακόλουθα, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας που δύνανται να παράγουν ενέργεια όπως η *καύση - αποτέφρωση, η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η αεριοποίηση οργανικού πλάσματος*. Όπως παρουσιάζεται, η καύση - αποτέφρωση δύναται να παράξει τα υψηλότερα ποσοστά ενέργειας, είναι δοκιμασμένη τεχνολογία, όμως παράγει ρύπους λόγω της επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ. Αντίθετα, οι υπόλοιπες τρεις τεχνολογίες είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον όμως προϋποθέτουν διαλεγμένα ΑΣΑ και δεν έχουν δοκιμαστεί αρκετά. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται παραδείγματα μονάδων Θερμικής Επεξεργασίας στην ΕΕ με υψηλή ανάκτηση ενέργειας. Όσον αφορά στην Ελλάδα, που έχει 5 *Εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης*, διαθέτει το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ. Για αυτό γίνεται αποτίμηση βάσει κριτηρίων οικονομικών, περιβαλλοντικών, τεχνικών και θεσμικών – κοινωνικών των τεχνολογιών Θερμικής Επεξεργασίας και διερευνάται η δυνατότητα δημιουργίας μονάδας Θερμικής Επεξεργασίας των ΑΣΑ στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: ΑΣΑ, αερόβια μηχανική βιολογική επεξεργασία, αναερόβια μηχανική βιολογική επεξεργασία, βιοζήρανση, RDF, SRF, καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση, αεριοποίηση πλάσματος ΑΣΑ.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ: ΟΡΙΣΜΟΣ, ΕΙΔΗ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ”

1.1 Εισαγωγικά

Στην προσπάθεια να δώσουμε έναν ορισμό για τα αστικά απόβλητα πρέπει καταρχήν να δηλωθεί πως αυτά αποτελούν ένα ιδιαίτερος ετερογενές συνονθύλευμα υλικών που εξαρτάται από παράγοντες όπως το βιοτικό επίπεδο, τα καταναλωτικά πρότυπα, την κινητικότητα του πληθυσμού ακόμα και από τις εποχές του έτους. Η ποιοτική ανάλυσή τους έχει σκοπό να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιορισθεί ένα σχέδιο διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους (ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας).

Τα αστικά στερεά απόβλητα που διαχειρίζονται οι φορείς αποκομιδής περιλαμβάνουν [1]:

- Κατάλοιπα κάθε φύσης, όπως οικιακά απόβλητα, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά που τοποθετούνται μέσα στις πλαστικές σακούλες.
- Απόβλητα από εμπορικές εγκαταστάσεις και βιοτεχνίες, κτίρια γραφείων που τοποθετούνται επίσης σε σακούλες ή κάδους όπως τα οικιακά.
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλύες, προϊόντα από καθαρισμούς δρόμων και δημοσίων χώρων, που συγκεντρώνονται σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Κατάλοιπα από χώρους εκθέσεων, αγορές, εορτές, κλπ, που συγκεντρώνονται επίσης σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Απόβλητα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία (πλην των μολυσματικών) που συγκεντρώνονται σε ειδικούς χώρους.
- Ογκώδη αντικείμενα.

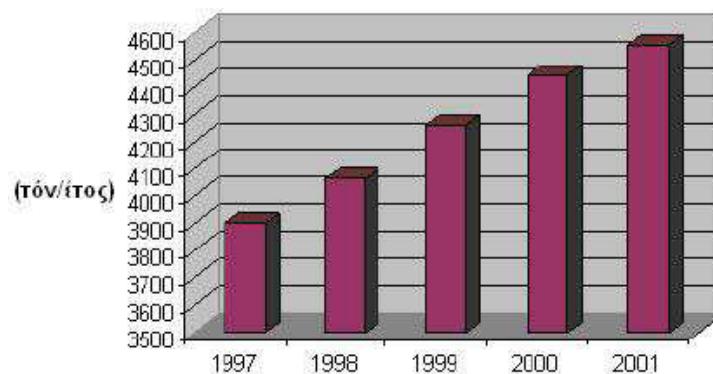
Ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) ταξινομεί τα στερεά απόβλητα σε κατηγορίες ανάλογα με την πηγή προέλευσης ή το είδος του υλικού και περιλαμβάνει τόσο τα επικίνδυνα απόβλητα (εν δυνάμει) όσο και τα μη επικίνδυνα στερεά.

Τα αστικά απόβλητα ταξινομούνται με τον κωδικό 20 στον ΕΚΑ και ορίζονται ως τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα, τα οποία λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι

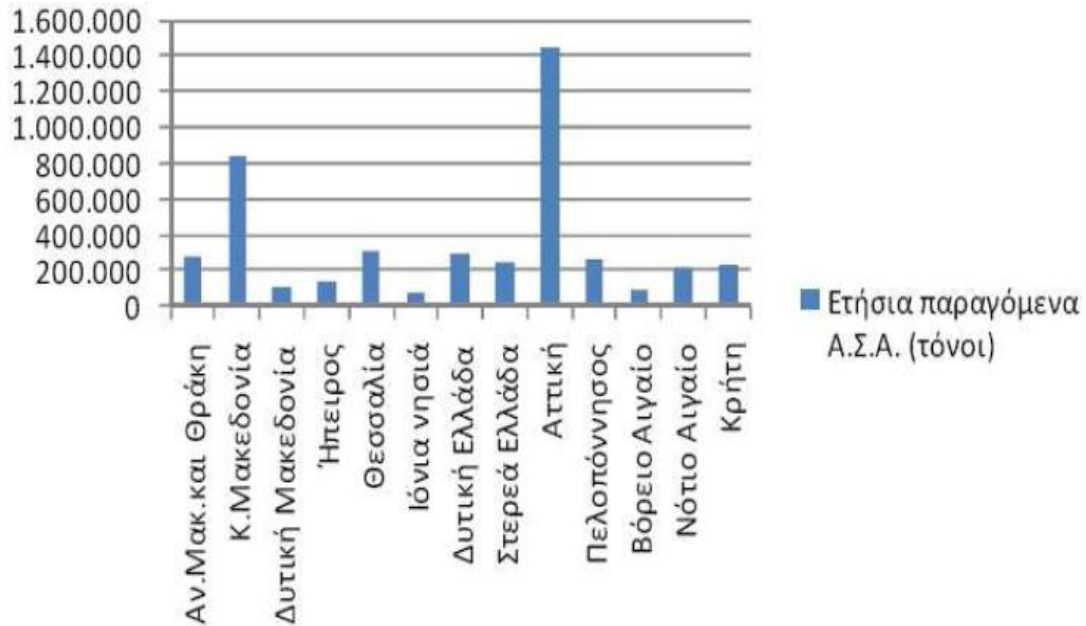
παρόμοια με τα οικιακά. Τα οικιακά απόβλητα ποικίλουν ως προς τη σύσταση και την ποσότητά τους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα εμπορικής προέλευσης απόβλητα είναι κυρίως υλικά συσκευασίας. [2]

Η ποσότητα των αστικών αποβλήτων που παράγονται ανά κάτοικο στην ΕΕ αυξήθηκε κατά 0,4% συνολικά μεταξύ του 1999 και 2009 για να φτάσει τα 513 κιλά. Κατά την περίοδο αυτή, έχει σημειωθεί μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο τα αστικά απόβλητα έχουν υποστεί επεξεργασία. Η υγειονομική ταφή ήταν η πιο κοινή επιλογή με 59% το 1999, το 2004 κάτω του 50% ενώ μέχρι το 2009 είχε μειωθεί περαιτέρω σε 38%. Το 16% των αστικών αποβλήτων αποτεφρώθηκε το 1999 και το ποσοστό αυτό ανήλθε στο 20% έως το 2009, ενώ το ποσοστό των αποβλήτων που ανακυκλώνονται ή λιπασματοποιούνται αυξήθηκε από 25% σε 42% κατά την ίδια περίοδο.

Σε όλη την ελληνική επικράτεια, εκτιμάται ότι παράγονται συνολικά 5,5 εκατ. τόνοι αποβλήτων ετησίως (Σχήμα 1.1). Σύμφωνα με το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Αττικής (Π.Ε.Σ.Δ.Α) (Αρ. Απόφασης 319/Φ.περ.Σ-Α/06/22.02.2006), η παραγωγή Α.Σ.Α. θεωρείται ότι ανερχόταν για το σύνολο του πληθυσμού της Περιφέρειας Αττικής (2001) σε 1,14 Kg/κάτοικο/ημέρα, δηλαδή, σε 4.863,15 t/ημ (μέση ημερήσια ποσότητα) και 1.775.050 t/έτος (μέση ετήσια ποσότητα). Σημαντική ποσότητα αποβλήτων παράγεται και στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας (16%), τα οποία περιλαμβάνουν κυρίως τα απόβλητα που προέρχονται από κατοικίες καθώς και ένα μέρος των στερεών αποβλήτων που παράγονται από εμπορικές δραστηριότητες (Σχήμα 1.2). [3]



Σχήμα 1.1 Παραγωγή ΑΣΑ στην Ελλάδα ανά έτος, 1997-2001 [2]

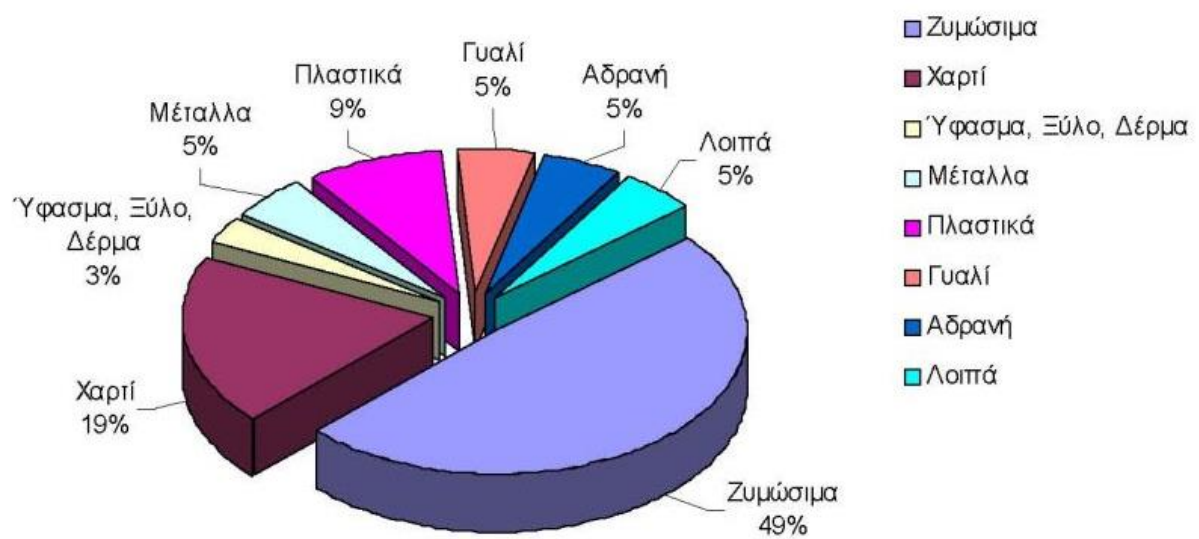


Σχήμα 1.2 Ετήσια συμμετοχή Περιφερειών στην παραγωγή ΑΣΑ [4]

1.2 Είδη αστικών στερεών αποβλήτων

Η ποιοτική σύσταση των αποβλήτων είναι δυναμική παράμετρος που μεταβάλλεται τόσο ως προς τον τόπο όσο και ως προς τον χρόνο. Τοπικά, η σύσταση των αποβλήτων μπορεί να διαφοροποιείται έντονα από χώρα σε χώρα, αλλά και μέσα στην ίδια χώρα από περιφέρεια σε περιφέρεια αλλά ακόμη και μέσα στην ίδια πόλη από περιοχή σε περιοχή. Χρονικά, η σύσταση των αποβλήτων μπορεί, επίσης, να μεταβάλλεται διαχρονικά, από έτος σε έτος, από εποχή σε εποχή αλλά ακόμη και από ημέρα σε ημέρα της εβδομάδας. Τα παραπάνω παρατηρούνται γιατί υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες που ξεκινούν από τις καταναλωτικές και διατροφικές συνήθειες των κατοίκων της περιοχής, τις προτιμώμενες συσκευασίες και το σύνολο των δραστηριοτήτων τους. Για παράδειγμα, τα ελληνικά απόβλητα εμφανίζουν αύξηση του ποσοστού του ζυμώσιμου κλάσματός τους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της αυξημένης κατανάλωσης φρούτων και νωπών λαχανικών.

Στο Σχήμα 1.3 που ακολουθεί απεικονίζεται η μέση ποιοτική σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα με βάση τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2003).

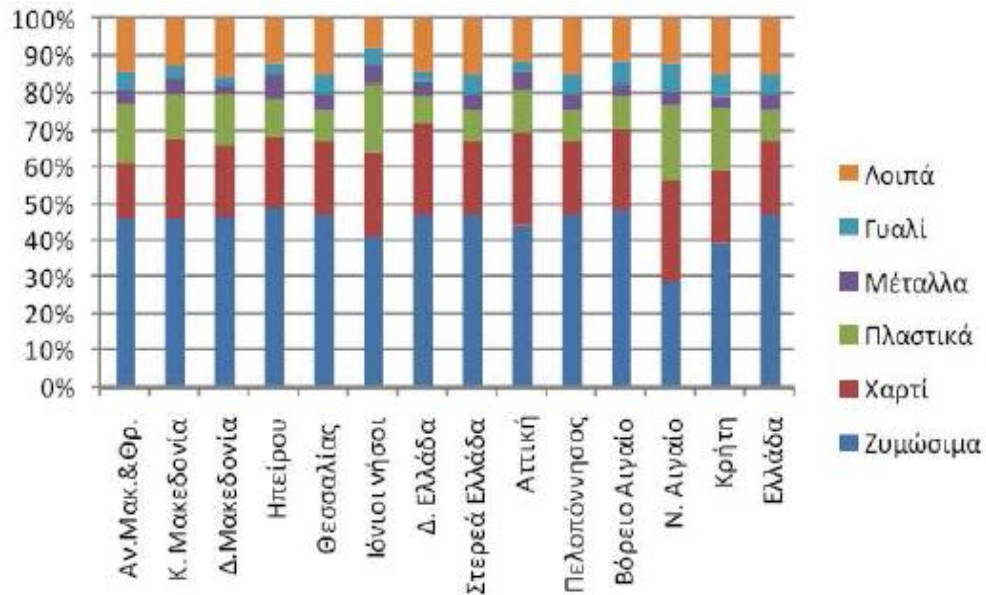


Σχήμα 1.3 Μέση σύσταση στερεών αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα [5]

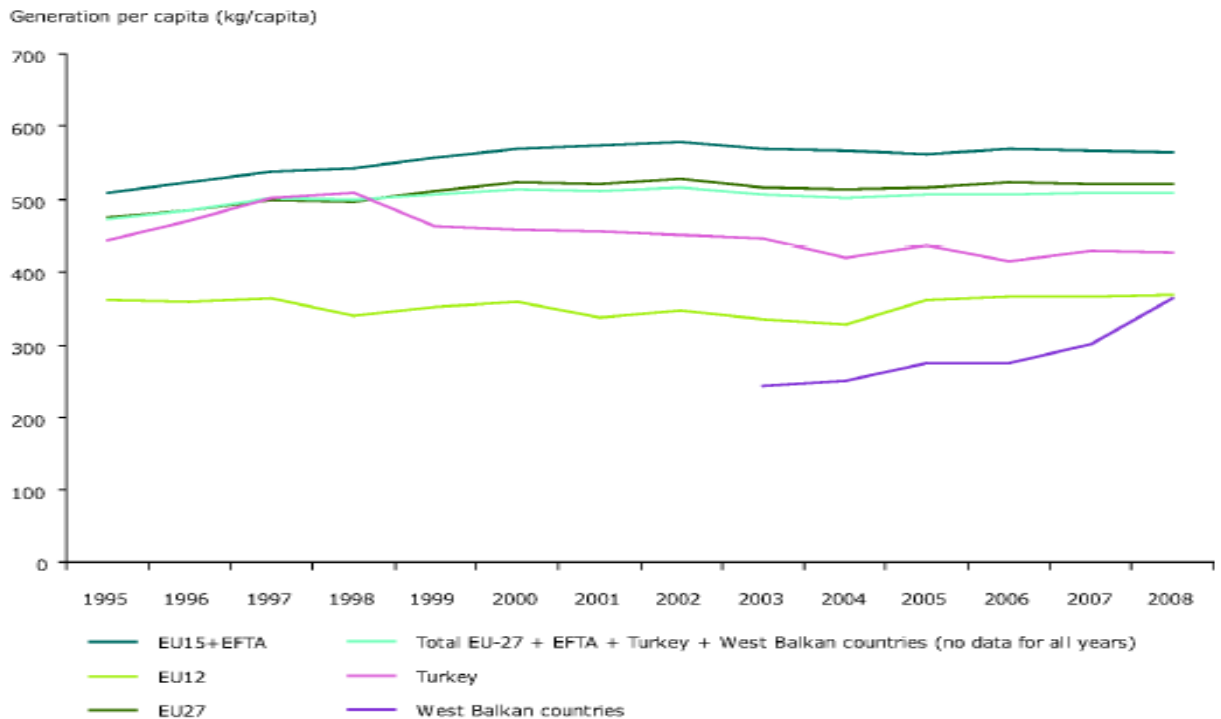
Η πιο δόκιμη κατηγοριοποίηση των αποβλήτων, όπως προκύπτει από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τις εξής ομάδες υλικών: [1]

- **Ζυμώσιμα:** Περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας και κήπου.
- **Χαρτί:** Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.
- **Μέταλλα:** Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών. Είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (αλουμίνιο), κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων. Σε ορισμένες αναλύσεις εξετάζονται ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- **Γυαλί:** Όσον αφορά την ανακύκλωση, γίνεται διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- **Πλαστικό:** Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών αποβλήτων. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).
- **Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Υφασμα:** Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα.
- **Αδρανή:** Περιλαμβάνονται χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απόβλητα (π.χ. χόματα, πέτρες, κ.λπ.).
- **Λοιπά:** Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να καταταχθούν σε καμία από τις άλλες κατηγορίες.

Στα Σχήματα 1.4 και 1.5 αντίστοιχα παρατηρούμε την ποσοστιαία σύσταση των αστικών στερεών αποβλήτων ανά περιφέρεια στην Ελλάδα και την κατά κεφαλή παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων στη Δυτική Ευρώπη, σε νέα κράτη μέλη, στα Δυτικά Βαλκάνια.



Σχήμα 1.4 Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ ανά Περιφέρεια της Ελλάδας [4]



Σχήμα 1.5 Παραγωγή αστικών αποβλήτων κατά κεφαλήν στη Δυτική Ευρώπη (ΕΕ-15 συν Νορβηγία, Ισλανδία και Ελβετία), στα νέα κράτη μέλη (ΕΕ-12), στις χώρες της ΕΕ (ΕΕ-27), στην Τουρκία, στις χώρες των Δυτικών Βαλκανίων και στην Ευρώπη συνολικά, 2010 [6]

Οι ουσιαστικότερες μεταβολές στη σύνθεση των αποβλήτων από τη δεκαετία του '80 έως σήμερα είναι η μείωση των ζυμώσιμων υλικών και η αύξηση των πλαστικών και του χαρτιού. Σύμφωνα με σύγχρονες έρευνες, ο κύριος όγκος των αστικών αποβλήτων σήμερα στην Αθήνα εξακολουθεί να αποτελείται από ζυμώσιμα υλικά, αν και πλέον σε μικρότερο ποσοστό, ενώ αντίθετα, έχει αυξηθεί από το 1/5 στο 1/3 η παρουσία χαρτιού και διπλασιάστηκε το ποσοστό των πλαστικών ενώ στα ίδια επίπεδα περίπου εκτιμάται ότι κυμαίνονται τα υπόλοιπα υλικά.[4]

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και για τις επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα αστικά στερεά απόβλητα και καταλήγουν ορισμένες φορές στους κοινούς πράσινους κάδους αποκομιδής (υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, χρώμιο, βρώμιο). Η έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης καθώς και η ελλιπής ενημέρωση των πολιτών έχει ως αποτέλεσμα να οδηγούνται τελικώς προς ταφή μαζί με το ρεύμα των αστικών αποβλήτων επικίνδυνα υλικά, τα οποία θα πρέπει να συλλέγονται ξεχωριστά και να υπόκειται σε ξεχωριστή επεξεργασία.

1.3 Ποσοτική ανάλυση ΑΣΑ

▪ Μοναδιαία Παραγωγή και Ρυθμός Παραγωγής

Το χαρακτηριστικότερα μεγέθη που περιγράφουν την παραγωγή αποβλήτων είναι η *Μοναδιαία Παραγωγή Αποβλήτων* (ΜΠΑ) και ο αντίστοιχος *Ρυθμός Παραγωγής Αποβλήτων* (ΡΠΑ). Η ΜΠΑ εκφράζεται από το βάρος των αποβλήτων που παράγει ένα άτομο σε μια ημέρα (kg/cap. day) και ποικίλλει πολύ ανάλογα με τη χώρα και την περιοχή. Η ποσότητα είναι μεγαλύτερη, για παράδειγμα, στις πλούσιες χώρες και στις πλούσιες περιοχές της ίδιας χώρας ενώ στις αγροτικές περιοχές η ποσότητα των σκουπιδιών είναι μικρότερη από ότι στις αστικές περιοχές. Η τιμή της ΜΠΑ για την Ελλάδα κυμαίνεται από 0,6 kg/cap.day για τις αγροτικές περιοχές ως 1,4 kg/cap.day για τις οικονομικά ακμαίες αστικές περιοχές (Πίνακας 1.1). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται παγκοσμίως μία αύξηση των ΜΠΑ και ΡΠΑ. [2]

Ο ΡΠΑ εκτιμάται για μια περιοχή πολλαπλασιάζοντας την ΜΠΑ με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό της:

$$\text{ΡΠΑ} = \text{Πληθυσμός} * \text{ΜΠΑ (kg/day)} \quad (1.1)$$

Πίνακας . 1.1 Μεταβολή ΜΠΑ ανάλογα την ανάπτυξη των χωρών.

Περιοχή	ΜΠΑ kgr/cup.day
Χώρες με πολύ χαμηλό εισόδημα πχ Αιθιοπία	0.4
Αναπτυσσόμενα κράτη (πχ Αίγυπτος, Βραζιλία)	0.7
Βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη	1.1
Πλούσια κράτη (πχ Καναδάς, Ελβετία)	Έως 2.5
Ελλάδα	0.81

Παράγοντες που επηρεάζουν το ΡΠΑ:

- Πληθυσμιακή πυκνότητα (αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας αντιστοιχεί σε αύξηση της παραγωγής αποβλήτων).
- Πληθυσμιακές διακυμάνσεις (ιδιαίτερα για τουριστικές περιοχές).
- Εποχές χρόνου.
- Συχνότητα συλλογής (αύξηση συχνότητας συλλογής αντιστοιχεί σε αύξηση της ΠΑ).
- Οικονομο-κοινωνικό, πολιτισμικό και μορφωτικό επίπεδο.
- Γεωγραφική περιοχή αναφοράς.
- Ηλικία καταναλωτών.
- Εμπορική και βιομηχανική δραστηριότητα.
- Ύπαρξη προγραμμάτων ανακύκλωσης και κομποστοποίησης.
- Ενημέρωση καταναλωτών.
- Όγκος και είδη κάδων.

1.4 Ποιοτική ανάλυση ΑΣΑ

Ο σχεδιασμός μίας βιώσιμης πολιτικής διάθεσης αποβλήτων, πέρα από την απλή απόθεση, (δηλ. η ανάκτηση υλικών ή και ενέργειας από αυτά) για μία περιοχή προϋποθέτει τη γνώση της περιεκτικότητάς τους (Πίνακας 1.2). Οι παράγοντες που επιδρούν στην παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων επιδρούν ακόμη στην ποιότητα και τη σύσταση.

Πίνακας 1.2 Πρόσφατες μετρήσεις φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού Προγράμματος «Προσδιορισμός Φυσικοχημικών Παραμέτρων & Ποιοτικής Σύστασης Απορριμμάτων Λεκανοπεδίου Αττικής» που εκπόνησε ο ΕΣΔΚΝΑ από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Μάρτιο του 2008 σε συνεργασία με το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και το Πολυτεχνείο της Δρέσδης.

Παράμετρος	Μονάδα Μέτρησης	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεση Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Υγρασία	(%)	30.0	48.2	37.2	37.5	4.6
pH	-	5.98	7.11	6.57	6.60	0.34
Οργανική Ουσία	(%)d.w	72.1	91.6	83.4	83.0	5.2
Οργανικός Άνθρακας	(%)d.w	30.2	34.0	32.6	32.4	1.1
Αζωτο (TKN)	(%)d.w	0.61	1.30	0.95	0.93	0.23
Αγωγιμότητα	(mS/cm)	0.84	2.08	1.49	1.46	0.27
Θερμογόνος Δύναμη	(kcal/kg)d.w	2230	4794	2847	3045	716
Ολικά χλωριούχα (Cl)	(%)d.m	0.13	1.46	0.61	0.63	0.35
Cr	Mg/kg	0.068	0.530	0.173	0.201	0.126
Cu	Mg/kg	15.5	49.0	27.7	29.9	9.9
Mn	Mg/kg	21.0	67.1	31.3	34.1	10.9
Ni	Mg/kg	13.2	58.9	21.5	27.7	12.0
Zn	Mg/kg	33.6	205.1	76.5	85.1	37.3

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων μπορούν να διαχωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες. Τα *φυσικά* δηλαδή για την εκατοστιαία κατά βάρος φυσική σύσταση σε ευδιάκριτα υλικά, όπως χαρτί, γυαλί, μέταλλα, το ειδικό βάρος, το μέγεθος (κυρίως για όταν πρόκειται να εφαρμοστεί κάποιο πρόγραμμα ανάκτησης υλικών) και τη υδατοδιαπερατότητα των αποβλήτων. Τα *χημικά*, δηλαδή την υγρασία, την περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά και ανόργανα, την ποσοστιαία σύσταση σε χημικά στοιχεία (άνθρακας, οξυγόνο, κ.λπ.), κ.ά. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και η θερμογόνος δύναμη των αποβλήτων καθώς και η περιεκτικότητα τους σε επικίνδυνα συστατικά. Τα *микροβιολογικά* που ορίζονται από το ποσοστό των μολυσματικών αποβλήτων στην παραγόμενη ποσότητα και τέλος, τα *βιολογικά*. Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων είναι η δυνατότητα μετασχηματισμού τους μέσω βιολογικών διεργασιών σε αέρια συστατικά και σχετικά αδρανή οργανικά, με άλλα λόγια, η σήψη των οργανικών συστατικών και ιδιαίτερα των υπολειμμάτων τροφών με αποτέλεσμα την έκλυση οσμών και την προσέλκυση εντόμων.

1.5 Απόβλητα ως καύσιμη ύλη

Η μάζα των αποβλήτων διακρίνεται από μεγάλη ανομοιογένεια και διακύμανση σε οργανικά και ανόργανα συστατικά. Αυτό δυσκολεύει το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας, για τον υπολογισμό του ισοζυγίου μάζας - ενέργειας και των εκπομπών της μονάδας.

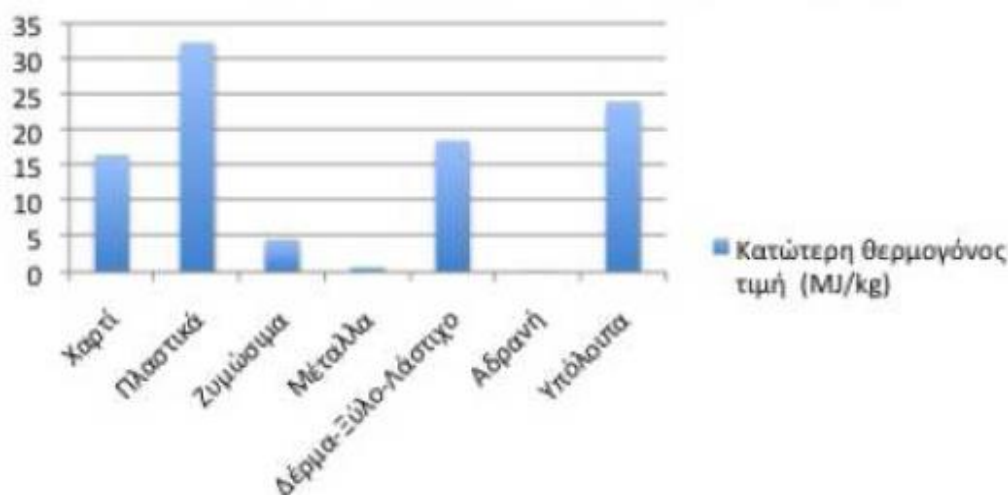
Οι βασικότερες ιδιότητες των αποβλήτων που επηρεάζουν την συμπεριφορά τους στην καύση αναλύονται παρακάτω. [1]

1.5.1 Ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη

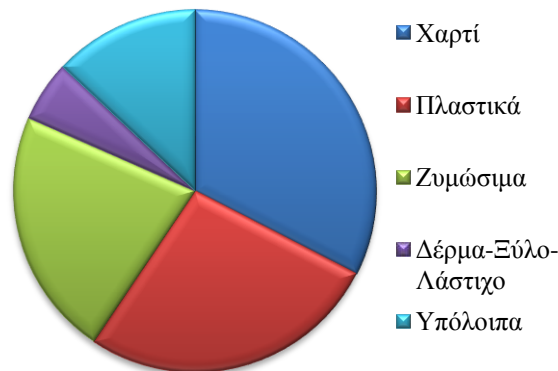
Θερμογόνος δύναμη των οικιακών αποβλήτων είναι η ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας βάρους και εκφράζεται σε kcal/kg αποβλήτων. Υπολογίζεται εργαστηριακά με τη βοήθεια θερμιδόμετρου. Ο υπολογισμός της γίνεται στην περίπτωση ανάκτησης ενέργειας από τα απόβλητα.

Τα καύσιμα (απόβλητα) περιέχουν H_2 και έτσι τα προϊόντα θα περιέχουν H_2O . Όταν το νερό (ατμός) που σχηματίζεται κατά την καύση του H_2 συμπυκνώνεται (υγρό) τότε εκλύεται ένα ποσό θερμότητας που είναι μετρίσιμο και έτσι θα μετρηθεί μία μεγαλύτερη θερμογόνος δύναμη από την περίπτωση που το νερό θα είχε παραμείνει στην αέρια φάση. Συνεπώς, διακρίνονται δύο θερμογόνοι δυνάμεις: η ανώτερη, που αντιστοιχεί στην πλήρη συμπύκνωση του νερού των προϊόντων και η κατώτερη, που αντιστοιχεί στην περίπτωση που το νερό των προϊόντων είναι στην αέρια φάση. Συνήθως, αυτή που χρησιμοποιείται για τεχνικούς υπολογισμούς είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη.

Ενδεικτικές τιμές της θερμογόνου δύναμης ανάλογα με τον τύπο των αποβλήτων και η συμμετοχή αυτών στην ενέργεια δίνονται στα παρακάτω Σχήματα 1.6 και 1.7.



Σχήμα 1.6 Κατώτερη θερμογόνος τιμή των Ελληνικών οικιακών απόβλητων [4]



Σχήμα 1.7 Συμμετοχή στην παραγωγή των Ελληνικών οικιακών απορριμμάτων [4]

1.5.2 Περιεκτικότητα σε υγρασία

Η υγρασία των αποβλήτων υπολογίζεται εργαστηριακά με ξήρανση δείγματός τους (είτε του συνόλου των αποβλήτων είτε του κάθε συστατικού ξεχωριστά) σε φούρνο στους 105°C για μία ώρα. Επειδή τα δείγματα δε μπορούν να είναι μεγάλα, προτιμάται ο υπολογισμός της υγρασίας στα διάφορα επιμέρους συστατικά και, βάσει αυτής, ο υπολογισμός της συνολικής. Η περιεχόμενη υγρασία των στερεών απόβλητων εκφράζεται συνήθως ως το βάρος υγρασίας που περιέχεται στη μονάδα του βάρους του υγρού ή ξηρού υλικού. Κατά τη μέτρηση της υγρασίας με αναφορά στο υγρό υλικό, η υγρασία αυτή σ' ένα δείγμα εκφράζεται ως ποσοστό του βάρους του υγρού υλικού. Αντίστοιχα, κατά την ξηρή μέθοδο, εκφράζεται σαν ποσοστό του βάρους του ξηρού υλικού.

Μερικές τυπικές τιμές της περιεχόμενης υγρασίας των πιο συνηθισμένων τύπων αποβλήτων δίνονται στον Πίνακα 1.3. Για τα περισσότερα αστικά απόβλητα η περιεχόμενη υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 15 και 40%, εξαρτώμενη από τη σύσταση των αποβλήτων, την εποχή του έτους, τις καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα τη βροχή.

Πίνακας 1.3 Τυπικές τιμές υγρασίας αποβλήτων (% κ.β.).

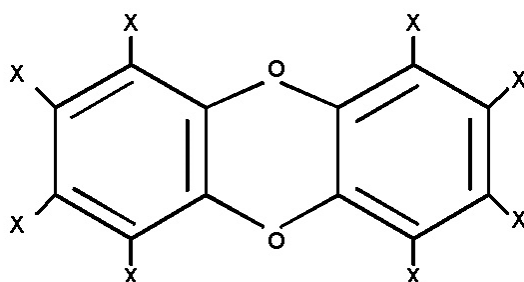
Συστατικά	Υγρασία %
Υπολείμματα τροφών	70
Χαρτιά	6
Χαρτόνια	5
Πλαστικά	2
Γυαλιά	2
Μέταλλα	3
Κονσέρβες	3
Απορρίμματα κήπων (κλαδιά, φύλλα κλπ)	60
Στάχτη, σκόνη, τούβλα	8
Δέρμα	10
Υφάσματα	10
Αδρανή κάτω των 10mm	10
Αδρανή άνω των 10mm	8

1.5.3 Σημείο τήξης και περιεκτικότητα υπολειμμάτων σε στάχτη

Η θερμοκρασία τήξης και συσσωμάτωσης της τέφρας που παράγεται μετά την καύση των αποβλήτων κυμαίνεται μεταξύ 1100 –1200°C. [1]

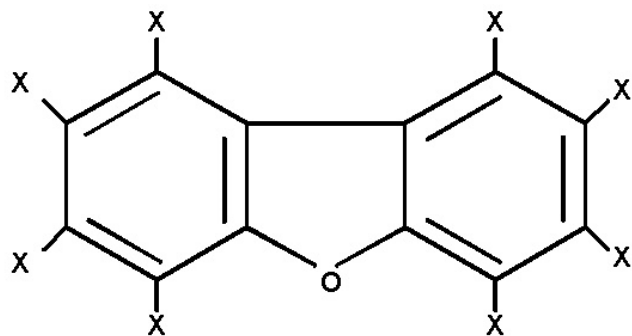
1.5.4 Χημική ανάλυση των καύσιμων συστατικών

Η εκπομπή χλωριωμένων ενώσεων (διοξίνες/φουράνια) κατά την καύση αποβλήτων επιβάλλει πολλές φορές και προσδιορισμό περιεκτικότητας σε αλογόνα. [1]



Εικόνα 1.1 Μόριο Διοξινών

Όπου X, άτομο χλωρίου (Cl) ή υδρογόνου (H) και O άτομο οξυγόνου



Εικόνα 1.2 Μόριο Φουρανίων

Όπου X, άτομο χλωρίου (Cl) ή υδρογόνου (H) και O άτομο οξυγόνου

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΣΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ”

2.1 Εισαγωγικά

Οικονομικές, κοινωνικές, πολιτικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις περιλαμβάνει η διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ). Αφορά το σύνολο της κοινωνίας μας, ξεκινώντας από τους θεσμικούς κρατικούς φορείς (Υπουργεία, Περιφέρειες, ΟΤΑ-ΦοΔΣΑ) και τους επαγγελματίες (επιστήμονες, μελετητές, εργολήπτες) έως και τους απλούς πολίτες. Με τον όρο αυτό νοούνται δράσεις και πολιτικές όπως η πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων, η διαλογή στην πηγή, η μεταφορά, η μεταφόρτωση, η προσωρινή αποθήκευση, η αξιοποίηση και η διάθεση των απόβλητων. [1]

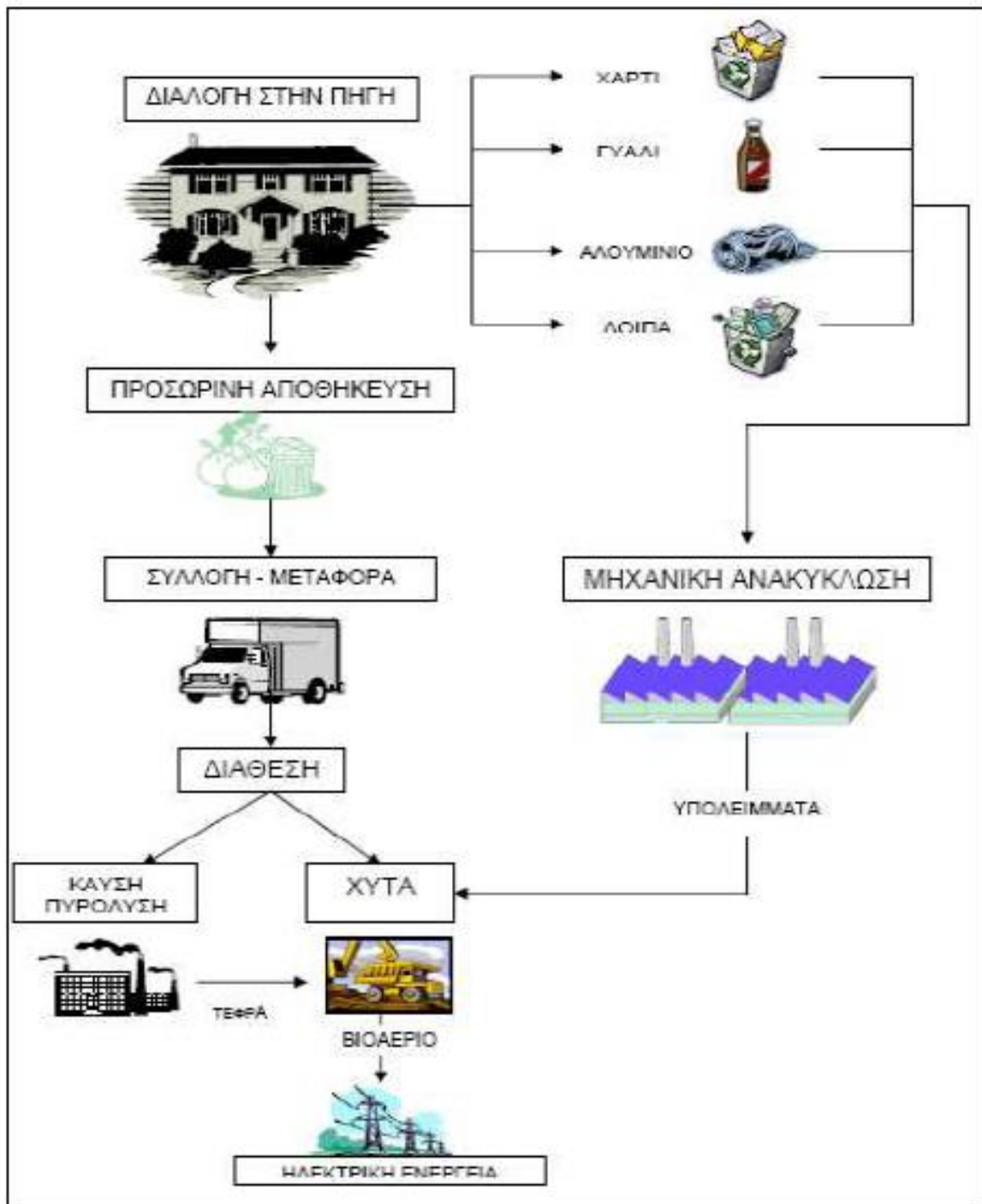
Παρά τα σημαντικά βήματα που γίνονται στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια και που αφορούν στην εφαρμογή ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων, υπάρχει σημαντική υστέρηση σε σύγκριση με την Ευρώπη, τόσο σε επίπεδο υποδομών όσο και σε επίπεδο ευαισθητοποίησης και συμμετοχής των πολιτών. [7]

Όσον αφορά το σχεδιασμό, οι αλλαγές που έχουν επέλθει τα τελευταία χρόνια στο θεσμικό πλαίσιο επιβάλλουν τη λήψη πρωτοβουλίας από τους ΟΤΑ και τους ΦοΔΣΑ, οι οποίοι είναι και οι αρμόδιοι τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία των υφιστάμενων και προγραμματισμένων έργων. Οι ΟΤΑ είναι επίσης υπεύθυνοι για την ενεργοποίηση των πολιτών, οι οποίοι με τη συμμετοχή τους θα καθορίσουν και την αποτελεσματικότητα των έργων. Υπό αυτές τις συνθήκες η δευτεροβάθμια τοπική αυτοδιοίκηση καλείται να δώσει γρήγορες και άμεσες λύσεις σε ένα πολύπλοκο ζήτημα, ακολουθώντας όσα προβλέπει το θεσμικό πλαίσιο και με τα χρονοδιαγράμματα που θέτουν οι Οδηγίες της Ε.Ε. να πιέζουν ασφυκτικά. [8]

Η διαχείριση των αποβλήτων βασίζεται σε τρία στοιχεία:

- στη διατύπωση γενικού σχεδίου,
- στο ρυθμιστικό σύστημα και στο σύστημα ελέγχου και
- στη διαθεσιμότητα κατάλληλων τεχνικών και εγκαταστάσεων διαχείρισης και διάθεσης, με σκοπό να υλοποιηθεί η επιλεγμένη πορεία για την διαχείριση των αποβλήτων (Εικόνα 2.1).

Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, η διάθεση των ανεπεξέργαστων στερεών αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής αποτελεί την τελευταία εναλλακτική λύση, καθώς συνεπάγεται σπατάλη πόρων, οι οποίοι θα μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να αξιοποιηθούν. Παράλληλα, δεν επιτρέπεται και από το κοινοτικό και ελληνικό θεσμικό πλαίσιο από το 1999 και το 2002 αντίστοιχα. (Παράρτημα 1)



Εικόνα 2.1 Ορθολογική διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων

2.2 Το ευρωπαϊκό θεσμικό και νομικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ

2.2.1 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη

Η ΕΕ προωθεί την *αειφόρο και φιλική για το περιβάλλον διαχείριση αποβλήτων* με σκοπό την διαφύλαξη της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος θεσπίζοντας τέσσερις βασικές, γενικές αρχές: [9]

- την αρχή της πρόληψης: η ελαχιστοποίηση της παραγωγής των στερεών αποβλήτων.
- την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»: η επιβολή προστίμων (χρηματικών ή ποινικών) σε όποιον προκαλεί οποιαδήποτε ζημία στο περιβάλλον.
- την αρχή της προφύλαξης: η λήψη μέτρων για την προφύλαξη του περιβάλλοντος από τη ρύπανση των αποβλήτων.
- την αρχή της γεινιάσης: η διάθεση και διαχείριση των αποβλήτων θα πρέπει να γίνεται κοντά στον τόπο παραγωγής τους.

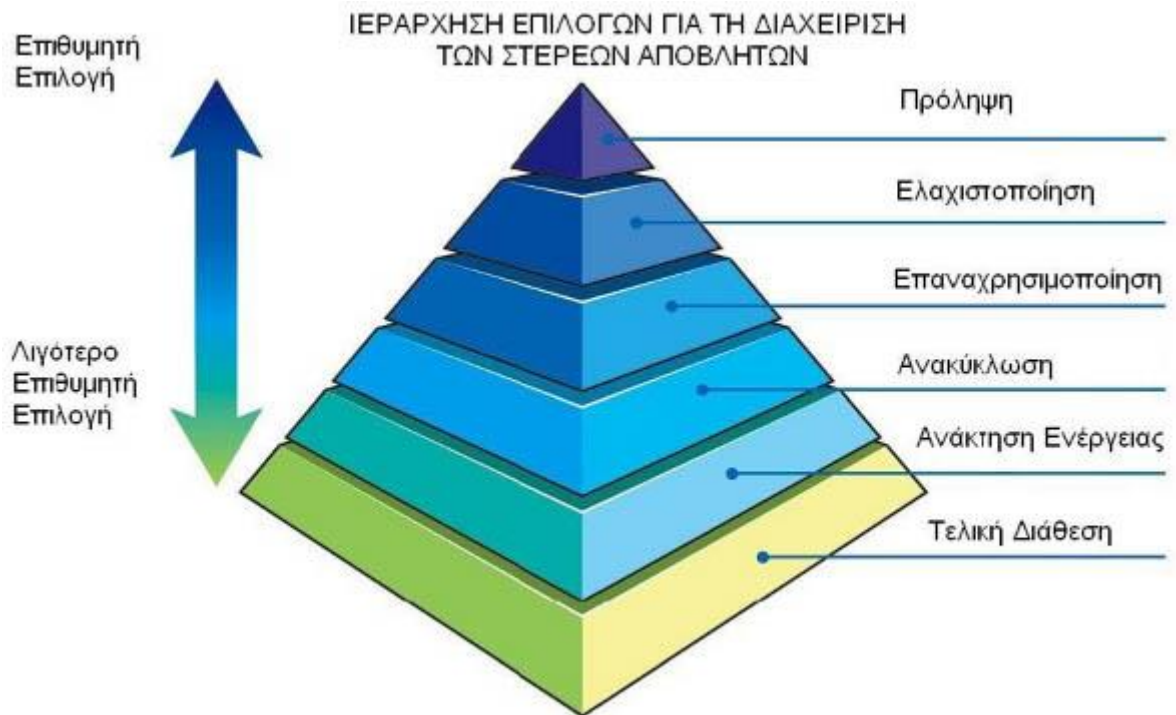
Η πολιτική της ΕΕ για τα απόβλητα στηρίζεται σε μια έννοια που είναι γνωστή ως ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων και θεσπίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 75/442/ΕΟΚ, με βάση την οποία οι διάφορες εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης των αποβλήτων χαρακτηρίζονται από «βέλτιστες» ως «χειρίστες» από περιβαλλοντικής σκοπιότητας.

Οι επιλογές αυτές είναι:

- Πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων
- Επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος
- Ανακύκλωση ή λιπασματοποίηση του προϊόντος
- Ανάκτηση της ενέργειας μέσω αποτέφρωσης
- Διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής

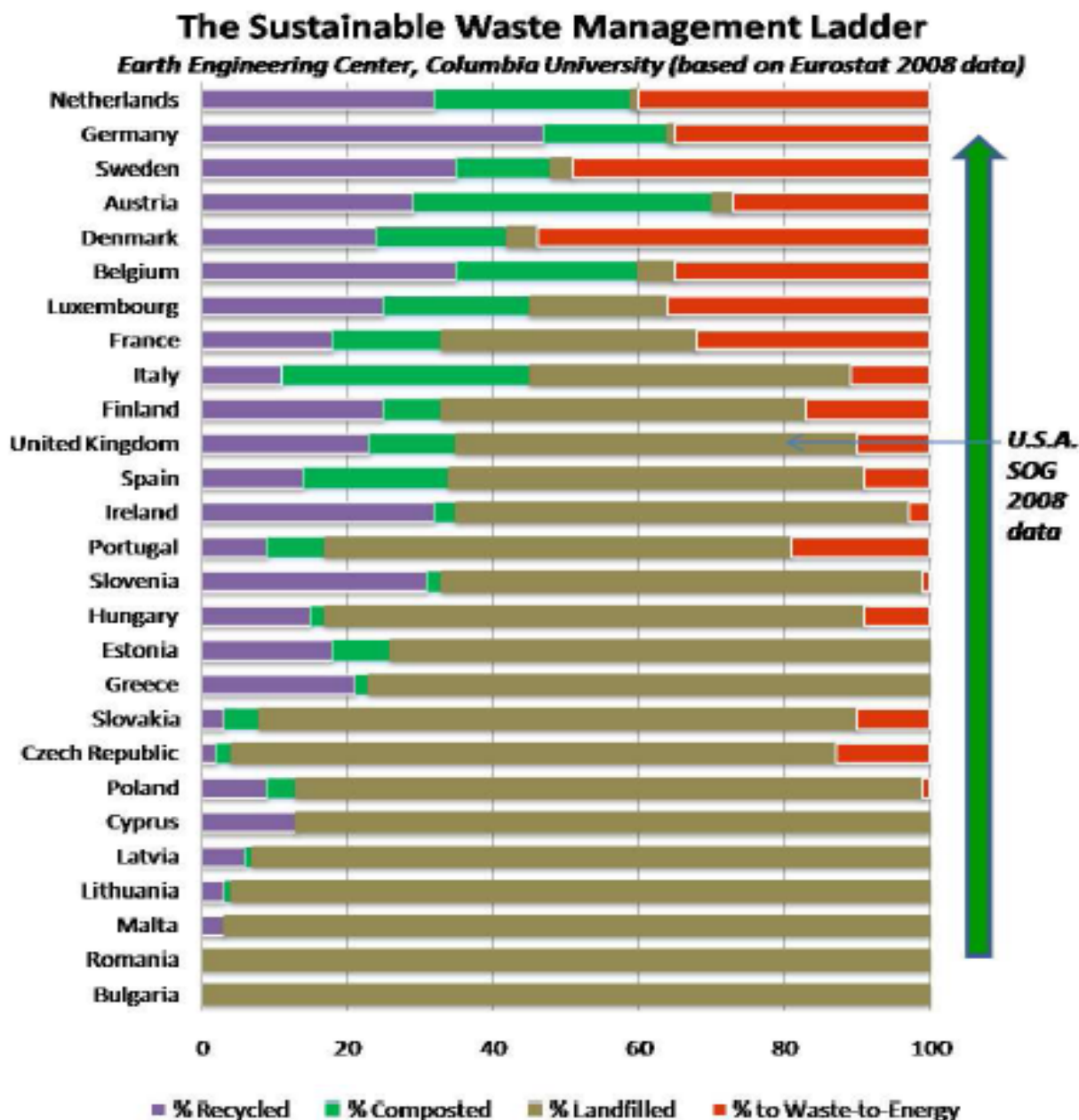
Αυτό σημαίνει ότι, ιδανικά, τα απόβλητα πρέπει να προλαμβάνονται και ό,τι δεν μπορεί να προληφθεί πρέπει να επαναχρησιμοποιείται, να ανακυκλώνεται και να ανακτάται όσο είναι εφικτό, ενώ η υγειονομική ταφή πρέπει να αποτελεί την έσχατη λύση αφού είναι η πιο επιβλαβής επιλογή για το περιβάλλον (Εικόνα 2.2). Η παραπάνω ιεράρχηση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απόλυτος κανόνας, δεδομένου ότι διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων μπορεί να έχουν διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συνεπώς, αν κάποια, χαμηλότερης θέσης στην ιεράρχηση, εναλλακτική επιλογή επιφέρει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε συγκεκριμένες συνθήκες, πρέπει και να προτιμάται. Ωστόσο ο στόχος μετάβασης σε μια κοινωνία ανακύκλωσης και ανάκτησης σημαίνει μετακίνηση σε ανώτερη θέση στην ιεράρχηση, απομάκρυνση από την υγειονομική ταφή και όλο και πιο εκτεταμένη ανακύκλωση και ανάκτηση. Τέλος, η εισαγωγή της νέας έννοιας του «κύκλου

ζωής» έχει ως στόχο να εξασφαλίσει ότι επιλέγεται η βέλτιστη, από περιβαλλοντικής σκοπιάς, εναλλακτική επιλογή σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. [2, 10]



Εικόνα 2.2 Ιεράρχηση στην διαχείριση αποβλήτων [11]

Παρόλα αυτά, το 2005, στην ΕΕ κατά μέσο όρο τα αστικά απόβλητα κατέληγαν κατά 49% σε χώρους υγειονομικής ταφής, το 18% οδηγούταν προς αποτέφρωση ενώ το υπόλοιπο 33% προς ανακύκλωση και λιπασματοποίηση. Γενικά, όμως, υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα κράτη μέλη, οι οποίες κυμαίνονται από εκείνα τα οποία ανακυκλώνουν τις μικρότερες ποσότητες (90% ΧΥΤΑ, 10% ανακύκλωση και ανάκτηση ενέργειας) έως εκείνα που είναι ιδιαίτερα φιλικά με το περιβάλλον (10 % ΧΥΤΑ, 25% ανάκτηση ενέργειας και 65% ανακύκλωση) (Σχήμα 2.1). [12]



Σχήμα 2.1 Ποσοστά χρησιμοποίησης των τεχνικών διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη [13]

Η ΕΕ υιοθέτησε το 2002 το 6ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον [14], μια νέα περιβαλλοντική στρατηγική που καθορίζει στόχους και περιγράφει σε γενικές γραμμές τα μέσα με τα οποία η ΕΕ μπορεί να κινηθεί προς μια βελτιωμένη διαχείριση των αποβλήτων, για την περίοδο 2002-2012. Ταυτόχρονα απλοποιεί σημαντικά και αποσαφηνίζει το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο, ευθυγραμμίζόμενη με τους στόχους της ΕΕ για καλύτερη νομοθεσία. Συγκεκριμένα, αφορά τέσσερις βασικούς τομείς:

→ κλιματική αλλαγή,

- βιοποικιλότητα,
- περιβάλλον και υγεία,
- αειφόρος χρήση των φυσικών πόρων και διαχείριση αποβλήτων.

Για την αντιμετώπιση πιο εξειδικευμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, το συγκεκριμένο πρόγραμμα ενθάρρυνε την ανάπτυξη επτά θεματικών στρατηγικών:

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση
2. Πρόληψη και Ανακύκλωση Αποβλήτων
3. Προστασία και Διαφύλαξη του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος
4. Έδαφος
5. Αειφόρος Χρήση Φυτοφαρμάκων
6. Αειφόρος Χρήση Πόρων
7. Αστικό Περιβάλλον

Κάθε στρατηγική βασίζεται σε ενδεδειγμένη έρευνα και επιστημονική τεκμηρίωση και θέτει σαφείς περιβαλλοντικούς στόχους που θα πρέπει να επιτευχθούν έως το 2020. Επισημαίνεται πως οι στρατηγικές για τα απόβλητα και τους πόρους είναι δύο από τις επτά «θεματικές» στρατηγικές, η Πρόληψη και Ανακύκλωση Αποβλήτων και η Αειφόρος Χρήση Πόρων. Η εφαρμογή τους έχει σκοπό να οδηγήσει την ΕΕ σε μια κοινωνία ανακύκλωσης, η οποία θα επιδιώκει να προλάβει τη δημιουργία αποβλήτων και, στις περιπτώσεις που δεν το μπορεί, να τα χρησιμοποιεί ως πόρο.

Συγκεκριμένα, η θεματική στρατηγική αποβλέπει στα εξής:

1. Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
2. Ανανεωμένη έμφαση στην πλήρη εφαρμογή της υπάρχουσας νομοθεσίας
3. Απλοποίηση και εκσυγχρονισμό της υπάρχουσας νομοθεσίας
4. Προώθηση πιο φιλόδοξων πολιτικών πρόληψης της δημιουργίας αποβλήτων
5. Καλύτερη γνώση και πληροφόρηση
6. Ανάπτυξη κοινών προτύπων αναφοράς για την ανακύκλωση
7. Περαιτέρω διαμόρφωση της πολιτικής της ΕΕ στον τομέα της ανακύκλωσης
8. Εισαγωγή της έννοιας του κύκλου ζωής στην πολιτική για τα απόβλητα.

Παρ' όλη όμως την επιτευχθείσα πρόοδο, δύο σημαντικά προβλήματα παρατηρούνται σήμερα:

- Η διαρκής αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων στερεών αποβλήτων, με ρυθμούς ανάλογους της οικονομικής ανάπτυξης. Η οικονομική ύφεση που βιώνουμε ενδεχομένως να έχει επηρεάσει πτωτικά την τάση αυτή.

→ Η αύξηση των ποσοτήτων των στερεών αποβλήτων τα οποία καταλήγουν σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ), παρά την αύξηση του ποσοστού της ανακύκλωσης και της αποτέφρωσης, ως συνέπεια των διαρκώς αυξανόμενων παραγόμενων ποσοτήτων.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι τάσεις αυτές οφείλονται κυρίως στην μη ικανοποιητική εφαρμογή της νομοθεσίας για τα απόβλητα και στην ενίσχυση της χρήσης προτύπων (π.χ. χρήση κριτηρίων για το τέλος του κύκλου ζωής των αποβλήτων). [15]

2.3 Το θεσμικό και νομικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα

2.3.1 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα

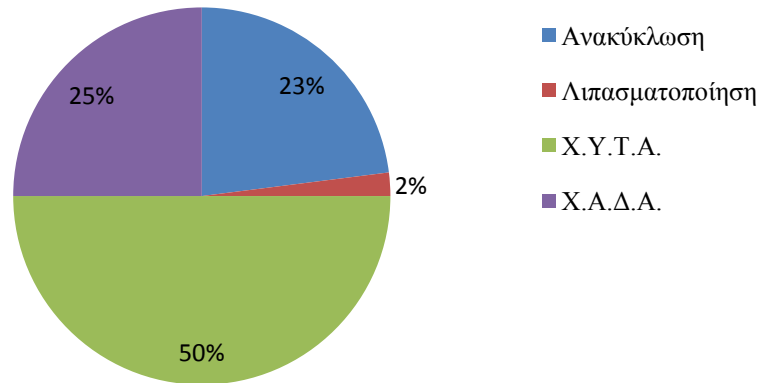
Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ), με την υποστήριξη των Περιφερειών, είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων ενώ για την επεξεργασία και την τελική διάθεσή τους είναι υπεύθυνοι οι Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Φο.Δ.Σ.Α.), με την υποστήριξη των Περιφερειών και της κεντρικής διοίκησης [16]. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων για τους περισσότερους δήμους χαρακτηρίζεται ανεπαρκές, καθώς υπάρχουν σοβαρές ελλείψεις σε εξοπλισμό και τεχνολογία, σε ανθρώπινο δυναμικό, και σε χρηματοδότηση από το κράτος. Σήμερα, με την εφαρμογή του σχεδίου Καλλικράτης (Ν. 3852/2010) καταγράφονται τα παρακάτω επίσημα στοιχεία:

Οι ΦοΔΣΑ σήμερα, λειτουργούν τυπικά είτε ως Σύνδεσμοι των δήμων είτε ως Ανώνυμες Εταιρείες τους, ενώ σε περιοχές της χώρας όπου δεν δύναται να ανταπεξέλθουν στις υποχρεώσεις τους είτε αδρανούν είτε το αντικείμενο τους υλοποιείται από άλλες νομικές οντότητες της αυτοδιοίκησης (δημοτικές ή διαδημοτικές επιχειρήσεις, ΔΕΥΑ, κλπ) ή από υπηρεσίες των ίδιων των δήμων μέσω προγραμματικών συμβάσεων ή άτυπων συμφωνιών. Σήμερα υφίστανται και λειτουργούν με όλες τις νομικές μορφές που αναφέρθηκαν παραπάνω, περίπου 102 ΦοΔΣΑ. [4]

Η εφαρμογή του σχεδίου Καλλικράτης (Ν. 3852.2010) όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έχει προβλέψει τη σύσταση ΦοΔΣΑ με τη μορφή συνδέσμων των δήμων, στους οποίους συγχωνεύονται οι παλαιότεροι ΦοΔΣΑ ανεξαρτήτως μορφής και η διαδικασία σύστασης και λειτουργίας των ως άνω συνδέσμων ΦοΔΣΑ, θα καθορισθεί με Π.Δ. Σε κάθε περιφέρεια της χώρας θα αντιστοιχεί ένας ΦοΔΣΑ, με εξαίρεση τις νησιωτικές περιφέρειες Ιονίου, Βορείου και Νοτίου Αιγαίου, στις οποίες αντιστοιχεί ένας ΦοΔΣΑ σε κάθε Περιφερειακή Ενότητα. Έτσι, θα προκύψουν συνολικά 32 ΦοΔΣΑ - σύνδεσμοι ενώ για την Περιφέρεια Αττικής,

προβλέπεται χωριστή ρύθμιση, με δημιουργία διαβαθμικού συνδέσμου (περιφέρεια – δήμοι). [4]

Το Σχήμα 2.2 περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση σχετικά με τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα.



Σχήμα 2.2 Εκτίμηση υφιστάμενης κατάστασης για τους τρόπους διαχείρισης των ΑΣΑ στην ελληνική επικράτεια [4]

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Εσωτερικών και των Περιφερειακών Σχεδιασμών Διαχείρισης Αποβλήτων (2010), λειτουργούν 77 Χ.Υ.Τ.Α., προς εξυπηρέτηση 7.861.586 κατοίκων και ετήσια δυναμικότητα 3 εκατ. τόνους. Συνολικά, βρέθηκε ότι από τους 5.981.000 τόνους που εκτιμάται ότι παρήχθησαν το 2010, περίπου 3.031.570 τόνοι (50% του ολικού ΑΣΑ) διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Επιπλέον, λειτουργούν 25 Σταθμοί Μεταφόρτωσης Αποβλήτων (Σ.Μ.Α.) και πρόκειται να κατασκευαστούν 82 νέοι, σύμφωνα με τους ΠΕΣΔΑ. [4]

Επίσης, το 2005 υπήρχαν 1.125 Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ) ενώ σήμερα υπάρχουν 78 ενεργοί, οι μισοί από τους οποίους βρίσκονται σε μικρά νησιά. αυτούς, Στους χώρους αυτούς απορρίπτεται λιγότερο από το 6% της ετήσιας ποσότητας των αστικών αποβλήτων της χώρας. Υπάρχουν επίσης 318 ανενεργοί ΧΑΔΑ προς αποκατάσταση. Τρεις περιφέρειες, η Δυτική Μακεδονία, η Θεσσαλία, η Ήπειρος έχουν εξαλείψει οριστικά την ανεξέλεγκτη διάθεση. Τα πρόστιμα, όμως, που επιβάλλονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση για αυτούς τους ενεργούς ΧΑΔΑ ανέρχονται σε 71.193€ ανά ΧΑΔΑ ημερησίως. Ωστόσο, τα στοιχεία των ΧΑΔΑ μεταβάλλονται διαρκώς γιατί, εξαιτίας των προστίμων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιφέρει η λειτουργία τους, καταβάλλεται συντονισμένη προσπάθεια για την άμεση παύση τους από Περιφέρειες, ΟΤΑ, ΦοΔΣΑ, ΥΠΕΚΑ και ΥΠΕΣ.[4]

Η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης και Ανακύκλωσης (Ε.Ε.Α.Α.) είναι αρμόδια για την αξιοποίηση και ανακύκλωση των ΑΣΑ. Η ΕΕΑΑ, σε συνεργασία με τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.), είναι υπεύθυνη για τη συλλογή (π.χ. διαθέτοντας μπλε τσάντες στα νοικοκυριά και τοποθετώντας μπλε κάδους στους Ο.Τ.Α.), τη μεταφορά (με ειδικά οχήματα συλλογής) και διάθεση των ΑΣΑ σε ειδικά Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ). Χαρακτηριστικό είναι ότι στις Περιφέρειες Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και Βορείου Αιγαίου δεν υπάρχουν Κ.Δ.Α.Υ, δεν υπάρχει κανένας τρόπος αξιοποίησης αποβλήτων και όλα τα Α.Σ.Α. διατίθενται σε ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ. Είναι αναγκαία η περαιτέρω προώθηση της ανακύκλωσης και της αξιοποίησης των χρήσιμων υλικών που απορρίπτονται και επίσης του ζυμώσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, διαμέσου της ανάκτησης του ενεργειακού τους περιεχομένου, διότι εκτός των πολλαπλών θετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουν, θα απαλλάξουν τους ΟΤΑ και τους Φορείς Διαχείρισης από την πλήρη εξάρτηση από την ταφή.

Αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί πέντε μονάδες ανάκτησης βιοαερίου και παραγωγής ενέργειας τα οποία βρίσκονται στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων της Αττικής, στο ΧΥΤΑ Βόλου της Θεσσαλίας, στο ΧΥΤΑ Ταγαράδων Θεσσαλονίκης της Κεντρικής Μακεδονίας, στο ΧΥΤΑ Χανίων της Κρήτης και στο ΧΥΤΑ Καλαμάτας της Πελοποννήσου (εκτός λειτουργίας από το 2009). Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανάκτηση βιοαερίου είναι 154,6 GWh, το οποίο αντιστοιχεί σε ανάκτηση ενέργειας 51 kWh ανά τόνο που διατίθεται σε ΧΥΤΑ . [4]

Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά αυτών των εργοστασίων.

Πίνακας 2.1 Τα χαρακτηριστικά των πέντε εργοστασίων ανάκτησης βιοαερίου και παραγωγής ενέργειας της Ελλάδας. [4].

Τοποθεσία Ε.Μ.Α.Κ.	Έτος λειτουργίας	Δυναμικότητα	Εγκατεστημένη Ισχύς
Περιφέρεια Αττικής-Λιόσια	Μάρτιος 2001	300.000 τόνοι/έτος	23,5MWe, 9.5MWth
Περιφέρεια Θεσσαλίας-Βόλος	Ιούνιος 2008	110.000	1,7MW
Περιφέρεια Μακεδονίας-Ταγαράδες	Δεκέμβριος 2008	637.000	5MW
Περιφέρεια Κρήτης-Χανιά	2005	70.000	2,3MW
Περιφέρεια Πελ/σου-Καλαμάτα		20.000-40.000	

Η συνολική ποσότητα Α.Σ.Α. που αξιοποιούνται στα πέντε υπάρχοντα ΕΜΑΚ της Ελλάδας, εκτιμάται σε 602.000 τόνους. Από αυτό το ποσό, ένα εκτιμώμενο 20%

μετατρέπεται σε εδαφοβελτιωτικό (κακής ποιότητας διότι προέρχεται από σύμμεικτα απόβλητα) και το υπόλοιπο για επιχώσεις στους ΧΥΤΑ ή σε έργα οδοποιίας. Συγκεκριμένα, το εργοστάσιο Αττικής δέχεται 1200 τόνους ΑΣΑ καθημερινά σε 250 μέρες ετήσιας λειτουργίας και παράγει ημερησίως 180,48 τόνους εδαφοβελτιωτικού υλικού (compost), 398,52 τόνους καύσιμου υλικού (RDF), 0,96 τόνους συμπιεσμένων κουτιών αλουμινίου υψηλής καθαρότητας και 24,12 τόνους σιδηρούχων μετάλλων. Λόγω του ότι δεν υπάρχει ενδιαφερόμενη αγορά για το compost και το RDF, αυτά τα προϊόντα διατίθενται στον ΧΥΤΑ της Φυλής (Λιοσίων). Το εργοστάσιο μειώνει την μάζα που καταλήγει στο ΧΥΤΑ κατά περίπου 23%, το οποίο μετατρέπεται σε ατμό και CO₂. [4]

Το Ε.Μ.Α.Κ. Λιοσίων έχει πολύ μεγαλύτερη δυναμικότητα από το Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων, 300.000 τόνοι το έτος έναντι 70.000 τόνους το έτος αντίστοιχα και για το λόγο αυτό παράγει μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Τέλος, στο Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων παράγονται ανακυκλώσιμα υλικά προς πώληση ενώ το συνολικό ποσό Α.Σ.Α. που ανακυκλώνεται στην Ελλάδα, είτε από την Ε.Ε.Α.Α., είτε από τα πέντε ΕΜΑΚ, είτε με άλλους τρόπους, εκτιμάται σε 1.375.000 τόνους ετησίως, δηλ. 23% των συνολικά παραγόμενων Α.Σ.Α. [4]

Στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα παραπάνω στοιχεία.

Πίνακας 2.2 Συνοπτικά στοιχεία παραγωγής και διάθεσης Α.Σ.Α. στην Ελλάδα. [4]

Ροή υλικών	Τόνοι το χρόνο	% Συνολικών ΑΣΑ
Συνολικά παραγόμενα	5.981.290	100
Ανακύκλωση από Ε.Μ.Α.Κ.	867.287	14,5
Ανακύκλωση από Ε.Ε.Α.Α.	511.159	8,5
Συνολική ανακύκλωση	1.378.446	23
Λιπασματοποίηση (Ε.Μ.Α.Κ. κλπ)	119.625	2
Ταφή σε ΧΥΤΑ	3.031.571	50,6
Ταφή σε ΧΑΔΑ	1.459.434	24,4
Συνολική ταφή	4.490.000	75,0

Επιπρόσθετα, πρέπει να αναφερθεί πως αν και στην Ελλάδα δεν έχει κατασκευαστεί καμία μονάδα θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, λειτούργησε από το 2009 στη Μύκονο πιλοτική Μονάδα θερμικής επεξεργασίας με τη τεχνολογία της αεριοποίησης πλάσματος για την επεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων (Παράρτημα 2). [17, 18]

Πίνακας 2.3 Υφιστάμενα έργα διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων. [4]

		ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ ΑΣΑ	ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΚΕΝΤΡΑ ΔΙΑΛΟΓΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ
	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Υφιστάμενα	Υφιστάμενα	Υφιστάμενα	Υφιστάμενα	Υφιστάμενα
1	Α. Μακεδονίας & Θράκης	3	0	0	0	0
2	Κεντρικής Μακεδονίας	11	5	4	1	0
3	Δυτικής Μακεδονίας	1	10	1	0	0
4	Ηπείρου	2	0	1	0	0
5	Θεσσαλίας	7	10	3	1	0
6	Ιονίων νήσων	5	1	2	0	0
7	Δυτικής Ελλάδος	5	3	1	0	0
8	Στερεάς Ελλάδος	7	0	1	0	0
9	Αττικής	1	1	4	1	0
10	Πελοποννήσου	2	0	1	1 (εκτός από το '09)	0
11	Β. Αιγαίου	4	0	0	0	0
12	Ν. Αιγίου	19	0	0	0	0
13	Κρήτης	10	1	2	1	0
	Σύνολο	77	31	20	5	0

2.3.2 Τεχνολογίες επεξεργασίας των ΑΣΑ και πολιτικής διαχείρισης

Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, σε συνδυασμό ίσως με τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας αυτών, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την επίτευξη των στόχων στον τομέα διαχείρισης των ΑΣΑ όπως αυτοί έχουν τεθεί από τις πολιτικές και νομοθετικές δεσμεύσεις που η χώρα μας έχει αναλάβει.

Σε μία χώρα, όπως η Ελλάδα, η οποία βασίζεται στην υγειονομική ταφή των αποβλήτων και σε ένα μικρό μόνο ποσοστό στην ανάκτηση συγκεκριμένων υλικών, απαιτείται η άμεση κινητοποίηση των αρμόδιων φορέων για την δημιουργία ενός ενιαίου και κατάλληλου σχεδίου δράσης που θα αποσκοπεί στην υλοποίηση των στόχων αυτών.

Οι συνθήκες που ευνοούν την ενσωμάτωση των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας στο πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα είναι:

- η σημαντική εμπειρία από την ωρίμανση αντίστοιχων έργων εφαρμοσμένων στο εξωτερικό,
- η αποδεδειγμένη απόδοση τους,
- η θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών και όρων λειτουργίας από το Ευρωπαϊκό αλλά και το Ελληνικό δίκαιο, που εξασφαλίζουν την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από την εφαρμογή τους,
- η ανάγκη περιορισμού των ποσοτήτων που οδηγούνται προς ταφή,
- η δυνατότητα των μεθόδων αυτών να συμβάλλουν σημαντικά στην επίτευξη και άλλων πολιτικών στόχων, για παράδειγμα την παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Η εξάντληση και αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων καθώς και οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια καθιστούν την χρήση ΑΠΕ αναγκαία. Σύμφωνα, λοιπόν, με την Οδηγία 2001/71/Ε με θέμα «Την προαγωγή της Ηλεκτρικής Ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές στην εσωτερική αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας», το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών αποβλήτων θεωρείται βιομάζα και κατ' επέκταση, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το γεγονός αυτό «επιβάλλει» έμμεσα την ενεργειακή του αξιοποίηση.

Παράλληλα, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ που αφορά «Την Αποτέφρωση των Αποβλήτων», στόχος των μονάδων αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης οφείλει να είναι «...η μέγιστη εφικτή ανάκτηση της θερμότητας που παράγεται κατά τη διεργασία αποτέφρωσης

και συναποτέφρωσης, π.χ., μέσω της συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, της παραγωγής ατμού για βιομηχανική χρήση ή της αστικής τηλεθέρμανσης...».

Συνεπώς, βάσει των παραπάνω, αν και η Ελλάδα είναι χώρα πλούσια σε πολλές μορφές ΑΠΕ όπως τον ήλιο, τον άνεμο κλπ, μπορεί να πλησιάσει σε μεγάλο βαθμό τους στόχους της, τόσο σε θέματα διαχείρισης των ΑΣΑ, όσο και σε θέματα υιοθέτησης ΑΠΕ με εφαρμογή των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ.

2.4 Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ και δευτερογενών καυσίμων υψηλής απόδοσης

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ αφορά σε μια σειρά από παράγοντες όπως η ευαισθητοποίηση του πολίτη για συμμετοχή στην ανακύκλωση με οικιακή διαλογή των αποβλήτων, η συλλογή, μεταφορά και (εφόσον απαραίτητη) η διαλογή των ΑΣΑ. Τα στάδια της επεξεργασίας των ΑΣΑ – μηχανικά, βιολογικά ή θερμικά, στοχεύουν εν πρώτοις στη μείωση του μεγέθους των αποβλήτων, αλλά κυρίως, σύμφωνα με τις νέες οδηγίες της ΕΕ στην ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ και των απορριμματογενών ή δευτερογενών καυσίμων. Το τελευταίο στάδιο του συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ, δηλαδή της διάθεσης σε ΧΥΤΑ, παραμένει το λιγότερο επιλέξιμο και περισσότερο επιβλαβές για το περιβάλλον.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιαστούν και να αξιολογηθούν οι τεχνολογίες εκείνες που συνεισφέρουν περισσότερο και καλύτερα στην ανάκτηση ενέργειας (θερμική, ηλεκτρική, κάποιου είδους εδαφοβελτιωτικό για τις καλλιέργειες, είδος καύσιμης ύλης κλπ) ή/και στην παραγωγή απορριμματογενών καυσίμων. Ερευνητική υπόθεση της εργασίας προς επιβεβαίωση ή μη είναι πως μπορεί να ωφεληθεί η Ελλάδα από τεχνολογίες υψηλής απόδοσης ενέργειας και μάλιστα από εκείνες που επεξεργάζονται θερμικά τα ΑΣΑ. Για αυτό θα γίνει αρχικά συνοπτική παρουσίαση των τεχνολογιών μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, δηλαδή της Μηχανικής Αερόβιας Βιολογικής Επεξεργασίας (Mechanical Biological Treatment with Composting), της Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας με Αναερόβια ζύμωση του οργανικού κλάσματος του ΑΣΑ (Mechanical Biological Treatment with Anaerobic Digestion) και της Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας με Βιοξήρανση (Mechanical Biological Treatment with Biodrying). Επιπλέον, θα γίνει προσπάθεια αποτίμησης των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της καθεμιάς. Ακολούθως, θα

παρουσιαστούν, περιγραφούν και αξιολογηθούν οι τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας (Thermal Treatment Technologies) που μπορούν να παράγουν ενέργεια, όπως οι τεχνολογίες της Αποτέφρωσης-Καύσης (Incineration-Combustion), της Πυρόλυσης (Pyrolysis), της Αεριοποίησης (Gasification) και της Αεριοποίησης Πλάσματος (Gasification with Plasma) των ΑΣΑ. Επιπρόσθετα, θα παρατεθούν στοιχεία για μονάδες θερμικής και μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας στο εξωτερικό που φαίνεται να αποδίδουν περισσότερο ως προς τον παράγοντα ανάκτησης ενέργειας.

Τέλος, θα διερευνηθεί η παρούσα κατάσταση στη διαχείριση των ΑΣΑ στην Ελλάδα και θα γίνει αποτίμηση των τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ με βάσει οικονομικά κριτήρια όπως τα τέλη πύλης, το κόστος κατασκευής και βιωσιμότητας και η οικονομική απόδοση, περιβαλλοντικά, τεχνικά, κοινωνικά-θεσμικά κριτήρια ώστε να επιβεβαιωθεί ή όχι η υπόθεση πως θα είναι ωφέλιμος για την Ελλάδα ο προσανατολισμός σε τεχνολογίες υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΗΧΑΝΙΚΗ-ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ”

3.1 Εισαγωγικά

Η *Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία* (Mechanical Biological Treatment) διαχειρίζεται ως ένα βαθμό τα σύμμεικτα ΑΣΑ, απομακρύνοντας μηχανικά ορισμένα συστατικά τους και τροποποιώντας βιολογικά κάποια, ώστε να μειωθεί το υπόλειμμα, να γίνει περισσότερο σταθερό και καταλληλότερο για μελλοντικές χρήσεις. Ο όρος «Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία» δεν περιγράφει ούτε αυθύπαρκτη τεχνολογία, ούτε ολοκληρωμένη λύση, αλλά καλύπτει τη χρήση αρκετών και διαφορετικών μεθόδων βιολογικής μηχανικής επεξεργασίας, οι οποίες συνδυάζονται σε μια ευρεία κλίμακα και με τρόπους ώστε να υλοποιούνται οι επιθυμητοί στόχοι. Κατά συνέπεια, τα συστήματα ΜΒΕ ποικίλουν πολύ όσον αφορά την πολυπλοκότητα και τη λειτουργικότητά τους. Αυτή είναι και η αιτία που η ΜΒΕ αποτελεί ευέλικτη επιλογή για τη διαχείριση των ΑΣΑ, αλλά και της σύγχυσης που επικρατεί για το τι είναι ένα σύστημα ΜΒΕ και για ποιο σκοπό μπορεί να χρησιμοποιηθεί.[1]

Ειδικότερα, σε μια προσπάθεια ορισμού της ΜΒΕ, μπορεί να ειπωθεί ότι:

- Το «Μ» αντιστοιχεί σε «Μηχανικό» και αναφέρεται στην ταξινόμηση, στο διαχωρισμό, τη μείωση του μεγέθους και σε τεχνολογίες κοσκινίσματος με ποικίλους τρόπους, προκειμένου να διαχωριστεί (μηχανικά) μέρος των αποβλήτων και να οδηγηθεί προς επαναχρησιμοποίηση και/ ή βιολογική επεξεργασία.
- Το «Β» αντιστοιχεί σε «Βιολογική» και αναφέρεται σε αερόβια ή αναερόβια βιολογική επεξεργασία, η οποία μετατρέπει μέρος των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων στην περίπτωση της αερόβιας επεξεργασίας σε προϊόντα κομπόστ και στην περίπτωση της επεξεργασίας με αναερόβια ζύμωση, βιοαέριο.[19]
- Το «Β» μπορεί να τοποθετηθεί πριν το «Μ». Στην περίπτωση αυτή η επεξεργασία αναφέρεται σαν ΒΜΕ. Η πιο συνήθης παραλλαγή αυτής, είναι γνωστή σαν «βιοξήρανση», όπου η βιολογική επεξεργασία, ξηραίνει μερικώς τα απόβλητα.[20]

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, τα συστήματα ΜΒΕ περιλαμβάνουν δύο βασικά στοιχεία: Τη Μηχανική Επεξεργασία και τη Βιολογική Επεξεργασία. Τα συστήματα που περιλαμβάνει το καθένα από τα δύο αυτά στοιχεία σχετίζεται με το τι προϊόντα επιθυμεί

κανείς να έχει από την εφαρμογή μιας τέτοιας μεθόδου. Στον Πίνακα 3.1 αναφέρονται οκτώ συνδυασμοί, οι οποίοι θεωρούνται οι πλέον αντιπροσωπευτικοί.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικοί τύποι MBE.

Συνδυασμός	Βασικά στοιχεία του συνδυασμού
<p>Σταθεροποίηση αποβλήτων για διάθεση σε ΧΥΤΑ</p> <p>Μείωση της βιοαποδομισιμότητας των ΑΣΑ, ανακτώντας και ποσοστό ανακυκλώσιμων</p>	
<p>Παραγωγή κομπόστ από ΑΣΑ</p> <p>Υλικό κατάλληλο για χρήση με τις ιδιότητες του κομπόστ</p>	
<p>Παραγωγή χαμηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού</p> <p>Ίδιες εφαρμογές με τον παραπάνω συνδυασμό, χαμηλότερων ποιοτικών προδιαγραφών</p>	
<p>Παραγωγή RDF</p> <p>Χρήση του ξηρού κλάσματος ως καύσιμο</p>	
<p>Παραγωγή καυσίμου με χρήση βιοξήρανσης</p> <p>Η βιο-ξήρανση, παραλλαγή της MBE παράγει καύσιμο καθορισμένων προδιαγραφών (SRF)</p>	
<p>MBE προκειμένου να μειωθεί η ανάγκη θερμικής επεξεργασίας</p> <p>Η MBE λιγοστεύει το ποσοστό του υπολείμματος, άρα μπορεί να μειώσει την κλίμακα της δυναμικότητας της θερμικής επεξεργασίας</p>	
<p>Παραγωγή βιοαερίου</p> <p>Εάν η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιηθεί ως συστατικό της MBE, παράγεται βιοαέριο. Στην περίπτωση αυτή το υπόλειμμα καταλήγει σε ΧΥΤΑ.</p>	
<p>Παραγωγή Βιοαερίου και εδαφοβελτιωτικού</p> <p>Σε πολλές περιπτώσεις παράγονται βιοαέριο και εδαφοβελτιωτικό μαζί</p>	

Η απόφαση σχετικά με τον (κατάλληλο, ανάλογα με την περίπτωση) τύπο της μεθόδου MBE μπορεί να απλοποιηθεί, εάν εξεταστούν οι κύριες διαθέσιμες επιλογές, όσον

αφορά τα παραγόμενα προϊόντα. Μια σχηματική απεικόνιση των πιθανών προϊόντων από τεχνολογίες ΜΒΕ και οι δυνατότητες αξιοποίησής τους φαίνεται στον Πίνακα 3.2

Πίνακας 3.2 Παραγόμενα προϊόντα από τη ΜΒΕ και τομείς αξιοποίησής τους.

Κατηγορία χρήσης	Εφαρμογή
Προϊόντα τύπου compost	Καλλιέργειες για την παραγωγή ενέργειας – Δασοκομία- Εδαφοβελτιωτικό και διατήρηση υγρασίας σε ξηρές περιοχές χαμηλής εδαφικής ποιότητας –Δημιουργία βοσκότοπων –Φυτοκομικές εφαρμογές –Εσωτερικοί κήποι –Υγρό λίπασμα – Τελική κάλυψη σε ΧΥΤΑ –Εφαρμογές έργων υποδομής –Αποκαταστάσεις και εδαφικό υπόστρωμα
Εφαρμογές στερεών καυσίμων	Δευτερογενές/Κύριο καύσιμο σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας (με άμεση/έμμεση καύση αντίστοιχα) –Δευτερογενές καύσιμο σε κλίβανους για την παραγωγή του τσιμέντου/βιομηχανικούς λέβητες/καυστήρες γενικά –κύριο καύσιμο για: αποτέφρωση, αεριοποίηση
Εφαρμογές βιοαερίου	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας – Εμπλουτισμός με βιοαέριο σε ΧΥΤΑ ή/και αέρια σύνθεσης από αεριοποίηση – Παραγωγή καυσίμου μεταφοράς
Περίπτωση διάθεσης	Ημερήσια κάλυψη κυττάρου –Βιο-σταθεροποιημένο υπόλειμμα κατάλληλο προς διάθεση σε ΧΥΤΑ

3.2 Μηχανική επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων

Η μηχανική επεξεργασία όπως επισημάνθηκε ανωτέρω, αποτελεί «προ-στάδιο» των περισσότερων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων και εφαρμόζεται προκειμένου να «προετοιμάσει» τα απόβλητα για το επόμενο στάδιο επεξεργασίας, με διάφορους τρόπους: βελτιώνοντας την κοκκομετρία τους, αφαιρώντας υλικά που μπορεί να δημιουργούν πρόβλημα, ομογενοποιώντας τα απόβλητα, κ.λπ.

Οι στόχοι της Μηχανικής Επεξεργασίας είναι [21]:

- Μεγιστοποίηση της ανάκτησης υλικών.
- Προετοιμασία των αποβλήτων για το επόμενο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.
- Αφαίρεση ανεπιθύμητων συστατικών από τα εισερχόμενα απόβλητα.

Ο βαθμός της μηχανικής επεξεργασίας εξαρτάται από:

- Τα είδη των εισερχόμενων αποβλήτων (μικτά αστικά απορρίμματα, υπόλειμμα από διαλογή στην πηγή, κ.λπ.).
- Το ποσοστό των ανακυκλώσιμων στα εισερχόμενα απόβλητα.
- Την απαιτούμενη ποιότητα της εξόδου.
- Το επιθυμητό ποσοστό ανάκτησης των ανακυκλώσιμων.

Τα πιθανά συστήματα που μπορεί να περιλαμβάνει το στάδιο της Μηχανικής Επεξεργασίας είναι [22]:

- Περιστροφικό κόσκινο.
- Κόσκινο (στατικό ή δονούμενο).
- Μαγνήτης.
- Σύστημα επαγωγικών ρευμάτων (Eddy current).
- Χειροδιαλογή.
- Αεροδιαχωρισμός.
- Σύστημα εντοπισμού Infrared (Near Infrared Detection): χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό διαφόρων τύπων π.χ. πλαστικού, βάση του γεγονότος ότι κάποια υλικά απορροφούν συγκεκριμένα μήκη κύματος.

3.2.1 Προϊόντα μηχανικής επεξεργασίας και δυνατότητες διάθεσης

Τα προϊόντα της μηχανικής επεξεργασίας είναι:

- Ανακυκλώσιμα: χαρτί, μέταλλα, γυαλί.
- Οργανικό υλικό σχετικά απαλλαγμένο από προσμίξεις, «έτοιμο» για βιολογική επεξεργασία.
- Καύσιμο υλικό (RDF): Το RDF (Refuse Derived Fuel) αποτελεί στερεό καύσιμο υλικό που η παραγωγή του γίνεται πριν το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας και ουσιαστικά αποτελεί το χονδρόκοκκο κλάσμα της μηχανικής επεξεργασίας, αποτελούμενο από χαρτί, πλαστικά ή / και δύσκολα βιοδιασπώμενα υλικά όπως το ξύλο (Εικόνα 3.1 α, 3.2 β) [23]. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να περιλαμβάνει και σημαντικό ποσοστό βιοαποδομήσιμου, μη σταθεροποιημένου βιολογικά υλικού. Επίσης το RDF μπορεί να παράγεται μετά από το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας και να αποτελεί ουσιαστικά υπόλειμμα του ραφινάρισματος του «κομπόστ». Τότε περιέχει κυρίως ελαφρά πλαστικά και αφρώδη (fluff) υλικά που αφαιρούνται από το «κομπόστ» ως ακαθαρσίες [24]. Για το RDF έχουν δοθεί κατά καιρούς οι ακόλουθοι ορισμοί:

- «Καύσιμο που παράγεται από διαχωρισμό, τεμαχισμό και επεξεργασία των ΑΣΑ».
- «Καύσιμο που παράγεται από το διαχωρισμό των καύσιμων υπολειμμάτων από τα οικιακά απόβλητα και μετατρέπεται σε pellets για εμπορική χρήση».
- «Απόβλητα που έχουν μερικώς διαχωριστεί πριν αποτεφρωθούν».



Εικόνα 3.1 Μορφή RDF χύδην



Εικόνα 3.2 Μορφή RDF πελλετοποιημένου

Γενικότερα στις περισσότερες χώρες της ΕΕ επειδή το παραγόμενο RDF δεν έχει σταθερή σύσταση συνήθως αποστέλλεται για αποτέφρωση. Στην Ελλάδα, η ΚΥΑ 114218/97 (Παράρτημα 1) θέτει αυστηρές προδιαγραφές για σχεδόν μηδενική ποσότητα οργανικού κλάσματος στο RDF, όπως φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3 Σύσταση RDF βάσει της ΚΥΑ 114218/97.

Υγρασία, max	20%
Χαρτί, πλαστικό, min	95% ξ.β.
Μέταλλα, max	2% ξ.β.
Αλουμίνιο, max	1% ξ.β.

Σε απάντηση των προβλημάτων σύστασης που παρουσιάζει το RDF, εφόσον αυτή εξαρτάται από τη σύσταση της εισόδου των αποβλήτων, οπότε μπορεί να χαρακτηριστεί ως Waste – driven), η βιομηχανία διαχείρισης στερεών αποβλήτων δημιούργησε το Solid Recovered Fuel (SRF) το οποίο σε πολλές περιπτώσεις έχει συγκεκριμένη σύσταση, που εξαρτάται από τις ανάγκες της αγοράς σε καύσιμα υλικά (market – driven) [25]. Το SRF είναι απορριμματογενές καύσιμο που πληροί τις προϋποθέσεις του προτύπου CEN/TC 343 (European Committee for Standardization) και ως όρος χρησιμοποιείται συχνότερα για το καύσιμο που παράγεται μετά το πέρας της βιολογικής ξήρανσης.[26]

Τα απορριμματογενή καύσιμα έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να αξιοποιηθούν σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις, οι οποίες για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών

χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα [22]. Οι κυριότερες από τις εγκαταστάσεις αυτές είναι οι εξής:

- Τσιμεντοβιομηχανίες.
- Εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.
- Χαρτοποιίες.
- Κεραμοποιίες
- Χαλυβουργεία.
- Ασβεστοκάμινοι.

3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα απορριμματογενών καυσίμων

Η χρήση απορριμματογενών καυσίμων παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση ανεπεξέργαστων ΑΣΑ, τα οποία δεν δύνανται να συναποτεφρωθούν σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις. Από αυτά, τα κυριότερα είναι [22]:

- η υψηλή θερμογόνος δύναμη, η οποία παραμένει σχετικά σταθερή,
- η ομοιογένεια της φυσικής – χημικής σύνθεσης,
- η ευκολία στην αποθήκευση, διαχείριση και μεταφορά, και
- ο μειωμένος απαιτούμενος αέρας κατά τη διάρκεια της αποτέφρωσης.

Ωστόσο, βασικότερο μειονέκτημα των απορριμματογενών καυσίμων είναι το υψηλό κόστος παραγωγής. [27]

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή εμπειρία, η μέση θερμογόνος δύναμη απορριμματογενών καυσίμων που προέρχεται από ΑΣΑ που υφίστανται διαλογή στην πηγή είναι 20-23 MJ/kg. Η τιμή αυτή είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη τιμή του RDF των σύμμεικτων ΑΣΑ (13-15 MJ/kg), αλλά και από αυτήν των μη επεξεργασμένων ΑΣΑ (8-11 MJ/kg). Παρόλα αυτά αύξηση της θερμογόνου δύναμης μπορεί να επιτευχθεί με τη προσθήκη χρησιμοποιημένων ελαστικών στην παραγωγή του RDF. [28] Στην περίπτωση οικονομικά αναπτυσσόμενων χωρών, στις οποίες τα ΑΣΑ περιέχουν υλικά με υψηλή υγρασία, το παραγόμενο RDF αναμένεται χαμηλής ποιότητας, εκτός και αν χρησιμοποιηθούν ιδιαίτερα πολύπλοκες μέθοδοι επεξεργασίας. [29]

Παράλληλα, η περιεχόμενη υγρασία στο RDF που προέρχεται από αδρανή ή βιομηχανικά στερεά απόβλητα (11-17%) είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή των ΑΣΑ (25-34%). Αντίστοιχα, το περιεχόμενο τέφρας στο RDF που παράγεται από βιομηχανικά στερεά απόβλητα (7-10%) είναι μικρότερο από αυτό του RDF που παράγεται από άλλα ρεύματα αποβλήτων (10-16%).

Η ποιοτική σύσταση των απορριμματογενών καυσίμων και η θερμογόνος δύναμη είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ποιότητα και την ποσότητα των αερίων εκπομπών που παράγονται κατά την αποτέφρωσή του. Η υγρασία, η περιεχόμενη τέφρα, το χλώριο και το θείο επηρεάζουν άμεσα την απόφαση για τη χρήση τους στη βιομηχανία και στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, καθώς μπορεί να προκύψουν: [30]

- Τεχνολογικά προβλήματα όπως διαβρώσεις, και υψηλό κόστος συντήρησης.
- Απρόβλεπτη κακή ποιότητα του καυσίμου (μεγάλη περιεκτικότητα σε χλώριο, κλπ.).
- Αντιδράσεις από τους κατοίκους των γύρω περιοχών.

Αυξημένο ποσοστό υγρασίας μπορεί να προκαλέσει αύξηση εκπομπών, μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας και κατά συνέπεια μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου. Αντίστοιχα, υψηλό ποσοστό τέφρας στο απορριμματογενές καύσιμο προκαλεί μείωση της ποσότητας τροφοδοσίας που διέρχεται από τη ζώνη προθέρμανσης, με αποτέλεσμα την ελάττωση ανάκτησης θερμότητας και την αυξημένη θερμοκρασία εκπομπών. [31]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Εταιρειών Θερμικής Επεξεργασίας Αποβλήτων (EURITS) [32], έχει εκδώσει ποιοτικά κριτήρια για τη συναποτέφρωση αποβλήτων στη τσιμεντοβιομηχανία (Πίνακας 3.4). Εκπρόσωποι της τσιμεντοβιομηχανίας θεωρούν τις τιμές αυτές πολύ αυστηρές και ειδικότερα αυτές που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη του υλικού.

Πίνακας 3.4 Τιμές παραμέτρων για τη χρήση RDF στην τσιμεντοβιομηχανία, κατά EURITS. [32]

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή
Θερμογόνος δύναμη	MJ/Kg	15
Cl	%	0,5
S	%	0,4
Br/l	%	0,001
N	%	0,7
F	%	0,1
Be	Mg/kg	1
Hg/Ti	Mg/kg	2
As, Se (Te), Cd, Sb	Mg/kg	10
Mo	Mg/kg	20
V, Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn	Mg/kg	200
Zn	Mg/kg	500
Περιεχόμενη τέφρα (πλην Ca, Al, Fe, Si)	%	5

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (EET) (Comité Européen de Normalisation - CEN) έχει ήδη δημιουργήσει τεχνική επιτροπή με σκοπό τον προσδιορισμό ποιοτικών κριτηρίων για την παραγωγή RDF στην Ευρώπη. Από τη μελέτη της επιτροπής αυτής δεν έχουν εκδοθεί ακόμη αποτελέσματα. [33]

3.3 Βιολογική επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων

Το τμήμα της βιολογικής επεξεργασίας μπορεί να έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παράγει:

A. Ένα βιο-σταθεροποιημένο προϊόν που να μπορεί να διατεθεί σε ΧΥΤΑ κύρια ως υλικό επικάλυψης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μέθοδοι αερόβιας επεξεργασίας για την παραγωγή ενός προϊόντος με χαμηλά ποσοστά βιοαποδομήσιμου κλάσματος, γεγονός που οδηγεί σε χαμηλή παραγωγή βιοαερίου κατά τη διάθεση σε ΧΥΤΑ (πιθανά και στραγγισμάτων με χαμηλότερο BOD/COD). Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι πολλές χώρες έχουν προβεί σε θέσπιση μετρήσιμων ορίων του ποσοστού βιοσταθεροποίησης τέτοιων υλικών. Αν τα όρια που έχουν τεθεί υπερβαίνονται, τότε το υλικό χαρακτηρίζεται «βιοαποδομήσιμο», δηλαδή βιολογικά ενεργό και είτε απαγορεύεται τελείως η διάθεση του ή οδηγείται σε ΧΥΤΑ με υψηλό κόστος ανά τόνο. Για παράδειγμα στη Γερμανία και την Αυστρία χρησιμοποιείται το δυναμικό αναπνοής 4 ημερών, (Respiration Activity) σε μονάδες $\text{mg O}_2/\text{g}$ ξηρής ύλης, ενώ στην Ιταλία ο δείκτης δυναμικής διαπνοής, (Dynamic Respiration Index – DRI), σε mg O_2 (Kg Πτητικών στερεών h). Ένας τέτοιος ορισμός βάσει εργαστηριακά μετρήσιμων παραμέτρων μπορεί να επιφέρει σημαντικά προβλήματα χρήσης του εδαφοβελτιωτικού ως υλικό επικάλυψης στο ΧΥΤΑ αν αυτό δεν πληροί τις εν λόγω προδιαγραφές. [24]

B. Ένα προϊόν «τύπου» κομπόστ (Compost – Like Output) Και σε αυτή την περίπτωση το προϊόν παράγεται με χρήση αερόβιων μεθόδων. Ανάλογα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του CLO διαφέρουν από σύστημα σε σύστημα ο χρόνος παραμονής, ο χρόνος ωρίμανσης και ο βαθμός ραφινάρισματος. Σημειώνεται ότι στον όρο CLO περιλαμβάνονται και τα εδαφοβελτιωτικά (Soil improvers) που αποτελούν κατώτερης ποιότητας κομπόστ. Γενικά ο όρος «κομπόστ» έχει την έννοια του «λιπάσματος» επομένως οδηγεί σε υψηλές απαιτήσεις καθαρότητας και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σύστασης ανάλογα με τις καλλιέργειες που πρόκειται να εφαρμοστεί. [1]

Γ. Βιοαέριο για την παραγωγή θερμότητας ή /και ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται μέθοδοι αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοαερίου.

Δ. «Καλής» ποιότητας στερεό καύσιμο (Solid Recovered Fuel – SRF) για παραγωγή ενέργειας. Συνήθως SRF παράγεται με τις μεθόδους βιοζήρασης στις οποίες θα γίνει αναφορά παρακάτω. [34]

E. Συνδυασμό κάποιων των παραπάνω: Σε αυτήν την περίπτωση συνήθως παράγεται βιοαέριο από αναερόβια επεξεργασία, ενώ το οργανικό υπόλειμμα του χωνευτήρα (digestate),

βιοσταθεροποιείται περαιτέρω εφαρμόζοντας αερόβια επεξεργασία.

Πιο συγκεκριμένα, τα βασικά είδη εγκαταστάσεων μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας και, για κάθε είδος, τα παραγόμενα προϊόντα είναι τα ακόλουθα:

Μηχανική επεξεργασία + Αερόβια κομποστοποίηση

- Ανακυκλώσιμα ή και RDF
- Βιοσταθεροποιημένο υλικό για κόμποστ ή κάλυψη ΧΥΤΑ ή αποκατάσταση εδαφών

Μηχανική επεξεργασία + Αναερόβια χώνευση

- Ανακυκλώσιμα ή και RDF
- Βιοαέριο για παραγωγή ενέργειας
- Βιοσταθεροποιημένο απόβλητο

Μηχανική επεξεργασία + Αναερόβια χώνευση + Αερόβια κομποστοποίηση

- Ανακυκλώσιμα ή και RDF
- Βιοαέριο για παραγωγή ενέργειας
- Υλικό για αποκατάσταση εδαφών

Μηχανική επεξεργασία + Βιολογική Ξήρανση

- Ανακυκλώσιμα σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο
- SRF

Στα τέλη του 2004 καταγράφηκαν 27 οίκοι στην Ευρώπη, οι οποίοι είχαν κατασκευάσει επιτυχώς τουλάχιστον ένα εργοστάσιο μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας. Οι κατασκευαστικοί αυτοί οίκοι είχαν στο ενεργητικό τους 80 μονάδες σε λειτουργία (εξαιρουμένων των πολυάριθμων μικρών μονάδων), ενώ είχαν ανακοινώσει 43 ακόμα μονάδες (μερικές από τις οποίες υπό κατασκευή). Η συνολική δυναμικότητα των υφιστάμενων μονάδων ανέρχεται σε πάνω από 8.500.000 t/y και μαζί με τις υπό κατασκευή σε πάνω από 13.000.000 t/y. Η δυναμικότητα των υφιστάμενων μονάδων κατανέμεται ως ακολούθως:

Με δυναμικότητα <50.000 τ/έτος	18 μονάδες
Με δυναμικότητα 50.000-100.000 τ/έτος	30 μονάδες
Με δυναμικότητα 100.000-200.000 τ/έτος	21 μονάδες
Με δυναμικότητα >200.000 τ/έτος	11 μονάδες

3.3.1 Αερόβια μηχανική βιολογική επεξεργασία

Αερόβια μηχανική-βιολογική επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, είναι η ελεγχόμενη βιοξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών με τη βοήθεια ετερότροφων μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες), οι οποίοι βιοαποδομούν τα οργανικά συστατικά παρουσία οξυγόνου. [19]

3.3.2 Προϊόντα ενέργειας αερόβιας ΜΒΕ και η αξιοποίησή τους

Από τις εγκαταστάσεις μηχανικής επεξεργασίας και κομποστοποίησης είναι δυνατόν να παραχθούν, ανάλογα και με το σχεδιασμό, τα ακόλουθα προϊόντα:

Ανακυκλώσιμα Υλικά

Τα υλικά, που μπορεί να ανακτηθούν, είναι χαρτί, χαρτόνι, πλαστικό, γυαλί, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο. Αυτά, με εξαίρεση το γυαλί, συμπιέζονται και δεματοποιούνται. Η ποιότητα του ανακτώμενου χαρτιού και πλαστικών από σύμμεικτα απόβλητα εξαρτάται από τον σχεδιασμό της εγκατάστασης. Μεγάλες ποσότητες εμπεριεχομένων οργανικών δυσχεραίνει τη διάθεση.

Εδαφοβελτιωτικό Υλικό (Κομπόστ)

Σε επεξεργασμένη μορφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε καλλιέργειες και σε μορφή αδρομερούς για αποκατάσταση διαταραγμένων εδαφών (περιοχές λιγνιτωρυχείων, μεταλλείων, νταμαριών κτλ.), αλλά και ως υλικό κάλυψης ΧΥΤΑ. Το επεξεργασμένο κομπόστ, που παράγεται από σύμμεικτα απορρίμματα, σε αντίθεση με αυτό που παράγεται από το προδιαλεγμένο ρεύμα οργανικών στην πηγή, δεν έχει συνήθως την ποιότητα που απαιτείται για χρήση σε καλλιέργειες.

RDF

Θερμική αξιοποίηση του σε εργοστάσια συμβατικής (στοιχειομετρικής) καύσης ΑΣΑ

Το RDF αποτελεί παραπροϊόν της μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, έχει αυξημένο θερμικό περιεχόμενο και, στο βαθμό που είναι διαθέσιμο, είναι κατάλληλο για χρήση σε μονάδες στοιχειομετρικής καύσης ΑΣΑ.

Θερμική αξιοποίηση του σε ατμολέβητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η αντικατάσταση μέρους των συμβατικών καυσίμων με RDF ή SRF παρουσιάζει σημαντικά τεχνικά προβλήματα τα οποία προκύπτουν από την ύπαρξη ικανών ποσοτήτων πλαστικών, αλλά και τοξικών. Τα προβλήματα αυτά εκτείνονται από τις αυξημένες δυσλειτουργίες, διάβρωση και βλάβες του εξοπλισμού και τις δυσκολίες διάθεσης της τέφρας

λόγω του εμπλουτισμού της σε τοξικά, έως την ανάγκη για χρήση νέων δαπανηρών συστημάτων ελέγχου των εκπομπών. Σε κάθε περίπτωση για λειτουργικούς λόγους (διάβρωση, αύξηση του όγκου και της υγρασίας των απαερίων στο λέβητα κτλ.) το RDF και το SRF δεν μπορούν να υπερβαίνουν το 5 έως 10% του συμβατικού καυσίμου και τούτο μειώνει το οικονομικό κίνητρο για την αντιμετώπιση των προβλημάτων. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η πολύ μικρή χρήση RDF και SRF σε λέβητες σήμερα και η πρόβλεψη ότι η κατάσταση αυτή δεν πρόκειται να μεταβληθεί στο μέλλον. [1]

Θερμική αξιοποίηση σε κλίβανους τσιμέντου

Η χρήση του RDF σε κλίβανους τσιμέντου δημιουργεί λιγότερα τεχνικά προβλήματα και μικρότερες εκπομπές. Επίσης, η παραγόμενη τέφρα ενσωματώνεται στο κλίνκερ. Για λόγους όμως λειτουργικούς και για αποφυγή υπερβολικής υποβάθμισης της ποιότητας του προϊόντος, το ποσοστό των συμβατικών καυσίμων που μπορεί να υποκατασταθούν από βιοκαύσιμα είναι περιορισμένο. Επιπλέον, από τα βιοκαύσιμα προτιμώνται αυτά με λιγότερα τοξικά και διαβρωτικά συστατικά και μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη από το RDF ή / και το SRF, συμπεριλαμβανομένων των παλαιών ελαστικών. Για τον λόγο αυτό οι πραγματικές δυνατότητες χρήσης των RDF και SRF στη βιομηχανία τσιμέντου είναι περιορισμένες. Όπως έδειξαν τα αποτελέσματα εκτενούς έρευνας στην Αγγλία, η τσιμεντοβιομηχανία της χώρας, με ετήσια παραγωγή τσιμέντου 13.500.000 τόνων, δεν μπορεί να απορροφήσει περισσότερους από 125.000 έως το πολύ 500.000 τ/έτος RDF ή / και SRF.

Θερμική αξιοποίηση σε εγκαταστάσεις αεριοποίησης

Το RDF δεν έχει τόσο σταθερή σύσταση όσο το SRF και για το λόγο αυτό η αεριοποίηση του παρουσιάζει μεγαλύτερες δυσκολίες. Σε κάθε περίπτωση, η τεχνολογία για αεριοποίηση RDF ή και SRF δεν έχει αναπτυχθεί.

3.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αερόβιας μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας

Η βιολογική επεξεργασία, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, δύναται να είναι αερόβια και αναερόβια. Η χρήση της αερόβιας ΜΒΕ γνωρίζει ταχύτερη αύξηση τα τελευταία χρόνια, διότι είναι η πλέον συμβατή με τους διαχειριστικούς στόχους που θέτει η ΕΕ. [22]

Πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία που έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο αριθμό μονάδων, αν και μικρός αριθμός εφαρμόζει την τεχνική της βιοσταθεροποίησης.
- Ευέλικτος σχεδιασμός, επιτρέπει τη δυνατότητα επέκτασης.
- Δύνανται να παραχθούν ποικιλία προϊόντων, εδαφοβελτιωτικά, υψηλής θερμογόνου δύναμης καύσιμο (SRF) κ.α.

- Δυνατότητα για απομάκρυνση και αξιοποίηση υλικών, αυξάνοντας το συνολικό ποσοστό ανακύκλωσης.
- Αυτοματοποιημένο και απομακρυσμένο σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης.
- Δυνατότητα παραμετροποίησης στη διεργασία κομποστοποίησης για την προσέγγιση βέλτιστων συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας.
- Περιορισμένη οπτική όχληση, παρόμοια με αυτή των συνηθισμένων βιομηχανικών κτιρίων.

Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένη αγορά για SRF και RDF.
- Υψηλός βαθμός εξάρτησης από την εφαρμοσμένη τεχνολογία.
- Αδυναμία ανάπτυξης αγοράς για τα προϊόντα επεξεργασίας θα τα οδηγήσει προς διάθεση (XYTA).

3.4 Αναερόβια μηχανική βιολογική επεξεργασία

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια διεργασία που λαμβάνει χώρα αυθόρμητα σε αναερόβια περιβάλλοντα, όπως οι ορυζώνες, τα έλη και οι χώροι διάθεσης αποβλήτων. Μπορεί ωστόσο να λάβει χώρα και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες σε ειδικές εγκαταστάσεις, με στόχο τη μεγιστοποίηση του παραγόμενου μεθανίου, καθώς και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών προβλημάτων και οχλήσεων (π.χ. διαφυγή μεθανίου, οσμές). [35] Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε τέτοιες μονάδες.

3.4.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Η αναερόβια επεξεργασία του Οργανικού Κλάσματος των ΑΣΑ (ΟΣΑΚΑ) γίνεται σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με στόχο την ανάκτηση ενέργειας σε μορφή μεθανίου, τη μείωση του όγκου των ΑΣΑ και τη βιολογική σταθεροποίηση τους. Μια τυπική εγκατάσταση αναερόβιας επεξεργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα λειτουργικά στάδια:

- Μονάδα ελέγχου και ζύγισης, υποδοχής και τροφοδοσίας και μηχανικού διαχωρισμού. Σκοπός της μονάδας αυτής είναι η ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών ή / και η παραγωγή RDF από τα εισερχόμενα απορρίμματα, καθώς και ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος.

→ Μονάδα αναερόβιας χώνευσης των οργανικών, η οποία περιλαμβάνει και σύστημα προσθήκης βιολογικής ύλης ή / και γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων σε ορισμένες αναλογίες για συνεπεξεργασία.

Ορισμένες παραλλαγές αναερόβιας ζύμωσης αναφέρονται περιληπτικά στη συνέχεια. [22]

Ξηρή διακοπτόμενη (Dry batch)

Τα ΑΣΑ φορτώνονται κατά παρτίδες σε ειδικούς θαλάμους που κλείνουν αεροστεγώς, αφού εμβολιασθούν με βακτηριακό υπόλειμμα από την προηγούμενη παρτίδα. Παραμένουν 20-30 μέρες για πλήρη ζύμωση και παραγωγή του βιοαερίου. Αντί ανάδευσης των ΑΣΑ, ανακυκλώνεται το νερό με άντληση και ψεκάσμο. Είναι γνωστή με τις εμπορικές ονομασίες BEKON, και BOCELL. Έχει τα τυπικά μειονεκτήματα αστάθειας και χειρισμού των διακοπτόμενων διεργασιών.

Ξηρή συνεχής (Dry continuous)

Η παραλλαγή αυτή είναι γνωστή με τις εμπορικές ονομασίες DRANCO, VALORGA, KOMPOGAS. Λειτουργεί με περιεκτικότητες στερεών 20-40% και επιτυγχάνεται κατεργασία μεγάλων ποσοτήτων ΑΣΑ με ελάχιστη ποσότητα νερού. Η αναερόβια ζύμωση γίνεται στη θερμοφιλική περιοχή (50-55 °C). [36, 37]

Υγρή συνεχής (Wet continuous)

Η παραλλαγή αυτή γνωστή με την ονομασία REFCOM, λειτουργεί με περιεκτικότητες στερεών κάτω του 10%, απαιτώντας μεγάλες ποσότητες νερού. Είναι κατάλληλη για συνδυασμό με λύματα, ζωική κοπριά, και βιομηχανικά απόβλητα. Το υγρό υπόλειμμα μετά τη ζύμωση ανακυκλώνεται για εξοικονόμηση νερού. Η παραλλαγή αυτή δεν επιλέγεται όταν πρόκειται μόνο για ΑΣΑ. [38]

Υγρή πολλαπλών σταδίων (Wet multistage)

Στην παραλλαγή αυτή τα ΑΣΑ μετατρέπονται σε παχύρρευστο υδατικό διάλυμα (slurry) και υφίστανται ζύμωση σε πρώτο στάδιο με παραγωγή πτητικών οργανικών οξέων. Σε δεύτερο στάδιο το διάλυμα με τα πτητικά οξέα μετατρέπεται σε αέριο με ζύμωση σε αναερόβιο αντιδραστήρα υψηλού φορτίου. Βασικό μειονέκτημα της παραλλαγής αυτής γνωστής με τις ονομασίες BTA και PAQUES, είναι η περίπλοκη λειτουργία της. [39]

Ξηρή ημι-διακοπτόμενη (semi batch)

Είναι παραλλαγή της ξηρής διακοπτόμενης ζύμωσης, και περιλαμβάνει πολλούς διαδοχικούς θαλάμους ζύμωσης, με το βακτηριακό υγρό να διέρχεται από τον ένα θάλαμο στον άλλο με άντληση και ψεκάσμο. Δημιουργείται έτσι συνεχής ροή αερίου που επιτρέπει την συνεχή λειτουργία του ζεύγους MEK-ηλεκτρογεννήτριας. Η ζύμωση στον κάθε θάλαμο

διαρκεί 20-30 μέρες και τα ΑΣΑ τροφοδοτούνται με περιεκτικότητα 30-50%. Το μειονέκτημα της παραλλαγής είναι η μη συνεχής τροφοδοσία των ΑΣΑ.

3.4.2 Προϊόντα ενέργειας αναερόβιας ΜΒΕ και η αξιοποίησή τους

Κατά την αναερόβια χώνευση γίνεται ελεγχόμενη βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου (ένα μίγμα CH_4 και CO_2) και ιλύος. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, όπως επίσης υπάρχει η δυνατότητα να καθαριστεί, να αναβαθμιστεί και να μετατραπεί σε αέριο καύσιμο, ανάλογο του φυσικού αερίου. Σε περίπτωση διαλογής στην πηγή του οργανικού κλάσματος, η ιλύς μετά από χώνευση μπορεί να διατεθεί απευθείας στο έδαφος ή να υποστεί περαιτέρω αερόβια επεξεργασία για τη σταθεροποίησή της και να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικό. Σε περίπτωση όμως που το οργανικό κλάσμα προέρχεται από μηχανική διαλογή, τότε λόγω προσμίξεων, η παραγόμενη ιλύς, θα αποτελεί απόβλητο και δε δύναται να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικό ικανοποιητικής ποιότητας. Κατά συνέπεια θα τεθεί ένα επιπλέον ζήτημα της εξεύρεσης λύσης για την τελική διάθεση της παραγόμενης ιλύος.[40]

3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναερόβιας μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της αναερόβιας ζύμωσης περιλαμβάνονται τα: [22]

- Παραγωγή βιοαερίου που αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
 - Σε περίπτωση διαλογής στην πηγή του οργανικού κλάσματος μπορεί να γίνει παραγωγή εδαφοβελτιωτικού.
 - Δραστική μείωση των παθογόνων βακτηριδίων.
 - Σχετικά μικρή απαίτηση της μονάδας σε έκταση.
 - Δεν παράγονται αέρια του θερμοκηπίου και οι ρύποι είναι πρακτικά μηδενικοί από τη λειτουργία των μονάδων.
 - Δεν δημιουργούνται προβλήματα οσμών.
 - Οι μονάδες δε δημιουργούν οπτική ρύπανση και υποβάθμιση των παρακείμενων περιοχών.
 - Το πάγιο κόστος των μονάδων, σε σχέση με την διάρκεια ζωής τους, είναι χαμηλό.
- Μερικά από τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:
- Είναι αργή διεργασία.
 - Το αποτεφρώσιμο κλάσμα των ΑΣΑ που δεν αποικοδομείται πρέπει να αφαιρεθεί και

να ακολουθήσει άλλη επεξεργασία.

→ Η ποσότητα της ανακτώμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την αναερόβια ζύμωση είναι 2 – 2,5 φορές μικρότερη από ότι από μονάδες αποτέφρωσης.

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε παραδείγματα τέτοιων μονάδων.



Εικόνα 3.3 Μονάδα αναερόβιας ΜΒΕ στο Lübeck, Γερμανία



Εικόνα 3.4 Μονάδα αναερόβιας ΜΒΕ στο Τελ-Αβίβ, Ισραήλ

3.5 Βιοξήρανση

Η παραγωγή καλής ποιότητας καυσίμου συνήθως γίνεται με τη χρήση μιας παραλλαγής της γενικότερης μεθόδου Μηχανικής – Βιολογικής Επεξεργασίας. Η παραλλαγή έγκειται στο γεγονός ότι στην περίπτωση αυτή η βιολογική επεξεργασία προηγείται της μηχανικής και αφορά κύρια μεθόδους βιολογικής ξήρανσης (biodrying).

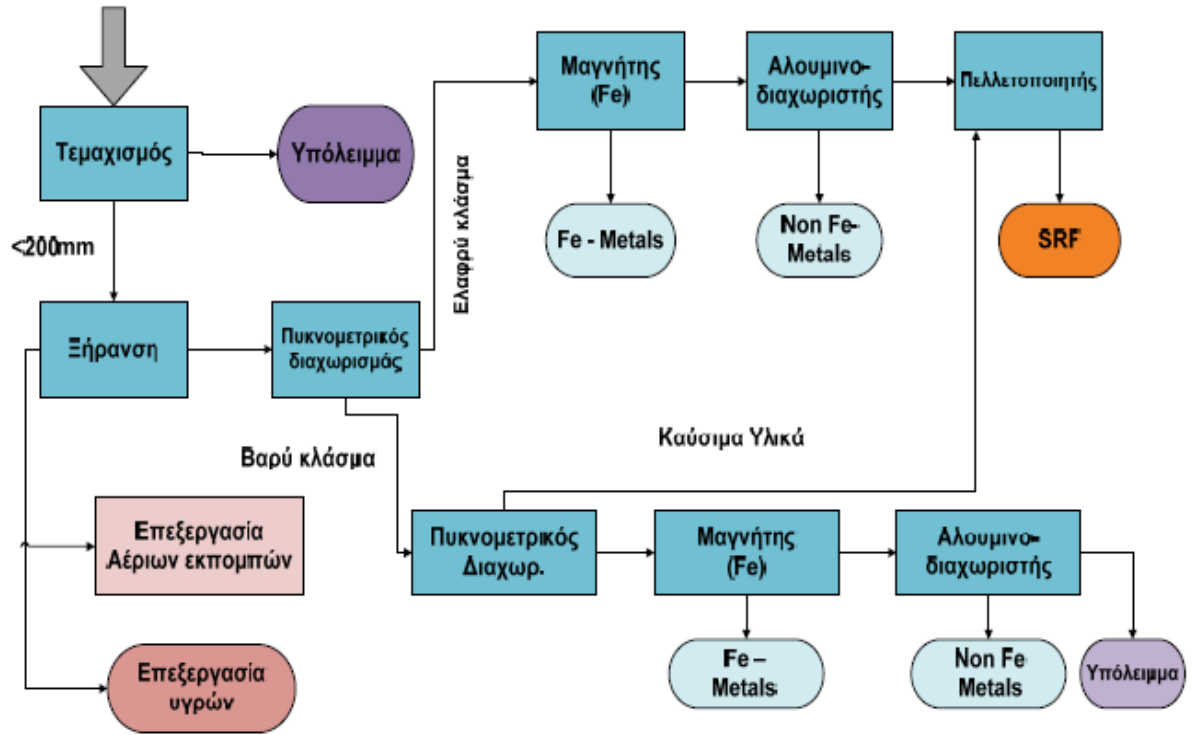
Η μέθοδος ουσιαστικά αποτελείται από δύο μέρη:

1. Την αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων (τα οποία αρχικά τεμαχίζονται για ελάττωση του μεγέθους). Κατά το στάδιο αυτό γίνεται αποδόμηση των αποβλήτων με παροχή οξυγόνου, αλλά σε αντίθεση με την κλασική κομποστοποίηση δεν γίνεται προσθήκη νερού στα απόβλητα και η περιεχόμενη υγρασία όσο προχωρά η δράση των μικροοργανισμών ελαττώνεται. Έτσι τα απόβλητα αποδομούνται μερικώς (υποδομείται κυρίως το πιο πτητικό, ζυμώσιμο μέρος των εισερχόμενων αποβλήτων) και σημαντικό μέρος του βιολογικού τους περιεχομένου διατηρείται. Αποτέλεσμα της εξάτμισης του περιεχόμενου νερού και της βιοαποδόμησης, είναι το προϊόν της βιοξήρανσης να αποτελεί ένα υλικό με σημαντική θερμογόνο δύναμη (~ 15-18 MJ/Kg). [1]

Με αυτή τη διαδικασία η αρχική μάζα των αποβλήτων μειώνεται σε ποσοστό περίπου 24-30% κ.β.. Το υλικό που προκύπτει είναι υγειονοποιημένο (απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς) λόγω των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τον αερισμό, (περίπου 60°C), και δε δημιουργεί προβλήματα οσμών κατά την αποθήκευση / μεταφορά. Αν είναι επιθυμητό, μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω ή να οδηγηθεί προς ταφή.

2. Το στάδιο της βιοξήρανσης ακολουθείται από μηχανική επεξεργασία προκειμένου να βελτιωθεί η σύσταση του προϊόντος της βιοξήρανσης, μέσω της απομάκρυνσης μετάλλων και γενικότερα της μείωσης των μη – καυσίμων υλικών, αλλά και της βελτίωσης της κοκκομετρίας. Παράγεται έτσι το υλικό Solid Recovered Fuel – SRF το οποίο αποτελεί στερεό καύσιμο αρκετά καλής ποιότητας το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά είτε σε in-situ εγκατάσταση, είτε σε άλλη εγκατάσταση ενεργειακής αξιοποίησης.

Ανάλογα με την πιθανή χρήση του SRF υπάρχει η πιθανότητα να ζητούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές σύστασης και επομένως ο μηχανολογικός εξοπλισμός κατά το 2ο στάδιο (μηχανική διαλογή / post – mechanical treatment), μπορεί να ποικίλει προκειμένου να επιτυγχάνεται βελτίωση της ποιότητας του SRF.



Εικόνα 3.5 Πιθανό διάγραμμα ροής τεχνικής βιοξήρανσης και παραγωγής SRF

3.6 Συγκριτική αξιολόγηση των τεχνολογιών μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας

Πίνακας 3.5 Συγκριτική αξιολόγηση των ειδών ΜΒΕ.

	Στόχοι	Προϋποθέσεις	Προϊόντα	Κόστος	Ενέργεια	+/-	
Βιολογική επεξεργασία	Αερόβια/ Κομπ/ση	Ελάττωση όγκου, σταθεροποίηση αποβλήτων, παραγωγή αξιοποιήσιμου στερεού προϊόντος (compost)	Οργανικά απόβλητα (Μηχανικός Διαχωρισμός)	Χουμοποιημένο προϊόν, CO ₂ , H ₂ O	Μέτριο	Κατανάλωση ενέργειας	
	Αναερόβια	Παραγωγή ενέργειας (βιοαέριο), ελάττωση όγκου, σταθεροποίηση αποβλήτων	Οργανικά απόβλητα (Μηχανικός Διαχωρισμός)	Σταθεροποιημένο προϊόν, CO ₂ , CH ₄	Υψηλό	Παραγωγή ενέργειας. Βιοαέριο για μονάδα θερμικής επεξεργασίας	Υγρή υλύος, αφύγρανση δύσκολη και ενεργοβόρα Ξηρές μέθοδοι δυσκολία σε διακίνηση, ανάμειξη Απαιτήσεις σε προδιαγραφές
	Βιολογική ξήρανση	Μείωση υγρασίας, όγκου κ επικινδυνότητας των προς καύση/ταφή απορριμμάτων	Διαλογισμένα	Ξηραμένο υλικό, όχι πολύ σταθεροποιημένο προϊόν		Κατανάλωση/παρ αγωγή	Ελάχιστες αέριες εκπομπές για ΧΥΤΑ όμως αν για καύση καθαρισμός ρύπων
Συνδυασμός μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας	Ελάττωση όγκου, σταθεροποίηση αποβλήτων, compost, παραγωγή ενέργειας (RDF, SRF)	Σύμμεικτα	Ανακυκλώσιμα υλικά, RDF, SRF, compost, σταθεροποιημένο προϊόν	Υψηλό	Χουμοποιημένο προϊόν, RDF SRF, σταθεροποιημένο προϊόν	Δοκιμασμένη τεχνολογία ποικιλία προϊόντων, Όμως περιορισμένη αγορά για SRF & RDF, εξάρτηση από εφαρμοσμένη τεχνολογία,	
Μηχανική επεξεργασία	Υποβιβασμός μεγέθους Διαχωρισμός και ταξινόμηση τεμαχισμός, το κοσκίνισμα, ο διαχωρισμός και η συμπίεση	Σύμμεικτα	Σιδηρ. Μέταλλα, Ζυμός/μα υλικά, RDF, Γυαλί, Αλουμίνιο, Πλαστικά	Σχετικά μικρό			

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΚΑΥΣΗ - ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ”

4.1 Εισαγωγικά

Ο όρος *καύση – αποτέφρωση* (combustion - incineration) δεν αφορά την ανεξέλεγκτη καύση διαφόρων ειδών αποβλήτων σε ανεξέλεγκτες χωματερές ή υπαίθριους χώρους αλλά τη θερμική καταστροφή των κατάλληλων προς καύση αποβλήτων σε ειδικές εγκαταστάσεις, με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας [41]. Χρησιμοποιείται ως μέθοδος επεξεργασίας ενός πολύ ευρέως φάσματος αποβλήτων και αποτελεί συνήθως μέρος ενός πολύπλοκου συστήματος επεξεργασίας των αστικών στερεών αποβλήτων.

Στόχος της διεργασίας είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων και της επικινδυνότητάς τους και ταυτόχρονα, η καταστροφή των βλαβερών ουσιών που απελευθερώνονται ή ενδέχεται να απελευθερώνονται κατά την καύση. Η διεργασία αυτή, επίσης, καθιστά δυνατή την ανάκτηση, όχι μόνο ενέργειας αλλά και μεταλλικών και/ή χημικών ουσιών από τα απόβλητα. [42]

Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται οι ποσότητες ΑΣΑ σε χιλιάδες τόνους που αποτεφρώθηκαν τα τελευταία χρόνια και στην Εικόνα 4.1 ο αριθμός των εργοστασίων καύσης που βρίσκονται σε λειτουργία σε διάφορες Ευρωπαϊκές Χώρες, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία. [43]

Πίνακας 4.1 Ποσότητες ΑΣΑ σε χιλιάδες τόνων που αποτεφρώθηκαν τις αναγραφόμενες χρονολογίες. [43]

	1995	2000	2006	2009
ΕΕ 27 χώρες	31.08	38.07	48.89	50.97
Δανία	1.53	1.88	2.14	2.32
Γερμανία	7.92	10.97	15	15.54
Ελλάδα	0	0	0	0
Σλοβενία	0	0	7	14

Πιο συγκεκριμένα, η καύση ορίζεται ως η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των αστικών στερεών αποβλήτων υπό συνθήκες περίσσειας (excess – air combustion) ή στοιχειομετρικής αναλογίας οξυγόνου (stoichiometric

combustion). Με αυτόν τον τρόπο, η οργανική ύλη εξατμίζεται, αποσυντίθεται ή ακόμα, καταστρέφεται ενώ τα ανόργανα συστατικά παραμένουν στο παραγόμενο στερεό υπόλειμμα και ο τελικός όγκος των αποβλήτων μειώνεται. [1]



Εικόνα 4.1 Αριθμός εργοστασίων καύσης σε λειτουργία σε Ευρωπαϊκές Χώρες το 2007 [43]

Κρίσιμο σημείο αποτελεί η εξασφάλιση της πλήρους καύσης των ΑΣΑ και η αποφυγή της ατελούς (έλλειψη οξυγόνου), η οποία ευθύνεται για την έκλυση επιβλαβών καυσαερίων. [44]

4.2 Περιγραφή τεχνολογίας

4.2.1 Είδη εστιών καύσης-αποτέφρωσης

Υπάρχουν δύο τύποι συμβατικών μονάδων καύσης-αποτέφρωσης: οι μονάδες τύπου mass-fired που δεν απαιτούν προεπεξεργασία των αποβλήτων και οι μονάδες που λειτουργούν με επεξεργασμένο RDF (refuse - derived fuel) ως καύσιμο. [45]

4.2.1.1 Μονάδες τύπου mass-fired

Οι μονάδες τύπου mass-fired είναι και η πλειονότητα των εγκατεστημένων μονάδων. Πλεονεκτούν λόγω του ότι τα απόβλητα εισάγονται χωρίς καμία προεπεξεργασία στη μονάδα καύσης, με αποτέλεσμα η λειτουργία της μονάδας να είναι πιο “βολική”. Το γεγονός αυτό, όμως, εγκυμονεί και κινδύνους, όπως, για παράδειγμα, την εισαγωγή ογκωδών ή ιδιαίτερα επικινδύνων αποβλήτων, που αντιμετωπίζονται με την αυστηρή επίβλεψη των εισαγομένων αποβλήτων και με τη δυνατότητα χειροκίνητης διακοπής της εισαγωγής τους όποτε αυτό θεωρηθεί αναγκαίο από τον επιβλέποντα.

Οι διακυμάνσεις του ενεργειακού περιεχομένου των αποβλήτων είναι τεράστιες στις μονάδες αυτές και εξαρτώνται και από το κλίμα, τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, τη σύσταση των αποβλήτων κλπ. Κατά συνέπεια, οι mass-fired εντάσσονται με σχετική δυσκολία σε ένα σύστημα ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας. [8]

4.2.1.2 Μονάδες τύπου RDF-fired

Τα ανακτώμενα υλικά (γυαλί, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο) διαχωρίζονται από τη μάζα των αποβλήτων μηχανικά και συλλέγονται για επεξεργασία και μελλοντική πώληση ή διάθεση. Το κλάσμα των υπόλοιπων υλικών (χαρτί, πλαστικό, λοιπά καύσιμα) ονομάζεται Καύσιμο από Σκουπίδια (RDF). Όσον αφορά τις μονάδες τύπου RDF-fired, δηλαδή, αυτές που χρησιμοποιούν αυτό το καύσιμο, παρουσιάζουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα.

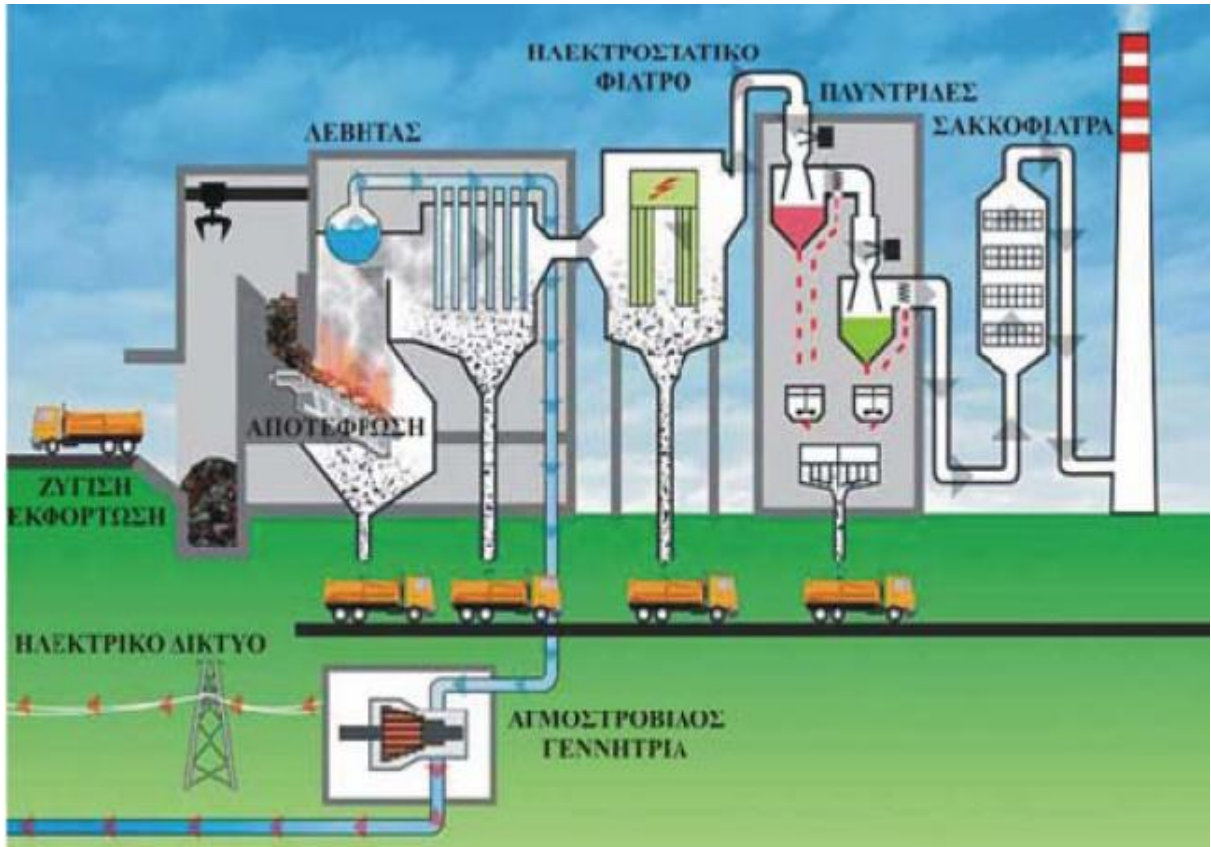
Εντάσσονται ευκολότερα σε δίκτυο ανάκτησης και διανομής ενέργειας γιατί το RDF έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη (σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα απόβλητα) και πολύ μικρότερες διακυμάνσεις στο ενεργειακό περιεχόμενο. Επιπλέον, ο έλεγχος μιας μονάδας RDF-fired είναι ευκολότερος και ο χώρος που απαιτείται είναι λιγότερος, σε σχέση με μια μονάδα mass-fired ενώ τέλος, η προεπεξεργασία των αποβλήτων για την παραγωγή RDF δίνει τη δυνατότητα απομάκρυνσης μιας σειράς κατηγοριών αποβλήτων, όπως το PVC, τα

μέταλλα κ.α. τα οποία συνεισφέρουν στη δημιουργία επικίνδυνων ρύπων που μεταφέρονται με τα αέρια της μονάδας αποτέφρωσης. Ωστόσο, οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται λιγότερο και αυτό γιατί προϋποθέτουν και την ύπαρξη μονάδας παραγωγής του. [8]

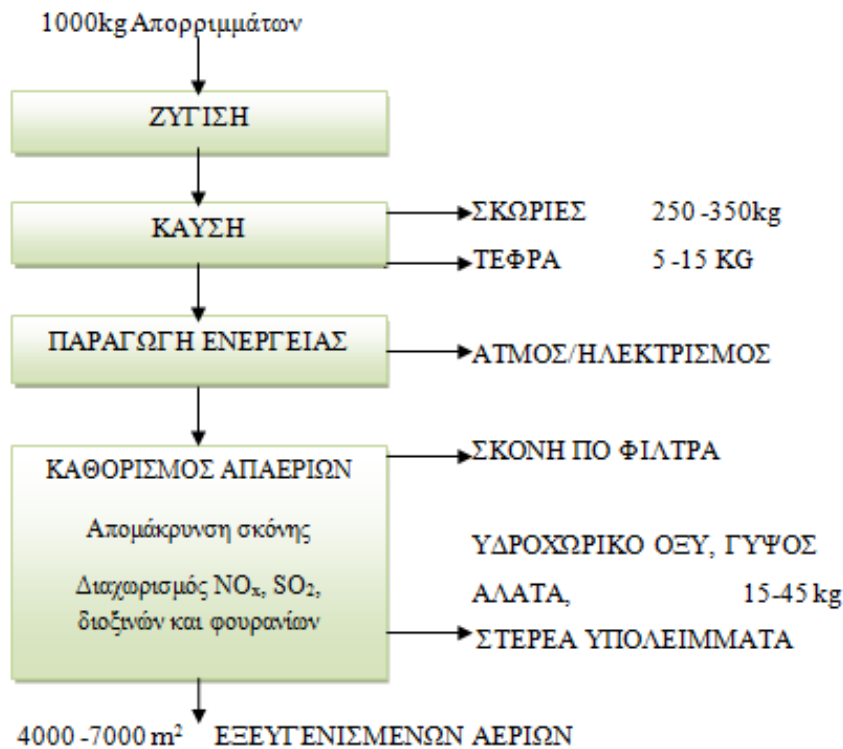
4.3 Διάγραμμα ροής μονάδας καύσης ΑΣΑ

Μια εγκατάσταση καύσης στερεών αποβλήτων αποτελείται, στη γενική περίπτωση, από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα (Εικόνα 4.2):

- Πύλη και ζυγιστήριο για έλεγχο και καταγραφή των εισερχομένων φορτίων. Χώρος υποδοχής και προσωρινής αποθήκευσης εισερχομένων ΑΣΑ για ομαλοποίηση της τροφοδοσίας.
- Σύστημα τροφοδοσίας (γερανός, ταινία) προσαρμοσμένο στο ρυθμό λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Εστία καύσης με σύστημα εσχάρων ή, σε ειδικές περιπτώσεις, με σύστημα περιστροφικού κλιβάνου ή ρευστοποιημένης κλίνης. Ειδικός καυστήρας με βοηθητικό καύσιμο κάνει την αρχική ανάφλεξη και εξασφαλίζει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία των απαερίων σε περιπτώσεις που απαιτείται.
- Λέβητας, ο οποίος χρησιμοποιεί τα θερμά απαέρια για παραγωγή ατμού.
- Σύστημα απομάκρυνσης υπολειμμάτων, τα οποία παράγονται από την καύση. Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί το 3-8% του αρχικού βάρους των αποβλήτων και η τέφρα πυθμένα το 15 – 28% [46]. Τα υπολείμματα δημιουργούνται κυρίως στην εσχάρα, απ' όπου με ειδικό σύστημα απάγονται και μεταφέρονται για ψύξη, και στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων, απ' όπου συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα.
- Σύστημα ελέγχου εκπομπών, σαν αυτό που παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.3 για έλεγχο σωματιδίων, HCl, HF, SO₂, διοξινών και βαρέων μετάλλων.



Εικόνα 4.2 Τυπική μονάδα καύσης αστικών στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [8]



Εικόνα 4.3 Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης καύσης ΑΣΑ [8]

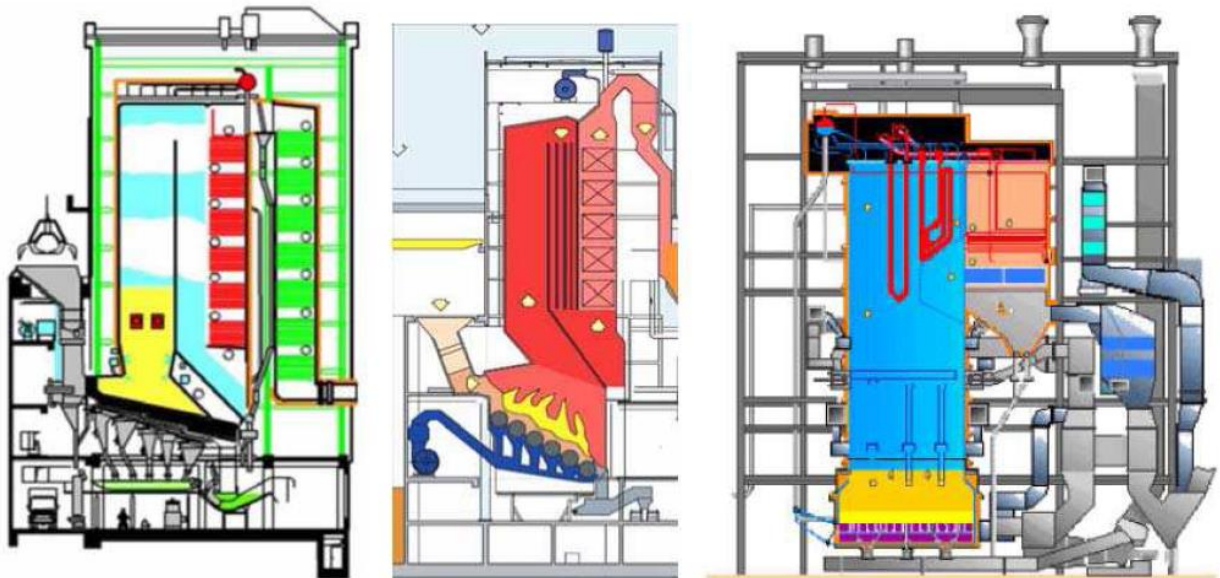
4.4 Θερμική επεξεργασία αποβλήτων-Εστίες καύσης

Διάφορες τεχνολογίες καύσης μπορεί να εφαρμοστούν ανάλογα με το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων, στην περίπτωση των ΑΣΑ όμως, η όλη διαδικασία της καύσης λαμβάνει χώρα σε ειδικές εστίες καύσης, η δυναμικότητα των οποίων κυμαίνεται από 8 έως 25 Mg/h.

Τα απόβλητα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά, συνεπώς, αυτά απομακρύνονται άμεσα και στην πραγματικότητα ένα μικρό μόνο μέρος της καύσης γίνεται πάνω ή κοντά στον κλίβανο. Η ανάφλεξη των στερεών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις καύσης επιτυγχάνεται με χρήση ειδικού καυστήρα, ο οποίος λειτουργεί με βοηθητικό καύσιμο, κάνει την αρχική ανάφλεξη και εξασφαλίζει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία των καυσαερίων σε περιπτώσεις που απαιτείται (Εικόνα 4.4). [1]

Βασικές παράμετροι για την σωστή λειτουργία των εστιών καύσης είναι:

- Η επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας.
- Ο επαρκής χρόνος καύσης.
- Η επίτευξη συνθηκών στροβιλισμού / ομοιογενούς καύσης των αποβλήτων.



Εικόνα 4.4 Τύποι Αποτεφρωτών (α) κινούμενων εσχάρων (β) περιστρεφόμενου κλιβάνου (γ) ρευστοποιημένης κλίνης [46]

Στον Πίνακα 4.2 γίνεται σύγκριση των πιο κοινών συστημάτων καύσης

Πίνακας 4.2 Συγκριτική απεικόνιση των αντιπροσωπευτικότερων συστημάτων καύσης.

Τεχνολογία	Χαρακτηριστικά Αποβλήτων	Δυναμικότητα (ανά γραμμή λειτουργίας)	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Κινούμενη Εσχάρα - αερόψυκτη	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη 5-16,5 GJ/t Αστικά και άλλα ανομοιογενή στερεά απόβλητα Μπορεί να δεχτεί ιλύ και ιατρικά Εφαρμόζεται σε όλες τις σύγχρονες εγκαταστάσεις	1-50 t/h Συνήθως (5-30t/h)	Ευρέως δοκιμασμένη σε μεγάλες δυναμικότητες Αξιόπιστη Μπορεί να δεχτεί ανομοιογενή υλικά χωρίς προεπεξεργασία	Ακατάλληλη για υλικά σε μορφή πούδρας, υγρά, ή υλικά που λιώνουν στις σχάρες
Κινούμενη εσχάρα - υδρόψυκτη	Ομοίως με παραπάνω αλλά κατώτερη θερμογόνος δύναμη 10-20 GJ/t	1-50 t/h Συνήθως (5-30t/h)	Όμοια και παραπάνω και: Κατάλληλη για υλικά υψηλότερης θερμογόνου δύναμης Δυνατότητα μεγαλύτερου ελέγχου της καύσης	Ομοίως με τα παραπάνω αλλά: Κίνδυνοι διαρροών που καταστρέφουν τις σχάρες Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα
Περιστρεφόμενος κλιβάνος	Μπορεί να δεχτεί υγρά και ιλύ Συχνά εφαρμόζεται σε επικίνδυνα απόβλητα Περισσότεροι περιορισμοί σε τροφοδοσίες στερεών (πιθανή βλάβη πυρίμαχων υλικών κλιβάνου)	< 10t/h	Δοκιμασμένη Μεγάλο εύρος αποβλήτων Καλή καύση ακόμα και για τα επικίνδυνα Δυνατότητα καλού έλεγχου καύσης	Μικρότερες δυνατότητες από τα συστήματα σχάρας
Bubbling fluidized bed	Διαχωρισμένα και σταθερής σύστασης υλικά Περιορισμένη χρήση σε ανεπεξέργαστα απόβλητα Συχνή εφαρμογή για ιλύ-απορριμματογενή καύσιμα	1-10 t/h	Καλή ανάμειξη Ιπτάμενη τέφρα με καλή συμπεριφορά σε τεστ εκπλυσιμότητας	Απαιτείται προσεκτική λειτουργία για αποφυγή συσσωμάτων Μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας από συστήματα σχάρας
Roatating Fluidized bed	Για θερμογόνο δύναμη 7-18GJ/t Μπορούν να τροφοδοτήσουν τεμάχια μεγάλης διαμέτρου Συναποτέφρωση ιλός	3-22 t/h	Καλή ανάμιξη-τυρβώδης ροή Μεγάλο εύρος θερμογόνου δύναμης Καλή καύση	Απαιτείται τεμαχισμός υλικών Μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας από συστήματα σχάρας
Circulating fluidized bed	Διαχωρισμένα και σταθερής σύστασης υλικά Εφαρμογή σε ιλύ και απορριμματογενή καύσιμα	1-22t/h Συνήθως < 10t/h	Καλή ανάμιξη-πορώδης ροή Μεγαλύτερη ευελιξία σε αποδεκτά υλικά Ιπτάμενη τέφρα με καλή συμπεριφορά σε τεστ εκπλυσιμότητας	Απαιτείται κυκλώνας για συγκράτηση υλικού της κλίνης Μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας από συστήματα σχάρας

4.5 Συστήματα ελέγχου εκπομπών και αέριας ρύπανσης

4.5.1 Σύσταση καυσαερίων

Κατά την καύση προκύπτουν περίπου $4.500-6.000\text{m}^3$ καυσαερίων ανά τόνο αποβλήτων, τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία περίπου $1000\text{ }^\circ\text{C}$. [44, 48]

Οι ουσίες που εκπέμπονται στα αέρια της καύσης συνοψίζονται παρακάτω:

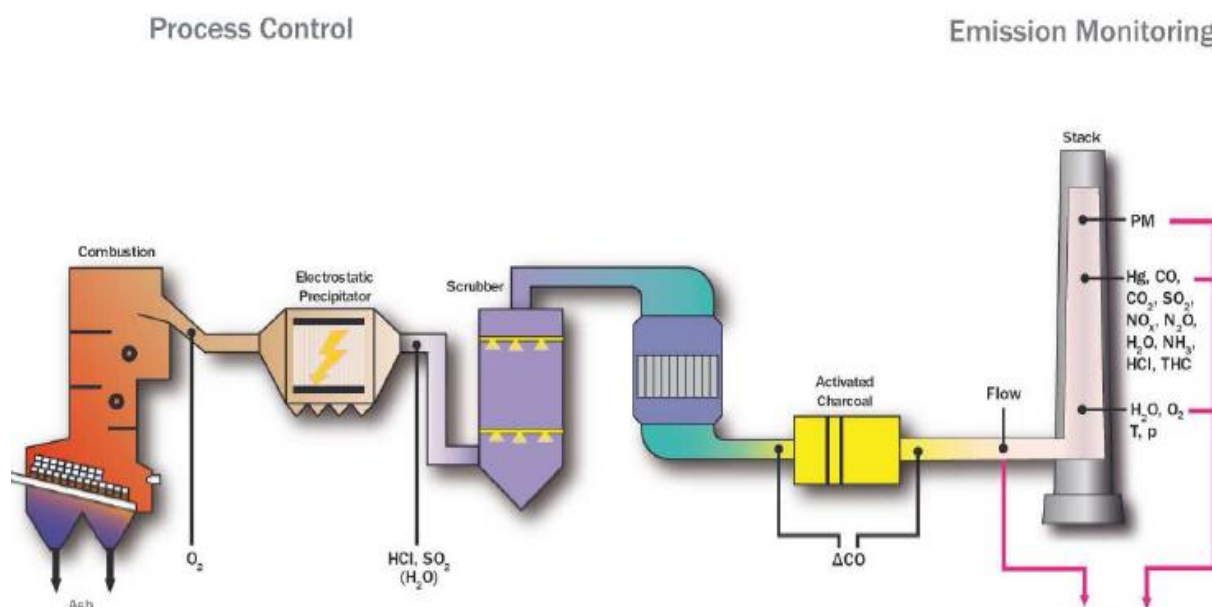
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): Ένας τόνος ΑΣΑ, με την καύση παράγει 0,7 ως 1,7 τόνους διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο εκλύεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα και συνεπώς, συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Είναι τοξικό αέριο και προκύπτει από την ατελή καύση των οργανικών ενώσεων. Υψηλές συγκεντρώσεις του στα καυσαέρια πρέπει να αποφεύγονται καθώς μπορεί να σχηματιστεί εκρηκτικό μίγμα.
- Μεθάνιο: Αν η καύση λαμβάνει χώρα κάτω από οξειδωτικές συνθήκες, τότε οι εκπομπές μεθανίου στα καυσαέρια είναι μηδενικές. Ωστόσο, σχηματίζεται στο φρεάτιο τροφοδοσίας, όπου, λόγω της υποπίεσης, μεταφέρεται στην εστία καύσης ως πρωτογενής αέρας καύσης και εκεί μετατρέπεται.
- Υδροχλώριο: Το 50% του χλωρίου που περιέχεται στα ΑΣΑ προέρχεται από PVC, το οποίο κατά την καύση μετατρέπεται σε HCl. Μέρος αυτού μπορεί να αντιδράσει περαιτέρω προς σχηματισμό άλλων ρύπων (χλωρίδια μετάλλων, ανόργανες ενώσεις).
- Υδροφθόριο: Οι πηγές εκπομπής HF στις μονάδες καύσης είναι πιθανώς τα φθοριωμένα πλαστικά και τα φθοριωμένα υφάσματα.
- Οξειδία θείου: Αν τα απόβλητα περιέχουν θειούχες ενώσεις, τότε πιο πιθανός είναι ο σχηματισμός διοξειδίου του θείου (SO_2) κατά την καύση. Όμως, κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες, είναι πιθανός και ο σχηματισμός SO_3 . Πηγές θείου στα απορρίμματα είναι το χαρτί, οι γυψοσανίδες, λυματολάσπη κλπ.
- Οξειδία αζώτου: Διάφορα οξείδια του αζώτου εκπέμπονται από τις μονάδες καύσης τα οποία μπορεί να είναι τοξικά, όξινα ή να έχουν επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα NO και NO_2 προέρχονται από την μετατροπή του αζώτου που περιέχεται στα απόβλητα αλλά και στον αέρα καύσης. Στη δεύτερη περίπτωση, η ποσότητα που παράγεται είναι σημαντική σε θερμοκρασίες άνω των 1000°C .
- Διοξίνες/Φουράνια (PCDD/F): Από τους πιο επικίνδυνους ρύπους των καυσαερίων είναι οι διοξίνες, γνωστές και ως πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες (PCDD), οι οποίες

αποτελούνται από δύο αρωματικούς δακτυλίους ενωμένους με ένα ζεύγος ατόμων οξυγόνου. Εξίσου επικίνδυνοι ρύποι είναι και τα φουράνια (PCDF), τα οποία διαφέρουν από τις διοξίνες μόνο στο ότι οι δύο αρωματικοί δακτύλιοι συνδέονται με ένα άτομο οξυγόνου. Η επικινδυνότητα και τοξικότητα των παραπάνω ουσιών συμβαδίζει με ενδείξεις για τη συμβολή τους σε διαδικασίες καρκινογένεσης σε ανθρώπους. Οι διοξίνες και τα φουράνια παράγονται σχεδόν σε όλες τις διαδικασίες καύσης, σε μικρές ποσότητες. Παρόλα αυτά, από εργαστηριακές δοκιμές, είναι γνωστό ότι μια θερμοκρασία δημιουργίας τους είναι οι 300 °C και λαμβάνει χώρα στην αέρια φάση. Η δημιουργία διοξινών και φουρανίων ενθαρρύνεται με την αύξηση στην περιεκτικότητα του οξυγόνου ενώ βασική πηγή τους, κατά την αποτέφρωση των αποβλήτων, θεωρείται η παρουσία οργανικών ενώσεων στα απόβλητα, ιδιαίτερα στις συσκευασίες.

- Υδράργυρος (Hg): Εντοπίζεται σε μπαταρίες, θερμομέτρα, οδοντικά αμαλγάματα. Είναι πολύ τοξικό μέταλλο και χωρίς επαρκή έλεγχο, η καύση αποβλήτων που περιέχουν υδράργυρο αυξάνει πολύ τις εκπομπές. Συνήθως, αναπτύσσεται μία ισορροπία μεταξύ του μεταλλικού υδραργύρου και του $HgCl_2$. Σε περιπτώσεις υψηλής συγκέντρωσης υδροχλωρίου στα καυσαέρια, παραμένει στη μορφή $HgCl_2$, που είναι πολύ πιο εύκολο να αφαιρεθεί από τα καυσαέρια.
- Βαρέα μέταλλα: Τέτοια είναι το κάδμιο, που βρίσκεται σε μπαταρίες, το θάλλιο, το αντιμόνια, το αρσενικό, το χρώμιο, το νικέλιο κ.ά.. Πρόκειται για τοξικά και καρκινογενή μέταλλα και η κατακράτησή τους εξαρτάται από τον αποτελεσματικό διαχωρισμό τους από τη σκόνη στην οποία είναι δεσμευμένα λόγω της τάσης ατμών των ενώσεών τους, κυρίως των οξειδίων.
- Αμμωνία: κατά την καύση ΑΣΑ, η αμμωνία προκύπτει σαν πρόσθετο κατά την επεξεργασία των καυσαερίων και πιο συγκεκριμένα, στην απομάκρυνση των νιτρικών οξέων. [49]

4.5.2 Επεξεργασία και έλεγχος καυσαερίων

Ο βασικός στόχος του καθαρισμού των καυσαερίων σε μονάδες καύσης αποβλήτων είναι ο διαχωρισμός των αερίων και των διαλυτοποιημένων στο καυσαέριο στερεών προϊόντων της καύσης, με περαιτέρω στόχο είτε την υλική τους αξιοποίηση είτε την ασφαλή απόθεση (Εικόνα 4.5). Το δυναμικό των υλικώς αξιοποιήσιμων συστατικών στα καυσαέρια μονάδων καύσης αποβλήτων είναι πάντως χαμηλό (π.χ. επανάκτηση Hg, χρήση του Cl για παραγωγή HCl, χρήση των οξειδίων του θείου για παραγωγή γύψου).



Εικόνα 4.5 Διάγραμμα ροής διεργασίας ελέγχου αέριας ρύπανσης

Ο σωστός σχεδιασμός και η κατάλληλη επιλογή των αντιρρυπαντικών συστημάτων για μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ βασίζεται στη σύσταση και την ποσότητα των προς επεξεργασία καυσαερίων και στα επιτρεπτά όρια εκπομπών της όλης εγκατάστασης. Είναι κομβικής σημασίας μιας και στα προϊόντα της καύσης των ΑΣΑ προκύπτουν εκπομπές φουρανίων και διοξινών, ουσίες άκρως τοξικές και επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία, καθώς επίσης και εκπομπές βαρέων μετάλλων. Για τον έλεγχο των εκπομπών έχουν θεσπιστεί αυστηρά όρια (Οδηγία 2000/76/ΕΚ και ΚΥΑ 22912/1117/6-6-2005) για την επίτευξη των οποίων απαιτείται η χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου. [21]

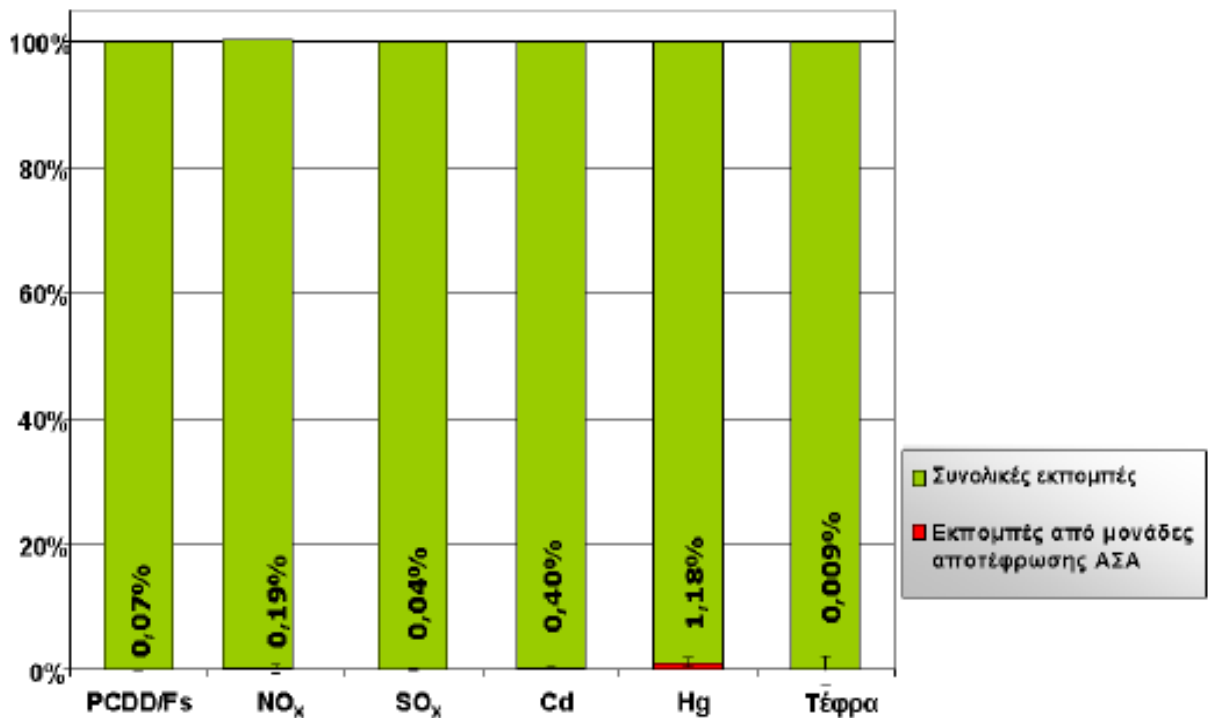
Το πρόβλημα του ελέγχου των εκπομπών ρύπων παρουσιάζεται πιο έντονο σε μονάδες καύσης τύπου mass – fired, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλές διακυμάνσεις στην ποσότητα και, ιδιαίτερα, τη σύσταση των τροφοδοτούμενων προς αποτέφρωση ΑΣΑ, οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι οι μονάδες αυτές λειτουργούν με απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί μικρή προεπεξεργασία με αποτέλεσμα να εμφανίζουν έντονες διακυμάνσεις ως προς τη σύσταση, την περιεχόμενη υγρασία και τη θερμογόνο ικανότητα. Αντίθετα, σε μονάδες RDF-fired, το πρόβλημα ελέγχου των ρύπων παρουσιάζει μικρότερο βαθμό δυσκολίας και εστιάζεται κυρίως στον έλεγχο των εκπομπών διοξινών, φουρανίων και βαρέων μετάλλων.

Τα απαέρια της παραγωγικής διαδικασίας υφίστανται την απαιτούμενη επεξεργασία με συστήματα χημικού καθαρισμού καυσαερίων (ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες, σακκόφιλτρα, ενεργό άνθρακα, μη καταλυτική αναγωγή αζωτοξειδίων) ώστε να

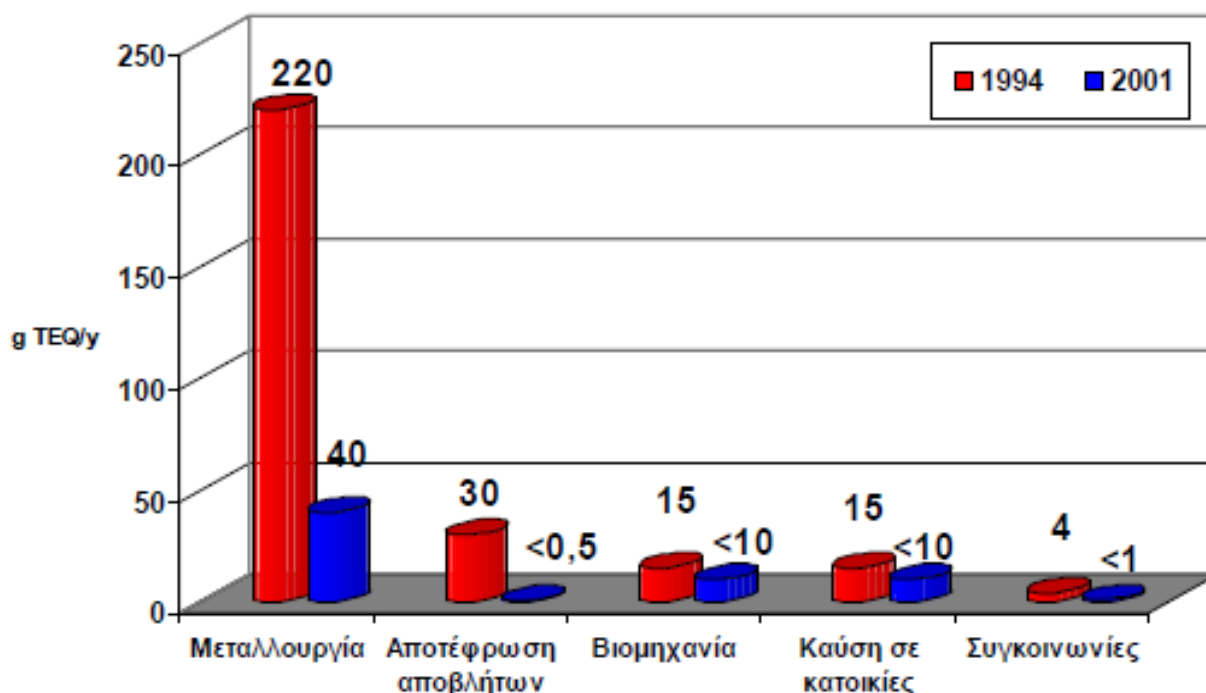
ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα σύμφωνα και με την κείμενη νομοθεσία (ΚΥΑ22912/2005).

Επίσης, η αναμόρφωση των πρότυπων μέτρησης των εκπομπών από εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, κατευθύνονται προς τη διαμόρφωση τέτοιων τεχνικών όπου θα μετρούνται με συνεχή τρόπο οι εκπομπές των απαερίων και θα ελέγχονται έτσι πλήρως οι συγκεντρώσεις των ρύπων για να βρίσκονται κάτω από τα αυστηρά όρια που τίθενται από την νομοθεσία. Σημειώνεται επίσης ότι στις εγκαταστάσεις αυτού του είδους που λειτουργούν στην Ευρώπη, οι εκπομπές είναι συνήθως μια τάξη μεγέθους μικρότερες από τα προβλεπόμενα όρια της νομοθεσίας. [3]

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται οι εκπομπές αέριων ρύπων που παράγονται από την καύση ΑΣΑ στην Αυστρία και στο Σχήμα 4.2 οι εκπομπές διοξεινών από διάφορες πηγές στην Γερμανία. Όπως προκύπτει από την συγκριτική αυτή αξιολόγηση, η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας που προκαλείται από την αποτέφρωση ΑΣΑ είναι πολύ μικρή σε σχέση με άλλες πηγές ρύπανσης και έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 4.1 Εκπομπές από μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με ολικές εκπομπές στην Αυστρία [46]



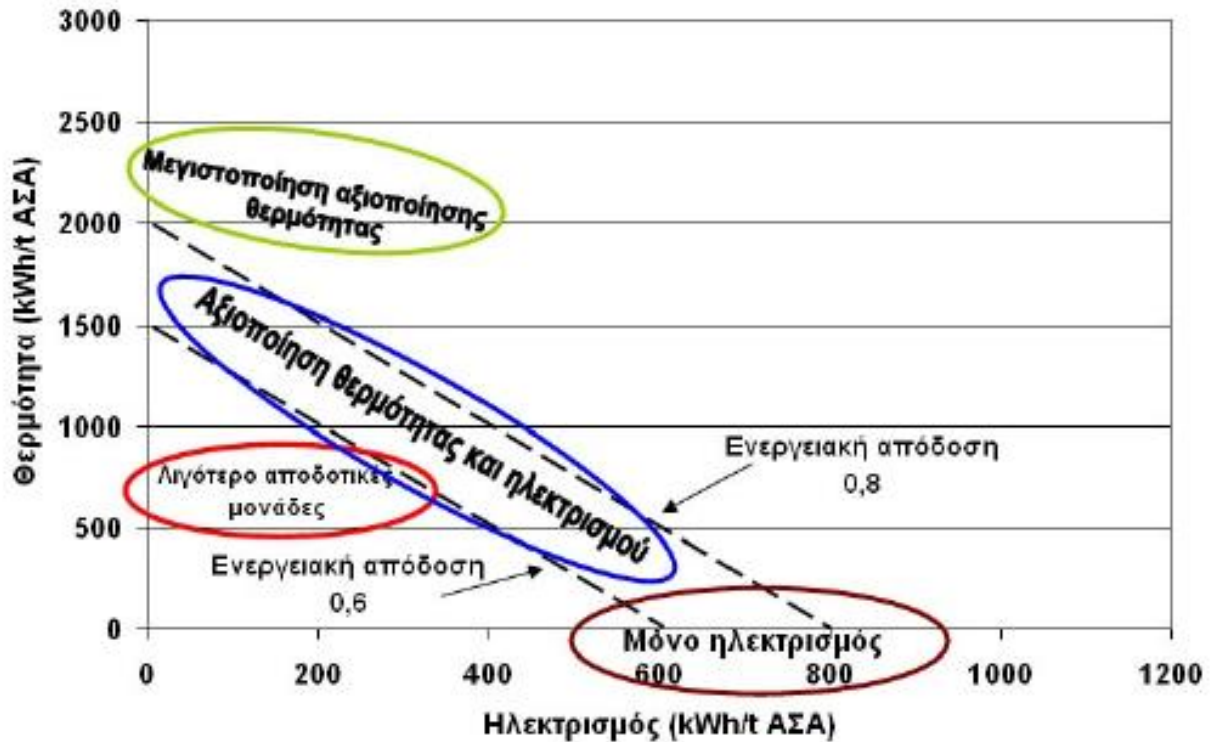
Σχήμα 4.2 Πηγή διοξινών και ποσοτικοποίησή τους στη Γερμανία [50]

4.6 Ενεργειακή απόδοση μονάδων καύσης –αποτέφρωσης ΑΣΑ

Οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης σύμμεικτων αποβλήτων, πέραν της διαχείρισης των αποβλήτων, έχουν ως στόχο την παραγωγή ενέργειας και μέσω αυτού την αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων (λιγνίτη, πετρέλαιο κα). Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με σκοπό τη χρησιμοποίηση των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών σε τέτοιου είδους μονάδες, θέσπισε πρόσφατα, στην Κοινοτική Οδηγία 2008/98 (Παράρτημα 1), τύπο ενεργειακής απόδοσης μονάδων καύσης ΑΣΑ. Σύμφωνα με τον τύπο, ο οποίος πρέπει να τονιστεί ότι δεν αποτελεί τον βαθμό απόδοσης της μονάδας, οι μονάδες θερμικής αξιοποίησης αποβλήτων οφείλουν να υπερτερούν των ορίων που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ώστε η διαδικασία που εκτελούν να θεωρείται ανάκτηση ενέργειας. Τα όρια που έχουν τεθεί είναι 0,60 για τις ήδη κατασκευασμένες μονάδες μέχρι την 31/12/2008 και 0,65 για τις κατασκευασμένες μονάδες μετά την 1/1/2009. [3]

Με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία, τα παραπάνω όρια δεν είναι απόλυτα δεσμευτικά, καθώς θα λαμβάνονται υπόψη οι εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ενεργειακή απόδοση των μονάδων. Οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρισμό, ατμό (για διανομή μέσω δικτύων τηλεθέρμανσης) ή και τα δύο μαζί (συμπαγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας). Όπως γίνεται εμφανές και από το Σχήμα 4.3, τα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ, οδηγούν στην

ταυτόχρονη αξιοποίηση και της παραγόμενης θερμότητας, ειδικά η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά t ΑΣΑ θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά, πιθανώς σε μεγαλύτερη τιμή από αυτή που μπορεί να υποστηρίξει η θερμογόνος δύναμη των ΑΣΑ.



Σχήμα 4.3 Ενεργειακή απόδοση μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρισμού και αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας [3]

Σύμφωνα με την οδηγία η ενεργειακή απόδοση δίδεται από τον τύπο

$$\text{Ενεργειακή Απόδοση} = \frac{[E_p - (E_f + E_i)]}{[0,97 \times (E_w + E_f)]} \quad (4.1)$$

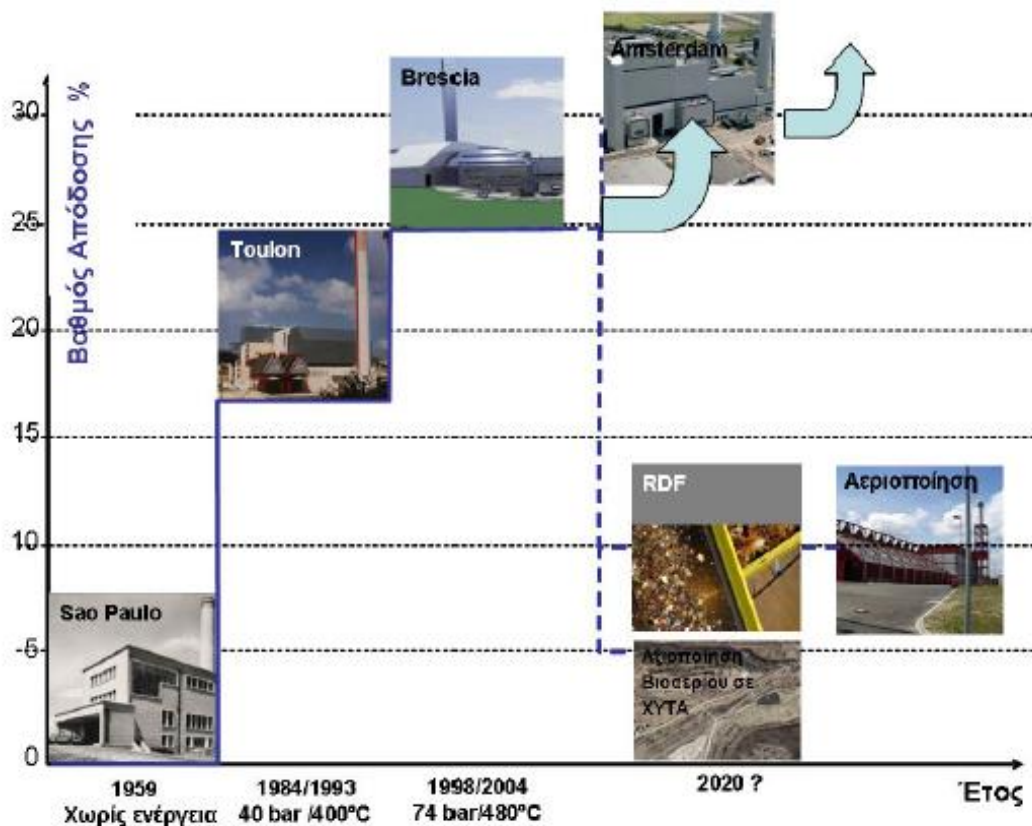
Όπου:

- E_p είναι η ενέργεια που παράγεται ετησίως υπό μορφή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρισμού με 2,6 και την θερμότητα που παράγεται για εμπορική χρήση με 1,1 (GJ/έτος).
- E_f είναι η ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται ετησίως το σύστημα από καύσιμα που συμβάλλουν στην παραγωγή ατμού (GJ/έτος).
- E_w είναι η ετήσια ενέργεια που περιέχεται στα κατεργασμένα απόβλητα και υπολογίζεται με χρήση της καθαρής θερμογόνου αξίας των αποβλήτων (GJ/έτος).
- E_i είναι η ετήσια ενέργεια που εισάγεται εκτός από την E_w και την E_f (GJ/έτος).

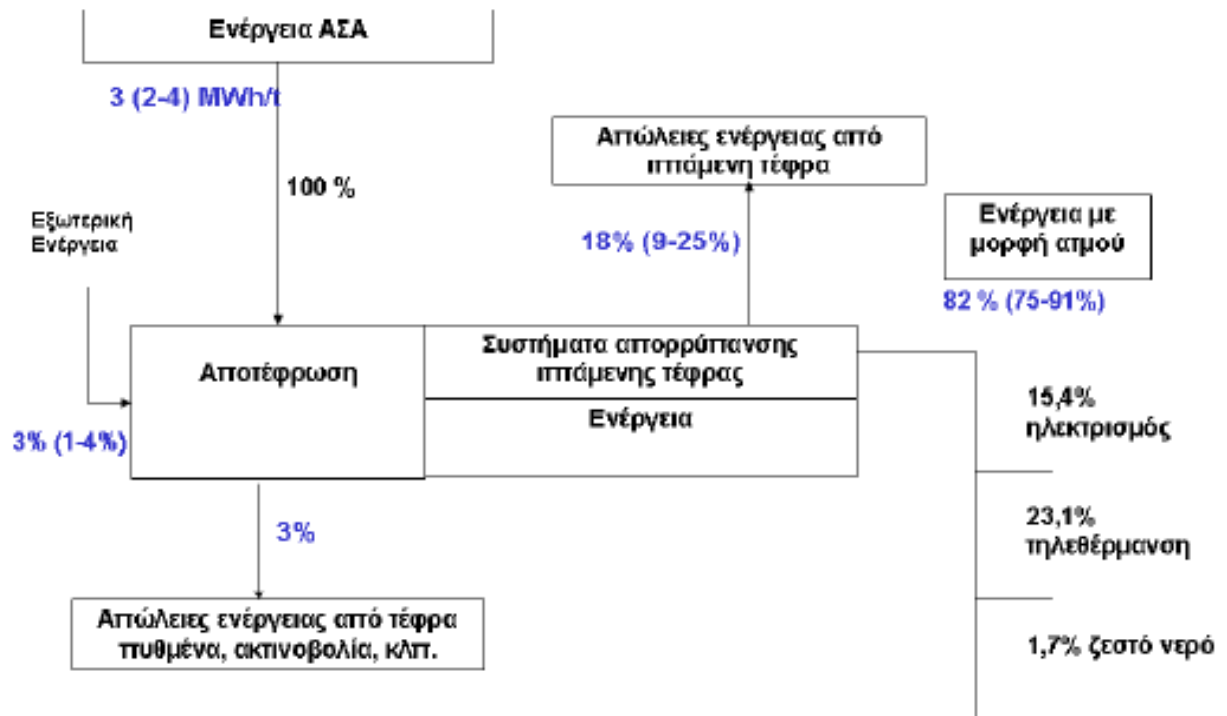
→ 0,97 είναι ένας συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις ενεργειακές απώλειες λόγω τέφρας πυθμένα και ακτινοβολίας.

Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι οι χώρες τη βόρειας Ευρώπης έχουν περίπου για όλο το χρόνο διαθέσιμους πελάτες για κατανάλωση θερμικής ενέργειας (ατμό). Στην κεντρική Ευρώπη συμβαίνει περίπου το ίδιο για τον μισό χρόνο και συνεπώς πρέπει αυτές οι χώρες να στραφούν στην ανεύρεση βιομηχανικών καταναλωτών θερμικής ενέργειας για τον υπόλοιπο χρόνο. Όσον αφορά τις χώρες της νότιας Ευρώπης θα δυσκολευτούν να βρουν οικιακούς καταναλωτές για ένα σημαντικό μέρος του χρόνου, άρα θα πρέπει να οδηγηθούν σε βιομηχανικούς καταναλωτές ή στον συνδυασμό τηλεθέρμανσης (τον χειμώνα) και τηλεψύξης (το καλοκαίρι), μειώνοντας έτσι σημαντικά την χρήση οικιακών καυστήρων και κλιματιστικών. [3]

Για την επίτευξη των παραπάνω ορίων απαιτείται αυξημένος ενεργειακός βαθμός απόδοσης των μονάδων, ο οποίος τα τελευταία χρόνια έχει βελτιωθεί σημαντικά. Στο Σχήμα 4.4 απεικονίζεται εποπτικά η εξέλιξη του βαθμού απόδοσης των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων και στο Σχήμα 4.5 απεικονίζεται το ενεργειακό ισοζύγιο σε μια σύγχρονη τυπική μονάδα.



Σχήμα 4.4 Εξέλιξη του βαθμού απόδοσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων [46]



Σχήμα 4.5 Τυπικό ενεργειακό ισοζύγιο σε μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ [46]

4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών καύσης-αποτέφρωσης

Οι τεχνολογίες της καύσης-αποτέφρωσης αποτελούν τις περισσότερο δοκιμασμένες τεχνολογίες όσον αφορά στη διαχείριση των ΑΣΑ. Από την άλλη, πρόκειται για τεχνολογίες που αν και κατορθώνουν να διαχειριστούν το ζήτημα του όγκου των ΑΣΑ, η απόδοση σε παραγόμενη-δευτερογενή ενέργεια είναι σχετικά χαμηλή, ίσως λόγω του ότι δεν προϋποθέτουν τη διαλογή των ΑΣΑ –τουλάχιστον οι μονάδες τύπου mass-fired. Παρακάτω ακολουθεί η επιγραμματική απεικόνιση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των συμβατικών τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, ήτοι της καύσης-αποτέφρωσης. [3, 51, 52]

Πλεονεκτήματα:

- Μείωση του όγκου των ΑΣΑ
- Δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου εύρους υλικών
- Ανάκτηση ενέργειας
- Αποδεδειγμένη εφαρμογή, πολυάριθμες μονάδες σε όλη την Ευρώπη, δοκιμασμένη και αξιόπιστη τεχνολογία
- Απλότητα και ασφάλεια διεργασιών

- Οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν την εγκατάσταση μονάδων καύσης σε μικρότερη κλίμακα
- Χωροθέτηση μικρότερης έκτασης συγκριτικά με Χ.Υ.Τ.Α. για τη λειτουργία της μονάδας.

Ανάμεσα στα μειονεκτήματα των τεχνολογιών της καύσης μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Εξάρτηση από τη σύνθεση /χαρακτηριστικά των ΑΣΑ
- Υψηλό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος
- Αυξημένη οπτική όχληση
- Περιορισμένη κοινωνική αποδοχή
- 30% κ.β. υπόλειμμα (στάχτη). Μέρος της τέφρας είναι επικίνδυνο και απαιτεί ξεχωριστή επεξεργασία και χώρο διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων. Προβληματική περιβαλλοντική επίδοση: Τα απόβλητα περιέχουν επιβλαβείς ουσίες που μπορεί να περιέλθουν στα απάρια όπως τα βαρέα μέταλλα. Οι χημικές ουσίες που υπάρχουν στα απόβλητα, σχηματίζουν κατά την καύση διοξίνες, που είναι αρκετά τοξικές και επιβλαβείς. Επίσης, η ιπτάμενη τέφρα έχει και αυτή υψηλή τοξικότητα. Τέλος, παράγεται μικρό μέρος επικίνδυνου στερεού υπολείμματος που απαιτεί ιδιαίτερη διαχείριση και επεξεργασία.
- Χαμηλοί βαθμοί απόδοσης
- Μη εξελίξιμη τεχνολογία

Βάσει αυτών των μειονεκτημάτων, η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει λάβει ιδιαίτερα αρνητικά σχόλια στο παρελθόν, παρόλο που τα αναγκαία συστήματα ελέγχου και επεξεργασίας των αερίων έχουν εξελιχθεί τεχνολογικά και εγγυώνται τήρηση των προβλεπόμενων από τη νομοθεσία ορίων εκπομπών. [53, 54, 55]

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΠΥΡΟΛΥΣΗ”

5.1 Εισαγωγικά

Ως *πυρόλυση* (pyrolysis) ορίζεται η θερμική αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 400 ως 1000°C σε συνθήκες απουσίας οξειδωτικού μέσου (π.χ. αέρα ή οξυγόνου) ή αναερόβιες. Οι χημικοί δεσμοί των ενώσεων σπάνε, μετατρέποντας τις μακρομοριακές ενώσεις σε μικρού μοριακού βάρους ενώσεις, όπως κωκ, στερεά καύσιμα και αέριο σύνθεσης, το λεγόμενο «syngas», οι σχετικές αναλογίες των οποίων εξαρτώνται από την θερμοκρασία στην οποία υποβάλλεται το υλικό, τον χρόνο που εκτίθεται σ' αυτή τη θερμοκρασία και στη φύση του ίδιου του υλικού. [56]

Πρόκειται για μία εναλλακτική τεχνολογία θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων που αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του '70. Γενικά, εφαρμόζεται για συγκεκριμένες κατηγορίες αποβλήτων και σε μικρότερη κλίμακα από την καύση στην Ευρώπη λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της [57]. Ωστόσο, μη Ευρωπαϊκές χώρες, για παράδειγμα η Ιαπωνία, την χρησιμοποιούν αποδοτικά, πιθανότατα λόγω της διαφορετικής σύστασης και θερμογόνου δύναμης των αποβλήτων τους.[58]

Επιπλέον, πλην αυτών που είναι ειδικά διαμορφωμένες για την πυρόλυση, πολλές από τις τεχνολογίες της καύσης μπορούν να εφαρμοστούν και στη διεργασία αυτή, προσαρμόζοντάς τις, όμως, στις συνθήκες που απαιτούνται.

Υπό μία ευρύτερη έννοια, η πυρόλυση είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει διαφορετικούς τεχνολογικούς συνδυασμούς, σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα:

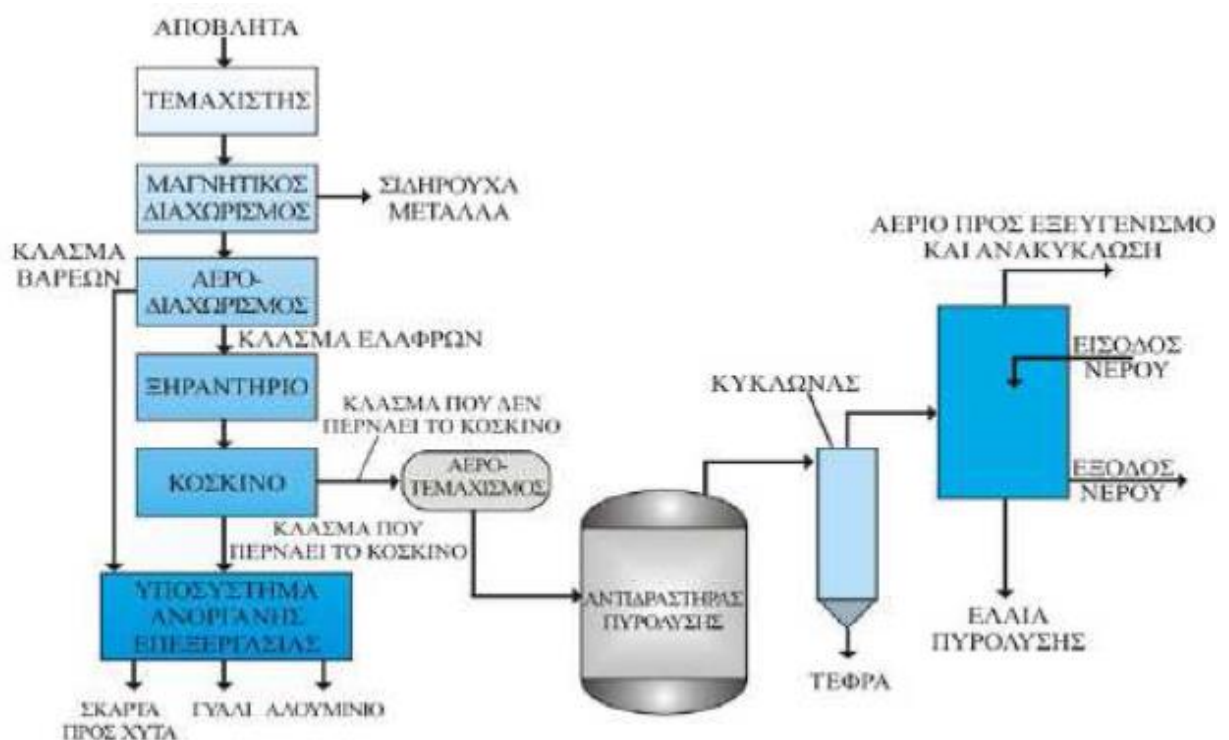
- Διαδικασία αργής καύσης: Σχηματισμός αερίου από τα πτητικά συστατικά σε θερμοκρασίες 400-600°C.
- Πυρόλυση: Θερμική διάσπαση των οργανικών μορίων σε θερμοκρασίες 500-800°C με αποτέλεσμα τη δημιουργία αερίου και στερεών κλασμάτων.
- Αεριοποίηση: Μετατροπή του εναπομείναντα άνθρακα από το κωκ της πυρόλυσης σε αέριο σύνθεσης (CO, H₂) σε θερμοκρασίες 800-1000°C.
- Καύση: Ανάλογα με τον συνδυασμό της τεχνολογίας, το αέριο και το κωκ αποτεφρώνονται στην εστία καύσης.[44]

5.2 Περιγραφή τεχνολογίας

Κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης, τα απόβλητα βρίσκονται μέσα σε ασφάλινους αγωγούς και δεν έρχονται σε άμεση επαφή με φλόγα, καθιστώντας εφικτή την παραγωγή αερίων, χωρίς την άμεση αποτέφρωσή τους. Οι αρχικές αντιδράσεις της όλης διαδικασίας είναι ενδόθερμες, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι για την πραγματοποίησή τους απαιτείται η παροχή ενέργειας, είτε εξωτερικά, είτε εσωτερικά από την ελεγχόμενη αποτέφρωση των προς επεξεργασία αποβλήτων. [41,57]

Η μονάδα πυρόλυσης αποτελείται από (Εικόνα 5.1):

- Το χώρο υποδοχής και προεπεξεργασίας των αποβλήτων.
- Τον ξηραντήρα (εξαρτάται από τη διαδικασία).
- Τον πυρολυτικό αντιδραστήρα.
- Το σύστημα ενεργειακής αξιοποίησης του αερίου.
- Το σύστημα αντιρρύπανσης



Εικόνα 5.1 Διάγραμμα ροής διεργασίας πυρόλυσης [59]

Τα απόβλητα συλλέγονται και διανέμονται στο χώρο όπου υφίστανται την απαραίτητη προ-επεξεργασία για απομάκρυνση των μη εύφλεκτων υλικών, όπως γυαλί και μέταλλο, της περίσσειας υγρασίας σε ξηραντήριο αέρα για να αυξηθεί η απόδοση της αντίδρασης αερίου-στερεού στο εσωτερικό του αντιδραστήρα και συνεπώς, στο θάλαμο πυρόλυσης να οδηγείται μόνο το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η άλεση του υλικού σε διάσταση μικρότερη των 50 mm, περνά από σφαιρόμυλο για περαιτέρω μείωση μεγέθους κάτω από 3 mm και γίνεται διαχωρισμός των ανόργανων με κοσκίνισμα καθώς έτσι βελτιώνεται και τυποποιείται η ποιότητα των αποβλήτων και συνεπώς προωθείται μεταφορά θερμότητας. [60]

Τα απόβλητα φορτώνονται στη χοάνη τροφοδοσίας που είναι εφοδιασμένη με σύστημα ερμητικού κλεισίματος και το υλικό συνεχώς τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα με τη βοήθεια διάταξης περιστρεφόμενου κατσαβιδιού και το υλικό "πυρολύεται". Τα υπολείμματα (άνθρακας), από το μη οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ σταθεροποιούνται και εναποτίθενται σε μια δεξαμενή κατάσβεσης. Μαγνήτες αφαιρούν οποιοδήποτε σιδηρούχο μέταλλο από την τέφρα ώστε να ανακυκλωθεί και η υπόλοιπη τέφρα ανακυκλώνεται για χρήση σε κατασκευές.

Η διαδικασία παράγει επίσης άνθρακα που μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης το οποίο υφίσταται επεξεργασία βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας έναν κυκλωνικό συλλέκτη στερεών, ένα φίλτρο από ίνες, ένα σύστημα ψύξης για το διαχωρισμό του νερού και των οργανικών ατμών (πίσσα) και διάφορες συσκευές μέτρησης των αερίων προκειμένου να αρθούν η πίσσα, οι θειούχες ενώσεις και άλλα αέρια οξέα, τα οποία στη συνέχεια στέλνονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται ένα εξαιρετικά αποδοτικό αέριο που προορίζεται για καύση επί τόπου ή μεταφέρεται σε άλλες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. [61, 62]

5.2.1 Αντιδραστήρες πυρόλυσης

Υπάρχουν πολλοί τύποι αντιδραστήρων [63] που χρησιμοποιούνται όπως:

- ρευστοποιημένη κλίνη φυσαλίδων
- κλίνη με ανακυκλοφορία
- περιστρεφόμενου κώνου
- αφαιρετικής πυρόλυσης
- πυρόλυσης κενού
- σταθερής κλίνης.

Υπάρχουν δύο βασικές διαδικασίες πυρόλυσης, η ταχεία και η συμβατική. Στην πρώτη αυξάνεται η απόδοση των υγρών προϊόντων ενώ στη δεύτερη αυξάνεται η απόδοση των καυσαερίων, σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, χαμηλού ποσοστού θέρμανσης και παρουσίας καταλύτη, ή του άνθρακα, σε χαμηλή θερμοκρασία και χαμηλό ποσοστό θέρμανσης. [63]

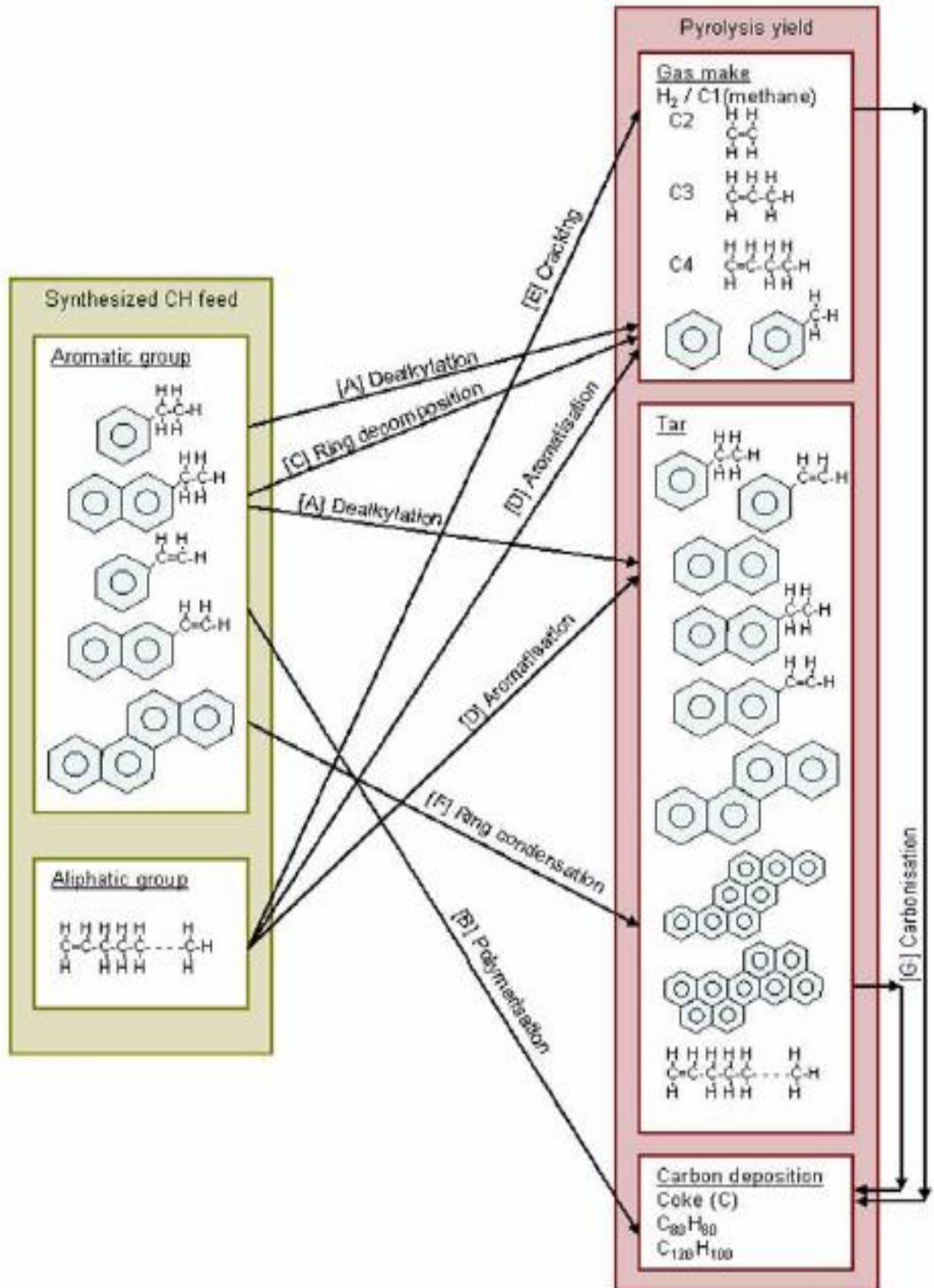
Οι καταλύτες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, αυτούς που:

- προστίθενται απευθείας στην πρώτη ύλη (πρωτογενής καταλύτης),
- τοποθετούνται σε δευτερεύοντα αντιδραστήρα που βρίσκεται μετά τον αντιδραστήρα της πυρόλυσης,
- τοποθετούνται στον αντιδραστήρα πυρόλυσης και έρχεται σε άμεση επαφή με τους εκλυόμενους ατμούς της πυρόλυσης και τα στερεά. [64]

5.2.2 Χημικές αντιδράσεις της πυρόλυσης

Οι αρχικές αντιδράσεις της πυρόλυσης περιλαμβάνουν κυρίως διασπάσεις, κατά τις οποίες, χαμηλής πτητικότητας οργανικά συστατικά μετατρέπονται σε άλλα πιο πτητικά. Επίσης, σε αυτές περιλαμβάνονται συμπυκνώσεις, αφυδρογονώσεις και αντιδράσεις σχηματισμού δακτυλίων, οι οποίες προκαλούν τη μετατροπή των χαμηλής πτητικότητας οργανικών ενώσεων σε ένα στερεό ανθρακούχο υπόλειμμα (κωκ). Τα πτητικά συστατικά που δημιουργούνται κατά τις παραπάνω αντιδράσεις συμμετέχουν σε δευτερεύουσες αντιδράσεις και μπορούν να μετατραπούν σε ελαφρύτερα προϊόντα, αέρια ή κάρβουνο. Στην περίπτωση της ύπαρξης οξυγόνου, πραγματοποιείται σχηματισμός μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. [1]

Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται οι επιμέρους αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την πυρολυτική αποδόμηση οργανικών ενώσεων.



Εικόνα 5.2 Αντιδράσεις πυρόλυσης [65]

5.2.3 Μεταφορά θερμότητας

Η πυρόλυση είναι μια ενδόθερμη διεργασία που απαιτεί σημαντικά ποσά θερμότητας για την ανύψωση των αποβλήτων στη θερμοκρασία αντίδρασης. Το 75% της ενέργειας που παρέχουν οι πρώτες ύλες χρησιμοποιείται για την εκκίνηση της διεργασίας ενώ το 25% περιέχεται στον άνθρακα που παράγεται. [1]

Οι βασικές μέθοδοι για παροχή θερμότητας είναι οι εξής:

- μέσω επιφανειών μεταφοράς θερμότητας, τοποθετημένων σε κατάλληλες θέσεις μέσα στον αντιδραστήρα
- με θέρμανση του αερίου ρευστοποίησης στην περίπτωση αντιδραστήρων ρευστοστερεάς κλίνης. Μερική θέρμανση είναι ικανοποιητική και επιθυμητή για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
- με αφαίρεση και επαναθέρμανση του υλικού της κλίνης σε ξεχωριστό αντιδραστήρα.
- με προσθήκη λίγου αέρα, αν και αυτό μπορεί να δημιουργήσει θέρμανση κατά τόπους και να αυξήσει το σχηματισμό πίσσας.

Επίσης, θερμότητα προσφέρεται στη διεργασία από τα υποπροϊόντα, κυρίως τον άνθρακα και το αέριο. Αυτή η πτυχή σχεδιασμού και βελτιστοποίησης θα αυξάνει το ενδιαφέρον όσο οι μονάδες γίνονται μεγαλύτερες.

5.2.4 Απομάκρυνση άνθρακα

Ο άνθρακας λειτουργεί ως καταλύτης για τη διάσπαση των αερίων οπότε ο ταχύς και αποτελεσματικός διαχωρισμός του από τα παραγόμενα αέρια της πυρόλυσης είναι απαραίτητος. Η συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι τα συστήματα των κυκλώνων, ωστόσο, κάποια πιο λεπτόκοκκα σωματίδια διαπερνούν το σύστημα και μαζεύονται στα υγρά παράγωγα. Μερική επιτυχία για την αντιμετώπιση αυτού έχει επιτευχθεί με τη διήθηση θερμού ατμού όπου όμως και πάλι προκύπτουν προβλήματα λόγω της κολλώδους φύσης των λεπτών σωματιδίων του άνθρακα και της απομάκρυνσής τους από το φίλτρο. [63]

5.3 Προϊόντα μέσω της πυρόλυσης των ΑΣΑ

Με την πυρόλυση των στερεών αποβλήτων σχηματίζονται τα εξής προϊόντα:

- Αέρια: κυρίως υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, κ.ά., ανάλογα με τη σύσταση των αποβλήτων.
- Υγρά: ελαιώδες κλάσμα με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες, που περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα, όπως οξικό οξύ, κετόνες, αλκοόλες και οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες.
- Στερεά: σχεδόν καθαρός άνθρακας (κωκ) και αδρανή υλικά (γυαλί, μέταλλα, κλπ) που υπάρχουν στα απόβλητα.

Η σύσταση τους εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας, όπως τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής των αποβλήτων στον πυρολυτικό θάλαμο. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την πυρόλυση αστικών ΑΣΑ κυμαίνεται από 100 έως 900 °C και οι συνολικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται άμεσα από αυτήν. Το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων αερίων κυμαίνεται μεταξύ 12,5 και 46,0 MJ/m³. [66]

Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει αισθητά το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνει το υγρό κλάσμα και αυξάνει τα αέρια προϊόντα, των οποίων η σύνθεση σε σχέση με τη θερμοκρασία φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5.1. [67]

Πίνακας 5.1 Η σύνθεση των προϊόντων πυρόλυσης σε σχέση με τη θερμοκρασία.

Αέριο % κατά όγκο	500 °C	650 °C	800 °C	900 °C
H	5,56	16,58	28,55	32,48
CH ₄	12,43	15,91	13,73	10,45
CO	33,5	30,49	34,12	35,25
CO ₂	44,77	31,78	20,59	18,31
C ₂ H ₄	0,45	2,18	2,24	2,43
C ₂ H ₆	3,03	3,06	0,77	1,07
Σύνολο	99,74	100	100	99,99

Ένας tn ΑΣΑ παράγει περίπου 200-300kg ανθρακικών υπολειμμάτων που είτε χρησιμοποιούνται σε κατασκευές είτε καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, 20kg επικίνδυνων αποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ και αέριο σύνθεσης.

5.4 Ενεργειακή αξιοποίηση προϊόντων πυρόλυσης

Με περαιτέρω επεξεργασία τα υγρά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνθετικό καύσιμο, καθώς το ενεργειακό περιεχόμενό τους εκτιμάται γύρω στα 1,6MJ/kg

ενώ των παραγόμενων καυσαερίων, ανάλογα με το υλικό εισόδου, είναι μεταξύ 12.500 και 46.000 kJ/kg. [66]

Για παραγωγή ατμού, το αέριο σύνθεσης καίγεται, καθαρίζεται από στερεά και έτσι πλέον, παρέχεται σε ατμολέβητα όπου και γίνεται η παραγωγή του ατμού και στη συνέχεια ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ατμοστροβίλου ή απευθείας σε Μηχανή Εσωτερικής Καύσης με ηλεκτρογεννήτρια.



Εικόνα 5.3 Μονάδα πυρόλυσης στην Αγγλία

5.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών πυρόλυσης

Συμπερασματικά, η πυρόλυση συνυπολογίζεται στην ομπρέλα των καινοτόμων τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ κυρίως γιατί είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον και η απόδοση σε ενέργεια είναι αρκετά καλή. Από την άλλη, η τεχνολογία της είναι σε εξέλιξη, το κόστος κατασκευής και συντήρησής της υψηλό, αλλά κυρίως

προϋποθέτει τη διαλογή των ΑΣΑ προκειμένου η θερμογόνο δύναμη των ΑΣΑ να είναι υψηλή και επομένως η ανάκτηση ενέργειας μεγαλύτερη. Συγκεντρωτικά, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ μέσω της πυρόλυσης θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα παρακάτω [68]:

Πλεονεκτήματα:

- Ανάκτηση ενέργειας
- Μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφή. Πολύ καλή περιβαλλοντική επίδοση (αδρανή κατάλοιπα - με υψηλές πιθανότητες αξιοποίησης)
- Παράγει ένα εμπορεύσιμο προϊόν (ηλεκτρική ενέργεια). Δυνατότητα αυξημένων βαθμών ηλεκτρικής απόδοσης (λόγω συνδυασμένου κύκλου). Δυνατότητα παραγωγής πυρολυτικών ελαίων - υποκατάσταστο πετρελαίου Πληθώρα δυνατοτήτων αξιοποίησης παραγόμενου καυσίμου αερίου Αέριο υψηλότερης θερμικής δύναμης από της αεριοποίησης [69]
- Χαμηλός κίνδυνος της ρύπανσης των υδάτων
- Χαμηλός κίνδυνος των οσμών
- Υψηλό ποσοστό ανάκτησης των πόρων
- Ελάχιστο κίνδυνος με συνέπειες για την υγεία
- Εμπορικά δοκιμασμένη τεχνολογία

Μειονεκτήματα: [70]

- Απαιτεί εξωτερική πηγή ενέργειας για να λειτουργήσει, Πρόκειται για διαδικασία ενδόθερμη (χρειάζεται εξωτερικά την παροχή ενέργειας)
- Οι θερμοκρασίες δεν φτάνουν τα επίπεδα της θερμικής αποδόμησης (1200 °C απουσία οξυγόνου) και για το λόγο αυτό τα παραγόμενα υποπροϊόντα είναι ιδιαίτερος επικίνδυνα
- Η τεχνολογία εξακολουθεί να εξελίσσεται
- Οι αγορές δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί για char προϊόν και υγρά πυρόλυσης.
- Ελλιπής εμπειρία και τεχνογνωσία. Μικρή εμπειρία εφαρμογών (σε μικρότερο βαθμό και από της αεριοποίησης) [69]
- Αυξημένη επικινδυνότητα, λόγω διακίνησης του καυσίμου αερίου
- Εφαρμόζεται για συγκεκριμένες κατηγορίες αποβλήτων (με υψηλή θερμογόνο δύναμη). Δεν έχει επιτύχει σε σύμμεικτα απόβλητα
- Μειωμένη ενεργειακή απόδοση

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ”

6.1 Εισαγωγικά

Η *αεριοποίηση* (gasification) αποτελεί μια επίσης σχετικά νέα και μη ευρέως διαδεδομένη, στην Ευρώπη, μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Αν και εφαρμόζεται με επιτυχία στη χημική βιομηχανία για αρκετές δεκαετίες, η αεριοποίηση των ΑΣΑ παρουσίασε δυσκολίες λόγω του χαμηλού θερμικού περιεχομένου τους και των μεταβολών της σύνθεσής τους. Για το λόγο αυτό οι προσπάθειες επικεντρώνονται τα τελευταία χρόνια στην αεριοποίηση απορριμματογενών καυσίμων (τύπου RDF), που έχουν μεγαλύτερο θερμικό περιεχόμενο και σταθερότερες ιδιότητες. [71]

Η αεριοποίηση αποτελεί μια σχετικά νέα μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, η οποία δεν είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ευρώπη αλλά κυρίως στην Ασία (Ιαπωνία). Περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων σε ένα μίγμα καυσίμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσης αυτού. Ως οξειδωτικό μέσο, χρησιμοποιείται είτε ατμοσφαιρικός αέρας, είτε αέρας εμπλουτισμένος με οξυγόνο ή, τέλος, καθαρό οξυγόνο. [72]

Η διεργασία λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες, από 900-1.100°C με αέρα, σε 1.000- 1.400°C με οξυγόνο και μπορεί να αποτελέσει είτε τμήμα (σε συνδυασμό με τη διεργασία της καύσης), είτε το σύνολο της θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Είναι αυτοσυντηρούμενη διεργασία (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης [1]. Στόχος είναι η ατελής καύση των αποβλήτων και η παραγωγή αερίου (syngas) αποτελούμενου από CO, H₂ και αέριους υδρογονάνθρακες, το οποίο παρουσιάζει υψηλό θερμικό περιεχόμενο.

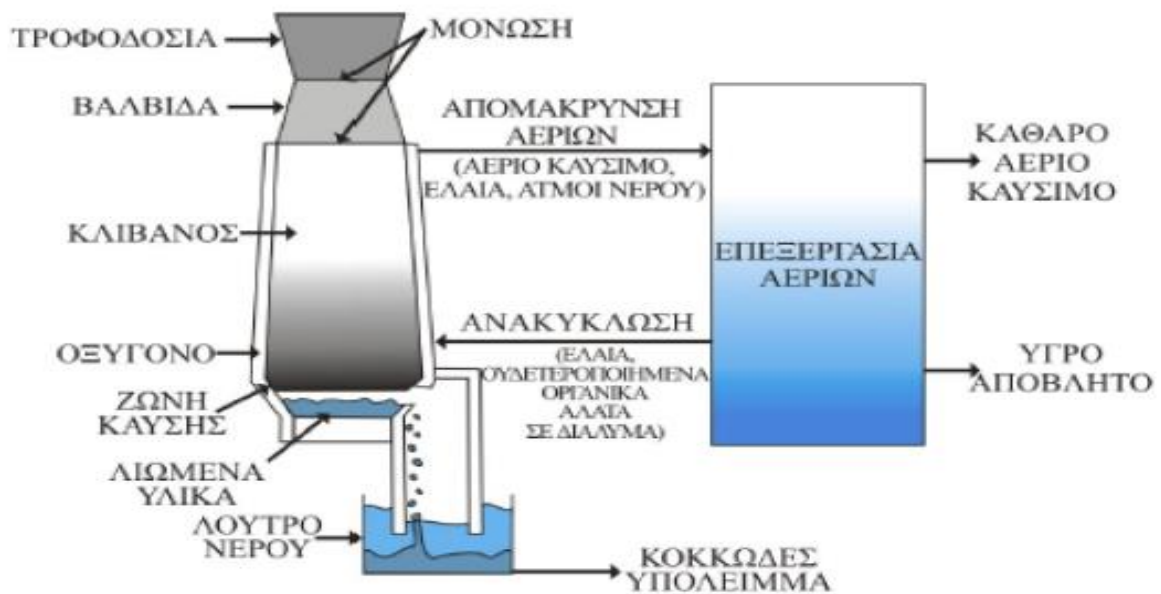
Η μέθοδος αεριοποίησης που έχει την μεγαλύτερη εξέλιξη, τα τελευταία χρόνια είναι η αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη, από την οποία υπάρχει ήδη σε λειτουργία και η πρώτη παραγωγική μονάδα στο Greve-in-Chianti (Ιταλία). [21]

6.2 Περιγραφή τεχνολογίας

Η αεριοποίηση αποτελεί θεωρητικά, το επόμενο στάδιο της πυρόλυσης, κατά το οποίο το υπολειμματικό κωκ της πυρόλυσης οξειδώνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 800 °C, παρουσία περιορισμένων (μη στοιχειομετρικών) ποσοτήτων οξυγόνου. Η ομοιότητα της αεριοποίησης με την πυρόλυση είναι ότι τα απόβλητα μετατρέπονται σε αέρια, στερεά και υγρά καύσιμα, ωστόσο η κύρια διαφορά τους μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: [73]

- Η πυρόλυση χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των αποβλήτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου.
- Η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο, όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα, αέρα ή οξυγόνο, για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης. [74]

Στην Εικόνα 6.1 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής της διεργασίας αεριοποίησης ΑΣΑ.



Εικόνα 6.1 Διάγραμμα ροής της διεργασίας της αεριοποίησης [8]

Αρχικά, γίνεται διαλογή των αποβλήτων και απομακρύνονται αυτά που δεν μπορούν να υποστούν αεριοποίηση. Αποθηκεύονται σε δοχεία και παρέχονται με σταθερό ρυθμό στον αεριοποιητή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.2 (1). Καθώς τα καύσιμα (απόβλητα) εισέρχονται στον αεριοποιητή, περνάνε διαδοχικά από τα στάδια της ξήρανσης, πυρόλυσης, αεριοποίησης και παραγωγής τέφρας. Ο αέρας καύσης εισάγεται στη βάση του σωρού των καυσίμων (2). Τα απόβλητα μετατρέπονται σε μη εύφλεκτη τέφρα, η οποία εναποτίθεται στη σχάρα που βρίσκεται στη βάση του αεριοποιητή, από όπου απομακρύνεται κατά διαστήματα διαμέσου ανοιγμάτων.

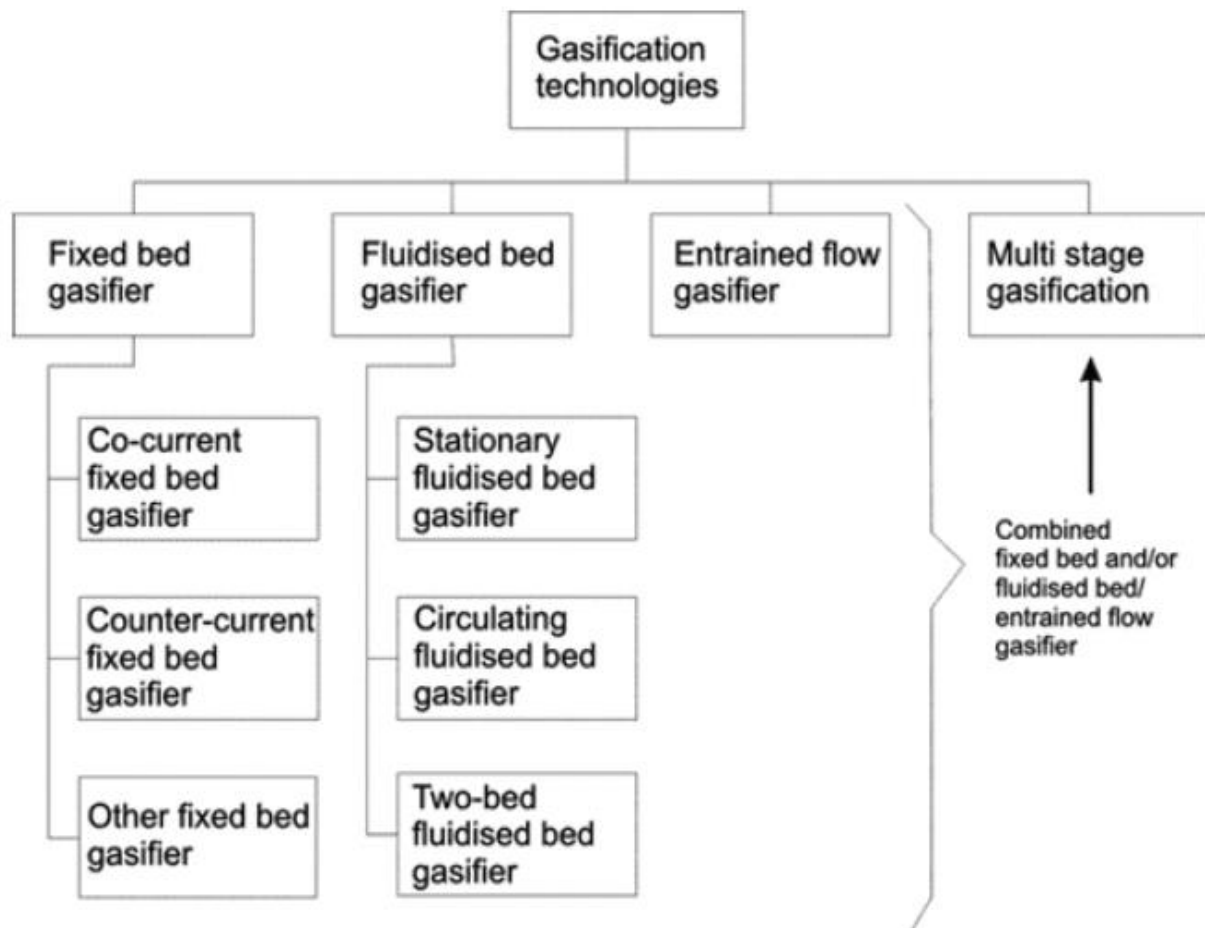


Εικόνα 6.2 Αεριοποιητής [75]

Η τέφρα πέφτει σε δοχεία και γερανός τη μεταφέρει σε κλειστά δοχεία (3). Το αέριο σύνθεσης το οποίο εξέρχεται από τον αεριοποιητή, καίγεται και τα καυσαέρια που προκύπτουν οδηγούνται στις διατάξεις ανάκτησης ενέργειας (λέβητες, αμοστρόβιλους) (4).

6.2.1 Τύποι αεριοποιητών

Τρία είναι τα βασικά είδη αεριοποιητών που χρησιμοποιούνται, κατηγοριοποιημένοι ως προς το πως ο αντιδραστήρας έρχεται σε επαφή με τον άνθρακα και το αντιδρών αέριο. Οι κατατάξεις για αυτό το διαχωρισμό είναι *σταθερής / κινούμενης κλίνης, ρευστοποιημένης κλίνης και εισερχόμενης ροής* (Εικόνα 6.3). [74]



Εικόνα 6.3 Επισκόπηση των διαφόρων τεχνολογιών αεριοποίησης [76]

Οι αεριοποιητές κινούμενης κλίνης λειτουργούν με αντιρροή και το ανθρακούχο υλικό εισάγεται από την κορυφή της κλίνης και ο αέρας ή το οξυγόνο από την βάση. Καθώς ο άνθρακας κινείται σιγά προς τα κάτω, αεριοποιείται και η εναπομένουσα στάχτη πέφτει στον πυθμένα. Λόγω της διάταξης αντιρροής, η θερμότητα της αντίδρασης από την αεριοποίηση χρησιμεύει στην προθέρμανση του ανθρακούχου υλικού πριν αυτό μπει στη ζώνη αντίδρασης της αεριοποίησης. Συνεπώς, η θερμοκρασία του παραγόμενου αερίου στην έξοδο είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή που χρειάζεται για την ολική μετατροπή του άνθρακα.

Ο αεριοποιητής σταθερής κλίνης χωρίζεται:

- Σε αεριοποιητή ανοδικού ρεύματος σταθερής κλίνης (up draft fixed bed gasifier), ο οποίος αποτελείται από μία στερεά κλίνη που περιέχει το ανθρακούχο υλικό προς επεξεργασία, διαμέσου του οποίου με ανοδική ροή περνά το αντιδραστήριο αεριοποίησης που συνήθως είναι ατμός, οξυγόνο και/η αέρας.

Το προς επεξεργασία υλικό θα πρέπει να έχει μικρή απομείωση και να μην σχηματίζει συσσωματώματα για να μην βουλώσει η στήλη του αεριοποιητή. Το σύστημα λειτουργεί θερμικά αυτόνομα και η θερμοκρασία του παραγόμενου αερίου στην έξοδο του αεριοποιητή είναι χαμηλή. Η απόδοση του συγκεκριμένου τύπου αεριοποιητή είναι σχετικά μικρή. Το παραγόμενο αέριο περιέχει σημαντικά ποσά μεθανίου και πίσσας στις συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας και θα πρέπει να καθαριστεί πριν χρησιμοποιηθεί. [60]

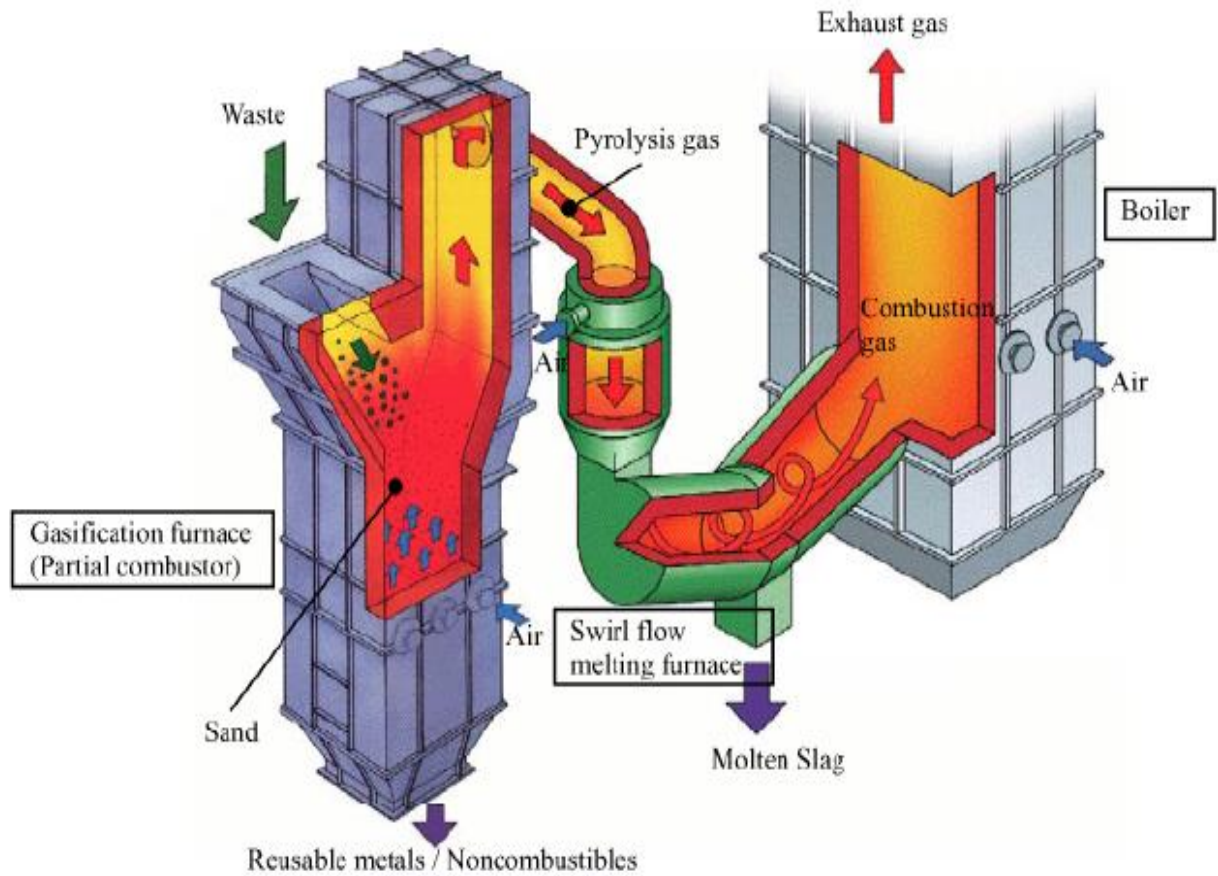
- Σε αεριοποιητή καθοδικού ρεύματος ο οποίος λειτουργεί όπως ο παραπάνω τύπος αλλά με καθοδική ροή του αντιδραστήριου αεριοποίησης (down draft fixed bed gasifier).

Στην περίπτωση αυτή απαιτείται προσθήκη θερμότητας στο πάνω μέρος της κλίνης η οποία τις περισσότερες φορές λαμβάνεται με καύση μέρους του υλικού επεξεργασίας. Το παραγόμενο αέριο έχει υψηλή θερμοκρασία και το μεγαλύτερο μέρος αυτής μεταφέρεται στην τροφοδοτούμενη στερεά φάση στην κορυφή του αεριοποιητή βοηθώντας στην θερμική αυτονομία της λειτουργίας του. Επειδή όλες οι παραγόμενες πίσσες περνούν από μια ζεστή κλίνη, τα επίπεδα συγκέντρωσής τους είναι χαμηλότερα συγκριτικά με τον προηγούμενο τύπο αεριοποιητή. [60]

Ο δεύτερος τύπος αεριοποιητή είναι αυτός της ρευστοποιημένης κλίνης (Εικόνα 6.4). Η απόδοση του συγκεκριμένου τύπου αεριοποιητή είναι υψηλότερη από εκείνη των δύο παραπάνω τύπων, θέτει όμως όρια στο μέγεθος των προς επεξεργασία σωματιδίων.[77] Τέτοιοι αεριοποιητές χρησιμοποιούνται για επεξεργασία υλικών που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις διαβρωτικών υλικών κα βαρέων μετάλλων οι οποίες στις προηγούμενες περιπτώσεις θα κατέστρεφαν τα τοιχώματα της στερεάς κλίνης όπως οι διάφοροι τύποι βιομάζας.

Ο τελευταίος τύπος είναι ο αεριοποιητής εισερχόμενης ροής (entrained flow gasifier). Στερεά που αποτελούνται από λεπτόκοκκο υλικό ή που μπορούν να αλεστούν πριν την εισαγωγή τους στο σύστημα είναι ιδανικά για επεξεργασία με τον τύπο αυτό του αεριοποιητή στον οποίο χρησιμοποιείται σαν αντιδραστήριο αεριοποίησης το οξυγόνο και σπάνια ο αέρας. Οι αντιδράσεις αεριοποίησης πραγματοποιούνται σε ένα πυκνό σύννεφο λεπτόκοκκων σωματιδίων. Η θερμοκρασία και η πίεση λειτουργίας του συγκεκριμένου τύπου αεριοποιητή είναι υψηλότερη των άλλων τύπων με ενεργειακό κόστος βέβαια αλλά με πλεονέκτημα την

απουσία της πίσσας και του μεθανίου από το παραγόμενο αέριο. Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα είδη των αεριοποιητών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1



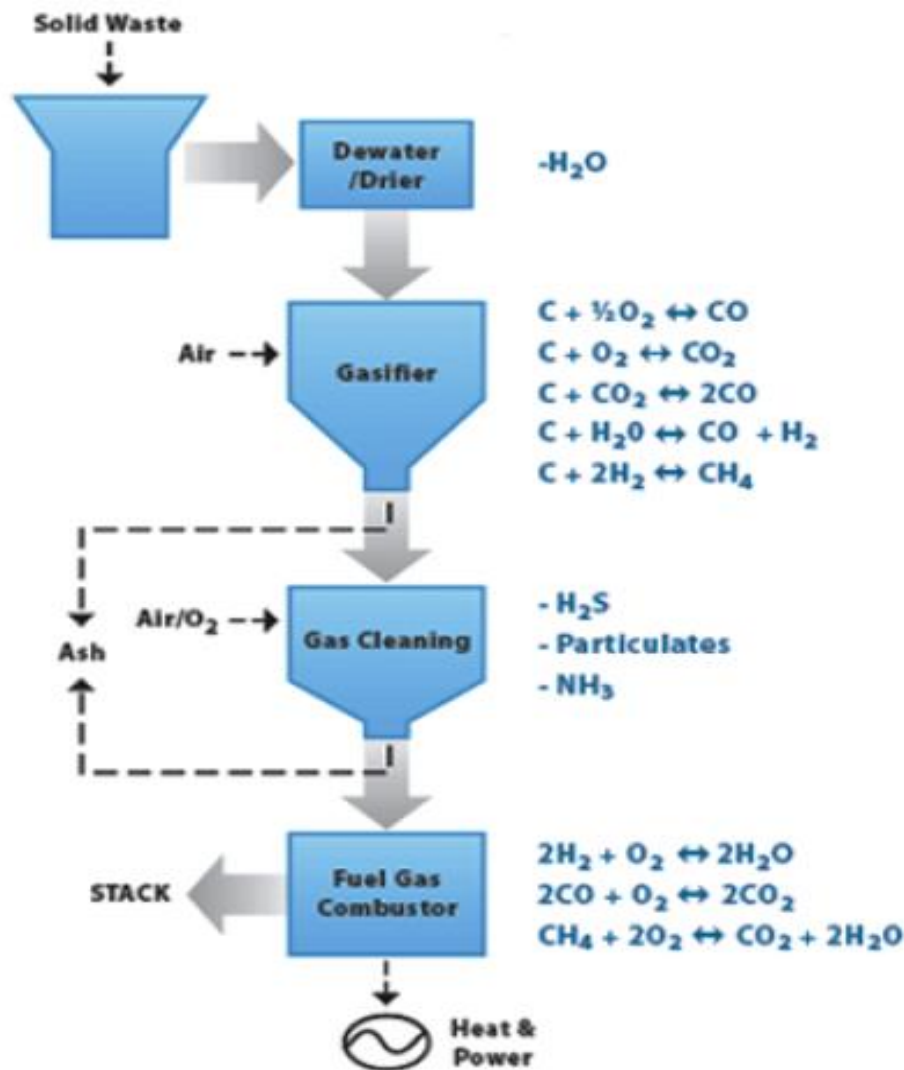
Εικόνα 6.4 Αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης [78]

Πίνακας 6.1 Χαρακτηριστικά αεριοποιητών. [77]

Τύποι αεριοποιητών	Σταθερής/κινούμενης κλίνης	Ρευστοποιημένης κλίνης	Εισερχόμενης ροής
Μέγεθος καυσίμου	5-50mm	0,5-5 mm	<500 mm
Χρόνος παραμονής	60-120 λεπτά	20-30 λεπτά	1-10 δευτ/πτα
Οξειδωτικό	Αέρας ή O ₂	Αέρας ή O ₂	Σχεδόν πάντα O ₂
Θερμοκρασία	400-500°C	700-900 °C	900-1400 °C

6.2.2 Χημικές αντιδράσεις αεριοποίησης

Οι κύριες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι η οξείδωση (εξώθερμη), η αντίδραση Boudouard [C + CO₂ -> 2CO] (ενδόθερμη), η αντίδραση εξάτμισης του νερού (ενδόθερμη) και η αντίδραση σχηματισμού μεθανίου (εξώθερμη) (Εικόνα 6.5).



Εικόνα 6.5 Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε κάθε στάδιο της αεριοποίησης [79]

6.2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η αεριοποίηση, λόγω της χρήσης μηδενικών ή έστω ελάχιστων ποσοτήτων οξυγόνου αέρα, παράγει μικρότερες ποσότητες απαιριών, σημαντικό, όμως, είναι το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός ρύπων (π.χ. θείο, βαρέα μέταλλα, κα.) παραμένει στην παραγόμενη τέφρα, χωρίς να μεταφέρεται στην αέρια φάση και να επιβαρύνει την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι το παραγόμενο αέριο χρησιμοποιείται περαιτέρω ως καύσιμο, πολλές φορές περιορίζει τον αριθμό και το είδος των αναγκαίων τεχνολογιών αντιρρύπανσης. [80]

6.3 Προϊόντα μέσω της αεριοποίησης των ΑΣΑ

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης συνοψίζονται στα εξής:

- Αέριο πλούσιο σε μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες, κυρίως μεθάνιο (αέριο σύνθεσης – synthesis gas), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Στερεό υπόλειμμα, που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα, που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος, που παράγεται κατά την πυρόλυση.

Η ταχύτητα και η πορεία της αντίδρασης αεριοποίησης, καθώς επίσης και η σύσταση των παραγόμενων προϊόντων, εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους: [1]

- Το μέγεθος, τη διάμετρο των πόρων και την εσωτερική δομή της καύσιμης ύλης.
- Την περιεχόμενη υγρασία.
- Την επιφάνεια επαφής στερεών-αερίων.
- Την αναπτυσσόμενη πίεση και θερμοκρασία.
- Τον χρόνο παραμονής των ΑΣΑ εντός του θαλάμου πυρόλυσης.

Η ακριβής σύσταση του αερίου σύνθεσης (syngas) εξαρτάται από το είδος του μέσου αεριοποίησης. Στην περίπτωση που υπάρχει τροφοδοσία με αέρα, λόγω της παρουσίας του ατμοσφαιρικού αζώτου, η θερμογόνος δύναμη του αερίου προϊόντος είναι χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στα $0,35 \text{ MJ/m}^3$. Η δε τυπική σύστασή του είναι η εξής: 10% CO_2 , 20% CO , 15% H_2 , 2% CH_4 , 53% N_2 . Στην περίπτωση που η τροφοδοσία αποτελείται από καθαρό οξυγόνο, το ενεργειακό περιεχόμενο του αερίου προϊόντος αυξάνεται στα 10 έως 15 MJ/Nm^3 . Η δε τυπική σύστασή του είναι η ακόλουθη 14% CO_2 , 50% CO , 30% H_2 , 4% CH_4 , 1% C_xH_y , 53% N_2 . Συγκριτικά, αναφέρεται ότι η θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου είναι περίπου 39 MJ/Nm^3 . [22]

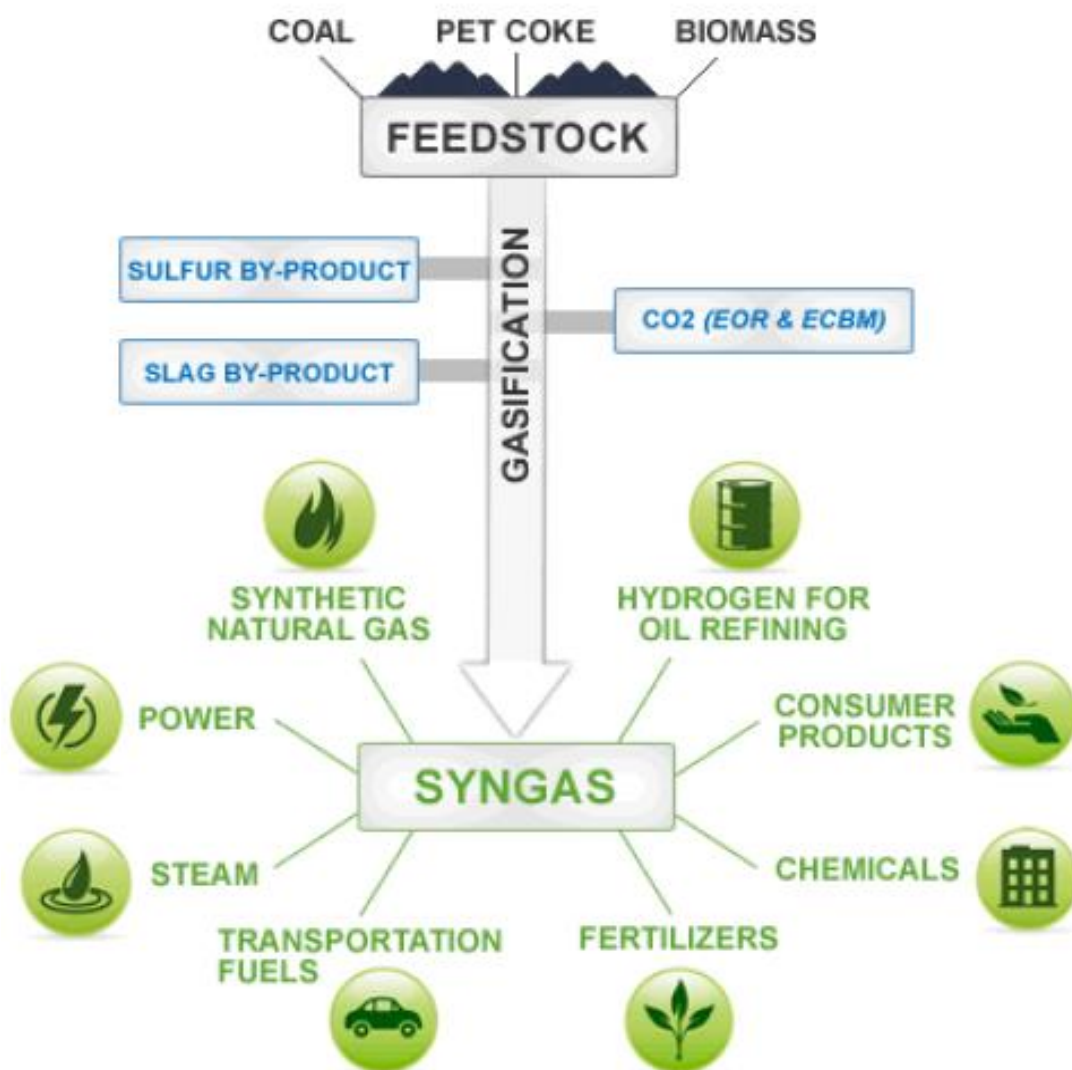
Το στερεό υπόλειμμα παρουσιάζει προσροφητικές ιδιότητες παρόμοιες με του ενεργού άνθρακα του εμπορίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ή νερού, που προορίζεται για διάφορες χρήσεις.

Στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την αεριοποίηση, απελευθερώνονται τοξικά μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του καδμίου και του υδραργύρου, όξινα αέρια, όπως το υδροχλωρικό οξύ και οξείδια του αζώτου, που σχηματίζουν το όζον και επίσης, διοξίνες και φουράνια σχηματίζονται κατά την ψύξη, τα οποία είναι επικίνδυνα σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα.

6.4 Ενεργειακή αξιοποίηση των προϊόντων αεριοποίησης

Το παραγόμενο αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί κατά διάφορους τρόπους, οι βασικότεροι των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω: [22]

- Καύση για παραγωγή ατμού. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζεται, έναντι της καύσης-αποτέφρωσης, είναι ότι τα αέρια καθαρίζονται πριν την καύση, δίνοντας έτσι την δυνατότητα λειτουργίας του ατμολέβητα σε υψηλότερες πιέσεις και του υπερθερμαντήρα του ατμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ώστε να επιτυγχάνονται και βελτιωμένες αποδόσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, που μπορούν να πλησιάσουν το 30%.



Εικόνα 6.6 Χρήσεις του αερίου σύνθεσης – syngas [81]

- Τροφοδοσία μηχανής εσωτερικής καύσης που κινεί ηλεκτρογεννήτρια. Η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ξεπεράσει το 40%, αλλά προϋποθέτει πολύ καλό καθαρισμό

των αερίων πριν την τροφοδοσία της μηχανής.

- Κίνηση αεριοστροβίλου και ατμοπαραγωγή σε συνδυασμένο κύκλο. Και η μέθοδος αυτή, που προϋποθέτει επίσης πολύ καλό καθαρισμό των αερίων πριν την τροφοδοσία, μπορεί να οδηγήσει σε αποδόσεις της τάξης του 40% σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Διοχέτευση στο δίκτυο αερίου πόλης. Απαραίτητη προϋπόθεση ο καλός καθαρισμός και η σταθερή ποιότητα.
- Παροχή του αερίου σε βιομηχανία, όπως τσιμεντοβιομηχανία για απ' ευθείας καύση σε εστία. Στην περίπτωση αυτή μειώνονται πολύ σημαντικά οι απαιτήσεις καθαρισμού
- Παροχή του αερίου σε βιομηχανία όπου χρησιμοποιείται για ατμοπαραγωγή. Οι απαιτήσεις καθαρισμού είναι συνάρτηση των συνθηκών λειτουργίας του ατμολέβητα.

6.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών αεριοποίησης

Όπως η πυρόλυση έτσι και η αεριοποίηση συντάσσεται στην ομάδα των καινοτόμων τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ. Η αεριοποίηση είναι ακόμη νέα στο χώρο επεξεργασίας των ΑΣΑ και όχι ιδιαίτερα δοκιμασμένη. Πρόκειται για τεχνολογία αναπτυσσόμενη και με όχι μεγάλη εμπειρία. Ωστόσο, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική πρόταση έναντι της αποτέφρωσης-καύσης, κυρίως λόγω της φιλικότητας προς το περιβάλλον και της δυνατότητας ανάκτησης ενέργειας (είτε του παραγόμενου καυσίμου αερίου, είτε της ηλεκτρικής ενέργειας δευτερογενώς).

Κάποια πλεονεκτήματα της αεριοποίησης έναντι της αποτέφρωσης είναι: [55, 68, 69]

- Πολύ καλή περιβαλλοντική επίδοση (αδρανή κατάλοιπα)
- Δυνατότητα αυξημένων βαθμών ηλεκτρικής απόδοσης λόγω συνδυασμένου κύκλου και λόγω παραγωγής αερίου προϊόντος με υψηλή θερμογόνο δύναμη
- Πληθώρα δυνατοτήτων αξιοποίησης παραγόμενου καυσίμου αερίου
- Τα υγρά και τα στερεά απόβλητα που προέρχονται από την αεριοποίηση μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά σε αντίθεση με τα απόβλητα της καύσης

Τα βασικά μειονεκτήματα της αεριοποίησης είναι: [55, 68, 69]

- Μικρή εμπειρία εφαρμογών
- Αυξημένη επικινδυνότητα, λόγω διακίνησης του καυσίμου αερίου
- Συγκριτικά μεγαλύτερα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας (πilotικός χαρακτήρας εφαρμογών).

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ”

7.1 Εισαγωγικά

Το πλάσμα αναφέρεται ως η τέταρτη φάση της ύλης και δημιουργείται, συνήθως, με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε δύο αντίθετα φορτισμένους πόλους-ηλεκτρόδια. Τα μόρια του αερίου μέσου μεταξύ των πόλων διασπώνται σε ελεύθερα άτομα και αυτά σε αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένα ιόντα, ως αποτέλεσμα των πολύ υψηλών θερμοκρασιών (>10.000°C) που αναπτύσσονται. Η κατάσταση αυτή του θερμού ιονισμένου αερίου ονομάζεται πλάσμα. [82]

Με την *αεριοποίηση με πλάσμα* (gasification with plasma) γίνεται επεξεργασία των στερεών αποβλήτων προς παραγωγή αερίου σύνθεσης (καύσιμο αέριο) και αδρανούς υαλώδους στερεού υπολείμματος. Το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές αερίου για ενεργειακή εκμετάλλευση και το δεύτερο, έχοντας σημαντικά πολύ μικρότερο όγκο από τον αρχικό, είτε χρησιμοποιείται ως οικοδομικό υλικό επικάλυψης είτε εναποτίθεται σε ΧΥΤΑ. [82]

Η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη για την επεξεργασία μιας μεγάλης ποικιλίας αποβλήτων που έχουν υψηλό ποσοστό ανόργανων συστατικών και χαμηλή θερμοδική αξία, γεγονός που οφείλεται στο ότι ένα μεγάλο ποσοστό της απαιτούμενης θερμότητας δίνεται από το πλάσμα και όχι από την οξείδωση των αποβλήτων. Η χρήση της, ωστόσο, βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο κυρίως γιατί το κόστος εφαρμογής της μεθόδου και το κόστος λειτουργίας μιας μονάδας πλάσματος είναι πολύ υψηλό. Μάλιστα, το τόξο του πλάσματος επιτρέπει το λιώσιμο μικρών μόνο ποσοτήτων αποβλήτων και δεν υπάρχει η κατάλληλη εμπειρία σε μεγάλη χρονική κλίμακα καθώς έχει εφαρμοσθεί μέχρι σήμερα κυρίως σε ειδικά απόβλητα (ραδιενεργά απόβλητα, στερεά απόβλητα μονάδων καύσης) και όχι σε ΑΣΑ. Όμως, θετικό κρίνεται το ότι για την εγκατάσταση μιας μονάδας αεριοποίησης πλάσματος απαιτείται μικρός χώρος, κατά τη διεργασία παράγονται λιγότερα καυσαέρια και ρυπογόνες ουσίες και τέλος, η μέθοδος εξελίσσεται σε ένα στάδιο, περιορίζοντας, έτσι, την πολυπλοκότητά της. [83]

7.2 Περιγραφή τεχνολογίας

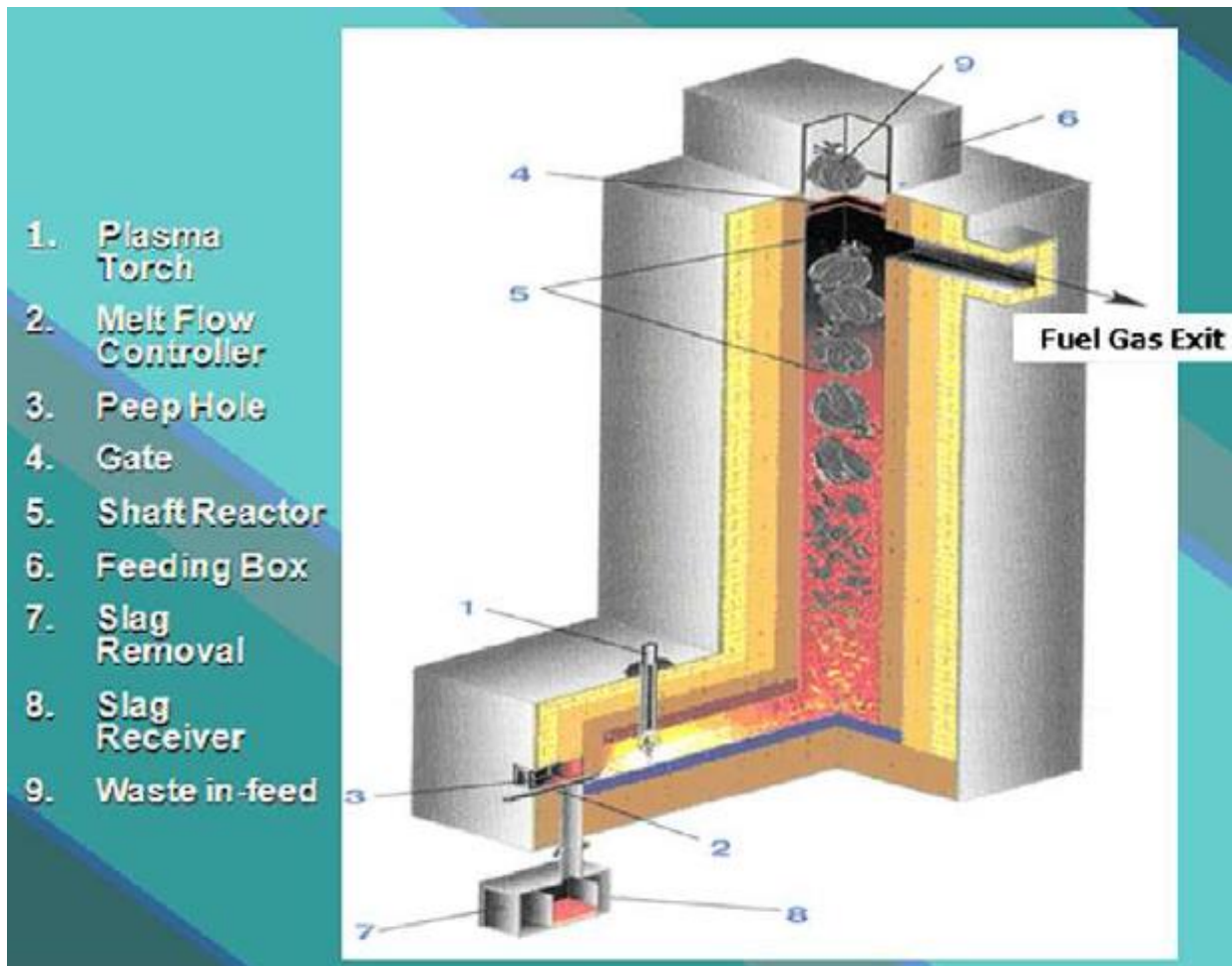
Η διεργασία αποτελείται από τα εξής βήματα: [84]

- Ξήρανση τροφοδοσίας με άμεση επαφή θερμού αέρα, εξερχόμενου από τον αντιδραστήρα και αποβλήτων.
- Είσοδος ξηρής τροφοδοσίας στον αεριοποιητή πλάσματος από την κορυφή μέσω συστήματος αεροστεγούς τροφοδότησης. Συνήθως υπάρχει και δευτερεύον στάδιο αεριοποίησης πλάσματος.
- Αεριοποίηση και υαλοποίηση στην κάμινο, έξοδος του αερίου σύνθεσης από την κορυφή του αντιδραστήρα και του τηγμένου ανόργανου υλικού από τον πυθμένα.
- Είσοδος αερίου σύνθεσης σε κυκλώνα κατακράτησης στερεών σωματιδίων, μετά σε εναλλάκτη θερμότητας για ψύξη και έπειτα, από θάλαμο ψεκασμού με νερό και από τη διάταξη venturi.
- Είσοδος σε σύστημα απομάκρυνσης μικρομερών σωματιδίων που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα.
- Μετάβαση σε πύργο με πληρωτικό υλικό σε αντιρροή με διάλυμα NaOH για απομάκρυνση των όξινων αερίων και έπειτα σε στήλη με δίσκους για την απομάκρυνση του υδρόθειου.
- Ενεργειακή αξιοποίηση – παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται δύο τύποι αντιδραστήρα, ο αεριοποιητής κινούμενης κλίνης και ρευστοποιημένης κλίνης. Ο πρώτος χρησιμοποιείται ευρέως και λειτουργεί κατά αντιρροή και ομορροή, ανάλογα από το που μπαίνει το αέριο μέσο αεριοποίησης.

7.2.1 Πυρσοί πλάσματος

Οι πυρσοί πλάσματος είναι συσκευές που μεταδίδουν ηλεκτρικό ρεύμα σε αέριο μέσο, μέσω ηλεκτρικών εκκενώσεων που οφείλονται στη διαφορά δυναμικού δύο ηλεκτροδίων ανόδου - καθόδου. Έτσι, δημιουργείται τόξο πλάσματος (plasma – arc) και μετατρέπεται το αέριο σε πλάσμα (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1 Τυπικό σχήμα Αεριοποιητή Πλάσματος [85]

Με βάση τη διάταξη των ηλεκτροδίων, χωρίζονται σε πυρσούς μεταβίβασης και μη μεταβίβασης.

→ Μεταβίβασης

Αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο εσωτερικά του πυρσού και σε κάποιο άλλο αγώγιμο υλικό εκτός πυρσού, το οποίο βρίσκεται είτε στα τοιχώματα του αντιδραστήρα πλάσματος εκ κατασκευής είτε υπάρχει αυτούσιο στα απόβλητα που τροφοδοτούνται. Το τόξο πλάσματος δημιουργείται εντός του αντιδραστήρα και το αέριο που υπάρχει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, το οποίο μπορεί να είναι αέρας (προτιμάται λόγω χαμηλού κόστους), καθαρό O_2 , He, Ar κ.ά., περνάει στη φάση του πλάσματος. [1]

→ Μη μεταβίβασης

Το τόξο πλάσματος δημιουργείται εντός του πυρσού αφού τα ηλεκτρόδια βρίσκονται μέσα σε αυτόν. Το αέριο εισέρχεται στον πυρσό μέσω θαλάμου εισαγωγής, όπου βρίσκονται δύο κυλινδρικά ηλεκτρόδια, ανάμεσα στα οποία πραγματοποιούνται εκκενώσεις. Το αέριο διέρχεται μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο και γίνεται πλάσμα εντός του πυρσού και έπειτα εισέρχεται στον αντιδραστήρα. Τα ηλεκτρόδια ψύχονται με νερό που κινείται στα εξωτερικά

τοιχώματα του πυρσού και για αυτόν το λόγο, σε αυτή την κατηγορία υπάρχουν ενεργειακές απώλειες και δεν γίνεται 100% μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος σε χρήσιμη θερμική ενέργεια, με απόδοση που κυμαίνεται από 75 ως 95%. [1]

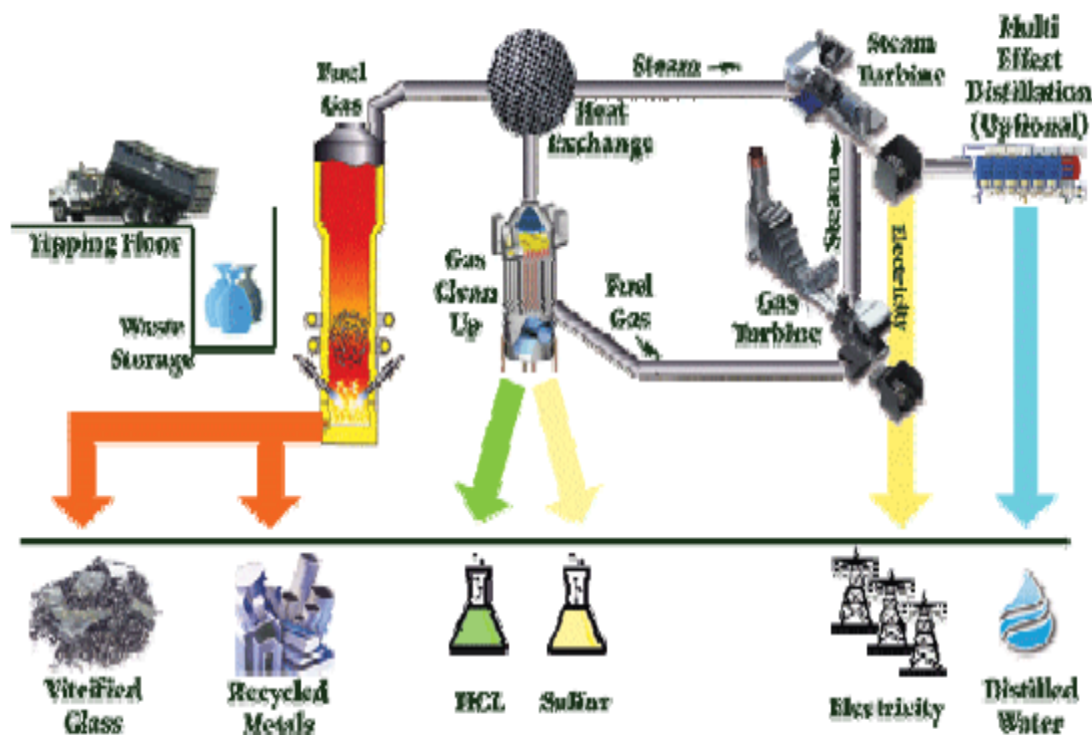
Για άριστη μετατροπή του άνθρακα απαιτείται χρήση και των δύο τύπων πυρσού ωστόσο, αναλόγως την εφαρμογή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ο ένας είτε ο άλλος μόνο. Στον πυρσό μεταβίβασης, το ηλεκτρόδιο γραφίτη που χρησιμοποιείται πρέπει να αντικαθίσταται καθώς καταναλώνεται λόγω του χημικού περιβάλλοντος του αντιδραστήρα ενώ του άλλου τύπου, λόγω τοποθέτησης εκτός αντιδραστήρα, δεν έχει υψηλές απαιτήσεις συντήρησης.

7.2.2 Ξήρανση τροφοδοσίας

Το ρεύμα τροφοδοσίας αποβλήτων εισέρχεται σε ξηραντήρα πριν μπει στον αντιδραστήρα και υπάρχουν δύο διαδεδομένοι τύποι: ο μεταφορικής ταινίας και ο περιστροφικός, ο οποίος προτιμάται λόγω των υψηλότερων συντελεστών μεταφοράς θερμότητας. Για την ξήρανση χρησιμοποιείται ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία από εναλλάκτη που βρίσκεται στην έξοδο του αντιδραστήρα. Συνεπώς, η παροχή και η θερμοκρασία του αερίου σύνθεσης επηρεάζει άμεσα την παροχή και θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης, η οποία πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες από 30 ως 180°C. [1]

7.2.3 Συστήματα καθαρισμού

Μέσω των συστημάτων καθαρισμού, αφαιρούνται σωματίδια και ανεπιθύμητες ουσίες και έτσι, επιτυγχάνεται η ασφαλής καύση του αερίου σύνθεσης ως προς την προστασία τόσο του περιβάλλοντος όσο και των συστημάτων παραγωγής ενέργειας που απαιτούν καύσιμο αέριο υψηλής καθαρότητας. Η πορεία που ακολουθεί το αέριο σύνθεσης είναι η εξής: κυκλώνας κατακράτησης σωματιδίων, θάλαμος ψεκασμού με νερό ώστε να ψυχθεί απότομα και να αποφευχθεί ο επανασχηματισμός των επικίνδυνων μορίων, θάλαμος venturi, ηλεκτροστατικός διαχωριστής και τέλος, πύργος επαφής για απομάκρυνση όξινων αερίων και πύργος απορρόφησης υδροθείου (Εικόνα 7.2). [1]



Εικόνα 7.2 Τοπική μονάδα αεριοποίησης πλάσματος

7.2.4 Περιβαλλοντικές συνέπειες

Λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών και του αναγωγικού περιβάλλοντος που επικρατεί, αποφεύγεται η δημιουργία διοξινών, φουρανίων και άλλων τοξικών ενώσεων χλωρίου στα καυσαέρια ενώ λόγω της περιορισμένης ποσότητας οξυγόνου κατά τη διεργασία, δεν απαιτείται μεγάλων διαστάσεων σύστημα καθαρισμού. Το στερεό υπόλειμμα είναι χημικά σταθερό και τα επίπεδα των τοξικών στοιχείων είναι πολύ πιο κάτω από τα επιτρεπτά όρια. [68]

7.3 Προϊόντα μέσω αεριοποίησης πλάσματος των ΑΣΑ

Τα προϊόντα αεριοποίησης πλάσματος είναι τα παρακάτω (Εικόνα 7.3):

→ Αέριο σύνθεσης

Προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών του εισερχόμενου ρεύματος, η σύσταση και το ενεργειακό περιεχόμενο του οποίου εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο των προς επεξεργασία αποβλήτων.

→ Αδρανές υλικό υαλώδους μορφής

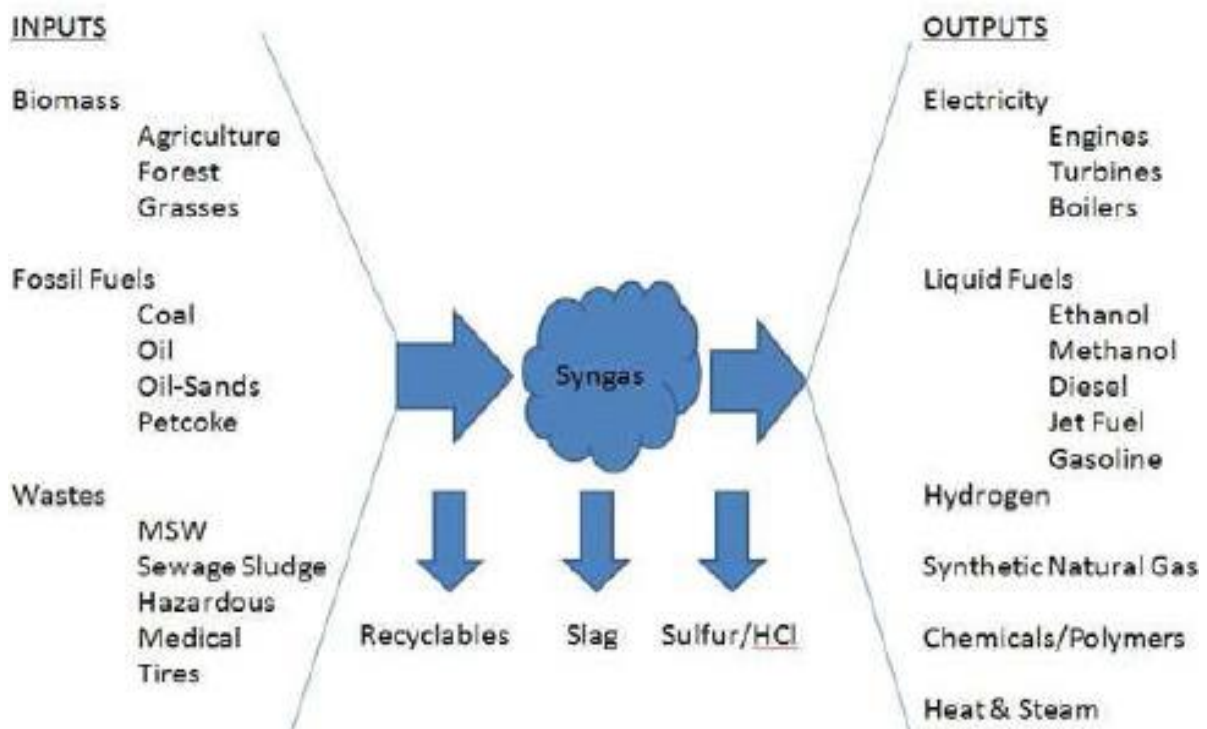
Δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων, είναι ομογενές και χρησιμοποιείται ως κατασκευαστικό υλικό, π.χ. σε κατασκευή δρόμων, τούβλων και πλακιδίων κλπ)

→ Καυσαέρια

Διαχέονται στην ατμόσφαιρα και όσον αφορά τα ανώτατα όρια εκπομπών, ισχύει ό, τι και για τις άλλες μεθόδους.

→ Υγρά απόβλητα

Προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων και ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύστασή τους, είναι δυνατό να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους ώστε η τελική διάθεσή τους να είναι ασφαλής.



Εικόνα 7.3 Εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα κατά την αεριοποίηση πλάσματος [86]

7.4 Ενεργειακή αξιοποίηση προϊόντων αεριοποίησης πλάσματος

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αερίου σύνθεσης (καθαρότητα, θερμογόνος δύναμη, ποσότητα) επιλέγεται και το σχετικό σύστημα ανάκτησης ενέργειας, το οποίο μπορεί να βασιστεί σε ένα κύκλο ατμού, σε ένα κύκλο αεριοστρόβιλου ή σε μία μηχανή αερίου και ακόμα, μπορεί να είναι μια μονάδα παραγωγής μιας καύσιμης χημικής ουσίας, όπως, υδρογόνο ή μεθανόλη. [87]

Στα συστήματα αυτά οδηγείται το καθαρό αέριο σύνθεσης το οποίο καίγεται σε λέβητα. Έτσι, παράγεται ατμός που χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ θερμική ενέργεια ανακτάται από τα θερμά ρεύματα. Κατά τη διεργασία, τα απόβλητα αξιοποιούνται ενεργειακά σε πολύ μεγάλο βαθμό αφού γίνεται εκμετάλλευση και της θερμογόνου δύναμής τους αλλά και της λανθάνουσας θερμότητας του αερίου σύνθεσης και των τελικών καυσαερίων. Ένα μέρος αυτής καταναλώνεται στον αντιδραστήρα για την διεργασία αεριοποίησης - υαλοποίησης ή και στην ξήρανση της τροφοδοσίας ενώ το υπόλοιπο πωλείται στο ηλεκτρικό δίκτυο. [82]

Για ένα σύστημα επεξεργασίας περίπου 200tn/ημέρα και ανάλογα με το οργανικό κλάσμα και την περιεχόμενη υγρασία των αστικών αποβλήτων προς επεξεργασία, μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια της τάξεως των 2-3MW. Όσο πιο μεγάλο το οργανικό κλάσμα, τόσο μεγαλύτερη και η ενεργειακή απόδοση της μεθόδου. [83]

Το σύστημα που προσφέρει τις υψηλότερες ενεργειακές αποδόσεις, απαιτεί όμως αέριο σύνθεσης καλής ποιότητας και σε μεγάλες ποσότητες, είναι του συνδυασμένου κύκλου αεριοστρόβιλου - ατμοστρόβιλου, το οποίο αποδεικνύεται αποδοτικότερο με ανάμειξη με φυσικό αέριο ή μεθάνιο. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης μπορούν να λειτουργούν με πολύ χαμηλές τιμές θερμογόνου δύναμης του καυσίμου και είναι πιο δεκτικές στην παρουσία ρυπαντών καθώς τα μηχανικά τους μέρη δεν είναι τόσο ευαίσθητα. Ωστόσο, προτιμάται ο απλός κύκλος ατμού όπου το αέριο σύνθεσης καίγεται σε λέβητα όπου και γίνεται η παραγωγή ατμού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ατμοστρόβιλο. Σε αυτή την περίπτωση, ο λέβητας προηγείται των συστημάτων καθαρισμού και το αέριο σύνθεσης καίγεται με το ρυπαντικό φορτίο που περιέχει και καθαρίζονται τα τελικά καυσαέρια πριν εξέλθουν στην ατμόσφαιρα.

7.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών αεριοποίησης πλάσματος

Ίσως η λιγότερο δοκιμασμένη και με περισσότερο σύνθετη τεχνολογία είναι η τεχνολογία της αεριοποίησης με πλάσμα. Αν και δεν έχει δοκιμαστεί σε σύμμεικτα ΑΣΑ, έχει καλή απόδοση σε ενέργεια και είναι ιδιαίτερα φιλική για το περιβάλλον. Πρόκειται για τεχνολογία πολλά υποσχόμενη για το μέλλον. Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής παρουσιάζονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα: [82, 84]

- Φιλική προς το περιβάλλον
- Καλή ανάκτηση ενέργειας
- Δυνατότητα διάθεσης διακίνησης του αερίου σύνθεσης
- Κατάλληλη για μεγάλη ποικιλία αποβλήτων πλούσιων σε ποσοστό ανόργανων συστατικών και φτωχών σε θερμιδική αξία
- Απαιτείται μικρός χώρος εγκατάστασης
- Παράγονται λιγότερα καυσαέρια και ρυπογόνες ουσίες
- Μειονεκτήματα: [55, 84]
- Δεν είναι δοκιμασμένη η τεχνολογία βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο
- Δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε σύμμεικτα ΑΣΑ
- Υπάρχουν λίγες και μικρής δυναμικότητας μονάδες σε λειτουργία σήμερα
- Κόστος κατασκευής και βιωσιμότητας πολύ υψηλό
- Εφαρμογή προς το παρόν σε ειδικά απόβλητα (ραδιενεργά απόβλητα, στερεά απόβλητα μονάδων καύσης)

8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΓΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ”

8.1 Τεχνολογίες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην ΕΕ

8.1.1 Μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας στην ΕΕ

Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται παγκοσμίως για αρκετές δεκαετίες για την επεξεργασία της βιολογικής ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων ή ρευστών αγροτικών αποβλήτων. Η χρήση της στο οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ είναι πιο πρόσφατη, υπάρχουν όμως πλέον αρκετές μονάδες και εγκατεστημένη δυναμικότητα στην ΕΕ, ώστε να θεωρηθεί ως ασφαλής επιλογή [8, 88]. Γενικότερα παρατηρείται αύξηση της εγκατεστημένης δυναμικότητας αναερόβιας χώνευσης για εμπορικά και οικιακά τροφικά απόβλητα, ειδικά σε χώρες όπως η Γερμανία και η Αυστρία, οι οποίες παρέχουν επιδοτήσεις για την παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια. Επίσης σημαντικό ενδιαφέρον για την τεχνολογία υπάρχει και στην Ισπανία, όπου γίνονται προσπάθειες παραγωγής ενός εμπορεύσιμου προϊόντος από την αναερόβια χώνευση σύμμεικτων ΑΣΑ. Στην Ευρώπη υπάρχουν περίπου 124 μεγάλες εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων [89], ενώ πολύ περισσότερες είναι οι μικρές – μεσαίες εγκαταστάσεις για αγροτικά απόβλητα (3.500 μόνο στη Γερμανία). [22, 90]

Από τα 80 εργοστάσια μηχανικής - βιολογικής επεξεργασίας που λειτουργούσαν έως το τέλος του 2004 τα 44 (το 55 %) χρησιμοποιούσαν τη μέθοδο της αερόβιας κομποστοποίησης. Η συνολική δυναμικότητα των παραπάνω εργοστασίων ανερχόταν σε 4.900.000 τ/έτος και αντιστοιχούσε στο 57,5 % της δυναμικότητας όλων των εργοστασίων Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας. [21]

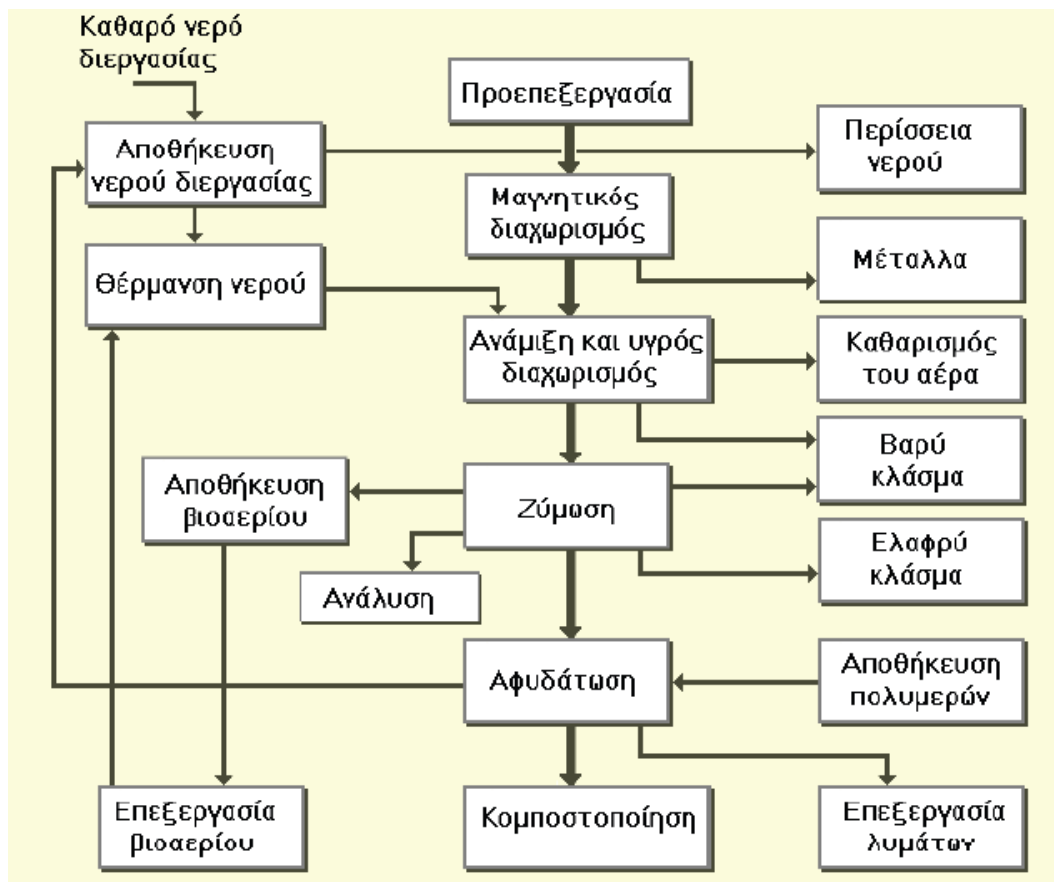
8.1.2 Καινοτόμες μονάδες MBE με υψηλή ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ

Τα τελευταία 20 χρόνια, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αναερόβια ζύμωση ως διεργασία επεξεργασίας αποβλήτων είχε ως συνέπεια την κατασκευή διαφόρων τύπων αντιδραστήρων που λειτουργούν είτε σε θεرمόφιλες είτε σε μεσόφιλες θερμοκρασίες. Οι κυριότερες διεργασίες που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται σε εμπορικές μονάδες περιγράφονται στη συνέχεια. [1]

8.1.2.1 Τεχνολογία Waasa

Μέχρι το 2000 είχαν κατασκευαστεί 3 μονάδες που λειτουργούσαν με βάση τη διεργασία Waasa (αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Φινλανδία), ενώ άλλη μία ήταν υπό κατασκευή. Η δυναμικότητα των μονάδων κυμαίνεται μεταξύ 3.000-85.000 τόνων ανά έτος, ενώ οι συνθήκες λειτουργίας μπορεί να είναι είτε θεرمόφιλες είτε μεσόφιλες. Στη μονάδα της Waasa λειτουργούν παράλληλα και οι δύο τύποι διεργασιών, με τη θεرمόφιλη διεργασία να έχει ένα χρόνο παραμονής 10 ημέρες σε σύγκριση με τις 20 ημέρες του μεσόφιλου σχεδιασμού. Το διάγραμμα ροής της διεργασίας φαίνεται στο Σχήμα 8.1.

Η διεργασία έχει δοκιμαστεί για διάφορους τύπους αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένου και ενός μίγματος μηχανικά διαχωρισμένων δημοτικών στερεών αποβλήτων και ιλύος υπονόμων, και λειτουργεί με ένα εύρος στερεών συστατικών 10-15% κ.β. Ο αντιδραστήρας είναι μία κλειστή δεξαμενή η οποία έχει υποδιαιρεθεί εσωτερικά για να υπάρχει ένας θάλαμος προζύμωσης. Η ανάμιξη επιτυγχάνεται με την έγχυση βιοαερίου δια μέσου της βάσης του αντιδραστήρα με τη βοήθεια αντλίας. Η απόδοση της λειτουργίας συνίσταται στην παραγωγή 100-150 m βιοαερίου ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων, τη μείωση του όγκου κατά 60%, τη μείωση του βάρους κατά 50-60% και μια εσωτερική κατανάλωση βιοαερίου 20-30%. [1, 91]



Σχήμα 8.1 Διάγραμμα ροής της διεργασίας Waasa [92]

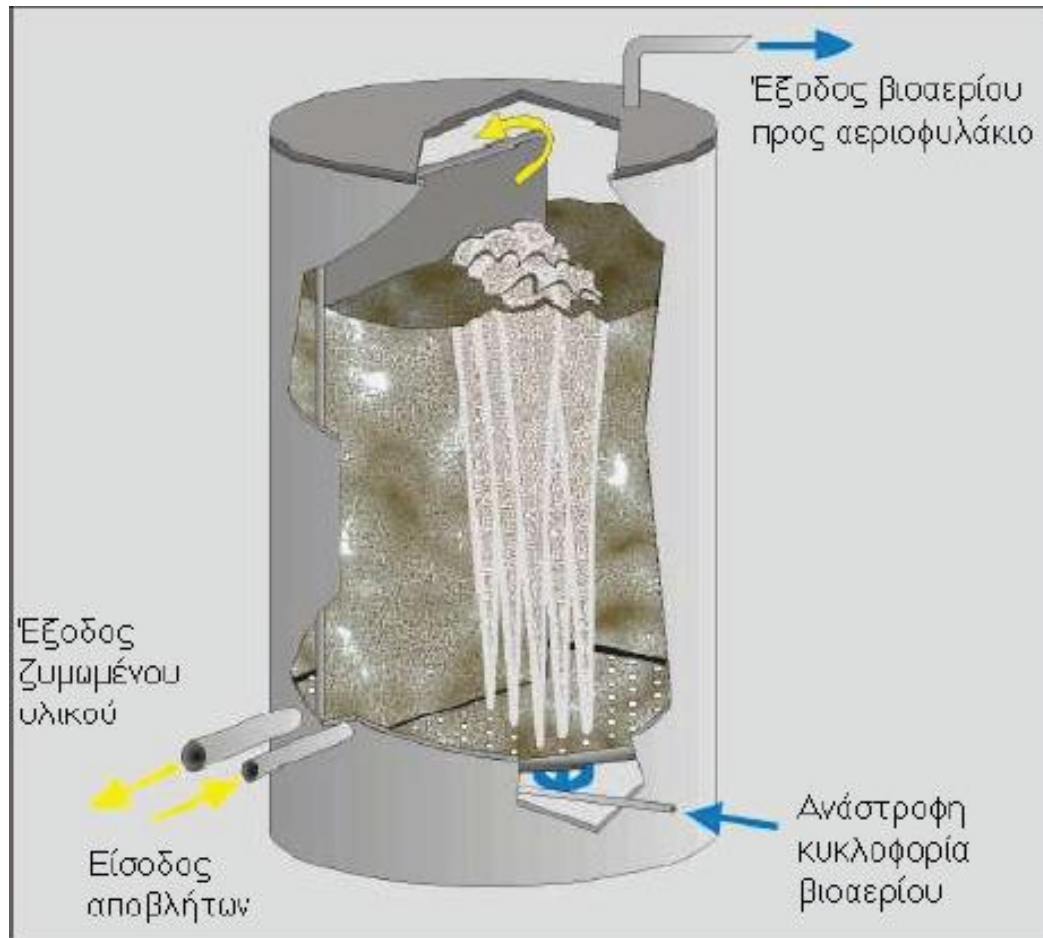
8.1.2.2 Τεχνολογία Valorga

Η διεργασία της Valorga αναπτύχθηκε στη Γαλλία. Το σύστημα λειτουργεί τυπικά με περιεχόμενο σε στερεά ουσία 25-35% κ.β. και χρόνους παραμονής 18-25 ημέρες. Η ανάμιξη μέσα στον αντιδραστήρα επιτυγχάνεται με την ανάστροφη κυκλοφορία μιας μικρής ποσότητας βιοαερίου υπό πίεση. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας είναι η πλήρης απουσία μηχανικών μερών μέσα στον αντιδραστήρα. Αυτό επιτρέπει την απρόσκοπτη λειτουργία σε συνθήκες υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά με κυκλοφορία της ύλης χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση μηχανικών συσκευών. Τα προς επεξεργασία απόβλητα αποτελούνται από ζυμώσιμα υλικά και απόβλητα κήπων. [93]

Το παραγόμενο βιοαέριο περιέχει μεθάνιο κατά 55-60%, αλλά όταν καθαριστεί, το μεθάνιο φτάνει μέχρι και το 97%. Το καθαρό βιοαέριο μπορεί να διοχετευτεί στο δίκτυο αερίου, να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ατμού βιομηχανικής χρήσης ή για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Το ζυμωμένο υλικό που βγαίνει από τους αντιδραστήρες λόγω της βαρύτητας εισάγεται κατευθείαν στις κοχλιόπρεσες για αφυδάτωση. Η υγρή ιλύς από τις

πρέσες οδηγείται σε υδροκυκλώνιο για να αφαιρεθούν τα βαριά μόρια και σε μια μονάδα ιζηματοποίησης - φιλτραρίσματος για να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά (Σχήμα 8.2).

Τα στερεά συστατικά από τις πρέσες και το ταινιόφιλτρο αναμιγνύονται και αποθηκεύονται σε κλειστό χώρο για την πλήρη σταθεροποίησή τους κάτω από αερόβιες συνθήκες για 4 εβδομάδες. Το τελικό προϊόν είναι το κομπόστ. [93]



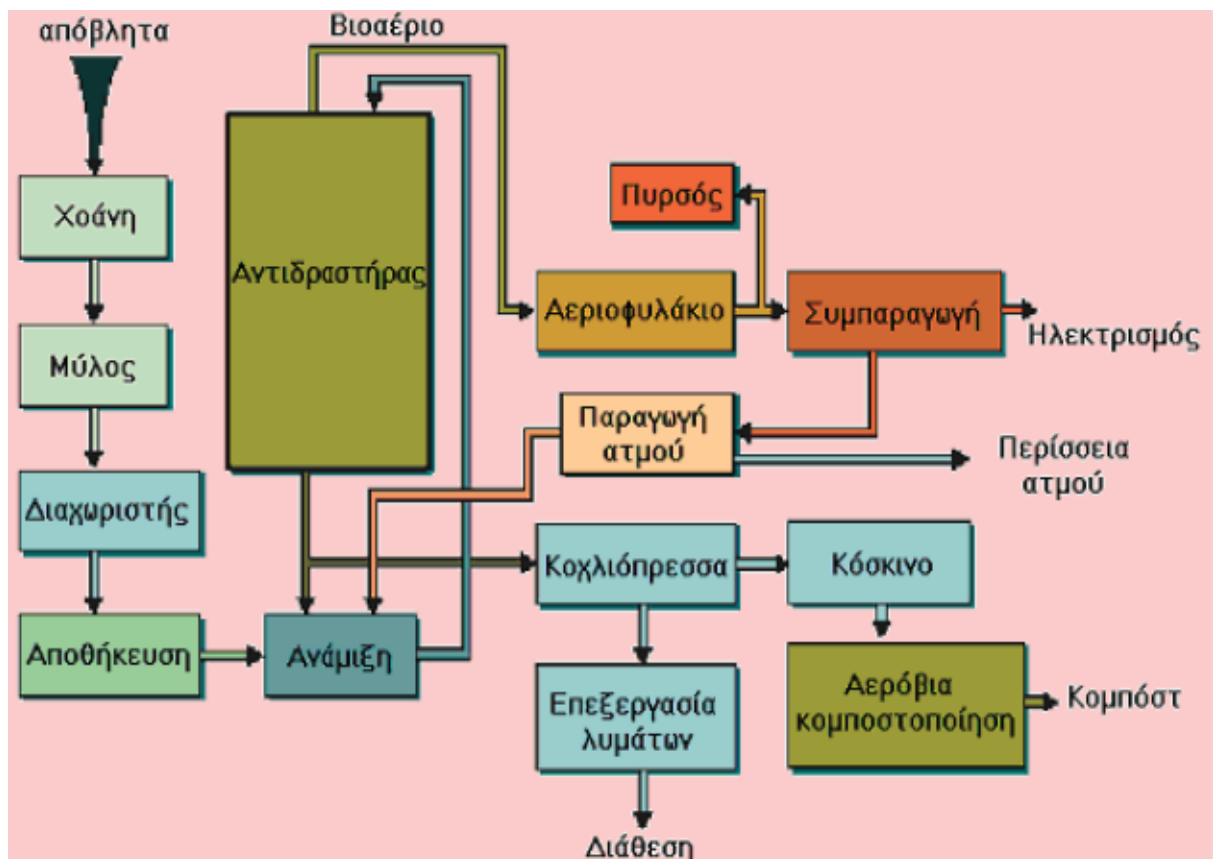
Σχήμα 8.2 Ο αντιδραστήρας της μεθόδου Valorga [93]

8.1.2.3 Τεχνολογία Dranco

Το σύστημα της Dranco (Dry Anaerobic Composting) αναπτύχθηκε στο Gent του Βελγίου. Η διεργασία λειτουργεί κάτω από θερμοφιλικές και ξηρές συνθήκες, με ένα περιεχόμενο σε στερεά συστατικά στον αντιδραστήρα μεταξύ 15 και 40% κ.β. Αναπτύχθηκε με σκοπό την επεξεργασία των στερεών οργανικών αποβλήτων και ειδικότερα του οργανικού

κλάσματος των δημοτικών ΣΑ. Σαν τελικά προϊόντα λαμβάνονται ενέργεια με τη μορφή βιοαερίου και κομπόστ. Το διάγραμμα ροής της διεργασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.3.

Τα απόβλητα που μεταφέρονται σε μια μονάδα Dranco υπόκεινται σε προεπεξεργασία,. Εάν τα εισερχόμενα απόβλητα είναι ανάμικτα, τότε τα πρώτα βήματα της διεργασίας Dranco συνίστανται στη μείωση του όγκου και στο διαχωρισμό των διαφορετικών κλασμάτων στη ροή των αποβλήτων. Τα οργανικά απόβλητα που έρχονται από την προεπεξεργασία αναμιγνύονται σε μια μονάδα ανάμιξης με ζυμωμένο υλικό από τον αντιδραστήρα. Κατά τη διάρκεια της ανάμιξης προσδίδεται θερμότητα για να επιτευχθεί η θερμοκρασία των 50 - 55 0C, η οποία είναι απαραίτητη για τη θερμοφιλή αντίδραση. [94]



Σχήμα 8.3 Διάγραμμα ροής της διεργασίας Dranco [94]

Η ζύμωση λαμβάνει χώρα σε ένα κατακόρυφο αντιδραστήρα, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από χάλυβα. Ο αντιδραστήρας τροφοδοτείται από την κορυφή, ενώ το υπόλειμμα εξάγεται από τον πυθμένα. Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον αντιδραστήρα είναι περίπου 20 ημέρες. Μέρος του ζυμωμένου υλικού οδηγείται πίσω στη μονάδα ανάμιξης, ενώ το υπόλοιπο υγρασίας και στην αερόβια κομποστοποίηση. Μετά από 10 με 14 ημέρες παράγεται το κομπόστ, το οποίο είναι σταθεροποιημένο και υψηλής

ποιότητας, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στις γλάστρες. Η παραγωγή βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 100-200 m³ ανά τόνο εισερχόμενων ΣΑ. Το 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται στη μονάδα, ενώ το υπόλοιπο διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. [1]

8.1.2.4 Τεχνολογία Komprogas

Το σύστημα της Komprogas αναπτύχθηκε στην Ελβετία και δέχεται οργανικά απόβλητα από σύστημα ΔσΠ. Η Διαλογή στην Πηγή ορίζεται ως η διαδικασία / τεχνική της ανακύκλωσης με την οποία επιτυγχάνεται ανάκτηση χρήσιμων υλικών πριν αυτά αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα των απορριμμάτων. Λειτουργεί σε θερμοκρασίες 55-60 °C και το περιεχόμενο σε στερεά συστατικά είναι υψηλό. Στο Σχήμα 8.4 φαίνεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας. Τα απόβλητα συλλέγονται αρχικά σε μια δεξαμενή υποδοχής και στη συνέχεια οδηγούνται στο τμήμα διαλογής, στον τεμαχιστή και στη δεξαμενή αποθήκευσης. Το προθερμασμένο, παχύρρευστο οργανικό υλικό εισέρχεται έπειτα στον οριζόντιο αντιδραστήρα ζύμωσης, όπου η βασική διεργασία λαμβάνει χώρα σε μια περίοδο 15 - 20 ημερών και αναδεύεται περιοδικά. Το στερεό υπόλειμμα υφίσταται μείωση της υγρασίας του σε κοχλιόπρεσσα και στη συνέχεια μεταφέρεται σε ένα αντιδραστήρα δευτερογενούς ζύμωσης, όπου πραγματοποιείται η μετατροπή του σε ώριμο κομπόστ με παρουσία ατμοσφαιρικού οξυγόνου. [96]

Το παραγόμενο βιοαέριο (0,1 m³ αερίου ανά kg οργανικού αποβλήτου) υφίσταται επεξεργασία και αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκιο. Στη συνέχεια αντλείται στη μονάδα συμπαραγωγής όπου μετατρέπεται σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Εναλλακτικά, το βιοαέριο μπορεί να αναβαθμιστεί μέχρι 98% κ.ό. μεθάνιο και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στα οχήματα μεταφοράς.



Σχήμα 8.4 Διάγραμμα ροής της διεργασίας Kompostogas [98]

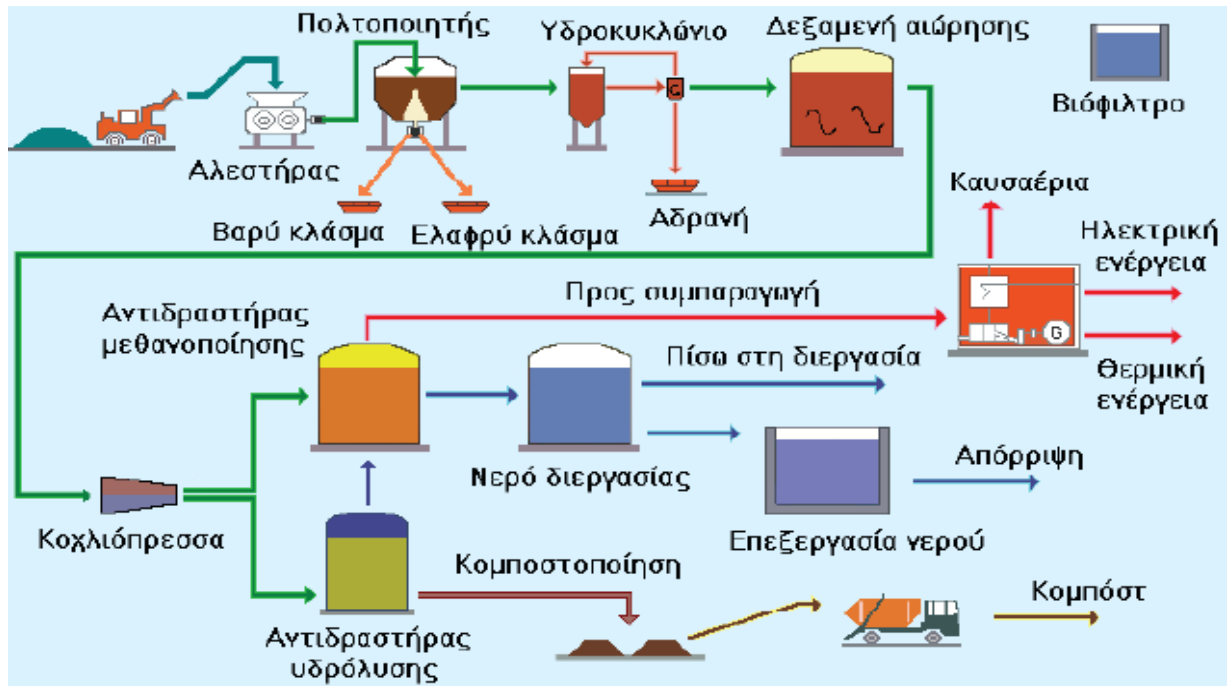
8.1.2.5 Τεχνολογία ΒΤΑ

Η διεργασία της ΒΤΑ αναπτύχθηκε στη Γερμανία και συνδυάζει τη μηχανική με τη βιολογική επεξεργασία. Στη δεξαμενή πολτοποίησης το μίγμα τροφοδοσίας αναμιγνύεται με νερό διεργασίας. Απόβλητα όπως πλαστικά, υφάσματα, πέτρες και μέταλλα διαχωρίζονται μηχανικά με ένα κτένι καθαρισμού και ένα συλλέκτη βαρέων κλασμάτων. Από τα οργανικά που περιέχονται στο μίγμα παράγεται ένας παχύρρευστος, αντλήσιμος πολτός που μπορεί να επεξεργαστεί και να υποστεί ζύμωση. Το γενικό διάγραμμα ροής φαίνεται στο Σχήμα 8.5.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη βιολογική επεξεργασία του πολτού, σε σχέση με τη δυναμικότητα της μονάδας, την ανακτώμενη ενέργεια και το κομπόστ. Διανέμοντας τη διεργασία αποδόμησης σε διαφορετικούς αντιδραστήρες (αίωρησης, υδρόλυσης και μεθανοποίησης) μπορούν να ρυθμιστούν ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης για όλα τα είδη των μικροοργανισμών. Αυτό επιτρέπει μια γρήγορη και εκτεταμένη αποδόμηση των οργανικών ενώσεων με υψηλή παραγωγή βιοαερίου. [101]

Το βιοαέριο αποτελείται από μεθάνιο 60-65% κ.ό. Η παραγωγή βιοαερίου καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας και το πλεόνασμα μπορεί να μετατραπεί σε θερμότητα

και ηλεκτρισμό. Το κομπόστ σύμφωνα με τη μέθοδο ΒΤΑ προκύπτει μετά από αερόβια επεξεργασία που διαρκεί 1-3 εβδομάδες. Λόγω του υψηλού ποσοστού σε οργανικές ύλες και θρεπτικά συστατικά, αλλά και λόγω του χαμηλού περιεχόμενου σε άλατα και βαρέα μέταλλα, το υλικό αυτό βρίσκει μεγάλο εύρος εφαρμογών στον αγροτικό και φυτοκομικό τομέα. [101]

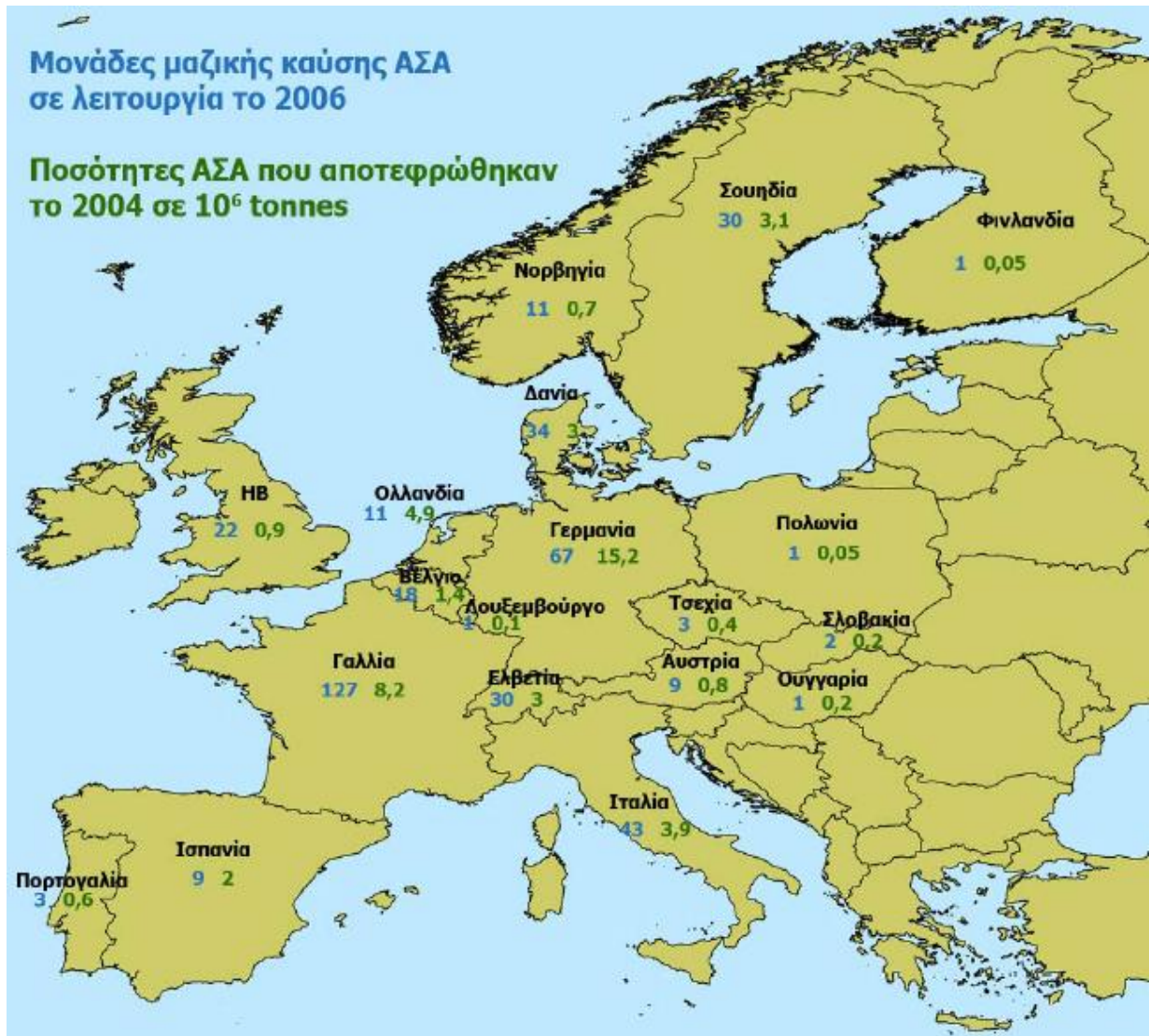


Σχήμα 8.5 Διάγραμμα ροής της διεργασίας ΒΤΑ [99, 100]

8.2 Τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην ΕΕ

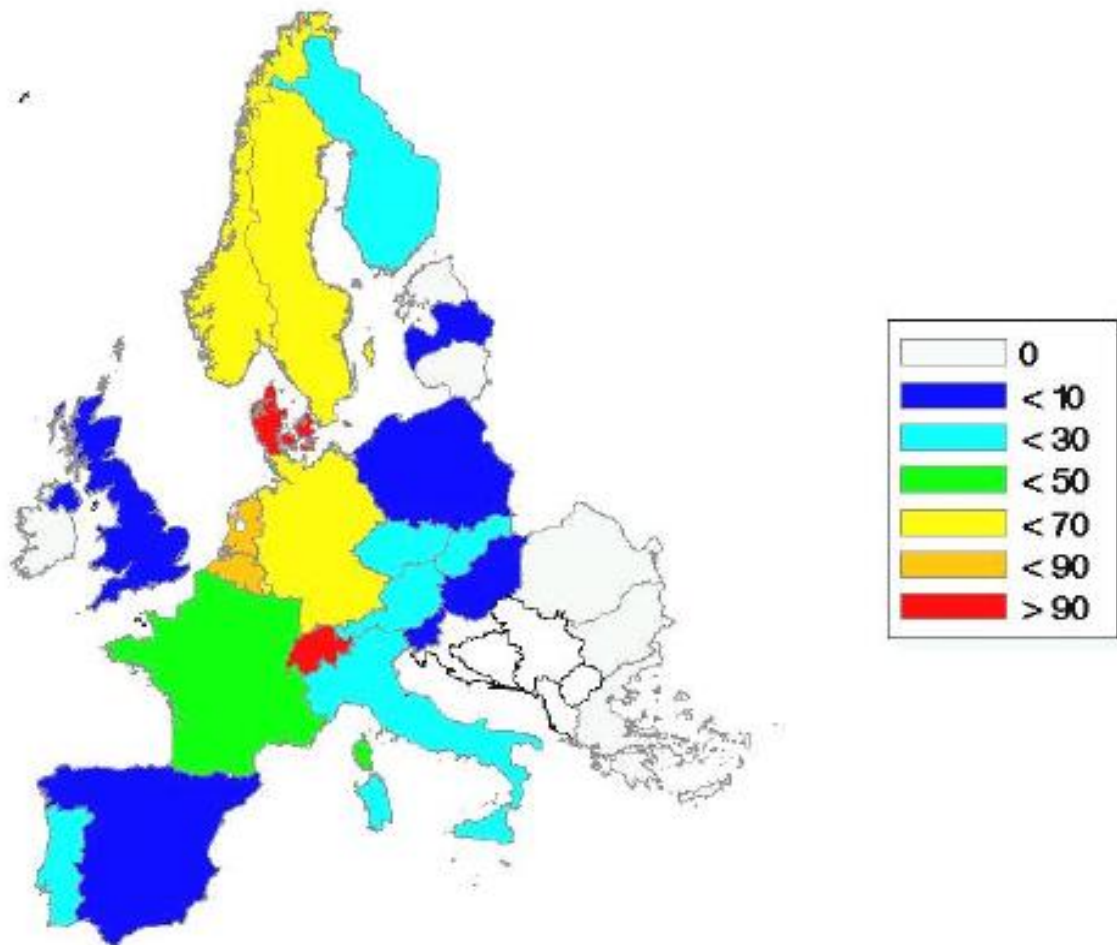
8.2.1 Μονάδες καύσης-αποτέφρωσης στην ΕΕ

Από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων, η καύση-αποτέφρωση των ΑΣΑ αποτελεί τη συνηθέστερη επιλογή στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σε ποσοστό περίπου 97%, με 422 μονάδες καύσης-αποτέφρωσης ΑΣΑ, σε σύνολο 435 μονάδων θερμικής επεξεργασίας (έτος αναφοράς το 2006) [102]. Είναι απολύτως σαφές ότι η αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων αποτελεί μια ευρύτατα διαδεδομένη και εφαρμοσμένη τεχνολογική εφαρμογή σε επίπεδο ΕΕ, η οποία προβλέπεται στο ελληνικό και στο κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο. Στο χάρτη της Εικόνας 8.1, αναγράφονται ο αριθμός των μονάδων καύσης-αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων στην ΕΕ, Ελβετία και Νορβηγία και οι ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το έτος 2004. Στην Εικόνα 8.2 αναγράφεται το ποσοστό αποτέφρωσης αποβλήτων στην Ευρώπη. [22]



Εικόνα 8.1 Χάρτης με τις μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ στην Ευρώπη το 2006 και συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 [102]

Όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 8.1, οι χώρες της ΕΕ με τις περισσότερες μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ είναι η Γαλλία (127), η Γερμανία (67) και η Ιταλία (43). Η κατάταξη αυτή αλλάζει όσον αφορά τις συνολικές ποσότητες ΑΣΑ που οδηγούνται στην αποτέφρωση, με τη Γερμανία το 2004 να έχει αποτεφρώσει περίπου 15,2 εκατομμύρια t ΑΣΑ, τη Γαλλία 8,2 εκατομμύρια t ΑΣΑ και την Ολλανδία με 11 μονάδες, να έχει αποτεφρώσει περίπου 4,9 εκατομμύρια t ΑΣΑ. Όσον αφορά τον περισσότερο διαδεδομένο τύπο αποτεφρωτών, αυτός στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι κινούμενων εσχάρων. Σε πολύ μικρότερο βαθμό απαντώνται αποτεφρωτές περιστρεφόμενου κλιβάνου και σταθερών εσχάρων (Παράρτημα 3).



Εικόνα 8.2 Ποσοστό αποτέφρωσης αποβλήτων στην ΕΕ [103]

8.2.2 Μονάδες πυρόλυσης στην ΕΕ

Στην ΕΕ μια μονάδα πυρόλυσης ΑΣΑ βρίσκεται στο Burgau της Γερμανίας, με έτος έναρξης λειτουργίας της το 1984 και θεωρητική δυναμικότητα της μονάδας 3 t/h [102]. Παρόλα αυτά στην Ιαπωνία υπάρχουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών αποβλήτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά για πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των αποβλήτων της, σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών (Παράρτημα 3). [21, 57]

8.2.3 Μονάδες αεριοποίησης στην ΕΕ

Μία εγκατάσταση αεριοποίησης RDF ιδρύθηκε τη δεκαετία του 1990 στην Greve-en-Chianti της Ιταλίας, η οποία ωστόσο έκλεισε σύντομα, λόγω λειτουργικών προβλημάτων. Επίσης ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που τροφοδοτείται εν μέρει από μονάδα αεριοποίησης στη Φινλανδία, αεριοποιεί κυρίως συμβατικά βιοκαύσιμα, στα οποία προστίθεται ένα ποσοστό απορριμματογενών καυσίμων [104]. Μέχρι το 2006, στην Ευρώπη υπήρχαν 2 μονάδες αεριοποίησης ΑΣΑ στη Νορβηγία [102], ενώ το καλοκαίρι του 2008 κατασκευάστηκε μια ακόμη μονάδα στο νησί Wight στο Ηνωμένο Βασίλειο. [105]

8.2.4 Μονάδες αεριοποίησης πλάσματος στην ΕΕ

Οι μοναδικές μονάδες θερμικής επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ παγκόσμια είναι δυο και βρίσκονται στην Ιαπωνία (Utashinai Miham-Mikata). Στην Ευρώπη υπάρχουν 2 μονάδες αεριοποίησης πλάσματος στη Γαλλία (Bordeaux, Morcenx) που επεξεργάζονται τη στάχτη που παράγεται από την επεξεργασία των ΑΣΑ και τον αμίαντο αντίστοιχα. Επιπλέον στη Νορβηγία (Bergen) βρίσκεται μονάδα αεριοποίησης πλάσματος που επεξεργάζεται απόβλητα βυρσοδεψίας. Τέλος, στη Σουηδία (Landskrona) η μονάδα αεριοποίησης πλάσματος επεξεργάζεται την ιπτάμενη τέφρα σε. Τα παραπάνω δηλώνουν πως τουλάχιστον για την Ευρωπαϊκή Ένωση η τεχνολογία αυτή δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη έκταση ακόμα, ούτε έχουν χρησιμοποιηθεί αμιγώς και πρωτογενώς τα σύμμεικτα ΑΣΑ. [106]

8.3 Καινοτόμες μονάδες ΘΕ με υψηλή ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ

Οι καινοτόμες μέθοδοι ΘΕ συνδυάζουν την καύση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση και οι μονάδες εφαρμογής τους αποτελούνται από τυποποιημένες κατασκευές συμβατικών μονάδων. Οι σπουδαιότεροι λόγοι της γρήγορης εξάπλωσης των νέων μεθόδων είναι τα προκύπτοντα, λόγω εφαρμογής τους, οικολογικά (ελάχιστες εκπομπές αέριων ρύπων και μικρές ποσότητες τηγμένης σκωρίας μέσω διαχωρισμού πλύσης), ενεργειακά (εξοικονόμηση και ενεργειακή ανεξάρτηση) και οικονομικά (φθηνότερη κατασκευή) οφέλη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των μεθόδων Thermosteact και Noell (βλ. 8.3.2 και 8.3.3), όχι μόνο οι ποσότητες των ρύπων είναι ελάχιστες αφού η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα με

καθαρό οξυγόνο, αλλά επίσης παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με την αξιοποίηση του αέριου σύνθεσης. [1]

8.3.1 Θερμόλυση και τεχνολογία Siemens

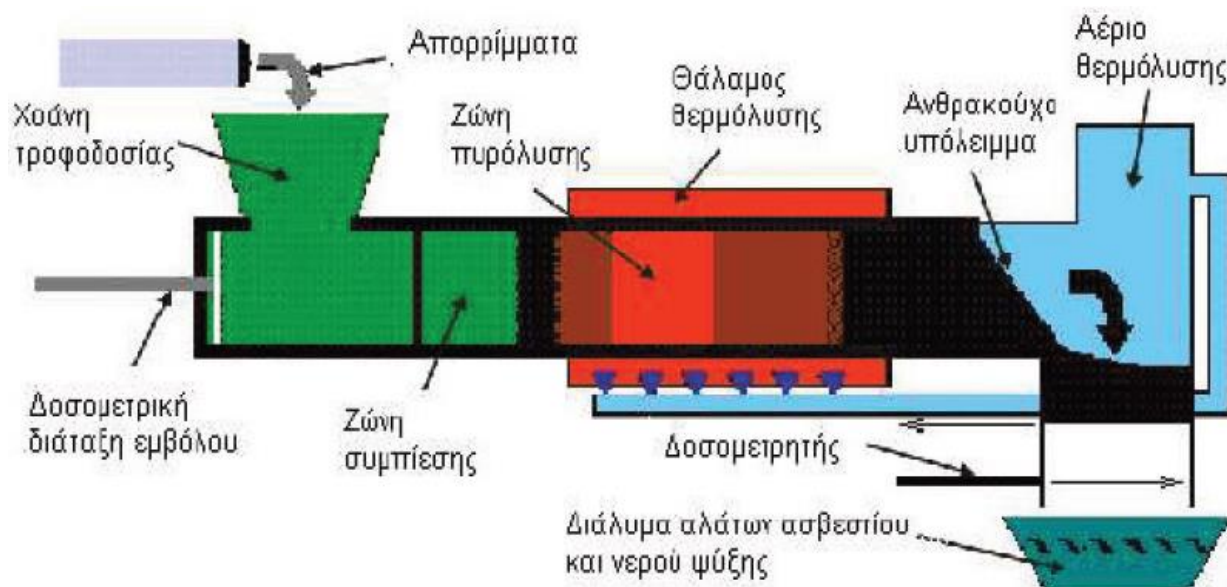
Κατά τη μέθοδο αυτή (Σχήμα 8.6) παράγεται ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία «carbor». Είναι παρόμοια με την επεξεργασία διύλισης (cracking) που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια για την παραγωγή διαφόρων κλασμάτων του αργού πετρελαίου. Η τεχνική αυτή ανταποκρίνεται στις ανάγκες περιοχών με μικρό πληθυσμό και τουριστικών περιοχών με έντονη διακύμανση του πληθυσμού. Από την άποψη αυτή συζητιέται η καταλληλότητά της για περιπτώσεις όπως τα Ελληνικά νησιά [1]. Τα στάδια της μεθόδου είναι:

- Μηχανική επεξεργασία-διαχωρισμός-αποθήκευση.
- Ξήρανση σε εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής (διαχωρισμός αέριας φάσης και στερεάς προς αντιδραστήρα).
- Θερμόλυση της στερεάς φάσης στο θάλαμο (αποικοδόμηση στους 5000 °C).
- Επεξεργασία στερεών προϊόντων (αδρανών).
- Επεξεργασία της ιλύος.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

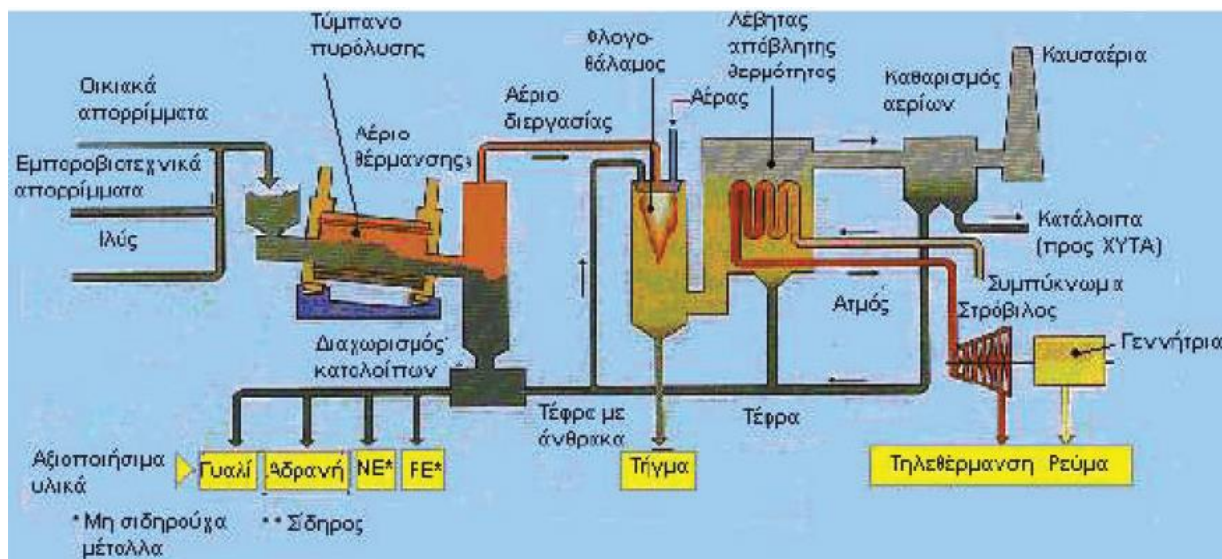
- Η ανάκτηση των μετάλλων για επαναχρησιμοποίηση (αν δεν έχουν φτάσει στο σημείο τήξης).
- Η μικρή κατανάλωση ύδατος.
- Η παραγωγή εμπορεύσιμου Carbor.
- Το χαμηλό ρυπαντικό φορτίο των παραγόμενων υγρών και αερίων αποβλήτων.
- Τα χαμηλά κόστη κατασκευής και επεξεργασίας.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του carbor μοιάζουν με αυτά του λιγνίτη ενώ συγκρινόμενο με συμβατικά βιομηχανικά καύσιμα, παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα της χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κλιβάνους (τσιμεντοβιομηχανία, πλινθοποιία), χωρίς ιδιαίτερες επενδύσεις για την αποθήκευσή του. [1]



Σχήμα 8.6 Η μέθοδος της θερμόλυσης [1]

Η Siemens από τα μέσα της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε στην Ευρώπη τη διεργασία της Θερμικής Ανακύκλωσης Αποβλήτων (Thermal Waste Recycling Process). Είναι μια διαδικασία κατάλληλη για την επεξεργασία αστικών αποβλήτων, αστικών λυμάτων και ιλύος και αυτή τη στιγμή στην Ιαπωνία υπάρχουν 7 νεόδμητες εγκαταστάσεις σε λειτουργία που επεξεργάζονται από 150 έως 450 τόνους ΑΣΑ την ημέρα. [108]

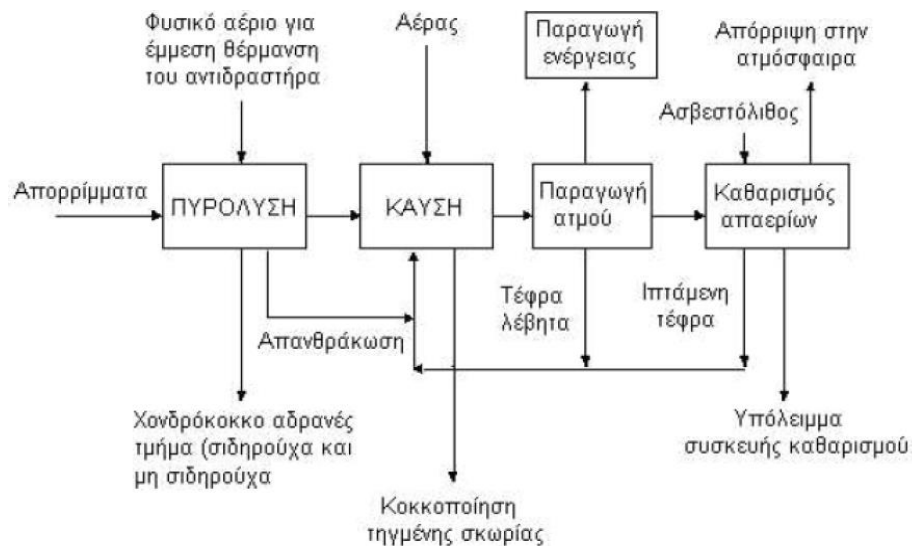


Σχήμα 8.7 Μονάδα Siemens

Η διεργασία αυτή απαιτεί προεπεξεργασία των αποβλήτων με περιστροφικό κόπτη και αποτελεί ένα συνδυασμό της πυρόλυσης και της καύσης-αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν οριζόντιο αντιδραστήρα μέσα στον οποίο τα απόβλητα πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 °C για περίπου μια ώρα. Στη συνέχεια τα

παραχθέντα αέρια της πυρόλυσης καίγονται μαζί με την τέφρα της πυρόλυσης σε ένα θάλαμο αποτέφρωσης που λειτουργεί σε θερμοκρασία 1300 °C. Η παραγόμενη ενέργεια στο θάλαμο ανάφλεξης χρησιμοποιείται για την αύξηση του ρεύματος στους 400 °C για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήματα 8.7, 8.8).

Οι θερμοκρασίες του θαλάμου ανάφλεξης είναι αρκετά υψηλές ώστε να μετατρέψουν την αδρανή τέφρα σε σκωρία η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή οδοστρωμάτων. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι το σύστημα μπορεί να παράγει περίπου 405 kWh ανά τόνο αποβλήτων, κάτι που αντιστοιχεί σε ποσοστό απόδοσης της τάξης του 17%.



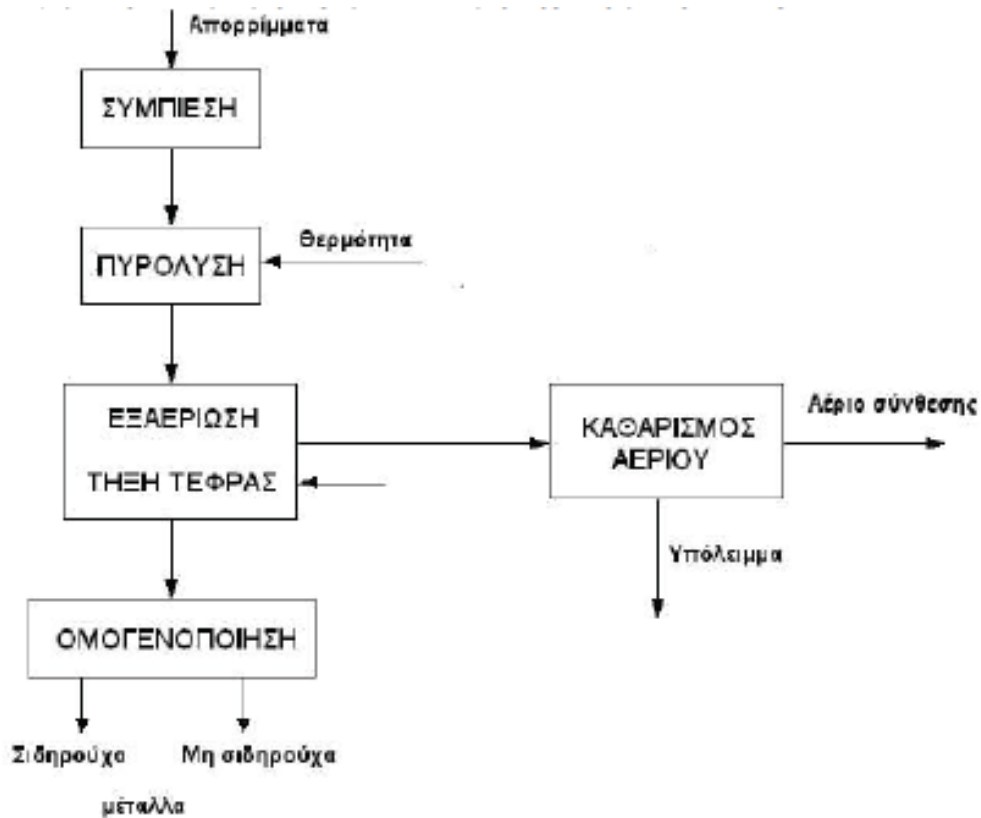
Σχήμα 8.8 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Siemens

8.3.2 Τεχνολογία Thermoselect

Η μέθοδος Thermoselect (Σχήμα 8.9) πρωτοεφαρμόστηκε το 1989 και είναι μια διαδικασία που συνδυάζει ήπια πυρόλυση (στο πρώτο στάδιο) με αεριοποίηση (στο δεύτερο στάδιο) με προσαγωγή οξυγόνου υψηλής θερμοκρασίας. [109]

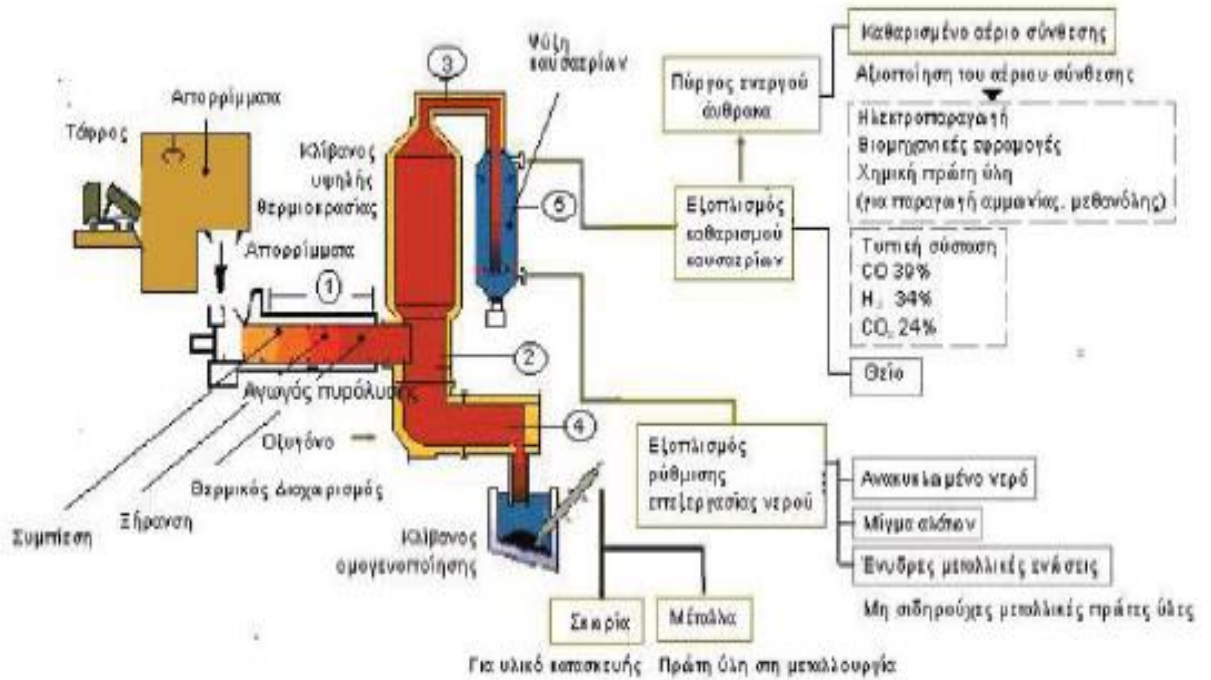
Ένα από τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι απαιτείται ελάχιστη ή μηδενική προεπεξεργασία των αποβλήτων. Στη διεργασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΑΣΑ χωρίς καμιά διαλογή. Τα απόβλητα τοποθετούνται σε ένα θάλαμο, όπου μέσω υδραυλικής πίεσης συμπιέζονται στο ένα πέμπτο του αρχικού τους όγκου. Στη συνέχεια διέρχονται διαμέσου ενός θερμαινόμενου κυλινδρικού καναλιού θερμοκρασίας 300 °C όπου λαμβάνει

χώρα η ξήρανσή τους και η πυρόλυση. Στο τέλος του οριζόντιου αυτού σωληνωτού αντιδραστήρα, τα στερεά υλικά εισέρχονται σε έναν υψηλής θερμοκρασίας οξυγόνου αεριοποιητή. Τα αέρια και τα στερεά πυρολυτικά προϊόντα αεριοποιούνται στη συνέχεια σε θερμοκρασία 1200 °C στην κορυφή του αεριοποιητή και υαλοποιούνται σε θερμοκρασίες 2000 °C στο κάτω μέρος του αεριοποιητή. Το μίγμα των αερίων εξέρχεται από τον αντιδραστήρα με θερμοκρασία 1200 °C και ψύχεται απότομα με τη χρήση νερού σε θερμοκρασία κάτω των 70 °C σε λιγότερο από ένα τρίτο του δευτερολέπτου. Τα αέρια στη συνέχεια καθαρίζονται με τη χρήση ενός συνδυασμού φίλτρων και ενεργού άνθρακα και ψύχονται περαιτέρω για την μείωση της υγρασίας τους. (Σχήμα 8.10).



Σχήμα 8.9 Διάγραμμα της μεθόδου Thermoselect

Το παραγόμενο μίγμα αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έρευνες έχουν δείξει [60] ότι το σύστημα μπορεί να έχει απόδοση, που κυμαίνεται από 11 - 40 % εξαρτώμενη από τον κύκλο παραγωγής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί. Σε ένα από τα εργοστάσια που χρησιμοποιείται στην Ιταλία παράγεται ενέργεια 200-500 kWh ανά τόνο αποβλήτων με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 12 MJ/kg. [109]

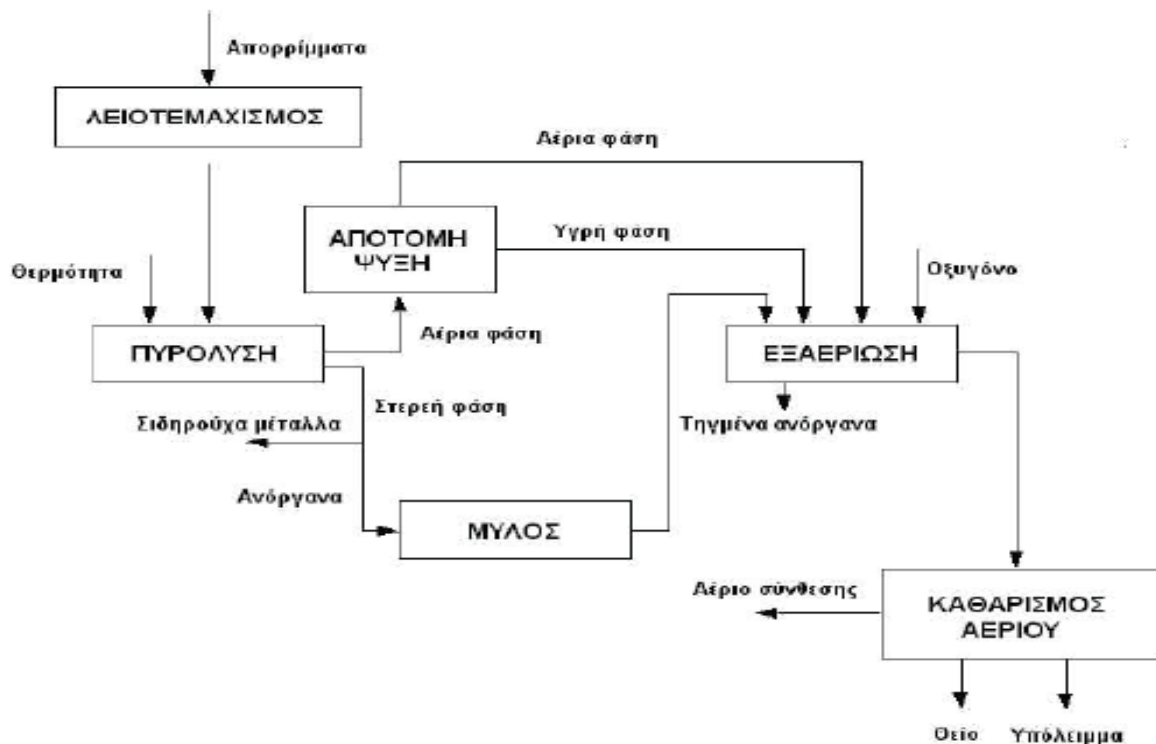


Σχήμα 8.10 Μονάδα Thermoselect [1]

8.3.3 Τεχνολογία Noell

Η μέθοδος NOELL είναι μια θερμική διεργασία δύο βημάτων όπου τα απόβλητα αρχικά πυρολύονται μέσα σε έναν εξωτερικά θερμαινόμενο περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία περίπου 550°C , για περίπου μια ώρα και στη συνέχεια αεριοποιούνται με τη χρήση οξυγόνου σε θερμοκρασίες 1400-2000°C και πιέσεις 2-50 atm (Σχήμα 8.11).

Εκτός από ΑΣΑ η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για βιομηχανικά όσο και για επικίνδυνα απόβλητα. Το παραγόμενο αέριο είναι μέσης θερμικής αξίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα αέρια. Ένα μέρος του αερίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του περιστρεφόμενου κλιβάνου. Η απόδοση του συστήματος φτάνει το 13% που είναι ένα καλό ποσοστό για μικρού μεγέθους εφαρμογές. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τρεις εγκαταστάσεις σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο που χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή. [1]



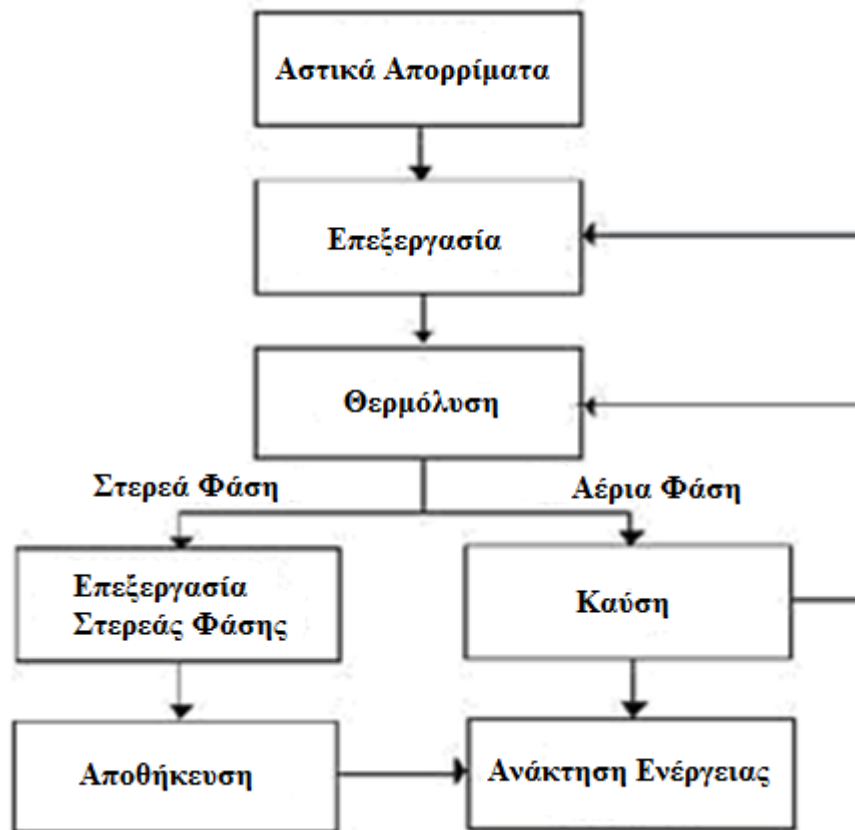
Σχήμα 8.11 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Noell

8.3.4 Τεχνολογία EDDITH

Η μέθοδος EDDITH (Σχήμα 8.12) βασίζεται σε μια διάταξη πυρολυτικού περιστρεφόμενου τυμπάνου. Μετά τη διαλογή και την ξήρανσή τους, τα απόβλητα εισέρχονται στο περιστρεφόμενο πυρολυτικό τύμπανο όπου και πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 - 550 °C με χρόνο παραμονής περίπου τριάντα λεπτά. Το παραγόμενο αέριο καίγεται σε θερμοκρασία 1100 °C ώστε να δώσει την απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανση του ατμού. [110]

Η μέθοδος αποτελείται από τα παρακάτω τρία βασικά στάδια:

- Επεξεργασία αποβλήτων.
- Θερμόλυση.
- Επεξεργασία και αποθήκευση στερεού καυσίμου.



Σχήμα 8.12 Διάγραμμα ροής της μεθόδου EDDITH

Η εταιρία που εφαρμόζει τη μέθοδο υποστηρίζει ότι το ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία carbor μπορεί να καθαριστεί και να διαχωριστεί από μέταλλα, άλλα αδρανή και διαλυτά άλατα και να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο. Ακόμα όμως και αν ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικός φαίνεται ότι αυτό θα γίνει με μεγάλο οικονομικό και ενεργειακό κόστος, κάτι που την καθιστά μη ενδεδειγμένη λύση.

Σήμερα υπάρχουν δύο εργοστάσια που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία στη Γαλλία και τρία στην Ιαπωνία.

8.3.5 Τεχνολογία Van Roll

Η εταιρία Von Roll έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους επεξεργασίας για μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων (Σχήμα 8.13). Ακολούθως παρουσιάζεται μία από αυτές.



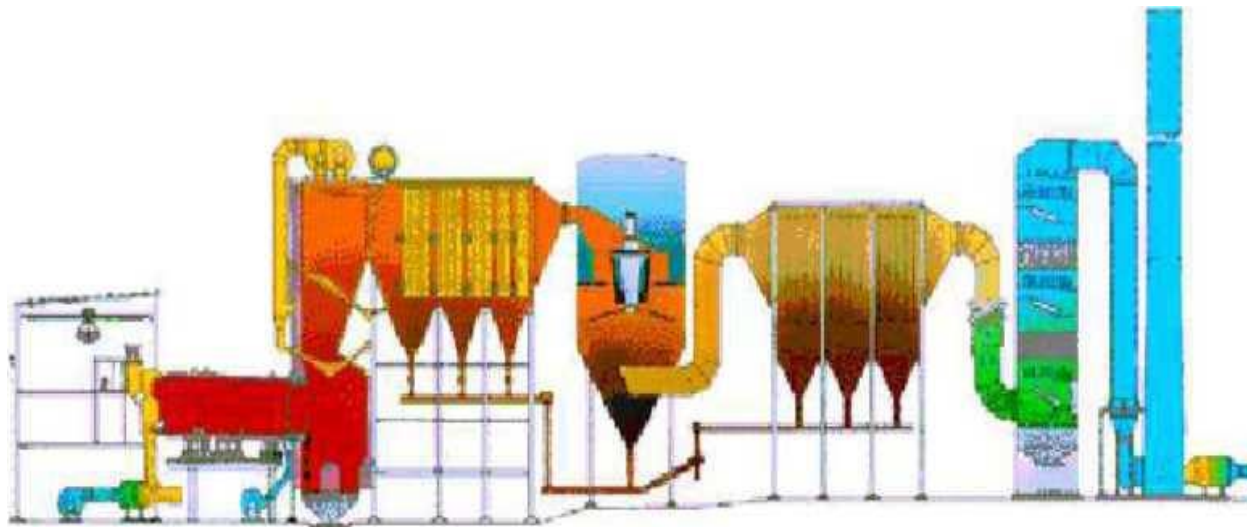
Σχήμα 8.13 Τεχνολογίες ΔΑ από την εταιρία Von Roll

8.3.5.1 Τεχνολογία RCP

Η διεργασία RCP (Recycled Clean Products) συνδυάζει καύση με πυρόλυση και στηρίζεται στη μέθοδο HSR (High Temperature Smelt Redox). Στοχεύει στην αξιοποίηση της σκωρίας από τη τσιμεντοβιομηχανία και για αυτό προσανατολίζεται κυρίως στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων. [1]

8.3.5.2 Εγκατάσταση WTI

Η λειτουργία της εγκατάστασης WTI στηρίζεται στην καύση με περιστρεφόμενο κυλινδρικό κλίβανο (Εικόνα 8.3).

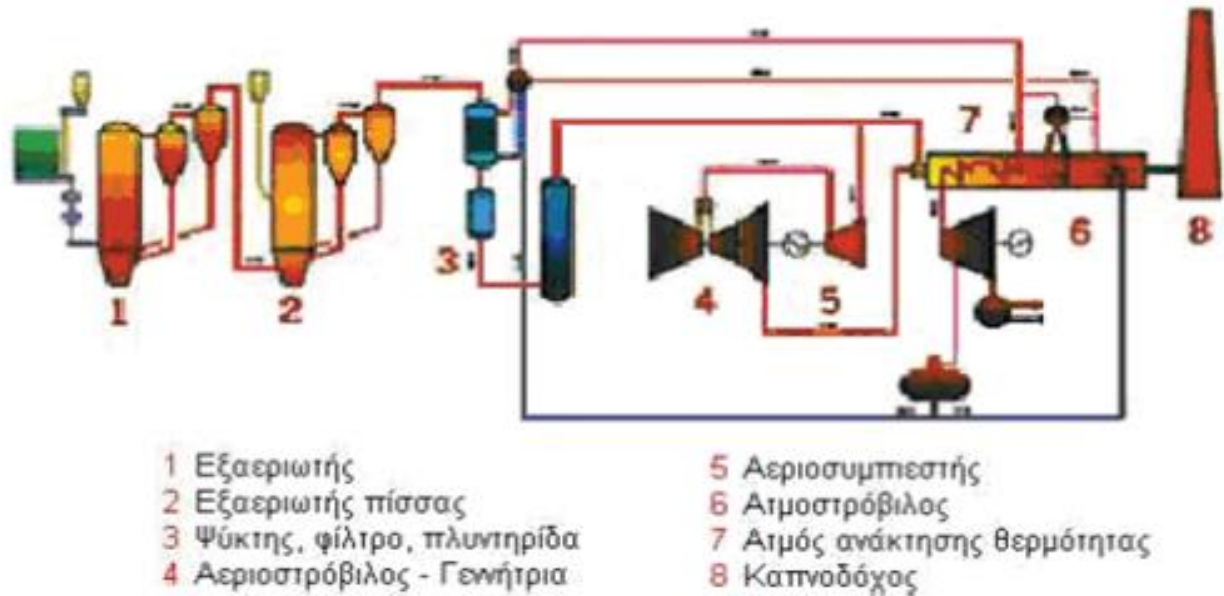


Εικόνα 8.3 Εγκατάσταση Von Roll WTI [1]

8.3.6 Τεχνολογία TPS

Η τεχνολογία TPS (Terminska Processor) (Σχήμα 8.14) χρησιμοποιεί μια διαδικασία αεριοποίησης με τη βοήθεια ενός συνδυασμού αφρίζοντα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης και περιστρεφόμενου αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης που λειτουργούν σε θερμοκρασία 850 °C, κάτω από το όριο τήξεως της τέφρας, και κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι αντιδραστήρες αυτοί τροφοδοτούνται με θερμό αέρα, τεμαχισμένα ΑΣΑ και πελλέτες RDF. Ο αέρας χρησιμοποιείται ως παράγοντας αεριοποίησης/ρευστοποίησης. Ένα μέρος του αέρα εισέρχεται στον αεριοποιητή διαμέσου του κάτω μέρους του και το υπόλοιπο διαμέσου του πάνω μέρους του. Αυτός ο τρόπος διανομής του αέρα προκαλεί διαφορά πυκνότητας μέσα στο δοχείο. Στο κάτω τμήμα τα βαρύτερα τεμάχια έχουν αρκετό χρόνο παραμονής ώστε να αεριοποιηθούν ενώ στο πάνω μέρος τα ελαφρύτερα- μικρότερα τεμάχια μεταφέρονται στη ροή του αερίου. Το αέριο και τα διαχωρισμένα αυτά στερεά στη συνέχεια οδηγούνται σε ένα θερμό κυκλώνα όπου τα στερεά απομακρύνονται και οδηγούνται εκ νέου στην ρευστοποιημένη κλίνη. Το αέριο εισέρχεται σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο ρευστοποιημένης κλίνης μέσα στον οποίο γίνεται το σπάσιμο της πίσσας και των υδρογονανθράκων. Το θερμό αέριο καθαρίζεται και αναφλέγεται σε ένα βραστήρα ή οδηγείται σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. [111]

Πιλοτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν στην Ιταλία, τη Σουηδία και τη Βραζιλία.



Σχήμα 8.14 Η διαδικασία αεριοποίησης TPS [1]

8.3.7 Τεχνολογία ΡΚΑ

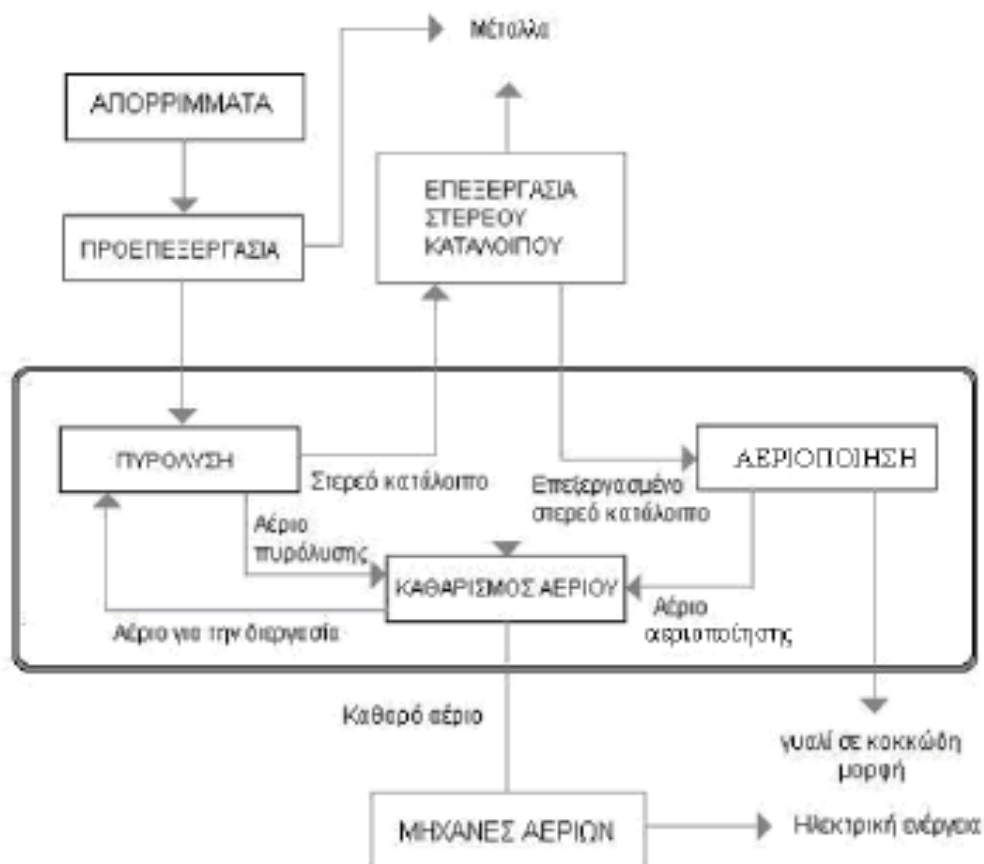
Η μέθοδος ΡΚΑ (Pyrolyse Kraft Anlagen) είναι ένας συνδυασμός πυρόλυσης, αεριοποίησης, και τήξεως (Σχήμα 8.15). Τα ΑΣΑ υφίστανται προεπεξεργασία ώστε να αφαιρεθούν υλικά όπως γυαλί, μέταλλα και άλλα που μπορούν να ανακυκλωθούν. Η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία 500 °C και χρόνο παραμονής περίπου μια ώρα. Μέρος του αερίου που παράγεται από τη διαδικασία χρησιμοποιείται για την εξωτερική θέρμανση του κλιβάνου. Το πυρολυτικό αέριο που περιέχει πίσσα στη συνέχεια αεριοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες 1200 -1300 °C με την προσθήκη οξυγόνου και στη συνέχεια ψύχεται και καθαρίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της τελικής χρήσης. Από το πυρολυτικό στερεό κατάλοιπο μπορεί να γίνει ανάκτηση μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών. [1]

Η μέθοδος είναι κατάλληλη για την επεξεργασία των παρακάτω αποβλήτων:

- Απόβλητα τεμαχισμού αυτοκινήτων.
- Χρησιμοποιημένα λάστιχα.
- Υλικά συσκευασίας.
- Επικίνδυνα απόβλητα.
- Οικιακά απόβλητα.
- Απόβλητα βιολογικού καθαρισμού.

Η εταιρία Gibros PEC που ανέπτυξε την μέθοδο υποστηρίζει ότι η διεργασία έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές: όλα τα ρεύματα εξόδου (παραγόμενο αέριο, μέταλλα, αδρανή) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς πώληση ή προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [1]

Σήμερα υπάρχουν συστήματα PKA εγκατεστημένα στη Γερμανία τα επεξεργάζονται περίπου 30.000 τόνους αποβλήτων / έτος.



Σχήμα 8.15 Διάγραμμα ροής της μεθόδου PKA

8.3.8 Τεχνολογία Nexus

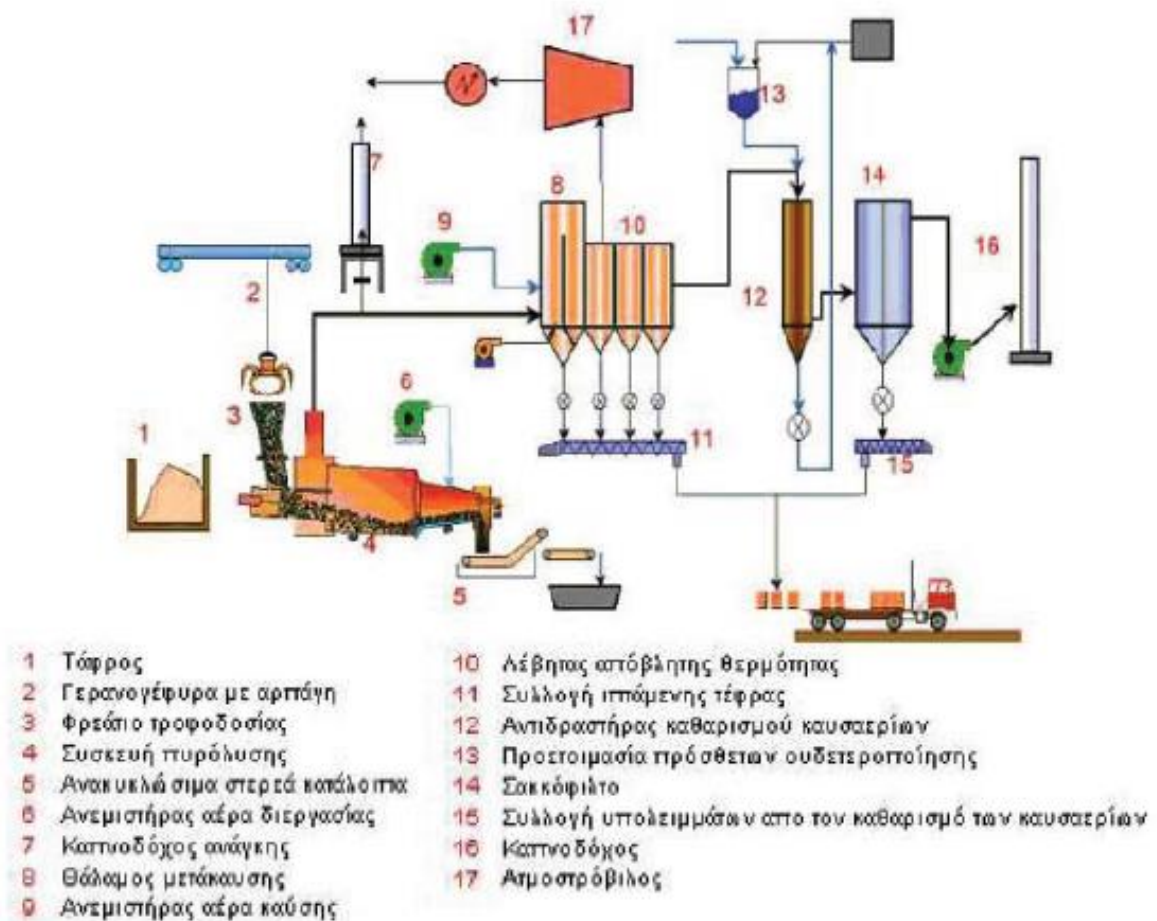
Η διεργασία χρησιμοποιεί έναν περιστρεφόμενο κλίβανο και μπορεί να επεξεργαστεί ΑΣΑ, λάστιχα και μη επικίνδυνα απόβλητα. Αρχικά, τα ΑΣΑ υφίστανται προεπεξεργασία για να ομοιογενοποιηθούν και στη συνέχεια εισέρχονται στον κλίβανο απουσία οξυγόνου όπου πυρολύονται σε θερμοκρασία 650 °C και πίεση 700 mbar. Ο χρόνος παραμονής στον κλίβανο κυμαίνεται ανάλογα με την υγρασία των αποβλήτων και μπορεί να φτάσει έως τις οκτώ ώρες. Τέλος, ακολουθεί η ψύξη του στερεού υπολείμματος. Το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων μετατρέπεται μέσω της διαδικασίας αυτής σε ανθρακούχο υπόλειμμα πυρόλυσης, αέρια

καύσης και υγρούς υδρογονάνθρακες. [1]

Αυτή τη στιγμή στη Γαλλία λειτουργεί πιλοτικά ένα εργοστάσιο που επεξεργάζεται 5.500 τόνους ΑΣΑ/ έτος ενώ σχεδιάζεται ένα ακόμη δυναμικότητας 33.000 τόνων ΑΣΑ / έτος.

8.3.9 Τεχνολογία Andco Torrax

Η μέθοδος Andco Torrax (Σχήμα 8.16) αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ το 1968 από την εταιρία Torrax Systems και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας μιας ποικιλίας αποβλήτων.



Σχήμα 8.16 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Andco Torrax[1]

Η μέθοδος αυτή σχεδιάστηκε ώστε να μετατρέπει το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ σε αναφλέξιμο αέριο το οποίο στη συνέχεια μπορεί να παράγει ατμό. Το σύστημα αποτελείται από πέντε κύριους παράγοντες: 1) τον προθερμαντήρα του αέρα, 2) τον αεριοποιητή, 3) τον

δευτερεύον θάλαμο ανάφλεξης, 4) τον βραστήρα και 5) τον εξοπλισμός καθαρισμού αερίων.

Τα ΑΣΑ οδηγούνται στον αεριοποιητή ο οποίος είναι μια κυλινδρική στήλη με 12 έως 15 μέτρα ύψος και 1.8 έως 2.7 μέτρα διάμετρο. Τα απόβλητα αρχικά ξηραίνονται, πυρολύονται σε θερμοκρασία έως 1100 °C και μετατρέπονται σε αναφλέξιμα αέρια. Τα πυρολυτικά αέρια στη συνέχεια εγκαταλείπουν τον αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 400 - 500 °C και εισέρχονται στον δευτερεύοντα θάλαμο ανάφλεξης όπου αναμιγνύονται με αέρα και καίγονται. Τα αέρια που δημιουργούνται στη συνέχεια οδηγούνται στο βραστήρα για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απαέρια οδηγούνται στα συστήματα καθαρισμού τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές.

Τεχνικές δυσκολίες συναντώνται κατά τη διοχέτευση των αερίων του αντιδραστήρα καθώς πρόβλημα αποτελεί και ο υπερβολικός θόρυβος.

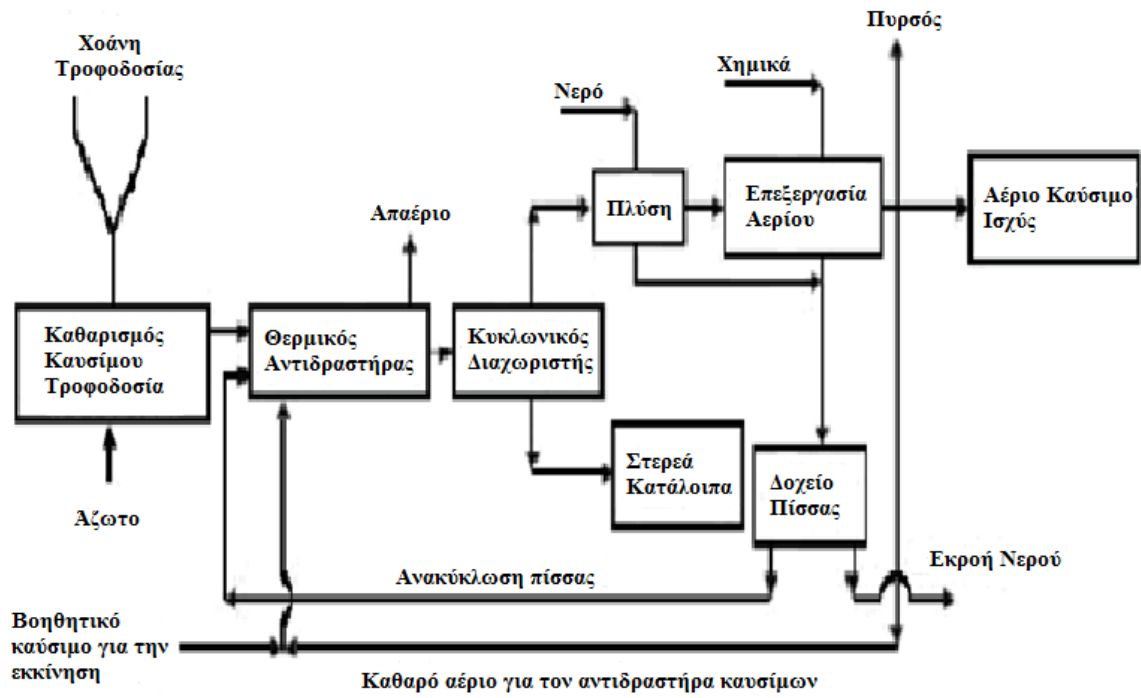
Σήμερα λειτουργούν 5 εργοστάσια σε Ευρώπη και ΗΠΑ στα οποία επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των αποβλήτων κατά 80-85% ενώ η ανάκτηση της ενέργειας σε θέρμανση και ηλεκτρισμό ανέρχεται στο 62-68%. [1]

8.3.10 Τεχνολογία WGT

Με τη μέθοδο WGT (Waste Gas Technology) (Σχήμα 8.17) επιτυγχάνεται η αεριοποίηση των συστατικών των αποβλήτων που είναι πλούσια σε άνθρακα και η παραγωγή αερίου που διασπάται σε υδρογονάνθρακες μικρότερου μοριακού βάρους και υδρογόνο. Τα απόβλητα αρχικά ξηραίνονται, προεπεξεργάζονται μηχανικά ώστε να αφαιρεθούν τα άκαυστα υλικά και κοκκοποιούνται στο βέλτιστο μέγεθος. Η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα σε ένα κυλινδρικό αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 700 - 900 °C απουσία οξυγόνου. Τα αέρια από τον αντιδραστήρα πλένονται ώστε να απομακρυνθούν οι ρύποι και στη συνέχεια οδηγούνται σε γεννήτριες προς παραγωγή ενέργειας. Τα στερεά υπολείμματα αναφλέγονται επίσης σε ένα βραστήρα ατμού. [112]

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να επεξεργαστούν διαφορετικά ήδη αποβλήτων συμπεριλαμβανομένων των ΑΣΑ, ιλύων και πλαστικών.

Σήμερα στη Μεγάλη Βρετανία υπάρχει μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία πιλοτικά. [113]



Σχήμα 8.17 Διάγραμμα ροής της μεθόδου WGT (Waste Gas Technology)

9^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ”

9.1 Εισαγωγικά

Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι να περιγράψει συμβατικές όσο και καινοτόμες τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης των αστικών στερεών αποβλήτων και των δευτερογενών καυσίμων. Όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, τεχνολογίες που σχετίζονται με τη Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία όπως η αερόβια ζύμωση, η αναερόβια χώνευση και η βιοξήρανση μπορούν να συνυπολογιστούν στην ομάδα των τεχνολογιών ενεργειακής ανάκτησης επειδή δύνανται να παράγουν απορριμματογενή καύσιμα, όπως το RDF, SRF, το βιοαέριο και το κομπόστ (δυστυχώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα σε εδαφοκαλλιέργειες). Ωστόσο, τα παραγόμενα RDF, SRF υπόκεινται σε αυστηρές παραμέτρους από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία προκειμένου να θεωρείται παραγόμενο καύσιμο (ΚΥΑ 114218/97). Επιπλέον, η μη διαλογή των ΑΣΑ και επομένως χρήση σύμμεικτων επιβαρύνει τη θερμότητα δύναμη και ποιότητα του καυσίμου αυτού, ενώ επιπρόσθετα για την ώρα δεν υπάρχει αγορά για να το απορροφήσει.

Στην ομάδα των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας παρουσιάστηκαν ενδελεχώς τόσο η καύση-αποτέφρωση, που αποτελεί την περισσότερο δοκιμασμένη και προτιμώμενη από χώρες της ΕΕ, όσο και πιο καινοτόμες όπως η πυρόλυση, η αεριοποίηση, η αεριοποίηση πλάσματος. Όλες δύνανται να μειώσουν τον όγκο των αποβλήτων και να παράγουν ενέργεια. Όμως διαφέρουν στο είδος των αποβλήτων που είναι κατάλληλες, στο κόστος εγκατάστασης και βιωσιμότητας τους, στο βαθμό φιλικότητας προς το περιβάλλον.

Ειδικότερα για την Ελλάδα πρέπει να αναφερθεί πως δεν διαθέτει καμία μονάδα θερμικής επεξεργασίας-μοναδική χώρα στην ΕΕ εκτός της Σερβίας. Ο εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης αποβλήτων ευοδώνεται μέσα από τους ΦοΔΣΑ και τους Συνδέσμους του για τις 13 Περιφέρειες της ελληνικής επικράτειας όπως προβλέπει το σχέδιο Καλλικράτης (Ν. 3852/2010). Η διαχείριση των ΑΣΑ εστιάζει περισσότερο στην ανακύκλωση με Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) - αριθμούνται 20 στην Ελλάδα, στην δημιουργία περισσότερων Σταθμών Μεταφόρτωσης Αποβλήτων (ΣΜΑ) και στη διάθεση των αποβλήτων

σε ΧΥΤΑ. Βέβαια αυτή τη στιγμή λειτουργούν 5 Μονάδες ΜΒΕ με κομποστοποίηση και παραγωγή βιοαερίου στην Ελλάδα, η ΕΜΑΚ Α. Λιοσίων στην Αττική, η ΕΜΑΚ Χανίων στην Κρήτη, η ΕΜΑΚ Κεφαλονιάς, η ΕΜΑΚ Καλαμάτας.

Προκειμένου να εξεταστούν πιθανές δυνατότητες εφαρμογής στην Ελλάδα και να ακολουθήσουν προτάσεις όσον αφορά στις τεχνολογίες ενεργειακής ανάκτησης από ΑΣΑ και δευτερογενή καύσιμα εξετάζεται η θερμογόνος δύναμη των ελληνικών ΑΣΑ καθώς και παράγοντες που επιδρούν στη θερμογόνο δύναμή τους. Ακολούθως, γίνεται προσπάθεια συγκριτικής αποτίμησης τους με διάφορα κριτήρια όπως προτείνονται από τη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία [21, 22, 41]. Επομένως, στις επόμενες ενότητες ακολουθεί μια αξιολόγηση αυτών των τεχνολογιών κυρίως θερμικής επεξεργασίας –λόγω της δυνατότητας ανάκτησης ενέργειας- από μελέτες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος και άλλων φορέων.

9.2 Θερμογόνος δύναμη των ελληνικών ΑΣΑ

Όταν το οργανικό κλάσμα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) καίγεται πλήρως εκλύεται θερμική ενέργεια, η οποία ονομάζεται θερμογόνος δύναμη. Η θερμαντική ικανότητα των ελληνικών οικιακών αποβλήτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.1.

Πίνακας 9.1 Ενεργειακά δεδομένα και θερμογόνος δύναμη ελληνικών οικιακών αποβλήτων. [114]

Υλικά	% σε απόβλητα	Κατώτερη θερμογόνος τιμή (kl/kg)	Ενέργεια (MJ)	Συμμετοχή στην ενέργεια (%)
Χαρτί	20	16579,7	332,013	32,3
Πλαστικά	8,5	32238,4	274,026	26,7
Ζυμώσιμα	49	4605,5	225,668	22
Γυαλί	4,5	138,2	3,131	-
Μέταλλα	4,5	690,8	3,106	-
Δ-Ξ-Λ	3	18421,9	55,265	5,4
Αδρανή	5	125,6	0,628	-
Υπόλοιπα	5,5	24157,8	132,868	12,9

Στον Πίνακα 9.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται τα επί τοις εκατό αδρανή υπολείμματα κατά τη διάρκεια της καύσης των διάφορων αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμη αυτών, το ποσοστό τους υγρασίας, όπως επίσης και το ειδικό τους βάρος στον κάδο.

Πίνακας 9.2 Αδρανή υπολείμματα, θερμογόνος δύναμη, ποσοστό υγρασίας και ειδικό βάρος Α.Σ.Α. στον κάδο.[52]

Συστατικά ΑΣΑ	Αδρανή υπολείμματα (%)		Θερμογόνος δύναμη (kj/kg)		% υγρού βάρους		Ειδικό βάρος στον κάδο (kg/m ³)		
	Διακύμανση	Τυπική τιμή	Διακύμανση	Τυπική τιμή	Διακύμανση	Τυπική τιμή	Διακύμανση	Τυπική τιμή	Μέγιστος Βαθμός Συμπύεσης
Οργανικά Υλικά									
Τροφικά Υπολ.	1-7	6	3000-6000	5000	50-80	70	130-490	250	3
Χαρτί	3-8	6	12000-19000	17000	4-10	6	35-140	90	6.5
Χαρτόνι	3-8	6	12000-19000	17000	4-8	5	40-80	50	6.5
Πλαστικά	5-20	10	30000-37000	33000	1-4	2	40-130	60	10
Υφάσματα	2-4	2,5	15000-19000	17000	6-12	10	35-100	60	7
Λάστιχα	5-20	10	20000-28000	23000	1-4	2	80-200	130	3.5
Δέματα	8-20	10	15000-20000	17000	8-12	10	100-260	150	3.5
Απόβλητα κήπου	2-6	4,5	2000-19000	7000	30-80	60	Άλλα 100-350	150	3
Ξύλα	0,5-2	1,5	17000-20000	19000					
Ανόργανα Υλικά									
Γυαλιά	96-99	98	100-250	150	1-4	2	150-500	200	2.5
Μη σιδηρούχα μέταλλα	90-99	96	-	-	2-4	2,5	50-240	160	6.7
Άλλα μέταλλα	95-99	96	250-1200	700	2-6	3	150-1200	350	3.3
Άλλα αδρανή	60-80	70	2000-11600	7000	6-12	7	320-960	480	1.3

Η θερμική επεξεργασία επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες: [114]

- Ομοιογένεια αποβλήτων
- Μέγεθος κόκκων ή τεμαχίων και κατανομή αυτών
- Ειδική επιφάνεια αποβλήτων
- Θερμική αγωγιμότητα
- Θερμοκρασία ανάφλεξης
- Δυνατότητα αποθήκευσης
- Ειδικό βάρος
- Θερμογόνος τιμή καύσιμης ύλης
- Ποσοτική σύνθεση της υπό καύση ύλης, δηλαδή ποσοστό στάχτης και νερού
- Περιεκτικότητα σε πτητικά
- Περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες
- Τήξη της στάχτης, η περιεκτικότητα της οποίας είναι μεταξύ 26 % και 33% ανά βάρος

Η ταχύτητα της καύσης επηρεάζεται από την ειδική επιφάνεια και την θερμική αγωγιμότητα των αποβλήτων.

Η ικανότητα αντίδρασης εξαρτάται από την θερμοκρασία ανάφλεξης, η οποία θεωρείται ίση με 400°C, και αυξάνεται από τα πτητικά μέρη.

Η υγρασία των αποβλήτων, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 25 % και 50%, επηρεάζει την θερμογόνο δύναμη και την πυκνότητα των αποβλήτων, το εύρος της οποίας είναι μεταξύ 150 και 350 kg/m³.

Με κατώτερη θερμογόνο δύναμη 6.000 kJ/kg επιτυγχάνεται η αυτοδυναμία στην καύση των αποβλήτων. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα που θεωρούνται καλά για καύση είναι αυτά που η θερμογόνος δύναμή τους είναι 2.500 kcal/kg ή 10.467,5 kJ/kg. [114]

9.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων

Οι παράγοντες που ασκούν επίδραση κατά τη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων παρουσιάζονται παρακάτω: [114]

- Απομάκρυνση του χαρτιού με την μέθοδο Διαλογή στην Πηγή

Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να ανακυκλωθεί το 20-75% του συνολικού χαρτιού, ποσοστό που αντιστοιχεί σε 10-42 kg ανά κάτοικο τον χρόνο. Σύμφωνα με τον Πίνακα 9.1, η θερμαντική ικανότητα ξεπερνά τα 9.000 kJ/kg, όπου εάν απομακρυνθεί το 80% του χαρτιού

από τα απόβλητα -πράγμα ιδιαίτερα δύσκολο- η θερμογόνος τιμή θα ισούται με 7.355 kJ/kg, δηλαδή μείωση 18,3%.

→ Απομάκρυνση των ζυμώσιμων υλικών

Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν στην Ολλανδία, μετά από απομάκρυνση των οργανικών υλικών από τα απόβλητα, δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στην καύση, όπως επίσης και οι εκπομπές των αερίων δεν διέφεραν κατά πολύ από την καύση όλων των αποβλήτων.

→ Εφαρμογή διαφόρων προγραμμάτων ανακύκλωσης

Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν στην Γερμανία σχετικά με την επίδραση στη θερμογόνο δύναμη από την εφαρμογή διαφόρων προγραμμάτων ανακύκλωσης, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω :

→ Χωρίς ανακύκλωση: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη 8.300 kJ/kg

→ Ανακύκλωση 75% του χαρτιού και 80% του γυαλιού, δηλαδή 20% της συνολικής ποσότητας: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη 8.450 kJ/kg (αύξηση +2%)

→ Ανακύκλωση 75% του χαρτιού, 80% του γυαλιού, 50% των μετάλλων, 40% των πλαστικών, δηλαδή 25% της συνολικής ποσότητας: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη 8.000 kJ/kg(μείωση - 4%)

→ Ανακύκλωση 50% του χαρτιού, 50% του γυαλιού και 94% των ζυμώσιμων: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη 9.500 kJ/kg (αύξηση +14%)

→ Ανακύκλωση 75% του χαρτιού, 80% του γυαλιού, 50% των μετάλλων, 40% των πλαστικών και 94% των ζυμώσιμων, δηλαδή 60% των συνολικών αποβλήτων: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη 9.100 kJ/kg (αύξηση +10%)

Γενικά, εάν η ανακύκλωση φτάσει σε ποσοστό 60%, η θερμογόνος δύναμη των υπόλοιπων αποβλήτων κυμαίνεται μεταξύ 8-9,5 kJ/kg.

Στον Πίνακα 9.3 που ακολουθεί αναλύεται η καταλληλότητα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) για θερμική επεξεργασία, όπως αυτά απορρίπτονται.

Πίνακας 9.3 Ανάλυση καταλληλότητας Α.Σ.Α. για καύση.[52]

Χαρακτηριστικό	Διακύμανση (% ξηρού βάρους)	Τυπική τιμή (% ξηρού βάρους)
Υγρασία	10-65	37,5
Πτητικά	30-60	50
Μη πτητικός άνθρακας	5-15	8
Τέφρα	10-30	20

9.4 Κριτήρια αξιολόγησης τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ

Η επιλογή και καταλληλότητα των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας ως κύρια επιλογή για την διαχείριση των ΑΣΑ συναρτάται με πολλές παραμέτρους διαφορετικής φύσεως. Τα κυριότερα κριτήρια έχουν ομαδοποιηθεί όπως φαίνεται παρακάτω: [115]

→ Οικονομικά κριτήρια: Γενικά, αφορούν το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος. Το τελικό κόστος επεξεργασίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τους εξής παράγοντες:

- τη δυναμικότητα και το βαθμό απόδοσης της μονάδας.
- τη σύσταση και την αναγκαία επεξεργασία των παραγόμενων αποβλήτων.
- τις γενικότερες οικονομικές παραμέτρους (κόστος γης, εργατικό κόστος, κόστος πρώτων υλών, κτλ).
- τις επενδυτικές δαπάνες για τις υποδομές, το κόστος συλλογής, μεταφοράς, προεπεξεργασίας, επεξεργασίας και ελέγχου περιβαλλοντικής μόλυνσης καθώς και της μεταφοράς των προϊόντων και των υπολειμμάτων.
- τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής) και τη δυνατότητα ανάκτησης και πώλησης υλικών.
- τους περιορισμούς και στόχους, που θέτει η εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία.[22]

→ Περιβαλλοντικά κριτήρια: Συμπεριλαμβάνονται τα επίπεδα παραγωγής αερίων ρύπων, υγρών αποβλήτων, στερεών υπολειμμάτων, οι δυνατότητες και συνθήκες δέσμευσης ή συλλογής αυτών, οι εκπομπές από την τροφοδοσία των αποβλήτων λόγω της απόστασης από την πόλη, η δυνατότητα χρήσης των προϊόντων (ενέργεια και τα υποπροϊόντα). Επιπλέον, αφορούν και την ηχορύπανση, την αισθητική όχληση και το επίπεδο ασφάλειας προς αποφυγήν ατυχήματος.

→ Τεχνικά κριτήρια: Αφορούν το σχέδιο ανάπτυξης της υπό μελέτη περιοχής και τα σχετικά σχέδια διαχείρισης των αποβλήτων, την ίδια την περιοχή και τις δυνατότητες επενδύσεων, την υπάρχουσα υποδομή, την απόσταση από τα κέντρα πόλεων, τη δυνατότητα ομαλής και απλής λειτουργίας της μονάδας, την ευκολία στη συντήρησή της καθώς και την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής αυτής, συνυπολογίζοντας την αντοχή στο χρόνο και τις φυσικές φθορές που μπορεί να υποστεί. Λαμβάνεται, επίσης, υπόψη και η απαίτηση σε προσωπικό και η εξειδίκευση αυτού.

→ Κοινωνικά - Θεσμικά κριτήρια: Πρόκειται για την κοινωνική αποδοχή και την πιθανότητα εμφάνισης κοινωνικών συγκρούσεων λόγω των κατοίκων της υπό μελέτη

περιοχής, οι ευρύτερες πολιτικές συνθήκες καθώς και η συμφωνία με το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο.

9.5 Οικονομικά κριτήρια

9.5.1 Τέλη εισόδου

Τα στοιχεία για το κόστος διαφόρων τεχνολογιών διαχείρισης ΑΣΑ, τυπικά, δεν είναι διαθέσιμα για όλες τις παραμέτρους. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες μελέτες που έγιναν για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναζητούν τις εκτιμήσεις των τελών εισόδου (gate fees), τα οποία αντιπροσωπεύουν τη μονάδα (συνήθως ανά τόνο) πληρωμής από την τοπική αρχή στον πάροχο υπηρεσιών διαχείρισης των ΑΣΑ. Δεν αποτελούν «κόστος» και για διάφορους λόγους διαφέρουν από το μέσο ή οριακό κόστος. Υπάρχουν ακόμα και περιπτώσεις όπου η πληρωμή από την τοπική αρχή μπορεί να μην καλύπτει τα έξοδα διαχείρισης των αποβλήτων που έχουν παραδοθεί, δηλαδή, τα gate fees να είναι χαμηλότερα από το κόστος της υπηρεσίας που παρέχεται. [116]

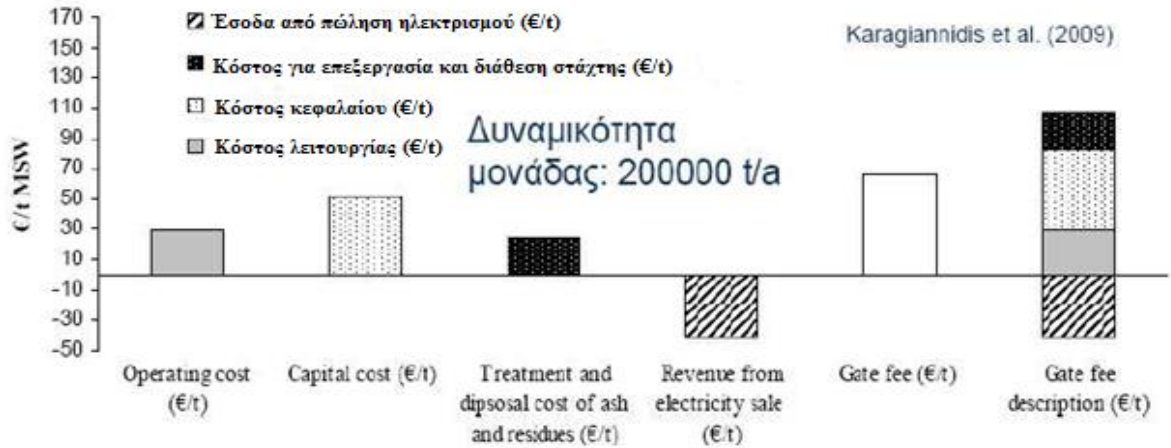
Οι τιμές τους επηρεάζονται από παραμέτρους, όπως:

- Τοπικός ανταγωνισμός (π.χ. κόστος μεταφοράς προϊόντος)
- Η περιορισμένη ή αυξημένη πρόσληψη συγκεκριμένων υλικών ως πρώτη ύλη για επεξεργασία
- Η ακολουθούμενη στρατηγική για τη λειτουργία της κάθε μονάδας κ.ά.

Η εισαγωγή μιας νέας μονάδας μπορεί να διαταράξει την τοπική αγορά τόσο ώστε να επηρεάσει την τιμή των gate fees ακόμα και σε μία μέρα. Συνεπώς, παρόλο που το βασικό κόστος σε μια συγκεκριμένη μονάδα παραμένει σε γενικές γραμμές σταθερό, τα gate fees εμφανίζουν μεγάλες πιθανότητες να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου.

Στην Ελλάδα, η έλλειψη πολυμορφίας εγκαταστάσεων διαχείρισης ΑΣΑ (εκτός των ΧΥΤΑ/Υ) περιορίζει το τέλος εισόδου σε κόστος τελικής διάθεσης.

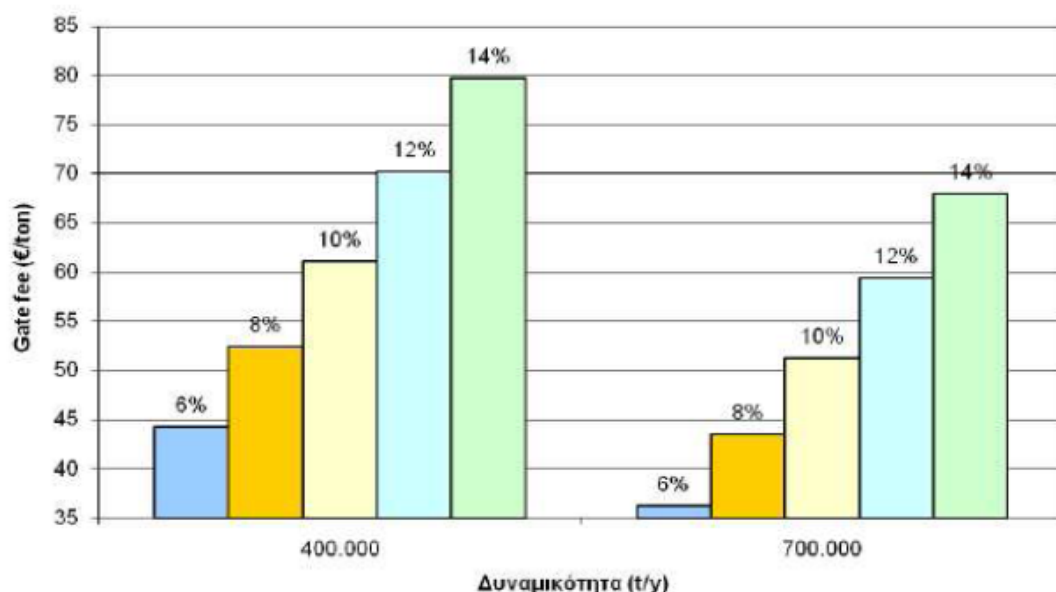
Ουσιαστικά, σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, όπως αποτεφρωτήρες, μηχανικές εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού ή λιπασματοποίησης το gate fee αντισταθμίζει τη λειτουργία, τη συντήρηση, το κόστος εργασίας, το κόστος κεφαλαίου της εγκατάστασης μαζί με όλα τα κέρδη και το τελικό κόστος διάθεσης των άχρηστων υπολειμμάτων, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 9.1.



Σχήμα 9.1 Ανάλυση κόστους εισόδου για ενδεικτική μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης στην Κεντρική Ελλάδα [117]

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, στην Ελλάδα, τα τέλη εισόδου για την καύση-αποτέφρωση των ΑΣΑ θα κυμαίνονται για μια μονάδα ετήσιας δυναμικότητας 400.000 τόνων στα 70€/tn ΑΣΑ και για ετήσιας δυναμικότητας 700.000 τόνων στα 60€/tn ΑΣΑ, 30 με 40€ υψηλότερα από τα σημερινά στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων (Σχήμα 9.2) [13]

Ωστόσο, για την πυρόλυση και την αεριοποίηση το εύρος των τελών εισόδου στην Ευρώπη κυμαίνεται από 167 έως 104€/tn για δυναμικότητες 50.000 και 200.000tn αντίστοιχα ενώ για την αεριοποίηση πλάσματος, το τέλος εισόδου έχει υπολογιστεί ότι θα πλησιάζει τα 100€/tn. [84]



Σχήμα 9.2 Μεταβολή του τέλους εισόδου σε σχέση με τη δυναμικότητα [13]

Ενδεικτικά παρατίθενται στοιχεία των τελών εισόδου για καύση των αποβλήτων σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες (Πίνακας 9.4)

Πίνακας 9.4 Συγκριτικό κόστος για την καύση αποβλήτων σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες. [8]

Χώρα	Gate Fee (€/tn ΑΣΑ)
Αυστρία	326 (60χιλ. tn/έτος) 97 (300χιλ. tn/έτος)
Βέλγιο	71-75 (150χιλ. tn/έτος)
Δανία	30-45
Γαλλία	118-129 (18.7χιλ. tn/έτος) 67-80 (150χιλ. tn/έτος)
Γερμανία	250 (50χιλ. tn/έτος) 65 (600χιλ. tn/έτος)
Ιταλία	41.3-93 (350χιλ. tn/έτος)
Ισπανία	34-56
Ολλανδία	70-134
Σουηδία	21-53
Ηνωμένο Βασίλειο	69 (100χιλ. tn/έτος) 47 (200χιλ. tn/έτος)

9.5.2 Επενδυτικό και λειτουργικό κόστος

Λόγω της μη ύπαρξης μονάδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην Ελλάδα, τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τις τεχνολογίες για τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων είναι συχνά ελλιπή και βασίζονται σε υποθέσεις. Συνεπώς, η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών σε μια κοινή βάση είναι πολύ δύσκολη. Ωστόσο, στον παρακάτω Πίνακα 9.5 έχουν συλλεχθεί πληροφορίες από διάφορες πηγές χρησιμοποιώντας ως βάση ένα κοινό εύρος δυναμικότητας.

Πίνακας 9.5 Στοιχεία δυναμικότητας και επενδυτικού και λειτουργικού κόστους θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. [*41, ** 118, ***84]

	Καύση*	Πυρόλυση**	Αεριοποίηση**	Αεριοποίηση Πλάσματος***
Δυναμικότητα (tn/έτος)	150.000	100.000	100.000	140.000
Επενδυτικό κόστος (€)	80.000.000	73.200.000	76.320.000	95.000.000
Λειτουργικό κόστος (€/tn)	3.760.000	6.700.000	6.700.000	3.050.000

9.5.3 Οικονομική αποτίμηση

Σύμφωνα με στοιχεία για το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος και με σχετική εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης από το TEE (2010) [22], η καύση-αποτέφρωση ενδείκνυται όσον αφορά το κόστος επεξεργασίας σε συνδυασμό με την ανακτώμενη ενέργεια ενώ η πυρόλυση μόνο όσον αφορά το ποσοστό τελικής διάθεσης των υπολειμμάτων. Το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας των τεχνολογιών πυρόλυσης, αεριοποίησης και αεριοποίησης πλάσματος τις καθιστά μη συμφέρουσες εναλλακτικές λύσεις θερμικής διαχείρισης αποβλήτων. Η ίδια κατάταξη ισχύει και για τα gate fees.

Όσον αφορά στο κόστος επεξεργασίας, παρόλο που το επενδυτικό κόστος φαίνεται μικρότερο, η πολυπλοκότητα της κατασκευής των μονάδων πυρόλυσης, αεριοποίησης και αεριοποίησης πλάσματος τις καθιστά ‘ακριβότερες’ από τις μονάδες συμβατικής αποτέφρωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 27% του κόστους επένδυσης των εγκαταστάσεων αναλογεί σε παραμέτρους ανεξάρτητες της δυναμικότητας της μονάδας, όπως η αξία της γης και η εκπαίδευση του προσωπικού ενώ το υπόλοιπο 73% εξαρτάται από την δυναμικότητα, π.χ., ο καθαρισμός των καυσαερίων, ο εξοπλισμός παρακολούθησης και ελέγχου της λειτουργίας κ.ά.

Ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης των μονάδων αποτέφρωσης είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των άλλων τριών μονάδων στην περίπτωση της ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων, με την αεριοποίηση πλάσματος να πλησιάζει την ίδια απόδοση. Με την καύση ανακτώνται 650kWh/tn, με την αεριοποίηση πλάσματος 643 kWh/tn, με την πυρόλυση 377 kWh/tn και με την αεριοποίηση 394kWh/tn, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων πωλείται είτε για ηλεκτροδότηση είτε για θέρμανση ή και για τα δύο, επιφέροντας, έτσι, ένα σημαντικό έσοδο στην κάθε επιχείρηση διαχείρισης αποβλήτων.

Το εύρος της δυναμικότητας των μονάδων πυρόλυσης, αεριοποίησης και αεριοποίησης πλάσματος είναι μικρότερο από το αντίστοιχο των μονάδων αποτέφρωσης. Συνεπώς, οι μονάδες αυτές δεν μπορούν να λειτουργήσουν ανταγωνιστικά των συμβατικών μονάδων καύσης ως προς το κριτήριο της οικονομίας κλίμακας. [22]

9.6 Περιβαλλοντικά κριτήρια

Ένας από τους κυριότερους λόγους για τη δυσπιστία απέναντι στην εφαρμογή των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας στερεών αστικών αποβλήτων είναι το σημαντικό ρυπαντικό

φορτίο που περιέχεται στα προϊόντα (αέρια, υγρά και στερεά) που παράγονται από τις μεθόδους αυτές. Ωστόσο, η θεώρηση αυτή έχει πλέον καταρριφθεί καθώς με τις σύγχρονες διαθέσιμες τεχνολογίες αντιρρύπανσης και την ορθολογική διαχείριση και επεξεργασία των αποβλήτων, οι εκπομπές και των τεσσάρων μεθόδων είναι εντός – κατ' ακρίβεια αρκετά χαμηλότερες- των επιτρεπτών ορίων που τίθενται από τη διεθνή νομοθεσία, καθιστώντας τις, μάλιστα, περιβαλλοντικά πιο «φιλικές» από άλλες ανθρωπίνες δραστηριότητες.

Κατά τις διεργασίες της πυρόλυσης, αεριοποίησης και αεριοποίησης πλάσματος δεν παρατηρούνται εκπομπές αερίων τέτοιες όπως παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή της καύσης. Το βασικό αέριο που παράγεται είναι πλούσιο σε H, CO και CO₂, C_xH_y, κα. (ανάλογα με την αρχική σύσταση των αποβλήτων), και δύναται να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω ως καύσιμο. Επιπλέον, στις διεργασίες αυτές ένας μεγάλος αριθμός ρύπων (π.χ. θείο, βαρέα μέταλλα, κα.) παραμένει στην παραγόμενη τέφρα, χωρίς να μεταφέρεται στην αέρια φάση και να επιβαρύνει την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι το παραγόμενο αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω ως καύσιμο, περιορίζει τον αριθμό και το είδος των αναγκαίων τεχνολογιών αντιρρύπανσης. Ανεξάρτητα από τις εκκλόμενες ποσότητες, πολλά από τα αέρια συστατικά των απαερίων, που προκύπτουν από τις διάφορες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, είναι κοινά και περιλαμβάνουν διοξίνες, βαρέα μέταλλα, οξειδία αζώτου, κ.λπ.

Η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η αεριοποίηση πλάσματος, λόγω της χρήσης μηδενικών ή έστω ελάχιστων ποσοτήτων οξυγόνου αέρα, παράγουν μικρότερες ποσότητες απαερίων ενώ γενικότερα, οι δύο πρώτες μέθοδοι εμφανίζουν παρόμοια ποσοστά ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Όπως είναι φανερό, κατά την καύση εκλύεται μεγαλύτερο ποσοστό αερίων ρύπων και ειδικότερα, η μέθοδος συμβάλλει περισσότερο στην παραγωγή των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους, επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον με βαρέα μέταλλα, διοξίνες και φουράνια όμως, ως προς τα υπόλοιπα κριτήρια, αποτελεί μίας μεσαίας τάξης ρυπογόνο μέθοδο.

Για την αεριοποίηση πλάσματος, ενώ τα στοιχεία δεν είναι επαρκή, αξιοσημείωτη είναι η μηδενική παραγωγή διοξινών και φουρανίων. Αυτό οφείλεται στην διάσπαση, λόγω υψηλών θερμοκρασιών, όλου του άνθρακα που βρίσκεται είτε στη μορφή υδρογονανθρακικών ενώσεων είτε ως στερεό υπόλειμμα.

Στον Πίνακα 9.6 που ακολουθεί αποτυπώνεται ποιοτικά η περιβαλλοντική αποτίμηση-σύγκριση των μεθόδων.

Πίνακας 9.6 Ποιοτική αποτίμηση-σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. [83, 119]

Μέθοδοι/Επιπτώσεις	Καύση	Πυρόλυση	Αεριοποίηση	Αεριοποίηση Πλάσματος
Σωματίδια	++	++	+	+++
Διοξίνες-Φουράνια	+++	++	+	
Αέρια θερμοκηπίου (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	+++	++	++	
CO, SO ₂ , NO _x	+++	+	++	+++
SO ₂				
Hg	++	++	+	+
HCl	+++	+	++	++
HF	++	++	+	
Βαρέα μέταλλα	+++	++	+	+
Τέφρα πυθμένα	+	+	+++	
Ιπτάμενη τέφρα	++	+		
Τελική διάθεση	++	+	+++	
Υπολείμματα προς ταφή	++	+		

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

9.7 Τεχνικά κριτήρια

Η βελτιστοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ αποτελεί σημαντικό παράγοντα της προσπάθειας για βέλτιστη επεξεργασία. Κατά τη σύγκριση των τεχνολογιών, σημαντικό ρόλο παίζουν τα χαρακτηριστικά που αφορούν τη λειτουργία των μονάδων όπως, η έκταση και η δυναμικότητα που απαιτούν για να είναι βιώσιμες οι μονάδες, η ευαισθησία του εξοπλισμού, το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων ακόμα και το πόσο κοντά βρίσκονται ή όχι βρίσκονται σε μεγάλα αστικά κέντρα.

Κατά την εφαρμογή όλων των μεθόδων παρατηρείται ότι τόσο ο όγκος όσο και η μάζα των αποβλήτων υφίστανται μεγάλη μείωση. Συγκεκριμένα, κατά την καύση, τα τελικά υπολείμματα ανέρχονται περίπου στο 10% του αρχικού όγκου των στερεών αποβλήτων και περίπου στο 25-35% του αρχικού βάρους τους λόγω της οξείδωσης των ουσιών και της μετατροπής τους σε αέριες ενώσεις.

Για σύμμεικτα ΑΣΑ, η καύση και η αεριοποίηση πλάσματος φαίνεται πολύ αξιόπιστες μέθοδοι ενώ οι υπόλοιπες εμφανίζουν ευαισθησία εφαρμογής. Η λειτουργία μονάδων πυρόλυσης και αεριοποίησης με σύμμεικτα απόβλητα έχει αναδείξει σημαντικά προβλήματα όμως η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών για κλάσματα των στερεών αποβλήτων (π.χ. RDF - καύσιμο κλάσμα, χαρτί, πλαστικά, ξύλα, ελαστικά κ.λπ.) έχει δώσει καλά αποτελέσματα. Δεν

αποτελούν όμως ακόμη δόκιμη και ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία αλλά γίνονται συνέχεια ερευνητικές προσπάθειες και αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας ή παραλλαγές και βελτιώσεις αυτών.

Οι πιθανότητες βλάβης των εγκαταστάσεων είναι αρκετά μεγάλες εξαιτίας του χαρακτήρα του καυσίμου (διαβρωτικό, ογκώδες κλπ), γεγονός που συνεπάγεται πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση για τη συντήρηση και τις επισκευές της.

Οι μονάδες καύσης αποτελούν βιομηχανικές εγκαταστάσεις και χαρακτηρίζονται από την απαίτηση μικρών σχετικά χώρων για την εγκατάστασή τους. Ωστόσο, οι άλλες μέθοδοι εμφανίζονται ακόμη πιο πλεονεκτικές στον τομέα αυτό.

Ιδιαίτερα οι μονάδες καύσης, απαιτούν μία ελάχιστη δυναμικότητα ώστε να κρίνονται βιώσιμες. Έτσι δύσκολα μπορεί να εφαρμοσθούν σε μικρές πληθυσμιακές ενότητες. Από την άλλη, οι υπόλοιπες τεχνολογίες εφαρμόζονται ή μελετώνται για μικρές μόνο δυναμικότητες, γεγονός που της καθιστά μη συμφέρουσες για την επεξεργασία ΑΣΑ.

Η πυρόλυση και η αεριοποίηση απαιτούν μονάδα προεπεξεργασίας των εισερχόμενων αποβλήτων σε αντίθεση με την καύση.

Οι επιλογές χωροθέτησης των εγκαταστάσεων είναι περιορισμένες λόγω της ανάγκης για ύπαρξη μεγάλου καταναλωτή θερμότητας προκειμένου να βελτιωθεί η βιωσιμότητα όλων των τεχνολογιών. Στην πραγματικότητα, πρέπει να αξιοποιηθεί ακόμα και ποσοστό 70-80% της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.

Η πυρόλυση αποτελεί μία τεχνολογία περισσότερο ευέλικτη σε μεταβολές του όγκου ροής των εισερχόμενων ΑΣΑ όμως κατά την αεριοποίηση δεν παρουσιάζονται τα προβλήματα μεταφοράς θερμότητας που υπάρχουν στην πυρόλυση.

Ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης των συμβατικών μονάδων της αποτέφρωσης είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των καινοτόμων μονάδων στην περίπτωση της ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων.

Ο Πίνακας 9.7 που ακολουθεί αποτυπώνει ποιοτικά την τεχνική αποτίμηση των εξεταζόμενων μεθόδων.

Πίνακας 9.7 Ποιοτική αποτίμηση-σύγκριση τεχνικών παραμέτρων από τη χρήση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. [22, 8, 117]

Μέθοδος/Κριτήριο	Καύση	Πυρόλυση	Αεριοποίηση	Αεριοποίηση Πλάσματος
Απαίτηση έκτασης	+++	++	++	+
Μείωση όγκου και βάρους αποβλήτων	+++	++	++	++
Απαίτηση-Δυνατότητα σε δυναμικότητα	+++	+	+	+
Βλάβες εξοπλισμού	++	++	++	++
Προεπεξεργασία-Διαλογή ΑΣΑ	-	++	++	-
Σύμμεικτα ΑΣΑ	+++	+	+	+++
RDF	++	+++	++++	+++
Εξωτερική πηγή-Αυτοσυντηρούμενη	+/-	+/-	-/+	+/-
Ενεργειακός βαθμός απόδοσης	+++	+	+	++
Εγγύτητα σε πόλεις				
Αρνητική λόγω ρύπανσης/Θετική λόγω διάθεσης ενέργειας	++/++	+/++	+/++	+/++

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

9.8 Κοινωνικά-θεσμικά κριτήρια

Αξιοπιστία μεθόδων

Υπάρχει μία καλά εγκατεστημένη αγορά τεχνολογιών αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων σε παγκόσμιο επίπεδο σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους και, κυρίως με την αεριοποίηση πλάσματος, οι οποίες, ως καινοτόμες, δεν είναι δοκιμασμένες επαρκώς σε εμπορικές εφαρμογές.

Εκτιμώμενες αντιδράσεις από τη χρήση της τεχνολογίας

Τα έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων συνήθως αντιμετωπίζουν δυσκολίες κατά τη χωροθέτησή τους, λόγω αντιδράσεων από την τοπική κοινωνία. Με βάση την ελληνική εμπειρία, η κατασκευή μονάδων θερμικής επεξεργασίας συνδέεται με αυξημένες αντιδράσεις λόγω των πιθανών κινδύνων από τις αέριες εκπομπές, γεγονός που σχετίζεται με την μη επαρκή ενημέρωση και ελλιπή περιβαλλοντική παιδεία. Ωστόσο, οι πιο καινοτόμες τεχνολογίες (πυρόλυση, αεριοποίηση και αεριοποίηση πλάσματος) γίνονται πιο εύκολα

αποδεκτές από τη δημόσια γνώμη, με λιγότερες πιθανότητες να παρουσιαστούν εμπόδια στην υλοποίησή τους. [42]

Αισθητική όχληση των εγκαταστάσεων

Οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας επιβαρύνουν το οπτικό περιβάλλον μέσω κυρίως της καμινάδας. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα δεν είναι καθόλου γνώριμη η εικόνα μιας μεγάλης εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων με καμινάδες που εκλύουν ποσότητες απαερίων καθημερινά σε αντίθεση με μία χώρα της Ευρώπης όπου θεωρείται κάτι φυσιολογικό.

Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό αυτοματισμού μίας εγκατάστασης. Σε μονάδες θερμικής επεξεργασίας, όπου δεν υπάρχει άμεση ανθρώπινη παρέμβαση κατά την επεξεργασία, οι θέσεις εργασίας είναι περιορισμένες.

Συμμόρφωση με την πολιτική της ΕΕ

Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο 2008/98 για τα απόβλητα, τη θεματική στρατηγική για την πρόληψη και ανακύκλωση των αποβλήτων και την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων της Ε.Ε. όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, προβλέπεται η ανάκτηση ενέργειας. [8]

Από τη μία πλευρά, υποστηρίζεται ότι οι θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας συμβάλλουν αποδοτικά στην αξιοποίηση των ΑΣΑ μέσω ανάκτησης της ενέργειας και μείωσης των αποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, από την άλλη, υποστηρίζεται ότι οι μέθοδοι αυτές και ειδικά η καύση, μπορεί να θεωρηθούν ως αντικίνητρο για την εισαγωγή των συστημάτων διαλογής στην πηγή και να μειώσουν τις προσπάθειες των προγραμμάτων ανακύκλωσης και ελαχιστοποίησης στην πηγή.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι η συμβολή στην ανάκτηση ενέργειας δεν θεωρείται δεδομένη καθώς για τις μονάδες θερμικής επεξεργασίας θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις στην απόδοση της εγκατάστασης ώστε η παραγωγή ενέργειας να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανάκτηση σύμφωνα με τη νέα Οδηγία Πλαίσιο (2006/12/ΕΚ) (Παράρτημα 1)

10^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ”

10.1 Συμπεράσματα σχετικά με την καλύτερη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ

Το ευρωπαϊκό κοινοτικό πλαίσιο μέσω των Οδηγιών προσανατολίζει προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις τη διαχείριση των στερεών αστικών αποβλήτων. Στην πυραμίδα ιεράρχησης για τη διαχείριση των αποβλήτων τίθεται ως προτεραιότητα η πρόληψη και η μείωση της παραγωγής αποβλήτων, ενώ ακολουθεί η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση, έπεται η ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ και στη βάση της πυραμίδας βρίσκεται η τελική διάθεση-ταφή των αποβλήτων.

Όσον αφορά στη συνισταμένη ανάκτησης ενέργειας από τα απόβλητα μελετήθηκαν τόσο τεχνολογίες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας εφόσον παράγουν απορριμματογενή καύσιμα όπως τα RDF, SRF και βιοαέριο, όσο και τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας όπως η καύση-αποτέφρωση αλλά και πιο καινοτόμες όπως η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η αεριοποίηση οργανικού πλάσματος των ΑΣΑ. Λαμβάνοντας υπόψη την Ευρωπαϊκή Οδηγία για υψηλή απόδοση ενέργειας εξαιρέθηκαν από τη διαδικασία αποτίμησης οι τεχνολογίες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας κυρίως γιατί τα ποσοστά ανάκτησης ενέργειας είναι αρκετά χαμηλότερα σε σύγκριση με αυτά των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας.

Αναφορικά με τις τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας μπορούν να συναχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όλες οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση και αεριοποίηση πλάσματος μειώνουν τον όγκο των αποβλήτων που οδηγούνται προς ταφή.
- Ανάμεσά τους η καύση – αποτέφρωση φαίνεται να έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά ανάκτησης ενέργειας.
- Η περισσότερο δοκιμασμένη, τεχνικά λιγότερο πολύπλοκη, χωρίς απαιτήσεις σε διαλογή των ΑΣΑ και με μικρότερο κόστος επένδυσης και βιωσιμότητας και μεγαλύτερα ποσοστά ρύπων στο περιβάλλον είναι η τεχνολογία της καύσης - αποτέφρωσης.

- Οι λιγότερο ρυπογόνες, με μικρότερη απαίτηση σε εγκατάσταση χώρου, πολυπλοκότερη τεχνολογία και προϋπόθεση τη διαλογή των ΑΣΑ, φαίνεται να είναι οι τεχνολογίες πυρόλυσης, αεριοποίησης και αεριοποίησης πλάσματος. Οι τεχνολογίες αυτών των μονάδων θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον, στην παρούσα φάση όμως δεν έχουν αποδειχθεί ακόμα ικανές μέσω της εμπορικής εφαρμογής τους να επεξεργαστούν σύμμεικτα στερεά απόβλητα.

10.2 Συμπεράσματα σχετικά με την καλύτερη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για την Ελλάδα

Οι συνθήκες που ευνοούν την ενσωμάτωση των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας στο πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα είναι:

- η σημαντική εμπειρία από την ωρίμανση αντίστοιχων έργων εφαρμοσμένων στο εξωτερικό
- η αποδεδειγμένη απόδοση τους
- η θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών και όρων λειτουργίας από το Ευρωπαϊκό αλλά και το Ελληνικό δίκαιο, που εξασφαλίζουν την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από την εφαρμογή τους
- η ανάγκη περιορισμού των ποσοτήτων που οδηγούνται προς ταφή
- η δυνατότητα των μεθόδων αυτών να συμβάλλουν σημαντικά στην επίτευξη και άλλων πολιτικών στόχων, για παράδειγμα την παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 9 έγινε προσπάθεια να αποτιμηθούν οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας με κριτήρια οικονομικά, περιβαλλοντικά, τεχνικά, κοινωνικά θεσμικά. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα σχετικά με την καλύτερη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για την Ελλάδα:

- Σχετικά με τη μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση η τεχνολογία που φαίνεται να υποστηρίζεται περισσότερο είναι αυτή της καύσης-αποτέφρωσης.
- Σχετικά με την οικονομικότερη από τις προσφερόμενες τεχνολογίες φαίνεται ότι η καύση είναι η περισσότερο συμφέρουσα.
- Σχετικά με το περιβάλλον προτιμότερες είναι οι τεχνολογίες αεριοποίησης, πλάσματος και πυρόλυσης. Βέβαια νεότερα δεδομένα υποστηρίζουν πως η ανάπτυξη

αντιρρυπαντικών φίλτρων στις μονάδες καύσης τις καθιστά φιλικές προς το περιβάλλον τουλάχιστον με τα κριτήρια που θέτει η ΕΕ.

- Σχετικά με τεχνικής φύσης κριτήρια περισσότερο αξιόπιστες για σύμμεικτα ΑΣΑ είναι η τεχνολογία της καύσης και αεριοποίησης μέσω πλάσματος.
- Σχετικά με κοινωνικά κριτήρια περισσότερο δοκιμασμένα και επομένως αξιόπιστη είναι η καύση.

10.3 Αντί επιλόγου

Προφανώς το ζήτημα της διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα αλλά και γενικότερα στον κόσμο θα απασχολεί ομοσπονδίες, κράτη, φορείς και πολίτες που θα καλούνται να συμμετέχουν με έναν τρόπο στο σύστημα που θα προβλέπει τη διαχείριση των αποβλήτων. Και τούτο λόγω ακριβώς της αύξησης των ποσοστών των παραγόμενων αποβλήτων που έχει σχέση αναλογίας με την οικονομική ανάπτυξη.

Για την Ελλάδα που δεν διαθέτει για την ώρα καμιά μονάδα θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ και εξισώνει τη διαχείριση των ΑΣΑ με τη διάθεση σε μεγάλο ποσοστό προς ταφή τα απόβλητα είναι επιτακτικής σημασίας τόσο η πρόταση ενός σχεδίου βιώσιμου και ρεαλιστικού, όσο και η πρόληψη για τις παραμέτρους υλοποίησής του. Ένας εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης των ΑΣΑ δεν φτάνει να προβλέπει το γενικό σχέδιο, να θέτει σε εφαρμογή ρυθμιστικό σύστημα και σύστημα ελέγχου, να εξασφαλίζει τις τεχνικές εγκαταστάσεις που θα υλοποιούν το σχέδιο δράσης. Χρειάζεται να προνοεί για το πώς θα διατεθούν ή από ποιες δομές θα απορροφηθούν τα υπολείμματα των ΑΣΑ ή η παραγόμενη ενέργεια.

Είναι γεγονός πως οι περισσότερες μονάδες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων στην ΕΕ είναι τεχνολογίες καύσης –αποτέφρωσης. Είναι επίσης γεγονός πως μερίδα των φορέων και της επιστημονικής κοινότητας βλέπει με δυσπιστία αυτή τη τεχνολογία για αρκετούς λόγους. Για την πιθανότητα έκλυσης εξαιρετικά βλαβερών απαερίων στην ατμόσφαιρα αν απουσιάσουν τα ειδικά σχεδιασμένα αντιρρυπαντικά φίλτρα, και διότι αυτή η τεχνολογία θα αποτρέψει τους πολίτες να συνεχίζουν να ανακυκλώνουν εφόσον όλα τα απόβλητα (σύμμεικτα πλέον) θα οδηγούνται προς καύση. Επίσης, ειδικότερα για την Ελλάδα, μερίδα των επιστημόνων αντιτάσσεται στη δημιουργία μονάδας καύσης-αποτέφρωσης εξαιτίας του υψηλού κόστους επένδυσης και βιωσιμότητας που θα απαιτηθεί και που θα επιβαρύνει τον πολίτη.

Κάθε τεχνολογία δεν είναι πανάκεια. Όπως και μια λύση δεν είναι κατάλληλη για όλους. Προτού εφαρμοστεί ένα σχέδιο διαχείρισης ΑΣΑ χρειάζεται προσεκτική μελέτη τόσο των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των ελληνικών ΑΣΑ, όσο και των διαθέσιμων κονδυλίων,

πόρων , όσο και των δυνατοτήτων αξιοποίησης των προϊόντων από την επεξεργασία των ΑΣΑ. Προκειμένου να γίνει αυτό, χρειάζεται να εξασφαλίσει με έναν τρόπο τη συναίνεση, τη σύμπραξη των πολιτών που καλούνται να το στηρίξουν. Για αυτό το λόγο οι φορείς θα πρέπει να μεριμνούν για την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών. Θα πρέπει να διευκολύνουν τη συμμετοχή των πολιτών σε προγράμματα διαλογής και ανακύκλωσης των ΑΣΑ. Θα πρέπει τέλος να παρέχουν κίνητρα ή με έναν τρόπο την ανταμοιβή του για τη συμμετοχή του σε αυτά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ν. Μουσιόπουλος, Α. Καραγιαννίδης, “Διαχείριση Απορριμμάτων”, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2002.
- [2] ΕΕΔΣΑ, “Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων: Νομοθεσία και Πολιτική, έννοιες που δεν ταυτίζονται πάντοτε”, ΕΚΠΑΑ, “Η κατάσταση του περιβάλλοντος”, Αθήνα, Ιούνιος 2008.
- [3] Ε. Καλογήρου, “Το πρόβλημα και η λύση της διαχείρισης των απορριμμάτων της Αττικής”, 3ο Διεθνές συνέδριο ΕΕΔΣΑ, Αθήνα, 30-31 Οκτωβρίου, 2009.
www.wtert.gr
- [4] Α. Χ. Μπουρτσάλας, Ν. Ι.Θέμελης, Ε. Καλογήρου, “Περιγραφή της Υφιστάμενης Κατάστασης Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) για τις Περιφέρειες της Ελλάδος”, Earth Engineering Center, Columbia University, 2011
- [5] Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, Πληροφορίες για τη Μέση Σύσταση ΑΣΑ Ελλάδα.. Αντλήθηκε από www.kee.gr
- [6] European Environment Agency, Στοιχεία για την παραγωγή ΑΣΑ χωρών της ΕΕ. 2010, Αντλήθηκε από <http://www.eea.europa.eu/soer/countries/gr/waste-national-responses-greece>.
- [7] Η. Μπεριάτος, Κ. Αραβώσης, Α. Καραγιαννίδης, Γ. Περκουλίδης, Ε. Κολτσίδας, Α. Κούγκολος, “Θεσμικό πλαίσιο και πολιτική διαχείρισης στερεών αποβλήτων: Εξελίξεις και προοπτικές”. Περιβάλλον και Δίκαιο, Τεύχος 2, 2003, σελ 306-323. Εκδ Νομική Βιβλιοθήκη
- [8] Δ. Λάλας, Ε. Γεωργοπούλου, Ε. Γιδαράκος, Ρ. Γκέκας, Α. Λαζαρίδη, Α. Μαυρόπουλος, Σ. Μοιρασγεντής, Ν. Σελλάς, “Εκτίμηση των γενικευμένων επιπτώσεων και κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων”. Τελική μελέτη για το Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Αθήνα 2007.
- [9] Π. Θωμά, “Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων στο Δήμο Πατρών”, Πτυχιακή Μελέτη, τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα 2005
- [10] U. Arena, M.L.,Mastellone, F. Perugini, “The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study”. Chemical Engineering Journal, Vol. 96, 2003, pp 207-222.
- [11] Αντλήθηκε από Royal Veterinary College, <http://estates.rvc.ac.uk>

- [12] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, “Ένα βήμα μπροστά για την αειφόρο χρήση των πόρων: Θεματική Στρατηγική για την πρόληψη της δημιουργίας και την ανακύκλωση των αποβλήτων”, Βρυξέλλες, 21.12.2005.
- [13] Κ. Μαγουλάς, Ε. Βουτσάς, Δ. Τασιός, “Επενδύσεις στην Ενεργειακή Αξιοποίηση Αστικών Απορριμμάτων”, Αθήνα, Δεκέμβριος 2010
- [14] Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002 Laying down the Sixth Community Environment Action Programme. Official Journal of the European Communities, 2002, L 242/1-15.
- [15] Eurostat Data, Waste Statistics, September 2012. Αντλήθηκε από http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics
- [16] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, “Διαχείριση μη επικίνδυνων αποβλήτων”. Αντλήθηκε από <http://www.ypeka.gr/>
- [17] Δάφνη (Δίκτυο Αειφόρων Νήσων). “Σχεδιασμός Αειφόρων δράσεων στα πλαίσια του προγράμματος”, 2008. Αντλήθηκε από <http://www.dafni.net.gr/gr/members/files/mykonos/mykonos-actionplan2008.pdf>
- [18] Α. Παπαδόπουλος, Δ. Φάττα, Κ. Μουστάκας, Φ. Κουρμούσης, Α. Μέντζης, Ε. Σγούρου, Δ. Γκλέκας, Ι. Γκλέκας, Κ. Ναούμ, Α. Λαγούδη, Ι. Σπανός, “Πιλοτική μονάδα πλάσματος. Τεχνική Έκθεση” ΕΜΠ. Αντλήθηκε από www.ntua.gr/life/plasma/reports/deliverable_1.doc
- [19] L.F. Diaz, G.M Savage, “Options for the mechanical-biological treatment of solid wastes”, Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics, 2007, pp 1531-1541.
- [20] Friends of the Earth (Environmental Organization), “Mechanical and Biological Treatment”, 2004. Αντλήθηκε από www.foe.co.uk
- [21] Α. Θεοχάρη, Κ. Αραβώσης, Π. Βαρελίδης, Η. Διαβάτης, Χ. Ζιώγας, Σ. Ιατρού, Α. Α. Μπούρκα, Α. Οικονομόπουλος, Σ. Παπαργηγόριου, Π. Παντελάρας, Ι. Φραντζής, “Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα: Η Περίπτωση της Αττικής”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, Νοέμβριος 2006.
- [22] Ι. Κατσανεβάκης, Α. Μαλαμάκης, Γ. Περκουλίδης, Θ. Τσατσαρέλης, “Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την Ενεργειακή Σκοπιά και οι Προοπτικές Εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2010.
- [23] Η. Alter, “The history of refuse-derived Fuel”, Resources and Conservation, Vol. 15, 1987, pp 251-275.

- [24] A. Gendebie, A Leavens, K. Blackmore, A. Godley, K. Lewin, K.L. Whiting, R. Davis, “Refuse derived fuel: Current practice and perspectives”, European Commission: Directorate General Environment Final report , July 2003.
- [25] E. Kakaras, P. Grammelis, M. Agraniotis, W. Drichis, H.P. Schiffer, J. Maier, T. Hilber, T. Glorius, U. Becker, “Solid recovered fuel as goal substitute in the electricity generation sector”, Thermal Science, Vol. 9, No 2, 2005, pp 17-30.
- [26] J van Tubergen, E. Milieu, T. Glorius, RWE Umwelt, E. W. Scoribel, “Classification of Solid recovered fuels”, European Recovered Fuel Organization, 2005. Αντλήθηκε από www.erfo.info .
- [27] Juniper, “Mechanical – biological treatment: A guide for decision makers, processes, policies markets”, Summary report, 2005. Αντλήθηκε από www.juniper.co.uk
- [28] A. C. Caputo, P. M. Pelagagge, “RDF production plants: Design and costs, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, 2002, pp 423–437.
- [29] L. F. Diaz, G. M. Savage, “Production and quality of Refuse Derived Fuel (RDF)”, Proceedings, Biomass and Waste to Energy Symposium, Venice, 2006.
- [30] B. Bilitewski, “Incineration of Refuse Derived Fuel – Development, problems and chances”, Proceedings, First International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), Skiathos island, Greece, 2007, June 24–28.
- [31] Δ. Παπαγεωργίου, Φ. Θεολόγος, Χ. Τέας, Ε. Χανιωτάκης,, “Εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή τσιμέντου”, Πρακτικά Ημερίδας ΤΕΕ Εναλλακτικές πρώτες ύλες και καύσιμα στη βιομηχανία του τσιμέντου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007.
- [32] I. Vanderreydt, A van der Linden, V. van Hoof, K Vrancken, H. Wenzel, N. S. Ahmed, “Analytical review of comparative environmental assessments of incineration and co-incineration of waste”, Final Report, EURITS 2009. Αντλήθηκε από www.eurits.info
- [33] Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης. CEN/TC 343 Published Standards. Αντλήθηκε από <http://www.cen.eu/CEN/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/Standards.aspx?param=407430&title=CEN/TC+343>.
- [34] C. S. Psomopoulos, A. Batakis, J. Daskalakis, “Residue Derived fuels Production in Greece: An alternative fuel for the power generation sector based in EU and international experience. 6th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, and Distribution, IET Hellas, Thessaloniki, 2-5 November 2008.

- [35] J. Mata- Alvarez, A. Llabrés, “Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspective”, *Bioresource Tchnology*, 74, 2000, pp 3-16.
- [36] Αντλήθηκε από www.dranco.com
- [37] Αντλήθηκε από www.valorgainternational.fr.
- [38] Αντλήθηκε από www.refcom.org.uk.
- [39] Αντλήθηκε από www.bta-international.de.
- [40] Bluestem Solid Waste Agency and Iowa Department of Natural Resources, “Anaerobic digestion feasibility study”, Final report, June 2004.
- [41] Α. Π. Οικονομόπουλος, “Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων: Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και Ορθολογικές Λύσεις”, Φεβρουάριος 2007.
- [42] Α. Καραγιαννίδης, “Θερμική επεξεργασία και ενεργειακή αξιοποίηση στερεών αποβλήτων- Μύθοι και πραγματικότητα” 2006. Αντλήθηκε από http://library.tee.gr/digital/m2492/m2492_karagiannidis.pdf.
- [43] Eurostat, “Statistics on municipal waste 1995-2009: Structural indicator and additional statistics: incineration, recycling and composting”, European Commission, Feb. 2011.
- [44] European Commission, “Integrated Pollution Prevention and Control”, Reference Document on the best available techniques for waste incineration. August 2006. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf .
- [45] Θ. Χιονίδης, “Ενέργεια από απόβλητα: Διαχείριση Απορριμμάτων Περιφέρειας Κρήτης με Θερμική και/ή Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία”, Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά, Νοέμβριος 2007.
- [46] B. Bilitewski, “Thermal Treatment and Energetic Utilization of Solid Waste, Current Status and Perspectives”, Thessaloniki, May, 2008.
- [47] Αντλήθηκε από www.finbioenergy.fi
- [48] A. Smith, K. Brown, St. Ogilvie, K. Rushton, J. Bates, “Waste management options and climate change: Final report”, 2001, European Commission DG Environment, July 2001.
- [49] Hu et al., “Waste to Energy facilities-clean, renewable energy: a compendium of background information”, 2001.
- [50] S. Richter, B. Johnke, “Status of PCDD/F-emission control in Germany on the basis of the current legislation and strategies for further action”, *Chemosphere*, Vol. 54, 2004, pp 1299–1302.

- [51] Ε. Τερζής, “Οδηγός για το περιβάλλον-Διαχείριση Απορριμμάτων”, Αθήνα, WWF Ελλάς. 2009.
- [52] Δ. Χ. Παναγιωτακόπουλος, “Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων”, Θεσσαλονίκη: Ζυγός, 2002.
- [53] N. J. Themelis, “Developments in thermal treatment technologies”, Proceedings, 16th Annual North American Waste-to-Energy Conference, May 2008, Philadelphia, Pennsylvania.
- [54] H. Rechberger, G Schöller, “Comparison of relevant air emissions from selected combustion technologies”, Project cast, CEWEP Congress, Waste-to-Energy in European Policy, 18 May 2006.
- [55] Ε. Καλογήρου, Π. Σαμαράς, (2009). “Μονάδες Ενεργειακής Αξιοποίησης Απορριμμάτων μέσω Καύσης”, IENE, WTERT, 2009.
- [56] Zhang Yufeng et al., “A new pyrolysis technology and equipment for treatment of municipal household garbage and hospital waste”, Department of Building Service, Tianjin University, Tianjin, China, February 2002.
- [57] L. Alibardi, R. Cossu, (2006), “Energy from Wastes and Biomasses: Opportunities and State of the Art”, Proceedings Venice, Biomass and waste to energy symposium, Italy, 2006.
- [58] J. M. Heikinen, J. C. Hordijk, W. de Jong, H. Spliethoff, “Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation”, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 71, 2003, pp 883-900.
- [59] Αντλήθηκε από www.eedsa.gr.
- [60] T. Malkow, “Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal”, Waste Management, Vol. 24, 2004, pp 53-79.
- [61] Αντλήθηκε από www.zerowastescotland.org.uk.
- [62] Juniper, “Pyrolysis and gasification factsheet”. Αντλήθηκε από http://www.biomassinnovation.ca/pdf/factsheet_Juniper_Pyrolysis&Gasification.pdf
- [63] A. V. Bridgwater, “Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading”, Aston University Bioenergy Research Group, Birmingham, UK, January 2011.
- [64] H. Maoyun, X. Bo, L. Shiming, “Syngas production from pyrolysis of municipal solid waste (MSW) with dolomite as downstream catalysts”, School of

- Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, China, December 2008.
- [65] Αντλήθηκε από <http://en.wikipedia.org/wiki/Pyrolysis>.
- [66] B. Bilitewski, “Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologies”, Proceedings Venice 2006: Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC), 2006.
- [67] Α. Ανδρεαδάκης, “Θερμική Επεξεργασία Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (Α.Σ.Α.) και Ιλύων”, 2001.
- [68] Μ. Φούντη Μ, “Σύγχρονα Συστήματα Καύσης-Τεχνολογίες Θερμικής Αξιοποίησης Αστικών Απορριμμάτων”, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ΕΜΠ Αθήνα, 2004.
- [69] Μ. Φούντη, Δ. Γιαννόπουλος, “Τεχνολογίες Αξιοποίησης Βιομάζας”. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.
- [70] Αντλήθηκε από <http://www.emrc.org.au/pyrolysis.html>.
- [71] Advanced Energy Strategies (2004). Investigation into Municipal Solid Waste Gasification for Power Generation. Prepared for Alameda Power & Telecom., 2004.
- [72] Gasification Technologies Council, “Gasification Redefining Clear Energy”, 2008. Αντλήθηκε από www.gasification.org.
- [73] Δ. Φάττα., “Επεξεργασία Αστικών Στερεών Αποβλήτων”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Κύπρος, 2007.
- [74] N. Koulouzas, A. Katsiadakis, E. Karlopoulos, E. Kakaras, “Co-gasification of solid waste and lignite – A case study for Western Macedonia”, Waste Management, Vol. 28,2008, pp 1263-1275.
- [75] Αντλήθηκε από www.nexterra.ca.
- [76] Αντλήθηκε από www.bios-bioenergy.at/en.
- [77] Θ. Χριστοφορίδης, “Αριθμητική Διερεύνηση Καύσης Υδρογόνου και Αερίου Σύνθεσης για Εφαρμογές σε Συστήματα Καύσης και Μετατροπής Ενέργειας”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.
- [78] Αντλήθηκε από www.gec.jp
- [79] Αντλήθηκε από www.w2es.ru.
- [80] D. R. McIllee-Wright,, F. Pinto, I.Armesto, M. A. Caballero, M. P.Aznar, A. Cabanillas, Y. Huang, C. Franco, I. Gulyurtlu, J. T. McMullan, “A comparison of circulating fluidized bed compulsion ad gasification power plant technologies for processing mixtures of coal, biomass and plastic waste”, Fuel Processing Technology, Vol. 87, 2006, pp 793-801.

- [81] Αντλήθηκε από www.zeep.com.
- [82] Α. Μουντούρης, Ε. Βουτσάς, Κ. Μαγουλάς, Δ. Τασιός, “Ενεργειακή Αξιοποίηση Αποβλήτων με Τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας”, 2ο Συνέδριο ΕΕΔΣ, 2006.
- [83] Α. Μουντούρης, “Θερμοδυναμική Προσομοίωση της Αεριοποίησης Πλάσματος για τη Διαχείριση Αποβλήτων”, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, Απρίλιος 2007.
- [84] Α. Νικολάου, “Θερμοδυναμική Προσομοίωση και Τεχνικοοικονομική Μελέτη της Αεριοποίησης Πλάσματος για την Επεξεργασία Στερεών Αστικών Απορριμμάτων”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, Ιούλιος 2010.
- [85] Q. Zhang, L. Dor, D. Fenighstein, W. Yang, W. Blasiak, “Gasification of municipal solid waste in the Plasma Gasification Melting process”, Applied Energy, submitted September 2010.
- [86] Αντλήθηκε από www.waste-management-world.com.
- [87] I. Wender, “Reactions of synthesis gas, Fuel Processing Technology”, Vol. 48, 1996, pp 189-297.
- [88] M. Wittmaier, “Fermentation of Solid Substrates”, Πρακτικά ημερίδας NEUTRA, Ενεργειακή Αξιοποίηση και Θερμική Επεξεργασία Στερεών και Υγρών Αποβλήτων, 15 Δεκεμβρίου 2006.
- [89] European Commission (2006), “What is the Future for Anaerobic Digestion of Solid Waste?”, European Commission DG Environment News Alert Service, October. 2006.
- [90] Κ. Λαζαρίδη, “Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων”, Ημερίδα Δυνατότητες Διαχείρισης Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων: Τα σκουπίδια δεν είναι για πέταμα», 23 – 24 Φεβρουαρίου, 2009, Αλεξανδρούπολη, Καβάλα.
- [91] N. J. Themelis, “Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid waste”, Department of Earth & Environmental Engineering Columbia University. 2002. Αντλήθηκε από www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf
- [92] Αντλήθηκε από www.citec.fi.
- [93] Αντλήθηκε από <http://www.valorgainternational.fr/en/pag20-NOS-PROCEDES.html>
- [94] Αντλήθηκε από www.ows.be/household_waste/dranco.
- [95] Αντλήθηκε από www.anaerobic-digestion.com/html/dranco_process.php.
- [96] H. Parti, “Kompogas: Process description and costings”, Evergreen Energy Corporation Pty Ltd, January 2007.
- [97] Αντλήθηκε από www.kompogas.ch.

- [98] K. Ostrem, “Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes”, M.S. thesis, Columbia University, May2004.
- [99] Αντλήθηκε από www.bta-international.de/en/der-bta-prozess/der-bta-prozess0.html.
- [100] Αντλήθηκε από WtERT www.wtert.eu/default.asp?Menu=13&ShowDok=17.
- [101] P. Haines, “BTA benefits biowaste: Wet anaerobic digestion”, Waste Management World. 2009. pp 38-44.
- [102] CEWEP, Μονάδες καύσης στην ΕΕ, 2006. Αντλήθηκε από www.cewep.eu/information/data/studies/m_408.
- [103] J. Vehlow, 2006), “State of the Art of Incineration Technologies”, Proceedings: Biomass and waste to energy symposium, Venice 2006.
- [104] A. P. Economopoulos, “A Critical Review of the Regional MSW Management Plans in Greece”. Proceedings, International Conference Protection and Restoration of the Environment VIII, Chania, Greece, 2006.
- [105] B. Slater, “Briefing Pyrolysis, gasification and plasma”, Friends of the Earth, September 2008.
- [106] J. Bowyer, K. Fernholz, “Plasma Gasification: An examination of the health, Safety and Environmental records of established facilities”, Dovetail Partners INC, California 2009.
- [107] Αντλήθηκε από <http://www.powerfromwaste.eu/technology.html>.
- [108] Intergrated Waste Management Board, “Evaluation of conversion Technology Processes and products”, Appenices. University of California, 2004. Αντλήθηκε από <http://biomass.ucdavis.edu/files/reports/2004-appendices-to-draft-conversion-technology-report.pdf>.
- [109] F. Campbell, “An overview of the history and capabilities of the thermoselect technology”, 2008. Αντλήθηκε από <http://www.swananys.org/pdf/Thermoselect.pdf>.
- [110] E. Marty, “Case study Production of Fuels from Waste & Biomass by the EDDITH Thermolysis process Recent Industrial Developments”. Insitut Français du Pétrole.2002. Αντλήθηκε από <http://www.ienica.net/usefulreports/pyrolysiscs2.pdf>.
- [111] W. R. Nielsen, ‘Advanced Thermal Processing Alternatives for Solid Waste Management’, Columbia University Cambridge. Αντλήθηκε από <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/nawtec05/nawtec05-08.pdf>.
- [112] DEFRA,. “Waste gas technology: Gasification”, UK. Αντλήθηκε από http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/documents/en_ergos-100603.pdf.

- [113] Integrated Waste Management Board, “Evaluation of Conversion Technology Processes and Products”, Draft Final Report, University of California. September 2004.
- [114] Α. Σκορδίλης, 1997. “Η Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων και RDF”, Ιούλιος 1997. Κόσμος.
- [115] Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Ν. Αττικής, “Μελέτη Αξιολόγησης Μεθόδων Επεξεργασίας Σύμμεικτων Απορριμμάτων στο Νομό Αττικής”, Τελική έκθεση, Απρίλιος 2008.
- [116] Eunomia, “Costs for Municipal Waste Management in the EU, Final Report to Directorate General Environment, European Commission”, 2001.
- [117] Α. Καραγιαννίδης, “Επιπτώσεις τις αειφόρου διαχείρισης απορριμμάτων στα ανταποδοτικά τέλη καθαριότητας”, Κοζάνη, 2009. Αντλήθηκε από http://www.wtert.gr/attachments/article/184/imerida_kozani_karagiannidis_5.5.09.pdf.
- [118] Limerick/Clare/Kerry Waste Management Authority, “Feasibility Study of Thermal Waste Treatment, Recovery Options in the Limerick/Clare/Kerry Region”, August 2005. Αντλήθηκε από <http://www.managewaste.ie/docs/WMPNov2005/FeasabilityStudy/LCK%20Thermal%20Feasibility%20Report-Ful%20%28web%29.pdf>.
- [119] G. Genon, R. Durante, E. Brizio, “Environmental Performances And Energy Efficiency: A Comparison Between Incineration And Pyrolysis/Gasification Technologies For Msw Treatment”, Torino, Italy, 2010

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Βασικό Ισχύον Ευρωπαϊκό & Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Η διαχείριση των ΑΣΑ ρυθμίζεται από μία σειρά Οδηγιών της Ε.Ε, από τις οποίες οι πιο σημαντικές παρατίθενται παρακάτω:

Οδηγία 2008/98: Η νέα Οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ αντικαθιστά την Οδηγία 2006/12/ΕΚ (και καταργεί τις Οδηγίες για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και των λιπαντικών (75/439/ΕΚ, 91/689/ΕΚ). Η αναθεώρηση της Οδηγίας έγινε στα πλαίσια υλοποίησης της Στρατηγικής για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση με στόχο να αποσαφηνίσει έννοιες όπως απόβλητο, διάθεση, αξιοποίηση, να ενισχύσει και να προωθήσει την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων, να εισάγει την έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής στη λήψη αποφάσεων για την διαχείρισή τους και να προωθήσει την ανάκτηση υλικών και ενέργειας.

Η Οδηγία θεσπίζει την ακόλουθη ιεράρχηση ως προτεραιότητα στη νομοθεσία και την πολιτική για τη διαχείριση των απορριμμάτων:

- α) πρόληψη
- β) ανακύκλωση
- γ) άλλου είδους ανάκτηση
- δ) διάθεση.

Επίσης καθορίζει πότε η αποτέφρωση των αποβλήτων θεωρείται ανάκτηση, όταν δηλαδή επιτυγχάνεται ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης, διαφορετικά διάθεση, με πολύ χαμηλή προτεραιότητα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους διαχείρισης, σε συμφωνία και με τα έγγραφα αναφοράς των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών για την αποτέφρωση των αποβλήτων (IPPC Directive).

Από την εφαρμογή του τύπου της ενεργειακής απόδοσης που παρατίθεται στο Παράρτημα ΙΙ της Οδηγίας, προκύπτει ότι οι μονάδες αποτέφρωσης με μοναδικό σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο καθορισμένο όριο απόδοσης. Αυτό καθιστά την αποτέφρωση των αποβλήτων διαδικασία διάθεσης χαμηλής προτεραιότητας σε χώρες με ήπιο κλίμα, όπως η Ελλάδα.

Το ίδιο ισχύει και για το συνδυασμό της βιολογικής ζήραση των ΑΣΑ και την καύση του SRF που παράγεται, το οποίο έχει χαμηλότερη συνολική ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με την άμεση καύση των ΑΣΑ.

Η νέα Οδηγία θέτει επίσης στόχους ανακύκλωσης και αξιοποίησης για τα ΑΕΚΚ (70% το 2020) αλλά και τα οικιακά απόβλητα (50% το 2020), προβλέπει τη θέσπιση στόχων πρόληψης της παραγωγής των αποβλήτων το 2014, καθώς και τη χωριστή συλλογή υλικών όπως το χαρτί, μέταλλα, πλαστικό, γυαλί από το 2015 και έπειτα.

Η νέα Οδηγία Πλαίσιο δεν επιβάλλει ποσοτικούς στόχους ειδικά για τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα, αλλά προτρέπει (άρθρο 22) :

- Την ξεχωριστή συλλογή τους με στόχο την κομποστοποίηση, η οποία θεωρείται δράση ανάκτησης, ή την αναερόβια επεξεργασία τους
- Την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος
- Τη χρήση περιβαλλοντικά ασφαλών προϊόντων από την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων

Η Οδηγία πλαίσιο θέτει όπως αναφέρθηκε το στόχο της ανακύκλωσης του 50% των οικιακών απορριμμάτων, και την χωριστή συλλογή υλικών, τουλάχιστον όσον αφορά στο γυαλί, πλαστικό, χαρτί και μέταλλο. Σύμφωνα με το σχέδιο διαβούλευσης που συνοδεύει την Πράσινη Βίβλο για τη διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, τα κράτη μέλη μπορούν να συμπεριλάβουν στον παραπάνω στόχο και τα οργανικά απόβλητα τα οποία αποτελούν σημαντικό κλάσμα των οικιακών αποβλήτων.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διερευνά το ενδεχόμενο θέσπισης ξεχωριστής οδηγίας για τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα αλλά και τη θέσπιση προδιαγραφών για το compost και έχει προβεί στην ανάθεση σχετικών μελετών για το σκοπό αυτό. Επισημαίνεται πως το σχέδιο Οδηγίας που είχε δημοσιευθεί στο παρελθόν, διαφοροποιεί το κομπόστ (compost) και την κομποστοποίηση που αναφέρονται μόνο σε διαχωρισμένα στην πηγή βιοαπορρίμματα, από τα σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα (stabilized biowaste) που προέρχονται από την μηχανική/βιολογική επεξεργασία (mechanical / biological treatment – MBE) σύμμεικτων ή υπολειμματικών αποβλήτων, ακόμη και στην περίπτωση που τα τελευταία πληρούν τις ποιοτικές προδιαγραφές του compost. Στην παρούσα φάση η Επιτροπή συντονίζει ανοιχτό διάλογο για τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων, με κείμενο αναφοράς την Πράσινη Βίβλο που δημοσιεύτηκε το Δεκέμβριο του 2008. Ο νόμος πλαίσιο με τον οποίο εναρμονίζεται η εθνική νομοθεσία παρουσιάστηκε τον Οκτώβριο του 2010.

Η Οδηγία 98/2008 θέτει αρκετά φιλόδοξους στόχους και δεδομένου ότι στην Ελλάδα τα ποσοστά ανακύκλωσης είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, και η εφαρμογή προγραμμάτων

ΔσΠ οργανικών είναι σχεδόν μηδενική, η εναρμόνιση στο εθνικό δίκαιο πιθανώς να γίνει πιο σταδιακά από ότι η ίδια η Οδηγία ορίζει.

Οδηγία 2004/62: Η Οδηγία 2004/62 θέτει ποσοτικούς στόχους σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων συσκευασίας, οι οποίοι είναι:

Μέχρι το τέλος του 2011, τουλάχιστον το 55% των αποβλήτων συσκευασιών πρέπει να ανακυκλωθούν και τουλάχιστον 60% πρέπει να ανακυκλωθούν και / ή να αποτεφρωθούν. Σε σχέση με τα παραπάνω, τουλάχιστον το 60% του γυαλιού και του χαρτιού, το 50% των μετάλλων, 22,5% των πλαστικών και το 15% του ξύλου που περιέχουν τα απόβλητα συσκευασίας πρέπει να ανακυκλωθούν.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις, συνεπώς, προέβλεπε ότι μπορεί να εκπληρωθεί με την ανακύκλωση υλικών και κάπως υψηλότερες απαιτήσεις που μπορεί να εκπληρωθεί με την ανακύκλωση και / ή αποτέφρωσης

Οδηγία 1999/31: Η Οδηγία 1999/31/EK περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, στοχεύει στην πρόληψη ή στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της ταφής αποβλήτων στο περιβάλλον, και ειδικότερα στις επιπτώσεις στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στον αέρα ή στην υγεία του ανθρώπου. Η Οδηγία ταξινομεί τους χώρους ταφής σε τρεις κατηγορίες:

- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Επικινδύνων Αποβλήτων (X.Y.T.E.A.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής μη επικινδύνων αποβλήτων / υπολειμμάτων (X.Y.T.A/Y.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής αδρανών αποβλήτων (X.Y.T. Αδρανών)

Επιπροσθέτως, αποσκοπώντας στη διασφάλιση της ελεγχόμενης διάθεσης των αποβλήτων, απαγορεύει τη διάθεση των ελαστικών, των νοσοκομειακών και άλλων τύπων αποβλήτων και καθορίζει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρων ταφής.

Τέλος θεσπίζονται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι για τη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, οι οποίοι είναι 75% το 2010, 50% το 2013, 35% το 2010, με ποσότητες αναφοράς εκείνες που οδηγήθηκαν προς Υ.Τ. το 1995. Επιβάλλεται η διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής από τα κράτη μέλη, για την προσέγγιση των παραπάνω στόχων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ Η ΓΝΩΣΗ ΘΑ ΔΩΣΟΥΝ ΛΥΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΑΣ

Η πειραματική μονάδα επεξεργασίας απορριμμάτων με τη μέθοδο της αεριοποίησης, βρίσκεται στη Μύκονο από τις 24 Μαρτίου, με σκοπό τη δοκιμαστική λειτουργία της στο χώρο του ΧΥΤΑ, όπου και θα παραμείνει μέχρι το τέλος Ιουλίου, μέχρι δηλαδή να συμπληρωθεί το δοκιμαστικό στάδιο της τεχνολογικά προηγμένης αυτής μεθόδου.

Τη μονάδα συνόδεψε η καθηγήτρια της Σχολής χημικών μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και υπεύθυνη του εργαστηρίου επιστήμης και τεχνολογίας περιβάλλοντος και Μαρία Λοϊζίδου η οποία μίλησε στο ΜΥΚΟΝΙΑΤΗ για το πρόβλημα της Μυκόνου και το μέλλον των απορριμμάτων μας. Η κα Λοϊζίδου είναι διακεκριμένη επιστήμη στο χώρο των σύγχρονων τεχνολογιών στη διαχείριση των απορριμμάτων και όπως λέει και η ίδια «η εξέλιξη της τεχνολογίας και η γνώση είναι ο υπέρσπουδα δώσαν τη λύση στο παγκόσμιο πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων».

Η κα Λοϊζίδου ανέλαβε στο ΜΥΚΟΝΙΑΤΗ το πρόβλημα της Μυκόνου και – μέσω της μονάδας αεριοποίησης – μας πρόσφερε και τη λύση η οποία αν υπάρξει προσάθεται και καλή θέληση από τις Αρχές του τόπου μας φαίνεται και εφικτή και κυρίως απο τελεματική και μόνιμη:

«Το πρόβλημα της Μυκόνου μελλοντικά θα μπορούσε να λυθεί με ένα ΣΥΝΟΛΟ διαχείρισης των απορριμμάτων της: Λέγοντας σύνολο διαχείρισης εννοούμε ένα συνδυασμό ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ – ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΧΥΤΑ Μ' αυτό τον τρόπο, τα μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα, θα αεριοποιούνται στη μονάδα αεριοποίησης και μόνο όσα δεν μπορούν να αεριοποιηθούν θα καταλήγουν στον ΧΥΤΑ. Έτσι ο ΧΥΤΑ της Μυκόνου θα μπορούσε να αντέξει για πολλά χρόνια, αφού ελάχιστες θα ήταν οι ποσότητες απορριμμάτων που θα κατέληγαν σ' αυτόν.»

Το σύνολο αυτό της διαχείρισης των απορριμμάτων, είχε αντιληφθεί ο πρώην Δήμαρχος κος Βερώνης, ο οποίος μετά από συζητήσεις μαζί μου, από το 2008, ίσως και νωρίτερα, κατέληξε να τοποθετηθεί στη Μύκονο, αυτή η μικρή τελεματική μονάδα που

βρίσκεται ήδη εδώ, με σκοπό να γίνει η επί τόπου λειτουργία της και να βγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα, που θα μας οδηγήσουν στην εγκατάσταση μιας πλήρους μονάδας, που θα καλύπτει τις ιδιαίτερες ανάγκες του νησιού.

Με την πιστοποίηση αυτής της μονάδας αεριοποίησης επιδεικνύεται στη Μύκονο – για πρώτη φορά σε όλη την Ελλάδα – μια σύγχρονη τεχνολογία στη διαχείριση των απορριμμάτων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι δοκιμασμένη κυρίως στην Αμερική, στην Ιαπωνία και ελάχιστα στην Ευρώπη, γι' αυτό και στηρίζεται – ηθικά και οικονομικά – από την Ευρωπαϊκή Ένωση, με σκοπό μετά τη δοκιμαστική της περίοδο, να επεκταθεί η χρήση της σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η δομή της λοιπόν στη Μύκονο, είναι πολύ καθοριστικής σημασίας για την Ελλάδα, αλλά και για την Ευρωπαϊκή Ένωση.



ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΜΟΝΑΔΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η μονάδα έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται οικιακά, νοσοκομειακά, ελαστικά, επικίνδυνα και άλλα απορρίμματα. Τα στερεά, με ποσοστό χαμηλή παροχή αέρα και υψηλές θερμοκρασίες

περίπου 1000 βαθμούς Κελσίου – μετατρέπονται με τη μέθοδο της αεριοποίησης, σε αέριο υψηλής θερμογόνου δυναμής, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και έτσι κατ' αρχήν η μονάδα γίνεται ενεργειακά ανεξάρτητη. Αυτό που μένει μετά την παραπάνω επεξεργασία, είναι ένα στερεό υπόλειμμα, πολύ μικρό σε ποσότητα (3 – 5% της αρχικής ποσότητας απορριμμάτων) το οποίο μορφοποιείται σε αδρανές υλικό, υαλοποιημένο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Με την τεχνική αυτή, οι αέριες εκπομπές είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί, χωρίς την ύπαρξη επικίνδυνων αερίων ροτών. Αυτό οφείλεται κυρίως στο σύστημα αεριοποίησης, όπου χρησιμοποιείται ελάχιστος αέρας σε σχέση με την κλασική μέθοδο και οι υψηλές θερμοκρασίες που υπάρχουν δεν επιτρέπουν τη δημιουργία επικίνδυνων αερίων εκπομπών.

Τα αποτελέσματα του πειράματος, θα πρέπει να οδηγήσουν στην προκήρυξη ενός πλήρους έργου αεριοποίησης, που θα κάνει τη Μύκονο ένα «πράσινο νησί». Θα πρέπει λοιπόν να είστε και εδώ πρωτοπόροι, αφού ένα τέτοιο έργο, θα λειτουργήσει στη Μύκονο, για πρώτη φορά στον ελληνικό χώρο.

Η μονάδα θα είναι ενεργειακά αυτόνομη. Θα παράγει μάλιστα και πλεονάζοντα ενέργειας το οποίο θα μπορεί να πουλήσει στη ΔΕΗ. Το πλήρες σύστημα θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί τις μεγάλες ποσότητες απορριμμάτων που παράγονται και εποχικά. Η μονάδα θέλει πολύ μικρό χώρο για να στεγαστεί και η λειτουργία της δεν θα προκαλεί καμία οχλήση».

Ο ΜΥΚΟΝΙΑΤΗΣ ευχαριστεί θερμά την κα Λοϊζίδου για τη σημαντική ενημέρωση, αλλά κυρίως για το έργο της, που ευχόμαστε ολόψυχα να στεφθεί από απόλυτη επιτυχία.

Ας ευχθούμε επίσης η χώρα μας να ανοίξει επίπλους την πόρτα στις νέες τεχνολογίες για τη διαχείριση των απορριμμάτων και να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες χρηματοδότησης που της δίνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση προς αυτή την κατεύθυνση.

Πηγή: “Ο Μυκονιάτης” Μηνιαία εφημερίδα προβολής και ανάπτυξης των ζητημάτων της Μυκόνου., Μάρτιος 2009. Αντλήθηκε από http://www.mykonos.gr/images/site/1000/270_MARTIOS%2009.pdf.



Πηγή e-mykonos, Ενημερωτική δικτυακή πύλη της Μυκόνου, 1/04/2009. Αντλήθηκε από <http://www.e-mykonos.gr/?MODULE=bce/application/pages&SiteID=2827>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Μονάδα καύσης στη Βιέννη, Αυστρία



Αντλήθηκε από <http://www.building.am/page.php?id=288>.

The Spittelau Waste Incineration Plant Best Practice UN-Habitat 1996, Update 2002 Lead Idea

A dynamic waste plan is to be devised, ranging from providing information and opinion-forming on avoiding the creation of waste, through optimising waste separation and recycling, to the possibilities for using the energy content in residual waste. A further emphasis is on minimising problematic residues and waste gases, taking into account social, health, legal and community needs.

Starting Position

The presence of hazardous materials in ash and slag can only be prevented if such materials are not used in the production of goods. Excessive residual waste represents a waste of resources. Even non-hazardous waste materials can become a problem, in terms of volume. A certain amount of waste cannot be re-utilised, for example multi-component products, products which have already been recycled several times, or severely contaminated substances. Nevertheless, these waste items are not worthless. Their energy content can be converted into electricity and district heating by incineration. The reduction in the volume of waste is an additional beneficial side-effect.

Methods

A storage depot receives deliveries from 250 waste vehicles daily, and holds reserves for three days. The plant itself comprises two boilers to produce steam from the waste. Attached to these is a counter-pressure turbine to generate electricity, four heat exchangers for district heating supply, and waste gas purification plants. To destroy pollutants in the boiler start-up

and shut-down phases, a condition is imposed which requires the flue gas to be heated to a temperature of 850° C for at least two seconds. The incineration process generates high-pressure steam, which drives a turbine and a coupled generator to cover its own electricity needs. If excess electricity is generated, this is fed into the national grid, and during downtime for maintenance periods electricity can be drawn from the grid to power the plant. The steam and the return water from the district heating pipe-work are fed through a group of condensers. This enables the energy to be transferred from the steam to the return water. Slag and ash are taken separately to the hazardous waste landfill and mixed there with cement and water. This slag cement is used as a construction material at the landfill, and is inert and chemically inactive. The filter cakes, which contain heavy metals, are stored in a subterranean salt-mine in Germany.

Experiences

The district heating plant at Spittelau generated 36,400 MWh of electricity in one year from 263,200 m³ waste deliveries, and heated 190,000 homes and 4,200 public buildings, including Vienna's largest hospital. Continuous checks and innovations in the waste gas purification plant are setting standards for the emission of pollutants. The DeNOx plant, which reduces dioxin emissions as well as the nitrogen oxides generating more low-level ozone, is amongst the most modern in Europe. The waste gas emissions from the DeNOx plant are continuously measured by the authorities. On average, all emissions are below 30% of threshold values. The waste incineration plant is only permitted to operate if the entire flue gas purification process is functioning properly.

Transfer Potential

The Spittelau waste incineration plant forms part of the city's waste management plan. The fundamental aim is to prevent the creation of waste. For the residual waste, the waste incineration plant represents the realisation of a plan which conforms to the latest standards. The approach can be transferred to other urban systems.

Due to the design of the plant by Viennese artist Friedensreich Hundertwasser, who died in 2000, the plant has become a tourist attraction and the whole area where several other architectonic and social sites are situated (e.g. university departments) a new meeting point in the city.

In 2001, a partnership was established between the waste incineration plant at Spittelau and Maishima Osaka Plant (MOP) or rather the city of Osaka. Both plants were "beautified" by the artist Friedensreich Hundertwasser. In designing the outside of the buildings he created a work of art and attraction for thousands of people.

- The partnership between the two incineration plants at Spittelau and Maishima Osaka Plant (MOP) was established primarily for the purpose of exchange of information on the following:
- Operational management (energy reuse, waste management,..)
- Operational experience with various technologies
- Dealing with the public
- Passing on Hundertwasser's ideas and visions to posterity.

In the long run continuous exchange of information will not only bring advantages to both plants but will also positive effects on politics and relations between the countries.

Lessons Learned

Mutual visits have already taken place since the partnership was first signed. Teams of experts were able to exchange experiences in the field of operational management as well as with social activities of the two plants and relevant urban policies. Encouraged by the new partnership two teams of experts from Osaka came to visit last year. They emphasized the importance of the buildings designed by master Hundertwasser but also their acceptance by the public and discussed the relevant data to support their findings. The second team of experts took a close look at operation and management as well as at the plant itself. In return, two teams of experts from Vienna travelled to Japan. They were present at the opening of the urban waste management system and also visited the social institutions of the city's enterprises.

Dealing with the public currently represents one of the major issues for exchange of information. Thus, many Japanese tourists were seen at the plant at Spittelau in the months prior to the opening of their own plant. Both plants now advertise for each other and for the fact that both countries are active in the field of environmental protection and urban waste management. Both plants have reached the same level of process engineering. Relevant papers in both countries have paid tribute to this.

The partnership also intends to launch exchange programmes for staff at the two plants. One major advantage of the partnership is the transfer of technology and marketing strategies which will help to raise the technical standards to the best technology available but also to improve public relations in the field of environmental protection.

Μονάδα Πυρόλυσης Burgau, Germany.



Facility Name: Müllpyrolyseanlage (MPA) MSW Pyrolysis Plant

Location: The (MPA) MSW Pyrolysis Plant is located two miles outside the City of Burgau, Germany. This plant processes refuse for about 120,000 residents, 34,000TPY, which all the county of Günzburg (294 square miles). The plant is located on a three (3) acres lot and it is adjacent to the county council's landfill (closed landfill). Farmland surrounds the site within a one-mile radius. The plant started operating in 1984 and in 1987 the facility was taken over by the county of Günzburg, and presently the plant is operating to its full capacity.

Start-up Date:

- Beginning of trial run in 1983
- Commissioning in mid-1984
- One year test run by plant supplier in 1986
- Takeover by county in 1987

Conversion Technology: Thermal:Pyrolysis (kiln)

Conversion Technology Supplier: WasteGen UK Ltd. Technology is designed by TechTrade.

Definition: Pyrolysis – The thermal degradation of carbon-based materials through the use of an indirect, external source of heat, typically at temperatures of 750 to 1,650°F, in the absence or almost complete absence of free oxygen. This thermally decomposes and drives off the volatile portions of the organic materials, resulting in synthetic gases (syngas) composed primarily of hydrogen (H₂), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). Some of the volatile components can be formed into tars and oils to be used as fuel. Air emission control systems remove almost all air pollutants. After cooling and cleaning in emission control systems, the syngas can be utilized in boilers, gas turbines or

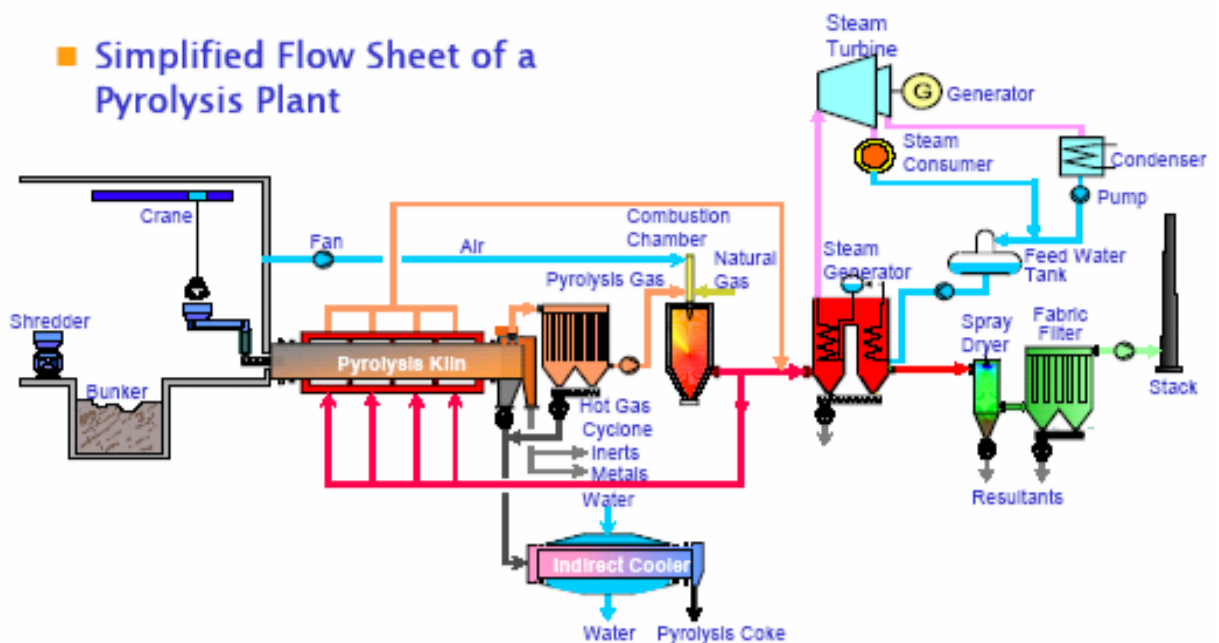
internal combustion engines to generate electricity or used to make chemicals. The organic materials that are not volatile or liquid are left as a char material that can be further processed or used for its absorption properties (activated carbon). Inorganic materials form a bottom ash that requires disposal.

Feedstock: The plant process about 38,580 tons/year of municipal solid waste (MSW), which include; residual domestic waste, commercial waste, bulky waste, and sewage sludge (feedstock is 25% moisture, 45% organic, 30% inorganic). No pre-segregation of the MSW feedstock is provided, however, all material must be shredded into a 12-inch maximum size. Heating value of feedstock is:

- average 3,662 Btu/lb
- max 6,033 Btu/lb
- min 2,155 Btu/lb

Technology Description: The two-unit plant consists of:

- Refuse treatment
- Two rotary kilns
- Dust separation
- Combustion chamber for pyrolysis gas incineration
- Waste heat boiler and steam turbine generator
- Bag house filter with addition of sodium bicarbonate and activated carbon
- Induced draft fan and stack.



Πηγή:

http://www.lacitysan.org/solid_resources/strategic_programs/alternative_tech/PDF/PyrolysisFacility.pdf.

Αθήνα

Σεπτέμβριος 2013