

## **ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ**

# **Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας**

### **Ομάδα εργασίας**

Κατσανεβάκης Ι. Χημικός Μηχανικός  
Μαλαμάκης Α. Μηχανολόγος Μηχανικός  
Περκουλίδης Γ. Μηχανολόγος Μηχανικός  
Τσατσαρέλης Θ. Μηχανολόγος Μηχανικός

**Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2010**

## Πρόλογος

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 η διάθεση σε ταφή ανεπεξέργαστων στερεών αποβλήτων δεν επιτρέπεται και από το κοινοτικό και ελληνικό θεσμικό πλαίσιο από το 1999 και το 2002 αντίστοιχα.

Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την προώθηση της ανακύκλωσης και της επεξεργασίας των απορριμμάτων, με τη θερμική τους επεξεργασία (waste to energy - ενεργειακή αξιοποίηση) να έχει αρχίσει να επανέρχεται στο προσκήνιο ως πιθανή λύση. Συχνά, η θερμική επεξεργασία θεωρείται λαθεμένα ανταγωνιστική της ανακύκλωσης, ωστόσο λειτουργεί συμπληρωματικά, καθώς στοχεύει στα υπολείμματα των κέντρων διαλογής και στα υλικά, τα οποία δε δύνανται να ανακυκλωθούν και σε όλες τις περιπτώσεις έπεται χρονικά και λειτουργικά της ανακύκλωσης.

Με βάση το παραπάνω πλαίσιο, το ΤΕΕ - Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας με την Απόφαση Α222/Σ13/08 της Διοικούσας Επιτροπής συνέστησε Ομάδα Εργασίας, αποτελούμενη από τους:

- Κατσανεβάκη Ιωσήφ (Χημικός Μηχανικός)
- Μαλαμάκη Απόστολο (Μηχανολόγος Μηχανικός)
- Περκουλίδη Γεώργιο (Μηχανολόγος Μηχανικός)
- Τσατσαρέλη Θωμά (Μηχανολόγος Μηχανικός)

με στόχο τη διερεύνηση της ενεργειακής αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων και τις προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας.

Στην παρούσα μελέτη, αποτέλεσμα των εργασιών της Ομάδας Εργασίας, γίνεται μια προσπάθεια συγκριτικής αξιολόγησης των τεχνολογιών επεξεργασίας στερεών αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας, με βάση τη διεθνή εμπειρία, προσαρμοσμένη σε ελληνικά δεδομένα και πιο συγκεκριμένα στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Ωστόσο τα αποτελέσματα που εξάγονται θα μπορούσαν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά του μεγαλύτερου μέρους της Ελληνικής επικράτειας.

Η μελέτη αποτελείται από έξι κεφάλαια και ένα παράρτημα. Το πρώτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί την εισαγωγή, αναφέρεται στο γενικότερο πλαίσιο στο οποίο κινείται η έρευνα. Το δεύτερο κεφάλαιο αφιερώνεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση των θεμάτων, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια και στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται έρευνα του νομοθετικού πλαισίου και των διαδικασιών αδειοδότησης. Στο τέταρτο κεφάλαιο διεξάγεται πολυκριτηριακή ανάλυση για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τεχνολογίας θερμικής επεξεργασίας και στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μελέτη για εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων στο Νομό Πιερίας. Τέλος το έκτο κεφάλαιο αποτελείται από τα συμπεράσματα της εργασίας. Επιπλέον στο παράρτημα Α παρατίθεται η περίπτωση του αποτεφρωτήρα των Άνω Λιοσίων.

## Περίληψη

Τον Νοέμβριο του 2008 δημοσιεύτηκε η νέα οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου για τα απόβλητα, η οποία προτείνει πολλές αλλαγές που θα αλλάξουν τον τρόπο διαχείρισης αποβλήτων στην ΕΕ. Μεταξύ των άλλων σύμφωνα με την νέα ιεράρχηση της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων, η ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα είναι πλέον προτιμότερη στην ιεράρχηση από την τελική τους διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Με βάση τα παραπάνω και καθώς διερευνάται όλο και περισσότερο το θέμα της ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων, στόχος της παρούσας μελέτης είναι η δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογιών επεξεργασίας με ανάκτηση ενέργειας (Waste To Energy) στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας ως βιώσιμη λύση για την επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό έγινε αρχικά βιβλιογραφική ανασκόπηση των πλέον σύγχρονων τεχνολογιών, των χαρακτηριστικών τους, των τελικών προϊόντων τους, καθώς και στοιχείων που αφορούν σε κόστος κατασκευής και λειτουργίας των μονάδων. Επίσης σε κάθε περίπτωση εξετάστηκε ποιες μονάδες υπάρχουν επί του παρόντος σε λειτουργία στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ποια οικονομικά αποτελέσματα προκύπτουν από τη λειτουργία τους.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα σε θέματα εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων είναι η αδειοδότησή τους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες καθυστερήσεις υλοποίησης των έργων. Κατά συνέπεια κρίθηκε σκόπιμο να διεξαχθεί έρευνα του νομοθετικού πλαισίου, να προσδιοριστούν οι εμπλεκόμενοι φορείς και να αναλυθεί η διαδικασία αδειοδότησης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων.

Στη συνέχεια διεξήχθη πολυκριτηριακή ανάλυση με στόχο την εξεύρεση της βέλτιστης τεχνολογίας θερμικής επεξεργασίας. Οι τεχνολογίες που συγκρίθηκαν ήταν η αποτέφρωση των αστικών στερεών αποβλήτων και απορριμματογενών καυσίμων, η αεριοποίηση και η πυρόλυση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης και της ανάλυσης ευαισθησίας, η αποτέφρωση στερεών αποβλήτων (mass fired) προκρίθηκε στην πρώτη θέση, στις περισσότερες των εξεταζόμενων περιπτώσεων μεταβολής της βαρύτητας των κριτηρίων.

Παράλληλα εξετάστηκε με πραγματικά δεδομένα και με βάση τεχνοοικονομικά κριτήρια, η εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας στο Νομό Πιερίας. Στην περίπτωση

αυτή μελετήθηκε η κατασκευή και λειτουργία μονάδας αναερόβιας ζύμωσης, όπως και μονάδας πυρόλυσης. Επίσης ένα θέμα που εξετάστηκε είναι η δυνατότητα αξιοποίησης της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας και η σύνδεση των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων με υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας.

Η Ομάδα Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ μετά από τεχνικοοικονομική ανάλυση βασισμένη σε τρέχοντα δεδομένα, τίθεται υπέρ των λύσεων ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων με τις εξής προϋποθέσεις:

1. την κατά τουλάχιστον 80-90% αξιοποίηση της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας της μονάδος για υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με μεσοπρόθεσμα συμβόλαια θερμικών καταναλωτών (10-15 έτη),
2. την εφαρμογή αυστηρών περιβαλλοντικών όρων για τις σχεδιαζόμενες μονάδες,
3. την παράλληλη εφαρμογή της ανακύκλωσης με την αναερόβια ζύμωση και την άμεση θερμική επεξεργασία,
4. την ολοκληρωμένη και αυτοτελή εξέταση της κάθε περίπτωσης μέσω επιθεώρησης ως προς τα ισοζύγια μάζας, ενέργειας καθώς και των περιβαλλοντικών πιέσεων που θα προκύψουν,
5. την ασφαλή και υγιεινή διάθεση των στερεών υπολειμμάτων της ενεργειακής αξιοποίησης σε ΧΥΤΥ και ΧΥΤΕΑ,
6. την υποχρεωτική τακτική δημοσιοποίηση των μετρήσεων των εκροών των μονάδων.

**Εν κατακλείδι η ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ αποτελεί ενδεχόμενο συστατικό ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων, εξετάζοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης εφαρμογής με γνώμονα την αειφορία του συστήματος και με βάση τις κυρίαρχες επιλογές του κυρίου των έργων, που εν προκειμένω είναι η Τοπική Αυτοδιοίκηση της χώρας μας.**

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	2
Περίληψη .....	4
Κατάλογος Σχημάτων .....	7
Κατάλογος Πινάκων.....	8
Κατάλογος Ακρωνυμίων .....	10
1. Εισαγωγή.....	11
2. Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ .....	13
2.1. Τεχνολογίες αποτέφρωσης .....	15
2.1.1. Περιγραφή τεχνολογίας .....	15
2.2.2. Εκπομπές καυσαερίων αποτέφρωσης .....	21
2.2.3. Ενεργειακή απόδοση εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ.....	23
2.2.4. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ .....	27
2.2.5. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας .....	28
2.2. Αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων.....	32
2.2.1. Περιγραφή τεχνολογίας .....	33
2.2.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης .....	35
2.2.3. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ .....	42
2.2.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας .....	43
2.3. Πυρόλυση .....	45
2.3.1. Περιγραφή τεχνολογίας .....	45
2.3.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης .....	47
2.3.3. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ .....	47
2.3.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας .....	48
2.4. Αεριοποίηση.....	48
2.4.1. Περιγραφή τεχνολογίας .....	48
2.4.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης .....	49
2.4.3. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ .....	50
2.4.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας .....	50
2.5. Αναερόβια ζύμωση οργανικού κλάσματος ΑΣΑ .....	50
2.5.1. Περιγραφή τεχνολογίας .....	51
2.5.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης .....	54
2.5.3. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ .....	54
2.5.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας .....	55
2.6. Ανάλυση SWOT .....	56
2.7. Βιβλιογραφία .....	61
3. Νομοθετικό πλαίσιο – διαδικασίες αδειοδότησης.....	65
3.1. Εμπλεκόμενοι φορείς .....	65
3.2. Διαδικασία αδειοδότησης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων.....	66
3.3. Εκτίμηση ελάχιστων χρόνων για την υλοποίηση κάθε φάσης .....	68
3.5. Ενημέρωση και συμμετοχή πολιτών .....	70
4. Ανάλυση-επιλογή κριτηρίων για επιλογή βέλτιστης τεχνολογίας.....	72

4.1 Κριτήρια αξιολόγησης.....	72
4.2. Ανάλυση ευαισθησίας – προσδιορισμός βέλτιστης λύσης.....	75
4.5. Βιβλιογραφία .....	80
5. Μελέτη περίπτωσης στο Νομό Πιερίας.....	83
5.1. Παρούσα κατάσταση παραγωγής αποβλήτων στο Νομό Πιερίας.....	83
5.2. Προμελέτη εφαρμογής μονάδας αναερόβιας ζύμωσης .....	84
5.2.1 Περιγραφή μονάδας .....	84
5.2.2. Οικονομική ανάλυση προτεινόμενης μονάδας.....	88
5.3. Προμελέτη εφαρμογής μονάδας πυρόλυσης.....	94
5.3.1. Περιγραφή μονάδας .....	94
5.3.2. Οικονομική ανάλυση προτεινόμενης μονάδας.....	96
5.4. Συγκριτική αξιολόγηση μελετών εφαρμογής ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων για το Νομό Πιερίας .....	102
5.5. Δυνατότητες σύνδεσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης σε υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας.....	103
5.6. Βιβλιογραφία .....	103
6. Προτάσεις - Συμπεράσματα.....	104
Παράρτημα Α.....	108

### Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1: Μονάδα αποτέφρωσης Α.Σ.Α. στη Γερμανία (TA Lauta, 2008).....	17
Εικόνα 2: Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Λάλας κ.ά., 2007).....	17
Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης αποτέφρωσης ΑΣΑ (Λάλας κ.ά., 2007). .....	18
Εικόνα 4: Εκπομπές από μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με ολικές εκπομπές στην Αυστρία (Bilitewski, 2008) .....	22
Εικόνα 5: Πηγή διοξινίων και ποσοτικοποίησή τους στη Γερμανία .....	22
Εικόνα 6: Ενεργειακή απόδοση μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρισμού και αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας (προσαρμοσμένο από Καλογήρου, 2009) .....	24
Εικόνα 7: Εξέλιξη του βαθμού απόδοσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων (Bilitewski, 2008). .....	26
Εικόνα 8: Τυπικό Ενεργειακό ισοζύγιο σε μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ .....	26
Εικόνα 9: Χάρτης με τις μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ στην Ευρώπη το 2006 και συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 (CEWEP, 2009).....	27
Εικόνα 10: Ποσοστό αποτέφρωσης απορριμμάτων στην ΕΕ (Vehlow, 2006) .....	28
Εικόνα 11: RDF (Japanese Advanced Environment Equipment, 2008).....	33
Εικόνα 12: Διατάξεις παραγωγής RDF (Diaz and Savage, 2006).....	35
Εικόνα 13: Χάρτης με τις μονάδες αποκλειστικής αποτέφρωσης RDF στην Ευρώπη το 2006 και συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 (CEWEP, 2009)...	42
Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης (Λάλας κ.ά., 2007). ....	46
Εικόνα 15: Υποσυστήματα πυρολυτικού αντιδραστήρα (Λάλας κ.ά., 2007). .....	46
Εικόνα 16: Διάγραμμα ροής της διεργασίας της αεριοποίησης (Λάλας κ.ά., 2007)...	49

Εικόνα 17: Τέφρα (% κ.β.) προς διάθεση μετά τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων σε μονάδες μαζικής καύσης και καινοτόμες μονάδες [3].	73
Εικόνα 18: Συχνότητα κατανομής της κατάταξης κάθε τεχνολογίας (θέση 1: καλύτερη, θέση 5: χειρότερη) για τους 10 συνδυασμούς βαρών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ευαισθησίας.	78
Εικόνα 19: Μέση Σύσταση Απορριμμάτων Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας.	84
Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής εφαρμογής ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία ...	86
Εικόνα 21: Ισοζύγιο μάζας-ενέργειας μονάδος ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία.	87
Εικόνα 22: Χρηματοροές επιχειρηματικού σχεδίου ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία.	93
Εικόνα 23: Λόγος EBTDIA προς τοκοχρεολύσιο επιχειρηματικού σχεδίου ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία.	93
Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής μονάδος πυρόλυσης της IES.	95
Εικόνα 25: Ισοζύγιο μάζας-ενέργειας της μονάδας πυρόλυσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας	96
Εικόνα 26: Χρηματοροές επιχειρηματικού σχεδίου μονάδας πυρόλυσης στην Πιερία	101
Εικόνα 27: Λόγος EBTDIA προς τοκοχρεολύσιο επιχειρηματικού σχεδίου μονάδας πυρόλυσης στην Πιερία	101
Εικόνα 28: (α) Ειδικά οχήματα μεταφοράς νοσοκομειακών αποβλήτων και (β) Γεφυροπλάστιγγα στην είσοδο της μονάδας (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).	108
Εικόνα 29: Προσωρινή Αποθήκευση (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).	109
Εικόνα 30: Τροφοδοσία του κλιβάνου με ταινιόδρομους και με αναβατόριο (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).	109
Εικόνα 31: Διάγραμμα Ροής Μονάδας Αποτέφρωσης.	110
Εικόνα 32: (α) Χοάνη συλλογή ιπτάμενης τέφρας και (β) αποθήκευσή της (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).	112

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τυπικές συνθήκες λειτουργίας και προϊόντα των τριών βασικότερων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ (European Commission, 2005).	14
Πίνακας 2: Θερμογόνος δύναμη αστικών στερεών αποβλήτων σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας.	16
Πίνακας 3: Σύγκριση των πιο κοινών τύπων συστημάτων αποτέφρωσης (ΕΠΕΜ κα., 2008)	20
Πίνακας 4: Συγκριτικό κόστος για την αποτέφρωση απορριμμάτων σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες (Hogg, 2002).	30
Πίνακας 5: Στοιχεία δυναμικότητας και κόστους επιλεγμένων εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη	31
Πίνακας 6: Μέσος επιμερισμός κόστους επένδυσης εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη (Λάλας κ.ά, 2007).	32
Πίνακας 7: Τιμές παραμέτρων για τη χρήση RDF στην τσιμεντοβιομηχανία, κατά EURITS (European Commission, 2003).	38
Πίνακας 8: Προδιαγραφές RDF που χρησιμοποιείται ως απορριμματογενές καύσιμο σε τσιμεντοβιομηχανίες στη Γερμανία (Bilitewski, 2007).	39
Πίνακας 9: Ποιοτικά χαρακτηριστικά απορριμματογενών καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τσιμεντοβιομηχανίες στην Ελβετία	39
Πίνακας 10: Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για τη χρήση RDF στην Ιταλία	40



Πίνακας 11: Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για τη χρήση δευτερογενών καυσίμων σε τσιμεντοβιομηχανίες στη Σουηδία (European Commission, 2003). .....	40
Πίνακας 12: Ισοζύγιο μάζας μονάδας βιολογικής ξήρανσης με ενεργειακή αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων (ΕΠΕΜ κα., 2008).....	42
Πίνακας 13: Κόστος επένδυσης για την παραγωγή και αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων στη Θεσσαλονίκη (ΕΠΕΜ κα, 2008) .....	44
Πίνακας 14: Ισοζύγιο μάζας μονάδας αναερόβιας χώνευσης στη Θεσσαλονίκη (ΕΠΕΜ κα, 2008).....	54
Πίνακας 15: Κόστος κατασκευής και λειτουργίας επιλεγμένων μονάδων αναερόβιας χώνευσης σύμμεικτων ή υπολειμματικών ΑΣΑ (ΕΑ, 2002).....	55
Πίνακας 16: Παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας για επιλεγμένες μονάδες αναερόβιας χώνευσης σύμμεικτων ή υπολειμματικών ΑΣΑ (ΕΑ, 2002).....	56
Πίνακας 17: Ανάλυση SWOT για την μαζική καύση των ΑΣΑ.....	57
Πίνακας 18: Ανάλυση SWOT για την αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων .....	58
Πίνακας 19: Ανάλυση SWOT για την πυρόλυση.....	59
Πίνακας 20: Ανάλυση SWOT για την αεριοποίηση .....	59
Πίνακας 21: Ανάλυση SWOT για την αναερόβια ζύμωση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ .....	60
Πίνακας 22: Διοικητικές αρμοδιότητες ανά φορέα για τη διαχείριση αποβλήτων .....	65
Πίνακας 23: Καταγραφή των υφιστάμενων εγκαταστάσεων ανά περιφέρεια στην Ελλάδα (ΧΥΤΑ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων, ΣΜΑ: Σταθμοί Μεταφόρτωσης Αποβλήτων, ΜΕΑΛ: Μονάδες Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων, ΜΘΕ: (Μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας, ΜΒΕ: Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία, ΚΔΑΥ: Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών, ΑΗΗΕ: Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού).....	66
Πίνακας 24: Δυνητικά κριτήρια για την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας θερμικής επεξεργασίας.....	72
Πίνακας 25: Κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας (βλ. και πίνακα 24).....	75
Πίνακας 26: Υπολογισμός κατατάξεων των τεχνολογιών με 50% βήμα μεταβολής του βάρους των 4-κριτηρίων (ΤΔ: Τελική διάθεση, Κόστος επεξεργασίας: ΚΕ, ΑΗΕ: Ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας, ΦΘ: Φαινόμενο θερμοκηπίου, ΜΚ: Μαζική καύση [1], Π: Πυρόλυση [2], Α: Αεριοποίηση [3], ΠΑ: Συνδυασμός πυρόλυσης – αεριοποίησης [4]).....	77
Πίνακας 27: Συχνότητα κατανομής της κατάταξης κάθε τεχνολογίας (θέση 1: καλύτερη, θέση 5: χειρότερη) για τους 10 συνδυασμούς των χρησιμοποιηθέντων βαρών στην ανάλυση ευαισθησίας. Τα σύνολα της 1 <sup>ης</sup> και 2 <sup>ης</sup> θέσης δίνονται στον 3 <sup>η</sup> στήλη.....	77
Πίνακας 28: Εκτίμηση Ποσοτήτων Αστικών Στερεών Αποβλήτων – ΑΣΑ Ν. Πιερίας	83
Πίνακας 29: Οικονομική ανάλυση προμήθειας και εγκατάστασης της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας.....	88
Πίνακας 30: Οικονομική ανάλυση λειτουργικού κόστους – οφέλους της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας.....	89
Πίνακας 31: Ανάλυση επιχειρηματικού σχεδίου της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας .....	91
Πίνακας 32: Ανάλυση λειτουργικού κόστους – οφέλους της μονάδας πυρόλυσης ΑΣΑ Ν. Πιερίας .....	97
Πίνακας 33: Ανάλυση επιχειρηματικού σχεδίου της μονάδας πυρόλυσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας.....	100
Πίνακας 34: Σημεία μετρήσεων και μετρούμενα στοιχεία (ΕΣΔΚΝΑ, 2007) .....	112

## Κατάλογος Ακρωνυμίων

CEN	Comité Européen de Normalisation
CEWEP	Confederation of European Waste-to-Energy Plants
DCSR	Debt-Service Coverage Ratio
EBITDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRR	Internal rate of return – εσωτερικός βαθμός απόδοσης
MBT	Mechanical Biological Treatment
NIR	Near Infrared
PDF	Packaging Derived Fuel
PEF	Processed Engineered Fuel
PPF	Paper and Plastic Fraction
RDF	Refuse Derived Fuel
REF	Recovered Fuel
SRF	Solid Recovered Fuel
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TDF	Tire Derived Fuel
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣΑ	Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΔΑ	Διαχείριση Αποβλήτων
ΔΣΑ	Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων
ΕΠΟ	Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
ΕΠΠΕΡΑΑ	Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη
ΕΣΔΚΝΑ	Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής
ΕΥΠΕ	Ειδική Υπηρεσία Περιβάλλοντος
ΚΔΑΥ	Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών
ΜΒΕ	Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία
ΜΒΕ	Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία
ΜΕΑ	Μονάδα Ενεργειακής Αξιοποίησης
ΜΕΑΛ	Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων
ΜΕΚ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
ΜΘΕ	Μονάδα Θερμικής Επεξεργασίας
ΜΜΔ	Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού
ΜΠΕ	Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
ΞΑΖ	Ξηρή Αναερόβια Ζύμωση
ΟΤΑ	Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης
ΠΕΠ	Περιφερειακά Επιχειρησιακά Προγράμματα
ΠΕΣΔΑ	Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
ΠΚΜ	Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας
ΠΠΕ	Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
ΠΠΕΑ	Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΗΘ	Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας
ΣΗΘΥΑ	Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
ΣΜΑ	Σταθμός Μεταφόρτωσης Αποβλήτων
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΦοΔΣΑ	Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων
ΧΥΤΥ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

## 1. Εισαγωγή

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, Έλληνες μελετητές και ερευνητές ασχολούνται με τις προοπτικές της ενεργειακής αξιοποίησης των στερεών αποβλήτων, με τη χρήση μονάδων αποτέφρωσης σε νομαρχιακό και περιφερειακό επίπεδο στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) στην Ελλάδα. Κατά την τελευταία δεκαετία έχει ανοίξει δημόσια ο διάλογος για την εφαρμογή, σε πραγματικές συνθήκες πλέον, μεθόδων θερμικής επεξεργασίας, ωστόσο επί του παρόντος δε λειτουργεί στη χώρα κάποια μονάδα θερμικής επεξεργασίας. Το θέμα παρόλα αυτά έχει αποκτήσει δυναμική, καθώς στις αρχές του 2009 ανακοινώθηκε η κατασκευή μιας μονάδας στη Ρόδο, η οποία αναμένεται να θεμελιωθεί εντός δυο χρόνων στο βόρειο τμήμα του νησιού.

Σήμερα δυο μοντέλα **άμεσης θερμικής επεξεργασίας** αστικών στερεών αποβλήτων προωθούνται κυρίως στην Ελλάδα. Η **αποτέφρωση ΑΣΑ (mass fired)** και η **παραγωγή και αποτέφρωση απορριμματογενών καυσίμων (RDF ή SRF)**. Το πρώτο μοντέλο της αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων βρίσκει μεγαλύτερη εφαρμογή στις πλέον αναπτυγμένες χώρες της ΕΕ, αφού περισσότερες από 400 μονάδες μαζικής καύσης βρίσκονται σε λειτουργία στην Ευρώπη και μέχρι το 2012 θα προστεθούν 100 νέες.

Βασικό μειονέκτημα του δεύτερου μοντέλου είναι ότι, όπως έδειξε η μέχρι σήμερα πρακτική τα απορριμματογενή καύσιμα δεν μπορούν να απορροφηθούν εύκολα σε εγκαταστάσεις τσιμεντοβιομηχανιών ή λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού λόγω των απαιτούμενων αυστηρών ποιοτικών προδιαγραφών και τοπικών κοινωνικών αντιδράσεων, οπότε απαιτείται η κατασκευή μονάδων αποκλειστικής αποτέφρωσής τους. Ένα δεύτερο μειονέκτημα αυτής της επιλογής είναι το αυξημένο κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος των μονάδων παραγωγής τους. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, ένα τέτοιο μοντέλο είναι βιώσιμο μόνο εφόσον επιδοτείται από κρατικές επιχορηγήσεις ή χρηματοδοτείται επιπλέον από τον χρήστη (ΟΤΑ, πολίτες και παραγωγούς των σ.α.) . Τέλος σε περίπτωση παραγωγής RDF, τα ζυμώσιμα υλικά οδηγούνται προς κομποστοποίηση, αλλά λόγω της κακής ποιότητάς του, καθώς προέρχεται από σύμμεικτα απόβλητα δεν έχει εμπορική αξία και καταλήγει να διατίθεται σε ΧΥΤΑ.

Ένα τρίτο μοντέλο που αξίζει να αξιολογηθεί σοβαρά είναι η βιώσιμη εφαρμογή της **ανάκτησης ενέργειας από την αναερόβια ζύμωση** του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων στη χώρα, με την συστηματική πρόταξη συστημάτων ανακύκλωσης πριν από αυτήν. Η νέα οδηγία 2008/98/ΕΚ προωθεί την τεχνολογία της αναερόβιας ζύμωσης αποβλήτων, όπως αναμένεται επίσης να συμβεί και στην επικείμενη οδηγία για τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα.

Ωστόσο, η ποσότητα της ανακτώμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την άμεση θερμική επεξεργασία (π.χ. μονάδες αποτέφρωσης, πυρόλυσης, αεριοποίησης) των στερεών αποβλήτων είναι περίπου 2 – 2,50 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της έμμεσης θερμικής επεξεργασίας (σε μονάδες αναερόβιας ζύμωσης ή καύσης βιοαερίου σε ΧΥΤΑ). Επίσης η ανακτώμενη θερμική ενέργεια από την άμεση θερμική επεξεργασία είναι 5 – 5,8 φορές μεγαλύτερη από την έμμεση. Στον βαθμό επομένως που η συμπαραγόμενη θερμότητα από τις μονάδες άμεσης θερμικής επεξεργασίας αξιοποιείται τουλάχιστον κατά 80-90% για υποκατάσταση συμβατικού καυσίμου, οι μονάδες αυτές μπορεί να θεωρηθούν βιώσιμες και εφαρμόσιμες στην Ελλάδα. **Άρα η εφαρμογή της άμεσης θερμικής επεξεργασίας απαιτεί την ύπαρξη θερμικών καταναλώσεων σε μικρή σχετικά απόσταση (οικιακοί και βιομηχανικοί καταναλωτές) και των αντίστοιχων υποδομών για την διανομή της θερμικής ενέργειας (δίκτυα τηλεθέρμανσης).**

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας ως βιώσιμη λύση για την επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό έγινε συγκριτική αξιολόγηση των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας, με βάση τη διεθνή εμπειρία, προσαρμοσμένη σε ελληνικά δεδομένα. Παράλληλα γίνεται έρευνα του νομοθετικού πλαισίου και των διαδικασιών αδειοδότησης, καθώς και του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την έκδοση των αδειών. Τέλος αναλύεται η δυνατότητα εφαρμογής της θερμικής επεξεργασίας στην περιοχή μελέτης με βάση τεχνοοικονομικά κριτήρια και πιο συγκεκριμένα εξετάζεται η περίπτωση κατασκευής μιας ανάλογης μονάδας στο Νομό Πιερίας, όπως προβλέπεται και στον Περιφερειακό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων για την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η μελέτη εστιάζεται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, **τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά του μεγαλύτερου μέρους της Ελληνικής επικράτειας.**

## 2. Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ

Με τον όρο θερμική επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων εννοούνται συγκεκριμένες διαδικασίες μετατροπής των απορριμμάτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη έκλυση θερμικής ενέργειας. Οι βασικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας, κατηγοριοποιημένες βάσει των απαιτήσεων τους σε αέρα είναι: η αποτέφρωση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση.

Όπως αναφέρεται στην ΚΥΑ 114218 (1997) ο σκοπός της θερμικής επεξεργασίας των αποβλήτων είναι τριπλός:

- Ελάττωση του όγκου τους.
- Μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία.
- Η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στα απορρίμματα ενέργειας.

Παράλληλα, έχουν θεσπιστεί ειδικοί όροι και προδιαγραφές για την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τον έλεγχο εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων (Οδηγία 2000/76/ΕΚ «Για την Αποτέφρωση των Αποβλήτων», ΚΥΑ 22912/1117 (2005) «Μέτρα και Όροι για την Πρόληψη και τον Περιορισμό της Ρύπανσης του Περιβάλλοντος από την Αποτέφρωση των Αποβλήτων»), προκειμένου να εξασφαλιστεί η προστασία του περιβάλλοντος από τους αέριους κυρίως ρύπους, που παράγονται κατά τη λειτουργία τους. Σε γενικές γραμμές, οι βασικές αρχές λειτουργίας και οι προδιαγραφές, που πρέπει να πληρούνται, σε όλες τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων, είναι κοινές και μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν τις εξής (Λάλας κ.ά, 2007):

- Σταθερές συνθήκες λειτουργίας.
- Ευχέρεια προσαρμογής σε απότομες αλλαγές της σύστασης και της ποσότητας τροφοδοσίας.
- Ευελιξία προσαρμογής στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις της σύνθεσης και της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.
- Πλήρης έλεγχος των ρύπων στις εκπομπές.

- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

Ο πίνακας 1 συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας, όσον αφορά στις συνθήκες λειτουργίας των αντίστοιχων εγκαταστάσεων και τα προκύπτοντα προϊόντα.

**Πίνακας 1:** Τυπικές συνθήκες λειτουργίας και προϊόντα των τριών βασικότερων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ (European Commission, 2005).

	<b>Πυρόλυση</b>	<b>Αεριοποίηση</b>	<b>Αποτέφρωση</b>
<b>Συνθήκες λειτουργίας</b>			
Θερμοκρασίας αντίδρασης (°C)	250 - 700	500-1600	800-1450
Πίεση (bar)	1	1-45	1
Ατμόσφαιρα	Αδρανής / Άζωτο	Παράγοντας αεριοποίησης: O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Αέρας
Στοιχειομετρική αναλογία	0	<1	>1
<b>Προϊόντα</b>			
Αέρια φάση	H <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> , υδρογονάνθρακες	H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
Στερεά φάση	Τέφρα, κωκ	Τέφρα, σκωρία	Τέφρα, σκωρία
Υγρή φάση	Έλαια πυρόλυσης και νερό		

## 2.1. Τεχνολογίες αποτέφρωσης

### 2.1.1. Περιγραφή τεχνολογίας

Ως αποτέφρωση ορίζεται η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των αποβλήτων, υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου. Τα ανόργανα συστατικά των απορριμμάτων παραμένουν στο παραγόμενο στερεό υπόλειμμα. Τα κυριότερα είδη μονάδων αποτέφρωσης, που έχουν αναπτυχθεί, είναι δύο (Λάλας κ.ά, 2007):

- ο Μονάδες που απαιτούν ελάχιστη προεπεξεργασία των απορριμμάτων (μονάδες τύπου mass-fired) (εικόνα 1),
- ο Μονάδες όπου χρησιμοποιούνται απορριμματογενή καύσιμα (RDF ή SRF) (βλ. κεφάλαιο 2.2)

Η δυναμικότητα των μονάδων αποτέφρωσης κυμαίνεται μεταξύ 8 – 25 t/h και οι πλέον διαδεδομένοι τύποι είναι οι μονάδες αποτέφρωσης κινούμενων εσχαρών, περιστρεφόμενου κλιβάνου και ρευστοποιημένης κλίνης (Vehlow, 2006). Για απόβλητα με κατώτερη θερμογόνο δύναμη της τάξης των 8 MJ/kg (1.910 kcal/kg), η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται σε 520 kWh/t αποβλήτων. Εάν από την παραπάνω ποσότητα αφαιρεθεί η ίδια κατανάλωση του εργοστασίου, που ανέρχεται σε 70 kWh/t, η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, που μπορεί να διατεθεί, είναι της τάξης των 450 kWh/t αποβλήτων (McDougall et al., 2001). Για την εφαρμογή της αποτέφρωσης προϋπόθεση είναι τα ΑΣΑ να έχουν μια ελάχιστη κατώτερη θερμογόνο δύναμη 6 MJ/kg (1.433 kcal/kg), σε όλες τις εποχές του έτους και μια μέση ετήσια κατώτερη θερμογόνο δύναμη τουλάχιστον 7 MJ/kg (1.672 kcal/kg), (Rand et al., 2000 ).

Συγκριτικά παρατίθενται τα διαθέσιμα στοιχεία της θερμογόνου δύναμης των αστικών στερεών αποβλήτων πριν αποτεθούν στους χώρους διάθεσης (πίνακας 2).

**Πίνακας 2:** Θερμογόνος δύναμη αστικών στερεών αποβλήτων σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Περιοχή	Εύρος θερμογόνου δύναμης σε MJ/kg (kcal/kg)	Πηγή
Θεσσαλονίκη	12,4 (2.962) - 21,3 (5.087)	Παπαχρήστου κ.ά, 2000
Θεσσαλονίκη	8,4 (2.006) - 11,0 (2.627)	Koufodimos and Samaras, 2002
Ν. Καβάλας	Μέση τιμή 14,6 (3.487)	INTERGEO, 2008
Ν. Δράμας	Μέση τιμή 15,2 (3.630)	INTERGEO, 2008
Ν. Έβρος	Μέση τιμή 15,1 (3.606)	INTERGEO, 2008
Ν. Ξάνθης	Μέση τιμή 11,6 (2.770)	INTERGEO, 2008
Ν. Ροδόπης	Μέση τιμή 15,5 (3.702)	INTERGEO, 2008

Όπως προκύπτει από τις τιμές του πίνακα 2, η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων σε βιβλιογραφικές αναφορές για διάφορες περιοχές της Ελλάδας, μπορεί να υποστηρίξει την αποτέφρωση των αποβλήτων.

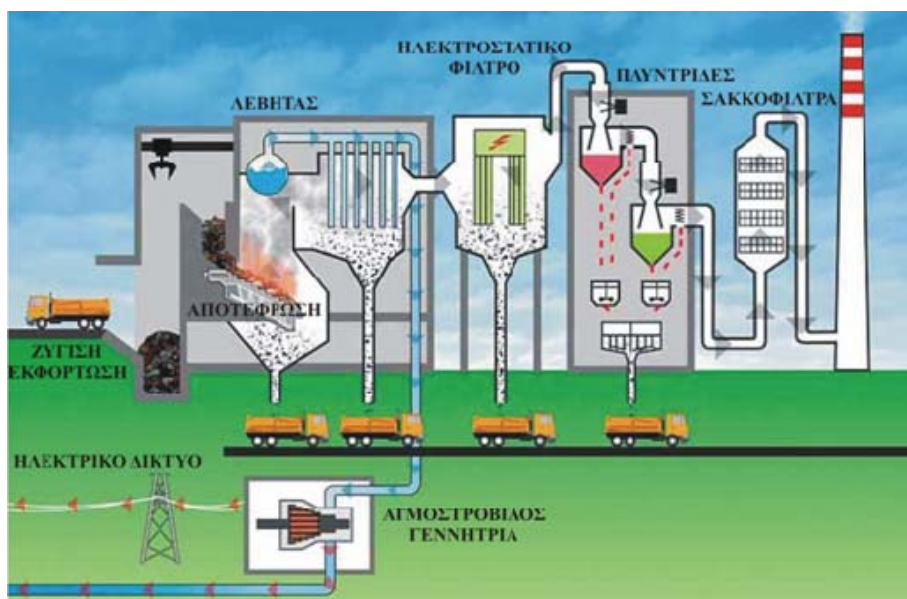
Στην εικόνα 2 απεικονίζονται τα υποσυστήματα μιας τυπικής μονάδας αποτέφρωσης Α.Σ.Α. με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στην εικόνα 3 ένα ενδεικτικό διάγραμμα ροής μιας τέτοιας μονάδας.



Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας

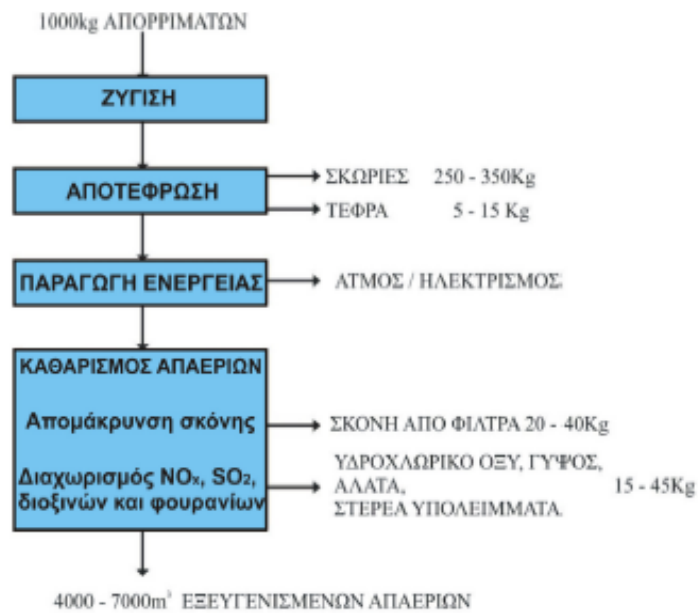


**Εικόνα 1:** Μονάδα αποτέφρωσης Α.Σ.Α. στη Γερμανία (TA Lauta, 2008).



**Εικόνα 2:** Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Λάλας κ.ά., 2007).

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



**Εικόνα 3:** Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης αποτέφρωσης ΑΣΑ (Λάλας κ.ά., 2007).

Μια εγκατάσταση αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων αποτελείται, στη γενική περίπτωση, από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα:

- 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 αποτέφρωσης 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 αποτέφρωση. Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί το 3-8% του αρχικού βάρους των απορριμμάτων και η τέφρα πυθμένα το 15 – 28% (Bilitewski, 2008). Τα υπολείμματα δημιουργούνται κυρίως στην εσχάρα, απ' όπου με ειδικό σύστημα απάγονται και μεταφέρονται για ψύξη, και στις θερμαντικές

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας

επιφάνειες των λεβήτων, απ' όπου συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα.

- Σύστημα ελέγχου εκπομπών, σαν αυτό που παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 4 για έλεγχο σωματιδίων, HCl, HF, SO<sub>2</sub>, διοξινών και βαρέων μετάλλων.

Στον πίνακα 3 γίνεται σύγκριση των πιο κοινών τύπων συστημάτων αποτέφρωσης

**Πίνακας 3: Σύγκριση των πιο κοινών τύπων συστημάτων αποτέφρωσης (ΕΠΕΜ κα., 2008)**

Τεχνολογία	Χαρακτηριστικά αποβλήτων	Δυναμικότητα (ανά γραμμή λειτουργίας)	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>Κινούμενη εσχάρα αερόψυκτη</b>	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 (5-30 t/h)	Ευρέως δοκιμασμένη σε μεγάλες δυναμικότητες Αξιόπιστη Μπορεί να δεχτεί ανομοιογενή υλικά χωρίς προ-επεξεργασία	Ακατάλληλη για υλικά σε μορφή πούδρας, υγρά ή υλικά που λιώνουν στις σχάρες
<b>Κινούμενη εσχάρα υγρόψυκτη</b>	Ομοίως με παραπάνω αλλά κατώτερη θερμογόνος δύναμη 10 – 20 GJ/t	1-50 t/h συνήθως (5-30 t/h)	Ομοίως με παραπάνω και επιπλέον: Κατάλληλη για υλικά υψηλότερης θερμογόνου δύναμης Δυνατότητα μεγαλύτερου ελέγχου της καύσης	Ομοίως με παραπάνω αλλά: Κίνδυνοι διαρροών που καταστρέφουν τις εσχάρες Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα
<b>Περιστρεφόμενος κλίβανος</b>	Μπορεί να δεχτεί υγρά και ιλύ Συχνά εφαρμόζεται σε επικίνδυνα απόβλητα Περισσότεροι περιορισμοί σε τροφοδοσίες στερεών (πιθανή βλάβη πυρίμαχων υλικών κλιβάνου)	< 10 t/h	Δοκιμασμένη Μεγάλο εύρος αποβλήτων Καλή καύση ακόμη και για τα επικίνδυνα Δυνατότητα καλού ελέγχου καύσης	Μικρότερες δυναμικότητες από τα συστήματα εσχάρας
<b>Bubbling fluidized bed</b>	Διαχωρισμένα και σταθερής σύστασης υλικά Περιορισμένη χρήση σε ανεπεξέργαστα απόβλητα Συχνή εφαρμογή για ιλύ – απορριμματογενή καύσιμα	1-10 t/h	Καλή ανάμιξη Ιπτάμενη τέφρα με καλή συμπεριφορά σε τεστ εκπλυσιμότητας	Απαιτείται προσεκτική λειτουργία για αποφυγή συσσωμάτων Μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας από συστήματα εσχάρας
<b>Rotating Fluidised bed</b>	Για θερμογόνο δύναμη 7-18 GJ/t Μπορούν να τροφοδοτηθούν τεμάχια μεγάλης διαμέτρου Συναποτέφρωση ιλύος	3 – 22 t/h	Καλή ανάμιξη – τυρβώδης ροή Μεγάλο εύρος θερμογόνου δύναμης Καλή καύση	Απαιτείται τεμαχισμός υλικών Μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας από συστήματα εσχάρας
<b>Circulating fluidized bed</b>	Διαχωρισμένα και σταθερής σύστασης υλικά Εφαρμογή σε ιλύ και απορριμματογενή καύσιμα	1-20 t/h Συνήθως >10 t/h	Καλή ανάμιξη – τυρβώδης ροή Μεγαλύτερη ευελιξία σε αποδεκτά υλικά από Bubbling fluidized bed Ιπτάμενη τέφρα με καλή συμπεριφορά σε τεστ εκπλυσιμότητας	Απαιτείται κυκλώνας για συγκράτηση υλικού της κλίνης Μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας από συστήματα εσχάρας

### 2.2.2. Εκπομπές καυσαερίων αποτέφρωσης

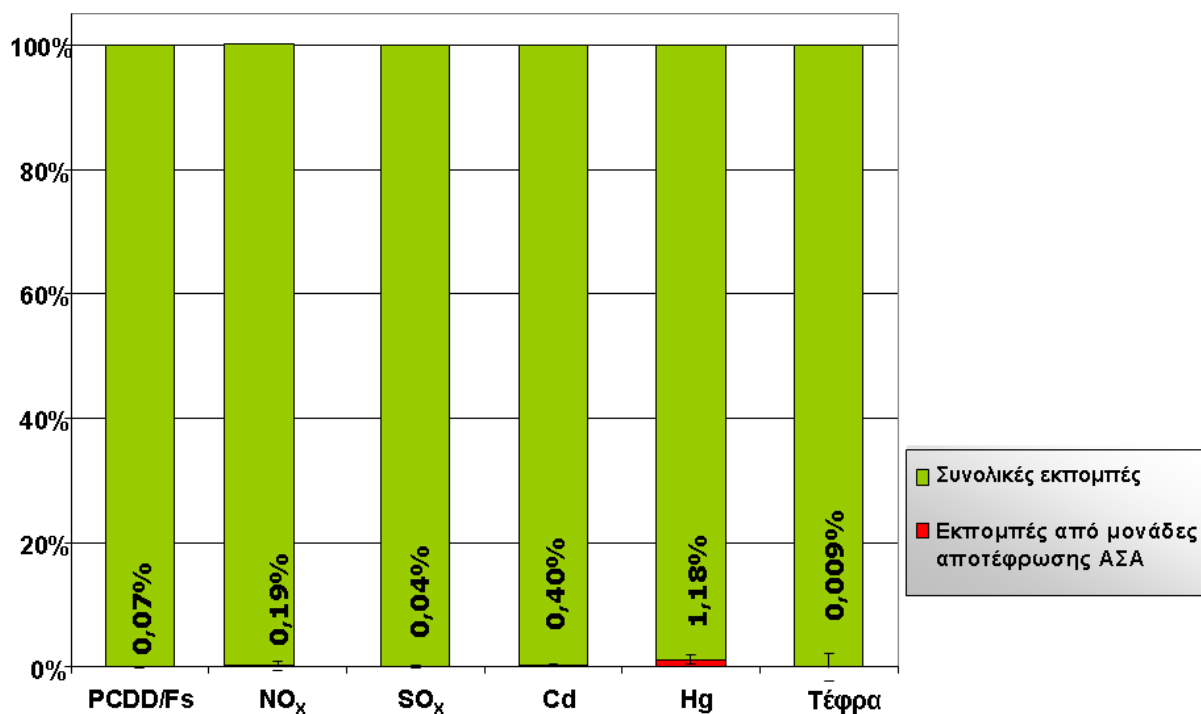
Από τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης και ανάλογα με την ποιότητα των ΑΣΑ, παράγονται εκτός από τα τυπικά προϊόντα της αποτέφρωσης (ατμός, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια) και μια σειρά άλλων ενώσεων όπως υδροχλώριο, υδροφθόριο, διοξίνες, φουράνια, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα κτλ. 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 (Θεοχάρη κ.ά, 2006).

Για τον λόγο αυτό, 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).

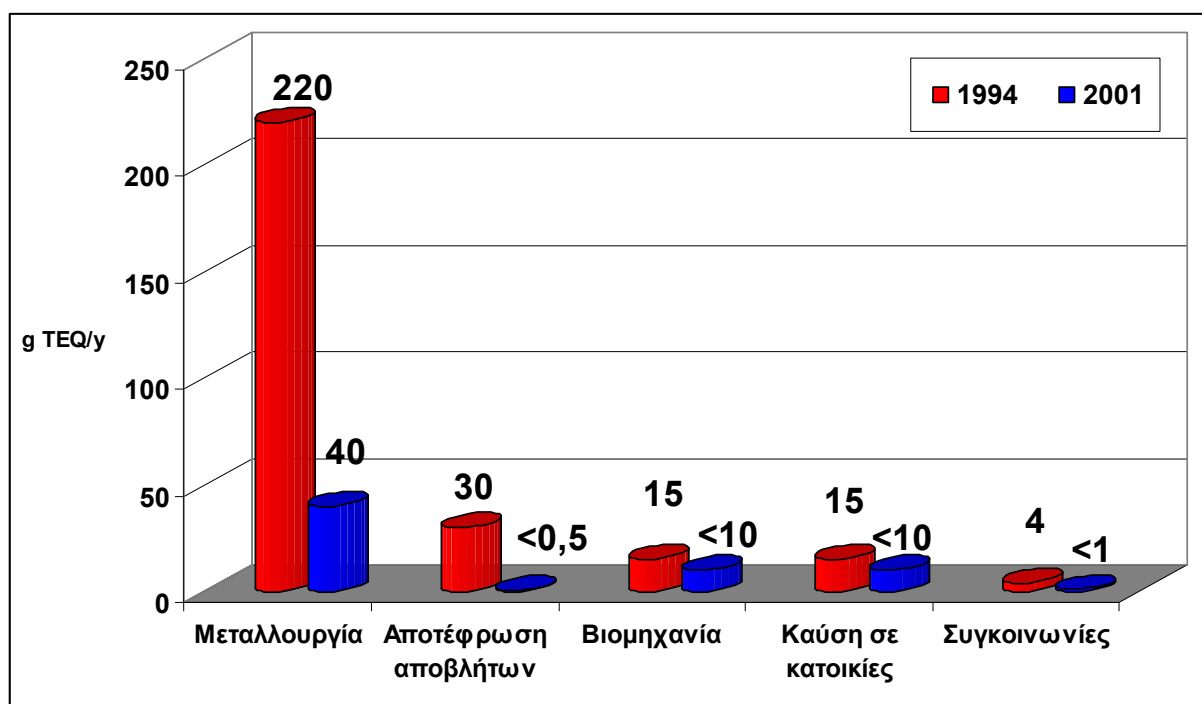
Επίσης, η αναμόρφωση των πρότυπων μέτρησης των εκπομπών από εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, κατευθύνονται προς τη διαμόρφωση τέτοιων τεχνικών όπου θα μετρούνται με συνεχή τρόπο οι εκπομπές των απαερίων και να ελέγχονται έτσι πλήρως οι συγκεντρώσεις των ρύπων για να βρίσκονται κάτω 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 (Καλογήρου, 2009).

Στην εικόνα 4 απεικονίζονται οι εκπομπές αέριων ρύπων που παράγονται από την αποτέφρωση ΑΣΑ στην Αυστρία και στην εικόνα 5, οι εκπομπές διοξινών 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.

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



Εικόνα 4: Εκπομπές από μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με ολικές εκπομπές στην Αυστρία (Bilitewski, 2008)



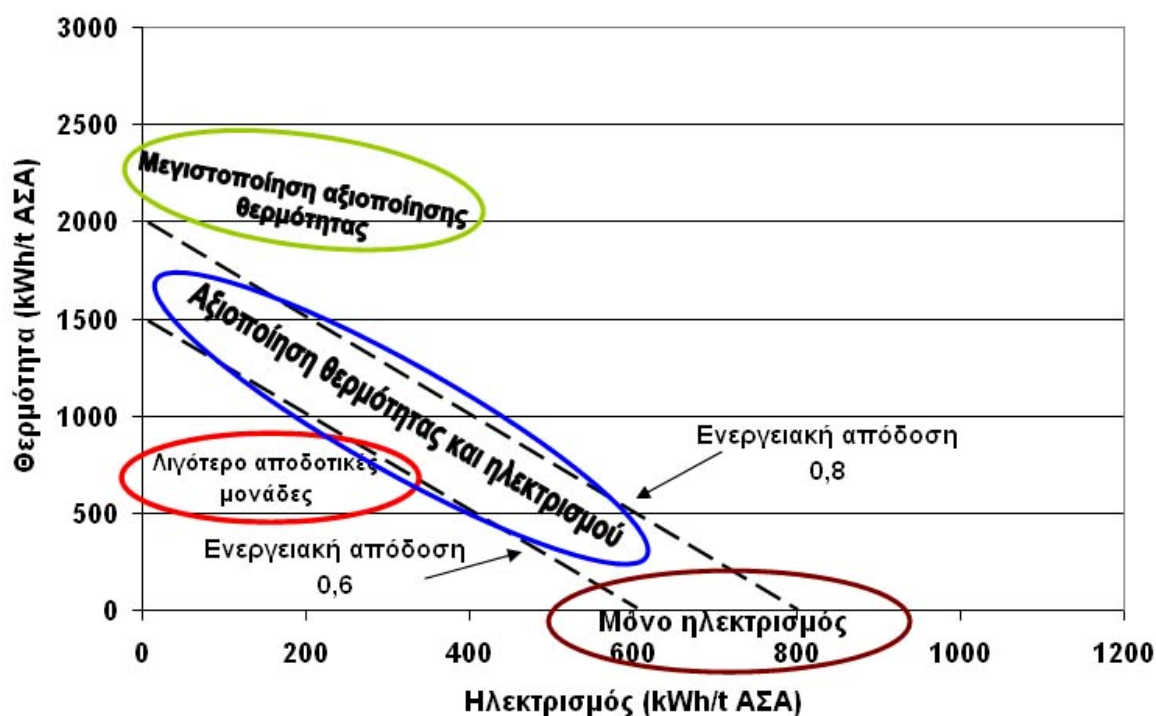
Εικόνα 5: Πηγή διοξινών και ποσοτικοποίησή τους στη Γερμανία (Richter and Johnke, 2004)

### **2.2.3. Ενεργειακή απόδοση εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ**

Οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης σύμμεικτων απορριμμάτων, 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, τύπο ενεργειακής απόδοσης μονάδων αποτέφρωσης 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 (Καλογήρου, 2009).

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 θερμική και ηλεκτρικής ενέργειας). Οι επιλογές αυτές είναι ικανές να επιτύχουν τα όρια που θέτει η ΕΕ όπως φαίνεται στην εικόνα 6. Όπως γίνεται εμφανές και από την εικόνα 6, τα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ, οδηγούν στην ταυτόχρονη αξιοποίηση και της παραγόμενης θερμότητας, ειδάλλως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά t ΑΣΑ θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά, πιθανώς σε μεγαλύτερη τιμή από αυτή που μπορεί να υποστηρίξει η θερμογόνο δύναμη των ΑΣΑ.



**Εικόνα 6:** Ενεργειακή απόδοση μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρισμού και αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας (προσαρμοσμένο από Καλογήρου, 2009)

Σύμφωνα με την οδηγία η ενεργειακή απόδοση δίδεται από τον τύπο  $(E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$

Όπου:

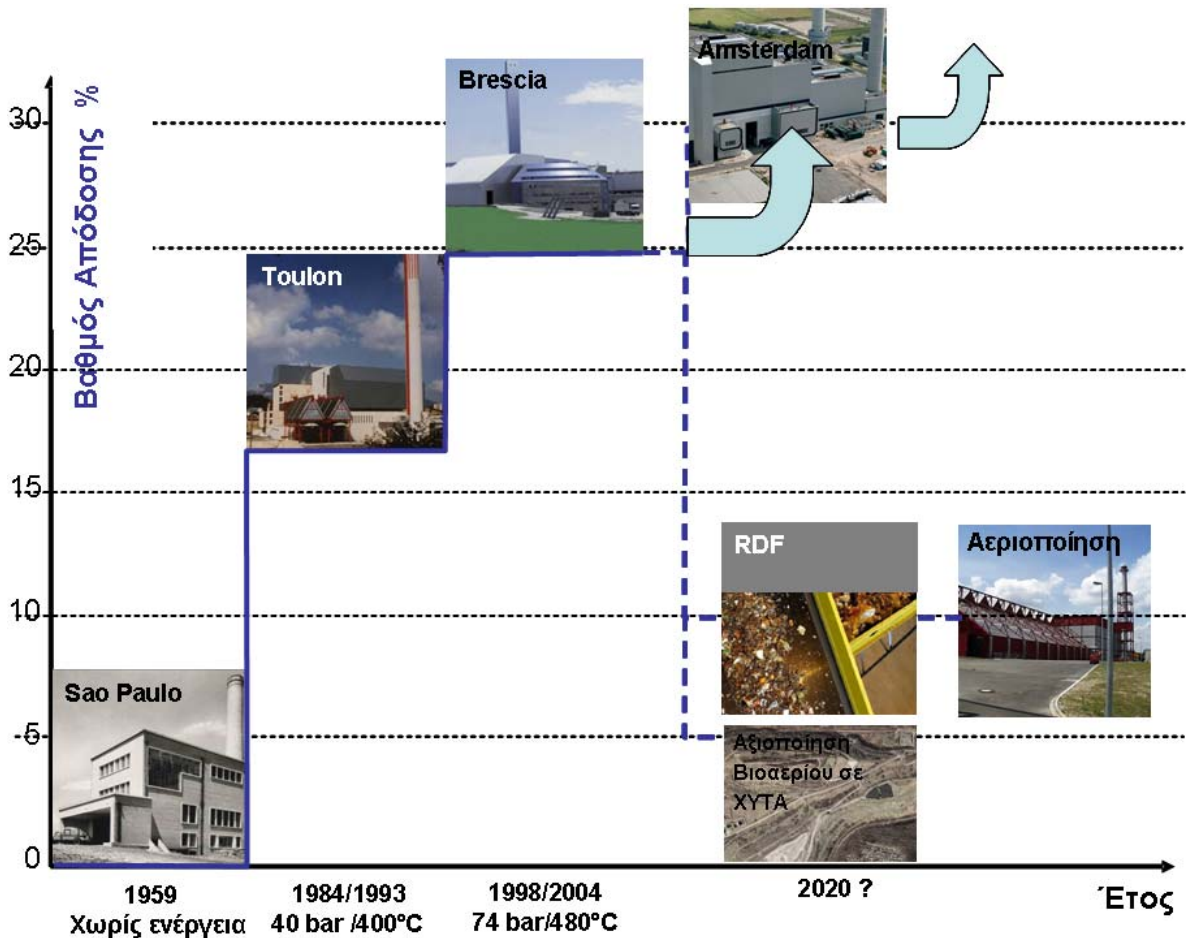
- $E_p$  είναι η ενέργεια που παράγεται ετησίως υπό μορφή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρισμού με 2,6 και την θερμότητα που παράγεται για εμπορική χρήση με 1,1 (GJ/έτος).
- $E_f$  είναι η ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται ετησίως το σύστημα από 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.



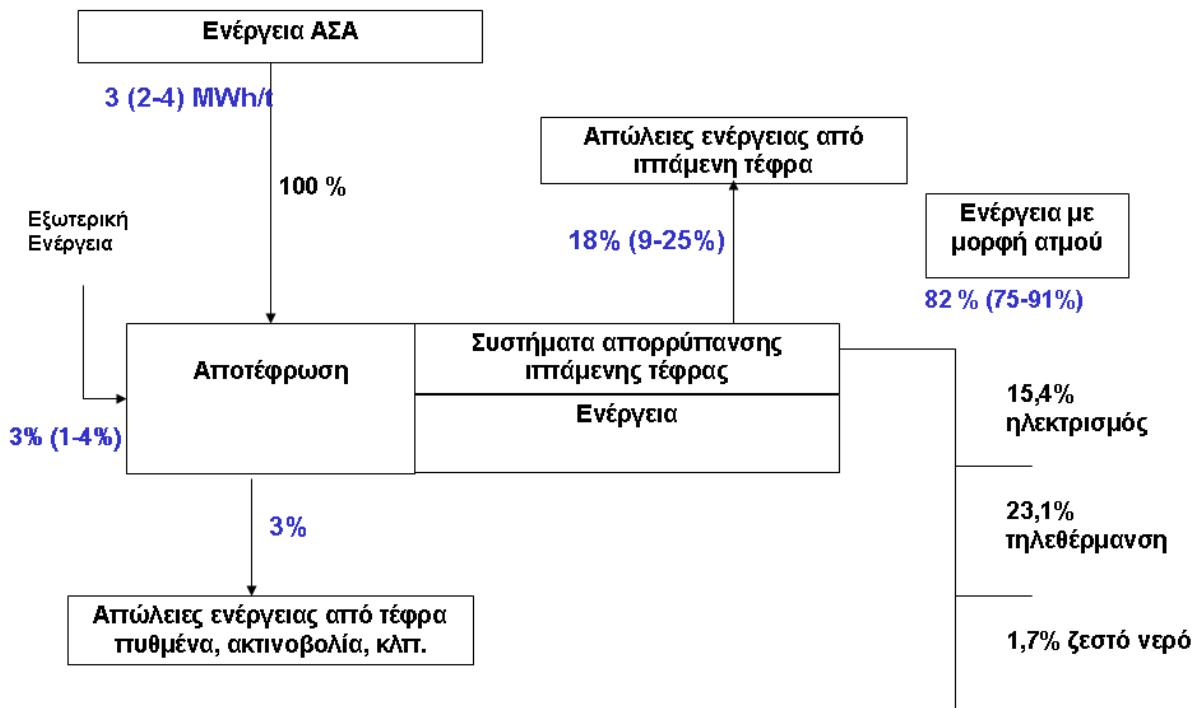
Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι οι χώρες τη βόρειας Ευρώπης έχουν περίπου για όλο το χρόνο διαθέσιμους πελάτες για κατανάλωση θερμικής ενέργειας (ατμό). Στην κεντρική Ευρώπη θα συμβαίνει περίπου το ίδιο για τον μισό χρόνο και συνεπώς θα πρέπει αυτές οι χώρες να στραφούν στην ανεύρεση βιομηχανικών καταναλωτών 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 (Καλογήρου, 2009).

Για την επίτευξη των παραπάνω ορίων απαιτείται αυξημένος ενεργειακός βαθμός απόδοσης των μονάδων, ο οποίος τα τελευταία χρόνια έχει βελτιωθεί σημαντικά. Στην εικόνα 7 απεικονίζεται εποπτικά η εξέλιξη του βαθμού απόδοσης των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων και στην εικόνα 8 απεικονίζεται το ενεργειακό ισοζύγιο σε μια σύγχρονη τυπική μονάδα.

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



Εικόνα 7: Εξέλιξη του βαθμού απόδοσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων (Bilitewski, 2008).

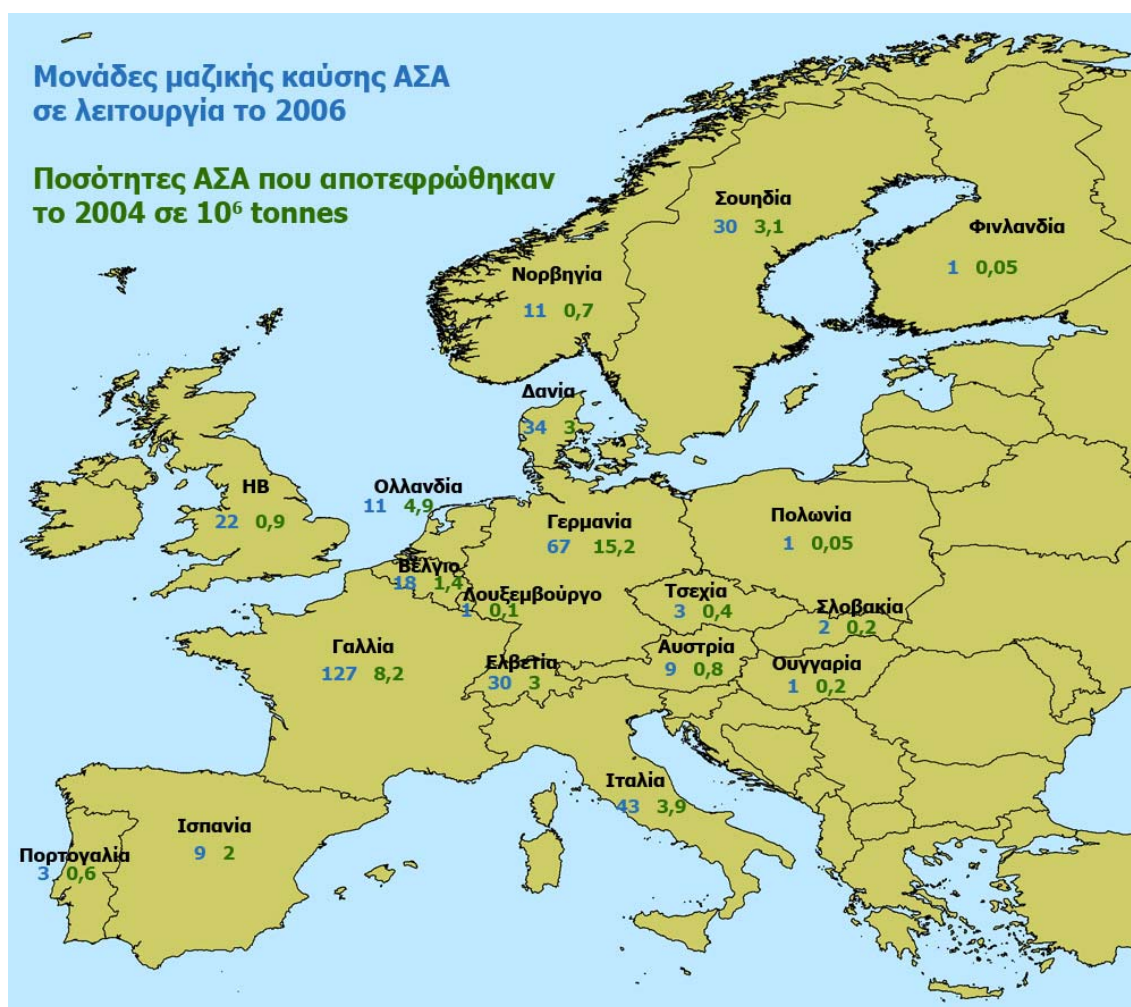


Εικόνα 8: Τυπικό Ενεργειακό ισοζύγιο σε μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ (Bilitewski, 2008).

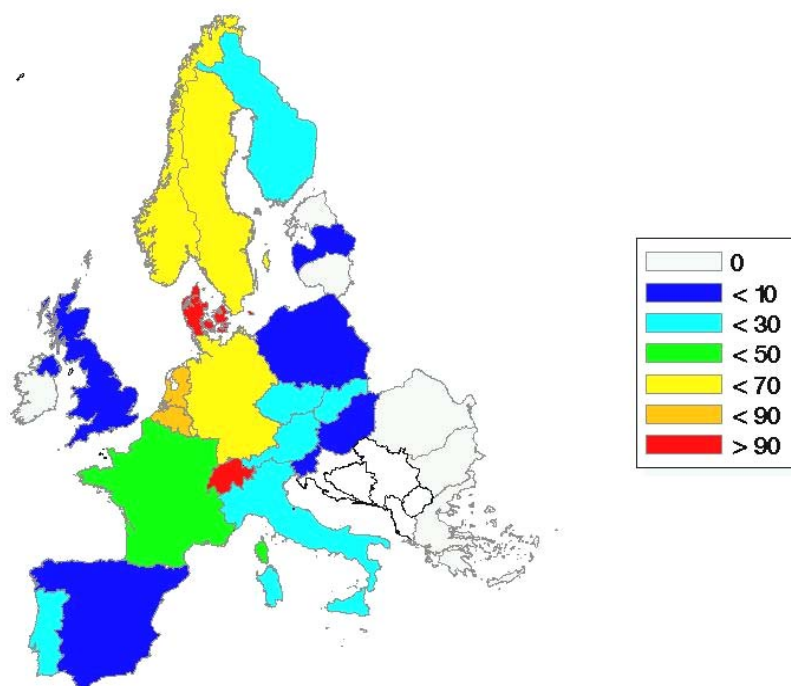
#### 2.2.4. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ

Από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων, αποτέφρωση των ΑΣΑ αποτελεί τη συνηθέστερη επιλογή στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σε ποσοστό περίπου 97%, με 422 μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ, σε σύνολο 435 μονάδων θερμικής επεξεργασίας (έτος αναφοράς το 2006) (CEWER, 2009). 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 9, αναγράφονται ο αριθμός των μονάδων αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων στην ΕΕ, Ελβετία και Νορβηγία και οι ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το έτος 2004. Στην εικόνα 10 αναγράφεται το ποσοστό αποτέφρωσης απορριμμάτων στην Ευρώπη.



**Εικόνα 9:** Χάρτης με τις μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ στην Ευρώπη το 2006 και συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 (CEWER, 2009).



**Εικόνα 10:** Ποσοστό αποτέφρωσης απορριμμάτων στην ΕΕ (Vehlow, 2006)

Όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 9, 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.

#### 2.2.5. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας

Το τελικό κόστος μιας μονάδας αποτέφρωσης ΑΣΑ εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Τη δυναμικότητα.
- 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).
- Το κόστος πώλησης της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής).
- Τη δυνατότητα ανάκτησης και πώλησης υλικών.
- Τους περιορισμούς και στόχους, που θέτει η εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα του 2002, το λειτουργικό κόστος της αποτέφρωσης ΑΣΑ, σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, κυμαίνεται μεταξύ 21 και 326 €/t (Hogg, 2002, Ψωμάς, 2005), ενώ οι συνηθέστερες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 70 – 100 €/t (πίνακας 4). Το μεγάλο αυτό εύρος του κόστους εξαρτάται κυρίως από τον όγκο των απορριμμάτων που οδηγούνται προς αποτέφρωση και από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των μονάδων αποτέφρωσης, ωστόσο η κατώτερη τιμή των 21 €/t κρίνεται ιδιαίτερα χαμηλή. Για τη Γερμανία, σύμφωνα με πιο πρόσφατα δεδομένα το κόστος αποτέφρωσης ΑΣΑ εκτιμάται σε 100 – 200 €/t (Bilitewski and Hoffmann, 2007).

Όσον αφορά στην Ελλάδα, στην περίπτωση κατασκευής μονάδας αποτέφρωσης ΑΣΑ, το τέλος πύλης εκτιμάται ότι θα κυμαίνεται σε 40 €/t (Kalogirou, 2008).

Για σύγκριση, αναφέρεται ότι στις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, το κόστος για την ταφή των απορριμμάτων κυμαίνεται από 9 έως 164 €/t και για την κομποστοποίηση, από 16 έως 189 €/t (με συνήθεις τιμές περί τα 50 €/t) (Hogg, 2002). Στην Ελλάδα το συνολικό κόστος της υγειονομικής ταφής εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 40 – 50 €/t.

Ο πίνακας 4 συνοψίζει το κόστος της αποτέφρωσης απορριμμάτων σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Στους πίνακες 5 και 6 παρουσιάζονται στοιχεία δυναμικότητας και κόστους κατασκευής για διάφορες εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων της Ευρώπης.

**Πίνακας 4:** Συγκριτικό κόστος για την αποτέφρωση απορριμμάτων σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες (Hogg, 2002).

Χώρα	Κόστος αποτέφρωσης (€/t ΑΣΑ)	Κόστος διαχείρισης τεφρών (€/t ΑΣΑ) για 6% κβ ΑΣΑ ιπτάμενη τέφρα και 22% κβ ΑΣΑ τέφρα πυθμένα
Αυστρία	326 (για 60 kt/y) 159 (για 150 kt/y) 97 (για 300 kt/y)	Τέφρα πυθμένα: 14 Ιπτάμενη τέφρα: 22
Βέλγιο	71-75 (για 150 kt/y) 83 (κόστος πύλης)	
Δανία	30-45	Τέφρα πυθμένα: 8 Ιπτάμενη τέφρα: 8
Γαλλία	118 – 129 (για 18,7 kt/y) 91-101 (για 37,5 kt/y) 86-101 (για 37,5 kt/y) 80-90 (για 75 kt/y) 67-80 (για 150 kt/y)	13 - 18
Γερμανία	250 (για 50 kt/y και κάτω) 105 (για 200 kt/y) 65 (για 600 kt/y)	Τέφρα πυθμένα: 6 Ιπτάμενη τέφρα: 15,4
Ιρλανδία	46 (για 200 kt/y)	
Ιταλία	41-93 (για 350 kt/y)	Τέφρα πυθμένα: 17 Ιπτάμενη τέφρα: 8
Λουξεμβούργο	97 (για 120 kt/y)	Τέφρα πυθμένα: 16 Ιπτάμενη τέφρα: 8
Ολλανδία	70-134 (κόστος πύλης)	
Πολωνία	46-76	
Ισπανία	34-56	
Ελβετία	21-53	
ΗΒ	69 (για 100 kt/y) 47 (για 200 kt/y)	Τέφρα πυθμένα: ανακυκλώνεται Ιπτάμενη τέφρα: 6

**Πίνακας 5:** Στοιχεία δυναμικότητας και κόστους επιλεγμένων εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη (Λάλας κ.ά, 2007).

Περιοχή	Έτος λειτουργίας	Δυναμικότητα (t/έτος)	Κόστος επένδυσης (εκατ. €)	Ειδικό κόστος επένδυσης (€/t)
Kempton, Γερμανία	1996	78.000	82	1.051
Pirmasens, Γερμανία	1998	155.500	189	1.215
Hamburg, Γερμανία	1999	225.000	140	622
Niklasdorf, Αυστρία	2003	100.000	55	550
Freiburg, Γερμανία	2005	150.000	77	513
Zorbau, Γερμανία	2005	300.000	100	333
Antwerpen, Βέλγιο	2005	400.000	180	450
Ringaskiddy, Ιρλανδία	2007	100.000	75	750
Garranstown, Ιρλανδία	2007	150.000	85	567
Halle, Γερμανία	2007	80.000	47	588
Amsterdam, Ολλανδία	2006	500.000	340	680
Posieux, Ελβετία	2006	45.000	20	444
Roosendaal, Ολλανδία	2007	180.000	90	500
Urvier, Ελβετία	2007	60.000	30	500
Barzenheit, Ελβετία	2008	40.000	30	750

**Πίνακας 6:** Μέσος επιμερισμός κόστους επένδυσης εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη (Λάλας κ.ά, 2007).

Παράμετρος κόστους	Ανεξάρτητη της δυναμικότητας της μονάδας	Εξαρτημένη από τη δυναμικότητα της μονάδας
Αξία γης και προετοιμασία	περίπου 3%	
Κτίρια, θέρμανση, υγιεινή, πυρασφάλεια	περίπου 19%	
Έργα διεργασιών (αποτεφρωτής και παραγωγή ατμού)		περίπου 38%
Καθαρισμός απαερίων και συγκέντρωση υγρών αποβλήτων		περίπου 18%
Εξοπλισμός ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας		περίπου 13%
Εξοπλισμός ενέργειας (τουρμπίνες, εναλλάκτες)		περίπου 3%
Επεξεργασία υπολειμμάτων		περίπου 1%
Παρακολούθηση έργου	περίπου 3,5%	
Αρχική λειτουργία και εκπαίδευση προσωπικού	περίπου 0,5%	
Άλλα	περίπου 3%	
Σύνολο	περίπου 27%	περίπου 73%

## 2.2. Αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων

Σε μονάδες Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας (MBE, Mechanical Biological Treatment - MBT) δύναται να παραχθεί ένα διαχωρισμένο, σχετικά ομογενοποιημένο κλάσμα υψηλής θερμογόνου δύναμης, το οποίο αποτελείται από χαρτί, πλαστικά και άλλα καύσιμα υλικά, προς χρήση ως απορριμματογενές καύσιμο (εικόνα 11). Το καύσιμο αυτό ονομάζεται συχνότερα RDF. Άλλοι παρεμφερείς όροι που χρησιμοποιούνται είναι REF (Recovered Fuel), PPF (Paper and Plastic Fraction) και PEF (Processed Engineered Fuel), ενώ υπάρχουν και καύσιμα από



χρησιμοποιημένα ελαστικά, τα TDF (Tire Derived Fuel) (European Commission, 2003).

Τα απορριμματογενή καύσιμα από συσκευασίες PDF (Packaging Derived Fuel) και τα PEF είναι συνήθως ανώτερης ποιότητας από το RDF, καθώς αποτελούνται από στερεό καύσιμο κλάσμα υλικών, που ενώ έχουν διαχωριστεί στην πηγή, δεν οδηγούνται προς ανακύκλωση, όπως είναι οι χάρτινες συσκευασίες ροφημάτων και δοχεία PE/PET με προσμίξεις PVC. Πρόσφατα έχει αρχίσει επίσης να χρησιμοποιείται ο όρος SRF (Solid Recovered Fuel) (Λάλας κ.ά, 2007).



**Εικόνα 11:** RDF (Japanese Advanced Environment Equipment, 2008).

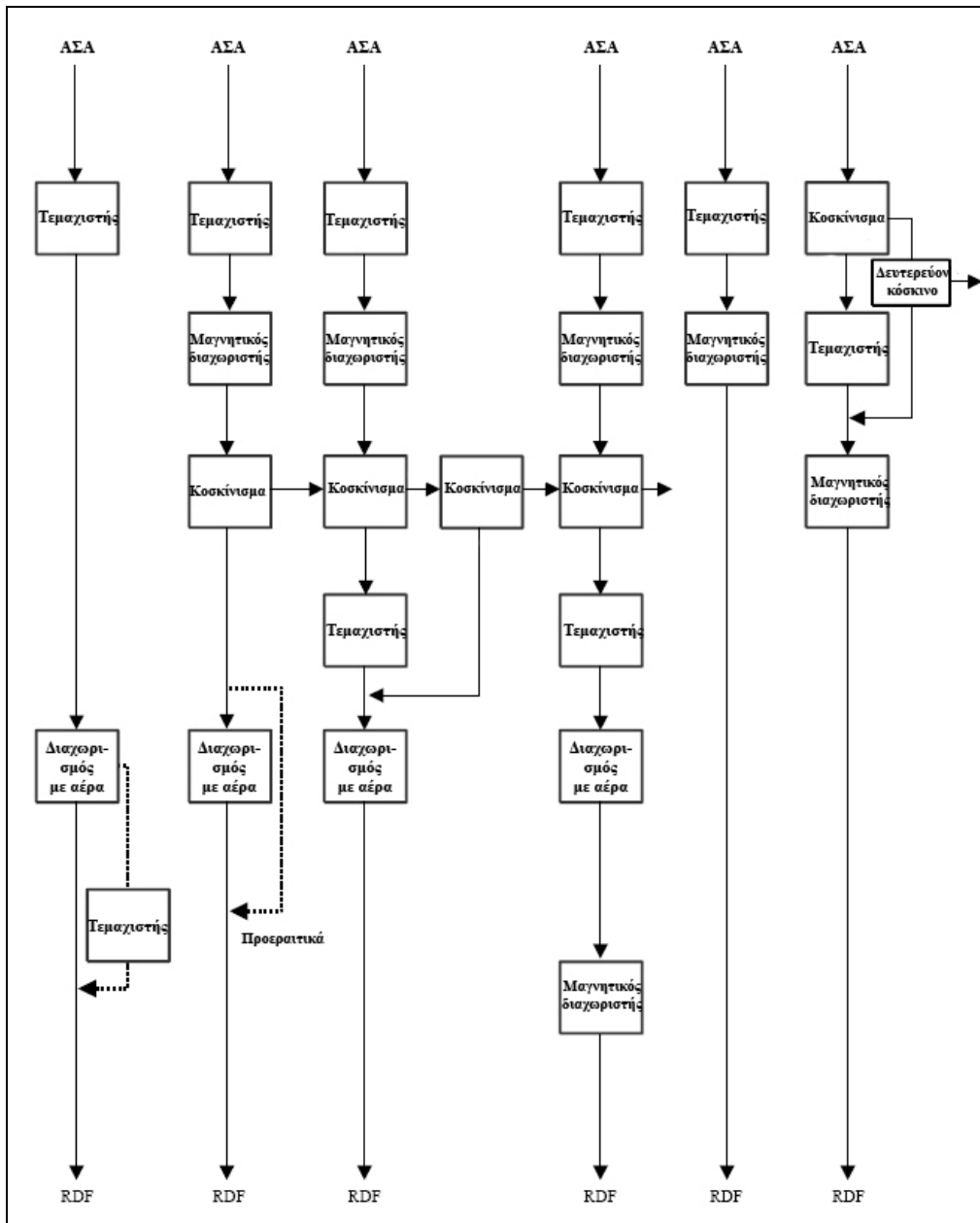
### 2.2.1. Περιγραφή τεχνολογίας

Δυο είναι οι τεχνολογίες παραγωγής απορριμματογενών καυσίμων από ΑΣΑ: η μηχανική και η βιολογική επεξεργασία των απορριμμάτων. Συνήθως τα συστήματα που χρησιμοποιούνται κατά τη μηχανική επεξεργασία των ΑΣΑ περιλαμβάνουν μείωση του μεγέθους, κοσκίνισμα, διαχωρισμό με αέρα και μαγνητικό διαχωρισμό. Τα συνηθέστερα παραδείγματα αναφέρονται στην εικόνα 12.

Η διάταξη των διεργασιών βασίζεται στην ποιότητα και στη φύση των εισερχόμενων αποβλήτων, καθώς και στη διαθεσιμότητα, χωροθέτηση και προδιαγραφές της αγοράς των ανακτώμενων υλικών. Άλλες διεργασίες που μπορεί να

συμπεριλαμβάνονται σε αυτές τις εγκαταστάσεις είναι ο χειρωνακτικός διαχωρισμός, ο διαχωρισμός με επαγωγικά ρεύματα (ανάκτηση μη σιδηρούχων υλικών) και η αύξηση της πυκνότητας (παραγωγή pellets) (Diaz and Savage, 2006, Diaz and Savage, 1996, Archer et al., 2005). Ως αποτέλεσμα, μετά τη μηχανική επεξεργασία ανακτώνται υλικά προς ανακύκλωση, όπως επίσης καθίσταται δυνατή και η παραγωγή RDF, το οποίο αποτελείται κυρίως από πλαστικά χαρτί και ξύλα.

Εκτός της μηχανικής επεξεργασίας, απορριμματογενές καύσιμο μπορεί να προκύψει και μετά τη βιολογική ξήρανση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων. Αφού διαχωριστούν και στην περίπτωση αυτή τα αδρανή υλικά και τα μέταλλα, το εναπομένον κλάσμα, εκτός από χαρτί και πλαστικό, περιέχει επίσης μεγάλο ποσοστό ζυμώσιμων, τα οποία ξηραίνονται και σταθεροποιούνται. Κατά συνέπεια προκύπτει καύσιμο υψηλής θερμογόνου δύναμης κατάλληλο προς αποτέφρωση (European Commission, 2003, Λάλας κ.ά, 2007, Schirmer, 2003). Ο όρος RDF χρησιμοποιείται συχνότερα για απορριμματογενές καύσιμο που παράγεται κατά τη φάση της μηχανικής επεξεργασίας και αποτελείται κυρίως από πλαστικά, χαρτί και ξύλα. Το SRF είναι απορριμματογενές καύσιμο που πληροί τις προϋποθέσεις του προτύπου CEN/TC 343 και ως όρος χρησιμοποιείται συχνότερα για το καύσιμο που παράγεται μετά το πέρας της βιολογικής ξήρανσης.



Εικόνα 12: Διατάξεις παραγωγής RDF (Diaz and Savage, 2006).

### 2.2.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης

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 (Wiltsee, 2000). Οι κυριότερες από τις εγκαταστάσεις αυτές είναι οι εξής:

- Τσιμεντοβιομηχανίες.

- Εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.
- Χαρτοποιίες.
- Κεραμοποιίες
- Χαλυβουργία.
- Ασβεστοκάμινοι.

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:

- 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.

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 (Caruto and Pelagagge, 2002). 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 (Diaz and Savage, 2006).

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. Σημαντικές ποιοτικές παράμετροι είναι η υγρασία, η περιεχόμενη τέφρα, το χλώριο και το θείο. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν άμεσα την απόφαση για τη χρήση τους στη βιομηχανία και στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, καθώς μπορεί να προκύψουν (Bilitewski, 2007):

- Τεχνολογικά προβλήματα όπως διαβρώσεις, και υψηλό κόστος συντήρησης.
- Απρόβλεπτη κακή ποιότητα του καυσίμου (μεγάλη περιεκτικότητα σε χλώριο, περιεκτικότητα σε τέφρα, χαμηλό σημείο τήξης, 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 (Παπαγεωργίου κ.ά., 2007).

Όσον αφορά στην Ελλάδα, προδιαγραφές που καθορίζουν την ποιότητα του RDF αναφέρονται στην ΚΥΑ 114218 (1997). Σύμφωνα με τις προδιαγραφές αυτές:

- Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη να είναι τουλάχιστον 4.000 kcal/kg (16,7 MJ/kg).
- Η υγρασία μικρότερη από 20%.
- Η περιεκτικότητα σε χαρτί και πλαστικό να είναι μεγαλύτερη από 95% επί του ξηρού βάρους.

Η European Union for Responsible Incineration and Treatment (EURITS), η ευρωπαϊκή ένωση εταιρειών θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων, έχει εκδώσει ποιοτικά κριτήρια για τη συναποτέφρωση αποβλήτων στη τσιμεντοβιομηχανία (πίνακας 7). Εκπρόσωποι της τσιμεντοβιομηχανίας θεωρούν τις τιμές αυτές πολύ αυστηρές και ειδικότερα αυτές που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη του υλικού. Ειδικότερα, όσον αφορά το RDF, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά προς χρήση του σε τσιμεντοβιομηχανίες στην Γερμανία αναγράφονται στον πίνακα 8.

**Πίνακας 7:** Τιμές παραμέτρων για τη χρήση RDF στην τσιμεντοβιομηχανία, κατά EURITS (European Commission, 2003).

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

Στον πίνακα 9 αναγράφονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να παρουσιάζουν τα απορριμματογενή καύσιμα προς χρήση σε τσιμεντοβιομηχανίες στην Ελβετία (Rotter et al., 2001).

Τα κριτήρια για τη χρήση απορριμματογενών καυσίμων του Πολωνικού παραρτήματος του ομίλου Lafarge (μέλος του οποίου είναι και η ΑΓΕΤ Ηρακλής) είναι τα εξής (Mokrzycki et al., 2003):

- Θερμογόνος δύναμη: πάνω από 14,0 MJ/kg (εβδομαδιαία μέση τιμή),
- Cl: λιγότερο από 0,2%,
- S: λιγότερο από 2.5%,
- PCB: λιγότερο από 50 ppm
- Βαρέα μέταλλα: λιγότερο από 2500 ppm (από τα οποία Hg – λιγότερο από 10 ppm, και ολικά Cd, Tl και Hg λιγότερο από 100 ppm).

**Πίνακας 8:** Προδιαγραφές RDF που χρησιμοποιείται ως απορριμματογενές καύσιμο σε τσιμεντοβιομηχανίες στη Γερμανία (Bilitewski, 2007).

Παράμετροι	Πρωτεύων αποτεφρωτήρας	Κάμινος
Υγρασία	10-30 %	20-25 %
Τέφρα	10-25 %	10-20 %
S	0,7-1,0 %	-
Cl	0,4-1,0 %	-
F	0,05-1,0 %	-
Cr	120 mg/kg	
Sb	120 mg/kg	
V	25 mg/kg	
Cd	9 mg/kg	
Be	2,0 mg/kg	
Hg	1,2 mg/kg	

**Πίνακας 9:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά απορριμματογενών καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τσιμεντοβιομηχανίες στην Ελβετία (Rotter et al., 2001, BUWAL, 1998).

<b>BUWAL</b>			
<b>Ελβετική οδηγία για διάθεση αποβλήτων σε τσιμεντοβιομηχανίες</b>			
mg/MJ			
As	0,6	Sb	0,2
Be	0,2	Se	0,2
Cd	0,1	Sn	0,4
Co	0,8	Te	-
Cr	4,0	Tl	0,12
Cu	4	V	4
Hg	0,02	Zn	16
Ni	4	Cl	-
Pb	8		

Αντίστοιχα τα κριτήρια για τη χρήση RDF στην Ιταλία αναγράφονται στον πίνακα 10. Σύμφωνα με έρευνα του 1999 (Caruto and Pelagagge, 2002) μόνο το 4% δειγμάτων RDF που ελήφθησαν από μονάδες παραγωγής τους στην Ιταλία εκπλήρωναν αυτά τα κριτήρια.

**Πίνακας 10:** Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για τη χρήση RDF στην Ιταλία (Caruto and Pelagagge, 2002).

Ελάχιστη θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	15
Μέγιστη περιεκτικότητα σε υγρασία (% κ.β.)	25
Μέγιστη περιεκτικότητα σε τέφρα (% κ.β. σε ξηρή βάση)	20
Cl (% .κ.β.)	0,9
S (% .κ.β.)	0,6
Pb (mg/kg σε ξηρή βάση)	200
Cr (mg/kg σε ξηρή βάση)	100
Cu (mg/kg σε ξηρή βάση)	300
Mn (mg/kg σε ξηρή βάση)	400
Ni (mg/kg σε ξηρή βάση)	40
As (mg/kg σε ξηρή βάση)	9
Μέγιστη περιεκτικότητα Cd και Hg (mg/kg σε ξηρή βάση)	7

Κριτήρια για τη χρήση δευτερογενών καυσίμων στις τσιμεντοβιομηχανίες στη Σουηδία αναγράφονται στον πίνακα 11.

**Πίνακας 11:** Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για τη χρήση δευτερογενών καυσίμων σε τσιμεντοβιομηχανίες στη Σουηδία (European Commission, 2003).

Παράμετροι	Κριτήρια	
	“Specialbränsle A”	“Lattbränsle”
Θερμογόνος δύναμη	23,9 – 31,4 MJ/kg	25,1 – 31,4 MJ/kg
Ειδικό βάρος στους 15° C	0,9 – 1,1 kg/dm <sup>3</sup>	0,80 – 0,95 kg/dm <sup>3</sup>
Τέφρα	5 – 10 %	0,6 – 0,8 %
Υγρασία	< 30 %	< 10 %
Cl	< 1 %	< 1 %
S	-	< 0,5 %
Cr	< 300 ppm	< 30 ppm
V	-	< 50 ppm
Z	-	< 300 ppm
Zn	< 2000 ppm	-
Cd	< 10 ppm	< 5 ppm
Pb	< 350 ppm	< 100 ppm
Ni	-	< 10 ppm
Hg	-	< 5 ppm
PCB	-	< 5 ppm



Η Ευρωπαϊκή επιτροπή τυποποίησης (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.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω κριτήρια, η απαιτούμενη θερμογόνο δύναμη του RDF που έχει οριστεί από την EURITS για την συναποτέφρωση αποβλήτων στην τσιμεντοβιομηχανία έχει υιοθετηθεί από την Ιταλία, ενώ η Πολωνία θέτει ένα ελαφρώς χαμηλότερο όριο στα 14 MJ/kg. Αντίθετα η ελληνική νομοθεσία θέτει μεγαλύτερο όριο (16,7 MJ/kg). Σε γενικές γραμμές σε όλες τις εξεταζόμενες χώρες το όριο του χλωρίου κυμαίνεται σε 0,4-1%, εκτός της τσιμεντοβιομηχανίας στην Πολωνία όπου ορίζεται στο 0,2%. Όσον αφορά το περιεχόμενο στην τέφρα, η Σουηδία παρουσιάζει τα περισσότερα ανελαστικά όρια με ποσοστό 0,6-0,8% (κριτήριο Lattbränsle), ενώ στις υπόλοιπες χώρες κυμαίνεται στο 20%. Αντίστοιχα τα περισσότερα αυστηρά όρια για την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα θέτουν οι προδιαγραφές που ισχύουν στην Ελβετία. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ελληνική νομοθεσία δεν θέτει όρια συγκέντρωσης σε χλώριο, τέφρα ή βαρέα μέταλλα, παρόλα αυτά ο έλληνας παραγωγός RDF/SRF θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τις απαιτούμενες προδιαγραφές του τελικού αποδέκτη.

Σε περίπτωση αυξημένης ποσότητας χλωρίου στο RDF, λύση μπορεί να δώσει η χρήση Near Infrared (NIR) τεχνολογίας, η οποία επιτρέπει την ανίχνευση χλωριωμένων πολυμερών όπως είναι το PVC. Έτσι χρήση NIR κατά τη μηχανική επεξεργασία των ΑΣΑ, μπορεί να εξασφαλίσει περιεκτικότητα σε χλώριο μικρότερη από 1% (ξηρή βάση), ωστόσο περιορίζεται, σε ένα ελάχιστο 0,5-0,7% Cl (Schirmer et al., 2003).

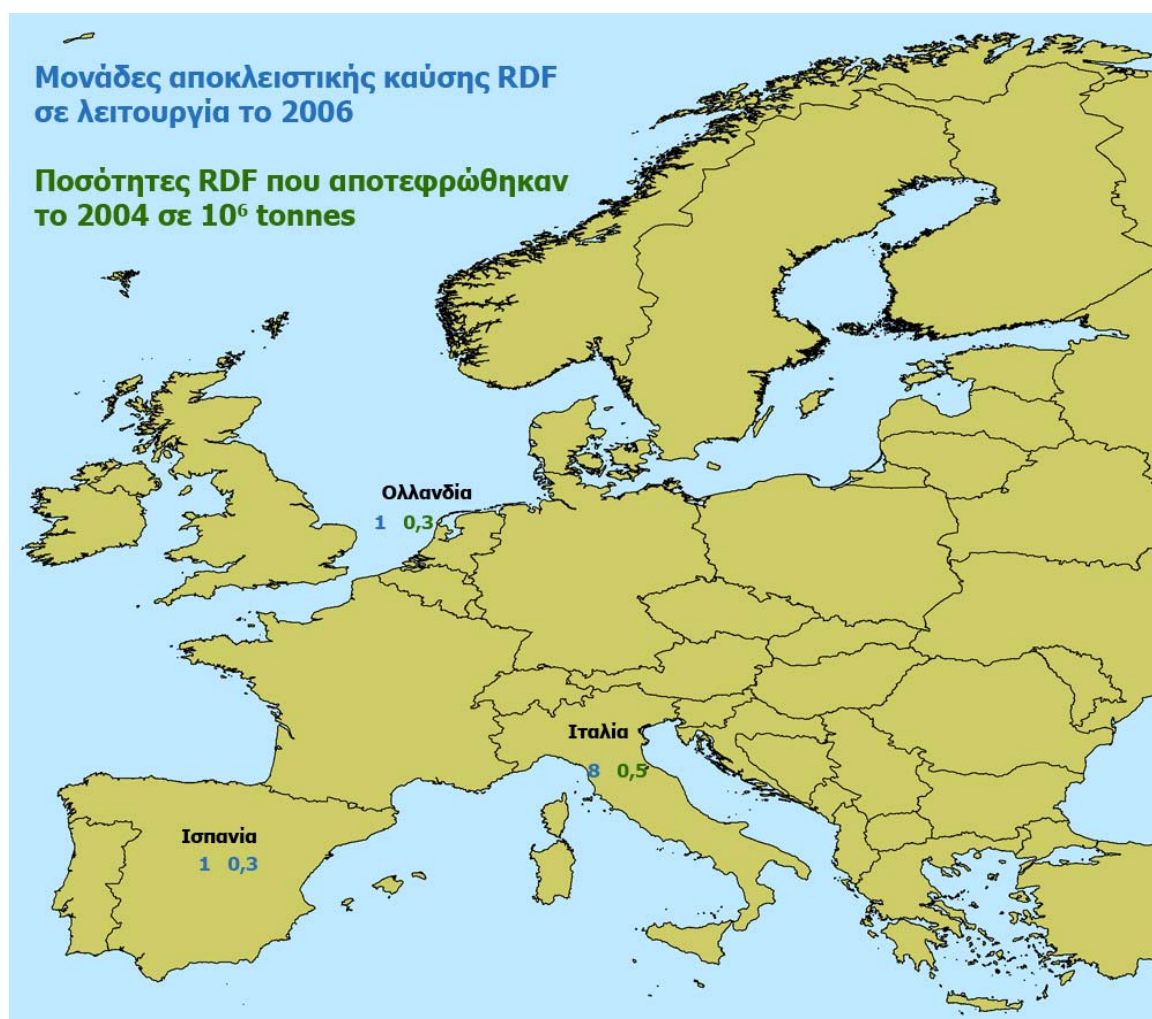
Με βάση τα ελληνικά δεδομένα, το προβλεπόμενο ισοζύγιο μάζας για ενδεχόμενη μονάδα παραγωγής απορριμματογενών καυσίμων μέσω βιολογικής ξήρανσης στη Θεσσαλονίκη αναγράφεται στον πίνακα 12.

**Πίνακας 12:** Ισοζύγιο μάζας μονάδας βιολογικής ξήρανσης με ενεργειακή αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων (ΕΠΕΜ κα., 2008)

Fe	3%
Al	0,4%
Υπολείμματα Μηχανικής Διαλογής	20%
Τέφρα πυθμένα	13,1%
Λοιπές τέφρες	2,6%
Υλικό που αποτεφρώνεται	36,7%
Απώλειες υγρασίας και πτητικών	24,2%

### 2.2.3. Μονάδες σε λειτουργία στην ΕΕ

Στην εικόνα 13 απεικονίζονται οι μονάδες στην ΕΕ, οι οποίες λειτουργούν αποκλειστικά με τη χρήση RDF.



**Εικόνα 13:** Χάρτης με τις μονάδες αποκλειστικής αποτέφρωσης RDF στην Ευρώπη το 2006 και συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 (CEWEP, 2009).

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 13, μόνο στην Ιταλία, Ολλανδία και Ισπανία έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν μονάδες αποκλειστικής αποτέφρωσης RDF, οι οποίες τόσο σε αριθμό, όσο και σε δυναμικότητα υπολείπονται των μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ. Στην Ισπανία ο αποτεφρωτής είναι ρευστοποιημένης κλίνης, στην Ολλανδία κινούμενων εσχάρων, ενώ στην Ιταλία απαντώνται διάφορων τύπων συστήματα αποτέφρωσης RDF.

Εκτός των μονάδων οι οποίες λειτουργούν με αποκλειστική αποτέφρωση RDF, υπάρχουν μονάδες στις οποίες οδηγούνται κυρίως ΑΣΑ, αλλά και κάποιες ποσότητες RDF. Αυτές βρίσκονται στη Σουηδία (2 μονάδες), στη Δανία (1 μονάδα), στην Ελβετία (1 μονάδα), στην Ιταλία (3 μονάδες) και στην Ισπανία (1 μονάδα).

#### 2.2.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας

Το κόστος της παραγωγής απορριμματογενών καυσίμων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, με έναν από τους βασικότερους, την απαιτούμενη ποιότητα του τελικού προϊόντος, η οποία καθορίζει τις επιμέρους διατάξεις που θα εγκατασταθούν στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Ενδεικτικά, στο Γραμματικό και στην Κερατέα εξετάζεται η κατασκευή εργοστασίων βιολογικής ξήρανσης δυναμικότητας 127.500 t/έτος, των οποίων το κόστος παραγωγής SRF. εκτιμάται σε 80,65 €/t με 142,90 €/t (Θεοχάρη κ.ά., 2006).

Για σχεδιαζόμενη εγκατάσταση επεξεργασίας και διάθεσης απορριμμάτων στη Θεσσαλονίκη, η οποία περιλαμβάνει και μονάδα παραγωγής και ενεργειακής αξιοποίησης απορριμματογενών καυσίμων, το συνολικό κόστος επένδυσης με ΦΠΑ ανέρχεται σε 280.158.505 € (ΕΠΕΜ κα, 2008). Η εν λόγω εγκατάσταση περιλαμβάνει μονάδα μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας, μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης και χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων και σχεδιάστηκε για εισερχόμενες ποσότητες ΑΣΑ μεταξύ 250.000 – 350.000 t/έτος. Στον πίνακα 13 αναγράφονται το συνολικό λειτουργικό κόστος και το σύνολο εσόδων της εγκατάστασης αυτής.

**Πίνακας 13:** Λειτουργικό κόστος και σύνολο εσόδων για σχεδιαζόμενη εγκατάσταση επεξεργασίας και διάθεσης απορριμμάτων στη Θεσσαλονίκη (ΕΠΕΜ κα, 2008)

Περιγραφή	€/t
Συνολικό Λειτουργικό κόστος Μονάδας (συντήρηση, ενέργεια, προσωπικό, αναλώσιμα, διαχείριση υπολειμμάτων, κινητός εξοπλισμός, λειτουργία ΧΥΤΥ, διοικητικό κόστος, διάφορα)	100
Σύνολο εσόδων	30

Για μια μονάδα RDF με ρυθμό παραγωγής 25 t RDF/h το κόστος κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη κόστος αγοράς εξοπλισμού, κόστος εγκατάστασής του, κόστος κατασκευής κτιριακών εγκαταστάσεων, αγορά γης και μισθούς ισούται με (Caruto and Pelagagge, 2002):

$$K_k = 2,99A$$

Όπου A: κόστος αγοράς εξοπλισμού

Και το λειτουργικό κόστος (Caruto and Pelagagge, 2002):

$$K_e = 0,352K_k + 1,05\Delta + 1,2E + Z + H + \Theta + I$$

Όπου  $K_k$ : Κόστος εγκατάστασης

$\Delta$ : Κόστος κατανάλωσης ενέργειας

E: Κόστος εργασίας

Z: Τέλος πύλης (σε περίπτωση που ο παραγωγός θα πρέπει να πληρώσει τρίτους για τη χρήση του RDF)

H: Μεταφορικό κόστος

$\Theta$ : Κόστος διάθεσης υπολειμμάτων

I: Κόστος αγοράς μεταχειρισμένων ελαστικών

Σε γενικές γραμμές σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία, η παραγωγή του RDF δε θεωρείται οικονομικά βιώσιμη, αν δεν παρέχονται κρατικές επιχορηγήσεις για τη λειτουργία της (Caruto and Pelagagge, 2006, Vehlow, 2008) ή αν δεν καλύπτει το κόστος αυτό ο χρήστης των υπηρεσιών (ΟΤΑ, πολίτες και παραγωγοί).

Είναι όμως σαφές ότι αποτελεί μία τεχνολογική εφαρμογή με πολλές εφαρμογές και σημαντική εξέλιξη και προβλέπεται από το ελληνικό και κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο. Η διαθέσιμη βιβλιογραφία περιέχει λιγότερα στοιχεία και αποτελέσματα των εφαρμογών αποτέφρωσης SRF και RDF (ΕΠΕΜ κα, 2008).

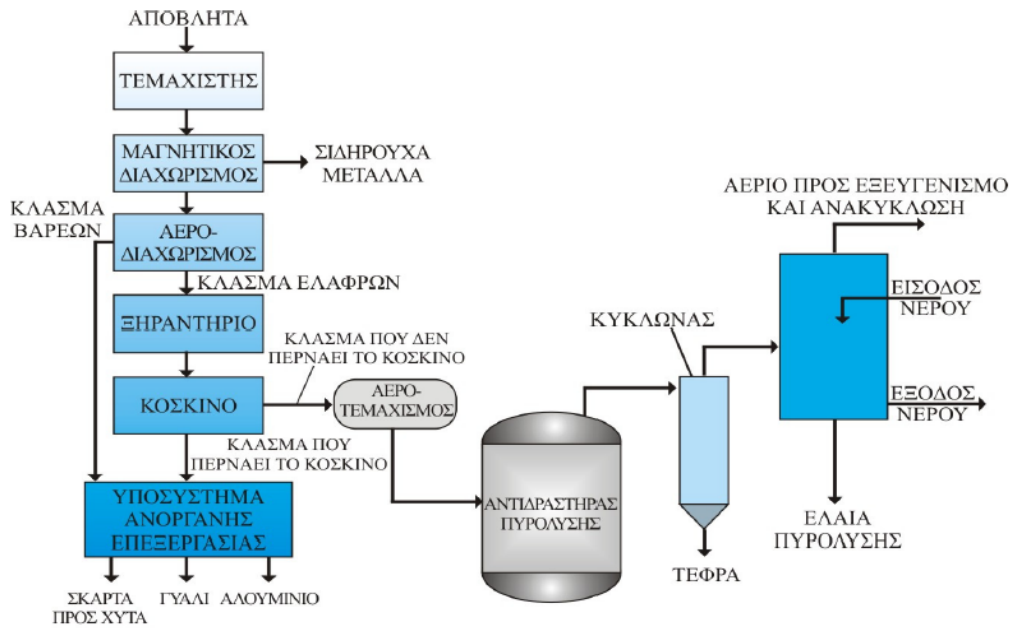
### **2.3. Πυρόλυση**

Ως πυρόλυση ορίζεται η αποδόμηση των οργανικών ουσιών των απορριμμάτων, απουσία (ή παρουσία ελαχίστου) οξυγόνου. Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική διεργασία, η οποία αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία ΑΣΑ τα τελευταία 20-30 χρόνια. Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της (Alibardi and Cossu, 2006).

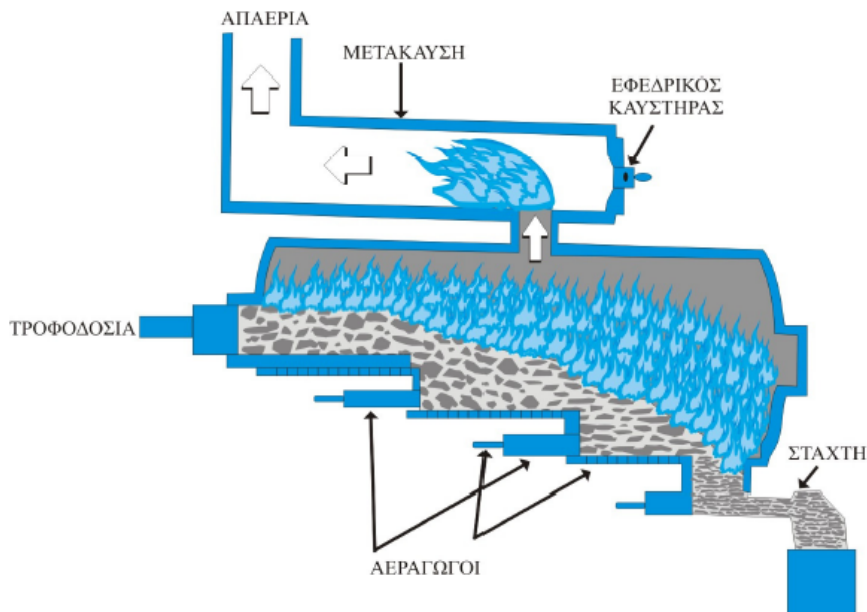
#### **2.3.1. Περιγραφή τεχνολογίας**

Κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης, τα απορρίμματα βρίσκονται μέσα σε ατσάλινους 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 απορριμμάτων (Alibardi and Cossu, 2006). Στην εικόνα 14 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης και στην εικόνα 15 τα υποσυστήματα ενός πυρολυτικού αντιδραστήρα.

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης (Λάλας κ.ά., 2007).



Εικόνα 15: Υποσυστήματα πυρολυτικού αντιδραστήρα (Λάλας κ.ά., 2007).

Η πυρόλυση σε χαμηλές θερμοκρασίες παράγει υγρό καύσιμο. Με την μέθοδο αυτή το απόβλητο τεμαχίζεται σε διάσταση μικρότερη των 50 mm, κατόπιν γίνεται διαχωρισμός με αέρα του οργανικού κλάσματος και ξήρανση σε ξηραντήριο αέρα. Το οργανικό κλάσμα κοσκινίζεται, περνά από σφαιρόμυλο για περαιτέρω μείωση μεγέθους σε κάτω των 3 mm, και τέλος πυρολύεται σε αντιδραστήρα υπό

ατμοσφαιρική πίεση. Το στερεό απόβλητο μετατρέπεται σε ιξώδες υγρό στους 500 °C.

Άλλη παραλλαγή της πυρόλυσης περιλαμβάνει διάσπαση του οργανικού κλάσματος σε θερμοκρασία 1400-1500 °C απουσία O<sub>2</sub>, σε αέριο καύσιμο (syngas, 35% CO, 35% H<sub>2</sub>, 20% CO<sub>2</sub>, 10% N<sub>2</sub> κλπ), το οποίο στην συνέχεια οξειδώνεται θερμικά, καθαρίζεται από στερεά και χρησιμοποιείται σε αμολέβητα για παραγωγή ατμού και στην συνέχεια ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αμωστρωβίλου, ή απευθείας σε Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) με ηλεκτρογεννήτρια.

Το στερεό υποπροϊόν που παράγεται (είδος τέφρας), είτε χρησιμοποιείται στην κάλυψη ΧΥΤΥ, είτε σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές ανάλογα με την σύνθεση και επεξεργασία του.

### 2.3.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης

Τα προϊόντα της πυρόλυσης είναι στερεά, υγρά και αέρια και η σύσταση τους εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας, όπως τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής των απορριμμάτων στον πυρολυτικό θάλαμο. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την πυρόλυση αστικών στερεών αποβλήτων κυμαίνεται από 100 έως 900 °C και οι συνολικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται άμεσα από αυτήν. Το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων απαερίων κυμαίνεται μεταξύ 12,5 και 46,0 MJ/m<sup>3</sup> (Bilitewski, 2006). Για την εφαρμογή της διεργασίας της πυρόλυσης απαιτείται προεπεξεργασία των απορριμμάτων (απομάκρυνση μετάλλων, γυαλιού, κ.ά.), έτσι ώστε στο θάλαμο πυρόλυσης να οδηγείται μόνο το οργανικό τους κλάσμα.

### 2.3.3. Μονάδες σε λειτουργία 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 (CEWER, 2009). Παρόλα αυτά στην Ιαπωνία υπάρχουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών απορριμμάτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά για πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των

απορριμμάτων της, σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών (Alibardi and Cossu, 2006).

#### 2.3.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας

Λόγω της απουσίας μονάδων πυρόλυσης στην ΕΕ, υπάρχει έλλειψη αξιόπιστων δεδομένων για τη λειτουργία τους. Ως λύση προτείνεται η εξαγωγή συμπερασμάτων από δεδομένα πιλοτικών σταθμών πυρόλυσης, τα οποία ωστόσο δεν μπορούν να θεωρηθούν εγγυημένα. Παράλληλα υπάρχει και έλλειψη στοιχείων ότι η τεχνολογία αυτή είναι οικονομικά βιώσιμη, καθώς δεν είναι εφικτό να συγκριθούν με οικονομικές εκτιμήσεις από διαφορετικές πηγές (Slater, 2008).

### 2.4. Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση 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, που έχουν μεγαλύτερο θερμικό περιεχόμενο και σταθερότερες ιδιότητες.

#### 2.4.1. Περιγραφή τεχνολογίας

Η αεριοποίηση περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καυσίμων αερίων, μέσω μερικής οξειδωσής του σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500 °C) (Alibardi and Cossu, 2006). Στην εικόνα 16 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας της αεριοποίησης.





ατμοσφαιρικού αζώτου, η θερμογόνος δύναμη του αέριου προϊόντος είναι χαμηλή και κυμαίνεται στα  $0,35 \text{ MJ/m}^3$ . Η τυπική του σύσταση είναι: 10%  $\text{CO}_2$ , 20%  $\text{CO}$ , 15%  $\text{H}_2$ , 2%  $\text{CH}_4$  και 53%  $\text{N}_2$ . Στην περίπτωση που η τροφοδοσία αποτελείται από καθαρό οξυγόνο, το ενεργειακό περιεχόμενο του αέριου προϊόντος αυξάνεται στα  $0,7 \text{ MJ/m}^3$ . Στην περίπτωση αυτή η τυπική του σύσταση του είναι: 14%  $\text{CO}_2$ , 50%  $\text{CO}$ , 30%  $\text{H}_2$ , 4%  $\text{CH}_4$ , 1%  $\text{C}_x\text{H}_y$  και 1%  $\text{N}_2$  (Λάλας κ.ά, 2007).

#### 2.4.3. Μονάδες σε λειτουργία 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 (Econoποπουλος, 2006). Μέχρι το 2006, στην Ευρώπη υπήρχαν 2 μονάδες αεριοποίησης ΑΣΑ στη Νορβηγία (CEWEP, 2009), ενώ το καλοκαίρι του 2008 κατασκευάστηκε μια ακόμη μονάδα στο νησί Wight στο Ηνωμένο Βασίλειο (Slater, 2008).

#### 2.4.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας

Όπως και στην περίπτωση των μονάδων πυρόλυσης, έτσι και στις μονάδες αεριοποίησης, δεν υπάρχουν διαθέσιμα επαρκή οικονομικά στοιχεία που αφορούν στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας τους. Επιπροσθέτως ούτε τα θεωρητικά δεδομένα που δίδονται από τις κατασκευάστριες εταιρείες είναι εύκολο να επαληθευτούν (Slater, 2008).

### 2.5. Αναερόβια ζύμωση οργανικού κλάσματος ΑΣΑ

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).

### 2.5.1. Περιγραφή τεχνολογίας

Το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ, πολτοποιείται με νερό και παραμένει έτσι, υφιστάμενο υδρόλυση. Με την υδρόλυση τα οργανικά μακρομόρια διασπώνται σε μικρότερα, που μπορούν ευκολότερα να βιοαποικοδομηθούν. Το στάδιο της υδρόλυσης δεν είναι πάντοτε απαραίτητο και εξαρτάται από το είδος του καιγόμενου κλάσματος. Μετά την υδρόλυση, το οργανικό κλάσμα περνάει σε ειδικά σχεδιασμένους βιοαντιδραστήρες, όπου υφίσταται βακτηριακή αποικοδόμηση απουσία αέρα (αναερόβια ζύμωση). Τα αέρια προϊόντα της ζύμωσης είναι  $\text{CH}_4$  45 – 55%,  $\text{CO}_2$  40 – 50% και  $\text{H}_2\text{S}$ . Το  $\text{CH}_4$  χρησιμοποιείται μετά από αφύγρανση και αποθείωση απευθείας σε ζεύγος ΜΕΚ-ηλεκτρογεννήτριας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε περίπτωση που το οργανικό κλάσμα προέρχεται από διαλογή στην πηγή και όχι μετά από μηχανικό διαχωρισμό σύμμεικτων ΑΣΑ, τότε το υδαρές υπόλειμμα μετά από χώνευση μπορεί να αποτελέσει λίπασμα καλής ποιότητας. Το νερό είτε ανακυκλώνεται στο στάδιο της υδρόλυσης, είτε διατίθεται για πότισμα καλλιεργειών. Η συμπαραγόμενη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται στους βιοαντιδραστήρες για την διατήρηση της θερμοκρασίας σε κατάλληλο επίπεδο βέλτιστης απόδοσης της ζύμωσης.

Ανάλογα με την ποιότητα και ποσότητα των ΑΣΑ και τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της αναερόβιας ζύμωσης. Σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμόζονται τα παρακάτω στάδια.

- Διαλογή. Διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος, είτε με διαλογή στην πηγή, είτε μηχανικά.
- Μείωση μεγέθους. Η μείωση μεγέθους παρέχει μέγιστη επιφάνεια δράσης για τα βακτήρια, και γίνεται με ποικιλία τρόπων (κοπή, άλεση, τεμαχισμός κοχλία, τύμπανο κλπ).
- Αναερόβια ζύμωση. Το οργανικό κλάσμα εισέρχεται στον βιοαντιδραστήρα, όπου υφίσταται βακτηριακή αποικοδόμηση για παραγωγή βιοαερίου.
- Μετεπεξεργασία. Το υδαρές υπόλειμμα παραμένει σε χώνευση για 2-4 εβδομάδες.

Το κύριο τμήμα της τεχνολογίας είναι η αναερόβια ζύμωση. Ορισμένες παραλλαγές που έχουν εφαρμογή αναφέρονται περιληπτικά στην συνέχεια.

### ***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 ψεκασμό. 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).

### ***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.

### ***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.

### **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 ψεκασμό. Δημιουργείται έτσι συνεχής ροή αερίου που επιτρέπει την συνεχή λειτουργία του ζεύγους ΜΕΚ-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.

### **Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα**

Πλεονεκτήματα της αναερόβιας ζύμωσης:

- Παραγωγή βιοαερίου που αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- Σε περίπτωση διαλογής στην πηγή του οργανικού κλάσματος μπορεί να γίνει παραγωγή εδαφοβελτιωτικού.
- Δραστική μείωση των παθογενών 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.

Μειονεκτήματα:

- 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.

Για ελληνικά δεδομένα, το ισοζύγιο μάζας μιας ενδεχόμενης μονάδας αναερόβιας χώνευσης σε συνδυασμό με παραγωγή απορριμματογενών καυσίμων στη Θεσσαλονίκη αναγράφεται στον πίνακα 14.

**Πίνακας 14:** Ισοζύγιο μάζας μονάδας αναερόβιας χώνευσης στη Θεσσαλονίκη (ΕΠΕΜ κα, 2008)

Fe	1,8%
Al	0,2%
Υπολείμματα μηχανικής διαλογής	13,5%
Ανακυκλοφορία νερού	19%
Απορριμματογενές καύσιμο	28%
Ιλύς	7,9%
Υλικό που μετατρέπεται σε βιοαέριο	8,2%
Απώλειες πτητικών / υγρασίας	221,3%

#### 2.5.2. Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης

Κατά την αναερόβια χώνευση γίνεται ελεγχόμενη βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου (ένα μίγμα  $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$ ) 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.

#### 2.5.3. Μονάδες σε λειτουργία 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 (Wittmaier, 2006, Λάλας κ.ά., 2007). 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 (European Commission, 2006), ενώ πολύ περισσότερες είναι οι μικρές – μεσαίες εγκαταστάσεις για αγροτικά απόβλητα (3.500 μόνο στη Γερμανία) (Λαζαρίδη, 2009).

#### 2.5.4. Στοιχεία κόστους κατασκευής και λειτουργίας

Ενδεικτικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας επιλεγμένων μονάδων αναερόβιας ζύμωσης ΑΣΑ, όπως και η παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας για επιλεγμένες μονάδες παρουσιάζονται στους πίνακες 15-16.

**Πίνακας 15:** Κόστος κατασκευής και λειτουργίας επιλεγμένων μονάδων αναερόβιας χώνευσης σύμμεικτων ή υπολειμματικών ΑΣΑ (ΕΑ, 2002)

Μονάδα (έτος κατασκευής)	Δυναμικότητα (t/έτος)	Κόστος επένδυσης (10 <sup>6</sup> €)	Λειτουργικό κόστος (€/t)	Τέλη εισόδου (€/t)
Vaasa (1994)	40.000	6,2	39,1	39,1
Amiens (1988)	72.000	1,2	49,0	37,7
Ashford (1999)	40.000	11,8		44-52
Vagron (2000)	230.000 σύμμεικτα 92.000 οργανικά	19,1		

**Πίνακας 16:** Παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας για επιλεγμένες μονάδες αναερόβιας χώνευσης σύμμεικτων ή υπολειμματικών ΑΣΑ (ΕΑ, 2002)

Μονάδα (έτος κατασκευής)	Δυναμικότητα (t/έτος)	Παραγωγή βιοαερίου (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /έτος)	Πώληση ενέργειας
Vaasa (1994)	40.000	1,95	2.000 MWh/y ηλεκτρική 5.700 MWh/y θερμότητα
Amiens (1988)	72.000	7,9	40.530 MWh/y θερμότητα
Vagron (2000)	230.000 σύμμεικτα 92.000 οργανικά	8,8	7.100 MWh/y ηλεκτρική 14.000 MWh/y θερμότητα

## 2.6. Ανάλυση SWOT

Με βάση τα κεφάλαια 2.1-2.5, στους πίνακες 17-21 παρουσιάζεται ανάλυση SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) όσον αφορά την αποτέφρωση των ΑΣΑ, την αξιοποίηση απορριματογενών καυσίμων, την πυρόλυση, την αεριοποίηση και την αναερόβια ζύμωση



**Πίνακας 17:** Ανάλυση SWOT για την αποτέφρωση (mass fired) των ΑΣΑ

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Δυνατότητα λειτουργίας με ελάχιστη προεπεξεργασία των ΑΣΑ.</li> <li>➤ Μονάδες υψηλής δυναμικότητας.</li> <li>➤ Καλά εγκατεστημένη αγορά. τεχνολογιών αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων σε παγκόσμιο επίπεδο.</li> <li>➤ Ελαστικότητα στην εποχική διακύμανση της ποσότητας προς επεξεργασία.</li> <li>➤ Επίτευξη μεγάλης μείωσης του όγκου των απορριμμάτων.</li> <li>➤ Με την χρήση συστημάτων συμπαραγωγής η απόβλητη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τοπικές χρήσεις.</li> <li>➤ Δυνατότητα ανάκτησης μετάλλων από την παραγόμενη τέφρα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Υψηλό κόστος κατασκευής.</li> <li>➤ Υψηλό κόστος απορρύπανσης των απαιριών.</li> <li>➤ Απαιτήση ύπαρξης Χώρου Υγειονομικής Ταφής Επικινδύνων για την παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα.</li> <li>➤ Για την επίτευξη βέλτιστης οικονομίας κλίμακας απαιτούνται μονάδες μεγάλης δυναμικότητας και συμβόλαια παροχής αποβλήτων μεγάλης διάρκειας Χαμηλή ποιότητα ανακτημένων μετάλλων από την τέφρα.</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Επίτευξη οικονομίας κλίμακας.</li> <li>➤ Επίτευξη στόχων εκτροπής ΑΣΑ από την τελική διάθεση.</li> <li>➤ Η εισαγωγή πιλοτικού μεγέθους και χαμηλών εκπομπών μονάδων μπορεί να ανατρέψει την αρνητική δημόσια εικόνα της αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Κίνδυνος αστοχίας των συστημάτων επεξεργασίας απαιριών.</li> <li>➤ Κίνδυνος αύξησης του κόστους λόγω τελών πύλης του ΧΥΤ Επικινδύνων.</li> <li>➤ Μπορεί να θεωρηθεί ως αντικίνητρο για την ενδυνάμωση συστημάτων διαλογής στην πηγή.</li> <li>➤ Οι προδιαγραφές ασφάλειας και εκπομπών μπορεί να αυξήσουν σημαντικά το κόστος.</li> <li>➤ Οι τοπικές αντιδράσεις μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις στο σχεδιασμό και την υλοποίηση μονάδων αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων.</li> <li>➤ Η ανάγκη για ύπαρξη σημαντικού καταναλωτή θερμότητας πλησίον της μονάδας συμπαραγωγής περιορίζει σημαντικά τις επιλογές χωροθέτησης.</li> </ul>

**Πίνακας 18:** Ανάλυση SWOT για την αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Επεξεργασία κλάσματος υψηλής θερμογόνου δύναμης – αύξηση του βαθμού αποδόσεως του συστήματος.</li> <li>➤ Χρήση ήδη υπαρχουσών βιομηχανιών (πχ τσιμεντοβιομηχανίες) για την ενεργειακή αξιοποίηση.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ανάγκη για προτυποποίηση των απορριμματογενών καυσίμων και προστιθέμενο κόστος επεξεργασίας.</li> <li>➤ Επιβάλλεται συνεχής έλεγχος των απαερίων.</li> <li>➤ Αυξημένο κόστος στην περίπτωση κατασκευής μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης.</li> <li>➤ Απαίτηση ύπαρξης Χώρου Υγειονομικής Ταφής Επικινδύνων για την παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα αν δεν είναι εφικτή η συναποτέφρωση</li> <li>➤ Αδυναμία διάθεσης του οργανικού κλάσματος χωρίς κόστος</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Η χρήση σε βιομηχανικές διεργασίες προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με την αποτέφρωση στερεών αποβλήτων καθώς αφήνει ευκαιρίες για ανάπτυξη προγραμμάτων ανακύκλωσης.</li> <li>➤ Η αξιοποίηση βιομηχανικών καταναλωτών απορριμματογενών καυσίμων δεν απαιτεί μονάδες υψηλής έντασης κεφαλαίου αποκλειστικής αποτέφρωσής τους και μπορεί να μεταβάλει τον όγκο τους προς αποτέφρωση ανάλογα με τη ζήτηση.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Εξάρτηση από τον παραλήπτη του απορριμματογενούς καυσίμου</li> <li>➤ Κίνδυνος αύξησης του κόστους από το τίμημα διαχείρισης και μεταφοράς του καυσίμου</li> <li>➤ Εξαιρετικά ρευστή αγορά απορριμματογενών καυσίμων – άμεση σύνδεση με την τιμή του πετρελαίου.</li> <li>➤ Πιθανή εξασθένηση του ενδιαφέροντος του κοινού για την ανακύκλωση και διαλογή στην πηγή.</li> </ul>

**Πίνακας 19:** Ανάλυση SWOT για την πυρόλυση

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Μείωση του όγκου των ΑΣΑ προς τελική διάθεση.</li> <li>➤ Περισσότερο ευέλικτη τεχνολογία σε μεταβολές όγκου ροής εισερχόμενων ΑΣΑ.</li> <li>➤ Λιγότερες εκπομπές αέριων ρύπων σε σχέση με την αποτέφρωση.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Νέα τεχνολογία, μη δοκιμασμένη επαρκώς σε εμπορικές εφαρμογές.</li> <li>➤ Ανάγκη για προεπεξεργασία των ΑΣΑ = αύξηση του κόστους.</li> <li>➤ Το υπόλειμμα της πυρόλυσης δεν έχει εμπορικές εφαρμογές και πιθανώς απαιτεί εξειδικευμένο χειρισμό για την τελική διάθεση.</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός συνολικού συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ.</li> <li>➤ Οι τυπικές μονάδες πυρόλυσης είναι σχετικά μικρότερες σε μέγεθος και με χαμηλότερες εκπομπές από τις μονάδες αποτέφρωσης.</li> <li>➤ Πιο εύκολα αποδεκτή τεχνολογία από τη δημόσια γνώμη – λιγότερες πιθανότητες να παρουσιαστούν εμπόδια στην υλοποίηση.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Η βιωσιμότητα της μονάδας εξαρτάται αποκλειστικά στην πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.</li> <li>➤ Με λανθασμένη ενημέρωση του κοινού μπορεί να θεωρηθεί παρόμοια τεχνολογία με την αποτέφρωση με αποτέλεσμα αντίστοιχες αντιδράσεις.</li> <li>➤ Η επιλογή της πυρόλυσης μπορεί να μειώσει τις προσπάθειες ενδυνάμωσης προγραμμάτων ανακύκλωσης και ελαχιστοποίησης στην πηγή.</li> </ul>

**Πίνακας 20:** Ανάλυση SWOT για την αεριοποίηση

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Τεχνολογία χαμηλών εκπομπών αέριων ρύπων.</li> <li>➤ Δεν παρουσιάζονται τα προβλήματα μεταφοράς θερμότητας που υπάρχουν στην πυρόλυση.</li> <li>➤ Χαμηλή στάθμη θορύβου και οσμών.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Νέα τεχνολογία, μη δοκιμασμένη επαρκώς σε εμπορικές εφαρμογές.</li> <li>➤ Ανάγκη για προεπεξεργασία των ΑΣΑ = αύξηση του κόστους.</li> <li>➤ Το υπόλειμμα της αεριοποίησης δεν έχει εμπορικές εφαρμογές και πιθανώς απαιτεί εξειδικευμένο χειρισμό για την τελική διάθεση.</li> <li>➤ Το παραγόμενο αέριο συχνά έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη.</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός συνολικού συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ.</li> <li>➤ Οι τυπικές μονάδες αεριοποίησης είναι σχετικά μικρότερες σε μέγεθος και με χαμηλότερες εκπομπές από τις μονάδες αποτέφρωσης.</li> <li>➤ Πιο εύκολα αποδεκτή τεχνολογία από τη δημόσια γνώμη – λιγότερες πιθανότητες να παρουσιαστούν εμπόδια στην υλοποίηση.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Η βιωσιμότητα της μονάδας εξαρτάται αποκλειστικά στην πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.</li> <li>➤ Με λανθασμένη ενημέρωση του κοινού μπορεί να θεωρηθεί παρόμοια τεχνολογία με την αποτέφρωση με αποτέλεσμα αντίστοιχες αντιδράσεις.</li> <li>➤ Η επιλογή της αεριοποίησης μπορεί να μειώσει τις προσπάθειες ενδυνάμωσης προγραμμάτων ανακύκλωσης και ελαχιστοποίησης στην πηγή.</li> </ul>

**Πίνακας 21:** Ανάλυση SWOT για την αναερόβια ζύμωση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Δοκιμασμένη τεχνολογία.</li> <li>➤ Τόσο το βιοαέριο όσο και το παραγόμενο εδαφοβελτιωτικό είναι πιθανές πηγές εσόδων.</li> <li>➤ Συμβάλει θετικά στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.</li> <li>➤ Πολύ μεγάλο ποσοστό των υπολειμμάτων μπορεί να αξιοποιηθεί/επαναχρησιμοποιηθεί.</li> <li>➤ Οι μονάδες σχεδιάζονται με τρόπο που μπορεί εύκολα να αυξηθεί η δυναμικότητα.</li> <li>➤ Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί μετά από καθαρισμό/αναβάθμιση να διοχετευθεί στο δίκτυο φυσικό αερίου.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Μη βιώσιμη τεχνολογία με αποκλειστικό έσοδο την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάγκη για εμπορική εκμετάλλευση και του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού.</li> <li>➤ Δεν επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των ΑΣΑ προς επεξεργασία.</li> <li>➤ Η ποιότητα του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού βασίζεται στην «ποιότητα» των εισερχόμενων ΑΣΑ.</li> <li>➤ Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αναερόβιας ζύμωσης πιθανή παραγωγή ρεύματος υγρών λυμάτων προς επεξεργασία.</li> <li>➤ Το παραγόμενο βιοαέριο χρειάζεται επεξεργασία πριν τη χρήση για παραγωγή ενέργειας.</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Μεγάλο εύρος πιθανών τεχνολογιών που μπορούν να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες.</li> <li>➤ Δυνατότητα συνεπεξεργασίας αγροτικών-κτηνοτροφικών αποβλήτων με ταυτόχρονη αύξηση της απόδοσης σε βιοαέριο.</li> <li>➤ Τεχνολογία χαμηλού ρίσκου.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Η αγορά εδαφοβελτιωτικών εξελίσσεται ιδιαίτερα ανταγωνιστικά με αποτέλεσμα την ανάγκη για παραγωγή υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού.</li> <li>➤ Οι πολλές διαφορετικές επιλογές τεχνολογίας καθιστούν δύσκολη την εκτίμηση του οικονομικού ρίσκου.</li> </ul>

## 2.7. Βιβλιογραφία

Alibardi L. and Cossu R. (2006), Energy from wastes and biomasses: opportunities and state of the art, Proceedings Venice 2006: Biomass and waste to energy symposium, Italy.

Archer E., Baddeley A., Klein A., Schwager J. and Whiting K. (2005), Mechanical-Biological-Treatment: a guide for decision makers. Processes, policies & markets. Summary Report, Technical report by Juniper Consultancy Services Ltd. funded by SITA Environmental Trust and ASSURRE.

Bilitewski B. (2006), Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologies, Proceedings Venice 2006: Biomass and waste to energy symposium, Italy.

Bilitewski B. (2007), Incineration of Refuse Derived Fuel – Development, Problems and Chances, Proceedings First International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), Skiathos island, Greece, June 24–28.

Bilitewski B. (2008), Thermal Treatment and Energetic Utilization of Solid Waste, Current Status and Perspectives, Thessaloniki 2. 05. 2008.

Bilitewski B. and Hoffmann G. (2007), Thermal waste treatment, seminar, Thessaloniki, 3 May.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (1998), Entsorgung von Abfällen in Zementwerken, Bern.

Caputo A.C and Pelagagge P.M. (2002), RDF production plants: I Design and costs, Applied Thermal Engineering 22, 423–437.

Caputo A.C. and Pelagagge P.M. (2006), Cost and profitability of RDF production and utilization plants, Proceedings Venice 2006, Biomass and Waste to Energy Symposium, Italy, 29 November – 1 December.

CEWEP (2009), Confederation of European Waste-to-Energy Plants, <http://www.cewep.eu/?fCMS=e4682ff148db555bc518eab017220268>

Diaz L.F. and Savage G.M. (1996), Pretreatment Options for Waste-to-Energy Facilities, Solid Waste Management: Thermal Treatment & Waste-to-Energy Technologies, VIP-53, Proceedings of International Technologies Conference, Washington, DC, USA, April.

Diaz L.F. and Savage G.M. (2006), Production and quality of Refuse Derived Fuel (RDF), Proceedings Venice 2006, Biomass and Waste to Energy Symposium, Italy.

E.A. (2002), Waste pre-treatment: a review, R&D Technical report R1-344/TR, AEA Technology Environment, Environment Agency, Bristol.

Economopoulos A.P. (2006), A Critical Review of the Regional MSW Management Plans in Greece. Proceedings International Conference Protection and Restoration of the Environment VIII, Chania, Greece.

European Commission (2003), Refuse Derived Fuel, current practice and perspectives, final report.

European Commission (2005). Best Available Techniques for Waste Incineration. Reference Document, Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre, Seville.

European Commission (2006), What is the Future for Anaerobic Digestion of Solid Waste?, European Commission DG Environment News Alert Service, October.

Hogg D. (2002), Costs for Municipal Waste Management in the EU, Final Report to Directorate General Environment, European Commission.

INTERGEO (2008), Καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης διαχείρισης και σύνθεσης των Απορριμμάτων της περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας Και Θράκης, Τελική έκθεση, Σεπτέμβριος.

Japanese Advanced Environment Equipment (2008), MHI Refuse Derived Fuel Manufacturing Plant, [http://www.gec.jp/JSIM\\_DATA/WASTE/WASTE\\_2/html/Doc\\_398.html](http://www.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_398.html).

Kalogirou E. (2008), Waste to Energy, WTERT 2008 Bi-Annual Meeting at Columbia University, NY, OCTOBER 16 & 17.

Koufodimos G. and Samaras Z. (2002), Waste management options in Southern Europe using field and experimental data, Waste Management, 22, 47–59.

McDougall F., White P., Franke M. and Hindle P. (2001), Integrated Solid Wastes Mngement: A Life Cycle Inventory. Blackwell Publishing.

Mokrzycki E., Uliasz-Bochenczyk A. and Sarna M. (2003), Use of alternative fuels in the Polish cement industry, Applied Energy 74, 101–111.

Rand T., Haukohl J. and Marxen U. (2000), Municipal Solid Waste Incineration – A decision maker’s guide, The World Bank, Washington DC.

Richter S. and Johnke B. (2004), Status of PCDD/F-emission control in Germany on the basis of the current legislation and strategies for further action, Chemosphere, 54, 1299–1302.

Rotter S., Kost T. and Bilitewski B. (2001), Chlorine and Heavy Metal Content in House-hold Waste Fractions and its Influence on Quality Control in RDF Production Processes, Proceedings 8<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia.

Schirmer M., Eckardt S. and Bilitewski B. (2003), Economic Advantages of the Energetic Recovery of Refuse Derived Fuels from Domestic Waste by the Implementation of Emission Trade, Proceedings Combustion Canada '03, Vancouver, September 21-32.

Slater B. (2008), Briefing Pyrolysis, gasification and plasma, Friends of the Earth, September.

T.A. Lauta (2008), Thermische Abfallbehandlung Lauta, <http://www.t-a-lauta.de/>.

Vehlow J. (2006), State of the art of incineration technologies, Proceedings Venice 2006: Biomass and waste to energy symposium.

Vehlow J. (2008), Biomass and Waste Utilisation in the EU – a Case Study, ICIPEC Pre-Conference Workshop “Biomass and Waste Conversion into Eco-friendly Energy” Chiang Mai (Thailand), December 16.

Wiltsee G. (2000), Lessons learned from existing biomass power plants, Final report, Appel consultants, Inc, Prepared for National Renewable Energy Laboratory, USA, February.

Wittmaier M. (2006), Fermentation of solid substrates, Πρακτικά ημερίδας NEUTRA, Ενεργειακή Αξιοποίηση και Θερμική Επεξεργασία Στερεών και Υγρών Αποβλήτων, 15 Δεκεμβρίου.

ΕΠΕΜ ΑΕ, ΠΕΡΜΕΛ ΕΠΕ, Ναούμ Ν., Ψαλτίδου Μαλλιαρού Ν., Φουντούλης Κ., Καρκαζή Α. και Κοντελέ Ε. (2008), Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων ολοκληρωμένης εγκατάστασης επεξεργασίας και διάθεσης απορριμμάτων (ΟΕΕΔΑ) Νοτιοανατολικής ενότητας Ν. Θεσσαλονίκης, Σεπτέμβριος.

Θεοχάρη Χ., Αραβώσης Κ., Βαρελίδης Π., Διαβάτης Η., Ζιώγας Χ., Ιατρού Σ., Μπούρκα Α.Α., Οικονομόπουλος Α., Παπαρηγορίου Σ., Παντελάρας Π. και Φραντζής Ι. (2006), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα / Η περίπτωση της Αττικής, Ομάδα εργασίας ΤΕΕ, Τελική έκθεση, Αθήνα, Νοέμβριος.

Καλογήρου Ε. (2009), Το Πρόβλημα Και Η Λύση Της Διαχείρισης Των Απορριμμάτων Της Αττικής, 3<sup>ο</sup> Διεθνές συνέδριο ΕΕΔΣΑ, 30-31 Οκτωβρίου, Αθήνα.

Κούγκολος Α.Γ. (2007), Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική, Εκδόσεις Τζιόλα.

ΚΥΑ 114218 (1997), Κατάρτιση πλαισίου γενικών προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, ΦΕΚ Β 1016.

ΚΥΑ 22912/1117 (2005), Μέτρα και Όροι για την Πρόληψη και τον Περιορισμό της Ρύπανσης του Περιβάλλοντος από την Αποτέφρωση των Αποβλήτων, ΦΕΚ Β 759.

Λαζαρίδη Κ. (2009), Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων, Ημερίδα Δυνατότητες Διαχείρισης Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων: Τα σκουπίδια δεν είναι για πέταμα», 23 – 24 Φεβρουαρίου, Αλεξανδρούπολη, Καβάλα.

Λάλας Δ., Γεωργοπούλου Ε., Γιδάρκος Ε., Γκέκας Ρ., Λαζαρίδη Α., Μαυρόπουλος Α., Μοιρασγεντής Σ. και Σελλάς Ν. (2007), Εκτίμηση των γενικευμένων επιπτώσεων και κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων, Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Τελική έκθεση, Απρίλιος, Αθήνα.

Μαυρόπουλος Α., Στοϊλόπουλος Β., Κολοκοτρώνη Κ. και Φαγογένη Ε. (2002), Οι χώροι υγειονομικής ταφής στην Ελλάδα: Υφιστάμενη κατάσταση και εμπειρίες, 1<sup>ο</sup> Συνέδριο ΕΕΣΔΑ, Αθήνα.

Οδηγία 2000/76/ΕΚ (2000), Για την Αποτέφρωση των Αποβλήτων, L 332.

Παπαγεωργίου Δ., Θεολόγος Φ., Τέας Χ. και Χανιωτάκης Ε. (2007), Εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγή τσιμέντου, Πρακτικά Ημερίδας ΤΕΕ Εναλλακτικές πρώτες ύλες και καύσιμα στη βιομηχανία του τσιμέντου, Αθήνα, Σεπτέμβριος.

Παπαχρήστου Ε., Νταράκας Ε., Ιωαννίδου Δ., Μπέλλου Α., Βαφειάδης Μ., Σφέτσος Α., Αλιβάνης Κ., Πετρίδης Γ., Κουτσώνη Β. και Σαββίδης Ι. (2000), Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση απορριμμάτων Θεσσαλονίκης, Τελική έκθεση, Σύλλογος ΟΤΑ Μείζονος Θεσσαλονίκης, Νοέμβριος.

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας

Φάττα Δ. (2007), Επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων, Σημειώσεις μαθήματος «Εισαγωγή στη Μηχανική Περιβάλλοντος», τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Ψωμάς Σ. (2005), Καύση αποβλήτων, ακριβή- αναποτελεσματική - επικίνδυνη, Έκθεση του Ελληνικού γραφείου της Greenpeace.



### 3. Νομοθετικό πλαίσιο – διαδικασίες αδειοδότησης

#### 3.1. Εμπλεκόμενοι φορείς

Στην Ελλάδα, οι διοικητικές αρμοδιότητες για τη διαχείριση αποβλήτων διαμοιράζονται μεταξύ του Υπουργείου Περιβάλλοντος (πρ. ΥΠΕΧΩΔΕ), τις περιφέρειες και τους ΦοΔΣΑ (ή Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ), αν δεν υπάρχει θεσμοθετημένος ΦοΔΣΑ), όπως φαίνεται και στον πίνακα 22.

**Πίνακας 22:** Διοικητικές αρμοδιότητες ανά φορέα για τη διαχείριση αποβλήτων (ΔΑ).

Φορέας	Αρμοδιότητες
ΥΠΕΚΑ (πρ.ΥΠΕΧΩΔΕ)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Διαμόρφωση πολιτικής ΔΑ.</li><li>• Προετοιμασία νομοθετικού έργου.</li><li>• Εισήγηση για την έκδοση νομοθετικών πράξεων.</li><li>• Έκδοση εγκυκλίων για την εφαρμογή της ισχύουσας νομοθεσίας</li><li>• Σύνταξη του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών (και μη) Επικινδύνων Αποβλήτων.</li><li>• Γνωμοδότηση επί των προτάσεων ένταξης έργων σε χρηματοδοτικά προγράμματα, τα οποία περιλαμβάνονται στους εγκεκριμένους Περιφερειακούς Σχεδιασμούς.</li><li>• Ευθύνη για την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων ΔΑ (ανάλογα με την κατηγορία του έργου).</li><li>• Ένταξη έργων διαχείρισης αποβλήτων, τα οποία έχουν ως φορείς υλοποίησης τους ΟΤΑ, στο ΕΠΠΕΡΑΑ.</li><li>• Ένταξη υποστηρικτικών μελετών στο ΕΠΠΕΡΑΑ όντας και φορέας υλοποίησης.</li></ul>
Περιφέρειες	<ul style="list-style-type: none"><li>• Σύνταξη των Περιφερειακών Σχεδιασμών Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ).</li><li>• Ένταξη έργων στα Περιφερειακά Επιχειρησιακά Προγράμματα (ΠΕΠ).</li><li>• Παρακολούθηση υλοποίησης των έργων που προβλέπονται στον οικείο ΠΕΣΔΑ.</li><li>• Ευθύνη για την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων ΔΣΑ (ανάλογα με την κατηγορία του έργου).</li></ul>
ΦοΔΣΑ (ή ΟΤΑ)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Υλοποίηση έργων διαχείρισης αποβλήτων.</li><li>• Λειτουργία εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων.</li><li>• Υλοποίηση έργων αποκατάστασης και μεταφροντίδας των ΧΥΤΑ.</li><li>• Εκπόνηση διαχειριστικών σχεδίων, βελτίωση και διάχυση τεχνογνωσίας</li><li>• Εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής.</li><li>• Συνύπαρξη με άλλους διαχειριστές στερεών αποβλήτων.</li></ul>

**Πίνακας 23:** Καταγραφή των υφιστάμενων εγκαταστάσεων ανά περιφέρεια στην Ελλάδα (ΧΥΤΑ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων, ΣΜΑ: Σταθμοί Μεταφόρτωσης Αποβλήτων, ΜΕΑΛ: Μονάδες Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων, ΜΘΕ: (Μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας, ΜΒΕ: Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία, ΚΔΑΥ: Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών, ΑΗΗΕ: Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού)

Περιφέρεια	ΧΥΤΑ	ΣΜΑ	ΜΕΑΛ	ΜΘΕ	ΜΒΕ	ΚΔΑΥ	ΑΗΗΕ
Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης	3	0	16	0	0	0	0
Αττικής	1	11	45 (Στερεά Ελλάδα)	1	1	0	0
Β. Αιγαίου	0	0		0	0	0	0
Δ. Ελλάδα	2	0		0	0	1	0
Ηπείρου	2	0	33	0	0	0	0
Θεσσαλίας	3	0	40	0	0	2	0
Ιονίων Νήσων	4	1		0	0	0	0
Δ. Μακεδονίας	1	8	39	0	0	0	0
Κεντρικής Μακεδονίας	7	1		0	0	1	0
Κρήτης	11	1	16	0	1	2	0
Νοτίου Αιγαίου	8	0		0	0	0	0
Πελοποννήσου	1	0	19	0	1	1	1
Στερεάς Ελλάδας	4	0	45	0	0	1	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>47</b>	<b>22</b>	<b>208</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>1</b>

### 3.2. Διαδικασία αδειοδότησης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων

Η αδειοδότηση για την υλοποίηση οποιουδήποτε έργου, απαιτεί την σύνταξη και κατάθεση εγγράφων και την έγκρισή τους από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Ειδικότερα για τις μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ, που θεωρούνται μονάδες παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ κατατάσσονται στα συστήματα υποδομών (ομάδα 4<sup>η</sup>) και στην

κατηγορία Α1, σύμφωνα με την ΚΥΑ 15393/2332/2002. Έτσι για την αδειοδότησή τους απαιτούνται τα παρακάτω:

1. **Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ).** Για τη Διενέργεια ΠΠΕΑ ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία τη μεταβιβάζει στην Ειδική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (ΕΥΠΕ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). Η αίτηση συνοδεύεται από φάκελο, ο οποίος περιέχει Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ) τύπου Ι (ΚΥΑ 104247/25.05.2006).
2. **Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ).** Σύμφωνα με την ΚΥΑ 104247/2006, για την έγκριση της ΕΠΟ, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας, η οποία τη διαβιβάζει στην ΕΥΠΕ του ΥΠΕΚΑ που διενήργησε την ΠΠΕΑ. Η αίτηση συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) τύπου Ι και τη θετική γνωμοδότηση για την ΠΠΕΑ του Γενικού Διευθυντή Περιβάλλοντος του ΥΠΕΚΑ. Στην περίπτωση που δεν ακολουθηθεί η διαδικασία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η ΜΠΕ υποβάλλεται απευθείας στην ΕΥΠΕ ΥΠΕΚΑ (κατηγορία Α1)
3. Άδεια εγκατάστασης έργου από την οικία Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση σύμφωνα με το Νόμο 3325/2005.
4. Άδεια λειτουργίας έργου από την οικία Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση σύμφωνα με το Νόμο 3325/2005.

Το θεσμικό πλαίσιο που περιγράφει τις διαδικασίες για την αδειοδότηση του έργου αποτελείται από τις παρακάτω νομοθετικές ρυθμίσεις:

1. Ν. 1650/1986, Για την προστασία του Περιβάλλοντος.
2. ΚΥΑ 69269/5387/1990: Καθορισμός περιεχομένων ΜΠΕ.
3. ΥΑ 30557/1996: Τροποποίηση και συμπλήρωση διατάξεων της ΚΥΑ 69269/5387/90.
4. ΥΑ 84230/1996: Τροποποίηση και συμπλήρωση διατάξεων της ΚΥΑ 69269/5387/90 (678/Β)
5. Ν. 3010/2002: Εναρμόνιση με οδηγίες 96/61 και 97/11 Ε.Ε.
6. ΚΥΑ 15393/2332/2002: Κατάταξη δημοσίων και Ιδιωτικών έργων σε κατηγορίες.
7. ΚΥΑ 145799/2005: συμπλήρωση της ΚΥΑ 15393/2332/2002

8. Νόμος 3325/2005: Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών-βιοτεχνικών εγκαταστάσεων στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α΄ 68/11.03.2005).
9. ΚΥΑ 104247/2006: διαδικασία ΠΠΕΑ και ΕΠΟ έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).
10. Υ.Α. Δ6/Φ1/οικ.5707/13-5-2007: Κανονισμός Αδειών Παραγωγής ηλ. ενέργειας με χρήση ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.
11. Υ.Α. Δ6/Φ1/οικ.13310/10-7-2007: Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης & λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλ. ενέργειας με χρήση ΑΠΕ
12. ΦΕΚ Β 1153/10.07.2007: Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής. ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### **3.3. Εκτίμηση ελάχιστων χρόνων για την υλοποίηση κάθε φάσης**

Στην ισχύουσα νομοθεσία και ειδικότερα στις διατάξεις της ΚΥΑ 11014/703/Φ104 (ΦΕΚ 332/Β/2003) έχουν οριστεί τα χρονικά όρια απόκτησης της περιβαλλοντικής άδειας. Ωστόσο, η μέχρι σήμερα εμπειρία έχει δείξει ότι οι χρόνοι αυτοί και ιδιαίτερα οι χρόνοι που αφορούν στην εξασφάλιση κάποιων κρίσιμων εγκρίσεων ή αποφάσεων, μπορούν να γίνουν σημαντικά μεγαλύτεροι, ανάλογα με την ιδιομορφία και τις ειδικές απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης.

Οι προθεσμίες για τη διαβίβαση των φακέλων, την έκδοση των γνωμοδοτήσεων και την χορήγηση της απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων για έργο Α1 κατηγορίας αναφέρονται παρακάτω:

#### **ΠΠΕ**

1. Υποβολή ΠΠΕ και απαιτούμενων δικαιολογητικών από τον φορέα του έργου.
2. Η αρμόδια υπηρεσία **εντός 10 ημερών** ζητά συμπληρωματικά στοιχεία, αλλιώς ο φάκελος θεωρείται πλήρης.
3. Η αρμόδια υπηρεσία διαβιβάζει τον φάκελο **εντός 10 ημερών** από την υποβολή του στις συναρμόδιες υπηρεσίες για γνωμοδότηση (αν ο φορέας

υποβάλλει κάποια γνωμοδότηση του έργου μαζί με την ΠΠΕ, δε διαβιβάζεται σε αυτήν από την αρμόδια υπηρεσία φάκελος).

4. **Μέσα σε 15 ημέρες** οι συναρμόδιοι φορείς πρέπει να γνωμοδοτήσουν.
5. Η αρμόδια υπηρεσία με την παραλαβή των γνωμοδοτήσεων ή την παρέλευση της προθεσμίας των 15 ημερών πρέπει **εντός 5 ημερών** να προβούν στην ΠΠΕΑ.
6. Η απόφαση (θετική ή αρνητική) υπογράφεται από τον Γενικό Διευθυντή του ΥΠΕΚΑ και η θετική γνωμοδότηση ισχύει για συγκεκριμένο διάστημα.
7. Η απόφαση με τον φάκελο ΠΠΕ διαβιβάζονται στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο για ενημέρωση του κοινού.

## **ΜΠΕ**

1. Υποβολή ΜΠΕ, απαιτούμενων δικαιολογητικών και εγγράφου ΠΠΕΑ από τον φορέα του έργου.
2. Η αρμόδια υπηρεσία **εντός 10 ημερών** ζητά συμπληρωματικά στοιχεία, αλλιώς ο φάκελος θεωρείται πλήρης.
3. Η αρμόδια υπηρεσία διαβιβάζει τον φάκελο **εντός 10 ημερών** από την υποβολή του στις συναρμόδιες υπηρεσίες για γνωμοδότηση (διαβίβαση και στα οικεία Νομαρχιακά Συμβούλια για γνωμοδότηση και δημοσιοποίηση του φακέλου).
4. **Μέσα σε 35 ημέρες** οι συναρμόδιοι φορείς πρέπει να γνωμοδοτήσουν.
5. Η αρμόδια υπηρεσία με την παραλαβή των γνωμοδοτήσεων ή την παρέλευση της προθεσμίας των 35 ημερών πρέπει **εντός 15 ημερών** να προβούν στην απόφαση ΕΠΟ.
6. Η απόφαση ΕΠΟ υπογράφεται από τον Υπουργό ΠΕΚΑ και του συναρμόδιους υπουργούς και ισχύει για συγκεκριμένο διάστημα.
7. Η απόφαση διαβιβάζεται στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο για ενημέρωση του κοινού.

### 3.5. Ενημέρωση και συμμετοχή πολιτών

Ο τρόπος ενημέρωσης και συμμετοχής του κοινού στη διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων γίνεται βάσει της ΚΥΑ 37111/2021/03. Σύμφωνα με την εν λόγω ΚΥΑ, το Νομαρχιακό Συμβούλιο μέσα σε 5 μέρες από την κοινοποίηση σε αυτή της ΠΠΕΑ προβαίνει στη δημοσιοποίησή της στον τοπικό τύπο. Σύμφωνα με το άρθρο 5 της ΚΥΑ, για τη διαδικασία δημοσιοποίησης της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, όπως αναφέρθηκε πριν από την χορήγηση της έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, η αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος του ΥΠΕΚΑ διαβιβάζει αντίγραφο του μέσα σε 10 ημέρες από την υποβολή του, στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο.

Στη συνέχεια το Νομαρχιακό Συμβούλιο μέσα σε 5 ημέρες από την παραλαβή του παραπάνω φακέλου προβαίνει σε δημοσίευση σε μία τουλάχιστον τοπική εφημερίδα και σε περίπτωση έλλειψής της σε μία εφημερίδα με ευρύτερη τοπική εμβέλεια, ανακοίνωσης και πρόσκλησης του ενδιαφερόμενου κοινού για να λάβει γνώση του φακέλου και να διατυπώσει εγγράφως απόψεις επί του περιεχομένου του, εφ' όσον το επιθυμεί. Το Νομαρχιακό Συμβούλιο προβαίνει παράλληλα σε ανάρτηση αντιγράφου της ανακοίνωσης στον πίνακα Ανακοινώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης.

Μέσα σε προθεσμία **30 ημερών** από τη δημοσίευση της ανακοίνωσης το ενδιαφερόμενο κοινό έχει τη δυνατότητα:

α. Να λάβει γνώση ολοκλήρου του περιεχομένου του φακέλου με τη ΜΠΕ και τα απαιτούμενα συνοδευτικά στοιχεία σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 7 της 11014/703/2003 ΚΥΑ καθώς και τη γνωμοδότηση της Διοίκησης (ΠΠΕΑ). Το οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο οφείλει να θέτει στη διάθεση του ενδιαφερόμενου κοινού κάθε σχετικό στοιχείο και να παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες.

β. Να διατυπώνει εγγράφως την γνώμη του και τις προτάσεις του, που πρέπει να είναι επαρκώς τεκμηριωμένες και να τις διαβιβάσει προς την αρμόδια σύμφωνα με την παράγραφο 1 υπηρεσία περιβάλλοντος και προς το οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο.

Μετά την παρέλευση της προβλεπόμενης προθεσμίας το Νομαρχιακό Συμβούλιο διαβιβάζει στην αρμόδια υπηρεσία Περιβάλλοντος του ΥΠΕΚΑ φάκελο, ο οποίος περιλαμβάνει τις διατυπωθείσες γνώμες και προτάσεις των πολιτών και των φορέων

εκπροσώπησής τους που έχουν τυχόν υποβληθεί καθώς και τη σχετική γνωμοδότησή του.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, το αρμόδιο Υπουργείο είναι υποχρεωμένο να λάβει υπόψη την γνώμη του κοινού, έτσι όπως αυτή εκφράζεται μέσα από τις γραπτές προτάσεις των πολιτών και μέσα από την σχετική γνωμοδότηση του οικείου Νομαρχιακού Συμβουλίου. Η φράση «να λάβει υπόψη» δεν επιβάλλει πρακτικά κανενός είδους νομικό περιορισμό στην διαμόρφωση της απόφασης από τις αρμόδιες αρχές, η οποία έχει καθαρά συμβουλευτικό χαρακτήρα. Ωστόσο είναι γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η τελική διοικητική πράξη για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων **έχει επηρεαστεί ή μεταβληθεί σημαντικά**, σύμφωνα με την εκφρασθείσα γνώμη του κοινού.

#### 4. Ανάλυση-επιλογή κριτηρίων για επιλογή βέλτιστης τεχνολογίας

Από τη βιβλιογραφική διερεύνηση των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων υπήρξε μια πλειάδα κριτηρίων για την αξιολόγηση των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, όπως το εύρος δυναμικότητας των τεχνολογιών, στην κατώτερη θερμογόνο δύναμη των προς επεξεργασία ΑΣΑ, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την ίδια κατανάλωση, την ποσότητα προς τελική διάθεση, το κόστος επεξεργασίας και το κόστος διαχείρισης τεφρών.

##### 4.1 Κριτήρια αξιολόγησης

Τα δυνητικά κριτήρια λήψης απόφασης για την επιλογή τεχνολογίας θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ δίνονται στον πίνακα 24.

**Πίνακας 24:** Δυνητικά κριτήρια για την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας θερμικής επεξεργασίας.

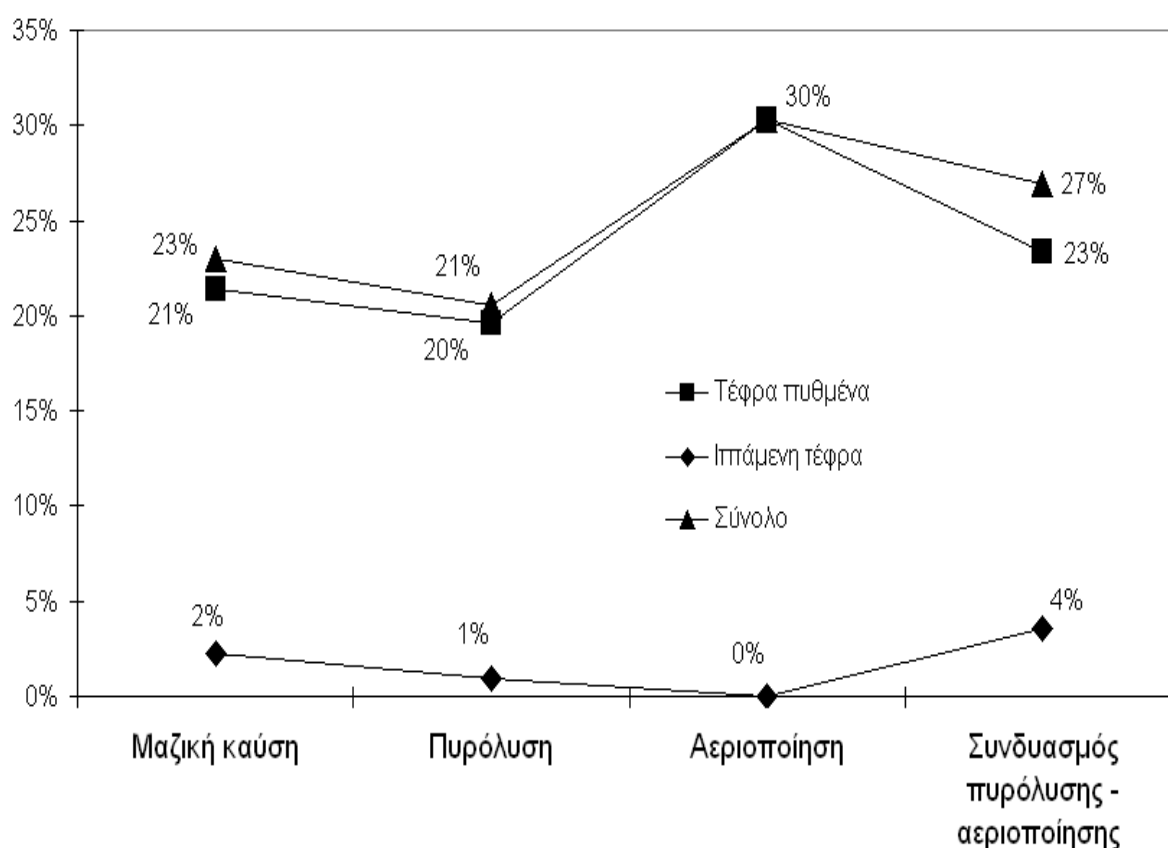
Τεχνολογία Κριτήριο	Αποτέφρωση*	Απορριμματογενή καύσιμα		Πυρόλυση	Αεριοποίηση	Συνδυασμός πυρόλυσης - αεριοποίησης	Αναερόβια ζύμωση
		RDF	SRF				
Δυναμικότητα (κt/έτος)	20-62 [1], 40-500 [2]	67-500 [3]	128 [4]	8-88 [3]	200 [20]	10-30 [20]	10-150 [5]
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	6 [6], 8 [7]	15 [8]	15	10-20 MJ/Nm <sup>3</sup> [3]	10-20 MJ/Nm <sup>3</sup> [3]	15 [9]	13 [10]
Μείωση του όγκου προς διάθεση (%)	55-71 [2], 90 [11]	90 [11]	90 [11]	85-90 [3]	85-90 [3]	85-90 [3]	65-75 [20]
Κόστος επένδυσης (€/t)	40-26 [6, 12, 13, 14]	27 [15]	28 [15]	65 [16]	92 [3]		
Κόστος λειτουργίας (€/t)	20-10 [6, 12-14]	13 [15]	15 [15]	59 [16]	41 [3]		
Κόστος επεξεργασίας (€/t)	63-120, 110 [16], 139 [17]	72 [17]	81-143 [4]	124 [3]	112, 133 [3]	171 [3]	62-95 [18]
Ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/t)	450 [7], 650 [11]	667 <sup>+</sup> [11]	700 <sup>++</sup> [11]	377 [3]	394 [3]	453 [3]	31-50 [5], 700 [18]
Φαινόμενο θερμοκηπίου	-17 [19]	-556 [19]	-568 [19]	-3 [19]	-3 [19]	-3 [19]	-93 [19]
Τέφρα πυθμένα	Αδρανές υλικό [3]			Προς ΧΥΤΕΑ [3]	Αδρανές υλικό [3]		

\* Σύμμεικτα ΑΣΑ. <sup>+</sup> Η ποσότητα (t) αναφέρεται σε RDF. <sup>++</sup> Η ποσότητα (t) αναφέρεται σε SRF



Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων πραγματοποιείται με συμβατικές (αποτέφρωση στερεών αποβλήτων) και με καινοτόμους μεθόδους (πυρόλυση, αεριοποίηση). Τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τις τεχνολογίες αεριοποίησης και πυρόλυσης για τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων είναι συχνά ελλιπή και βασίζονται σε υποθέσεις. Συνεπώς, η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών σε μια κοινή βάση είναι πολύ δύσκολη.

Ένας από τους στόχους του Περιφερειακού Σχεδιασμού διαχείρισης των στερεών αποβλήτων στην ΠΚΜ είναι και η μείωση της ποσότητάς τους προς τελική διάθεση, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της οδηγίας της υγειονομικής ταφής. Συνεπώς, η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων θα παίξει ένα σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της εκτροπής τους από τους ΧΥΤΑ. Από την αποτέφρωση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση παράγονται τέφρα πυθμένα και ιπτάμενη τέφρα (εικόνα 17).



**Εικόνα 17:** Τέφρα (% κ.β.) προς διάθεση μετά τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων σε μονάδες μαζικής καύσης και καινοτόμες μονάδες [3].

Με βάση τη βιβλιογραφική επισκόπηση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Οι εμπορικές εφαρμογές των τεχνολογικών της αεριοποίησης και της πυρόλυσης για την επεξεργασία των υπολειμμάτων των δημοτικών στερεών αποβλήτων δεν είναι διαδεδομένες στην Ευρώπη. Ο κίνδυνος της χρήσης των καινοτόμων τεχνολογιών είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο της χρήσης των συμβατικών μεθόδων.
- Η ανάπτυξη της τεχνολογίας της αεριοποίησης και της πυρόλυσης δεν είναι η μόνη πρόκληση στον αγώνα για τη βέλτιστη θερμική επεξεργασία. Κατά τη σύγκριση των τεχνολογιών, όλες οι συνιστώσες της επεξεργασίας (προ-επεξεργασία, θερμική μετατροπή, δημιουργία υπολείμματος και αξιοποίηση παραγόμενου καυσίμου αερίου) και όλοι οι παράγοντες θα πρέπει να μελετηθούν ταυτόχρονα.
- 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.
- Όσον αφορά στο κόστος επεξεργασίας, η πολυπλοκότητα της κατασκευής των καινοτόμων μονάδων τις καθιστά 'ακριβότερες' από τις μονάδες συμβατικής αποτέφρωσης.
- Το εύρος της δυναμικότητας των μονάδων αεριοποίησης και πυρόλυσης είναι μικρότερο από το αντίστοιχο των μονάδων αποτέφρωσης. Συνεπώς, οι καινοτόμες μονάδες δεν μπορούν να λειτουργήσουν ανταγωνιστικά των συμβατικών μονάδων ως προς το κριτήριο της οικονομίας κλίμακας.

Τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας δίνονται στον πίνακα 25. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων η τεχνολογία της αναερόβιας ζύμωσης δε συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Επίσης δε λήφθηκε υπόψη η μεθοδολογία της Μηχανικής Βιολογικής επεξεργασίας και στη συνέχεια της αποτέφρωσης του απορριμματογενούς καυσίμου, εξαιτίας της έλλειψης επαρκών δεδομένων αλλά και γιατί αποτελούν συνδυασμό τεχνολογιών, με καινοτόμα ή αδιευκρίνιστα σημεία σε κάποια στάδια και με άγνωστο παραλήπτη του οργανικού κλάσματος. Επιπλέον η δημόσια συζήτηση για την αξιοποίηση απορριμματογενών καυσίμων στη χώρα μας

δεν έχει καταλήξει στην αποδοχή αξιοποίησης των καυσίμων αυτών από τσιμεντοβιομηχανίες ή άλλες μεγάλες μονάδες καύσης, και δεν έχει διευκρινιστεί το κόστος αυτής της διαδικασίας.

**Πίνακας 25:** Κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας (βλ. και πίνακα 24)

Τεχνολογία Κριτήριο	Αποτέφρωση	Πυρόλυση	Αεριοποίηση	Συνδυασμός πυρόλυσης - αεριοποίησης
Τελική διάθεση (% κ.β.)	23	21	30	27
Κόστος επεξεργασίας (€/t)	110	124	112	171
Ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/t)	650	377	394	453
Φαινόμενο θερμοκηπίου	-17	-3	-3	-3

Οι επιδόσεις των τεχνολογιών για τα ΑΣΑ υπολογίσθηκαν για μια σταθερή ετήσια δυναμικότητα 100.000 t. Το κόστος συλλογής των ΑΣΑ δεν συμπεριελήφθη στο κόστος επεξεργασίας. Η τελική διάθεση αναφέρεται στην τέφρα πυθμένα και στην ιπτάμενη τέφρα (% κβ). Για την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες αποτέφρωσης λήφθηκε η μέγιστη τιμή των 650 kWh/t. Για τη συνεισφορά των μονάδων αποτέφρωσης στις εκπομπές του φαινομένου του θερμοκηπίου, χρησιμοποιήθηκαν: α) η μεθοδολογία που προτάθηκε από το Διακυβερνητικό Πάνελ για την Κλιματική Αλλαγή το 2006 IPCC Οδηγίες για τις Εθνικές Απογραφές των Θερμοκηπικών Αερίων και η μελέτη των Επιλογών Διαχείρισης Απορριμμάτων και Αλλαγή Κλίματος [32, 33].

#### 4.2. Ανάλυση ευαισθησίας – προσδιορισμός βέλτιστης λύσης

Η μέθοδος Electre III που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στην οικογένεια Electre των πολυκριτηριακών μεθόδων, οι οποίες συγκρίνουν πιθανές δράσεις (στην παρούσα περίπτωση: οι 4 επιλεγμένες τεχνολογίες) σύμφωνα με την επίδοσή τους σε διάφορα κριτήρια [21-23].

Η λήψης απόφασης βασίσθηκε στο διακριτό πίνακα 25, του οποίου οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις (τεχνολογίες αποτέφρωσης, πυρόλυσης, αεριοποίησης και συνδυασμού τους) καθορίσθηκαν εκ των προτέρων και όχι μετά τη βελτιστοποίηση κάποιων αντικειμενικών συναρτήσεων. Η Electre έχει χρησιμοποιηθεί από ερευνητές σε μεθόδους και εφαρμογές σε επενδύσεις μηχανολογικές και υποδομών, σε περιβαλλοντικές μελέτες, σε περιβαλλοντικά προβλήματα λήψης απόφασης και για την επιλογή του βέλτιστου εναλλακτικού συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ [24, 25].

Όσον αφορά στην ολοκληρωμένη διαχείριση των ΑΣΑ, η Electre χρησιμοποιήθηκε για την τελική επιλογή διαφόρων σεναρίων μεταφόρτωσης, επεξεργασίας και τελικής διάθεσης (Karagiannidis and Moussiopoulos, 1997, Perkoulidis et al., 1999, Perkoulidis et al., 2000, Karagiannidis et al., 2003). Η Electre έχει χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα στρατηγικής και λήψης απόφασης [29 – 32].

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου ήταν η εφαρμογή της πολυκριτηριακής μεθόδου λήψης απόφασης Electre III για την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας, η οποία έδωσε αποτελέσματα κατάταξης έτσι ώστε να μελετηθούν οι διαφορετικές προτιμήσεις των αποφασιζόντων σύμφωνα με τα 4 κριτήρια.

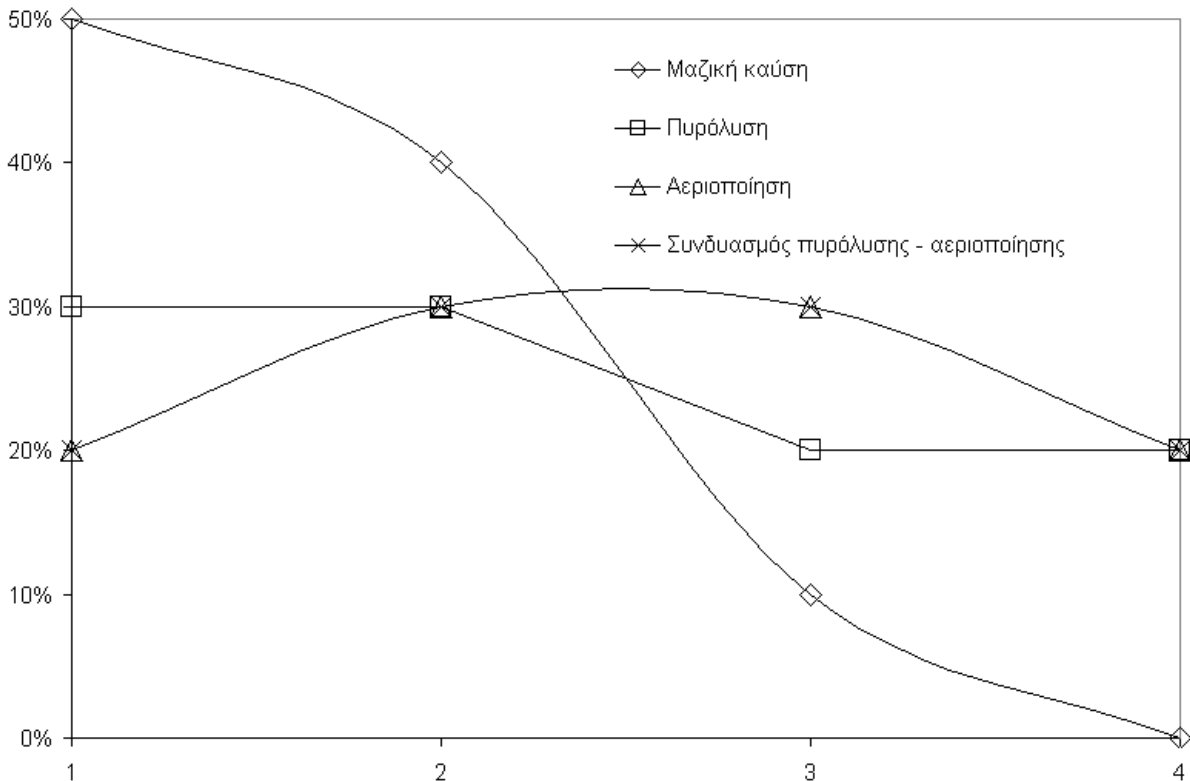
Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, η τεχνολογία της αποτέφρωσης ήρθε πρώτη στο 50% των 10 διαφορετικών περιπτώσεων (σεναρίων) μεταβολής του συντελεστή βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης και στις 2 καλύτερες θέσεις (1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup>) στο 90% των περιπτώσεων (σεναρίων) μεταβολής της βαρύτητας των κριτηρίων (πίνακας 26). Στη 2<sup>η</sup> θέση, μετά την αποτέφρωση (40%) βρέθηκαν οι υπόλοιπες τεχνολογίες (πυρόλυση, αεριοποίηση, συνδυασμός πυρόλυσης – αεριοποίησης, 30%) όπως φαίνεται και από τους πίνακες 26-27 και την εικόνα 18.

**Πίνακας 26:** Υπολογισμός κατατάξεων των τεχνολογιών με 50% βήμα μεταβολής του βάρους των 4-κριτηρίων (ΤΔ: Τελική διάθεση, Κόστος επεξεργασίας: ΚΕ, ΑΗΕ: Ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας, ΦΘ: Φαινόμενο θερμοκηπίου, ΜΚ: Μαζική καύση (αποτέφρωση) [1], Π: Πυρόλυση [2], Α: Αεριοποίηση [3], ΠΑ: Συνδυασμός πυρόλυσης – αεριοποίησης [4]).

ΤΔ (%)	ΚΕ (%)	ΑΗΕ (%)	ΦΘ (%)	Σύνολο (%)	Θέση 1	Θέση 2	Θέση 3	Θέση 4
100	0	0	0	100	Π	ΜΚ	ΠΑ	3
0	100	0	0	100	ΜΚ	Α	Π	4
0	0	100	0	100	ΜΚ	ΠΑ	Α	2
0	0	0	100	100	Π, Α, ΠΑ	ΜΚ	-	-
50	50	0	0	100	ΜΚ	Π	Α	ΠΑ
0	50	50	0	100	ΜΚ	Α	ΠΑ	Π
0	0	50	50	100	ΠΑ	ΜΚ, Α	Π	-
50	0	0	50	100	Π	ΠΑ	ΜΚ	Α
50	0	50	0	100	ΜΚ	Π, ΠΑ	Α	-
0	50	0	50	100	Α	ΜΚ, Π	ΠΑ	-

**Πίνακας 27:** Συχνότητα κατανομής της κατάταξης κάθε τεχνολογίας (θέση 1: καλύτερη, θέση 5: χειρότερη) για τους 10 συνδυασμούς των χρησιμοποιηθέντων βαρών στην ανάλυση ευαισθησίας. Τα σύνολα της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> θέσης δίνονται στον 3<sup>ο</sup> στήλη.

Τεχνολογία	Θέση (%)				
	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	1 <sup>η</sup> και 2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>
Αποτέφρωση	50	40	90	10	0
Πυρόλυση	30	30	60	20	20
Αεριοποίηση	20	30	50	30	20
Συνδυασμός πυρόλυσης - αεριοποίησης	20	30	50	30	20



**Εικόνα 18:** Συχνότητα κατανομής της κατάταξης κάθε τεχνολογίας (θέση 1: καλύτερη, θέση 5: χειρότερη) για τους 10 συνδυασμούς βαρών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ευαισθησίας.

Η αποτέφρωση ιεραρχείται στην 1<sup>η</sup> θέση στις περιπτώσεις που δοθεί 100% βαρύτητα στα κριτήρια του κόστους επεξεργασίας και της ανάκτησης ενέργειας. Στην ίδια θέση βρίσκεται όταν δοθεί βαρύτητα στις παρακάτω περιπτώσεις: α) 50% στην τελική διάθεση και 50% στο κόστος επεξεργασίας, β) 50% στο κόστος επεξεργασίας και 50% στην ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας και γ) 50% στην τελική διάθεση και 50% στην ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πυρόλυση εμφανίζεται στην 1<sup>η</sup> θέση στις περιπτώσεις που δοθεί βαρύτητα 100% στο κριτήριο της τελικής διάθεσης και από 50% στα κριτήρια της τελικής διάθεσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η τεχνολογία αυτή συν-ιεραρχείται μαζί με την αεριοποίηση στην περίπτωση που δοθεί 100% βαρύτητα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας των τεχνολογιών πυρόλυσης και αεριοποίησης είναι υπεύθυνο για την ιεράρχησή τους στην τελευταία θέση της κατάταξης. Στην περίπτωση που δόθηκε βαρύτητα 100% στο κριτήριο του φαινομένου του θερμοκηπίου, οι τεχνολογίες αυτές συν-ιεραρχήθηκαν στην 1<sup>η</sup> θέση

προτίμησης. Στην περίπτωση που δόθηκε βαρύτητα 50% στο κόστος επεξεργασίας και 50% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τεχνολογία της αεριοποίησης ήρθε στην καλύτερη θέση ενώ στη 2<sup>η</sup> θέση συν-ιεραρχήθηκαν η αποτέφρωση και η πυρόλυση. Ο συνδυασμός πυρόλυσης – αεριοποίησης ήρθε στην τελευταία θέση στην περίπτωση αυτή.

Η ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δεδομένα εισόδου του πίνακα 25 και κάθε άλλη επιπλέον ανάπτυξη στα χαρακτηριστικά αυτών των τεχνολογιών μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη μελλοντική κατάταξη. Παρόλα αυτά, ο ενδιαφερόμενος (ιδιωτικός ή δημόσιος τομέας) αποφασίζοντας μπορεί να εφαρμόσει την προτεινόμενη πολυκριτηριακή ανάλυση για τη λήψη απόφασης και τη μεθοδολογία της ανάλυσης ευαισθησίας για την αποτίμηση και την επιλογή της τεχνολογίας θερμικής επεξεργασίας.

#### 4.5. Βιβλιογραφία

1. Vehlow J. (2006), State of the art of incineration technologies, Proceedings Venice 2006: Biomass and waste to energy symposium.
2. Λάλας Δ., Γεωργοπούλου Ε., Γιδαράκος Ε., Γκέκας Ρ., Λαζαρίδη Α., Μαυρόπουλος Α., Μοιρασγεντής Σ. και Σελλάς Ν. (2007), Εκτίμηση των γενικευμένων επιπτώσεων και κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων, Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Τελική έκθεση, Απρίλιος, Αθήνα.
3. Fichtner Consulting Engineers Ltd (2004), The Viability of Advanced Thermal Treatment of MSW in the UK.
4. Θεοχάρη Χ., Αραβώσης Κ., Βαρελίδης Π., Διαβάτης Η., Ζιώγας Χ., Ιατρού Σ., Μπούρκα Α. Α., Οικονομόπουλος Α., Παπαγρηγορίου Σ., Παντελαράς Π. και Φραντζής Ι. (2006), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα. Η περίπτωση της Αττικής, Ομάδα εργασίας ΤΕΕ, Τελική έκθεση, Αθήνα, Νοέμβριος.
5. Verma Sh. (2002), Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Department of Earth and Environmental Engineering, Fu Foundation School of Engineering and Applied Science, Columbia University.
6. Georgieva K. and Verma K. (1999), Municipal solid wastes incineration, World Bank Technical Guidance Report, Washington D.C.
7. McDougall F., White P., Franke M. and Hindle P. (2001), Integrated Solid Wastes Management: A Life Cycle Inventory, Blackwell Publishing.
8. European Commission (2003), Refuse Derived Fuel, current practice and perspectives, final report.
9. Ignatenko O., van Schaik A. and Reuter M. A. (2008), Recycling system flexibility: the fundamental solution to achieve high energy and material recovery quotas, Journal of Cleaner Production, 16, 432-449.
10. Lai C.-M., Ke G.-R. and Chung M.-Y. (2009), Potentials of food wastes for power generation and energy conservation in Taiwan, Renewable Energy, 34, 1913-1915.
11. Psomopoulos G. S., Bourka A. and Themelis N. J. (2009), Potential for energy generation in Greece by combustion of as-received or pre-processed (RDF/SRF) municipal solid wastes, Waste Management, 29, 1718-1724.
12. Economopoulos A. P. (2006), A Critical Review of the Regional MSW Management Plans in Greece. Proceedings International Conference Protection and Restoration of the Environment VIII, Chania, Greece.
13. Tsilemou K. and D. Panagiotakopoulos (2005), Economic Sustainability Criteria and Indicators for Waste Management, LCA-IWM, Contract number EVK4-CT-2002-00087.
14. European Topic Center on Waste (2002), Biodegradable municipal solid waste management in Europe, European Environmental Agency, January.
15. Organic Resource Agency, 2005, Costings, mass balances and BMW mass balances for various MBT concepts.
16. EC, 2006, Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, August.
17. Dong T. T. and B.-Y. Lee (2009), Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea, Waste Management, 29, 1725-1731.



18. Karagiannidis A. and G. Perkoulidis (2009), A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes, *Bioresource Technology*, 100, 2355-2360.
19. AEA, 2001, Waste management options and climate change.
20. Περκουλίδης Γ. (2001), Ανάπτυξη και εφαρμογή συστήματος πολυκριτηριακής ανάλυσης και χωροθέτησης προς διερεύνηση των προοπτικών θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ., Φεβρουάριος.
21. Roy B., 1996, *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer, Dordrecht.
22. Dias, L., Climaco, J., 2002. Exploring the consequences of imprecise information in choice problems using Electre. In: Bouyssou, D., Jacquet-Lagrez, E., Perny, P., Slowinski, R., Vanderpooten, D., Vincke, Ph. (Eds.), *Aiding Decisions with Multiple Criteria (essays in honor of Bernard Roy)*. Kluwer, pp. 175–193.
23. EEA, 2003. Assessment of information related to waste and material flows, a catalogue of methods and tools. Technical Report 96, European Environment Agency, Project Manager, Dimitrios Tsotsos, European Topic Centre on Waste and Material Flows, Copenhagen, Denmark.
24. Rogers, M., Bruen, M., 2000. Using Electre III to choose the best route option for the Dublin Port Motorway, proceedings of the ASCE. *Journal of Transportation Engineering* 126 (4), 313–323.
25. Hokkanen, J., Salminen, P., 1997. Choosing a solid waste management system using multi criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research* 98, 19–36.
26. Karagiannidis, F., Moussiopoulos, N., 1997. Application of Electre III for the integrated management of municipal solid wastes in the greater Athens area. *European Journal of Operational Research*, 439–449.
27. Perkoulidis, G., Karagiannidis, A., Moussiopoulos, N., 1999. Investigation of the prospects of thermal treatment of urban solid waste by a location-allocation model and multicriteria analysis in the region of Eastern Macedonia and Thrace. In: Tsiligiridis, G. (Ed.), *Proceedings of the 6<sup>th</sup> National Conference on Renewable Energy Sources (IST 99)*. Institute of Solar Technology Thessaloniki, Greece, 3–5 November, vol. 1, Volos, Greece, pp. 539–547 (in Greek).
28. Perkoulidis, G., Karagiannidis, A., Moussiopoulos, N., 2000. Investigation of interprefectural collaboration schemes for municipal solid waste management. In: Tsihrintzis, V.A., et al. (Eds.), *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Conference on Protection and Restoration of the Environment*, 3–6 July, vol. 2, Thassos, Greece, pp. 827–834.
29. Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., Moussiopoulos, N., Chrysochoou, M., 2003. Facility location for solid waste management through compilation and multicriterial ranking of optimal decentralised scenarios: a case study for the region of Peloponnesse in southern Greece. *Engineering Research* 1, 7–18.
30. Norese, M.F., 2006. Electre III as a support for participatory decision-making on the localisation of waste-treatment plants. *Land Use Policy* 23, 76–85.
31. Mroz, T., 2008. Planning of community heating systems modernization and development. *Applied Thermal Engineering* 28, 1844–1852.

32. Papadopoulos, A., Karagiannidis, A., 2008. Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega* 36, 766–776.
33. AEA, 2001. *Waste Management Options and Climate Change*, Final Report to European Commission, DG Environment, Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
34. IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3).

## 5. Μελέτη περίπτωσης στο Νομό Πιερίας

### 5.1. Παρούσα κατάσταση παραγωγής αποβλήτων στο Νομό Πιερίας

Ο νομός Πιερίας περιλαμβάνει 13 δήμους με πληθυσμό και παραγωγή ΑΣΑ που φαίνεται στον πίνακα 28. Η εξέλιξη στην δεκαετία φαίνεται επίσης στον ίδιο πίνακα και δείχνει για μία αύξηση πληθυσμού της τάξεως του 11,2%, μία αύξηση των ΑΣΑ 10,25%.

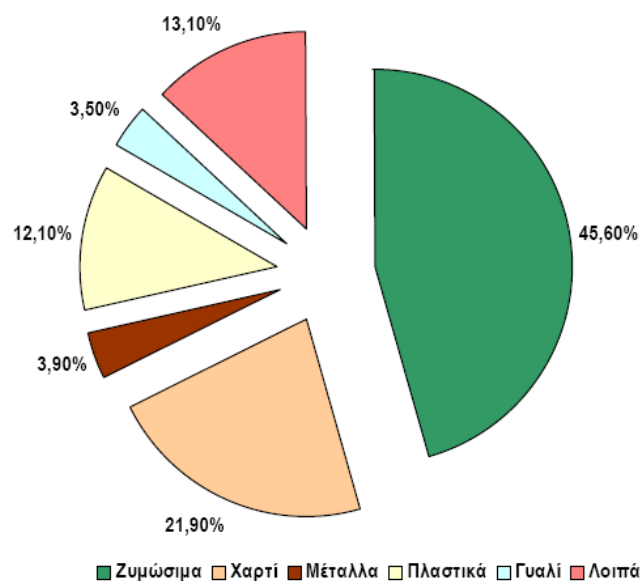
**Πίνακας 28:** Εκτίμηση Ποσοτήτων Αστικών Στερεών Αποβλήτων – ΑΣΑ Ν. Πιερίας

ΔΗΜΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ
	1991	1991	2001	2001
ΚΑΤΕΡΙΝΗΣ	48.673	17.500	56.434	20.270
ΑΙΓΙΝΙΟΥ	5.213	1.498	5.264	1.511
ΑΝΑΤ. ΟΛΥΜΠΟΥ	7.854	2.465	9.374	2.629
ΔΙΟΥ	9.875	2.789	11.252	3.286
ΕΛΑΦΙΝΑΣ	5.703	1.457	5.213	1.332
ΚΟΛΙΝΔΡΟΥ	5.245	1.487	5.223	1.477
ΚΟΡΙΝΟΥ	5.757	1.622	6.611	1.839
ΛΙΤΟΧΩΡΟΥ	6.864	2.053	7.011	2.047
ΜΕΘΩΝΗΣ	3.717	1.028	3.946	1.077
ΠΑΡΑΛΙΑΣ	4.465	1.462	6.449	1.829
ΠΕΤΡΑΣ	6.066	1.689	6.246	1.742
ΠΙΕΡΙΩΝ	2.653	735	2.811	779
ΠΥΔΝΑΣ	4.678	1.313	4.012	1.082
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>116.763</b>	<b>37.098</b>	<b>129.846</b>	<b>40.900</b>

Σύμφωνα με το ΠΕΣΣΔΑ Κ. Μακεδονίας (2006), προβλέπεται η δημιουργία 2 διαχειριστικών ενοτήτων:

- 1<sup>η</sup> διαχειριστική ενότητα: οι ΟΤΑ που αποτελούν αυτή την ενότητα είναι οι δήμοι Αιγινίου, Κολινδρού, Πύδνας, Μεθώνης, Ελαφίνας, Κορινού, Κατερίνης, Πιερίων και Παραλίας. Όλοι οι ΟΤΑ θα εξυπηρετούνται από το ΧΥΤΑ Κατερίνης, η επέκταση του οποίου αποτελεί έργο που χρηματοδοτείται από το Ταμείο Συνοχής II.
- 2<sup>η</sup> διαχειριστική ενότητα: οι ΟΤΑ που αποτελούν αυτή την ενότητα είναι οι δήμοι Λιτοχώρου, Δίου, Πέτρας και Ανατολικού Ολύμπου.

Επειδή η βιώσιμη δυναμικότητα μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ είναι οι 40.000 – 50.000 t/y , η προτεινόμενη μονάδα θα συμπεριλάβει τα ΑΣΑ και των δύο ενότητων. Η μέση σύσταση των ΑΣΑ του νομού θεωρείται ίδια με αυτήν της ΠΚΜ και φαίνεται στην εικόνα 19 (ΠΕΣΔΑ, 2006).



**Εικόνα 19:** Μέση Σύσταση Απορριμμάτων Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας

## 5.2. Προμελέτη εφαρμογής μονάδας αναερόβιας ζύμωσης

### 5.2.1 Περιγραφή μονάδας

Εξετάσθηκε για την περίπτωση της Πιερίας η εφαρμογή της *ξηρής* αναερόβιας ζύμωσης. Η μονάδα περιλαμβάνει δύο τμήματα (εικόνα 20):

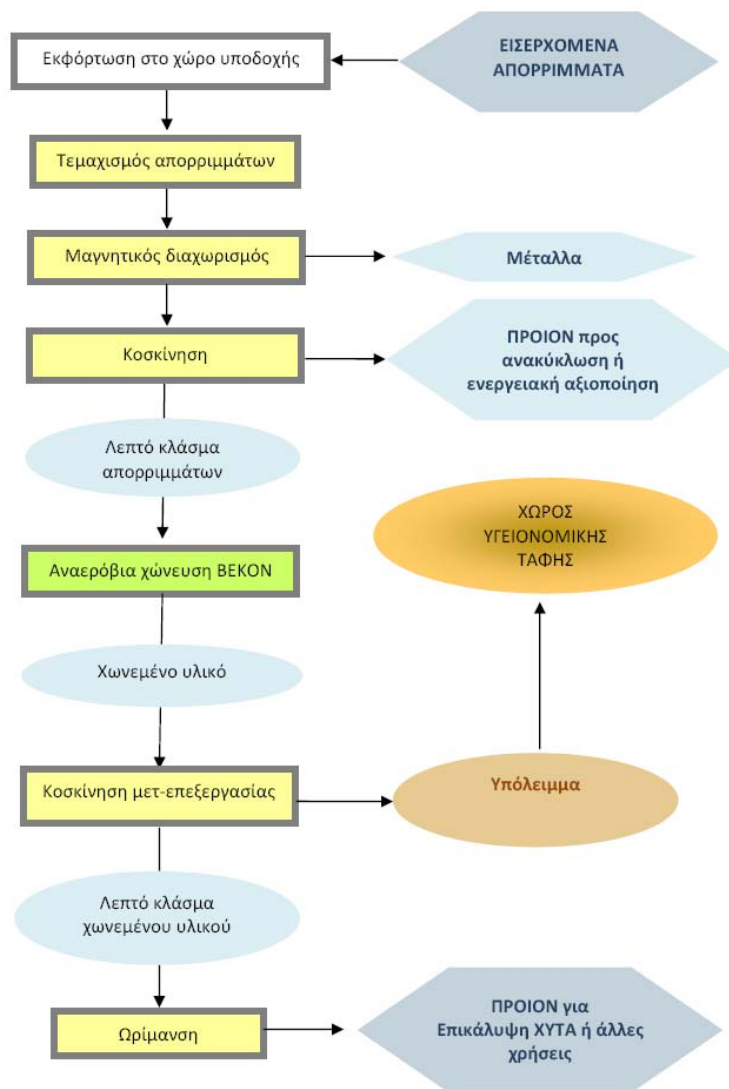
1. Πλήρη Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού (ΜΜΔ) των ΑΣΑ σε ανακυκλώσιμα (χαρτί, μέταλλα, πλαστικό, γυαλί) και ζυμώσιμα (προμηθευτής ZENO Gmbh)
2. Πλήρη μονάδα παραλαβής των ζυμώσιμων και εφαρμογής αναερόβιας ζύμωσης, παραγωγής βιοαερίου, καύσης του βιοαερίου σε μονάδα ΣΗΘ (Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας) και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο και θερμικής ενέργειας με μορφή θερμού νερού, που είναι διαθέσιμη για πώληση ή απόρριψη στο περιβάλλον (προμηθευτής BEKON Energy Technologies Gmbh).

Η σχεδιαστική ποσότητα των ΑΣΑ Πιερίας ελήφθη για το 2009 υπολογιστικά από την μέση ετήσια αύξηση του πίνακα 28 με βάση το έτος 2001, σε **45.000 t/y**. Η ποσότητα αυτή εισέρχεται στην ΜΜΔ (τμήμα 1), και με εφαρμογή της σύστασης της εικόνας 19, έχουμε έξοδο 20.520 t/y ζυμώσιμα που διαχωρίζονται και εισέρχονται στο τμήμα 2, για ξηρή αναερόβια ζύμωση (ΞΑΖ). Το τμήμα 2 περιλαμβάνει για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου 2 (δύο) μονάδες ΣΗΘ με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Παραγόμενη Ηλεκτρική ισχύς ανά μονάδα: 330 kW<sub>el</sub>
- Συμπαραγόμενη Θερμική ισχύς ανά μονάδα: 405 kW<sub>th</sub>
- Θερμοκρασία θερμού νερού μεταφοράς (σε πλήρες φορτίο): 70/90 °C
- Κατανάλωση βιοαερίου / μονάδα (σε πλήρες φορτίο): 852 kW
- Περιεκτικότητα απαερίων (related to 5% O<sub>2</sub>) NO<sub>x</sub> 500 mg/Nm<sup>3</sup>, CO 1,000 mg/Nm<sup>3</sup> (ανοχή 5-8 %).
- Μείωση όγκου ΑΣΑ με την προϋπόθεση ανακύκλωσης: μέχρι 60%

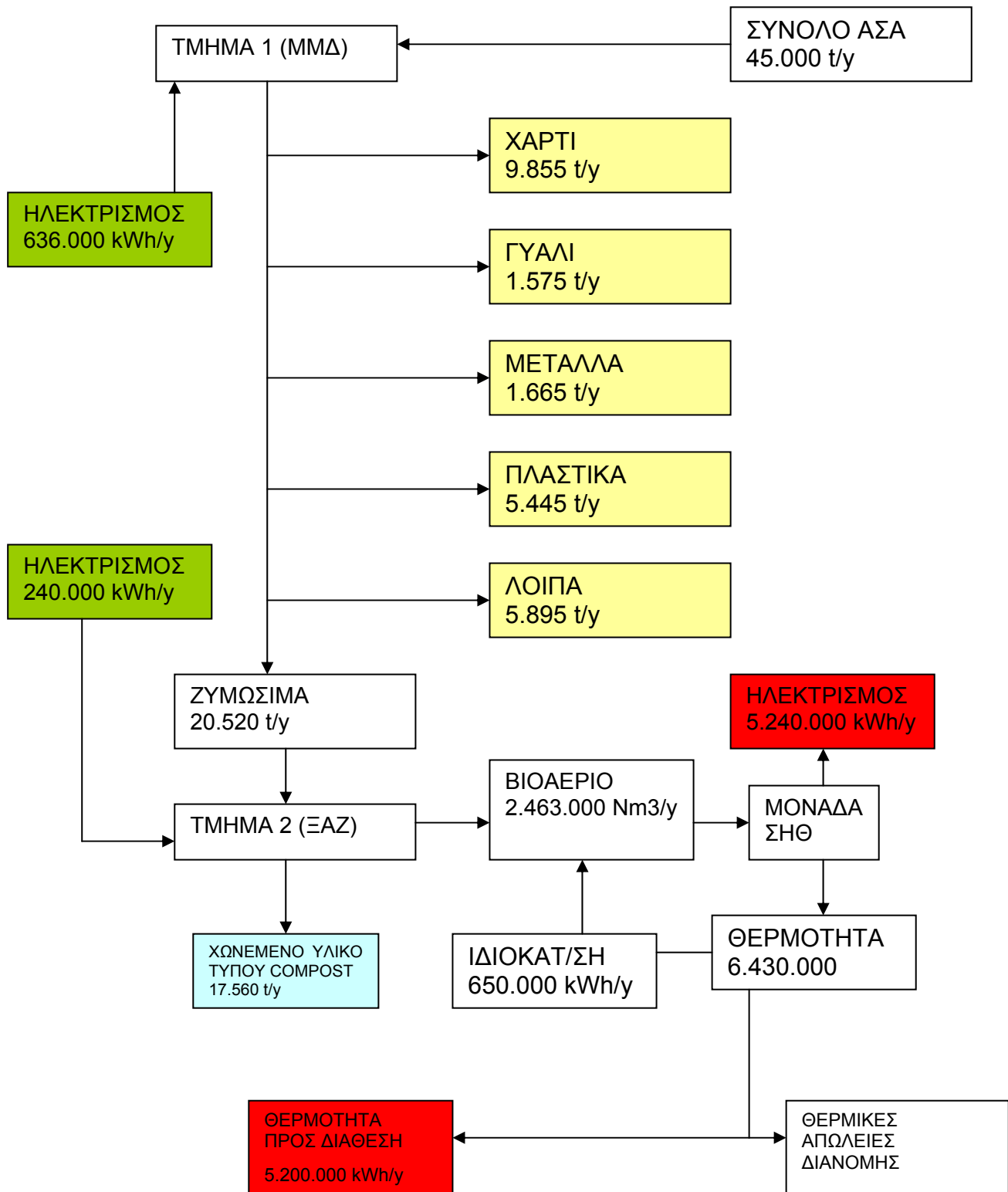
Όλο το παραγόμενο βιοαέριο καταναλώνεται στις 2 μονάδες ΣΗΘ, χωρίς απαίτηση συμπληρωματικού καυσίμου. Η συμπαραγόμενη θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον με αερόψυκτους ψύκτες, δεδομένου ότι η χρήση της απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος για κατασκευή κατάλληλου δικτύου τηλεθέρμανσης από την θέση της ΜΕΑ των ΑΣΑ, μέχρι τους δυνητικούς καταναλωτές θερμότητας.

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιμιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής εφαρμογής ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



**Εικόνα 21:** Ισοζύγιο μάζας-ενέργειας μονάδος ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία

Στην εικόνα 21 φαίνεται το ισοζύγιο μάζας και ενέργειας της Μονάδας Ενεργειακής Αξιοποίησης (ΜΕΑ) των ΑΣΑ με ξηρή αναερόβια ζύμωση, σύμφωνα με τον προμηθευτή ΒΕΚΟΝ.

### 5.2.2. Οικονομική ανάλυση προτεινόμενης μονάδας

Στον πίνακα 29 φαίνεται η οικονομική ανάλυση προμήθειας και εγκατάστασης της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης, και στον πίνακα 30 ανάλυση λειτουργικού κόστους-οφέλους.

**Πίνακας 29:** Οικονομική ανάλυση προμήθειας και εγκατάστασης της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	Ηλ. ισχύς (kW <sub>el</sub> )	τεμ.	(€)
<b>Πλήρης μονάδα διαχωρισμού μετάλων-υάλου ZENO</b>			
μονάδα διάνοιξης σάκων	18,5	1	176.530
μεταφορική ταινία	7,5	1	50.670
διαχωριστής δίσκων	30	1	119.140
μαγνητικός διαχωριστής ταινίας		1	45.260
μεταφορική ταινία	3	1	12.700
μεταφορική ταινία διαχωρισμού	7,5	1	31.460
μεταφορική ταινία	3	1	13.100
μεταφορική ταινία	4	1	17.500
μαγνητικός διαχωριστής ταινίας		1	45.260
μεταφορική ταινία διαχωρισμού	7,5	1	31.460
μεταφορική ταινία	7,5	1	55.760
baler	44,16	1	254.100
πίνακας ελέγχου		1	44.500
τεχνική επίβλεψη & εκπαίδευση		1	10.900
container εργαλείων & υλικών			2.000
σκαλωσιά για 2 μήνες			3.500
βασή μπειτόν 65 X 25 m (160 m <sup>3</sup> )			28.000
μεταλλικό κτίριο 90 m <sup>2</sup>			45.000
ηλεκτρική εγκ/ση τροφοδοσίας 150 kW			15.000
εργασία συναρ/σης			33.696
επιβλεψη συναρ/σης			23.040
<b>ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>132,66</b>		<b>1.058.576</b>
Πλήρης μονάδα αναερόβιας ζύμωσης BEKON		1	4.490.000
αδειοδότηση παραγωγής ενέργειας ΡΑΕ, ΥΠΑΝ, ΔΕΗ			30.000
οικοδομικές άδειες			20.000
βασή μπειτόν 80 X 50 m (400 m <sup>3</sup> )			70.000
εργα οδοποιίας			20.000
εργα υποδομής σμβρίων-αποχ/σης			18.000
εργα ηλεκτρικής τροφοδοσίας ΜΤ, 80 kVA			24.000
εργασίες περίφραξης-διαμόρφωσης			22.000
<b>ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>4.694.000</b>
ΓΕ, απρόβλεπτα, μεταφορικά & ΟΕ			1.438.144
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>7.190.720</b>



**Πίνακας 30:** Οικονομική ανάλυση λειτουργικού κόστους – οφέλους της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας

<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΟΣ</b>	<b>€/y</b>
έσοδα από πώληση ηλεκτρισμού	420.248
έσοδα από πώληση θερμότητας	0
έσοδα από μη επεξεργασία ΑΣΑ	0
έσοδα από επιδότηση ανακύκλωσης (ξύλο-πλαστικό-μέταλλο-χαρτί)	826.290
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ</b>	<b>1.246.538</b>

<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΜΟΝΑΔΟΣ</b>	<b>€/y</b>
κόστος διάθεσης στερεού compost	351.200
ηλεκ. Κατανάλωση Τμήμα 1	25.471
ηλεκ. Κατανάλωση Τμήμα 2	9.600
κόστος συντήρησης ΣΗΘ	52.412
1 υπομηχανικός και 2 τεχνικοί σε 1 βάρδια (ΞΑΖ)	80.000
1 τεχνικός σε 1 βάρδια (ΜΜΔ)	25.000
κόστος διοίκησης ΦΟΔΣΑ	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΟΔΩΝ</b>	<b>543.683</b>

Τα στοιχεία κόστους του εξοπλισμού είναι του 2009.

Τα δεδομένα διαμόρφωσης του λειτουργικού κόστους είναι:

1. Η ΜΜΔ της ΜΕΑ (τμήμα 1) δυναμικότητας 50-100 t/d, λειτουργεί όλο τον χρόνο πλην Κυριακών –αργιών (300 d/y) σε 2 βάρδιες των 8 ωρών εκάστη, και απαιτεί 1 τεχνικό ανά βάρδια.
2. Η μονάδα ΞΑΖ λειτουργεί όλο το έτος (365 d/y, 24 h/d) και απαιτεί 1 υπομηχανικό με ετήσιο κόστος 30.000 € και 2 τεχνικούς σε 1 βάρδια ο καθένας με ετήσιο κόστος 25.000 € ο καθένας.

Οι παραδοχές του επιχειρηματικού σχεδίου που εξετάσθηκε είναι:

1. Τιμή πώλησης ηλεκτρισμού στον ΔΕΣΜΗΕ: 0,08014 €/kWh<sub>el</sub>, χωρίς ετήσια αναπροσαρμογή.
2. Τιμή αγοράς ηλεκτρισμού από ΔΕΗ (τιμολόγιο Β1β): 0,040 €/kWh<sub>el</sub>
3. Μέση παραγωγή βιοαερίου στην μονάδα ΞΑΖ: 120 Nm<sup>3</sup>/t
4. Μέση περιεκτικότητα σε CH<sub>4</sub> του βιοαερίου: 55%
5. Κατώτερη θερμογόνο δύναμη CH<sub>4</sub> : 10 kWh/Nm<sup>3</sup>

6. Βαθμός απόδοσης ΣΗΘ:
  - a. el – 38.7 %
  - b. therm – 47.5 %
  - c. total – 86.2 %
7. Κόστος συντήρησης μονάδων ΣΗΘ: 0,010 €/kWh<sub>el</sub> παραγόμενη
8. Κόστος διοίκησης ΦΟΔΣΑ δεν λαμβάνεται υπόψη
9. Κόστος μεταφοράς του στερεού αδρανούς υπολείμματος της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης (υλικό επικάλυψης ) στον ΧΥΤΥ: 20 €/t
10. Θεωρούμε έσοδα μόνο **από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας** στο επιχειρηματικό σχέδιο, διότι η διάθεση της θερμότητας απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος δικτύου τηλεθέρμανσης, αφού η θέση της μονάδας στην Πιερία θα είναι αυτή του σημερινού ΧΥΤΑ. Θεωρούμε επίσης έσοδα **από την επιδότηση ανακυκλώσιμων υλικών** που εξέρχονται της ΜΜΔ, με τρέχουσες τιμές μονάδος της Ελληνικής Εταιρείας Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (πλαστικό 127 €/t, μέταλλα 10 €/t, χαρτί-ξύλο 7 €/t, γυαλί 5 €/t).
11. Για το χωνευμένο στερεό υπόλειμμα λαμβάνεται κόστος εισόδου για διάθεση του στον ΧΥΤΥ: 20 €/t.

Στον πίνακα 31 υπολογίζονται όλες οι βασικές παράμετροι του επιχειρηματικού σχεδίου:

- Κέρδη προ φόρων, αποσβέσεων και αποπληρωμής δανείων-EBITDA- (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization),
- Αποπληρωμή των δανείων,
- Αποσβέσεις,
- Φόροι,
- Καθαρά κέρδη.

Το κόστος αποσυναρμολόγησης και διάθεσης της μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης μετά την 20ετία εκτιμάται σε 80.000 € συμπεριλαμβανομένων εσόδων – εξόδων. Από τον πίνακα 31 το «απόθεμα σε μετρητά» τον 20<sup>ο</sup> χρόνο είναι 1.337.000 € άρα η επένδυση καλύπτει το κόστος αυτό.

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας

Πίνακας 31: Ανάλυση επιχειρηματικού σχεδίου της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας

ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ ΝΟΜΟΥ ΠΙΕΡΙΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΞΗΡΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΥ ΖΥΜΩΣΕΩΣ																				Capacity:	45.000,0 tny						
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ																				ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ:	543.683						
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ			5.387.440	Financing:			Part	Interest	Term	Grace	Disagio																
ΚΤΙΡΙΑΚΑ			186.500	Equity:			1.797.680	25%																			
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ			117.736	Subvention:			2.876.288	40%																			
ΔΑΠΑΝΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΑΜΟΙΒΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ			1.499.044	Loan 1:			2.516.752	35%	6,20%	10 years	0 years	0%															
ΣΥΝΟΛΟ:			7.190.720	Loan 2:			0	0%	5,80%	10 years	1 years	0%															
				Short term loan:			0	0%	5,80%	2 years	--	--															
				Sum:			7.190.720																				
Specific investment				Corporate tax				29%																			
				Dividend distributable				85%	of net Revenue																		
				IRR				4,96%																			
Euro/kWh			1,37	Annual Elec. Energy Yield			5.241.218 kWh	Full load hours:			8280																
Euro/ (tnly)			160	Tariff (averaged):			0,08014 Euro/kWh*																				
				el energy sales			420.031 Euro																				
				recycling grant			826.280 Euro																				
				total income			1.246.321 Euro																				
				mean inflation rate			0,030																				
				mean increase of electricity price			0,0075																				
Year			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
Income	Εσοδα		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026					
Electricity sales	Πωλήσεις ενέργειας		1.248.321	1.255.689	1.265.086	1.274.574	1.284.134	1.293.765	1.303.468	1.313.244	1.323.093	1.333.016	1.343.014	1.353.087	1.363.235	1.373.459	1.383.760	1.394.138	1.404.594	1.415.129	1.425.742	1.436.435					
Costs	Κόστη																										
Operational costs**	Λειτουργικά κόστη		543.683	559.993	576.793	594.097	611.920	630.277	649.186	668.661	688.721	709.383	730.664	752.584	775.162	798.417	822.369	847.040	872.451	898.625	925.584	953.351					
EBITDA-Earnings Before Interest Taxes	κέρδη προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων		702.638	695.675	688.293	680.477	672.214	663.487	654.282	644.582	634.372	623.634	612.350	600.502	588.073	575.042	561.391	547.098	532.143	516.504	500.158	483.084					
Loans and interest																											
Interest1	τόκοι και μερίσματα δανείου 1		158.039	140.435	124.631	109.227	93.623	78.019	62.415	46.812	31.208	15.604	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Repayment1	όση δανείου 1		251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675	251.675					
Rest of loan1	Υπόλοιπα δανείου 1		2.265.077	2.013.402	1.761.726	1.510.051	1.258.376	1.006.701	755.026	503.350	251.675	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Interest2	τόκοι δανείου 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Repayment2	όση δανείου 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Rest of loan2	Υπόλοιπα δανείου 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Short term loan costs	Κόστος βραχυπρόθεσμου δανείου		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Rest short term loan	Υπόλοιπα βραχυπρόθεσμου δανείου		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
TOTAL of LOANS -interest+repayment	Σύνολο τόκων-όσων δανείων		-407.714	-382.110	-376.508	-360.902	-345.288	-329.685	-314.081	-288.487	-282.883	-267.278	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
EBITDA			546.600	555.240	563.462	571.250	578.591	585.468	591.887	597.771	603.164	608.030	612.350	600.502	588.073	575.042	561.391	547.098	532.143	516.504	500.158	483.084					
EBTD	κέρδη προ φόρων κ αποσβέσεων		294.825	303.565	311.787	319.575	326.915	333.793	340.191	346.086	351.489	356.354	361.250	366.002	370.733	375.245	379.646	383.937	388.118	392.189	396.150	400.001	403.732				
Depreciation of assets	Αποσβέση παγίων																										
Depreciation of equipment -10%	Αποσβέση εξοπλισμού		538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744	538.744					
Depreciation of civil works -6%	Αποσβέση έργων πολ. μηχανικού		14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920	14.920					
Depreciation of electrical -5%	Αποσβέση ηλεκτρικού		5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887	5.887					
DEPRECIATION TOTAL of Assets	Αποσβέση συνολική παγίων		559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551	559.551					
DEPRECIATION of subvention	Αποσβέση επιδότησης		223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820	223.820					
DEPRECIATION TOTAL	Συνολική αποσβέση		835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730	835.730					
EBT	κέρδη προ φόρων		-40.806	-32.165	-23.944	-16.155	-8.815	-1.838	4.461	10.365	15.759	20.824	25.989	31.254	36.619	42.084	47.649	53.314	59.079	64.944	70.909	76.974					
Total of losses	Σύνολο κερδών-ζημιών (-)		-40.806	-72.971	-98.915	-113.070	-121.885	-123.823	-119.382	-108.997	-93.238	-72.814	527.251	588.018	675.589	771.510	875.859	988.368	1.108.937	1.236.566	1.372.255	1.517.004					
Corporate tax	Εταιρικός φόρος		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152.903	170.525	186.921	165.738	161.778	157.634	153.287	148.762	144.022	138.070					
Net revenue	Καθαρό κέρδος		-40.806	-32.165	-23.944	-16.155	-8.815	-1.838	4.461	10.365	15.759	20.824	44.663	417.493	408.668	405.772	386.080	365.932	375.314	364.210	352.605	340.482					
Divident Distributable	Διανομή μερισμάτων		0	0	0	0	0	3.792	8.810	13.395	17.530	379.918	354.889	347.368	344.906	336.668	328.042	319.017	309.578	299.714	289.410	278.746					
Cash available	Διαθέσιμα μετρητά		294.825	303.565	311.787	319.575	326.915	333.793	340.191	346.086	351.489	356.354	361.250	366.002	370.733	375.245	379.646	383.937	388.118	392.189	396.150	400.001					
Summary of cash available	Συνολικά διαθέσιμα μετρητά		294.825	598.490	810.277	1.229.852	1.556.787	1.880.560	2.229.859	2.584.245	2.802.339	3.241.163	3.320.691	3.385.799	3.489.584	3.533.882	3.566.826	3.658.348	3.718.177	3.776.340	3.832.763	3.887.387					
DCSR			1,72	1,77	1,83	1,88	1,95	2,01	2,08	2,16	2,24	2,33															
Cash from reserves to be given to shareholders	Μετρητά από τα αποθέματα για μετόχους		0	0	0	0	326.915	333.793	336.400	337.285	338.094	338.824	79.528	75.108	73.784	64.398	62.944	61.422	59.829	58.164	56.423	54.604					
cash reserves	Απόθεμα σε μετρητά		294.825	598.490	810.277	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852	1.229.852					
Cash flows for the calculation of break-even			-1.797.680	294.825	303.565	311.787	319.575	326.915	333.793	340.191	346.086	351.489	356.354	459.447	429.977	421.152	409.304	399.612	389.484	378.848	367.742	356.137	344.014				
Break-even			-1.797.680	-1.502.755	-1.199.190	-897.403	-567.828	-240.913	92.880	433.071	779.167	1.130.658	1.487.010	1.948.457	2.376.434	2.797.586	3.208.891	3.608.503	3.995.988	4.374.812	4.742.554	5.098.691	5.442.705				

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι συντελεστές οι οποίοι προφανώς θα αλλάξουν τα μεγέθη των χρηματοροών χωρίς όμως να επηρεάσουν σημαντικά την εικόνα του επιχειρηματικού σχεδίου.

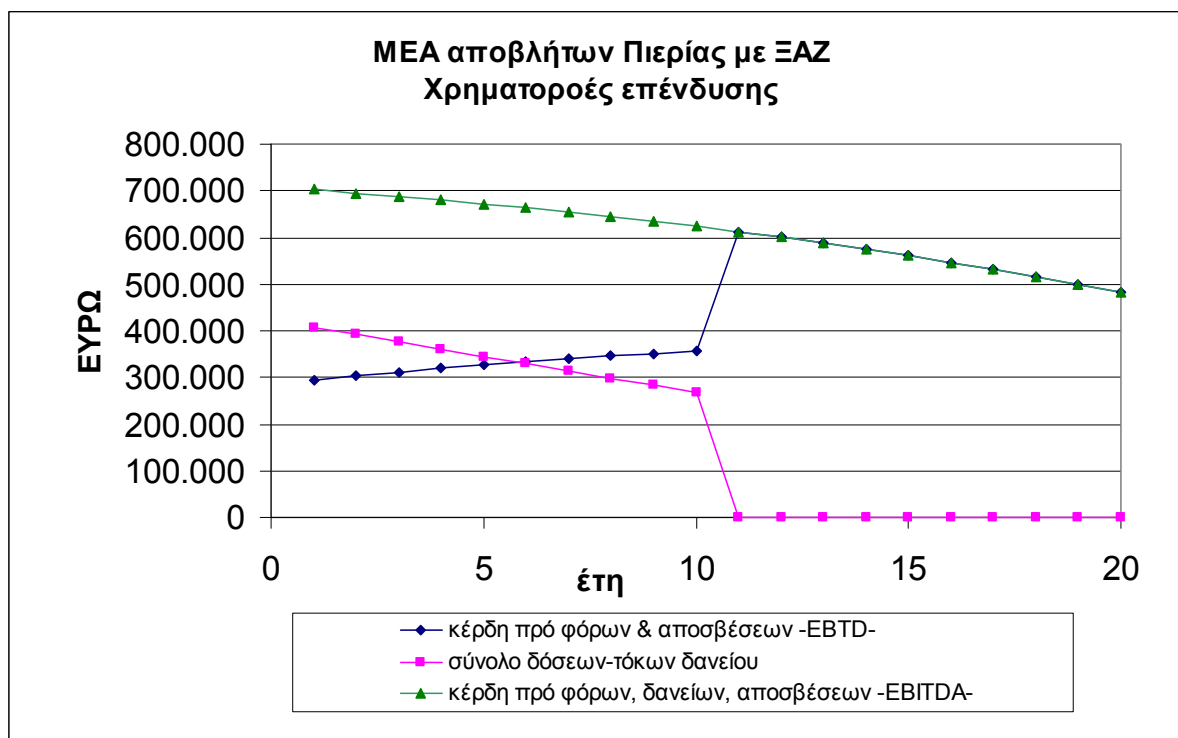
Το **δάνειο** λαμβάνεται με επιτόκιο 6,2% και αποπληρωμή σε 10 έτη με σταθερή δόση κεφαλαίου και φθίνουσα τόκων.

Η **επιδότηση** λαμβάνεται 40% επί του συνολικού κόστους της επένδυσης από τον Αναπτυξιακό Νόμο Ν.3299/2004 όπως ισχύει σήμερα για την συγκεκριμένη επένδυση (παραγωγή ηλ. ενέργειας από βιομάζα) και περιοχή (Κ. Μακεδονία).

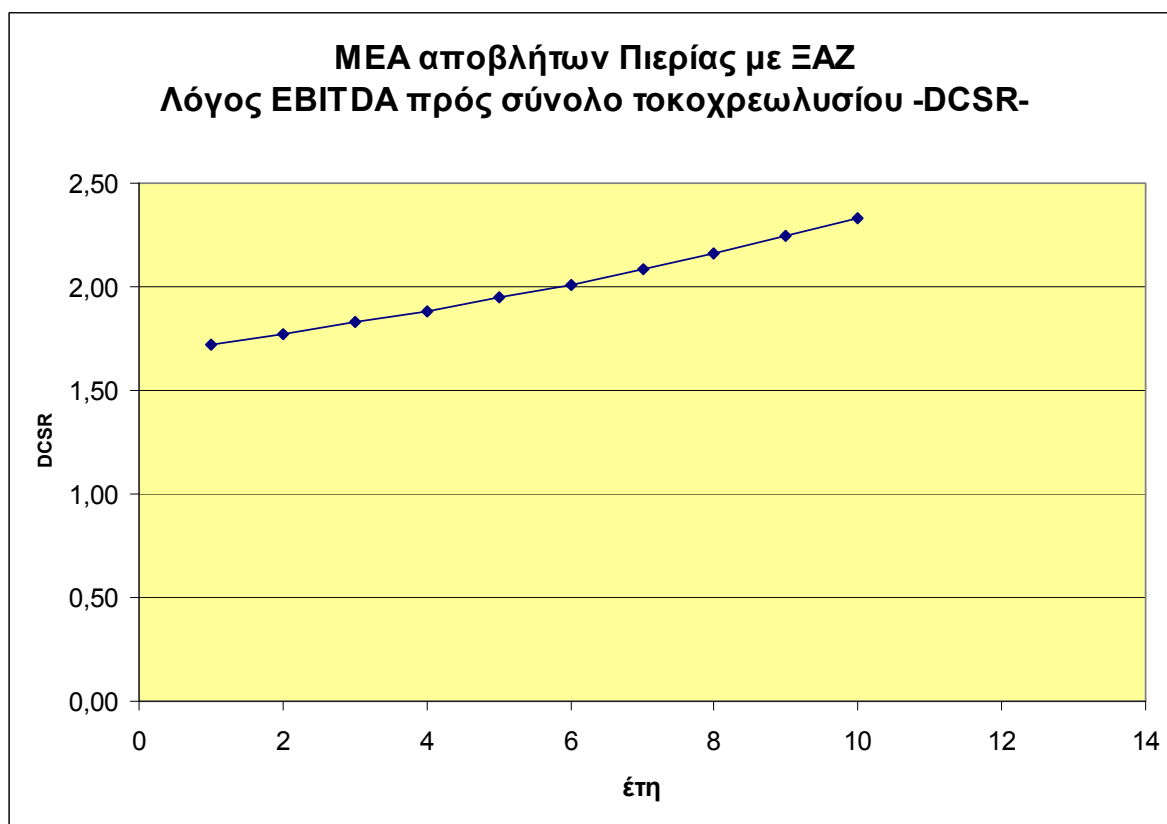
Η **απλή περίοδος αποπληρωμής** της ίδιας συμμετοχής που προκύπτει είναι περίπου 5,8 έτη.

Ο **εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)** των χρηματοροών από και προς τους μετόχους (μέρισμα + διαθέσιμα) ισούται με 4,96%.

Στην εικόνα 22 απεικονίζονται οι χρηματοροές της επένδυσης, σε ορίζοντα 20ετίας. Στην εικόνα 23 απεικονίζεται ο λόγος EBITDA προς το σύνολο του τοκοχρεωλυσίου. Από τα στοιχεία του πίνακα φαίνεται ότι η υλοποίηση του επιχειρηματικού σχεδίου μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης είναι αποδοτική, με λόγο EBITDA/σύνολο εξυπηρέτησης δανεισμού (DCSR - Debt-Service Coverage Ratio) περίπου 1,70 ήδη από τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του επιχειρηματικού σχεδίου και βαίνει αυξανόμενη με την αποπληρωμή του δανείου (εικόνα 23).



**Εικόνα 22:** Χρηματοροές επιχειρηματικού σχεδίου ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία



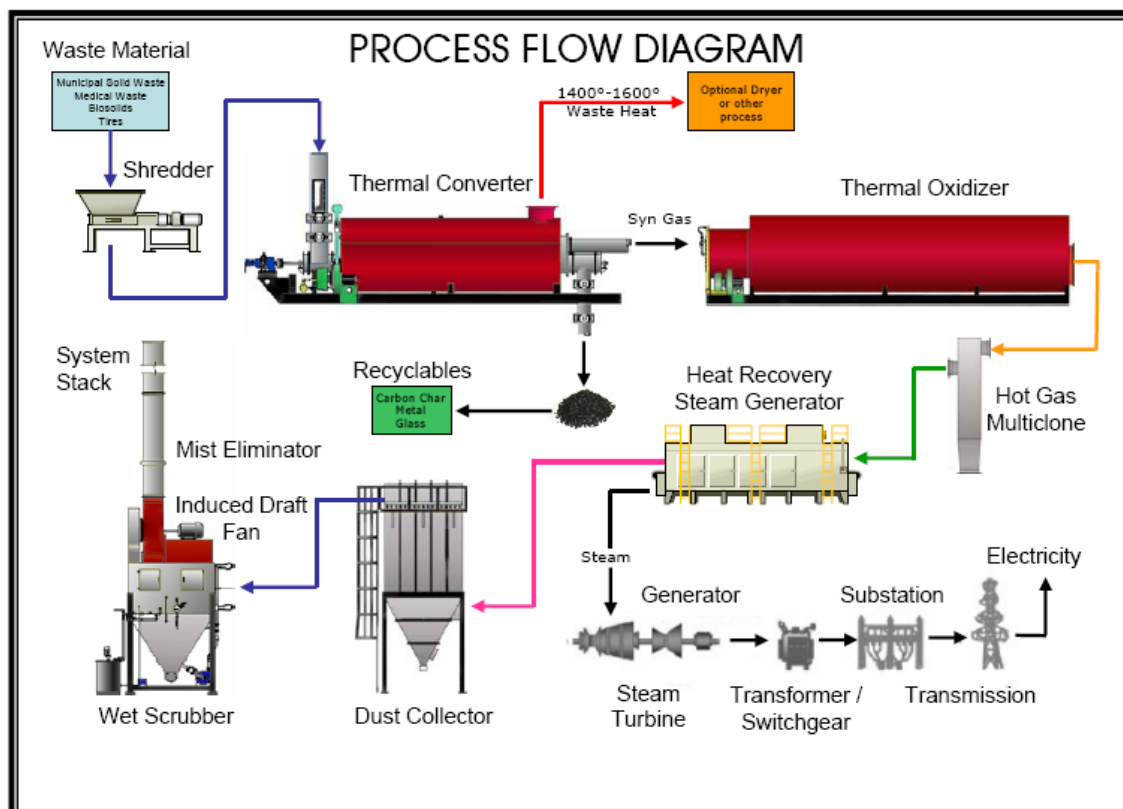
**Εικόνα 23:** Λόγος EBTDA προς τοκοχρεολύσιο επιχειρηματικού σχεδίου ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία

### 5.3. Προμελέτη εφαρμογής μονάδας πυρόλυσης

#### 5.3.1. Περιγραφή μονάδας

Εξετάσθηκε για την περίπτωση της Πιερίας η εφαρμογή της **πυρόλυσης** ως μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ. Η Μονάδα της Πυρόλυσης (ΜΠ) βασίζεται σε σχετικά πρόσφατη τεχνολογία Αμερικανού προμηθευτή (IES), με πρώτη εμπορικής κλίμακας εφαρμογή στην Καλιφόρνια (μονάδα 8 t/d). Η μονάδα επεξεργάζεται πλήρως όλο το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ, και η ΜΜΔ πριν την πυρόλυση διαχωρίζει τα μέταλλα και το γυαλί. Περιλαμβάνει τα εξής τμήματα, σύμφωνα με το διάγραμμα ροής (εικόνα 24):

1. Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού μετάλλου και γυαλιού.
2. Τεμαχιστή ΑΣΑ.
3. Θερμικό μετατροπέα ΑΣΑ απουσία  $O_2$  με ταυτόχρονη παραγωγή καυσίμου αερίου (syngas), θερμότητας (ατμός, θερμό νερό), και το μη καιγόμενο κλάσμα των ΑΣΑ (ανακυκλώσιμο στερεό υπόλειμμα).
4. Θερμικό οξειδωτή για την καύση του αερίου της πυρόλυσης.
5. Ατμολέβητα ανάκτησης θερμότητας και παραγωγής υπέρθερμου ατμού (HRSG).
6. Μονάδα καθαρισμού απαερίων πριν της διάθεση τους στο περιβάλλον.
7. Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με ατμοστρόβιλο-ηλεκτρογεννήτρια, που μπορεί να μετατραπεί σε μονάδα ΣΗΘ, εφόσον αξιοποιηθεί η συμπαραγόμενη θερμότητα.



Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής μονάδας πυρόλυσης της IES.

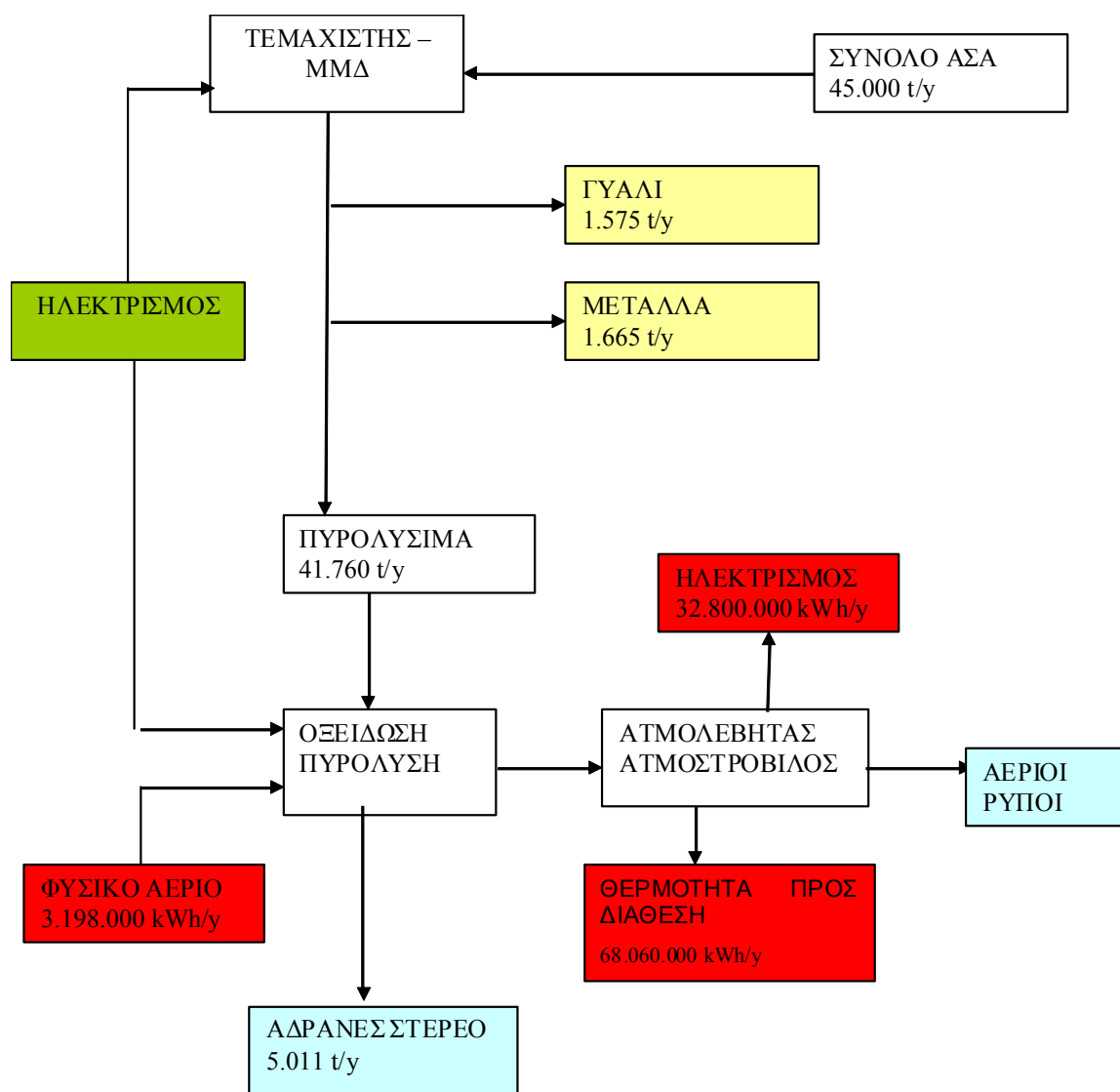
Η σχεδιαστική ποσότητα των ΑΣΑ Πιερίας ελήφθη και για την περίπτωση της μονάδας πυρόλυσης **45.000 t/y**. Επειδή η τεχνολογία είναι σχετικά πρόσφατη δεν κατέστη δυνατόν να πάρουμε αναλυτικά στοιχεία λειτουργίας. Η IES δίδει πάντως πλήρη στοιχεία και αναλύσεις για τα απαέρια που ελευθερώνονται στο περιβάλλον μετά τον καθαρισμό, που είναι εξαιρετικά χαμηλά, προέρχονται από πιστοποιημένες μετρήσεις και είναι συμβατές με τις αυστηρές προδιαγραφές της πολιτείας της Καλιφόρνια.

Η μονάδα πυρόλυσης έχει τα εξής γενικά χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική δυναμικότητα ΑΣΑ 125 t/d (45.000 t/y)
- Ηλεκτρική ισχύς παραγόμενη: 4.000 kW<sub>el</sub>
- Θερμική ισχύς παραγόμενη: 8.300 kW<sub>th</sub>
- Απαίτηση καυσίμου φυσικού αερίου (στον θερμικό οξειδωτή): 390 kW
- Αέριοι ρύποι εκπεμπόμενοι: NO<sub>x</sub> 1,32 kg/t ΑΣΑ,
- CO: 0,39 kg/t ΑΣΑ
- SO<sub>x</sub>: 0,017 kg/t ΑΣΑ
- Διοξίνες-φουράνια:  $2,2 * 10^{-11}$  kg/t ΑΣΑ

- Μείωση όγκου ΑΣΑ: μέχρι 92%

Στην εικόνα 25 δίδεται το ισοζύγιο μάζας-ενέργειας της μονάδας πυρόλυσης με όσα στοιχεία ήταν διαθέσιμα.



**Εικόνα 25:** Ισοζύγιο μάζας-ενέργειας της μονάδας πυρόλυσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας

### 5.3.2. Οικονομική ανάλυση προτεινόμενης μονάδας

Το συνολικό προϋπολογιστικό κόστος της μονάδας πυρόλυσης για την Πιερία είναι 25.117.000 € συμπεριλαμβανομένης και της Μονάδας Μηχανικού Διαχωρισμού (ΜΜΔ) για μέταλλο και γυαλί. Όλα τα υπόλοιπα απόβλητα (πλαστικό, ξύλο, χαρτί, οργανικά κλπ) εισέρχονται στην μονάδα πυρόλυσης.

Τα στοιχεία κόστους του εξοπλισμού είναι του 2009.



Η μονάδα πυρόλυσης λειτουργεί όλο το έτος (365 d/y, 24 h/d) και απαιτεί 1 υπομηχανικό σε 1 βάρδια με ετήσιο 30.000 € και 1 τεχνικό σε 3 βάρδιες με ετήσιο κόστος 25.000 € ο καθένας, λόγω της μονάδας πίεσης (ατμολέβητα-ατμοστροβίλου) όπου επιβάλλεται από την Νομοθεσία η παρακολούθηση σε 24ωρη βάση.

Στον πίνακα 32 δίνεται η ανάλυση λειτουργικού κόστους-οφέλους της μονάδας πυρόλυσης χωρίς την ΜΜΔ.

Το κόστος αποσυναρμολόγησης και διάθεσης της μονάδας πυρόλυσης μετά την 20ετία εκτιμάται σε 180.000 € συμπεριλαμβανομένων εσόδων – εξόδων. Από τον πίνακα 33 το «απόθεμα σε μετρητά» τον 20<sup>ο</sup> χρόνο είναι 3.515.000 € άρα η επένδυση καλύπτει το κόστος αυτό.

**Πίνακας 32:** Ανάλυση λειτουργικού κόστους – οφέλους της μονάδας πυρόλυσης  
ΑΣΑ Ν. Πιερίας

<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΣΟΔΑ ΜΟΝΑΔΟΣ</b>	<b>€/y</b>
έσοδα από πώληση ηλεκτρισμού	2.628.592
έσοδα από πώληση θερμότητας	
έσοδα από μη επεξεργασία ΑΣΑ	
έσοδα από επιδότηση ανακύκλωσης (ξύλο-πλαστικό-μέταλλο-χαρτί)	24.525
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ</b>	<b>2.653.117</b>

<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΜΟΝΑΔΟΣ</b>	<b>€/y</b>
κόστος διάθεσης στερεού υπολείμματος	100.224
κόστος καυσίμου ΦΑ	137.375
κόστος συντήρησης & λειτουργίας	130.950
κόστος διοίκησης ΦΟΔΣΑ	0
1 υπομηχανικός - 1 βάρδια και 1 τεχνικό σε 3 βάρδιες	105.000
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΟΔΩΝ</b>	<b>473.549</b>

Οι παραδοχές του επιχειρηματικού σχεδίου που εξετάσθηκε είναι:

1. τιμή πώλησης ηλεκτρισμού στον ΔΕΣΜΗΕ: 0,08014 €/kWh<sub>el</sub>
2. τιμή αγοράς ηλεκτρισμού από ΔΕΗ (τιμολόγιο Β1β): 0,040 €/kWh<sub>el</sub>
3. Κατώτερη θερμογόνος δύναμη CH<sub>4</sub>: 10 kWh/Nm<sup>3</sup>
4. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας πυρόλυσης περιλαμβάνει το συνολικό κόστος.

5. Κόστος διοίκησης ΦΟΔΣΑ δεν λαμβάνεται υπόψη
6. Κόστος μεταφοράς του στερεού αδρανούς υπολείμματος της μονάδας πυρόλυσης (υλικό επικάλυψης ) στον ΧΥΤΥ: 20 €/t
7. Θεωρούμε έσοδα μόνο από την **πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας** στο επιχειρηματικό σχέδιο, διότι η διάθεση της θερμότητας απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος δικτύου τηλεθέρμανσης, αφού η θέση της μονάδας πυρόλυσης στην Πιερία θα είναι αυτή του σημερινού ΧΥΤΑ.
8. Θεωρούμε επίσης έσοδα **από την επιδότηση ανακυκλώσιμου γυαλιού και μετάλλου** που εξέρχονται της ΜΜΔ, με τρέχουσες τιμές μονάδος της Ελληνικής Εταιρείας Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (μέταλλα 10 €/t, γυαλί 5 €/t).
9. Για το αδρανές στερεό υπόλειμμα λαμβάνεται κόστος εισόδου για διάθεση του στον ΧΥΤΥ: 20 €/t.

Τα στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί για τα δάνεια, τη φορολογία και τις αποσβέσεις είναι:

- Διάρκεια δανείου: 10 έτη
- Επιτόκιο δανεισμού: 6,2 %
- Συντελεστής φορολογίας: 29%
- Απόσβεση εξοπλισμού: 10% ανά έτος

Στον πίνακα 33 υπολογίζονται όλες οι βασικές παράμετροι του επιχειρηματικού σχεδίου:

- Κέρδη προ φόρων, αποσβέσεων και αποπληρωμής δανείων-EBITDA-
- Αποπληρωμή των δανείων,
- Αποσβέσεις,
- Φόροι,
- Καθαρά κέρδη.

Από τα στοιχεία του πίνακα φαίνεται ότι η υλοποίηση του επιχειρηματικού σχεδίου μονάδας πυρόλυσης είναι αποδοτική, με λόγο EBITDA/σύνολο εξυπηρέτησης δανεισμού (DCSR - Debt-Service Coverage Ratio) περίπου 1,50 ήδη από τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του επιχειρηματικού σχεδίου και βαίνει αυξανόμενη με την αποπληρωμή του δανείου (εικόνα 27).

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι συντελεστές, οι οποίοι προφανώς θα αλλάξουν τα μεγέθη των χρηματορροών χωρίς όμως να επηρεάσουν σημαντικά την εικόνα του επιχειρηματικού σχεδίου.

Το **δάνειο** λαμβάνεται με επιτόκιο 6,2% και αποπληρωμή σε 10 έτη με σταθερή δόση κεφαλαίου και φθίνουσα τόκων.

Η **επιδότηση** λαμβάνεται 40% επί του συνολικού κόστους της επένδυσης από τον αναπτυξιακό νόμο 3299/2004 όπως ισχύει σήμερα για την συγκεκριμένη επένδυση (παραγωγή ηλ. ενέργειας από βιομάζα) και περιοχή ( Κ. Μακεδονία).

Η **απλή περίοδος αποπληρωμής** της ίδιας συμμετοχής που προκύπτει είναι περίπου 6,6 έτη.

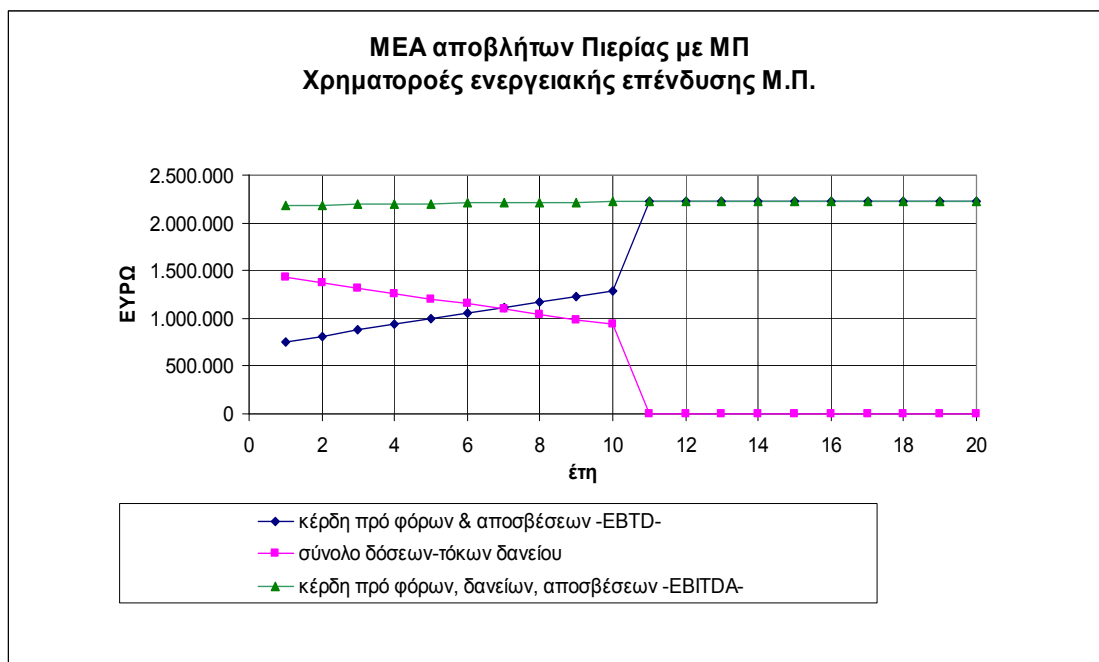
Ο **εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)** των χρηματορροών από και προς τους μετόχους (μέρισμα + διαθέσιμα) ισούται με 3,40%.

Στην εικόνα 27 απεικονίζονται οι χρηματορροές της επένδυσης, σε ορίζοντα εικοσαετίας που θεωρείται και ο ωφέλιμος χρόνος ζωής της επένδυσης.

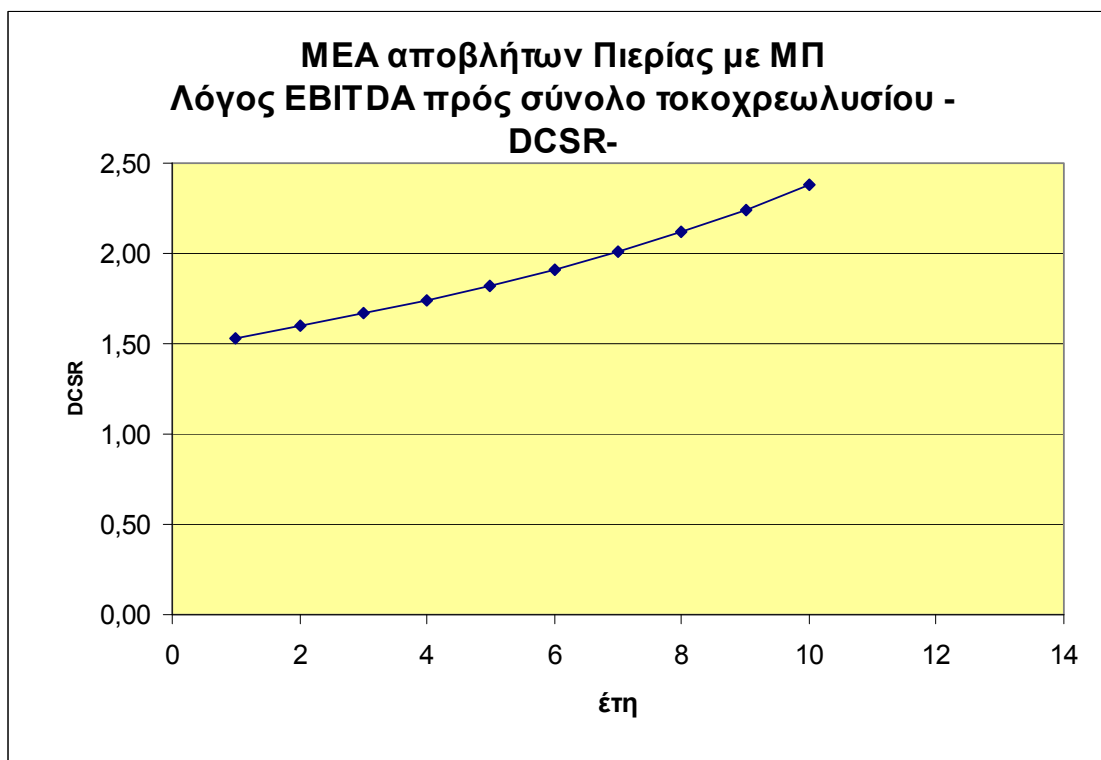
Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας

Πίνακας 33: Ανάλυση επιχειρηματικού σχεδίου της μονάδας πυρόλυσης των ΑΣΑ Ν. Πιερίας

ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ ΝΟΜΟΥ ΠΙΕΡΙΑΣ																					
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ			Capacity: 45.000,0 tpy																		
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ			ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ 473.549																		
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ			24.997.500																		
ΚΤΙΡΙΑΚΑ			0																		
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ			0																		
ΔΑΠΑΝΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΑΜΟΙΒΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ			120.000																		
<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>			<b>25.117.500</b>																		
Specific investment			Euro/MWh: 0,77																		
			Euro/ tpy): 558																		
Construction period			1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20																		
Year			2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026																		
Income			Έσοδα																		
Electricity sales			Πωλήσεις ενέργειας																		
Costs			Κόστη																		
Operational costs**			Λειτουργικά κόστη																		
EBITDA-Earnings Before Interest Taxes			κέρδη προ φόρων, αποσβέσεων, δανείων																		
Loans and interest			Δάνεια και μερίδια																		
Interest1			τόκο δανείου 1																		
Repayment1			όσο δανείου 1																		
Rest of loan1			Υπόλοιπο δανείου 1																		
Interest2			τόκο δανείου 2																		
Repayment2			όσο δανείου 2																		
Rest of loan2			Υπόλοιπο δανείου 2																		
Short term loan costs			Κόστος βραχυπρόθεσμου δανείου																		
Rest short term loan			Υπόλοιπο βραχυπρόθεσμου δανείου																		
TOTAL of LOANS - interest+repayment			Σύνολο τόκων-όσων δανείων																		
EBTDA			κέρδη προ φόρων κ. αποσβέσεων																		
EBTD			κέρδη προ φόρων κ. αποσβέσεων																		
Depreciation of assets			Αποσβέση παγίων																		
Depreciation of equipment -10%			Αποσβέση εξοπλισμού																		
Depreciation of civil works -8%			Αποσβέση έργων παλ. μηχανικού																		
Depreciation of electrical -5%			Αποσβέση ηλεκτρικού																		
DEPRECIATION TOTAL of Assets			Αποσβέση συνολική παγίων																		
Depreciation of subversion			Αποσβέση απόβλησης																		
DEPRECIATION TOTAL			Συνολική απόβληση																		
EBT			κέρδη προ φόρων																		
Total of losses			Σύνολο κερδών-ζημιών (-)																		
Corporate tax			Εταιρικός φόρος																		
Net revenue			Κοινό κέρδος																		
Divident Distributable			Διανομή μερισμάτων																		
Cash available			Διαθέσιμο μετρητό																		
Summary of cash available			Συνολικό διαθέσιμο μετρητό																		
DCSR			1,53 1,60 1,67 1,74 1,82 1,91 2,01 2,12 2,24 2,38																		
Cash from reserves to be given to shareholders			Μετρητό από το αποθέματα για μετόχους																		
cash reserves			Αποθέματα σε μετρητό																		
Cash flows for the calculation of break-even			-6.279.375																		
Break -even			-5.529.969 -4.709.367 -3.892.945 -2.897.691 -1.903.207 -849.705 262.489 1.439.035 2.661.580 3.947.759 6.170.301 8.395.199 10.070.182 11.652.309 13.235.191 14.818.498 16.401.889 17.985.015 19.567.516 21.149.007																		



**Εικόνα 26:** Χρηματοροές επιχειρηματικού σχεδίου μονάδας πυρόλυσης στην Πιερία



**Εικόνα 27:** Λόγος EBITDA προς τοκοχρεολύσιο επιχειρηματικού σχεδίου μονάδας πυρόλυσης στην Πιερία

#### 5.4. Συγκριτική αξιολόγηση μελετών εφαρμογής ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων για το Νομό Πιερίας

Από την σύγκριση εφαρμογής των δύο τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ (ξηρή αναερόβια ζύμωση και μονάδα πυρόλυσης) προκύπτουν:

1. Η τελική μείωση όγκου ΑΣΑ είναι μεγαλύτερη στην μονάδα πυρόλυσης (90%).
2. Ο απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης του εξοπλισμού μαζί με χώρο στάθμευσης φορτηγών και υπόστεγο προσωρινής εναπόθεσης του στερεού υποπροϊόντος, είναι παρόμοιος (~5.000 m<sup>2</sup>).
3. Περιβαλλοντικά η μονάδα πυρόλυσης έχει ελάχιστα στερεά υπολείμματα και κυρίως αέρια με πολύ χαμηλές τιμές ρύπων. Η ξηρή αναερόβια ζύμωση έχει κυρίως στερεά υπολείμματα που μπορούν όμως να διατεθούν για επικάλυψη ΧΥΤΥ.
4. Ενεργειακά η μονάδα πυρόλυσης παράγει ηλεκτρισμό 32.800 MWh ενώ η μονάδα ξηρής αναερόβιας ζύμωσης 5.240 MWh, δεδομένου ότι ανακυκλώνει μεγάλο ποσοστό του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Σε περίπτωση μη αξιοποίησης των θερμικών όμως η μονάδα πυρόλυσης απορρίπτει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας (68.000 MWh ) έναντι της μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης (5.200 MWh). Επίσης η μονάδα πυρόλυσης καταναλώνει πολύ περισσότερη ενέργεια σε φυσικό αέριο (3.200 MWh) και ηλεκτρισμό, έναντι της μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης μόνο σε ηλεκτρισμό (876 MWh).
5. Οικονομικά η μονάδα πυρόλυσης κοστίζει 3,5 φορές περισσότερο (558 €/t/y) έναντι της ΞΑΖ (160 €/t/y)), αλλά με τους ίδιους επιχειρηματικούς όρους παρουσιάζει μικρότερο IRR (3,40% η ΜΠ έναντι 4,96% της ΞΑΖ). Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη ασφάλεια και χαμηλότερο ρίσκο.
6. Η μονάδα πυρόλυσης μπορεί να δεχθεί πάσης φύσεως απορρίμματα, όχι μόνο ΑΣΑ (βιομηχανικά, νοσοκομειακά, ελαστικά κλπ) λόγω των συνθηκών της πυρόλυσης, επομένως λύνει το θέμα «απόβλητα» συνολικά. Ακόμη και στην περίπτωση υψηλής περιεκτικότητας σε νερό υπάρχει η απορριπτόμενη θερμότητα διαθέσιμη για οικονομική προξήρανση πριν την πυρόλυση.
7. Και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στην διακύμανση της επιδότησης, είτε ανακύκλωσης είτε πάγιου εξοπλισμού. Πχ μία μείωση της

επιδότησης του αναπτυξιακού νόμου από 40% σε 30% δίνει για την ΞΑΖ, 1,9% και την καθιστά μη βιώσιμη. Επίσης μία μείωση 50% στην επιδότηση ανακύκλωσης του πλαστικού δίνει αρνητικό IRR.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- Η μονάδα πυρόλυσης ενδείκνυται όχι τόσο για ΑΣΑ όσο για άλλου τύπου οργανικά και επικίνδυνα απόβλητα που απαιτούν παράλληλα **θερμική** επεξεργασία (νοσοκομειακά, ελαστικά κλπ) και όπου δεν είναι δυνατή ή βιώσιμη η ανακύκλωση. Παράλληλα πρέπει να αξιοποιηθεί και ποσοστό 70-80% της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας (68.000 MWh) για βελτίωση της βιωσιμότητας της.
- Η ξηρή αναερόβια ζύμωση είναι προτιμότερη για τα ΑΣΑ και ειδικά για την περιοχή της Κ. Μακεδονίας. Η αξιοποίηση της συμπαραγόμενης θερμότητας έχει δευτερεύουσα σημασία οικονομικά, λόγω μικρότερης ποσότητας από την μονάδα πυρόλυσης (5.200 MWh) και γιατί απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος και δημιουργία νέας αγοράς.

### **5.5. Δυνατότητες σύνδεσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης σε υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας.**

Εφόσον η μονάδα εξασφαλίζει σταθερό παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο βάσης, έχει προτεραιότητα έγχυσης της ενέργειας στο δίκτυο της ΔΕΗ. (Ν.3468/2006). Οι λεπτομέρειες προσδιορίζονται με τους όρους σύνδεσης της ΔΕΗ.

### **5.6. Βιβλιογραφία**

BEKON Energie Technologies GmbH ([www.bekon-energy.de](http://www.bekon-energy.de))

ECN/ORBIT e.V. Animal-By-Products Regulation Workshop 2003, Pres. No. 24 “Dry digestion process” – Dr. F. Bosse

Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης ΑΕ (ιστοσελίδα [www.herrco.gr](http://www.herrco.gr))

ΠΕΣΔΑ (2006), Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Περιφέρειας Κ. Μακεδονίας, όπως εγκρίθηκε από την ΠΚΜ στις 22-12-2005 και τροποποιήθηκε στις 29-3-2006.

## 6. Προτάσεις - Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας (Waste To Energy) στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας ως βιώσιμη λύση για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων.

Οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων και ειδικότερα αυτές της αποτέφρωσης (μαζικής ή απορριμματογενών καυσίμων) και της αναερόβιας χώνευσης, έχουν διανύσει δεκαετίες εφαρμογής, επιδεικνύοντας ωριμότητα και πολυάριθμα παραδείγματα εφαρμογής στο εξωτερικό. Μεταξύ των άλλων σύμφωνα με την νέα ιεράρχηση της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων, η ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα είναι πλέον προτιμότερη στην ιεράρχηση από την τελική τους διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής. Έτσι δηλώνεται σαφώς, ότι η ευρωπαϊκή πολιτική οδηγεί στην θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων, η οποία υπό προϋποθέσεις θεωρείται αποδοτική και φιλική στο περιβάλλον. Παράλληλα τα όρια εκτροπής των βιοαποδομήσιμων από την ταφή, που τέθηκαν από την ΕΕ από το 1999, η προϋπόθεση επεξεργασίας όλων των στερεών αποβλήτων πριν την ταφή και οι αδυναμίες στη διάθεση του επεξεργασμένου οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων που προέρχεται από μικτή συλλογή συνηγορούν στην επιλογή μίας εκ των ανωτέρω τεχνολογιών ως βασική και συστατική όλων των δόκιμων και βιώσιμων σεναρίων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.

Βασικό πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα αποτελεσματικής συνεπεξεργασίας των ΑΣΑ με άλλα ρεύματα στερεών αποβλήτων (βιομηχανικά, ελαστικά, αγροτικά στην αποτέφρωση, κτηνοτροφικά, ιλύ στην αναερόβια) επιλύοντας το σημαντικό αδιέξοδο που υπάρχει σήμερα μετά την έναρξη λειτουργίας των ΧΥΤΑ σε όλη τη χώρα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρά το γεγονός ότι η μελέτη εστιάζεται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, τα αποτελέσματα που εξάγονται θα μπορούσαν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά του μεγαλύτερου μέρους της Ελληνικής επικράτειας.

Όπως προέκυψε από την έρευνα τόσο μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης, όσο και τεχνο-οικονομικής ανάλυσης, η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας αποτελεί μια εφικτή λύση. Ωστόσο υπάρχουν αρκετά θέματα, τα οποία απαιτούν προσοχή. Η εφαρμογή της άμεσης θερμικής



επεξεργασίας απαιτεί την ύπαρξη θερμικών καταναλώσεων σε μικρή σχετικά απόσταση (οικιακοί και βιομηχανικοί καταναλωτές) και των αντίστοιχων υποδομών για την διανομή της θερμικής ενέργειας (δίκτυα τηλεθέρμανσης). Επίσης αναφορικά με την παραγωγή RDF, σε γενικές γραμμές σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία δε θεωρείται οικονομικά βιώσιμη, αν δεν παρέχονται κρατικές επιχορηγήσεις για τη λειτουργία της ή αν δεν καλύπτει το κόστος αυτό ο χρήστης των υπηρεσιών (ΟΤΑ, πολίτες και παραγωγοί).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης, η αποτέφρωση των απορριμμάτων ιεραρχήθηκε στην πρώτη θέση στην πλειοψηφία των περιπτώσεων στην ανάλυση της ευαισθησίας. Οι τεχνολογίες που εξετάστηκαν αφορούσαν στην αποτέφρωση, πυρόλυση, αεριοποίηση και συνδυασμό πυρόλυσης – αεριοποίησης.

Επίσης η τεχνοοικονομική ανάλυση για την κατασκευή μονάδας πυρόλυσης ή αναερόβιας ζύμωσης στο Νομό Πιερίας, κατέληξε στα εξής:

1. Η τελική μείωση όγκου ΑΣΑ είναι μεγαλύτερη στην μονάδα πυρόλυσης (90%).
2. Ο απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης του εξοπλισμού μαζί με χώρο στάθμευσης φορτηγών και υπόστεγο προσωρινής εναπόθεσης του στερεού υποπροϊόντος, είναι παρόμοιος (~5.000 m<sup>2</sup>).
3. Περιβαλλοντικά η μονάδα πυρόλυσης έχει ελάχιστα στερεά υπολείμματα και κυρίως αέρια με πολύ χαμηλές τιμές ρύπων. Η ξηρή αναερόβια ζύμωση έχει κυρίως στερεά υπολείμματα που μπορούν όμως να διατεθούν για επικάλυψη ΧΥΤΥ.
4. Ενεργειακά η μονάδα πυρόλυσης παράγει ηλεκτρισμό 32.800 MWh ενώ η μονάδα ξηρής αναερόβιας ζύμωσης 5.240 MWh, δεδομένου ότι ανακυκλώνει μεγάλο ποσοστό του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Σε περίπτωση μη αξιοποίησης των θερμικών όμως η μονάδα πυρόλυσης απορρίπτει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας (68.000 MWh ) έναντι της μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης (5.200 MWh). Επίσης η μονάδα πυρόλυσης καταναλώνει πολύ περισσότερη ενέργεια σε φυσικό αέριο (3.200 MWh) και ηλεκτρισμό, έναντι της μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης μόνο σε ηλεκτρισμό (876 MWh).
5. Οικονομικά η μονάδα πυρόλυσης κοστίζει 3,5 φορές περισσότερο (558 €/t/y) έναντι της ΞΑΖ (160 €/t/y)), αλλά με τους ίδιους επιχειρηματικούς όρους

παρουσιάζει μικρότερο IRR (3,40% η ΜΠ έναντι 4,96% της ΞΑΖ). Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη ασφάλεια και χαμηλότερο ρίσκο.

6. Η μονάδα πυρόλυσης μπορεί να δεχθεί πάσης φύσεως απορρίμματα, όχι μόνο ΑΣΑ (βιομηχανικά, νοσοκομειακά, ελαστικά κλπ) λόγω των συνθηκών της πυρόλυσης, επομένως λύνει το θέμα «απόβλητα» συνολικά. Ακόμη και στην περίπτωση υψηλής περιεκτικότητας σε νερό υπάρχει η απορριπτόμενη θερμότητα διαθέσιμη για οικονομική προξήρανση πριν την πυρόλυση.
7. Και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στην διακύμανση της επιδότησης, είτε ανακύκλωσης είτε πάγιου εξοπλισμού. Πχ μία μείωση της επιδότησης του αναπτυξιακού νόμου από 40% σε 30% δίνει για την ΞΑΖ, 1,9% και την καθιστά μη βιώσιμη. Επίσης μία μείωση 50% στην επιδότηση ανακύκλωσης του πλαστικού δίνει αρνητικό IRR.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- Η μονάδα πυρόλυσης ενδείκνυται όχι τόσο για ΑΣΑ όσο για άλλου τύπου οργανικά και επικίνδυνα απόβλητα που απαιτούν παράλληλα **θερμική** επεξεργασία (νοσοκομειακά, ελαστικά κλπ) και όπου δεν είναι δυνατή ή βιώσιμη η ανακύκλωση. Παράλληλα πρέπει να αξιοποιηθεί και ποσοστό 70-80% της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας (68.000 MWh) για βελτίωση της βιωσιμότητας της.
- Η ξηρή αναερόβια ζύμωση είναι προτιμότερη για τα ΑΣΑ και ειδικά για την περιοχή της Κ. Μακεδονίας. Η αξιοποίηση της συμπαραγόμενης θερμότητας έχει δευτερεύουσα σημασία οικονομικά λόγω μικρότερης ποσότητας από την μονάδα πυρόλυσης (5.200 MWh) και γιατί απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος και δημιουργία νέας αγοράς.

Η Ομάδα Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ μετά από τεχνικοοικονομική ανάλυση βασισμένη σε τρέχοντα δεδομένα, τίθεται υπέρ των λύσεων ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων με τις εξής προϋποθέσεις:

1. την κατά τουλάχιστον 80-90% αξιοποίηση της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας της μονάδος για υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με μεσοπρόθεσμα συμβόλαια θερμικών καταναλωτών (10-15 έτη),

2. την εφαρμογή αυστηρών περιβαλλοντικών όρων για τις σχεδιαζόμενες μονάδες,
3. την παράλληλη εφαρμογή της ανακύκλωσης με την αναερόβια ζύμωση και την άμεση θερμική επεξεργασία,
4. την ολοκληρωμένη και αυτοτελή εξέταση της κάθε περίπτωσης μέσω επιθεώρησης ως προς τα ισοζύγια μάζας, ενέργειας καθώς και των περιβαλλοντικών πιέσεων που θα προκύψουν,
5. την ασφαλή και υγιεινή διάθεση των στερεών υπολειμμάτων της ενεργειακής αξιοποίησης σε ΧΥΤΥ και ΧΥΤΕΑ,
6. την υποχρεωτική τακτική δημοσιοποίηση των μετρήσεων των εκροών των μονάδων.

**Εν κατακλείδι η ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ αποτελεί ενδεχόμενο συστατικό ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων, εξετάζοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης εφαρμογής, με γνώμονα την αειφορία του συστήματος και με βάση τις κυρίαρχες επιλογές του κυρίου των έργων, που εν προκειμένω είναι η Τοπική Αυτοδιοίκηση της χώρας μας.**

## Παράρτημα Α

### Αποτεφρωτήρας Άνω Λιοσίων

Στην Ελλάδα υφίσταται επί του παρόντος μόνο μια αδειοδοτημένη μονάδα αποτέφρωσης (και μάλιστα Ιατρικών Αποβλήτων). Βρίσκεται στην Αττική (Άνω Λίοσια) και η λειτουργία της οποίας περιγράφεται παρακάτω:

### Εισαγωγή αποβλήτων στη μονάδα

Τα απόβλητα μεταφέρονται από τις μονάδες παραγωγής (νοσοκομεία, κλινικές, κλπ) στην μονάδα επεξεργασίας σε ειδικά οχήματα – ψυγεία. Τα οχήματα ζυγίζονται στην γεφυροπλάστιγγα που βρίσκεται στην είσοδο της μονάδας τόσο κατά την είσοδό τους σε αυτή όσο και κατά την έξοδό τους. Από την διαφορά βάρους στις 2 ζυγίσεις προκύπτει το βάρος των απορριμμάτων που μεταφέρει κάθε όχημα (εικόνα 28).



**Εικόνα 28:** (α) Ειδικά οχήματα μεταφοράς νοσοκομειακών αποβλήτων και (β) Γεφυροπλάστιγγα στην είσοδο της μονάδας (ΕΣΔΚΝΑ, 2007)

Τα απορρίμματα τοποθετούνται σε ψυκτικούς θαλάμους εντός του χώρου προσωρινής αποθήκευσης για το πολύ 2-3 ημέρες πριν αποτεφρωθούν. Η θερμοκρασία εντός των ψυκτικών θαλάμων διατηρείται μεταξύ 4 και 6 °C (εικόνα 29).

Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



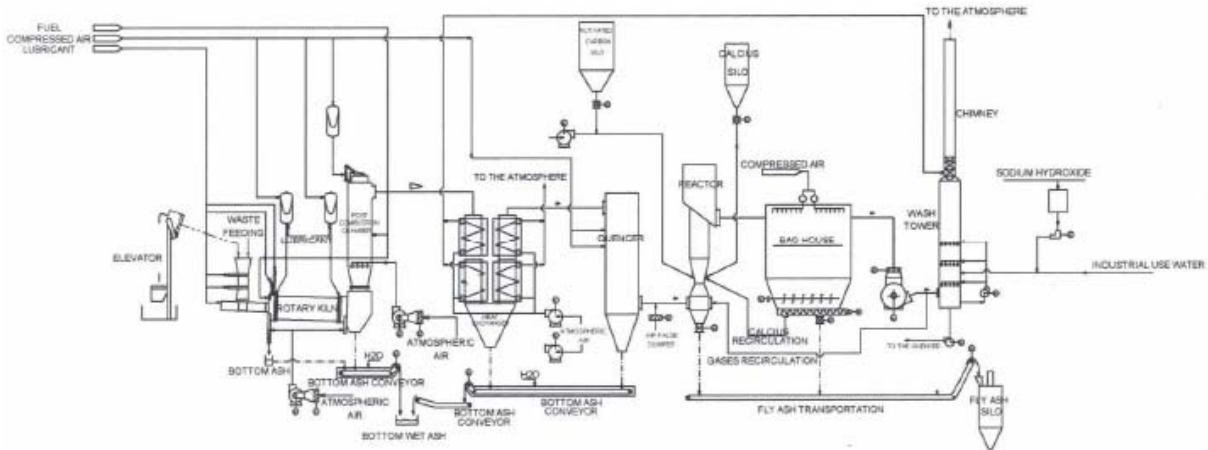
**Εικόνα 29:** Προσωρινή Αποθήκευση (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).

Μεταφορά απορριμμάτων στον κλίβανο μέσω του ταινιόδρομου και εναλλακτικά μέσω του αναβατορίου (Εικόνα 30).



**Εικόνα 30:** Τροφοδοσία του κλιβάνου με ταινιόδρομους και με αναβατόριο (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).

Στην εικόνα 31 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μονάδας αποτέφρωσης νοσοκομειακών αποβλήτων.



Εικόνα 31: Διάγραμμα Ροής Μονάδας Αποτέφρωσης.

### Αποτέφρωση Απορριμμάτων

Περιστρεφόμενος Κλίβανος. Στον περιστρεφόμενο κλίβανο πραγματοποιούνται οι βασικές χημικές αντιδράσεις της καύσης σε θερμοκρασία 850 – 1.200 °C, όπως:

- 
- Πυρόλυση,
- Αεριοποίηση,
- Οξείδωση,
- Ομοιόμορφη καύση.

Θάλαμος Μετάκαυσης. Στη συνέχεια τα καυσαέρια μεταφέρονται στον θάλαμο μετάκαυσης όπου πραγματοποιούνται οι ακόλουθες διεργασίες:

- Ολοκλήρωση της διεργασίας της καύσης.
- Θερμοκαταστροφή των διοξινών.
- Ο χρόνος παραμονής είναι κατ' ελάχιστον 2 s και η ελάχιστη θερμοκρασία 850°C.

Τέφρα Κλιβάνου (Υγρή Τέφρα). Η υγρή τέφρα που παράγεται στον περιστρεφόμενο κλίβανο μεταφέρεται με χρήση εξολκένων σε κλειστά βαρέλια ή κοντέινερ για αποθήκευση.

### Τμήμα Ψύξης των Καυσαερίων

Εναλλάκτης Θερμότητας. Εναλλαγή θερμότητας με ατμοσφαιρικό αέρα. Αποτελείται από 4 στοιχεία.

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι σε ομορροή με τα καυσαέρια στα 2 πρώτα στοιχεία
- του εναλλάκτη και σε αντιρροή στα 2 τελευταία.
- Ο θερμός αέρας από τα 2 πρώτα στοιχεία του εναλλάκτη αναμιγνύεται με τα καυσαέρια προκειμένου αυτά να αναθερμανθούν πριν διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα.
- Θερμοκρασία καυσαερίων στην είσοδο ~ 900 °C.
- Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο ~ 500°C.

### **Πύργος Ψύξης**

- Εναλλαγή θερμότητας με νερό.
- Τα καυσαέρια είναι σε ομορροή με το νέφος νερού.
- Θερμοκρασία εισόδου καυσαερίων ~ 500°C.
- Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων ~ 200°C.
- Τμήμα Καθαρισμού των Καυσαερίων.

### **Αντιδραστήρας**

- Προσθήκη υδρασβέστου και ενεργού άνθρακα σε ξηρά μορφή.
- Εξουδετέρωση των οξέων.
- Κατακράτηση βαρέων μετάλλων.
- Θερμοκρασία ~170°C.

### **Σακόφιλτρο**

- Αποτελείται από 4 τμήματα.
- Επιφάνεια φίλτρανσης 208 m<sup>2</sup>.
- Ολοκλήρωση των χημικών αντιδράσεων που δεν ολοκληρώθηκαν στον αντιδραστήρα.
- Κατακράτηση της ιπτάμενης τέφρας.

### **Ιπτάμενη Τέφρα**

Η ιπτάμενη τέφρα από τον αντιδραστήρα και το σακόφιλτρο μεταφέρεται με πνευματική μεταφορά σε σιλό που έχει εγκατασταθεί στον περιβάλλοντα χώρο του εργοστασίου. Εναλλακτικά η ιπτάμενη τέφρα μεταφέρεται με κοχλία σε κλειστούς μη διαπερατούς σάκους (big-bags).

### **Πύργος Πλύσης**

- Τελικό στάδιο της διεργασίας καθαρισμού.
- Τα καυσαέρια έρχονται σε επαφή με υδατικό διάλυμα καυστικής σόδας 30%.
- Η τροφοδοσία του διαλύματος γίνεται σε 3 διαφορετικά επίπεδα προκειμένου να εξουδετερωθούν τα όποια οξέα δεν αντέδρασαν στον αντιδραστήρα και στο σακόφιλτρο.
- Το pH στον πύργο πλύσης μετράται συνεχώς και η τροφοδοσία του διαλύματος καυστικής σόδας ρυθμίζεται ώστε να το διατηρεί μεταξύ 7.5 και 8.
- Πριν τα καυσαέρια διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα περνούν από διαχωριστή σταγονιδίων προκειμένου να απομακρυνθούν σταγονίδια.



**Εικόνα 32:** Χοάνη συλλογή ιπτάμενης τέφρας και αποθήκευσή της (ΕΣΔΚΝΑ, 2007).

### Έλεγχος διαδικασιών

Το σύνολο των διαδικασιών παρακολουθούνται από την αίθουσα ελέγχου με χρήση συστημάτων PLC και SCADA. Η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων και η παρακολούθηση των εξερχόμενων αερίων εκπομπών πραγματοποιείται με τη διεξαγωγή συνεχών και περιοδικών μετρήσεων που καταγράφονται σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή και με χρήση κατάλληλου προγράμματος υπολογίζονται μέσες τιμές ημώρου, μέσες ημερήσιες τιμές κλπ. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται όπως απαιτεί η οδηγία 2000/76/ΕΚ, ανηγμένες στις ακόλουθες συνθήκες:

- Θερμοκρασία: 273 Κ,
- Πίεση: 101,3 kPa,
- Συγκέντρωση Οξυγόνου: 11% κβ επί ξηρού.

Συνεχείς μετρήσεις. Οι συνεχείς μετρήσεις πραγματοποιούνται, τόσο στην καμινάδα όσο και στον θάλαμο μετάκαυσης, από βαθμονομημένους και διαπιστευμένους αναλυτές που έχουν εγκατασταθεί στους χώρους του εργοστασίου.

**Πίνακας 34:** Σημεία μετρήσεων και μετρούμενα στοιχεία (ΕΣΔΚΝΑ, 2007)

Οξειδία του Αζώτου (NO <sub>x</sub> )	Οξειδία του Αζώτου (NO <sub>x</sub> )
Μονοξειδίο του Άνθρακα (CO)	Μονοξειδίο του Άνθρακα (CO)
Υδροχλωρικό Οξύ (HCL)	Υδροχλωρικό Οξύ (HCL)
Διοξειδίο του Θείου (SO <sub>2</sub> )	Διοξειδίο του Θείου (SO <sub>2</sub> )
Συγκέντρωση Οξυγόνου (O <sub>2</sub> )	Συγκέντρωση Οξυγόνου (O <sub>2</sub> )
Θερμοκρασία (T)	Θερμοκρασία (T)
Ολικά αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη), TSP	Παροχή Καυσαερίων

### Βιβλιογραφία

ΕΣΔΚΝΑ (2007), ιστοσελίδα <http://www.esdkna.gr/>