



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

*Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών*

*Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος*

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

## **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ**



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΞΕΝΟΦΩΝΤΟΣ (Αρ. Μητρ. 01110017)**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΙΜΩΝ ΧΑΤΖΗΜΠΙΡΟΣ

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

1. Πρόλογος .....	1
2. Εισαγωγή- Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων .....	3
2.1. Ευρωπαϊκή λογική αντιμετώπισης και η κατάσταση στην Ελλάδα .....	3
2.2. Βήματα στη διαχείριση των Α.Σ.Α. ....	4
2.2.1. Παράδειγμα Βιέννης .....	12
3. Ισχύουσα Νομοθεσία.....	13
3.1. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία .....	13
3.1.1. Οδηγία 2008/99/ΕΚ .....	13
3.1.2. Οδηγία 2008/98/ΕΚ .....	13
3.1.3. Οδηγία 2000/76/ΕΚ .....	16
3.2. Ελληνική Νομοθεσία .....	19
3.2.1. Ν.4042/2012 .....	20
3.2.2. Υ.Α.22912/1117/2005 .....	21
4. Θερμικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων.....	22
4.1. Συμβατικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας-Αποτέφρωση .....	24
4.1.1. Χρήση καυσίμου από απορρίμματα ή RDF .....	26
4.1.2. Περιγραφή διαδικασίας αποτέφρωσης .....	29
4.1.3. Βήματα διαδικασίας αποτέφρωσης .....	30
4.1.3.1. Προσαγωγή.....	30
4.1.3.2. Δειγματοληψία.....	31

4.1.3.3. Ομογενοποίηση .....	32
4.1.3.4. Συστήματα καύσεως .....	35
4.2. Καινοτόμες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας .....	47
4.2.1. Πυρόλυση .....	47
4.2.1.1. Παράδειγμα τεχνολογίας επεξεργασίας απορριμμάτων με τη μέθοδο της πυρόλυσης .....	50
4.2.2. Αεριοποίηση .....	51
4.2.2.1. Συστήματα αεριοποίησης .....	53
4.2.3. Συνδυασμός πυρόλυσης-αεριοποίησης .....	57
4.3. Σύγκριση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας .....	57
5. Ανάκτηση Ενέργειας από τις Θερμικές Μεθόδους Επεξεργασίας .....	59
5.1. Ανάκτηση ενέργειας από την αποτέφρωση .....	59
5.2. Ανάκτηση ενέργειας από την πυρόλυση και την αεριοποίηση .....	64
6. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Τρόποι Αντιμέτωπισης .....	66
6.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αποτέφρωση.....	66
6.1.1. Τρόποι αντιμετώπισης .....	69
6.1.2. Συσκευές ελέγχου εκπομπών .....	71
6.1.2.1. Για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων .....	71
6.1.2.2. Για τον έλεγχο των όξινων αερίων .....	77
6.1.2.3. Για την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου .....	81
6.1.2.4. Για την απομάκρυνση του υδραργύρου και των διοξινών .....	84
6.1.3. Διαχείριση εναπομένουσας τέφρας.....	85
6.1.4. Επεξεργασία υγρών υπολειμμάτων .....	92
6.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις πυρόλυσης-αεριοποίησης .....	93

7. Παράδειγμα Θεσσαλίας .....	95
7.1. Πληθυσμιακά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά .....	95
7.2. Παραγωγή απορριμμάτων .....	96
7.3. Σύσταση απορριμμάτων .....	98
7.4. Τοποθεσία εγκατάστασης .....	100
7.5. Διαδικασία αποτέφρωσης .....	101
7.5.1. Συλλογή απορριμμάτων.....	101
7.5.2. Μεταφορά απορριμμάτων .....	102
7.5.3. Αποδοχή και αποθήκευση απορριμμάτων .....	103
7.5.4. Καύση απορριμμάτων .....	107
7.5.4.1. Σύστημα εσχαρών.....	107
7.5.4.2. Καυστήρας.....	108
7.5.5. Ανάκτηση ενέργειας .....	110
7.5.6. Σύστημα ελέγχου ρύπων .....	111
7.5.6.1. Περιορισμός των οξειδίων του αζώτου .....	112
7.5.6.2. Περιορισμός των όξινων αερίων .....	114
7.5.6.3. Απομάκρυνση υδραργύρου και διοξειδίων .....	114
7.5.6.4. Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων.....	114
7.5.7. Επεξεργασία και διαχείριση τέφρας .....	114
7.5.8. Επεξεργασία υγρών υπολειμμάτων .....	118
7.6. Οικονομικός Προϋπολογισμός.....	118
7.7. Παράρτημα: Επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας .....	125
8. Συμπεράσματα.....	132
8.1. Σύγκριση θερμικών μεθόδων και διάθεσης απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ .....	132
8.2. Σύγκριση θερμικών μεθόδων και ανακύκλωσης .....	133

8.3. Συμπεράσματα από την μελέτη για την περιοχή της Θεσσαλίας.....	134
9. Βιβλιογραφία .....	135
10. Πίνακας Εικόνων .....	140
11. Πίνακας Πινάκων .....	142
12. Πίνακας Διαγραμμάτων .....	143

## 1.ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διαχείριση των αστικών απορριμμάτων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα αστικά κέντρα αλλά και ολόκληρες χώρες σε κάποιες περιπτώσεις. Επίσης, το πρόβλημα είναι όλο και πιο σύνθετο λόγω της περιβαλλοντικής ανησυχίας που έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Ως εκ τούτου αναζητούνται νέες μέθοδοι για την ασφαλέστερη διαχείρισή τους.

Στην εργασία αυτή μελετάται η θερμική επεξεργασία των αστικών στερεών απορριμμάτων και κυρίως η αποτέφρωση. Άλλες παρόμοιες τεχνικές είναι η πυρόλυση και η αεριοποίηση που είναι όμως λιγότερες εφαρμόσιμες για την επεξεργασία τέτοιου είδους αποβλήτων. Η μέθοδος της θερμικής επεξεργασίας είναι αρκετά διαδεδομένη στο εξωτερικό παρόλο που στη χώρα μας δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα. Η εκπόνηση της εργασίας έγινε, κυρίως, με τη μελέτη βιβλιογραφίας, ελληνικής και διεθνούς, σχετική με το αντικείμενο καθώς και παραδειγμάτων από μονάδων του εξωτερικού που χρησιμοποιούν την τεχνική αυτή. Επίσης, ύστερα από μελέτη της μεθόδου, έγινε η εφαρμογή της σε μια περιοχή της Ελλάδας για να γίνουν εμφανέστερα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου.

Συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται η κατάσταση της διαχείρισης στην Ευρώπη και την Ελλάδα, ενώ γίνεται αναφορά στα βήματα της διαχείρισης των απορριμμάτων με την παρουσίαση των διάφορων μεθόδων που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, όπως είναι η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση, η λιπασματοποίηση, η υγειονομική ταφή και η θερμική επεξεργασία. Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται οι ευρωπαϊκές Οδηγίες σχετικές με την αποτέφρωση των απορριμμάτων και την προστασία του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, αναφέρονται και οι αντίστοιχοι ελληνικοί νόμοι ή αποφάσεις που ενσωματώνουν τις Οδηγίες αυτές.

Στο Κεφάλαιο 4, ξεκινάει η μελέτη της θερμικής επεξεργασίας και πιο συγκεκριμένα της αποτέφρωσης. Παρουσιάζονται τα στάδια της μεθόδου, συστήματα που χρησιμοποιούνται για την αποτέφρωση των απορριμμάτων καθώς και τεχνικές πληροφορίες η εφαρμογή των οποίων είναι απαραίτητη για την καλή λειτουργία μιας μονάδας αποτέφρωσης. Επίσης, γίνεται μια πιο σύντομη αναφορά στις μεθόδους της πυρόλυσης και της αεριοποίησης. Στην συνέχεια, στο Κεφάλαιο 5, γίνεται αναφορά στην ανάκτηση ενέργειας από τις θερμικές μεθόδους. Παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους είναι αυτό δυνατό, για παράδειγμα με την δημιουργία νερού, ατμού ή αέρα, τι μηχανές χρειάζονται (π.χ. λέβητας υψηλής πίεσης με αγωγούς νερού) και ποια μέθοδος είναι η πιο αποδοτική. Επίσης, παρουσιάζονται όλες οι πιθανές μορφές ενέργειας που μπορούν να ανακτηθούν όπως είναι ο ηλεκτρισμός, η θερμότητα, ή ο συνδυασμός τους. Ακόμα, γίνεται αναφορά στον τρόπο ανάκτησης ενέργειας μέσω των άλλων θερμικών μεθόδων. Το Κεφάλαιο 6, ασχολείται με ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αναδύονται από τις θερμικές μεθόδους, αυτό της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Παρουσιάζονται όλοι οι πιθανοί ρύποι που μπορούν να εμφανιστούν ύστερα από την αποτέφρωση καθώς και οι συσκευές μπορούν να μειώσουν τους ρύπους στις αέριες εκπομπές αλλά και να ελέγξουν εάν αυτές είναι εντός ορίων. Οι εκπομπές είναι

βασικός δείκτης της καλής λειτουργίας της μονάδας. Επίσης, καθησυχάζουν τους πολίτες της γύρω περιοχής από την μονάδα ότι όλα λειτουργούν σωστά και δεν κινδυνεύει ούτε η υγεία, ούτε και το φυσικό περιβάλλον γύρω τους. Ακόμα, αναπτύσσονται οι τρόποι διαχείρισης της τέφρας που δημιουργείται. Τέλος, παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της πυρόλυσης και της αεριοποίησης.

Το Κεφάλαιο 7 αποτελεί την εφαρμογή της μεθόδου της αποτέφρωσης στο διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Ύστερα από μελέτη των πληθυσμιακών και εδαφικών χαρακτηριστικών της περιοχής καθώς και της σύστασης των απορριμμάτων γίνεται η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου που θα εφαρμοστεί για την διαχείριση των απορριμμάτων της περιοχής. Παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αποτέφρωσης (σύστημα καύσης, λέβητας ανάκτησης ενέργειας, μηχανισμοί ελέγχου των ρύπων) αλλά και οι απαραίτητες ενέργειες για την καλή λειτουργία της, όπως για παράδειγμα η συλλογή των απορριμμάτων, η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας και ο τρόπος διαχείρισης της τέφρας. Τέλος, γίνεται ο οικονομικός προϋπολογισμός για την κατασκευή και τη λειτουργία της μονάδας.

Στο Κεφάλαιο 8, παρουσιάζονται κάποια τελικά συμπεράσματα εξαγόμενα από την βιβλιογραφική έρευνα αλλά και από το παράδειγμα της Θεσσαλίας. Γίνεται, επίσης, η σύγκριση της αποτέφρωσης με άλλες μεθόδους διαχείρισης απορριμμάτων, όπως η ανακύκλωση και η υγειονομική ταφή. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια στοιχεία που προέκυψαν από το παράδειγμα της Θεσσαλίας και είναι χρήσιμα για την τελική αξιολόγηση της μεθόδου.

## **2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Τα προβλήματα της ρύπανσης λόγω της ανεξέλεγκτης διάθεση των απορριμμάτων φαίνεται να ξεκινάνε τη βιομηχανική περίοδο. Πριν από αυτή, τα απόβλητα χρησιμοποιούνταν σαν λιπάσματα. Στην εποχή που ακολούθησε (μετά-βιομηχανική περίοδος, από τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα) έγινε η πρώτη προσπάθεια μείωσης και σταδιακής εξάλειψης της ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων με τη χρήση διάφορων μεθόδων πρόληψης. Η σημερινή ευρωπαϊκή λογική αντιμετώπισης του προβλήματος της διαχείρισης των αποβλήτων βασίζεται στην ιδέα του μηδενισμού τους μέσω της εφαρμογής εξελιγμένων πολιτικών και νομοθεσιών. (Hadjibiros et al, 2011)

Το πρόβλημα που θα εξετασθεί, κυρίως, στη συνέχεια είναι αυτό της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων ή ΑΣΑ. Ως στερεά απόβλητα ή απορρίμματα ορίζονται τα στερεά ή ημιστερεά υλικά ανθρωπογενούς κυρίως προέλευσης τα οποία είναι ανεπιθύμητα για τον κάτοχό τους. Γενικότερα στα στερεά απόβλητα δεν ανήκουν μόνο αυτά των αστικών περιοχών αλλά και όσα παράγονται από αγροτικές, βιομηχανικές και εξορυκτικές δραστηριότητες. Η διαχείριση των απορριμμάτων είναι απαραίτητη τόσο για την προστασία της δημόσιας υγείας όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος (του αέρα, των νερών και του εδάφους). Η έμφαση δίνεται στην κατάλληλη επεξεργασία και την ασφαλή διάθεση των αποβλήτων. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008) Γενικά, ο κύριος στόχος όλων των προγραμμάτων διαχείρισης είναι η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων μέσω της συντήρησης και της επαναχρησιμοποίησής τους και η μείωση της επικινδυνότητάς τους για την αποτροπή της ρύπανσης, μέσω του έγκαιρου διαχωρισμού των επικίνδυνων και τοξικών απορριμμάτων. Στην Ελλάδα, η πολιτεία μέσω της τοπικής αυτοδιοίκησης είναι υπεύθυνη για την καλή διαχείριση των αποβλήτων. Η μέθοδος που φαίνεται από την ευρωπαϊκή και παγκόσμια εμπειρία να είναι αρκετά αποτελεσματική είναι η πλήρης εκμετάλλευση των απορριμμάτων, μετατρέποντάς τα σε χρήσιμα υλικά ή ενέργεια. Η μέθοδος αυτή δεν είναι τόσο ανεπτυγμένη στη χώρα μας λόγω της διαφορετικότητας των απορριμμάτων. Για να είναι αποτελεσματική απαραίτητη είναι η ενεργός συμμετοχή των πολιτών στη διαδικασία διαλογής στην πηγή. (Hadjibiros et al, 2011; Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

### **2.1 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΛΟΓΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ- Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Η σύγχρονη περιβαλλοντική πολιτική στηρίζεται στην αποτροπή της ρύπανσης και στην αρχή του «ο ρυπαίνων πληρώνει». Οι ευρωπαϊκές Οδηγίες για τη διαχείριση των ΑΣΑ αποτελούν την εξέλιξη της περιβαλλοντικής πολιτικής. Παρότι με τη ψήφιση αυτών των Οδηγιών τόσο από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο όσο και από το Κοινοβούλιο φαίνεται ότι η Ευρώπη έχει κάνει μεγάλα βήματα προς την πολιτική για καλύτερη ποιότητα περιβάλλοντος, οι πολίτες κάποιων χωρών, όπως και της χώρας μας, είναι δύσκολο να δεχτούν εγκαταστάσεις επεξεργασίας απορριμμάτων κοντά στον τόπο κατοικίας τους. Το



γεγονός ότι πολλές φορές έχουν υπάρξει αντιδράσεις κατά της κατασκευής χώρων υγειονομικής ταφής ή ακόμα και εγκαταστάσεων μηχανικής διαλογής, θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στον σχεδιασμό και τη λήψη των αποφάσεων. (Hadjibiros et al, 2011)

Από το 1981 που Ελλάδα μπήκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση άρχισαν οι αλλαγές όσον αναφορά στον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος της διαχείρισης των απορριμμάτων. Η Ελλάδα μπήκε σε προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την ΕΕ για την εναρμόνισή της με τους ευρωπαϊκούς κανόνες. Παρόλα αυτά, τα παραδείγματα ανεπάρκειας διαχείρισης των ΑΣΑ δεν έχουν εξαφανιστεί. Τόσο το εθνικό όσο και το τοπικό σχέδιο για τη διαχείριση των απορριμμάτων στηρίζει τη δημιουργία νέων χωματερών που να σχετίζονται με τη μηχανική διαλογή, κάτι που όπως φαίνεται στη συνέχεια, δεν είναι τόσο αποτελεσματικό όσο άλλες μέθοδοι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθούν τα έξοδα για αυτά τα σχέδια παρά να γίνουν αλλού οι επενδύσεις (όπως σε μονάδες αποτέφρωσης, προγράμματα ανακύκλωσης και κομποστοποίησης). Επίσης, οι στόχοι για την ανακύκλωση (με το ποσοστό της ανακύκλωσης να είναι μόλις στο 19% το 2013 (<http://ec.europa.eu/eurostat> ), δύσκολα θα επιτευχθεί ο στόχος του 50% μέχρι το 2020) και για τις ποσότητες που διατίθενται σε χωματερές (το 2013 το 81% των απορριμμάτων διατίθεται σε ΧΥΤΑ και αποτελεί ένα από τα υψηλότερα ποσοστά στην Ευρώπη) δεν έχουν επιτευχθεί παρά τους υψηλούς φόρους, τα πρόστιμα και τα διάφορα προγράμματα που κατά καιρούς έχουν συζητηθεί. Υπάρχουν παραδείγματα που δείχνουν ότι αντί να γίνει προσπάθεια εφαρμογής της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, αναζητείται ο τρόπος με τον οποίο θα καταφέρουμε να αποφύγουμε τις αλλαγές. Από την άλλη, για να μην χαθούν οι επιχορηγήσεις από την ΕΕ για το περιβάλλον, οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις υποτιμούν τις συνέπειες των χωματερών και δεν ασχολούνται με τα τεχνικά ζητήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να φαίνεται ότι π.χ. δεν υπάρχει η ανάγκη εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων. Αυτά όλα έχουν αρνητικές συνέπειες στη δημόσια υγεία, την ποιότητα ζωής και τον τουρισμό. Επίσης, οι πολίτες φαίνεται να μην έχουν εμπιστοσύνη στο κράτος και τις μελέτες του και έτσι δε γίνονται αποδεκτές από το κοινωνικό σύνολο λύσεις που έχουν προταθεί. (Andreadakis et al, 2000)

## **2.2 ΒΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΣΑ**

Η διαχείριση των απορριμμάτων περιλαμβάνει ένα σύνολο ενεργειών οι οποίες είναι:

- η εκτίμηση της ποσότητας και της ποιότητας των απορριμμάτων
- η προσωρινή αποθήκευση
- η συλλογή (και η πιθανή διαλογή στη πηγή)
- η μεταφορά στη θέση επεξεργασίας και διάθεσης
- η τελική επεξεργασία και διάθεση

## A. Εκτίμηση ποιότητας και ποσότητας

Για να μπορεί η διαχείριση των στερεών αποβλήτων να είναι αποτελεσματική είναι αναγκαίο να είναι γνωστά η προέλευση, ο ρυθμός παραγωγής και η σύστασή τους.

Σύμφωνα με τον ορισμό της ευρωπαϊκής Ένωσης αστικά στερεά απόβλητα ή ΑΣΑ θεωρούνται τα οικιακά απόβλητα καθώς και άλλα τα οποία λόγω της φύσης και της σύνθεσής τους μοιάζουν με τα οικιακά. Με αυτόν τον ορισμό διαχωρίζονται τα αστικά στερεά απόβλητα από άλλες κατηγορίες όπως τα επικίνδυνα απόβλητα κυρίως βιομηχανικά, τα αδρανή από οικοδομικές εργασίες και τις ιλύες. Η ποσότητά τους εξαρτάται από τη θέση, την εποχή, τη συχνότητα συλλογής, τη χρήση σκουπιδοφάγων, τις συνήθειες και το βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού, τον βαθμό ανακύκλωσης, τις πολιτικές πρόληψης και τη νομοθεσία. Για τον προσδιορισμό της σύνθεσής τους γίνεται η κατηγοριοποίησή τους στις εξής κατηγορίες υλικών: χαρτί, πλαστικό, υπολείμματα τροφών, υφάσματα και δέρματα, γυαλί και μέταλλα. Τα απορρίμματα στην Ελλάδα έχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας λόγω του υψηλού ποσοστού των υπολειμμάτων τροφών και αγροτικών προϊόντων (περίπου το 50%) και τη χαμηλή περιεκτικότητα σε χαρτί. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008; Andreadakis et al, 2000)

## B. Προσωρινή αποθήκευση

Τα προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν σ' αυτό το στάδιο είναι η προσέλκυση εντόμων και τρωκτικών, η δυσσομία και η διασπορά των απορριμμάτων. Η μέθοδος των κάδων (συρόμενοι και κυρίως στάσιμοι) είναι αυτή που χρησιμοποιείται σήμερα. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

## Γ. Συλλογή

Το στάδιο αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό τμήμα της διαχείρισης των απορριμμάτων. Η συμμετοχή του στο συνολικό κόστος είναι περίπου 70-80%. Για τη μελέτη ενός συστήματος συλλογής πρέπει να εξεταστούν οι εξής παράμετροι: η επιλογή των σημείων συλλογής, ο καθορισμός της συχνότητας συλλογής, η επιλογή του μηχανολογικού εξοπλισμού και του προσωπικού και ο καθορισμός των δρομολογίων συλλογής. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008) Για να έχει επιτυχία ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να υπάρχει ακριβές πρόγραμμα των δρομολογίων και των στάσεων και συχνότητα που να καλύπτει τις ανάγκες χωρίς την εμφάνιση προβλημάτων. (Andreadakis et al, 2000)

## Δ. Σταθμοί μεταφόρτωσης

Εάν τα απορρίμματα δεν μεταφερθούν απ' ευθείας μετά τη συλλογή τους στον τελικό χώρο επεξεργασίας, μεταφέρονται στους σταθμούς μεταφόρτωσης. Σε αυτούς μπορεί να γίνει η συμπύεση των απορριμμάτων για τη μείωση του όγκου τους ή και η μερική διαλογή υλικών

κυρίων των μετάλλων. Παρότι θεωρούνται πολύ βοηθητικοί γιατί μειώνουν το κόστος συλλογής και μεταφοράς, ακόμα στην Ελλάδα δε χρησιμοποιούνται ευρέως. Συνολικά υπάρχουν περίπου 54 σταθμοί μεταφόρτωσης και γίνεται σχεδιασμός για άλλους 34. Ένας σταθμός μεταφόρτωσης είναι απαραίτητος για την περίπτωση που οι ΧΥΤΑ ή άλλες εγκαταστάσεις είναι απομακρυσμένοι. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008; Andreadakis et al, 2000)

## Ε. Μέθοδοι επεξεργασίας

### 1) Ανάκτηση υλικών: επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση

Η ανάκτηση υλικών περιλαμβάνει την άμεση επαναχρησιμοποίηση ορισμένων υλικών (π.χ. μπουκάλια) και την ανακύκλωση. Σύμφωνα με αυτή, τα ανακτηθέντα υλικά ύστερα από επεξεργασία επανέρχονται στο φυσικό και οικονομικό κύκλο. Αφορά υλικά όπως το χαρτί, το αλουμίνιο και άλλα μέταλλα, το γυαλί, το πλαστικό, έπιπλα, είδη ένδυσης, υπολείμματα κατασκευών και κατεδαφίσεων και ελαστικά οχημάτων. Η άμεση επαναχρησιμοποίηση ήταν κάποτε αρκετά διαδεδομένη σε κάποιες κατηγορίες υλικών στις τοπικές αγορές. Ωστόσο στις μέρες μας δεν συμβαίνει αυτό παρά τις προσπάθειες που γίνονται για την ευρύτερη εφαρμογή της. Η μόνη κατηγορία υλικών που εξακολουθεί να επαναχρησιμοποιείται με επιτυχία είναι τα γυάλινα μπουκάλια. Σε κάθε περίπτωση η ανακύκλωση είναι μια ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος ανάκτησης υλικών. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Καθοριστικοί παράγοντες σ' ένα σύστημα ανακύκλωσης είναι:

- Το σύστημα διαλογής. Μπορεί η διαλογή να γίνεται είτε στη πηγή, δηλαδή στα κέντρα συλλογής ή σε κάδους όπου συγκεντρώνονται από τους κατοίκους κάθε υλικό ξεχωριστά ή όλα μαζί, είτε να γίνεται μηχανικά. Τα στάδια σε αυτή την περίπτωση είναι η κατάτμηση, η ταξινόμηση και ο διαχωρισμός και η συμπίεση. Επίσης, υπάρχει η περίπτωση να γίνεται και διαχωρισμός για παραγωγή RDF, δηλαδή καυσίμου παραγόμενου από απορρίμματα που έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, για την χρησιμοποίησή του σε λέβητες παραγωγής ατμού ή ηλεκτρισμού. Τα απορρίμματα αυτά πρέπει να έχουν υποστεί διαλογή, μείωση μεγέθους και απομάκρυνση άκαυστων υλικών. Εκτός από την παραγωγή RDF η μηχανική διαλογή οδηγεί στον διαχωρισμό των χρήσιμων υλικών για ανακύκλωση, στην εξασφάλιση πρώτης ύλης για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, βελτιώνει τις συνθήκες της αποτέφρωσης και μειώνει τον όγκο των απορριμμάτων. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008) Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής και παραγωγής RDF πολλές φορές έχουν ατέλειες κι έτσι τα προϊόντα που παράγονται είναι χαμηλής ποιότητας και κάποιες φορές δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Εν κατακλείδι, δε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο συνδυασμός μηχανικής διαλογής και ΧΥΤΑ είναι αποτελεσματικός ως τρόπος διαχείρισης απορριμμάτων καθώς δε μειώνεται ουσιαστικά ο όγκος των απορριμμάτων που οδηγείται σε χώρους ταφής. Αυτό είναι πιθανό να συμβεί όταν τα παραγόμενα προϊόντα είναι κακής ποιότητας. Σαν μέθοδος χαρακτηρίζεται από το υψηλό κόστος και μαζί με τα υψηλά ποσοστά

αποτυχίας μπορεί να θεωρηθεί ως χαμηλής αποτελεσματικότητας. (Hadjibiros et al, 2011)

- Η διάθεση ανακυκλωμένων υλικών στην αγορά. Με βάση μόνο οικονομικούς παράγοντες, η ανακύκλωση δε μπορεί να δικαιολογηθεί για όλες τις κατηγορίες υλικών καθώς οι τιμές των προϊόντων δεν είναι ανταγωνιστικές σε σχέση με αυτά από πρώτη ύλη. Έτσι τα προγράμματα ανακύκλωσης είναι βιώσιμα μόνο όταν επιδοτούνται για περιβαλλοντικούς λόγους. Γι' αυτό το λόγο η ανακύκλωση δε πρέπει να εφαρμόζεται αδιακρίτως σε κάθε κατηγορία υλικού ανεξάρτητα από το χρηματικό κόστος καθώς δεν είναι ανεξάρτητο από την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Ο διαχωρισμός των ΑΣΑ σε επιμέρους κλάσματα δημιουργεί πιθανές πηγές πρώτων υλών (μέσω της ανακύκλωσης) με οικονομική αξία όπως χαρτί, γυαλί, σιδηρούχα και μη μέταλλα. Η ανακύκλωση είναι χρήσιμη και σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους διαχείρισης απορριμμάτων, για παράδειγμα με την θερμική επεξεργασία. Η επεξεργασία των ΑΣΑ πριν την αποτέφρωση προσφέρει το όφελος ότι απομακρύνονται διάφορα υλικά που δυσκολεύουν την καύση, όπως π.χ. μεταλλικά αντικείμενα ή από γυαλί με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η μηχανική συμπεριφορά του αποτεφρωτή και να αυξάνεται η θερμογόνος δύναμη. Βέβαια, από την άλλη, η αποτέφρωση είναι πιθανό να μειώσει το βαθμό της ανακύκλωσης καθώς τα απορρίμματα υψηλής θερμικής αξίας προτιμώνται να αποτεφρώνονται για τη παραγωγή ενέργειας. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Η ιδέα της ανάκτησης υλικών είναι αρκετά πιο διαδεδομένη στην υπόλοιπη Ευρώπη απ' ό τι είναι στη χώρα μας. Τόσο, η ανακύκλωση όσο και η διαλογή στην πηγή είναι λίγο εφαρμόσιμα στις μέρες μας και σε νομικό αλλά και σε οικονομικό επίπεδο. Υπολογίζεται ότι μόλις το 19% (2013) του συνόλου των ΑΣΑ ανακυκλώνεται. Η μόνη διαλογή που γίνεται είναι ότι ξεχωρίζονται τα πλαστικά, τα γυαλιά, τα μέταλλα και τα χαρτιά από τα υπόλοιπα υλικά. Παρόλο που η διαλογή στην πηγή και η ανακύκλωση είναι μέθοδοι τις οποίες οι πολίτες βλέπουν θετικά, δεν υπάρχει η κατάλληλη προώθηση εκ μέρους της πολιτείας για την εξάπλωσή τους. Το γεγονός ότι η πολιτεία ενθαρρύνει την μηχανική διαλογή από εξειδικευμένες μονάδες μειώνει την γνώση των πολιτών στο αντικείμενο της διαλογής με αποτέλεσμα αυτοί να μην έχουν συμμετοχή στην ανακύκλωση και την διαλογή στην πηγή. (Hadjibiros et al, 2011)

## 2) Ανάκτηση και αξιοποίηση οργανικού κλάσματος: λιπασματοποίηση

Λιπασματοποίηση ονομάζεται η αερόβια θερμοφιλική αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων με τελικά προϊόντα το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό, διάφορες ενώσεις και ένα σταθεροποιημένο οργανικό υλικό. Το οργανικό αυτό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, το οποίο λόγω της σταθερότητάς του αργεί να αποδομηθεί και παραμένει ενεργό τροφοδοτώντας με θρεπτικά συστατικά τα φυτά, για μεγάλα χρονικά διαστήματα. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

### 3) Υγειονομική Ταφή- Απόρριψη

Η υγειονομική ταφή γίνεται σε κατάλληλα επιλεγμένους χώρους (ΧΥΤΑ). Βέβαια στον όρο αυτό δεν περιλαμβάνονται μέθοδοι ταφής που δεν πληρούν τις προδιαγραφές της σύγχρονης υγειονομικής ταφής, ούτε και η απλή απόρριψη στερεών αποβλήτων. Είναι το τελικό στάδιο στη διαχείριση καθώς καταλήγει εκεί ότι δε μπορεί να ανακυκλωθεί ή να εκμεταλλευτεί ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας που προηγήθηκε. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008) Στην Ευρώπη η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όλο και λιγότερο. Ενώ το 1995 το 64% των απορριμμάτων διατέθηκε σε ΧΥΤΑ, το 2014 το ποσοστό αυτό ήταν μόλις 27,5%. Ενώ στην Ελλάδα το ποσοστό των απορριμμάτων αυτών είναι περίπου 75%, υπάρχουν χώρες όπως η Ολλανδία, η Δανία, το Βέλγιο κ.ά., που το αντίστοιχο ποσοστό πλησιάζει το 0%. (<http://ec.europa.eu/eurostat> )

Ανάμεσα στα θετικά των ΧΥΤΑ είναι η απλότητα των εγκαταστάσεων και της λειτουργίας τους και η ευκολία στην προσαρμογή ανάλογα με την ποσότητα και την ποιότητα των απορριμμάτων. Στην Ελλάδα μπορούμε να υπολογίσουμε και ως θετικό το χαμηλό κόστος, μιας και πολλές φορές οι χώροι αυτοί δεν είναι συμμορφωμένοι με τους αυστηρούς κανόνες λειτουργίας και απουσιάζουν τα καθιερωμένα τέλη. (Andreadakis et al, 2000) Μέχρι τώρα τα τέλη είναι δημοτικά και ο καθένας πληρώνει τον φόρο με βάση το μέγεθος του σπιτιού του σε τετραγωνικά μέτρα. Παρότι από το 2014 έχει ψηφιστεί ο κανονισμός τα τέλη να είναι ανάλογα της παραγωγής τους, ακόμα δεν έχει εφαρμοστεί. Σύμφωνα με αυτόν τα τέλη θα ξεκινάνε από 35 € / t (το 2014) με ετήσια αύξηση 5 € / t έως ότου φτάσει στα 60 € / t. (CEWEP, 2013)

Παρότι από τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης απορριμμάτων του παρελθόντος οι ΧΥΤΑ έχουν εξελιχθεί πολύ, τόσο σε θέματα δημόσιας υγείας όσο και σε θέματα αποτροπής της ρύπανσης του περιβάλλοντος, συνεχίζουν να αποτελούν μια μέθοδο με τη λογική της αποφυγής της ρύπανσης και όχι της αξιοποίησης των απορριμμάτων. Γι' αυτό το λόγο η ταφή των απορριμμάτων δεν πρέπει να αποτελεί την μοναδική μέθοδο διαχείρισης των απορριμμάτων αλλά να εφαρμόζεται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Απαραίτητο για το μέλλον είναι η μείωση του οργανικού τμήματος στα ΑΣΑ που διατίθενται τις χωματερές καθώς λόγω της βιοχημικής δραστηριότητας είναι αυτό που προκαλεί και τη ρύπανση. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που έχουν να αντιμετωπίσουν τα ΧΥΤΑ είναι η δυσκολία να βρεθούν οι κατάλληλες τοποθεσίες, έτσι ώστε να είναι κοντά σε αστικές περιοχές και να είναι οικονομικά συμφέρουσες. Εμπόδιο σε αυτό είναι οι αντιδράσεις των γειτόνων μιας και υπάρχει η ιδέα ότι τα ΧΥΤΑ είναι ίδια με τους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης, κάτι που όμως δεν ισχύει όταν ο χώρος υγειονομικής ταφής έχει σχεδιαστεί βάση των νεότερων κανονισμών και έχει χρησιμοποιηθεί η βέλτιστη τεχνολογία. (Andreadakis et al, 2000; Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Στην Ελλάδα μπορούν να διακριθούν 3 κατηγορίες τέτοιων χώρων (Andreadakis et al, 2000):

1. Χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης (ΧΑΔΑ): εμφανίζονται σε αγροτικές κυρίως περιοχές και είναι παράνομοι. Τα απορρίμματα δεν έχουν υποστεί καμία

επεξεργασία πριν από τη διάθεσή τους. Υπήρχαν περίπου 3500 συνολικά στη χώρα μας. Ύστερα από την παραπομπή της Ελλάδας στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο η κατάσταση έχει βελτιωθεί. Το 2014 λειτουργούσαν 70 παράνομοι ΧΑΔΑ, ενώ άλλοι 229 ήταν σε διαδικασία αποκατάστασης. Βέβαια, ακόμα πληρώνουμε πρόστιμα για την αδυναμία αποκατάστασης όλων των ΧΑΔΑ.

2. Παλιού τύπου χωματερές: καθημερινά τα απορρίμματα συμπυκνώνονται και καλύπτονται με χώμα. Δε γίνεται καμία άλλη διαδικασία ούτε παίρνονται περαιτέρω προφυλάξεις. Υπάρχουν περίπου 1500. Τέτοιου τύπου είναι και χωματερές σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη.
3. ΧΥΤΑ: στις μέρες μας λειτουργούν 75 ΧΥΤΑ και υπό κατασκευή άλλοι 19.

Οι κίνδυνοι που εμφανίζονται είναι πολλοί όπως οι πυρκαγιές σε δασικές εκτάσεις, η ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, οι δυσάρεστες οσμές, η ρύπανση του αέρα και ο υποβιβασμός του τοπίου. Απαραίτητο είναι να κλείσουν οι παράνομες χωματερές και να αντικατασταθούν με ΧΥΤΑ σχεδιασμένα για αποτελεσματική λειτουργία.

Στην Περιφέρεια Αττικής για παράδειγμα παράγονται 7500 τόνοι απορριμμάτων την ημέρα. Η μεγαλύτερη ποσότητα διατίθεται στον ΧΥΤΑ Φυλής και όπως είναι λογικό εμφανίζονται πολλά προβλήματα. Κανονικά στην Αττική θα έπρεπε να λειτουργούν δύο ΧΥΤΑ που να έχουν και εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης. (Andreadakis et al, 2000; Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

#### 4) Θερμική επεξεργασία με ανάκτηση ενέργειας

Η θερμική επεξεργασία, τόσο για τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων όσο και για την ανάκτηση ενέργειας, είναι μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης. Με τη θερμική επεξεργασία γίνεται μετατροπή των στερεών απορριμμάτων σε αέρια και στερεά προϊόντα με ταυτόχρονη ή επακόλουθη έκλυση θερμικής ενέργειας. Ανάλογα με το πόσο οξυγόνο χρησιμοποιείται για την καύση υπάρχουν διαφορετικά συστήματα τα οποία είναι η αποτέφρωση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Ένα από τα στοιχεία που είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε για να έχουμε επιτυχημένη θερμική επεξεργασία είναι η θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων. Λόγω της μεταβλητής σύστασης των αποβλήτων είναι αδύνατη η καύση με την ακριβή ποσότητα οξυγόνου, και συνήθως χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα κάτι που βοηθάει και την ανάμιξη, να υπάρχει δηλαδή αέρας σε όλον τον όγκο των απορριμμάτων. Η περίσσεια αέρα μειώνει όμως τη θερμοκρασία επηρεάζοντας τα παραγόμενα καυσαέρια. Εμφανίζονται εκτός από CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> (προϊόντα πλήρους καύσης) και μονοξειδίο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες που δεν έχουν καεί, πτητικές ενώσεις και πολυκυκλικές οργανικές ενώσεις. Η θερμογόνο δύναμη των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την ανάκτηση ενέργειας. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προθέρμανση του εισερχόμενου αέρα στον αποτεφρωτή. Η υπόλοιπη αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Τα συστήματα καύσης που χρησιμοποιούνται είναι δύο ειδών: τα μαζικής καύσης (δηλαδή καύση μικτών στερεών απορριμμάτων) και τα καύσης RDF (δηλαδή καύση του υλικού ύστερα από επεξεργασία των στερεών αποβλήτων). Στα συστήματα μαζικής καύσης η περιεχόμενη ενέργεια των απορριμμάτων μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τη σύστασή τους. Αντίθετα τα συστήματα RDF έχουν σταθερή και υψηλότερη περιεκτικότητα σε ενέργεια και γι αυτό είναι πιο μικρά σε σχέση με τα μαζικής καύσης. Επίσης, μπορούν να ελεγχθούν πιο εύκολα λόγω της ομογενούς φύσης του υλικού κατά τη διάρκεια της καύσης και να έχουν καλύτερη απόδοση στα συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Ωστόσο εμφανίζονται μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία πρέπει να ερευνηθούν κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος καύσης. Μερικά από αυτά είναι: οι πιθανές οσμές, ο θόρυβος κατά τη λειτουργία, η διαφυγή σκόνης, το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται και η συμβολή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, με ποιον τρόπο θα γίνει η διάθεση της εναπομένουσας τέφρας και των υγρών αποβλήτων και οι εκπομπές των αέριων ρύπων. Οι απαιτήσεις για τις εκπομπές των αερίων, παρότι διαφέρουν από χώρα σε χώρα, είναι ιδιαίτερα αυστηρές. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η εφαρμογή συστημάτων ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης σύμφωνα με την αρχή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας. (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008)

Η μέθοδος επεξεργασίας με ανάκτηση ενέργειας χαρακτηρίζεται ακόμα από το υψηλό κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης και το μεγάλο κεφάλαιο που απαιτείται. Επίσης, ο μεταβλητός όγκος των αποβλήτων λόγω διαφόρων παραμέτρων επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία της εγκατάστασης. (Hadjibiros et al, 2011) Η επεξεργασία για ανάκτηση ενέργειας δεν συμβαίνει καθόλου στη χώρα μας. Συνήθως οι λόγοι που χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να μη γίνει κανένα σχέδιο για εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας στην Αθήνα είναι οι εξής (Andreidakis et al, 2000):

- Μια τέτοια εγκατάσταση θα επιβαρύνει τον ήδη πολύ μολυσμένο αέρα της.
- Το κόστος της αποτέφρωσης είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ.
- Τα απορρίμματα στην Ελλάδα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (στην Αθήνα είναι το 37,5% του συνολικού βάρους όταν στην υπόλοιπη Ευρώπη είναι λιγότερο από 20%) κάτι που επηρεάζει αρνητικά την καύση.
- Θεωρείται πιο χρήσιμη η ανάκτηση υλικών παρά η ανάκτηση ενέργειας.

Η μέθοδος της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων θα μελετηθεί στην συνέχεια λεπτομερώς.

## 5) Εναλλακτικά σχήματα διαχείρισης

Λόγω του ότι οι παραπάνω μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν αυτόνομα είναι απαραίτητος ο συνδυασμός τους για την δημιουργία ολοκληρωμένων σχημάτων διαχείρισης. Τα πιο χαρακτηριστικά από αυτά είναι:

- Μέγιστη ανάκτηση υλικών και ταφή του υπολοίπου (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008): διαλογή είτε στην πηγή είτε και μηχανικά στην εγκατάσταση επεξεργασίας των υλικών από χαρτί, πλαστικό, γυαλί, των μεταλλικών και διάφορων ανόργανων (πέτρες) ή οργανικών αλλά μη ζυμώσιμων (ξύλα, υφάσματα) αντικειμένων. Επαναχρησιμοποίηση των υπόλοιπων υλικών, τα οποία είναι κυρίως υπολείμματα τροφών και απόβλητα αυλών, μέσω της λιπασματοποίησης. Η λύση αυτή είναι ικανοποιητική από περιβαλλοντικής άποψης αλλά πολλές φορές η παραγόμενη κομπόστα δεν είναι χρησιμοποιήσιμη και καταλήγει στη χωματερή.
- Παρόμοια μέθοδος με την προηγούμενη είναι αυτή της πλήρους εκμετάλλευσης (Hadjibiros et al, 2011): Αρχικά, γίνεται ξεχωριστή συλλογή των συσκευασιών και διαλογή τόσο των χρήσιμων ακατέργαστων υλικών, όσο και του χαρτιού ξεχωριστά (αποτελεί περίπου το 18-35% του συνόλου των ΑΣΑ). Έπειτα γίνεται λεπτομερέστερη διαλογή στη πηγή, η οποία μπορεί να βελτιώσει την εκμετάλλευση υλικών, όπως μετάλλων, γυαλιών, πλαστικών και οικοδομικών υλικών αλλά και να οδηγήσει στην αποτελεσματική ανακύκλωση ιδιαίτερων απορριμμάτων (μπαταρίες, ηλεκτρικές συσκευές, ελαστικά αυτοκινήτων). Τέλος τα βιολογικά απόβλητα όπως υπολείμματα τροφών, φύλλα, κτλ συλλέγονται και με επεξεργασία γίνονται λίπασμα ή καύσιμο καλής ποιότητας. Θεωρείται μια φιλική περιβαλλοντικά μέθοδος η οποία προστατεύει τις φυσικές πηγές και είναι τεχνολογικά σίγουρη. Πλέον τα απόβλητα στη διαδικασία της συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης δεν είναι αναμειγμένα και έτσι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν ρύπανση.
- Επιλεκτική ανάκτηση υλικών, καύση με ανάκτηση ενέργειας και διάθεση τέφρας (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008): η ανακύκλωση μετάλλων και γυαλιού είναι επιθυμητή επειδή βελτιώνεται η απόδοση της καύσης και περιορίζεται ο όγκος του υπολείμματος. Αντίθετα δεν μπορεί να συνδυαστεί η καύση με μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης χαρτιού και πλαστικού. Η εγκατάσταση καύσης είναι δαπανηρή αλλά η ανακτώμενη ενέργεια μειώνει το κόστος. Βέβαια σε μεγαλύτερες πόλεις, όπως η Αθήνα, η καύση μπορεί να συναγωνιστεί οικονομικά τη χωματερή, σε αντίθεση με μικρότερες πόλεις. Στις περισσότερες χώρες εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή και μάλιστα σε κάποιες, όπως η Δανία, η Ολλανδία, η Σουηδία, είναι η βασική μέθοδος επεξεργασίας ΑΣΑ.
- Γενική υγειονομική ταφή (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008): αποσκοπεί στην εξαφάνιση των σκουπιδιών και όχι στην αξιοποίησή τους. Η σύγχρονη χωματερή αποτελεί ένα προηγμένο και πολύπλοκο σύστημα και γι' αυτό δε θεωρείται πιο φθηνή επιλογή. Επίσης, είναι ενεργή για πολλά χρόνια ύστερα από το κλείσιμό της απαιτώντας παρακολούθηση και συντήρηση. Γενικά, το σχήμα αυτό υστερεί σε περιβαλλοντικά και τεχνικά ζητήματα και γι' αυτό δε θεωρείται η βέλτιστη επιλογή.



### 2.2.1 Παράδειγμα Βιέννης

Το σύστημα οικιακής διαχείρισης απορριμμάτων της Βιέννης θεωρείται το πιο ανεπτυγμένο και φιλικό προς το περιβάλλον όλης της Ευρώπης. Είναι πραγματικά ενδιαφέρον ότι μόνο το 25% της συνολικής παραγωγής οδηγείται για αποτέφρωση. Το υπόλοιπο ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται. Το στοιχείο που οδηγεί στην επιτυχία το σύστημα αυτό είναι το αυστηρό πρόγραμμα ανακύκλωσης με διαλογή στη πηγή, στην οποία ο κάθε πολίτης συμμετέχει. Τα οργανικά υπολείμματα γίνονται λίπασμα και ό,τι περισσεύει είναι τα ακατέργαστα υλικά. Οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, που βρίσκονται μέσα σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της πόλης, είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα καλής λειτουργίας. Χρησιμοποιώντας συστήματα φιλτραρίσματος των αερίων ελαχιστοποιούνται οι επικίνδυνες εκπομπές τόσο για την υγεία, όσο και για το περιβάλλον. Τέλος, η θερμότητα που παράγεται διοχετεύεται απ' ευθείας στο σύστημα θέρμανσης της πόλης. Έτσι είναι πόλος έλξης και τουριστών, φίλων του περιβάλλοντος. (Hadjibiros et al, 2011)



Εικόνα 1: Μονάδα αποτέφρωσης με ανάκτηση ενέργειας, Spittelau, Βιέννη

## **3. ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ**

### **3.1 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ**

Η πολιτική που εφαρμόζει η Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2020 βασίζεται στο 7<sup>ο</sup> πρόγραμμα περιβαλλοντικής δράσης το οποίο συνιστά ευθύνη τόσο των οργάνων της ΕΕ όσο και των εθνικών κυβερνήσεων. Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 2014 και βασίζεται σε ένα μακροπρόθεσμο όραμα που φάνει μέχρι το 2050. Οι στόχοι που θέτονται για το 2020 είναι εννέα και έχουν σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος και των πρωτογενών πηγών ορυκτών υλικών, τη δημιουργία πόλεων πιο φιλικών προς το περιβάλλον, την προστασία των πολιτών από προβλήματα υγείας που προκαλούνται από τη ρύπανση καθώς και την καλύτερη ενημέρωση και εφαρμογή των νομοθεσιών και μέσα στο πρόγραμμα ορίζεται το πώς η ΕΕ θα τους πετύχει. (European Commission<sup>(3)</sup>)

Με βάση αυτό το πρόγραμμα έχουν θεσμοθετηθεί Οδηγίες σύμφωνα με τις οποίες καθορίζεται με λεπτομέρειες η πολιτική που θα ακολουθήσουν τόσο τα όργανα της ΕΕ όσο και τα κράτη μέλη για την προστασία του περιβάλλοντος.

#### **3.1.1 Οδηγία 2008/99/ΕΚ**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της Οδηγίας 2008/99/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου θεσμοθετεί την προστασία του περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου. Θεωρώντας ότι οι κυρώσεις που μέχρι τότε υπήρχαν για τους παραβάτες των νομοθεσιών όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος δεν κατάφεραν να οδηγήσουν στην πλήρη εφαρμογή αυτών, ορίζει τις ποινές (μέσω του ποινικού δικαίου πλέον) που θα υποστούν όσοι λόγω αμέλειας ή εσκεμμένα ασχολούνται με δραστηριότητες που βλάπτουν ή είναι πιθανό να βλάπτουν το φυσικό περιβάλλον. Μέσα από την Οδηγία γίνεται σαφές ότι αυτή έχει ισχύ σε όλα τα κράτη μέλη, παρόλο που δίνεται η ελευθερία σε κάθε κράτος να θεσπίσει και αυστηρότερα μέτρα τα οποία βέβαια θα είναι συμβατά με τη συνθήκη. Στα Άρθρα της Οδηγίας ορίζονται τα διάφορα αδικήματα κατά του περιβάλλοντος (Άρθρο 3), οι κυρώσεις που σύμφωνα με το Άρθρο 5 λαμβάνονται από τα κράτη μέλη καθώς και οι ευθύνες των νομικών προσώπων και οι κυρώσεις κατά αυτών (Άρθρα 6,7). (EUR-Lex<sup>(2)</sup>)

#### **3.1.2 Οδηγία 2008/98/ΕΚ**

Η Οδηγία αυτή θέτει τις βασικές ιδέες και ορισμούς σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων, όπως τους ορισμούς για τα απόβλητα, την ανακύκλωση και την ανάκτηση. Θέτει, επίσης, κάποιες βασικές αρχές για τη διαχείριση των αποβλήτων, όπως ότι η διαχείριση πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μη τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον και συγκεκριμένα το νερό, ο αέρας, το έδαφος, τα φυτά ή τα ζώα και να μη προκαλούνται ενοχλήσεις λόγω θορύβου ή οσμών. Στην οδηγία αυτή ορίζεται και

η ιεράρχηση των ενεργειών δηλαδή τα βήματα που πρέπει να ακολουθούνται στην διαχείριση των απορριμμάτων. (EUR-Lex<sup>(1)</sup>)

Τα επίπεδα ιεράρχησης είναι τα εξής (EUR-Lex<sup>(1)</sup>):

1. Πρόληψη: σε αυτό το επίπεδο συμπεριλαμβάνεται η χρήση λιγότερων υλικών για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των προϊόντων, η μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης τους, η επαναχρησιμοποίησή τους, καθώς και η χρήση λιγότερο επικίνδυνων υλικών.
2. Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση: εδώ περιλαμβάνονται όλες οι διαδικασίες που είναι απαραίτητο να γίνουν για να μπορέσουν να επαναχρησιμοποιηθούν ολόκληρα αντικείμενα ή μέρη αυτών. Τέτοιες ενέργειες είναι ο έλεγχος, το καθάρισμα, η επιδιόρθωση κλπ.
3. Ανακύκλωση: δημιουργία νέου αντικειμένου ή υλικού ύστερα από επεξεργασία των απορριμμάτων.
4. Ανάκτηση ενέργειας: περιλαμβάνονται μέθοδοι όπως η καύση των απορριμμάτων με ανάκτηση ενέργειας, η αεριοποίηση και η πυρόλυση όταν παράγεται ενέργεια (θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα) ή κάποιο υλικό.
5. Τελική διάθεση: στο τελευταίο και λιγότερο επιθυμητό επίπεδο περιλαμβάνεται η απόρριψη των απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής ή η καύση τους χωρίς καθόλου ανάκτηση ενέργειας



Εικόνα 2: Ιεράρχηση διαχείρισης απορριμμάτων

Επιπλέον, στην Οδηγία αυτή, εισάγεται η ιδέα του «ο ρυπαίνων πληρώνει» και της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού». Επίσης, θέτει δύο καινούριους στόχους μέχρι το 2020, αυτόν της προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση έως και 50% των αστικών απορριμμάτων ή παρόμοιων με αυτά, και αυτόν της προετοιμασίας για

επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωσης και ανάκτησης έως και 70% απορριμμάτων από οικοδομικές εργασίες και κατεδαφίσεις. (EUR-Lex<sup>(1)</sup>)

Πιο συγκεκριμένα η Οδηγία χωρίζεται σε κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1: Αντικείμενο, πεδία εφαρμογής και ορισμοί (Άρθρα 1-7).
- Κεφάλαιο 2: Γενικές απαιτήσεις (Άρθρα 8-14). Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται κάθε ενέργεια σχετική με τη διαχείριση των αποβλήτων.
- Κεφάλαιο 3: Διαχείριση αποβλήτων (Άρθρα 15-22). Περιλαμβάνονται άρθρα που έχουν σχέση με τη ευθύνη της διαχείρισης, τον έλεγχο επικίνδυνων αποβλήτων, τις αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας κτλ.
- Κεφάλαιο 4: Άδειες και καταχωρίσεις (Άρθρα 23-27)
- Κεφάλαιο 5: Σχέδια και προγράμματα (Άρθρα 28-33)
- Κεφάλαιο 6: Επιθεωρήσεις και αρχεία (Άρθρα 34-36)
- Κεφάλαιο 7: Τελικές διατάξεις (Άρθρα 37-43)

Σημαντικά είναι επίσης και τα Παραρτήματα 1 και 2 τα οποία δίνουν τη διαφορά ουσιαστικά ανάκτησης και διάθεσης. Το Παράρτημα 1 παρουσιάζει τις ενέργειες σχετικές με τη διάθεση των απορριμμάτων, ενώ το 2<sup>ο</sup> Παράρτημα τις διαδικασίες ανάκτησης ενέργειας από αυτά καθώς και τα αναγκαία κριτήρια για να θεωρηθεί ότι ένας τρόπος διαχείρισης απορριμμάτων ανακτά ενέργεια. Σε αυτό, εντάσσονται και οι μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων εφόσον πληρούν τα κριτήρια. Το βασικό κριτήριο είναι η αποδοτικότητα, δηλαδή πόση από την ενέργεια που περιλαμβάνεται μέσα στα απορρίμματα ανακτάται σαν ηλεκτρισμός ή θερμότητα από την μονάδα. Εάν δε πληρούνται τα κριτήρια, τότε η διαδικασία θεωρείται διάθεση απορριμμάτων και όχι ανάκτηση, παρόλο που η μονάδα παράγει ενέργεια. Ωστόσο, αυτό το κριτήριο δε πρέπει να είναι αποτρεπτικό για τη μέθοδο της αποτέφρωσης αλλά αντίθετα να οδηγεί στην κατασκευή πιο αποδοτικών εγκαταστάσεων.

Η απόδοση της ενέργειας υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Απόδοση} = [E_p - (E_f + E_i)] / [0.97 * (E_w + E_f)]$$

Όπου:

$E_p$  είναι η ετήσια παραγόμενη ενέργεια σε μορφή είτε θερμότητας είτε ηλεκτρισμού. Υπολογίζεται με την ενέργεια σε μορφή ηλεκτρισμού επί 2,6 και αυτή σε μορφή θερμότητας για εμπορική χρήση επί 1,1 (GJ/έτος)

$E_f$  είναι η ετήσια ενέργεια που εισάγεται στο σύστημα από καύσιμα για την παραγωγή ατμού (GJ/έτος)

$E_w$  είναι η ετήσια ενέργεια που περιλαμβάνεται στα προς επεξεργασία απορρίμματα. Στον υπολογισμό αυτής χρησιμοποιείται η καθαρή θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων. (GJ/έτος)

Εἶ είναι ἡ ετήσια εισαγόμενη ἐνέργεια ἐκτός ἀπὸ αὐτὴν που συμπεριλαμβάνεται στα Ew καὶ Ef. (GJ/έτος)

0,97 εἶναι συντελεστής που συνυπολογίζει τις ἀπώλειες ἐνέργειας ἐξ' αἰτίας της ἐναπομένουσας τέφρας καὶ της ἀκτινοβολίας.

Για να θεωρηθεῖ μια μονάδα ὅτι ἀνακτᾶ ἐνέργεια (να εἶναι κατηγορίας R1, ὅπως ἀναφέρει ἡ Οδηγία) ὁ παραπάνω συντελεστής πρέπει να εἶναι μεγαλύτερος του 0,60 για ἤδη ὑπάρχουσες μονάδες (πρὶν ἀπὸ τις 1/1/2009) που εἶναι σε λειτουργία καὶ ἔχουν τὴν σχετικὴ ἄδεια ἢ μεγαλύτερος του 0,65 για μονάδες που πήραν ἄδεια ὕστερα ἀπὸ τις 31/12/2008.

### **3.1.3 Οδηγία 2000/76/ΕΚ**

Ἡ Οδηγία αὐτὴ ἀφορᾶ τὴν καύση των ἀπορριμμάτων καὶ ἔχει σκοπὸ τὴν πρόληψη ἢ τὴν μείωση της ρύπανσης που προκαλεῖται λόγω της ἀποτέφρωσης καὶ της συναποτέφρωσης των ἀπορριμμάτων. Συγκεκριμένα, ἀναφέρεται στὴν ἐλαχιστοποίηση της ρύπανσης ἐξαιτίας των ἐκπομπών στὸν ἀέρα, τὸ ἔδαφος, τὸ ὑπόγειο καὶ ἐπιφανειακὸ νερὸ, καὶ ἐπιπλέον ὅ,τι μπορεῖ να εἶναι ἐπιβλαβὲς για τὴν ἀνθρώπινη υγεία. Αὐτὸ μπορεῖ να ἐπιτευχθεῖ μέσα ἀπὸ τὴν ἐφαρμογὴ αὐστηρῶν συνθηκῶν λειτουργίας, τεχνικῶν ἀπαιτήσεων καὶ ὁρίων των ἐκπομπῶν των ἐγκαταστάσεων ἀποτέφρωσης καὶ συναποτέφρωσης μέσα στα ὅρια της Ἐυρωπαϊκῆς Ἐνωσης (Ἄρθρο 1). Στὸ Ἄρθρο 2 ἀναφέρεται τὸ πεδίο ἐφαρμογῆς της Οδηγίας, δηλαδὴ ποιές μονάδες (ἀνάλογα με τα ἀπορρίμματα που ἐπεξεργάζονται) ὑπόκεινται στὴν Οδηγία αὐτὴ. (EUR-Lex<sup>(3)</sup>)

Στὴ συνέχεια, στὸ Ἄρθρο 3, γίνεται ἡ ἀναφορὰ στὸν ὀρισμὸ μερικῶν σημαντικῶν ὀρων για τὴν καύση των ἀπορριμμάτων. Για παράδειγμα, ποια θεωροῦνται ἀπόβλητα, ἐπικίνδυνα ἀπόβλητα καὶ μεικτὰ ἀστικά ἀπόβλητα. Συγκεκριμένα, στὴν τρίτη κατηγορία εἶναι τα ἀπόβλητα ἀπὸ νοικοκυριά, καθὼς καὶ τα ἀπόβλητα ἐμπορικῶν καὶ βιομηχανικῶν δραστηριοτήτων καὶ τα ἀπόβλητα ἰδρυμάτων, τα ὁποῖα εἶναι ὅμοια με τα ἀπόβλητα των νοικοκυριῶν. Ἐπίσης, δίνεται ὁ ὀρισμὸς της ἐγκατάστασης ἀποτέφρωσης καὶ συναποτέφρωσης. Ὡς ἐγκατάσταση ἀποτέφρωσης ὀρίζεται κάθε σταθερὴ ἢ κινητὴ μονάδα με τὸν ἐξοπλισμὸ της, που ἀφορᾶ ἀποκλειστικὰ τὴν θερμικὴ ἐπεξεργασία των ἀποβλήτων με ἢ χωρὶς ἀνάκτηση της θερμότητας που παράγεται λόγω της καύσης. Περιλαμβάνεται ἡ καύση λόγω ὀξειδωσῆς των ἀποβλήτων ἀλλὰ καὶ οἱ θερμικὲς ἐπεξεργασίες, ὅπως ἡ πυρόλυση, ἡ ἀεριοποίηση καὶ ἡ τεχνικὴ πλάσματος, με τὴν προϋπόθεση ὅτι οἱ οὐσίες που παράγονται κατὰ τὴν ἐπεξεργασία στὴν συνέχεια ἀποτεφρώνονται. Ὡς ἐγκατάσταση συναποτέφρωσης ὀρίζεται κάθε σταθερὴ ἢ κινητὴ μονάδα της ὁποίας κύριος σκοπὸς εἶναι ἡ παραγωγή ἐνέργειας ἢ ὑλικῶν προϊόντων καὶ στὴν ὁποία χρησιμοποιοῦνται ἀπόβλητα ὡς σύνηθες ἢ συμπληρωματικὸ καύσιμο ἢ τα ἀπόβλητα ὑφίστανται θερμικὴ ἐπεξεργασία για τὴν διάθεσή τους. Ἄλλοι ὀρισμοί που ὑπάρχουν στὸ κείμενο εἶναι της ὑφιστάμενης μονάδας ἀποτέφρωσης ἢ συναποτέφρωσης, της ὀνομαστικῆς δυναμικότητας (ἐξαρτάται ἀπὸ τὴν θερμογόνου δύναμη των ἀπορριμμάτων, ὀρίζεται ἀπὸ τὸν κατασκευαστὴ των κλιβάνων καὶ οὐσιαστικὰ ἐκφράζεται ὡς ἡ ποσότητα των ἀποβλήτων που ἀποτεφρώνονται σε μία ὥρα),

των εκπομπών και των οριακών τιμών τους, των διοξινών και φουρανίων, του φορέα εκμετάλλευσης και της άδειας, και τέλος, των υπολειμμάτων.

Στο Άρθρο 4, δίνονται λεπτομέρειες για την αίτηση και την χορήγηση άδειας. Αναφέρεται, ότι για να πάρει μια μονάδα άδεια πρέπει να έχει πάρει τα κατάλληλα μέτρα τα οποία θα πρέπει να διασφαλίζουν:

- Ότι ο σχεδιασμός, ο εξοπλισμός και η λειτουργία της μονάδας γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις από την Οδηγία αυτή
- Την μέγιστη ανάκτηση θερμότητας που παράγεται κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης
- Την ελαχιστοποίηση της ποσότητας και του βλαβερού χαρακτήρα των υπολειμμάτων και την ανακύκλωσή τους όπου κάτι τέτοιο απαιτείται
- Την τελική διάθεση των υπολειμμάτων των οποίων η πρόληψη, μείωση ή ανακύκλωση δεν είναι εφικτή, σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία.

Από το Άρθρο 5 μέχρι και το 11 γίνεται η παρουσίαση λεπτομερειών σχετικά με την λειτουργία της μονάδας. Ονομαστικά τα Άρθρα είναι τα εξής:

- Άρθρο 5: Παράδοση και παραλαβή των αποβλήτων
- Άρθρο 6: Συνθήκες λειτουργίας
- Άρθρο 7: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών
- Άρθρο 8: Απορρίψεις υδάτων που προέρχονται από τον καθαρισμό των καυσαερίων
- Άρθρο 9: Υπολείμματα
- Άρθρο 10: Έλεγχος και παρακολούθηση
- Άρθρο 11: Απαιτήσεις για τις μετρήσεις

Στα υπόλοιπα άρθρα γίνεται αναφορά στον τρόπο πληροφόρησης του κοινού (Άρθρο 12), στις ασυνήθεις λειτουργίες (Άρθρο 13) και στην ρήτρα επανεξέτασης. Επίσης, υπάρχουν άρθρα τα οποία αφορούν τα κράτη μέλη και το χρονικό περιθώριο που έχουν για να μεταφέρουν την Οδηγία στην εθνική τους νομοθεσία, τα μεταβατικά μέτρα που πρέπει να εφαρμόζονται καθώς και τις κυρώσεις που θα έχουν σε περίπτωση μη συμμόρφωσης.

Στην συνέχεια υπάρχουν παραρτήματα με πιο ειδικές πληροφορίες για την λειτουργία των μονάδων και των ρύπων που δημιουργούνται μέσα από τις θερμικές διαδικασίες επεξεργασίας.

- Παράρτημα I: Λεπτομέρειες για τον προσδιορισμό της συνολικής συγκέντρωσης διοξινών και φουρανίων
- Παράρτημα II: Προσδιορισμός των οριακών τιμών εκπομπών στον αέρα για τη συναποτέφρωση αποβλήτων
- Παράρτημα III: Τεχνικές μετρήσεων
- Παράρτημα IV: Οριακές τιμές εκπομπών για τις απορρίψεις λυμάτων προερχόμενων από τον καθαρισμό των καυσαερίων

- Παράρτημα V: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών
- Παράρτημα VI: Τύπος υπολογισμού της συγκέντρωσης των εκπομπών στην τυπική εκατοστιαία συγκέντρωση οξυγόνου

Στο Παράρτημα V εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας με τις οριακές ημερήσιες τιμές των εκπομπών για διάφορους ρύπους:

α) Ημερήσιες μέσες τιμές

Ολικός κονιορτός	10 mg/m <sup>3</sup>
Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροχλώριο (HCl)	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροφθόριο (HF)	1 mg/m <sup>3</sup>
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	50 mg/m <sup>3</sup>
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης	200 mg/m <sup>3</sup> (*)
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας τριών τόνων ή μικρότερης	400 mg/m <sup>3</sup> (*)

(\*) Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2007 και με την επιφύλαξη της κοινοτικής νομοθεσίας, η οριακή τιμή εκπομπών για τα NO<sub>x</sub> δεν ισχύει για τις μονάδες που αποτεφρώνουν επικίνδυνα απόβλητα μόνο.

**Πίνακας 1: Οριακές ημερήσιες τιμές διαφόρων ρύπων**

Επίσης, η οριακή τιμή εκπομπών για την συνολική συγκέντρωση διοξεινίων και φουρανίων σε διάστημα δειγματοληψίας από 6 (το ελάχιστο) έως 8 ωρών (το μέγιστο) είναι 0,1 ng/m<sup>3</sup>.

Ακόμα, υπάρχουν και όρια για τις συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα καυσαέρια, εκτός από τις φάσεις της εκκίνησης και της διακοπής. Αυτές είναι:

- Τα 50 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων ως ημερήσια μέση τιμή
- Και τα 150 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων τουλάχιστον στο 95% όλων των μετρήσεων, ως μέσες τιμές δεκαλέπτου, ή 100 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων στο σύνολο των μετρήσεων, ως μέσες τιμές ημιώρου, που έχουν ληφθεί κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε εικοσιτετραώρου.

Για τις εκπομπές βαρέων μετάλλων υπάρχει ο παρακάτω πίνακα ο οποίος αναφέρεται σε μέσες τιμές δειγματοληψίας διάρκειας από 30 λεπτά έως 8 ώρες:

Κάδμιο και ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd)		
Θάλλιο και ενώσεις του, ως θάλλιο (Pb)	σύνολο 0,05 mg/m <sup>3</sup>	σύνολο 0,01 mg/m <sup>3</sup> (*)
Υδράργυρος και ενώσεις του, ως υδράργυρος (Hg)	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> (*)
Αντιμόνιο και ενώσεις του, ως αντιμόνιο (Sb)		
Αρσενικό και ενώσεις του, ως αρσενικό (As)		
Μόλυβδος και ενώσεις του, ως μόλυβδος (Pb)		
Χρώμιο και ενώσεις του, ως χρώμιο (Cr)		
Κοβάλτιο και ενώσεις του, ως κοβάλτιο (Co)	σύνολο 0,5 mg/m <sup>3</sup>	σύνολο 1 mg/m <sup>3</sup> (*)
Χαλκός και ενώσεις του, ως χαλκός (Cu)		
Μαγγάνιο και ενώσεις του, ως μαγγάνιο (Mn)		
Νικέλιο και ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni)		
Βανάδιο και ενώσεις του, ως βανάδιο (V)		

(\*) Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2007, μέσες τιμές για υφιστάμενες μονάδες που έχουν λάβει άδεια λειτουργίας πριν από την 31η Δεκεμβρίου 1996 και οι οποίες αποτεφρώνουν μόνο επικίνδυνα απόβλητα.

Αυτές οι μέσες τιμές καλύπτουν επίσης τις εκπομπές των σχετικών βαρέων μετάλλων και των ενώσεών τους υπό μορφή αερίων και ατμών.

**Πίνακας 2: Μέσες τιμές δειγματοληψίας για τα βαρέα μέταλλα**

### **3.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ**

Η Ελλάδα έχει ενσωματώσει στο δίκαιό της την κοινοτική νομοθεσία όπως οφείλει να κάνει κάθε μέλος-κράτος και δεν υπάρχουν εκκρεμότητες ως προς το θέμα αυτό. Επίσης, διαθέτει την κατάλληλη νομοθεσία για την διαχείριση κάθε είδος αποβλήτου, επικίνδυνου ή μη. Ακόμα υπάρχουν οι σχετικές τεχνικές προδιαγραφές για κάθε βήμα της διαχείρισης των αποβλήτων, όπως για την συλλογή και τη μεταφορά, τη μεταφόρτωση, την επεξεργασία, την αξιοποίηση αλλά και για την αποτέφρωση και την τελική ασφαλή διάθεση μέσω της υγειονομικής ταφής. (Θεοχάρη, 2011)

Έτσι, συμπεραίνεται ότι το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων και κυρίως η ανεπάρκεια εγκαταστάσεων υποδομής, που εμφανίζεται στην χώρα μας δεν έχει να κάνει με την έλλειψη της κατάλληλης νομοθεσίας αλλά με το γεγονός ότι δεν υπάρχει μια ολοκληρωμένη άποψη για την αναγκαία πολιτική, τις δυνατότητες τεχνολογίας, την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού και για τον ρόλο της Κεντρικής Διοίκησης και



Αυτοδιοίκησης. Επίσης, παρά τις όποιες νομοθεσίες σε εφαρμογή και τις Οδηγίες της ΕΕ βλέπουμε ότι υπάρχουν κάποια τμήματα της διαχείρισης των απορριμμάτων τα οποία μένουν στάσιμα. Για παράδειγμα, ενώ όλοι οι Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων θα έπρεπε να είχαν κλείσει από το 2008, αυτό ακόμα δεν έχει ολοκληρωθεί (μέχρι το 2014 υπήρχαν 69 ενεργοί ΧΑΔΑ). Ένα μεγάλο πρόβλημα στη χώρα μας είναι και η καθυστέρηση στην έγκριση και την υλοποίηση κάποιων σχεδιασμών. Ο λόγος τις περισσότερες φορές είναι η μη αποδοχή των κατοίκων που θεωρούν ότι η περιοχή τους θα υποστεί υποβιβασμό ή ότι δεν θα είναι κατάλληλη για τουρισμό. Η κύρια αιτία είναι η έλλειψη ενημέρωσης εκ μέρους της πολιτείας και των αρμόδιων φορέων αλλά και η παραπληροφόρηση που υπάρχει εν γένει γύρω από το θέμα της διαχείρισης των απορριμμάτων. (Θεοχάρη, 2011; ΥΠΕΚΑ)

Η ελληνική νομοθεσία έχει ενσωματώσει τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσμοθετώντας νόμους και υπουργικές αποφάσεις. Σχετικά με τη διαχείριση και την καύση των απορριμμάτων είναι οι εξής:

### **3.2.1 N. 4042/2012**

Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

Η πρώτη ενότητα ονομάζεται «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος» και ενσωματώνει την Οδηγία 2008/98/ΕΚ. Στο πρώτο μέρος υπάρχουν κάποιοι σημαντικοί ορισμοί ενώ στο δεύτερο παρουσιάζονται τα εθνικά μέτρα εφαρμογής της Οδηγίας περιλαμβάνοντας τα αδικήματα με τις κυρώσεις που επιφέρουν (Κεφάλαιο Α). Στο Κεφάλαιο Β του μέρους αυτού εμφανίζονται οι γενικές διατάξεις, ενώ στο Κεφάλαιο Γ, οι τροποποιήσεις παλιότερων νόμων σε σχέση με την ποινική προστασία του περιβάλλοντος.

Στην δεύτερη ενότητα, με όνομα «Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων», γίνεται συμμόρφωση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ. Στο Α΄ Κεφάλαιο του πρώτου μέρους υπάρχουν οι εξαιρέσεις από το πεδίο εφαρμογής και οι ορισμοί. Στο Β΄ Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι γενικές απαιτήσεις. Σε αυτό περιλαμβάνονται τα Άρθρα 12-21 που κάνουν λόγο για τα υποπροϊόντα, τον κατάλογο των αποβλήτων και τον αποχαρακτηρισμό τους, την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, το κόστος, τις αρχές αυτάρκειας και εγγύτητας, τη σήμανση των επικίνδυνων αποβλήτων, τα επικίνδυνα απόβλητα που παράγονται από τα νοικοκυριά, τις επιθεωρήσεις και τους ελέγχους, την τήρηση αρχείων και μητρώων και την υποβολή εκθέσεων και την αναθεώρηση. Το Κεφάλαιο Γ παρουσιάζει τα σχέδια και τα προγράμματα για τη διαχείριση και την πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνονται τα άρθρα για την διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού, την ανάκτηση, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση, τη διάθεση και άλλα στοιχεία που εμφανίζονται στην ευρωπαϊκή Οδηγία. Τέλος, στο τρίτο μέρος παρουσιάζονται τα εθνικά μέτρα εφαρμογής της νομοθεσίας, στο τέταρτο οι κυρώσεις, στο πέμπτο οι εξουσιοδοτικές διατάξεις και στο έκτο οι εθνικές ρυθμίσεις.

Υπάρχει επίσης και μια τρίτη ενότητα για τις ρυθμίσεις θεμάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και κλιματικής Αλλαγής. Τέλος, στον ίδιο νόμο υπάρχει και μια ενότητα για τις τελικές, μεταβατικές και καταργούμενες διατάξεις. (ΥΠΕΚΑ)

### **3.2.2 Υ.Α. 22912/1117/2005**

Ο τίτλος της Υπουργικής Απόφασης είναι: «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων». Η Απόφαση αυτή δημιουργήθηκε για συμμόρφωση προς την Οδηγία 2000/76/ΕΚ. Στο άρθρο 2 ορίζεται το πεδίο εφαρμογής και οι εξαιρέσεις ενώ στο άρθρο 3 δίνονται οι ίδιοι ορισμοί με αυτούς που υπάρχουν και στην Οδηγία. Στο άρθρο 4 παρουσιάζονται τα μέτρα και οι προϋποθέσεις για την αποτέφρωσης και τη συναποτέφρωση. Τα άρθρα που εμφανίζονται σ' αυτή την υπουργική απόφαση είναι ίδια με αυτά της Οδηγίας. (ΕΛΙΝΥΑΕ)

## **4. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

### **ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής των συστατικών τους σε στερεά, υγρά και αέρια προϊόντα, με συνεπακόλουθη ή ταυτόχρονη έκλυση θερμικής ενέργειας. (Νταρακάς, 2014; Μαυρόπουλος, 2008) Η χρήση της θερμικής επεξεργασίας στη διαχείριση των αποβλήτων εξαρτάται από τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, τους οικονομικούς περιορισμούς (αυξημένο συνολικό κόστος), τις υπάρχουσες νομοθετικές και πολιτικές τάσεις, τις προτεραιότητες των αρμόδιων φορέων και από το τρέχον και προβλεπόμενο ενεργειακό περιβάλλον (τιμές συμβατικών καυσίμων). (Μουσιόπουλος και Καραγιαννίδης, 2002)

Τα βασικά πλεονεκτήματα της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων είναι τα εξής (Μουστάκας, 2011):

1. Μείωση του όγκου των αποβλήτων (ο όγκος των τελικών υπολειμμάτων προς επεξεργασία είναι μόλις το 10% του όγκου των αρχικών αποβλήτων).
2. Λόγω της οξειδωσης και τη μετατροπής των ουσιών σε αέριες ενώσεις υπάρχει μείωση της μάζας των απορριμμάτων κατά 65%-75%.
3. Επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
4. Είναι μια μέθοδος που μπορεί να ανταγωνιστεί τα παραδοσιακά καύσιμα (πετρέλαιο, αέριο, κάρβουνο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Είναι η μόνη αποδεδειγμένα αποτελεσματική μέθοδος για τις κατηγορίες των απορριμμάτων που δεν μπορούν να επεξεργαστούν με άλλο τρόπο ή να διατεθούν με ασφάλεια σε χώρους ταφής.
6. Η έκταση που απαιτείται για την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων είναι μικρή. Στον τομέα αυτό πλεονεκτούν η αεριοποίηση και η πυρόλυση έναντι της αποτέφρωσης.
7. Το παραγόμενο υπόλειμμα είναι σταθερό και ύστερα από επεξεργασία μπορεί να διατεθεί ή να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες δραστηριότητες.
8. Γίνεται λιγότερη χρήση της ταφής των απορριμμάτων με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ρύπανση των εδαφών αλλά και του αέρα λόγω εκπομπών.

Βέβαια, υπάρχουν και μειονεκτήματα στην μέθοδο της θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων τα οποία είναι τα εξής (Μουστάκας, 2011):

1. Υψηλό κόστος κατασκευής κυρίως λόγω των περίπλοκων συστημάτων παρακολούθησης, ελέγχου και αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από τη διαδικασία.
2. Υψηλό λειτουργικό κόστος. Το κόστος αυτό μπορεί να μειωθεί όσο αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας.
3. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό που να εργάζεται στις μονάδες αυτές.
4. Απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της καλής λειτουργίας της μονάδας.

5. Εκτός από την καύση, οι άλλες μέθοδοι δε λειτουργούν τόσο καλά σε σύμμικτα αστικά απορρίμματα. Τα αποτελέσματα είναι καλύτερα όταν εφαρμόζονται σε απορρίμματα που έχουν υποστεί κάποια προεπεξεργασία (π.χ. RDF).
6. Εκπομπές επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων.
7. Για την σίγουρη αποτελεσματικότητα μιας μονάδας, κυρίως μιας μονάδας καύσης, απαραίτητος είναι ένας αρκετά μεγάλος πληθυσμός (πχ ελάχιστος πληθυσμός για μια μονάδα καύσης είναι 100.000, νούμερο που εξαρτάται ωστόσο από την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί).
8. Απαιτείται σταθερή ετήσια και μηνιαία ποσότητα απορριμμάτων προς επεξεργασία. Η ποσότητα αυτή πρέπει να είναι κοντά σε αυτή του σχεδιασμού αλλιώς η μονάδα δεν είναι αποδοτική. Γι' αυτό το λόγο περιοχές με διακύμανση στην ποσότητα και την σύσταση των απορριμμάτων δεν είναι κατάλληλες για την εφαρμογή αυτή της μεθόδου. Η διακύμανση μπορεί να οφείλεται σε κάποιες εποχιακές δραστηριότητες (πχ τουρισμός) ή στην αλλαγή των συνηθειών.

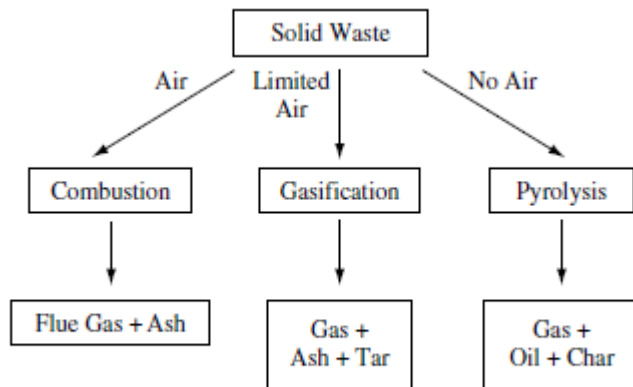
Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας. Το ποια θα επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται εκτός από τους παραπάνω παράγοντες και από το είδος των αποβλήτων που πρόκειται να επεξεργαστούν, την προέλευση και τη σύσταση τους. Οι κύριες μέθοδοι είναι οι εξής (Νταρακάς, 2014):

- Αποτέφρωση (καύση): είναι η μόνη αποδεδειγμένη και δοκιμασμένη μέθοδος που εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν πάνω από 800 εγκαταστάσεις αποτέφρωσης (2012) παγκοσμίως με τις 450 να βρίσκονται στον ευρωπαϊκό χώρο. Θεωρείται αρκετά αποδοτική ως τελική λύση διαχείρισης. Βέβαια, θα πρέπει να λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψη τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που πιθανό να εμφανιστούν.
- Πυρόλυση: η μέθοδος αυτή δεν έχει επιτύχει σε σύμμικτα απορρίμματα.
- Αεριοποίηση: τα παραδείγματα εφαρμογής της είναι προς το παρόν περιορισμένα αλλά θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για το μέλλον.

Η αποτέφρωση θεωρείται συμβατική μέθοδος θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων, ενώ η πυρόλυση και η αεριοποίηση θεωρούνται καινοτόμες μέθοδοι. Τόσο η αποτέφρωση όσο και οι καινοτόμες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των αποβλήτων με συνδυασμό ανάκτησης ενέργειας. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο της επεξεργασίας τους και απελευθέρωσης της ενέργειας για εκμετάλλευση. Για παράδειγμα, με την καύση η ενέργεια απελευθερώνεται απευθείας στα απορρίμματα, ενώ στην πυρόλυση και την αεριοποίηση τα απόβλητα επεξεργάζονται θερμικά παράγοντας δευτερεύοντα προϊόντα (αέρια, υγρά ή και στερεά) από τα οποία με κατάλληλη επεξεργασία απελευθερώνεται η ενέργεια. (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013)

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται συνοπτικά οι κύριες διαφορές των τριών μεθόδων οι οποίες είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την διαδικασία καθώς και τα προϊόντα που παράγονται. Στην πυρόλυση δεν απαιτείται καθόλου αέρα, ενώ αντίθετα στην αεριοποίηση γίνεται η χρήση κάποιας ποσότητας, όχι όμως τόσης ώστε να γίνει η πλήρης καύση. Εξ' αιτίας της πλήρους καύσης που πραγματοποιείται με την αποτέφρωση το

αποτέλεσμα είναι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, νερού, τέφρας αλλά και κάποιων μετάλλων, όξινων αερίων και ιχνών υδρογονανθράκων. Από την άλλη, το αέριο που παράγεται από την αεριοποίηση αποτελείται μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνου. (Williams, 2005)



**Εικόνα 3: Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας Α.Σ.Α. και τα προϊόντα τους**

Εν γένει οι προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται σε όλες τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων είναι οι εξής (Κατσανεβάκης κ.ά., 2010; Μουστάκας, 2011):

- ❖ Σταθερές συνθήκες λειτουργίας.
- ❖ Δυνατότητα προσαρμογής σε περίπτωση απότομης αλλαγής της σύστασης και της ποσότητας των προς επεξεργασία αποβλήτων.
- ❖ Ευελιξία προσαρμογής σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις της σύνθεσης και της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.
- ❖ Πλήρης έλεγχος των ρύπων των εκπομπών.
- ❖ Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❖ Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

#### **4.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ**

Αποτέφρωση ονομάζεται η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας της οργανικής ύλης των στερεών αποβλήτων σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των αποβλήτων σε συνθήκες περίσσειας οξυγόνου, με την παρουσία φλόγας για την οξείδωση αυτών. Οι μονάδες αποτέφρωσης είναι σχεδιασμένες να επεξεργάζονται τόσο σύμμεικτα απόβλητα (μονάδες μαζικής καύσης), όσο και εναλλακτικά καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία αποβλήτων (refused derived fuel (RDF), solid recovered fuel (SRF)).

Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος καύσης οι μονάδες αποτέφρωσης χωρίζονται σε:

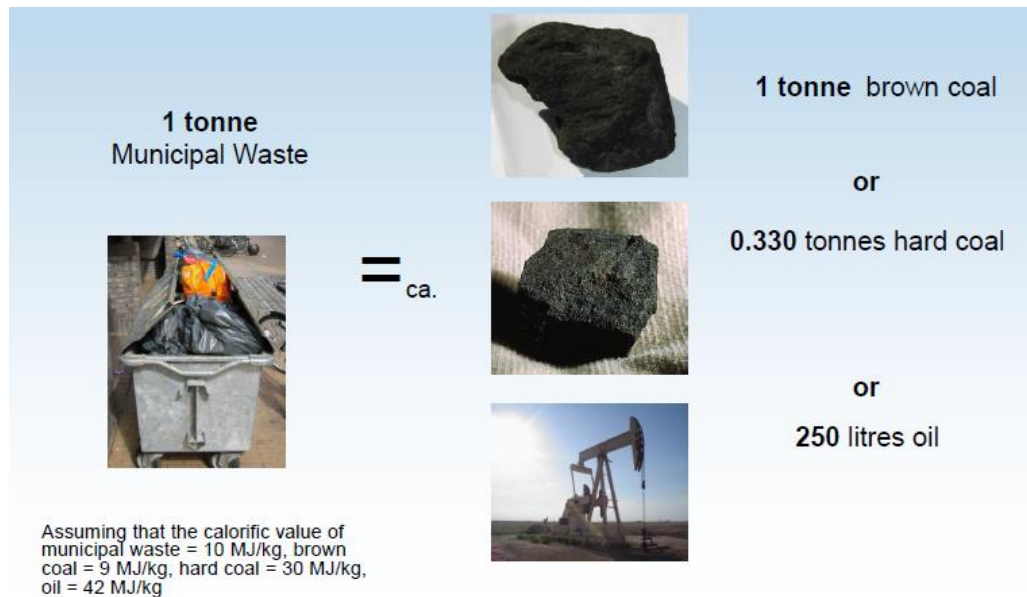
- εσχαρών
- περιστρεφόμενου κλιβάνου
- ρευστοποιημένης κλίνης

Η λειτουργία των μονάδων αποτέφρωσης έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων προς διάθεση, την ανάκτηση των περιεχόμενων μετάλλων, την προστασία των επιφανειακών και υπογείων υδροφόρων οριζόντων από τυχόν ρύπανση και το οικονομικό όφελος λόγω της πώλησης της ανακτώμενης ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Το ποσοστό μείωσης της μάζας των στερεών αποβλήτων είναι περίπου 75-80%, ενώ του όγκου τους περίπου 90%. (Μουσιόπουλος και Καραγιαννίδης, 2002; Νταρακάς, 2014)

Η επιτυχία ενός σχεδίου για μια εγκατάσταση αποτέφρωσης απορριμμάτων εξαρτάται σε πρώτη φάση από τα ακριβή στοιχεία για τις μελλοντικές ποσότητες και την σύστασή τους. Τα απορρίμματα θα πρέπει να έχουν θερμογόνο δύναμη πάνω από την κατώτερη επιτρεπόμενη ανάλογα με το σύστημα αποτέφρωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης, σημαντική είναι και η σύστασή τους. Για παράδειγμα, απόβλητα που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άμμο και πλαστικό, παρά την υψηλή θερμογόνο αξία τους, είναι ακατάλληλα για αποτέφρωση. (World Bank, 1999) Η θερμογόνο δύναμή τους υπολογίζεται είτε γνωρίζοντας τη σύσταση των απορριμμάτων (μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη έχει το χαρτί, το πλαστικό και το ξύλο) είτε γνωρίζοντας την ποσοστιαία συμμετοχή των C, H, O και S μέσα από τη σχέση: (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2008 )

$$\text{Kcal/kg} = 80C + 340*(H-1/8O) + 32S.$$

Ακόμα, ο ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων μέσα στον χρόνο θα πρέπει να είναι σταθερός για την ομαλή λειτουργία μιας μονάδας. Η ποσότητα και η σύσταση εξαρτώνται από το κλίμα, τις οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες και τις πολιτισμικές διαφορές κάθε περιοχής. Έτσι, τα δεδομένα για μια περιοχή δεν είναι εύκολο να μεταφερθούν και να χρησιμοποιηθούν και σε μια άλλη. (World Bank, 1999)



**Εικόνα 4: Θερμογόνος αξία απορριμμάτων**

#### **4.1.1 Χρήση καυσίμου από απορρίμματα ή RDF**

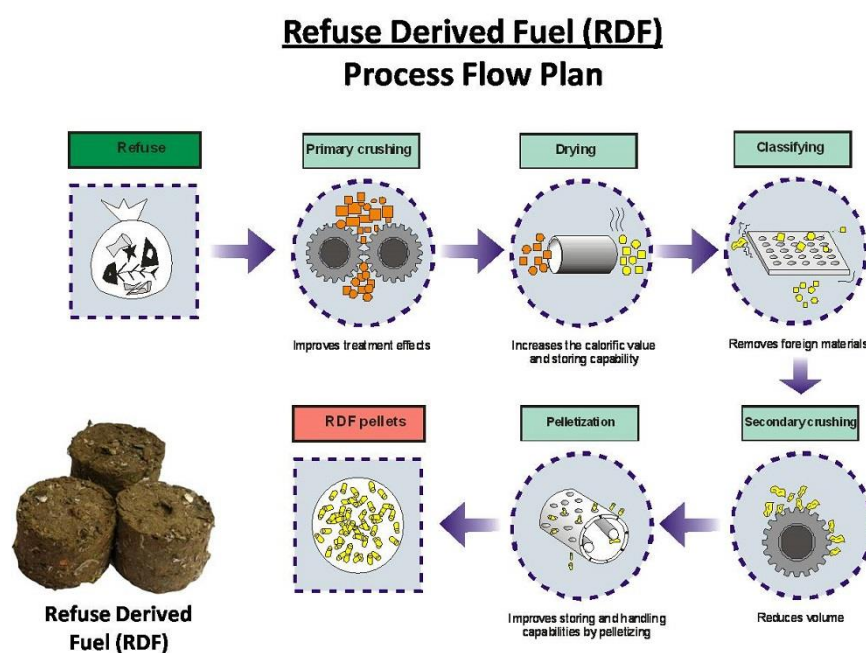
Οι μονάδες μαζικής καύσης αποτελούν την πλειοψηφία των εγκατεστημένων μονάδων. Καθώς έχουν το πλεονέκτημα να εισάγονται σε αυτές απορρίμματα που δεν έχουν υποστεί καμία προεπεξεργασία, η λειτουργία όλης της μονάδας είναι απλή. Στις μονάδες RDF χρησιμοποιείται ως υλικό τροφοδοσίας το ΚαΣ (καύσιμο από απορρίμματα) ή RDF (Refused Derived Fuel) το οποίο είναι δευτερογενές καύσιμο που προκύπτει από επεξεργασία συγκεκριμένου μέρους των ΑΣΑ και συνήθως προέρχεται από οργανικά, χαρτί, υφάσματα, ελαστικά και δέρμα. (Μαυρόπουλος, 2008) Οι μονάδες που αποτεφρώνουν RDF είναι λιγότερες αλλά θεωρούνται πιο αποδοτικές καθώς το RDF σαν καύσιμο έχει μεγαλύτερη θερμογόνο αξία σε σχέση με τα ακατέργαστα απορρίμματα. Οι μονάδες που παράγουν RDF δεν είναι πολλές καθώς τα απορριμματογενή καύσιμα δεν μπορούν εύκολα να απορροφηθούν σε εγκαταστάσεις τσιμεντοβιομηχανιών ή σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού με τη χρήση λιγνίτη, λόγω των αυστηρών ποιοτικών προδιαγραφών και τοπικών αντιδράσεων, οπότε απαιτείται η κατασκευή μονάδων αποκλειστικής αποτέφρωσής τους. (Κατσανεβάκης κ.ά., 2010)

Γενικά, ο όρος RDF έχει διαφορετικές επεξηγήσεις από χώρα σε χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω του ότι μια μεγάλη ποικιλία απορριμμάτων μπορεί να επεξεργαστεί για την παραγωγή του δευτερογενούς καυσίμου. Οι δύο κύριες κατηγορίες είναι το καύσιμο που παράγεται από την επεξεργασία των αστικών απορριμμάτων και αυτό που παράγεται από τα βιομηχανικά. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί η διαδικασία της επεξεργασίας για τα αστικά απορρίμματα. (European Commission<sup>(2)</sup>, 2003) Εκτός από τον όρο του RDF, υπάρχει και αυτός του SRF. Η διαφορά είναι ότι ενώ για την παραγωγή του RDF χρησιμοποιείται κυρίως χαρτί, πλαστικό και ύφασμα, για την παραγωγή του SRF χρησιμοποιείται και οργανικό κλάσμα, αποξηραμένο και σταθεροποιημένο. Η συμμετοχή

του SRF στην μείωση των εκπομπών μεθανίου (βασικό αέριο του θερμοκηπίου) είναι μεγάλη και γι' αυτό πρέπει να είναι γνωστό το περιεχόμενο σε οργανικά υλικά. Αυτό συμβαίνει διότι το οργανικό τμήμα αντί να διατεθεί σε ΧΥΤΑ επεξεργάζεται με αποτέλεσμα να παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και όχι μεθάνιο, το οποίο είναι περισσότερο ρυπογόνο. (Τσομπανίδης, 2014)

Είναι πολλές οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την παραγωγή του καυσίμου αυτού. Κάποιες από αυτές είναι:

- Διαλογή στην πηγή
- Ταξινόμηση ή μηχανική διαλογή
- Μείωση του μεγέθους
- Διαχωρισμός και έλεγχος
- Ανάμιξη
- Ξήρανση και κοκκοποίηση
- Συσκευασία
- Αποθήκευση



Εικόνα 5: Διαδικασία παραγωγής RDF

Συνήθως γίνεται έλεγχος των αρχικών απορριμμάτων για την απομάκρυνση των υλικών που πιθανώς να μπορούν να ανακυκλωθούν, όπως των μετάλλων. Επίσης, απομακρύνονται τα αδρανή υλικά, όπως είναι το γυαλί. Τέλος, προτού γίνει η κονιοποίηση του μίγματος γίνεται ο διαχωρισμός του κλάσματος των απορριμμάτων που είναι υγρά και σε σήψη (υπολείμματα τροφών και υλικά από κήπους) λόγω του ότι περιέχουν υψηλά ποσά υγρασίας και υλικών που δημιουργούν μεγάλη ποσότητα τέφρας κατά την καύση τους. Το υγρό αυτό οργανικό κλάσμα στη συνέχεια μπορεί να υποστεί διαφορετικές μεθόδους



επεξεργασίας όπως είναι η κομποστοποίηση/λιπασματοποίηση ή αναερόβια ζύμωση και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί σαν βελτιωτικό εδάφους για την αποκατάσταση χώρων υγειονομικής ταφής. Σε κάποιες περιπτώσεις το κλάσμα υπό σήψη φυλάσσεται επιτρέποντας στην μάζα των απορριμμάτων να αποβάλει την υγρασία και να ξεραθεί μέσα από βιολογική διαδικασία (διαδικασία της «ξηρής σταθεροποίησης ή βιοξήρανσης»). (European Commission<sup>(2)</sup>, 2003)

Το πιο χονδρό κλάσμα είτε απορρίπτεται είτε εισάγεται ξανά στον κονιοποιητή για μείωση του μεγέθους του. Το κλάσμα μεσαίου μεγέθους που αποτελείται από χαρτί, χαρτόνι, ξύλο, πλαστικό και υφάσματα μπορεί κατευθείαν να οδηγηθεί για καύση ως καύσιμο μεγάλου μεγέθους (cRDF) ή να ξεραθεί και επεξεργαστεί σε μορφή σφαιριδίων αποτελώντας ένα πυκνό είδους καυσίμου (dRDF). Το αν θα γίνει η περαιτέρω αυτή επεξεργασία εξαρτάται από την απόσταση της μονάδας επεξεργασίας των απορριμμάτων σε σχέση με την μονάδα καύσεώς τους. (European Commission<sup>(2)</sup>, 2003)

Υπάρχουν δύο μέθοδοι που παράγουν από τα αστικά απορρίμματα ένα υψηλό θερμογόνο κλάσμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν RDF. Οι μέθοδοι αυτές είναι πρώτον σε εγκατάσταση Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας (MBT) και δεύτερον με τη διαδικασία της Ξηρής Σταθεροποίησης ή Βιοξήρανσης. Κατά την πρώτη διαδικασία διαχωρίζονται τα μέταλλα και κάποια αδρανή υλικά και το οργανικό κλάσμα ελέγχεται περαιτέρω και οδηγείται για κομποστοποίηση είτε με φάση ζύμωσης είτε χωρίς. Επίσης, απομένει ένα απόβλητο το οποίο έχει μεγάλη θερμογόνο αξία λόγω του ότι αποτελείται από υπολείμματα χαρτιού, πλαστικού και υφασμάτων. Κατά τη δεύτερη διαδικασία, τα απορρίμματα, αφού έχει γίνει ο διαχωρισμός των μετάλλων και των αδρανών, μέσω μιας διαδικασίας κομποστοποίησης ξηραίνονται αποτελεσματικά και σταθεροποιούνται. Έτσι η εναπομένουσα μάζα έχει υψηλή θερμογόνο αξία και είναι κατάλληλη για καύση. (European Commission<sup>(2)</sup>, 2003)

Η δυνατότητα παραγωγής δευτερογενούς καυσίμου στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι περίπου 70 εκατομμύρια τόνοι και προέρχονται από αστικά και βιομηχανικά απορρίμματα, απορρίμματα εκσκαφών και κατεδαφίσεων. Κυρίως περιλαμβάνονται πλαστικά, χαρτιά, χαρτόνια, υφάσματα, ξύλα και ένα κλάσμα με υψηλή θερμογόνο αξία που προέρχεται από τις εγκαταστάσεις Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας. Από αυτή την ποσότητα το 17% χρησιμοποιείται για ανάκτηση ενέργειας. Το καύσιμο αυτό μπορεί να υποστεί θερμική επεξεργασία (αποτέφρωση, πυρόλυση, αεριοποίηση) και να παράγει ηλεκτρισμό ή και θερμότητα. (Τσομπανίδης, 2014)

Παρότι στην Ελλάδα υπάρχουν μονάδες που παράγουν SRF και RDF, όπως για παράδειγμα στην Αττική, στο Ηράκλειο, την Κεφαλονιά και τα Χανιά, το σύνολο του παραγόμενου καυσίμου διατίθεται σε ΧΥΤΑ ή ΧΥΤΥ και δεν αξιοποιείται. (Τσομπανίδης, 2014)

Μια μονάδα που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το RDF/SRF πλεονεκτεί έναντι μιας μονάδας αποτέφρωσης ακατέργαστων απορριμμάτων. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι (Μουστάκας, 2011):

- Η επεξεργασία των απορριμμάτων βοηθάει στην απομάκρυνση κάποιων ουσιών όπως των πλαστικών και των μετάλλων τα οποία με την καύση τους δημιουργούν ρύπους οι οποίοι είναι μέσα στο απαέριο που παράγεται.
- Η θερμογόνος αξία των απορριμμάτων αυτών είναι μεγαλύτερη και έτσι η αποδοτικότητα των μονάδων αυτών αυξημένη σε σχέση με τις μονάδες μαζικής καύσης. Επίσης, με τον τρόπο αυτό μπορεί να περιοριστεί η διακύμανση της σύστασης, και άρα και της θερμογόνου αξίας, των απορριμμάτων κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το αποτέλεσμα είναι η καλύτερη, ασφαλέστερη και πιο οικονομική λειτουργία της μονάδας.
- Ο χώρος που χρειάζεται είναι λιγότερος.
- Ο έλεγχος μιας τέτοιας μονάδας είναι ευκολότερος.

#### **4.1.2 Περιγραφή διαδικασίας αποτέφρωσης**

Όπως αναφέρθηκε και πριν, για την διαδικασία της αποτέφρωσης συνήθως τα απορρίμματα εισέρχονται χωρίς κάποια επεξεργασία να έχει προηγηθεί, εκτός και αν χρησιμοποιηθεί το καύσιμο RDF, το οποίο όμως δεν είναι υποχρεωτικό για τη λειτουργία μονάδων που εφαρμόζουν αυτή τη μέθοδο. Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η καύση είναι απαραίτητη η ύπαρξη αρκετής ποσότητας οξυγόνου, έτσι ώστε τα απορρίμματα να μπορέσουν να οξειδωθούν πλήρως, δηλαδή να ενωθούν με το οξυγόνο. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται συνήθως σε αυτές τις μονάδες είναι υψηλές και ξεπερνούν τους 850°C (μπορούν να φτάσουν έως και 1050°C) και το αποτέλεσμα είναι η μετατροπή τους σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Τα αδρανή στερεά υλικά που δε μπορούν να καούν (15%-40% του βάρους της τροφοδοσίας του αποτεφρωτή) παραμένουν ως έχουν και αποτελούν την τέφρα. Εκτός από την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών, εκλύεται και θερμότητα. Ενώ, αντίθετα, σε περιπτώσεις ατελούς καύσεως παράγεται και μονοξείδιο του άνθρακα. (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013; Μαυρόπουλος, 2008)

Οι φάσεις από τις οποίες περνάνε τα απορρίμματα πριν από την πλήρη οξείδωσή τους είναι οι εξής (Branchini):

1. Ξήρανση και εξαέρωση: πραγματοποιούνται σε θερμοκρασίες μεταξύ 100°C και 300°C. Είναι διαδικασίες που δεν απαιτούν οξειδωτικό μέσο και συμβαίνουν μόνο με την ύπαρξη της κατάλληλης θερμότητας. Κατά τις διαδικασίες αυτές κυρίως επεξεργάζονται οι πτητικές ουσίες που περιέχονται στα απορρίμματα.
2. Πυρόλυση και αεριοποίηση: κατά την πυρόλυση γίνεται η περαιτέρω αποσύνθεση των οργανικών ουσιών με απουσία οξειδωτικού μέσου σε θερμοκρασία 250-700°C. Η αεριοποίηση των ανθρακικών υπολειμμάτων είναι η αντίδραση που συμβαίνει μεταξύ υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα σε θερμοκρασίες από 500°C έως 1000°C. Ως αποτέλεσμα, οι σταθερές ουσίες μετατρέπονται σε αέριες. Εκτός από την θερμότητα απαραίτητη είναι η ύπαρξη νερού, ατμών και οξυγόνου για την πραγματοποίηση της αντίδρασης.

3. Οξειδωση: είναι η διαδικασία κατά την οποία τα αέρια της καύσης από τις προηγούμενες φάσεις οξειδώνονται σε απαέρια σε θερμοκρασίες 800°C-1450°C.

Για να επιτευχθεί η πλήρης καύση των υλικών είναι απαραίτητο να πληρούνται συνεχώς οι ακόλουθες προϋποθέσεις (Μαυρόπουλος, 2008; Μουστάκας, 2011):

1. Να υπάρχει συνεχώς στον χώρο καύσεως επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (οξυγόνο).
2. Η επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης.
3. Να υπάρχει σωστή αναλογία στο μίγμα (οξυγόνο-καύσιμο υλικό).
4. Να γίνεται συνεχής απομάκρυνση των αερίων που παράγονται κατά την καύση.
5. Να γίνεται απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.
6. Να διατηρείται η κατάλληλη θερμοκρασία μέσα στον κλίβανο.
7. Τα απορρίμματα να παραμένουν επαρκή χρόνο στον θάλαμο.
8. Η ροή των αερίων να είναι τυρβώδης.
9. Να υπάρχει συνεχώς τύρβη και ανακίνηση για την καλή ανάμιξη των απορριμμάτων.

Η αποτελεσματικότητα της πλήρους καύσεως αυξάνεται όταν περισσότερα οργανικά υλικά καταστρέφονται καθώς και όταν παράγονται όσο τον δυνατόν λιγότεροι ρύποι όπως διοξίνες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτά τα αποτελέσματα είναι η θερμοκρασία, η διάρκεια της διαδικασίας καύσεως, ο βαθμός ανάμιξης των απορριμμάτων με οξυγόνο καθώς και η καλή ανάμιξή τους έτσι ώστε να επικρατούν ομοιογενείς συνθήκες σε όλο τον όγκο τους. (Tammemagi, 1999)

Είναι προφανές ότι ο σχεδιασμός μιας μονάδας αποτέφρωσης θα εξαρτάται από τη διαθέσιμη τεχνολογία. Σίγουρο είναι όμως ότι η κάθε εγκατάσταση σχεδιασμένη για ανάκτηση ενέργειας θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

1. χώρος παραλαβής και αποθήκευσης των απορριμμάτων
2. θάλαμος καύσεως
3. εγκατάσταση ανάκτησης ενέργειας
4. χώρος καθαρισμού των αερίων της καύσεως
5. διαχείριση της εναπομένουσας τέφρας και των ρύπων

### **4.1.3 Βήματα διαδικασίας αποτέφρωσης**

#### **4.1.3.1 Προσαγωγή**

Καθώς τα απορρίμματα είναι ένα υλικό ανομοιογενές που φτάνει στους χώρους επεξεργασίας σε μη συνεχή βάση, απαραίτητο είναι να υπάρχει στην εγκατάσταση ένας χώρος ενδιάμεσης αποθήκευσης και ομογενοποίησης έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί συνεχόμενη καύση.

Η μεταφορά των απορριμμάτων γίνεται είτε με απορριμματοφόρα, είτε μέσα σε κοντέινερς (οδικώς ή σιδηροδρομικώς) τα οποία προέρχονται από σταθμούς μεταφόρτωσης. Υπάρχει,

επίσης, η πιθανότητα να μεταφέρονται οδικώς από μικροπαραγωγούς, πχ από πολίτες ή βιοτεχνίες. Τις περισσότερες φορές τα οχήματα που χρησιμοποιούνται διαθέτουν μηχανήμα συμπίεσης, κάτι που αυξάνει τη χωρητικότητά τους. Στα συνήθη απορριμματοφόρα η πυκνότητα των απορριμμάτων κυμαίνεται από 250-500 kg/m<sup>3</sup>. (Niessen, 2010)

Κάθε μονάδα αποτέφρωσης συνήθως περιλαμβάνει ζυγαριές για να υπολογίζεται το βάρος των εισερχόμενων απορριμμάτων. Αυτό μπορεί να γίνει είτε χειρονακτικά είτε με αυτόματες ζυγαριές που θα έχουν αποθηκευμένα επίσης τα στοιχεία για το κάθε όχημα που εισέρχεται. Επιπλέον, κάθε μονάδα πρέπει να έχει ζυγαριές ακριβείας για να μετράει το βάρος των εισερχόμενων ποσοτήτων καθώς και της τέφρας που θα απομακρυνθεί στο τέλος της διαδικασίας. Προφανώς οι διαδικασίες αυτές πρέπει να επιβλέπονται από προσωπικό που θα βεβαιώνει ότι όλα τα οχήματα περνάνε τη διαδικασία της μέτρησης του βάρους. Επίσης, οι υπεύθυνοι αυτοί είναι και οι πρώτοι που θα πουν αν το φορτίο που εισέρχεται είναι κατάλληλο για την συγκεκριμένη εγκατάσταση. (Niessen, 2010) Συγκεκριμένα μία μονάδα αποτέφρωσης πρέπει να περιλαμβάνει χώρο αναμονής των οχημάτων πριν τις ζυγαριές και πριν τον χώρο εκφόρτωσης, τουλάχιστον 2 ηλεκτρονικές ζυγαριές καταγραφής, αίθουσα ξεφορτώματος και 2 εξόδους, μια με ζυγαριά για τα οχήματα με άγνωστα χαρακτηριστικά (καθαρό βάρος) και μια χωρίς ζυγαριά για τα υπόλοιπα. (Williams, 2005)

Πολλές φορές είναι χρήσιμος ο διαχωρισμός των απορριμμάτων κατά την άφιξή τους λόγω των διαφορετικών τελών που πρέπει να τους επιβληθούν αλλά και λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τους κατά την καύση. (Williams, 2005)



**Εικόνα 6: Προσαγωγή απορριμμάτων στην εγκατάσταση**

#### 4.1.3.2 Δειγματοληψία

Απαραίτητη ενέργεια πριν από την έναρξη της καύσης είναι ο έλεγχος των απορριμμάτων. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η είσοδος επικίνδυνων υλικών για τη λειτουργία της εγκατάστασης, καθώς και ειδικά απορρίμματα τα οποία απαιτούν ειδική επεξεργασία και μπορεί να επιβαρύνουν το σύστημα κατακράτησης ρύπων. Καθώς δε γίνεται να πραγματοποιηθεί πλήρης έλεγχος των απορριμμάτων λαμβάνεται ένα δείγμα στο οποίο

γίνεται ο έλεγχος (είτε σε ειδική ταινία είτε ύστερα από ξεφόρτωμα στο δάπεδο). (Μουσιόπουλος και Καραγιαννίδης, 2002)

#### 4.1.3.3 Ομογενοποίηση

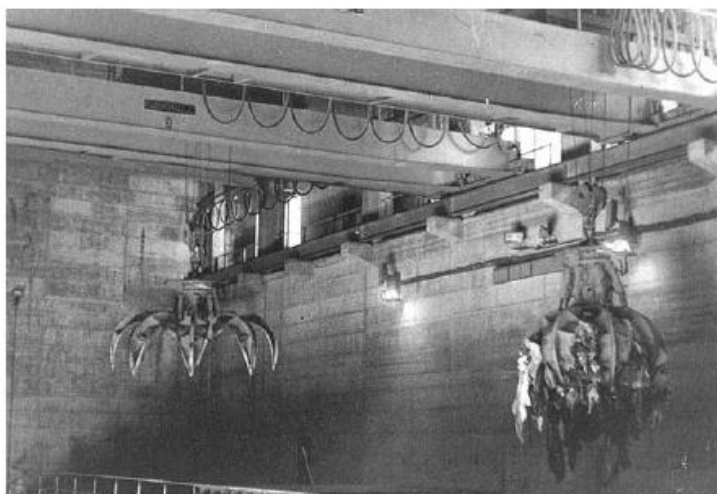
Η ομογενοποίηση είναι μια απαραίτητη διαδικασία πριν από την έναρξη της διαδικασίας της αποτέφρωσης. Τα απορρίμματα που εισέρχονται στις εγκαταστάσεις ποικίλλουν, κάτι που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τόσο κατά τη διαδικασία της καύσης, όσο και στον καθαρισμό των καυσαερίων. Επειδή όμως μια εγκατάσταση δε θα μπορούσε, για οικονομικούς λόγους, να σχεδιαστεί με βάση τις μέγιστες τιμές, αποφεύγονται οι απότομες διακυμάνσεις περιεκτικότητας σε επικίνδυνες ουσίες και θερμογόνο δύναμη. Αυτό επιτυγχάνεται με θρυμματισμό και καλή ανάμιξη των εισερχόμενων απορριμμάτων. (Williams, 2005; World Bank, 1999)

Ο θρυμματισμός των απορριμμάτων με μεγάλο όγκο είναι κάτι που πάντα συνέβαινε πριν την καύση. Σήμερα, οι απαιτήσεις κατά τον έλεγχο των καυσαερίων έχουν οδηγήσει στο θρυμματισμό και άλλων απορριμμάτων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με χρήση περιστροφικών κοπτήρων και κοπτήρων τύπου γκιλοτίνας οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τα πιο βαριά και ανθεκτικά απορρίμματα. (Μουσιόπουλος και Καραγιαννίδης, 2002; Williams, 2005)

Η ανάμιξη όπως και η προσωρινή αποθήκευση πραγματοποιείται στις τάφρους απορριμμάτων. Οι χώροι αυτοί είναι διαστασιολογημένοι για προσωρινή αποθήκευση απορριμμάτων 3-5 ημερών, έχουν χωρητικότητα, δηλαδή, 1000-3000 τόνων. Η αποθήκευση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα δεν είναι επιθυμητή. (Williams, 2005) Επιπλέον, αποτελούνται από τις ζώνες: ξεφορτώματος, ανάμιξης και στοιβάγματος. Για την ανάμιξη των απορριμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μέρη των ζωνών εκφόρτωσης και στοιβάγματος, με κλειστές τις θύρες των θέσεων εκφόρτωσης και υπό την προϋπόθεση ότι πάντοτε υπάρχουν τέσσερις τουλάχιστον θέσεις διαθέσιμες για εκφόρτωση. Ύστερα από την ανάμιξη τα απορρίμματα είτε οδηγούνται με γερανό στη ζώνη στοιβάγματος είτε πάνε απευθείας στην εστία καύσεως. Η τάφρος μπορεί να σχεδιαστεί με δύο τρόπους, είτε επιφανειακά είτε σε βάθος. Οι σημερινές απαιτήσεις είναι πιο εύκολο να εκπληρωθούν με την επιφανειακή τάφρο, αν και στην πράξη χρησιμοποιείται κάποια μέση λύση. Η τάφρος βάθους είναι ψηλή και στενή, με διαφορά ύψους μεταξύ του επιπέδου εκφόρτωσης και του δαπέδου της τάφρου περίπου 10m, έχει το πλεονέκτημα ότι οι απαιτήσεις στην επιφάνεια είναι λίγες και οι αποστάσεις που πρέπει να κάνει ο γερανός μικρότερες. Παρόλα αυτά η θεμελίωσή της είναι πιο δαπανηρή, ειδικά όταν πρέπει να αντιμετωπιστεί η άνωση σε περίπτωση που η κατασκευή φτάσει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, η ανάμιξη είναι πιο δύσκολη λόγω του περιορισμένου πλάτους της και υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος αυτανάφλεξης σε περιπτώσεις μεγάλου στοιβάγματος. Η επιφανειακή τάφρος έχει υψομετρική διαφορά επιπέδου εκφόρτωσης και δαπέδου τάφρου 4-5m και το πλάτος της είναι όσο η μέγιστη διαδρομή του γερανού δηλαδή 30m μείον το πλάτος της χοάνης τροφοδοσίας. Έτσι είναι πιο εύκολη η ανάμιξη λόγω του αυξημένου

πλάτους, όπως και φθηνότερη η θεμελίωση. Από την άλλη όμως υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις στην επιφάνεια και ο γερανός πρέπει να κάνει μεγαλύτερες διαδρομές.

Ένα σημαντικό εργαλείο κατά τη φάση αυτή είναι ο γερανός. Συνήθως υπάρχουν δύο γερανογέφυρες (η μία είναι εφεδρική) οι οποίες είναι επιλεγμένες έτσι ώστε να ανταπεξέρχονται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η ισχύς τους είναι τέτοια ώστε να ανταποκρίνεται στο διπλάσιο της τροφοδοσίας της εσχάρας. Η χωρητικότητα ενός γερανού μπορεί να φτάνει και τα 6 m<sup>3</sup>. Οι λειτουργίες που εκτελεί ο γερανός είναι οι εξής: διαρκής κένωση των θέσεων εκφόρτωσης, απομάκρυνση των μεγάλων αντικειμένων, ανάμιξη και στοίβαγμα των απορριμμάτων, τροφοδοσία της εστίας καύσης και αντιμετώπιση περιπτώσεων πυρκαγιάς. Η λειτουργία των γεραμών επιβλέπεται από τον οδηγό σε μία εξωτερική καμπίνα. (Williams, 2005)



**Εικόνα 7: Σύστημα γεραμών για μεταφορά απορριμμάτων**



**Εικόνα 8: Κάδος τύπου «orange peel»**



**Εικόνα 9: Κάδος τύπου «κοχυλιού» (Shell type bucket)**



**Εικόνα 10: Κάδος αρπαγής (Grapple type bucket)**

Πολύ σημαντικό για την εγκατάσταση είναι η πυροπροστασία στην τάφρο καθώς εκεί είναι πιο πιθανή η εμφάνιση των πυρκαγιών. Το πιο δύσκολο σημείο φαίνεται να είναι ο έγκαιρος εντοπισμός των πυρκαγιών καθώς κατά τη λειτουργία εμφανίζονται μεγάλες ποσότητες σκόνης που δυσκολεύουν τον έλεγχο και την έγκαιρη επιβεβαίωση για την έναρξη της πυρκαγιάς. Τα αυτόματα συστήματα πυροπροστασίας δεν έχουν αποδειχθεί τα κατάλληλα, ενώ συνίσταται η ανύψωση με τον γερανό του τμήματος που καίγεται και η τοποθέτησή του στην εστία καύσεως. Γι' αυτό και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην προστασία του γερανού και της καμπίνας του οδηγού από πυρκαγιές. Επίσης, πρέπει να αφήνεται ένα

15% της επιφάνειας της αίθουσας της τάφρου χωρίς κάλυμμα για να μπορεί να βγει ο καπνός και η θερμότητα σε περίπτωση πυρκαγιάς. (Μουσιόπουλος και Καραγιαννίδης, 2002)

Στα στάδια προσαγωγής και αποθήκευσης των απορριμμάτων οι εργαζόμενοι κινδυνεύουν το περισσότερο από την πιθανή έκθεσή τους σε επικίνδυνες ουσίες. Απαραίτητη είναι η σωστή οργάνωση και διεύθυνσή τους καθώς και ο κατάλληλος εξοπλισμός με τον οποίο πρέπει οπωσδήποτε να εργάζονται. Επίσης, σε αυτά τα στάδια υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ρύπανσης του περιβάλλοντος από τις πιθανές διαφυγές σκόνης και υδρατμών. (National Research Council, 2000)

#### 4.1.3.4 Συστήματα καύσεως

##### 1) Σύστημα εστίας με εσχάρες

ΕΣΤΙΑ Ή ΦΟΥΡΝΟΣ:

Το κύριο μέρος μιας εγκατάστασης αποτέφρωσης είναι η εστία ή φούρνος (furnace). Κάθε αποτεφρωτής μπορεί να αποτελείται από έναν ή περισσότερους φούρνους οι οποίοι να τροφοδοτούνται από το σύστημα τροφοδοσίας. Για παράδειγμα, μια εγκατάσταση που επεξεργάζεται 50 t/hr μπορεί να αποτελείται από 5 φούρνους με απόδοση 10 t/hr. Η χρήση πολλαπλών φούρνων επιτρέπει την επιδιόρθωση ή συντήρηση του ενός χωρίς να επηρεάζεται ή να διακόπτεται η λειτουργία ολόκληρης της μονάδας. Στην αρχή της διαδικασίας χρειάζονται πρόσθετοι καυστήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αυξάνουν την θερμοκρασία των αερίων για την έναρξη της καύσης. Συνήθως, η τροφοδοσία των απορριμμάτων μέσα στον φούρνο γίνεται με έναν ξεχωριστό μηχανισμό. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται μέσα στον φούρνο είναι οι εξής (Williams, 2005):

1. Ξήρανση και εξαέρωση
2. Καύση των πτητικών ουσιών και της αιθάλης
3. Καύση του στερεού ανθρακικού υπολείμματος.

Βέβαια στην πράξη συμβαίνουν διάφορες άλλες αντιδράσεις καθώς τα συστατικά των απορριμμάτων μπορεί να διαφέρουν ως προς το ποσοστό υγρασίας, τη θερμοκρασία θερμικής διάσπασης, την ποσότητα πτητικών ουσιών που περιέχουν, τη θερμοκρασία ανάφλεξης, κτλ. Μόλις τα απορρίμματα εισέρχονται στο φούρνο αρχίζουν να θερμαίνονται λόγω της επαφής τους με τον προθερμασμένο αέρα, τα ζεστά αέρια καύσης, ή την θερμότητα που ανακλάται από τα τοιχώματά του. Με αυτό τον τρόπο αρχίζει η απομάκρυνση της περιεχόμενης υγρασίας σε θερμοκρασία 50°C-100°C. Η περιεκτικότητα σε νερό είναι πολύ σημαντική σε αυτή τη φάση καθώς απαιτείται θερμότητα για την εξάτμιση της υγρασίας κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα να χαθεί το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής αξίας των απορριμμάτων με το που αρχίζουν να θερμαίνονται και έτσι λιγότερη ενέργεια παραμένει διαθέσιμη. Επίσης, η περιεκτικότητα σε νερό επηρεάζει και τον ρυθμό θέρμανσης και ως αποτέλεσμα και το ρυθμό θερμικής αποδόμησης. Συνήθως η περιεκτικότητα των ΑΣΑ σε νερό είναι 25-50%. Αφού η υγρασία έχει απομακρυνθεί αρχίζει



η αποδόμηση και η πυρόλυση των οργανικών υλικών, όπως είναι το χαρτί, τα πλαστικά, το υπολείμματα τροφών, τα υφάσματα. Έτσι δημιουργούνται οι πτητικές ουσίες, τα εύφλεκτα αέρια και οι υδρατμοί. Οι πτητικές ουσίες των οργανικών υλικών των ΑΣΑ είναι περίπου το 70-90% και εμφανίζονται με τη μορφή υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και άλλων υδρογονανθράκων με μεγαλύτερο μοριακό βάρος. Η αποδόμηση γίνεται σε θερμοκρασίες 200°C-750°C ενώ η δημιουργία των πτητικών ανάμεσα στους 425°C και στους 550°C. Όπως είναι λογικό τόσο η θερμική αποδόμηση των απορριμμάτων, όσο και η απελευθέρωση των πτητικών εξαρτάται από τη σύστασή τους. (Williams, 2005)

Η καύση των πτητικών με σκοπό τη δημιουργία της φλόγας της φωτιάς πραγματοποιείται κατευθείαν πάνω από την επιφάνεια των εσχαρών. Η τέλεια καύση των αερίων και των υδρατμών απαιτεί την ανάπτυξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών, αρκετό χρόνο παραμονής και περίσσιο αέρα για την καλή τους ανάμιξη. Απαιτείται η παραμονή των αερίων για τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα σε θερμοκρασία 850°C για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η τέλεια καύση. Σε θαλάμους αποτέφρωσης απορριμμάτων αποφεύγονται θερμοκρασίες άνω των 1200°C καθώς είναι πιθανή η τήξη της τέφρας με αποτέλεσμα την δημιουργία σκωρίας στον θάλαμο. Πολλές φορές είναι απαραίτητη η προσθήκη αέρα (δευτερεύοντα αέρας) πάνω από την επιφάνεια των εσχαρών για να εξασφαλιστεί περίσσεια αέρα καθώς και η αναγκαία αναταραχή μέσα στον θάλαμο. Η περίσσεια αέρα εμποδίζει τη δημιουργία περιοχών με μηδενική συγκέντρωση οξυγόνου, κάτι που θα είχε σαν αποτέλεσμα την πυρόλυση και όχι την αποτέφρωση των απορριμμάτων, με κίνδυνο τη δημιουργία επικίνδυνων υδρογονανθράκων με μεγάλο μοριακό βάρος. Ως εκ τούτου η ύπαρξη και η κατανομή του αέρα μέσα στην εστία είναι πολύ σημαντικές για την αποφυγή δημιουργίας ρύπων.

Όταν έχει ολοκληρωθεί το στάδιο της ξήρανσης και της καύσης των πτητικών, ακολουθεί η καύση του ανθρακικού υπολείμματος και η απομάκρυνση των μη εύφλεκτων υλικών. Το στερεό αυτό ανθρακικό κομμάτι αποτεφρώνεται πάνω στο σύστημα εσχαρών ή όποιο άλλο χρησιμοποιείται. Υπολογίζεται ότι για την τέλεια καύση του απαιτούνται 30 με 60 λεπτά. Η τέφρα και τα μέταλλα απομακρύνονται στο τέλος του συστήματος εσχαρών και τοποθετούνται σε δοχείο που ψυχαίνεται με νερό ή με ψυχρό αέρα. (Williams, 2005)

Το μέγεθος αλλά και το σχήμα του θαλάμου είναι εξίσου σημαντικά και καθοριστικά για την επιτυχία της καύσης με το σύστημα εσχαρών ή όποιο άλλο χρησιμοποιείται. Από αυτά εξαρτάται ο χρόνος παραμονής των πτητικών στον θάλαμο κάτι που επηρεάζει δραστικά τον βαθμό αποτέφρωσής τους. Το σχήμα τους ειδικά επιδρά στον τρόπο που θερμαίνονται τα απορρίμματα μέσω του θερμού αέρα και της θερμότητας που ανανακλάται στα τοιχώματα κάτι που επηρεάζει τον χρόνο ξηράνσεως, τον χρόνο ανάφλεξης και τον χρόνο που απαιτείται για την πλήρη καύση. Επίσης, εξ' αιτίας του σχήματος αλλάζει και ο τρόπος κίνησης και ανάμιξης των απορριμμάτων, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει την αποτέφρωση. (Williams, 2005)

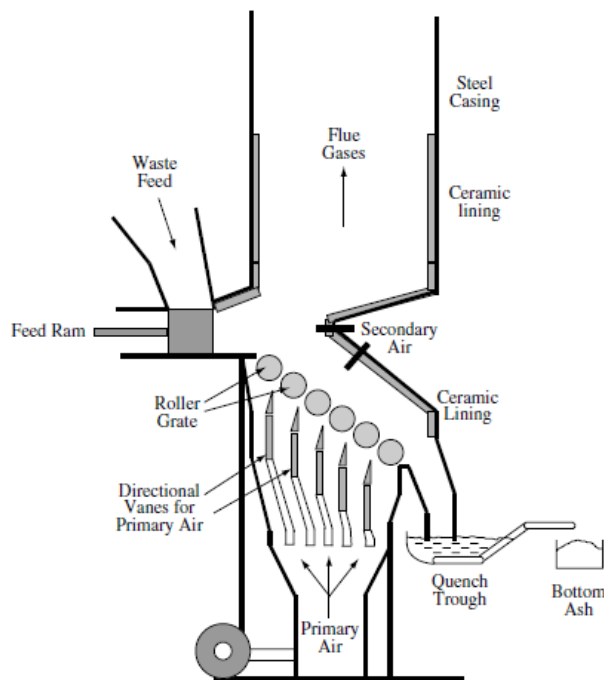


Figure 5.7 Schematic diagram of the furnace of a mass burn municipal solid waste incinerator. Sources: Clayton et al 1991; European Commission 2004.

#### Εικόνα 11: Φούρνος σε μονάδα αποτέφρωσης συμμείκτων Α.Σ.Α.

Βασικό στοιχείο στη λειτουργία και τον σχεδιασμό του θαλάμου αποτέφρωσης είναι η επανακυκλοφόρηση των απαερίων. Αφού τα απαέρια έχουν περάσει από τα φίλτρα για τον αρχικό τους καθαρισμό ένα μέρος αυτών, το 20-30% περίπου, συγκρατείται και μέσα από έναν μονωμένο αγωγό εισέρχεται ξανά μέσα στον φούρνο. Τα πλεονεκτήματα της επανακυκλοφόρησης των αερίων είναι (World Bank, 1999):

- Αύξηση της αποτελεσματικότητας (από 1-3%) της αποτέφρωσης καθώς ο περισσευούμενος αέρας και το οξυγόνο μειώνονται αισθητά.
- Μείωση των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) 20-40% για επανακυκλοφόρηση του 20-30% των απαερίων.
- Μείωση της παραγωγής διοξινών, κάτι που συνδέεται με την μείωση του οξυγόνου και του περισσευούμενου αέρα.
- Σταθεροποιείται και βελτιώνεται η ροή και η ανάμιξη των απορριμμάτων.
- Μειώνεται η ποσότητα των απαερίων που εισέρχεται στο σύστημα καθαρισμού.

#### ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΣΧΑΡΕΣ (mechanical grates)

Το σύστημα των εσχάρων είναι από τα πιο σημαντικά μέρη ενός αποτεφρωτή. Η εσχάρα αποτελεί το κάτω μέρος του θαλάμου και, εάν είναι σχεδιασμένη σωστά, μπορεί

ταυτόχρονα να μεταφέρει τα απορρίμματα μέσα στον φούρνο και να εξασφαλίσει την καλή ανάμιξή τους έτσι ώστε να είναι πιο αποτελεσματική η αποτέφρωση. Επίσης, μοιράζει ομοιόμορφα τον αέρα της καύσης. Το σύστημα εσχάρων μπορεί να είναι σχεδιασμένο σε κομμάτια αυτόνομα μεταξύ τους και ευπροσάρμοστα. Η διαίρεση σε μικρότερα κομμάτια είναι διαμήκης και εάν το πλάτος των εσχάρων είναι πολύ μεγάλο απαιτείται η διαίρεση και προς την άλλη διεύθυνση. Ο αέρας που εισέρχεται μέσα στον θάλαμο για την έναρξη της καύσης είναι πιθανό να έχει ζεσταθεί πριν έτσι ώστε να καλύπτονται οι διακυμάνσεις της κατώτερης θερμογόνου αξίας των απορριμμάτων. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; World Bank, 1999)

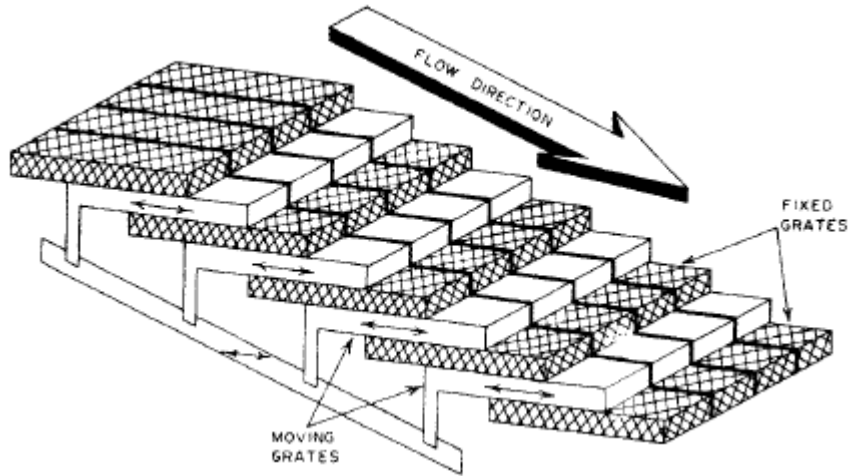
Γενικά οι μικρές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης χρησιμοποιούν μια σταθερή εσχάρα ή πυρίμαχη εστία για την υποστήριξη των απορριμμάτων. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται διάφοροι διατιθέμενοι τύποι εσχάρων για την υποστήριξη και την μετακίνηση των απορριμμάτων που επιτρέπουν την ταυτόχρονη ανάμιξή τους κατά τη διάρκεια της καύσης. Η εμπειρία δείχνει ότι μόνο όταν το 95% των απορριμμάτων που έχουν εισαχθεί έχουν μέγεθος μικρότερο του 1 cm μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί και μπορούν τα υλικά να εγκαταλείψουν τον θάλαμο. (Niessen, 2010)

- ❖ Σταθερές εσχάρες (fixed grates): συνήθως υπάρχουν 3 επίπεδα εσχάρων με τα απορρίμματα να μετακινούνται προς το κάθε ένα με κάποια έμβολα. Στο πρώτο επίπεδο πραγματοποιείται η ξήρανση και η έναρξη της καύσης. Στο επόμενο ολοκληρώνεται η αποτέφρωση και στο τελικό η τέφρα που έχει απομείνει αποκτάει σιγά-σιγά χαμηλότερη θερμοκρασία. (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013)
- ❖ Λειτουργία κατά παρτίδες (batch operation): το σύστημα αυτό είναι φυσικό επακόλουθο της εξέλιξης των εστιών με σταθερές εσχάρες. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις, πλέον, δε χρησιμοποιούνται καθώς έχουν αντικατασταθεί από τις εστίες συνεχής λειτουργίας. Ωστόσο κάποιοι καινούργιοι μικρής χωρητικότητας αποτεφρωτές χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα. Στην κατηγορία αυτών των συστημάτων μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο είδη: εσχάρες κυλινδρικής εστίας (cylindrical furnace grates) και τις ορθογώνιες εσχάρες (rectangular batch furnace grates). Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιήθηκε τις δεκαετίες 50-60. Οι εσχάρες δημιουργούν ένα τύπο σπείρας με τις κάθετες κυλινδρικές εσωτερικές επιφάνειες του θαλάμου. Μια συμπαγής εσχάρα χρησιμοποιείται για να καλύπτει τη κεντρική περιοχή της σπείρας. Η περιοχή της εσχάρας σε μορφή σπείρας χωρίζεται σε ζευγάρια τα οποία ανοίγουν με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφέρουν τη στάχτη προς τα κάτω. Τα μέρη αυτά της εσχάρας μπορεί να λειτουργούν είτε μηχανοκίνητα είτε υδραυλικά, βέβαια με χειροκίνητη εντολή. Κάποιες φορές είναι χρήσιμο μέσω των ανοιγμάτων από τις πλευρές του κυλίνδρου αυτού να απομακρύνεται ή να κόβεται σε μικρότερα κομμάτια η στάχτη έτσι ώστε να καθαρίζεται η φωτιά και να διευκολύνεται η απομάκρυνση της στάχτης των απορριμμάτων. Και η δεύτερη κατηγορία αυτού του τύπου εσχάρων αναπτύχθηκε στην Αμερική ιδιαίτερα το 1950 με αρχές του 1960. Οι εσχάρες συνήθως είναι τοποθετημένες με μία μικρή κλίση με το χαμηλότερο άκρο να είναι προς το μέρος της απόθεσης της εναπομένουσας στάχτης. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα τροφοδοτείται περιοδικά μέσω ενός ανοίγματος στο πάνω μέρος και στο

υψηλότερο τέλος μιας εσχάρας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα καινούρια απορρίμματα να τοποθετούνται άνω από την ήδη υπάρχουσα πυρά. Καθώς η διαδικασία της καύσης προχωράει, οι εσχάρες κινούνται χειροκίνητα προς το μέρος της απόθεσης έτσι ώστε να μπορέσουν να αναγνωριστούν τα αντικείμενα που δεν έχουν πλήρως αποτεφρωθεί. (Niessen, 2010)

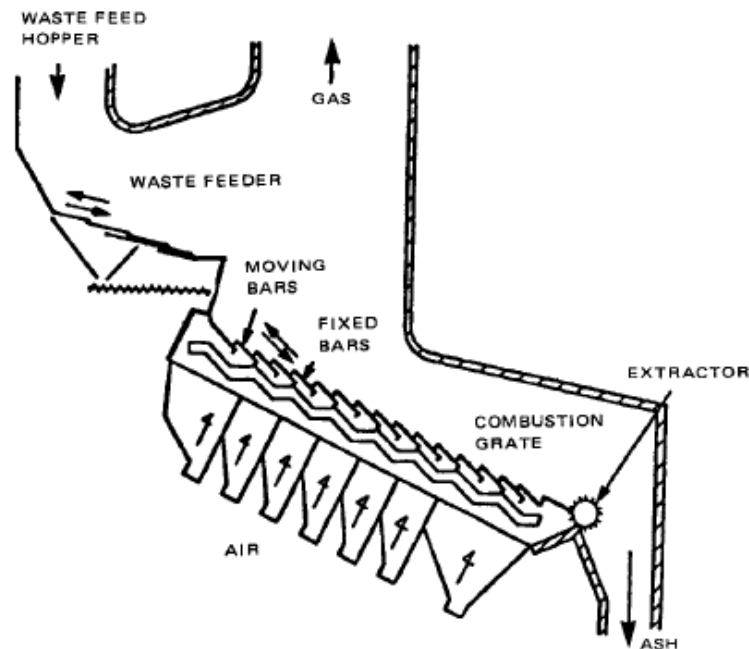
- ❖ Συνεχής λειτουργία (continuous operation): αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται ευρύτατα ακόμα και σήμερα σε αποτεφρωτές αστικών στερεών αποβλήτων. Η συνεχής κίνηση της εσχάρας επιτρέπει την συνεχή τροφοδοσία του θαλάμου με νέα απορρίμματα και την μετακίνηση της στάχτης προς το μέρος της απόθεσης. Επίσης, επιτρέπεται και κάποια αναμόχλευση του υλικού που βρίσκεται πάνω στις εσχάρες. Επιπλέον αέρας περνάει προς τα πάνω μέσα από τις εσχάρες για να τροφοδοτήσει την διαδικασία με οξυγόνο, ενώ ταυτόχρονα κατεβάζει τη θερμοκρασία στα μεταλλικά στοιχεία της εσχάρας εμποδίζοντάς τα από την οξειδωση και εν τέλει την καταστροφή λόγω θερμότητας. Αυτός ο πρόσθετος αέρας που εισέρχεται ονομάζεται πρωτεύοντας αέρας (primary air) και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και είναι περίπου το 40-60% του συνολικού αέρα που εισέρχεται στον θάλαμο. Πολύ χαμηλή ροή αέρα θα καθυστερούσε τη διαδικασία της καύσεως, κάτι που θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των εσχάρων. Επίσης σημαντικός είναι και ο αέρας που εισέρχεται πάνω από τις εσχάρες και ονομάζεται δευτερεύοντας (secondary air). Ο αέρας αυτός κυρίως συμμετέχει στην καύση των αερίων που δημιουργούνται από την καύση των απορριμμάτων πάνω στις εσχάρες. Υπάρχουν διάφορες οπές στην οροφή του φούρνου από τις οποίες μπορούμε να εισάγουμε τον αέρα κάτι που κυρίως γίνεται για να εξασφαλίζεται η καλή ανάμιξη του. (Niessen, 2010; Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Ένας τύπος εσχάρων συνεχούς λειτουργίας είναι αυτός των παλινδρομικών εσχάρων (reciprocating grates). Αποτελείται από ράβδους από χυτό κράμα μετάλλων, οι οποίες τοποθετούνται στη σειρά δημιουργώντας μια εσχάρα που προωθεί, αναμειγνύει και βοηθάει στο τεμαχισμό των απορριμμάτων. Από το 1970, ο τύπος αυτός είναι ο πιο συχνός σε συστήματα μαζικής καύσης. Η οροφή του θαλάμου στον οποίο οδηγείται η τέφρα, κάποιες φορές έχει σχήμα ορθογωνίου με κυλινδρικές συνεχόμενες άκρες. Το σχήμα αυτό βοηθάει τα αέρια τα οποία αποτελούνται από μεγάλες ποσότητες οξυγόνου να διαφύγουν από τη κλίση της τέφρας που κρυώνει, προς τον κύριο χώρο της καύσης όπου οι απαιτήσεις σε οξυγόνο είναι πολύ υψηλές. Υπάρχουν διάφορες μορφές τέτοιων εσχάρων. Άλλες μπορεί να είναι σε ευθεία ενώ άλλες να έχουν κλίση προς τον χώρο όπου γίνεται η απόθεση της τέφρας. Η ψύξη της εσχάρας επιτυγχάνεται με την συνεχή ανταλλαγή θερμότητας με τον αέρα που εισέρχεται κάτω από τις εσχάρες. Αυτή η διαδικασία σε συνδυασμό με το κράμα μετάλλων από το οποίο κατασκευάζονται οι ράβδοι είναι αρκετά για να προστατεύουν την εσχάρα από την υπερθέρμανση. (Niessen, 2010; Tchobanoglous and Kreith, 2002)

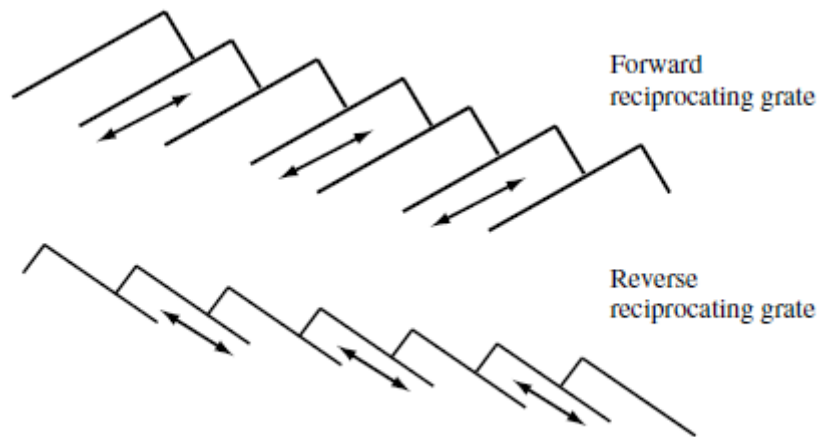


**Εικόνα 12: Παλινδρομικές εσχάρες**

Παραλλαγή του τύπου αυτού είναι αυτό του συστήματος Martin (Martin system). Σ' αυτό χρησιμοποιούνται οι παλινδρομικές εσχάρες αλλά αντίστροφες. Καθώς η εσχάρα κινείται προς τα μπρος και ύστερα αντίστροφα συμβαίνει μια συνεχής ανάμιξη των απορριμμάτων. Οι μπάρες των εσχάρων είναι κοίλες κάτι που επιτρέπει τον αέρα να κινείται μεταξύ τους μειώνοντας τον κίνδυνο για υπερθέρμανση. (Niessen, 2010; Tchobanoglous and Kreith, 2002)

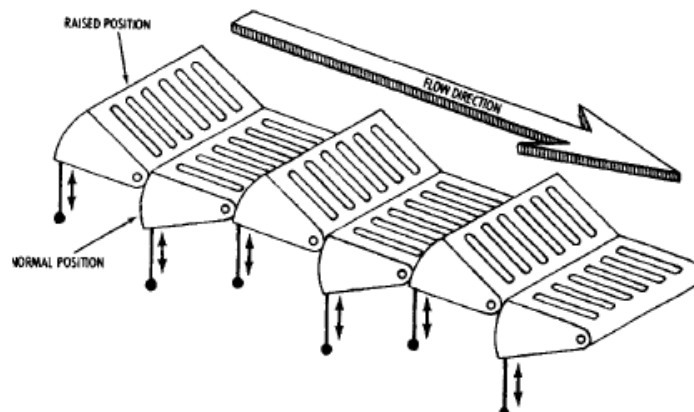


**Εικόνα 13: Αντίστροφες παλινδρομικές εσχάρες τύπου Martin**



**Εικόνα 14: Παλινδρομικές εσχάρες ευθείς ή αντίστροφες**

Ένας άλλος τύπος εσχάρων συνεχούς λειτουργίας είναι αυτός των εσχάρων με κίνηση λικνίσματος (rocking grates). Ο τύπος αυτός έχει αρκετές ομοιότητες με αυτόν των σταθερών εσχάρων καθώς αποτελείται από εσχάρες σε διαφορετικά επίπεδα οι οποίες καλύπτουν όλο το πλάτος του θαλάμου καύσεως. Συνήθως τοποθετούνται δύο, τρεις τέσσερις ή και παραπάνω εσχάρες η μια μετά την άλλη, καλύπτοντας όλη την απόσταση από το σημείο τροφοδοσίας (πάνω σημείο) μέχρι το σημείο απόθεσης της τέφρας. Η κάθετη απόσταση μεταξύ των εσχάρων, δηλαδή το κενό που δημιουργείται, είναι αρκετά μικρή (συνήθως κάτω από 3cm), ή και μηδενική. Η κίνηση των εσχάρων γίνεται προς τα μπροστά και προς τα πάνω για να γίνεται ταυτόχρονη μετακίνηση και ανάμιξη των απορριμμάτων. (Niessen, 2010; Tchobanoglous and Kreith, 2002)



**Εικόνα 15: Εσχάρες με κίνηση λικνίσματος**

Ο τύπος που ήταν περισσότερο διαδεδομένος σε συστήματα μαζικής καύσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 είναι αυτό της εσχάρας που μετακινείται (traveling grates). Ο τύπος αυτός, αν και πλέον δεν προτιμάται για συστήματα μαζικής καύσης, χρησιμοποιείται ακόμα αρκετά σε συστήματα καύσεως RDF. Υπάρχουν πολλές

τέτοιες εγκαταστάσεις σε Ηνωμένες Πολιτείες, Ευρώπη και Ιαπωνία. Εξ' αιτίας της μορφής του συστήματος αυτού (είναι απλά μια ταινία που μετακινείται) τα απορρίμματα δεν μπορούν να αναμειχθούν ή και να διασπαστούν σε μικρότερα κομμάτια. Γι' αυτό το λόγο πολλές φορές η διαδικασία συνήθως χωρίζεται σε διάφορα επίπεδα. Στο πρώτο γίνεται η ξήρανση των απορριμμάτων, τα οποία τοποθετούνται στην εσχάρα με έναν γερανό. Στη συνέχεια μετακινούνται προς το επόμενο. Κατά τη μετακίνησή τους αναμειγνύονται και χωρίζονται σε μικρότερα κομμάτια. Έπειτα ακολουθεί η συνέχεια της καύσης. Προφανώς, αν υπάρχουν πολλά επίπεδα σε καθένα συμβαίνει ξανά ανάμειξη και διάσπαση. Καθώς σε κάθε επίπεδο το πάχος του στρώματος των απορριμμάτων στην κλίνη μειώνεται ο ρυθμός μετακίνησης της εσχάρας πρέπει να προσαρμόζεται αναλόγως, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός καύσεως. (Niessen, 2010; Tchobanoglous and Kreith, 2002)



**Εικόνα 16: Λεπτομέρεια εσχάρας που μετακινείται**

Γενικά, σε ένα σύστημα με εσχάρες υπάρχουν διάφορα τμήματα που παίζουν σημαντικό ρόλο, όπως οι εσχάρες, ο θάλαμος καύσης, το σύστημα προσθήκης αέρα, ο εξοπλισμός για την διαχείριση της τέφρας και άλλα. Ένα σύστημα καύσης βασίζει την επιτυχία του στην συνεργασία μεταξύ των τμημάτων του. Γι' αυτό και εάν κάποιος αγοράσει ένα τμήμα από έναν πωλητή και ένα άλλο από κάποιον άλλον, η επιτυχία του συστήματος δεν είναι εγγυημένη. (Niessen, 2010)

Το σύστημα εσχάρων έχει πολλά πλεονεκτήματα και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε τέτοιο εύρος παγκοσμίως. Αρχικά, δεν απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία των απορριμμάτων πριν από τη διαδικασία. Επίσης, μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλη ποικιλία απορριμμάτων όσον αφορά στην σύσταση και τη θερμογόνο αξία τους. Κάθε φούρνος μπορεί να κατασκευαστεί για χωρητικότητα μέχρι και 1.200 t την ημέρα, δηλαδή 50 t την ώρα. Το μειονέκτημα που μπορεί να σημειωθεί είναι το υψηλός κόστος του αρχικού κεφαλαίου αλλά της συντήρησης. (World Bank, 1999)

## 2) Σύστημα σταθερών εστιών (stationary hearth)

Το σύστημα αυτών των εστιών λειτουργεί χωρίς να υπάρχουν εσχάρες ενώ υπάρχει ένα πυρίμαχο δάπεδο στον κλίβανο το οποίο μπορεί να έχει και κάποια ανοίγματα για την είσοδο αέρα υπό μικρή πίεση κάτω από το υλικό που καίγεται επί της εστίας. Σε περίπτωση που ο αέρας δεν είναι δυνατό να εισέλθει από το κάτω μέρος εισέρχεται είτε από τα πλαϊνά είτε από το πάνω μέρος του κλιβάνου και έτσι η καύση ξεκινάει από επιφανειακά και συνεχίζει, όπως παραδείγματος χάριν είναι μια πυρά. Βέβαια οι συνθήκες είναι βελτιωμένες καθώς επιτρέπεται η ανάκλαση της θερμότητας από τα τοιχώματα και την οροφή του θαλάμου. Είναι πιθανό, σε περίπτωση μη επεξεργασμένων ή ογκωδών απορριμμάτων, να προκύψει μια μάζα πορώδης, η οποία είναι αναγκαίο να αναμοχλευτεί για την επίτευξη ενός επιτρεπόμενου και επιθυμητού βαθμού καύσεως.

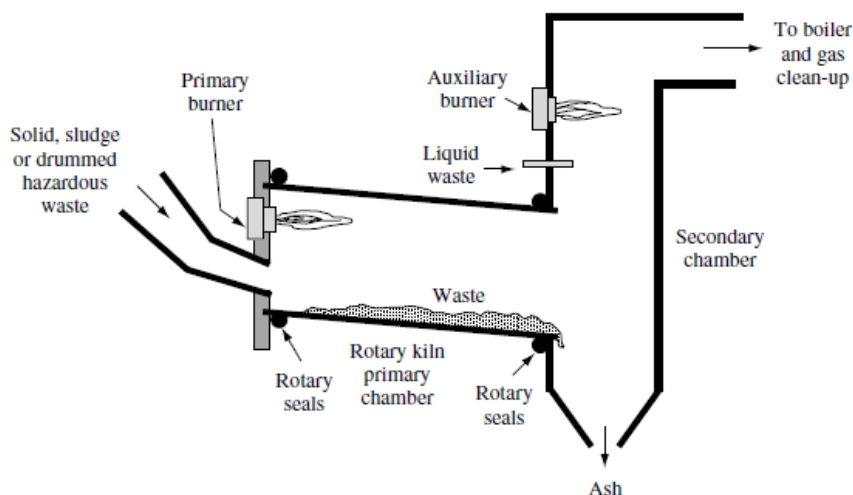
Ο τύπος αυτών των σταθερών εστιών χρησιμοποιείται περισσότερο σε εμπορικές και μικρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Για να μπορέσει η θερμοκρασία να διατηρηθεί μεταξύ των 650-900°C χρησιμοποιούνται βοηθητικοί καυστήρες αερίου ή πετρελαίου. Για την σωστή λειτουργία αυτών απαραίτητη είναι η παρουσία της κατάλληλης ποσότητας οξυγόνου μέσα στο αέριο. Για την καύση απορριμμάτων με αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία, χρειάζονται, αρχικά, καυστήρες για να μπορέσει να επιτευχθεί η πλήρης οξειδωση των εύφλεκτων στερεών καθώς και ατμοί για την εξάλειψη του καπνού και των οσμών. Αυστηρότεροι έλεγχοι των καπνών και των οσμών απαιτούν βοηθητικούς καυστήρες υπό αυτόματο έλεγχο της θερμοκρασίας σε έναν δεύτερο θάλαμο καύσεως. (Niessen, 2010)

## 3) Περιστρεφόμενος κλίβανος (rotary kiln)

Η τεχνολογία αυτή έχει ευρεία εφαρμογή εδώ και αρκετά χρόνια και αποτελείται από μια σκάφη εξ' ολοκλήρου ή μερικώς περιστρεφόμενη. Η λειτουργία αυτή του κλιβάνου εξασφαλίζει την επίτευξη δύο στόχων ταυτόχρονα: την μετακίνηση των στερεών μέσα και έξω από μια περιοχή καύσης με υψηλή θερμοκρασία και την μίξη και ανάδευση τους κατά τη διάρκεια της καύσης. Με αυτό τον τρόπο τα απορρίμματα έρχονται σε επαφή με το οξυγόνο και τη θερμότητα. Συνήθως αποτελείται από ένα μεταλλικό κυλινδρικό κέλυφος το οποίο καλύπτεται εσωτερικά από ένα πυρίμαχο υλικό που είναι ικανό να αντιστέκεται στην τριβή, έτσι ώστε να προστατεύεται το μέταλλο από την υπερθέρμανση. (Niessen, 2010) Η διάμετρος του κλιβάνου κυμαίνεται μεταξύ 1,0 και 5,0m και το μήκος του από 8,0 έως 20,0m. Η χωρητικότητά του μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες τις μονάδας από χαμηλή (έως 2,4 t/ημέρα) μέχρι και πιο υψηλή (έως 480 t/ημέρα). Συνήθως τα απορρίμματα παραμένουν μέσα στον κλίβανο για περισσότερο από 30 λεπτά. (Tammemagi, 1999; World Bank, 1999) Είναι σύνηθες ένας περιστρεφόμενος κλίβανος να έχει μια ελαφρά κλίση προς το τέλος, στο σημείο της απόρριψης δηλαδή. Η κίνηση των στερεών ρυθμίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του κλιβάνου η οποία πραγματοποιείται με την χρήση τροχών. Το κάλυμμα από πυρίμαχο υλικό για την προστασία του μετάλλου από τις υψηλές θερμοκρασίες έχει μικρή εφαρμογή σε κλιβάνους που χρησιμοποιούνται για την αποτέφρωση αστικών απορριμμάτων. Η χρήση του είναι πιθανή στη βελτίωση της



καύσης του υπολείμματος ύστερα από αποτέφρωση των απορριμμάτων με σύστημα πολλαπλών εσχαρών. (Niessen, 2010; Williams, 2005) Τόσο το μήκος του θαλάμου όσο και η κλίση επηρεάζουν τον βαθμό καταστροφής/ αποτέφρωσης των απορριμμάτων καθώς καθορίζουν τον χρόνο παραμονής τους μέσα στον κλίβανο. Επίσης αλλάζοντας την ταχύτητα περιστροφής του θαλάμου μπορούμε να ελέγξουμε με μεγάλη ακρίβεια τη διαδικασία της αποτέφρωσης. Είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί πρόσθετο καύσιμο κατά την έναρξη της διαδικασίας, όπως πετρέλαιο ή αέριο. (Tammemagi, 1999; Tchobanoglous and Kreith, 2002)



**Εικόνα 17: Περιστρεφόμενος κλίβανος**

Η αποτέφρωση με περιστρεφόμενο κλίβανο γίνεται τις περισσότερες φορές σε ξεχωριστές φάσεις. Αρχικά, γίνεται η ξήρανση των απορριμμάτων με τη χρήση δύο εσχαρών που μετακινούνται. Στη συνέχεια, γίνεται η καύση στον κλίβανο αυτόν και έπειτα χρησιμοποιείται ξεχωριστός δευτερεύοντας κλίβανος για τη συνέχιση της διαδικασίας με σκοπό την επίτευξη της πλήρους καύσεως. Ο δεύτερος κλίβανος δεν είναι υποχρεωτικός σε μονάδες επεξεργασίας αστικών στερεών απορριμμάτων, σε αντίθεση με τις μονάδες για επικίνδυνα απόβλητα όπου κάτι τέτοιο επιβάλλεται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013; Tchobanoglous and Kreith, 2002)

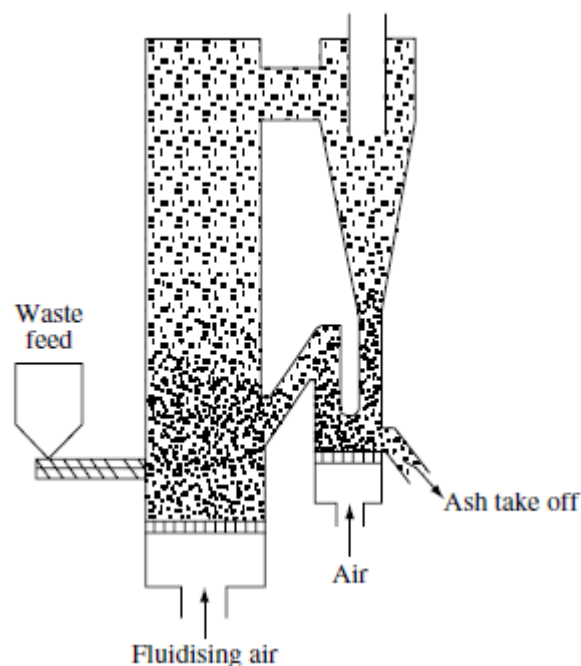
Στα πλεονεκτήματα του περιστρεφόμενου κλιβάνου μπορεί να προστεθεί η δυνατότητα εφαρμογής του σε απορρίμματα που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία και η ικανότητα αποτέφρωσης απορριμμάτων με διαφορετική σύσταση και θερμογόνο αξία. Τα μειονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησής του, η περιορισμένη εφαρμογή τους στην αποτέφρωση αστικών στερεών αποβλήτων και ο περιορισμός της ημερήσιας χωρητικότητάς του στους 480 t. (World Bank, 1999)

#### 4) Σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed system)

Τα συστήματα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για άλλους τύπους αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα, τα επικίνδυνα απόβλητα, τα αέρια και τα υγρά και αυτά που η καύση τους είναι δύσκολη. (Niessen, 2010; Williams, 2005) Η χρήση αυτού του συστήματος προϋποθέτει την διαλογή των απορριμμάτων προτού αυτά εισέλθουν στον θάλαμο καύσεως όπως την απομάκρυνση των τμημάτων από γυαλί ή μέταλλο με χαμηλό σημείο τήξης καθώς ακόμα και η παρουσία μικρών κομματιών μπορεί να προκαλέσει στην κλίνη σκωρία. Στη συνέχεια, απαιτείται η μείωση του μεγέθους τους μέσω μηχανικών διαδικασιών. Συνήθως απαιτείται ομοιόμορφο μέγεθος που να μην ξεπερνάει τις 1-1,5 in. (Tchobanoglous and Kreith, 2002) Γενικά, χρειάζεται περισσότερη προεργασία για τη χρήση αυτού του συστήματος, σε σχέση με το σύστημα εσχαρών. Επίσης, μπορεί να θεωρηθεί καταλληλότερη μέθοδος για την αποτέφρωση των απορριμμάτων που ήδη έχουν επεξεργαστεί σε RDF. Η καύση συνήθως ολοκληρώνεται σε ένα στάδιο και αποτελείται από έναν γραμμικό θάλαμο καύσεως με μία κλίνη από ένα αδρανές πυρίμαχο κοκκώδες υλικό, όπως είναι η χονδρόκοκη άμμος ή το πυρίτιο ή κάποιο παρόμοιο υλικό. (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013) Αρχικά, το στρώμα αυτό θερμαίνεται με προθερμασμένο αέρα ή καυστήρα πετρελαίου ή αερίου. Έτσι τα απορρίμματα που εισέρχονται αναφλέγονται και εν τέλει αποτεφρώνονται αποτελεσματικότερα. Τα προεπεξεργασμένα ΑΣΑ, το RDF ή οποιοδήποτε άλλο είδος αποβλήτου επεξεργάζεται, εισέρχονται συνεχώς στην κλίνη. Στη συνέχεια τα απόβλητα αναφλέγονται και δεν υπάρχει πλέον η ανάγκη για την πρόσθετη πηγή θερμότητας. Όλα τα βήματα της καύσης όπως είναι η ξήρανση, η ανάφλεξη και η καύση πραγματοποιούνται πάνω στην κλίνη. Οι δευτερεύουσες λειτουργίες περιλαμβάνουν την ομοιόμορφη θέρμανση του επιπλέον αέρα, την καλή μεταφορά της θερμότητας μέσω των επιφανειών πάνω στην κλίνη και την ικανότητα για μείωση των αέριων εκπομπών μέσω του ελέγχου της θερμοκρασίας ή την προσθήκη κάποιου υλικού που να απορροφά τους ρύπους απευθείας στην κλίνη. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν συνήθως σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, γύρω στους 850°C με 950°C κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία λιγότερων οξειδίων του αζώτου (NOx). Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται ο βαθμός καύσεως καθώς ο βαθμός πυρόλυσης βελτιώνεται με την απ' ευθείας επαφή των απορριμμάτων με το ζεστό πυρίμαχο υλικό της κλίνης. Οι ρευστοποιημένες κλίνες είναι συμπαγείς και μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας και έχουν μεγάλη δυναμική απόκριση σε ζήτηση θερμότητας. Επίσης μπορούν εύκολα να μεταφέρουν την θερμότητα και γι' αυτό η ανάφλεξη υλικών λιγότερο εύφλεκτων γίνεται πιο γρήγορα. Ακόμα, το χαρακτηριστικό του αυτό, κάνει το σύστημα κατάλληλο για εγκαταστάσεις ανάκτησης ενέργειας. (Williams, 2005) Οι δύο κύριες κατηγορίες είναι οι εξής:

- Με διοχέτευση αέρα. Κάτω από το στρώμα της άμμου διοχετεύεται αέρας ο οποίος είναι επαρκής για την κίνηση της κλίνης και για την αναμόχλευση των απορριμμάτων. Εάν η ροή του αέρα αυξηθεί προκαλείται μια τυρβώδης ροή των στερεών. Για να μην επιτρέπεται η διαφυγή των στερεών χρησιμοποιούνται στρόβιλοι οι οποίοι οδηγούν τα στερεά που έχουν τυχόν διαφύγει πίσω στην κλίνη. (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013; Williams, 2005).

- Με κυκλοφορία. Σε αυτό το σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης η ροή του αέρα που διοχετεύεται είναι περισσότερη με αποτέλεσμα κάποια στερεά να βγαίνουν εκτός κλίνης και να τοποθετούνται ξανά μέσα σ' αυτήν αφού έχουν εισέλθει μέσα στους στροβίλους. Σε αυτή την περίπτωση η καύση πραγματοποιείται και μέσα στον στρόβιλο. Οι κλίνες αυτές είναι πιο μακριές και επιτρέπουν στα απορρίμματα να παραμένουν περισσότερο χρόνο στην «ζεστή» περιοχή με αποτέλεσμα τον υψηλότερο βαθμό αποτέφρωσης και την παραγωγή λιγότερων οργανικών εκπομπών (DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013; Williams, 2005). Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για απορρίμματα μεγαλύτερου μεγέθους κάτι που καθιστά την προεργασία λιγότερο δαπανηρή. (Niessen, 2010)



**Εικόνα 18: Σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης με κυκλοφορία**

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος της ρευστοποιημένης κλίνης είναι το σχετικά χαμηλό κόστος αρχικού κεφαλαίου και συντήρησης λόγω του ότι έχει έναν απλό σχεδιασμό, έχει την υψηλότερη αποτελεσματικότητα και, τέλος, μπορεί να επεξεργαστεί ποικιλία απορριμμάτων, στερεών ή υγρών, μόνα τους ή σε συνδυασμό. Αντίθετα, τα μειονεκτήματα του συστήματος είναι οι αυστηρές απαιτήσεις σε μέγεθος και σύσταση των αποβλήτων, κάτι που οδηγεί στην προεπεξεργασία τους προτού αρχίσει η αποτέφρωση. Επίσης, είναι μια μέθοδος που δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως στην αποτέφρωση ΑΣΑ και έτσι δεν έχει μελετηθεί λεπτομερώς. (World Bank, 1999)

## **4.2 ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΑ**

Οι θερμικές διεργασίες της πυρόλυσης, της αεριοποίησης και του συνδυασμού πυρόλυσης/αεριοποίησης έχουν αρχίσει να αποκτούν όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για την χρήση τους σε επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων. Οι διαδικασίες αυτές παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με την καύση ή την ταφή των απορριμμάτων. Με την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών είναι πιθανή η επεξεργασία των απορριμμάτων για την παραγωγή όχι μόνο ενέργειας αλλά και αερίου ή προϊόντων πετρελαίου τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτη ύλη σε πετροχημικά ή ανθρακικά υπολείμματα σε εφαρμογές όπως η επεξεργασία των λυμάτων ή στην αεριοποίηση. Τα θετικά είναι εν τέλει δύο: η δημιουργία ενός υλικού που μπορεί να αποθηκευτεί και η δημιουργία υλικών όπως το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο ή το ανθρακικό υπόλειμμα, η οποία δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αυτά τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και σε μονάδες επεξεργασίας απορριμμάτων προστατεύοντας τις φυσικές πηγές αυτών καυσίμων. (Williams, 2005)

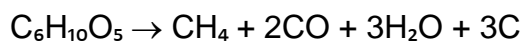
### **4.2.1 Πυρόλυση**

Η πυρόλυση είναι μια σχετικά νέα μέθοδος για την επεξεργασία απορριμμάτων και ακόμη δε χρησιμοποιείται ευρέως, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσής της και του αυξημένου κόστους της. Σε χώρες εκτός της Ευρώπης, όπως η Ιαπωνία, υπάρχουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας που λειτουργούν με βάση την πυρόλυση. Αυτό οφείλεται στις διαφορές που υπάρχουν στη σύσταση των απορριμμάτων, π.χ. ως προς το ποσοστό οργανικού κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμη. (Νταρακάς, 2014)

Η θερμική αποσύνθεση μιας ουσίας στην περίπτωση της πυρόλυσης πραγματοποιείται με την απουσία οξυγόνου και δίχως την επαφή με φλόγα, σε αντίθεση με την αποτέφρωση. Τα απορρίμματα βρίσκονται μέσα σε ατσάλινο αγωγό και παρ' ότι δεν υπάρχει άμεση επαφή με τη φλόγα, επιτρέπεται η παραγωγή αερίων χωρίς την άμεση αποτέφρωσή τους. (Κατσανεβάκης κ.ά., 2010) Είναι μια ισχυρά ενδόθερμη διαδικασία και γι' αυτό απαιτείται η παρουσία εξωτερικής πηγής ενέργειας για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί. Κάποιες φορές αντί για εξωτερική πηγή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα προϊόντα της αντίδρασης, πχ μέσω της καύσης των αερίων. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και ύστερα από την θέρμανσή τους σε απουσία οξυγόνου, με μια διεργασία που συνδυάζει την θερμική διάσπαση και την συμπίκνωση, μετατρέπονται σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Η διαδικασία της πυρόλυσης διαφέρει από αυτή της καύσης γιατί γίνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μεταξύ 400-800°C και χωρίς την παρουσία οξυγόνου όπως έχει αναφερθεί. (Williams, 2005)

Συνήθως απαιτείται να έχει προηγηθεί η επεξεργασία των απορριμμάτων, έτσι ώστε να έχουν αφαιρεθεί τα αντικείμενα από μέταλλο, γυαλί και από άκαυστα υλικά και να έχει απομείνει μόνο το οργανικό μέρος τους. Τα κύρια παράγωγα από μια διεργασία με καθαρό αρχικό υλικό είναι ένα αέριο (syngas) που περιλαμβάνει μεθάνιο και μονοξείδιο του άνθρακα τα οποία μπορούν να καούν, αυξάνοντας έτσι την θερμογόνο αξία του αερίου,

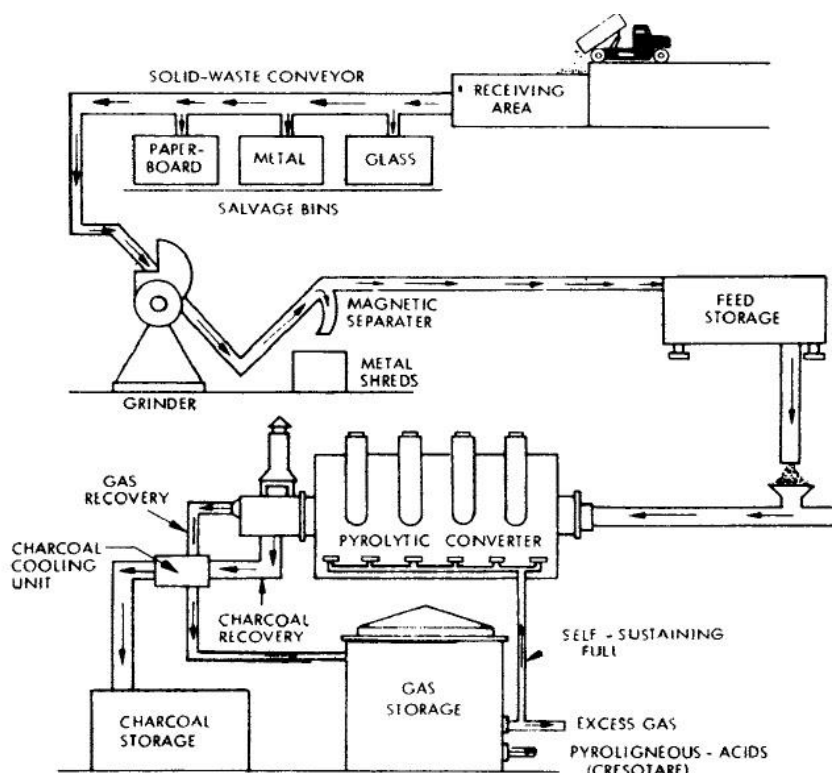
υδρατμοί, ένα στερεό υπόλειμμα (char) το οποίο αποτελείται εξ' ολοκλήρου από άνθρακα και έχει και αυτό θερμογόννο αξία καθώς και πετρέλαιο. Έχει ερευνηθεί η απευθείας χρήση του παραγόμενου πετρελαίου με σκοπό την εφαρμογή σαν καύσιμο ή ύστερα από την βελτίωσή του για την παραγωγή διυλισμένων καυσίμων. Η χρήση του είναι πιθανή σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού σε μηχανές που χρησιμοποιούν αέριο ή πετρέλαιο ντίζελ. Επίσης, και το στερεό υπόλειμμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν στερεό καύσιμο. Εναλλακτικά, πιθανή είναι και η χρήση του σαν αιθάλη ή ύστερα από βελτίωση σαν ενεργός άνθρακας. Ωστόσο, στις μη ιδεατές περιπτώσεις όπου το αρχικό υλικό περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία, οργανικά ή μη, το παραγόμενο αέριο είναι μίγμα από απλές και σύνθετες οργανικές ενώσεις. Το υπόλειμμα μπορεί να είναι σε αυτή την περίπτωση υγρό και να περιλαμβάνει μέταλλα, στάχτη και άλλα ανόργανα στοιχεία, καθώς επίσης και ανθρακούχα υπολείμματα. Ένα τμήμα του αερίου αυτού θα μπορούσε να συμπυκνωθεί αποτελώντας έτσι ένα υγρό καύσιμο. Η ανάκτηση ενέργειας από το αέριο αυτό δημιουργεί προβλήματα όπως είναι ο σχηματισμός πίσσας η οποία μπορεί να δημιουργήσει λειτουργικά προβλήματα στην μονάδα και να οδηγήσει ακόμα και στην αποτυχία της. (DEFRA <sup>(2)</sup>, 2013; Williams, 2005) Η ιδεατή αντίδραση είναι η εξής (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005):



Τα στάδια της πυρόλυσης είναι τα εξής (Μαυρόπουλος, 2008; Tchobanoglous and Kreith, 2002; Κατσανεβάκης κ.ά., 2010):

1. Προετοιμασία και άλεση. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ομογενοποίηση των αποβλήτων και μπορεί να γίνεται πιο αποτελεσματικά η μεταφορά της θερμότητας. Απομακρύνονται τα αντικείμενα από γυαλί, μέταλλο, χαρτόνι και οτιδήποτε άλλο θα μπορούσε να μεταπωληθεί. Στην συνέχεια γίνεται ο τεμαχισμός των απορριμμάτων (σε διάσταση μικρότερη από 50mm) κάτι που είναι απαραίτητο όχι μόνο επειδή επιτρέπει την απομάκρυνση των μετάλλων αλλά και γιατί τα απορρίμματα αποκτούν ομοιόμορφο και σχετικά μικρό μέγεθος προτού εισαχθούν στον αντιδραστήρα. Πολλές φορές γίνεται ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος με αέρα. Σε περίπτωση που η μονάδα επεξεργάζεται δευτερογενές καύσιμο απορριμμάτων (RDF) το βήμα αυτό παραλείπεται.
2. Ξήρανση με σκοπό την μείωση της υγρασίας και άλεση. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε θερμοκρασίες 100-200°C με ξηραντήριο αέρα. Η ξήρανση είναι πολύ σημαντικό βήμα για τα καλά αποτελέσματα της διαδικασίας. Στη συνέχεια το οργανικό κλάσμα περνάει από το σφαιρόμυλο για μείωση του μεγέθους του κάτω από τα 3mm.
3. Πυρόλυση. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος και η παραγωγή συνθετικού καυσίμου και στερεού υπολείμματος.
4. Δευτερογενής επεξεργασία αερίου και υπολείμματος. Για να μπορέσουμε να έχουμε τη μέγιστη θερμογόννη δύναμη του αερίου είναι απαραίτητο, το αέριο να φυλάσσεται σε θερμαινόμενη κατάσταση για όσο το δυνατό περισσότερο, μέχρις ότου φτάσει το ανώτατο σημείο καύσεως. Το στερεό υπόλειμμα είναι το προϊόν που ιδανικά θα θέλαμε να παράγεται κατά την διαδικασία.

Η ποσότητα που θα δημιουργεί από το καθένα προϊόν εξαρτάται από τις συνθήκες της διαδικασίας, όπως η θερμοκρασία και ο ρυθμός θέρμανσης. Πολύ αργοί ρυθμοί θέρμανσης σε συνδυασμό με μια χαμηλή τελική μέγιστη θερμοκρασία μεγιστοποιεί απανθράκωση των απορριμμάτων. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη συγκέντρωση πίσσας/ πετρελαίου και αερίων. Για παράδειγμα, για ρυθμό θέρμανσης από 20°C/min έως 100°C/min και μέγιστη θερμοκρασία 600°C, έχω περίπου ίση παραγωγή αερίων, πετρελαίου και εναπομείναντα άνθρακα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κλασική ή αργή πυρόλυση. Σε περίπτωση που η διαδικασία γίνεται με ρυθμό θέρμανσης από 100°C/min έως 1000°C/min και τελική θερμοκρασία κάτω από 650°C έχω την παραγωγή κυρίως υγρού προϊόντος. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται γρήγορη πυρόλυση. (Williams, 2005)



Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση πυρολυτικής μονάδας

Έχουν εμφανιστεί διάφορα προβλήματα κατά την προσπάθεια χρήσης αυτής της μεθόδου σε ευρύτερη κλίμακα. Το κυριότερο είναι ότι φαίνεται δύσκολο ή ακόμα και ακατόρθωτο να βρεθεί τρόπος καθαρισμού του αερίου που φεύγει από τον αντιδραστήρα. Παρόλο που αέρας αυτός διοχετεύεται και σε δεύτερο θάλαμο καύσεως απ' όπου περνάει από καθαρισμό με υψηλή ενέργεια, τα οργανικά στοιχεία μέσα στο αέριο είναι δύσκολο να ελεγχθούν αποτελεσματικά. Ένα ακόμα πρόβλημα που εμφανίζεται είναι η δημιουργία σκωρίας εξ' αιτίας της ύπαρξης ακόμα και μιας μικρής ποσότητας από γυαλί, μέταλλα και άλλα άκαφτα υλικά η οποία είναι ακατόρθωτο να απομακρυνθεί. Σε κάποιες πυρολυτικές εγκαταστάσεις το ποσοστό της σκωρίας που δημιουργείτο ήταν αδύνατο να τεθεί υπό έλεγχο. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που έχουν μελετηθεί για την χρήση τους σε διαδικασία πυρόλυσης αστικών στερεών αποβλήτων. Αυτές που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί είναι: η ρευστοποιημένη κλίνη, οι αντιδραστήρες με σταθερή κλίνη, ο περιστρεφόμενος κλίβανος, οι αντιδραστήρες με ροή μέσα σε αγωγό και η αποσυνθετική πυρόλυση πάνω σε καυτές επιφάνειες. Η κατάλληλη τεχνολογία επιλέγεται ανάλογα με την διαδικασία πυρόλυσης που θα ακολουθηθεί (πχ αργή ή γρήγορη) και ανάλογα με το τελικό προϊόν που είναι επιθυμητό να δημιουργηθεί. (Williams, 2005)

- Περιστρεφόμενος κλίβανος: λειτουργεί σε θερμοκρασίες 300 °C-850°C. Έχει την δυνατότητα να επεξεργαστούν μεγάλου μεγέθους υλικά, μέχρι 200mm. Ο κλίβανος θερμαίνεται εξωτερικά. Τα απορρίμματα εισάγονται από την μία πλευρά του κλιβάνου ο οποίος σιγά-σιγά περιστρέφεται δημιουργώντας μια κίνηση αναταραχής. Με τον τρόπο αυτό τα απορρίμματα αναμειγνύονται και εξασφαλίζεται η επαφή τους με την καυτή επιφάνεια και με τα αέρια μέσα στον θάλαμο. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)
- Θερμαινόμενος αγωγός: οι αγωγοί θερμαίνονται εξωτερικά με θερμοκρασίες που φτάνουν τους 800°C. Η διαδικασία αυτή είναι κατάλληλη και για μεγαλύτερου μεγέθους αντικείμενα. Τα απορρίμματα διέρχονται μέσα από τον αγωγό με σταθερή ταχύτητα για να εξασφαλίζεται η ολοκλήρωση της πυρόλυσής τους. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)
- Καυτή επιφάνεια επαφής: είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί επεξεργασία των απορριμμάτων καθώς μόνο σε μικρά αντικείμενα είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή. Καθώς η διαδικασία εφαρμόζεται σε υψηλές θερμοκρασίες και τα απορρίμματα έχουν μικρό μέγεθος, εμφανίζονται υψηλά ποσοστά θερμάνσεως. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται για την μεγιστοποίηση του ποσοστού της πυρόλυσης. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

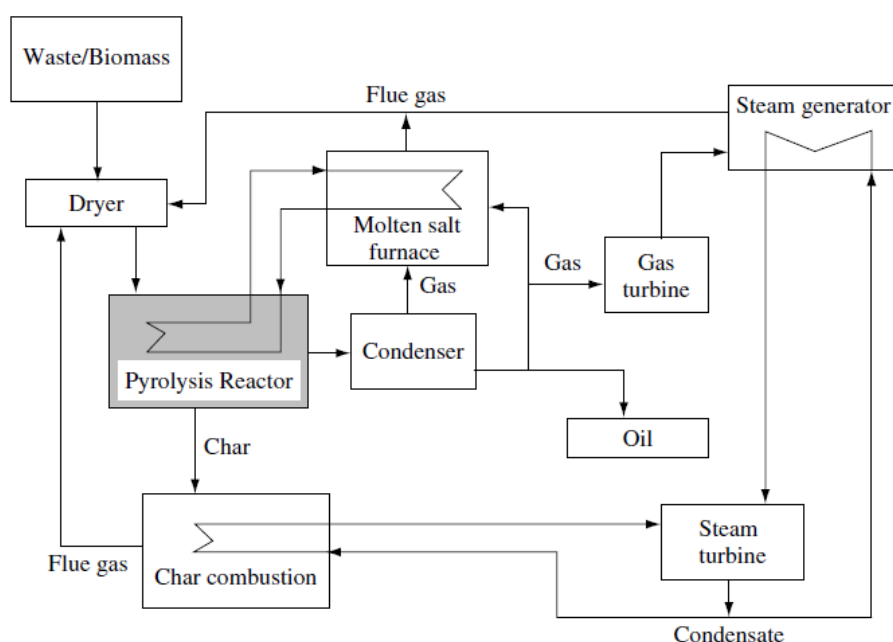
Συγκριτικά με άλλες μεθόδους καύσεως, με τη διαδικασία της πυρόλυσης παράγεται αέριο, ύστερα από τον πρώτο θάλαμο, μικρής ποσότητας και με χαμηλή ταχύτητα. Η μικρή ταχύτητα και η ανύπαρκτη αναταραχή μέσα στον θάλαμο, οδηγούν στην ύπαρξη ελάχιστων αιωρούμενων σωματιδίων από το απαέριο. Η ολική καύση πραγματοποιείται στον δεύτερο θάλαμο και έχει ως αποτέλεσμα το απαέριο να μην περιέχει καθόλου σωματίδια. Βέβαια, όπως αναφέρθηκε και πριν το απαέριο θα περιέχει διάφορες οργανικές ενώσεις που είναι δύσκολες στον έλεγχό τους. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

#### 4.2.1.1 Παράδειγμα τεχνολογίας επεξεργασίας απορριμμάτων με τη μέθοδο της πυρόλυσης

Pyrovac International Inc., Καναδάς

Το σύστημα που έχει αναπτυχθεί στον Καναδά, στηρίζεται στην πυρόλυση στο κενό (vacuum pyrolysis). Σε αυτή η πυρόλυση συμβαίνει εν κενώ, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την πιο γρήγορη απομάκρυνση των αερίων από την καυτή περιοχή του αντιδραστήρα. Η διαδικασία αυτή είναι ικανή να επεξεργαστεί διάφορα είδη απορριμμάτων όπως αστικά, ιλύος, βιομάζας κτλ. Στην αρχή της διαδικασίας υπάρχει ένα στάδιο ξήρανσης των αποβλήτων. Στην συνέχεια γίνεται η πυρόλυση με πίεση στα 15 KPa και θερμοκρασία

στους 500°C. Τα απορρίμματα μεταφέρονται διαμέσου του αντιδραστήρα πάνω σε οριζόντιες πλάκες οι οποίες θερμαίνονται με τη χρήση λιωμένων αλάτων αναπτύσσοντας τη θερμοκρασία της διαδικασίας (δηλαδή 500°C). Τα άλατα θερμαίνονται μέσω της καύσης των αερίων που παράγονται κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης. Τα αέρια που παράγονται απομακρύνονται και επεξεργάζονται για την παραγωγή ενός προϊόντος πετρελαίου. Τα αέρια που δεν μπορούν να συμπυκνωθούν μέσω της διαδικασίας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας. Αυτό το προϊόν πετρελαίου έχει χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο και σαν χημική πρώτη ύλη. (Williams, 2005)



Sources: Juniper 2000; Roy 1994; Pakdel et al 1991. Figure reproduced with the permission of Juniper Consultancy Services Ltd, Uley, UK.

**Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής πυρολυτικής διαδικασίας με την τεχνολογία Pyrovac**

#### 4.2.2 Αεριοποίηση

Και η μέθοδος αυτή είναι σχετικά νέα στην επεξεργασία απορριμμάτων, κυρίως στη Ευρώπη, παρότι εφαρμόζεται με επιτυχία στη χημική βιομηχανία εδώ και χρόνια. Η διαδικασία της αεριοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως η διεργασία ανάμεσα στην αποτέφρωση και την πυρόλυση καθώς επιτρέπει την μερική οξειδωση μιας ουσίας σε υψηλές θερμοκρασίες (400-1500°C). Αυτό σημαίνει ότι το οξυγόνο που προστίθεται δεν είναι αρκετό για να επιτρέψει την ολική οξειδωση, και άρα την πλήρη καύση, να συμβεί. Έχει ομοιότητες με την πυρόλυση καθώς γίνεται μετατροπή των ΑΣΑ σε αέρια, υγρά και στερεά. Η μεγαλύτερη διαφορά τους όμως είναι ότι ενώ η πυρόλυση απαιτεί εξωτερική



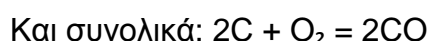
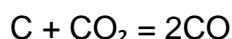
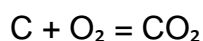
πηγή θερμότητας για την ενεργοποίηση των ενδόθερμων αντιδράσεων για τη θερμική διάσπαση των απορριμμάτων σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη, δηλαδή χωρίς την ύπαρξη εξωτερικής πηγής ύστερα από το στάδιο της ανάφλεξης. Είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί πρόσθετο αέριο καύσιμο, όπως είναι ο ατμός, το οξυγόνο και ο αέρας για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα.

Η διαδικασία της αεριοποίησης παρουσιάζει αρκετά προβλήματα όσον αφορά την επεξεργασία των απορριμμάτων κυρίως λόγω του χαμηλού θερμικού περιεχομένου τους και των μεταβολών στην σύνθεσή τους. Γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια η μέθοδος εφαρμόζεται περισσότερο σε απορριμματογενή καύσιμα τα οποία έχουν υψηλότερο θερμικό περιεχόμενο και σταθερότερες ιδιότητες. Πολλές φορές είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις επεξεργασίας ΑΣΑ να έχει προηγηθεί διαχωρισμός μετάλλων, γυαλιού και άλλων αδρανών υλικών. (Κατσανεβάκης, κ.ά., 2010; Νταρακάς, 2014; Μαυρόπουλος, 2008; DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

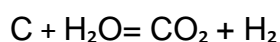
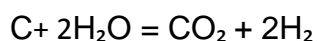
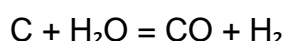
Τα στάδια της αεριοποίησης είναι δύο και είναι τα εξής (Klein and Themelis, 2003; Williams, 2005):

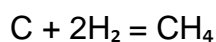
1. Πυρόλυση: απελευθέρωση των πτητικών συστατικών από τα οργανικά υλικά σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 600 °C. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός υπολείμματος που αποτελείται από σταθερό άνθρακα και τα ανόργανα συστατικά των εισερχόμενων απορριμμάτων.
2. Αντίδραση του ανθρακικού μέρους του υπολείμματος με ατμό, αέρα ή καθαρό οξυγόνο. Η χρήση ατμού οδηγεί στην δημιουργία ενός συνθετικού αερίου αποτελούμενο από υδρογόνο, διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο που ονομάζεται «syngas». Η εξώθερμη αντίδραση του οξυγόνου με τον άνθρακα παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για να γίνουν οι διαδικασίες της πυρόλυσης και της αεριοποίησης του ανθρακικού υπολείμματος.

Τα προϊόντα που τελικά παράγονται κατά την αεριοποίηση εξαρτώνται από το μέσο από το οποίο χρησιμοποιείται για την επίτευξή της. Όταν χρησιμοποιείται αέρας οι αντιδράσεις είναι οι εξής (Williams, 2005):

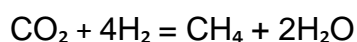
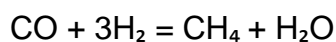


Όταν χρησιμοποιείται ατμός:





Όταν η αεριοποίηση πραγματοποιείται υπό μεγάλη πίεση με την χρήση ατμού συμβαίνουν και οι ακόλουθες αντιδράσεις:



Στην περίπτωση της αεριοποίησης με την χρήση πρόσθετου οξυγόνου η θερμογόνος αξία του παραγόμενου αερίου είναι χαμηλή ενώ όταν χρησιμοποιείται οξυγόνο μεσαία. Μεσαία χαρακτηρίζεται και η θερμογόνος αξία στην περίπτωση της αεριοποίησης με ατμό.

Εκτός από το αέριο syngas που δημιουργείται κατά τη διαδικασία, ανάλογα με τη σύσταση των απορριμμάτων, του συστήματος αεριοποίησης και των συνθηκών λειτουργίας μπορεί να δημιουργηθούν, επίσης, πίσσα (tars), αέριοι υδρογονάνθρακες και ανθρακικά υπολείμματα, τα οποία αποτελούν τα προϊόντα της ατελούς αεριοποίησης. Το σύστημα αεριοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί επηρεάζει περισσότερο την ποιότητα των παραγόμενων αερίων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του συστήματος με κίνηση του αέρα προς τα κάτω όλα τα προϊόντα της αεριοποίησης διέρχονται από μια περιοχή με υψηλή θερμοκρασία και μεγάλη αναταραχή. Αυτό προκαλεί την διάσπαση των προϊόντων της πυρόλυσης (δηλαδή της ατελούς οξειδωσης) και ως αποτέλεσμα το τελικό αέριο έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε πίσσα. (Williams, 2005) Όπως και στην περίπτωση του αερίου syngas από την πυρόλυση, η ανάκτηση ενέργειας από αυτό, έχει τον κίνδυνο της δημιουργίας πίσσας η οποία προκαλεί τα προβλήματα που αναφέρθηκαν τόσο στο σύστημα καθαρισμού όσο και στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013; Klein and Themelis, 2003)

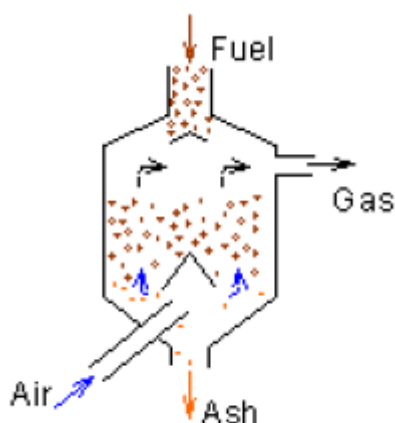
Η αεριοποίηση όπως και η πυρόλυση, είναι διεργασίες που μπορούν να αποτελέσουν είτε ολόκληρη τη διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, είτε μέρος αυτής σε συνδυασμό με την αποτέφρωση. (Μαυρόπουλος, 2008) Εξ' αιτίας της ανάγκης για διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας και πίεσης οξυγόνου μέσα στον αντιδραστήρα, υπάρχει όριο στο μέγεθός του. Για τα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης η διάμετρος του αντιδραστήρα κυμαίνεται από 5,5m έως 7,5m. Για να μην αποτελεί το μέγεθος περιορισμό για την ικανότητα της μονάδας, σε κάθε γραμμή λειτουργούν δύο αντιδραστήρες οι οποίοι, σε συνήθη συνθήκες, λειτουργούν στο 45% της χωρητικότητάς τους σε όγκο. (Willson, 2014)

#### 4.2.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

##### A) ΜΕ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ (updraft gasification):

Ο αέρας κινείται από κάτω από τη βάση του αντιδραστήρα με φορά προς τα πάνω. Τα απορρίμματα κινούνται με αντίθετη φορά προς αυτή του αέρα, δηλαδή προς τα κάτω. Η αεριοποίηση πραγματοποιείται πάνω σε μια κλίνη η οποία κινείται αργά. Ο αέρας φεύγει

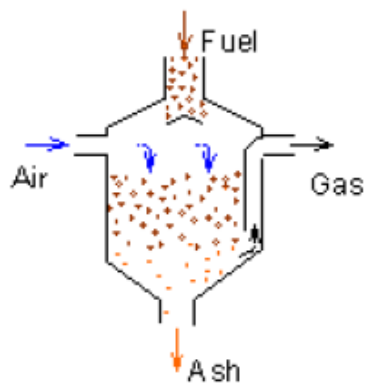
από τον αντιδραστήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από 500 °C). Λόγω του ότι η υγρασία, τα αέρια και η πίσσα που δημιουργούνται δεν διέρχονται από την θερμή κλίση, η θερμική διάσπαση των βαρέων υδρογονανθράκων και της πίσσας είναι λιγότερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το τελικώς παραγόμενο αέριο να έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε πίσσα. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το αέριο για την παραγωγή ενέργειας απαιτείται λεπτομερής επεξεργασία για την απομάκρυνση των ρύπων αυτών. Η μέθοδος έχει αρκετά υψηλή αποδοτικότητα και γι' αυτό το λόγο απορρίμματα με περιεκτικότητα σε υγρασία μέχρι 50% δε χρειάζεται να ξεραθούν πριν εισέλθουν στο σύστημα. (Klein and Themelis, 2003; Williams, 2005)



**Εικόνα 21: Αεριοποίηση με κίνηση του αέρα προς τα πάνω**

#### B) ΜΕ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ (downdraft gasification):

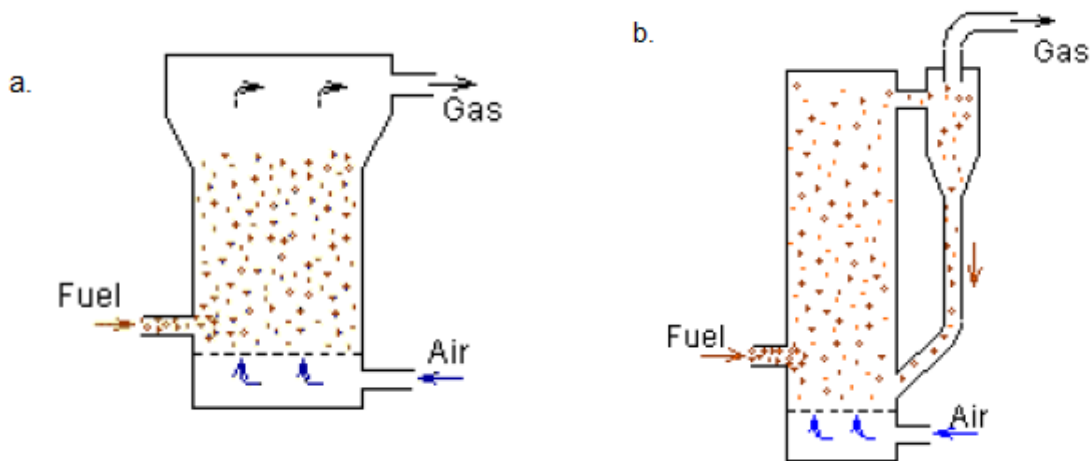
Σε αυτή την περίπτωση ο αέρας και τα απορρίμματα κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή προς τα κάτω μέσα στον αντιδραστήρα. Και πάλι χρησιμοποιείται για την αεριοποίηση μια κλίση η οποία κινείται αργά. Εδώ η πίσσα και οι βαριοί υδρογονάνθρακες υπόκεινται σε μεγάλη θερμική αποδόμηση, καθώς προχωράνε μέσα στην περιοχή οξείδωσης, στην οποία αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της περιεκτικότητας σε ελαφρύτερους υδρογονάνθρακες και υδρογόνο. Ο αέρας ή το οξυγόνο εισάγεται μέσα στον θάλαμο ακριβώς πάνω από ένα στενό μέρος του. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ελέγξουμε τον βαθμό καταστροφής της πίσσας. Η μέθοδος δεν θεωρείται η πιο κατάλληλη για την επεξεργασία των ΑΣΑ γιατί τα συστήματα αυτά λειτουργούν καλύτερα με καύσιμα που παράγουν χαμηλή ποσότητα τέφρας για να αποφεύγεται η απόφραξη. (Klein and Themelis, 2003; Williams, 2005)



Εικόνα 22: Αεριοποίηση με κίνηση του αέρα προς τα κάτω

### Γ) ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ (fluidized bed gasification):

Τα απορρίμματα τροφοδοτούνται σε μία ρευστοποιημένη κλίνη με υψηλή θερμοκρασία. Η κλίνη μπορεί να είναι κοχλάζουσα ενώ τα στερεά κατά την αεριοποίηση παραμένουν πάνω σε αυτήν. Αλλιώς, μπορεί να χρησιμοποιούνται μετακινούμενες κλίνες με πολύ υψηλές ταχύτητες ρευστοποίησης. Στην περίπτωση της κοχλάζουσας, η κλίνη αποτελείται από αδρανές υλικό (π.χ. χονδρόκοκη άμμο). Το υλικό αυτό αλλά και τα στερεά απορρίμματα κοχλάζουν ύστερα από την εισαγωγή αέρα κάτω από τις εσχάρες που συγκρατούν την κλίνη. Πολύ αποτελεσματική φαίνεται η χρήση δύο ρευστοποιημένων κλινών ταυτοχρόνως. Στην μία πραγματοποιείται η αεριοποίηση των απορριμμάτων. Στην συνέχεια το ανθρακικό υπόλειμμα περνάει σε έναν ξεχωριστό θάλαμο όπου γίνεται ο διαχωρισμός και ύστερα στη δεύτερη κλίνη όπου ολοκληρώνεται η αποτέφρωσή του με την παραγωγή θερμότητας για τον αντιδραστήρα. Το πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η πολύ καλή ανάμιξη των απορριμμάτων στον θάλαμο και οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς θερμότητας. Και στην περίπτωση της κοχλάζουσας ρευστοποιημένης κλίνης αλλά και της μετακινούμενης η θερμοκρασία της κλίνης ελέγχεται συνεχώς έτσι ώστε να πραγματοποιείται πλήρης καύση αλλά όχι η τήξη της τέφρας η οποία θα οδηγούσε σε απορευστοποίηση. Η τέφρα τελικά συμπαρασέρνεται με τα απαέρια και διαχωρίζεται στο σύστημα καθαρισμού τους. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητά της να επεξεργάζεται μεγάλη ποικιλία απορριμμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες σε υγρασία. Οι θερμοκρασίες που είναι επιθυμητό να αναπτύσσονται είναι μεταξύ 900 °C και 1000 °C. (Klein and Themelis, 2003; Williams, 2005)



**Εικόνα 23: Αεριοποίηση με ρευστοποιημένη κλίνη a) κοχλάζουσα και b) μετακινούμενη**

#### Δ) ΜΕ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗ ΡΟΗ (entrained flow gasification)

Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη. Οι αντιδράσεις της αεριοποίησης πραγματοποιούνται με αιώρηση καθώς συμπαρασέρνονται από τη ροή του αερίου. Τα απορρίμματα εισέρχονται μέσα σε έναν κατακόρυφο αντιδραστήρα με ατμό και οξυγόνο. Ο χρόνος παραμονής τους είναι πολύ λίγος και η αεριοποίηση πραγματοποιείται σε υψηλές τιμές θερμοκρασίας και πίεσης. Τα απορρίμματα μπορεί να είναι είτε σε υγρή είτε σε στερεή μορφή, αλλά εάν είναι στερεά πρέπει να έχουν πολύ μικρό μέγεθος. Με αυτή τη μέθοδο τα απορρίμματα υπόκεινται σε μεγάλη μετατροπή και εν τέλει παράγονται αέρια με χαμηλή περιεκτικότητα σε πίσσα. (Williams, 2005)

#### Ε) ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ (rotary kiln gasification)

Το σύστημα περιλαμβάνει έναν κύλινδρο με κεραμική επένδυση οποίος είναι τοποθετημένος με κλίση και περιστρέφεται αργά μεταφέροντας τα απορρίμματα στο τέλος του κυλίνδρου καθώς αυτά αεριοποιούνται. Η αεριοποίηση γίνεται με αέρα, ατμό ή οξυγόνο. Ο χρόνος παραμονής είναι πολύ περισσότερος από αυτόν που απαιτείται στους αντιδραστήρες με ρευστοποιημένη κλίνη και εξαναγκασμένης ροής. (Williams, 2005)

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν εξαναγκασμένη ροή και ρευστοποιημένη κλίνη απαιτούν την προεπεξεργασία των απορριμμάτων για την παραγωγή πολύ λεπτών κόκκων για να επιτρέπεται η αποτελεσματική τροφοδοσία του αεριοποιητή. Ο περιστρεφόμενος κλίβανος δεν απαιτεί τέτοιου είδους προεπεξεργασία και μείωση του μεγέθους των απορριμμάτων. (Williams, 2005)

#### **4.2.3 Συνδυασμός πυρόλυσης - αεριοποίησης**

Κάποιες σύγχρονες μελέτες έχουν δοκιμάσει την εφαρμογή μιας μεθόδου που να συνδυάζει την πυρόλυση και την αεριοποίηση για την επεξεργασία των απορριμμάτων. Σε αυτή τη μέθοδο είναι πιθανό να χρειάζεται και ένα επιπλέον στάδιο αποτέφρωσης των παραγόμενων αερίων από τα δύο πρώτα στάδια. Ο συνδυασμός της πυρόλυσης, της αεριοποίησης και της αποτέφρωσης ουσιαστικά πραγματοποιείται σε έναν αποτεφρωτή στον οποίο το κάθε στάδιο είναι ξεχωριστό και λειτουργεί σε διαφορετικές συνθήκες (θερμοκρασίας και πίεσης). Στους παραδοσιακούς αποτεφρωτές τα τρία στάδια θερμικής αποδόμησης πραγματοποιούνται σε συστήματα εσχарών σε ένα στάδιο. Με την θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων σε τρία στάδια, δίνεται η δυνατότητα να ελέγχεται και να αποφασίζεται σε κάθε φάση ποιο παραγόμενο προϊόν είναι το καταλληλότερο σε κάθε περίπτωση. Επίσης, στα πλεονεκτήματα της μεθόδου μπορεί να προστεθεί η δυνατότητα που υπάρχει το αέριο που παράγεται (syngas) να έχει περάσει από τον καθαρισμό για την απομάκρυνση των όξινων αερίων προτού αποτεφρωθεί για την ανάκτηση ενέργειας. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της διάβρωσης μέσα στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας εξ' αιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Ακόμα, ένα σύστημα που λειτουργεί συνδυάζοντας την πυρόλυση και την αεριοποίηση παράγει λιγότερο όγκο απαερίων σε σχέση με μια μονάδα που λειτουργεί με μια συμβατική μέθοδο. Ως εκ τούτου, το σύστημα καθαρισμού αερίων που απαιτείται είναι πολύ μικρότερο μειώνοντας το κόστος της εγκατάστασης. Επιπλέον, το παραγόμενο αέριο μπορεί να καθαριστεί περαιτέρω και να χρησιμοποιηθεί ως χημική πρώτη ύλη. (Williams, 2005)

Λόγω του ότι τα συστήματα πυρόλυσης/αεριοποίησης είναι αρκετά περίπλοκα και δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα της εφαρμογής τους, αναστέλλεται η εμπορική ανάπτυξή τους και η χρήση τους σαν εναλλακτική των αποτεφρωτών μαζικής καύσης. Καθώς η μέθοδος αυτή συνεχώς γίνεται πιο περίπλοκη με την προσθήκη κι άλλων τεχνικών όπως είναι η αποτέφρωση ή η τήξη της τέφρας, γίνεται η υπόθεση ότι η περιπλοκότητα αυτή είναι αναγκαία για την επεξεργασία απορριμμάτων πιο σύνθετων και λιγότερο ομοιογενών. Για παράδειγμα, τα συστήματα που χρησιμοποιούν στο δεύτερο στάδιο την αποτέφρωση στοχεύουν στην μεγιστοποίηση της ανάκτησης ενέργειας χωρίς να χρειάζεται προηγουμένως ο καθαρισμός των απαερίων. Αντίθετα, ο συνδυασμός της τήξης της τέφρας οδηγεί στην σταθεροποίηση του στερεού υπολείμματος με σκοπό την μεγιστοποίηση του δυναμικού βαθμού ανακύκλωσης των απορριμμάτων μέσω της διαδικασίας. (Williams, 2005)

#### **4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Διάφορες μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε όλο τον κόσμο έχουν δείξει ότι η αεριοποίηση είναι η πιο αποτελεσματική και καθαρή μέθοδος μετατροπής αστικών απορριμμάτων σε ενέργεια. Τα κριτήρια που λήφθηκαν υπ' όψιν είναι η αποδοτικότητα στην μετατροπή

ενέργειας, το κόστος ανά μονάδα ενέργειας που παράγεται και η θετική επίδραση στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα (Willson, 2014):

- Η αεριοποίηση είναι πιο αποδοτική από την αποτέφρωση κατά 18%.
- Η αεριοποίηση είναι πιο καθαρή από την αποτέφρωση. Οι αέριες εκπομπές είναι λιγότερες. Υπάρχουν λιγότερα αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του άνθρακα, οξειδία αζώτου και θείου. Επίσης, το απαέριο έχει μικρότερες συγκεντρώσεις ρύπων. Οι ρύποι είναι λιγότεροι είτε αναφερόμαστε ανά τόνο απορριμμάτων που επεξεργάζονται είτε ανά MWh που παράγεται.
- Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής υλικών που να μπορούν να διατεθούν στην αγορά (όπως η τέφρα που κινδυνεύει λιγότερο από διαρροές σε σχέση με την τέφρα της αποτέφρωσης).
- Παράγονται λιγότερες, αν όχι μηδενικές, διοξίνες και φουράνια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η πυρόλυση παρότι θεωρείται μια μέθοδος επεξεργασίας των απορριμμάτων έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι κατάλληλη για μεγάλης κλίμακας χρήση για λόγους που έχουν να κάνουν με την θερμική αποδοτικότητα και το περιβάλλον. Παρ' όλο που η αρχική αντίδραση της πυρόλυσης και της αεριοποίησης είναι η ίδια, οι υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στην αεριοποίηση κάνουν τις αντιδράσεις πιο ενεργητικές σε σχέση με αυτές στην πυρόλυση και έτσι το απαέριο syngas είναι πιο καθαρό. (Willson, 2014)

Ωστόσο, από οικονομικής άποψης η αεριοποίηση ίσως να μην είναι και τόσο κατάλληλη για την επεξεργασία των απορριμμάτων. Αυτό είναι λογικό εάν σκεφτεί κανείς ότι είναι μια περίπλοκη μέθοδος σε σχέση με την αποτέφρωση η οποία ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί στο μέγιστο δυνατό σημείο της. Βέβαια, υπάρχει και η άποψη ότι λόγω της πιο καθαρής τέφρας που παράγεται από μια μονάδα αεριοποίησης σε σχέση με της αποτέφρωσης, το κόστος μπορεί να μειώνεται σε αυτό το κομμάτι. Τελικά, η αεριοποίηση είναι η πιο ακριβή θερμική μέθοδος από άποψη λειτουργία και συντήρησης. Ο λόγος είναι ότι τα απορρίμματα που εισέρχονται έχουν αυστηρές προδιαγραφές στο μέγεθός τους και έτσι απαιτείται η προεπεξεργασία τους. Αντίθετα, στην αποτέφρωση τα απορρίμματα μπορούν να επεξεργαστούν χωρίς προτού να είναι αναγκαία η μείωση του μεγέθους τους. Ως εκ τούτου το λειτουργικό κόστος είναι λιγότερο. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι το απλό σύστημα καθαρισμού των απαερίων που απαιτείται στην αεριοποίηση μειώνει το αρχικό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης.

## **5.ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ**

### **ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

#### **5.1 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ**

Το κύριο πλεονέκτημα της αποτέφρωσης των απορριμμάτων είναι η δυνατότητα χρήσης τους ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Η αποτέφρωση, οπότε, μπορεί να έχει δύο θετικά: την μείωση των εκπομπών μεθανίου από τους χώρους ταφής των απορριμμάτων και την ελάττωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Και τα δύο αυτά δεδομένα οδηγούν στην συνολική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου βοηθώντας ως εκ τούτου στην αντιμετώπιση ενός σημαντικού περιβαλλοντικού προβλήματος. (World Bank, 1999) Η αποτέφρωση είναι μια εξώθερμη αντίδραση που παράγει θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής μεταφέρεται στα απαέρια. (Williams, 2005)

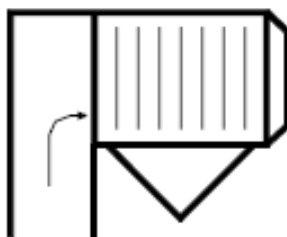
Η ανάκτηση της ενέργειας μέσα από τα απαέρια είναι δυνατή λόγω του ότι προτού περάσουν στο σύστημα καθαρισμού πρέπει να κρυώσουν. Τα απαέρια «βγαίνουν» από τον θάλαμο αποτέφρωσης έχοντας θερμοκρασία 1000-1200 °C. Η θερμοκρασία τους πρέπει να πέσει στους 200°C ή και λιγότερο προτού αυτά εισέλθουν στο σύστημα καθαρισμού. Η ψύξη πραγματοποιείται μέσα σε ένα λέβητα ο οποίος στις σύγχρονες εγκαταστάσεις είναι αναπόσπαστο τμήμα τους. Παλαιότερα όταν δε συνέβαινε ανάκτηση της ενέργειας, η ψύξη γινόταν με την έγχυση αέρα ή νερού. Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανακτάται ως ατμός ή ζεστό νερό. Ο λέβητας αποτελείται από ένα σύνολο χαλύβδινων αγωγών μέσα στους οποίους ρέει το νερό. Ο τύπος λέβητα που διαθέτει τοιχώματα με τρεχούμενο νερό συνήθως είναι κατασκευασμένος ενιαία με τον θάλαμο αποτέφρωσης. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες δέσμες αγωγών βρίσκονται σε άλλον θάλαμο. Στην αρχή τα αέρια περνάνε από το στάδιο της υπερθέρμανσης (superheater). Το στάδιο αυτό επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας όταν υπάρχουν υψηλότερες θερμοκρασίες. Στην συνέχεια, υπάρχει ο αποστακτήρας (evaporator) ο οποίος λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τέλος, ύστερα από τον αποστακτήρα, είναι πιθανό να υπάρχει και ένα σύστημα εξοικονομητή (economizer), δηλαδή ένα σύστημα μεταφοράς θερμότητας, το οποίο θα ζεσταίνει νερό σε μια άλλη δεξαμενή για την παραγωγή περαιτέρω ζεστού νερού προτού τα αέρια εισέλθουν στο σύστημα καθαρισμού. Η φορά μετακίνησης του νερού ή ατμού μέσα στους αγωγούς είναι αντίθετη από αυτή των αερίων. Το νερό μετακινείται από τον εξοικονομητή προς τον αποστακτήρα και τέλος περνάει από τον υπερθερμαντήρα. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή όλο και πιο ζεστού ατμού ή νερού. Οι παραγόμενοι ατμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας που θα διανεμηθεί ή θα χρησιμοποιηθεί από την ίδια την μονάδα. Δεν είναι απαραίτητο να παράγονται και ηλεκτρισμός και θερμότητα καθώς για να αποφασιστεί τι είναι προτιμότερο πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν διάφοροι παράγοντες. Ο τύπος του λέβητα που αναφέρθηκε παραπάνω



δεν είναι ο μοναδικός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζονται κι άλλοι τύποι λέβητων. (World Bank, 1999; Williams, 2005)

Τα παραπάνω γενικά στοιχεία γίνονται πιο ειδικά χωρίζοντας τους λέβητες σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας: (World Bank, 1999)

- Λέβητας που παράγει ζεστό νερό. Ο λέβητας αυτός είναι αρκετά συνηθισμένος και απλός στον σχεδιασμό και την λειτουργία του. Πιθανό πρόβλημα που μπορεί να εμφανίσει είναι η διάβρωση λόγω των απαερίων. Το ζεστό νερό που παράγεται έχει συνήθως θερμοκρασία από 110°C-160°C. Μπορεί να παραχθεί και νερό με υψηλότερη θερμοκρασία ανάλογα με την πίεση στην οποία λειτουργεί ο λέβητας. Η αποδοτικότητα του λέβητα αυτού μπορεί να φτάσει το 80%. Η ανάκτηση περιορίζεται από την χαμηλή θερμοκρασία του νερού που επιστρέφει. Το σχετικά χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο του ζεστού νερού περιορίζει τη χρήση του. Συνήθως χρησιμοποιείται μέσω ενός συστήματος διανομής για την θέρμανση κατοικιών και δημοσίων κτηρίων. Σε περίπτωση που η χρήση αυτή δεν είναι δυνατή συνδέεται με μια μονάδα ψύξης για την ψύξη των αερίων προτού αυτά εισέλθουν στο τμήμα καθαρισμού. Αυτός ο τρόπος είναι ο πιο οικονομικός για την ψύξη των απαερίων.

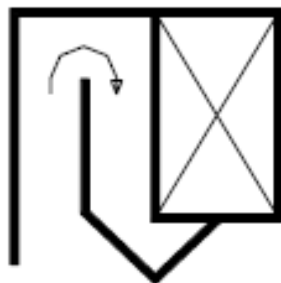


Hot Water Boiler

Εικόνα 24: Λέβητας που παράγει ζεστό νερό

- Λέβητας χαμηλής πίεσης που παράγει ατμό. Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσεται και ο λέβητας με τις σωλήνες νερού στα τοιχώματα που περιγράφηκε παραπάνω. Ο λέβητας αυτός είναι πιο συνηθισμένος σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει ένα σύστημα διανομής θερμότητας για να την διανομή του ζεστού νερού. Η λειτουργία του είναι απλή όπως και στην παραπάνω περίπτωση, αν και ο σχεδιασμός πρέπει να είναι πολύ προσεχτικός λόγω του ότι τα απαέρια είναι πολύ διαβρωτικά. Ανάλογα με την πίεση στην οποία λειτουργεί ο λέβητας αλλά και την έκταση του τμήματος της υπερθέρμανσης, ο ατμός που παράγεται μπορεί να έχει θερμοκρασία 120°C-250°C. Για παράδειγμα, για την παραγωγή ατμού με θερμοκρασία 210°C χρειάζεται πίεση έως 20bar που θεωρείται αρκετά χαμηλή. Επίσης, είναι πιθανό να χρειάζεται και περαιτέρω θέρμανση του ατμού ανάλογα με το πόσο κοντά είναι οι τελικοί

αποδέκτες. Θα ήταν καλύτερο εάν τα εργοστάσια που επεξεργάζονται τον ατμό και τα οποία θα ήταν οι τελικοί αποδέκτες μιας τέτοιας μορφής ενέργειας ήταν κοντά στην μονάδα αποτέφρωσης για την αποφυγή μεγάλων απωλειών θερμότητας αλλά και για να γλιτώσουν τα έξοδα για ακριβούς σωλήνες μεταφοράς.

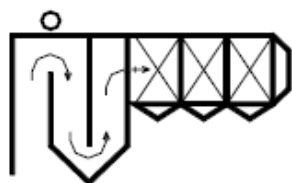


LP Steam Boiler

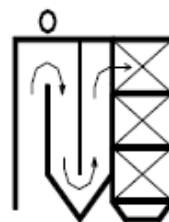
Εικόνα 25: Λέβητας χαμηλής πίεσης που παράγει ατμό

- Λέβητας υψηλής πίεσης που παράγει ατμό. Σε αντίθεση με τις πιο πάνω κατηγορίες, ο τύπος αυτός λέβητα απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή στον σχεδιασμό και στη λειτουργία, ενώ χρειάζεται και μεγαλύτερο χώρο. Ο λέβητας αυτός είναι πιο μεγάλος καθώς αποτελείται από διαφορετικά μέρη. Αρχικά, τα απαέρια εισέρχονται στο τμήμα της ακτινοβολίας (radiation part), περνάνε στο τμήμα της υπερθέρμανσης (superheater) όπου μεταφέρουν θερμότητα στους ατμούς και τέλος οδηγούνται στον εξοικονομητή (economizer), δηλαδή μια συσκευή που έχει σχεδιαστεί να κάνει ενεργειακά πιο αποδοτική μια μηχανή ή μια εγκατάσταση, όπου τελικά πέφτει η θερμοκρασία τους περίπου στους 160°C-220°C. Ύστερα, τα απαέρια κατευθύνονται προς το σύστημα καθαρισμού. Το πρώτο μέρος του λέβητα πρέπει να έχει ύψος 30-40 μέτρα. Η διάταξη του λέβητα μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε καθ' ύψος. Η οριζόντια απαιτεί περίπου 20 μέτρα περισσότερο χώρο στην διαμήκη διεύθυνση. Ωστόσο παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την καθ' ύψος. Καταρχάς είναι πιο εύκολος ο καθαρισμός της θερμαινόμενης επιφάνειας. Επίσης, μειώνεται ο κίνδυνος φραγής της διάταξης των αγωγών λόγω των σωματιδίων. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης στήριξης έξω από την επιφάνεια στην οποία περνάει το αέριο. Η διάταξη του λέβητα πρέπει να καθοριστεί αρκετά νωρίς καθώς επηρεάζει το κόστος κατασκευής. (Branchini, 2015; World bank, 1999)

**a) Horizontal layout**



Steam Boiler



Steam Boiler

**b) Vertical layout**

**Εικόνα 26:** Λέβητας υψηλής πίεσης που παράγει ατμό σε α)οριζόντια και β)κατακόρυφη διάταξη

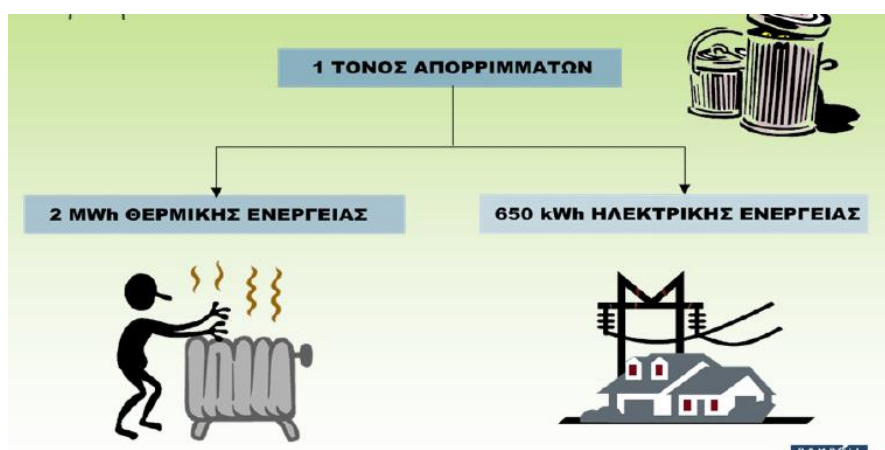
Η ανάκτηση ενέργειας μπορεί να είναι αισθητά μεγαλύτερη σε ένα λέβητα τέτοιου τύπου. Ωστόσο, ο μεγάλος βαθμός ανάκτησης και η αξιοπιστία του είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη εξ' αιτίας των διαβρωτικών απαερίων. Η λειτουργία ενός λέβητα είναι καλύτερη όταν γίνεται σε συνδυασμό με τη χρήση θαλάμου αποτέφρωσης καθώς μπορούν έτσι να περιοριστούν διάφορα προβλήματα στην λειτουργία όπως είναι η διάβρωση, η ρύπανση, η ανεπαρκής διαθεσιμότητα, τα μικρά διαστήματα συνεχούς λειτουργίας και η εκτεταμένη επισκευή και διατήρηση. Το πρόβλημα της διάβρωσης, που είναι και το πιο σημαντικό, μπορεί να περιοριστεί με την επίβλεψη συγκεκριμένων κριτηρίων σχεδιασμού. Για παράδειγμα, ο λέβητας θα πρέπει να λειτουργεί σε μεσαίες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Επίσης, είναι σημαντικό οι λέβητες που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων να μην είναι σχεδιασμένοι με τον ίδιο τρόπο όπως οι λέβητες εγκαταστάσεων καύσης άνθρακα, πετρελαίου ή φυσικού αερίου λόγω της διαφορετικής σύστασης του καυσίμου και άρα και των απαερίων.

Η διαδικασία ανάκτησης ενέργειας από έναν λέβητα είναι γνωστή ως διαδικασία του Rankine. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την εξαγωγή της ενέργειας σε μορφή ηλεκτρισμού, ατμού ή θερμού νερού αλλά και σε συνδυασμό αυτών. Η ενέργεια στον ατμό μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με την χρήση μια τουρμπίνας ή μιας γεννήτριας καθώς δεν είναι πάντα εύκολο να διανεμηθεί στα κατάλληλα εργοστάσια που τον χρησιμοποιούν. Η θερμότητα που πιθανόν να παραχθεί διατίθεται είτε σε δίκτυο θέρμανσης είτε, όπως και στην περίπτωση λέβητα χαμηλής πίεσης, για την ψύξη των απαερίων προτού εισέλθουν στο σύστημα καθαρισμού. Η παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού επιτρέπει την ανάκτηση μέχρι και του 35% της διαθέσιμης ενέργειας μέσα στα απορρίμματα. Η επιλογή αυτή είναι θεμιτή όταν οι τελικοί αποδέκτες της ενέργειας είναι σχετικά μακριά και δεν υπάρχουν διαθέσιμα εργοστάσια για την χρήση ατμού. Η θερμότητα που πιθανό να δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δε θεωρείται κατάλληλη για ανάκτηση λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Από την άλλη, η παραγωγή τόσο ηλεκτρισμού

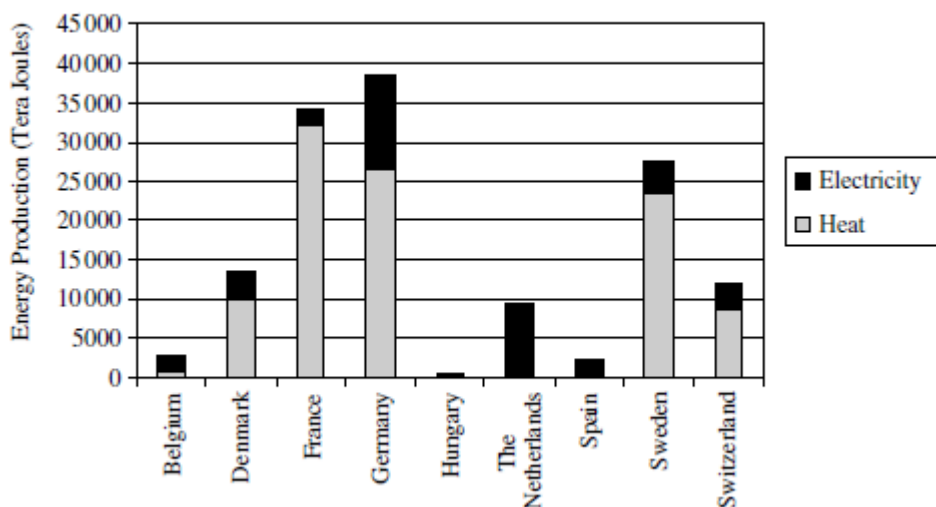
όσο και θερμότητας μπορεί να οδηγήσει στην ανάκτηση μέχρι και του 85% της διαθέσιμης ενέργειας των απορριμμάτων (20-25% ηλεκτρισμός και 60-65% θερμότητα). Τέλος, υπάρχει και η πιθανότητα παραγωγής ατμού και ηλεκτρισμού. Σε αυτή την περίπτωση η παραγωγή του ηλεκτρισμού είναι μεταξύ του ποσοστού από την ανάκτηση μόνο ηλεκτρικής ενέργειας (35%) και αυτό της ανάκτησης θερμότητας και ηλεκτρισμού (20%). Η παραγωγή ατμού απαιτεί την ύπαρξη εργοστασίων για την επεξεργασία του κοντά στη μονάδα αυτή. (Branchini, 2015; World bank, 1999)

Βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι λέβητες είναι η διάβρωση. Μέσα από αυτούς διέρχονται αέρια τα οποία είναι πολύ διαβρωτικά και περιέχουν μεγάλες ποσότητες σε αιωρούμενα σωματίδια, αλλά και ενώσεις που προέρχονται από την καύση συγκεκριμένων υλικών, όπως το χαρτί, το πλαστικό κλπ. Για να αποφευχθεί η διάβρωση πρέπει να υπάρχει αυστηρός έλεγχος της θερμοκρασίας, τόσο για τις υψηλές όσο και για τις χαμηλές θερμοκρασίες. Η διάβρωση από υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 450°C) αφορά τους αγωγούς νερού στο πρώτο στάδιο του υπερθερμαντήρα. Είναι πιθανές οι αντιδράσεις μεταξύ του χάλυβα των αγωγών, των αποθέσεων των αγωγών, των αποθέσεων σκωρίας και των απαερίων. Ο βαθμός της διάβρωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την παρουσία ουσιών με χαμηλόν σημείο τήξης, όξινων αερίων και την φύση του χάλυβα των αγωγών. Η διάβρωση λόγω χαμηλών θερμοκρασιών συμβαίνει εξ' αιτίας της συμπύκνωσης των όξινων αερίων που πραγματοποιείται ύστερα από την πτώση της θερμοκρασίας κάτω από το σημείο δρόσου. Γι' αυτό το λόγο, θερμοκρασίες άνω των 200°C είναι υποχρεωτικές. (Williams, 2005)

Από μια μονάδα αποτέφρωσης απορριμμάτων είναι δυνατόν να παραχθεί 0,3-0,7 MWh από έναν τόνο εισερχόμενων απορριμμάτων. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης, την θερμογόνο αξία των απορριμμάτων, τις παραμέτρους του ατμού και την αποδοτικότητα του συστήματος χρήσης του ατμού. (Williams, 2005)



Εικόνα 27: Ανάκτηση ενέργειας μέσω της αποτέφρωσης των απορριμμάτων



Εικόνα 28: Παραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας στην Ευρώπη (2004)

## 5.2 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Όπως έχει παρουσιαστεί και πιο πριν η ανάκτηση της ενέργειας με αυτές τις τεχνικές μπορεί να συμβεί μέσω της χρήσης του παραγόμενου αερίου ή syngas. Πρέπει να αναφερθεί ότι η θερμογόνος αξία του αερίου που προέρχεται από τις διαδικασίες της πυρόλυσης και της αεριοποίησης είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με το φυσικό αέριο (για το φυσικό αέριο η θερμογόνος αξία είναι  $38 \text{ MJ/Nm}^3$  ενώ για το syngas από την αεριοποίηση  $4\text{-}15 \text{ MJ/Nm}^3$ ). Η πιο συνηθισμένη διαδικασία για την ανάκτηση ενέργειας από αυτό είναι η αποτέφρωσή του σε λέβητα και η παραγωγή ατμών. Στη συνέχεια οι ατμοί μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας εάν υπάρχει ζήτηση από την αγορά. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην αποδοτικότητα σε σχέση με την διαδικασία της αποτέφρωσης. Εάν χρησιμοποιούνται και λέβητες που εκμεταλλεύονται την θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρισμού, η συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα της μονάδας βελτιώνεται. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013) Βέβαια, το αρχικά παραγόμενο αέριο περιέχει πίσσα, υδρογονάνθρακες και αέρια υπολείμματα άνθρακα οπότε και ο λέβητας ή ο φούρνος που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι ανθεκτικός σε αυτές τις προσμίξεις αλλιώς υπάρχει αυξημένος κίνδυνος διάβρωσης. Επίσης, η ετερογένεια που παρουσιάζουν τα αστικά απόβλητα προκαλεί την παραγωγή διαφόρων άλλων αερίων και πρέπει ο λέβητας να είναι σχεδιασμένος ώστε να μην επηρεάζεται από αυτά. (Williams, 2005) Για να μειωθεί το κόστος παραγωγής ενέργειας θα πρέπει η μονάδα επεξεργασίας να είναι κοντά σε μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού για να μεταφέρεται εκεί το αέριο χωρίς να γίνεται η ανάκτηση ενέργειας μέσα στην μονάδα. Βέβαια η ήδη υπάρχουσα μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίσει τα προβλήματα συγκέντρωσης διάφορων ρύπων που υπάρχουν μέσα στο αέριο. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

Εκτός από την χρήση του παραγόμενου αερίου σε λέβητες για την παραγωγή ενέργειας, έχει μελετηθεί η χρήση του σαν καύσιμο σε μηχανές που λειτουργούν με αέριο. Το αέριο αυτό παραγόμενο από μια μονάδα αεριοποίησης που έχει σχεδιαστεί και λειτουργεί πολύ καλά ή ύστερα από περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να είναι κατάλληλο για την χρήση του σε τέτοιες μηχανές. Η εμπορική χρήση τέτοιων μηχανών είναι ακόμα σε εμβρυακό στάδιο και τα στοιχεία είναι πολύ περιορισμένα. Ωστόσο, είναι βέβαιο ότι το αέριο θα πρέπει να καθαριστεί και να ψυχθεί προτού χρησιμοποιηθεί σε μια τέτοια μηχανή. Βέβαια, η χρήση μιας μηχανής ή τουρμπίνας με αέριο θα μπορούσε να αυξήσει την αποδοτικότητα της παραγωγής ηλεκτρισμού. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

Το αέριο syngas εκτός από την καύση του ίδιου για την παραγωγή ενέργειας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σαν πηγή υδρογόνου, το οποίο θα μπορούσε να είναι χρήσιμο και για την παραγωγή ενέργειας αλλά και για την χρήση του σαν καύσιμο οχημάτων. Με αυτό τον τρόπο πιστεύεται ότι αυξάνεται η αποδοτικότητα της ανάκτησης και ταυτόχρονα μειώνονται οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα σε σχέση με την σύγχρονη χρήση του φυσικού αερίου ή της ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή αερίου. Βέβαια, θα πρέπει να υπάρχει αρκετή επεξεργασία και καθαρισμός πριν από την χρήση σε παραγωγή ενέργειας ή σαν καύσιμο κίνησης. Η εναλλακτική αυτή ακόμα είναι προς διερεύνηση καθώς ακόμα δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές για την χρήση του υδρογόνου. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

## **6.ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ** **ΚΑΙ** **ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

### **6.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ**

Τα ζητήματα τα οποία κυρίως απασχολούν τους επιστήμονες αλλά και τους απλούς πολίτες για τις συνέπειές τους είναι οι εκπομπές των καυσαερίων της αποτέφρωσης καθώς και η διαχείριση της εναπομένουσας τέφρας. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζονται οι αρνητικές συνέπειές τους τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την μείωση των αρνητικών συνεπειών των καυσαερίων με σκοπό την ευρύτερη χρήση της τεχνολογίας της καύσης των απορριμμάτων χωρίς κίνδυνο για την υγεία και το περιβάλλον. Επίσης, σημαντική εξέλιξη έχει και ο τρόπος διαχείρισης της τέφρας καθώς μπορεί να είναι πολύ επιβλαβής για το περιβάλλον εάν δεν διατεθεί με προσοχή.

Ανάλογα με τη σύσταση και την ποιότητα των αστικών απορριμμάτων, από τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, εκτός από τα τυπικά προϊόντα της καύσεως, όπως ο ατμός, το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και σωματίδια, παράγονται και άλλες χημικές ενώσεις όπως υδροχλώριο, υδροφθόριο, διοξίνες, φουράνια, βαρέα μέταλλα, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες κ.ά. Κάποιες από αυτές τις ενώσεις είναι πολύ επικίνδυνες για την υγεία των ανθρώπων (όπως οι διοξίνες και τα φουράνια) και έχουν χαρακτηριστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ως «συμβάλλουσες» (promoters) σε διαδικασίες καρκινογένεσης σε ανθρώπους. Οι ρύποι αυτοί είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης που έχει γίνει κατά την αποτέφρωση. Αιτίες για την μη τέλεια καύση είναι η διάρκεια και η θερμοκρασία της διαδικασίας της αποτέφρωσης καθώς και το επιπλέον οξυγόνο που πιθανόν να υπάρχει μέσα στον θάλαμο. (Κατσανεβάκης κ.ά., 2010; National Research Council, 2000; Μαυρόπουλος, 2008)

Ο πρωταρχικός στόχος για τον περιορισμό των εκπομπών των ρύπων λόγω ατελούς καύσης είναι η λειτουργία του αποτεφρωτή σε όσο το δυνατόν καταλληλότερες συνθήκες. Αυτό σημαίνει τη λειτουργία του στις απαραίτητες θερμοκρασίες (από 750°C-1000°C), την παροχή της απαραίτητης ποσότητας αέρα για την καύση μέσα στον θάλαμο, την παραμονή των αερίων μέσα στον θάλαμο για όσο χρόνο είναι απαραίτητο, την συνεχή ανάμιξη των αερίων μέσω διάφορων τεχνικών όπως είναι η προσθήκη του δευτερεύοντος αέρα και τέλος τη συνεχή ανάμιξη των απορριμμάτων κατά τη διάρκεια της καύσης. (Niessen, 2010)

Κύριοι ρύποι που προκαλούν ανησυχία και πρέπει να ελέγχονται:

- Αιωρούμενα σωματίδια: Η ποσότητα και η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων που εξέρχονται από την μονάδα αποτέφρωσης εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων απορριμμάτων και από τον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας της μονάδας. Η δημιουργία των σωματιδίων αυτών είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης που συνήθως πραγματοποιείται σε αποτεφρωτές απορριμμάτων. Η καλύτερη λύση για τον περιορισμό των σωματιδίων είναι η λειτουργία της μονάδας σε θερμοκρασίες που να εξασφαλίζουν την καύση όλων των αντικειμένων. (Niessen, 2010) Παρ' όλο που το μεγαλύτερο μέρος του μη εύφλεκτου και ανόργανου τμήματος των ΑΣΑ θα αποτελέσει την εναπομένουσα ή υπολειμματική τέφρα, μια μικρή ποσότητα θα δημιουργηθεί κατά την αποτέφρωση και θα ενσωματωθεί με το αέριο που παράγεται. Περισσότερο από το 99% αυτών των σωματιδίων «πιάνονται» από τον έλεγχο του αερίου και δεν απελευθερώνονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα σωματίδια αυτά είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα εξ' αιτίας του μικρού τους μεγέθους (από μικρότερα του 1μm έως 75μm) και είναι αρκετά εύκολο με την αναπνοή να εισέλθουν στους πνεύμονες του ανθρώπου. Ειδικά αυτά με μέγεθος μικρότερο των 10μm έχει αποδειχθεί ότι είναι υπεύθυνα για ασθένειες όπως η βρογχίτιδα, η υπολειτουργία των πνευμόνων, αναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο όταν η έκθεση σε αυτά είναι συνεχής. Κάποια από αυτά είναι όξινα αέρια, μέταλλα και τοξικές οργανικές ουσίες που είναι εύκολο να απορροφηθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό. Παρόλα αυτά έχει αποδειχθεί ότι η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια προερχόμενα από εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων είναι λιγότερο επικίνδυνα σε σχέση με την έκθεση σε σωματίδια από άλλες πηγές.

Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση των σωματιδίων αυτών μέσα στο αέριο που παράγεται εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των απορριμμάτων που εισέρχονται, τον τρόπο τροφοδότησής τους, την ποσότητα και την διανομή του αέρα μέσα στον θάλαμο. Για παράδειγμα, οι θάλαμοι με περίσσεια αέρα δημιουργούν περισσότερα σωματίδια σε σχέση με αυτούς που λειτουργούν σε συνθήκες έλλειψης αυτού εξ' αιτίας των χαμηλών ταχυτήτων κίνησης του αέρα στην δεύτερη περίπτωση. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005) Τα βαρέα μέταλλα τα οποία θεωρούνται επικίνδυνα και πρέπει να ελέγχονται και να απομακρύνονται. Αυτά μπορεί να είναι αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο και μόλυβδος. Είναι επίσης πολύ πιθανό να υπάρχει και υδράργυρος με τη μορφή υδρατμών, κάτι το οποίο είναι ανεξάρτητο από τον τύπο του αποτεφρωτή. Τα μέταλλα αυτά είναι συχνά λόγω του ότι συναντιούνται στα ακατέργαστα απορρίμματα που εισέρχονται. Για παράδειγμα, ο μόλυβδος μπορεί να υπάρχει εξαιτίας των μπιγιών με βάση αυτό, ο υδράργυρος και το κάδμιο από τις μπαταρίες κλπ. Τα μέταλλα είναι εύκολο να απομακρυνθούν μέσω του συστήματος ελέγχου των σωματιδίων. Αυτό που είναι αρκετά ασταθές και δύσκολο στην απομάκρυνσή του είναι ο υδράργυρος. Για να μπορέσει να γίνει με επιτυχία αυτό, απαιτείται η έγχυση ενεργού άνθρακα ο οποίος βοηθάει στην απορρόφηση του υδραργύρου από τα σωματίδια τα οποία είναι πιο εύκολο να απομακρυνθούν. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005)



- Κατά τη διάρκεια της καύσης παράγονται: υδροχλωρικό οξύ (HCl), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) καθώς και υδροφθόριο (HF), υδροβρώμιο (HBr) και τριοξείδιο του θείου σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η ποσότητα των δύο πρώτων και συνηθέστερων αερίων έχει άμεση σχέση με την ποσότητα του χλωρίου και του θείου που περιέχεται στα απορρίμματα, η οποία μπορεί να έχει διαφορές ανάλογα με την εποχή και τον τόπο. Το χλώριο συναντιέται κυρίως στο χαρτί, στο φαγητό και στα πλαστικά. Το θείο περιέχεται σε ασφαλτικά, σε γυψοσανίδες και σε λάστιχα. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Μια άλλη ένωση που παράγεται και θεωρείται ρυπογόνα είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Αυτό δημιουργείται ύστερα από τη ημιτελή οξειδωση του άνθρακα που περιέχεται στα απορρίμματα, δηλαδή δεν οξειδώνεται αρκετά για να μετατραπεί σε CO<sub>2</sub>. Όταν η ποσότητα του μονοξειδίου είναι αρκετά υψηλή συμπεραίνεται ότι τα απορρίμματα δεν έχουν παραμείνει αρκετή ώρα σε υψηλή θερμοκρασία και υπό την παρουσία αρκετής ποσότητας οξυγόνου ή ότι δεν πραγματοποιείται η απαραίτητη ανάμιξη των αερίων έτσι ώστε το CO να μετατραπεί σε CO<sub>2</sub>. Στα πρώτα στάδια της καύσης σε μια κλίνη, παραδείγματος χάριν, αρχικά παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και υδρογονάνθρακες που δεν έχουν καεί. Στην συνέχεια απαιτείται η προσθήκη περισσότερου αέρα για να μπορέσουν αυτά τα προϊόντα να μετατραπούν σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Όταν όμως ο αέρας που προστίθεται είναι πολύς, είναι πιθανό να «πέσει» η θερμοκρασία του ήδη υπάρχοντος αερίου με αποτέλεσμα να καθυστερήσει η οξειδωση. Από την άλλη πλευρά, η προσθήκη λιγότερου από τον αναγκαίο αέρα, αυξάνει τις πιθανότητες για μερική ανάμιξη των αερίων ενώ ταυτόχρονα είναι πιο πιθανή η διαφυγή υδρογονανθράκων που δεν έχουν υποστεί καύση από τον θάλαμο. Επίσης σε αυτή την περίπτωση αυξάνονται και οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα. Λόγω του ότι η ποσότητα του οξυγόνου, η δυνατότητα του αέρα να κυκλοφορεί σε όλο το θάλαμο και η δυνατότητα καλής ανάμιξης διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του αποτεφρωτή, η ποσότητα του μονοξειδίου διαφέρει κι αυτή. Η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα είναι ένας άμεσος δείκτης της αποτελεσματικότητας της καύσεως, ενώ μπορεί να δείξει κάποια αστάθεια ή εάν κάτι δε λειτουργεί σωστά κατά τη λειτουργία της αποτεφρωσης. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Επίσης, πιθανό είναι να εμφανιστούν και διάφορα οξειδία του αζώτου. Αυτά παράγονται σε κάθε διαδικασία καύσεως στην οποία χρησιμοποιείται ο αέρας ως πηγή οξυγόνου. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι η ύπαρξη του αζώτου τόσο στο καύσιμο όσο και στον αέρα της καύσεως. Κυρίως παράγεται το οξείδιο του αζώτου (NO), ενώ το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) εμφανίζονται σε μικρότερες ποσότητες. Ο συνδυασμός αυτών των τριών προϊόντων αναφέρεται ως NO<sub>x</sub>. Η παραγωγή αυτών πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της καύσεως σε χαμηλές θερμοκρασίες (μικρότερες των 1090°C). Η μεγαλύτερη ποσότητα του αζώτου στα αστικά στερεά απόβλητα είναι στα ακρυλικά πλαστικά. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

- Τέλος, διάφορες οργανικές ενώσεις υπάρχουν στα αστικά απόβλητα οι οποίες μπορούν όμως να παραχθούν και κατά τη διάρκεια της καύσεως και ύστερα από αυτήν. Επίσης, κάποιες ενώσεις μπορεί να βρίσκονται κατά την φάση της εξάτμισης μέσα στο αέριο και ύστερα στη φάση της συμπύκνωσης να απορροφηθούν από τα στερεά. Οι οργανικές ενώσεις ελέγχονται τόσο μέσα στον αποτεφρωτή όσο και από τη συσκευή ελέγχου των ρύπων. Η έγχυση ενεργού άνθρακα μπορεί να βοηθήσει στην απορρόφηση κάποιων από αυτών των ενώσεων. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Σε μονάδες αποτέφρωσης αστικών στερεών απορριμμάτων είναι πιθανή και η ύπαρξη υδραργύρου και διοξινών αλλά σε μικρές ποσότητες. Η απομάκρυνσή τους επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό με την έγχυση ενεργού άνθρακα στα απαέρια. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

### **6.1.1 Τρόποι αντιμετώπισης**

Εάν μια μονάδα διαθέτει συνεχή παρακολούθηση των εκπομπών της, όπως οφείλει, θα φανεί ότι οι εκπομπές αυτές δεν είναι σταθερές και αλλάζουν από μέρα σε μέρα κατά τη διάρκεια του χρόνου. Από διάφορα δεδομένα μονάδων σε λειτουργία προκύπτει ότι κάποιοι ρύποι όπως είναι το HCl και το SO<sub>2</sub>, δεν έχουν μεγάλες αποκλείσεις λόγω του ότι ελέγχονται και απομακρύνονται με κάποιο σύστημα καθαρισμού. Ωστόσο, η ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων και των μετάλλων που ίσως να εμπεριέχονται σε αυτά είναι σίγουρο ότι θα διαφέρει. Γι' αυτό το λόγο, όταν ένας οδηγός θα θέτει ένα όριο που δεν πρέπει να ξεπερνιέται, ο σχεδιασμός πρέπει να γίνει έτσι ώστε το 95% (ή έστω το 90%) να μην ξεπερνάει το όριο αυτό.

Λόγω της επικινδυνότητας των εκπομπών αυτών τόσο για το περιβάλλον όσο και για την υγεία των ανθρώπων έχουν θεσπιστεί κανονισμοί οι οποίοι αναφέρουν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών για τους διάφορους τύπους αποτεφρωτών. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα είναι απαραίτητο να παρουσιάζονται τα στοιχεία για τις εκπομπές για να μπορέσει να γίνει ο έλεγχος. Επίσης, έχουν δημιουργηθεί οδηγίες, οι οποίες αναφέρουν διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά για την καλή λειτουργία και για τον σχεδιασμό νέων μονάδων αποτέφρωσης απορριμμάτων. Οι οδηγίες δεν είναι υποχρεωτικές στην εφαρμογή τους εφ' όσον τηρούνται οι κανονισμοί και τα όρια των εκπομπών. Ακόμα, σε κάποιες χώρες όπως είναι η Αμερική, όπου η καύση των απορριμμάτων εφαρμόζεται αρκετά χρόνια, υπάρχουν και οι «προϋποθέσεις για την καλή εφαρμογή της αποτέφρωσης» (Standards for Good Combustion Practice). Αυτές εφαρμόζονται σε όλους τους τύπους αποτεφρωτών και κυρίως αναφέρουν ότι η θερμοκρασία του θαλάμου πρέπει να είναι τουλάχιστον 870°C για να αρχίσει η είσοδος των απορριμμάτων και ότι τα αέρια προϊόντα της καύσης θα πρέπει να παραμένουν τουλάχιστον ένα δευτερόλεπτο σε θερμοκρασία 980°C και μεγαλύτερη για τα περισσότερα απορρίμματα ενώ αυτά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες από ενώσεις αλογόνων και είναι πιο δύσκολο να καταστραφούν πρέπει να παραμένουν τουλάχιστον δύο

δευτερόλεπτα σε θερμοκρασία 1090°C. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να υπάρχουν συσκευές παρακολούθησης για την καλή λειτουργία της μονάδας. Αυτές οι συσκευές θα πρέπει να καταγράφουν συνεχώς τις τιμές των εκπομπών κυρίως του μονοξειδίου του άνθρακα και ίσως των υδρογονανθράκων και του οξυγόνου έτσι ώστε να είναι σίγουρο ότι επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες για καλή καύση. Οι μετρήσεις των υπόλοιπων ρύπων γίνονται ανά περίπτωση όπου θεωρείται αναγκαίο. Τέλος, η μέτρηση της διαφάνειας είναι ένας τρόπος για την συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο της διαδικασίας της αποτέφρωσης καθώς και του συστήματος ελέγχου των ρύπων.

Σε κάθε περίπτωση, η συνεχής παρακολούθηση των εκπομπών, αυξάνει την αυτοπεποίθηση των πολιτών και των ιδιοκτητών ότι η μονάδα λειτουργεί σωστά και μέσα στα επιτρεπόμενα όρια. Παλιότερα, σε κάθε μονάδα υπήρχε ένα σύστημα μέτρησης της διαφάνειας το οποίο λειτουργούσε συνεχώς. Τώρα, λόγω του ότι οι ρύποι που εκπέμπονται είναι πολύ λιγότεροι, τα συστήματα αυτά δεν μπορούν να τους μετρήσουν και έτσι χρησιμεύουν μόνο για να δείξουν μια μη φυσιολογική κατάσταση. Πάντως, είναι ακόμα υποχρεωτικό να υπάρχουν συστήματα μέτρησης του μονοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τους διάφορους ρύπους που παράγονται από μια μονάδα αποτέφρωσης καθώς και τα επιτρεπόμενα όρια των εκπομπών. Όπως φαίνεται απαιτείται η απομάκρυνσή τους σε μεγάλο βαθμό. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, είναι απαραίτητη η χρήση πρόσθετων μηχανισμών εξυγίανσης των εκπομπών. (Quina et al, 2011)

Pollutant	Concentration in raw gas from boiler (mg/Nm <sup>3</sup> )	Max admissible at exhaust (mg/Nm <sup>3</sup> )	Removal efficiency required (%)
Fly Ash	1500 - 2000	10	99,9
HCl	300 - 2000	10	> 99
SO <sub>2</sub>	200 - 1000	5	99,5
NO <sub>x</sub>	200 - 500	70	86%
HF	2 - 25	1	96%
Hg	0.2 - 0.8	0.01	99%
Cd + other metals	2 -15	0.05	>99,5
Dioxins (ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	0.5 - 5	0.1	98%

Πίνακας 3: Επιτρεπόμενα όρια εκπομπών

**Σημείωση:** Η μονάδα μέτρησης της συγκέντρωσης mg/Nm<sup>3</sup> δηλώνει ότι οι μετρήσεις έγιναν σε «κανονικό» όγκο αερίου, δηλαδή υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας 0°C και πίεσης 1013mbar ή 101,3 kPa.

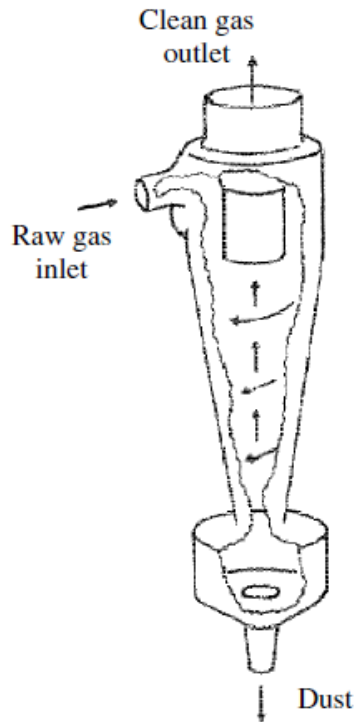
## 6.1.2 Συσκευές ελέγχου εκπομπών

### 6.1.2.1 Για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων:

Η επιλογή του καταλληλότερου μηχανισμού απομάκρυνσης σωματιδίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μέσα σε αυτούς είναι η ποσότητα των σωματιδίων μέσα στα απαέρια, ο μέσος όρος του μεγέθους τους, η κατανομή του μεγέθους τους, ο ρυθμός ροής και η θερμοκρασία των απαερίων, οι απαιτήσεις και τα όρια των εξερχόμενων ρύπων και άλλα στοιχεία από τον υπόλοιπο μηχανισμό καθαρισμού των αερίων. (Williams, 2005)

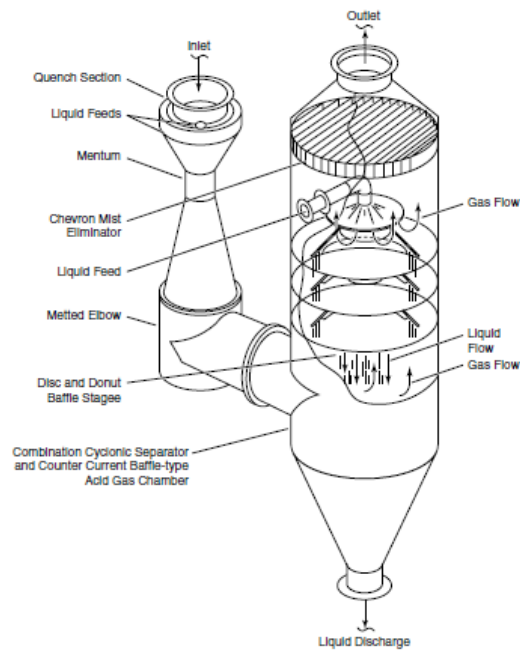
Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης σωματιδίων συγκρίνονται με βάση την αποτελεσματικότητά τους στην συλλογή σωματιδίων, δηλαδή το ποσοστό των εισερχόμενων σωματιδίων που συλλέγονται. Η αποτελεσματικότητα στη συλλογή εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων που πρέπει να απομακρυνθούν. Κάθε ομάδα μεγέθους έχει ξεχωριστή αποτελεσματικότητα, και για να μπορέσει να υπολογιστεί η συνολική αποτελεσματικότητα του μηχανισμού, καθώς και η συνολική ποσότητα των εκπομπών, απαραίτητη είναι μια κατανομή μεγέθους των εισερχόμενων σωματιδίων. Δηλαδή, πρέπει να πολλαπλασιαστεί η αποτελεσματικότητα της κάθε ομάδας με το ποσοστό αυτής επί του συνόλου των εισερχόμενων ρύπων. Τέλος, προσθέτοντας όλες αυτές τις ποσότητες θα έχει υπολογιστεί το σύνολο των εκπομπών.

- Διαχωριστές με κυκλώνα (cyclone separator): οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούν τις φυγόκεντρες δυνάμεις που επιτυγχάνονται καθώς τα αέρια αναγκάζονται να εισέλθουν εφαπτομενικά ή αξονικά μέσα στον κυκλώνα. Έτσι τα στερεά σωματίδια αναγκάζονται να ακολουθήσουν τους τοίχους και φεύγουν εκτός του ρεύματος του αερίου προς το κάτω μέρος του κυκλώνα όπου και συλλέγονται. Το ρεύμα αέρα, χωρίς τα μεγάλα σωματίδια που πλέον έχουν απομακρυνθεί, ακολουθεί άλλη πορεία προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής οδηγεί σταδιακά τα μικρότερα σωματίδια προς τα τοιχώματα και έτσι απομακρύνονται από τα απαέρια. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; Niessen, 2010)  
Οι κυκλώνες είναι χρήσιμοι για να συλλέγουν σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 100 μm και χρησιμοποιούνται ακόμα για να καθαρίσουν το ρεύμα του αερίου από τα μεγάλα σωματίδια προτού αυτό εισέλθει στους πύργους καθαρισμού (scrubbing towers) ή στις συσκευές ηλεκτροστατικής καθίζησης (electrostatic precipitators). Λόγω του ότι δεν μπορεί να απομακρύνει σωματίδια μικρότερης διαμέτρου δε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι απομακρύνει αυτά τα σωματίδια που θεωρούνται ρύποι για το περιβάλλον. Η ποσότητα των εκπομπών αφού τα απαέρια περάσουν από τον κυκλώνα είναι 500 mg/Nm<sup>3</sup>. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται, το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης και ο απλός τρόπος λειτουργίας του. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; Niessen, 2010; World Bank, 1999)



Εικόνα 29: Κυκλώνας

- Καθαριστής τύπου Ventouri (Ventouri Scrubber): οι καθαριστές αυτού του είδους έχουν την ικανότητα να απομακρύνουν σωματίδια με μικρή διάμετρο (0,5-5 $\mu$ m). Η συγκέντρωση σωματιδίων στις εκπομπές αφού διέλθουν από αυτούς είναι περίπου 100 mg/Nm<sup>3</sup> ανάλογα με τον σχεδιασμό. Οι καθαριστές αυτοί αποτελούνται από ένα τμήμα συγκλίνον αγωγού το οποίο ακολουθείται από ένα αποκλίνον στα οποία το ρεύμα του αερίου επιταχύνεται και επιβραδύνεται αντίστοιχα, ενώ ταυτόχρονα στο συγκλίνον τμήμα το ρεύμα ψεκάζεται με νερό. Καθώς το αέριο περνάει μέσα από το αποκλίνον τμήμα, η πίεση που είχε χαθεί, όταν αυτό βρισκόταν το συγκλίνον τμήμα, ανακτάται. Όταν η απώλεια της πίεσης γίνει μόνιμη πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανεμιστήρας ο οποίος θα μετακινεί τα αέρια μέσα στο σύστημα. Τα σταγονίδια νερού μετακινούνται με πολύ μικρότερη ταχύτητα απ' ότι το αέριο και χρειάζονται αρκετή ώρα για να διαπεράσουν τους αγωγούς. Έτσι γίνονται στόχοι για τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία περιέχονται στον αέρα. Εκτός από τα σωματίδια αυτά, τα σταγονίδια απορροφούν και όξινα αέρια όπως είναι το HCl και το HF. Καθώς το αέριο περνάει μέσα από τον αποκλίνον αγωγό αρχίζει να επιβραδύνει ενώ τα ήδη επιταχυμένα σταγονίδια νερού συνεχίζουν να απορροφούν σωματίδια, ενώ ταυτόχρονα ενώνονται σε μεγαλύτερες σταγόνες οι οποίες μπορούν να απομακρυνθούν από τους αγωγούς, συνήθως με το σύστημα ενός κυκλώνα. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005)



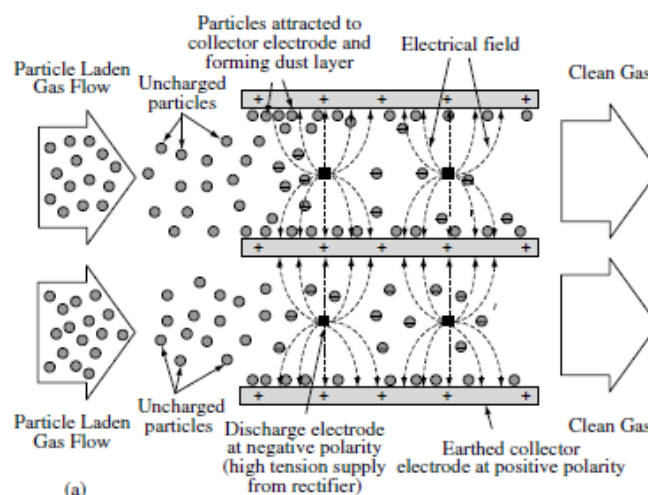
**Εικόνα 30: Ventouri scrubber**

Η αποτελεσματικότητα αυτού του τύπου καθαριστή να απομακρύνει τα σωματίδια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαφορά της ταχύτητας με την οποία εισέρχεται ο αέρας και αυτής την οποία έχει μέσα στον «λαιμό». Η ταχύτητα αυτή εξαρτάται, με τη σειρά της, με τις αντίστοιχες διατομές αγωγού και «λαιμού». Συνήθως, οι καθαριστές αυτοί ακολουθούνται από καθαριστές υγρής πλύσης (wet scrubbers) ή πύργους απορρόφησης (absorbing towers) οι οποίοι έχουν είτε τη μορφή πύργου είτε πλάκας. Συνήθως έχουν διαχωριστές σταγονιδίων για να απομακρύνουν τα σταγονίδια που παρασύρονται από το αέριο. Προτού εισέλθει το αέριο μέσα στον καθαριστή είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί μια άλλη κατασκευή για την γρήγορη ψύξη του αερίου (quench section). Για την επίτευξη αυστηρότερων προδιαγραφών προστίθενται άλλοι μηχανισμοί που μπορούν να απομακρύνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα αιωρούμενα σωματίδια του αερίου. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; Niessen, 2010)

Η διαστασιολόγηση της διαμέτρου των καθαριστών υγρής πλύσης γίνεται με κριτήριο την ικανότητα του καθαριστή να μειώνει την ταχύτητα του αερίου έτσι ώστε τα σταγονίδια του νερού να μπορούν να πέφτουν. Το βάθος του πύργου διαλέγεται ανάλογα με το πόσο κοντά σε μηδενικές εκπομπές πρέπει να κατασκευαστεί ο μηχανισμός. Οι καθαριστές αυτοί δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί όσο τα φίλτρα ή οι συσκευές ηλεκτροστατικής καθίζησης. Ωστόσο μπορούν να επιτύχουν τα όρια των κανονισμών και γι' αυτό χρησιμοποιούνται ακόμα αλλά σε μικρότερο βαθμό. Μια μονάδα που χρησιμοποιεί τη μέθοδο αυτή πρέπει να ελέγχει και να παρακολουθεί συνέχεια την πτώση της πίεσης, τον ρυθμό ροής του αερίου και του υγρού καθώς και την απομάκρυνση με πίεση των σωματιδίων που έχουν συσσωρευτεί. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; National Research Council, 2000; Niessen, 2010)

Πλεονέκτημα του μηχανισμού αυτού είναι το χαμηλό κόστος επένδυσης αν και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι αυξημένο. Επίσης, στα αρνητικά της μεθόδου πρέπει να προστεθεί η δημιουργία υγρών αποβλήτων με άλατα. Τέλος, είναι ένας μηχανισμός που είναι ευάλωτος σε διάβρωση. (World Bank, 1999)

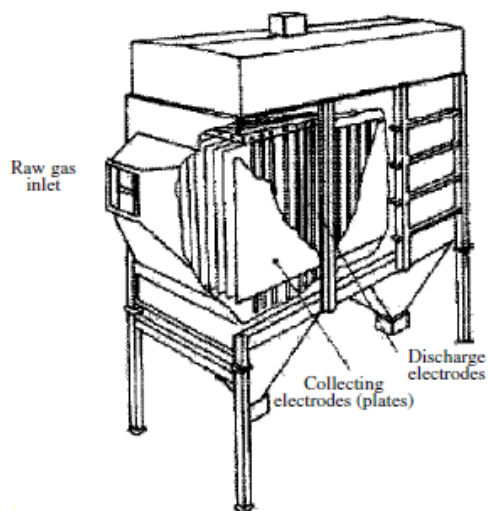
- Συσκευές ηλεκτροστατικής καθίζησης (electrostatic precipitators): οι συσκευές αυτές είναι οι πιο συνηθισμένες για τον καθαρισμό αερίων σε μονάδες αποτέφρωσης αστικών αποβλήτων. Απομακρύνουν τα σωματίδια ξηρής σκόνης από το ρεύμα του αερίου εφαρμόζοντας μια σειρά από ηλεκτρόδια υψηλής τάσης εκκένωσης τα οποία φορτίζουν τα αιωρούμενα σωματίδια αρνητικά. Τα φορτισμένα αυτά σωματίδια έλκονται από μεταλλικές πλάκες οι οποίες είναι τοποθετημένες παράλληλα με τη φορά κίνησης του αερίου και φορτισμένες αντίθετα από τα σωματίδια.



Εικόνα 31: Electrostatic precipitators

Οι πλάκες αυτές χρειάζεται να καθαρίζονται με δόνηση, η οποία οδηγεί στην πτώση των σωματιδίων. Παρ' όλο που το μεγαλύτερο ποσοστό της σκόνης απομακρύνεται κατά το πρώτο στάδιο, κατά την διάρκεια της κρούσης ένα μέρος των σωματιδίων που βρίσκονται πάνω στην πλάκα ακολουθεί ξανά το ρεύμα αερίου. Γι' αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο να υπάρχουν δύο ή περισσότερα στάδια από ηλεκτρόδια και πλάκες για την πλήρη απομάκρυνση των σωματιδίων. Όσο πιο αυστηροί είναι οι κανονισμοί για τις εκπομπές τόσο περισσότερα στάδια χρειάζονται. Η απόσταση των πλάκων σε αυτή την περίπτωση είναι περίπου 25 cm. Το σύνηθες μέγεθος αυτών των συσκευών είναι 7 m<sup>3</sup>. Οι συσκευές αυτές δεν είναι το ίδιο αποτελεσματικές με τα φίλτρα στην απομάκρυνση των πολύ μικρών σωματιδίων (0,1-10 μm). Παρόλα αυτά, η αποτελεσματικότητά τους θεωρείται πολύ υψηλή και χρησιμοποιούνται ευρέως σε

μονάδες αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων. Η ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στις εκπομπές ύστερα από το πέρασμα των αερίων από τις συσκευές αυτές είναι από 20 έως 150 mg/Nm<sup>3</sup> ανάλογα με τον τρόπο σχεδίασης καθώς επίσης και τον αριθμό των σταδίων που εφαρμόζονται.



Εικόνα 32: Electrostatic precipitator

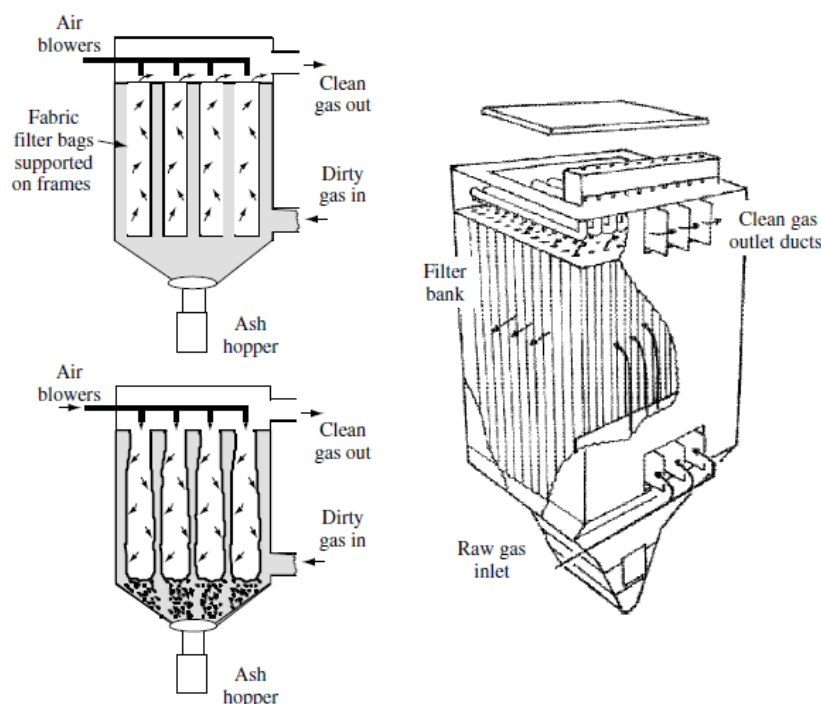
Πολύ σημαντική για την καλή λειτουργία του συστήματος αυτού είναι η παρακολούθηση των παρακάτω παραγόντων: της θερμοκρασίας του αερίου όταν εισέρχεται στη συσκευή, του ρυθμού ροής του αερίου, των ηλεκτρικών συνθηκών, της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας του καθαρισμού καθώς και της ποσότητας των ρύπων που έχουν απομακρυνθεί. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; National Research Council, 2000)

Στα πλεονεκτήματα της απομάκρυνσης σωματιδίων με τη χρήση συσκευών ηλεκτροστατικής καθίζησης μπορεί να προστεθεί το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης παρόλο που το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται είναι αρκετά υψηλό. Επίσης, είναι συσκευές αρκετά ισχυρές και αποτελεσματικές. Βασικό μειονέκτημα πέρα από το αρχικό κόστος είναι και η αδυναμία της μεθόδου να απομακρύνει όξινα αέρια σε σχέση με άλλες διαδικασίες (όπως οι καθαριστές Ventouri) οι οποίες έχουν αυτή τη δυνατότητα. (World Bank, 1999)

- Φίλτρα από ύφασμα (fabric filters): χρησιμοποιούνται ευρέως για την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων, μετάλλων καθώς και για τον έλεγχο των όξινων αερίων. Θεωρείται από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους στην απομάκρυνση των σωματιδίων καθώς η συγκέντρωση των ρύπων στο αέριο αφού περάσει από τον μηχανισμό αυτόν είναι 10 mg/Nm<sup>3</sup>, η χαμηλότερη από αυτές των υπολοίπων μηχανισμών. Η απομάκρυνση πραγματοποιείται καθώς το αέριο περνάει από έναν μεγάλο αριθμό κυλινδρικών σάκων από πορώδες ύφασμα οι οποίοι κρέμονται κάθετα από ένα σωλήνα. Τα σωματίδια συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του κάθε σάκου, απ' όπου απομακρύνονται περιοδικά και τοποθετούνται σε χοάνες. Κατά τη



διαδικασία του καθαρισμού μπορεί να χρησιμοποιείται είτε αέρας αντίστροφης ροής, με τους σάκους εκτός γραμμής, είτε καθαρισμός με δόνηση, όπου οι σάκοι τοποθετούνται σε γραμμή ή εκτός. Κάθε μηχανισμός έχει από 4 έως 16 διαφορετικούς σάκους οι οποίοι είναι σε θέση να λειτουργούν αυτόνομα και έτσι μπορούν να απομακρυνθούν από την σειρά για λόγους καθαρισμού ή συντήρησης. Οι σάκοι έχουν, συνήθως, διάμετρο από 15 έως 20 εκατοστά και μήκη που κυμαίνονται από 3 έως 7,5 μέτρα. Συνήθως η χρήση τους γίνεται σε αέρια καύσης με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (140-200°C) ενώ η βέλτιστη θερμοκρασία είναι οι 150°C.



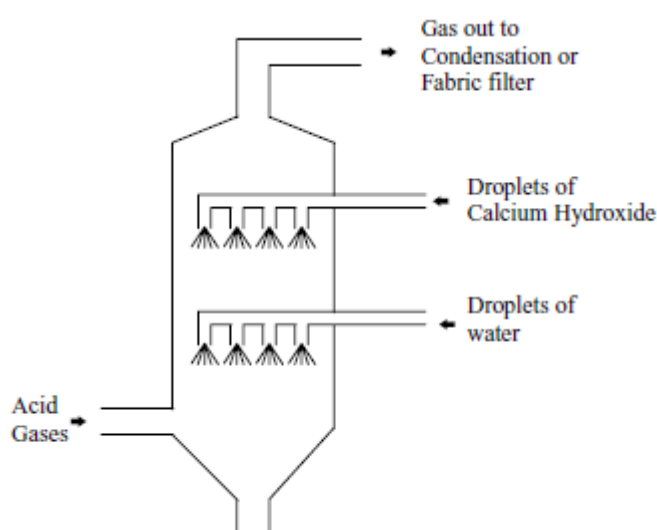
**Εικόνα 33: Fiber filters**

Η επιλογή του υλικού από το οποίο κατασκευάζονται τα φίλτρα γίνεται με κριτήρια την θερμοκρασία που υπολογίζεται να έχει το αέριο καθώς και τη χημική του σύσταση. Το υλικό που θα επιλεγεί πρέπει να έχει αρκετή μηχανική αντοχή, αρκετή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, την απαραίτητη αντίσταση σε οξέα, υγρασία και καυστικά διαλύματα, καλή διαπερατότητα του αέρα και ικανότητα να συγκρατεί τα σωματίδια (γεωμετρία των κενών μεταξύ των ινών). Τόσο κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού όσο και σε φάση λειτουργίας είναι απαραίτητη η παρακολούθηση της ακεραιότητας των σάκων καθημερινά. Αυτό μπορεί να διασφαλιστεί με διάφορους τρόπους όπως είναι η παρακολούθηση της πίεσης στους σάκους, ο οπτικός έλεγχος της αδιαφάνειας του σάκου καθώς και η συνεχής παρακολούθηση αυτής. Τα τρία βασικά κριτήρια για την καλή λειτουργία των σάκων είναι η αποτελεσματικότητά τους, η πτώση της πίεσης και η διάρκεια ζωής τους. Οι δύο πρώτοι παράγοντες επηρεάζονται από την καθαριότητα των φίλτρων καθώς φτάνουν στην μέγιστη τιμή

τους ύστερα από τον καθαρισμό αυτών. Το μεγαλύτερο μέρος του κόστους αυτής της μεθόδου είναι η αγορά και η τοποθέτηση του ανεμιστήρα, οργάνου που είναι σε άμεση σχέση με την πτώση της πίεσης. Επίσης, η διάρκεια ζωής των σάκων είναι σημαντική καθώς επηρεάζει το κόστος συντήρησης το συστήματος καθαρισμού μέσω της σύντομης ή όχι αντικατάστασή τους. Ο μέσος όρος ζωής των σάκων είναι τα 5 χρόνια. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; National Research Council, 2000; Niessen, 2010; World Bank, 1999; Stubenvoll et al, 2002)

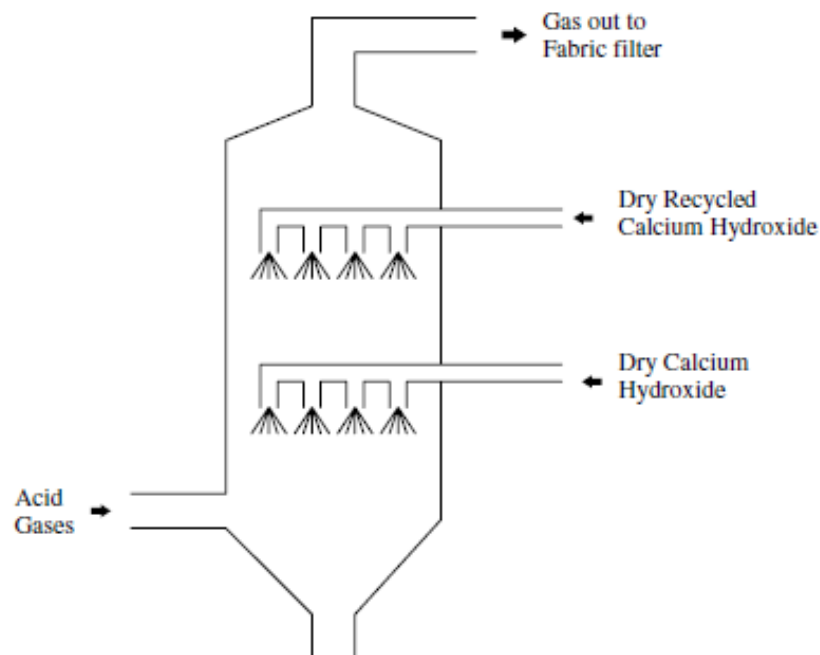
#### 6.1.2.2 Για το έλεγχο των όξινων αερίων:

- Καθαριστές υγρής πλύσης (wet scrubbers): ο μηχανισμός αυτός είναι πολύ αποτελεσματικός στην απορρόφηση υδροχλωρικού οξέος, διοξειδίου του θείου και υδροθορίου από τα απαέρια. Τα αέρια κινούνται μέσα σε ένα πύργο με αντίθετη φορά και διαπερνάνε ένα ψεκαζόμενο υγρό. Με αυτό τον τρόπο διατίθεται μια μεγάλη επιφάνεια για την αντίδραση των αερίων. Το πιο συνηθισμένο υγρό που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση των όξινων αερίων είναι κάποιο αλκαλικό όπως είναι ο ασβέστης ή το υδροξείδιο του νατρίου. Με αυτό τον μηχανισμό μπορούν να απομακρυνθούν και άλλοι ρύποι όπως βαρέα μέταλλα και αιωρούμενα σωματίδια. Η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού αυτού εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί, την ταχύτητα του αερίου, την αναλογία του υγρού με το αέριο και το ύψος που έχει ο πύργος. Η δημιουργία ενός καινούριου υγρού ρύπου ύστερα από τη διαδικασία αυτή, που απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία είναι το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; Niessen, 2010)



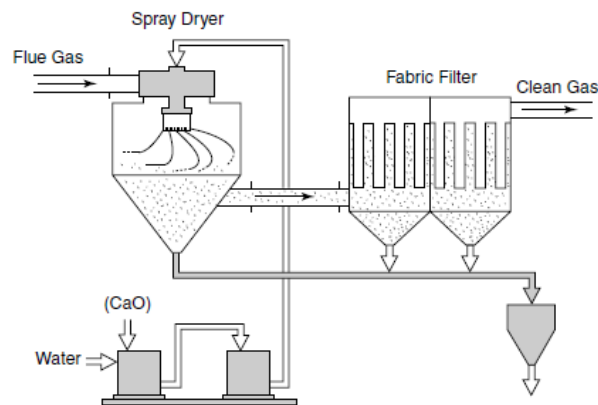
Εικόνα 34: Wet scrubber

- Καθαριστές στεγνής πλύσης (dry scrubbers): το κύριο μειονέκτημα των καθαριστών υγρής πλύσης είναι η ανάγκη για περαιτέρω καθάρισμα του υγρού που χρησιμοποιείται μέσα στον μηχανισμό και που ύστερα από τη διαδικασία έχει απορροφήσει του ρύπους και έχει γίνει και το ίδιο ρυπογόνο. Λόγω αυτού αυξάνεται πολύ το κόστος του καθαρισμού των αερίων. Έτσι αναπτύχθηκαν οι καθαριστές στεγνής πλύσης. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται μια ξηρή σκόνη, όπως για παράδειγμα ξηρό υδροξείδιο του ασβεστίου, η οποία ψεκάζεται στα αέρια. (Williams, 2005)



Εικόνα 35: Dry scrubber

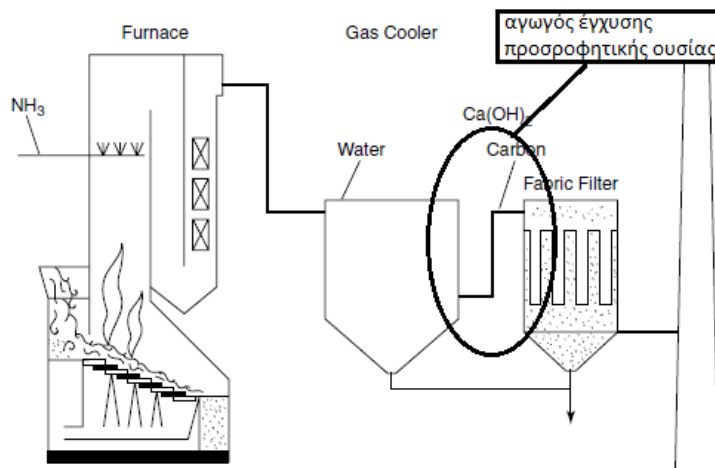
- Στεγνωτήριο με ψεκασμό (spray dryers): είναι συνηθισμένος μηχανισμός για τον έλεγχο των όξινων αερίων κατά την καύση των απορριμμάτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με συσκευές ηλεκτροστατικής καθίζησης ή φίλτρων από υφάσματα. Έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος σωματιδίων, μετάλλων,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$  και οργανικών ενώσεων. Ο συνδυασμός με τα φίλτρα προτιμάται σε σχέση με αυτόν με την ηλεκτρική καθίζηση λόγω της μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με ψεκασμό, εισάγεται ένα ελώδες μίγμα ασβεστίου μέσα στο ρεύμα αερίου. Το νερό μέσα στο μίγμα προκαλεί την εξάτμιση μέχρι να κρυώσει το αέριο. Προτού όμως συμβεί η εξάτμιση τα σταγονίδια απορροφούν τα όξινα αέρια. Τα οξέα αντιδρούν με τον ασβέστη δημιουργώντας άλατα ασβεστίου τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν με τους μηχανισμούς απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)



**Εικόνα 36: Στεγνωτήριο ψεκασμού συ συνδυασμό με υφασμάτινα φίλτρα**

Τα στεγνωτήρια αυτά είναι σχεδιασμένα για να προσφέρουν επαρκή επαφή και χρόνο παραμονής έτσι ώστε να παραχθεί ένα ξηρό προϊόν. Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 10 έως 15 δευτερόλεπτα. Τα σωματίδια όταν απομακρύνονται από το στεγνωτήριο περιέχουν ιπτάμενη τέφρα καθώς και άλατα ασβεστίου, νερό και ένυδρο ασβέστη που δεν έχει αντιδράσει. Οι κύριοι παράμετροι για τον σχεδιασμό και την λειτουργία του μηχανισμού είναι η θερμοκρασία εξόδου και η στοιχειομετρική αναλογία ασβέστη και όξινων αερίων, δηλαδή η ακριβής ποσότητα ασβέστη που χρειάζεται για την αντίδραση όλης της ποσότητας των οξέων. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι τόσο υψηλή ώστε να εξασφαλίζεται ότι η ιλύς και τα προϊόντα από τις αντιδράσεις είναι καταλλήλως ξηρά προτού γίνει η συλλογή από τη συσκευή ελέγχου των σωματιδίων. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

- Αγωγοί με έγχυση προσροφητικής ουσίας (duct sorbent injection): γίνεται έγχυση ξηρών αλκαλικών προσροφητικών στο αέριο ύστερα από τον καυστήρα και πριν από τη συσκευή ελέγχου των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι αγωγοί αυτοί είναι αποτελεσματικοί για τον έλεγχο των όξινων αερίων, των οργανικών ενώσεων καθώς και των αιωρούμενων σωματιδίων από τη διαδικασία αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων. Κατά τη διαδικασία αυτή, προσροφητική ουσία σε μορφή σκόνης εισάγεται με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα είτε σε ένα ξεχωριστό χώρο όπου λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις είτε σε ένα μέρος του αγωγού του αερίου κατόπτη του καυστήρα. Τα αλκάλια που εμπεριέχονται, είναι κυρίως υδροξείδια του ασβεστίου ή του νατρίου ή διαπτανθρικό νάτριο. Αυτά αντιδρούν με το HCl, το SO<sub>2</sub>, το HF δημιουργώντας αλκαλικά άλατα.



**Εικόνα 37:** Σύστημα ψύξης αερίων με νερό ακολουθούμενο από αγωγό έγχυσης προσροφητικής ουσίας CaO με παραγόμενες ουσίες άνθρακα και Ca(OH)<sub>2</sub>

Με το να μειώνεται η ποσότητα των όξινων αερίων χωρίς να εξατμίζεται νερό μέσα στο ρεύμα αερίου, είναι δυνατή η λειτουργία των κατάντη μηχανισμών σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ ταυτόχρονα περιορίζεται ο κίνδυνος διάβρωσης λόγω οξέων του εξοπλισμού. Τα στερεά προϊόντα των αντιδράσεων, η ιπτάμενη τέφρα και οι προσροφητικές ουσίες που δεν έχουν αντιδράσει μπορούν να απομακρυνθούν με τη χρήση των φίλτρων ή των συσκευών ηλεκτροστατικής καθίζησης. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου εξαρτάται από τον τρόπο έγχυσης της προσροφητικής ουσίας, τη θερμοκρασία του αερίου, την προσροφητική ουσία και τον ρυθμό εισαγωγής της. Η συνήθης θερμοκρασία του αερίου είναι μεταξύ 150 και 320 °C και εξαρτάται από την προσροφητική ουσία που χρησιμοποιείται, τον τρόπο ψύξης του αερίου και άλλες λεπτομέρειες της διαδικασίας. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα με ένα σύστημα ελέγχου αιωρούμενων σωματιδίων. Η χρήση πύργων επανακυκλοφόρησης που αυξάνουν τον χρόνο παραμονής του αερίου μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης όξινων αερίων.

Παρόμοια τεχνική με την προηγούμενη είναι αυτή της έγχυσης προσροφητικής ουσίας μέσα στον θάλαμο καύσεως. Εξ' αιτίας των υψηλών θερμοκρασιών (870°C-1200°C), ο ασβεστόλιθος που εισάγεται μέσα στον θάλαμο διασπάται (ασβεστοποιείται) με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πιο αντιδραστικού ασβέστη κάτι που επιτρέπει την χρήση λιγότερο ακριβού ασβεστόλιθου σαν προσροφητική ουσία. Επίσης, με αυτή την μέθοδο γίνεται διαθέσιμος περισσότερος χρόνος ανάμιξης και αντίδρασης μεταξύ των όξινων αερίων και της ουσίας. Σε αυτές τις θερμοκρασίες ο ασβέστης αντιδράει με το διοξείδιο του θείου μέσα στον θάλαμο προσφέροντας έναν αποτελεσματικό μηχανισμό απομάκρυνσής του. Τέλος, η απομάκρυνση σημαντικής ποσότητας HCl από αυτό το στάδιο μειώνει την ποσότητα των οργανικών ενώσεων που είναι πιθανό να δημιουργηθούν στα επόμενα στάδια. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

### 6.1.2.3 Για την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου:

Η παραγωγή των οξειδίων αυτών προκαλείται είτε εξ' αιτίας του καυσίμου είτε από την μετατροπή του αζώτου που εμπεριέχεται μέσα στον αέρα. Η μετατροπή του αζώτου λαμβάνει χώρα στις φλόγες και εξαρτάται από τη θερμοκρασία τους. Ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί είτε με έλεγχο της διαδικασίας της καύσης, είτε με την έγχυση αντιδρώντων είτε με την χρήση πρόσθετων μηχανισμών ελέγχου.

Ο έλεγχος της διαδικασίας της καύσης συνίσταται στην χρήση πυρίμαχων κλιβάνων (χωρίς η παρουσία νερού να είναι απαραίτητη για να κρυώσουν τα τοιχώματά του), στην καύση κατά στάδια, στον περιορισμό του περισσευούμενου αέρα και στην επανακυκλοφόρηση των απαερίων. Επίσης, πρέπει να ρυθμίζεται η θερμοκρασία και η ποσότητα του οξυγόνου για να μπορέσει να περιοριστεί η δημιουργία οξειδίων του αζώτου. Για την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας οξειδίων συνίσταται η ύπαρξη του ελάχιστου δυνατού οξυγόνου πάνω από την επιφάνεια των εσχαρών (ή στον πρώτο κλίβανο σε περίπτωση εγκατάστασης με δύο κλιβάνους) και συνθήκες υψηλής ποσότητας περισσευούμενου οξυγόνου κατά την έγχυση του αέρα στο δεύτερο στάδιο (overfire air). Ο περιορισμός της ποσότητας του αέρα μειώνει την ποσότητα του οξυγόνου κατά την αντίδραση και έτσι παράγονται μικρότερες ποσότητες οξειδίων. Το ίδιο συμβαίνει και στην καύση σε στάδια λόγω του ότι μειώνεται ο αέρας που προστίθεται κάτω από την πυρά και δημιουργείται έτσι μια περιοχή με έλλειψη αέρα. Οι μονάδες αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων τείνουν να δημιουργούν τα περισσότερα οξείδια όταν η θερμοκρασία μέσα στον θάλαμο αποτέφρωσης είναι μεγαλύτερη από το αναγκαίο, δηλαδή περισσότερο από 1090 °C, για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η πλήρης καταστροφή των προϊόντων της ατελούς καύσης. Για να ελαχιστοποιηθούν τα NO<sub>x</sub> και τα προϊόντα από την ατελή καύση οι μονάδες θα πρέπει να λειτουργούν με σχετικά μικρή διακύμανση της θερμοκρασίας όπως και της περίσσειας οξυγόνου (9-12%) και να υπάρχει συνεχώς καλή ανάμιξη. Σε μονάδες που επιτρέπουν την επανακυκλοφόρηση των αερίων, τα καυσαέρια αφού έχουν κρυώσει αναμειγνύονται με ατμοσφαιρικό αέρα. Το μίγμα αυτό χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως αέριο για την συνέχιση της καύσης. Το πλεονέκτημα είναι ότι με αυτή την ανάμιξη μειώνεται η ποσότητα του οξυγόνου στο αέρα της καύσεως και μειώνονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση. Βέβαια είναι αδύνατο να περιοριστεί η δημιουργία οξειδίων μόνο με αυτές τις τεχνικές. Πολλές φορές η δημιουργία τους οφείλεται στο άζωτο που περιέχεται τόσο στα απορρίμματα όσο και μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα που χρησιμοποιείται για την αποτέφρωση. Έτσι είναι αναγκαία η εφαρμογή πρόσθετων μηχανισμών και την απομάκρυνσή τους. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; National Research Council, 2000)

Στις μονάδες που χρησιμοποιούν εσχάρες, όπως έχουμε δει, υπάρχουν δύο στάδια στα οποία προστίθεται αέρας μέσα στον θάλαμο. Αρχικά, είναι ο πρωτεύοντας αέρας ο οποίος εισέρχεται κάτω από το σύστημα των εσχαρών και βοηθάει στην ξήρανση των απορριμμάτων και στην έναρξη της καύσης. Στη συνέχεια προστίθεται ο δευτερεύοντας αέρας μέσω ακροφυσίων τοποθετημένων στους τοίχους του θαλάμου ακριβώς πάνω από τις εσχάρες προκαλώντας ανάμιξη των απορριμμάτων με σκοπό την ολοκλήρωση της αποτέφρωσης. Ο δευτερεύοντας αέρας είναι αυτός που κατά κύριο λόγο προκαλεί συνθήκες περισσευούμενου αέρα μέσα στον θάλαμο. Ένας μηχανισμός του οποίου η

χρήση έχει εδραιωθεί για τον περιορισμό δημιουργίας οξειδίων του αζώτου είναι το VLN, ο οποίος έχει σχεδιαστεί και λειτουργήσει από τις εταιρίες Covanta Energy Group, Inc. και Martin GmbH. Με αυτή τη διαδικασία ο δευτερεύοντας αέρας είναι μειωμένος και εισέρχεται το «VLN» αέριο μέσα από ακροφύσια τοποθετημένα μέσα στον θάλαμο σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Η συνηθέστερη θέση είναι στην οροφή του κατώτερου θαλάμου, πάνω από το επίπεδο των τελευταίων εσχάρων. Η θέση αυτή είναι ύστερα από την γραμμή όπου εμφανίζονται οι φλόγες για συνήθεις συνθήκες λειτουργίας του θαλάμου και έτσι έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή ποσότητα σε οξυγόνο. Στις συνηθισμένες εγκαταστάσεις, στη θέση αυτή ξεκινάει το σβήσιμο της τέφρας, καθώς ο αέρας εκεί δεν συμμετέχει στις αντιδράσεις καύσεως, ενώ αυτός που δημιουργείται λόγω της καύσης συγκεντρώνεται προς το σημείο εισόδου των απορριμμάτων και όχι στο τέλος των εσχάρων. Ως αποτέλεσμα, η σύσταση του αέρα ακριβώς πάνω από το επίπεδο έγχυσης του δευτερεύοντα αέρα κυμαίνεται από ελλειπτική σε οξυγόνο στην μπροστινή όψη έως πολύ πλούσια σε οξυγόνο στο πίσω μέρος των τοίχων. Η απομάκρυνση αέρα από την περιοχή του σβήσιματος της τέφρας, κάνει τον αέρα του δευτέρου σταδίου πιο ζεστό και ομοιογενή. Έτσι, ο δευτερεύοντας αέρας προσφέρει τον απαραίτητο για την ολοκλήρωση της καύσης αέρα, ανάμιξη αλλά και αυξάνει την θερμοκρασία, χωρίς να δημιουργεί συνθήκες περισσευούμενου οξυγόνου. Το αποτέλεσμα είναι να μειώνεται η δημιουργία οξειδίων του αζώτου. Η προσθήκη του τελευταίου αέρα, δηλαδή του VLN αερίου, γίνεται αφού έχει αφαιρεθεί κάποια ποσότητα θερμότητας μέσω της μετακίνησης του αερίου, δημιουργώντας εν τέλει, μια διαδικασία δύο σταδίων καύσεως για την μείωση των οξειδίων αυτών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται τόσο σε νέους αποτεφρωτές όσο και σε παλαιότερους ύστερα από σχετική αναδιαμόρφωση. Η ποσότητα του αέρα σε κάθε στάδιο όπως και του VLN αερίου υπολογίζεται με σκοπό την βέλτιστη σύσταση και θερμοκρασία του αέρα αλλά και για την μείωση της παραγωγής των οξειδίων αλλά και για την πιο ολοκληρωμένη καύση. Η χρήση της VLN διαδικασίας αυξάνει την αποτελεσματικότητα του θαλάμου δημιουργώντας λιγότερα οξείδια. (Niessen, 2010)

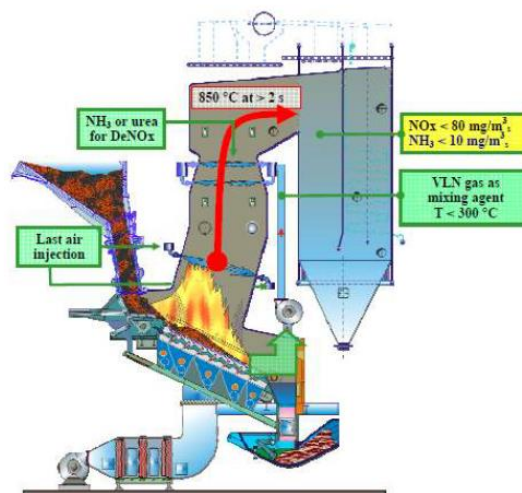
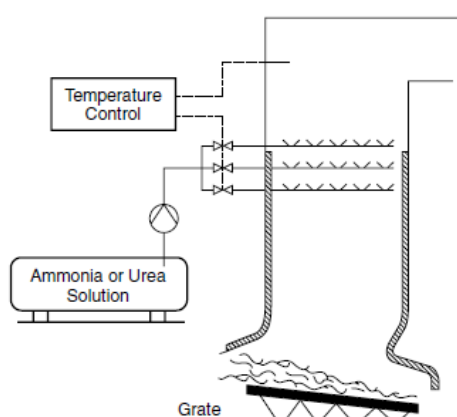


Figure 4: VLN Process Diagram (NO<sub>x</sub> Values at 11% O<sub>2</sub>)

### Εικόνα 38: Σύστημα VLN

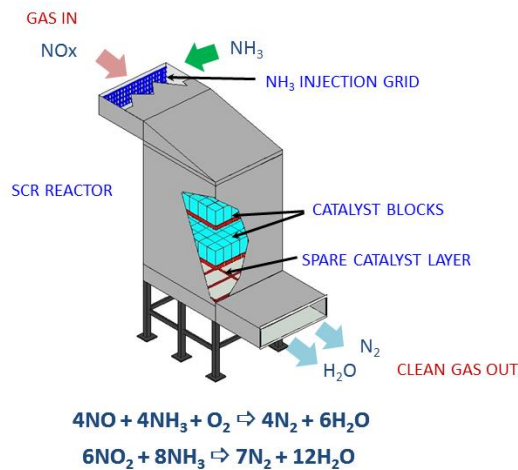
Οι πρόσθετοι μηχανισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποτεφρωτές αστικών αποβλήτων για τον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου εφαρμόζουν μια από τις παρακάτω μεθόδους: την «επιλεκτική μη καταλυτική μείωση» (selective no catalytic reduction ή SNCR), την «επιλεκτική καταλυτική μείωση» (selective catalytic reduction ή SCR) ή την «φυσική επανάκαυση του αερίου» (natural gas reburning). Η πρώτη μέθοδος είναι και η πιο συνηθισμένη. Σε αυτή γίνεται έγχυση αμμωνίας ή ουρίας μέσα στον κλίβανο σε μία περιοχή που έχει θερμοκρασία αερίου κατάλληλη για την μέγιστη απομάκρυνση των οξειδίων. Η αμμωνία ή ουρία προστίθενται στον θάλαμο μαζί με πρόσθετα και έτσι επιτυγχάνεται η μείωση των  $\text{NO}_x$  σε  $\text{NO}_2$  χωρίς την χρήση καταλυτών. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)



Εικόνα 39: Σύστημα SNCR

Στη μέθοδο SNCR η αμμωνία ή η ουρία προστίθεται σε περιορισμένο εύρος θερμοκρασιών από  $850^{\circ}\text{C}$  έως  $950^{\circ}\text{C}$ . Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η αμμωνία από μόνη της διασπάται σε οξειδία του αζώτου ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η αντίδραση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό και δεν είναι αποτελεσματική. Απαραίτητο για την αποτελεσματικότερη μετατροπή των οξειδίων είναι η καλή ανάμιξη, ο κατάλληλος χρόνος παραμονής και να αποφεύγεται η πρόσκρουση των εγχυμένων αντιδραστηρίων μέσα στους σωλήνες του λέβητα. (Williams, 2005; Niessen, 2010) Οι μονάδες αποτέφρωσης που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο μπορούν να πετύχουν μείωση των οξειδίων έως και 45%. Στην δεύτερη μέθοδο, γίνεται η έγχυση της αμμωνίας ύστερα από τον κλίβανο, όταν και αναμιγνύεται με τα καυσαέρια. Στη συνέχεια το αέριο περνάει από μια κλίνη με καταλύτη όπου τα  $\text{NO}_x$  μετατρέπονται σε  $\text{NO}_2$  ύστερα από την αντίδρασή τους με την αμμωνία. Με τον τρόπο αυτό έχουν παρατηρηθεί και μειώσεις που φτάνουν το 80% αλλά η περίπτωση αδρανοποίησης του καταλύτη με το πέρασμα του χρόνου μειώνει την αποτελεσματικότητά της. Οι κατάλληλες θερμοκρασίες σε αυτή τη μέθοδο είναι χαμηλότερες από την προηγούμενη (γύρω στους  $320^{\circ}\text{C}$ ).





**Εικόνα 41: Σύστημα SCR**

Τέλος, η μέθοδος της φυσικής επανάκαυσης του αερίου με τον περιορισμό του αέρα κατά την καύση δημιουργεί μια περιοχή με χαμηλή ποσότητα περισσευούμενου αέρα. Η προσθήκη επανακυκλοφορούμενων απαερίων και φυσικού αερίου μέσα σε αυτή την περιοχή, δημιουργεί μια ζώνη με περίσσεια καυσίμου η οποία αναστέλλει τη δημιουργία οξειδίων και προκαλεί τον μετασχηματισμό τους σε NO<sub>2</sub>. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει μείωση των οξειδίων του αζώτου έως και 60%. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; National Research Council, 2000)

#### 6.1.2.4 Για την απομάκρυνση του υδραργύρου και των διοξινών

Ο ξηρός ενεργός άνθρακας (dry activated carbon) έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικός στην απομάκρυνση του υδραργύρου και των διοξινών από τα αέρια της αποτέφρωσης των αστικών στερεών απορριμμάτων. Η απαραίτητη ποσότητα ενεργού άνθρακα εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του υδραργύρου και των διοξινών στο σημείο έγχυσής του. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα αυτή είναι η θερμοκρασία των αερίων και ο χρόνος κράτησής τους προτού εισέλθουν στον μηχανισμό για την απομάκρυνση των αιρούμενων σωματιδίων. Η έγχυση του ενεργού άνθρακα γίνεται στον αγωγό των αερίων συνήθως σε μορφή ξηρής σκόνης ξεχωριστά ή σε συνδυασμό με άσβεστο και άλλα αντιδρώντα. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; National Research Council, 2000)

### **6.1.3 Διαχείριση εναπομένουσας τέφρας**

Η τέφρα που απομένει από την διαδικασία συνήθως αποτελεί το 25% των εισερχόμενων απορριμμάτων. Η ποσότητα που παράγεται σε κάθε τόνο εισερχόμενων απορριμμάτων υπολογίζεται σε 230-280 kg. Η μορφή της είναι υγρή κάτι που προσθέτει 25-50% στο συνολικό βάρος. Έτσι λοιπόν η διαχείρισή της αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του κόστους λειτουργίας μιας μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων. Επίσης, λόγω των ανησυχιών των υπολοίπων για τις αρνητικές συνέπειες που μπορεί να επιφέρει στο φυσικό περιβάλλον και στους οργανισμούς, είναι απαραίτητος ο συνεχής έλεγχος και διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας της.

Στην Αμερική όπου δεν υπάρχει περιορισμός εκτάσεων συνηθίζεται να εφαρμόζεται η ταφή της τέφρας. Στην Ευρώπη, ωστόσο, (όπως και στην Ιαπωνία) όπου οι εκτάσεις είναι απαραίτητες για άλλες χρήσεις όπως η γεωργία, απαγορεύεται η ταφή της, ενώ η ανακύκλωση και η εναλλακτική χρήση της είναι πιο διαδεδομένες. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; ISWA, 2008)

Υπάρχουν τρία είδη τέφρας που στο σύνολό τους αποτελούν την τέφρα που απομένει σε ένα εργοστάσιο αποτέφρωσης απορριμμάτων ύστερα από τη διαδικασία. Αρχικά είναι η τέφρα που συλλέγεται στο τέλος των εσχαρών ή εναπομένουσα τέφρα (bottom ash), έπειτα η τέφρα που απομένει από τη διαδικασία ανάκτησης ενέργειας (boiler ash) και, τέλος, η τέφρα που συλλέγεται από το σύστημα καθαρισμού των εκπομπών και είναι ιπτάμενη (fly ash). (Williams, 2005)

#### **A. Η τέφρα που συλλέγεται στο τέλος των εσχαρών ή εναπομένουσα**

Η τέφρα η οποία συλλέγεται στο τέλος των εσχαρών του καυστήρα ύστερα από την αποτέφρωση είναι ένα ετερογενές μίγμα, το οποίο αποτελείται από σκουριά, σιδηρούχα ή μη μέταλλα, γυαλιά, κεραμικά, υλικά που δε γίνεται να καούν και άκαυστα οργανικά υλικά. Επίσης, είναι πιθανό να υπάρχουν αντικείμενα τα οποία πέρασαν ανάμεσα από τα κενά των εσχαρών για παράδειγμα και δεν συμμετείχαν στην διαδικασία της αποτέφρωσης. Η εναπομένουσα τέφρα, αποτελεί σχεδόν το σύνολο της τέφρας, καθώς υπολογίζεται να είναι περίπου 200-250 kg / t. (National Research Council, 2000; ISWA, 2008; Niessen, 2010) Κυρίως περιλαμβάνει πυριτικές ενώσεις, οξειδία και ανθρακικά άλατα ενώ άνθρακας που περιλαμβάνεται υπολογίζεται να είναι 2-10%. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία, το ποσοστό αυτό πρέπει να είναι μικρότερο από 3%. Με το ποσοστό αυτό φαίνεται η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της καύσης. Για να κρυώσει η τέφρα αυτή συνήθως χρησιμοποιείται νερό, αν και πολλές φορές συλλέγεται και σε ξερή κατάσταση. Λόγω του ότι τα επόμενα χρόνια η παραγωγή αυτού του είδους τέφρας αναμένεται να αυξηθεί, εξ' αιτίας της ευρύτερης χρήσης της μεθόδου της αποτέφρωσης για την διαχείριση των απορριμμάτων, μέτρα για την διάθεση και την επαναχρησιμοποίηση της είναι απαραίτητα για την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Η ανακύκλωση της τέφρας για τη χρήση της στην βιομηχανία κατασκευών και στην κατασκευή δρόμων είναι μια από τις λύσεις που μελετώνται και εφαρμόζονται σε κάποιες περιπτώσεις. Ύστερα από διάφορες

έρευνες έχει βγει το συμπέρασμα ότι η εναπομένουσα τέφρα από τον θάλαμο αποτέφρωσης μπορεί να αντικαταστήσει όχι μόνο την άμμο αλλά και τα φυσικά χαλίκια σε υποστρώματα, εάν βέβαια η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη είναι χαμηλή. Σύμφωνα με ευρωπαϊκά στοιχεία στην Γερμανία περίπου το 80% της τέφρας επαναχρησιμοποιείται, ενώ υπάρχουν χώρες, όπως η Ολλανδία και η Αυστρία, που το ποσοστό φτάνει το 90%. Μερικές από τις χρήσεις από ευρωπαϊκά παραδείγματα είναι για την κατασκευή κοκκωδών υποστρωμάτων για χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, για ποδηλατοδρόμους και για δρόμους ασφαλτοστρωμένους ή όχι και για την δημιουργία ασφάλτου και σκυροδέματος. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Williams, 2005; ISWA, 2008)

Ο παρακάτω πίνακας μπορεί να μας δείξει ακριβώς τι περιέχει η τέφρα αυτή. Ο πίνακας είναι χωρισμένος ανάλογα με το μέγεθος των συστατικών αυτών (πάνω ή κάτω από 2 in.). Από αυτά ανακυκλώσιμα μπορεί να είναι το 84% των μετάλλων από το 19% των πάνω από 2 in αντικειμένων όπως και το 22,7% σιδηρούχων μετάλλων και 3,4% μη σιδηρούχων από την κατηγορία αντικειμένων κάτω από 2 in. Δηλαδή συνολικά το 18,3% είναι σιδηρούχα μέταλλα και το 2,7% μη σιδηρούχα. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; Accuardi et al, 2011)

Residue	Total (100%)	Plus 2-in, (19.2%)	Minus 2-in, (80.8%)
Metal	111.1	84.0	
Other	1.1	11.4	
Combustibles	4.0	9.7	2.7
Ferrous metal	18.3		22.7
Nonferrous metal	2.7		3.4
Glass	211.2		32.4
Ceramics	8.3		10.3
Minerals and ash	23.0		28.5
	100%	100%	100%

**Πίνακας 4: Σύσταση τέφρας**

Σε όλα τα στάδια επεξεργασίας της τέφρας πρέπει να διασφαλίζεται η προστασία του προσωπικού και του περιβάλλοντος τόσο κατά τη μεταφορά όσο και κατά την επεξεργασία της. Αυτό διασφαλίζεται με την συγκράτησή της σε όλα τα στάδια, μέσα ή έξω από τη μονάδα επεξεργασίας.

#### 1. Αποθήκευση και μεταφορά:

Σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας πρέπει να διασφαλίζεται η προστασία κατά της ρύπανσης του περιβάλλοντος είτε λόγω διαφυγής της σκόνης είτε λόγω διάχυσής της στο νερό ή στο περιβάλλον. Για να αποφευχθεί η διαφυγή της σκόνης συνηθίζεται να διατηρείται βρεγμένη η τέφρα. Πλέον για την προστασία των εργατών η μεταφορά της τέφρας από τον θάλαμο αποτέφρωσης στον χώρο αποθήκευσης γίνεται με φορτηγά για να ελαχιστοποιείται

η έκθεσή τους στις επικίνδυνες ουσίες που αυτή περιέχει. Επίσης, είναι αναγκαίο να υπάρχει συνεχής παρακολούθηση της αποθηκευμένης τέφρας για να περιοριστούν οι τυχόν διαφυγές και να μην υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του περιβάλλοντος. Κατά την αποθήκευση της τέφρας λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις οι οποίες δεσμεύουν τα μέταλλα και δεν επιτρέπουν την διαφυγή τους. Νερό της βροχής αφού έχει φιλτραριστεί μέσα από αγωγό καθαρίζει την τέφρα αποβάλλοντας σιγά-σιγά τα διαθέσιμα μέταλλα. Επίσης, οι χώροι αποθήκευσης πρέπει να είναι υδατοστεγείς για να μην επιτρέπουν τις διαφυγές προς το περιβάλλον. Τέλος, η μεταφορά της εναπομένουσας τέφρας πρέπει να γίνεται με ειδικά κοντέινερς που να αποτρέπουν την διαφυγή της στο περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση τα οχήματα, τα κοντέινερς και οι δρόμοι που πιθανόν να έχουν ρυπανθεί από την τέφρα πρέπει να καθαρίζονται και το χρησιμοποιούμενο νερό να διατίθεται κατάλληλα ή να επιστρέφει πίσω στην δεξαμενή πλύσης της τέφρας. (Tchobanoglous and Kreith, 2002; National Research Council, 2000)

## 2.Επεξεργασία:

Η επεξεργασία της τέφρας στην εγκατάσταση αποτέφρωσης απορριμμάτων συμβαίνει με σκοπό να μειωθούν οι ρύποι που είναι επικίνδυνοι για το περιβάλλον, να διευκολυνθεί η διάθεσή της, να απομακρυνθούν πιθανώς χρήσιμα, αξίας ή επικίνδυνα υλικά, να βελτιωθεί η ποιότητα των αποβλήτων καθώς και για την προετοιμασία ενός τμήματός της προς αξιοποίηση. Τα υπολείμματα μπορούν να επεξεργαστούν με πλύση, με χημικές διαδικασίες ή με τη χρήση πρόσθετων και ειδικών χημικών έτσι ώστε οι επικίνδυνες ουσίες να σταθεροποιηθούν, απομακρυνθούν ή ακινητοποιηθούν.

Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας είναι ο οπτικός έλεγχος. Είναι σημαντικό να απομακρύνονται τα αντικείμενα με μεγάλο μέγεθος καθώς μπορούν να επηρεάσουν τις μηχανικές ιδιότητες και την συνοχή της τέφρας, ειδικά εάν αυτή πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί. Επίσης, με τον οπτικό έλεγχο μπορούν να απομακρυνθούν αντικείμενα αξίας ή άλλα ανακυκλώσιμα. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η ανάκτηση των μεταλλικών αντικειμένων, σιδηρούχων και μη, με σκοπό την μεταπώλησή τους. Η ανάκτηση των σιδηρούχων μετάλλων γίνεται με μαγνητικό διαχωρισμό ή με ηλεκτρομαγνητισμό. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί η περαιτέρω μείωση του μεγέθους των συστατικών της τέφρας για να είναι πιο αποτελεσματική στην χρήση της. Βέβαια, σε περιπτώσεις που η τέφρα θα επαναχρησιμοποιηθεί σαν αδρανές στο σκυρόδεμα και απαιτούνται χαρακτηριστικά αντοχής σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, είναι πιθανό να γίνει απομάκρυνση και των πολύ μικρών σωματιδίων, καθώς αυτά τείνουν να μην έχουν πολύ καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες. (ISWA, 2008)

Τα σιδηρούχα μέταλλα που υπάρχουν στην τέφρα από τις μονάδες μαζικής καύσης αποτελούν το 15% της εναπομένουσας τέφρας. Με τη χρήση ηλεκτρομαγνητών μπορούν να αφαιρεθούν από την τέφρα. Η ποιότητά τους εξαρτάται από το πόσο έχουν ρυπανθεί με κατάλοιπα υλικών που είτε έχουν καεί είτε όχι. Ο καθαρισμός τους μπορεί να γίνει με ειδικές συσκευές ανατάραξης είτε με νερό. Τέλος, με τις διαδικασίες πλύσης προκύπτουν αδρανή

υλικά και σιδηρούχα μέταλλα τα οποία να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Το νερό που χρησιμοποιείται σε αυτές τις διαδικασίες επεξεργάζεται και επανακυκλοφορεί στην ίδια τη μονάδα. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Τα σιδηρούχα μέταλλα συνηθίζεται να πωλούνται στην αγορά για επαναχρησιμοποίηση εδώ και αρκετά χρόνια. Τα τελευταία χρόνια τείνει να γίνει πάγια τακτική και η πώληση των μη σιδηρούχων μετάλλων. Η πώληση οδηγεί σε κέρδος το οποίο μπορεί να μειώσει το κόστος λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας της τέφρας. (ISWA, 2008)

### 3.Κατεργασία:

Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι κατεργασίας της τέφρας. Σκοπός τους είναι η μείωση της συγκέντρωσης σε άλατα και μέταλλα που μπορούν να διηθηθούν. Το αποτέλεσμα θα είναι η δημιουργία ενός υλικού πιο ασφαλές για το περιβάλλον καθώς επίσης και η βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του οι οποίες επηρεάζουν την αντοχή και τη σταθερότητά του καθιστώντας το έτσι ικανό για άλλη χρήση. Κάποιες από τις μεθόδους που περιλαμβάνονται στην κατεργασία είναι η απομάκρυνση των σιδηρούχων υλικών, η σταθεροποίηση, η στερεοποίηση και άλλες. Επίσης, ανάλογα με την μετέπειτα χρήση της μπορεί να γίνει η προσθήκη τσιμέντου τύπου Πόρτλαντ, φωσφορικών κ.ά. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

### 4.Απόθεση:

Για πολλά χρόνια η τέφρα δεν επεξεργαζόταν προτού διατεθεί στο περιβάλλον. Πλέον, κάτι τέτοιο θεωρείται επιβλαβές. Μια από τις χρήσεις της ήταν η κάλυψη των απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής τόσο σε καθημερινή βάση όσο και ως τελική κάλυψη. Το πλεονέκτημα αυτής της χρήσης είναι ότι άπαξ και στρωθεί η τέφρα δημιουργείται ένα επίπεδο στερεό υλικό, πάνω στο οποίο μπορούν να κυκλοφορούν φορτηγά. Η αφαίρεση των σιδηρούχων μετάλλων βελτιώνει την πυκνότητα και την σταθερότητα του στρώματος αυτού. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να υπάρχει αρκετή προσοχή για τις διαφυγές, π.χ. ύστερα από βροχόπτωση, καθώς τα νερά μπορεί να είναι ρυπασμένα και επικίνδυνα. Αρκετοί έχουν υποστηρίξει στο παρελθόν ότι η απόθεση της τέφρας μαζί με τα ακατέργαστα απορρίμματα σε χώρους ΧΥΤΑ μπορούν να αυξήσουν τη δημιουργία ρύπων κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης των αποβλήτων. Άλλοι υποστηρίζουν ότι η αλκαλικότητα της τέφρας μπορεί να οδηγήσει στην ουδετεροποίηση των ρύπων από τα απορρίμματα. Σε κάθε περίπτωση είναι προτιμότερο να δημιουργούνται χώροι ειδικοί για την απόθεση της τέφρας. Οι διαρροές από τις εγκαταστάσεις αυτές έχουν γνωστή σύσταση και μπορούν οπότε είτε να διατεθούν σε μονάδες επεξεργασίας νερού αν κριθούν κατάλληλες, ή να επεξεργαστούν πριν τη διάθεσή τους. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

## 5.Εναλλακτική χρήση:

Στις περισσότερες χώρες πλέον η τέφρα δεν διατίθεται, αλλά επεξεργάζεται για να χρησιμοποιηθεί σε άλλους τομείς. Η χρήση της είναι πλέον κοινή στον τομέα των κατασκευών. Για παράδειγμα, έχει χρησιμοποιηθεί σε παρκινγκ, σε μίγματα για πεζοδρόμια και δρόμους και σε μίγματα σκυροδέματος κυρίως Portland. Λόγω των πιθανών διαρροών έχει γίνει εκτενής μελέτη των χαρακτηριστικών της καθώς και των επιπτώσεων που θα έχουν στο περιβάλλον οι χρήσεις αυτές. Ενδεικτικά, θα αναφερθεί ότι έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η άσφαλτος είναι ικανή να απορροφά τα υπολείμματα τέφρας και να περιορίζει έτσι τις διαρροές με αποτέλεσμα το μίγμα αυτό να είναι κατάλληλο για χρήση στην κατασκευή δρόμων. (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

### B. Η ιπτάμενη τέφρα

Όσον αφορά την τέφρα που συλλέγεται ύστερα από το σύστημα καθαρισμού των αερίων, η σύστασή της επηρεάζεται από τα πρόσθετα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό. Για παράδειγμα, εάν έχει γίνει έγχυση ενεργού άνθρακα και άσβεστος από το σύστημα καθαρισμού τα υπολείμματα θα είναι ιπτάμενη τέφρα, άσβεστος, άνθρακας και οι ρύποι που θα έχουν απορροφηθεί. Σε κάποιες περιπτώσεις η άσβεστος μπορεί να αποτελεί μέχρι και το 50% του υπολείμματος. Λόγω του ότι η τέφρα αυτή είναι πιθανό να περιλαμβάνει βαρέα μέταλλα και διοξίνες, κατατάσσεται στα επικίνδυνα απόβλητα και απαιτεί ειδική άδεια για την διάθεσή της σε χώρους υγειονομικής ταφής. Εκτός από αυτή τη λύση, υπάρχει και η δυνατότητα επεξεργασίας της ιπτάμενης τέφρας με τεχνικές όπως η στερεοποίηση, η χημική σταθεροποίηση, η τήξη και η υαλοποίηση και διαδικασίες εξαγωγής και ανάκτησης. (Williams, 2005)

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την επεξεργασία της τέφρας από το σύστημα καθαρισμού των αερίων για την εξαγωγή διαφόρων ρύπων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η απομάκρυνση των αλάτων και των βαρέων μετάλλων. Αρχικά, η χρήση νερού μπορεί να οδηγήσει σχεδόν στην ολοκληρωτική απομάκρυνση των αλάτων αλλά μόνο ενός μικρού μέρους των βαρέων μετάλλων (λιγότερο από 1%). Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται οι διαφυγές αλάτων αλλά όχι και των μετάλλων με αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή να μην είναι αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται μόνη της. Ωστόσο υπάρχουν διάφορες εγκαταστάσεις που εφαρμόζουν την πλύση με νερό της τέφρας. Παρόμοια αποτελέσματα με το νερό έχει και η πλύση με οξέα. Και σε αυτή την περίπτωση η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων δεν είναι ολοκληρωτική (περίπου απομακρύνεται το 30-60%). Επίσης, η απομάκρυνση αυτής της ποσότητας δεν εγγυάται και την αποφυγή των διαρροών. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι οι οποίες δεν είναι ακόμα εφαρμοσμένες στην αγορά, αλλά λειτουργούν μόνο πειραματικά. Μια από αυτές είναι η χρήση μικροοργανισμών για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων με ποσοστό απομάκρυνσης 50-90% αλλά μόνο μέσα σε εργαστήρια. (ISWA, 2008)

Η χημική σταθεροποίηση περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που έχουν ως κύριο σκοπό την αδρανοποίηση και την σταθεροποίηση των ρύπων μέσα στην τέφρα. Το κύριο μέλημα των διαδικασιών είναι η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων. Υπάρχει η πιθανότητα χρήσης

των διαδικασιών αυτών μαζί με πλύση των υπολειμμάτων με νερό ή κάποιο οξύ για καλύτερα αποτελέσματα. Το πλεονέκτημα της χημικής στερεοποίησης είναι η μείωση των διαφυγών από το μίγμα χρησιμοποιώντας σχετικά απλές τεχνικές. Το μειονέκτημα είναι ότι εν τέλει δημιουργείται νερό με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και μετάλλων. (ISWA, 2008)

Η στερεοποίηση περιλαμβάνει τις διαδικασίες που έχουν ως σκοπό να συμπυκνώσουν, φυσικά και υδραυλικά, τα υπολείμματα. Στοχεύουν στον περιορισμό των διαφυγών, ιδίως των βαρέων μετάλλων, ύστερα από την τελική διάθεσή τους. Οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την χρήση νερού, τσιμέντου, ασφάλτου ή γύψου. Υπάρχουν παραδείγματα εφαρμογής αυτών των υλικών σε χώρους επεξεργασίας τέτοιων υπολειμμάτων. (Williams, 2005; ISWA, 2008)

Οι θερμικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την θέρμανση των αποβλήτων με σκοπό την αλλαγή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Το πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η δημιουργία ενός υλικού πυκνού και σταθερού με καλές ιδιότητες διαφυγών. Επίσης, με αυτές τις μεθόδους απομακρύνονται και άλλοι ρύποι όπως είναι οι διοξίνες. Βασικό μειονέκτημα είναι η μεγάλη απαίτηση σε ενέργεια και η δημιουργία ενός καυσαερίου που να περιλαμβάνει ασταθή μέταλλα. Στις μεθόδους αυτές περιλαμβάνεται η υαλοποίηση και η τήξη. (Williams, 2005; ISWA, 2008)

Οι νομοθεσίες σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο παρουσιάζουν διάφορους ελέγχους που πρέπει να γίνουν στην τέφρα προτού αυτή διατεθεί. Από ελέγχους πρέπει να περνάνε και οι υγρές διαρροές για να αποφασιστεί ο καλύτερος τρόπος επεξεργασίας τους. Οι έλεγχοι έχουν οριστεί σύμφωνα με την περιβαλλοντική πολιτική που εφαρμόζεται σε ευρωπαϊκή κλίμακα. Μπορεί να απαιτούνται δείγματα, είτε σε καθημερινή βάση είτε σε μηνιαία, για να μπορεί να γίνει η εξαγωγή ενός αποτελέσματος που θα είναι αντιπροσωπευτικό.

Υπάρχουν δύο τακτικές οι οποίες εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων όσον αφορά τη διαχείριση της τέφρας. Στη μία γίνεται ανάμειξη της εναπομένουσας τέφρας στο θάλαμο αποτέφρωσης με την ιπτάμενη τέφρα με αναλογία 75% τέφρας από τον καυστήρα και 25% ιπτάμενης τέφρας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται σταθεροποίηση των επικίνδυνων συστατικών της ιπτάμενης τέφρας. Στη συνέχεια το μίγμα αυτό μεταφέρεται σε χώρους απόθεσης ή σε ΧΥΤΑ για να αποτελέσει το κάλυμμα των απορριμμάτων που απορρίπτονται σε αυτούς. Στη δεύτερη περίπτωση η επεξεργασία της ιπτάμενης και της εναπομένουσας στον θάλαμο τέφρας γίνεται ξεχωριστά. Το αποτέλεσμα είναι, ενώ η ιπτάμενη ύστερα από επεξεργασία για την απομάκρυνση των επικίνδυνων συστατικών της, διατίθεται σε ειδικούς χώρους, η άλλη πωλείται ως αδρανές πρόσμιγμα στο σκυρόδεμα ή στα ασφαλτικά.

Σύγκριση των δύο εναλλακτικών:

Καταρχάς και στις δύο διαδικασίες θα γίνει αρχικά διαχωρισμός των σιδηρούχων και μη μετάλλων. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένας μαγνήτης ο οποίος θα διαχωρίσει σε πρώτη φάση τα σιδηρούχα υλικά από τα μη σιδηρούχα. Στη συνέχεια, για την μεγαλύτερη ακρίβεια θα γίνει διαχωρισμός με τη χρήση ηλεκτρισμού, ο οποίος θα διαχωρίσει τα μη

σιδηρούχα μέταλλα. Και οι δύο κατηγορίες υλικών θα παραμείνουν στις εγκαταστάσεις μέχρι την πώλησή τους.

Για να μπορέσει να επαναχρησιμοποιηθεί η εναπομένουσα τέφρα στις κατασκευές, η μονάδα αποτέφρωσης θα πρέπει να διαθέτει και ειδικό σύστημα επεξεργασίας της ιπτάμενης τέφρας, αφού τα δύο είδη θα μείνουν χωριστά. Κάτι τέτοιο αυξάνει το κόστος τόσο εγκατάστασης όσο και λειτουργίας της μονάδας. Βέβαια, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι θα υπάρξει κάποιο κέρδος από την πώληση της τέφρας. Η Γερμανία έχει κάνει ανάλυση του κόστους αυτής της εναλλακτικής. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή η μονάδα έχει κέρδος όταν επεξεργάζεται την ιπτάμενη τέφρα και πωλεί την υπόλοιπη. Εκτός από το οικονομικό όφελος υπάρχει και το όφελος της μείωσης του όγκου των απορριμμάτων που διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Ακόμα κι αν υποθεθεί ότι η τέφρα (ιπτάμενη και εναπομένουσα) θα χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των απορριμμάτων, ο συνολικός όγκος προς διάθεση αυξάνεται σε σχέση με τη διάθεση της επεξεργασμένης ιπτάμενης μόνο. (Accuardi et al, 2011; Zwahr, 2003)

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η οικονομική σύγκριση που έγινε στη Γερμανία σε μια μονάδα που αναμένεται να παράγει ετησίως 80.000 t εναπομένουσας τέφρας και 6.000 t ιπτάμενης. Στη Γερμανία το μίγμα ιπτάμενης και εναπομένουσας τέφρας θεωρείται επικίνδυνο απόβλητο λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα, διοξίνες και φουράνια που έχει η ιπτάμενη και έτσι θα έπρεπε να διατεθεί ολόκληρη σε κατάλληλους χώρους έναντι 100\$ ο τόνος. Στην άλλη περίπτωση όπου δεν γινόταν η ανάμιξη τους και η κάθε μία θα έπρεπε να διατεθεί ξεχωριστά, μόνο η ιπτάμενη τέφρα θα αποτελούσε επικίνδυνο απόβλητο και θα απαιτούσε διάθεση σε ειδικούς χώρους. Αντίθετα, η εναπομένουσα τέφρα θα μπορούσε να διατεθεί έναντι 30\$ ο τόνος ως μη επικίνδυνο απόβλητο. (Zwahr, 2003)

Κατηγορία τέφρας	Ποσότητα (t)	Τιμή μονάδας (\$)	Σύνολο (\$)
Εναπομένουσα	80.000	30	2.400.000
Ιπτάμενη	6.000	100	600.000
Εναπομένουσα + Ιπτάμενη	86.000	100	8.600.000

**Πίνακας 5: Κόστος διαχείρισης τέφρας**

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το κέρδος από την ξεχωριστή επεξεργασία της τέφρας είναι 5.600.000 \$. Ακόμα και στην περίπτωση που η εναπομένουσα τέφρα θα επεξεργαστεί ειδικά για να επαναχρησιμοποιηθεί, με κόστος που υπολογίζεται γύρω στα 25\$ ο τόνος λόγω του κόστους του αρχικού κεφαλαίου, της ενδιάμεσης και εξωτερικής αποθήκευσης της τέφρας και της προώθησης και μεταφοράς, το συνολικό ετήσιο κόστος θα ήταν 2.000.000 \$ οπότε και πάλι η μονάδα θα εξοικονομούσε χρήματα. Επίσης, το κόστος επεξεργασίας της τέφρας θα μπορούσε να μειωθεί κι άλλο εάν μπορούσε να γίνει ανάκτηση των μετάλλων. Τα σιδηρούχα μέταλλα, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, είναι 7.500 τόνοι το χρόνο και θα μπορούσαν να πωληθούν έναντι 20\$ ο τόνος. Το κέρδος θα ήταν οπότε 150.000\$ το



χρόνο. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα, 700 τόνοι το χρόνο, θα πωληθούν έναντι 250\$ ο τόνος και άρα θα επέφεραν κέρδος 175.000 \$. Οπότε, το κόστος επεξεργασίας θα μειωνόταν στα 1.675.000 \$. Εάν προστεθούν και 600.000\$ που είναι το κόστος διάθεσης της ιπτάμενης τέφρας, το συνολικό κόστος θα ήταν 2.275.000 \$. Όπως φαίνεται η επιλογή της ξεχωριστής διάθεσης και επεξεργασίας της εναπομένουσας τέφρας με ανάκτηση των μετάλλων είναι η πιο οικονομικά συμφέρουσα σύμφωνα βέβαια με τα συγκεκριμένα οικονομικά στοιχεία.

#### **6.1.4 Επεξεργασία υγρών υπολειμμάτων**

Γενικά η διαχείριση των υγρών υπολειμμάτων δεν θεωρείται ένα σημαντικό πρόβλημα σε σχέση με τη διαχείριση της τέφρας ή των αερίων καθώς η ποσότητά τους είναι πολύ μικρή μέσα στη μονάδα. Μια συνηθισμένη μονάδα αποτέφρωσης απορριμμάτων στην Ευρώπη παράγει περίπου 0,15-0,30 m<sup>3</sup> / t ανάλογα με το σύστημα καθαρισμού αερίων που χρησιμοποιεί. Οι κύριες πηγές υγρών υπολειμμάτων είναι από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων όπως είναι οι καθαριστές υγρής πλύσης, οι καθαριστές για την απομάκρυνση των όξινων οξειδίων που χρησιμοποιούν αλκαλικές ουσίες, το σύστημα σβησίματος της τέφρας του καυστήρα, ο καθαρισμός των συστημάτων διαχείρισης της τέφρας και του χώρου στον οποίο αποθηκεύονται τα εισερχόμενα απορρίμματα. Σε κάθε περίπτωση, το νερό που εξέρχεται από την μονάδα αποτέφρωσης θα είναι ρυπασμένο.

Αρχικά, το νερό που προέρχεται από τον καθαρισμό του χώρου προσαγωγής και φύλαξης των απορριμμάτων καθώς και αυτό που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία της τέφρας, έχουν υψηλές βιολογικές και χημικές απαιτήσεις σε οξυγόνο και περιέχουν αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά, οργανικά ή και ανόργανα. Λόγω της μικρής ποσότητας αυτού του νερού, η διάθεσή του μπορεί να γίνει σε υγειονομικούς υπονόμους. Δε πρέπει να διατίθεται σε έργα αποχέτευσης όμβριων ή σε ρυάκια χωρίς να έχει επεξεργαστεί προηγουμένως. Το νερό που χρησιμοποιείται για την ψύξη της τέφρας έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σωματίδια, χαμηλότερο pH και χρειάζεται πρώτα επεξεργασία για την αφαίρεση των σωματιδίων προτού διατεθεί. Σε περίπτωση που η διάθεση θα γίνει σε ρυάκια απαιτείται και κατάλληλη επεξεργασία για να επανέλθει το pH σε φυσιολογικά επίπεδα. Η επανακυκλοφόρηση των υγρών υπολειμμάτων μέσα στο σύστημα καθαρισμού μπορεί να μειώσει αισθητά την ποσότητά τους και είναι επιθυμητή όταν αυτό είναι δυνατό. Οι ποσότητες σε βαρέα μέταλλα που εν τέλει εντοπίζονται στο νερό είναι χαμηλότερες από τις επιτρεπόμενες σύμφωνα με τον κανονισμό της ευρωπαϊκής ένωσης. Παρακάτω εμφανίζονται οι συνήθεις ποσότητες από τον καθαρισμό των αερίων σε δύο στάδια και ύστερα από την επεξεργασία του νερού για μια μονάδα που επεξεργάζεται 4\*12 tones / h. (Williams, 2005; Niessen, 2010)

Polluting substance	Emission limit (mg l <sup>-1</sup> )	Wastewater 1st stage	Wastewater 2nd stage	Treated wastewater both stages
Total solids	30 <sup>1</sup>	—	—	—
Total solids	45 <sup>2</sup>	—	—	—
Hg	0.03	0.051	0.02	0.03–0.27
Cd	0.05	<0.004	<0.004	—
Tl	0.05	—	—	—
As	0.15	—	—	—
Pb	0.2	2.6	0.46	<0.10–0.21
Cr	0.5	3.2	0.74	0.10–0.47
Cu	0.5	3.0	0.79	0.002–0.015
Ni	0.5	34	2.0	<0.02–0.68
Zn	1.5	—	—	<0.01–0.11
Dioxins (TEQ)	0.3	—	—	—

<sup>1</sup> 95% values do not exceed.

<sup>2</sup> 100% values do not exceed.

### Πίνακας 6: Ποσότητα ρύπων στο νερό ύστερα από κάθε στάδιο επεξεργασίας

Τα βαρέα μέταλλα είναι ο κύριος ρύπος στα υγρά υπολείμματα. Η επεξεργασία τους για την απομάκρυνση αυτών συνήθως γίνεται με τη χρήση υδροξειδίου του ασβεστίου. Αυτό προκαλεί την καθίζηση σε μορφή ιλύος των περισσότερων ρύπων. Το στερεό υλικό που προκύπτει αναμειγνύεται με την ιπτάμενη τέφρα και οδηγείται σε χώρους ταφής. Υπάρχει η περίπτωση τα υγρά υπολείμματα να εξατμιστούν αφήνοντας ένα στερεό υπόλειμμα που μπορεί να παγιδευτεί στα φίλτρα από ύφασμα που διαθέτει η μονάδα για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων. (Williams, 2005)

Σε περίπτωση που νερό χρησιμοποιείται μόνο για το σβήσιμο της τέφρας, η μονάδα μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξατμίζει το 100% του νερού μειώνοντας έτσι τα ζητήματα διαχείρισής του. (Niessen, 2010)

## **6.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ-ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ**

Όπως είναι λογικό και κατά την εφαρμογή των μεθόδων αυτών η συμμόρφωση με τους κανόνες και τα όρια των επιτρεπόμενων εκπομπών είναι απαραίτητη. Στην περίπτωση, της πυρόλυσης και της αεριοποίησης ωστόσο, οι διαδικασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος είναι πολύ λιγότερες, και άρα λιγότερο δαπανηρές, απ' ό,τι στην περίπτωση της αποτέφρωσης. Αυτό ισχύει λόγω των περιορισμένων απαερίων που πρέπει να καθαριστούν. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

Είναι σίγουρο ότι με τις διαδικασίες αυτές το στερεό υπόλειμμα που θα δημιουργηθεί θα διατεθεί εκτός μονάδας. Τα υπολείμματα αυτά περιλαμβάνουν μέταλλα μαζί με άνθρακα. Ενώ στην περίπτωση της αεριοποίησης η ποσότητα του άνθρακα είναι μικρή, στην πυρόλυση η ποσότητα είναι σημαντική. Μεγάλα στερεά κομμάτια αποβάλλονται από τον αντιδραστήρα αποτελώντας την εναπομένουσα τέφρα του θαλάμου ή σκωρία. Σε

διαδικασίες με υψηλότερες θερμοκρασίες, το υπόλειμμα από τον θάλαμο είναι μια υαλώδης σκωρία η οποία έχει ελάχιστες διαφυγές. Το υλικό αυτό έχει προοπτικές να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο αδρανές. Πιο ελαφριά τέφρα συλλέγεται όταν το απαέριο διαχωρίζεται μέσα από σύστημα κυκλώνων ή φίλτρων. Επίσης, ασταθή μέταλλα (μόλυβδος, κασσίτερος, κάδμιο, υδράργυρος) θα υπάρχουν στο απαέριο έως ότου ψυχθούν αρκετά έτσι ώστε να συμπυκνωθούν. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013; Williams, 2005)

Ένα πολύ σημαντικό προϊόν των διαδικασιών της αεριοποίησης και της πυρόλυσης είναι το απαέριο syngas. Η χρήση του για την ανάκτηση ενέργειας μέσω της καύσεως μειώνει τον όγκο των αερίων που τελικά πρέπει να καθαριστούν, μειώνοντας έτσι το κόστος του συστήματος καθαρισμού των απαερίων. Βέβαια, εάν το αέριο δεν έχει καθαριστεί προτού χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση ενέργειας είναι πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας, καθαρισμού των απαερίων, των φίλτρων και των μηχανών. Η πίσσα, τα σωματίδια, τα αλογόνα και τα βαρέα μέταλλα είναι καλό να απομακρύνονται. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013; Klein and Themelis, 2003)

Καταρχάς, η πίσσα μπορεί να απομακρυνθεί με χημικές ή φυσικές διαδικασίες. Οι καθαριστές υγρής πλύσης δεν θεωρούνται κατάλληλοι γιατί το νερό ύστερα από την επεξεργασία χαρακτηρίζεται σαν επικίνδυνο απόβλητο και η επεξεργασία του αυξάνει το συνολικό κόστος της μονάδας. Οι χημικές επεξεργασίες περιλαμβάνουν τις εξής: θερμική, με ατμό και μερική οξειδωση και καταλυτικές διαδικασίες. Στη συνέχεια, οι ροές αλογόνων μπορούν να απομακρυνθούν εάν χρησιμοποιηθούν διάφορα αλκάλια (άσβεστος, υδροξείδιο του νατρίου) σαν αντιδραστήρια. Επίσης, για την απομάκρυνση του θείου μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές, κάτι που σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τις αρχικές ποσότητες. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

Σε περίπτωση που το αέριο syngas δε χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση ενέργειας αλλά ως χημική πρώτη ύλη οι απαιτήσεις για την καθαρότητα του αερίου είναι πολύ υψηλές. Οι ρύποι και κυρίως το θείο και τα αλογόνα, μπορεί να χρειάζεται να αφαιρεθούν και πριν από την καύση του αερίου. (DEFRA<sup>(2)</sup>, 2013)

## 7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

### 7.1 ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η Θεσσαλία είναι γεωγραφικό διαμέρισμα της Ελλάδας που αποτελείται από τους εξής νομούς: Λάρισας, Τρικάλων, Μαγνησίας και Καρδίτσας. Η συνολική έκτασή της είναι 14.036 km<sup>2</sup>, αποτελώντας έτσι το 11% της συνολικής έκτασης της Ελλάδος. Η πληθυσμός της Θεσσαλίας ανέρχεται στους 732.762 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά ο πληθυσμός του κάθε νομού, το 2001 αλλά και το 2011. Στον νομό Μαγνησίας περιλαμβάνονται και τα νησιά των Σποράδων, εκτός από το νησί της Σκύρου.

<b>ΝΟΜΟΣ (ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ)</b>	<b>ΕΚΤΑΣΗ (km<sup>2</sup>)</b>	<b>ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (2011)</b>	<b>ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (2001)</b>	<b>ΔΙΑΦΟΡΑ</b>
Λάρισας (Λάρισα)	5.381 (335,12)	284.325 (162.591)	282.156 (145.981)	+0,77%
Τρικάλων (Τρίκαλα)	3.384 (608,5)	131.085 (81.355)	132.689 (78.817)	-1,2%
Καρδίτσας (Καρδίτσα)	2.576 (647,6)	113.544 (56.747)	120.265 (57.089)	-5,6%
Μαγνησίας (Βόλος)	2.636 (387,1)	190.010 (144.449)	205.005 (142.923)	-7,3%

#### Πίνακας 7: Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά νομών

Σημείωση: οι αριθμοί αυτοί αναφέρονται στους μόνιμους κατοίκους, δηλαδή στους Έλληνες και αλλοδαπούς που έχουν ως μόνιμο τόπο κατοικίας τους αυτές τις περιοχές.

Ο πληθυσμός της Θεσσαλίας σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ήταν 740.115 κάτοικοι, κάτι που δείχνει μείωση πληθυσμού της τάξεως του 0,99% (μέσα σε δέκα χρόνια). Παρατηρείται ότι ο μόνος νομός του οποίου ο πληθυσμός αυξάνεται είναι της Λάρισας. Λόγω της μελέτης ολόκληρου του γεωγραφικού διαμερίσματος οι υπολογισμοί θα γίνουν με αυτή τη μείωση θεωρώντας ότι η αύξηση που παρατηρείται στον συγκεκριμένο νομό ενσωματώνεται στο νούμερο αυτό. ([www.statistics.gr](http://www.statistics.gr))

Ένα στοιχείο ακόμα που θα έπρεπε να ληφθεί υπ' όψιν είναι αυτό της αύξησης του πληθυσμού λόγω τουρισμού. Η Θεσσαλία δεν αποτελεί εν γένει τουριστικό προορισμό κι έτσι δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις. Δεδομένου ότι υπάρχει αύξηση του τουρισμού στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια της τάξεως του 0,3% ετησίως, ο εκτιμώμενος αριθμός επισκεπτών θα υπολογιστεί με βάση τον αριθμό των διανυκτερεύσεων για το 2011 όπου ήταν 768.810 για την Θεσσαλία. Για το 2016 το νούμερο ανέρχεται στις 780.000, ενώ το 2020 στις 790.000 διανυκτερεύσεις. ([www.wttc.org](http://www.wttc.org))

Ο υπολογισμός των ατόμων που θα συμπεριληφθούν για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ΑΣΑ θα γίνει με τη μέθοδο του ισοδύναμου πληθυσμού (Tchobanoglous and Kreith, 2002):

$$\text{(ισοδύναμος πληθυσμός)} = \text{(πληθυσμός χειμερινής περιόδου)} + \text{(αριθμός διανυκτερεύσεων)/365}$$

Οπότε έχω:

Έτος	Πληθυσμός	Διανυκτερεύσεις	Ισοδύναμος πληθυσμός
2011	732.762	768.810	734.870
2016	729.000	780.000	731.140
2020	726.000	790.000	728.160

Πίνακας 8: Ισοδύναμος πληθυσμός

## **7.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Η ποσότητα των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων είναι άμεσα εξαρτώμενη από τις οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες γι' αυτό και υπάρχουν σημαντικές διαφορές τόσο ανάμεσα σε ευρωπαϊκές πόλεις, όσο και σε πόλεις μέσα στην ίδια χώρα. Κάποιοι από τους παράγοντες αυτούς είναι το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, το μέγεθος του νοικοκυριού, το κοινωνικό επίπεδο καθώς και το ποσοστό ενασχόλησης με τη γεωργία, τη βιομηχανία κτλ.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2014 η μέση ετήσια παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανά κάτοικο για την Ελλάδα ανέρχεται στα 510 kg/κάτοικο. Ο μέσος όρος στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 475 kg/κάτοικο. Επίσης, εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ετήσια παραγωγή ΑΣΑ αυξάνεται κάθε χρόνο στη χώρα μας, σε αντίθεση με την υπόλοιπη Ευρώπη όπου έχει αρχίσει η μείωσή της από το 2008 και μετά. Η αύξηση που παρατηρείται από το 2000 μέχρι και το 2014 είναι 24% (δηλαδή αύξηση 1,7% το χρόνο). Λόγω του ότι τα τελευταία χρόνια η ευρωπαϊκή πολιτική για την προστασία του περιβάλλοντος έχει αλλάξει, δίνοντας μεγαλύτερη αξία στην πρόληψη και όχι στην αντιμετώπιση, η παραγωγή των απορριμμάτων πιθανολογείται ότι θα μειωθεί και στην χώρα μας. Βέβαια, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για κάτι τέτοιο δεδομένου ότι και τώρα οι σχετικές νομοθεσίες υπάρχουν στην χώρα μας χωρίς να εφαρμόζονται. (<http://ec.europa.eu/eurostat>)

	1995	2000	2004	2008	2011	2014	change (%) 1995-2014
EU-28	:	521	511	520	496	475	:
EU-27	473	523	513	521	497	475	0%
Belgium	455	471	485	479	456	435	-4%
Bulgaria	694	612	599	599	508	442	-36%
Czech Republic	302	335	279	306	320	310	3%
Denmark	521	610	620	741	781	759	46%
Germany	623	642	587	589	614	618	-1%
Estonia	371	453	445	392	301	357	-4%
Ireland	512	599	737	718	617	586	14%
Greece	:	412	436	458	503	510	:
Spain	510	658	600	551	485	435	-15%
France	475	514	519	541	538	511	8%

Εικόνα 41: Παραγωγή απορριμμάτων στην Ε.Ε.

Ενδιαφέρον προκαλεί και η χωρική κατανομή της παραγωγής ΑΣΑ. Στη Θεσσαλία, σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το 2011, η παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων ήταν 381.946 t.

Υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι για τον υπολογισμό των παραγόμενων απορριμμάτων στη Θεσσαλία για το έτος 2020. Ο πρώτος είναι να θεωρηθεί ότι η παραγωγή απορριμμάτων θα συνεχίσει να είναι σταθερή με αυτή του 2014, δηλαδή 510 kg/κάτοικο/έτος. Τότε η παραγωγή για τα έτη 2016 και 2020 θα ήταν:

Έτος	Ετήσια παραγωγή ΑΣΑ (kg/κάτοικος)	Ετήσια παραγωγή ΑΣΑ (t)
2011	510	381.946
2016	510	372.880
2020	510	371.360

Πίνακας 9: Ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α για σταθερή παραγωγή ανά κάτοικο

Ο δεύτερος τρόπος είναι να συνυπολογιστεί η αύξηση 1,7% που παρατηρείται κάθε χρόνο στην παραγωγή απορριμμάτων σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat. Τότε η ετήσια παραγωγή θα γίνει:

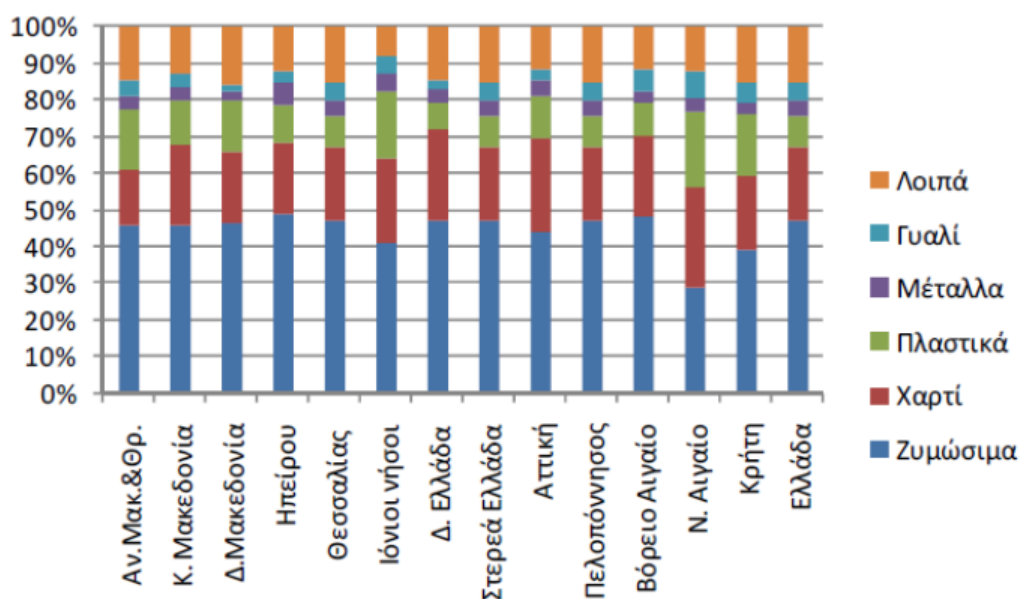
Έτος	Ετήσια παραγωγή ΑΣΑ (kg/κάτοικος)	Ετήσια παραγωγή ΑΣΑ (t)
2011	503	381.946
2016	524	383.120
2020	552	401.940

Πίνακας 10: Ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α. για αυξανόμενη παραγωγή ανά κάτοικο

Όπως φαίνεται ο δεύτερος τρόπος είναι δυσμενέστερος για τον υπολογισμό της παραγωγής ΑΣΑ για το έτος 2020. Βέβαια, είναι αρκετά δυσμενέστερο να γίνουν οι υπολογισμοί με βάση τον μέσο όρο παραγωγής ανά κάτοικο. Κι αυτό γιατί οι αγροτικές περιοχές έχουν χαμηλότερη παραγωγή ΑΣΑ απ’ ό,τι τα μεγάλα αστικά κέντρα. Για παράδειγμα, ενώ η Αθήνα έχει ρυθμό παραγωγής 584kg/κάτοικο/έτος, η Τρίπολη έχει μόλις 464 kg/κάτοικο/έτος. (<http://www.atlas.d-waste.com/>) Για λόγους απλότητας, όμως, θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος για την Ελλάδα.

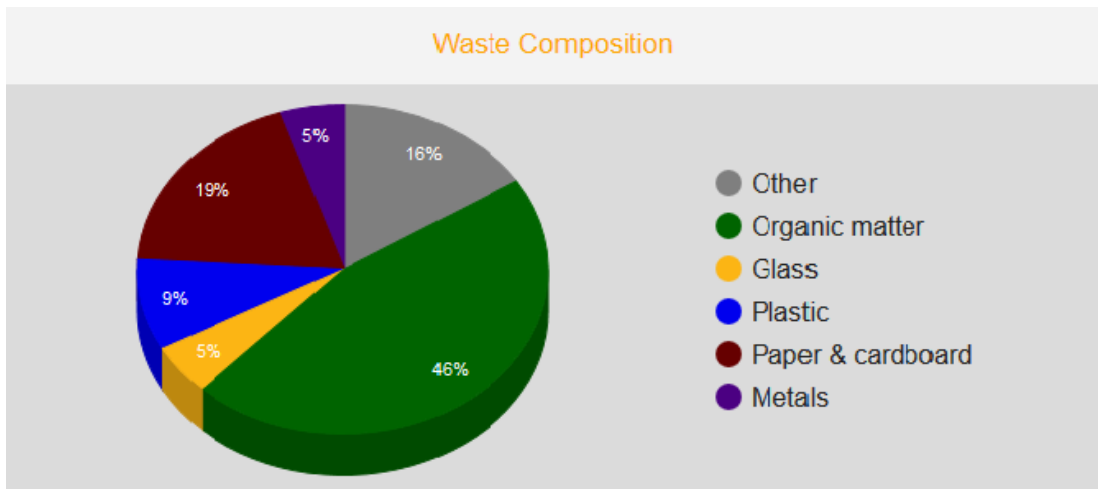
### 7.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Για να επιλεγεί η καλύτερη μέθοδος επεξεργασίας των απορριμμάτων σημαντικός παράγοντας είναι η σύστασή τους. Αυτή εξαρτάται, όπως και η ποσότητα των ΑΣΑ, από πολλούς παράγοντες όπως τα καταναλωτικά πρότυπα, τις δραστηριότητες της κοινωνίας, την εποχή κτλ. Αυτό, όμως, σημαίνει ότι σε κάθε περιοχή η σύσταση των ΑΣΑ διαφέρει. Για παράδειγμα, παρουσιάζεται η σύσταση των απορριμμάτων σε περιοχές της Ελλάδας: (Μπουρτσάλας κ.ά., 2011)



Εικόνα 42: Σύσταση απορριμμάτων σε περιοχές της Ελλάδας

Για την διευκόλυνση της μελέτης του παραδείγματος της Θεσσαλίας θα θεωρηθεί ότι η σύσταση των απορριμμάτων της περιοχής είναι παρόμοια με αυτή του μέσου όρου της Ελλάδας, παραδοχή που όπως φαίνεται και από το διάγραμμα δεν είναι πολύ λανθασμένη. Η σύσταση των απορριμμάτων της Ελλάδος είναι η εξής (<http://www.atlas.d-waste.com/>) :



**Εικόνα 43: Σύσταση απορριμμάτων στην Ελλάδα**

Στην κατηγορία «άλλα» περιλαμβάνονται τα υφάσματα, το ξύλο και το δέρμα (5%), τα αδρανή (5%) και τα υπόλοιπα (6%).

**Σημείωση:** Η σύσταση αυτή που εμφανίζεται στο διάγραμμα είναι από έρευνα που διεξήχθη το 2003. Πιο πρόσφατη έρευνα με τα αποτελέσματά της δεν είναι διαθέσιμη καθώς ακόμα βρίσκεται σε εξέλιξη από το Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών για λογαριασμό του ΕΣΔΚΝΑ.

Η σύσταση των απορριμμάτων είναι αρκετά σημαντική καθώς με αυτήν υπολογίζεται η περιεχομένη υγρασία, η ποσότητα διάφορων ουσιών επικίνδυνων ή μη μέσα στα απορρίμματα καθώς και η θερμογόνος δύναμή τους. Οι επικίνδυνες ουσίες εμπεριέχονται σε αντικείμενα όπως οι μπαταρίες, υπολείμματα από μπογιά και κόλλα, εντομοκτόνα κτλ. Παρ' όλο που η συμμετοχή αυτών των αντικειμένων στα απορρίμματα είναι πολύ μικρή και οι συγκεντρώσεις των επικίνδυνων ουσιών ελάχιστες μέσα στον όγκο των απορριμμάτων που πρόκειται να επεξεργαστούν καθημερινά, κρίνεται σκόπιμο να αφαιρούνται τα αντικείμενα προτού ξεκινήσει η επεξεργασία. Το αντικείμενο που περιέχει τις περισσότερες επικίνδυνες ουσίες (υδράργυρος, κάδμιο) είναι οι μπαταρίες. Η απομάκρυνση των μπαταριών οδηγεί σε μείωση 50% των πηγών επικίνδυνων ουσιών μέσα στα απόβλητα. (Accuardi et al, 2011)

Για την μελέτη της δημιουργίας της μονάδας αποτέφρωσης στην Θεσσαλία θα θεωρηθεί ότι το ποσοστό της ανακύκλωσης είναι μηδενικό. Αυτό βέβαια θα επηρεάσει τη σύσταση των απορριμμάτων καθώς και την θερμογόνο αξία τους. Για παράδειγμα, η απομάκρυνση του γυαλιού και του μετάλλου, αυξάνει τη θερμογόνο αξία των απορριμμάτων, ενώ μειώνει την ποσότητα των μετάλλων που πρέπει να απομακρυνθούν από την τέφρα. Επίσης, εάν τα απορρίμματα δεν περιλαμβάνουν χαρτιά, χαρτόνια και πλαστικά, μειώνεται η θερμογόνο αξία του υπολοίπου. Αφαιρώντας το οργανικό κλάσμα, δηλαδή τα υπολείμματα τροφίμων και κήπου, μειώνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία και αυξάνεται η καθαρή θερμογόνο αξία. (European Commission <sup>(1)</sup>, 2006)



Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η σύσταση των απορριμμάτων θεωρείται σταθερή κατά τη διάρκεια του χρόνου. Αυτό είναι θεμιτό αλλά δεν είναι πάντα εφικτό και ακριβές. Για παράδειγμα, τα απορρίμματα μπορεί να περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης κατά τους θερινούς μήνες, ειδικά στις αγροτικές περιοχές. Η διακύμανση ωστόσο θεωρείται πολύ μικρή για να μπορέσει να επηρεάσει αισθητά τα χαρακτηριστικά του μίγματος των απορριμμάτων. Η μικρή διακύμανση στη σύσταση είναι επιθυμητή καθώς με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται ομοιόμορφες συνθήκες λειτουργίας της μονάδας, καθώς επίσης και σταθερές απαιτήσεις σε οξυγόνο. Ακόμα, με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται και η παρόμοια σύσταση της τέφρας ανεξάρτητα από τα απορρίμματα κάτι που διευκολύνει την επεξεργασία της. Εν κατακλείδι, η ομοιόμορφη σύσταση των αποβλήτων προς επεξεργασία και η μικρή διακύμανση αυτής οδηγεί σε οικονομικότερη λειτουργία της μονάδας.

#### **7.4 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ:**

Η συνολική έκταση που απαιτείται για παρόμοιου μεγέθους εγκαταστάσεις είναι μεταξύ 30.000 και 70.000 m<sup>2</sup>. Ωστόσο η έκταση που καταλαμβάνουν τα κτήρια και οι αναγκαίες εγκαταστάσεις είναι πολύ μικρότερη. Μια λογική υπόθεση, λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις υφιστάμενων μονάδων στην Ευρώπη με παρόμοια χωρητικότητα, μπορεί να γίνει λέγοντας ότι η συνολική έκταση θα είναι 35.000 m<sup>2</sup> και η έκταση των εγκαταστάσεων θα είναι 20.000 m<sup>2</sup>. Οι διαστάσεις του οικοπέδου της μονάδας θα είναι 200x175m. (Accuardi et al, 2011; Karagiannidis, 2012; DEFRA<sup>(1)</sup>, 2013)

Η τοποθεσία που επιλέχθηκε (βλ. Παράρτημα) είναι αυτή της Νίκαιας στον νομό Λάρισας. Είναι μια περιοχή κοντά στην εθνική οδό για μείωση του χρόνου των δρομολογίων ενώ ταυτόχρονα βρίσκεται κοντά σε 5 από τους 6 σταθμούς μεταφόρτωσης που θα χρησιμοποιηθούν ανάμεσα στους οποίους είναι και αυτός του Αλμυρού Μαγνησίας από τον οποίο μεταφέρονται και τα περισσότερα απορρίμματα καθημερινά. Η περιοχή αυτή έχει το χαμηλότερο συνολικό κόστος μεταφορών ανά έτος σε σχέση με τις άλλες περιοχές που μελετήθηκαν. Επίσης, όπως φαίνεται και από την μελέτη καλύπτει όλα τα κριτήρια καταλληλότητας.



Εικόνα 44: Τοποθεσία μονάδας αποτέφρωσης

## **7.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ**

### **7.5.1 Συλλογή απορριμμάτων**

Η συλλογή των απορριμμάτων θα πραγματοποιείται με οχήματα από τους δήμους και τις κοινότητες κάθε νομού όπως συμβαίνει και τώρα. Σε κάθε νομό θα πρέπει να λειτουργεί τουλάχιστον ένας σταθμός μεταφόρτωσης. Αυτό θα βοηθήσει στην καλύτερη οργάνωση των μεταφορών προς τη μονάδα αποτέφρωσης. Η συγκομιδή στις μεγάλες πόλεις γίνεται κάθε μία ή δύο μέρες, ενώ σε αγροτικές περιοχές μπορεί να πραγματοποιείται μία ή δύο φορές την εβδομάδα. Επίσης η συγκομιδή, συνήθως, πραγματοποιείται τις νυχτερινές ώρες για να προκαλούνται όσο το δυνατόν λιγότερα προβλήματα στις συγκοινωνίες. Τέλος, τα σαββατοκύριακα, τις ημέρες αργίας καθώς και κατά τη διάρκεια πιθανών απεργιών, η συλλογή είναι πιο αραιή ή δεν πραγματοποιείται καθόλου. Φαίνεται όμως έτσι ότι η ροή των απορριμμάτων δεν μπορεί να είναι σταθερή καθημερινά. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία της μονάδας αποτέφρωσης. Γι' αυτό λόγο, καλύτερη λύση θεωρείται αυτή των σταθμών μεταφόρτωσης, τουλάχιστον ένας σε κάθε νομό, οι οποίοι θα πρέπει να είναι κοντά στις μεγάλες πόλεις για την καλύτερη εξυπηρέτηση των αστικών κέντρων. Σε αυτούς δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται καμία επεξεργασία των απορριμμάτων (π.χ. συμπίεση) διότι η μονάδα είναι σχεδιασμένη να επεξεργάζεται ακατέργαστα απόβλητα. Αυτό που θα μπορούσε να ξεκινάει στους σταθμούς μεταφόρτωσης και να ολοκληρώνεται στην μονάδα αποτέφρωσης είναι η διαλογή των μεταλλικών και γυάλινων ογκωδών αντικειμένων τα οποία θα οδηγούνται σε χώρους

ανακύκλωσης. Απορριματοφόρα θα μεταφέρουν τα απορρίμματα προς την μονάδα επεξεργασίας καθημερινά.

Οι σταθμοί μεταφόρτωσης που θα χρησιμοποιηθούν είναι αυτοί που ήδη υπάρχουν εγκαταστημένοι στους νομούς. Στον νομό Λάρισας υπάρχουν τρεις οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν: στην Ελασσόνα, την Αγιά και τον Πολυδάμαντα. Στον νομό Τρικάλων υπάρχει στην περιοχή της Πύλης. Στον νομό Καρδίτσας βρίσκεται μέσα στην πόλη της Καρδίτσας. Και τέλος στον νομό Μαγνησίας υπάρχει στην περιοχή του Αλμυρού. Παρακάτω σημειώνονται οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων αυτών και της εγκατάστασης αποτέφρωσης καθώς και ο ενδεικτικός χρόνος που χρειάζεται:

Σταθμοί μεταφόρτωσης	Χιλιομετρική απόσταση (km)	Ενδεικτικός χρόνος (min)
<b>Ελασσόνα</b> (v. Λάρισας)	53	50
<b>Πολυδάμαντας</b> (v. Λάρισας)	28	37
<b>Αγιά</b> (v. Λάρισας)	37	33
<b>Πύλη</b> (v. Τρικάλων)	<b>88</b>	65
<b>Καρδίτσα</b> (v. Καρδίτσας)	62	50
<b>Αλμυρός</b> (v. Μαγνησίας)	65	42

Πίνακας 11: Χιλιομετρικές αποστάσεις και ενδεικτικός χρόνος από τους σταθμούς μεταφόρτωσης προς την τοποθεσία της μονάδας αποτέφρωσης

### **7.5.2 Μεταφορά απορριμμάτων**

Τα απορριματοφόρα θα μεταφέρουν καθημερινά τα απορρίμματα από τους έξι σταθμούς μεταφόρτωσης προς την μονάδα επεξεργασίας. Για να μπορέσει να λειτουργήσει η μονάδα σταθερά, πρέπει κάθε μέρα από τους σταθμούς να φεύγει μια σχεδόν σταθερή ποσότητα απορριμμάτων. Βέβαια, όπως φαίνεται και από πιο πάνω, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να είναι πάντα υλοποιήσιμο. Η μονάδα παρόλα αυτά θα θεωρήσουμε ότι πρέπει να δέχεται καθημερινά 1110 t (για το έτος 2020 το νούμερο είναι 1101 t αλλά για λόγους ασφαλείας θεωρούμε λίγο μεγαλύτερο). Λόγω της διαφοράς των πληθυσμών σε κάθε νομό, τα απορρίμματα που θα «φεύγουν» καθημερινά από τον κάθε σταθμό μεταφόρτωσης μαζί με τα οχήματα που θα τα μεταφέρουν είναι ως εξής:

Σταθμός μεταφόρτωσης	Ποσότητα απορριμμάτων (t/ημέρα)	Αριθμός απαιτούμενων διαδρομών
ν. Λάρισας	440	30
ν. Τρικάλων	203	14
ν. Καρδίτσας	176	12
ν. Μαγνησίας	291	20
<b>Σύνολο</b>	<b>1110</b>	<b>76</b>

Πίνακας 12: Αριθμός απαιτούμενων δρομολογίων από κάθε σταθμός μεταφόρτωσης

Σημείωση: Γίνεται η υπόθεση ότι χρησιμοποιούνται για την μεταφορά οχήματα χωρητικότητας 15t έκαστο.

Τα απαιτούμενα οχήματα υπολογίστηκαν με βάση την απαιτούμενη ώρα κάθε διαδρομής με δεδομένο ότι η μεταφορά των απορριμμάτων προς την μονάδα γίνεται για δώδεκα ώρες την ημέρα.

Σταθμός μεταφόρτωσης	Απαιτούμενα οχήματα	Διαδρομές που θα κάνει έκαστο την ημέρα
<b>Ελασσόνα</b> (ν. Λάρισας)	<b>2</b>	5
<b>Πολυδάμαντας</b> (ν. Λάρισας)	<b>2</b>	5
<b>Αγιά</b> (ν. Λάρισας)	<b>1</b>	10
<b>Πύλη</b> (ν. Τρικάλων)	<b>3</b>	4+1 από 2 οχήματα
<b>Καρδίτσα</b> (ν. Καρδίτσας)	<b>2</b>	6
<b>Ελασσόνα</b> (ν. Λάρισας)	<b>2</b>	5
<b>Αλμυρός</b> (ν. Μαγνησίας)	<b>3</b>	6+1 από 2 οχήματα

Πίνακας 13: Απαιτούμενα οχήματα και αριθμός δρομολογίων για το καθένα

### 7.5.3 Αποδοχή και αποθήκευση απορριμμάτων

Τα απορριμματοφόρα που θα εισέρχονται στη μονάδα θα αδειάζουν το φορτίο τους σε έναν ειδικά διαμορφωμένο χώρο-δάπεδο (tipping floor). Προτού γίνει αυτό θα περνάνε από μια ζυγαριά που θα σημειώνει το μεικτό βάρος τους. Το ίδιο θα γίνεται και αφού έχουν αδειάσει το φορτίο τους. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί το ακριβές βάρος των απορριμμάτων που εισήλθαν για επεξεργασία κάτι που είναι χρήσιμο για τον έλεγχο λειτουργίας της μονάδας, των εκπομπών αλλά και τον υπολογισμό των τελών. Οι πύλες εκφόρτωσης θα πρέπει να μπορούν να κλειδώνουν τόσο για την αποφυγή διαφυγής οσμών, θορύβου και εκπομπών όσο και για λόγους ασφαλείας έναντι πυρκαγιάς.

Παρ' όλο που η μονάδα δεν είναι σχεδιασμένη για την πλήρη απομάκρυνση των επικίνδυνων απορριμμάτων, στο χώρο αυτό θα πραγματοποιείται η απομάκρυνση των υλικών που δεν καίγονται, όπως επίσης και μεγάλων αντικειμένων μεταλλικών ή από γυαλί. Στο δάπεδο είναι εύκολο να διαχωριστούν οι κύριες πηγές μεγάλων μεταλλικών αντικειμένων και να απομακρυνθούν με σκοπό την αύξηση της θερμογόνου αξίας των απορριμμάτων και την μείωση του όγκου της τέφρας. Ωστόσο σε μονάδες αποτέφρωσης εφαρμόζονται κυρίως τεχνικές απομάκρυνσης απορριμμάτων ύστερα από την καύση. Μια τέτοια μέθοδος με πολύ καλά αποτελέσματα είναι ο μαγνητικός διαχωρισμός. Ο τρόπος αυτός θεωρείται ότι έχει επαρκή αποτελέσματα στην απομάκρυνση μετάλλων (περίπου το 43% των σιδηρούχων μετάλλων και το 5% των μη σιδηρούχων μετάλλων απομακρύνονται σε εγκαταστάσεις στην Αμερική). (Accuardi et al, 2011)

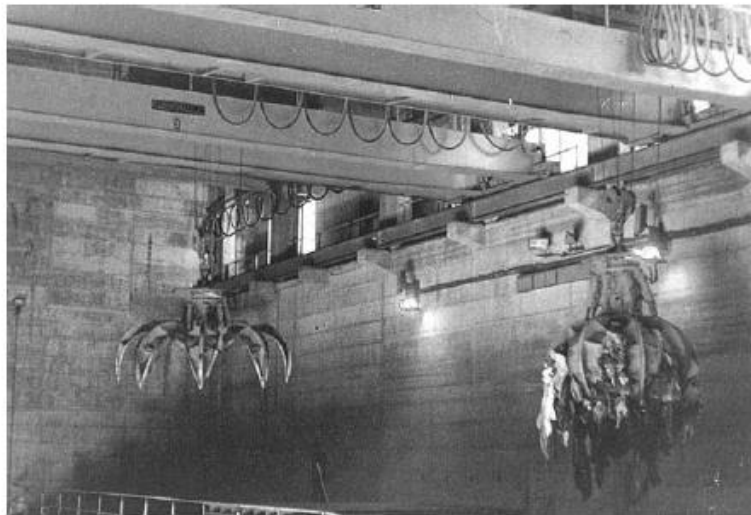
Στη συνέχεια, πρέπει να υπολογιστεί ο απαιτούμενος χώρος για την εκφόρτωση των απορριμμάτων. Αρχικά, θα γίνει η υπόθεση ότι παρά την 24-ώρη λειτουργία της μονάδας, τα απορρίμματα δεν θα είναι δυνατό να έρχονται όλες τις ώρες, αλλά μονό 12 ώρες (για παράδειγμα 6 πμ με 6 μμ). Κάτι τέτοιο θεωρείται ότι θα βοηθήσει στην καλύτερη οργάνωση και λειτουργία της μονάδας. Ο χώρος της αποδοχής των απορριμμάτων είναι αρκετά επίφοβος για την εμφάνιση πυρκαγιάς και διαφυγής οσμών και ο περιορισμός στη χρήση του σίγουρα θα επιφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια στη μονάδα. Ακόμα, πρέπει να σημειώσουμε ότι η μικρότερη διάρκεια παραλαβής απορριμμάτων σημαίνει λιγότερο απαιτούμενο προσωπικό και ως εκ τούτου μικρότερο κόστος λειτουργίας. Τέλος, λόγω του σχετικά μικρού αριθμού οχημάτων που θα κάνουν τις μεταφορές, εξ' αιτίας της συνεργασίας με τους σταθμούς μεταφόρτωσης, ο περιορισμός στον χρόνο αποδοχής είναι εφικτός. Το περιορισμένο χρονικό διάστημα παραλαβής απορριμμάτων σημαίνει ότι η μονάδα πρέπει να μπορεί να δεχτεί 6 οχήματα την ώρα. Αν υποθέσουμε ότι το καθένα χρειάζεται περίπου 15 λεπτά για να ολοκληρώσει τη διαδικασία (ζύγισμα, εκφόρτωση, ζύγισμα και πάλι) τότε χρειάζονται 2 είσοδοι οχημάτων, η κάθε μια εξοπλισμένη με ζυγαριά. Σύμφωνα με τα πρότυπα η κάθε είσοδος πρέπει να έχει πλάτος 4 μ. και μήκος 15μ. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά απαιτείται μήκος εισόδου 8μ. και συνολική έκταση 120 τετραγωνικά μέτρα.



**Εικόνα 46: Tipping Floor**

Αφού τα απορρίμματα έχουν φτάσει στην μονάδα και βρίσκονται στο δάπεδο αποθήσεως, μεταφέρονται με οχήματα στον χώρο αποθήκευσης (bunker). Ο χώρος αυτός είναι σχεδιασμένος για την αποθήκευση απορριμμάτων τριών ημερών για λόγους ασφαλείας. Η αποθήκη είναι από τσιμέντο και υδατοστεγής. Εκεί γίνεται η μίξη των απορριμμάτων με την χρήση γερανών έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές μίγμα ως προς το μέγεθος, τη θερμογόνο αξία, την σύσταση κτλ. (European Commission<sup>(1)</sup>, 2006)

Η αποθήκη πρέπει να έχει χωρητικότητα 3330 τόνων ή 13.320 κυβικών μέτρων (τυπική πυκνότητα απορριμμάτων 200-250 kg/m<sup>3</sup>). Οι διαστάσεις της θα είναι: πλάτος 30 μ., μήκος 30 μ. και ύψος 15 μ. καταλαμβάνοντας επιφάνεια 900 τετραγωνικά μέτρα. Οι τοίχοι θα πρέπει να είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να αντέχουν ασκούμενη δύναμη της τάξεως των 600 kg/m<sup>2</sup>. Για την ανάμιξη και την μεταφορά προς τον θάλαμο αποτέφρωσης θα χρησιμοποιηθεί γερανογέφυρα, με δύο κάδους μεταφοράς τύπου «φλούδας πορτοκαλιού» (orange peel type). Τυπικά, κάθε ένας από αυτούς τους κάδους έχει χωρητικότητα 4 m<sup>3</sup> ή 1 t απορριμμάτων. (Niessen, 2010)



**Εικόνα 46: Σύστημα μεταφοράς απορριμμάτων με γερανογέφυρα**



**Εικόνα 47: Κάδος τύπου «orange peel»**

Σοβαρά υπ' όψιν στον σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνεται ο καθαρισμός του χώρου αποθήκευσης και η πυροπροστασία. Το πρώτο βοηθάει στην μείωση των οσμών λόγω των απορριμμάτων σε αποσύνθεση, την υγιεινή καθώς και στην καλή διατήρηση του χώρου. Η ανάπτυξη πυρκαγιών μέσα στον χώρο δεν είναι σπάνιο φαινόμενο. Μπορεί να οφείλεται είτε σε κάποιο απόβλητο που ήδη καίγεται είτε στην ανάπτυξη μεγάλων θερμοκρασιών από τα απόβλητα σε αποσύνθεση. Γι' αυτό είναι σημαντικό να έχει προβλεφθεί η τοποθέτηση μανικών πυρόσβεσης σε στρατηγικά σημεία μέσα στον χώρο που να είναι εύκολα

προσβάσιμα. Ο τρόπος αυτός επιτρέπει το σβήσιμο της πυρκαγιάς στο συγκεκριμένο μόνο σημείο. Βέβαια, απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός αυτόματου συστήματος ψεκαστών σε όλο τον χώρο, συμπεριλαμβανομένου και του δαπέδου απόθεσης. (Niessen, 2010)

## **7.5.4 Καύση**

### **7.5.4.1 Σύστημα εσχάρων**

Λόγω του ότι έχει επιλεγεί να μην γίνεται προεπεξεργασία των απορριμμάτων για την παραγωγή καυσίμου από αυτά (RDF) το σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Το ίδιο σπάνια είναι και η χρήση περιστρεφόμενου κλιβάνου σε μη επεξεργασμένα απορριμμάτων. Το πλέον σύνηθες σύστημα για αυτή την περίπτωση είναι οι εσχάρες. Επιλέγεται η εφαρμογή παλινδρομικών εσχάρων (reciprocating grates). Αυτός ο τύπος εσχάρων έχει πολύ καλό βαθμό καύσης και γι' αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα σε νέες μονάδες αποτέφρωσης. Για καλύτερα αποτελέσματα στην ανάμιξη και άρα και στην καύση θα χρησιμοποιηθούν εσχάρες αντίστροφης παλινδρομικής κίνησης, τύπου Martin, με κλίση. Οι εσχάρες θα μετακινούν τα απορρίμματα μέσα στον θάλαμο αποτέφρωσης για να γίνει η καύση. Στην συνέχεια θα οδηγούν την τέφρα διαμέσου ενός συστήματος σβέσης και έπειτα στον χώρο επεξεργασίας. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται μέσα στον θάλαμο, ιδιαίτερη φροντίδα απαιτεί το σύστημα ψύξης των εσχάρων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή συστήματος με αέρα ή με νερό. Εξ' αιτίας του υψηλού κόστους του συστήματος ψύξης με νερό, στη συγκεκριμένη μονάδα θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα με τον αέρα. Αυτό το σύστημα ψύξης εσχάρων θα «τραβάει» τον πρωτεύοντα αέρα καύσης και θα τον διοχετεύει σε όλο το μήκος των εσχάρων για να ψυχθούν προτού ξεκινήσει η διαδικασία της καύσεως. (Accuardi et al, 2011; BAT, 2006)

Για την διαστασιολόγηση των εσχάρων απαραίτητο είναι να γνωρίζουμε την θερμογόνο αξία των απορριμμάτων η οποία προκύπτει από την σύστασή τους (ως προς το ποσοστό της κάθε κατηγορίας απορρίμματος). Ανάλογα με αυτήν και την χωρητικότητα του καυστήρα (υπολογίζεται με βάση την ημερήσια ποσότητα απορριμμάτων που επεξεργάζεται) μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα ενέργειας που μπορούν να παράγουν (σε MW) τα απορρίμματα. Ο υπολογισμός της απαραίτητης επιφάνειας εσχάρων γίνεται θεωρώντας ότι για ένα MW απορριμμάτων απαιτείται 1m<sup>2</sup> εσχάρας. Η διαστασιολόγηση των εσχάρων και του καυστήρα εξαρτάται από τον απαραίτητο χρόνο παραμονής (περίπου μια ώρα είναι απαραίτητη) των απορριμμάτων μέσα σε αυτόν έτσι ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αποτέφρωσή τους. Οι εσχάρες συνήθως έχουν πλάτος 3-12 μέτρα ανάλογα με την χωρητικότητα του καυστήρα και μήκος 8 μέτρα. (Accuardi et al, 2011; Rodriguez, 2011)



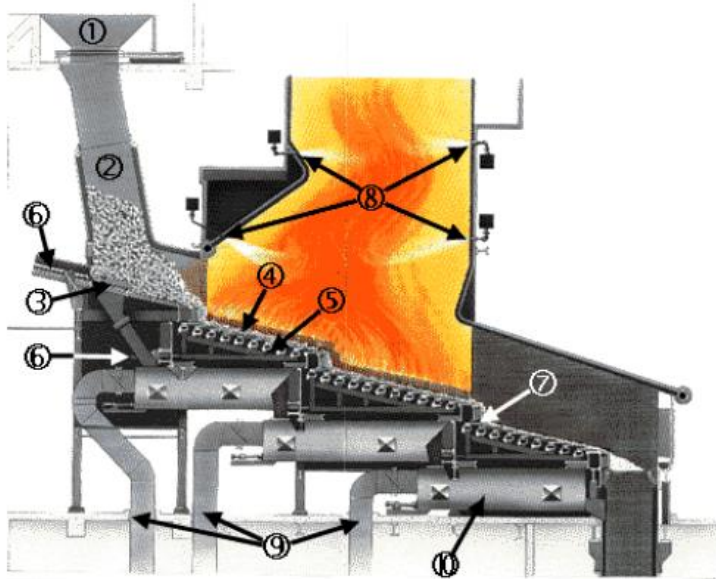
#### 7.5.4.2 Καυστήρας

Ο υπολογισμός της συνολικής χωρητικότητας σε απορρίμματα θα γίνει με το σύνολο των απορριμμάτων που εισέρχονται στη μονάδα (1170 t/d). Για την καλύτερη και ασφαλέστερη λειτουργία της μονάδας θα χρησιμοποιηθούν δύο καυστήρες με χωρητικότητα 585 t/d ο καθένας. Η χρήση δύο ξεχωριστών καυστήρων εξασφαλίζει την λειτουργία της μονάδας όταν η μία από τις δύο θα χρειάζεται συντήρηση ή επιδιόρθωση. (World bank, 1999)

Το ύψος του καυστήρα πάνω από τις εσχάρες πρέπει να είναι περίπου 20 μέτρα για να κινούνται τα αέρια 4-8 δευτερόλεπτα μέσα σε αυτόν. (Rodriguez, 2011)

Εκτός από το σύστημα εσχάρων σημαντικός είναι και ο υπολογισμός του επιπλέον αέρα που απαιτείται για να προκύψουν τα καλύτερα αποτελέσματα αποτέφρωσης. Ο υπολογισμός της απαραίτητης ποσότητας γίνεται με βάση την στοιχειομετρία της εξίσωσης της καύσης. Δηλαδή, και σε αυτή την περίπτωση είναι υποχρεωτική η σύσταση των απορριμμάτων ως προς το κάθε στοιχείο αυτή τη φορά.

Μέσα στον καυστήρα, οπότε, υπάρχει το σύστημα εσχάρων μαζί με διάφορα μηχανήματα απαραίτητα για την λειτουργία του, το σύστημα εισόδου του πρωτεύοντα και του δευτερεύοντα αέρα καύσης όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Niessen, 2010):



**Εικόνα 48: Θάλαμος αποτέφρωσης 1)Χοάνη (hopper), 2)Λαιμός (throat), 3)Έμβολο (ram), 4)Εσχάρες, 5)Κυλινδρικά ρουλεμάν (roller bearings) τα οποία προστατεύουν τις εσχάρες από την τριβή και τη φθορά, 6)Κύλινδροι υδραυλικής ισχύος και βαλβίδες ελέγχου που επιτρέπουν την μεμονωμένη κίνηση του ενός τμήματος των εσχάρων, 7)Κατακόρυφο κενό εισόδου του πρωτεύοντα αέρα, 8)Είσοδοι πάνω από την εστία της φωτιάς για την είσοδο του δευτερεύοντα αέρα (over fire air jets), 9)Αέρας καύσεως- ο πρωτεύοντας αέρας έλκεται προς τα μέσα σε όλο το μήκος των εσχάρων, 10)Αυτόματο σύστημα απομάκρυνσης με κοσκίνισμα**

Οι πιο συνηθισμένοι λέβητες για την καύση των ΑΣΑ είναι αυτοί που έχουν τοίχους με νερό (water wall boiler). Οι αγωγοί νερού κινούνται κατά μήκος των τοίχων του λέβητα. Η λειτουργία τους είναι διπλή: από την μία χαμηλώνουν την θερμοκρασία των τοίχων και από την άλλη θερμαίνουν το νερό της διαδικασίας το οποίο οδηγείται προς τον στρόβιλο. Όταν η πίεση πέφτει το νερό εξατμίζεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία ατμών. (Accuardi et al, 2011)

Μέσα στο λέβητα ένα από τα στοιχεία που επηρεάζει την ποιότητα καύσης είναι ο αέρας. Από την μία είναι ο πρωτεύοντας αέρας καύσης (primary air). Ο αέρας αυτός συνήθως λαμβάνεται από τον χώρο αποθήκευσης των απορριμμάτων. Στη συνέχεια, διανέμεται μέσω ανεμιστήρων σε περιοχές κάτω από τις εσχάρες, εκεί που η διανομή θεωρείται ότι είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθεί. Πιθανό είναι να έχει προθερμανθεί σε περίπτωση που χρειάζεται να γίνει πρώτα η ξήρανση των απορριμμάτων. Ο αέρας, ύστερα, θα περάσει μέσα από το σύστημα εσχάρων προς την περιοχή που γίνεται η αποτέφρωση. Με αυτόν τον τρόπο χαμηλώνει η θερμοκρασία των εσχάρων και τροφοδοτείται με οξυγόνο ο χώρος της αποτέφρωσης. Ο δευτερεύοντας αέρας (secondary air) εισάγεται με μεγάλη ταχύτητα μέσα στον καυστήρα. Ο αέρας αυτός εξασφαλίζει την πλήρη αποτέφρωση και είναι υπεύθυνος για την ανάμιξη των καυσαερίων καθώς και την αποφυγή της διέλευσης άκαυτων αέριων ρευμάτων. (European Commission<sup>(1)</sup>, 2006)

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των καυστήρων για ΑΣΑ είναι η διάβρωση. Παρ' όλο που ο κίνδυνος αυτός είναι υπαρκτός και σε καυστήρες άνθρακα το πρόβλημα εδώ είναι μεγαλύτερο εξ' αιτίας της μεγάλης ποικιλίας καυσίμου λόγω της ποικιλομορφίας των ΑΣΑ και των ρυπογόνων προσμίξεων όπως είναι το χλώριο. Η διάβρωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Για να μπορέσει να επιτευχθεί μικρότερη διακύμανση των θερμοκρασιών είναι απαραίτητη η πολύ καλή ανάμειξη των καυσαερίων. Αυτό θα γίνει με τη χρήση του συστήματος Very Low NO<sub>x</sub> (VLN) το οποίο βοηθάει στην ανάμειξη με την επανακυκλοφόρηση των καυσαερίων. (Accuardi et al, 2011)

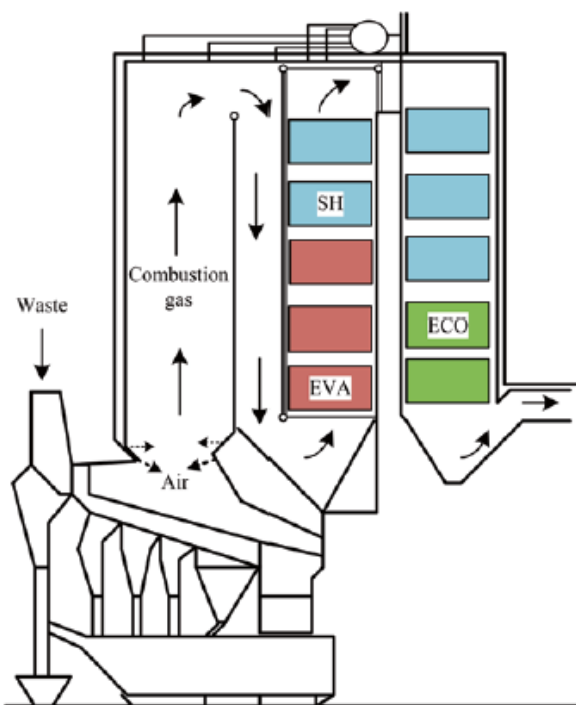
Η πλήρης αποτέφρωση των απορριμμάτων πρέπει να εξασφαλίζεται μέσα στον καυστήρα λόγω των επικινδύνων για την υγεία αέριων εκπομπών ύστερα από την ημιτελή καύση και του αυξημένου κόστους (οικονομικό και περιβαλλοντικό) για την διαχείριση της εναπομένουσας τέφρας. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να καλύπτονται οι ανάγκες της καύσης. Παρόλα αυτά, το περίσσιο οξυγόνο μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία στον καυστήρα και να προκαλέσει την αποσταθεροποίηση της φλόγας. Για να εξασφαλιστεί η πλήρης καύση προστίθεται ο δευτερεύοντας αέρα και το αέριο από το VLN πάνω από τις εσχάρες για να επιτευχθεί η καλή ανάμειξη. Επιπλέον, το ύψος τους καυστήρα πρέπει να είναι αρκετό έτσι ώστε να το αέριο να παραμένει για τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα σε θερμοκρασία 850°C, όπως ορίζεται από τον νόμο. Ο δείκτης για τον βαθμό καύσης είναι η περιεκτικότητα σε μονοξειδίου του άνθρακα των καυσαερίων. (Accuardi et al, 2011; European Commission<sup>(1)</sup>, 2006)

### **7.5.5 Ανάκτηση ενέργειας**

Η θερμότητα από τα καυσαέρια μεταφέρεται μέσω των υδρόψυκτων τοιχωμάτων του καυστήρα στο νερό το οποίο και εξατμίζεται. Ο ατμός τότε υπερθερμαίνεται μέσα στους ειδικούς σωλήνες. Έχοντας υψηλή πίεση και θερμοκρασία μεταφέρεται σε μια τουρμπίνα όπου προκαλεί την περιστροφή της παράγοντας μηχανικό έργο το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό. (Accuardi et al, 2011)

Για να αποφασιστεί σε τι θα μετατραπεί και πώς θα χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη ενέργεια από την καύση πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η θερμογόνος αξία των απορριμμάτων, η μέθοδος επεξεργασίας τους καθώς και η κατάσταση του συστήματος διανομής ηλεκτρισμού και θερμότητας όπως και το κόστος της ενέργειας στην περιοχή. Ο ηλεκτρισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία της ίδιας της μονάδας ή να διανεμηθεί στις γύρω περιοχές. Η παραγωγή θερμότητας δε θεωρείται τόσο ωφέλιμη καθώς δεν υπάρχει δίκτυο διανομής, στην συγκεκριμένη περιοχή όπου μελετάται η δημιουργία της μονάδας αποτέφρωση, το οποίο θα μπορούσε να τη μεταφέρει (μέσω θερμού νερού για παράδειγμα) σε κατοικημένες περιοχές κοντά στη μονάδα. Παρότι σε περιπτώσεις ανάκτησης της ενέργειας μέσω θερμότητας, η αποδοτικότητα της μονάδας είναι αυξημένη και η ανάκτηση πραγματοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό, η απουσία συστήματος διανομής θερμού νερού ή αέρα καθιστά μη συμφέρουσα και αδύνατη την μέθοδο αυτή. Η δημιουργία ενός δικτύου αυξάνει κατά πολύ το κόστος κατασκευής της μονάδας και δεν αποτελεί μέρος της μελέτης κατασκευής και λειτουργίας μιας μονάδας αποτέφρωσης. Οπότε, στην εγκατάσταση αυτή θα θεωρηθεί ότι η ενέργεια που ανακτάται μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και στη συνέχεια διανέμεται στο εθνικό δίκτυο ή χρησιμοποιείται από την ίδια την μονάδα για τη λειτουργία της.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα κυρίως τμήματα της μονάδας παραγωγής υδρατμών (Branchini, 2015):



**Εικόνα 49: Μονάδες παραγωγής υδρατμών για την ανάκτηση ενέργειας**

ECO=economizer= το εισερχόμενο στον καυστήρα νερό θερμαίνεται μέσω των καυσαερίων σε θερμοκρασία κοντά στην θερμοκρασία βρασμού.

EVA=evaporator= το νερό που βγαίνει από το ECO θερμαίνεται μέχρις ότου να φτάσει την κορεσμένη θερμοκρασία ατμού.

SH=super heater= σε αυτή την περιοχή οι ατμοί από τον EVA θερμαίνονται με τη μέγιστη θερμοκρασία. Συστήματα ψύξης τόσο στους τοίχους όσο και σπρέι χρησιμοποιούνται για να διατηρούν τη θερμοκρασία στην επιθυμητή τιμή.

Όπως φαίνεται στο σχήμα τα απαέρια κινούνται προς τα δεξιά, ενώ το νερό προς τα αριστερά, έτσι ώστε να φτάσει σταδιακά στην επιθυμητή θερμοκρασία.

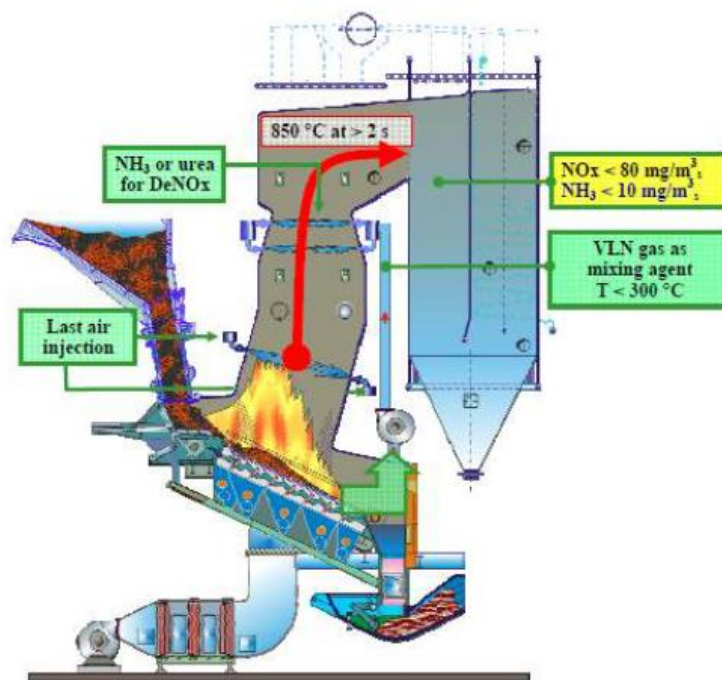
### **7.5.6 Σύστημα Ελέγχου Ρύπων**

Για να μπορεί η μονάδα να πάρει άδεια λειτουργίας θα πρέπει να συμμορφωθεί με την εθνική και τη ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των απορριμμάτων, την αποτέφρωσή τους και τις εκπομπές. Θα ληφθούν υπ' όψιν οι ευρωπαϊκές Οδηγίες 2008/98/EK που αφορά τη διαχείριση των απορριμμάτων και η 2000/76/EK για την αποτέφρωση των απορριμμάτων. Οι αντίστοιχες ελληνικές νομοθεσίες είναι αυτές που έχουν αναφερθεί στην αρχή της εργασίας. Λόγω του ότι οι νομοθεσίες αναθεωρούνται τακτικά, η μονάδα αποτέφρωσης θα πρέπει όχι μόνο να καλύπτει τις απαιτήσεις της ισχύουσας νομοθεσίας, αλλά να μπορεί να προσαρμόζεται και σε πιο αυστηρές νομοθεσίες.

#### 7.5.6.1 Περιορισμός των οξειδίων του αζώτου

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα VLN (Very Low NO<sub>x</sub>). Η διαδικασία αυτή απομακρύνει τα αέρια VLN από το κάτω μέρος των εσχαρών και τα επανακυκλοφορεί στο σύστημα κάτω από το σημείο έγχυσης της ουρίας. Τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής είναι τα εξής:

- Στο κάτω μέρος των εσχαρών απ' όπου απομακρύνεται ο αέρας δημιουργούνται συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Οι συνθήκες αυτές, όμως, δεν είναι κατάλληλες για τη δημιουργία οξειδίων του αζώτου μειώνοντας την παραγωγή τους.
- Η επανακυκλοφόρηση του αερίου VLN μειώνει τη θερμοκρασία του αερίου της καύσης ενώ αυξάνει τις αναταραχές με αποτέλεσμα την καλύτερη ανάμειξη των αερίων. Αυτό αυξάνει την αποτελεσματικότητα της SNCR μεθόδου, για την απομάκρυνση των NO<sub>x</sub>.
- Με την αύξηση της αναταραχής στα αέρια και την μείωση της θερμοκρασίας δημιουργείται ένα χώρισμα το οποίο περιορίζει της φλόγες και τα τμήματα που δεν έχουν αντιδράσει. Έτσι αναμένεται λιγότερη διάβρωση στο άνω τμήμα του καυστήρα.
- Ο χρόνος παραμονής των αερίων μέσα στον καυστήρα αυξάνεται λόγω της μείωσης της ταχύτητας της αέριας μάζας όταν τα αέρια VLN απομακρύνονται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον μεγαλύτερο βαθμό πλήρους αποτέφρωσης και την παραγωγή μικρότερης ποσότητας ιπτάμενης τέφρας.
- Τέλος το σύστημα VLN μειώνει την απαίτηση σε επιπλέον αέρα το οποίο οδηγεί σε μείωση του κόστους συστήματος καθαρισμού αερίων και του μηχανισμού δημιουργίας ατμού, βελτιώνοντας παράλληλα την λειτουργία του.



**Εικόνα 50: Σύστημα VLN**

Για τον επιπλέον περιορισμό των εκπομπών των διοξειδίων του αζώτου θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος «επιλεκτική μη-καταλυτική μείωση» (selective no catalytic reduction ή SNCR). Η μέθοδος αυτή είναι η πιο συνηθισμένη και απαιτεί λιγότερο χώρο εγκατάστασης, δεν παράγει απόβλητα βαρέων μετάλλων μετά από τον χρησιμοποιούμενο καταλύτη και έχει μικρότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας σε σχέση με την «επιλεκτική καταλυτική μείωση» (selective catalytic reduction). Επίσης, η μέθοδος SNCR είναι το ίδιο αποτελεσματική με την μέθοδο SCR προσφέροντας απομάκρυνση των οξειδίων μέχρι και 90% και είναι συμβατή και με το σύστημα VLN που όπως αναφέρθηκε πιο πριν θα χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των ρύπων.

Η ουσία που επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί για την αντίδραση είναι η ουρία ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) καθώς είναι και πιο οικονομική και λιγότερο επικίνδυνη στη φύλαξη και τη μεταφορά της. Η έγχυση της ουρίας στο ζεστό ρεύμα αέρα θα γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες μέσα στον καυστήρα με σκοπό την μετατροπή των  $\text{NO}_x$  σε άζωτο, νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η θερμοκρασία του καυστήρα την ώρα της έγχυσης πρέπει να είναι από 900 έως 1100 °C και ο χρόνος παραμονής των αερίων μέσα σε αυτόν ύστερα από την έγχυση πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5sec. (Accuardi et al, 2011; Tchobanoglous and Kreith, 2002)

#### 7.5.6.2 Περιορισμός των όξινων αερίων

Για τον περιορισμό των όξινων αερίων επιλέγεται η χρήση καθαριστή στεγνής πλύσης (dry scrubber). Σε αυτόν θα χρησιμοποιηθεί στεγνωτήρας με ψεκασμό (spray dryer). Όταν τα αέρια εισέλθουν σε αυτό το σύστημα θα γίνει έγχυση ασβέστη με αποτέλεσμα την μείωση και την εξουδετέρωση των όξινων αερίων. Οι καθαριστές στεγνής πλύσης έχουν την ικανότητα να απομακρύνουν μέχρι και το 50% του υδραργύρου από το αέριο. Η επιλογή καθαριστή στεγνής πλύσης έναντι υγρής έγινε λόγω του ότι δεν υπάρχουν καθόλου υγρά απόβλητα από την διαδικασία. Επίσης λόγω του ότι οι περισσότεροι καθαριστές στεγνής πλύσης χρησιμοποιούν απορροφητικά με βάση το ασβέστιο και όχι το νάτριο θα γίνει έγχυση ασβέστη στο μίγμα αερίων.

Με τη διαδικασία αυτή το υδροχλώριο απομακρύνεται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με το διοξείδιο του θείου. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των όξινων αερίων μπορεί να γίνει ψύξη ή υγροποίηση του ρεύματος των αερίων. Η χαμηλότερη θερμοκρασία επιτρέπει ισχυρότερη αντίδραση μεταξύ των απορροφητικών και των όξινων αερίων. (Accuardi et al, 2011)

#### 7.5.6.3 Απομάκρυνση υδραργύρου και διοξινών

Ένα μέρος της ποσότητας των βαρέων μετάλλων, όπως του υδραργύρου, που περιέχεται μέσα στο αέριο θα έχει απομακρυνθεί ύστερα από τις παραπάνω διαδικασίες. Για την όσο πιο πλήρη απομάκρυνση τόσο του υδραργύρου όσο και των διοξινών που ίσως να περιέχονται μέσα στο αέριο θα γίνει η έγχυση ξηρού ενεργού άνθρακα σε μορφή σκόνης μέσα στο αέριο αυτό. (Accuardi et al, 2011)

#### 7.5.6.4 Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων

Για την απομάκρυνση τόσο των αιρούμενων σωματιδίων όσο και μικροποσοτήτων ασβεστικών αλάτων ή άσβεστου που δεν αντέδρασε θα χρησιμοποιηθούν τα φίλτρα από ύφασμα (fabric filters).

### **7.5.7 Επεξεργασία και διαχείριση τέφρας**

Το σύνολο της τέφρας θα θεωρηθεί ότι θα είναι το 25% του συνόλου των απορριμμάτων που εισέρχονται στη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι για ημερήσια προσκομιδή 1.110 t στη μονάδα, η τέφρα που θα παράγεται θα είναι 277.500 kg. Από αυτά η εναπομένουσα τέφρα στον θάλαμο αποτέφρωσης θα είναι περίπου 220kg σε κάθε τόνο εισερχόμενων απορριμμάτων, δηλαδή 244.200 kg ημερησίως. Η ιπτάμενη τέφρα θα είναι 30 kg/t, δηλαδή 33.300 kg την ημέρα.

Material	% by Wt
Metals	16.1
Combustibles	4.0
Ferrous metal	18.3
Nonferrous metal	2.7
Glass	26.2
Ceramics	8.3
Mineral, ash, other	24.1

Source: Chesner, W.H. et al., From Hasselriis, F. *Handbook of Solid Waste Management*, in Keith, R., Ed., McGraw-Hill, New York, 1994. Reproduced with kind permission of the McGraw-Hill Companies.

**Εικόνα 51: Σύσταση τέφρας**

Η εναπομένουσα στον θάλαμο τέφρα συγκεντρώνεται στο τέλος των εσχαρών σε ένα χώρο όπου κρυώνει με την χρήση νερού. Το πλεονέκτημα του τρόπου αυτού είναι ότι εκτός από το να κρυώνει η τέφρα, περιορίζεται και η διαρροή της στον αέρα. Το μεγαλύτερο μέρος από το νερό απομακρύνεται ξανά από τα υπολείμματα (το 80-85% της τελικής τέφρας είναι στερεά υλικά). (Niessen, 2010)



**Εικόνα 52: Εναπομένουσα τέφρα στο τέλος των εσχαρών**

Στη συνέχεια, θα πρέπει να διαχωριστούν τα σιδηρούχα και μη μέταλλα. Ο διαχωρισμός θα γίνει αρχικά με μαγνήτη για να απομακρυνθούν τα σιδηρούχα μέταλλα και ύστερα θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρισμός για την απομάκρυνση και των μη σιδηρούχων μετάλλων. Και οι δύο αυτές κατηγορίες μετάλλων θα μεταπωληθούν. Από μελέτη της τέφρας παρόμοιων εγκαταστάσεων προκύπτει ότι τα σιδηρούχα μέταλλα αποτελούν το 18,3% της συνολικής



τέφρας ενώ τα μη σιδηρούχα το 2,7%. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, τα σιδηρούχα μέταλλα είναι 50.785kg, ενώ τα μη σιδηρούχα 7.500 kg την ημέρα. Η ανακύκλωση των μετάλλων που περιέχει η τέφρα φαίνεται από παραδείγματα άλλων μονάδων της Ευρώπης να μην είναι τόσο αποδοτική οικονομικά καθώς τα μέταλλα αυτά είναι πιθανό να περιέχουν επικίνδυνες ουσίες. Εάν υποθέσουμε ότι στη μονάδα μπορεί να γίνει πιθανή επεξεργασία των μετάλλων για την απομάκρυνση αυτών των επικίνδυνων ουσιών, τότε αυτά είναι εύκολο να πουληθούν. Για να υπολογιστεί όμως κάθε πιθανό κέρδος θα υποτεθεί ότι το σιδηρούχα μέταλλα θα πουληθούν έναντι 25€/t ενώ τα μη σιδηρούχα, έναντι 250 €/t όπως αναγράφεται στο παράδειγμα της Γερμανίας που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Παρότι οι τιμές αυτές δε θεωρούνται ακριβής και για την περίπτωση της Ελλάδας είναι στοιχεία από τον ευρωπαϊκό χώρο, ικανά να προσφέρουν χρήσιμα συμπεράσματα. (Zwahr, 2003)

Είδος μετάλλου	Ποσοστό επί της συνολικής τέφρας (%)	Ημερήσια ποσότητα (t)	Ετήσια ποσότητα (t)	Τιμή μονάδας (€/t)	Κέρδος (€)
Σιδηρούχο	18,3	45	16.400	25	410.000
Μη σιδηρούχο	2,7	7,5	2.700	250	675.000
<b>Συνολικά</b>					<b>1.085.000</b>

Πίνακας 14: Ποσότητες και κέρδη από την ανάκτηση των μετάλλων στην τέφρα



Εικόνα 53: Μαγνητικός διαχωρισμός τέφρας

Λόγω του ότι η εναπομένουσα τέφρα στον θάλαμο θα μείνει χωριστά από την ιπτάμενη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια σαν αδρανές σε σκυρόδεμα ή σε έργα οδοποιίας προσφέροντας δηλαδή κέρδος από την πώλησή της. Βέβαια αυτό σημαίνει ότι η ιπτάμενη τέφρα θα πρέπει να επεξεργαστεί μέσα στη μονάδα για να σταθεροποιηθεί και να μπορέσει να διατεθεί ύστερα σε χώρους ταφής ή να χρησιμοποιηθεί και η ίδια στη παρασκευή σκυροδέματος ή αλλιώς. Η τακτική αυτή είναι η πιο συνηθισμένη στην Ευρώπη. Παρότι το κόστος αυξάνεται λόγω της περαιτέρω επεξεργασίας της ιπτάμενης τέφρας (κόστος

συστήματος επεξεργασίας, κόστος λειτουργίας) τα πλεονεκτήματα είναι περισσότερα: λιγότερα απορρίμματα προς διάθεση και ταφή, δημιουργία υλικών χρήσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον, μείωση κόστους διάθεσης. Σε περίπτωση που δεν επιλεγόταν αυτός ο τρόπος επεξεργασίας της τέφρας, το κόστος διάθεσης θα ήταν μεγαλύτερο καθώς η συνολική τέφρα θεωρείται επικίνδυνο απόβλητο, αφού περιλαμβάνει την ιπτάμενη τέφρα χωρίς κάποια επεξεργασία, αυξάνοντας έτσι το κόστος μεταφορά και διάθεσης.

Για την επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου λήφθηκε υπόψη η οικονομική μελέτη για μονάδα αποτέφρωσης απορριμμάτων στη Γερμανία, η οποία παρουσιάστηκε προηγουμένως. Βέβαια, η επιλογή αυτή θεωρείται αβέβαιη καθώς δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν τα κόστη διάθεσης απορριμμάτων στη Γερμανία και στη χώρα μας. Ο λόγος είναι ότι δεν εφαρμόζονται τα τέλη διάθεσης απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής με βάση την ποσότητά τους. Μέχρι τώρα τα τέλη ήταν δημοτικά και ο καθένας πλήρωνε τον φόρο με βάση τα τετραγωνικά μέτρα του σπιτιού του. Από το 2014 και μετά έχει ψηφιστεί ο κανονισμός τα τέλη να είναι ανάλογα της παραγωγής τους αν και ακόμα δεν έχει εφαρμοστεί. Σύμφωνα με αυτό τα τέλη θα ξεκινάνε από 35 € / t (το 2014) με ετήσια αύξηση 5 € / t έως ότου φτάσει στα 60 € / t. (CEWEP, 2013)

Στην περίπτωση της ξεχωριστής επεξεργασίας της τέφρας από τον καυστήρα και της ιπτάμενης, απαραίτητη είναι η ύπαρξη συστήματος καθαρισμού και σταθεροποίησης της ιπτάμενης τέφρας, έτσι ώστε να μπορέσει να επαναχρησιμοποιηθεί και αυτή στη συνέχεια ή τουλάχιστον να μην είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον. Μια τέτοια διαδικασία είναι η WES-PHix. Το σύστημα αυτό, βοηθάει στην σταθεροποίηση των βαρέων μετάλλων, των φουρανίων και των διοξινών μειώνοντας τα μέταλλα που είναι πιθανό να διηθηθούν. Επίσης, ψεκάζει την εναπομένουσα τέφρα με φωσφορικό οξύ καθώς αυτή ανακατεύεται πάνω σε μια συσκευή που μοιάζει με τύμπανο. Λόγω της επικινδυνότητας των συστατικών της ιπτάμενης τέφρας, θα πρέπει να γίνονται έλεγχοι κάθε δίμηνο για να είναι σίγουρο ότι η τέφρα βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια. Τέλος, καθώς η ζήτηση για επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα είναι ελάχιστη λόγω των κινδύνων που μπορεί να προκαλέσουν τα συστατικά της ακόμα και ύστερα από την επεξεργασία, θα ήταν πιο ασφαλές εάν επιλεγόταν η διάθεσή της σε κάποιο ειδικό χώρο. (Accuardi et al, 2011) Στην Ελλάδα ακόμα δε λειτουργούν ειδικοί χώροι διάθεσης των επικίνδυνων αποβλήτων. Οι δύο διαθέσιμες επιλογές οπότε είναι είτε η διασυνοριακή μεταφορά μέσω κάποιας εξειδικευμένης εταιρίας είτε η προσωρινή αποθήκευση. Λόγω του αυξημένου κόστους της μεταφοράς της στο εξωτερικό, (παρότι ίσως έτσι να μπορούσε να διατεθεί καταλληλότερα) επιλέγεται η προσωρινή αποθήκευσή της. Σύμφωνα με την ελληνική ισχύουσα νομοθεσία, αυτό μπορεί να συμβεί είτε σε ειδικό χώρο μέσα στην εγκατάσταση ο οποίος θα προστατεύει το περιβάλλον από τυχόν διαρροές, είτε σε εξειδικευμένο χώρο αποθήκευσης και επεξεργασίας επικίνδυνων απορριμμάτων, εκτός μονάδας, που λειτουργεί στη χώρα μας. (Νάκος κ.ά., 2005) Ως καλύτερη εναλλακτική επιλέγεται η δεύτερη. Έτσι η ιπτάμενη τέφρα που θα συλλέγεται και θα σταθεροποιείται μέσα στην μονάδα αποτέφρωσης θα μεταφέρεται σε ειδική μονάδα αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων (π.χ. στην περιοχή του Ασπρόπυργου Αττικής ή στη Θεσσαλονίκη όπου υπάρχει τέτοια εταιρία). Η επιλογή αυτή κρίνεται καλύτερη λόγω της αποφυγής της αποθήκευσης για μεγάλο χρονικό διάστημα

επικίνδυνων αποβλήτων μέσα στην μονάδα κάτι που θα επιβάρυνε οικονομικά τη μονάδα. Επίσης, η επιλογή αυτή είναι πιο ασφαλής όσον αναφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

### **7.5.8 Επεξεργασία υγρών υπολειμμάτων**

Τέλος, θα πρέπει να υπάρχει και μια εγκατάσταση επεξεργασίας νερού. Η εγκατάσταση αυτή θα επεξεργάζεται το νερό που προέρχεται από το σύστημα ψύξης της τέφρας όταν αυτή απομακρύνεται από τον καυστήρα καθώς και από το πρώτο στάδιο επεξεργασίας της που είναι η πλύση. Το νερό αυτό δεν είναι απαραίτητο να βγαίνει από τη μονάδα αλλά μπορεί να επαναχρησιμοποιείται σε αυτήν. Λόγω του ότι η μονάδα χρησιμοποιεί καθαριστή στεγνής πλύσης για τα όξινα αέρια, η εγκατάσταση επεξεργασίας του νερού δε θεωρείται από τα πλέον σημαντικά τμήματα της μονάδας. Η ποσότητα που προκύπτει από το σύστημα ψύξης και πλύσης της τέφρας καθώς και αυτή του νερού που χρησιμοποιείται γενικά στη μονάδα, μπορεί να μην είναι μεγάλη αλλά περιέχει, πολλές φορές, σημαντική ποσότητα ρύπων. Οι κύριοι ρύποι που θα περιέχονται στο νερό είναι τα σωματίδια, αιωρούμενα και διαλυμένα σε αυτό. Οι ρύποι αυτοί δε θεωρούνται επικίνδυνοι και έτσι το νερό μπορεί να διατεθεί σε σύστημα αποχέτευσης χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα. Προτού γίνει αυτό, το νερό θα παραμένει για κάποιο χρονικό διάστημα σε ειδικό χώρο αποθήκευσης όπου δε θα επιτρέπεται τυχόν διαρροή, έτσι ώστε να γίνει η καθίζηση των αιρούμενων σωματιδίων. Ύστερα, η στερεά ουσία που θα παραμένει θα διατίθεται μαζί με την ιπτάμενη τέφρα. (Reimann, 1987; Williams, 2005)

### **7.6 Οικονομικός προϋπολογισμός**

Το κόστος μιας μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

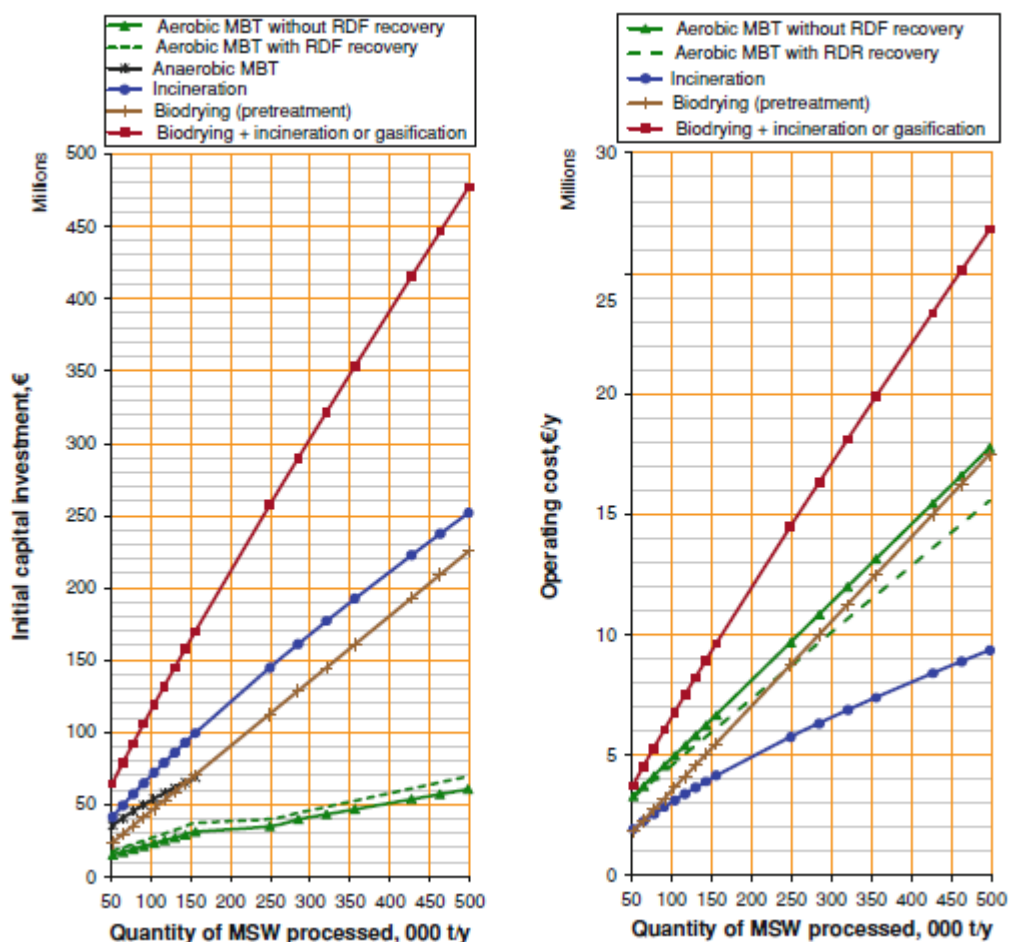
- Κόστος απόκτησης του χώρου τοποθέτησης
- Την κλίμακα. Σε μικρούς αποτεφρωτές το κόστος είναι δυσανάλογα μεγάλο
- Τον βαθμό χρησιμοποίησης της εγκατάστασης
- Τις απαιτήσεις για την επεξεργασία των αερίων
- Την επεξεργασία και την διάθεση ή ανάκτηση της τέφρας
- Την αποτελεσματικότητα στην ανάκτηση ενέργειας και τα έσοδα από την διανομή της
- Την ανάκτηση των μετάλλων και τα έσοδα από την πώλησή τους
- Τα τέλη εισόδου ή γενικά τα έσοδα που έχει η μονάδα
- Τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις
- Την διαμόρφωση της γύρω περιοχής έτσι ώστε να είναι προσβάσιμη από τα οχήματα μεταφοράς
- Το κόστος σχεδιασμού και κατασκευής της μονάδας, την περίοδο αποπληρωμής και το κόστος κεφαλαίου στην αγορά

- Τα κόστη για την ασφάλιση της μονάδας
- Τους μισθούς των εργαζομένων και του διοικητικού προσωπικού

Λόγω της έλλειψης παρόμοιων εγκαταστάσεων στην Ελλάδα η μελέτη των οικονομικών στοιχείων θα γίνει βάσει των στοιχείων άλλων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό βέβαια μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα που να μην είναι ακριβή λόγω των διαφορετικών δεδομένων (π.χ. κόστος ανθρώπινου δυναμικού, κόστος μεταφοράς, τιμή πώλησης της ενέργειας κτλ.) που έχει η χώρα μας σε σχέση με άλλες χώρες της ΕΕ.

Η πρώτη επιλογή που υπάρχει είναι να υπολογίσουμε το κόστος επένδυσης με βάση τα αντίστοιχα κόστη άλλων μονάδων στην Ευρώπη. Το κόστος αυτό κυμαίνεται από 400-700 € ανά τόνο χωρητικότητας της μονάδας ετησίως με μέσο όρο τα 600 €/t. Αυτό θα σήμαινε ότι το κόστος επένδυσης για τη μονάδα θα ήταν 255.600.000 €. (CEWEP, 2013)

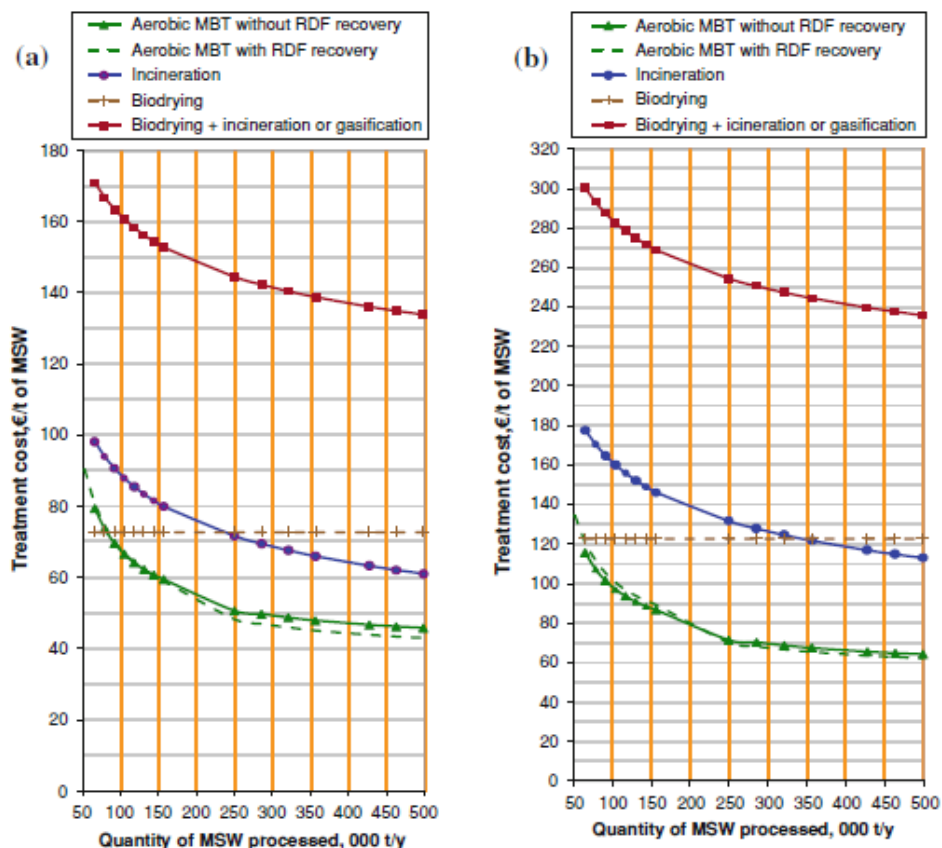
Άλλη μελέτη έχει διαμορφώσει τα αρχικά κεφάλαια επένδυσης και τα ετήσια κόστη λειτουργίας σε διαγράμματα (Karagiannidis, 2012):



Διάγραμμα 1: Αρχικό κεφάλαιο επένδυσης και λειτουργικό κόστος ανά έτος για καθένα τρόπο επεξεργασίας απορριμμάτων

Σύμφωνα με αυτά το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης για τη συγκεκριμένη μονάδα θα ήταν 220.000.000 € και το ετήσιο κόστος λειτουργίας 8.500.000 €.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν από την αναγωγή των παραπάνω κοστών σε ετήσιο κόστος λειτουργίας της μονάδας, ανάλογα με το αν η ιδιοκτησία είναι δημόσια ή ιδιωτική. Η διαφορά ανάμεσα σε δημόσια και ιδιωτική μονάδα, για τους υπολογισμούς των διαγραμμάτων, έγκειται στον διαφορετικό ρυθμό αποπληρωμής των δανείων (5,5% για την δημόσια έναντι 14% ετησίως για την ιδιωτική).



**Διάγραμμα 2: Ετήσια λειτουργικά κόστη ανά τόνο Α.Σ.Α. ανάλογα με το εάν η ιδιοκτησία είναι α)δημόσια ή β)ιδιωτική. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει ύστερα από αναγωγή των παραπάνω κοστών για κάθε μέθοδο επεξεργασίας.**

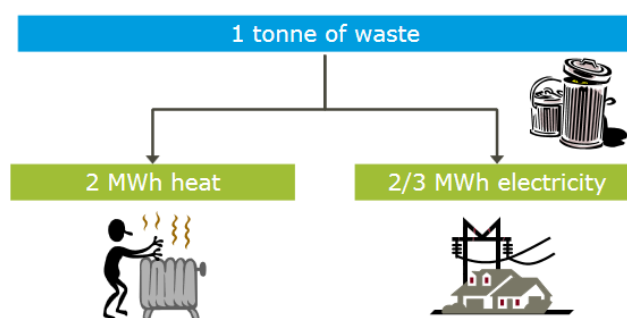
Για την συγκεκριμένη μονάδα προκύπτει οπότε εάν είναι δημόσια το κόστος επεξεργασίας ανά τόνο το χρόνο είναι 65 € (δηλαδή 27.300.000 € το χρόνο). Σε περίπτωσης ιδιωτικής ιδιοκτησίας το κόστος αυξάνεται στα 120 €/t (δηλαδή 50.400.000 € το χρόνο). Σε αυτά τα νούμερα δεν περιλαμβάνονται τα έσοδα από την πώληση των υλικών που ανακτώνται κατά την διαδικασία της αποτέφρωσης, ούτε τα έξοδα μεταφορών, διαχείρισης των μη χρησιμοποιημένων αντικειμένων και των υπολειμμάτων. Περιλαμβάνονται ωστόσο τα κόστη μισθοδοσίας των ατόμων που εργάζονται μέσα στις μονάδες αυτές. (Karagiannidis, 2012)

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας της μονάδας θα μπορούσε να υπολογιστεί χωρίς διαγράμματα λαμβάνοντας υπ' όψιν αντίστοιχα κόστη από άλλες μονάδες μέσα στον ευρωπαϊκό χώρο. Για αρχικό κεφάλαιο 255.600.000 €, αποπληρωμή δανείου στα 20 χρόνια

και επιτόκιο 7% προκύπτουν (από λογιστικό φύλλο υπολογισμού δόσεων δανείων με επιτόκιο): 24.126.832 € το χρόνο. Το κόστος λειτουργίας από παραπάνω ανέρχεται στα 8.500.000 € το χρόνο στο οποίο περιλαμβάνεται το κόστος αγοράς των απαραίτητων υλικών, το κόστος συντήρησης της μονάδας αλλά και το κόστος των εργαζομένων. Το κόστος διαχείρισης της τέφρας και το κόστος μεταφοράς των απορριμμάτων δεν έχει συνυπολογιστεί. Ο υπολογισμός τους θα γίνει στη συνέχεια. (CEWEP, 2013; ECOTEC, 2002)

Η μονάδα θα έχει ως έσοδα πρώτον τα τέλη στην είσοδο για την υποδοχή των απορριμμάτων και δεύτερον τα κέρδη από την πώληση τόσο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στη μονάδα όσο και των μετάλλων και της τέφρας ύστερα από την επεξεργασία.

## ENERGY RECOVERY FROM WASTE



Εικόνα 54: Ανάκτηση ενέργειας μέσω της αποτέφρωσης

Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένας τόνος απορριμμάτων ισοδυναμεί με 2/3 MWh ηλεκτρισμού και 2 MWh θερμότητας. Η μονάδα αυτή έχει θεωρηθεί ότι θα παράγει μόνο ηλεκτρισμό λόγω της έλλειψης συστήματος διανομής θερμού αέρα ή νερού στην περιοχή. Από τον ηλεκτρισμό αυτόν που θα παράγει η μονάδα, το 15% θα το χρησιμοποιεί η ίδια για να λειτουργεί. Άρα απομένουν 0,56 MWh/t τα οποία θα διατεθούν στο δίκτυο.

Η ανάκτηση της ενέργειας είναι το πιο σημαντικό ίσως σημείο στην λειτουργία της μονάδας. Παρότι η μονάδα έχει σχεδιαστεί για την ανάκτηση ενέργειας μέσω των απορριμμάτων πρέπει να ελεγχθεί στο σημείο αυτό εάν όντως είναι μια μονάδα ανάκτησης (εάν δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί κατηγορίας R1 σύμφωνα με την ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/98/EK για την διαχείριση των απορριμμάτων) ή θεωρείται μονάδα διάθεσης απορριμμάτων. Για να γίνει αυτό πρέπει να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης ενέργειας της μονάδας σύμφωνα με την διαδικασία που παρουσιάζεται στην Οδηγία. Εάν ο συντελεστής αυτός είναι μεγαλύτερος του 0,65 τότε η μονάδα θεωρείται μονάδα ανάκτησης ενέργειας από τα απορρίμματα. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται μονάδα διάθεσης απορριμμάτων. Ακόμα, κι αν η μονάδα δε προκύψει ότι ανήκει στην πρώτη κατηγορία η διαδικασία θεωρείται ότι προσφέρει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης των απορριμμάτων, απλά με άλλο τρόπο.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι και σε αυτή την περίπτωση η νομοθεσία για την λειτουργία καθώς και για τα όρια των εκπομπών ισχύουν κανονικά.

Στη συνέχεια, θα υπολογιστεί το κέρδος που θα έχει η μονάδα από την πώληση του παραγόμενου ηλεκτρισμού στο εθνικό δίκτυο. Λόγω του ότι δεν υπάρχουν αυτή τη στιγμή παρόμοιες μονάδες οι οποίες να διαθέτουν ηλεκτρισμό στο δίκτυο για να ξέρουμε την τιμή πώλησής τους, θα χρησιμοποιηθεί η τιμή για εγκαταστάσεις επεξεργασίας του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών απορριμμάτων. Η τιμή σε αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με τον ΔΕΣΜΗΕ, θα είναι περίπου 87,85€/MWh. Αυτό σημαίνει ότι θα ετήσια έσοδα της μονάδας από τον ηλεκτρισμό θα είναι 19.678.400€, εάν υποθέσουμε ότι η απόδοση της μονάδας είναι η μέγιστη δυνατή. Η τιμή αυτή είναι με τα σημερινά δεδομένα κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να αλλάξει στα επόμενα χρόνια, ειδικά εάν δημιουργηθούν κι άλλες μονάδες που παράγουν ηλεκτρισμό με αυτό τον τρόπο. (Rodriguez, 2011; ECOTEC, 2002)

Άλλα έσοδα που θα έχει η μονάδα είναι από τα τέλη που θα επιβληθούν στην είσοδο των απορριμμάτων στην εγκατάσταση ανάλογα με το βάρος τους (gate fees). Αυτό θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανομή του κόστους ανάλογα με την παραγωγή των απορριμμάτων κάτι που μπορεί να έχει και σαν αποτέλεσμα την μείωση εξ' αρχής της παραγωγής. Επίσης, είναι σύμφωνα με τη λογική «ο ρυπαίνων πληρώνει» η οποία ακολουθείται τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη. Η λογική του τέλους εισόδου δεν είναι κάτι που εφαρμόζεται στην Ελλάδα με επιτυχία. Μέχρι τώρα ο παραγωγός πληρώνει ανάλογα με τα τετραγωνικά που είναι το σπίτι του και όχι ανάλογα με τα απορρίμματα που παράγει. Η τιμή του τέλους θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να καταστεί η μονάδα βιώσιμη για τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου και κερδοφόρα ύστερα από το πέρας αυτών των χρόνων. Ανάλογα με την ενέργεια που ανακτάται και διανέμεται μέσω της αποτέφρωσης καθώς και με τα έξοδα και τα έσοδα της μονάδας καθορίζονται τα τέλη εισόδου. Υπάρχουν πολλές διακυμάνσεις στις μονάδες της Ευρώπης και έτσι η επιλογή θα γίνει έτσι ώστε η μονάδα να είναι βιώσιμη. Η τιμή θα πρέπει να είναι βέβαια λογική σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές που εμφανίζονται. Μια λογική τιμή μπορεί να θεωρηθεί αυτή των 62 €/t με την οποία η μονάδα θα είχε έσοδα 24.800.000 €. Η τιμή αυτή θα μπορούσε να μειωθεί ύστερα από το πέρας αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου. (ECOTEC, 2002)

Συνέχεια πρέπει να υπολογιστεί το κόστος επεξεργασίας της τέφρας το οποίο δεν περιλαμβάνεται στο κόστος λειτουργίας της μονάδας όπως έχει παρουσιαστεί παραπάνω. Αρχικά, υπάρχει η εναπομένουσα τέφρα η οποία θα επεξεργαστεί έτσι ώστε να διατεθεί στην αγορά για υλικό στην κατασκευή των δρόμων ή σκυροδέματος. Καθώς η επεξεργασία της δεν περιλαμβάνει εξεζητημένες τεχνικές όπως αυτής της ιπτάμενης τέφρας και υπάρχει η πιθανότητα κέρδους από την πώλησή της (αν και η αγορά εμφανίζεται κορεσμένη από εναλλακτικά υλικά ασφάλτου και σκυροδέματος) θα υποθεθεί ότι τελικά, το κόστος επεξεργασίας της εναπομένουσας τέφρας θα είναι 43 € / t (4.300.000 € το χρόνο δηλαδή) το οποίο είναι το μέσο κόστος επεξεργασίας της τέφρας από τα δεδομένα που υπάρχουν από άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Από την άλλη η ιπτάμενη τέφρα απαιτεί την ύπαρξη

πρόσθετης εγκατάστασης για την σταθεροποίησή της για να μπορέσει να διατεθεί με ασφάλεια. Παρότι η επαναχρησιμοποίησή της είναι δυνατή, θα θεωρηθεί ότι κάτι τέτοιο δε γίνεται λόγω του μειωμένου ενδιαφέροντος της αγοράς για αυτή. Οπότε η επεξεργασία της περιορίζεται στην σταθεροποίηση της. Στην συνέχεια θα μεταφέρεται σε ειδικό χώρο, εκτός μονάδας, για την αποθήκευση και ίσως την εκμετάλλευσή της. Ως εκ τούτου θα θεωρηθεί ότι η επεξεργασία και η διάθεση μαζί θα κοστίζουν 285 €/t, τιμή αρκετά υψηλότερη από αυτή για την εναπομένουσα τέφρα. (δηλαδή 3.465.000 €). (ECOTEC, 2002; ISWA, 2008)

Τέλος, σημαντικό κόστος για την μονάδα είναι η μεταφορά των απορριμμάτων από τους σταθμούς μεταφόρτωσης. Σε αυτό το κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος του καυσίμου αλλά και των οδηγών. Αρχικά, για τα οχήματα μεταφοράς των απορριμμάτων έχω ως δεδομένα (Γκικόκας, 2008; Τσουρούς και Χασάπης, 2015):

- Τύπος: φορτηγό με κιβωτάμαξα
- Χωρητικότητα: 15 t ή 60 m<sup>3</sup>
- Είδος καυσίμου: πετρέλαιο
- Τιμή μονάδας καυσίμου: 1 € / lt
- Κατανάλωση καυσίμου: 99,17 lt / 100 km
- Άτομα: 1 οδηγός
- Απασχόληση εργαζομένων: 14 € / hr (μικτά, δηλαδή το ημερομίσθια 8ωρης απασχόλησης μαζί με αργίες σαββατοκύριακα επιδόματα, άδειες, κόστος ασφάλισης εργαζομένου και εργοδότη)(168 €/ ημέρα)
- Λειτουργικό κόστος: 0,3 € / km

Άρα δημιουργείται συγκεντρωτικά ο παρακάτω πίνακας:

Σταθμός μεταφόρτωσης	Απαιτούμενα οχήματα	Διαδρομές έκαστο/ημέρα	Χιλιομετρική απόσταση διαδρομής	Κόστος καυσίμου (€/διαδρομή)	Λειτουργικό κόστος (€/διαδρομή)
<b>Ελασσόνα</b> (v. Λάρισας)	2	5	53*2=106	105	31,8
<b>Πολυδάμαντας</b> (v. Λάρισας)	2	5	28*2=56	55,5	16,8
<b>Αγιά</b> (v. Λάρισας)	1	10	37*2=74	73	22,2
<b>Πύλη</b> (v. Τρικάλων)	3	4+1 από 2 οχήματα	88*2=176	174,5	52,8
<b>Καρδίτσα</b> (v. Καρδίτσας)	2	6	62*2=124	123	37,2
<b>Αλμυρός</b> (v. Μαγνησίας)	3	6+1 από 2 οχήματα	65*2=130	129	39

Πίνακας 15: Κόστος καυσίμου και λειτουργικό κόστος ανά διαδρομή οχήματος



Και συνολικά για την ημέρα και ετήσια έχω:

Σταθμός μεταφόρτωσης	Κόστος καυσίμου (€/ημέρα)	Λειτουργικό κόστος (€/ημέρα)	Κόστος προσωπικού (€/ημέρα)	Συνολικά (€/ημέρα)
Ελασσόνα (v. Λάρισας)	1.050	318	336	1704
Πολυδάμαντας (v. Λάρισας)	555	168	336	1059
Αγιά (v. Λάρισας)	730	222	168	1120
Πύλη (v. Τρικάλων)	2.443	738	504	3.685
Καρδίτσα (v. Καρδίτσας)	1.476	446	336	2.258
Αλμυρός (v. Μαγνησίας)	2.578	780	504	3.862
<b>Σύνολο (ημερήσιο)</b>				13.688
<b>Σύνολο (ετήσιο)</b>				<b>4.996.120</b>

Πίνακας 16: Ημερήσιο και ετήσιο κόστος μεταφορών

Άρα συνολικά για τα χρόνια αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου:

Έξοδα μονάδας:

- Κόστος αποπληρωμής αρχικού κεφαλαίου: 24.127.000 €
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης: 8.500.000 €
- Κόστος επεξεργασίας εναπομένουσας τέφρας: 4.300.000 €
- Κόστος επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας: 3.465.000 €
- Κόστος μεταφοράς απορριμμάτων: 4.996.120 €
- Συνολικά έξοδα: 45.388.120 €, από τα οποία τα 21.261.000 € είναι τα ετήσια λειτουργικά έξοδα της μονάδας

Έσοδα μονάδας:

- Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας: 19.678.000 € (σύμφωνα με τη δεδομένη τιμή πώλησης)
- Ανάκτηση μετάλλων: 1.085.000 €
- Τέλος εισόδου: 24.800.000 €

Με αυτές τις τιμές παρατηρείται ότι η μονάδα δεν θα έχει ζημιά για τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της αλλά και το κέρδος θα είναι περίπου 100.000 €. Με τα δεδομένα αυτά η

μονάδα είναι βιώσιμη. Επίσης το κέρδος της θα αυξηθεί τα επόμενα χρόνια λειτουργίας της αφού θα έχει γίνει η αποπληρωμή του αρχικού κεφαλαίου.

Στην οικονομική μελέτη της συγκεκριμένης μονάδας δεν έχει υπολογιστεί η χρηματοδότησή της από την Ευρωπαϊκή Ένωση σε θέματα περιβαλλοντικής πολιτικής η οποία θα μπορούσε να φτάσει και το 30%. Έτσι θα μειωνόταν κατά πολύ το ετήσιο κόστος της, καθιστώντας δυνατόν την επιβολή μικρότερου τέλους εισόδου για τα εισερχόμενα απορρίμματα.

Η μονάδα αυτή έχει να προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα στην περιοχή αυτή. Καταρχάς θα λυνόταν ένα μεγάλο πρόβλημα όχι της Θεσσαλίας αλλά και της Ελλάδας γενικότερα, αυτό της διάθεσης των απορριμμάτων. Επίσης, μια τέτοια εγκατάσταση θα βελτιώνει τη θέση της χώρας μας σε περιβαλλοντικά ζητήματα, η οποία φαίνεται να μην ακολουθεί τους ρυθμούς ανάπτυξης των υπολοίπων ευρωπαϊκών χωρών σε αυτό το ζήτημα. Το μειονέκτημα που κάποιος θα μπορούσε να παρατηρήσει είναι αυτό του αυξημένου τέλους εισόδου των απορριμμάτων. Παρότι η λογική αυτού του φόρου είναι διαδεδομένη στις υπόλοιπες χώρες, τόσο όσον αφορά στην αποτέφρωση, όσο και στην ταφή, στην χώρα μας ακόμα δεν εφαρμόζεται. Το μέτρο αυτό θα μείωνε την παραγωγή απορριμμάτων και ίσως οι πολίτες να έψαχναν εναλλακτικούς τρόπους διαχείρισής τους, όπως η επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση. Επιπλέον, για να αποτελέσει η αποτέφρωση μια πιθανή μέθοδος επεξεργασίας των απορριμμάτων στην χώρα μας, θα έπρεπε να καταστεί εμφανές ότι είναι καλύτερη λύση σε σχέση με την ταφή. Αυτό θα μπορούσε να γίνει αυξάνοντας το κόστος της ταφής, έτσι ώστε να μην προτιμάται σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Τέλος, για την κατασκευή και τη λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία των δήμων της συγκεκριμένης περιοχής. Η συλλογή και η μεταφορά των απορριμμάτων συνεχίζει να αποτελεί αρμοδιότητα των δήμων και των κοινοτήτων. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει σωστή ενημέρωση των πολιτών για να δεχθούν ένα τέτοιο έργο στην περιοχή τους.

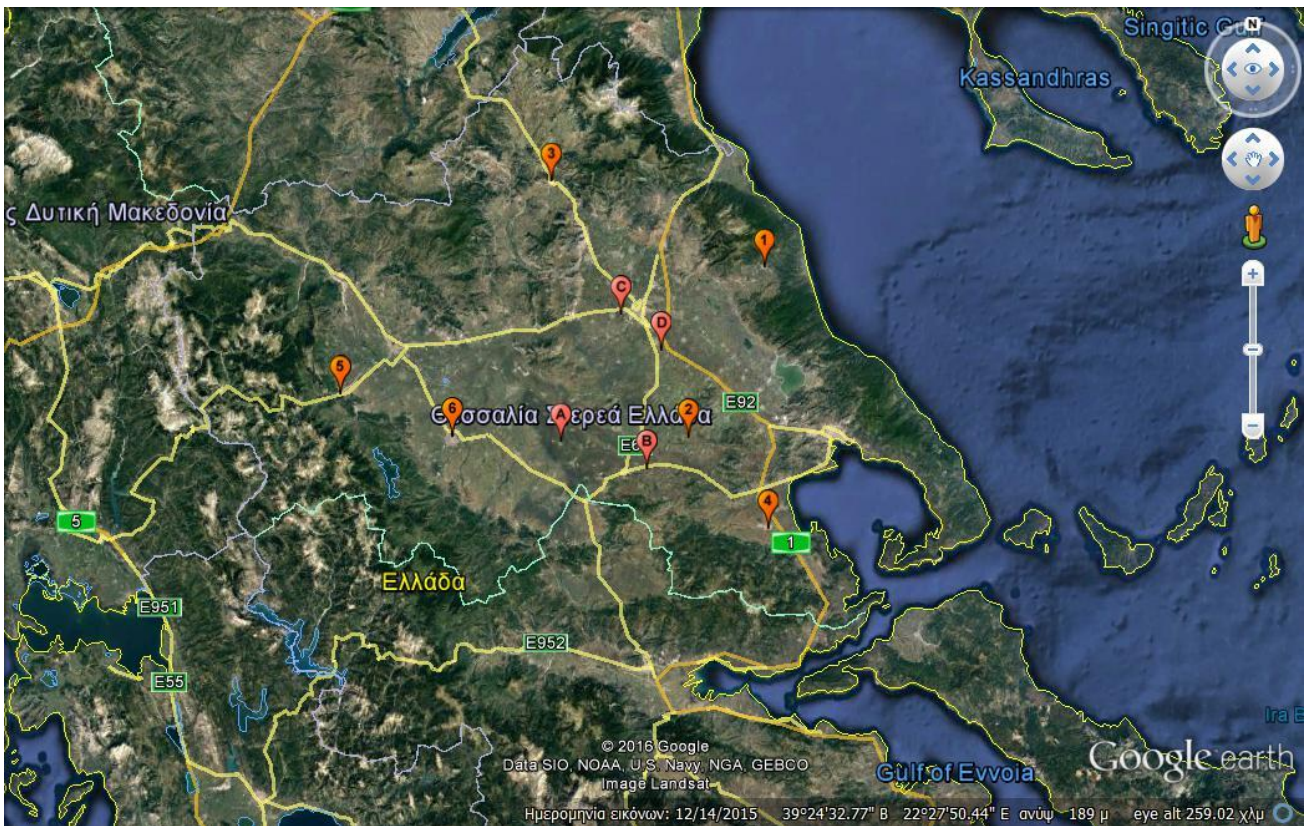
#### **7.7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:** Επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την εγκατάσταση της μονάδας

Η επιλογή της τοποθεσίας για την εγκατάσταση της μονάδας είναι μια διαδικασία που έχει πολλές παραμέτρους προς εξέταση. Καταρχάς, η μονάδα θα πρέπει να βρίσκεται εκτός κατοικημένων περιοχών αλλά και κοντά σε κάποια για να μπορεί να διαθέτει την ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγει στο δίκτυο. Επίσης, η μονάδα θα ήταν καλύτερο να μην είναι κοντά σε επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες κτλ) για να είναι μηδενική η πιθανότητα ρύπανσής τους. Ακόμα, λόγω του ότι το διαμέρισμα της Θεσσαλίας περιλαμβάνει πολλά εδάφη που καλλιεργούνται τόσο με τρόφιμα, όσο και με προϊόντα που ύστερα επεξεργάζονται, καλό θα ήταν να γίνει μελέτη για τις επιπτώσεις των ρύπων που θα παράγονται από την μονάδα σε κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά, η οποία θα αποτελεί μέρος μια

γενικότερης και εμπειριστατωμένης μελέτης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μονάδας. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια των εκπομπών που ορίζονται από την νομοθεσία και σύμφωνα με τα οποία είναι σχεδιασμένη η εγκατάσταση είναι αυστηρά και τέτοια ώστε οι ρύποι να είναι ακίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Αυτό αποδεικνύουν και οι διάφορες ευρωπαϊκές, και όχι μόνο, χώρες που επιλέγουν την κατασκευή τέτοιων μονάδων μέσα σε μεγάλες πόλεις ή δίπλα σε ποτάμια. Βέβαια, για να αποφευχθούν οι αντιδράσεις από τους πολίτες θα πρέπει να γίνει προηγουμένως σωστή ενημέρωση.

Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η όχληση που θα δημιουργηθεί από τα απορριμματοφόρα που θα διέρχονται από τα χωριά. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η συλλογή των απορριμμάτων θα συνεχίσει να γίνεται όπως και τώρα όσον αναφορά το χρονικό διάστημα. Επίσης, τα οχήματα που θα μεταφέρουν τα απορρίμματα από τους σταθμούς μεταφόρτωσης στην μονάδα αποτέφρωσης θα πρέπει να κάνουν τις διαδρομές συγκεκριμένες ώρες όταν θα διέρχονται από χωριά για να μην ενοχλούν. Βέβαια, η επιλογή μιας μονάδας κοντά σε κεντρική αρτηρία (εθνική οδό) λύνει το πρόβλημα αυτό της όχλησης.

Άλλο κριτήριο για την επιλογή της τοποθεσίας είναι η εγγύτητα στις πόλεις (και κατά συνέπεια στους σταθμούς μεταφόρτωσης) που παράγουν και μεταφέρουν τα περισσότερα απορρίμματα στη μονάδα. Δεδομένου ότι στον νομό Λαρίσης θα λειτουργούν τρεις σταθμοί μεταφόρτωσης, ο σταθμός με τα περισσότερα απορρίμματα προς μεταφορά είναι αυτός του Αλμυρού στον νομό Μαγνησίας (20 διαδρομές ημερησίως). Ακολουθούν οι σταθμοί την περιοχή Πύλη στον νομό Τρικάλων (14 διαδρομές ημερησίως), της Καρδίτσας (12 διαδρομές ημερησίως) και οι τρεις σταθμοί στον νομό Λάρισας με 10 διαδρομές έκαστο την ημέρα.



**Εικόνα 55: Χάρτης Θεσσαλίας. Τοποθεσίες 1-6 είναι οι σταθμοί μεταφόρτωσης με την ακόλουθη σειρά Αγιάς- Πολυδάμαντας- Ελασσόνα- Αλμυρός- Πύλη- Καρδίτσα. Τοποθεσίες A-D είναι οι θέσεις που μελετώνται με την σειρά: Πασχαλίτσα- Σερίφης- Υπέρεια- Νίκαια**

Η πρώτη τοποθεσία που ελέγχθηκε είναι η περιοχή της Πασχαλίτσας<sup>(\*)</sup> στην Καρδίτσα. Η περιοχή αυτή είναι πεδινή και υπάρχουν πολλές εκτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση της μονάδας. Επίσης, δεν υπάρχει κοντά κάποιο ποτάμι ή λίμνη για να κινδυνεύει από ρύπανση. Στην περιοχή αυτή καλλιεργούνται σιτηρά και βαμβάκι προϊόντα τα οποία επεξεργάζονται προτού χρησιμοποιηθούν ή καταναλωθούν και έτσι η όποια ρύπανση δεν είναι κρίσιμη για την καταλληλότητα των καλλιεργειών. Η περιοχή επιλέχθηκε λόγω του βρίσκεται στην μέση σχεδόν της διαδρομής Πύλης- Αλμυρού, δηλαδή των σταθμών με τα περισσότερα απορρίμματα. Το συνολικό κόστος μεταφορών για 12 διαθέσιμες ώρες είναι 5.015.021 € ετησίως. (οι υπολογισμοί φαίνονται σε μια μόνο από τις περιοχές που ελέγχονται)

(\*)Σημείωση: η τοποθέτηση της μονάδας σε κάθε περίπτωση δε θα γίνει μέσα στο χωριό που αναφέρεται αλλά σε κάποιο κοντινό σημείο. Χρησιμοποιείται το όνομα του χωριού σαν σημείο αναφοράς.

Σταθμοί μεταφόρτωσης	Χιλιομετρική απόσταση (km)	Ενδεικτικός χρόνος (min)	Απαιτούμενα Οχήματα	Διαδρομές έκαστο
<b>Ελασσόνα</b> (v. Λάρισας)	86	74	3	3 + 1 μόνο το ένα
<b>Πολυδάμαντας</b> (v. Λάρισας)	34	43	2	5
<b>Αγιά</b> (v. Λάρισας)	48	44	2	5
<b>Πύλη</b> (v. Τρικάλων)	<b>65</b>	65	3	4+1 από τα 2 οχήματα
<b>Καρδίτσα</b> (v. Καρδίτσας)	29	34	2	6
<b>Αλμυρός</b> (v. Μαγνησίας)	<b>67</b>	60	4	5

Πίνακας 17: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή της Πασχαλίτσας

Η επόμενη τοποθεσία είναι η περιοχή Σερίφης στον νομό Λαρίσης. Και αυτή η τοποθεσία δεν είναι κοντά σε επιφανειακά νερά. Επίσης, οι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής των Φαρσάλων ασχολούνται κυρίως με την καλλιέργεια βαμβακιού, την κτηνοτροφία ενώ υπάρχουν και μονάδες επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων όπως κλωστοϋφαντουργίας.

Η μονάδα θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε κάποιο σημείο κοντά σε κάποια μονάδα επεξεργασίας προϊόντων για να μειώνεται ο κίνδυνος για όχληση του περιβάλλοντος από τον θόρυβο καθώς και για να μην υπάρχουν τυχόν επιπτώσεις στα γεωργικά προϊόντα. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε γιατί είναι αρκετά κοντά στον σταθμό του Αλμυρού από τον οποίο μεταφέρονται τα περισσότερα απορρίμματα. Τα συνολικά ετήσια μεταφορικά έξοδα προκύπτουν ίσα με 5.113.029 €.

Σταθμοί μεταφόρτωσης	Χιλιομετρική απόσταση (km)	Ενδεικτικός χρόνος (min)	Απαιτούμενα Οχήματα	Διαδρομές έκαστο
<b>Ελασσόνα</b> (v. Λάρισας)	86	85	3	3 + 1μόνο το ένα
<b>Πολυδάμαντας</b> (v. Λάρισας)	18	26	1	10
<b>Αγιά</b> (v. Λάρισας)	71	67	2	5
<b>Πύλη</b> (v. Τρικάλων)	91	82	4	3+1 από 2 οχήματα
<b>Καρδίτσα</b> (v. Καρδίτσας)	54	50	2	6
<b>Αλμυρός</b> (v. Μαγνησίας)	<b>42</b>	35	2	10

Πίνακας 18: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή του Σερίφη

Παρότι για τον σταθμό του Αλμυρού η απόσταση είναι μικρή, για άλλους σταθμούς (Ελασσόνας, Πύλης, Αγιάς) οι αποστάσεις είναι πολύ μεγάλες με αποτέλεσμα να αυξάνεται το συνολικό κόστος.

Η επόμενη τοποθεσία έχει επιλεγθεί με το κριτήριο να απαιτούνται έως τρία οχήματα σε κάθε σταθμό για την μεταφορά των απορριμμάτων. Η τοποθεσία αυτή είναι η περιοχή Υπέρεια στον νομό Λάρισας. Η Υπέρεια ανήκει και αυτή στον Δήμο Φαρσάλων και έτσι ισχύουν τα ίδια με την παραπάνω περιοχή όσον αφορά τις καλλιέργειες. Το συνολικό κόστος μεταφορών ανέρχεται στα 5.181.835 €.

Σταθμοί μεταφόρτωσης	Χιλιομετρική απόσταση (km)	Ενδεικτικός χρόνος (min)	Απαιτούμενα Οχήματα	Διαδρομές έκαστο
<b>Ελασσόνα</b> (v. Λάρισας)	85	70	<b>2</b>	5
<b>Πολυδάμαντας</b> (v. Λάρισας)	30	35	<b>1</b>	10
<b>Αγιά</b> (v. Λάρισας)	79	66	<b>2</b>	5
<b>Πύλη</b> (v. Τρικάλων)	77	69	<b>3</b>	4+1 από 2 οχήματα
<b>Καρδίτσα</b> (v. Καρδίτσας)	36	34	<b>2</b>	6
<b>Αλμυρός</b> (v. Μαγνησίας)	60	50	<b>3</b>	6+1 από 2 οχήματα

Πίνακας 19: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή της Υπέρειας

Παρατηρούμε ότι παρότι τα οχήματα που απαιτούνται είναι σε κάθε σταθμό 3 ή και λιγότερα, το κόστος μεταφορών δεν είναι το ελάχιστο. Αυτό εξηγείται παρατηρώντας τον τρόπο υπολογισμού του συνολικού κόστους. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού είναι το κόστος των καυσίμων το οποίο εξαρτάται από την χιλιομετρική απόσταση. Ο αριθμός των οχημάτων επηρεάζει τον αριθμό των οδηγών και ως εκ τούτου το κόστος εργασίας τους αλλά όχι τον αριθμό των δρομολογίων καθώς αυτά είναι σταθερά. Το κόστος της εργασίας των οδηγών είναι πολύ μικρότερο από το κόστος καυσίμων. Έτσι, η επιλογή της τοποθεσίας θα πρέπει να γίνει όχι μόνο με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των οχημάτων αλλά και των αποστάσεων. Η επόμενη τοποθεσία που ελέγχθηκε είναι αυτή της Νίκαιας στον νομό Λάρισας. Και σ' αυτή τη τοποθεσία γίνεται καλλιέργεια κυρίως βαμβακιού και σιτηρών, ενώ στην γύρω περιοχή υπάρχουν και άλλες μονάδες επεξεργασίας προϊόντων. Το γεγονός ότι η τοποθεσία αυτή είναι ανάμεσα σε κατοικημένες περιοχές δε είναι ανασταλτικός παράγοντας για την επιλογή της. Η απόσταση μεταξύ τους είναι αρκετή και έτσι η ζωή των πολιτών δε θα επηρεάζεται άμεσα ειδικά εάν συνυπολογιστούν και τα αυστηρά αντιρρυπαντικά μέτρα με τα οποία θα λειτουργεί η μονάδα. Ένα επιπλέον πρόβλημα που πιθανό να υπάρχει είναι αυτό του θορύβου. Ωστόσο μια μονάδα αποτέφρωσης απορριμμάτων δεν παράγει περισσότερο θόρυβο από μια οποιαδήποτε άλλη μονάδα επεξεργασίας. Και σε αυτή την περίπτωση η απόσταση θεωρείται επαρκής για να αντιμετωπιστεί επιτυχώς αυτό το πρόβλημα. Η τοποθεσία αυτή έχει το προνόμιο να απέχει πολύ (88 χιλιόμετρα) μόνο από έναν σταθμό μεταφόρτωσης. Είναι ωστόσο κοντά και στο σταθμό του Αλμυρού με τα περισσότερα δρομολόγια αλλά και των σταθμών του ν. Λάρισας. Επίσης, λόγω του ότι είναι κοντά στην εθνική οδό οι μετακινήσεις είναι πιο εύκολες και έτσι μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος κάθε διαδρομής και άρα ο αριθμός των απαραίτητων οχημάτων. Και σε αυτή την τοποθεσία τα οχήματα που απαιτούνται είναι τρία ή και λιγότερα για κάθε σταθμό. Το συνολικό κόστος είναι 4.998.905 €, το λιγότερο σχέση με τα κόστη που προκύπτουν από άλλες περιοχές.

Σταθμοί μεταφόρτωσης	Χιλιομετρική απόσταση (km)	Ενδεικτικός χρόνος (min)	Απαιτούμενα Οχήματα	Διαδρομές έκαστο
<b>Ελασσόνα</b> (ν. Λάρισας)	53	50	<b>2</b>	5
<b>Πολυδάμαντας</b> (ν. Λάρισας)	28	37	<b>2</b>	5
<b>Αγιά</b> (ν. Λάρισας)	37	33	<b>1</b>	10
<b>Πύλη</b> (ν. Τρικάλων)	<b>88</b>	65	<b>3</b>	4+1 από 2 οχήματα
<b>Καρδίτσα</b> (ν. Καρδίτσας)	62	50	<b>2</b>	6
<b>Αλμυρός</b> (ν. Μαγνησίας)	65	42	<b>3</b>	6+1 από 2 οχήματα

**Πίνακας 20:** Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή της Νίκαιας

### Διαδικασία υπολογισμού κόστους μεταφοράς απορριμμάτων

Σταθμός μεταφόρτωσης	Καύσιμα (€/διαδρ.)	Λειτουργικό (€/διαδρ.)	Καύσιμα (€/ημέρα)	Λειτουργικό (€/ημέρα)	Προσωπικό (€/ημέρα)	Συνολικά (€/ημέρα)
<b>Ελασσόνα</b> (ν. Λάρισας)	105	31,8	1.050	318	336	1704
<b>Πολυδάμαντας</b> (ν. Λάρισας)	55,5	16,8	555	168	336	1059
<b>Αγιά</b> (ν. Λάρισας)	73	22,2	730	222	168	1120
<b>Πύλη</b> (ν. Τρικάλων)	174,5	52,8	2.443	738	504	3.685
<b>Καρδίτσα</b> (ν. Καρδίτσας)	123	37,2	1.476	446	336	2.258
<b>Αλμυρός</b> (ν. Μαγνησίας)	129	39	2.578	780	504	3.862
<b>Σύνολο (ημερήσιο)</b>						13.688
<b>Σύνολο (ετήσιο)</b>						<b>4.996.120</b>

Πίνακας 21: Ημερήσιο και ετήσιο κόστος μεταφορών για την περιοχή της Νίκαιας

Φαίνεται από τα τελικά κόστη ότι το κόστος της μονάδας (σε ετήσια βάση) με τα περισσότερα δρομολόγια (Αλμυρός) είναι περίπου ίσο με το κόστος του πιο απομακρυσμένου σταθμού (Πύλης). Επίσης, τα κόστη για τους σταθμούς του νομού Λάρισας που έχουν λίγα δρομολόγια είναι αρκετά μικρότερα από τα υπόλοιπα μειώνοντας έτσι το τελικό κόστος.

Γενικά, φαίνεται ότι ο αριθμός των οχημάτων, δηλαδή των οδηγών, δεν επηρεάζουν τόσο το τελικό κόστος γιατί είναι μικρή η συμμετοχή τους σε σχέση με τα καύσιμα και άρα την χιλιομετρική απόσταση. Σίγουρα βέβαια η βέλτιστη τοποθεσία είναι αυτή που απαιτεί και λιγότερα οχήματα για τις μεταφορές, χωρίς αυτό να είναι το μοναδικό κριτήριο, ωστόσο.

Αφού η τοποθεσία αυτή έξω από την περιοχή Νίκαια στο ν. Λάρισας καλύπτει όλα τα κριτήρια (ελάχιστα οχήματα, συμφέρουσες αποστάσεις, περιβαλλοντικά κριτήρια και ελάχιστο κόστος) θα επιλεγεί για την τοποθέτηση της μονάδας αποτέφρωσης.



## **8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η καύση των απορριμμάτων εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια σαν τρόπος διαχείρισης των απορριμμάτων. Στο παρελθόν, βέβαια, όταν δεν υπήρχε ιδιαίτερη μέριμνα για την ρύπανση του περιβάλλοντος και οι αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία δεν ήταν ακόμα αποδεδειγμένες, η καύση γινόταν ανεξέλεγκτα χωρίς να υπάρχει ένα σύστημα καθαρισμού των αεαρίων και σίγουρα ούτε τμήμα ανάκτησης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια αυτό έχει αλλάξει. Πλέον δίνεται πολύ περισσότερη σημασία στην προστασία του περιβάλλοντος αλλά και της ανθρώπινης υγείας. Για τους λόγους αυτούς τα τμήματα ανάκτησης ενέργειας και καθαρισμού των αεαρίων είναι απαραίτητα για την σωστή και ολοκληρωμένη λειτουργία μιας μονάδας αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων. Με το πέρασμα των χρόνων και την μεγέθυνση των αστικών κέντρων φαίνεται ξεκάθαρα ότι η σωστή διαχείριση των αστικών απορριμμάτων βοηθάει δραστικά στην αντιμετώπιση της ρύπανση του περιβάλλοντος κυρίως στις περιοχές αυτές στις οποίες το πρόβλημα διαχείρισης των απορριμμάτων είναι ακόμα πιο έντονο. Οι θερμικές μέθοδοι όταν συνοδεύονται με κατάλληλο σύστημα καθαρισμού των αεαρίων σχεδιασμένο να ανταποκρίνεται στους σύγχρονους κανονισμούς εκπομπών, μπορούν να συμβάλλουν σε αυτό κυρίως λόγω του περιορισμού της διάθεσης των απορριμμάτων. Ιδιαίτερα όταν υπάρχει ανάκτηση ενέργειας το περιβάλλον προστατεύεται περαιτέρω καθώς η ενέργεια αυτή θα χρησιμοποιηθεί στη θέση κάποιας που θα παραγόταν με επεξεργασία καυσίμου από φυσική πηγή.

### **8.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΧΥΤΑ**

Η θερμική επεξεργασία αποτελεί μια αποδεδειγμένα αποτελεσματική μέθοδο τόσο για την παραγωγή ενέργειας μέσω των απορριμμάτων όσο και για την μείωση του όγκου των αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους ταφής. Επίσης, οι μέθοδοι αυτοί έχουν το πλεονέκτημα της δημιουργίας ενός υπολείμματος το οποίο είναι αδρανές και αβλαβές για το περιβάλλον και δεν προκαλεί ούτε οσμές ούτε αέρια του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο το οποίο προέρχεται από χώρους ταφής απορριμμάτων είναι 20 φορές πιο επικίνδυνο (για αέριο του θερμοκηπίου) απ' ό τι το διοξείδιο του άνθρακα. (Wilson, 2014) Συμπεραίνεται οπότε ότι η ταφή των απορριμμάτων, ακόμα και σε περίπτωση που πραγματοποιείται ανάκτηση του μεθανίου που βρίσκεται στις εκπομπές, είναι η χειρότερη μέθοδος διαχείρισης και επεξεργασίας. Το γεγονός ότι μια τόσο παρωχημένη μέθοδος εφαρμόζεται εξ' ολοκλήρου στη χώρα μας, δείχνει ότι η ανάγκη αλλαγής σκέψης είναι επιτακτική. Παρόλο που η διάθεση των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ παραμένει μια φθηνή λύση διαχείρισης κυρίως λόγω των μηδενικών τελών εισόδου που υπάρχουν στη χώρα μας, το κριτήριο αυτό δε θα έπρεπε να είναι το μοναδικό. Η σωστή ενημέρωση θα βοηθήσει στην κατανόηση των κινδύνων που δημιουργούνται με την χρήση των χώρων υγειονομικής ταφής τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον. Βέβαια, πριν από την απόφαση για την κατασκευή μιας τέτοιας

εγκατάστασης θα πρέπει να είμαστε βέβαιοι για την αποτελεσματική εφαρμογή της και την συμμετοχή των πολιτών εξ' αιτίας του υψηλού κόστους επένδυσης για την κατασκευή της.

## **8.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ**

Ένας από τους κύριους άξονες της σύγχρονης περιβαλλοντικής πολιτικής είναι η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση όσο το δυνατό περισσότερων αντικειμένων. Η μεγάλη σημασία των δύο αυτών μεθόδων διαχείρισης φαίνεται και από το ότι αποτελούν την βάση της πυραμίδας των απαιτούμενων ενεργειών για την διαχείριση απορριμμάτων. Δεν είναι λίγοι όσοι πιστεύουν ότι η αποτέφρωση και εν γένει οι θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας δε συμβάλλουν στην μείωση της παραγωγής απορριμμάτων το οποίο είναι το πρώτο μέτρο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων. Επίσης, υποστηρίζουν ότι ο βαθμός της ανακύκλωσης μειώνεται όταν η αποτέφρωση γίνεται η κύρια μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων. Αυτό δε μπορούμε να πούμε ότι δεν έχει κάποια βάση. Η θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων μειώνεται όταν το μίγμα δεν περιέχει κάποια συστατικά τα οποία ανακυκλώνονται, όπως είναι το χαρτί και έτσι η ενέργεια που παράγεται είναι λιγότερη και η μονάδα καθίσταται λιγότερο αποδοτική. Ωστόσο, πρέπει να αναλογιστεί κάποιος, ότι η μεν ανακύκλωση προωθεί την επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων, η δε αποτέφρωση είναι μέθοδος επεξεργασίας των άχρηστων υλικών. Η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η επιτυχία της ανακύκλωσης είναι ότι δε χρησιμοποιούνται πρωτογενείς υλικά για τη δημιουργία νέων αντικειμένων. Αντίθετα, γίνεται επεξεργασία στα άχρηστα πλέον αντικείμενα, για να μπορέσουν να κατασκευαστούν νέα έχοντας ως βάση αυτά, ή να επαναχρησιμοποιηθούν τα ίδια ύστερα από κάποια ελάχιστη επεξεργασία (π.χ. πλύση). Η καύση των απορριμμάτων, από την άλλη, είναι μια εναλλακτική μέθοδος διάθεσης και επεξεργασίας των απορριμμάτων. Αντί τα απορρίμματα να διατίθενται σε χώρους ταφής, μέθοδος που αποδεδειγμένα δεν είναι η καλύτερη δυνατή λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αλλά και της ρύπανσης του εδάφους, επιλέγεται η καύση τους με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου προς διάθεση αλλά και την ανάκτηση ενέργειας. Εάν μια μονάδα αποτέφρωσης πληροί όλες τις προϋποθέσεις σωστού σχεδιασμού και λειτουργίας τότε οι αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον είναι μηδενικές. Ταυτόχρονα, από αντικείμενα χωρίς περαιτέρω χρήση παράγεται ενέργεια προστατεύοντας έτσι άλλες πηγές ενέργειας μη ανανεώσιμες όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας, κλπ. Το αποτέλεσμα είναι το περιβάλλον να προστατεύεται σε δύο τομείς: δε γίνεται επιπλέον εκμετάλλευσή του για την εύρεση και εξαγωγή καυσίμων ενώ περιορίζονται και τα αέρια του θερμοκηπίου. Σίγουρα, το πιο καλό για το περιβάλλον θα ήταν να γίνεται η καύση μόνο στα απορρίμματα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν. Βέβαια, τότε η μονάδα θα είχε πιο αυξημένο κόστος λειτουργίας αλλά και χαμηλότερη αποδοτικότητα και σαν μέθοδος ίσως να μην συνέφερε. Τέλος, ο λόγος για τον οποίο η αποτέφρωση είναι μια μέθοδος που θεωρείται αποτελεσματική είναι το γεγονός ότι η ανακύκλωση δεν έχει ακόμα απόλυτη επιτυχία στην εφαρμογή της. Ο βαθμός ανακύκλωσης στην Ευρώπη είναι 39% ενώ υπάρχουν πολλές χώρες ακόμα που δεν έχουν αναπτύξει την ανακύκλωση σε ικανοποιητικό βαθμό. Μέσα σε αυτές είναι και η Ελλάδα με βαθμό ανακύκλωσης 19%. Το συμπέρασμα είναι ότι σίγουρα η ανακύκλωση είναι η πιο φιλική

προς το περιβάλλον μέθοδος διαχείρισης απορριμμάτων αλλά μόνη της δε μπορεί να αποτελέσει τρόπο διαχείρισης αστικών απορριμμάτων.

### **8.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη για την κατασκευή μονάδας αποτέφρωσης στη Θεσσαλία είναι χρήσιμα για την κατανόηση της περιπλοκότητας της μεθόδου αλλά και της χρησιμότητάς της. Καταρχάς, το πρώτο και πιο σημαντικό μέρος του σχεδιασμού είναι η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας. Η τοποθεσία είναι σημαντική τόσο για την αποδοχή της μονάδας από τους πολίτες όσο και για τη βιωσιμότητα της ίδιας της μονάδας. Η τοποθεσία πρέπει να επιλέγεται με βάση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που υπάρχουν σε κάθε τόπο. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους, εάν υπάρχουν καλλιέργειες και τι είδους είναι αυτές, η ύπαρξη επιφανειακών ή ακόμα και υπόγειων νερών, η εγγύτητα σε κάποια πόλη και η ευκολία των μεταφορών είναι μερικά από τα κριτήρια που λαμβάνονται υπ' όψιν στην επιλογή. Επίσης, σημαντικός παράγοντας επιτυχίας μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού, ανάλογα με τον τύπο και την σύσταση των απορριμμάτων, την διαθέσιμη γνώση και εμπειρία, τους ισχύοντες κανονισμούς και τις ανάγκες της περιοχής. Η επιλογή της πλέον σωστής τεχνολογίας σε κάθε φάση της επεξεργασίας είναι αυτή που θα φέρει και τα καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, όπως έχει αναφερθεί πολλές φορές, λόγω του ότι η κατασκευή και η λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας είναι αρκετά δαπανηρή θα πρέπει να γίνεται ύστερα από μελέτη όλων των παραγόντων και των μελλοντικών τους μεταβολών.

Πολύ σημαντική είναι επίσης η διαπίστωση ότι για την καλή λειτουργία της μονάδας αποτέφρωσης σημαντικά δεν είναι μόνο τα άτομα που εργάζονται σε αυτήν ή την παρακολουθούν και ελέγχουν. Υπάρχουν κι άλλες μονάδες, όπως οι σταθμοί μεταφόρτωσης, αλλά και φορείς, όπως αυτοί που είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή και την μεταφορά των απορριμμάτων, οι οποίοι έχουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχή λειτουργία της μονάδας. Η καλή συνεργασία και η σωστή οργάνωσή τους είναι απαραίτητα και χωρίς αυτά η μονάδα θα αποτύχει. Τέλος, εξίσου σημαντικό είναι και η αποδοχή των πολιτών. Αυτή είναι πιθανό να επιτευχθεί μόνο εάν υπάρχει η σχετική ενημέρωση για τον τρόπο λειτουργίας, τα περιβαλλοντικά ζητήματα και τα αναμενόμενα αποτελέσματα που θα έχει για τον τόπο και από την Πολιτεία αλλά και από σχετικούς φορείς και επιστήμονες.

Εν κατακλείδι, η δημιουργία μιας τέτοιας μονάδας μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη και να λύσει αποτελεσματικά το μεγάλο πρόβλημα της διαχείρισης των Α.Σ.Α. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να υπάρχει σωστός σχεδιασμός, καλή λειτουργία και συστηματικός έλεγχος. Με αυτό τον τρόπο θα είναι πιο εύκολο για τους πολίτες να αποδεχθούν αυτή την μέθοδο καθώς τα καλά αποτελέσματα των ελέγχων θα τους καθησυχάζουν σε θέματα ρύπανσης και υγείας. Τέλος, και όλη η χώρα θα έχει οφέλη καθώς θα ανοίξει ο δρόμος για την κατασκευή και άλλων μονάδων κάτι που θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των ΧΥΤΑ και την βελτίωση της θέσης της χώρας μας σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος.

## **9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **A. Ελληνική Βιβλιογραφία**

- 1) Ανδρεαδάκης Α. , Πανταζίδου Μ. , Σταθόπουλος Α. , «Περιβαλλοντική Τεχνολογία» , κεφάλαιο 7, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2008
- 2) Γκικόκας Αλ., «Επιχειρησιακός Προγραμματισμός Συστημάτων Διαχείρισης ΑΣΑ: Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου και Εφαρμογή στη Νήσο Κέρκυρα», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 2008
- 3) Θεοχάρη Χρ., «Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων- Ανακύκλωση: Παρόν και Προοπτικές», Προσυνεδριακή ημερίδα HELECO 2011, ΤΕΕ και ΤΕΕ-Τμήμα ΑΜ, 2011
- 4) Καλογήρου Ευστρ., Ψωμόπουλος Κ. (Συμβούλιο Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων-ΣΥΝΕΡΓΕΙΑ) «Η ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων ως μοχλός ανάπτυξης: η περίπτωση της Αττικής», Συνέδριο ΤΕΕ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», 2012
- 5) Κατσανεβάκης Ι., Μαλαμάκης Α., Περκουλίδης Γ., Τσατσαρέλης Θ., «Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας», Πόρισμα Ομάδας Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ, 2010
- 6) Μαυρόπουλος Αντ., «Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων», Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης, 2008
- 7) Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Αβρ., Σημειώσεις στο μάθημα «Διαχείριση απορριμμάτων», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, 2002
- 8) Μουστάκας Κ., «Αεριοποίηση/Υαλοποίηση Αποβλήτων με την Τεχνολογία του Πλάσματος», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, Αθήνα, 2011

- 9) Μπουρτσάλας Αθ., Θεμελής Ν., Καλογήρου Ευστρ., «Περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) για τις Περιφέρειες της Ελλάδας», Earth Engineering Center Columbia University, 2011
- 10) Νάκος Χρ., Παπαδόπουλος Στ., Ράδου Μ., Χριστοφόρου Σ., «Έκθεση για τη Διαχείριση Επικίνδυνων Αποβλήτων», ΤΕΕ-Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, 2005
- 11) Νταρακάς Ε., Σημειώσεις στο μάθημα «Διαχείριση στερεών αποβλήτων», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, 2014
- 12) Τσομπανίδης Χ., «Παραγωγή, χαρακτηρισμός και αξιοποίηση στερεών εναλλακτικών καυσίμων RDF-SRF», Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΕΔΣΑ), Αθήνα, 2014
- 13) Τσουρούς Τρ., Χασάπης Γ., «Ανοιχτός Μειοδοτικός Διαγωνισμός για την Ανάθεση των Εργασιών: Διαχείριση Απορριμμάτων Δήμου Θερμαϊκού για 24 μήνες», 2015

## **Β. Ξένη Βιβλιογραφία**

- 14) Accuardi Z., Babbitt M., Chen R., Lee E., Mayo T., Rice E., Westby K., «Waste-to-Energy Design proposal for Red Hook, Brooklyn», 2011
- 15) Andreadakis A. , Razis G. , Hadjibiros K. , Christoulas D., «Municipal Solid Waste Management in Greece», Chapter 5 of the book «Municipal Waste Management in Europe: A Comparative Study in Building Regimes», Springer-Science + Business Media, 2000
- 16) Branchini L., «Waste-to-Energy, Advanced Cycles and New Design Concepts for Efficient Power Plants», Chapter 3, Springer, 2015
- 17) CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plants), «Integrated waste management of MSW across Europe-Waste to Energy as a professional route to treat residual waste», Houthalen Helchteren, Belgium, 2013
- 18) ECOTEC, Eunomia Research and Consulting, «Cost of Municipal Waste Management in the EU» and Annexes, Final Report to Directorate General Environment European Commission, 2002

- 19) European Commission <sup>(1)</sup>, «Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques (BAT) for Waste Incineration» , 2006
- 20) European Commission<sup>(2)</sup>- Directorate General Environment, «Refuse Derived Fuel, Current Practices and Perspectives», Final report, 2003
- 21) Hadjibiros K. , Dermatas D, Laspidou C. , «Municipal Solid Waste Management and Landfill Site Selection in Greece: Irrationality versus Efficiency», [Glob NEST J](#), 2011
- 22) Holm N., «WTE in Scandinavia», [https://www.b2match.eu/district-heating-matchmaking/system/files/NCH\\_Ramboll-ScottishEnterprise-EfW-Nov2012.pdf](https://www.b2match.eu/district-heating-matchmaking/system/files/NCH_Ramboll-ScottishEnterprise-EfW-Nov2012.pdf), 2012
- 23) ISWA, Working Group on Thermal Treatment of Waste: Subgroup on APC Residues from WTE plants, «Management of APC Residues from WTE plants: An overview of management options and treatment methods», 2<sup>nd</sup> Edition, 2008
- 24) Karagiannidis A., «Waste to Energy: Opportunities and Challenges for Developing and Transition Economies», Chapters 2, 9, Springer, 2012
- 25) Klein Al., Themelis N., « Energy Recovery from Municipal Solid Wastes by Gasification», North American Waste to Energy Conference, 2003
- 26) National Research Council, Committee on Health Effects of Waste Incineration, Board on Environment Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, «Waste Incineration and Public Health», National Academy Press, Washington D.C., 2000
- 27) Niessen W. , «Combustion and Incineration Processes: applications in environmental engineering», 4<sup>th</sup> Edition, Chapters 7,8,13,14, CRC Press, 2010
- 28) Quina M., Bordado J., Quinta-Ferreira R., «Air Pollution Control in Municipal Solid Waste Incinerators», Chapter 16 from the book «The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources», INTECH, 2011
- 29) Reimann D., «Treatment of Waste Water from Refuse Incineration Plants», Elsevier, 1987
- 30) Rodriguez Barriga Diaz M.-E., «Cost-Benefit Analysis of a Waste to Energy Plant for Montevideo; and Waste to Energy in Small Islands», Columbia University, 2011
- 31) Stubenvoll J., Böhmer S., Szednyj L., «State of Art for Waste Incineration Plants», Federal Environment Agency-Austria, Vienna, 2002

- 32) Sunk W., «Field trip to WTE facility Spitteau/Fernwaerme Wien GmbH», Vienna, Austria, 2005
- 33) Tammemagi H., «The Waste Crisis: Landfills, Incinerators and the search of a sustainable future», Chapter 9, 1<sup>st</sup> Edition, Oxford University Press, 1999
- 34) Tchobanoglous G., Kreith F., «Handbook of Solid Waste Management», Chapter 13, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill Professional, 2002
- 35) The Blue Ridge Environmental Defense League (BREDL), «Waste Gasification: Impacts on the Environment and Public Health», The Blue Ridge Environmental Defense League, 2009
- 36) Williams P., «Waste Treatment and Disposal», Chapters 5,6, 2<sup>nd</sup> Edition, WILEY, 2005
- 37) Willson B., «Comparative Assessment of Gasification and Incineration in Integrated Waste Management Systems», EnviroPower, 2014
- 38) World Bank- Technical Guidance Report, «Municipal Solid Waste Incineration», The World Bank, Washington, D.C., 1999
- 39) Zwahr H., «Ash Recycling: Just a dream? », Waste-to-Energy Research and Technology Council WTERT, Waste Recovery Seattle International, Technical sessions, 2003

## **Γ. Ιστοσελίδες**

- 1) EUR-Lex<sup>(1)</sup>, «Οδηγία 2008/98/EK», <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- 2) EUR-Lex<sup>(2)</sup>, «Οδηγία 2008/99/EK», <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:328:0028:0037:EL:PDF>
- 3) EUR-Lex<sup>(3)</sup>, «Οδηγία 2000/76/EK», <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex:32000L0076>
- 4) ΥΠΕΚΑ, «N.4042/2012», <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=7Z1up05Xrto%3D&>

- 5) EΛINYAE, «Y.A. 22912/1117/2005»,  
[http://www.elinyae.gr/el/lib\\_file\\_upload/b759\\_05.1140085970795.pdf](http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/b759_05.1140085970795.pdf)
- 6) European Commission<sup>(3)</sup>, «Environment Action Program to 2020»,  
<http://ec.europa.eu/environment/action-programme/index.htm>
- 7) DEFRA<sup>(1)</sup> (Department for Environment, Food and Rural Affairs), «Incineration of Municipal Solid Waste», 2013,  
[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf)
- 8) DEFRA<sup>(2)</sup> (Department for Environment, Food and Rural Affairs), «Advanced Thermal Treatment of Municipal Solid Waste» , 2013,  
[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221035/pb13888-thermal-treatment-waste.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221035/pb13888-thermal-treatment-waste.pdf)
- 9) <http://www.atlas.d-waste.com>
- 10) [wastebusters.com.pk](http://wastebusters.com.pk)
- 11) <http://www.gettyimages.gr/>
- 12) <http://www.siriusengineers.com>
- 13) <http://ec.europa.eu/eurostat>
- 14) <http://cleanleap.com/waste>
- 15) [www.industry.siemens.com](http://www.industry.siemens.com)
- 16) [www.gizmodo.com.au](http://www.gizmodo.com.au)
- 17) [https://en.wikipedia.org/wiki/SYSAV\\_waste-to-energy\\_plant](https://en.wikipedia.org/wiki/SYSAV_waste-to-energy_plant)



## 10. ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα Εξωφύλλου: Εσχάρες (<http://cleanleap.com/waste>)

Μονάδα αποτέφρωσης Spittelau, Βιέννη (Sunk, 2005)

Μονάδα αποτέφρωσης Premnitz, Germany

([www.industry.siemens.com](http://www.industry.siemens.com))

Μονάδα αποτέφρωσης Roskilde, Denmark ([www.gizmodo.com.au](http://www.gizmodo.com.au))

Μονάδα αποτέφρωσης SYSÄV, Malmö, Sweden

([https://en.wikipedia.org/wiki/SYSÄV\\_waste-to-energy\\_plant](https://en.wikipedia.org/wiki/SYSÄV_waste-to-energy_plant))

Εικόνα 1: Μονάδα αποτέφρωσης με ανάκτηση ενέργειας, Spittelau, Βιέννη (Sunk, 2005)

Εικόνα 2: Ιεράρχηση διαχείρισης απορριμμάτων (Καλογήρου και Ψωμόπουλος, 2012)

Εικόνα 3: Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας Α.Σ.Α. και τα προϊόντα τους (Williams, 2005)

Εικόνα 4: Θερμογόνος αξία απορριμμάτων (CEWEP, 2013)

Εικόνα 5: Διαδικασία παραγωγής RDF ([wastebusters.com.pk](http://wastebusters.com.pk))

Εικόνα 6: Προσαγωγή απορριμμάτων στην εγκατάσταση (gettyimages)

Εικόνα 7: Σύστημα γερανών για μεταφορά απορριμμάτων (Niessen, 2010)

Εικόνα 8: Κάδος τύπου «orange peel» (Niessen, 2010)

Εικόνα 9: Κάδος τύπου «κοχυλιού» (Shell type bucket) (Niessen, 2010)

Εικόνα 10: Κάδος αρπαγής (Grapple type bucket) (Niessen, 2010)

Εικόνα 11: Φούρνος σε μονάδα αποτέφρωσης συμμείκτων Α.Σ.Α. (Williams, 2005)

Εικόνα 12: Παλινδρομικές εσχάρες (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Εικόνα 13: Αντίστροφες παλινδρομικές εσχάρες τύπου Martin (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Εικόνα 14: Παλινδρομικές εσχάρες ευθείς ή αντίστροφες (Williams, 2005)

Εικόνα 15: Εσχάρες με κίνηση λικνίσματος (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

Εικόνα 16: Λεπτομέρεια εσχάρας που μετακινείται (Niessen, 2010)

Εικόνα 17: Περιστρεφόμενος κλίβανος (Williams, 2005)

Εικόνα 18: Σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης με κυκλοφορία (Williams, 2005)

Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση πυρολυτικής μονάδας (Tchobanoglous and Kreith, 2002)

- Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής πυρολυτικής διαδικασίας με την τεχνολογία Pyrovac (Williams,2002)
- Εικόνα 21: Αεριοποίηση με κίνηση του αέρα προς τα πάνω (Klein and Themelis, 2003)
- Εικόνα 22: Αεριοποίηση με κίνηση του αέρα προς τα κάτω (Klein and Themelis, 2003)
- Εικόνα 23: Αεριοποίηση με ρευστοποιημένη κλίση a) κοχλάζουσα και b) μετακινούμενη (Klein andThemelis, 2003)
- Εικόνα 24: Λέβητας που παράγει ζεστό νερό (World Bank, 1999)
- Εικόνα 25: Λέβητας χαμηλής πίεσης που παράγει ατμό (World Bank, 1999)
- Εικόνα 26: Λέβητας υψηλής πίεσης που παράγει ατμό σε a)οριζόντια και b)κατακόρυφη διάταξη (World Bank, 1999)
- Εικόνα 27: Ανάκτηση ενέργειας μέσω της αποτέφρωσης των απορριμμάτων (Καλογήρου και Ψωμόπουλος, 2012)
- Εικόνα 28: Παραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας στην Ευρώπη (2004) (Williams, 2005)
- Εικόνα 29: Κυκλώνας (Williams, 2005)
- Εικόνα 30: Ventouri scrubber (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Εικόνα 31: Electrostatic precipitators (Williams, 2005)
- Εικόνα 32: Electrostatic precipitator (Williams, 2005)
- Εικόνα 33: Fiber filters (Williams, 2005)
- Εικόνα 34: Wet scrubber (Williams, 2005)
- Εικόνα 35: Dry scrubber (Williams, 2005)
- Εικόνα 36: Στεγνωτήριο ψεκασμού συ συνδυασμό με υφασμάτινα φίλτρα (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Εικόνα 37: Σύστημα ψύξης αερίων με νερό ακολουθούμενο από αγωγό έγχυσης προσροφητικής ουσίας CaO με παραγόμενες ουσίες άνθρακα και Ca(OH)<sub>2</sub> (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Εικόνα 38: Σύστημα VLN (Accuardi, etc., 2011)
- Εικόνα 39: Σύστημα SNCR (Tchobanoglous and Kreith, 2002)
- Εικόνα 40: Σύστημα SCR (<http://www.siriusengineers.com>)
- Εικόνα 41: Παραγωγή απορριμμάτων στην Ε.Ε. (<http://ec.europa.eu/eurostat>)
- Εικόνα 42: Σύσταση απορριμμάτων σε περιοχές της Ελλάδας (Μπουρτσάλας, κ.ά., 2011)

Εικόνα 43: Σύσταση απορριμμάτων στην Ελλάδα (<http://www.atlas.d-waste.com/>, ΕΕΔΣΑ)

Εικόνα 44: Τοποθεσία μονάδας αποτέφρωσης (Google earth)

Εικόνα 45: Tipping Floor (gettyimages)

Εικόνα 46: Σύστημα μεταφοράς απορριμμάτων με γερανογέφυρα (Niessen, 2010)

Εικόνα 47: Κάδος τύπου «orange peel» (Niessen, 2010)

Εικόνα 48: Θάλαμος αποτέφρωσης (Niessen, 2010)

Εικόνα 49: Μονάδας παραγωγής υδρατμών για την ανάκτηση ενέργειας (Branchini, 2015)

Εικόνα 50: Σύστημα VLN (Accuardi et al, 2011)

Εικόνα 51: Σύσταση τέφρας (Accuardi et al, 2011)

Εικόνα 52: Εναπομένουσα τέφρα στο τέλος των εσχαρών (Sunk, 2005)

Εικόνα 53: Μαγνητικός διαχωρισμός τέφρας (Sunk, 2005)

Εικόνα 54: Ανάκτηση ενέργειας μέσω της αποτέφρωσης (Holm, 2012)

Εικόνα 55: Χάρτης Θεσσαλίας (Google earth)

## **11. ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Οριακές ημερήσιες τιμές διαφόρων ρύπων (Οδηγία 2000/76/ΕΚ)

Πίνακας 2: Μέσες τιμές δειγματοληψίας για τα βαρέα μέταλλα (Οδηγία 2000/76/ΕΚ)

Πίνακας 3: Επιτρεπόμενα όρια εκπομπών (Quina, Bordado and Quinta-Ferreira, 2011)

Πίνακας 4: Σύσταση τέφρας (Accuardi, etc, 2011)

Πίνακας 5: Κόστος διαχείρισης τέφρας

Πίνακας 6: Ποσότητα ρύπων στο νερό ύστερα από κάθε στάδιο επεξεργασίας (Williams, 2005)

Πίνακας 7: Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά νομών

Πίνακας 8: Ισοδύναμος πληθυσμός

Πίνακας 9: Ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α για σταθερή παραγωγή ανά κάτοικο

Πίνακας 10: Ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α. για αυξανόμενη παραγωγή ανά κάτοικο

- Πίνακας 11: Χιλιομετρικές αποστάσεις και ενδεικτικός χρόνος από τους σταθμούς μεταφόρτωσης προς την τοποθεσία της μονάδας αποτέφρωσης
- Πίνακας 12: Αριθμός απαιτούμενων δρομολογίων από κάθε σταθμός μεταφόρτωσης
- Πίνακας 13: Απαιτούμενα οχήματα και αριθμός δρομολογίων για το καθένα
- Πίνακας 14: Ποσότητες και κέρδη από την ανάκτηση των μετάλλων στην τέφρα
- Πίνακας 15: Κόστος καυσίμου και λειτουργικό κόστος ανά διαδρομή οχήματος
- Πίνακας 16: Ημερήσιο και ετήσιο κόστος μεταφορών
- Πίνακας 17: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή της Πασχαλίτσας
- Πίνακας 18: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή του Σερίφη
- Πίνακας 19: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή της Υπέρειας
- Πίνακας 20: Χιλιομετρικές αποστάσεις, ενδεικτικός χρόνος διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και οι διαδρομές που θα εκτελεί το καθένα για την περιοχή της Νίκαιας
- Πίνακας 21: Ημερήσιο και ετήσιο κόστος μεταφορών για την περιοχή της Νίκαιας

## **12. ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

- Διάγραμμα 1: Αρχικό κεφάλαιο επένδυσης και λειτουργικό κόστος ανά έτος για καθένα τρόπο επεξεργασίας απορριμμάτων (Karagiannidis, 2012)
- Διάγραμμα 2: Ετήσια λειτουργικά κόστη ανά τόνο Α.Σ.Α. ανάλογα με το εάν η ιδιοκτησία είναι α)δημόσια ή β)ιδιωτική. (Karagiannidis, 2012)

