

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ - ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ

«ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**"ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ"**

ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΔΙΠΛ. ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΚΑΚΑΡΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2004

ΔΗΛΩΣΗ

Η παρούσα εργασία έλαβε χώρα στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών από το Πανεπιστήμιο Πειραιώς (Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας) και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Σχολή Χημικών Μηχανικών) στην «Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων» με κατεύθυνση «Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος», αποτελεί δε πρωτότυπη μελέτη και εκπονήθηκε αποκλειστικά για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου.

Ο δηλών

Κοντόπουλος Γεώργιος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, αισθάνομαι την επιθυμία να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κατ' αρχήν, επιθυμώ να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τον κ. Εμμανουήλ Κακαρά, Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κυριάκο Πανόπουλο, Διπλ. Χημικό Μηχανικό, υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την ανιδιοτελή συνεισφορά του κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τη διοίκηση και το τεχνικό προσωπικό της εταιρείας «ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε. Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Εφαρμογών» για την έμπρακτη συμπαράσταση τόσο κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης όσο και καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησής μου στο αντίστοιχο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 1 |
| 2 | ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ..... | 3 |
| 2.1 | Εισαγωγή..... | 3 |
| 2.2 | Διαχείριση δευτερογενών απορριμμάτων | 4 |
| 2.2.1 | Παραγωγή δευτερογενών απορριμμάτων | 4 |
| 2.2.2 | Τύποι δευτερογενών απορριμμάτων | 6 |
| 2.2.3 | Χρήσεις δευτερογενών απορριμμάτων..... | 7 |
| 2.2.4 | Οικονομικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής RDF..... | 9 |
| 2.3 | Η ελληνική πραγματικότητα - υφιστάμενη κατάσταση στο Νομό Αττικής | 9 |
| 3 | ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ | 11 |
| 3.1 | Εισαγωγή..... | 11 |
| 3.2 | Νομοθετικό πλαίσιο | 14 |
| 3.3 | Ποιοτική σύσταση απορριμμάτων και σχεδιασμός διεργασιών..... | 15 |
| 3.4 | Περιβαλλοντικές παράμετροι..... | 16 |
| 3.4.1 | Ατμόσφαιρα..... | 16 |
| 3.4.2 | Υδάτινο περιβάλλον | 16 |
| 3.4.3 | Υπολείμματα - παραπροϊόντα | 17 |
| 3.4.4 | Θόρυβος..... | 17 |
| 3.4.5 | Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας..... | 17 |
| 3.4.6 | Κατανάλωση πρώτων υλών | 18 |
| 3.5 | Τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας..... | 18 |
| 3.5.1 | Καύση απορριμμάτων | 18 |
| 3.5.1.1 | Καύση σε εσχάρες..... | 18 |
| 3.5.1.2 | Καύση σε περιστροφικό κλίβανο..... | 18 |
| 3.5.1.3 | Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη | 20 |
| 3.5.2 | Πυρόλυση και αεριοποίηση απορριμμάτων..... | 24 |
| 3.5.2.1 | Πυρόλυση..... | 25 |
| 3.5.2.2 | Αεριοποίηση..... | 26 |
| 3.5.3 | Συνδυασμοί διεργασιών..... | 27 |
| 3.5.3.1 | Πυρόλυση - καύση | 28 |
| 3.5.3.2 | Πυρόλυση - αεριοποίηση | 29 |
| 3.5.3.3 | Πυρόλυση σε συνδυασμό με μονάδα παραγωγής ενέργειας | 31 |
| 3.6 | Συστήματα ανάκτησης ενέργειας | 31 |
| 3.6.1 | Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό ενεργειακής απόδοσης..... | 32 |
| 3.6.2 | Χρησιμοποιούμενες τεχνικές για τη βελτιστοποίηση της ανάκτησης ενέργειας | 32 |
| 3.6.2.1 | Προεπεξεργασία απορριμμάτων..... | 32 |

| | | |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6.2.2 | Προθέρμανση αέρα καύσης | 33 |
| 3.6.2.3 | Επανατροφοδότηση καυσαερίων..... | 33 |
| 3.6.2.4 | Επαναθέρμανση καυσαερίων | 34 |
| 3.7 | Επεξεργασία καυσαερίων..... | 34 |
| 3.7.1 | Τεχνικές μείωσης αιωρούμενων σωματιδίων | 34 |
| 3.7.1.1 | Κυκλώνες - πολυκυκλώνες..... | 35 |
| 3.7.1.2 | Ηλεκτροστατικά φίλτρα | 35 |
| 3.7.1.3 | Υγρά ηλεκτροστατικά φίλτρα..... | 36 |
| 3.7.1.4 | Σακόφιλτρα | 36 |
| 3.7.1.5 | Επιλογή συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων..... | 37 |
| 3.7.2 | Τεχνικές μείωσης εκπομπών HCl, HF, SOx | 38 |
| 3.7.3 | Τεχνικές μείωσης εκπομπών NOx..... | 38 |
| 3.7.3.1 | Κύριες τεχνικές | 38 |
| 3.7.3.2 | Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (Selective Catalytic Reduction - SCR) | 39 |
| 3.7.3.3 | Επιλεκτική Μη Καταλυτική Αναγωγή (Selective Non-Catalytic Reduction - SNCR) | 39 |
| 3.7.4 | Τεχνικές μείωσης βαρέων μετάλλων | 41 |
| 3.7.5 | Τεχνικές μείωσης των εκπομπών οργανικών ενώσεων..... | 41 |
| 3.7.6 | Τεχνικές μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου..... | 41 |
| 3.8 | Επεξεργασία υγρών αποβλήτων | 41 |
| 3.8.1 | Πιθανές πηγές παραγωγής υγρών αποβλήτων | 41 |
| 3.8.2 | Βασικές αρχές σχεδιασμού για τον έλεγχο των υγρών αποβλήτων..... | 42 |
| 3.8.3 | Επεξεργασία υγρών αποβλήτων από συστήματα υγρού καθαρισμού καυσαερίων | 42 |
| 3.9 | Επεξεργασία στερεών υπολειμμάτων | 43 |
| 3.9.1 | Τύποι στερεών υπολειμμάτων..... | 43 |
| 3.9.2 | Παραγωγή στερεών υπολειμμάτων..... | 43 |
| 3.9.3 | Επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των στερεών υπολειμμάτων | 44 |
| 3.10 | Αποτίμηση της ενεργειακής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων..... | 45 |
| 3.10.1 | Πλεονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης | 45 |
| 3.10.2 | Μειονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης..... | 46 |
| 3.11 | Κοινωνική προσέγγιση..... | 46 |
| 3.12 | Απεικόνιση της αγοράς για την ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων..... | 48 |
| 3.12.1 | Η ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων έως σήμερα..... | 48 |
| 3.12.2 | Η αγορά σε διεθνές επίπεδο..... | 49 |
| 3.12.3 | Προϋποθέσεις ανάπτυξης | 50 |
| 3.12.4 | Οι μελλοντικές προκλήσεις | 51 |
| 3.12.5 | Γεωγραφική διασπορά και επέκταση των επενδύσεων..... | 53 |
| 4 | ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΤΤΙΚΗΣ | 54 |
| 4.1 | Εισαγωγή..... | 54 |

| | | |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 | Παραγωγική διαδικασία | 55 |
| 4.3 | Απαιτούμενη στελέχωση | 56 |
| 4.4 | Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων | 57 |
| 4.4.1 | Αέριες εκπομπές..... | 57 |
| 4.4.2 | Στερεά απόβλητα | 57 |
| 4.4.3 | Υγρά απόβλητα..... | 58 |
| 4.4.4 | Οσμές..... | 58 |
| 4.4.5 | Πυρκαγιές και εκρήξεις | 58 |
| 4.4.6 | Θόρυβος..... | 58 |
| 4.4.7 | Άλλες επιπτώσεις | 58 |
| 4.5 | Υγιεινή και ασφάλεια εργαζομένων | 58 |
| 4.6 | Διάρκεια ζωής και λειτουργική διαθεσιμότητα της επένδυσης..... | 59 |
| 4.7 | Παράμετροι σχεδιασμού..... | 60 |
| 4.7.1 | Διαστασιολόγηση της μονάδας..... | 60 |
| 4.7.2 | Οικονομικές παραδοχές | 62 |
| 4.7.2.1 | Πάγιο κόστος κεφαλαίου | 62 |
| 4.7.2.2 | Πηγές χρηματοδότησης της επένδυσης..... | 63 |
| 4.7.2.3 | Λειτουργία της μονάδας..... | 64 |
| 4.8 | Χρηματοοικονομική αξιολόγηση | 67 |
| 4.8.1 | Αριθμοδείκτες - ορισμοί..... | 67 |
| 4.8.2 | Ιδιοκτησία της επένδυσης..... | 68 |
| 4.8.3 | Οικονομικά αποτελέσματα | 69 |
| 4.8.3.1 | Ετήσιες δαπάνες..... | 69 |
| 4.8.3.2 | Ανάλυση λειτουργίας προκειμένου για αυτοχρηματοδοτούμενη επένδυση | 70 |
| 4.8.3.3 | Ανάλυση λειτουργίας προκειμένου για μικτό σχήμα χρηματοδότησης..... | 72 |
| 4.8.3.4 | Ανάλυση λειτουργίας δημόσιας επένδυσης | 73 |
| 4.8.3.5 | Σύνοψη - αθροιστικές χρηματοροές | 74 |
| 4.8.4 | Ανάλυση Ευαισθησίας | 76 |
| 4.8.5 | Διακύμανση τέλους διάθεσης απορριμμάτων | 82 |
| 4.8.5.1 | Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει του παγίου κόστους κεφαλαίου | 82 |
| 4.8.5.2 | Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει της δυναμικότητας της μονάδας..... | 84 |
| 4.8.5.3 | Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει του ποσοστού επιχορήγησης..... | 86 |
| 4.8.5.4 | Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει του επιτοκίου προεξόφλησης | 88 |
| 4.8.6 | Εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης | 90 |
| 4.8.6.1 | Απόθεση αστικών στερεών απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ..... | 90 |
| 5 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | 92 |
| 6 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 95 |

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα 3.1: Γενικό διάγραμμα ροής μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης [EC, 2000] | 15 |
| Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής αποτεφρωτήρα μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων στα Άνω Λιόσια Αττικής [TOMH, 2003] | 19 |
| Σχήμα 3.3: Ενδεικτική τομή αποτεφρωτήρα μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων στα Άνω Λιόσια Αττικής [TOMH, 2003] | 20 |
| Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ροής μονάδας καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία στη Lomellina [Foster Wheeler, 2003]..... | 21 |
| Σχήμα 3.5: Μονάδα πιεστικής αεριοποίησης στο Värnamo της Σουηδίας [Rensfelt, 2003] | 27 |
| Σχήμα 3.6: Διεργασία RCP [Richers et al, 1999] | 29 |
| Σχήμα 3.7: Διεργασία Thermoselect [Malkow, 2004] | 30 |
| Σχήμα 3.8: Τυπικό διάγραμμα σακόφιλτρου [IPPC, 2003a] | 37 |
| Σχήμα 3.9: Αρχή λειτουργίας της διεργασίας SNCR [IPPC, 2003a] | 40 |
| Σχήμα 4.1: Ενδεικτικό διάγραμμα ροής μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ [ACRE, 2003] | 55 |
| Σχήμα 4.2: Ενδεικτικό διάγραμμα ροής μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης RDF | 56 |
| Σχήμα 4.3: Γενικό ισοζύγιο της προτεινόμενης μονάδας | 62 |

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Διάγραμμα 4.1: Λειτουργική διαθεσιμότητα μονάδας..... | 59 |
| Διάγραμμα 4.2: Επιμερισμός ετήσιων δαπανών | 70 |
| Διάγραμμα 4.3: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων αυτοχρηματοδοτούμενης επένδυσης | 71 |
| Διάγραμμα 4.4: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων μικτού σχήματος χρηματοδότησης..... | 72 |
| Διάγραμμα 4.5: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων προκειμένου για δημόσια επένδυση | 74 |
| Διάγραμμα 4.6: Αθροιστικές χρηματοροές ιδίων κεφαλαίων | 75 |
| Διάγραμμα 4.7: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων με την αύξηση του τέλους διάθεσης | 76 |
| Διάγραμμα 4.8: Ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου για αυτοχρηματοδοτούμενη επένδυση | 79 |
| Διάγραμμα 4.9: Ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου για μικτό σχήμα χρηματοδότησης..... | 80 |
| Διάγραμμα 4.10: Ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου για δημόσια επένδυση..... | 81 |
| Διάγραμμα 4.11: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με το πάγιο κόστος κεφαλαίου | 83 |
| Διάγραμμα 4.12: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με τη δυναμικότητα της μονάδας..... | 85 |
| Διάγραμμα 4.13: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με το ποσοστό επιχορήγησης | 87 |
| Διάγραμμα 4.14: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με το επιτόκιο προεξόφλησης των ιδίων κεφαλαίων..... | 89 |
| Διάγραμμα 4.15: Σύγκριση τελών διάθεσης ΑΣΑ | 91 |
| Διάγραμμα 4.16: Σύγκριση κόστους διάθεσης ΑΣΑ..... | 91 |

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 3.1: Διαθέσιμοι τύποι αεριοποιητών [Bridgewater, 2001, Stiegel and Maxwell, 2001, Lefcort, 1995, McKendry, 2002] | 26 |
| Πίνακας 3.2: Σύγκριση συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων [IPPC, 2003a, Achternbosch and Richers, 2002]..... | 38 |
| Πίνακας 3.3: Η ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Ευρώπη [Themelis, 2003] | 48 |
| Πίνακας 4.1: Διαστασιολόγηση της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ..... | 60 |
| Πίνακας 4.2: Διαστασιολόγηση της μονάδας θερμικής επεξεργασίας RDF | 61 |
| Πίνακας 4.3: Οικονομικά στοιχεία προτεινόμενης επένδυσης..... | 63 |
| Πίνακας 4.4: Πηγές χρηματοδότησης της επένδυσης | 64 |
| Πίνακας 4.5: Όροι μακροχρόνιου δανεισμού | 64 |
| Πίνακας 4.6: Κόστη διάθεσης προϊόντων | 65 |
| Πίνακας 4.7: Συντελεστές τιμολόγησης | 66 |
| Πίνακας 4.8: Δαπάνες λειτουργίας (μέσος όρος εικοσαετίας) | 70 |
| Πίνακας 4.9: Ανάλυση λειτουργίας αυτοχρηματοδοτούμενης επένδυσης | 71 |
| Πίνακας 4.10: Αριθμοδείκτες αυτοχρηματοδοτούμενης επένδυσης | 71 |
| Πίνακας 4.11: Ανάλυση λειτουργίας μικτού σχήματος χρηματοδότησης | 72 |
| Πίνακας 4.12: Αριθμοδείκτες μικτού σχήματος χρηματοδότησης..... | 73 |
| Πίνακας 4.13: Ανάλυση λειτουργίας δημόσιας επένδυσης | 73 |
| Πίνακας 4.14: Αριθμοδείκτες δημόσιας επένδυσης..... | 74 |
| Πίνακας 4.15: Διακύμανση τιμών παραμέτρων σχεδιασμού..... | 77 |
| Πίνακας 4.16: Σύγκριση τελών και κόστους διάθεσης απορριμμάτων..... | 90 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

| | |
|---------|------------------------------------------------------------------|
| ΑΠΕ: | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας |
| ΑΣΑ: | Αστικά Στερεά Απορρίμματα |
| ΔΕΗ: | Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού |
| ΔΕΣΜΗΕ: | Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| Ε.Ε.: | Ευρωπαϊκή Ένωση |
| ΕΜΑΚ: | Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης |
| ΕΣΔΚΝΑ: | Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής |
| ΟΤΑ: | Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης |
| ΧΥΤΑ: | Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων |
| AFBC: | Atmospheric Fluidized Bed Combustion |
| BFB: | Bubbling Fluidized Bed |
| CFB: | Circulating Fluidized Bed |
| EBIDTA: | Earnings before Interest, Depreciation, Taxes and Amortization |
| EPA: | Environmental Protection Agency |
| FBC: | Fluidized Bed Combustion |
| IPPC: | Integrated Pollution Prevention and Control |
| IRR: | Internal Rate of Return |
| MSW: | Municipal Solid Wastes |
| NIMBY: | Not-In-My-Back-Yard |
| NPV: | Net Present Value |
| PFBC: | Pressurized Fluidized Bed Combustion |
| RDF: | Refuse Derived Fuel |
| SNCR: | Selective Non-Catalytic Reduction |
| SCR: | Selective Catalytic Reduction |

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της ορθολογικής διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων λαμβάνει μεγάλες διαστάσεις και αναμένεται να απασχολήσει ιδιαίτερα τις κοινωνίες κατά τα επόμενα χρόνια στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης. Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην τεχνικοοικονομική ανάλυση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών απορριμμάτων, ενώ στοχεύει στην αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης σε διεθνές επίπεδο και τον καθορισμό των οικονομικών προϋποθέσεων για την υλοποίηση αντίστοιχων επενδύσεων στον ελληνικό χώρο.

Οι τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης αστικών στερεών απορριμμάτων παρέχουν μια εναλλακτική πρόταση στον τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση στον ελληνικό χώρο όπου τα παραγόμενα απορρίμματα οδηγούνται κατά κύριο λόγο είτε σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ) είτε σε ανεξέλεγκτες χωματερές, με προφανείς δυσμενείς περιβαλλοντικές συνέπειες. Σύμφωνα με το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των απορριμμάτων, η επιλογή της θερμικής επεξεργασίας, της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης αναμένεται ότι θα συναντήσουν αξιοσημείωτη ανάπτυξη έναντι της ταφής, ενώ οι εμπορικές εφαρμογές των επιλογών αυτών δίνουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα για την κλιμάκωση αντίστοιχων επενδύσεων.

Μεταξύ των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων, η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη (Fluidized Bed Combustion - FBC) συνιστά την πλέον ώριμη τεχνολογία με ευρύτατη εφαρμογή σε διεθνές επίπεδο, η οποία προϋποθέτει την προεπεξεργασία και ομογενοποίηση των απορριμμάτων. Επιπλέον, τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα ανοίγουν το δρόμο για την επιδεικτική εφαρμογή νέων καινοτόμων μεθόδων επεξεργασίας απορριμμάτων, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση, αν και η εμπορική τους εφαρμογή δεν αναμένεται στο άμεσο μέλλον.

Στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης σκοπιμότητας εξετάζεται μια μελέτη περίπτωσης για την υλοποίηση μιας μονάδας επεξεργασίας αστικών στερεών απορριμμάτων δυναμικότητας 1.500 τόνων ημερησίως και ενεργειακής αξιοποίησης των επεξεργασμένων (δευτερογενών) απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (Circulating Fluidized Bed Combustion - CFBC) δυναμικότητας 600 τόνων RDF ημερησίως, με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ίση με 22,6MW_e. Δεδομένου ότι ένα τέτοιο επιχειρηματικό εγχείρημα υπόκειται σε έντονες οικονομίες κλίμακας, προτείνεται η χωροθέτηση της υπό εξέταση μονάδας σε ένα μεγάλο αστικό κέντρο όπως το Λεκανοπέδιο Αττικής, όπου άλλωστε συναντάται η μεγαλύτερη παραγωγή απορριμμάτων.

Για τον υπολογισμό της οικονομικότητας του εν λόγω επιχειρηματικού σχεδίου λαμβάνει χώρα ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού. Σύμφωνα με την οικονομική ανάλυση, η βιωσιμότητα μιας επένδυσης θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων εξαρτάται κυρίως από την τιμολόγηση του τέλους διάθεσης του εισερχόμενου ρεύματος (gate fee). Ο καθορισμός δε του τέλους αυτού εξαρτάται από τον φορέα υλοποίησης και λειτουργίας του έργου, καθώς ένα αυτοχρηματοδοτούμενο επιχειρηματικό σχέδιο προσδοκά σε αυξημένα έσοδα σε περιορισμένη

χρονική διάρκεια, σε αντίθεση με μια δημόσια επένδυση η οποία προβάλλει την κοινωνική διάσταση ως τον βασικό παράγοντα εις βάρος των οικονομικών μεγεθών.

Η θερμική επεξεργασία των αστικών στερεών απορριμμάτων παρέχει πολλαπλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους επεξεργασίας. Το υψηλό τέλος διάθεσης που πρέπει να επιβληθεί έτσι ώστε η εν λόγω τεχνολογία να καθίσταται οικονομικά βιώσιμη για τον φορέα λειτουργία της οφείλεται στο υψηλό πάγιο κόστος κεφαλαίου και στις αυξημένες λειτουργικές δαπάνες που την χαρακτηρίζουν. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με τη νομοθεσία, η απόθεση των μη επεξεργασμένων αστικών στερεών απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ, που αποτελεί σήμερα την κύρια επιλογή στην Ελλάδα, δε μπορεί να συνεχιστεί, γεγονός το οποίο θα οδηγήσει στην εφαρμογή νέων εναλλακτικών τεχνολογιών με αποτέλεσμα την αύξηση των τελών διάθεσης και του κόστους επεξεργασίας.

Τα οφέλη από την υιοθέτηση των καινοτόμων για τα ελληνικά δεδομένα τεχνολογιών εις βάρος των υφιστάμενων πρακτικών είναι αναμφισβήτητα, ιδιαίτερα σε μια περίοδο οξυμένων κοινωνικών αντιδράσεων και αντιπαραθέσεων με αφορμή τη χωροθέτηση νέων ΧΥΤΑ σε διάφορες περιοχές της επικράτειας.

Τέλος, με βάση την παρούσα μελέτη, στα πλαίσια της εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων, η Πολιτεία οφείλει να διασφαλίσει την οικονομική βιωσιμότητα επενδυτικών εγχειρημάτων ζωτικής σημασίας για το κοινωνικό σύνολο μέσω της παροχής κατάλληλων επιχειρηματικών κινήτρων, προωθώντας την υλοποίηση νέων επενδύσεων, καθορίζοντας παράλληλα τις προϋποθέσεις ανάπτυξης αντίστοιχων έργων.

2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η οργάνωση ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ) αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημόσια υγιεινή και την εύρυθμη λειτουργία των κοινωνιών, καθώς η παραγωγή απορριμμάτων είναι δεδομένη και αναπόφευκτη και χρήζει έγκαιρης και αποτελεσματικής αντιμετώπισης. Οι συνήθειες εναλλακτικές τεχνολογικές επιλογές για τη διαχείριση των απορριμμάτων περιλαμβάνουν την ανάκτηση υλικών για ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση ή κομποστοποίηση, την ενεργειακή αξιοποίηση και την απόθεση σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Η τεχνολογική πρόοδος και η εφαρμογή νέων και αποτελεσματικών διεργασιών καθιστά τις επιλογές αυτές περισσότερο ελκυστικές ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, με συνέπεια οι τάσεις στον καθορισμό μιας συνολικής πολιτικής διαχείρισης των ΑΣΑ να μεταβάλλονται αντίστοιχα, ανάλογα με τη διακύμανση των διαθέσιμων πόρων και τα εκάστοτε επιχειρηματικά κίνητρα [Niessen et al, 1996].

Η παραγωγή ΑΣΑ σε γενικές γραμμές αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου καθώς είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αντίστοιχη πληθυσμιακή αύξηση και τη μεταβολή των βιοτικών συνθηκών και συνθησιών [Matsunaga and Themelis, 2002, Tchobanoglous et al, 1993], με βάση το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν, και με τη γενικότερη πολιτική με την οποία προσεγγίζεται η διαχείριση των ΑΣΑ [Plöchl et al, 2003]. Από την άλλη πλευρά, η σύσταση των ΑΣΑ μεταβάλλεται από περιοχική σε περιοχική, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες που συνδέονται άμεσα με τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες και τις εποχιακές συνθήκες των ανθρώπων είτε ως αποτέλεσμα της βιομηχανικής ανάπτυξης καθώς και άλλων κοινωνικών ή οικονομικών συνθηκών [Keith, 1994]. Είναι επίσης γνωστό ότι ο ρυθμός χρησιμοποίησης των περισσότερων υλικών ή προϊόντων δεν παραμένει σταθερός με το χρόνο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεταβολών στο ρυθμό παραγωγής ΑΣΑ [Meraz et al, 2003]. Συνοψίζοντας, η διαχείριση των ΑΣΑ συνεισφέρει σε μέγιστο βαθμό στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και θα αποτελέσει ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα για τα επόμενα χρόνια [Bilitewski, 2003].

Δεδομένων των πρόσφατων Κοινοτικών Οδηγιών για την διαχείριση των ΑΣΑ (1999/31/Ε.Ε. και 2000/76/Ε.Ε.), η επιλογή της αποτέφρωσης, της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης αναμένεται ότι θα συναντήσουν αξιοσημείωτη ανάπτυξη έναντι της ταφής, ενώ οι εμπορικές εφαρμογές των τεχνολογιών αυτών δίνουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα για την κλιμάκωση αντίστοιχων επενδύσεων.

Η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ περιλαμβάνεται μεταξύ των στρατηγικών διαχείρισης που εφαρμόζουν αρκετές χώρες, ενώ στην Ευρώπη η αποτέφρωση αποτελεί τη μια από τις κυριότερες επιλογές μετά την απόθεση σε ΧΥΤΑ. Επιπροσθέτως, η ενεργειακή ανάκτηση που εφαρμόζεται με τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας συναντά τις προδιαγραφές της Οδηγίας 1996/61/Ε.Ε. σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (Integrated Pollution Prevention and Control

- IPPC). Τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα ανοίγουν το δρόμο για την επιδεικτική εφαρμογή νέων καινοτόμων μεθόδων επεξεργασίας απορριμμάτων με μεγάλη ζήτηση, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση, αν και η εμπορική τους εφαρμογή δεν αναμένεται στο άμεσο μέλλον [Malkow, 2004].

2.2 Διαχείριση δευτερογενών απορριμμάτων

2.2.1 Παραγωγή δευτερογενών απορριμμάτων

Η ορθολογική διαχείριση των ΑΣΑ συνίσταται στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος συλλογής, ανάκτησης, ανακύκλωσης και τελικής διάθεσής τους [Kiser, 2003]. Ανάμεσα στις υπάρχουσες τεχνολογίες διαχείρισης είναι και η επεξεργασία τους για την ανάκτηση υλικών και ενέργειας μέσω της παραγωγής δευτερογενών (προεπεξεργασμένων) ΑΣΑ (Refuse Derived Fuel - RDF), τα οποία είτε προωθούνται προς πώληση, είτε χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [Chang et al, 1998].

Το πρώτο στάδιο στο σχεδιασμό μιας μονάδας ανάκτησης υλικών και παραγωγής RDF συνίσταται στην ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων των διάφορων υλικών που περιλαμβάνονται στα απορρίμματα. Κατά κύριο λόγο τα φυσικά χαρακτηριστικά των εισερχόμενων ΑΣΑ (π.χ. μέγεθος, σχήμα, πυκνότητα, περιεχόμενο σε υγρασία, μέταλλα, γυαλί, λοιπά υλικά) καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια τέτοια μονάδα. Για τον καθορισμό αυτών των ιδιοτήτων είναι απαραίτητη η διενέργεια δειγματοληπτικού ελέγχου πριν από το σχεδιασμό ή τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης [Hasselriis, 1984].

Στην Ευρώπη σύμφωνα με δεδομένα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κατά μέσο όρο το 62,6% των στερεών απορριμμάτων οδηγείται σε ΧΥΤΑ, το 21,9% οδηγείται σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, το 4,5% χρησιμοποιείται για την παραγωγή compost και το 11,0% ανακυκλώνεται [Caputo and Pelagagge, 2002a]. Τα ποσοστά αυτά υπόκεινται σε διαφοροποιήσεις για κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ σύμφωνα με τις επιταγές της Κοινοτικής Οδηγίας 1999/31/Ε.Ε. πρέπει να μειωθεί το ποσοστό των ζυμώσιμων υλικών που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ προωθώντας συγχρόνως τη θερμική αξιοποίησή τους, η οποία περιλαμβάνει και την παραγωγή RDF. Με τον τρόπο αυτόν καθίσταται απαραίτητη η δημιουργία των απαιτούμενων υποδομών για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί υλοποιώντας επενδύσεις εναλλακτικής διαχείρισης απορριμμάτων σε σχέση με την υγειονομική ταφή που συνιστά την ευρύτερα εφαρμοσμένη μέθοδο μέχρι σήμερα. Συνεπώς, δεδομένου ότι επιβάλλεται η επεξεργασία των ΑΣΑ και ότι η παραγωγή δευτερογενών απορριμμάτων αποτελεί μια αξιόπιστη λύση από τεχνικοοικονομικής πλευράς, η ενεργειακή αξιοποίηση των προεπεξεργασμένων ΑΣΑ παρουσιάζεται πλέον όλο και περισσότερο ως μια από τις βέλτιστες επιλογές διαχείρισης.

Η συμμόρφωση με την εν λόγω Οδηγία παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες καθώς οι απαιτήσεις για την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι υψηλές και μόνο ένα μικρό ποσοστό του παραγόμενου RDF τις πληροί. Θετικό είναι το γεγονός ότι επιτρέπεται η πρόσμιξη στην πρώτη ύλη πλαστικών υλικών όπως τα ελαστικά προκειμένου να αυξηθεί η θερμογόνο ικανότητα του τελικού προϊόντος. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι παράλληλα προωθείται και η ξεχωριστή διαχείριση, ανακύκλωση και

θερμική αξιοποίηση των ελαστικών, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εξέλιξη αυτή δυσχεραίνει την παραγωγική διαδικασία του RDF.

Στα πλαίσια λοιπόν της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ΑΣΑ, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός μιας μονάδας παραγωγής RDF η οποία αφενός να πληροί τις ποιοτικές προδιαγραφές της κείμενης νομοθεσίας και αφετέρου να είναι οικονομικά βιώσιμη και ανταγωνιστική. Απαιτείται λοιπόν προσεκτικός τεχνικός σχεδιασμός ιδιαίτερα αναφορικά με τα τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού καθώς και τις φυσικοχημικές ιδιότητες της πρώτης ύλης.

Μία γραμμή παραγωγής RDF συνίσταται στη σειριακή αλληλουχία πολλών ενδιάμεσων σταδίων επεξεργασία της πρώτης ύλης που περιλαμβάνουν τις ακόλουθες διεργασίες [Caputo and Pelagagge, 2002a]:

- διαλογή
- τεμαχισμός
- μείωση μεγέθους
- κατηγοριοποίηση
- διαχωρισμός
- ξήρανση
- συμπύκνωση
- συσκευασία
- αποθήκευση.

Η επεξεργασία που υφίσταται το υλικό προτού τροφοδοτηθεί στην κυρίως παραγωγική διαδικασία επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, ο τεμαχισμός απαιτείται προκειμένου να αυξηθεί η ενεργειακή πυκνότητα του υλικού και να διευκολυνθεί ο περαιτέρω χειρισμός του πληρώντας και τις προδιαγραφές στην τροφοδοσία που θέτει η τεχνολογία της παραγωγής RDF. Σε περίπτωση που δεν έχει προηγηθεί διαλογή, δυσχεραίνεται ο τεμαχισμός λόγω της διαφορετικής σκληρότητας των υλικών ενώ υπάρχει και ο κίνδυνος να προκληθεί βλάβη στον εξοπλισμό. Επιπλέον, τεμαχίζοντας στην αρχή το υλικό, το στάδιο της μείωσης του μεγέθους ενδέχεται να παρακαμφθεί, ενώ μειώνεται και το μέγεθος του απαιτούμενου εξοπλισμού. Σε περίπτωση όπου υπάρχει και μονάδα κομποστοποίησης στον χώρο, η αρχική διαλογή του υλικού καθίσταται ακόμη πιο σημαντική καθώς από τις προδιαγραφές της ποιότητας του προϊόντος επιβάλλεται η απουσία μεταλλικών υλικών, γυαλιού και άλλων υλικών.

Ο ορθός σχεδιασμός των σταδίων επεξεργασίας της πρώτης ύλης αποτελεί μία επίπονη διαδικασία καθώς υπάρχει ο παράγοντας της αδυναμίας πρόβλεψης της σύστασης των απορριμμάτων καθώς αυτή δεν παραμένει σταθερή τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

Η ποσότητα RDF που παράγεται ανά τόνο απορριμμάτων εξαρτάται από τον τύπο συλλογής, την επεξεργασία και τις προδιαγραφές ποιότητας. Ο συντελεστής απόδοσης μιας τέτοιας διεργασίας εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη διεργασία και την περιοχή, αλλά σε γενικές γραμμές κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40% κατά βάρος επί της εισερχόμενης ποσότητας. Οι συνολικές ποσότητες των παραγόμενων προεπεξεργασμένων ΑΣΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμώνται περί τα 3 εκατομμύρια τόνους ετησίως, σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης [EC, 2003]. Οι χώρες στις οποίες η παραγωγή RDF έχει ωριμάσει ως τεχνολογία περιλαμβάνουν την Αυστρία, τη Φιλανδία, τη Γερμανία, την Ιταλία, την Ολλανδία και τη Σουηδία, ενώ στο Βέλγιο και το Ηνωμένο Βασίλειο η κατάσταση βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης. Από την άλλη πλευρά, παλαιότερα δευτερογενή απορρίμματα παράγονταν επίσης στη Δανία και τη Γαλλία, ωστόσο η λειτουργία των μονάδων διεκόπη για οικονομικούς λόγους [EC, 2003].

2.2.2 Τύποι δευτερογενών απορριμμάτων

Η American Society for Testing and Materials (ASTM) έχει κατηγοριοποιήσει τους τύπους RDF στους ακόλουθους επτά (7) διαφορετικούς τύπους [Caruto and Pelagagge, 2002a, Belgiorno et al, 2003]:

- RDF τύπου 1: προέρχεται από στερεά απορρίμματα μικρού μεγέθους που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο.
- RDF τύπου 2: στερεά απορρίμματα στη σύσταση των οποίων ενδέχεται να υπάρχουν και σιδηρούχα μέταλλα που έχουν υποστεί επεξεργασία για την απόκτηση μεγέθους χονδρόκοκκου σωματιδίου.
- RDF τύπου 3 (fluff RDF): κοκκοποιημένο καύσιμο που προκύπτει από στερεά απορρίμματα τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία για την απομάκρυνση μεταλλικών συστατικών, γυαλιού και άλλων ανόργανων συστατικών με μέγεθος σωματιδίων τέτοιο ώστε σε ποσοστό 95% να περνά μέσα από κόσκινο με μέγεθος διατομής οπών ίσο με 2 ίντσες.
- RDF τύπου 4 (dust RDF ή p-RDF): το καύσιμο κλάσμα των στερεών απορριμμάτων το οποίο έχει υποστεί επεξεργασία ώστε να περιέλθει στη μορφή πούδρας με μέγεθος κόκκων τέτοιο ώστε το 95% να περνά μέσα από κόσκινο 10-mesh.
- RDF τύπου 5 (densified RDF ή d-RDF): το καύσιμο κλάσμα των στερεών απορριμμάτων το οποίο έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από 600kg/m³ και έχει τη μορφή παλλέτας ή μπρικέτας.
- RDF τύπου 6: υγρό προϊόν (δεν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα).
- RDF τύπου 7: αέριο προϊόν (δεν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα).

Επίσης, μία υποκατηγορία του RDF τύπου 2 είναι το crumb RDF (c-RDF) το οποίο επιλέγεται με κριτήριο το 95% να διέρχεται μέσα από πλέγμα με μέγεθος διατομής οπών 6 ίντσες και η πυκνότητά του να κυμαίνεται περί τα 300kg/m³.

Στη Μεγάλη Βρετανία η κατηγοριοποίηση του RDF γίνεται σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια. Συγκεκριμένα, διακρίνονται μόνο τρεις κατηγορίες, το c-RDF, το d-RDF και το f-RDF. Το τελευταίο είναι το undensified flock RDF το οποίο αντιστοιχεί στο dust RDF της Αμερικανικής κατάταξης.

2.2.3 Χρήσεις δευτερογενών απορριμμάτων

Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει το RDF σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα ΑΣΑ κατά τη χρήση του είτε ως κύριο είτε ως βοηθητικό καύσιμο έχουν ευρέως συζητηθεί στο παρελθόν από αρκετούς μελετητές [Caruto and Pelagagge, 2002a, Belgiorno et al, 2003] και περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- υψηλότερη θερμογόνος ικανότητα
- ομοιογένεια από πλευράς φυσικοχημικής σύστασης
- ευκολία στην αποθήκευση, το χειρισμό και τη μεταφορά
- μειωμένες ατμοσφαιρικές εκπομπές και
- μειωμένες απαιτήσεις σε περίσσεια αέρα κατά τη διεργασία της καύσης.

Αν και οι απαιτήσεις για την ποιότητα του καυσίμου επιβάλλουν σχετικά μικρή κλίμακα επεξεργασία προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε μια διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας το εν λόγω καύσιμο εύχρηστο, η χρήση του περιορίζεται από την πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει την πρωτογενή γραμμή παραγωγής του. Είναι γεγονός πως για την παραγωγή υψηλής θερμογόνου ικανότητας RDF λαμβάνει χώρα μία σχετικά επίπονη διαδικασία η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή απόδοση, χρειάζεται δηλαδή να χρησιμοποιηθεί μεγάλη ποσότητα πρώτης ύλης (απορρίμματα) για την παραγωγή μικρής σχετικά ποσότητας RDF, υψηλής όμως θερμογόνου ικανότητας. Το κόστος λοιπόν παραγωγής του εν λόγω καυσίμου αυξάνει σημαντικά, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου κρίνεται αναγκαία η χρήση παλαιών ελαστικών προκειμένου να αυξηθεί η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του τελικού προϊόντος, με αποτέλεσμα να καθίσταται μη ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλα εναλλακτικά αλλά και συμβατικά καύσιμα.

Για τη χρήση ή την ενεργειακή αξιοποίηση του RDF που παράγεται από ΑΣΑ υφίστανται οι ακόλουθες εναλλακτικές επιλογές που είτε έχουν χρησιμοποιηθεί ή αναμένεται να εφαρμοστούν στο μέλλον [McLanaghan, 2002]:

- Επί τόπου σε εγκατάσταση θερμικής επεξεργασίας, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει καύση σε εσχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη, αεριοποίηση ή πυρόλυση
- Θερμική επεξεργασία σε απομακρυσμένη εγκατάσταση
- Μικτή καύση (συν-αποτέφρωση) σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα
- Συν-αποτέφρωση σε κλιβάνους τσιμεντοβιομηχανίας
- Συν-αεριοποίηση με γαιάνθρακα ή βιομάζα.

Οι συνολικές ποσότητες του παραγόμενου RDF από ΑΣΑ στην Ευρώπη και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεθέρμανσης και βιομηχανικών διεργασιών (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες, ασβεστοβιομηχανίες, χαρτοβιομηχανίες) εκτιμάται ότι υπερβαίνουν τα 2 εκατομμύρια τόνους σε ετήσια βάση [EC, 2003], ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 70% επί του συνόλου των παραγόμενων ποσοτήτων [EDS, 2003].

Ειδικότερα αναφορικά με την τσιμεντοβιομηχανία, το γεγονός ότι ο εν λόγω παραγωγικός κλάδος, ο οποίος αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους βιομηχανικούς κλάδους, χαρακτηρίζεται από έντονη κατανάλωση ενέργειας, σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των συμβατικών καυσίμων, δημιουργεί την ανάγκη για αναζήτηση τεχνολογιών που βασίζονται σε προεπεξεργασμένα και εναλλακτικά καύσιμα, λόγω των χαρακτηριστικών της παραγωγικής διαδικασίας [Mokrzycki and Yliaz-Bocheńczyk, 2003]. Ειδικότερα, ανάλογα με την τιμή του χρησιμοποιούμενου συμβατικού καυσίμου, η συμμετοχή του στη διαμόρφωση του εργοστασιακού κόστους παραγωγής του προϊόντος κυμαίνεται σε επίπεδα υψηλότερα από το 25% επί του συνόλου, ενώ σε βραχυπρόθεσμες χρονικές περιόδους το ποσοστό αυτό μπορεί να αγγίζει ακόμα και το 50% επί του συνόλου [Γαλανούλης, 2000]. Επί του παρόντος, χρήση RDF σε τσιμεντοβιομηχανίες λαμβάνει χώρα σε περίπου 105 εγκαταστάσεις ανά την Ευρώπη [EDS, 2003], καθώς με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία θεωρείται ότι η τσιμεντοβιομηχανία αντιπροσωπεύει μια από τις καλύτερες τεχνολογίες για τη διαχείριση των επικίνδυνων και μη αποβλήτων [Ισαακίδης, 2000]. Σύμφωνα δε με την υφιστάμενη κατάσταση στην εγχώρια αγορά, η τσιμεντοβιομηχανία στην Ελλάδα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει ένα έως δύο εκατομμύρια τόνους εναλλακτικού καυσίμου, αντικαθιστώντας 50-70% του παραδοσιακού καυσίμου [Γαλανούλης, 2000].

Τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από τη χρήση επεξεργασμένων απορριμμάτων στους κλιβάνους της τσιμεντοβιομηχανίας περιλαμβάνουν το ότι δεν απαιτείται επιπρόσθετη πηγή θερμότητας σε σχέση με τις παραδοσιακές μονάδες αποτέφρωσης, δεν προκαλείται αύξηση των αερίων εκπομπών [Mokrzycki and Yliaz-Bocheńczyk, 2003], ενώ θεωρείται οικονομικότερη η προσαρμογή των κλιβάνων της τσιμεντοβιομηχανίας για την καύση απορριμμάτων σε σύγκριση με την κατασκευή νέων μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης [Ζιώγας, 2000].

Από την άλλη πλευρά, όπως αποδεικνύει και η πράξη, η λύση της τσιμεντοβιομηχανίας δεν αποτελεί πανάκεια στο πρόβλημα της απορρόφησης του RDF [Ζιώγας, 2000], δεδομένου ότι η χρήση των απορριμμάτων σε τσιμεντοκλιβάνους διέπεται από συγκεκριμένους περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί συνδέονται κυρίως με τεχνολογικές παραμέτρους ως προς τον όγκο των εισερχόμενων ποσοτήτων καθώς δεν πρέπει να τίθεται σε κίνδυνο η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος και η διαθεσιμότητα της μονάδας. Επιπλέον, η διάθεση των προεπεξεργασμένων απορριμμάτων πρέπει να γίνεται με περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο, υπό την έννοια ότι απαιτείται η διασφάλιση ότι τα προϊόντα της αποτέφρωσης δεν έχουν αρνητικό αντίκτυπο στη διεργασία της παραγωγής κλίνκερ, την ποιότητα του τελικού προϊόντος και την έκλυση αερίων εκπομπών στην ατμόσφαιρα [Mokrzycki and Yliaz-Bocheńczyk, 2003], καθώς η καύση ειδικών τύπων απορριμμάτων σε τσιμεντοβιομηχανίες μπορεί να προκαλέσει σημαντική αύξηση των αερίων εκπομπών [Greenpeace, 2003b]. Επιπροσθέτως, με τον τρόπο αυτόν δε διασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη και αδιάλειπτη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης των απορριμμάτων, καθώς η επιτυχία του εξαρτάται από τις διαθέσεις των υπευθύνων ενός διαφορετικού βιομηχανικού κλάδου [Ζιώγας, 2000].

Σε γενικές γραμμές πάντως, η χρήση δευτερογενών απορριμμάτων για μικτή καύση σε διάφορους βιομηχανικούς κλάδους διέπεται από τις ακόλουθες προϋποθέσεις [Maury, 2000]:

- Είναι ανάγκη να διασφαλίζεται ότι οι εκπομπές που παράγονται δεν πρόκειται να αυξηθούν λόγω της χρήσης δευτερογενών καυσίμων
- Η ποιότητα και η περιβαλλοντική συμβατότητα του τελικού προϊόντος δεν πρέπει να αλλοιώνονται
- Η χρήση των δευτερογενών καυσίμων πρέπει να είναι συνεχής και οικονομικά αποτελεσματική.

2.2.4 Οικονομικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής RDF

Για την οικονομική ανάλυση μιας μονάδας παραγωγής RDF οι ακόλουθες παράμετροι σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη [Caruto and Pelagagge, 2002b]:

- Η σύσταση των ΑΣΑ στην είσοδο της διαδικασίας
- Το είδος του RDF που είναι επιθυμητό να παραχθεί
- Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός
- Η δυναμικότητα της εγκατάστασης
- Τα κόστη μεταφοράς
- Η τιμή των παραγόμενων προϊόντων (RDF, ενέργεια, compost, ανακτώμενα υλικά).

Ύστερα από τον καθορισμό των ανωτέρω παραμέτρων είναι δυνατός ο υπολογισμός των κυριότερων οικονομικών αποτελεσμάτων μέσω των οποίων γίνεται εφικτή η αποτίμηση της βιωσιμότητας ενός αντίστοιχου επιχειρηματικού σχεδίου.

2.3 Η ελληνική πραγματικότητα - υφιστάμενη κατάσταση στο Νομό Αττικής

Στην ελληνική επικράτεια λειτουργούν σήμερα περί τις 3.000 ανεξέλεγκτες χωματερές [EC, 2000], με προφανείς δυσμενείς επιπτώσεις για το περιβάλλον. Στον ελληνικό χώρο, η κυριότερη τεχνική που εφαρμόζεται στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ έγκειται στην απόθεσή τους σε ΧΥΤΑ. Στον τομέα της θερμικής επεξεργασίας, δεν υφίστανται μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ στην Ελλάδα [EC, 2002]. Παρά το γεγονός αυτό, η θερμική επεξεργασία ειδικών απορριμμάτων αποτελεί πλέον μια πραγματικότητα καθώς πρόσφατα (2001) τέθηκε σε λειτουργία η μονάδα αποτέφρωσης μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων του ΕΣΔΚΝΑ στα Άνω Λιόσια Αττικής, με δυναμικότητα επεξεργασίας 30 τόνους ημερησίως [ΤΟΜΗ, 2003].

Αναφορικά με την υφιστάμενη κατάσταση στο Νομό Αττικής, αξίζει να επισημανθεί ότι ο χρόνος ζωής του πρόσφατα ολοκληρωμένου τμήματος του ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής (Τμήμα ΙΙ) που εξυπηρετεί το Νομό, συνολικής χωρητικότητας 6 εκατομμυρίων m³ και δυναμικότητας 1.500.000 τόνων ετησίως σύμφωνα με πληροφορίες από την ανάδοχο εργοληπτική εταιρεία που το κατασκεύασε, λήγει το 2005 [Greece Now, 2003b]. Από την άλλη πλευρά, με την επικείμενη λειτουργία του, το ΕΜΑΚ των Άνω Λιοσίων Αττικής θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί περί τους 1.200 τόνους ΑΣΑ ημερησίως, παράγοντας μεταξύ άλλων περί τους 350 τόνους RDF σε ημερήσια βάση, σύμφωνα με στοιχεία από

στελέχη του αρμόδιου φορέα. Ωστόσο, οι ποσότητες αυτές είναι ιδιαίτερα χαμηλές σε σχέση με τις συνολικές ποσότητες ΑΣΑ που παράγονται σε ημερήσια βάση στο Λεκανοπέδιο Αττικής, με αποτέλεσμα να καθίσταται προφανής η ανάγκη για την κατασκευή και λειτουργία περισσότερων μονάδων επεξεργασίας και διάθεσης ΑΣΑ.

Παρόλα αυτά, οι κοινωνικές αντιδράσεις με αποκορύφωμα τις πρόσφατες διαδηλώσεις και διαμαρτυρίες από κατοίκους περιοχών του Λεκανοπεδίου Αττικής σχετικά με τη χωροθέτηση νέων ΧΥΤΑ [Greece Now, 2003b], δυσχεραίνουν τις ενέργειες της Πολιτείας και την χάραξη της πολιτικής στα πλαίσια της διαχείρισης των απορριμμάτων. Είναι πάντως γεγονός ότι η χωροθέτηση εγκαταστάσεων ολοκληρωμένης διαχείρισης των ΑΣΑ αποτελεί εξαιρετικά σύνθετο και πολυπαραμετρικό ζήτημα, για τεχνικούς, περιβαλλοντικούς, πολιτικούς και κοινωνικούς λόγους [Karagiannidis et al, 2003, Costi et al, 2003].

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι το τέλος διάθεσης των ΑΣΑ στην Ελλάδα, που αντιστοιχεί επί της ουσίας στο τέλος διάθεσής τους σε ΧΥΤΑ, κυμαινόταν έως πρόσφατα μεταξύ 6 και 15€ ανά τόνο ΑΣΑ [EC, 2001]. Ειδικότερα όσον αφορά την κοστολόγηση της διάθεσης των ΑΣΑ στο Νομό Αττικής, σημειώνεται ότι το τέλος για την απόθεσή τους στον ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων αυξήθηκε πρόσφατα και ισούται πλέον με 28€ ανά τόνο ΑΣΑ, σύμφωνα με πληροφορίες από στελέχη του φορέα λειτουργίας του.

Επειδή δε η παραγωγή απορριμμάτων στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι διαρκής και ατέρμονη, και από τη στιγμή που τα ΑΣΑ δεν αποτελούν μια συμβατική μορφή καυσίμων, η ενεργειακή πηγή αυτής της μορφής ανήκει στην κατηγορία των ανανεώσιμων [IWSA, 2003a, Silverman and Worthman, 1995]. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά προς την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ που προωθείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκεκριμένα, με βάση τη σχετική οδηγία (2001/97/Ε.Ε.), έχει τεθεί όριο στόχος για τη χώρα όσον αφορά τη συμμετοχή ΑΠΕ στην κάλυψη της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας ποσοστό 20,1% έως το έτος 2010. Η χώρα μας δεν έχει την πολυτέλεια να μην αξιοποιήσει όλο το ενεργειακό δυναμικό ΑΠΕ που διαθέτει για την επίτευξη του ανωτέρω στόχου, αν και σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία [WWF, 2003], η εν λόγω δέσμευση δεν προβλέπεται ότι θα επιτευχθεί. Σύμφωνα δε με τη ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ (Ν. 2244/94) και την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Ν. 2773/99), οι τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης προβάλλουν το πλεονέκτημα της απαλλαγής από την ανάγκη διάθεσης του τελικού προϊόντος δεδομένου ότι θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που θα πωλείται στον ΔΕΣΜΗΕ, προφανώς ως ΑΠΕ, επομένως έχουν εξασφαλισμένα έσοδα σε ό,τι αφορά το συγκεκριμένο κομμάτι.

3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Η Juniper έχει αναγνωρίσει αρκετές τεχνολογίες για τη θερμική επεξεργασία απορριμμάτων, και ιδιαίτερα αναφορικά με την αεριοποίηση, την πυρόλυση και συνδυασμούς των δύο τεχνολογιών που αναπτύσσονται σήμερα [Juniper, 2000]. Το στάδιο ανάπτυξης των τεχνολογιών αυτών κυμαίνεται μεταξύ πιλοτικής κλίμακας και εμπορικών εφαρμογών, με την πλειοψηφία των διεργασιών να βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο. Για τον λόγο αυτόν, στην παρούσα εργασία δεν κρίνεται σκόπιμη η αναλυτική αναφορά των εν λόγω τεχνολογιών, παρά μόνο η συνοπτική παρουσίαση των βασικών τους αρχών.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι δεν υφίσταται μια μόνο βέλτιστη τεχνολογία η οποία να μπορεί να εφαρμοστεί για όλες τις περιπτώσεις με τον ίδιο βαθμό αποτελεσματικότητας. Οι ενδιαφερόμενοι φορείς πρέπει να αποτιμήσουν τις διάφορες διαθέσιμες τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ και να επιλέξουν με βάση τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις που σχετίζονται με το εκάστοτε έργο, λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες που μπορούν να επιδράσουν σε αυτό και προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν τους κινδύνους που ελλοχεύουν σε ένα τέτοιας κλίμακας εγχείρημα [Rogoff, 1987].

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τη διεθνή πραγματικότητα, η διεργασία της αποτέφρωσης προεπεξεργασμένων ΑΣΑ αποτελεί την πλέον ώριμη εναλλακτική επιλογή διαχείρισης με μια πληθώρα από εφαρμογές και ως εκ τούτου δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην εν λόγω μέθοδο.

3.1 Εισαγωγή

Η θερμική επεξεργασία αποτελεί σημαντικό συστατικό για πολλά συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων. Γενικά, ως θερμική επεξεργασία εννοείται η μετατροπή των απορριμμάτων σε αέρια, υγρά ή στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη απελευθέρωση θερμότητας [Tchobanoglous et al, 1993].

Η αποτέφρωση αποτελεί μία από τις κυριότερες μεθόδους για τη διαχείριση μεγάλου εύρους απορριμμάτων. Με την εν λόγω μέθοδο συντελείται σημαντική μείωση του όγκου και της επικινδυνότητας των αποβλήτων ενώ ελέγχονται τα επικίνδυνα συστατικά που ελευθερώνονται κατά το στάδιο της καύσης, ενώ επίσης παρέχεται η δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας, μεταλλικών και χημικών συστατικών αλλά και συγκεκριμένων κλασμάτων των αποβλήτων.

Η αποτέφρωση των ΑΣΑ εφαρμόζεται στην Ευρώπη ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα [Rogoff, 1987]. Συγκεκριμένα, η πρώτη μεγάλη εγκατάσταση αποτέφρωσης κατασκευάστηκε στο Nottingham της Αγγλίας, το 1874 [Vesilind and Rimer, 1982], ενώ η χρησιμοποίησή της έγινε αρχικά για λόγους υγιεινής και στη συνέχεια για τον περιορισμό των ολοένα και αυξανόμενων όγκων απορριμμάτων [Rylander and Haukoni, 2002].

Σύμφωνα με τον Διεθνή Σύνδεσμο Στερεών Αποβλήτων, η εφαρμογή της μεθόδου στοχεύει κατά κύριο λόγο στην επίτευξη των ακόλουθων βασικών αρχών [ISWA, 2003]:

- Καταστροφή οργανικών ρύπων

- Αδρανοποίηση ανόργανων συστατικών
- Χρήση της τέφρας για ανάκτηση υλικών
- Διαχωρισμός βαρέων μετάλλων, αλάτων από τους οργανικούς ρύπους (π.χ. διοξίνες) σε υψηλές θερμοκρασίας (πάνω από 850 °C)
- Διαχωρισμός βαρέων μετάλλων και αλάτων από επικίνδυνα υπολείμματα μέσω συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων
- Χρήση της θερμικής ή και ηλεκτρικής ενέργειας που ανακτάται
- Συμβατότητα με τις ισχύουσες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας σχετικά με τις αέριες εκπομπές
- Ελαχιστοποίηση του κόστους, το οποίο βέβαια απαιτεί τη βελτιστοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των απορριμμάτων.

Από χημικής άποψης η αποτέφρωση είναι μία χημική αντίδραση μεταξύ του καύσιμου κλάσματος των αποβλήτων με οξυγόνο (οξειδωση). Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης εκλύονται καυσαέρια με υψηλή ενθαλπία. Συνηθίζεται η ανάκτησή αυτής και η χρησιμοποίησή της για παραγωγή θερμικής ή / και ηλεκτρικής ενέργειας. Το μίγμα της πρώτης ύλης (απορρίμματα) που χρησιμοποιείται στην τροφοδοσία είναι ετερογενές με σύσταση που εμφανίζει έντονες εποχιακές διακυμάνσεις και συνίσταται σε οργανικά υποστρώματα, μεταλλικά συστατικά και νερό. Η καύση του εν λόγω μίγματος πραγματοποιείται όταν τα οργανικά υποστρώματα αποκτήσουν τη θερμοκρασία έναυσης και έλθουν σε επαφή με το οξυγόνο, ενώ συντελείται μέσα σε δέκατα του δευτερολέπτου με ταυτόχρονη αυθόρμητη έκλυση θερμότητας. Σε περίπτωση που το μίγμα της τροφοδοσίας έχει κατάλληλο θερμικό περιεχόμενο και έχει εξασφαλιστεί η απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου, λαμβάνει χώρα αλυσιδωτή θερμική δράση με αποτέλεσμα η καύση να εξελίσσεται από μόνη της χωρίς να απαιτείται επιπλέον προσθήκη καυσίμων ή οξυγόνου. Γενικά, τα στάδια της καύσης ενός σωματιδίου έχουν ως εξής [IPPC, 2003a]:

1. Ξήρανση και απαερίωση: τα πτητικά συστατικά (π.χ. υδρογονάνθρακες και νερό) σε θερμοκρασία μεταξύ 100 και 250 °C απομακρύνονται από το μίγμα της τροφοδοσίας. Για το εν λόγω στάδιο δεν απαιτείται παροχή οξυγόνου, παρά μόνο θερμότητας.
2. Αεριοποίηση: είναι η διαδικασία κατά την οποία οργανικά στερεά συστατικά μετατρέπονται σε αέρια προϊόντα και λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 500 και 600 °C. Για την αεριοποίηση απαιτούνται εκτός από θερμότητα, νερό, ατμός και οξυγόνο.
3. Οξειδωση: το στάδιο αυτό αφορά την αντίδραση με οξυγόνο των καυσαερίων που δημιουργήθηκαν κατά τα δύο προηγούμενα στάδια. Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η αποτέφρωση η θερμοκρασία των καυσαερίων κυμαίνεται περί τους 800 με 1450 °C, και σε ειδικές περιπτώσεις αποτέφρωσης αγγίζει τους 10.000 °C.

Δεδομένου ότι η αποτέφρωση είναι μία διεργασία κατά την οποία εκλύονται ρύποι στην ατμόσφαιρα, απαιτείται η πρόληψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος. Τα μέτρα αυτά συνιστάνται

στην εγκατάσταση εξοπλισμού καθαρισμού των καυσαερίων και στην αναθεώρηση του σχεδιασμού του κλιβάνου του αποτεφρωτήρα ώστε να μειωθούν οι εκπομπές εν τη γενέσει τους.

Η πλήρης οξειδωση έχει ως προϊόν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ενώ επιπλέον απελευθερώνονται υδρατμοί, άζωτο και οξυγόνο και σε μικρότερες ποσότητες μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδροχλώριο (HCl), οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), διοξίνες και φουράνια (PCDD/F), πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), βαρέα μέταλλα και σωματίδια (άκαυστα και τέφρα). Η τέφρα εκλύεται είτε με αιωρούμενη μορφή ως υπόλειμμα των μεταλλικών στοιχείων είτε ως στερεά στον πυθμένα του αποτεφρωτήρα. Στους αποτεφρωτήρες ΑΣΑ δημιουργείται τέφρα στον πυθμένα σε ποσοστό περίπου 10% επί του όγκου της πρώτης ύλης και σε ποσοστό 20 έως 30% επί του βάρους των απορριμμάτων στην τροφοδοσία [IPPC, 2003a]. Οι ποσότητες της ιπτάμενης τέφρας που δημιουργείται είναι πολύ μικρότερες και αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της τροφοδοσίας. Το ποσοστό της τέφρας που δημιουργείται εξαρτάται πολύ από την σύσταση της τροφοδοσίας, τις διεργασίες επεξεργασίας της πρώτης ύλης και τη μέθοδο της αποτέφρωσης.

Οι απαιτήσεις για την παροχή οξυγόνου κατά τη διαδικασία της καύσης επιβάλλουν ο λόγος της ποσότητας του αέρα που τροφοδοτείται για την αποτέφρωση μιας ποσότητας πρώτης ύλης προς την στοιχειομετρικά απαιτούμενη να κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 3,0, ανάλογα με τον κλίβανο και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία [IPPC, 2003a].

Η ενεργειακή αξιοποίηση προσφέρει μια σημαντική λύση στη διαχείριση των ΑΣΑ. Η ανάπτυξη της είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επίλυση ζητημάτων που συνδέονται με τον έλεγχο της τροφοδοσίας και των πρώτων υλών, την επίδραση στην ανακύκλωση, την οικονομική βιωσιμότητα και αποτελεσματικότητα, καθώς και την κοινωνική αποδοχή που αντιστοιχίζεται σε πολιτικό κόστος. Οι σύγχρονες ενδείξεις φανερώνουν ότι η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων αναμένεται να διαδραματίσει έναν ιδιαίτερα σπουδαίο παράγοντα στη χάραξη μιας γενικότερης πολιτικής διαχείρισης των ΑΣΑ. Οι σημαντικότεροι περιορισμοί στην ανάπτυξη και περαιτέρω εφαρμογή της ενεργειακής αξιοποίησης συνίστανται στο υψηλό κόστος εγκατάστασης των μονάδων, το υψηλό επίπεδο του εργατικού δυναμικού που απαιτείται για την ασφαλή λειτουργία τους, την πολυπλοκότητά τους, καθώς και τη χαμηλή κοινωνική αποδοχή ως προς την περιβαλλοντική απόδοση τέτοιων εγκαταστάσεων. Είναι δε γεγονός ότι παρά τις διαβεβαιώσεις από τους ειδικούς επιστήμονες ότι μια σύγχρονη μονάδα θερμικής επεξεργασίας με κατάλληλο εξοπλισμό για τον έλεγχο των αερίων εκπομπών δε θέτει σε κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον, οι ανησυχίες της κοινής γνώμης δεν παύουν να υφίστανται. Σύμφωνα με τον Keith, η αύξηση της κοινωνικής αποδοχής των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης υποδεικνύει ότι η πολιτική βούληση για την εγκατάσταση νέων σταθμών αυξάνει σε συνδυασμό με την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των κοινωνιών ως προς τα τεχνολογικά επιτεύγματα. Κατόπιν τούτων, αναμένεται η ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις ερχόμενες δεκαετίες [Keith, 1994].

Η αποτέφρωση παρέχει συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων εναλλακτικών τεχνολογιών διαχείρισης και αποτελεί μια ασφαλή και περιβαλλοντικά φιλική μέθοδο για τη διαχείριση των αστικών και επικινδύνων αποβλήτων. Από τη στιγμή που η απόθεσή τους σε ΧΥΤΑ θεωρείται

επισφαλής λόγω των ανεξέλεγκτων χημικών δράσεων που λαμβάνουν χώρα για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια των οποίων απελευθερώνονται στο έδαφος, το νερό αλλά και στον αέρα επικίνδυνες χημικές ουσίες, η αποτέφρωση κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος [IWSA, 2003a].

Σύμφωνα με την Οδηγία IPPC σχετικά με τις χρησιμοποιούμενες πρακτικές για την επεξεργασία των απορριμμάτων, η χρήση τους ως καύσιμα καθίσταται πλέον επιτακτική επιλογή διαχείρισης. Η εφαρμογή και η περαιτέρω ανάπτυξη της υπαγορεύεται από τον συνδυασμό τριών τάσεων [IPPC, 2003b]:

- Εφαρμογή της Οδηγίας για τη διαχείριση των απορριμμάτων (1999/31/Ε.Ε.), σύμφωνα με την οποία, μεταξύ άλλων, απαγορεύεται η απόθεση υλικών με σημαντική θερμογόνο ικανότητα
- Ανάγκη για μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κυότο
- Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2 Νομοθετικό πλαίσιο

Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης υφίστανται ένα σύνολο από νομοθετικές ρυθμίσεις και οδηγίες που διέπουν τον χειρισμό των απορριμμάτων (αστικών και βιομηχανικών) και μέσα σε αυτό ορίζονται και οι απαιτήσεις για τις μονάδες αποτέφρωσης. Επιπροσθέτως, πρόσφατα (Μάιος 2003) συντάχθηκε το προσωρινό κείμενο της Κοινοτικής Οδηγίας 1996/61/Ε.Ε. για την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (Integrated Pollution Prevention and Control - IPPC) που αφορά στην αποτέφρωση των απορριμμάτων.

Μέχρι στιγμής οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν την αποτέφρωση απορριμμάτων είναι οι εξής:

- 1989/369/Ε.Ε. για τις νέες μονάδες αποτέφρωσης οικιακών αποβλήτων
- 1989/429/Ε.Ε. για τις υπάρχουσες μονάδες αποτέφρωσης οικιακών αποβλήτων
- 1994/67/Ε.Ε. για την αποτέφρωση επικίνδυνων αποβλήτων (συμπεριλαμβάνεται και η μέθοδος της συναποτέφρωσης)
- 2000/76/Ε.Ε. για την αποτέφρωση των αποβλήτων (συμπεριλαμβάνεται και η μέθοδος της συναποτέφρωσης).

Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των Οδηγιών 89/369/Ε.Ε. και 89/429/Ε.Ε., αρκετές μικρές μονάδες αποτέφρωσης μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων σταμάτησαν τη λειτουργία τους μέχρι το 1996, καθώς η συμμόρφωσή τους με τα νέα πρότυπα ελέγχου ήταν αντιοικονομική [McLanaghan, 2002].

Επισημαίνεται ότι η Οδηγία 2000/76/Ε.Ε. περιλαμβάνει τις τρεις προηγούμενες ενώ επιπρόσθετα εμπεριέχονται και οι ελάχιστες απαιτήσεις αναφορικά με τα επιτρεπτά όρια εκπομπής ρύπων, οι ελάχιστες απαιτήσεις παρακολούθησης και συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας. Επίσης δεν θέτει

όριο για την ελάχιστη δυναμικότητα των μονάδων για την εφαρμογή της. Τέλος, η εν λόγω οδηγία έχει ισχύ για όλες τις νέες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης από τις 28 Δεκεμβρίου 2002 και έπειτα και για τις υφιστάμενες μονάδες το αργότερο από τις 28 Δεκεμβρίου 2005.

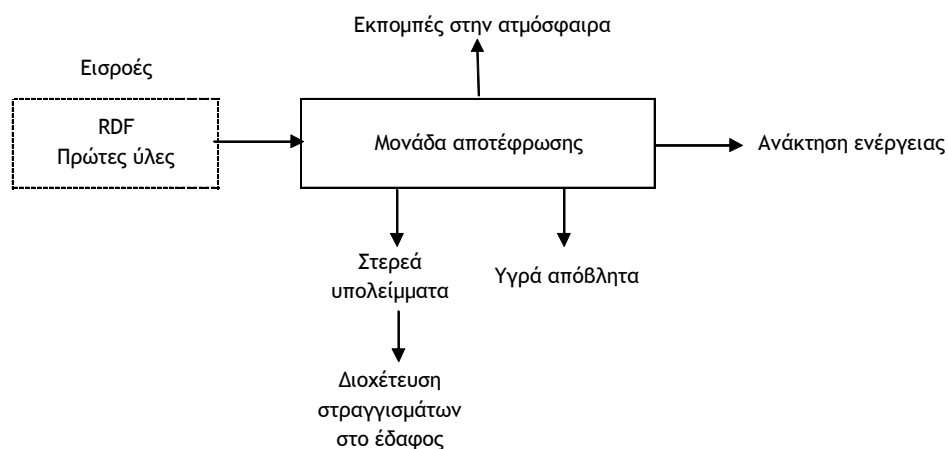
3.3 Ποιοτική σύσταση απορριμμάτων και σχεδιασμός διεργασιών

Ο σχεδιασμός μιας μονάδας επεξεργασίας καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τη σύσταση της τροφοδοσίας και το είδος των υλικών που διαχειρίζεται. Εν προκειμένω, οι παράγοντες που αφορούν την τροφοδοσία και έχουν ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι η χημική σύσταση, οι φυσικές ιδιότητες (π.χ. μέγεθος κόκκων) και τα θερμικά χαρακτηριστικά (π.χ. θερμογόνος ικανότητα, επίπεδα υγρασίας) των ΑΣΑ, τα οποία με τη σειρά τους έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα προϊόντα της θερμικής επεξεργασίας [Meraz et al, 2003].

Τα απορρίμματα που μπορούν να διαχειριστούν οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης περιλαμβάνουν τις εξής κατηγορίες [IPPC, 2003a]:

- Αστικά στερεά απορρίμματα (ανεπεξέργαστα)
- Επεξεργασμένα αστικά στερεά απορρίμματα (RDF)
- Μη επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα και υλικά συσκευασίας
- Επικίνδυνα απόβλητα
- Ιλύς αστικών λυμάτων
- Μολυσματικά νοσοκομειακά απόβλητα.

Όταν η διαδικασία αφορά ένα μικρό εύρος απορριμμάτων τότε η βελτιστοποίηση της μεθόδου όσον αφορά τον τεχνικό σχεδιασμό, τις περιβαλλοντικές επιδόσεις και παράπλευρες διαδικασίες όπως είναι ο καθαρισμός των καυσαερίων δεν συναντά ιδιαίτερες δυσκολίες. Σε περίπτωση που γίνεται ανάκτηση ενέργειας, ένα γενικό διάγραμμα ροής της μονάδας φαίνεται στο σχήμα 3.1:



Σχήμα 3.1: Γενικό διάγραμμα ροής μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης [EC, 2000]

3.4 Περιβαλλοντικές παράμετροι

Κατά τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό μιας εγκατάστασης αποτέφρωσης απορριμμάτων οι κυριότερες παράμετροι είναι οι ακόλουθες [IPPC, 2003a]:

- Εκπομπές στην ατμόσφαιρα και απελευθέρωση συστατικών στο υδάτινο περιβάλλον
- Δημιουργία υπολειμμάτων και παραπροϊόντων
- Θόρυβος και δονήσεις
- Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας
- Κατανάλωση πρώτων υλών
- Μεταφορά πρώτης ύλης στις εγκαταστάσεις
- Εκτεταμένη επεξεργασία της πρώτης ύλης.

3.4.1 Ατμόσφαιρα

Οι ατμοσφαιρικές εκπομπές αποτελούν το επίκεντρο του ενδιαφέροντος για τις μονάδες αποτέφρωσης. Οι διαδικασίες για τον καθαρισμό των καυσαερίων έχουν βελτιστοποιηθεί και εξελιχθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα. Οι κυριότεροι ρύποι που εκλύονται είναι [IPPC, 2003a]:

- Αιωρούμενα σωματίδια (με διαφορετικό μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου, από χονδρόκοκκα έως λεπτόκοκκα και υπερλεπτόκοκκα)
- Αέρια οξέων (συμπεριλαμβανομένων των HCl, HF, SO₂, NO_x, NH₃)
- Βαρέα μέταλλα (συμπεριλαμβανομένων των Hg, Cd, Tl)
- Ανθρακούχες ενώσεις (π.χ. CO, υδρογονάνθρακες, PCDD/F).

Επιπροσθέτως, η ατμόσφαιρα επιβαρύνεται και από τις οσμές που εκλύονται κατά την αποθήκευση και επεξεργασία των απορριμμάτων και από τις σκόνες που παράγονται κατά την μεταφορά, επεξεργασία και αποθήκευση της πρώτης ύλης.

3.4.2 Υδάτινο περιβάλλον

Οι κυριότερες πηγές για την απελευθέρωση συστατικών στο υδάτινο περιβάλλον είναι οι ακόλουθες [IPPC, 2003a]:

- Διαρροές από συσκευές καθαρισμού των καυσαερίων
- Διαρροές από μονάδες καθαρισμού των λυμάτων
- Από νερό ψύξης
- Από νερό θέρμανσης
- Από επιφανειακές απορροές
- Από σημεία αποθήκευσης της πρώτης ύλης

- Από την επεξεργασία και την αποθήκευση υπολειμμάτων.

3.4.3 Υπολείμματα - παραπροϊόντα

Η ποσότητα και το είδος των υπολειμμάτων που παράγονται αποτελούν μία ένδειξη του κατά πόσο έχει ολοκληρωθεί η διεργασία. Τα πλέον συνήθη υπολείμματα που συναντώνται σε μια μονάδα αποτέφρωσης είναι τα ακόλουθα [IPPC, 2003a]:

- Τέφρα και ιλύς
- Τέφρα από τον καυστήρα
- Σκόνη από τα φίλτρα
- Υπολείμματα από το ρεύμα καθαρισμού των καυσαερίων
- Ιλύς από την επεξεργασία των λυμάτων.

Ανάλογα με τη διαδικασία που ακολουθείται είναι πιθανό να παραχθούν και άλλα υπολείμματα όπως [IPPC, 2003a]:

- Θεικό ασβέστιο
- Υδροχλωρικό οξύ
- Ανθρακικό νάτριο
- Χλωρικό νάτριο.

3.4.4 Θόρυβος

Στις μονάδες θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ παρατηρείται αύξηση των επιπέδων θορύβου λόγω των ακόλουθων πηγών [IPPC, 2003a]:

- Οχήματα μεταφοράς της πρώτης ύλης
- Μηχανική επεξεργασία της πρώτης ύλης
- Ανεμιστήρες, συστήματα απόρριψης των καυσαερίων από τον αποτεφρωτήρα
- Συστήματα ψύξης
- Μεταφορά και επεξεργασία της τέφρας.

3.4.5 Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας

Οι μονάδες αποτέφρωσης αφενός καταναλώνουν και αφετέρου έχουν τη δυνατότητα να παράγουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Ενέργεια καταναλώνεται τόσο με τη μορφή θερμότητας, από την πρώτη ύλη και τα βοηθητικά καύσιμα, όσο και με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, ενέργεια παράγεται με τη μορφή θερμότητας, ηλεκτρισμού, ατμού και αερίου σύνθεσης [IPPC, 2003a].

3.4.6 Κατανάλωση πρώτων υλών

Στη συνέχεια, αναφέρονται ενδεικτικά οι πρώτες ύλες που καταναλώνονται σε μια εγκατάσταση αποτέφρωσης απορριμμάτων [IPPC, 2003a]:

- Ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της μονάδας
- Θερμότητα για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών της εγκατάστασης
- Καύσιμα (βοηθητικά καύσιμα, όπως φυσικό αέριο ή ελαφριά κλάσματα του πετρελαίου)
- Νερό για επεξεργασία καυσαερίων, ψύξη, θέρμανση
- Αντιδραστήρια για τον καθαρισμό των καυσαερίων (π.χ. καυστική σόδα, ασβέστης, αμμωνία και ουρία)
- Αντιδραστήρια για τον καθαρισμό των λυμάτων (π.χ. οξέα, αλκάλια).

3.5 Τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας

3.5.1 Καύση απορριμμάτων

3.5.1.1 Καύση σε εσχάρες

Η καύση σε εσχάρες αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο αποτέφρωσης και συχνά καλείται «συμβατική μέθοδος». Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η δυνατότητα καύσης των απορριμμάτων με ελάχιστη προηγούμενη επεξεργασία (Mass Burn Combustion), η οποία περιλαμβάνει την απομάκρυνση ογκωδών υλικών των οποίων η διαχείριση δεν είναι εφικτή.

Οι εσχάρες είναι συνήθως κυλιόμενες και η καύση λαμβάνει χώρα σε πολλαπλά στάδια. Ο πρωτεύων αέρας διοχετεύεται στο επίπεδο των εσχάρων. Τα παραγόμενα αέρια περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια και ατελώς οξειδωμένες ενώσεις. Η πλήρης καύση τους ολοκληρώνεται σε θάλαμο μετάκαυσης πάνω από την εστία, όπου τοποθετείται επιπρόσθετα βοηθητικός καυστήρας (αερίου ή πετρελαίου), προκειμένου να διατηρείται συνεχώς η θερμοκρασία πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια [Κακαράς κ.ά., 2002].

Αν και μονάδες που χρησιμοποιούν την εν λόγω τεχνολογία λειτουργούν εδώ και αρκετές δεκαετίες σε όλον τον κόσμο και παρά τα τεχνολογικά επιτεύγματα, η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από αρκετά μειονεκτήματα [Rogoff, 1987], ενώ ο βαθμός απόδοσης που επιτυγχάνεται είναι αρκετά χαμηλότερος (20-25%) σε σχέση με αντίστοιχο σταθμό απόδοσης στερεών καυσίμων (35-40%), καθώς λόγοι διάβρωσης δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη θερμοκρασιών άνω των 400°C [Κακαράς κ.ά., 2002]. Αύξηση του βαθμού απόδοσης επιτυγχάνεται σε εγκαταστάσεις συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

3.5.1.2 Καύση σε περιστροφικό κλίβανο

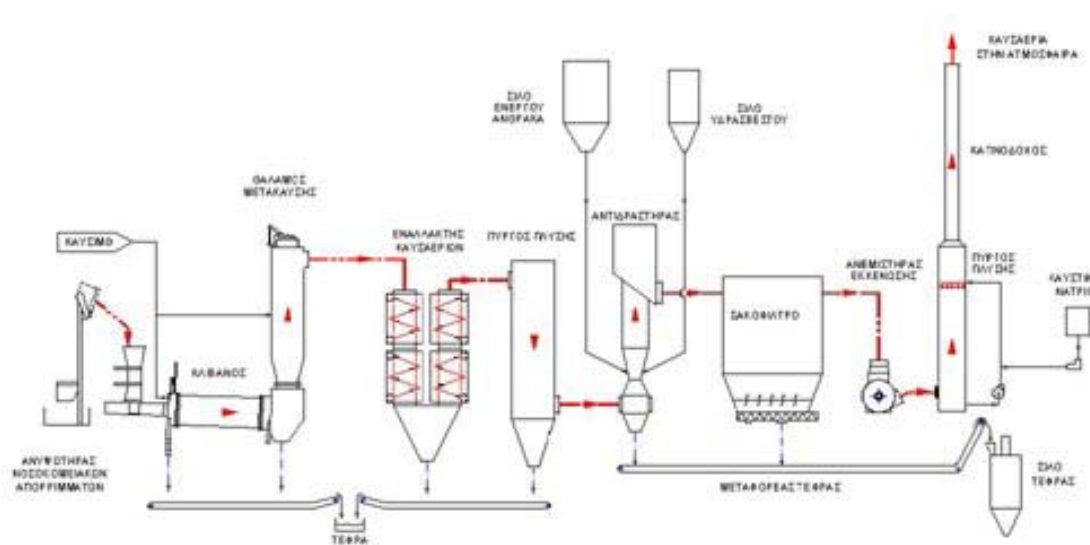
Η διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών (>800°C) και οι ελάχιστες απαιτήσεις για προεπεξεργασία του καύσιμου υλικού οδήγησαν στην εφαρμογή της τεχνολογίας των περιστροφικών κλιβάνων (Rotary

Kiln Combustion) για την καύση στερεών και υγρών αποβλήτων και κυρίως επικίνδυνων αποβλήτων. Κύριο χαρακτηριστικό είναι η καύση σε πολλαπλά στάδια και ο συνδυασμός μεγάλης ποικιλίας διαδικασιών όπως συνεχής ανάμειξη, αντιδράσεις στερεών - αερίων ή στερεών - στερεών με έντονα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας.

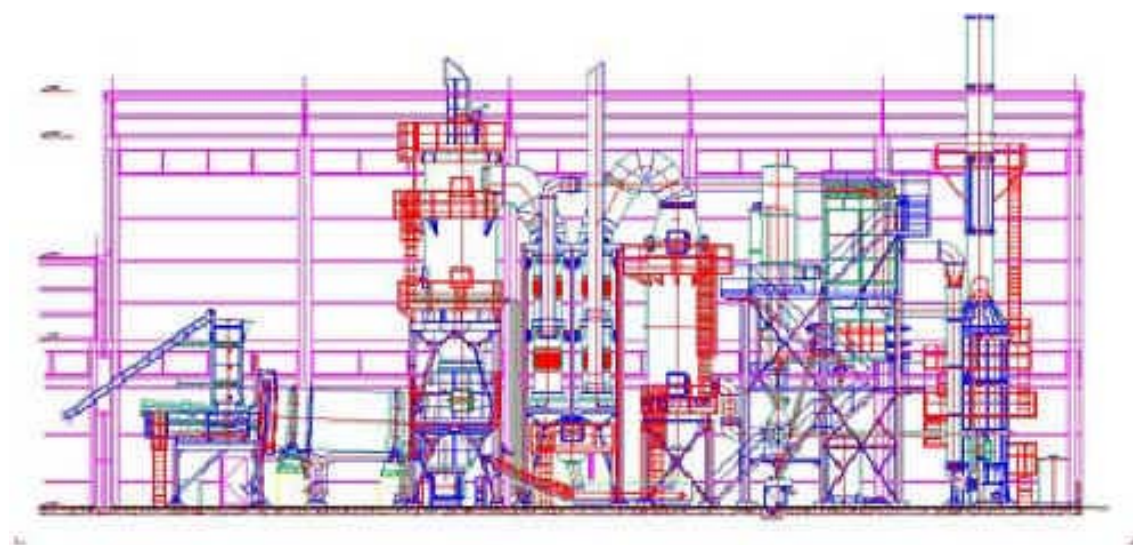
Το σύστημα αποτελείται από τον προθάλαμο ξήρανσης και έναυσης και τον κλίβανο καύσης. Τα αέρια από τον προθάλαμο έναυσης περιέχουν άκαυστες πτητικές ενώσεις και μαζί με τα καυσαέρια από τον κλίβανο οδηγούνται σε έναν θάλαμο μετάκαυσης. Τα παραγόμενα καυσαέρια αποδίδουν την θερμότητά τους σε ατμοπαραγωγό για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε συγκρότημα ατμοστρόβιλου - γεννήτριας. Εναλλακτικά, έχει διερευνηθεί και εφαρμοστεί σε πρώιμο στάδιο η καύση στερεών και υγρών αποβλήτων σε περιστροφικούς κλιβάνους της τσιμεντοβιομηχανίας [Κακαράς κ.ά., 2002].

Πρόσφατα (2001) ολοκληρώθηκε η κατασκευή μιας εγκατάστασης αποτέφρωσης μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων σε περιστροφικό κλίβανο στα Άνω Λιόσια Αττικής, ιδιοκτησίας του Ενιαίου Συνδέσμου Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ). Η δυναμικότητα επεξεργασίας της μονάδας, η οποία αποτελείται από δύο όμοιες υπομονάδες δυναμικότητας επεξεργασίας 15 τόνων μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων έκαστη, ανέρχεται σε 30 τόνους απορριμμάτων ημερησίως και αναμένεται να εξυπηρετήσει τα νοσοκομειακά ιδρύματα και τις κλινικές του Λεκανοπεδίου Αττικής.

Στα σχήματα 3.2 και 3.3 παρατίθενται το διάγραμμα ροής της συγκεκριμένης μονάδας και η ενδεικτική τομή της εγκατάστασης αντίστοιχα.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής αποτεφρωτήρα μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων στα Άνω Λιόσια Αττικής [ΤΟΜΗ, 2003]



Σχήμα 3.3: Ενδεικτική τομή αποτεφρωτήρα μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων στα Άνω Λιόσια Αττικής [ΤΟΜΗ, 2003]

3.5.1.3 Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη

Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη αποτελεί την πλέον σύγχρονη μέθοδο καύσης στερεών απορριμμάτων και βιομάζας. Αρχικά (1970) χρησιμοποιήθηκε για τη θερμική επεξεργασία βαρέως τύπου πετρελαίων και την καύση τους. Στη συνέχεια εξελίχθηκε ως μέθοδος για καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα και υγρασία και με μεγάλη ανομοιογένεια. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι ο σημαντικά υψηλός βαθμός απόδοσης καύσης (>98%), σε συνδυασμό με τη διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών στον χώρο καύσης και κατά συνέπεια μειωμένες εκπομπές NO_x (<400ppm) [Κακαράς κ.ά., 2002].

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την καύση ομογενοποιημένων καυσίμων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται ο άνθρακας, ο λιγνίτης, η ιλύς αστικών λυμάτων και ορισμένα είδη βιομάζας. Η ετερογενής φύση ορισμένων απορριμμάτων, όπως τα ΑΣΑ, τα καθιστά ακατάλληλα για καύση σε συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης χωρίς εκτεταμένη προεπεξεργασία. Το σχετικά υψηλό κόστος αυτών των διεργασιών έχει περιορίσει σημαντικά την οικονομικότητα των συστημάτων αυτών σε μεγάλης κλίμακας έργα. Το γεγονός αυτό υπερκαλύπτεται σε ορισμένες περιπτώσεις μέσω συστημάτων εκλεκτικής συλλογής απορριμμάτων και της ανάπτυξης προτύπων ποιότητας για ανακτημένα καύσιμα, παρέχοντας ένα μέσο για την παραγωγή περισσότερο κατάλληλων τροφοδοσιών για την εν λόγω τεχνολογία.

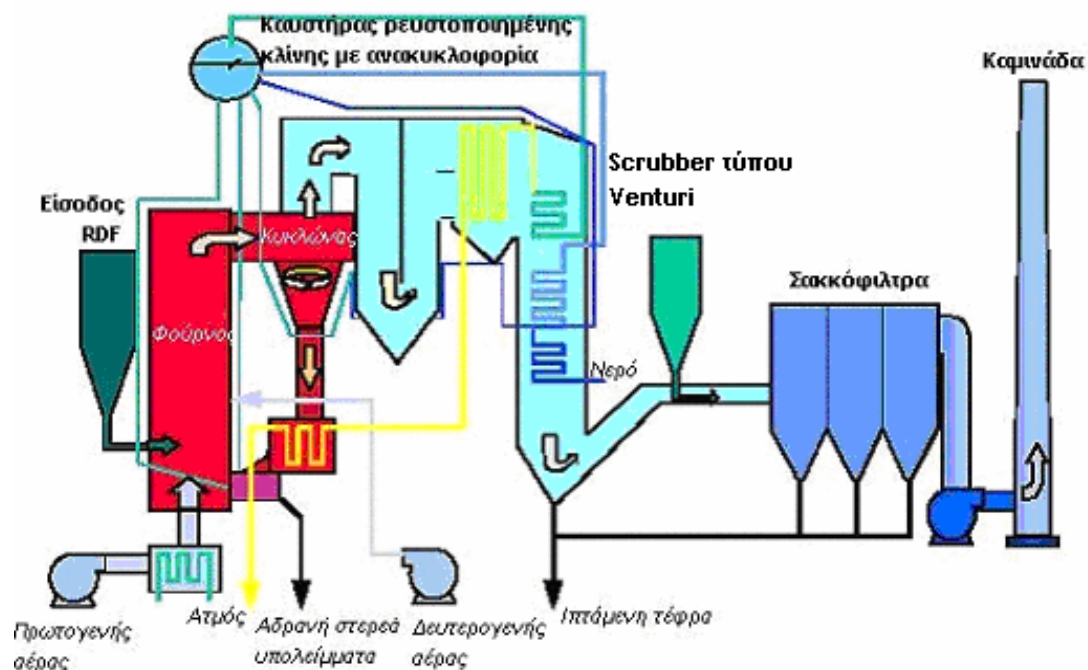
Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί αδρανές υλικό (κατά κύριο λόγο άμμο) το οποίο εισάγεται μαζί με τα απορρίμματα στον αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Συγχρόνως, εισάγεται αέρας προκειμένου το μίγμα να διατηρηθεί σε ρευστοποιημένη κατάσταση, ενώ λαμβάνει χώρα τυρβώδης κίνηση των στερεών σωματιδίων και εκτεταμένη μίξη των καυσίμων, τα οποία άλλωστε χαρακτηρίζουν τη συγκεκριμένη μέθοδο. Με τον τρόπο αυτόν, παρατηρούνται σημαντικής έκτασης φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας [Richers et al, 1999].

Η ρευστοποιημένη κλίνη περιλαμβάνει τα ακόλουθα [Κακαράς κ.ά., 2002]:

- σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου
- σύστημα θέρμανσης της κλίνης
- σύστημα τροφοδοσίας αδρανούς υλικού και δολομίτη
- σύστημα απαγωγής των στερεών υπολειμμάτων (τέφρα, γύψος, μέταλλα κ.ά.) και
- σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων.

Η ομογενής κατανομή θερμοκρασίας στη ρευστοποιημένη κλίνη αποτελεί ένα από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής. Κατά τη λειτουργία της καύσης, η ρευστοποιημένη κλίνη αποτελείται ουσιαστικά από την παραγόμενη τέφρα και τα άκαυστα σωματίδια καυσίμου. Η περίσσεια της τέφρας απομακρύνεται από το κάτω μέρος. Για την έναρξη της καύσης, η ρευστοποιημένη κλίνη πρέπει να θερμανθεί μέχρι την κατώτερη θερμοκρασία έναυσης του προστιθέμενου καυσίμου, το οποίο επιτυγχάνεται με την προθέρμανση του αέρα μέσω καυστήρων έως ότου η καύση δύναται να λαμβάνει χώρα ανεξάρτητα. Τα απορρίμματα εισάγονται στην κλίνη, ενώ μετά το πέρας της καύσης η τέφρα παραμένει εντός αυτής, μέχρι να μεταφερθεί μαζί με το ρεύμα των καυσαερίων μέσω του εναλλάκτη σε φίλτρο για να διαχωριστεί. Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών αντίδρασης, η παραγωγή θερμικών NOx είναι περιορισμένη [NREL, 1992].

Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μονάδας καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη που βρίσκεται στη Lomellina της Ιταλίας.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ροής μονάδας καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία στη Lomellina [Foster Wheeler, 2003]

3.5.1.3.1 Τύποι ρευστοποιημένων κλινών

Οι τεχνολογίες ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με την ταχύτητα του αερίου και το σχεδιασμό του ακροφυσίου. Οι κυριότερες τεχνολογίες ρευστοποιημένης κλίνης είναι οι εξής [NREL, 1992]:

- Ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (Circulating Fluidized Bed - CFB), όπου οι υψηλότερες ταχύτητες αερίου ευθύνονται για την μερική απομάκρυνση του καυσίμου και του υλικού της κλίνης, το οποίο επανατροφοδοτείται στο θάλαμο καύσης
- Ρευστοποιημένη κλίνη με φυσαλίδες (Bubbling Fluidized Bed - BFB), όπου λόγω των σχετικά χαμηλών ταχυτήτων αερίου τα αδρανή στερεά παραμένουν εντός του αντιδραστήρα.

Πλέον των ανωτέρω, αξίζει να αναφερθούν και οι ακόλουθες τεχνολογίες, οι οποίες ωστόσο έχουν περιορισμένη εφαρμογή [IPPC, 2003a]:

- Στατική ρευστοποιημένη κλίνη, ατμοσφαιρική και υπό πίεση (Stationary Fluidized Bed, atmospheric and pressurized), όπου το αδρανές υλικό μετακινείται ελάχιστα
- Περιστρεφόμενη ρευστοποιημένη κλίνη (Rotating Fluidized Bed), όπου η ρευστοποιημένη κλίνη περιστρέφεται στο θάλαμο καύσης, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής και σε χαμηλότερη φθορά του εναλλάκτη.

Οι πρώτες δύο τεχνολογίες (CFB και BFB) αποτελούν τους κυριότερους τύπους ρευστοποιημένων κλινών και είναι κατάλληλες για λειτουργία είτε σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (Atmospheric Fluidized Bed Combustion - AFBC) είτε υπό πίεση (Pressurized Fluidized Bed Combustion - PFBC) [NREL, 1992]. Οι μονάδες AFBC αποτελούν τον πιο κοινά χρησιμοποιούμενο σχεδιασμό για εμπορικές εφαρμογές. Από την άλλη πλευρά, οι μονάδες PFBC παρέχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν μικρότερες μονάδες για την επίτευξη της ίδιας δυναμικότητας, ενώ τα χαρακτηριστικά της διεργασίας (μεγαλύτερο μήκος κλίνης, χαμηλότερες ταχύτητες ρευστοποίησης, δυνατότητα για χρήση αεριοστροβίλου πριν τον ατμοστρόβιλο) οδηγούν σε μεγαλύτερη απόδοση. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των μονάδων PFBC συνίσταται στην πολυπλοκότητα των επιμέρους συστημάτων [NREL, 1992].

Σε μια ρευστοποιημένη κλίνη, με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα που εισάγεται στην κλίνη, τα στερεά σωματίδια αρχίζουν να αιωρούνται και να βρίσκονται σε ρευστή κατάσταση [Vesilind and Rimer, 1982]. Η ταχύτητα στην οποία λαμβάνει χώρα το γεγονός αυτό καλείται «ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης». Καθώς ο αέρας διέρχεται μέσω της κλίνης, συμπαρασύρονται υλικά της κλίνης και άκαυστος άνθρακας και οδηγούνται εκτός του θαλάμου καύσης, όπου συλλέγονται σε ειδικές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επιστροφή του υλικού στην κλίνη και την αύξηση της απόδοσης της καύσης. Όσο αυξάνει η ταχύτητα, ο ρυθμός με τον οποίο το υλικό της κλίνης μεταφέρεται εκτός του θαλάμου καύσης αυξάνεται έως ότου όλο το υλικό συμπαρασύρεται μέσω του αερίου ρεύματος και εξέρχεται του κλιβάνου για να επανεισαχθεί στη συνέχεια στον πυθμένα του, ύστερα από τη συλλογή του σε ειδικές διατάξεις.

Ένας αντιδραστήρας BFB λειτουργεί υπό τυπικές συνθήκες με ταχύτητα ίση με μία έως δύο φορές την ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης, με αποτέλεσμα το υλικό της κλίνης να παραμένει στον θάλαμο καύσης, ενώ η επιφάνεια της κλίνης μοιάζει να βράζει βίαια. Αυτός είναι άλλωστε ο λόγος στον οποίο αποδίδεται η ονομασία της μεθόδου [NREL, 1992].

Αντίθετα, σε μια κλίνη CFB η οποία λειτουργεί σε ταχύτητες είκοσι (20) φορές περίπου επί την ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης, το υλικό της κλίνης κυκλοφορεί συνεχώς μέσω των διατάξεων συλλογής και του κλιβάνου [NREL, 1992].

Στις περισσότερες FBC, τα απορρίμματα πρέπει να υποστούν κατάλληλη προεπεξεργασία πριν τη διεργασία της καύσης, η οποία συνήθως αποτελείται από διαλογή και απομάκρυνση των μεγαλύτερων αδρανών σωματιδίων και τεμαχισμό, ή τη μετατροπή τους σε RDF. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή μεγάλα ή βαριά αντικείμενα (π.χ. τσιμέντο, χάλυβας, μεγάλα κομμάτια ξύλου) εισέρχονται στην κλίνη έχουν την τάση να μετακινούνται προς τον πυθμένα της κλίνης, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα που οφείλονται κατά κύριο λόγο στη μείωση της ρευστοποιημένης ροής, όπως είναι, μεταξύ άλλων, οι τοπικές μεταβολές της θερμοκρασίας και αύξηση της παραγωγής CO [SRBEP, 1994].

3.5.1.3.2 Λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των ρευστοποιημένων κλινών είναι ότι η θερμοκρασία στην περιοχή της καύσης είναι ιδιαίτερα ομοιόμορφη. Το καύσιμο πρέπει να εισάγεται στον λέβητα ομοιόμορφα και να αναμιγνύεται με το υλικό της κλίνης, γεγονός το οποίο προϋποθέτει ότι το μέγεθος των σωματιδίων του καυσίμου είναι μικρό, με μέγιστη διάμετρο τα 50mm [IPPC, 2003a]. Αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας και μάζας επιτρέπει τη λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με άλλους τύπους θαλάμων καύσης, αν και δεν υπάρχει κατώτερο όριο. Υπό τυπικές συνθήκες, η θερμοκρασία της κλίνης κυμαίνεται μεταξύ 850 και 900°C, όπου δεν ο σχηματισμός θερμικών NOx παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Τα SOx περιορίζονται με την προσθήκη απορροφητικών μέσων στην κλίνη. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις των ουσιών αυτών φανερώνει ότι ο καθαρισμός των καυσαερίων μπορεί να γίνει απλούστερος, ενώ στην πράξη με τη χρήση RDF καλής ποιότητας απαιτείται μόνο η χρήση ξηρών σακόφιλτρων. Οι αέριες εκπομπές εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το καύσιμο και έπειτα από την επιλογή του συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων. Από την άλλη πλευρά, η χρήση ελεγχόμενου καυσίμου, σε σχέση με τη χρήση μιγμάτων από απορρίμματα, χαμηλά επίπεδα εκπομπών επιτυγχάνονται με σημαντικά χαμηλότερο κόστος. Προβλήματα ρύπανσης μπορούν να ελεγχθούν με την ποιότητα του καυσίμου (κατά κύριο λόγο με τη διατήρηση των συγκεντρώσεων Cl, K, Na και Al σε χαμηλά επίπεδα) και με τον σωστό σχεδιασμό του λέβητα και του φούρνου. Ορισμένα συστήματα λεβήτων και φούρνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ρευστοποιημένες κλίνες λόγω των περισσότερο σταθερών θερμοκρασιών και της παρουσίας του υλικού της κλίνης [IPPC, 2003a].

Οι τύποι λεβήτων ρευστοποιημένης κλίνης διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με τις διαφορετικές τεχνολογίες, ενώ οι διαφορετικοί σχεδιασμοί επηρεάζουν τη συμπεριφορά του λέβητα και την ποσότητα και είδος της παραγόμενης ενέργειας, σύμφωνα με τα ακόλουθα:

- Λέβητες παραγωγής 15-30MW_{th} και χαμηλής πίεσης ατμού

Αυτό το μέγεθος λέβητα δύναται να χρησιμοποιήσει περί τους 35.000-40.000 τόνους RDF ετησίως. Η ποσότητα της πρώτης ύλης μπορεί να προέρχεται από τα απορρίμματα που παράγονται από μια πόλη 150.000 κατοίκων. Η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να κυμαίνεται περί τις 150GWh, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία ή σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Οι λέβητες αυτού του μεγέθους έχουν παρόμοια λειτουργικά χαρακτηριστικά με λέβητες από 50 έως 100MW_{th}, ενώ έχουν σταθερή και ομοιόμορφη συμπεριφορά. Ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης αυτού του τύπου λέβητα κυμαίνεται μεταξύ 70 και 90% [IPPC, 2003a].

- Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 50-100MW_{th}

Σε περίπτωση που το μέγεθος του λέβητα είναι μεγαλύτερο από 30MW_{th}, η εύρεση κατάλληλου πελάτη για την τροφοδοσία τέτοιων ποσοτήτων θερμότητας είναι συχνά δύσκολη. Όταν είναι διαθέσιμοι περισσότεροι από 400.000 τόνοι καύσιμου υλικού (RDF), συνιστάται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, η οικονομικότητα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, και όχι της θερμότητας. Ο βαθμός ηλεκτρικής ενέργειας ενός σταθμού με καλά επίπεδα ελέγχου της ποιότητας της τροφοδοσίας μπορεί να ανέλθει ακόμα και στα επίπεδα από 30 έως 35%, με τυπική θερμοκρασία του παραγόμενου ατμού που κυμαίνεται μεταξύ 450 και 500°C. Η επίτευξη υψηλότερων βαθμών ηλεκτρικής απόδοσης οφείλεται στο γεγονός ότι η ποιότητα του καυσίμου είναι συνεχής και καλύτερα ελεγχόμενη, στη χρήση κατάλληλων υλικών για την πρόληψη φαινομένων διάβρωσης, καθώς και στο γεγονός ότι τα διαβρωτικά αέρια δε συναντούν τους σωλήνες του ατμού, από τη στιγμή που οι τελευταίοι σωλήνες βρίσκονται μετά από το διαχωρισμό των καυσαερίων και του ανακυκλοφορούμενου υλικού της κλίνης [IPPC, 2003a].

3.5.2 Πυρόλυση και αεριοποίηση απορριμμάτων

Η πυρόλυση και η αεριοποίηση των ΑΣΑ αποτελούν μια πολύ καλή εναλλακτική επιλογή καθώς περιορίζονται οι διαβρώσεις και οι εκπομπές, ενώ ο μικρότερος όγκος καυσαερίων οδηγεί σε αντίστοιχα μικρότερη διαστασιολόγηση αναφορικά με τα συστήματα καθαρισμού. Επιπροσθέτως, αυξάνεται η θερμογόνος ικανότητα του παραγόμενου αερίου, ενώ ο σχηματισμός θερμικών NO_x περιορίζεται. Οι τεχνολογίες αυτές βρίσκονται γενικά σε προκαταρκτικά βήματα και δεν εκτιμάται ότι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο άμεσο μέλλον [Malkow, 2004].

Η πυρόλυση αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία τα απορρίμματα καίγονται απουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό αερίου πυρόλυσης, του οποίου η θερμογόνος ικανότητα κυμαίνεται μεταξύ 5 και 15MJ/m³, και στερεού άνθρακα. Υπό μια ευρύτερη έννοια, η «πυρόλυση» περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό από διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνολογιών και οι οποίες, σε γενικές γραμμές, συνιστούν τα ακόλουθα τεχνολογικά στάδια [IPPC, 2003a]:

- Διεργασία καύσης με καπνό και χωρίς φλόγα (Smouldering): Σχηματισμός αερίου από αιωρούμενα σωματίδια απορριμμάτων σε θερμοκρασίες μεταξύ 400 και 600°C.
- Πυρόλυση: Θερμική αποδόμηση των απορριμμάτων σε θερμοκρασίες μεταξύ 500 και 800°C με παράλληλο σχηματισμό αερίου.
- Αεριοποίηση: Μετατροπή του ανθρακικού κλάσματος που παραμένει στον πυρολυτικό άνθρακα στους 800 με 1.000°C με τη βοήθεια κατάλληλου υποστρώματος (π.χ. αέρα ή ατμού) σε αέριο διεργασίας, το οποίο αποτελείται από CO και H₂.
- Καύση: Ανάλογα με τον συνδυασμό χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών, το αέριο και ο πυρολυτικός άνθρακας καίγονται σε θάλαμο καύσης.

Στη Γερμανία λειτουργούν ήδη δύο σταθμοί πυρόλυσης για την επεξεργασία ΑΣΑ, ενώ υπάρχουν και άλλα έργα στην Ευρώπη τα οποία δέχονται ειδικούς τύπους ή κλάσματα απορριμμάτων, συχνά έχοντας ήδη υποστεί κατάλληλη προεπεξεργασία [IPPC, 2003a].

3.5.2.1 Πυρόλυση

Οι μονάδες πυρόλυσης για την επεξεργασία απορριμμάτων συνίστανται σε δύο βασικά στάδια [IPPC, 2003a]:

1. Πυρόλυση των απορριμμάτων, όπου εκτός από το αέριο πυρόλυσης, σχηματίζεται και ένα στερεό ανθρακικό υπόλειμμα.
2. Δευτερογενής επεξεργασία του πυρολυτικού αερίου και του υπολείμματος, μέσω συμπύκνωσης των αερίων και της εξαγωγής του ενεργειακά χρήσιμου μίγματος ελαίων και την καύση του αερίου και του υπολείμματος για την καταστροφή των οργανικών συστατικών με την ταυτόχρονη εκμετάλλευση ενέργειας.

Σε γενικές γραμμές, η θερμοκρασία του σταδίου της πυρόλυσης βρίσκεται μεταξύ 400 και 700°C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (περί τους 250°C), λαμβάνουν χώρα άλλες αντιδράσεις, έως έναν βαθμό, ενώ το στάδιο αυτό καλείται «μετατροπή». Τα κύρια πλεονεκτήματα της πυρόλυσης αφορούν τα εξής [IPPC, 2003a]:

- Πιθανή ανάκτηση υλικών
- Πιθανότητα για αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης ή αεριοστροβίλων
- Περιορισμένοι όγκοι καυσαερίων.

Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία της πυρόλυσης είναι πιθανό να παρουσιάσει σημαντικά λειτουργικά προβλήματα τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αποτυχία του συστήματος τροφοδοσίας στον έλεγχο και διασφάλιση των προδιαγραφών καθαρότητας του εισερχόμενου ρεύματος και την αποτυχία ως προς την παραγωγή πυρολυτικού ελαίου με τις επιθυμητές ιδιότητες, με συνέπεια να καθίσταται λιγότερο αποτελεσματική [Tchobanoglous et al, 1993].

3.5.2.2 Αεριοποίηση

Υπάρχουν αρκετές διεργασίες αεριοποίησης είτε διαθέσιμες για εμπορική εφαρμογή είτε σε στάδιο ανάπτυξης οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες για την επεξεργασία ΑΣΑ. Γενικά, η διατήρηση της φύσης της τροφοδοσίας των απορριμμάτων εντός συγκεκριμένων προκαθορισμένων ορίων έχει ιδιαίτερη σημασία. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για ειδική προεπεξεργασία των ΑΣΑ.

Οι κυριότεροι τύποι αεριοποιητών φαίνονται στον πίνακα 3.1:

| Πίνακας 3.1: Διαθέσιμοι τύποι αεριοποιητών [Bridgewater, 2001, Stiegel and Maxwell, 2001, Lefcort, 1995, McKendry, 2002] | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Τύπος αντιδραστήρα | Χαρακτηριστικά σχετικής κίνησης αντιδρώντων - προϊόντων |
| <u>Σταθερής κλίνης</u> Καθοδικής ροής (Downdraft) Ανοδικής ροής (Updraft) Παράλληλης ροής (Co-current) Αντίθετης ροής (Counter-current) Διασταυρούμενης ροής (Cross-current) Παραλλαγές | Καθοδική κίνηση στερεού, καθοδική κίνηση αερίου, π.χ. παράλληλη ροή Καθοδική κίνηση στερεού, ανοδική κίνηση αερίου, π.χ. αντίθετη ροή Στερεό και αέριο κινούνται στην ίδια διεύθυνση, π.χ. καθοδικά αλλά και τα δύο μπορούν να κινηθούν ανοδικά Στερεό και αέριο κινούνται σε αντίθετες διευθύνσεις, π.χ. ανοδικά αλλά οι ροές μπορούν να αντιστραφούν. Στερεό κινείται καθοδικά, το αέριο κινείται σε υπό θετικές γωνίες, π.χ. οριζόντια Αναμειγνυόμενη κλίνη, αεριοποιητής δύο σταδίων. |
| <u>Κινούμενης κλίνης</u> Παραλλαγές | Μηχανική μεταφορά των στερεών, συνήθως οριζόντια. Χρησιμοποιείται κυρίως σε διεργασίες χαμηλών θερμοκρασιών όπως η πυρόλυση. Πολλαπλές εστίες καύσης, οριζόντια κινούμενη κλίνη, κεκλιμένη εστία καύσης, κοκλιωτός κλίβανος |
| <u>Ρευστοποιημένης κλίνης</u> Με φυσαλίδες (Bubbling bed) Τυρβώδους ροής (Circulating bed) Ενσωματωμένης ροής (Entrained bed) Περιστρεφόμενης ροής (Twin reactor) | Σχετικά χαμηλές ταχύτητες αερίου, τα αδρανή στερεά παραμένουν εντός του αντιδραστήρα. Τα αδρανή στερεά εξάγονται, διαχωρίζονται και ανακυκλοφορούν Συνήθως δεν υπάρχουν αδρανή υλικά, εμφανίζει τις υψηλότερες ταχύτητες και μπορεί να λειτουργήσει ως κυκλωνικός αντιδραστήρας Αεριοποίηση μέσω ατμού και / ή πυρόλυση πραγματοποιούνται στον πρώτο αντιδραστήρα και το παραγόμενο στερεό οδηγείται στον δεύτερο αντιδραστήρα όπου καίγεται για να θερμάνει το μέσω ρευστοποίησης για ανακυκλοφορία. Μια ρευστοποιημένη κλίνη φυσαλίδων χρησιμοποιείται συνήθως ως καυστήρας. |
| <u>Άλλοι τύποι</u> Περιστρεφόμενος κλίβανος (Rotary kiln) Αντιδραστήρες κυκλωνικοί ή δίνης (Cyclonic - Vortex reactors) Ταχεία πυρόλυση υψηλής θερμοκρασίας | Παρέχει καλή επαφή στερεού - αερίου Επιβάλλει τριβή και μείωση μεγέθους μέσω υψηλών ταχυτήτων σωματιδίων με αποτέλεσμα υψηλούς ρυθμούς αντίδρασης Τα στερεά και τα αέρια κινούνται κατά την ίδια διεύθυνση |

Τα χαρακτηριστικά της αεριοποίησης συνοψίζονται ως εξής [IPPC, 2003a]:

- Μικρότεροι όγκοι αερίων σε σύγκριση με τους αντίστοιχους όγκους που παράγονται από τη διεργασία της καύσης
- Κύριος σχηματισμός CO αντί για CO₂
- Υψηλές πιέσεις λειτουργίας (σε ορισμένες διεργασίες)
- Συσσώρευση στερεών υπολειμμάτων

- Μικρά και συμπαγή μίγματα αδρανών υλικών
- Χρήση και ενεργειακή αξιοποίηση του συνθετικού αερίου
- Μικρότερη ροή υγρών αποβλήτων από το στάδιο του καθαρισμού των καυσαερίων.

3.5.3 Συνδυασμοί διεργασιών

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για διεργασίες που συνίστανται σε έναν συνδυασμό από διαφορετικές θερμικές διεργασίες. Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες πυρόλυσης και αεριοποίησης βρίσκονται σε πρώιμα στάδια, εφαρμογές μεγάλης κλίμακας που συνδυάζονται με τη διεργασία της καύσης αποτελούν μια πραγματικότητα, όπως η μονάδα πυρόλυσης ισχύος 2,2MW_e που λειτουργεί από το 1983 στη Burgau-Unterknöringen της Γερμανίας, ή η μονάδα πυρόλυσης δυναμικότητας 100.000 τόνων ετησίως στο Westfalen της Γερμανίας που είναι υπό κατασκευή, ενώ τα ακόλουθα επιδεικτικά έργα αεριοποίησης σε ρευστοποιημένη κλίνη συνεχίζονται [Malkow, 2004]:

- μονάδα αεριοποίησης ισχύος 15MW_{th} δυναμικότητας επεξεργασίας 200 τόνων RDF ημερησίως στην Grève-in-Chianti της Ιταλίας από την TPS Termiska Processer AB
- μονάδα αεριοποίησης βιομάζας ισχύος 10MW_{th} από την Austrian Energy Energietechnik GmbH, θυγατρική της Babcock Borsig Power GmbH, στην Zeltweg της Αυστρίας
- μονάδα αεριοποίησης ισχύος 100MW_{th} που τροφοδοτείται και με RDF από την Lurgi Energie und Umwelt GmbH στον κλίβανο της τσιμεντοβιομηχανίας Zementwerke Rüdersdorf GmbH
- μονάδα πιεστικής αεριοποίησης RDF ισχύος 6MW_e / 9MW_{th} από την Foster Wheeler Energia Oy στον σταθμό IGCC της Bioflow Ltd. στο Värnamo της Σουηδίας (σχήμα 3.5)
- μονάδα αεριοποίησης RDF ισχύος 45MW_{th} από την Foster Wheeler Energia Oy στον σταθμό συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 167MW_e / 240MW_{th} της Lahden Lampronoima Oy στο Lahti της Φινλανδίας
- μονάδα συν-αεριοποίησης υψηλής θερμοκρασίας της Rheinbraun AG στο Hürth-Berrenrath της Γερμανίας.



Σχήμα 3.5: Μονάδα πιεστικής αεριοποίησης στο Värnamo της Σουηδίας [Rensfelt, 2003]

3.5.3.1 Πυρόλυση - καύση

Ακολούθως παρατίθενται ορισμένες τεχνικές οι οποίες βρίσκονται σε διάφορα στάδια ανάπτυξης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία ΑΣΑ [Malkow, 2004]:

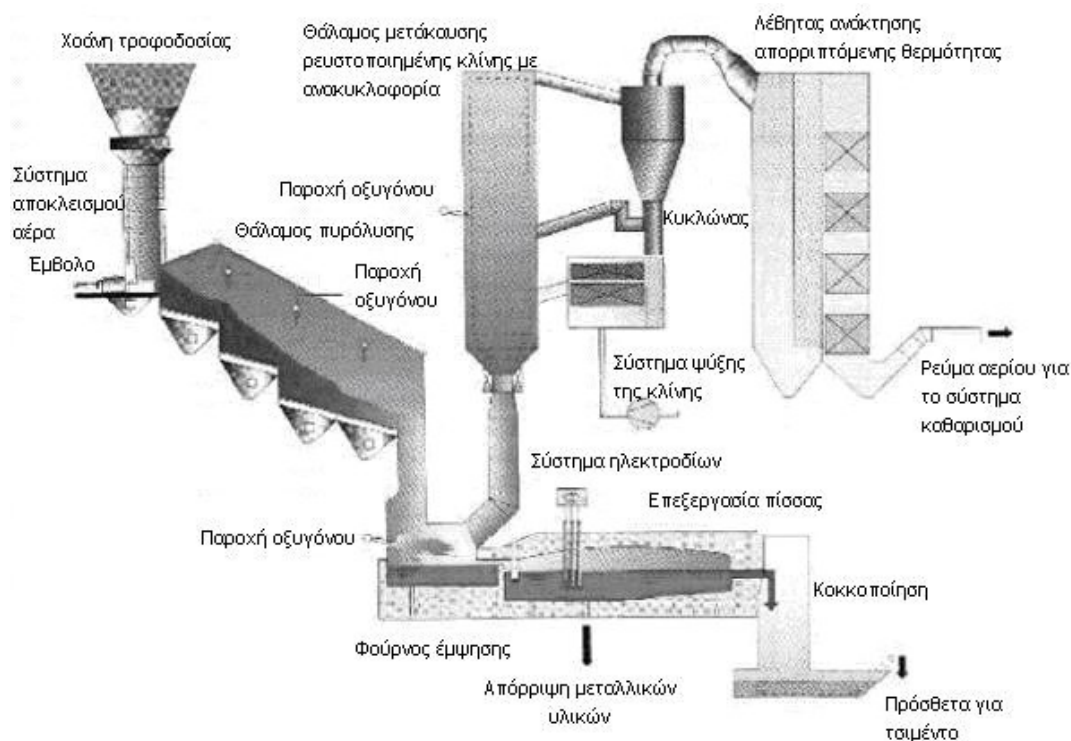
- Διεργασία Smoulder-burn: Περιλαμβάνει την πυρόλυση σε έναν κλίβανο τύπου τυμπάνου με επακόλουθη καύση σε υψηλή θερμοκρασία του αερίου πυρόλυσης και του πυρολυτικού άνθρακα.
- Διεργασία PyroMelt: Περιλαμβάνει την πυρόλυση σε έναν κλίβανο τύπου τυμπάνου, που ακολουθείται από συμπύκνωση των αερίων πρισών και ελαίων, καύση σε υψηλή θερμοκρασία του αερίου πυρόλυσης, του πυρολυτικού ελαίου και του πυρολυτικού άνθρακα.
- Διεργασία Duotherm: Περιλαμβάνει πυρόλυση σε εσχάρα συνδεδεμένη άμεσα με καύση σε υψηλή θερμοκρασία.

Τα στερεά υπολείμματα από τις διεργασίες αυτές είναι κοκκώδη, γεγονός το οποίο τους δίνει πλεονεκτήματα για την μετέπειτα επαναχρησιμοποίησή τους ή τελική απόθεση.

Η διεργασία PyroMelt βασίζεται στις ίδιες αρχές με την Smoulder-burn, ωστόσο διαφέρουν μεταξύ τους στα εξής κύρια σημεία: Τα αέρια πυρόλυσης ψύχονται με την έξοδό τους από τον κλίβανο τύπου τυμπάνου για την απομάκρυνση ελαίων, σκόνης και νερού. Το γεγονός αυτό ακολουθείται από οξειδωτική επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία σε ειδικό φούρνο (Kubota-Surface-Melting-Furnace, KSMF), όπου τα προϊόντα της πυρόλυσης καίγονται και τα στερεά υπολείμματα μετατρέπονται σε υγρό τήγμα [Malkow, 2004].

Η διεργασία Duotherm αναπτύχθηκε με βάση τη συμβατική μέθοδο καύσης σε εσχάρα, για την παραγωγή όμως ενός υγρού τήγματος. Τα απορρίμματα πυρολύονται σε εσχάρα με άμεση θέρμανση. Η θερμότητα αυτή προέρχεται από τη μερική καύση των αερίων πυρόλυσης σε καθαρό οξυγόνο. Σε ένα δεύτερο στάδιο, τα προϊόντα, αέριο πυρόλυσης, ανθρακικό υπόλειμμα και αδρανές ουσίες, καίγονται ή τήκονται αντίστοιχα, σε υψηλές θερμοκρασίες σε έναν άμεσα συνδεδεμένο κλίβανο τύπου τυμπάνου. Το συσσωρευόμενο τηγμένο υπόλειμμα περιέχει γυαλί, πέτρες, μέταλλα και άλλα αδρανή υλικά και διαφέρει από το αντίστοιχο προϊόν της διεργασίας Smoulder-burn. Από τη διεργασία Duotherm προέρχεται και η διεργασία RCP (Recycled Clean Products Process), η οποία απεικονίζεται στο σχήμα 3.6 [Malkow, 2004].

Η τηγμένη τέφρα έχει απεμπλουτιστεί από μεταλλικά συστατικά και αναβαθμιστεί σε πρόσθετο τσιμέντου κατόπιν ειδικού δευτεροβάθμιου σταδίου επεξεργασίας (HSR - Holderbank-melt-redox). Στην Γερμανία, η διεργασία RCP εφαρμόζεται σήμερα για πρώτη φορά σε βιομηχανική κλίμακα σε σταθμό δυναμικότητας 90.000 τόνων ετησίως συνδεδεμένο με υφιστάμενη εγκατάσταση καύσης ΑΣΑ στην πόλη Bremerhaven [Malkow, 2004], ενώ το κόστος της επένδυσης ανήλθε περί τα 88 εκατομμύρια € [IPPC, 2003a].



Σχήμα 3.6: Διεργασία RCP [Richers et al, 1999]

3.5.3.2 Πυρόλυση - αεριοποίηση

Οι διεργασίες αεριοποίησης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο διαφορετικούς τύπους [IPPC, 2003a]:

- Αποσυνδεδεμένες (πυρόλυση με επακόλουθη αεριοποίηση, διεργασία μετατροπής)
- Άμεσα συνδεδεμένες διεργασίες (π.χ. Thermoselect).

Στη διεργασία μετατροπής, τα μέταλλα και, εφόσον απαιτείται, αδρανή υλικά μπορούν να απομακρύνονται μετά το στάδιο της πυρόλυσης. Καθώς το αέριο πυρόλυσης και ο πυρολυτικός άνθρακας απαιτούν επαναθέρμανση κατά τη διεργασία της αεριοποίησης, οι τεχνικές και ενεργειακές απαιτήσεις είναι υψηλότερες σε σύγκριση με συνδεδεμένες διεργασίες. Ο συμπιεσμένος ατμός εκτόνωσης επεξεργάζεται ως υγρό απόβλητο και απορρίπτεται. Κατά τη διεργασία αυτή τα απορρίμματα πρέπει να τεμαχιστούν και να ξηρανθούν πριν τη χρήση τους στο πρώτο θερμικό στάδιο, το οποίο αντιστοιχεί σε αυτό της διεργασίας Smoulder-burn. Τα μετέπειτα στάδια είναι τα εξής:

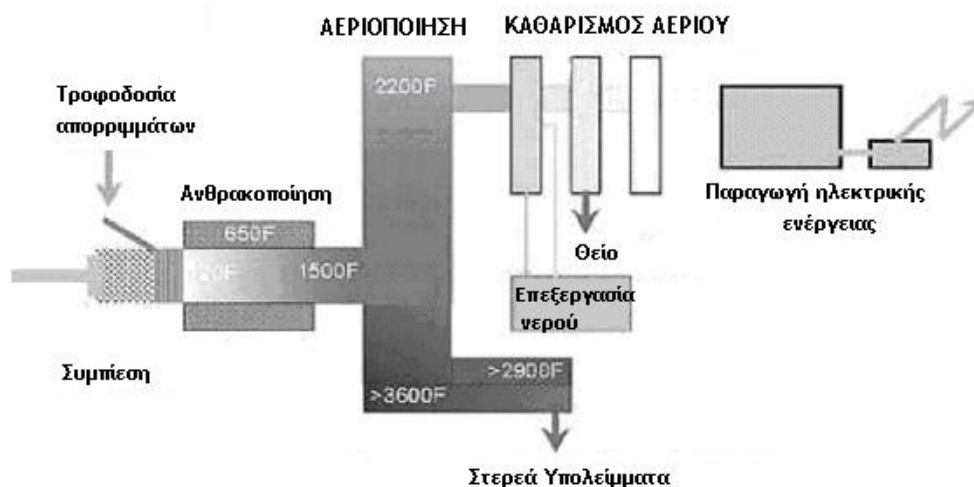
- Πυρόλυση στο τύμπανο
- Απομάκρυνση των στερεών υπολειμμάτων
- Διαχωρισμός του καθαρού κλάσματος το οποίο είναι εμπλουτισμένο με άνθρακα
- Κατάταξη του κλάσματος μετάλλων και αδρανών.

Το αέριο πυρόλυσης ψύχεται για να συμπυκνώσει τον ατμό και το πυρολυτικό έλαιο και στη συνέχεια τροφοδοτείται μαζί με το πυρολυτικό έλαιο και το καθαρό κλάσμα σε ένα δεύτερο θερμικό στάδιο, έναν αεριοποιητή κατ' ομορροή. Το έλαιο και το καθαρό κλάσμα αεριοποιούνται σε υψηλή πίεση και σε θερμοκρασία 1.300°C. Το συνθετικό αέριο που σχηματίζεται καθαρίζεται και καίγεται για ανάκτηση ενέργειας. Τα στερεά υπολείμματα απομακρύνονται και είναι αντίστοιχα σε τύπο και ποιότητα με αυτά από τη διεργασία Smoulder-burn.

Πρόσφατα εγκρίθηκε στην πόλη Northeim η κατασκευή ενός σταθμού μετατροπής για την επεξεργασία 100.000 τόνων ΑΣΑ και 16.000 τόνων ξηρής ιλύος αστικών λυμάτων ετησίως [IPPC, 2003a].

Από την άλλη πλευρά, με την άμεση σύνδεση, όπως γίνεται με τη μέθοδο Thermoselect, λαμβάνει χώρα καλύτερη χρήση ενέργειας, αν και τα μέταλλα και τα αδρανή υλικά δεν αξιοποιούνται καθόλου. Στη διεργασία Thermoselect (σχήμα 3.7) τα μη τεμαχισμένα απορρίμματα ξηραίνονται σε κλίβανο και πυρολύονται μερικώς. Από τον φούρνο αυτόν μεταφέρονται άμεσα και χωρίς ενδιάμεση διακοπή σε έναν αεριοποιητή κλίνης με πληρωτικό υλικό, στον οποίο η θερμοκρασία κυμαίνεται περί τους 2.000°C παρουσία οξυγόνου [Malkow, 2004]. Το συνθετικό αέριο υπόκειται σε καθαρισμό και καίγεται προκειμένου να αξιοποιηθεί το ενεργειακό του περιεχόμενο. Τα υπολείμματα, κατά κύριο λόγο στερεά, απομακρύνονται από τον αντιδραστήρα ως τήγματα.

Μια τέτοια μονάδα επεξεργασίας 108.000 τόνων ΑΣΑ ετησίως από την περιοχή Ansbach είναι υπό κατασκευή [IPPC, 2003a], αν και σύμφωνα με τον Malkow, το έργο αυτό φαίνεται να ματαιώνεται, ενώ ένας ακόμα σταθμός δυναμικότητας 225.000 τόνων ετησίως έχει ήδη κατασκευαστεί στην Karlsruhe [IPPC, 2003a], στον οποίο χορηγήθηκαν πρόσφατα οι απαιτούμενες αδειοδοτήσεις. Επιπροσθέτως, μια ακόμα μονάδα με δυναμικότητα σχεδιασμού 150 τόνων ημερησίως βρίσκεται σε λειτουργία σήμερα στην Ιαπωνία, ενώ αρκετά άλλα έργα είναι σε στάδια ανάπτυξης. Τέλος, η λειτουργία μιας μονάδας δυναμικότητας 90.000 τόνων ετησίως έχει προγραμματιστεί εντός του 2004 στην πόλη Hanau της Γερμανίας [Malkow, 2004].



Σχήμα 3.7: Διεργασία Thermoselect [Malkow, 2004]

3.5.3.3 Πυρόλυση σε συνδυασμό με μονάδα παραγωγής ενέργειας

Αυτός ο τύπος μονάδας έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να προστεθεί σε υφιστάμενη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνίσταται από δύο μονάδες κλιβάνων τύπου τυμπάνου με προβλεπόμενη ετήσια τροφοδότηση περί τους 50.000 τόνους ΑΣΑ η κάθε μία. Ο υφιστάμενος λέβητας θα τροφοδοτείται σε πλήρες φορτίο από πυρολυτικά υποκαθιστώμενα καύσιμα σε ποσοστό έως και 10% [IPPC, 2003a].

3.6 Συστήματα ανάκτησης ενέργειας

Όλες οι νέες μονάδες καύσης που βρίσκονται είτε σε στάδιο κατασκευής είτε υπό ανάπτυξη προβλέπουν την ανάκτηση κάποιας μορφής ενέργειας προκειμένου να εξισορροπηθεί το λειτουργικό κόστος και να περιοριστεί η επιβάρυνση λόγω της εγκατάστασης εξοπλισμού ελέγχου των αερίων εκπομπών [Tchobanoglous et al, 1993]. Η καύση αποτελεί μια εξώθερμη διεργασία κατά την οποία το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας μεταφέρεται μέσω των καυσαερίων. Τα καυσαέρια αυτά ψύχονται έτσι ώστε να λάβει χώρα ο καθαρισμός τους πριν την τελική τους απόρριψη στην ατμόσφαιρα. Σε εγκαταστάσεις οι οποίες δε διαθέτουν συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τα καυσαέρια ψύχονται με ψεκάσμο νερού, αέρα ή με συνδυασμό και των δύο. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιείται λέβητας, ο οποίος μπορεί να έχει δύο αλληλένδετες λειτουργίες [IPPC, 2003a]:

- Ψύξη των καυσαερίων
- Μεταφορά θερμότητας από τα καυσαέρια σε ένα άλλο ρευστό, συνήθως νερό, το οποίο, τις περισσότερες περιπτώσεις, μετατρέπεται εντός του λέβητα σε ατμό.

Τα χαρακτηριστικά του ατμού (πίεση και θερμοκρασία) καθορίζονται από τις τοπικές απαιτήσεις σε ενέργεια καθώς και λειτουργικούς περιορισμούς. Ο σχεδιασμός του λέβητα εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά του ατμού και των καυσαερίων. Ανάλογα με τη φύση των απορριμμάτων που υφίστανται τη διεργασία της καύσης και το σχεδιασμό του κλιβάνου, είναι δυνατή η παραγωγή επαρκών ποσοτήτων θερμότητας για τη διατήρηση της διεργασίας της καύσης. Οι θερμοκρασίες, οι χρόνοι παραμονής των καυσαερίων και η επιτυχανόμενη ανάμιξη πρέπει να επαρκούν έτσι ώστε να διασφαλίζεται η καταστροφή των πτητικών ουσιών και των προϊόντων της ατελούς καύσης. Τα θερμά καυσαέρια ύστερα πρέπει να ψυχθούν για την περαιτέρω αποτελεσματική τους επεξεργασία σε κατάλληλο εξοπλισμό. Η ψύξη αυτή περιλαμβάνει μια διεργασία εναλλαγής θερμότητας η οποία μπορεί να οδηγήσει στην ανάκτηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας, συνήθως μέσω συστημάτων λεβήτων [IPPC, 2003a].

Η μεταφερόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε εντός της εγκατάστασης είτε σε εξωτερικές διεργασίες. Συνήθως, η θερμότητα και ο ατμός χρησιμοποιούνται για βιομηχανικές χρήσεις ή σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η θερμότητα που προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ και χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση ανέρχεται σε 10% περίπου επί του συνόλου των αντίστοιχων εφαρμογών [Constantinescu, 2003].

Αντίθετα, η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται προς κατανάλωση μέσω των εθνικών δικτύων μεταφοράς.

Γενικά, το είδος και η τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας που εφαρμόζεται ανά εγκατάσταση εξαρτάται από τις επιθυμητές χρήσεις. Έτσι, για παράδειγμα, στις Σκανδιναβικές χώρες το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που ανακτάται χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού σε εφαρμογές τηλεθέρμανσης. Στις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης προτιμάται η ανάκτηση ενέργειας με τη μορφή ατμού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πάντως, οι σύγχρονες τάσεις οδηγούν στην εφαρμογή συνδυασμένων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας με τα οποία βελτιστοποιείται η παραγωγή τόσο θερμικής όσο και ηλεκτρικής ενέργειας [Rylander and Haukoivu, 2002].

3.6.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό ενεργειακής απόδοσης

Τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων απορριμμάτων στην εγκατάσταση καθορίζουν τις κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας τους και το βαθμό στον οποίο είναι εφικτή η ανάκτηση ενέργειας. Τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων που τροφοδοτούνται στις εγκαταστάσεις μπορούν να επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως η μεθοδολογία συλλογής των απορριμμάτων, πολιτικές που σχετίζονται με την επεξεργασία συγκεκριμένων ρευμάτων απορριμμάτων καθώς και τις τεχνολογίες επεξεργασίας τους.

Κατά τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης μιας διεργασίας καύσης είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι ενεργειακές ροές του συστήματος. Στην περίπτωση της θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ είναι συνήθως δύσκολη η αποτίμηση του βαθμού απόδοσης λόγω των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τη θερμογόνο ικανότητα των κύριων ενεργειακών ρευμάτων. Η απόδοση μιας διεργασίας θερμικής επεξεργασίας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση της παραγόμενης ενέργειας. Όπου δεν υπάρχει εξωτερική ζήτηση για την ενέργεια, ένα ποσοστό αυτής χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της διεργασίας της καύσης και τη μείωση των ποσοτήτων της εισαγόμενης ενέργειας σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Γενικά, σε μια τέτοια εγκατάσταση οι ιδιοκαταναλώσεις είναι δυνατόν να αντιπροσωπεύουν ακόμα και 10% της παραγόμενης ενέργειας. Η ενέργεια που απομένει στα καυσαέρια πρέπει να απορρίπτεται με κάποιον τρόπο, με αποτέλεσμα τη χρήση συστημάτων ψύξης.

Τέλος, σημειώνεται ότι οι διεργασίες που χωροθετούνται με βάση τη σύνδεση με τα δίκτυα μεταφοράς της ενέργειας μεγιστοποιούν τον συνολικό βαθμό απόδοσης των εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας [IPPC, 2003a].

3.6.2 Χρησιμοποιούμενες τεχνικές για τη βελτιστοποίηση της ανάκτησης ενέργειας

3.6.2.1 Προεπεξεργασία απορριμμάτων

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες για την προεπεξεργασία των απορριμμάτων που σχετίζονται με την ανάκτηση ενέργειας: η ομογενοποίηση και η απόσπαση / διαχωρισμός (extraction / separation).

Κατά την ομογενοποίηση, τα απορρίμματα που τροφοδοτούνται στην εγκατάσταση αναμιγνύονται χρησιμοποιώντας φυσικές μεθόδους προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ρεύμα με ομοιόμορφες

ιδιότητες. Το κύριο πλεονέκτημα που επιτυγχάνεται εντοπίζεται στη βελτίωση της σταθερότητας της διεργασίας, η οποία με τη σειρά της επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού αναφορικά με τα μετέπειτα στάδια και τη γενικότερη λειτουργία της διεργασίας.

Η απόσπαση / διαχωρισμός περιλαμβάνει την απομάκρυνση συγκεκριμένων κλασμάτων από τα απορρίμματα πριν την τροφοδοσία τους στον θάλαμο καύσης.

Οι συγκεκριμένες τεχνικές κυμαίνονται μεταξύ των εκτεταμένων φυσικών μεθόδων για την παραγωγή του RDF και της ανάμιξης υγρών αποβλήτων για την επίτευξη συγκεκριμένων προδιαγραφών ποιότητας, έως και τον απλούστερο εντοπισμό και απομάκρυνση μεγάλων τεμαχίων που δεν είναι κατάλληλα για θερμική επεξεργασία, όπως είναι τα μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα [IPPC, 2003a].

Ως κύρια πλεονεκτήματα πρέπει να αναφερθούν τα ακόλουθα [IPPC, 2003a]:

- Αυξημένη ομογενοποίηση, ανάλογα και με τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους προεπεξεργασίας των απορριμμάτων
- Απομάκρυνση αντικειμένων ακατάλληλων για θερμική επεξεργασία, γεγονός το οποίο συνιστά στην αύξηση της θερμογόνου ικανότητας του εναπομείναντος κλάσματος
- Πιθανή χρήση ρευστοποιημένων κλινών ή άλλων τεχνικών που είναι δυνατόν να βελτιώσουν τον βαθμό απόδοσης της καύσης.

Οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές που αναφέρθηκαν ανωτέρω αυξάνουν τον συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης, καθώς μεταβάλλουν σημαντικά τη φύση των απορριμμάτων που τροφοδοτούν την διεργασία. Με το γεγονός αυτό είναι δυνατός ο σχεδιασμός της με βάση αυστηρότερες προδιαγραφές, συνεισφέροντας αντίστοιχα στη βελτιστοποίηση της απόδοσης, αν και είναι δυνατό να μειωθεί η ευελιξία της διεργασίας.

3.6.2.2 Προθέρμανση αέρα καύσης

Η προθέρμανση του αέρα καύσης έχει ευεργετικές συνέπειες και συνεισφέρει στην καύση απορριμμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Ο προθερμασμένος αέρας ξηραίνει τα απορρίμματα, διευκολύνοντας την έναυσή τους [IPPC, 2003a].

3.6.2.3 Επανατροφοδότηση καυσαερίων

Ένα ποσοστό των καυσαερίων (από 10 έως 20% κ.ό.) επανατροφοδοτείται στον θάλαμο καύσης αντικαθιστώντας δευτερεύοντα αέρα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των απωλειών θερμότητας μέσω των καυσαερίων και την αύξηση του συνολικού βαθμού απόδοσης κατά 0,75% περίπου. Έχουν επίσης αναφερθεί και επιπρόσθετα πλεονεκτήματα, μέσω της μείωσης των πρωτογενών NO_x [IPPC, 2003a].

3.6.2.4 Επαναθέρμανση καυσαερίων

Ορισμένες τεχνικές επεξεργασίας καυσαερίων απαιτούν την επαναθέρμανσή τους έτσι ώστε να αυξάνεται η απόδοσή τους. Για παράδειγμα, τα συστήματα Επιλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Catalytic Reduction - SCR) και τα σακόφιλτρα απαιτούν συνήθως θερμοκρασίες στην περιοχή των 250°C και 150°C αντίστοιχα.

Η ενέργεια για τη θέρμανση των καυσαερίων μπορεί να ληφθεί είτε από εξωτερικές πηγές ή μέσω της χρήσης της παραγόμενης θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση εναλλακτών θερμότητας για την επαναδέσμευση της θερμότητας περιορίζει την ανάγκη για τροφοδότηση από εξωτερικές πηγές. Αυτό συνήθως γίνεται σε περιπτώσεις όπου στο επόμενο στάδιο της διεργασίας δεν απαιτείται η θερμοκρασία των καυσαερίων να είναι τόσο υψηλή όσο στο προηγούμενο [Brereton, 1996].

3.7 Επεξεργασία καυσαερίων

Η λειτουργία των συστημάτων ανάκτησης θερμότητας προκαλεί σημαντική επίπτωση στο περιβάλλον, όπως εκπομπές αερίων ρύπων και σωματιδίων. Τα καυσαέρια που εκλύονται κατά τη διεργασία της αποτέφρωσης ΑΣΑ δύνανται να περιέχουν τους ακόλουθους τύπους ρυπογόνων ενώσεων [Brereton, 1996]:

- Αιωρούμενα σωματίδια
- Αέρια οξέων (π.χ. SO₂, HCl, HF, NO_x)
- Προϊόντα ατελούς καύσης (π.χ. CO)
- Βαρέα μέταλλα σε ποικίλες χημικές μορφές (π.χ. Pb, Cd, Tl, As, Co, Ni, Se, Te, Sb, Cr, Cu, Mn και V)
- Πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs)
- Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)
- Πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες και πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια (PCDDs και PCDFs).

Τα επίπεδα των ουσιών αυτών, καθώς και τα επιτρεπτά όρια εκπομπών για κάθε κατηγορία ρύπων καθορίζει τις εκάστοτε χρησιμοποιούμενες τεχνικές επεξεργασίας των καυσαερίων.

3.7.1 Τεχνικές μείωσης αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια σχηματίζονται για διάφορους λόγους, όπως η ατελής καύση του καυσίμου και λόγω των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των άκαυστων υλικών που βρίσκονται στο ρεύμα της τροφοδοσίας [Tchobanoglous et al, 1993]. Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για τον καθαρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων από το ρεύμα των καυσαερίων καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τα ακόλουθα [IPPC, 2003a]:

- Φορτίο σωματιδιακών ρύπων στο ρεύμα των καυσαερίων

- Μέσο μέγεθος σωματιδίων
- Κατανομή μεγέθους σωματιδίων
- Μέγεθος ρεύματος τροφοδοσίας
- Θερμοκρασία καυσαερίων
- Συμβατότητα με άλλα συστατικά του συνολικού συστήματος καθαρισμού
- Επιθυμητές συγκεντρώσεις εξόδου.

Επιπλέον, οι διαθέσιμες επιλογές για την επεξεργασία ή τη διάθεση των κατακρατούμενων υλικών μπορεί να αποτελεί μια επιπρόσθετη παράμετρο. Οι μέθοδοι αντιρρύπανσης για την απομάκρυνση της σκόνης και τον καθαρισμό των καυσαερίων που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης ΑΣΑ είναι [IPPC, 2003a]:

- Κυκλώνες και πολυκυκλώνες,
- Ηλεκτρόφιλτρα (ξηρά ή υγρά) και
- Σακόφιλτρα.

Το βασικότερο πλεονέκτημα από τη χρήση τέτοιων συστημάτων έγκειται στον περιορισμό των σωματιδιακών φορτίων από τα μετέπειτα στάδια καθαρισμού των καυσαερίων.

3.7.1.1 Κυκλώνες - πολυκυκλώνες

Οι κυκλώνες αποτελούν διατάξεις καθαρισμού με σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργικές δαπάνες [Vesilind and Rimer, 1982] που χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της απλής αρχής λειτουργίας τους και της υψηλής αξιοπιστίας τους. Η λειτουργία τους βασίζεται στις φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργούνται μέσω της κατάλληλης προσαγωγής του αερίου ρεύματος. Η πτώση πίεσης που επιτυγχάνεται σε έναν κυκλώνα κυμαίνεται μεταξύ 500 και 3.000Pa [Achternbosch and Richers, 2002].

Αναφορικά με την απόδοση των κυκλώνων, η οποία εξαρτάται από την κοκκομετρία των σωματιδίων, την πυκνότητα και την παροχή τους, αξίζει να αναφερθεί ότι σε γενικές γραμμές επιτυγχάνονται συγκεντρώσεις όχι μικρότερες από 200-300mg/m³ [IPPC, 2003a]. Γενικά, είναι εφικτός ο διαχωρισμός περίπου 80% της περιεχόμενης σκόνης στο ρεύμα των αερίων που παράγεται σε μια μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ [Achternbosch and Richers, 2002], γι' αυτό άλλωστε και δεν προτείνεται η χρήση των κυκλώνων ως η μοναδική διάταξη καθαρισμού.

Αντίθετα, με τη χρήση πολυκυκλώνων, οι οποίοι βασίζονται στην ίδια αρχή με τους κυκλώνες, είναι εφικτή η επίτευξη συγκεντρώσεων μεταξύ 100 και 150mg/m³ [IPPC, 2003a].

3.7.1.2 Ηλεκτροστατικά φίλτρα

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα βασίζονται στη δημιουργία ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ ηλεκτροδίων με αποτέλεσμα την έλξη των σωματιδίων [Achternbosch and Richers, 2002,

Tchobanoglous et al, 1993]. Η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 40.000 και 80.000V και επιδρά άμεσα στην απόδοση του φίλτρου [Vesilind and Rimer, 1982].

Τα ηλεκτρόφιльтра παρουσιάζουν προβλήματα στην επίτευξη των επιθυμητών ορίων εκπομπών όταν χρησιμοποιούνται ως μοναδική μέθοδος, με αποτέλεσμα να επιβάλλεται η συνδυασμένη χρήση τους με άλλες τεχνικές. Επίσης, τα ηλεκτρόφιльтра επιτυγχάνουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις σωματιδίων σε σχέση με τους κυκλώνες και τους πολυκυκλώνες. Στην πράξη απόδοσή τους αναφορικά με την κατακράτηση της σκόνης κυμαίνεται περί το 99% [Achterbosch and Richers, 2002]. Ανάλογα με τον σχεδιασμό του συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων, οι συγκεντρώσεις της σκόνης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25mg/m³, ωστόσο το κόστος για υψηλότερη απόδοση αυξάνει δραματικά και η τεχνολογία καθίσταται αντικοοικονομική [IPPC, 2003a]. Συγχρόνως, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλή πτώση πίεσης η οποία κυμαίνεται μεταξύ 50 και 300Pa [Achterbosch and Richers, 2002].

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα παρέχουν σχεδόν σταθερή απόδοση για όλο το εύρος των μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων. Η απόδοση των ηλεκτροστατικών φίλτρων επηρεάζεται κυρίως από χαρακτηριστικά του αερίου ρεύματος και την ηλεκτρική αντίσταση της σκόνης, η οποία εξαρτάται από τη σύσταση των απορριμμάτων [Tchobanoglous et al, 1993]. Κατά συνέπεια, είναι πιθανή η εμφάνιση ραγδαίων μεταβολών με τη μεταβολή της σύστασης των απορριμμάτων [IPPC, 2003a].

3.7.1.3 Υγρά ηλεκτροστατικά φίλτρα

Τα υγρά ηλεκτροστατικά φίλτρα βασίζονται στην ίδια τεχνολογική αρχή λειτουργίας με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Ωστόσο, η σκόνη που καθιζάνει στις πλάκες συλλογής καθαρίζεται με τη χρήση ενός υγρού, το οποίο είναι συνήθως νερό. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε σε συνεχή βάση είτε περιοδικά. Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε περιπτώσεις όπου υγρασία ή ψυχρά καυσαέρια εισέρχονται στα ηλεκτροστατικά φίλτρα, καθώς λειτουργούν καλά σε τέτοιες ισχυρά μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας [IPPC, 2003a].

3.7.1.4 Σακόφιльтра

Τα σακόφιльтра αποτελούν ουσιαστικά φίλτρα στα οποία ο διαχωρισμός των σωματιδίων λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο στην επιφάνεια του μέσου του φίλτρου από όπου διέρχεται το αέριο ρεύμα.

Τα σακόφιльтра (σχήμα 3.8) χρησιμοποιούνται ευρέως σε μονάδες καύσης ΑΣΑ. Οι αποδόσεις τους είναι πολύ υψηλές σε ένα μεγάλο εύρος σωματιδίων. Η απόδοση των συστημάτων αυτών μπορεί να κυμαίνεται σε επίπεδα πάνω από 99% [Achterbosch and Richers, 2002]. Για μεγέθη σωματιδίων μικρότερα από 0,1μm η απόδοση περιορίζεται, αν και το ποσοστό αυτών των σωματιδίων στα καυσαέρια από μονάδες καύσης ΑΣΑ είναι σχετικά χαμηλό [IPPC, 2003a]. Ιδιαίτερη σημασία για τη διασφάλιση υψηλής απόδοσης έχει η συμβατότητα του μέσου του φίλτρου με τα χαρακτηριστικά της σκόνης και της θερμοκρασίας της διεργασίας [Achterbosch and Richers, 2002].



Σχήμα 3.8: Τυπικό διάγραμμα σακόφιλτρου [IPPC, 2003a]

Η μηχανική και θερμική επιβάρυνση του υλικού του φίλτρου καθορίζει τη διάρκεια ζωής, καθώς και τις απαιτήσεις σε ενέργεια και συντήρηση. Σε συνθήκες συνεχούς λειτουργίας, τα φίλτρα αντιμετωπίζουν μια αυξανόμενη απώλεια πίεσης που κυμαίνεται μεταξύ 500 και 2.000Pa [Achterbosch and Richers, 2002], η οποία μπορεί να οφείλεται σε αναντίστροφη απόθεση λεπτόκοκκης σκόνης στο υλικό του φίλτρου. Το γεγονός αυτό καθιστά επιβεβλημένη την αντικατάστασή τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για την παρακολούθηση του φαινομένου και τον καθορισμό του προγράμματος αντικατάστασης χρησιμοποιείται η μέτρηση της διαφορικής πίεσης κατά μήκος του σακόφιλτρου, ενώ με τον τρόπο αυτόν ανακαλύπτονται αλλοιωμένα συστατικά του συστήματος.

Η εφαρμογή ξηρής απόθεσης είναι περιορισμένη για σκόνης οι οποίες είναι υγροσκοπικές και καθίστανται κολλώδεις σε υψηλές θερμοκρασίες (300-600°C). Αυτός ο τύπος σκόνης δημιουργεί αποθέσεις στον εξοπλισμό οι οποίες δεν μπορούν να απομακρυνθούν επαρκώς με συμβατικές τεχνικές καθαρισμού κατά τη λειτουργία, αλλά μπορεί να χρειαστεί να απομακρυνθούν με αμβολή [IPPC, 2003a].

3.7.1.5 Επιλογή συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων

Ο συνδυασμός των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους σχεδιασμού μιας μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ και εξαρτάται από τις προδιαγραφές που τίθενται μέσω των διατάξεων της κείμενης νομοθεσίας, ενώ η εκάστοτε επιλογή αντικατοπτρίζεται άμεσα στο πάγιο κόστος της εγκατάστασης.

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων.

Πίνακας 3.2: Σύγκριση συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων [IPPC, 2003a, Achternbosch and Richers, 2002]

| Σύστημα απομάκρυνσης σκόνης | Συγκεντρώσεις εκπομπών | Απόδοση | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Κυκλώνες και πολυκυκλώνες | <ul style="list-style-type: none"> • 200-300mg/m³ (κυκλώνες) • 100-150mg/m³ (πολυκυκλώνες) | Περίπου 80% | <ul style="list-style-type: none"> • Στιβαρή, σχετικά απλή λύση και αξιόπιστη • Εφαρμόζεται ευρέως σε μονάδες αποτέφρωσης | <ul style="list-style-type: none"> • Χρήση μόνο για προκαταρκτική απομάκρυνση σκόνης • Συγκριτικά μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας (σε σχέση με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα) |
| Ξηρά ηλεκτροστατικά φίλτρα | <25mg/m ³ | Περίπου 99% | <ul style="list-style-type: none"> • Συγκριτικά χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις • Αντοχή σε θερμοκρασίες μεταξύ 150-350°C | <ul style="list-style-type: none"> • Σχηματισμός PCDD/F |
| Υγρά ηλεκτροστατικά φίλτρα | <5mg/m ³ | Πάνω από 99% | <ul style="list-style-type: none"> • Απόδοση σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις | <ul style="list-style-type: none"> • Περιορισμένη εφαρμογή σε μονάδες αποτέφρωσης • Παραγωγή υγρών αποβλήτων |
| Σακόφιλτρα | <5mg/m ³ | Πάνω από 99% | <ul style="list-style-type: none"> • Ευρύτητα εφαρμοσμένη τεχνική σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης • Το στρώμα των υπολειμμάτων δρα ως επιπρόσθετο φίλτρο | <ul style="list-style-type: none"> • Συγκριτικά υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με τα ηλεκτρόφιλτρα • Ευαίσθητα σε φαινόμενα συμπύκνωσης και διάβρωσης |

3.7.2 Τεχνικές μείωσης εκπομπών HCl, HF, SOx

Οι εκπομπές αυτές καθαρίζονται από τα καυσαέρια με τη χρήση αλκαλικών διαλυμάτων, ενώ χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες διεργασίες [Achternbosch and Richers, 2002]:

- Ξηρή διεργασία: Ένα ξηρό μέσο ρόφησης (π.χ. άσβεστος) προστίθεται στο ρεύμα των καυσαερίων, παράγοντας ένα ξηρό προϊόν.
- Ημι-ξηρή διεργασία: Το μέσο ρόφησης που προστίθεται στο ρεύμα των καυσαερίων είναι ένα διάλυμα το οποίο εξατμίζεται και τα προϊόντα είναι ξηρά.
- Στιγμαία ξηρή διεργασία: Η διεργασία αυτή βρίσκεται ανάμεσα στις προαναφερόμενες διεργασίες. Στο ξηρό μέσο προστίθεται νερό και το συλλεγόμενο υπόλειμμα ανακυκλώνεται. Τα προϊόντα είναι ξηρά.
- Υγρή διεργασία: Το ρεύμα των καυσαερίων τροφοδοτείται σε ένα καθαριστικό διάλυμα που περιέχει το αντιδρόν (π.χ. NaOH), ενώ το προϊόν είναι υδατικό διάλυμα.

3.7.3 Τεχνικές μείωσης εκπομπών NOx

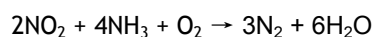
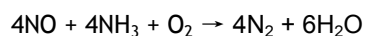
3.7.3.1 Κύριες τεχνικές

Η παραγωγή NOx μπορεί να ελαττωθεί με τη χρήση μέτρων ελέγχου του κλιβάνου τα οποία εμποδίζουν την παροχή μεγάλης περισσειας αέρα και τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών χωρίς αυτό

να είναι απαραίτητο. Ιδιαίτερη σημασία έχει η επίτευξη καλής ανάμιξης των αερίων και ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει χρησιμοποιηθεί καύση σε στάδια, η οποία περιλαμβάνει τη μείωση της παροχής οξυγόνου στις ζώνες κύριας αντίδρασης και εν συνεχεία την αύξηση της παροχής αέρα σε μετέπειτα ζώνες καύσης για την οξειδωση των σχηματιζόμενων αερίων. Τέτοιες τεχνικές απαιτούν καλή ανάμιξη μεταξύ αέρα και αερίων στη δευτερογενή ζώνη ώστε να διασφαλίζεται η διατήρηση του CO σε χαμηλά επίπεδα [IPPC, 2003a].

Η Οδηγία 2000/76/Ε.Ε. απαιτεί μια μέση ημερήσια τιμή εξόδου για τα NO_x (ως NO₂) τα 200mg/Nm³. Αν και τα επίπεδα αυτά μπορούν να επιτευχθούν με τη ρύθμιση του κλιβάνου και μόνο, προκειμένου να διασφαλίζεται η επίτευξη των επιπέδων αυτών συχνά εφαρμόζονται επιπρόσθετα μέτρα. Για τις περισσότερες διεργασίες η προσθήκη αμμωνίας ως αναγωγικό μέσο έχει αποδειχθεί επιτυχής. Τα οξείδια του αζώτου στα καυσαέρια συνίστανται κατά κύριο λόγο από NO και NO₂ τα οποία ανάγονται σε άζωτο N₂ και ατμό.

Οι αντιδράσεις έχουν ως εξής [Brereton, 1996]:



Για την απομάκρυνση του αζώτου από τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται δύο κύριες διεργασίες: η Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (Selective Catalytic Reduction - SCR) και η Επιλεκτική Μη Καταλυτική Αναγωγή (Selective Non-Catalytic Reduction - SNCR).

3.7.3.2 Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (Selective Catalytic Reduction - SCR)

Η SCR αποτελεί μια καταλυτική διεργασία κατά την οποία η αμμωνία μαζί με αέρα (μέσο αναγωγής) εισάγονται στο ρεύμα των καυσαερίων και οδηγούνται σε έναν καταλύτη μέσω του οποίου η αμμωνία ανάγεται σε άζωτο και ατμό [Achterbosch and Richers, 2002]. Για την αύξηση της απόδοσης, ο καταλύτης απαιτεί θερμοκρασίες μεταξύ 250 και 500°C, ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου καταλύτη. Η διεργασία SCR δίνει υψηλούς βαθμούς ελάττωσης των NO_x (τυπικά πάνω από 90%) με σχεδόν στοιχειομερική προσθήκη αναγωγικού μέσου, για τον λόγο αυτόν άλλωστε η μέθοδος χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος [Richers et al, 1999, Brereton, 1996].

Παρά το σημαντικό της κόστος, η SCR έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς αποτελεί μια από τις λίγες τεχνολογίες με τόσο μεγάλη απόδοση στην απομάκρυνση των εκπομπών NO_x. Τα προβλήματα που αντιμετώπιζε παλαιότερα η εν λόγω μέθοδος, όπως φαινόμενα διάβρωσης ή δηλητηρίασης από τα μεταλλικά συστατικά του αερίου ρεύματος καθώς και επικαθήσεις ενώσεων στην επιφάνεια του καταλύτη, έχουν πλέον αντιμετωπιστεί λόγω της ανάπτυξης των τεχνολογιών που σχετίζονται με τους καταλύτες [Brereton, 1996].

3.7.3.3 Επιλεκτική Μη Καταλυτική Αναγωγή (Selective Non-Catalytic Reduction - SNCR)

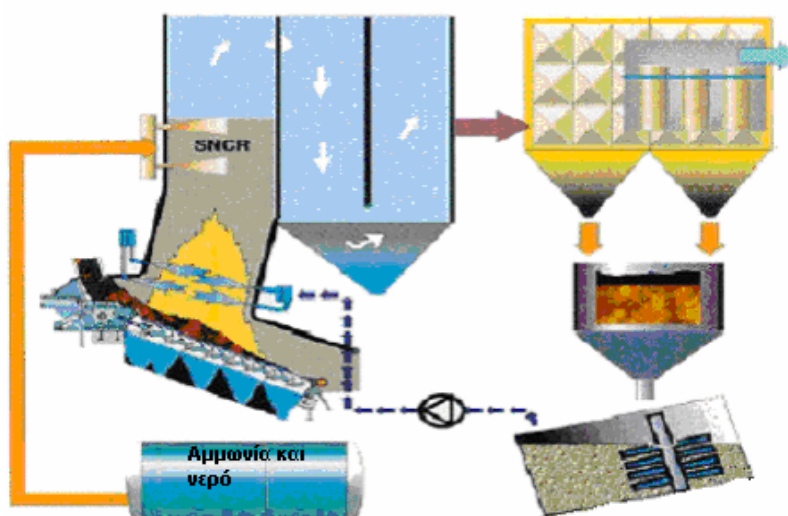
Η διεργασία SNCR (σχήμα 3.9) αποτελεί μια σχετικά απλή μέθοδο με την οποία το άζωτο απομακρύνεται με επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή. Το αναγωγικό μέσο (τυπικά αμμωνία ή ουρία) ψεκάζεται στον κλίβανο, και αντιδρά με τα οξείδια του αζώτου σε θερμοκρασίες μεταξύ 850 και

1.000°C, οι οποίες βελτιστοποιούνται περί τους 950°C [Achterbosch and Richers, 2002, Richers et al, 1999].

Η μείωση των NOx σε επίπεδα ανώτερα του 80% απαιτεί την προσθήκη του αναγωγικού μέσου σε μεγαλύτερη αναλογία από την στοιχειομετρική. Αν χρησιμοποιείται αμμωνία, είναι δυνατό να υπάρξουν επιπρόσθετες εκπομπές αμμωνίας. Όσο μειώνεται η θερμοκρασία, τα NOx δεν ανάγονται ικανοποιητικά και αυξάνονται οι επιπρόσθετες εκπομπές αμμωνίας, ενώ σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες πάνω από 1.200°C η αμμωνία μετατρέπεται σε NOx. Για τη βελτιστοποίηση της χρήσης αμμωνίας σε διάφορα επίπεδα φόρτισης τα οποία δημιουργούν μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσης, η αμμωνία μπορεί να ψεκάζεται σε διάφορα στρώματα [IPPC, 2003a].

Όταν χρησιμοποιούνται συστήματα υγρού καθαρισμού, οι επιπρόσθετες εκπομπές δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα, καθώς η περίσσεια αμμωνίας απομακρύνεται και ανακτάται μέσω ενός απογυμνωτή αμμωνίας για να επανατροφοδοτηθεί στο σύστημα SNCR. Ωστόσο, η επιλογή αυτή δεν υφίσταται για τα υπόλοιπα συστήματα καθαρισμού. Σε ξηρά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων, η περίσσεια της αμμωνίας είναι δυνατό να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα, ενώ σε ημί-ξηρά και στιγμιαία ξηρά συστήματα η αμμωνία μπορεί να μεταφέρεται έως έναν βαθμό στα υπολείμματα. Σε γενικές γραμμές, αυτό σημαίνει ότι τα υγρά συστήματα μπορούν να επιτυγχάνουν χαμηλότερα επίπεδα NOx σε σχέση με άλλα συστήματα, χωρίς πρόσθετη κατανάλωση αντιδραστηρίων και εκπομπές αμμωνίας. Για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας, είναι απαραίτητη η καλή ανάμιξη μεταξύ του αερίου ρεύματος και του αντιδραστηρίου, καθώς και η ύπαρξη ενός ελάχιστου χρόνου παραμονής για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων.

Η SNCR έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν περισσότερο σε σχέση με την SCR, κυρίως εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους κεφαλαίου [Achterbosch and Richers, 2002] και της τάσης για σχετικά χαλαρότερη πολιτική αναφορικά με τις εκπομπές NOx. Σε γενικές γραμμές, τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η SNCR είναι τα ίδια με την SCR, εκτός από αυτά που σχετίζονται με τον καταλύτη [Brereton, 1996].



Σχήμα 3.9: Αρχή λειτουργίας της διεργασίας SNCR [IPPC, 2003a]

3.7.4 Τεχνικές μείωσης βαρέων μετάλλων

Τα βαρέα μέταλλα μετατρέπονται μέσω της καύσης σε μη πτητικά οξειδία και αποτίθενται μαζί με την ιπτάμενη τέφρα. Συνεπώς, οι κύριες τεχνικές που σχετίζονται με τη μείωση των βαρέων μετάλλων είναι αυτές που εφαρμόζονται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων [Brereton, 1996].

3.7.5 Τεχνικές μείωσης των εκπομπών οργανικών ενώσεων

Τα καυσαέρια από μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ είναι δυνατό να περιέχουν μικρές συγκεντρώσεις από ένα αρκετά μεγάλο εύρος οργανικών ενώσεων, όπως πολυαλογονούχοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), βενζόλιο, τολουόλιο και ξυλόλιο (BTX), πολυχλωριωμένες διβενζο-p-διοξίνες και διβενζοφουράνια (PCDD/F).

Ο σχηματισμός διοξινών και φουρανίων κατά την αποτέφρωση απορριμμάτων ευνοείται από την ατελή καταστροφή των PCDD/F που περιέχονται στο ρεύμα των εισερχόμενων ΑΣΑ και τον σχηματισμό PCDD/F εντός του κλιβάνου από χλωριωμένους υδρογονάνθρακες. Επιτυγχάνοντας τις βέλτιστες συνθήκες αποτέφρωσης οι ενώσεις αυτές καταστρέφονται. Οι εκπομπές υδρογονανθράκων είναι δυνατόν να περιοριστούν με περαιτέρω απομάκρυνση σκόνης και αερολυμάτων, καθώς και με την ψύξη των καυσαερίων [IPPC, 2003a].

3.7.6 Τεχνικές μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Σύμφωνα με την Οδηγία IPPC, υπάρχουν δύο τρόποι για τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆):

- Αύξηση της απόδοσης της ενεργειακής ανάκτησης και τροφοδοσίας
- Έλεγχος των εκπομπών CO₂ μέσω των συστημάτων καθαρισμού.

Αναφορικά με τον καθαρισμό των καυσαερίων, η προσθήκη καυστικής σόδας οδηγεί στο σχηματισμό ανθρακικού νατρίου, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη σε χημικές βιομηχανίες. Επιπλέον, για την αποφυγή εκπομπών οξειδίου του αζώτου είναι απαραίτητη η βελτιστοποίηση της διεργασίας SNCR ως προς τη δοσομέτρηση των αντιδραστηρίων, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες ανάμιξης των αερίων [IPPC, 2003a].

3.8 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

3.8.1 Πιθανές πηγές παραγωγής υγρών αποβλήτων

Οι πιθανές πηγές παραγωγής υγρών αποβλήτων σε μια εγκατάσταση θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ είναι οι ακόλουθες [IPPC, 2003a]:

- Υγρά απόβλητα διεργασίας τα οποία προκύπτουν από τα συστήματα υγρού καθαρισμού των καυσαερίων

- Υγρά απόβλητα από τη συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση της τέφρας, τα οποία δεν χρειάζεται να απορριφθούν, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή νερού για τα υγρά συστήματα απομάκρυνσης της σκουριάς
- Λοιπά ρεύματα υγρών αποβλήτων διεργασίας, όπως για παράδειγμα από τον κύκλο νερού / ατμού που προκαλείται από την προετοιμασία της τροφοδοσίας του λέβητα και από τις αποχετεύσεις
- Υγρά απόβλητα από τουαλέτες, κουζίνες και καθαρισμούς, τα οποία απορρίπτονται μέσω του αποχετευτικού συστήματος για επεξεργασία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
- Καθαρές απορροές από τα νερά βροχοπτώσεων από τις στέγες, τις οδούς και τους λοιπούς χώρους υποδομών
- Ρυπασμένες απορροές λόγω της βροχόπτωσης πάνω σε ρυπασμένες επιφάνειες όπως οι εγκαταστάσεις εκφόρτωσης των απορριμμάτων
- Χρησιμοποιημένα νερά ψύξης
- Συμπυκνωμένα υγρά απόβλητα από τη μερική προ-ξήρανση ιλύος αστικών λυμάτων, σε περίπτωση που η εγκατάσταση επεξεργάζεται τέτοιου είδους απόβλητα.

3.8.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού για τον έλεγχο των υγρών αποβλήτων

Για τον έλεγχο των υγρών αποβλήτων που παράγονται σε μια εγκατάσταση θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ εφαρμόζονται οι ακόλουθες βασικές αρχές [IPPC, 2003a]:

- Βέλτιστες τεχνολογίες καύσης
- Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης νερού και απορρίψεων
- Συμμόρφωση με τα σχετικά πρότυπα υγρών εκπομπών
- Βέλτιστη λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

3.8.3 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων από συστήματα υγρού καθαρισμού καυσαερίων

Τα υγρά απόβλητα διεργασιών που προκύπτουν από τα συστήματα υγρού καθαρισμού των καυσαερίων περιλαμβάνουν ένα μεγάλο εύρος ρυπογόνων συστατικών, οι ποσότητες και οι συγκεντρώσεις των οποίων εξαρτώνται από τη σύνθεση των ΑΣΑ και τον σχεδιασμό του συστήματος καθαρισμού. Η επανατροφοδοσία των υγρών αποβλήτων σε συστήματα υγρού καθαρισμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των ποσοτήτων τους με συνέπεια την αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων. Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων εφαρμόζονται κυρίως τρεις μέθοδοι [IPPC, 2003a]:

- Φυσικοχημική επεξεργασία, η οποία βασίζεται στη διόρθωση του pH και την καθίζηση, με την οποία το επεξεργασμένο ρεύμα των υγρών αποβλήτων πρέπει να απορριφθεί

- Εξάτμιση εντός της διεργασίας της καύσης, με την οποία τα διαλελυμένα άλατα ενσωματώνονται στο υπόλειμμα του συστήματος επεξεργασίας των καυσαερίων και έτσι δεν εκλύονται υγρά απόβλητα
- Ξεχωριστή εξάτμιση των υγρών αποβλήτων, με την οποία το νερό που εξατμίζεται συμπυκνώνεται και μπορεί να απορριφθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί χωρίς τη χρήση ειδικών μέτρων.

3.9 Επεξεργασία στερεών υπολειμμάτων

Ακόμα και οι πιο αποτελεσματικές διεργασίες θερμικής επεξεργασίας παράγουν στερεά υπολείμματα. Με την αποτέφρωση των ΑΣΑ παράγονται αρκετοί τύποι στερεών υπολειμμάτων, ορισμένοι από τους οποίους δύνανται να επαναχρησιμοποιηθούν ή να ανακυκλωθούν. Τα υπολείμματα από τις μονάδες αποτέφρωσης είναι συνήθως αδρανή και αποτελούν συνήθως πολύ καλής ποιότητας υλικά για χρησιμοποίηση ως υλικά επικαλύψεων σε ΧΥΤΑ, αν και τα στραγγίσματα που παράγονται εξαιτίας αυτής της χρήσης ενδέχεται να περιέχουν βαρέα μέταλλα [Vesilind and Rimer, 1982].

3.9.1 Τύποι στερεών υπολειμμάτων

Υπάρχουν αρκετά κριτήρια για την κατηγοριοποίηση των στερεών υπολειμμάτων από μονάδες αποτέφρωσης, όπως η πιθανότητα επίδρασης στο υδάτινο περιβάλλον, την ατμόσφαιρα, την περιβαλλοντική επίδοση ή τις επιδράσεις στην υγεία [Vesilind and Rimer, 1982]. Τα υπολείμματα που προκύπτουν από το στάδιο της καύσης ΑΣΑ, επεξεργασμένων ή μη, είναι τα ακόλουθα [IPPC, 2003a]:

- Τέφρα πυθμένα (bottom ash), η οποία προκύπτει κατά τη καύση των ΑΣΑ σε εσχάρα
- Τέφρα λέβητα (boiler ash), όπως συλλέγεται στον λέβητα και προστίθεται είτε στην τέφρα πυθμένα είτε στην ιπτάμενη τέφρα και κατά συνέπεια δεν λαμβάνει χώρα ξεχωριστή επεξεργασία ή απόθεση
- Ιπτάμενη τέφρα (fly ash), όπως συλλέγεται στο στάδιο της απομάκρυνσης της σκόνης
- Τέφρα κλίνης (bed ash), η οποία προκύπτει από την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη.

3.9.2 Παραγωγή στερεών υπολειμμάτων

Οι ενδεικτικές ποσότητες των στερεών υπολειμμάτων που παράγονται κατά τη διεργασία της αποτέφρωσης έχουν ως εξής [Sabbas et al, 2003, EA, 2002]:

- Τέφρα πυθμένα: περίπου 20-30% κατά βάρος και 10% κατ' όγκο σε σχέση με το ρεύμα της τροφοδοσίας
- Υπολείμματα από τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων: περίπου 1-5% κατά βάρος επί του ρεύματος της τροφοδοσίας
- Ιπτάμενη τέφρα: περίπου 1-3% κατά βάρος επί του ρεύματος της τροφοδοσίας

- Λοιπά ανακτώμενα υπολείμματα, όπως μέταλλα που αφαιρούνται από την τέφρα πυθμένα: περίπου 1,0-1,5% κατά βάρος επί της τροφοδοσίας.

Οι ακριβείς ποσότητες των στερεών υπολειμμάτων δεν είναι σταθερές αλλά εξαρτώνται από αρκετές παραμέτρους όπως [EA, 2002]:

- Η ποσότητα των ΑΣΑ
- Η σύσταση των επεξεργασμένων ΑΣΑ
- Η εφαρμογή συστημάτων ανακύκλωσης με τα οποία περιορίζονται ποσότητες γυαλιού ή μετάλλων στο ρεύμα των απορριμμάτων και
- Ο σχεδιασμός και η λειτουργία της μονάδας.

3.9.3 Επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των στερεών υπολειμμάτων

Με την αποτέφρωση προεπεξεργασμένων ΑΣΑ, τα στερεά υπολείμματα που παράγονται έχουν μεγαλύτερη προοπτική επαναχρησιμοποίησης σε σχέση με την αποτέφρωση μη επεξεργασμένων ΑΣΑ, λόγω της παρουσίας μη ομογενοποιημένων μιγμάτων [Chang et al, 1999]. Η τέφρα που παραμένει ως υπόλειμμα μετά την καύση των ΑΣΑ οδηγείται παραδοσιακά για ταφή, αν και η απόθεσή της δεν αποτελεί τη μοναδική επιλογή [Bregeton, 1996].

Το υψηλό περιεχόμενο των περισσότερων υπολειμμάτων της αποτέφρωσης σε μέταλλα παρέχει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησή τους ως υλικό σε αρκετές εφαρμογές. Η επαναχρησιμοποίηση είναι δυνατή σε περίπτωση που το υλικό πληροί συγκεκριμένες περιβαλλοντικές και τεχνικές προδιαγραφές, γεγονός το οποίο προϋποθέτει τη βελτιστοποίηση της ποιότητας της τέφρας. Πάντως, σε γενικές γραμμές η τέφρα από εγκαταστάσεις αποτέφρωσης ΑΣΑ δεν θεωρείται επικίνδυνη και κρίνεται κατάλληλη για περαιτέρω χρήση [Chrysochoou et al, 2003]. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις Η.Π.Α. η παραγόμενη τέφρα από όλες τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης έχει αποδειχθεί ότι είναι ασφαλής για απόθεση και επαναχρησιμοποίηση καθώς πληροί τα κριτήρια που θέτει η ισχύουσα νομοθεσία [IWSA, 2003b].

Οι μέθοδοι επεξεργασίας στοχεύουν στη βελτιστοποίηση ορισμένων παραμέτρων προκειμένου να είναι δυνατή η χρήση των υπολειμμάτων ως κατασκευαστικά υλικά. Η επεξεργασία για επαναχρησιμοποίηση υλικών εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο για την τέφρα πυθμένα [Rylander and Haukoja, 2002], λόγω των μεγάλων ποσοτήτων που παράγονται. Συγκεκριμένα, η επαναχρησιμοποίησή της προωθείται ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες χώρες, όπως η Ολλανδία (>90% επαναχρησιμοποίηση), Δανία (90%), Γερμανία (60%), Γαλλία (30%), Βέλγιο (21%) και Ηνωμένο Βασίλειο (21%) [IPPC, 2003a]. Επίσης, στις Η.Π.Α. περισσότεροι από 600.000 τόνοι τέφρας επαναχρησιμοποιούνται σε ετήσια βάση ως υλικά επικώσεων σε ΧΥΤΑ, στην οδοποιία ως υλικό υπόβασης, ενώ δεν είναι λίγες και οι εφαρμογές του υλικού αυτού σε μια πληθώρα από κατασκευαστικές δραστηριότητες ή ακόμα και σε γεωργικές χρήσεις ως εδαφοβελτιωτικό [Ferreira et al, 2003]. Από την άλλη πλευρά, η επεξεργασία της ιπτάμενης τέφρας και της τέφρας από τον λέβητα λαμβάνει χώρα σε πολύ λίγες εγκαταστάσεις [IWSA, 2003b, Wiles and Shepherd, 1999].

3.10 Αποτίμηση της ενεργειακής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων

3.10.1 Πλεονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης

Παρά τον σημαντικό περιορισμό των εκπομπών από τις εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ κατά τα τελευταία 15 χρόνια, ορισμένες περιβαλλοντικές ομάδες στις Η.Π.Α. αντιτίθενται στην κατασκευή νέων αντίστοιχων μονάδων. Είναι γεγονός ότι στα τέλη της δεκαετίας του 1980 οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ βρίσκονταν στην κορυφή της λίστας της ΕΡΑ ως οι κύριες πηγές εκπομπών υδραργύρου και διοξινών και φουρανών. Με τη θέσπιση αυστηρών νομοθετικών μέτρων από την ΕΡΑ, αρκετοί πόροι δαπανήθηκαν από τις Η.Π.Α. για την ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου και περιορισμού της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Το γεγονός αυτό συνετέλεσε στη μετατροπή του εν λόγω κλάδου ένας από τους λιγότερο ρυπογόνους μεταξύ των διεργασιών υψηλών θερμοκρασιών.

Αντίθετα, κατά τη διάρκεια ζωής ενός σύγχρονου ΧΥΤΑ και για μια σημαντική περίοδο ύστερα από το κλείσιμό του είναι απαραίτητη η συλλογή και επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που παράγονται [ΕΕΑ, 2001]. Συγχρόνως, οι χημικές αντιδράσεις και η μείωση του όγκου των αποτιθέμενων ΑΣΑ μπορούν να συνεχίζονται για δεκάδες ή ακόμα και για αιώνες, με συνέπεια να υφίσταται πάντοτε ο κίνδυνος της ρύπανσης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα [Themelis, 2003]. Επιπροσθέτως, η απόθεση ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ αποτελεί ίσως τη λιγότερο αποδεκτή επιλογή ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την αποδοτική χρήση των πόρων, αφού με την μέθοδο αυτή δεν υφίσταται κανένα όφελος, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες [EC, 2003]. Στους σύγχρονους ΧΥΤΑ εφαρμόζεται η συλλογή του βιοαερίου που σχηματίζεται λόγω της αναερόβιας χώνευσης, αν και λόγω του περιορισμένου αριθμού γεωτρήσεων για την άντληση του βιοαερίου, στην πραγματικότητα μόνο ένα μικρό ποσοστό του βιοαερίου συλλέγεται, προκαλώντας σημαντική επίπτωση στην ατμόσφαιρα. Σημειώνεται δε ότι το βιοαέριο αποτελείται από 50-60% μεθάνιο και 40-50% διοξείδιο του άνθρακα, ενώ το μεθάνιο είναι 21 φορές πιο δραστικό σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα, καθιστώντας το βιοαέριο επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία [ΕΡΑ, 2003]. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με έρευνες που έχουν κατά καιρούς δημοσιευθεί [Arena et al, 2003, Batchelor et al, 2002], η αποτέφρωση των ΑΣΑ εμφανίζει επιπρόσθετα συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την υγειονομική ταφή ως προς τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, καθώς οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι χαμηλότερες, συνεισφέροντας σημαντικά στην επίτευξη των δεσμεύσεων που τίθενται με το Πρωτόκολλο του Κυότο.

Οι υποστηρικτές της άποψης ότι η αποτέφρωση αποτελεί μια βιώσιμη λύση στη διαχείριση των ΑΣΑ και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προβάλλουν ως ένα από τα βασικά επιχειρήματα το γεγονός ότι με την ενεργειακή αξιοποίηση αποφεύγεται η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου όπως μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και πτητικών οργανικών ενώσεων [Thorneloe et al, 2002]. Παράλληλα, αποφεύγεται η χρήση φυσικών πόρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως πετρέλαιο, άνθρακας ή φυσικό αέριο [Ruth, 1998, EC, 2001], ενώ τα υψηλά επίπεδα τιμών των εν λόγω καυσίμων και οι σχετικές διακυμάνσεις τους ενισχύουν τη ζήτηση για εναλλακτικές πηγές

ενέργειας, όπως τα ΑΣΑ, η οποία αναμένεται να αναπτυχθεί στο άμεσο μέλλον [Lacoursiere, 2003, Eckardt and Albers, 2003].

Συνοψίζοντας, σε σχέση με τις εναλλακτικές επιλογές στη διαχείριση των ΑΣΑ, η καύση παρουσιάζει τα ακόλουθα σημαντικά πλεονεκτήματα [World Bank, 1999]:

- Μεγάλης έκτασης περιορισμός όγκου και μάζας των απορριμμάτων
- Άμεση μείωση απορριμμάτων, καθώς δεν απαιτείται μακροπρόθεσμη παραμονή σε έναν ΧΥΤΑ
- Είναι δυνατός ο αποτελεσματικός έλεγχος των αερίων εκπομπών, με αποτέλεσμα την ελάχιστη επίπτωση στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον
- Το υπόλειμμα της τέφρας μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές
- Υφίστανται τεχνολογικές λύσεις για την καταστροφή ακόμα και των πιο επικίνδυνων υλικών με ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό τρόπο
- Μια εγκατάσταση θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ απαιτεί μια σχετικά μικρή περιοχή αποθήκευσης των πρώτων υλών, σε σχέση με τους ΧΥΤΑ
- Με την χρήση τεχνικών ανάκτησης θερμότητας το κόστος λειτουργίας μπορεί συχνά να περιορίζεται ή να εκμηδενίζεται μέσω της χρήσης ή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας.

3.10.2 Μειονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης

Ωστόσο, με τη θερμική επεξεργασία δεν αναμένεται να επιλυθούν όλα τα προβλήματα που σχετίζονται με τα ΑΣΑ και τη διαχείρισή τους. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα της εν λόγω τεχνικής περιλαμβάνουν τα ακόλουθα [Malkow, 2004, World Bank, 1999]:

- Αυξημένο απαιτούμενο κόστος κεφαλαίου για την κατασκευή μιας τέτοιας εγκατάστασης
- Απαιτείται αυξημένου επιπέδου και δυνατοτήτων προσωπικό λειτουργίας
- Ορισμένα υλικά δεν μπορούν να υποστούν την εν λόγω διεργασία, όπως τα κατασκευαστικά υλικά και τα μπάζα
- Η διαχείριση των παραπροϊόντων και υπολειμμάτων δεν αποτελεί μια εύκολη υπόθεση, θέτοντας σε κίνδυνο το περιβάλλον και απαιτώντας τη λήψη εξειδικευμένων μέτρων περιορισμού και ελέγχου της ρύπανσης
- Απαιτείται επιπρόσθετο συμπληρωματικό καύσιμο για την έναυση και ενδεχομένως για τη διατήρηση της διεργασίας της καύσης.

3.11 Κοινωνική προσέγγιση

Παρά τα αξιοσημείωτα θετικά χαρακτηριστικά της θερμικής επεξεργασίας, δεν πρέπει να λησμονείται ότι υπάρχει και η αντίθετη άποψη η οποία εκφράζεται τόσο μέσω της επιστημονικής κοινότητας όσο και από περιβαλλοντικές οργανώσεις. Πρέπει μάλιστα να σημειωθεί ότι σε αρκετές

χώρες η επιλογή της ενεργειακής αξιοποίησης είναι λιγότερο κοινωνικά αποδεκτή σε σχέση με άλλες τεχνολογίες όπως η πυρηνική ενέργεια. Επιπλέον, ορισμένοι μελετητές [Connett, 1998] υποστηρίζουν ότι η λειτουργία των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ ευθύνεται για την παρατήρηση ιδιαίτερα υψηλών επιπέδων διοξινών και άλλων επιβλαβών ενώσεων σε όλα τα πλάτη και μήκη της τροφικής αλυσίδας, λόγω της αδυναμίας των μονάδων να περιορίσουν τους ρύπους και να διαχειριστούν με περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο τα παραπροϊόντα των διεργασιών, τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής σκοπιάς. Αρκετές περιβαλλοντικές οργανώσεις, με επικεφαλής την Greenpeace, έχουν εκδηλώσει έμπρακτα την έντονη αντίθεσή τους στην εν λόγω τεχνολογία, καθώς θεωρείται υπεύθυνη για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με συγκεκριμένους χημικούς ρύπους και αντιπροτείνουν άλλες εναλλακτικές τεχνικές διαχείρισης [Greenpeace, 2003a].

Η άποψη ότι η προώθηση της ενεργειακής ανάκτησης μέσω των δημοσίων σχέσεων γίνεται εις βάρος εναλλακτικών μορφών διαχείρισης των ΑΣΑ που εφαρμόζονται με επιτυχία για αρκετά χρόνια, όπως η διαλογή στην πηγή, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η κομποστοποίηση και η απομάκρυνση ειδικών ροών αποβλήτων, έχει αρκετούς υποστηρικτές. Άλλωστε, η αποτέφρωση των ΑΣΑ οδηγεί στην καταστροφή εν δυνάμει χρήσιμων και αξιοποιήσιμων υλικών όπως το χαρτί ή το πλαστικό, με συνέπεια τη συνεχή κατανάλωση πρώτων υλών και την κατασπατάληση φυσικών πόρων για την αντικατάστασή τους. Επιπλέον, με την ανακύκλωση αποφεύγονται απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που παράγονται από τη λειτουργία των μονάδων αυτών.

Το πρόσχημα της κατασκευής σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ δεν ευσταθεί από τη στιγμή που τα παραγόμενα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνονται σε τόσο χαμηλά επίπεδα ώστε δεν δικαιολογούνται τα τεράστια ποσά που κοστίζει η υλοποίηση τέτοιων επενδύσεων. Είναι δε γεγονός ότι πλέον τα έσοδα από τη λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης που προέρχονται από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας κατέχουν μικρότερο ποσοστό σε σχέση με τα έσοδα από την εισπραξη των τελών διάθεσης. Πράγματι, σε αντίθεση με παλαιότερες εποχές όπου οι εισπράξεις των φορέων λειτουργίας των μονάδων αυτών προέρχονταν κατά κύριο λόγο από την εκμετάλλευση της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρική και θερμική), τα τελευταία χρόνια τα έσοδα προέρχονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τα επιβαλλόμενα τέλη διάθεσης προκειμένου οι μονάδες αυτές να καθίστανται οικονομικά βιώσιμες και ανταποδοτικές [Hartenstein and Horvay, 1996].

Από την άλλη πλευρά, προκειμένου ένα επιχειρηματικό σχέδιο υλοποίησης μιας εγκατάστασης επεξεργασίας ΑΣΑ να καθίσταται βιώσιμο οικονομικά για τον φορέα διαχείρισης της μονάδας και να υφίστανται σύντομοι χρόνοι αποπληρωμής των παγίων κεφαλαίων, αποβαίνει μοιραία η επιβολή ιδιαίτερα υψηλών τελών διάθεσης, τα οποία βέβαια μετακυλίσονται στους πολίτες μέσω της εισπρακτικής πολιτικής των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης [Connett, 1998]. Σημειώνεται ότι το προαναφερόμενο τέλος διάθεσης αποτελεί την επιβάρυνση που επιβάλλεται από τους φορείς λειτουργίας των μονάδων διαχείρισης ΑΣΑ. Το τέλος αυτό καθορίζεται έτσι ώστε να αντικατοπτρίζεται το κόστος διαχείρισης των ΑΣΑ και να αντισταθμίζονται τα πάγια και λειτουργικά κόστη των μονάδων [EC, 2001].

3.12 Απεικόνιση της αγοράς για την ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων

3.12.1 Η ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων έως σήμερα

Στο παρελθόν, πολλές μικρές εγκαταστάσεις αντικαταστάθηκαν από μεγαλύτερες. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε καλύτερη περιβαλλοντική απόδοση, βελτιωμένη απόδοση σε ενέργεια και χαμηλότερα λειτουργικά κόστη. Από την άλλη πλευρά, παρατηρήθηκε και το κλείσιμο αρκετών μονάδων. Εκτιμάται ότι το 30% περίπου των μονάδων που κατασκευάστηκαν στα μέσα της δεκαετίας 1990 αποτελούν τις αντικαταστάσεις παλαιότερων μονάδων στους ίδιους χώρους ή για τις ίδιες περιοχές και κοινότητες [Barker, 2003]. Τα αίτια για το κλείσιμο των μονάδων αυτών βρίσκονται στο γεγονός ότι οι παλαιότερες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης είχαν ήδη φτάσει στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής και στο ότι αρκετές από αυτές δεν μπορούσαν να επιτύχουν τα αυστηρότερα επίπεδα εκπομπών που απαιτούσε η σχετική Ευρωπαϊκή Οδηγία για την αποτέφρωση μέχρι το 1996, σε συνδυασμό με το ότι η αναβάθμιση των εν λόγω εγκαταστάσεων δεν ήταν εφαρμόσιμη για τεχνικούς ή οικονομικούς λόγους.

Έως σήμερα, αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν υιοθετήσει την ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ με αποτέλεσμα το 2002 να λειτουργούν 340 περίπου μονάδες, χρησιμοποιώντας περί τους 50 εκατομμύρια τόνους ΑΣΑ σε ετήσια βάση [Barker, 2003, Rylander and Haukoni, 2002]. Η Γερμανία βρίσκεται στην κορυφή της σχετικής λίστας με τις χώρες όπου η αποτέφρωση αποτελεί μια από τις βασικές εναλλακτικές επιλογές μεταξύ των διαθέσιμων τεχνολογικών προτάσεων, σύμφωνα με τον πίνακα 3.3.

Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια αύξησης της δυναμικότητας και ο κλάδος έχει αξιοσημείωτη προοπτική καθώς εκτιμάται ότι περίπου 200 εκατομμύρια τόνοι ΑΣΑ που παράγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι δυνατό να υποστούν θερμική επεξεργασία [IPPC, 2003a], ενώ προβλέπεται ότι μέχρι το 2020 θα απαιτούνται οι διπλάσιες εγκαταστάσεις διαχείρισης.

| Πίνακας 3.3: Η ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Ευρώπη [Themelis, 2003] | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Χώρα | Τόνοι / έτος (1999) | kg / άτομο | Θερμική ενέργεια (GJ) | Ηλεκτρική ενέργεια (GJ) |
| Γερμανία | 12.853.000 | 157 | 27.190.000 | 12.042.000 |
| Γαλλία | 10.984.000 | 180 | 32.303.000 | 2.164.000 |
| Ολλανδία | 4.818.000 | 482 | | 9.130.000 |
| Δανία | 2.562.000 | 477 | 10.543.000 | 3.472.000 |
| Ιταλία | 2.169.000 | 137 | 3.354.000 | 2.338.000 |
| Σουηδία | 2.005.000 | 225 | 22.996.000 | 4.360.000 |
| Ελβετία | 1.636.000 | 164 | 8.698.000 | 2.311.000 |
| Ηνωμένο Βασίλειο | 1.074.000 | 18 | 1.000 | 1.895.000 |
| Ισπανία | 1.039.000 | 26 | | 1.934.000 |
| Αυστρία | 450.000 | 56 | 3.053.000 | 131.000 |
| Ουγγαρία | 352.000 | 6 | 2.000 | 399.000 |
| Πορτογαλία | 322.000 | 32 | 1.000 | 558.000 |
| Νορβηγία | 220.000 | 49 | 1.409.000 | 27.000 |
| Σύνολο | 40.484.000 | 154,5 (μ.ό.) | 109.550.000 | 40.761.000 |

Επιπλέον, όλες οι νέες μονάδες πρέπει να περιλαμβάνουν εγκατάσταση ανάκτησης ενέργειας προκειμένου να είναι συμβατές με την νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία για την αποτέφρωση (2000/76/Ε.Ε.), ενώ παρατηρείται η τάση για αύξηση της δυναμικότητάς τους προκειμένου να ελαχιστοποιείται το λειτουργικό κόστος.

Σήμερα, οι περισσότερες εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο την τεχνολογία της εσχάρας, ωστόσο αναμένεται αύξηση του ανταγωνισμού και άνοιγμα της αγοράς στην τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης καθώς η εν λόγω τεχνολογία ευνοείται από την εφαρμογή συστημάτων διαλογής στην πηγή και την παραγωγή δευτερογενών καυσίμων [Malkow, 2004]. Συγκεκριμένα, αναμένεται μέχρι το 2009 η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης να χρησιμοποιηθεί στο 23% περίπου των νέων μονάδων που εκτιμάται ότι θα τεθούν σε λειτουργία [Barker, 2003]. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνολογίες της πυρόλυσης και της αεριοποίησης αναμένεται να αναπτυχθούν περαιτέρω λόγω της τεχνολογικής ανάπτυξης και της αύξησης της εφαρμογής τους σε εμπορική κλίμακα. Σήμερα, οι εν λόγω τεχνολογίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία βιομάζας, ωστόσο οι εμπειρίες από αυτές τις εφαρμογές μεταφέρονται με γοργούς ρυθμούς στον χώρο των απορριμμάτων. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, μόνο στη Γερμανία υπάρχουν αξιοσημείωτες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τις προαναφερόμενες τεχνολογίες.

3.12.2 Η αγορά σε διεθνές επίπεδο

Σε παγκόσμια κλίμακα, περίπου 130 εκατομμύρια τόνοι ΑΣΑ οδηγούνται σε εγκαταστάσεις καύσης ετησίως σε περισσότερες από 600 μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης. Σήμερα, τέτοιες μονάδες λειτουργούν σε 35 χώρες, συμπεριλαμβανομένων τόσο μεγάλων χωρών, όπως η Κίνα, όσο και μικρών, όπως οι Βερμούδες. Σημειώνεται δε ότι αρκετές από τις πρόσφατα εγκατεστημένες μονάδες βρίσκονται στην Ασία. Ενδεικτικά, αξίζει να αναφερθεί ότι σε μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ οδηγούνται περί τα 314kg ανά κάτοικο στην Ιαπωνία, 252kg ανά κάτοικο στη Σιγκαπούρη και 105kg ανά κάτοικο στις Η.Π.Α. [Themelis, 2003].

Η ευρωπαϊκή αγορά αναφορικά με τις εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ περιλαμβάνει σήμερα περί τις 40 επιχειρήσεις, από μεγάλους πολυεθνικούς προμηθευτές μονάδων «με το κλειδί στο χέρι» μέχρι μικρότερες εταιρείες προμήθειας εξοπλισμού για τις εν λόγω εγκαταστάσεις. Οι ευρωπαϊκές εταιρείες επικρατούν στην αγορά και παρατηρείται χαμηλή διείσδυση από άλλες επιχειρήσεις, ενώ οι πιο επιτυχημένες εταιρείες είναι κατά κύριο λόγο προμηθευτές τεχνολογιών οι οποίοι προέρχονται από τη Γερμανία, τη Γαλλία, την Ελβετία, τη Σκανδιναβία και την Ιταλία. Από την άλλη πλευρά, εταιρείες που προέρχονται από τις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία είναι έτοιμες να διεισδύσουν στον ευρωπαϊκό χώρο, καθώς ο κλάδος συνιστά μια αρκετά ανταγωνιστική αγορά. Ακόμα, αρκετές εταιρείες που δραστηριοποιούνται εντός της Ευρωπαϊκής αγοράς λειτουργώντας μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης φέρουν την απαιτούμενη τεχνογνωσία και εμπειρία παρέχοντας διάφορες υπηρεσίες, μεταξύ των οποίων και τη διάθεση αδειών για την εμπορική εφαρμογή τεχνολογιών [Barker, 2003].

Γενικά, αν και εκτιμάται ότι τα επόμενα χρόνια η αγορά θα γνωρίσει αξιοσημείωτη ανάπτυξη, δεν είναι ξεκάθαρο ότι οι επενδύσεις κεφαλαίου που απαιτούνται θα πραγματοποιηθούν σε όλες τις

χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς σε αρκετές από αυτές η μέχρι σήμερα εγκατεστημένη δυναμικότητα των μονάδων είναι από μικρή έως ανύπαρκτη, όπως στην Ελλάδα. Εν προκειμένω, αρκετές παράμετροι επηρεάζουν το κόστος της αποτέφρωσης, ορισμένες από τις οποίες συνοψίζονται ακολούθως [EC, 2002]:

- Είδος της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και εξοπλισμού της εγκατάστασης, ιδιαίτερα αναφορικά με τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων
- Μέγεθος της μονάδας
- Δυναμικότητα και διαθεσιμότητα (χρησιμοποίηση) της μονάδας
- Τέλη διάθεσης που υφίστανται οι ΟΤΑ ή η Πολιτεία γενικότερα
- Προϋποθέσεις για την ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ, είτε με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας είτε ως θερμότητα, που εξαρτώνται άμεσα από το είδος της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και την κωροθέτηση της μονάδας
- Κόστος επεξεργασίας των ΑΣΑ, κόστος χημικών και αναλωσίμων και κόστος διάθεσης των υπολειμμάτων της διεργασίας.

3.12.3 Προϋποθέσεις ανάπτυξης

Η επιτυχής υλοποίηση ενός έργου θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ βασίζεται κατά κύριο λόγο στα εξής στοιχεία [Rogoff, 1987]:

- Τεκμηρίωση της ανάγκης για την υλοποίηση του έργου λόγω της υφιστάμενης κατάστασης στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ
- Δέσμευση από την πλευρά ενός φορέα (δημοσίου ή ιδιώτη) για την ανάπτυξη, ολοκλήρωση και λειτουργία του έργου
- Εξασφάλιση των επαρκών ποσοτήτων ΑΣΑ εκ μέρους των ΟΤΑ για την απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας
- Λειτουργία αγοράς για τη διάθεση των ανακτώμενων υλικών και την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- Περιβαλλοντικά, τεχνικά, κοινωνικά και πολιτικά αποδεκτή κωροθέτηση της εγκατάστασης.

Το κόστος της θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την γενικότερη πορεία και εξάπλωση της τεχνολογίας και καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τις διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας και το εκάστοτε επίπεδο της τεχνολογικής ανάπτυξης [Tchobanoglous et al, 1993]. Για τον λόγο αυτό, η εν λόγω τεχνολογία θεωρείται καλή επιλογή όταν άλλες, λιγότερο ακριβές εναλλακτικές λύσεις δεν είναι διαθέσιμες ή εφικτές. Προκειμένου δε η ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ να προκρίνεται για εφαρμογή σε σχέση με άλλες μεθόδους πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα κριτήρια [World Bank, 1999]:

- Η ύπαρξη ενός ώριμου συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ το οποίο να λειτουργεί με αποτελεσματικότητα για αρκετά χρόνια αποτελεί μια από τις κυριότερες προϋποθέσεις
- Τα στερεά υπολείμματα πρέπει να αποτίθενται σε ελεγχόμενους ΧΥΤΑ ή να χρησιμοποιούνται σε περιβαλλοντικά αποδεκτές διεργασίες
- Η τροφοδοσία της καύσιμης ύλης πρέπει να είναι σταθερή και να υπερβαίνει τους 50.000 τόνους ετησίως
- Η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα των απορριμμάτων πρέπει να είναι κατά μέσο όρο τουλάχιστον 7MJ/kg και δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι κατώτερη από 6MJ/kg
- Οι αρμόδιοι φορείς πρέπει να είναι διατεθειμένοι να υποστηρίξουν το αυξημένο κόστος επεξεργασίας, μέσω της επιβολής τελών διαχείρισης και της χρηματοδότησης των έργων αυτών
- Είναι απαραίτητη η ύπαρξη εξειδικευμένου και καλά εκπαιδευμένου προσωπικού
- Ο σχεδιασμός εκ μέρους των αρμόδιων φορέων πρέπει να γίνεται με ορίζοντα τουλάχιστον δεκαπενταετίας.

3.12.4 Οι μελλοντικές προκλήσεις

Η Ευρωπαϊκή αγορά για τις μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ αποτελεί μια πρόκληση για τις ιδιωτικές εταιρείες στα πλαίσια του ανταγωνισμού, καθώς τα προβλήματα σχετικά με την απόθεση των ΑΣΑ αυξάνονται και το εύρος του διατιθέμενου εξοπλισμού και των διαθέσιμων επιλογών διαχείρισής τους πολλαπλασιάζονται. Ωστόσο, υπάρχουν σήμερα αρκετά ζητήματα τα οποία οι επιχειρήσεις καλούνται να αντιμετωπίσουν, όπως αυτά που αναφέρονται ακολούθως [Barker, 2003]:

- Αντίδραση του κοινού σχετικά με τις εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης των ΑΣΑ
- Ανάγκη για δημιουργία ισχυρού επιχειρηματικού ονόματος με κατάλληλες περιβαλλοντικές επιδόσεις
- Εξαγωγή αγορών που προσφέρουν μεγαλύτερη προοπτική ανάπτυξης
- Δημόσιες σχέσεις
- Δημιουργία συμμαχιών με εγχώριες εταιρείες
- Μεγιστοποίηση της επιστροφής του επενδεδυμένου κεφαλαίου σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα
- Δημιουργία συνεργασιών μεταξύ κατασκευαστών και εταιρειών παροχής υπηρεσιών
- Δημιουργία συμβολαίων λειτουργίας εγκαταστάσεων με ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα
- Συνειδητοποίηση ότι η περιφρόνηση ζητημάτων συντήρησης των εγκαταστάσεων απειλεί τη θέση μιας επιχείρησης στην αγορά.

Για την επίτευξη των προκλήσεων αυτών, οι επιχειρήσεις πρέπει να προσεγγίσουν τους ενδεχόμενους πελάτες με αποτελεσματικότητα, κάνοντας τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους

διαθέσιμα με ευκολία και κερδίζοντας την εμπιστοσύνη των τοπικών αρχών. Καθώς οι προμηθευτές των μονάδων διεισδύουν στον τομέα της λειτουργίας και διαχείρισής τους, αναλαμβάνουν περισσότερες ευθύνες αναφορικά με τη συνολική επιτυχία των συμβολαίων για την ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ. Οι ευθύνες αυτές περιλαμβάνουν τη συνεργασία με τις τοπικές αρχές και την επιτυχή προώθηση των έργων τους ως οι βέλτιστες διαθέσιμες επιλογές σε τοπική κλίμακα. Ωστόσο, οι δημόσιες σχέσεις δεν αποτελούσαν μέχρι σήμερα το ισχυρό σημείο των στρατηγικών που εφαρμόζαν οι επιχειρήσεις αυτές, θέτοντας σε κίνδυνο την έγκαιρη και επιτυχή έκβαση των έργων τους λόγω καθυστερήσεων και αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών ή αρχών. Οι αντιρρήσεις εστιάζονται κατά κύριο λόγο σε περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο εφοδιασμός των μονάδων, η δημιουργία έντονων οσμών και η οπτική όχληση [Barker, 2003].

Οι δυσκολίες που συχνά συναντώνται στη συναίνεση των αρμόδιων τοπικών αρχών για την κατασκευή νέων μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ αποδεικνύονται αξιοσημείωτα εμπόδια στην ανάπτυξη της αγοράς. Ειδικότερα, αξίζει να αναφερθεί το σύνδρομο NIMBY (Not-In-My-Back-Yard) το οποίο εξαπλώνεται με ραγδαίους ρυθμούς ανά τον κόσμο και το οποίο έχει αναστείλει τη δημιουργία αντίστοιχων επενδύσεων [Mayne, 2003, Clarke, 2002]. Άλλωστε, η κοινωνική αποδοχή αποτελεί αναγκαία παράμετρο στη διαχείριση των αποβλήτων [Λατζουράκης, 2000].

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά το μέλλον του κλάδου σε ορίζοντα δεκαετίας αξίζουν να τονιστούν τα ακόλουθα σημεία:

- Η ανάγκη για αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων επεξεργασίας ΑΣΑ είναι εμφανής σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 1999/31/Ε.Ε.. Το γεγονός αυτό αναμένεται να οδηγήσει στην εφαρμογή υψηλών τελών διάθεσης σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης μετά το 2005 [EC, 2002].
- Οι εγκαταστάσεις εκτιμάται ότι θα τροφοδοτούνται με απορρίμματα ύστερα από διαλογή στην πηγή ενώ τα επικίνδυνα συστατικά και το άκαυστο περιεχόμενό τους θα περιοριστεί σημαντικά, με παράλληλη αύξηση της θερμογόνου ικανότητάς τους [ISWA, 2003].
- Τα αναμενόμενα τεχνολογικά επιτεύγματα θα οδηγήσουν σε αύξηση της ενεργειακής απόδοσης σε επίπεδα των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [CADDET, 1998], μεγαλύτερη διαθεσιμότητα, καλύτερη λειτουργία [ISWA, 2003] και τον περιορισμό του εξοπλισμού ελέγχου των εκπομπών, ενώ ήδη είναι υπό συζήτηση η συνδυασμένη καύση διάφορων ρευμάτων απορριμμάτων με συμβατικά καύσιμα, γεγονός το οποίο αναμένεται να συνεισφέρει στη μείωση του κόστους της αποτέφρωσης [EC, 2002].
- Η ανάκτηση πόρων μετά την επεξεργασία των ΑΣΑ, η ανακύκλωση [CADDET, 1998] και η βελτιστοποίηση της ανάκτησης σιδηρούχων και μη μετάλλων, της ανάκτησης ενέργειας και της χρήσης της τέφρας σε κατασκευές ή άλλες εφαρμογές με περιβαλλοντικά ορθό και βιώσιμο τρόπο [ISWA, 2003] θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον συνολικό σχεδιασμό των μονάδων [Barker, 2003].

- Το ενδιαφέρον για την εμπορική εφαρμογή τεχνολογιών εναλλακτικών ως προς την αποτέφρωση, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση, αυξάνεται διαρκώς. Η περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης των τεχνολογιών αυτών στον ευρύτερο κλάδο της επεξεργασίας των ΑΣΑ πρέπει να θεωρείται ως δεδομένη για τα επόμενα χρόνια [Barker, 2003].
- Η μείωση των επιδοτήσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες αναμένεται να κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα στο άμεσο μέλλον, η απελευθέρωση της αγοράς [CADET, 1998] και η ενθάρρυνση του ανταγωνισμού μεταξύ των προμηθευτών σε συνδυασμό με την κατάργηση των μονοπωλίων που παρατηρούνται σήμερα στον κλάδο θα επιδράσουν δραστικά τον κλάδο [EC, 2002].
- Η δημιουργία των προϋποθέσεων για τη διείσδυση του ιδιωτικού τομέα στον κλάδο μέσω της αυτοχρηματοδότησης των νέων επενδύσεων και της ανάληψης της λειτουργίας των μονάδων από ιδιωτικές εταιρείες θα αποτελέσει μια ακόμα σημαντική εξέλιξη στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ [Barker, 2003].

Στο εξής, παρά τις αντιδράσεις και τα εμπόδια που συναντά η ανάπτυξη της ενεργειακής αξιοποίησης των ΑΣΑ [Silverman and Worthman, 1995], θα πρέπει να αναμένεται η γενικότερη αύξηση της διείσδυσης της λόγω της σχετικής οδηγίας για την υγειονομική ταφή (1999/31/Ε.Ε.), της αύξησης των αναγκών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και της συνεχούς απόδειξης ότι η εν λόγω μέθοδος είναι τεχνικά αξιόπιστη και περιβαλλοντικά φιλική.

3.12.5 Γεωγραφική διασπορά και επέκταση των επενδύσεων

Αν και υπάρχουν σημαντικές προοπτικές ανάπτυξης στην αγορά της Δυτικής Ευρώπης, αυτό αναμένεται να ωριμάσει και να λάβει χώρα σε μεσοπρόθεσμο έως μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Το γεγονός αυτό οδηγεί τις επιχειρήσεις στην επέκταση των δραστηριοτήτων τους εκτός της ανωτέρω γεωγραφικής περιοχής. Ήδη εδώ και αρκετά χρόνια, εταιρείες δραστηριοποιούνται στην Ανατολική Ασία για την οποία υπάρχει σημαντική προοπτική για τα επόμενα χρόνια, όπως άλλωστε και για την Ανατολική Ευρώπη και ιδιαίτερα τις χώρες της Βαλκανικής χερσονήσου. Από την άλλη πλευρά, η Αφρικανική αγορά δεν αναμένεται να αναπτυχθεί σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα.

Οι μεγάλοι όμιλοι εταιρειών που έχουν υπό τη λειτουργία τους μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ είναι οι πιο κατάλληλες για να επωφεληθούν από την εφαρμογή ευρύτερων στρατηγικών σε παγκόσμια κλίμακα. Οι στρατηγικές αυτές αναμένεται ότι θα εστιάσουν κατά κύριο λόγο στο σχεδιασμό εξοπλισμού για συγκεκριμένες ανάγκες αγορών, επίπεδα επενδύσεων, βιομηχανικά πρότυπα και χαρακτηριστικά απορριμμάτων [Barker, 2003].

4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΤΤΙΚΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Η μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία αφορά την ανάλυση εφικτότητας σχετικά με την ανάπτυξη μιας περιβαλλοντικά ασφαλούς διεργασίας η οποία θα συνεισφέρει στην επίλυση του προβλήματος διαχείρισης και διάθεσης των ΑΣΑ, με την οποία προσφέρεται παράλληλα σημαντική απόδοση στην ανάκτηση υλικών και ενέργειας. Το πρόβλημα της διαχείρισης των ΑΣΑ στη χώρα μας δημιουργεί την ανάγκη για τη διερεύνηση της βιωσιμότητας μιας μελέτης περίπτωσης που βασίζεται στην ενεργειακή αξιοποίηση προεπεξεργασμένων απορριμμάτων (RDF) σε μεγάλα αστικά κέντρα όπως η ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής. Τα μεγάλα αστικά κέντρα έχουν υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα με συνέπεια την αντίστοιχα υψηλή παραγωγή απορριμμάτων, γεγονός το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή διαχειριστικών επιλογών που υπόκειται σε έντονες οικονομίες κλίμακας [Rogoff, 1987].

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα της κατασκευής και λειτουργίας μιας μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ εντός των ορίων του Νομού Αττικής δυναμικότητας 1.500 τόνων ημερησίως για την παραγωγή δευτερογενών απορριμμάτων και της ενεργειακής τους αξιοποίησης σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (Circulating Fluidized Bed Combustion - CFBC) δυναμικότητας επεξεργασίας 600 τόνων RDF ανά ημέρα, με παράλληλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 22,6MW_e.

Η τεχνολογία της FBC επιλέγεται σε σχέση με την καύση σε εσχάρα και σε περιστροφικό κλίβανο, δεδομένης της ανάγκης για επεξεργασία και τελική διάθεση των παραγόμενων δευτερογενών απορριμμάτων στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης και της ανάγκης για ανακύκλωση και διαλογή στην πηγή [Malkow, 2004], σύμφωνα τόσο με τις διεθνείς τάσεις [Barker, 2003], όσο των διατάξεων της κείμενης εγχώριας και κοινοτικής νομοθεσίας. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνολογίες της πυρόλυσης και της αεριοποίησης δεν έχουν ωριμάσει αρκετά ώστε να θεωρούνται τεχνικά αξιόπιστες, καθώς οι εμπορικές εφαρμογές τους σε βιομηχανική κλίμακα είναι περιορισμένες [Malkow, 2004].

Επιπροσθέτως, στην παρούσα μελέτη σκοπιμότητας επιχειρείται ο καθορισμός του απαιτούμενου τέλους διάθεσης (gate fee) των ΑΣΑ προς τους αρμόδιους ΟΤΑ προκειμένου η προτεινόμενη επένδυση να καθίσταται βιώσιμη, εξετάζοντας εναλλακτικά σενάρια για τη χρηματοδότησή της.

Σημειώνεται ότι η προτεινόμενη μονάδα δεν επαρκεί από μόνη της για τη διάθεση του συνόλου των ΑΣΑ που παράγονται σε ημερήσια βάση στο Νομό Αττικής, καθώς σε ημερήσια βάση παράγονται περί τους 5.500 τόνους ΑΣΑ [Greece Now, 2003a], δεδομένου ότι σε κάθε κάτοικο αντιστοιχεί παραγωγή ΑΣΑ περίπου 1,1kg ημερησίως [EC, 2000, EC, 2002]. Σε κάθε περίπτωση, η λειτουργία περισσότερων

μονάδων επεξεργασίας αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή και εντάσσεται στα πλαίσια της εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης.

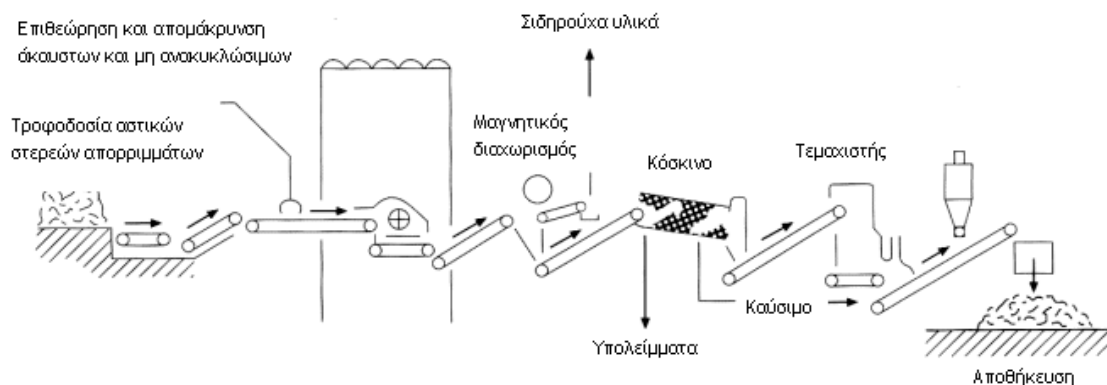
Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η ακριβής χωροθέτηση καθώς και η περιβαλλοντική, τεχνική, πολιτική και κοινωνική αποδοχή της υπό εξέταση μονάδας δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Για τον λόγο αυτόν άλλωστε δεν εξετάζονται χωροταξικές παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν τη γενικότερη λειτουργία της εγκατάστασης ή τη βιωσιμότητά της.

4.2 Παραγωγική διαδικασία

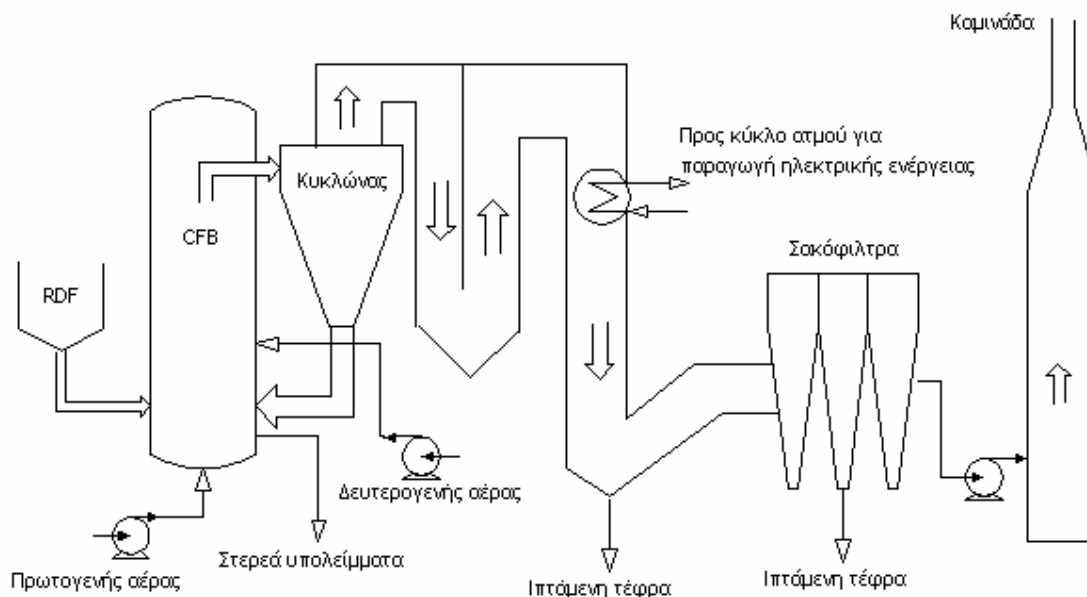
Τα ΑΣΑ μεταφέρονται με κατάλληλα οχήματα εντός της εγκατάστασης, ζυγίζονται σε γεφυροπλάστιγγα και συλλέγονται σε ειδικές τάφρους, από τις οποίες τροφοδοτούν, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας (σχήμα 4.1), τη μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης που έπεται. Προκειμένου δε να είναι δυνατή η καύση των παραγόμενων δευτερογενών απορριμμάτων στη ρευστοποιημένη κλίνη απαιτείται ένας αξιόπιστος έλεγχος της τροφοδοσίας [Eckardt and Albers, 2003], έτσι ώστε να πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές ποιότητας ως προς τα χαρακτηριστικά του [Costi et al, 2003].

Σύμφωνα με το σχήμα 4.2, τα προεπεξεργασμένα απορρίμματα (RDF) εισάγονται μέσω μιας κοάνης τροφοδοσίας στον αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης, όπου λαμβάνει χώρα η θερμική επεξεργασία. Το παραγόμενο αέριο ρεύμα διοχετεύεται σε κυκλώνα, μέσω του οποίου το υλικό της κλίνης επανατροφοδοτείται στον κλίβανο. Ακολούθως, υπάρχει η διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ατμοστρόβιλος), ενώ τα καυσαέρια οδηγούνται σε σακόφιλτρα για τον καθαρισμό τους, πριν τη διάθεση στον τελικό αποδέκτη (ατμόσφαιρα).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η μονάδα προτείνεται να περιλαμβάνει δύο όμοιες γραμμές παραγωγής, δυναμικότητας 50% η κάθε μια, έτσι ώστε να αυξάνεται η ευελιξία της σε περίπτωση που απαιτείται το κλείσιμο μιας από τις δύο γραμμές για λόγους συντήρησης [Niessen et al, 1996]. Τέλος, η λειτουργία της εγκατάστασης θα ελέγχεται μέσω κατάλληλου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και συστήματα αυτοματισμού για την πλήρη και συνεχή παρακολούθηση των διεργασιών.



Σχήμα 4.1: Ενδεικτικό διάγραμμα ροής μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ [ACRE, 2003]



Σχήμα 4.2: Ενδεικτικό διάγραμμα ροής μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης RDF

4.3 Απαιτούμενη στελέχωση

Η προτεινόμενη μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης απαιτεί την εργασία τόσο από διοικητικά στελέχη, όσο και εργατικού δυναμικού διαφόρων αρμοδιοτήτων και καθηκόντων [Niessen et al, 1996]. Για την εύρυθμη λειτουργία της μονάδας θεωρείται ότι θα απασχολείται το ακόλουθο προσωπικό:

- Ένας (1) Διευθυντής μονάδας (Διπλωματούχος Μηχανικός, υπεύθυνος λειτουργίας της μονάδας)
- Ένας (1) Οικονομολόγος, υπεύθυνος για την οικονομική λειτουργία της εγκατάστασης
- Ένα (1) άτομο για γραμματειακή υποστήριξη
- Δύο (2) φύλακες - υπεύθυνοι ζυγιστηρίου ανά βάρδια
- Δύο (2) χειριστές γερανογεφυρών και λοιπού μηχανολογικού εξοπλισμού ανά βάρδια
- Τέσσερις (4) χειριστές βαρέων οχημάτων ανά βάρδια
- Ένας (1) εξειδικευμένος τεχνικός για τη συντήρηση και επισκευή του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της μονάδας ανά βάρδια
- Ένας (1) εξειδικευμένος τεχνικός για τη συντήρηση και επισκευή των μηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας ανά βάρδια
- Δύο (2) εργάτες αποθήκης πρώτων υλών και προϊόντων ανά βάρδια
- Τρία (3) άτομα προσωπικό της μονάδας θερμικής επεξεργασίας RDF ανά βάρδια.

Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι η λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ θα γίνεται για 6 ημέρες ανά εβδομάδα σε δύο βάρδιες, ενώ η μονάδα θερμικής επεξεργασίας RDF θα λειτουργεί καθημερινά

επί 24ώρου βάσεως. Συνολικά, εκτιμάται ότι για τη στελέχωση της μονάδας απαιτούνται περί τα 39 άτομα.

4.4 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υπό μελέτη επιχειρηματικού σχεδίου πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπόψη κατά τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού προκειμένου να καθοριστούν τα απαιτούμενα μέτρα για τη διασφάλιση της περιβαλλοντικής επίδοσης της εγκατάστασης. Οι στοιχειώδεις εργασίες για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συγκεκριμένης μονάδας περιλαμβάνουν τη συλλογή βασικών στοιχείων αναφορικά με τις συγκεντρώσεις των εκπομπών και τους διάφορους χαρακτηριστικούς δείκτες, τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής όσο και κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης λαμβάνεται η παραδοχή ότι η προτεινόμενη μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ θα λειτουργεί σύμφωνα με τις επιταγές της κείμενης εγχώριας και διεθνούς νομοθεσίας, οπότε δεν αναμένεται να προκύψουν σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από εκπομπές στον αέρα, το έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα. Ακολούθως, παρουσιάζονται συνοπτικά οι ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή και τη λειτουργία της εγκατάστασης.

4.4.1 Αέριες εκπομπές

Κατά τη φάση κατασκευής η βασική επίπτωση προβλέπεται να είναι η δημιουργία σκόνης. Συνεπώς, κατά τις εργασίες εκσκαφής, φόρτωσης και μεταφοράς των χωμάτων και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται μέτρα διαβροχής για τη μείωση της εκπεμπόμενης σκόνης.

Η προτεινόμενη μονάδα θα λειτουργεί σύμφωνα με τους όρους και τις προδιαγραφές που τίθενται τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και από την εθνική νομοθεσία όσον αφορά τις εκπομπές αερίων ρύπων. Συνεπώς, κατά τη φάση λειτουργίας δεν αναμένονται σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε συνθήκες ορθής λειτουργίας της εγκατάστασης. Από τη στιγμή που ο σχεδιασμός της μονάδας προβλέπει σύστημα καθαρισμού των παραγόμενων αερίων δεν αναμένεται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος, αν και απαιτείται συστηματική παρακολούθηση τόσο κυρίως των εκπομπών των μηχανών όσο και της ποιότητας της ατμόσφαιρας στους αποδέκτες.

4.4.2 Στερεά απόβλητα

Τα στερεά υπολείμματα που αναμένεται να παράγονται από την μονάδα μπορούν να οδηγηθούν είτε για χρήση ως οικοδομικά υλικά σε μια πληθώρα από κατασκευαστικές δραστηριότητες είτε σε ΧΥΤΑ για χρήση ως υλικό επικάλυψης ή τελική απόθεση.

Ο αναλυτικός σχεδιασμός της εγκατάστασης θα προβλέπει την ορθή περιβαλλοντική διαχείριση των στερεών αποβλήτων που παράγονται κατά τις διάφορες διεργασίες, οπότε δεν αναμένεται ρύπανση από στερεά απόβλητα.

4.4.3 Υγρά απόβλητα

Τα υγρά απόβλητα της μονάδας αναμένεται να έχουν χαμηλό οργανικό φορτίο ώστε να μπορούν να οδηγηθούν προς τελική διάθεση για άρδευση ή σε φυσικό αποδέκτη, σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία.

4.4.4 Οσμές

Όταν η εγκατάσταση λειτουργεί σωστά δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα οσμών. Οσμές μπορεί να προέλθουν από άκαυστους υδρογονάνθρακες και σε πολύ μικρό βαθμό από ανόργανες ενώσεις. Ο έλεγχος των οσμών επιτυγχάνεται με αραίωση, απορρόφηση, προσρόφηση, καύση και καταλυτική οξειδωση [Σκορδίλης, 1997].

Η μονάδα δεν προβλέπεται να εμφανίσει έκλυση οσμών διότι ότι όλο το σύστημα παραγωγής θα είναι κλειστό και πλήρως απομονωμένο από το περιβάλλον.

4.4.5 Πυρκαγιές και εκρήξεις

Λόγω της ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών υπάρχει η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς σε περίπτωση που δεν τηρηθούν οι απαιτούμενες προδιαγραφές κατά τη λειτουργία της μονάδας. Για την αντιμετώπιση των κινδύνων όλα τα τμήματα της μονάδας όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες θα μονωθούν κατάλληλα και θα υπάρχουν πρόσθετα συστήματα ασφαλείας.

4.4.6 Θόρυβος

Η μονάδα δεν αναμένεται να προκαλέσει αύξηση της στάθμης θορύβου της γύρω περιοχής. Σε αυτό συνηγορεί και το γεγονός ότι όλο το σύστημα θα λειτουργεί εντός προστατευτικών διατάξεων και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται δεν αποτελεί σημαντική πηγή θορύβου.

4.4.7 Άλλες επιπτώσεις

Οι άλλες επιπτώσεις αφορούν στις επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον, τον πληθυσμό, την κατοικία, τις χρήσεις γης, τη χλωρίδα και πανίδα, οι οποίες εξαρτώνται από την ακριβή χωροθέτηση της υπό εξέταση μονάδας και ως εκ τούτου δεν κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω αναφορά σε αυτές.

4.5 Υγιεινή και ασφάλεια εργαζομένων

Η υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων αφορά ένα σύνολο κανονισμών, περιορισμών και οδηγιών, η τήρηση των οποίων έχει ως σκοπό την περιφρούρηση της ατομικής ακεραιότητας. Σε κάθε περίπτωση, ο εργαζόμενος είναι ο κύριος υπεύθυνος για την προσωπική του ασφάλεια καθώς και για της συναδέλφους του. Ωστόσο, είναι απαραίτητη η εφαρμογή από την πλευρά της επιχείρησης που θα λειτουργεί την εν λόγω εγκατάσταση μιας πολιτικής που θα αποτελεί εγγύηση για την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων, καθώς οι συνέπειες από της ενδεχόμενες ατέλειες και παραλείψεις μπορούν να είναι οδυνηρές για όλους της εμπλεκόμενους.

Θα πρέπει να γίνει προσπάθεια να ενσωματωθούν στον αρχικό σχεδιασμό μέσα για την προστασία της υγείας και της ασφάλειας του προσωπικού της εγκατάστασης, η οποία θα περιλαμβάνει

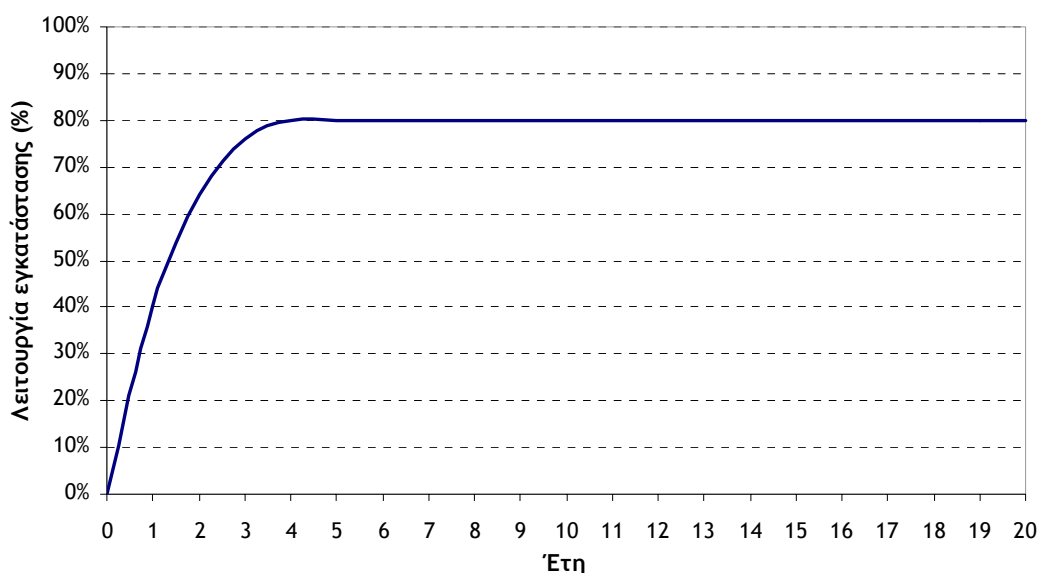
προστατευτικές διόδους, πλατφόρμες, σκάλες και περιοχές εργασίας, χωρίς να περιορίζεται μόνο σε αυτά τα μέσα. Οι φυσικοί κίνδυνοι θα πρέπει να καθοριστούν πλήρως, αν δεν μπορούν να αποφευχθούν, ενώ όλα θα μηχανήματα θα πρέπει να φυλάσσονται με προστατευτικές διατάξεις.

Ειδικότερα, στο χώρο εργασίας θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών και της διακίνησης υλικών τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην υγεία των εργαζομένων. Επιπροσθέτως, η διοίκηση του εργοστασίου, και συγκεκριμένα ο αρμόδιος τεχνικός υγιεινής και ασφάλειας, σε συνεργασία με τον υπεύθυνο γιατρό εργασίας, πρέπει να φροντίσουν ώστε να παρέχονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης της εργαζομένου για τα μάτια, την ακοή και το δέρμα της και να τηρούνται τα μέτρα προστασίας, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι κίνδυνοι και να περιορίζονται οι δυσμενείς συνέπειες σε περίπτωση σφάλματος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα για παροχή ιατρικών υπηρεσιών καθώς και πρώτων βοηθειών σε όλους της εργαζομένους.

4.6 Διάρκεια ζωής και λειτουργική διαθεσιμότητα της επένδυσης

Ο χρόνος ζωής του συγκεκριμένου επενδυτικού σχεδίου ανέρχεται σε είκοσι (20) έτη από την έναρξη λειτουργίας της μονάδας, ενώ η χρονική διάρκεια κατασκευής και θέσης σε εμπορική λειτουργία της εγκατάστασης δεν αναμένεται να ξεπεράσει τα δύο (2) έτη [Belgiorno et al, 2003].

Αναφορικά με τη συνολική διαθεσιμότητα της εγκατάστασης, λαμβάνεται η παραδοχή ότι θα είναι χαμηλή κατά τα πρώτα έτη λειτουργίας, σύμφωνα με το διάγραμμα 4.1. Η παραδοχή αυτή κρίνεται σκόπιμη για λόγους ασφάλειας στους υπολογισμούς της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης. Αντίστοιχο φαινόμενο έχει παρατηρηθεί και με τη μονάδα αποτέφρωσης μολυσματικών νοσοκομειακών απορριμμάτων των Άνω Λιοσίων, όπου η λειτουργική διαθεσιμότητα της εγκατάστασης δεν έχει ακόμα επιτευχθεί, σύμφωνα με πληροφορίες από στελέχη του φορέα λειτουργίας της.



Διάγραμμα 4.1: Λειτουργική διαθεσιμότητα μονάδας

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, η καμπύλη της λειτουργικής διαθεσιμότητας της μονάδας τείνει προς το 80%, καθώς περιλαμβάνει της απαραίτητες συντηρήσεις και της ενδεχόμενες ανεπάρκειες πρώτων υλών (ΑΣΑ) για οποιαδήποτε αιτία. Σημειώνεται ότι ο συντελεστής διαθεσιμότητας της μονάδας μπορεί να υπερβαίνει το 80% και να κυμαίνεται μεταξύ 85% και 90% [CADET, 2000, Niessen et al, 1996, SRBEP, 1994, NREL, 1992], ωστόσο κρίνεται σκόπιμη η παραδοχή ότι θα περιοριστεί σε χαμηλότερα επίπεδα ώστε να προβλέπονται και να ενσωματώνονται αστάθμιστοι παράγοντες όπως η ενδεχόμενη αδυναμία εξασφάλισης του καυσίμου και για λόγους επιπρόσθετης ασφάλειας στους υπολογισμούς της οικονομικότητας του επιχειρηματικού σχεδίου.

4.7 Παράμετροι σχεδιασμού

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες παράμετροι σχεδιασμού που ελήφθησαν υπόψη για την παρούσα μελέτη σκοπιμότητας.

4.7.1 Διαστασιολόγηση της μονάδας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μονάδα διαστασιολογείται έτσι ώστε να έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας 1.500 τόνων ΑΣΑ ημερησίως (ή 547.500 τόνων ετησίως). Με βάση την παραδοχή ότι ο συντελεστής απόδοσης της μονάδας ως προς την παραγωγή RDF ισούται με 40% [EC, 2003], η δυναμικότητα της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης υπολογίζεται σε 600 τόνους RDF σε ημερήσια βάση (ή 219.000 τόνοι ετησίως). Τα κύρια χαρακτηριστικά της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Ο συντελεστής λειτουργικής διαθεσιμότητας της μονάδας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους σχεδιασμού η οποία επηρεάζει ιδιαίτερα τα οικονομικά αποτελέσματα και γενικότερα τη βιωσιμότητα του επιχειρηματικού σχεδίου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, λαμβάνεται η παραδοχή ότι η διαθεσιμότητα της μονάδας τείνει προς το 80% (ή περί τις 7.000 ώρες σε ετήσια βάση), σύμφωνα με το διάγραμμα 4.1.

| Πίνακας 4.1: Διαστασιολόγηση της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | | |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|---------|
| Παράμετρος | Μονάδα | Τιμή |
| Ημερήσια δυναμικότητα τροφοδοσίας ΑΣΑ | [t/d] | 1.500 |
| Διαθεσιμότητα μονάδας | [%] | 80,0% |
| Ωρες λειτουργίας ημερησίως | [h/d] | 12 |
| Ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα | [d/w] | 6 |
| Ετήσια δυναμικότητα τροφοδοσίας ΑΣΑ | [t/y] | 547.500 |
| Ετήσια τροφοδοσία ΑΣΑ | [t/y] | 438.000 |
| Παραγωγή RDF από ΑΣΑ | [%] | 40,0% |
| Παραγωγή compost από ΑΣΑ | [%] | 20,0% |
| Παραγωγή μετάλλων από ΑΣΑ | [%] | 5,0% |
| Παραγωγή μη αξιοποιήσιμων υλικών από ΑΣΑ | [%] | 20,0% |
| Λοιπές απώλειες | [%] | 15,0% |
| Απαιτούμενη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς | [MW _e] | 8,0 |

Με βάση τον συντελεστή διαθεσιμότητας της εγκατάστασης, η μονάδα θα επεξεργάζεται περί τους 438.000 τόνους ΑΣΑ ετησίως, ενώ θα παράγονται περί τους 175.200 τόνους δευτερογενών απορριμμάτων τα οποία θα οδηγούνται προς τη μονάδα θερμικής επεξεργασίας.

Επιπλέον, η απαιτούμενη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς του εξοπλισμού της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ λαμβάνεται ίση με 8,0MW_e, σε αντιστοιχία με το ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων, σύμφωνα με στοιχεία από στελέχη του φορέα κατασκευής του.

Από την άλλη πλευρά, τα κύρια χαρακτηριστικά της μονάδας θερμικής επεξεργασίας των παραγόμενων δευτερογενών απορριμμάτων συνοψίζονται στον πίνακα 4.2.

| Πίνακας 4.2: Διαστασιολόγηση της μονάδας θερμικής επεξεργασίας RDF | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| Παράμετρος | Μονάδα | Τιμή |
| Ημερήσια δυναμικότητα τροφοδοσίας RDF | [t/d] | 600 |
| Διαθεσιμότητα μονάδας | [%] | 80,0% |
| Ετήσια δυναμικότητα τροφοδοσίας RDF | [t/y] | 219.000 |
| Ετήσια τροφοδοσία RDF | [t/y] | 175.200 |
| Υγρασία | [%] | 25,0% |
| Τέφρα | [%] | 15,0% |
| Ιπτάμενη τέφρα | [% επί συνόλου] | 60,0% |
| Τέφρα πυθμένα | [% επί συνόλου] | 40,0% |
| Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη RDF | [MJ/kg] | 13,0 |
| Ισχύς καυσίμου RDF | [MW _{th}] | 90,28 |
| Συνολικός βαθμός ηλεκτρικής απόδοσης | [%] | 25,0% |
| Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | [MW _e] | 22,57 |
| Ιδιοκαταναλώσεις | [MW _e] | 2,26 |
| Καθαρή ηλεκτρική ισχύς | [MW _e] | 20,31 |
| Καθαρός βαθμός ηλεκτρικής απόδοσης | [%] | 22,5% |
| Απώλειες διασύνδεσης | [%] | 2,0% |

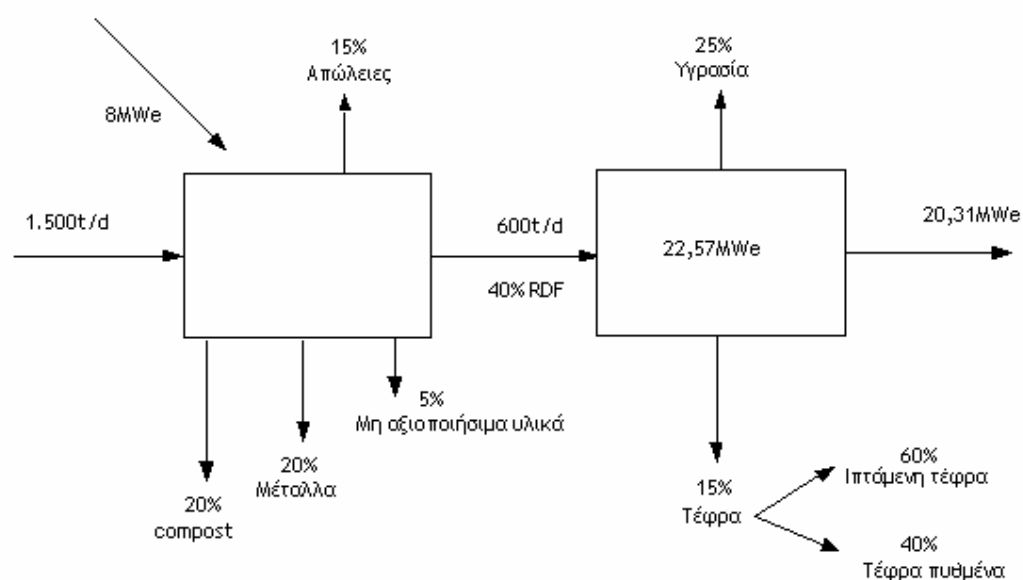
Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ισχύος της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης γίνεται με βάση τη θερμογόνο ικανότητα των προεπεξεργασμένων απορριμμάτων. Με βάση ότι το εισερχόμενο καύσιμο θα περιέχει 25% υγρασία και 15% τέφρα [IPPC, 2003a], μπορεί να θεωρηθεί ότι η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του RDF κυμαίνεται περί τα 13,0MJ/kg, με αυξημένα επίπεδα ασφάλειας, δεδομένου ότι στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται και υψηλότερες τιμές στη θερμογόνο ικανότητα των δευτερογενών ΑΣΑ [Caruto and Pelagagge, 2002a, Maury, 2000]. Από τη θερμογόνο ικανότητα του συγκεκριμένου καυσίμου και τις διαθέσιμες παραγόμενες ποσότητες από την επεξεργασία των ΑΣΑ υπολογίζεται ότι η θερμική ισχύς του καυσίμου κυμαίνεται περί τα 90,28MW_{th}.

Ο συντελεστής μετατροπής του θερμικού περιεχομένου του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια για τέτοιου είδους τεχνολογία μπορεί να κυμαίνεται γύρω στο 25,0% [Malkow, 2004, Faaij et al, 1998], χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι ιδιοκαταναλώσεις λόγω της λειτουργίας του εξοπλισμού των μονάδων οι οποίες κυμαίνονται περί το 10,0% επί της εγκατεστημένης ισχύος [IPPC, 2003a]. Με βάση

τη δυναμικότητα της μονάδας, η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς ανέρχεται σε 22,57MW_e με τις ιδιοκαταναλώσεις να αποτελούν περί τα 2,26MW_e, με αποτέλεσμα ο καθαρός συντελεστής ηλεκτρικής απόδοσης να ισούται με 22,5% περίπου και η καθαρή ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να διατεθεί μέσω του συστήματος μεταφοράς να ανέρχεται στα 20,31MW_e, καλύπτοντας τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια περισσότερων από 20.000 νοικοκυριών.

Αναφορικά δε με τις απώλειες που αφορούν τη διασύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αυτές εκτιμώνται ότι θα κυμαίνονται περί το 2,0% επί της συνολικής παραγωγής.

Σημειώνεται ότι το ισοζύγιο της υπό εξέταση μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ βασίζεται σε μονάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά σε σχέση με το ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων, σύμφωνα με πληροφορίες από στελέχη του φορέα υλοποίησής του, με μια από τις βασικές διαφορές να αφορά σε αύξηση του συντελεστή παραγωγής RDF από ΑΣΑ κατά 10%.



Σχήμα 4.3: Γενικό ισοζύγιο της προτεινόμενης μονάδας

4.7.2 Οικονομικές παραδοχές

Όσο άρτια οργανωμένη κι αν είναι η δομή της επιχειρηματικού σχεδίου, δεν πρόκειται να οδηγήσει σε ικανοποιητικά συμπεράσματα αν δε ληφθούν υπόψη οι κατάλληλες οικονομικές παράμετροι ή αν γίνουν σημαντικές παραλείψεις κατά το σχεδιασμό. Για το σκοπό αυτό θεωρείται σκόπιμη η παράθεση των οικονομικών παραμέτρων σύμφωνα με της οποίες υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα κόστη και οφέλη από την εγκατάσταση μιας μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης προεπεξεργασμένων απορριμμάτων.

4.7.2.1 Πάγιο κόστος κεφαλαίου

Το ύψος του προϋπολογισμού των επενδύσεων επεξεργασίας ΑΣΑ και ενεργειακής αξιοποίησης RDF χαρακτηρίζεται από μεγάλες διακυμάνσεις, συγκρίνοντας μεταξύ τους διάφορα έργα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι ένα τέτοιο επιχειρηματικό σχέδιο εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους οι

οποίες περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις του εξοπλισμού, τις λεπτομέρειες της κατασκευής, το κατά τόπους εργατικό κόστος, την πολιτική φορολόγησης, τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της τοπικής αγοράς ενέργειας, το καθεστώς ιδιοκτησίας της μονάδας και τις δυνατότητες χρηματοδότησης που ενδεχομένως υφίστανται ανά περίπτωση [Rogoff, 1987].

Το συνολικό πάγιο κόστος κεφαλαίου επιμερίζεται στο κόστος της μονάδας επεξεργασίας των ΑΣΑ και το κόστος της μονάδας θερμικής επεξεργασίας του παραγόμενου RDF (πίνακας 4.3). Ειδικότερα, το κομμάτι της επεξεργασίας των εισερχόμενων ΑΣΑ θεωρείται ότι κοστίζει περί τα 50.000.000€ (ή 91€ ανά τόνο ΑΣΑ ετησίως) [Niessen et al, 1996]. Αναφορικά δε με τη μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης, λαμβάνεται η παραδοχή ότι το πάγιο κόστος κατασκευής της ισούται με 70.000.000€ (ή 320€ ανά τόνο RDF ετησίως ή 3.102€/kW_e) [NREL, 1992]. Κατόπιν τούτων, το συνολικό κόστος της υπό εξέταση επένδυσης ανέρχεται στα 120.000.000€ (ή 219€ ανά τόνο ΑΣΑ ετησίως ή 5.317€/kW_e).

| Πίνακας 4.3: Οικονομικά στοιχεία προτεινόμενης επένδυσης | | |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Οικονομικές παράμετροι σχεδιασμού | Μονάδα | Τιμή |
| Κόστος μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | [€] | 50.000.000 |
| Ανηγμένο κόστος μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | [€/t _{ΑΣΑ} /y] | 91 |
| Κόστος μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης RDF | [€] | 70.000.000 |
| Ανηγμένο κόστος μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης RDF | [€/t _{RDF} /y] | 320 |
| | [€/kW _e] | 3.102 |
| Συνολικό κόστος επένδυσης | [€] | 120.000.000 |
| Ανηγμένο κόστος επένδυσης | [€/t _{ΑΣΑ} /y] | 219 |
| | [€/kW _e] | 5.317 |

Στο ανωτέρω κόστος συμπεριλαμβάνονται τα κόστη των μελετών, εγκατάστασης (ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, μεταφορικά έξοδα, έργα πολιτικού μηχανικού, συστήματα αυτοματισμών, διασύνδεση με ΔΕΗ, αγορά οικοπέδου), λειτουργίας και απρόβλεπτες δαπάνες. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό των αποσβέσεων των παγίων ελήφθησαν συντελεστές απόσβεσης 12% για τον μηχανολογικό εξοπλισμό, το ύψος του οποίου θεωρείται ότι αποτελεί το 80% επί της συνολικής επένδυσης, και 5% για τα έργα πολιτικού μηχανικού.

4.7.2.2 Πηγές χρηματοδότησης της επένδυσης

Θεωρώντας ότι η υπό εξέταση επένδυση θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των επενδύσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, μπορεί να ενταχθεί σε διάφορα εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα επιχορήγησης. Σύμφωνα δε με τα υφιστάμενα αναπτυξιακά προγράμματα της Πολιτείας αναφορικά με της επιχορηγήσεις ιδιωτικών επενδύσεων (π.χ. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα»), η επιχορήγηση μιας τέτοιας επένδυσης μπορεί να ανέρχεται σε ποσοστό 35%, με μέγιστο επιλέξιμο ανηγμένο κόστος επένδυσης τα 1.600€/kW_e [ΕΠΑΝ, 2002]. Στην παρούσα περίπτωση, το ανηγμένο κόστος της προτεινόμενης επένδυσης είναι υψηλότερο από το ανωτέρω, εφόσον κυμαίνεται περί τα 5.317€/kW_e (πίνακας 4.3), γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη δραστική μείωση του επιχορηγούμενου ποσοστού επί του

παγίου κόστους κεφαλαίου σε ιδιαίτερως χαμηλά επίπεδα. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με το νέο αναπτυξιακό νόμο, η επιχορήγηση μιας τέτοιας επένδυσης μπορεί να ανέρχεται στα επίπεδα του 25%, τιμή που λαμβάνεται ως το βασικό σενάριο χρηματοδότησης για την παρούσα οικονομική ανάλυση. Σημειώνεται ότι το ποσοστό της επιχορήγησης είναι δυνατόν να ανέλθει σε υψηλότερα επίπεδα σε περίπτωση που οι αρμόδιοι ΟΤΑ αποφασίσουν να χρηματοδοτήσουν την επένδυση.

Καθώς το ύψος μιας τέτοιας επένδυσης είναι αρκετά υψηλό, κρίνεται σκόπιμη η λήψη δανείου για σημαντικό μέρος των παγίων κεφαλαίων. Για τις ανάγκες του σχεδιασμού του επιχειρηματικού πλάνου, θεωρείται ότι η συμμετοχή των ιδιωτικών κεφαλαίων αγγίζει το 40% επί του συνολικού κόστους επένδυσης, με τους υπόλοιπους απαιτούμενους πόρους να καλύπτονται από δανειακά κεφάλαια.

Οι πηγές χρηματοδότησης της επένδυσης συνοψίζονται στον πίνακα 4.4.

| Κατηγορία | Ύψος δαπάνης (€) | Ποσοστό (%) |
|---------------|--------------------|---------------|
| Ίδια κεφάλαια | 48.000.000 | 40,0% |
| Επιχορήγηση | 30.000.000 | 25,0% |
| Δάνειο | 42.000.000 | 35,0% |
| Σύνολο | 120.000.000 | 100,0% |

Επισημαίνεται ότι μια τέτοιας εντάσεως κεφαλαίου επένδυση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από ισχυρούς επιχειρηματικούς ομίλους ή μέσω κρατικών ενισχύσεων ως προς τους όρους δανεισμού. Γενικά, το επιτόκιο δανεισμού καθορίζεται από τα επιτόκια της Ευρωπαϊκής Τράπεζας και κυμαίνεται σε επίπεδα 1,0% πάνω από τα τρέχοντα επιτόκια Euribor. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης λαμβάνεται η παραδοχή ότι το επιτόκιο δανεισμού ισούται με 5,0%, ενώ η περίοδος αποπληρωμής ισούται με 7 έτη. Οι όροι του μακροχρόνιου δανεισμού παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Κατηγορία | Ύψος δαπάνης (€) |
|--------------------------|------------------|
| Ύψος δανείου (€) | 42.000.000 |
| Επιτόκιο (%) | 5,0% |
| Περίοδος χάριτος (έτη) | 1 |
| Περίοδος εξόφλησης (έτη) | 7 |
| Ετήσιο τοκοχρεολύσιο (€) | 7.258.432 |

4.7.2.3 Λειτουργία της μονάδας

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι τα σημαντικότερα έσοδα από τη λειτουργία της μονάδας θα προέρχονται από την είσπραξη του τέλους διάθεσης των ΑΣΑ (gate fee). Τα έσοδα αυτά δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν στην παρούσα φάση καθώς το τέλος αυτό αφενός δεν είναι συγκεκριμένο και αφετέρου μπορεί να είναι γνωστό εκ των προτέρων. Το τέλος διάθεσης θα καθοριστεί από τα υπόλοιπα χρηματοοικονομικά μεγέθη και τα οικονομικά αποτελέσματα του προτεινόμενου επιχειρηματικού σχεδίου, καθώς η κοστολόγησή του θα γίνει με γνώμονα την οικονομική

βιωσιμότητα της επένδυσης [EC, 2001]. Σημειώνεται ότι η επιβολή του εν λόγω τέλους είναι επιβεβλημένη προκειμένου για τη διασφάλιση της οικονομικότητας του παρόντος επιχειρηματικού σχεδίου, αποτελεί δε συνήθη πρακτική σε διεθνές επίπεδο [World Bank, 1999, Connett, 1998].

Από την άλλη πλευρά, τα κόστη διάθεσης των παραγόμενων προϊόντων από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην εγκατάσταση παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6. Ειδικότερα, για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης θεωρείται ότι το παραγόμενο compost από τη μονάδα επεξεργασίας ΑΣΑ θα διατίθεται δωρεάν ως εδαφοβελτιωτικό, χωρίς κανένα όφελος ούτε επιβάρυνση για τον φορέα λειτουργίας της μονάδας, καθώς η ποιότητά του δεν αναμένεται να είναι ιδιαίτερα υψηλή έτσι ώστε να προκύψουν έσοδα από την πώλησή του. Ομοίως, λαμβάνεται η ίδια θεώρηση για το κόστος διάθεσης των παραγόμενων μετάλλων. Τα λοιπά μη αξιοποιήσιμα υλικά θα διατίθενται για απόθεση στον παρακείμενο ΧΥΤΑ με μέσο κόστος 28€ ανά διατιθέμενο τόνο υπολειμμάτων. Επιπροσθέτως, αν και οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης της παραγόμενης τέφρας πυθμένα έχουν αναφερθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας μελέτης, επειδή δεν υφίσταται στην παρούσα φάση στη χώρα μας σχετική αγορά για το εν λόγω προϊόν, λαμβάνεται η παραδοχή ότι θα διατίθεται στον παρακείμενο ΧΥΤΑ για απόθεση ως υπόλειμμα με το ίδιο κόστος (28€ ανά τόνο). Από την άλλη πλευρά, η ιπτάμενη τέφρα δεν είναι αδρανής όπως η τέφρα πυθμένα, και απαιτείται η αδρανοποίησή της πριν την τελική της διάθεση. Για τον λόγο αυτόν λαμβάνεται η παραδοχή ότι το συνολικό μέσο κόστος διαχείρισης της ιπτάμενης τέφρας θα κυμαίνεται περί τα 70€ ανά τόνο υπολείμματος. Σημειώνεται δε ότι το παραγόμενο RDF δεν έχει κόστος, καθώς σύμφωνα με τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, η παραγωγή και η θερμική επεξεργασία του αποτελούν ευθύνη του ίδιου φορέα.

| Πίνακας 4.6: Κόστη διάθεσης προϊόντων | | |
|---------------------------------------------------|--------|------|
| Παράμετρος | Μονάδα | Τιμή |
| Κόστος διάθεσης παραγόμενου compost | [€/t] | 0 |
| Κόστος διάθεσης παραγόμενων μετάλλων | [€/t] | 0 |
| Κόστος διάθεσης μη αξιοποιήσιμων υλικών σε ΧΥΤΑ | [€/t] | 28 |
| Κόστος διάθεσης τέφρας πυθμένα σε ΧΥΤΑ | [€/t] | 28 |
| Κόστος επεξεργασίας και διάθεσης ιπτάμενης τέφρας | [€/t] | 70 |

Ακολουθώς παρατίθενται ορισμένες επιπρόσθετες παραδοχές που συνδέονται άμεσα με τα οικονομικά δεδομένα της μονάδας.

- Οι μέσες ετήσιες δαπάνες συντήρησης και αναλωσίμων της μονάδας επεξεργασίας των ΑΣΑ κυμαίνονται περί το 8% επί του παγίου κόστους κεφαλαίου της εν λόγω μονάδας [Niessen et al, 1996].
- Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η απαιτούμενη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του εξοπλισμού λαμβάνεται ίση με 8,0MW_e. Με βάση τις ώρες λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας των ΑΣΑ, οι μέσες ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανέρχονται σε 3,6% περίπου επί του παγίου κόστους της.
- Ένα μέσο αντιπροσωπευτικό, ανηγμένο για το έτος 2010, μεταβλητό λειτουργικό κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης δευτερογενών απορριμμάτων χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της

ρευστοποιημένης κλίνης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 30 και 50€ ανά τόνο καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων των σχετικών δαπανών λειτουργίας και συντήρησης [Faaij et al, 1998]. Για την παρούσα ανάλυση σκοπιμότητας λαμβάνεται η παραδοχή ότι το συνολικό κόστος επεξεργασίας, μεταβλητό και σταθερό, ισούται περί τα 40€ ανά τόνο RDF [SRBEP, 1994] που αντιστοιχούν σε 10% επί του αντίστοιχου παγίου κόστους της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης.

- Σύμφωνα με τα τρέχοντα τιμολόγια της Δ.Ε.Η. σχετικά με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ανέρχεται σε 0,06449€/kWh, ενώ η τιμή πώλησης του 90% της ηλεκτρικής ισχύος της εγκατάστασης ανέρχεται σε 1,65565€/kW_e ανά μήνα.
- Σύμφωνα με της διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας (Ν. 2773/99, «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις») προβλέπεται η επιβολή τέλους υπέρ του ΟΤΑ στα όρια του οποίου χωροθετείται μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Το τέλος αυτό ανέρχεται σε 2% επί των ακαθάριστων εσόδων από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος στον ΔΕΣΜΗΕ, σύμφωνα με την ΚΥΑ Δ6/Φ1/11444/22.6.2001 «περί του καθορισμού ύψους τέλους υπέρ ΟΤΑ από ηλεκτροπαραγωγή με χρήση ΑΠΕ».
- Σύμφωνα με την αναφορά που έχει γίνει σε προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με την απαιτούμενη στελέχωση της εγκατάστασης, το διοικητικό κόστος που επιβαρύνει τη λειτουργία της επιχείρησης και περιλαμβάνει της πληρωμές του προσωπικού εκτιμάται ότι θα ανέρχεται περί της 760.000€ ετησίως ή 1,74€ ανά τόνο ΑΣΑ.
- Της, λαμβάνεται η παραδοχή ότι ο φορέας λειτουργίας επιβαρύνεται σε ετήσια βάση με επιπρόσθετα έξοδα ύψους 10% επί των λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη απροβλέπτων.
- Τέλος, σημειώνεται ότι ο φορολογικός συντελεστής ισούται με 35%.

Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται οι συντελεστές τιμολόγησης που σχετίζονται με τη λειτουργία της εγκατάστασης.

| Πίνακας 4.7: Συντελεστές τιμολόγησης | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------|
| Παράμετρος | Μονάδα | Τιμή |
| Ετήσιες δαπάνες συντήρησης και αναλωσίμων μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | [% επί παγίου κόστους] | 8,0% |
| Ετήσιες ενεργειακές δαπάνες μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | [% επί παγίου κόστους] | 3,6% |
| Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης RDF | [% επί παγίου κόστους] | 10,0% |
| Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας | [€/kWh] | 0,06449 |
| Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ισχύος | [€/kW _e /μήνα] | 1,65565 |
| Τέλη υπέρ ΟΤΑ | [% επί ηλ. ενέργειας] | 2,0% |
| Ετήσιο διοικητικό κόστος | [€] | 760.000 |
| Απρόβλεπτες δαπάνες | [% επί δαπανών] | 10,0% |

4.8 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση

Σύμφωνα με της παραδοχές και τα δεδομένα σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της επένδυσης προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα ως της την οικονομικότητα του επιχειρηματικού σχεδίου και τη βιωσιμότητά του.

4.8.1 Αριθμοδείκτες - ορισμοί

Με βάση την οικονομική ανάλυση που έλαβε χώρα είναι εφικτή η προσέγγιση σε σημαντικό βαθμό των προϋποθέσεων υπό της οποίες η προτεινόμενη επένδυση καθίσταται οικονομική. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι κυριότεροι αριθμοδείκτες από της οποίους προκύπτουν τα σημαντικότερα συμπεράσματα ως της τη βιωσιμότητα του επιχειρηματικού σχεδίου.

Η ανάλυση γίνεται με βάση την έντοκη περίοδο αποπληρωμής, την Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV), τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR) και τον λόγο Οφέλους της Κόστους.

Η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης ορίζεται ως ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται θεωρητικά για να ανακτηθεί η αρχική επένδυση κεφαλαίου [Λίποβατς, 1992]. Στην παρούσα οικονομική ανάλυση κρίνεται σκόπιμο να ληφθεί υπόψη η χρονική αξία του χρήματος. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμη η χρησιμοποίηση της έντοκης περιόδου αποπληρωμής με την οποία λαμβάνεται της ελάχιστος αποδεκτός ρυθμός απόδοσης (επιτόκιο προεξόφλησης), έτσι ώστε να επιτρέπεται ο υπολογισμός της μέσου ετήσιου αριθμού για το κέρδος συν την απόσβεση και να αντικατοπτρίζεται η χρονική αξία των χρημάτων. Ο χρόνος ανάκτησης μιας επένδυσης παγίου κεφαλαίου κατά τη διάρκεια της υπολογισμένης ζωής μέσω της μέσης ετήσιας ροής μετρητών αποτελεί την έντοκη περίοδο αποπληρωμής [Peters and Timmerhaus, 1991].

Το πιο συνηθισμένο κριτήριο αποδοτικότητας στην ανάλυση σχεδίων επένδυσης είναι η NPV, η οποία αποτελεί την αξία που προκύπτει αν προεξοφληθεί για κάθε έτος η διαφορά μεταξύ όλων των μελλοντικών χρηματικών (ταμειακών) εισροών και εκροών για ολόκληρο το χρόνο ζωής του σχεδίου επένδυσης, με βάση έναν συντελεστή προεξόφλησης. Η έννοια της παρούσας αξίας έχει ιδιαίτερη αξία γιατί αντιπροσωπεύει κάθε χρηματική ροή του επενδυτικού σχεδίου στην τωρινή αξία της, δηλαδή σε αυτήν που ισχύει τη στιγμή που ο υποψήφιος επενδυτής λαμβάνει της αποφάσεις του [Θεοφανίδης, 1987]. Η NPV εκφράζει το συνολικό όφελος καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της επένδυσης, επηρεάζεται από το επιτόκιο αναγωγής και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$NPV = -K + SV \times (1+d)^{-N} + \sum_{\tau=1}^N (F_{\tau} \times (1+d)^{-\tau})$$

όπου K: η αρχική επένδυση

F_{τ} : το ετήσιο καθαρό όφελος

N: ο οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (20 έτη)

SV: η απομένουσα αξία επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής της (ίση με μηδέν)

d: το επιτόκιο αναγωγής (ή προεξόφλησης) σε παρούσα αξία [ΚΑΠΕ, 2001].

Ο IRR αποτελεί ουσιαστικά το επιτόκιο προεξόφλησης για το οποίο τα συνολικά έσοδα από την επένδυση καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του γίνονται ίσα με το αρχικό κόστος επένδυσης [Θεοφανίδης, 1987], είναι δηλαδή το επιτόκιο για το οποίο η NPV ισούται με μηδέν. Για το συγκεκριμένο επιχειρηματικό σχέδιο, σε περίπτωση που ο IRR υπολογιστεί μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής, η επένδυση κρίνεται οικονομικά βιώσιμη [ΚΑΠΕ, 2001, Λίποβατς, 1992].

Η μέθοδος του λόγου Οφέλους της Κόστος παρέχει ένα μέτρο του καθαρού οφέλους από το έργο σε σχέση με το καθαρό του κόστος. Οι καθαρές αξίες για τα οφέλη και τα κόστη υπολογίζονται σε σχέση με μια περίπτωση αναφοράς, ενώ για να είναι βιώσιμη μια επένδυση πρέπει ο λόγος της να είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα [ΚΑΠΕ, 2001]. Ο λόγος Οφέλους της Κόστος είναι ο λόγος του συνόλου των προεξοφλημένων ρών των οικονομικών ωφελειών της το σύνολο των προεξοφλημένων ρών του οικονομικού κόστους του επιχειρησιακού σχεδίου για ολόκληρη την περίοδο ζωής του [Θεοφανίδης, 1987].

Το επιτόκιο προεξόφλησης για την παρούσα επένδυση λαμβάνεται ίσο με 15,0% ώστε να αντικατοπτρίζεται ικανοποιητικά ο επιχειρηματικός κίνδυνος που υπάρχει σε μια επένδυση αυτού του μεγέθους και με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ο οποίος επηρεάζεται κυρίως από την εφαρμογή της καινοτόμου τεχνολογίας για τα δεδομένα της ελληνικής πραγματικότητας. Οι παράμετροι που έχουν ληφθεί υπόψη για τη θεώρηση του συγκεκριμένου επιτοκίου προεξόφλησης οφείλονται στην ενδεχόμενη αδυναμία εξασφάλισης των απαιτούμενων ποσοτήτων πρώτων υλών (ΑΣΑ).

4.8.2 Ιδιοκτησία της επένδυσης

Οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ διεθνώς λειτουργούνται παραδοσιακά από δημόσιους οργανισμούς. Με τον τρόπο αυτόν, οι δημόσιοι φορείς αναλαμβάνουν τους κινδύνους που σχετίζονται με τη λειτουργία των μονάδων, ενώ συνήθως το λειτουργικό κόστος δε μπορεί να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα.

Από την άλλη πλευρά, η συμμετοχή ιδιωτικών εταιρειών στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ μπορεί να διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη και υλοποίηση σχετικών έργων. Τα κίνητρα για τα οποία η Πολιτεία οφείλει να συνδράμει στη δημιουργία του απαραίτητου υποβάθρου για την εισροή ιδιωτικών κεφαλαίων στον χώρο συνδέονται άμεσα με τον περιορισμό των αναγκαίων πόρων, είτε ως απαιτούμενα πάγια κεφάλαια για την κατασκευή των μονάδων επεξεργασίας ΑΣΑ, είτε ως επιδοτήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα για τη λειτουργία τους. Τα κίνητρα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν φοροαπαλλαγές ή φοροελαφρύνσεις ή ακόμα και άμεσες επιχορηγήσεις.

Επιπροσθέτως, οι δημόσιοι οργανισμοί, μη διαθέτοντας την απαιτούμενη τεχνογνωσία, συνήθως αρνούνται να αναλάβουν τεχνολογικά ρίσκα που σχετίζονται με τη λειτουργία των μονάδων, γεγονός το οποίο καθιστά τη μέθοδο της αυτοχρηματοδότησης των επενδύσεων ως μια αρκετά ελκυστική επιλογή [Rogoff, 1987].

Στην παρούσα φάση επιλέγεται η μελέτη τριών εναλλακτικών σεναρίων για τα οποία γίνεται εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας. Κατ' αρχήν, η μέθοδος της αυτοχρηματοδότησης της επένδυσης αποτελεί το βασικό σενάριο της μελέτης σκοπιμότητας. Επιγραμματικά, για την παρούσα μελέτη σκοπιμότητας και με βάση τις παραμέτρους που επηρεάζουν το συγκεκριμένο επιχειρηματικό σχέδιο, θεωρείται ότι μια ιδιωτική επένδυση η οποία γίνεται με γνώμονα χρηματοοικονομικά κριτήρια προϋποθέτει επιθυμητή έντοκη περίοδο αποπληρωμής περί τα πέντε (5) έτη.

Παράλληλα, εξετάζεται το ενδεχόμενο υλοποίησης του έργου από την πλευρά ενός δημόσιου φορέα, γεγονός το οποίο συνδέεται άμεσα με μεγαλύτερους επιθυμητούς χρόνους αποπληρωμής των επενδεδυμένων παγίων κεφαλαίων, λόγω των κοινωνικών ωφελειών που διέπουν ένα τέτοιου είδους εγχείρημα. Στην περίπτωση αυτή, η αντίστοιχη περίοδος για μια δημόσια επένδυση η οποία γίνεται με γνώμονα το κοινωνικό όφελος από την υλοποίηση του σχετικού εγχειρήματος, δίνοντας ελάχιστη σημασία σε χρηματοοικονομικά μεγέθη και αποτελέσματα μπορεί να ανέλθει σε επίπεδα άνω των είκοσι (20) ετών.

Τέλος, η δημιουργία ενός μικτού σχήματος χρηματοδότησης αποτελεί μια πρόσθετη εναλλακτική επιλογή ως προς τον φορέα υλοποίησης του έργου. Για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης εφικτότητας θεωρείται ότι η επιθυμητή περίοδος έντοκης αποπληρωμής θα πρέπει να κυμαίνεται περί την δεκαετία.

4.8.3 Οικονομικά αποτελέσματα

Πρέπει να επισημανθεί ότι ένας από της στόχους της παρούσας ανάλυσης είναι ο καθορισμός του απαιτούμενου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ. Ως εκ τούτου, λαμβάνεται η παραδοχή ότι η επένδυση πρέπει να αποπληρωθεί εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

Ακολούθως παρατίθενται τα οικονομικά αποτελέσματα ανάλογα με φορέα υλοποίησης του έργου, άρα και με βάση την αντίστοιχη επιθυμητή έντοκη περίοδο αποπληρωμής.

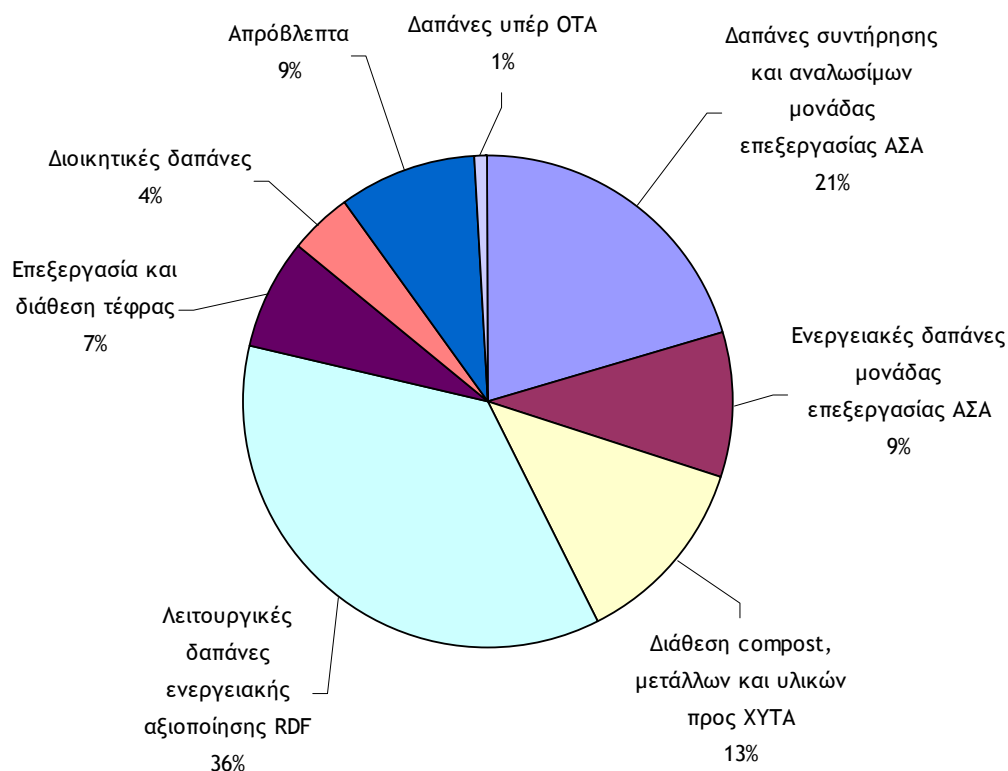
4.8.3.1 Ετήσιες δαπάνες

Τα έξοδα που επιβαρύνουν την επιχείρηση σε ετήσια βάση περιλαμβάνουν τις λειτουργικές δαπάνες, τα κόστη διάθεσης των προϊόντων, τις διοικητικές δαπάνες, με την προσθήκη των απροβλέπτων και την επιβάρυνση με το ειδικό τέλος προς τους ΟΤΑ που συνδέεται με την χωροθέτηση και λειτουργία έργων ΑΠΕ. Πρέπει δε να σημειωθεί ότι τα ετήσια έξοδα είναι ανεξάρτητα από τον φορέα υλοποίησης του έργου, καθώς δε συνδέονται με το ύψος του τέλους διάθεσης των ΑΣΑ.

Στον πίνακα 4.8 παρατίθεται συνοπτικά ο μέσος όρος των ετήσιων δαπανών που διέπουν τη λειτουργία της μονάδας, σε ορίζοντα εικοσαετίας. Με βάση τα δεδομένα του πίνακα, προκύπτει ότι οι λειτουργικές δαπάνες τόσο της μονάδας επεξεργασίας των ΑΣΑ όσο και της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης του RDF αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες επίδρασης στο συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργία της υπό εξέταση μονάδας, ενώ το κόστος επεξεργασίας και διάθεσης των λοιπών προϊόντων και υπολειμμάτων (compost, μετάλλων, τέφρας και λοιπών μη αξιοποιήσιμων υλικών) είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

| Πίνακας 4.8: Δαπάνες λειτουργίας (μέσος όρος εικοσαετίας) | |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|
| Δαπάνες συντήρησης και αναλωσίμων μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | 3.850.000 |
| Ενεργειακές δαπάνες μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ | 1.729.728 |
| Διάθεση compost, μετάλλων και λοιπών μη αξιοποιήσιμων υλικών | 2.360.820 |
| Λειτουργικές δαπάνες ενεργειακής αξιοποίησης RDF | 6.737.500 |
| Επεξεργασία και διάθεση τέφρας | 1.345.667 |
| Διοικητικές δαπάνες | 760.200 |
| Απρόβλεπτα | 1.505.419 |
| Δαπάνες υπέρ ΟΤΑ | 174.695 |
| Ετήσια έξοδα (€) | 18.640.972 |

Ακολούθως, στο διάγραμμα 4.2 απεικονίζεται γραφικά ο επιμερισμός των ετήσιων δαπανών λειτουργίας της εγκατάστασης, με βάση τα δεδομένα του πίνακα 4.8.



Διάγραμμα 4.2: Επιμερισμός ετήσιων δαπανών

4.8.3.2 Ανάλυση λειτουργίας προκειμένου για αυτοχρηματοδοτούμενη επένδυση

Ως βασικό σενάριο για την οικονομική ανάλυση λαμβάνεται ότι η προτεινόμενη επένδυση γίνεται με τη μέθοδο της αυτοχρηματοδότησης, δηλαδή η επιθυμητή έντοκη αποπληρωμή των ιδίων κεφαλαίων πρέπει να είναι μικρότερη (ή οριακά ίση) των πέντε (5) ετών.

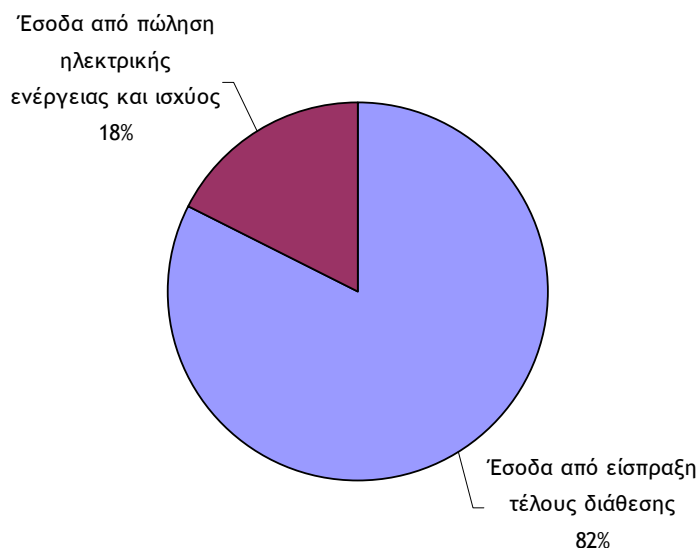
Σύμφωνα με τις παραδοχές που έχουν αναφερθεί, το απαιτούμενο τέλος διάθεσης των ΑΣΑ για το βασικό σενάριο ανέρχεται σε 99,49€ ανά τόνο. Δεδομένου ότι σε κάθε κάτοικο αντιστοιχεί παραγωγή

περίπου 1,1kg ΑΣΑ ημερησίως [EC, 2000, EC, 2002], το κατά κεφαλή τέλος διάθεσης κυμαίνεται περί τα 31,96€ ετησίως. Αν υπολογιστεί δε το γεγονός ότι κάθε ελληνικό νοικοκυριό αποτελείται από 2,8 άτομα κατά μέσο όρο [EC, 2002], το ετήσιο τέλος που αντιστοιχεί σε κάθε ελληνική οικογένεια ανέρχεται σε 89,48€.

Στον πίνακα 4.9 παρατίθενται οι μέσοι όροι των εσόδων σε ορίζοντα εικοσαετίας, καθώς και τα αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (EBIDTA) που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση.

| Πίνακας 4.9: Ανάλυση λειτουργίας αυτοχρηματοδοτούμενης επένδυσης | |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Έσοδα από είσπραξη τελών διάθεσης (€) | 41.941.935 |
| Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος (€) | 8.933.255 |
| Ετήσια έσοδα (€) | 50.875.190 |
| Ετήσια έξοδα (€) | 18.640.972 |
| Αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (€) | 32.234.218 |

Επιπλέον, στο διάγραμμα 4.3 επιμερίζονται τα ετήσια έσοδα από τη λειτουργία της μονάδας σε έσοδα από την είσπραξη του υπολογισμένου τέλους διάθεσης και σε αυτά που προέρχονται από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 4.3: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων αυτοχρηματοδοτούμενης επένδυσης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότεροι αριθμοδείκτες από τους οποίους προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα ως προς την οικονομική βιωσιμότητα του επιχειρηματικού σχεδίου.

| Πίνακας 4.10: Αριθμοδείκτες αυτοχρηματοδοτούμενης επένδυσης | | | |
|-------------------------------------------------------------|-------|------------|------------|
| Δείκτης | 5 έτη | 10 έτη | 20 έτη |
| IRR επί ιδίων κεφαλαίων (%) | 15,0% | 29,2% | 31,9% |
| NPV επί ιδίων κεφαλαίων (€) | 0 | 34.840.193 | 62.262.512 |
| Όφελος / Κόστος | 1,00 | 1,29 | 1,52 |

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 4.10, ο καθορισμός του τέλους διάθεσης στα συγκεκριμένα επίπεδα έχει ως αποτέλεσμα η έντοκη περίοδος αποπληρωμής να ισούται με πέντε (5) έτη, ενώ οι υψηλές τιμές της NPV σε ορίζοντα δεκαετίας και του αντίστοιχου λόγου Οφέλους προς Κόστος καταδεικνύουν την ελκυστικότητα της επένδυσης.

4.8.3.3 Ανάλυση λειτουργίας προκειμένου για μικτό σχήμα χρηματοδότησης

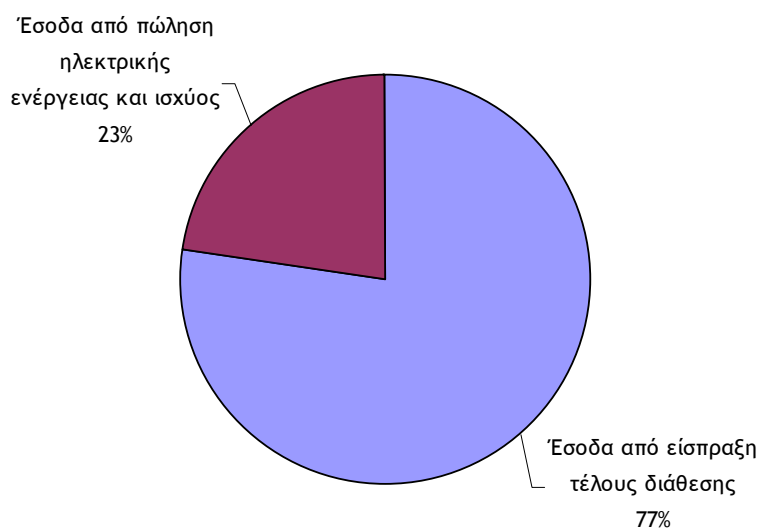
Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η διερεύνηση ενός εναλλακτικού σεναρίου το οποίο προϋποθέτει ένα μικτό σχήμα χρηματοδότησης μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών φορέων. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση η επιθυμητή έντοκη αποπληρωμή των ιδίων κεφαλαίων λαμβάνεται ίση με δέκα (10) έτη.

Όπως προκύπτει με βάση το σενάριο αυτό, το απαιτούμενο τέλος διάθεσης των ΑΣΑ ανέρχεται σε 71,68€ ανά τόνο, με αποτέλεσμα το κατά κεφαλή τέλος διάθεσης να κυμαίνεται περί τα 23,02€ ετησίως, ενώ το ετήσιο τέλος που αντιστοιχεί σε κάθε ελληνική οικογένεια ισούται με 64,46€.

Στον πίνακα 4.11 παρατίθενται οι μέσοι όροι των εσόδων σε ορίζοντα εικοσαετίας, καθώς και τα αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (EBIDTA) που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση.

| Πίνακας 4.11: Ανάλυση λειτουργίας μικτού σχήματος χρηματοδότησης | |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Έσοδα από είσπραξη τελών διάθεσης (€) | 30.216.555 |
| Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος (€) | 8.933.255 |
| Ετήσια έσοδα (€) | 39.149.809 |
| Ετήσια έξοδα (€) | 18.640.972 |
| Αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (€) | 20.508.837 |

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 4.4 απεικονίζεται γραφικά ο επιμερισμός των ετησίων εσόδων από τη λειτουργία της μονάδας σε έσοδα από την είσπραξη του υπολογισμένου τέλους διάθεσης και σε αυτά που προέρχονται από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 4.4: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων μικτού σχήματος χρηματοδότησης

Τέλος, στον πίνακα 4.12 παρουσιάζονται οι βασικοί αριθμοδείκτες ως προς την οικονομικότητα της επένδυσης.

| Πίνακας 4.12: Αριθμοδείκτες μικτού σχήματος χρηματοδότησης | | | |
|------------------------------------------------------------|-------------|--------|------------|
| Δείκτης | 5 έτη | 10 έτη | 20 έτη |
| IRR επί ιδίων κεφαλαίων (%) | -4,0% | 15,0% | 20,1% |
| NPV επί ιδίων κεφαλαίων (€) | -21.643.215 | 0 | 17.598.998 |
| Όφελος / Κόστος | 0,82 | 1,00 | 1,15 |

4.8.3.4 Ανάλυση λειτουργίας δημόσιας επένδυσης

Σε περίπτωση που η επένδυση γίνει εξ ολοκλήρου με δημόσια κεφάλαια, λαμβάνεται ότι η επιθυμητή έντοκη αποπληρωμή των ιδίων κεφαλαίων ισούται με τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, δηλαδή είναι ίση με είκοσι (20) έτη.

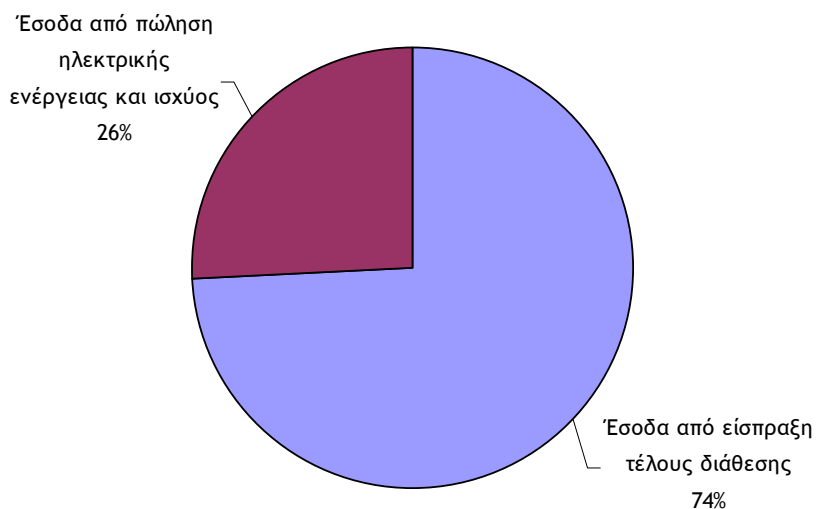
Στην περίπτωση αυτή, το απαιτούμενο τέλος διάθεσης των ΑΣΑ διαμορφώνεται σε 60,72€ ανά τόνο, με αποτέλεσμα το κατά κεφαλή τέλος διάθεσης να κυμαίνεται περί τα 19,50€ ετησίως, ενώ το ετήσιο τέλος που αντιστοιχεί σε κάθε ελληνική οικογένεια ανέρχεται σε 54,61€.

Στον πίνακα 4.13 παρατίθενται οι μέσοι όροι των εσόδων σε ορίζοντα εικοσαετίας, καθώς και τα αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (EBIDTA) που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση.

| Πίνακας 4.13: Ανάλυση λειτουργίας δημόσιας επένδυσης | |
|---------------------------------------------------------|-------------------|
| Έσοδα από είσπραξη τελών διάθεσης (€) | 25.596.342 |
| Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος (€) | 8.933.255 |
| Ετήσια έσοδα (€) | 34.529.596 |
| Ετήσια έξοδα (€) | 18.640.972 |
| Αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (€) | 15.888.624 |

Εξάλλου, στο διάγραμμα 4.5 επιμερίζονται τα ετήσια έσοδα από τη λειτουργία της μονάδας σε έσοδα από την είσπραξη του υπολογισμένου τέλους διάθεσης και σε αυτά που προέρχονται από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπροσθέτως, στον πίνακα 4.14 παρουσιάζονται οι αριθμοδείκτες που προκύπτουν από τα οικονομικά αποτελέσματα και περιλαμβάνουν τον IRR επί των ιδίων κεφαλαίων, την αντίστοιχη NPV, καθώς και το λόγο Όφελος προς Κόστος. Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει ότι η επένδυση δε μπορεί να θεωρείται οικονομικά ανταποδοτική για έναν ιδιώτη επενδυτή, λόγω της αρνητικής NPV για περίοδο μικρότερη της εικοσαετίας. Αντίθετα, από την πλευρά ενός δημόσιου φορέα, το εγχείρημα μπορεί να θεωρείται βιώσιμο υπό την προϋπόθεση ότι πέρα από τα συγκεκριμένα οικονομικά αποτελέσματα πρέπει να προσμετρώνται και να συνυπολογίζονται τα κοινωνικά οφέλη από την υλοποίηση του επιχειρηματικού σχεδίου.

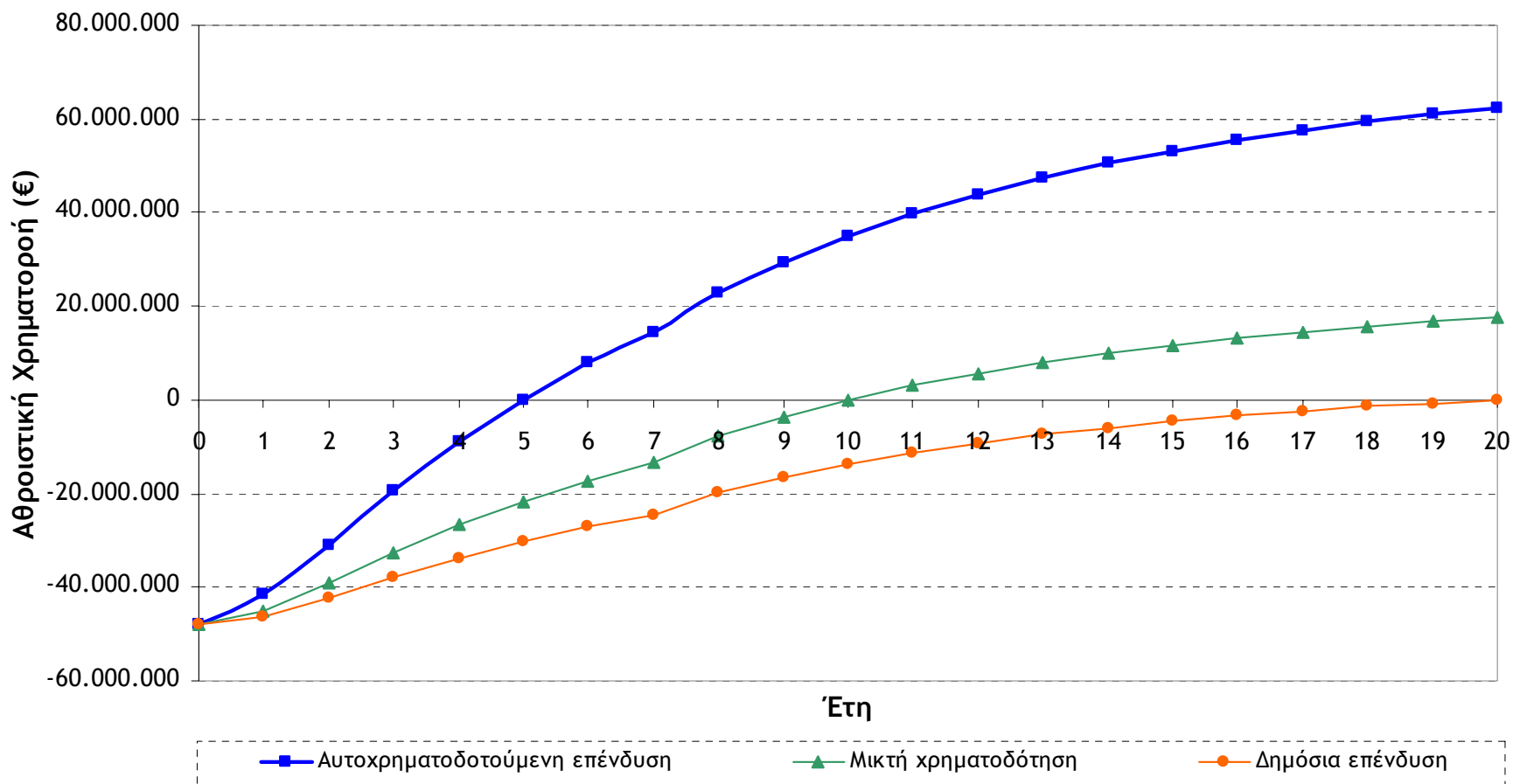


Διάγραμμα 4.5: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων προκειμένου για δημόσια επένδυση

| Πίνακας 4.14: Αριθμοδείκτες δημόσιας επένδυσης | | | |
|------------------------------------------------|-------------|-------------|--------|
| Δείκτης | 5 έτη | 10 έτη | 20 έτη |
| IRR επί ιδίων κεφαλαίων (%) | -13,7% | 8,4% | 15,0% |
| NPV επί ιδίων κεφαλαίων (€) | -30.171.405 | -13.728.263 | 0 |
| Όφελος / Κόστος | 0,75 | 0,89 | 1 |

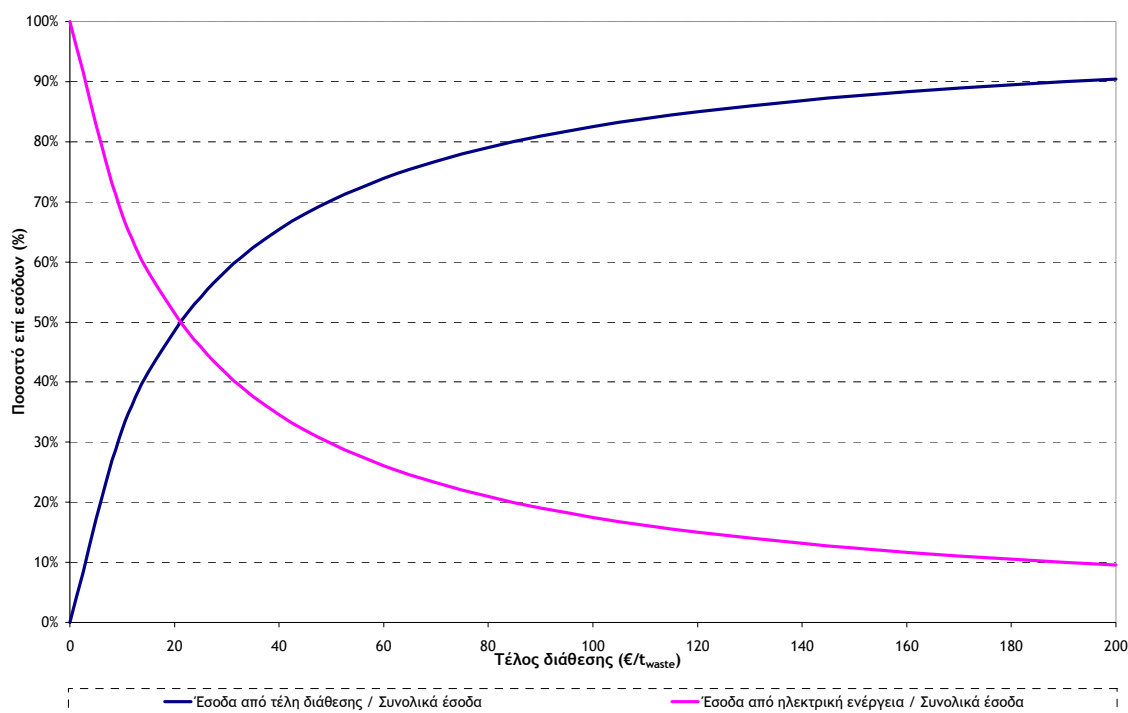
4.8.3.5 Σύνοψη - αθροιστικές χρηματοροές

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης που έχει λάβει χώρα έως αυτό το σημείο, στο διάγραμμα 4.6 απεικονίζονται γραφικά οι αθροιστικές χρηματοροές των ιδίων κεφαλαίων για κάθε περίπτωση από τις προαναφερόμενες. Εξάλλου, από το εν λόγω διάγραμμα προκύπτουν και οι αντίστοιχες έντοκες περίοδοι αποπληρωμής για κάθε περίπτωση.



Διάγραμμα 4.6: Αθροιστικές χρηματοροές ιδίων κεφαλαίων

Ακολουθώς, στο διάγραμμα 4.7 απεικονίζεται ο επιμερισμός των ετήσιων εσόδων σε έσοδα από την είσπραξη του τέλους διάθεσης και σε έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το εφαρμοζόμενο τέλος διάθεσης.



Διάγραμμα 4.7: Επιμερισμός ετήσιων εσόδων με την αύξηση του τέλους διάθεσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί αλλά και με βάση το διάγραμμα, το τέλος διάθεσης των ΑΣΑ συνεισφέρει πολύ περισσότερο στις χρηματοροές του έργου, καθώς τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι συγκριτικά χαμηλότερα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος είναι σταθερά, λόγω της υφιστάμενης τιμολογιακής πολιτικής που σχετίζεται με τις ΑΠΕ. Από την άλλη πλευρά, οι ποσότητες των ΑΣΑ που εισέρχονται στη μονάδα επεξεργασίας θεωρούνται σταθερές, με αποτέλεσμα τα αντίστοιχα έσοδα να αυξάνονται ανάλογα με την αύξηση του τέλους διάθεσης και να αποτελούν μεγαλύτερο ποσοστό επί των συνολικών εσόδων εις βάρος των εισροών που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια.

4.8.4 Ανάλυση Ευαισθησίας

Λόγω της υψηλής αβεβαιότητας και σύμφωνα με τις παραδοχές που έχουν ληφθεί θεωρείται σκόπιμη η ανάλυση ευαισθησίας ως προς ορισμένες κρίσιμες παραμέτρους που σχετίζονται άμεσα με την οικονομικότητα του εγχειρήματος. Η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ελάχιστου αποδεκτού τέλους αποκομιδής σε συνάρτηση με τη μεταβολή από -20,0% έως +20,0% ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Δυναμικότητα μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ
- Πάγιο κόστος κεφαλαίου

- Διαθεσιμότητα εγκατάστασης
- Συντελεστής παραγωγής RDF από ΑΣΑ
- Ποσοστό επικορήγησης της επένδυσης
- Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες επεξεργασίας απορριμμάτων
- Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες ενεργειακής αξιοποίησης RDF.

Ο πίνακας 4.15 περιέχει τις διακυμάνσεις των τιμών των προαναφερόμενων παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ευαισθησίας.

| Πίνακας 4.15: Διακύμανση τιμών παραμέτρων σχεδιασμού | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Παράμετροι σχεδιασμού | Διακύμανση από παράμετρο σχεδιασμού | | | | |
| | -20% | -10% | 0% | +10% | +20% |
| Δυναμικότητα μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ (t/d) | 1.200 | 1.350 | 1.500 | 1.650 | 1.800 |
| Πάγιο κόστος κεφαλαίου (€) | 96.000.000 | 108.000.000 | 120.000.000 | 132.000.000 | 144.000.000 |
| Διαθεσιμότητα εγκατάστασης (%) | 64,0% | 72,0% | 80,0% | 88,0% | 96,0% |
| Παραγωγή RDF από ΑΣΑ (%) | 32,0% | 36,0% | 40,0% | 44,0% | 48,0% |
| Ποσοστό επικορήγησης επένδυσης (%) | 20,0% | 22,5% | 25,0% | 27,5% | 30,0% |
| Ετήσιες δαπάνες συντήρησης και αναλώσιμων μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ (%) | 6,4% | 7,2% | 8,0% | 8,8% | 9,6% |
| Ετήσιες δαπάνες μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης RDF (%) | 8,0% | 9,0% | 10,0% | 11,0% | 12,0% |

Σημειώνεται ότι στην παρούσα ανάλυση ευαισθησίας επιχειρείται ο υπολογισμός της διακύμανσης του τέλους διάθεσης με τη διακύμανση κάθε επιμέρους παραμέτρου, θεωρώντας ότι οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές. Στόχος της ανάλυσης ευαισθησίας είναι η εύρεση του σημαντικότερου παράγοντα επίδρασης στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

Με βάση τις τιμές σχεδιασμού που έχουν αναφερθεί προηγουμένως, η ανάλυση ευαισθησίας ως προς διακύμανση του τέλους διάθεσης των ΑΣΑ απεικονίζεται γραφικά στα διαγράμματα που ακολουθούν (διαγράμματα 4.8, 4.9 και 4.10).

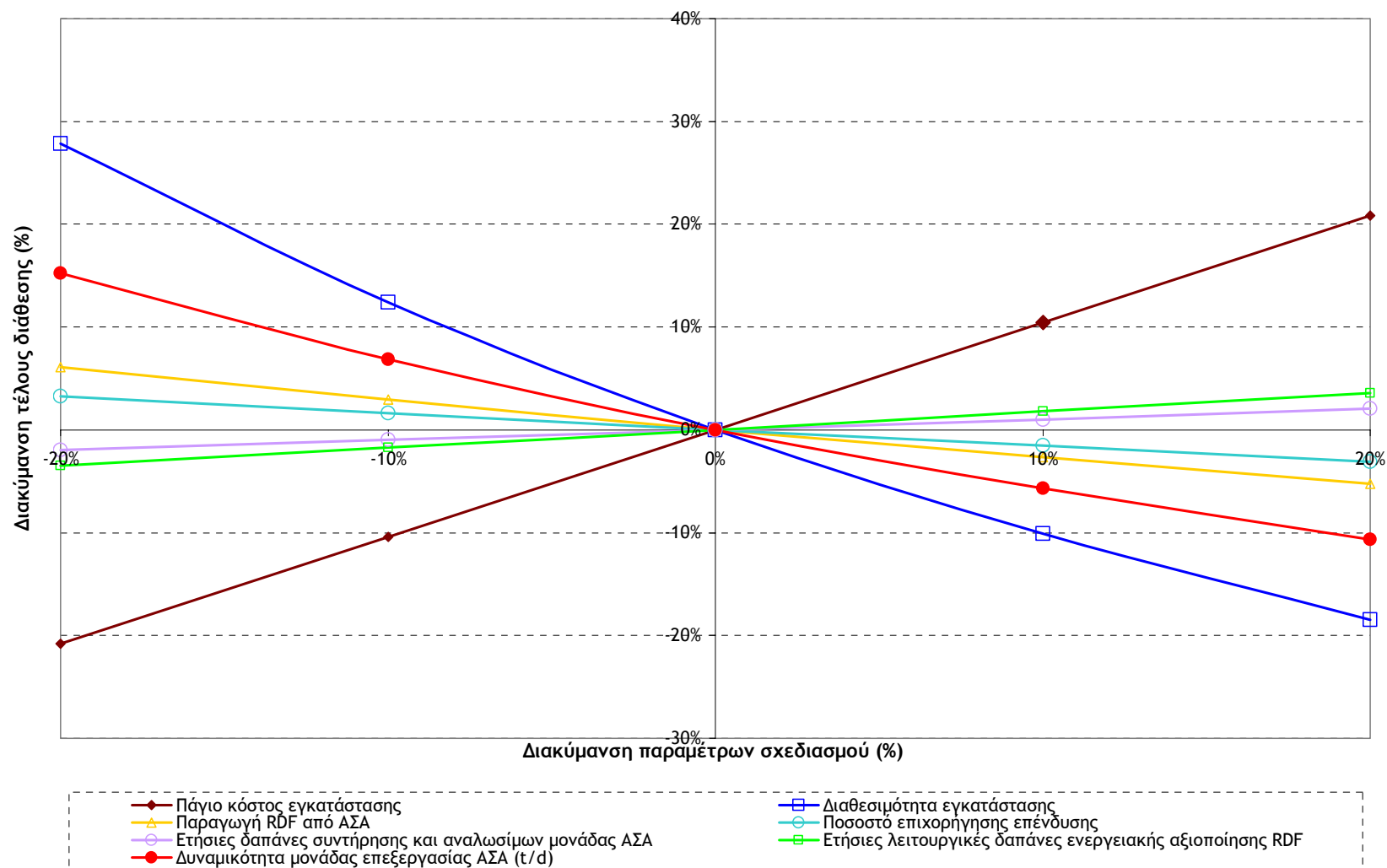
Οι σημαντικότερες επιδράσεις στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης αντιστοιχούν στη διακύμανση της διαθεσιμότητας και του παγίου κόστους κεφαλαίου της εγκατάστασης, καθώς και στη μεταβολή της δυναμικότητας της μονάδας.

Ειδικότερα, η αύξηση του παγίου κόστους κεφαλαίου και η μείωση των ωρών λειτουργίας της μονάδας συντελούν σε σημαντική μείωση των οικονομικών αποτελεσμάτων του επιχειρηματικού σχεδίου, με συνέπεια την ανάγκη επαναπροσδιορισμού του επιθυμητού τέλους διάθεσης σε υψηλότερα επίπεδα.

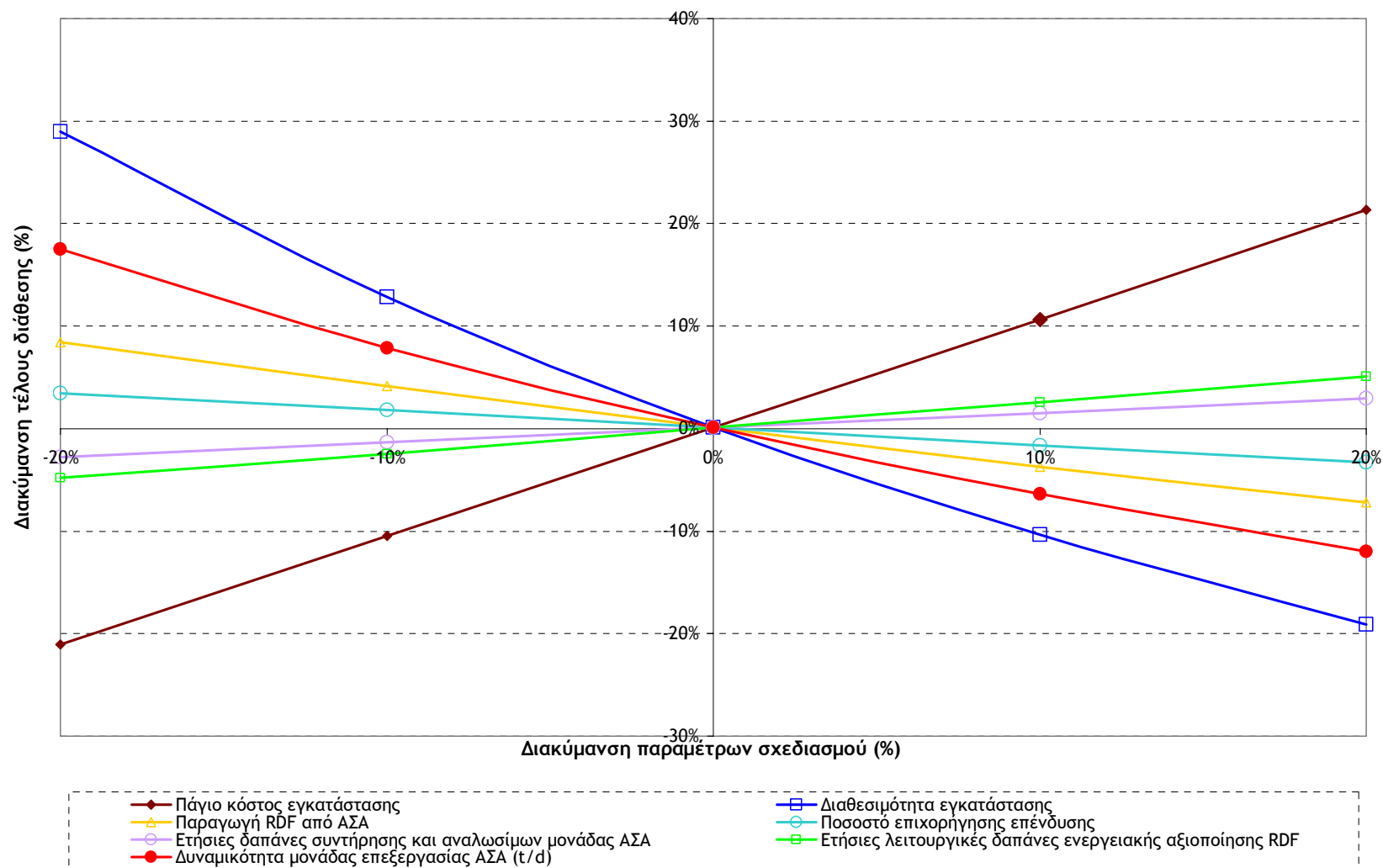
Επιπροσθέτως, αποδεικνύεται ότι η υπό εξέταση επένδυση υπόκειται σε έντονες οικονομίες κλίμακας, καθώς η αύξηση της δυναμικότητας της εγκατάστασης οδηγεί σε σημαντική μείωση του απαιτούμενου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ. Από την άλλη πλευρά, η μείωση της δυναμικότητας της

μονάδας προϋποθέτει την αξιοσημείωτη αύξηση του τέλους αυτού προκειμένου να διασφαλίζεται η βιωσιμότητα του επενδυτικού σχεδίου, αυξάνοντας παράλληλα το κόστος που αντιστοιχεί στους ΟΤΑ και κατ' επέκταση στο κοινωνικό σύνολο.

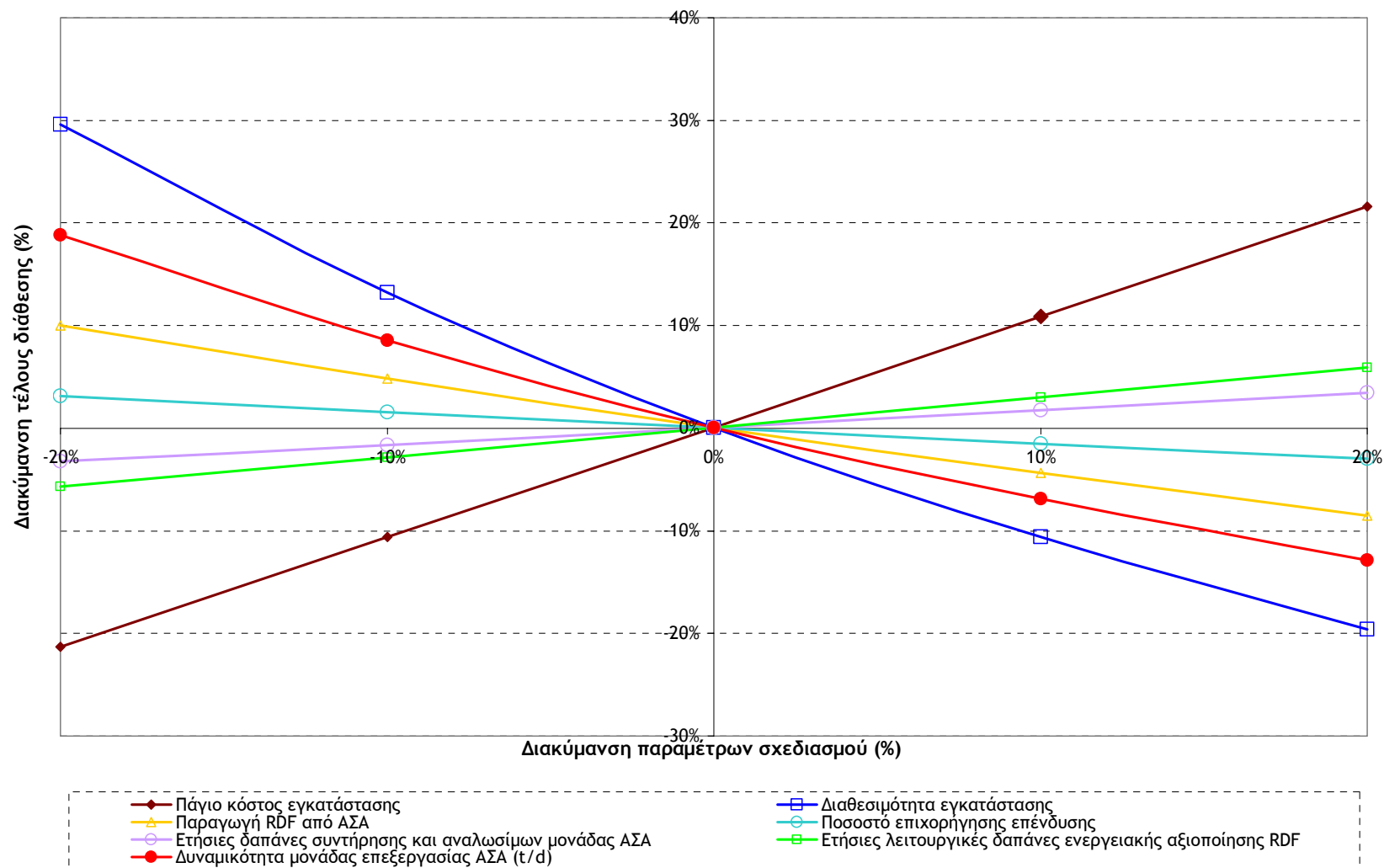
Οι υπόλοιπες παράμετροι (συντελεστής παραγωγής RDF, επιχορήγηση, λειτουργικές δαπάνες) έχουν σαφώς χαμηλότερη επίδραση στη διακύμανση του τέλους διάθεσης, άρα και στα οικονομικά αποτελέσματα του επιχειρηματικού σχεδίου.



Διάγραμμα 4.8: Ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου για αυτοχρηματοδοτούμενη επένδυση



Διάγραμμα 4.9: Ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου για μικτό σχήμα χρηματοδότησης



Διάγραμμα 4.10: Ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου για δημόσια επένδυση

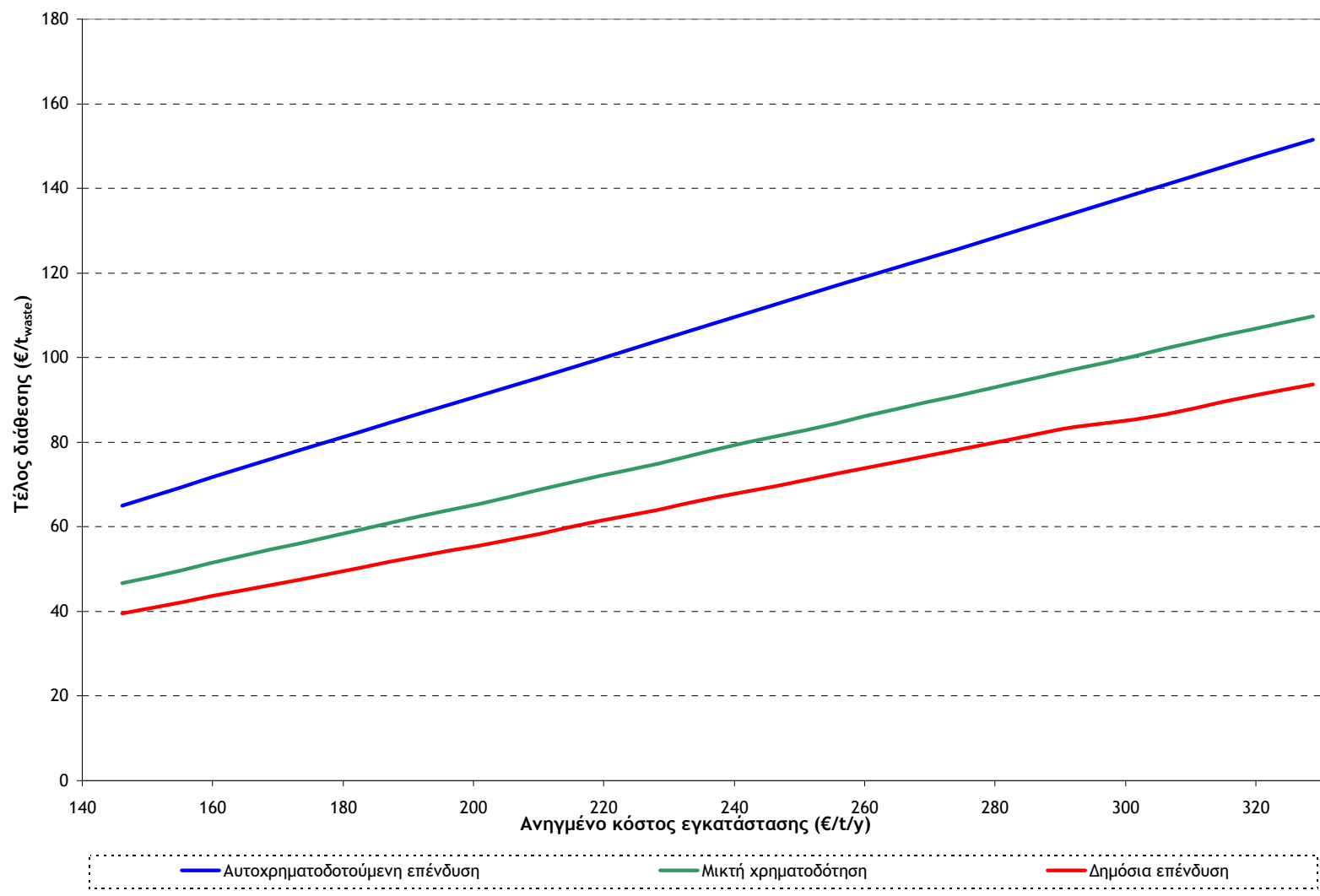
4.8.5 Διακύμανση τέλους διάθεσης απορριμμάτων

4.8.5.1 Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει του παγίου κόστους κεφαλαίου

Από την ανάλυση ευαισθησίας που έλαβε χώρα προέκυψε ότι, εκτός από τη διακύμανση της διαθεσιμότητας, η διακύμανση του απαιτούμενου παγίου κόστους κεφαλαίου για την υλοποίηση της εξεταζόμενης επένδυσης αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο επίδρασης στο απαιτούμενο τέλος διάθεσης, άρα και στα οικονομικά αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτόν κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση της διακύμανσης του απαιτούμενου τέλους διάθεσης με τη συγκεκριμένη παράμετρο.

Στο διάγραμμα 4.11 απεικονίζεται γραφικά η διακύμανση του σταθμισμένου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ συναρτήσει του ανηγμένου κόστους εγκατάστασης σε μια μονάδα επεξεργασίας ΑΣΑ με τις προδιαγραφές που έχουν ήδη αναφερθεί προκειμένου για πενταετή, δεκαετή και εικοσαετή επιθυμητή έντοκη περίοδο αποπληρωμής.

Από το διάγραμμα επιβεβαιώνεται ότι το πάγιο κόστος κεφαλαίου έχει ισχυρή επίδραση στο απαιτούμενο τέλος διάθεσης των ΑΣΑ, προκειμένου να εξασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα μιας αντίστοιχης επένδυσης. Είναι δε προφανές ότι ένα αυτοχρηματοδοτούμενο έργο προϋποθέτει ένα τέλος διάθεσης το οποίο να βρίσκεται σε κάθε περίπτωση πάνω από τη σχετική καμπύλη (μπλε χρώμα), ενώ το αντίστοιχο τέλος για μια δημόσια επένδυση μπορεί να κυμαίνεται σε επίπεδα κάτω της κόκκινης καμπύλης, ανάλογα πάντα με το ύψος του παγίου κόστους εγκατάστασης. Το αντίστοιχο τέλος προκειμένου για ένα μικτό σχήμα χρηματοδότησης της επένδυσης μπορεί να βρίσκεται μεταξύ των δύο αυτών καμπυλών (πράσινη γραμμή) ανάλογα με τη συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων και με βάση την επιθυμητή έντοκη περίοδο αποπληρωμής.



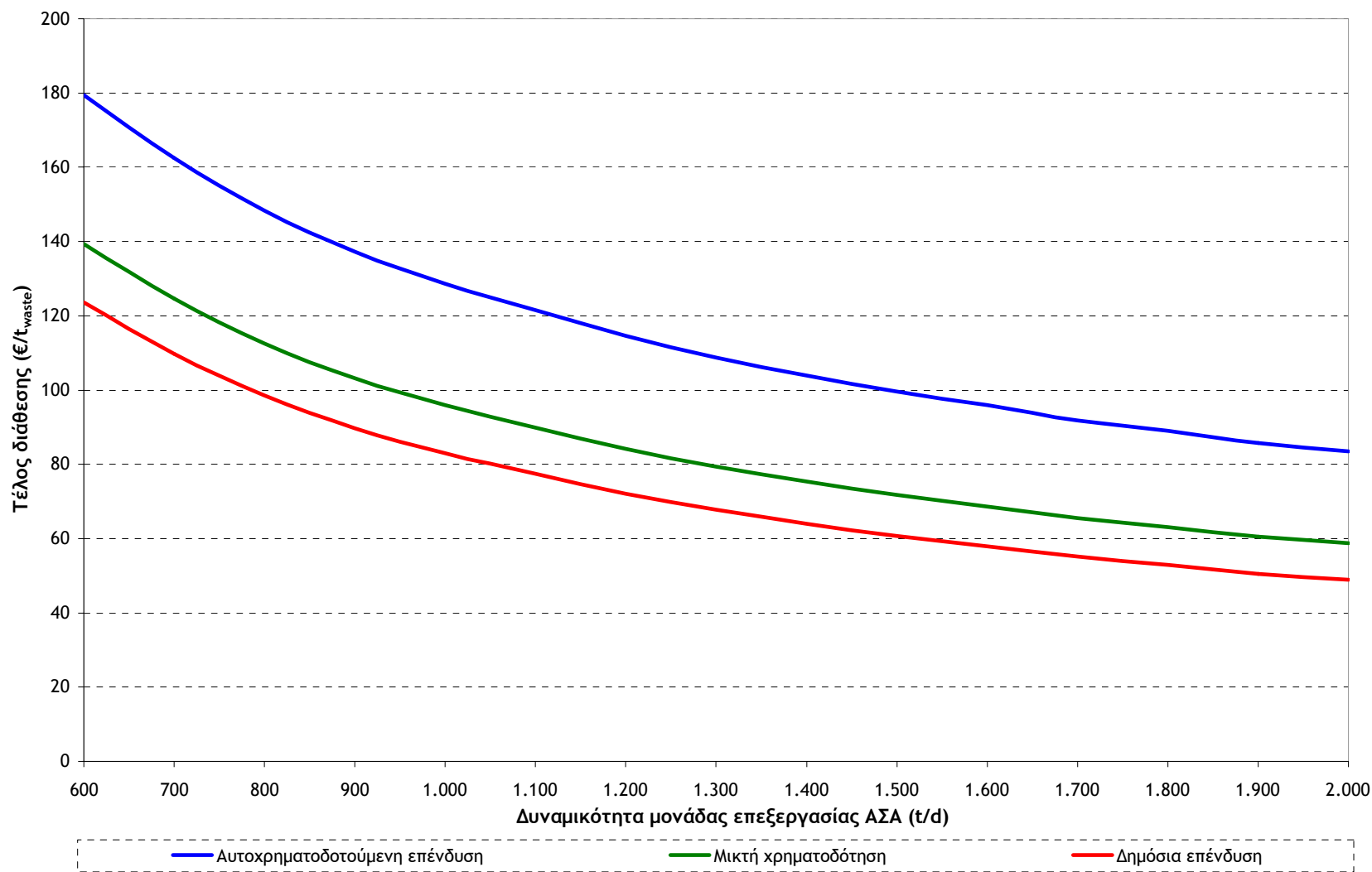
Διάγραμμα 4.11: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με το πάγιο κόστος κεφαλαίου

4.8.5.2 Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει της δυναμικότητας της μονάδας

Με βάση την ανάλυση ευαισθησίας που προηγήθηκε, η δυναμικότητα της μονάδας αποτελεί μια από τις βασικές παραμέτρους που διαμορφώνουν το απαιτούμενο τέλος διάθεσης των ΑΣΑ και κατ' επέκταση την οικονομική επιβάρυνση των αρμοδίων ΟΤΑ. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση της μεταβολής του τέλους διάθεσης συναρτήσει του συγκεκριμένου παράγοντα επίδρασης.

Στο διάγραμμα 4.12 απεικονίζεται γραφικά η διακύμανση του σταθμισμένου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ ανάλογα με τη διακύμανση της δυναμικότητας μιας μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ με τις προδιαγραφές που έχουν ήδη αναφερθεί προκειμένου για πενταετή, δεκαετή και εικοσαετή επιθυμητή έντοκη περίοδο αποπληρωμής.

Από το διάγραμμα επιβεβαιώνεται ότι η υπό εξέταση επένδυση υπόκειται σε έντονες οικονομίες κλίμακας, καθώς η αύξηση της δυναμικότητας συνεπάγεται αφενός την αύξηση του παγίου κόστους κεφαλαίου με βάση τον κανόνα των έξι δεκάτων (6/10) και αφετέρου τη μείωση του ανηγμένου παγίου κόστους κεφαλαίου. Το γεγονός αυτό οδηγεί παράλληλα σε μείωση του απαιτούμενου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ προκειμένου να διασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα του έργου, για κάθε περίπτωση χρηματοδότησης. Αντίθετα, η οικονομική επιβάρυνση που αντιστοιχεί στους ΟΤΑ και το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο από την υλοποίηση μικρότερων μονάδων επεξεργασίας ΑΣΑ είναι σαφώς υψηλότερη, γεγονός το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τους φορείς που καθορίζουν τη στρατηγική διαχείρισης των ΑΣΑ από την πλευρά της Πολιτείας.



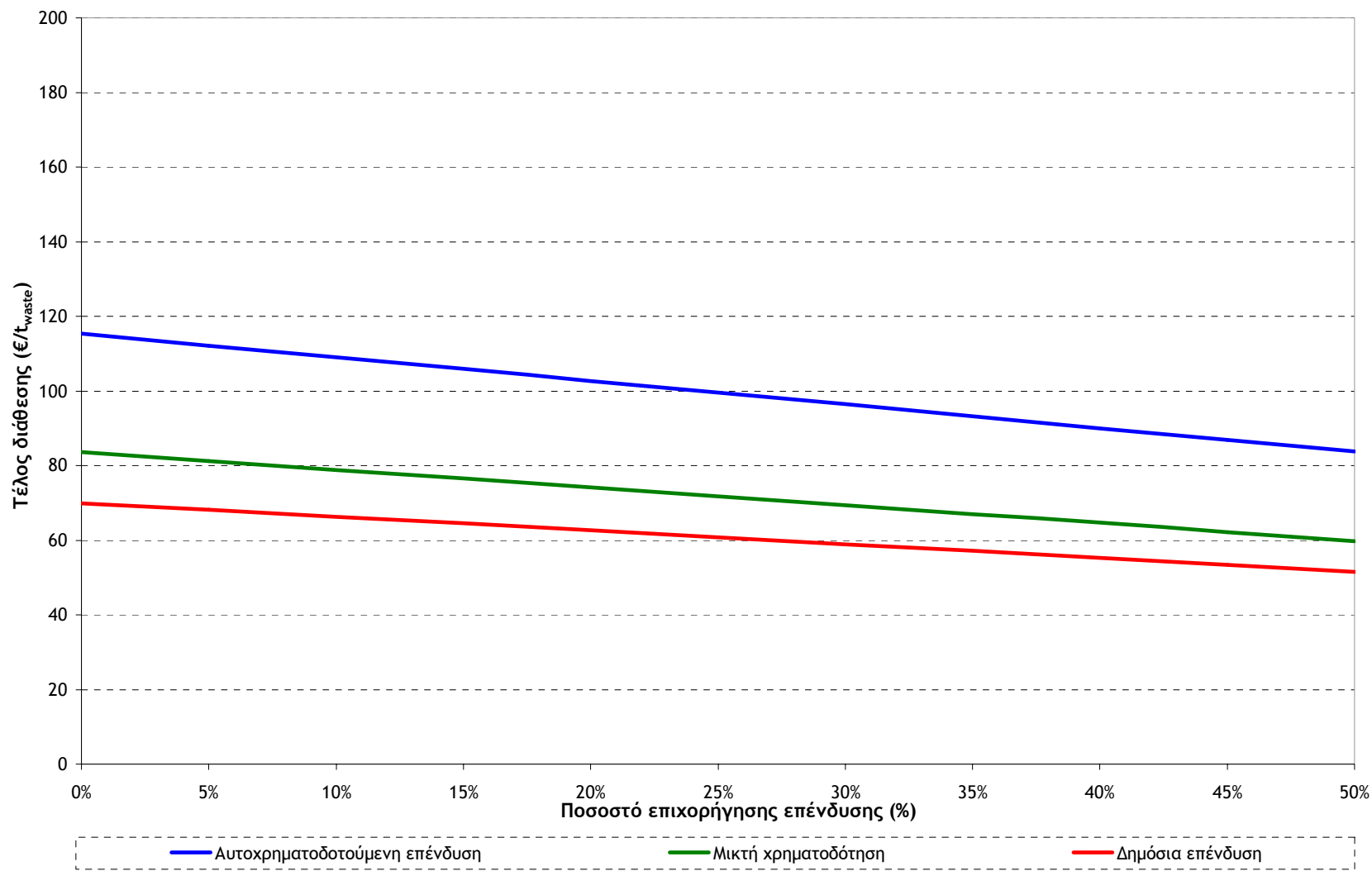
Διάγραμμα 4.12: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με τη δυναμικότητα της μονάδας

4.8.5.3 Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει του ποσοστού επιχορήγησης

Λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης, το ποσοστό της επιχορήγησης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική βιωσιμότητα ενός επιχειρηματικού σχεδίου τέτοιας κλίμακας. Κατά συνέπεια, στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση της επίδρασης του ποσοστού επιχορήγησης της επένδυσης στο κόστος της προτεινόμενης επιλογής, δεδομένου ότι η επένδυση είναι πιθανό να ενταχθεί σε διάφορα προγράμματα χρηματοδότησης.

Οι πόροι αυτοί είναι δυνατόν να προέρχονται από κοινοτικά κονδύλια ή από εθνικά προγράμματα, ενώ ως πιθανότερο και πλέον λογικό σενάριο θεωρείται η επιδότηση ενός αντίστοιχου επενδυτικού σχεδίου με το υπό εξέταση από την πλευρά των ΟΤΑ. Άλλωστε, σε κάθε περίπτωση έγκειται στην ευθύνη και αρμοδιότητα των ΟΤΑ η εξασφάλιση των απαιτούμενων πόρων για τη χρηματοδότηση των συστημάτων διαχείρισης των ΑΣΑ.

Στο διάγραμμα 4.13 παρατίθεται η διακύμανση του απαιτούμενου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ στην υπό εξέταση μονάδα με τη μεταβολή του ποσοστού επιχορήγησης της επένδυσης, για κάθε ένα από τα εναλλακτικά σενάρια που έχουν έως αυτό το σημείο μελετηθεί.

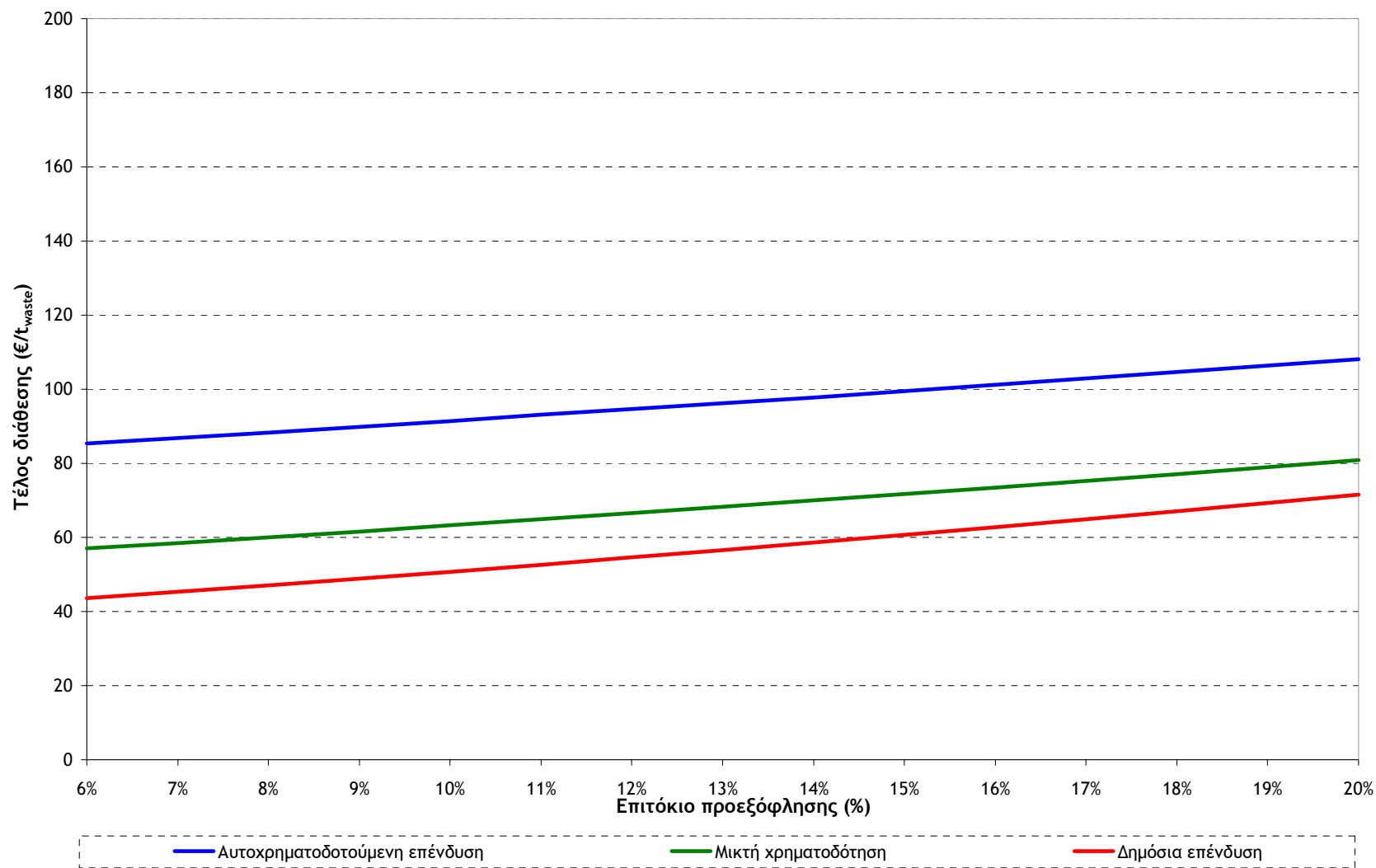


Διάγραμμα 4.13: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με το ποσοστό επιχορήγησης

4.8.5.4 Διακύμανση τέλους διάθεσης συναρτήσει του επιτόκιου προεξόφλησης

Για την παρούσα μελέτη σκοπιμότητας λαμβάνεται η παραδοχή ότι το απαιτούμενο επιτόκιο προεξόφλησης των ιδίων κεφαλαίων καθορίζεται στα επίπεδα του 15%. Αυτό το επιτόκιο αναγωγής έχει ληφθεί ώστε να αντικατοπτρίζεται ικανοποιητικά ο επιχειρηματικός κίνδυνος που υπάρχει σε μια αντίστοιχη επένδυση για τα ελληνικά δεδομένα. Ωστόσο, ο καθορισμός των αποδεκτών επιπέδων του επιχειρηματικού κινδύνου ενδέχεται να διαφέρει μεταξύ των επιχειρήσεων και των δημοσίων οργανισμών ανάλογα με τις προδιαγραφές και προτεραιότητες που υφίστανται ανά περίπτωση.

Με βάση τα ανωτέρω, στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη ο υπολογισμός της διακύμανσης του απαιτούμενου τέλους διάθεσης των ΑΣΑ ανάλογα με το εκάστοτε καθοριζόμενο επιτόκιο προεξόφλησης των ιδίων κεφαλαίων για κάθε ένα από τα εναλλακτικά σενάρια που έχουν έως αυτό το σημείο μελετηθεί. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής απεικονίζονται γραφικά στο διάγραμμα 4.14.



Διάγραμμα 4.14: Διακύμανση απαιτούμενου τέλους διάθεσης με το επιτόκιο προεξόφλησης των ιδίων κεφαλαίων

4.8.6 Εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης

Οι υφιστάμενες επιλογές διαχείρισης των ΑΣΑ στον ελληνικό χώρο είναι περιορισμένες, καθώς η μοναδική νόμιμη και περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση έγκειται στην απόθεση σε ΧΥΤΑ. Ιδιαίτερα αναφορικά με την περίπτωση της Αττικής, η λειτουργία του ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων συνιστά μια εναλλακτική επιλογή, με την οποία όμως θα παράγονται, μεταξύ άλλων, και δευτερογενή απορρίμματα. Η παραγωγή RDF μπορεί επίσης να περιλαμβάνεται στα πλαίσια της εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ, σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί προηγουμένως. Δεδομένου δε ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει αγορά για τη διάθεση δευτερογενών απορριμμάτων στην Ελλάδα, η διάθεσή τους σε ΧΥΤΑ φαίνεται ότι αποτελεί μια από τις κυριότερες επιλογές, μαζί με αυτήν της διάθεσης σε διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες ως υποκατάστατα καυσίμων.

4.8.6.1 Απόθεση αστικών στερεών απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ

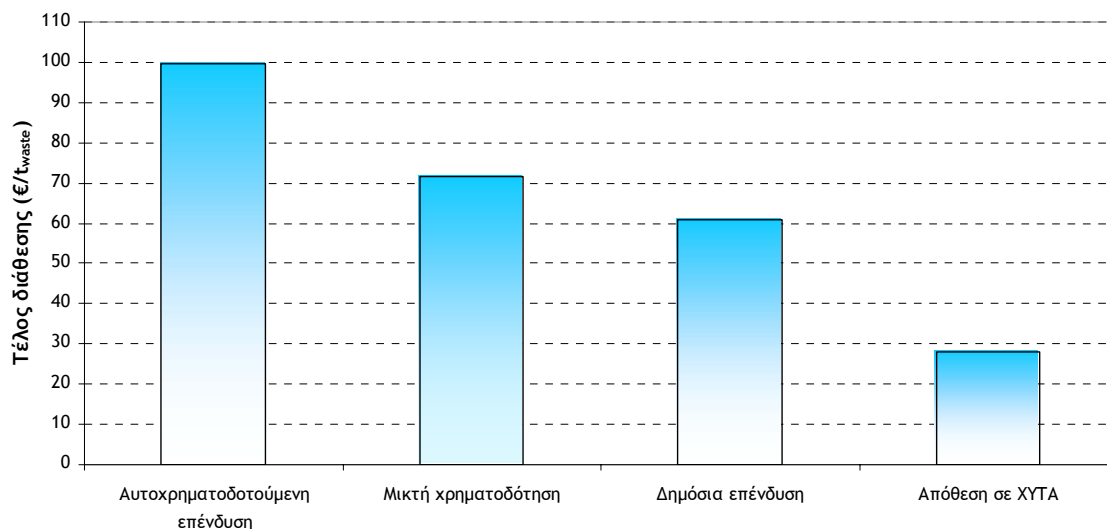
Ακολούθως γίνεται σύγκριση των υπολογισμένων, με βάση τα εναλλακτικά σενάρια, απαιτούμενων τελών διάθεσης των ΑΣΑ στην υπό εξέταση μονάδα με το υφιστάμενο τέλος για την απόθεση σε ΧΥΤΑ.

Πέρα από τα περιβαλλοντικά ζητήματα, η διάθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ αφενός αχρηστεύει κάθε ενδεχόμενο επαναχρησιμοποίησης ενός εν δυνάμει πολύτιμου υλικού, ειδικότερα δε αναφορικά με τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη, χωρίς να συνυπολογίζονται οι ωφέλειες από την ανάκτηση υλικών. Δεδομένου ότι η επιλογή της απόθεσης των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ κοστίζει σήμερα περί τα 28€ ανά τόνο στο Νομό Αττικής, η διάθεση 438.000 τόνων κοστίζει σε ετήσια βάση περί τα 12.264.000€, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα κόστη μεταφοράς του υλικού προς τους χώρους τελικής διάθεσης, λειτουργικές δαπάνες ή άλλες οικονομικές επιβαρύνσεις. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι τα τέλη διάθεσης των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ αναμένονται να αυξηθούν σημαντικά τα επόμενα έτη λόγω του σταδιακού περιορισμού των διαθέσιμων χώρων για απόθεση και των απαιτήσεων για εφαρμογή τεχνολογιών διαχείρισης με υψηλότερες περιβαλλοντικές επιδόσεις [EC, 2001].

Στον πίνακα 4.16 γίνεται σύγκριση των τιμών του απαιτούμενων τέλους διάθεσης των ΑΣΑ για τα εναλλακτικά σενάρια που εξετάζονται στην παρούσα ανάλυση σκοπιμότητας και της αντίστοιχης επιβάρυνσης κατά κεφαλή προκειμένου αφενός για την εξεταζόμενη επένδυση και αφετέρου για την απόθεση σε ΧΥΤΑ με βάση την υφιστάμενη τιμολογιακή πολιτική του ΕΣΔΚΝΑ.

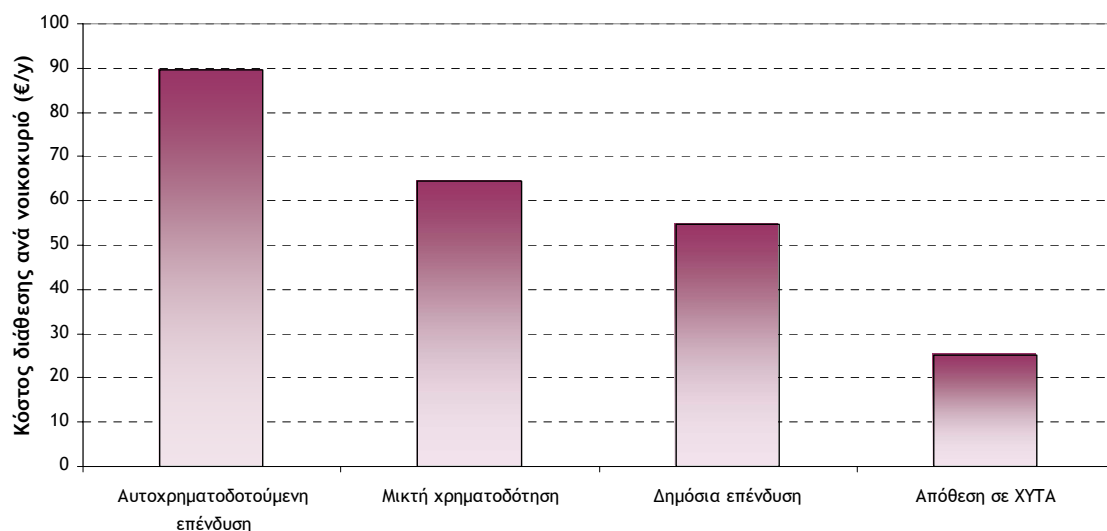
| Σύγκριση τελών και κόστους διάθεσης απορριμμάτων | Τέλος διάθεσης (€/t) | Επιβάρυνση κατά κεφαλή (€/έτος) | Επιβάρυνση ανά νοικοκυριό (€/έτος) |
|--------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Απόθεση σε ΧΥΤΑ | 28,00 | 8,99 | 25,18 |
| Αυτοχρηματοδοτούμενη επένδυση | 99,49 | 31,96 | 89,48 |
| Μικτή χρηματοδότηση | 71,68 | 23,02 | 64,46 |
| Δημόσια επένδυση | 60,72 | 19,50 | 54,61 |

Στο διάγραμμα 4.15 συγκρίνονται τα υπολογισμένα σταθμισμένα τέλη διάθεσης των ΑΣΑ με το τέλος διάθεσής τους σε ΧΥΤΑ.



Διάγραμμα 4.15: Σύγκριση τελών διάθεσης ΑΣΑ

Επιπλέον, στο διάγραμμα 4.16 παρατίθενται οι ετήσιες επιβαρύνσεις για κάθε περίπτωση που αντιστοιχούν σε ένα μέσο ελληνικό νοικοκυριό.



Διάγραμμα 4.16: Σύγκριση κόστους διάθεσης ΑΣΑ

Από τα δεδομένα του πίνακα 4.16 αλλά και με βάση τα διαγράμματα 4.14 και 4.15 προκύπτει ότι το απαιτούμενο τέλος διάθεσης που προϋποθέτει η υπό εξέταση μονάδα επεξεργασίας ΑΣΑ είναι σαφώς υψηλότερο και στις τρεις εναλλακτικές περιπτώσεις που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη σε σύγκριση με την υφιστάμενη πρακτική.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η επεξεργασία των ΑΣΑ αποτελεί ένα πολυδιάστατο πρόβλημα το οποίο χρήζει τη μέριμνα της Πολιτείας. Με βάση τις διατάξεις της κείμενης εγχώριας και κοινοτικής νομοθεσίας και τις σύγχρονες τάσεις προς την ολοκληρωμένη διαχείριση των ΑΣΑ φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι περιορισμοί σχετικά με την υγειονομική ταφή δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εναλλακτική διαχείριση σε σχέση με την υφιστάμενη πρακτική. Η ανάγκη για διαχείριση των ΑΣΑ με εναλλακτικές ως προς τους ΧΥΤΑ μεθόδους υποδεικνύεται και από το γεγονός ότι οι διαθέσιμες περιοχές για την κατασκευή νέων ΧΥΤΑ ολοένα και μειώνονται, λόγω της επέκτασης των πολεοδομικών οικισμών και των αυστηρών περιβαλλοντικών κριτηρίων που εφαρμόζονται κατά την επιλογή τους. Από την άλλη πλευρά, η λειτουργία ανεξέλεγκτων χωματερών δεν μπορεί να συνεχιστεί εις βάρος της κοινωνικής υγιεινής και της προστασίας του περιβάλλοντος. Ωστόσο, το σύνδρομο NIMBY δυσχεραίνει την εφαρμογή των ενεργειών της Πολιτείας προς την κατεύθυνση της υλοποίησης ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης.

Αναφορικά με την υφιστάμενη κατάσταση στο Νομό Αττικής, ο εν λειτουργία ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής (Τμήμα ΙΙ) έχει περιορισμένο χρόνο ζωής, ενώ η επικείμενη λειτουργία του ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων δεν επαρκεί για την επίλυση του προβλήματος της διαχείρισης του συνόλου των απορριμμάτων που παράγονται στο Νομό Αττικής. Κατά συνέπεια, είναι προφανής η ανάγκη για την άμεση κατασκευή επιπρόσθετων μονάδων επεξεργασίας ΑΣΑ εντός των ορίων του Λεκανοπεδίου.

Η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ αποτελεί μια από τις κυριότερες εναλλακτικές τεχνολογίες σε σχέση με την απόθεση σε ΧΥΤΑ που αποτελεί την κυριότερη μέθοδο στη χώρα μας και περιλαμβάνει μια πληθώρα εφαρμογών διεθνώς. Η καύση προεπεξεργασμένων απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίση με ανακυκλοφορία (CFBC) αποτελεί την πλέον αξιόπιστη και ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδο μεταξύ των θερμικών τεχνολογιών σε διεθνές επίπεδο, καθώς οι τεχνολογίες πυρόλυσης και αεριοποίησης βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, δεδομένου ότι η πλειοψηφία των σχετικών εφαρμογών αφορά πιλοτικά, επιδεικτικά ή μικρής κλίμακας έργα. Η λύση της μικτής καύσης των προεπεξεργασμένων απορριμμάτων διέπεται από σημαντικούς τεχνικούς περιορισμούς, ενώ δε θεωρείται βιώσιμη επιλογή για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές. Επιπλέον, με την εν λόγω πρακτική δεν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια που είναι προς το όφελος του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου, εφόσον οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στη διατήρηση των στρατηγικών αποθεμάτων της χώρας, αλλά συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι με την εφαρμογή της αυξάνεται ο χρόνος ζωής των ΧΥΤΑ, καθώς οι αποτιθέμενοι και αδρανείς όγκοι απορριμμάτων σε αυτούς λόγω της λειτουργίας των μονάδων θερμικής επεξεργασίας είναι σημαντικά χαμηλότεροι.

Η θερμική αξιοποίηση των ΑΣΑ συμβάλει και στην επίτευξη των στόχων και δεσμεύσεων της χώρας μας αναφορικά με τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σχετικές ρυθμίσεις του υφιστάμενου νομοθετικού πλαισίου σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής

ενέργειας από ΑΠΕ και οι αντίστοιχες επιχορηγήσεις στις οποίες μπορούν να προσβλέπουν οι υποψήφιοι επενδυτές αποτελούν ευνοϊκές συγκυρίες.

Η προτεινόμενη λύση συνεισφέρει επίσης και στην κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών, οι οποίες τείνουν να ξεπεράσουν την παραγωγική ικανότητα των υφιστάμενων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και να οδηγήσουν σε δυσμενείς συνέπειες.

Από την ανάλυση που έλαβε χώρα προκύπτει ότι η οικονομική αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου επιχειρηματικού σχεδίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις διακυμάνσεις των παραμέτρων σχεδιασμού.

Γενικά, η οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου έργου εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το επιβαλλόμενο τέλος διάθεσης (gate fee), καθώς τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα με βάση τα υπολογισμένα τέλη διάθεσης. Σύμφωνα και με τα τρία εναλλακτικά σενάρια που μελετήθηκαν ως προς τις πηγές χρηματοδότησης απαιτείται η επιβολή ενός ιδιαίτερα υψηλού τέλους διάθεσης σε σύγκριση με την υφιστάμενη τιμολογιακή πολιτική του ΕΣΔΚΝΑ (28€ ανά τόνο ΑΣΑ). Η υλοποίηση της προτεινόμενης επένδυσης από έναν ιδιωτικό φορέα με τη μέθοδο της αυτοχρηματοδότησης προϋποθέτει ότι τα τέλη διάθεσης των ΑΣΑ κυμαίνονται περί τα 100€ ανά τόνο ΑΣΑ. Από την άλλη πλευρά, σε περίπτωση της κάλυψης του προϋπολογισμού αποκλειστικά από δημόσια κεφάλαια, το εν λόγω τέλος διαμορφώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα (61€ περίπου ανά τόνο ΑΣΑ), λόγω του ενσωματωμένου κοινωνικού οφέλους που απορρέει από την πραγματοποίηση της επένδυσης. Ως εκ τούτου, η ετήσια επιβάρυνση που αντιστοιχεί σε ένα τυπικό ελληνικό νοικοκυριό και αφορά τη διάθεση των ΑΣΑ σε μια μονάδα θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 55€ και 89€.

Το υψηλό απαιτούμενο τέλος που προκύπτει οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης έχει αυξημένο πάγιο κόστος εγκατάστασης καθώς και σημαντικές λειτουργικές δαπάνες. Από την άλλη πλευρά, ο συνδυασμός της ανάγκης για δημιουργία νέων μονάδων επεξεργασίας ΑΣΑ με την επιβεβλημένη σταδιακή απομάκρυνση από την επιλογή των ΧΥΤΑ σύμφωνα με τη νομοθεσία καταδεικνύει ότι το κόστος διάθεσης και συνολικής διαχείρισης των ΑΣΑ θα αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα έτη.

Σε περίπτωση που το τέλος διάθεσης καθοριστεί σε χαμηλότερα επίπεδα, πρέπει να αναζητηθούν επιπρόσθετοι πόροι για την άμεση ή έμμεση χρηματοδότηση της επένδυσης που μπορούν να σχετίζονται με τη λειτουργία της μονάδας, όπως φοροελαφρύνσεις ή φοροαπαλλαγές, τα οποία υπό προϋποθέσεις συνιστούν σημαντικά επιχειρηματικά κίνητρα.

Σύμφωνα με την ανάλυση ευαισθησίας που έλαβε χώρα ώστε να καθοριστεί το δυσχερέστερο σενάριο για το οποίο μια επένδυση που υπόκειται σε έντονες οικονομίες κλίμακας καθίσταται οικονομικά βιώσιμη, ο συνδυασμός του χαμηλού απαιτούμενου παγίου κόστους κεφαλαίου με την επιθυμητή υψηλή λειτουργική διαθεσιμότητα διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Κατά συνέπεια, η διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών για την εξασφάλιση των ανωτέρω προϋποθέσεων πρέπει να αποτελέσει το κύριο μέλημα των εμπλεκόμενων φορέων.

Η οικονομική ανάπτυξη της χώρας εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος, το είδος, τη συχνότητα και τη βιωσιμότητα των ιδιωτικών παραγωγικών δραστηριοτήτων που επιχειρούνται στην αγορά. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ο καινοτομικός χαρακτήρας της εξεταζόμενης επένδυσης για τα ελληνικά δεδομένα, γεγονός το οποίο μπορεί να αναδείξει την πρωτοποριακή επιστημονική, τεχνολογική και επιχειρηματική υποδομή ενός ενδιαφερόμενου επενδυτή, να συνεισφέρει στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών και να οδηγήσει στην περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

Στα πλεονεκτήματα της εισόδου ιδιωτικών επιχειρήσεων στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ περιλαμβάνεται το ότι η υλοποίηση ενός τέτοιας κλίμακας έργου με τη μέθοδο της αυτοχρηματοδότησης μπορεί να έχει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με την περίπτωση μιας αντίστοιχης δημόσιας επένδυσης, καθώς η διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα αποτελεί μια από τις βασικές αρχές των ιδιωτικών επενδύσεων. Επιπροσθέτως, με τον τρόπο αυτόν ενθαρρύνονται οι ιδιωτικές επενδύσεις στα πλαίσια της αύξησης της επιχειρηματικότητας και της ανταγωνιστικότητας.

Κατόπιν τούτων, γίνεται σαφές ότι για τη διασφάλιση της οικονομικότητας του έργου απαιτείται μια σειρά από διαβουλεύσεις και διαβεβαιώσεις μεταξύ των υποψήφιων εμπλεκόμενων φορέων ως προς τα ακόλουθα:

- Διαμόρφωση του απαιτούμενου νομοθετικού πλαισίου για την θέσπιση και εφαρμογή κατάλληλων τελών διάθεσης των ΑΣΑ
- Διάθεση εκ μέρους των αρμόδιων φορέων και των τοπικών κοινοτήτων να υποστούν τα κόστη που συνεπάγεται η υλοποίηση μιας τέτοιας επένδυσης
- Καθορισμός του πλαισίου συνεργασίας μεταξύ ιδιωτικών ή δημόσιων φορέων υλοποίησης με τους αρμόδιους ΟΤΑ
- Δέσμευση από τους αρμόδιους ΟΤΑ μέσω μακροχρόνιων συμβολαίων για την τροφοδοσία της μονάδας με τις απαιτούμενες ποσότητες ΑΣΑ ώστε να μεγιστοποιείται η λειτουργική διαθεσιμότητά της
- Παροχή επιχειρηματικών κινήτρων από την πλευρά της Πολιτείας που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, χρηματοδοτώντας το εγχείρημα καλύπτοντας μέρος των απαιτούμενων παγίων κεφαλαίων, επιδοτώντας τη λειτουργία της, ή θεσμοθετώντας πρόσθετες ευνοϊκές ρυθμίσεις για τους φορείς υλοποίησης τέτοιων έργων.

Συνοψίζοντας, έγκειται στη διακριτική ευχέρεια της Πολιτείας να θέσει τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί ένα αντίστοιχο επιχειρηματικό εγχείρημα, δεδομένου ότι η ορθολογική διαχείριση και αξιοποίηση των ΑΣΑ αποτελεί μείζον ζήτημα το οποίο καλούνται οι σύγχρονες κοινωνίες να αντιμετωπίσουν χωρίς περαιτέρω αναβολή.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Achternbosch M. and Richers U., 2002, “Material flows and investment costs of flue gas cleaning systems of municipal solid waste incinerators”, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Institut für Technische Chemie, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
2. Arena U., Mastellone M.L., Perugini F., 2003, “The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study”, *Chemical Engineering Journal*, **96(1-3)**, p. 207-222
3. Australian Cooperative Research Centre For Renewable Energy Ltd (ACRE), 2003, “Waste to Energy technologies”, <http://acre.murdoch.edu.au/refiles/waste/text/technologies.htm>
4. Barker M., 2003, “Waste-to-Energy fired up for growth”, *Waste Management World*, Review issue 2003-2004, July - August 2003, p. 29-39
5. Batchelor D., Eeraerts D., Smits P., 2002, “Greenhouse gas abatement. Assessing WTE and landfill disposal”, *Waste Management World*, September - October 2002, p. 43-45
6. Belgiorio V., de Feo G., Panza D., Napoli R.M.A., 2003, “An “alternative” disposal for refuse derived fuel”, 9th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 6 - 10 October 2003
7. Bilitewski B., “Waste and sustainability in Europe”, 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos, 8-10 September 2003, p. 94-103
8. Brereton C., 1996, “Municipal solid waste - incineration, air pollution control and ash management”, *Resources, Conservation and Recycling*, **16**, p. 227-264
9. Bridgewater A.V., 2001, “Thermal conversion of biomass and waste: the status”, Bio-Energy Research Group, Aston University
10. CADDET Centre for Renewable Energy, 2000, “New Energy-from-Waste plant in Dundee, Scotland”, IEA, OECD
11. CADDET Centre for Renewable Energy, 1998, “Advanced thermal conversion technologies for energy from solid waste”, IEA, OECD
12. Caputo A.C. and Pelagagge P.M., 2002, “RDF production plants I: Design and costs”, *Applied Thermal Engineering*, **22**, p. 423-437
13. Caputo A.C. and Pelagagge P.M., 2002, “RDF production plants II: Economics and profitability”, *Applied Thermal Engineering*, **22**, p. 439-448
14. Chang N.B., Wang H.P., Huang W.L., Lin K.S., 1999, “The assessment of reuse potential for municipal solid waste and refuse-derived fuel incineration ashes”, *Resources, Conservation and Recycling*, **25**, p. 255-270

15. Chang Y.H., Chen W.C., Chang N.B., 1998, "Comparative evaluation of RDF and MSW incineration", *Journal of Hazardous Material*, **58**, p. 33-45
16. Chrysochoou M., Bilitewski B., Moussiopoulos N., Karagiannidis A., 2003, "Comparison of leaching tests for the characterization of waste", 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos, 8-10 September 2003, p. 112-119
17. Clarke M.J., 2002, "Introduction to municipal solid waste incineration", *Air and Waste Management Association Annual Meeting*, Baltimore, 23-27 June 2002, <http://www.geo.hunter.cuny.edu/~mclarke/IntroMSWincineration.htm>
18. Connett P., 1998, "Municipal waste incineration: a poor solution for the twenty first century", 4th Annual International Management Conference, Waste-to-Energy, 24-25 November 1998, Amsterdam
19. Constantinescu N., 2003, "District heating across Europe, trends from East to West", *Cogeneration & On-Site Power Production*, September - October 2003, p.57-65
20. P. Costi, R. Minciardi, M. Robba, M. Rovatti, R. Sacile, 2003, "An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management", *Waste Management*, Article in Press
21. Eckardt S. and Albers H., 2003, "Specifying criteria for the utilization of refuse derived fuels (RDF) in industrial combustion plants", 9th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 6 - 10 October 2003
22. Environment Agency (EA), 2002, "Solid residues from municipal waste incinerators in England and Wales"
23. Environmental Data Services (EDS), 2003, "Study charts a future for waste-derived fuels", <http://www.environmental-center.com/articles/article1374/article1374.htm>
24. European Commission (EC), 2003, "Refuse derived fuel, current practice and perspectives", Final Report to Directorate General Environment
25. European Commission (EC), 2002, "Costs for municipal waste management in the EU", Final Report to Directorate General Environment
26. European Commission (EC), 2001, "Waste management options and climate change", Final Report to Directorate General Environment
27. European Commission (EC), 2000, "A study on the economic valuation of environmental externalities from landfill disposal and incineration of waste", Final Report to Directorate General Environment
28. European Environment Agency (EEA), 2001, "Landfilling of biodegradable municipal waste", Information for improving Europe's environment, http://themes.eea.eu.int/Environmental_issues/waste/indicators/landfilling/index_html

29. Faaij A., Hekkert M., Worrell E., van Wijk A., 1998, "Optimization of the final waste treatment system in the Netherlands", *Resources, Conservation and Recycling*, **22**, p. 47-82
30. Ferreira C., Ribeiro A., Ottosen L., 2003, "Possible applications for municipal solid waste fly ash", *Journal of Hazardous Materials*, **B96**, p. 201-216
31. Foster Wheeler, 2003, "Lomellina waste-to-energy plant", http://www.fwc.com/publications/tech_papers/powgen/pdfs/Lomellin.pdf
32. Greece Now, 2003, "Greece bids to meet EU recycling targets", <http://www.greece.gr/ENVIRONMENT/EnvironmentalPolicy/thefutureoftrash.stm>
33. Greece Now, 2003, "Putting the lid on trash", <http://www.greece.gr/ENVIRONMENT/EnvironmentalPolicy/puttingthelidontrash.stm>
34. Greenpeace, 2003, "Alternatives to incineration", <http://archive.greenpeace.org/toxics/html/content/incineration/alternatives.html>
35. Greenpeace, 2003, "Types of incineration", <http://archive.greenpeace.org/toxics/html/content/incineration/types.html#cem>
36. Hartenstein H.U. and Horvay M., 1996, "Overview of municipal waste incineration industry in west Europe (based on the German experience)", *Journal of Hazardous Material*, **47**, p. 19-30
37. Hasselriis F., 1984, "Refuse-Derived Fuel processing", Butterworth Publishers
38. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2003, Draft Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration
39. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2003, Draft Reference Document on Best Available Techniques for Waste Treatment Industries
40. Integrated Waste Services Association (IWSA), 2003, "About Waste-to-Energy. Clean, reliable, renewable power", <http://www.wte.org/waste.html>
41. Integrated Waste Services Association (IWSA), 2003, "Waste-to-Energy. Ash residue reuse", <http://www.wte.org/ash.html>
42. International Solid Waste Association (ISWA), 2003, "Ten years perspective on waste management"
43. Juniper Consultancy Services Ltd., 2000, "Pyrolysis & gasification of waste", *Worldwide Technology & Business Review*
44. Karagiannidis A., Perkoulidis G., Moussiopoulos N., 2003, "Compilation and multicriterial ranking of scenarios for locating solid waste management facilities", *Research in the Fields of Energy and the Environment*, Aristotle University Thessaloniki, Department of Mechanical Engineering, **2**, p. 76-84
45. Keith F., 1994, "Handbook of solid waste management", McGraw-Hill

46. Kiser J.V.L., 2003, "Recycling and Waste-to-Energy. The ongoing compatibility success story", www.wte.org/recyc.html
47. Lacoursiere C., 2003, "High natural gas prices driving demand for alternatives to fossil fuels", *Cogeneration & On-Site Power Production*, September - October 2003, p.66-71
48. Lefcort M., 1995, "Gasification / two-stage combustion of sawmill wood waste and the pending ban on beehive burners by the BC Ministry of Environment", *Conference on Residual Wood Residues to Revenues*, Richmond
49. Malkow T., 2004, "Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal", *Waste Management*, **24(1)**, p. 53-79
50. Matsunaga K. and Themelis N.J., 2002, "Effects of affluence and population density on waste generation and disposal of municipal solid wastes", *Earth Engineering Center Report*
51. Maury H.D., 2000, «Η παραγωγή δευτερογενών καυσίμων από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και η αξιοποίησή τους στην τσιμεντοβιομηχανία», *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ημερίδα «Τσιμεντοβιομηχανία και διαχείριση ειδικών και επικίνδυνων αποβλήτων»*, *Τεχνικά χρονικά*, **3**, σελ. 60-66
52. Mayne N., 2003, "Waste to Energy: options for the thermal treatment of solid waste", *ASSURE - BPWG, WtE-Isle project, Athens, 24-25 July 2003*, <http://www.europeanislands.net/Downloads/Docs/OptionsforThermalTreatmentofSolidWaste-ASSURE.pdf>
53. McKendry P., 2002, "Energy production from biomass (part 3): gasification technologies", *Bioresource Technology*, **83**, p. 55-63
54. McLanaghan S.R.B., 2002, "Delivering the Landfill Directive: The role of new & emerging technologies", *Report for the Strategy Unit: 0008/2002*
55. Meraz L., Dominguez A., Kornhauser I., Rojas F., 2003, "A thermochemical concept-based equation to estimate waste combustion enthalpy from elemental composition", *Fuel*, **82**, p. 1499-1507
56. Mokrzycki E. and Yliaz-Bocheńczyk A., 2003, "Alternative fuels for the cement industry", *Applied Energy*, Article in Press
57. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1992, "Data summary of municipal solid waste management alternatives. Volume V: Appendix C - Fluidized-Bed Combustion"
58. Niessen W.R., Marks C.H., Sommerlad R.E., 1996, "Evaluation of gasification and novel thermal processes for the treatment of municipal solid waste", *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*
59. Peters M.X. and Timmerhaus K.D., 1991, "Plant design and economics for chemical engineers", 4th edition, McGraw-Hill

60. Plöchl C., Dobson G., Buell U., 2003, "Factors influencing municipal waste arising and composition", 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos, 8-10 September 2003, p. 682-689
61. Rensfelt E., 2003, "Swedish biomass gasification activities", TPS Termiska Processer AB
62. Richers U., Vehlow J., Seifert H., 1999, "Evaluation program for municipal solid waste incineration plants", Institut für Technische Chemie, Bereich Thermische Abfallbehandlung, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
63. Rogoff M.J., 1987, "How to implement Waste-to-Energy projects", Noyes Publications
64. Ruth L.A., 1998, "Energy from municipal solid waste: a comparison with coal combustion technology", *Progress in Energy and Combustion Science*, **24**, p. 545-564
65. Rylander H. and Haukoni J., 2002, "Status of W-t-E in Europe", *Waste Management World*, International Solid Wastes Association, May-June 2002
66. Sabbas T., Poletti A., Pomi R., Astrup T., Hjelmar O., Mostbauer P., Cappai G., Magel G., Salhofer S., Speiser C., Heuss-Assbichler S., Klein R., Lechner P., 2003, "Management of municipal solid waste incineration residues", *Waste Management*, **23**, p. 61-88
67. Silverman M. and Worthman S., 1995, "The future of renewable energy industries", *The Electricity Journal*, p. 12-31
68. Southeastern Regional Biomass Energy Program (SRBEP), 1994, "Fluidized bed combustion and gasification: a guide for biomass waste generators", United States Department of Energy
69. Stiegel G.J. and Maxwell R.C., 2001, "Gasification technologies: the path to clean affordable energy in the 21st century", *Fuel Processing Technology*, **71**, p. 79-97
70. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A., 1993, "Integrated solid waste management - Engineering principles and management issues", McGraw-Hill
71. The World Bank, 1999, "Decision maker's guide to municipal solid waste incineration", Washington D.C.
72. Themelis N.J., 2003, "An overview of the global waste-to-energy industry", *Waste Management World*, Review issue 2003-2004, July-August 2003, p. 40-47
73. Thorneloe S.A., Weitz K.A., Nishtala S.R., Yarkosky S., Zannes M., 2002, "The impact of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in the United States", *Air and Waste Management Association*, **52**, 1000-1011
74. United States Environmental Protection Agency (EPA), 2003, "Methane and other gases", <http://www.epa.gov/ghginfo/topics/topic1.htm>
75. Vesilind P.A. and Rimer A.E., 1982, "Unit operations in resource recovery engineering", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey

76. Wiles C. and Shepherd P., 1999, “Beneficial use and recycling of municipal waste combustion residues – a comprehensive resource document”, National Renewable Energy Laboratory
77. World Wide Fund (WWF) European Policy Office, 2003, “Progress report on the implementation of the European renewables directive”, Brussels
78. Γαλανούλης Ε., 2000, «Εναλλακτικά καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ημερίδα «Τσιμεντοβιομηχανία και διαχείριση ειδικών και επικίνδυνων αποβλήτων», Τεχνικά χρονικά, 3, σελ. 51-53
79. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η. Α.Ε.), 2003, «Αναλυτικά τιμολόγια», <http://www.dei.gr/zoj/poso/timokatalogos/index.htm>
80. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα» (ΕΠΑΝ), 2002, «Οδηγός ενεργειακών επενδύσεων», Υπουργείο Ανάπτυξης
81. Ζιώγας Χ., 2000, «Δυνατότητα διάθεσης του RDF στην τσιμεντοβιομηχανία - Η περίπτωση της Αττικής», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ημερίδα «Τσιμεντοβιομηχανία και διαχείριση ειδικών και επικίνδυνων αποβλήτων», Τεχνικά χρονικά, 3, σελ. 73-76
82. Θεοφανίδης Σ. 1987, «Εγχειρίδιο αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων», Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Αναπτύξεως (ΕΤΒΑ) Α.Ε., Εκδόσεις Παπαζήση
83. Ισαακίδης Α., 2000, «Ελληνικό και κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των αποβλήτων. Διαδικασία εφαρμογής του στην περίπτωση διάθεσης αποβλήτων στην τσιμεντοβιομηχανία», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ημερίδα «Τσιμεντοβιομηχανία και διαχείριση ειδικών και επικίνδυνων αποβλήτων», Τεχνικά χρονικά, 3, σελ. 18-29
84. Κακαράς Ε., Γιαννακόπουλος Δ., Ξενογιάννης Α., 2002, «Αποτέφρωση στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα», 1^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων για Βιώσιμη Ανάπτυξη τον 21^ο αιώνα», 28 Φεβρουαρίου - 1 Μαρτίου 2002, Αθήνα
85. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), 2001, «Οδηγός ενεργειακής επιθεώρησης, μέρος 1^ο, μεθοδολογία και τεχνικές»
86. Λατζουράκης Γ., 2000, «Η κοινωνική αποδοχή ως αναγκαία παράμετρος στη διαχείριση των αποβλήτων», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ημερίδα «Τσιμεντοβιομηχανία και διαχείριση ειδικών και επικίνδυνων αποβλήτων», Τεχνικά χρονικά, 3, σελ. 69-72
87. Λίποβατς - Κρεμεζή Δ., 1992, «Τεχνικές εκτίμησης κόστους και αξιολόγησης βιομηχανικών επενδύσεων», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
88. Σκορδίλης Α., 1997, «Η θερμική επεξεργασία απορριμμάτων και RDF», Εκδόσεις Κόσμος ΕΠΕ, Αθήνα
89. ΤΟΜΗ Α.Τ.Ε., 2003, «Ενέργεια και Περιβάλλον», <http://www.tomi.gr/gr/energeia/main-energeia.htm>