

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	3
2. Νομοθετικό Πλαίσιο	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων.	5
2.3 Οδηγία 2000/76/ΕΚ για την αποτέφρωση των αποβλήτων	5
2.4 Οδηγία 2001/80/ΕΚ για τις Μονάδες Καύσεις Μεγάλης Κλίμακας.	6
2.5 Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (IPPC 96/61/ΕΕ)	6
2.6 Πρωτόκολλο του Κιότο (UNFCCC 1997).....	6
2.7 Οδηγία 2006/12/ΕΚ περί των στερεών αποβλήτων.	7
2.8 Οδηγία 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών.....	8
2.9 Οδηγία 2009/28/ΕΚ για παραγωγή ενέργειας απ' τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.	9
3. Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων	10
4. Παραγωγή Στερεού Ανακτώμενου Καυσίμου (SRF-RDF)	20
4.1 Εισαγωγή.....	20
4.2 Front End Συστήματα Επεξεργασίας Απορριμμάτων.....	21
4.3 Χαρακτηριστικά του RDF	26
4.3.1 Ποιοτικές Παράμετροι του RDF.....	26
4.3.2 Σχεδιαστικοί Παράγοντες που επηρεάζουν την Ποιότητα του Παραγόμενου RDF.....	28
4.3.3 Πρότυπα Ποιοτικά Κριτήρια για Παραγωγή και Χρήση του RDF	30
4.4 Αξιοποίηση RDF	35
4.4.1 Βασικοί Παράμετροι στην Αξιοποίηση του RDF.....	35
4.4.2 Χρήσεις RDF Παραγόμενου από ΑΣΑ.....	37
5. Η Κατάσταση στην Ελλάδα	40
5.1 Εισαγωγή.....	40
5.2 Εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης Απορριμμάτων.....	41
5.2.1 Εισαγωγή	41
5.2.2 Περιγραφή Λειτουργίας του ΕΜΑΚ	42
5.3 Σκοπός Παρούσας Μελέτης.....	46
5.4 Εργαστηριακές Αναλύσεις	47
5.4.1 Εισαγωγή	47
5.4.2 Περιγραφή Συσκευών	48

5.5 Μεθοδολογία Αναλύσεων	54
5.5.1 Προετοιμασία δείγματος	54
5.5.2 Προσεγγιστική Ανάλυση	54
6. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων - Σχολιασμός	59
6.1 Εισαγωγή	59
6.2 Υγρασία	59
6.3 Τέφρα	62
6.4 Πτητική Καύσιμη Ύλη	63
6.5 Χλώριο	65
6.6 Ανώτατη Θερμογόνος Δύναμη	67
6.7 Στοιχειακή Ανάλυση	68
7. Συμπεράσματα	73
7.1 Γενικά	73
7.2 Ενεργειακή Αξιοποίηση RDF-ΕΜΑΚ στην Ελλάδα	75
8. Βιβλιογραφία	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. Εισαγωγή

Τόσο η μείωση των ορυκτών πόρων όσο και η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, οφειλόμενη στο διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από ανθρωπογενείς παράγοντες, οδηγούν στην αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 και στις αρχές του '80 οι ενεργειακές βιομηχανίες στις ΗΠΑ άρχισαν να ψάχνουν εναλλακτικά καύσιμα προκειμένου να μειώσουν την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων, παρατείνοντας έτσι τη ζωή των φυσικών πόρων και ταυτόχρονα ενισχύοντας την αειφόρο ανάπτυξη. Καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ή απορρίμματα αποκτούν αυξανόμενο ενδιαφέρον. Τα ορυκτά καύσιμα μπορούν πλέον να αντικατασταθούν εν μέρει ή πλήρως απ'τα απορρίμματα ανακτώντας την ενέργειά τους ("waste-to-energy" concept). Τα καύσιμα, προερχόμενα απ'τα απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για ανάκτηση ενέργειας στις μονάδες καύσης, αλλά να αντικαταστήσουν επίσης τα ορυκτά καύσιμα σε διάφορες βιομηχανίες (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανίες παραγωγής άσβεστου κ.α.).

Το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η ενεργειακή εκμετάλλευση των αστικών απορριμμάτων οφείλεται στα υψηλής θερμογόνου δύναμης κλάσματα των απορριμμάτων δηλαδή στα υλικά τα οποία μπορεί να συμπεριφερθούν ως καύσιμα για την παραγωγή θερμικής ενέργειας.

Επιπρόσθετα, ενεργειακή εκμετάλλευση των αστικών απορριμμάτων μπορεί να προέλθει και απ'τα βιοδιασπάσιμα κλάσματα των απορριμμάτων. Τα βιοδιασπάσιμα αυτά κλάσματα έχουν την ικανότητα μέσω βιολογικών διεργασιών να παράγουν καύσιμο αέριο (π.χ. μεθάνιο) το οποίο μπορεί να μετατραπεί κατευθείαν σε ενέργεια (άμεση μετατροπή) ή μπορεί να μεταφερθεί ή να αποθηκευτεί προσωρινά για μετέπειτα ενεργειακή μετατροπή του (έμμεση μετατροπή).

Η ενεργειακή δυναμικότητα, βέβαια, δεν είναι η ίδια για όλα τα κλάσματα των αστικών απορριμμάτων. Τα διάφορα κλάσματα των απορριμμάτων έχουν διαφορετικό περιεχόμενο ενέργειας αλλά και διαφορετικό τρόπο ανάκτησής της.

2. Νομοθετικό Πλαίσιο

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την πρόσφατη ευρωπαϊκή νομοθεσία, Οδηγία Πλαίσιο για τα στερεά απόβλητα (2008/98/EK) η παραγωγή RDF/SRF απ'τα στερεά απορρίμματα αλλάζει την φύση του υλικού, υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Συνεπώς, η παραγωγή και η χρήση του RDF/SRF, που προέρχεται από μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα και προορίζεται για την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων, ελέγχεται και επηρεάζεται απ'την ευρωπαϊκή νομοθεσία, καλύπτοντας ένα ευρύ πλαίσιο αυτής.

Οι σημαντικότερες κοινοτικές οδηγίες που σχετίζονται με την παραγωγή και χρήση RDF/SRF παρουσιάζονται παρακάτω:

Σημαντική είναι η οδηγία η σχετική για την αποτέφρωση των αποβλήτων (2000/76/EC, Waste Incineration Directive, (ΥΑ 22912/1117/05)). Εισάγει όρια εκπομπών για την συναποτέφρωση των αποβλήτων για ενεργειακή ανάκτηση, και επιχειρεί να τα συσχετίσει με τα ανάλογα όρια που υφίστανται στην αποτέφρωση των απορριμμάτων.

Πρόσθετα, η Οδηγία περί των στερεών αποβλήτων (75/442/EC Waste Framework Directive, όπως τροποποιήθηκε) καθώς και η Οδηγία που σχετίζεται με την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (1999/31/EC Landfill Directive) επηρεάζουν, επίσης, την παραγωγή και χρήση του RDF, μιας και υποχρεώνουν τα κράτη μέλη να οδηγήσουν μικρότερο όγκο απορριμμάτων προς τους ΧΥΤΑ και να αναπτύξουν μία ορθολογική διαχείριση αυτών έτσι ώστε τα απορρίμματα να οδηγούνται σε καύση ή/και ανακύκλωση. Όποιο σχέδιο διαχείρισης (καύση ή/και ανακύκλωση) επιλεγεί, θα πρέπει κάθε κράτος μέλος να μεριμνήσει για την κλιματική αλλαγή αλλά και να κινηθεί σύμφωνα με την ανάλογη νέα οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (2009/28/EC, Energy from Renewable Sources Directive).

Συγκεκριμένη ανάλυση των σχετικών οδηγιών που αναφέρονται στην παραγωγή στερεών ανακτώμενων καυσίμων (RDF/SRF) ακολουθεί στις επόμενες παραγράφους.

2.2 Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων.

Η οδηγία 1999/31/ΕΚ (Η.Π. 29407/3508/2002) αυτή καθιστά πλέον υποχρεωτική την απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων υλικών από τους χώρους ταφής από το 2006, και επιτρέπει την ταφή μόνον υπολειμμάτων των διεργασιών επεξεργασίας των ΑΣΑ. Η απομάκρυνση υλικών από τους χώρους ταφής αναγνωρίζει κατ' αρχήν το πεπερασμένο του διαθέσιμου χώρου για την ταφή των αποβλήτων, αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ταφής των ΑΣΑ, οι οποίες επεκτείνονται πολύ πιο πέρα από απλά την υποβάθμιση των τριγύρω περιοχών.

Τα κράτη μέλη θα πρέπει να εισάγουν τη διαλογή στην πηγή για την απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων κλασμάτων των απορριμμάτων ή να θέσουν σε εφαρμογή μονάδες επεξεργασίας των αποβλήτων. Έτσι κατά την απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων κλασμάτων των απορριμμάτων θα παράγεται RDF το οποίο αποτελείται κατά κύριο λόγο από την ανάκτηση των χαρτικών υλικών που περιέχονται στα σύμμεικτα δημοτικά απορρίμματα. Επιπλέον, η οδηγία τονίζει ότι τα εναπομείναντα απόβλητα που θα καταλήγουν στους ΧΥΤΑ θα πρέπει να προεπεξεργάζονται, όταν απαιτείται, προκειμένου να καταλήγουν σε σταθεροποιημένη μορφή.

2.3 Οδηγία 2000/76/ΕΚ για την αποτέφρωση των αποβλήτων

Η οδηγία αυτή αναφέρεται στην αποτέφρωση και την συναποτέφρωση των αποβλήτων. Σκοπός της οδηγίας είναι η πρόληψη ή ο περιορισμός, των αρνητικών επιδράσεων της αποτέφρωσης και της συναποτέφρωσης αποβλήτων στο περιβάλλον, ειδικότερα δε, της ρύπανσης δια μέσω των εκπομπών στον ατμοσφαιρικό αέρα, το έδαφος και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, καθώς και των συνακολούθων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με την επιβολή αυστηρότερων συνθηκών λειτουργίας και τεχνικών απαιτήσεων και τη θέσπιση οριακών τιμών εκπομπών για τις μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης αποβλήτων εντός της Κοινότητας, καθώς και με την τήρηση των απαιτήσεων

της οδηγίας 75/442/ΕΚ. Η οδηγία αυτή θέτει ειδικές διατάξεις για τους τοιμεντοκλιβάνους που συναποτεφρώνουν απόβλητα.

2.4 Οδηγία 2001/80/ΕΚ για τις Μονάδες Καύσεις Μεγάλης Κλίμακας.

Η Οδηγία αυτή αναφέρεται σε Μονάδες Καύσεις με δυναμικότητα μεγαλύτερη ή ίση των 50MW, άσχετα με τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, ορίζει ότι καύσιμο θεωρείται οποιοδήποτε στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο υλικό, που χρησιμοποιείται σε Μονάδες Καύσης, με εξαίρεση τα απορρίμματα που καλύπτονται απ' την Οδηγία 89/369/ΕΕ.

2.5 Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (IPPC 96/61/ΕΕ)

Η Οδηγία αναφέρεται στην πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης, με βάση την πρόγνωση και τη λήψη των αναγκαίων μέτρων, ώστε να επιτευχθεί ένας υψηλός βαθμός προστασίας περιβάλλοντος. Η Οδηγία αποβλέπει, στην επίλυση του προβλήματος της ρύπανσης μέσω της πρόληψης στην πηγή δημιουργίας των ρύπων. Όπου αυτό δεν είναι εφικτό, στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από βιομηχανικές και άλλες δραστηριότητες. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού είναι απαραίτητη η εφαρμογή των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών-ΒΑΤ (Best Available Techniques – BAT) σε κάθε ονομαζόμενο βιομηχανικό κλάδο.

2.6 Πρωτόκολλο του Κιότο (UNFCCC 1997)

Το πρωτόκολλο του Κιότο (Νόμος 3017/2002) διαμορφώνει δεσμευτικά όρια εκπομπών σε κάθε χώρα για έξι αέρια του Θερμοκηπίου. Τα κράτη μέλη έχουν διαφορετικές πρακτικές στον υπολογισμό της μείωσης των εκπομπών,

των αερίων του Θερμοκηπίου, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την καύση των σύμμεικτων απορριμμάτων αλλά και απ' καύσιμα που παράγονται απ' την επεξεργασία των στερεών απορριμμάτων (RDF/SRF).

2.7 Οδηγία 2006/12/EK περί των στερεών αποβλήτων.

Η γνωστή οδηγία 75/442/EK περί των στερεών αποβλήτων, τροποποιήθηκε αρχικά απ' την 91/156/EK, εν συνεχεία απ' την 91/692/EK και την 96/350/EK και αντικαταστάθηκε απ' την οδηγία 2006/12/EK.

Σκοπός της οδηγίας αυτής είναι να εναρμονίσει τις πρακτικές διαχείρισης των στερεών αποβλήτων σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έτσι ώστε κοινός στόχος τους να είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων, η ανάκτηση και η χρησιμοποίηση καθαρών τεχνολογιών. Προκειμένου, λοιπόν, να γίνει αποτελεσματικότερη η διαχείριση των αποβλήτων στην Κοινότητα, απαιτούνται κοινή ορολογία και ορισμός των αποβλήτων.

Σύμφωνα με την οδηγία πρέπει να ευνοηθεί η αξιοποίηση των αποβλήτων και η χρησιμοποίηση των αξιοποιηθέντων υλικών ως πρώτων υλών, προκειμένου να διαφυλάσσονται οι φυσικοί πόροι (π.χ. παραγωγή δευτερογενών καυσίμων).

Η παραγωγή RDF απ' τα απορρίμματα δεν αλλάζει τη φύση του υλικού όταν αυτό αποτελέσει προϊόν. Αυτή είναι η άποψη της ευρωπαϊκής κοινότητας καθώς και του Ευρωπαϊκού δικαστηρίου. Η οδηγία 2006/12/EK ενώ αναφέρει αναλυτικά πότε ένα υλικό χαρακτηρίζεται απόρριμμα, δεν αποσαφηνίζει πότε ένα υλικό σταματά να αποτελεί απόρριμμα και μετατρέπεται σε προϊόν ή καύσιμο. Δηλαδή, πότε έχουμε διάθεση απορριμμάτων και πότε ανάκτηση. Ωστόσο, το R1, μία απ' τις εργασίες αξιοποίησης που παρουσιάζονται στο παράρτημα ΠΒ της οδηγίας, αναφέρει ότι όταν το απόβλητο χρησιμοποιείται ως καύσιμο ή άλλο μέσο παραγωγής ενέργειας, τα κράτη μέλη μπορούν να απαλλαχθούν απ' την αδειοδότηση που χρειάζεται μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Έως τώρα, δύο είναι οι επίσημες δικαστικές αποφάσεις που έχουν εκδοθεί απ' το Ευρωπαϊκό δικαστήριο σ' ότι αφορά την αγορά του RDF:

Στην πρώτη (υπόθεση c-228/00), το ευρωπαϊκό δικαστήριο αποφάσισε ότι η χρήση των απορριμμάτων ως καύσιμα σε μια τοιμεντοβιομηχανία θεωρείται ανάκτηση, εφόσον η ενέργεια που παράγεται απ' την αποτέφρωση των απορριμμάτων χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία του τοιμέντου. Αντιθέτως, το Φεβρουάριο του 2003 (υπόθεση c-458/00) το ευρωπαϊκό δικαστήριο αποφάσισε ότι η καύση των απορριμμάτων σε μονάδα αποτέφρωσης θεωρείται διάθεση των αποβλήτων ασχέτως αν υπάρχει παραγωγή ενέργειας ή όχι.

2.8 Οδηγία 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών.

Η νέα αυτή Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα αποτελεί τον κεντρικό πυλώνα της κοινοτικής πολιτικής διαχείρισης των αποβλήτων. Η νέα οδηγία απλουστεύει την κοινοτική οδηγία περί αποβλήτων, αντικαθιστώντας τρεις υφιστάμενες οδηγίες: την έως τώρα οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (2006/12/ΕΚ), την οδηγία για τα επικίνδυνα απόβλητα (91/689/ΕΟΚ) και την οδηγία για τα χρησιμοποιούμενα ορυκτέλαια (75/439/ΕΟΚ).

Με την οδηγία 2008/98/ΕΚ αποσαφηνίζονται βασικές έννοιες όπως οι ορισμοί των αποβλήτων, της ανάκτησης και της διάθεσης. Ειδικότερα, διευκρινίζεται πότε η αποτέφρωση των στερεών αστικών αποβλήτων είναι ενεργητικά αποδοτική και μπορεί να θεωρηθεί ως εργασία ανάκτησης (η θερμική επεξεργασία αναβαθμίζεται και θεωρείται ανάκτηση).

Επιπλέον, στην νέα οδηγία γίνεται διαχωρισμός μεταξύ αποβλήτων και παραπροϊόντων και ορίζεται πότε τα απόβλητα έχουν ανακτηθεί αρκετά – μέσω ανακύκλωσης ή άλλης επεξεργασίας- ώστε να παύουν να θεωρούνται απόβλητα.

Η οδηγία 2008/98/ΕΚ επιχειρεί τη μετάβαση σε μια Ευρωπαϊκή Κοινωνία Ανακύκλωσης.

2.9 Οδηγία 2009/28/ΕΚ για παραγωγή ενέργειας απ' τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καταργεί τις οδηγίες 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ. Σκοπός της οδηγίας είναι η αειφόρος ανάπτυξη και η διατήρηση των φυσικών πόρων οι οποίοι ως τώρα αλόγιστα έχουν χρησιμοποιηθεί, καθώς και η μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων και ειδικότερα των αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, επηρεάζει την αγορά του SRF διότι υποστηρίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απ' τα βιοδιασπάσιμα κλάσματα των απορριμμάτων.

Η οδηγία αυτή σκοπό έχει να προωθήσει την εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα, με την Οδηγία αυτή προβλέπονται νομικά δεσμευτικοί στόχοι έως το 2020 για τη διείσδυση των ΑΠΕ σε ποσοστό 20% επί της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, το 2020, το 10% της ενέργειας που καταναλώνεται σε όλες τις μορφές μεταφορών στην Ελλάδα και τα άλλα κράτη - μέλη της ΕΕ πρέπει να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .

Η Οδηγία 2009/28/ΕΚ περιέχεται στο ευρωπαϊκό «Πακέτο μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια», γνωστό και ως τα «τρία εικοσάρια (20-20-20)».

3. Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας των απορριμμάτων διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στην Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία και στην Θερμική Επεξεργασία.

Οι μονάδες Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ) μπορούν να επεξεργαστούν σύμμεικτα αστικά απορρίμματα καθώς και συγκεκριμένα κλάσματα των απορριμμάτων που είναι σε θέση να προκύψουν από διάφορα προγράμματα διαλογής (π.χ. διαλογή στην πηγή). Οι μονάδες αυτές συνήθως ανακτούν ανακυκλώσιμα υλικά (όπως χαρτί, χαρτόνι, πλαστικό, γυαλί, σίδηρο, αλουμίνιο), κόμποστ, RDF/SRF και βιοαέριο.

Οι μονάδες Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Αερόβια Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία
- Αναερόβια Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία
- Βιολογική Ξήρανση

Εκτός απ' τις μονάδες ΜΒΕ υπάρχουν και οι μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας (Καύσης) των απορριμμάτων οι οποίες μπορούν να επεξεργαστούν σύμμεικτα αστικά απορρίμματα καθώς και παραπροϊόντα που προκύπτουν απ' τις μονάδες Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας (όπως RDF/SRF) και τα οποία διακρίνονται για την υψηλή θερμογόνο δύναμή τους. Οι μονάδες όμως αυτές δημιουργούν επικίνδυνες αέριες εκπομπές αλλά και τοξικά υπολείμματα.

Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι η ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων, η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στα απορρίμματα ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό.

Τα υψηλά κόστη κατασκευής και λειτουργίας, η απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού, η δυσκολία χρήσης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις), καθώς επίσης και η χρήση

δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν μειονεκτήματα της θερμικής επεξεργασίας.

Οι μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

➤ **Στοιχειομετρική Καύση**

Η αποτέφρωση ή πιο κοινά η καύση των στερεών απορριμμάτων ουσιαστικά εκπροσωπεί μια αρκετά παλαιά και διαδεδομένη διεργασία, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, με παρουσία φλόγας, για την οξείδωση των επιμέρους στοιχείων των υλικών, δηλαδή την ένωσή τους με το οξυγόνο. Στόχος της εν λόγω διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους. Αυτό πραγματοποιείται με χρήση είτε της απαιτούμενης στοιχειομετρικά ποσότητας αέρα (stoichiometric combustion) είτε με περίσσεια αέρα (excess - air combustion). Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι οι ακόλουθες:

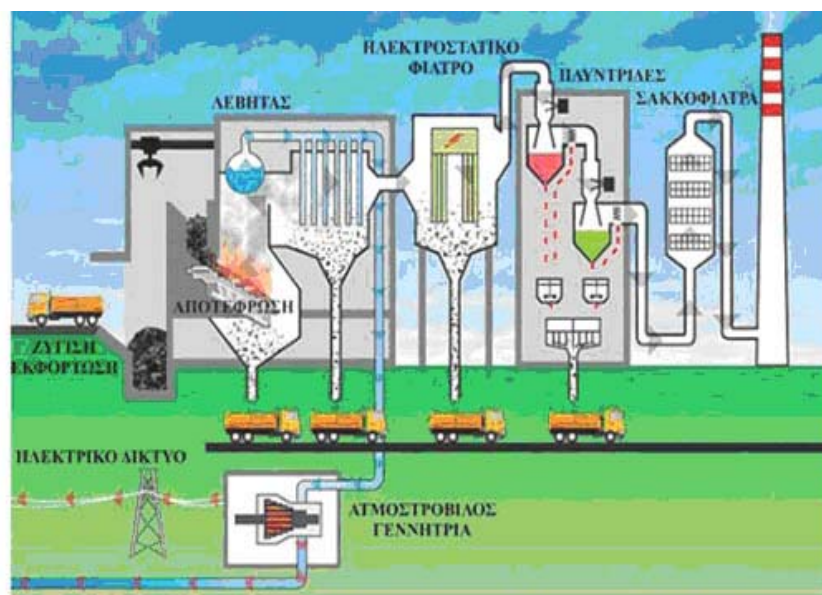
- Επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O_2) στην εστία καύσης
- Επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης
- Σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης – οξυγόνου)
- Συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση
- Συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης

Κατά την καύση εκτός των τυπικών προϊόντων καύσης (CO_2 , H_2O , CO) παράγεται ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων και μια σειρά άλλων ουσιών όπως: SO_2 , NO_x , HCl , HF , PAH κλπ. Επιπλέον, κατά την καύση των στερεών αποβλήτων παραμένουν στερεά υπολείμματα. Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Διακρίνονται σε τέφρα που παράγεται στο χώρο της καύσης (απομακρύνονται μετά την εσχάρα), τέφρα από τους

λέβητες (υπολείμματα τα οποία δημιουργούνται στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων και συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα), ιπτάμενη τέφρα και σκόνη που κατακρατείται στα φίλτρα (συγκεντρώνεται στις χοάνες κάτω από τα ηλεκτροφίλτρα ή σακκόφιλτρα) και υπολείμματα τα οποία παράγονται από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.

Οι μονάδες αποτέφρωσης σχεδιάζονται ώστε να επεξεργάζονται είτε σύμμεικτα απόβλητα (mass-burned incineration) είτε εναλλακτικά καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία των αποβλήτων (SRF/RDF). Διαφοροποιούνται τόσο σε σχέση με τον τύπο του συστήματος καύσης (κινούμενων εσχαρών, περιστρεφόμενου κλιβάνου, ρευστοποιημένης κλίνης) όσο και σε σχέση με το σύστημα ελέγχου της ρύπανσης. (υγρή/ξηρή επεξεργασία αερίων, σακκόφιλτρα, ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες κ.α.). Για την επεξεργασία των σύμμεικτων αποβλήτων χρησιμοποιείται το σύστημα κινούμενων εσχαρών ενώ οι άλλοι τύποι συστημάτων καύσης χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποτέφρωση επεξεργασμένων ρευμάτων αποβλήτων.

Μια τυπική απεικόνιση μια μονάδας αποτέφρωσης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1:



Σχήμα 3.1: Τυπική Μονάδα Αποτέφρωσης (www.eedsa.gr)

➤ Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση αποτελεί επίσης μια σχετικά νέα και μη ευρέως διαδεδομένη, στην Ευρώπη, μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Ουσιαστικά περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες (400^ο έως 1500^οC). Η αεριοποίηση έχει ομοιότητες με την πυρόλυση, όπως τη μετατροπή των απορριμμάτων σε αέρια, στερεά και υγρά καύσιμα, αλλά παρουσιάζει και βασική διαφορά κατά την εφαρμογή της, αφού η μεν πυρόλυση χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των απορριμμάτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, η δε αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο, όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα, αέρα ή οξυγόνο, για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης.

Μέσω της αεριοποίησης επιτυγχάνεται η παραγωγή καύσιμου αερίου πλούσιο σε H₂ και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο). Οι κύριες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι:



Η θερμότητα για τη διατήρηση της διεργασίας προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα προϊόντα παράγονται κυρίως μέσω

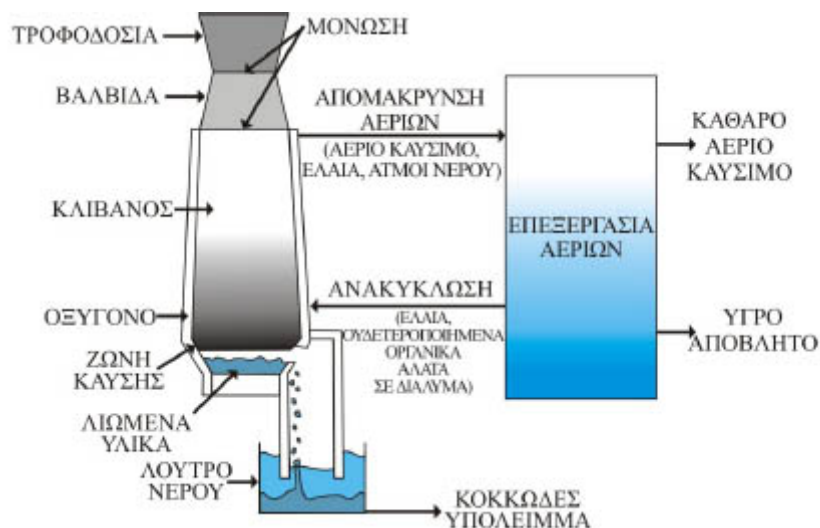
των ενδόθερμων αντιδράσεων. Οι βασικοί τύποι εγκαταστάσεων αεριοποίησης είναι:

- ❖ Κάθετης σταθερής κλίνης
- ❖ Οριζόντιας σταθερής κλίνης
- ❖ Ρευστοποιημένης κλίνης
- ❖ Περιστρεφόμενου κλιβάνου

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

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

Μια τυπική απεικόνιση μια μονάδας αεριοποίησης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2:



Σχήμα 3.2: Διεργασία Αεριοποίησης (Πηγή: Γιδάρακος, Ε (2006), Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση-Επεξεργασία-Διάθεση, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη)

➤ **Αεριοποίηση με την τεχνική πλάσματος**

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονιομένο. Ο ιονισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας που δημιουργείται από ηλεκτρική αντίσταση τόξου στήλης πλάσματος. Το τόξο αυτό βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) και αποτελείται από ένα ηλεκτρικά αγωγίμο αέριο, μετατρέποντας έτσι τον ηλεκτρισμό σε θερμότητα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αερίου μπορεί να υπερβεί τους 6.000°C. Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη χημική δραστικότητα συγκριτικά με τα περισσότερα αέρια σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μια ποικιλία χημικών διαδικασιών. Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτής προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την υψηλή κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του πλάσματος, αλλά και τα άτομα του ουδέτερου αερίου. Η μερική μεταφορά αυτής της ενέργειας στις χημικές ενώσεις κάνει δυνατές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από τις εξώθερμες αντιδράσεις των συμβατικών διαδικασιών καύσης. Εφαρμόζοντας την τεχνική του πλάσματος, λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση / υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχομένων στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης (μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια. Ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να λάβει χώρα η καταστροφή των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας και το χρόνο παραμονής των οργανικών ενώσεων στην ιονιομένη ατμόσφαιρα ή σε υψηλή θερμοκρασία. Παράλληλα, το ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο μετά

από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές, υψηλής πυκνότητας υαλώδες υλικό.

Τα τελικά προϊόντα από την εφαρμογή της τεχνολογίας του πλάσματος είναι:

- Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, το οποίο προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών (οργανικό μέρος των αποβλήτων) του εισερχόμενου ρεύματος. Η σύσταση του αερίου καθώς και το ενεργειακό του περιεχόμενο, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος αποβλήτων. Το παραπάνω μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποδοτικό καύσιμο στη μονάδα πλάσματος μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το λειτουργικό κόστος ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εμπορεύσιμο προϊόν.
- Το υαλώδες μορφής, αδρανές υλικό το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων. Το υπόλειμμα αυτό είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. κατασκευή δρόμων)
- Τα απαέρια, τα οποία ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Αναφορικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του πλάσματος, ισχύουν τα ίδια όρια με τις υπόλοιπες μονάδες θερμικής επεξεργασίας.
- Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους, έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση.

➤ **Πυρόλυση**

Η πυρόλυση ως θερμική μέθοδος, βασίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανσή τους απουσία οξυγόνου διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Η πυρολυτική διεργασία σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι

ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμή τους, η περιεχόμενη υγρασία κ.λ.π.

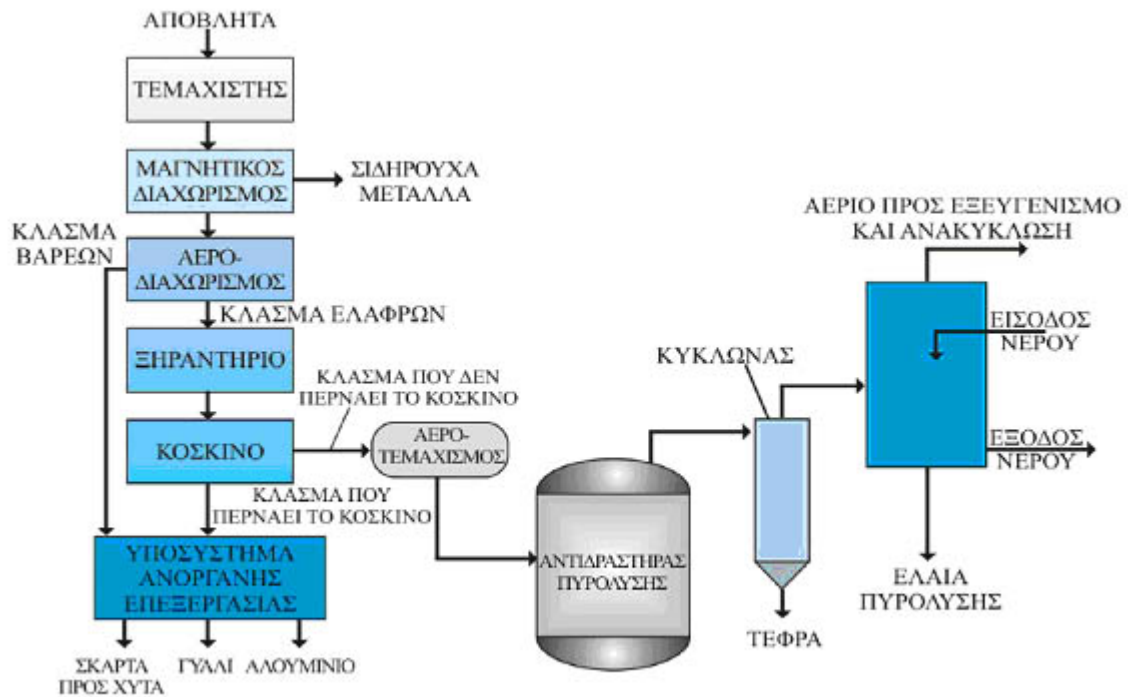
Κατά την πυρόλυση των στερεών αποβλήτων, τα προϊόντα που παράγονται είναι:

- Αέρια: Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων

- Υγρά: Το υγρό κλάσμα, είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.

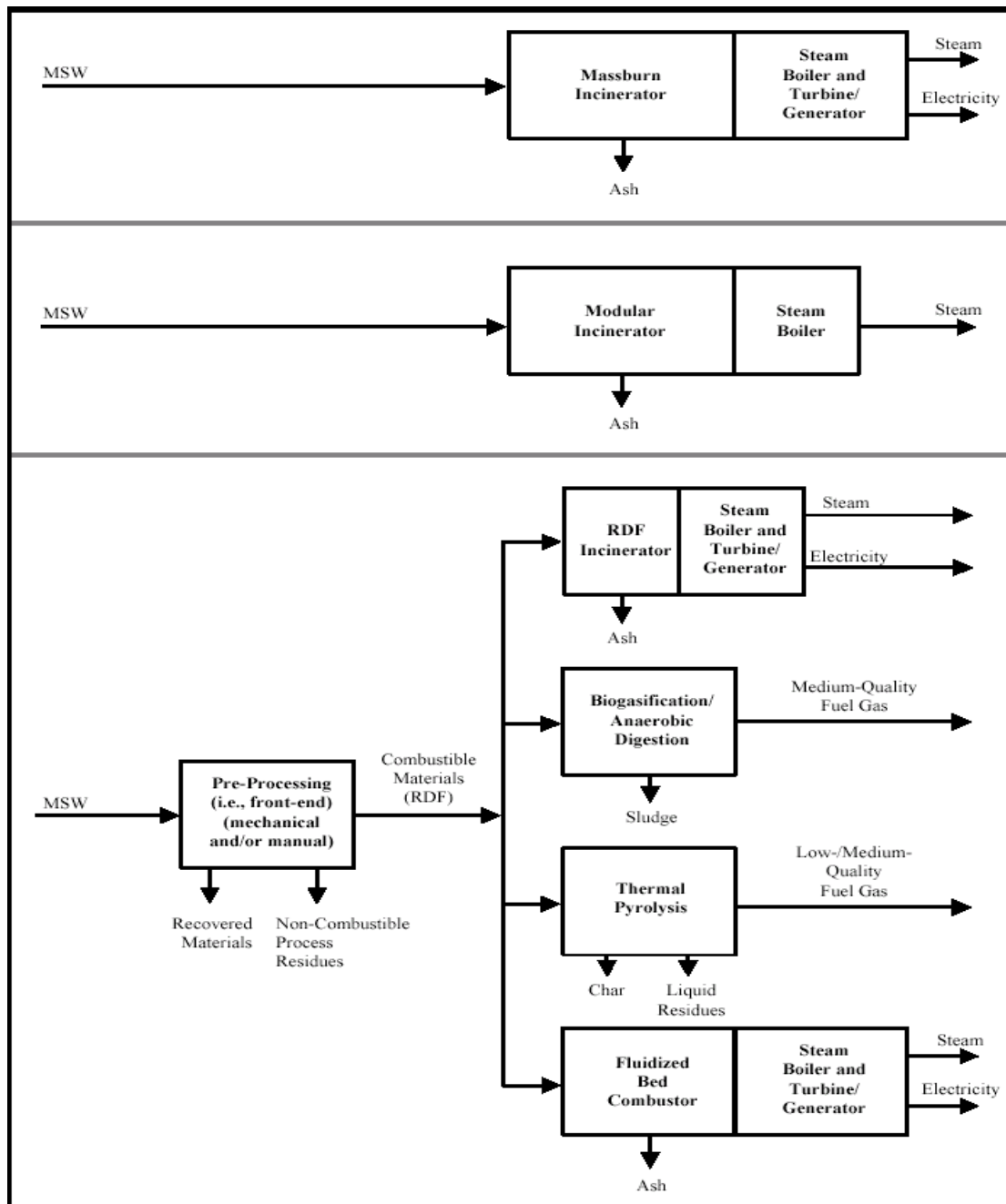
- Στερεά: Το στερεό υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα και τυχόν αδρανή υλικά που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Μια τυπική απεικόνιση μια μονάδας πυρόλυσης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3:



Σχήμα 3..3: Διεργασία Πυρόλυσης (Πηγή: www.eedsa.gr)

Το Διάγραμμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζει συνοπτικά διάφορες μεθόδους ενεργειακής ανάκτησης των απορριμμάτων καθώς και τα είδη των καυσίμων που μπορούν να παραχθούν:



Διάγραμμα 3.1: Μέθοδοι ενεργειακής ανάκτησης απορριμμάτων (Cal Recovery Systems Inc)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, ανάκτηση ενέργειας απ'τα απορρίμματα μπορεί να γίνει με ή χωρίς μηχανική, χειρονακτική, ή μηχανική-χειρονακτική επεξεργασία (προ-επεξεργασία).

4. Παραγωγή Στερεού Ανακτώμενου Καυσίμου (SRF-RDF)

4.1 Εισαγωγή

Τυπικά, η ανάκτηση και η παραγωγή καυσίμου κλάσματος από αναμεμιγμένα αστικά στερεά απορρίμματα (ΑΣΑ-MSW: Municipal Solid Waste) και η θερμική μετατροπή τους απαιτεί δυο ξεχωριστά και διακριτά υποσυστήματα επεξεργασίας. Στις ΗΠΑ τα υποσυστήματα αυτά συνήθως καλούνται «πρόσθια απόληξη» (front-end) και «οπίσθια απόληξη» (back-end) συστήματα επεξεργασίας.

Στο ανακτώμενο απ'τα ΑΣΑ καύσιμο κλάσμα του έχουν δοθεί διάφορες ονομασίες, μιας και δεν υπάρχει ένας νομικός ορισμός, ανάλογα με τη χώρα και την προέλευση των καυσίμων αυτών. Ο γενικός όρος, που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι : «εξαγόμενο από απορρίμματα καύσιμα» ή απλά «RDF-Refuse Derived Fuel». Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται για τα καύσιμα προερχόμενα απ'τα ΑΣΑ είναι: Recovered Fuel (REF), Packaging Derived Fuel (PDF), Paper and Plastic Fraction (PPF) και Processed Engineered Fuel (PEF). Οι όροι REF, PDF, PPF, PEF συνήθως αναφέρονται σε καύσιμα που προέρχονται από διαλογή στην πηγή (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003).

Ο όρος RDF συνήθως αναφέρεται στο διαχωριζόμενο απ'τα ΑΣΑ (MSW) και εμπορικά απορρίμματα, υψηλής θερμογόνου αξίας κλάσμα που αποτελείται κυρίως από χαρτί και πλαστικό. Επομένως, το σκεπτικό ανάκτησης του RDF απ'τα αναμεμιγμένα ΑΣΑ βρίσκεται στο ότι η ανακτώμενη ποσότητα καυσίμου είναι καλύτερης ποιότητας από ότι τα ίδια τα ακατέργαστα (ανεπεξεργαστα) ΑΣΑ.

Οι παραπάνω ονομασίες των καυσίμων προερχόμενων απ'τα απορρίμματα ονομάζονται γενικά απ'τη νομοθεσία «δευτερογενή καύσιμα» (secondary fuel) ή «υποκατάστατα καύσιμα» (substitute fuel).

Συνεπώς, ως δευτερογενή ή εναλλακτικά (όπως συνηθίζεται να λέγεται) καύσιμα ορίζονται τα χρησιμοποιημένα λάστιχα, τα χρησιμοποιημένα

ορυκτέλαια, διάφοροι διαλύτες και χημικά κατάλοιπα, βιομηχανική ιλύς, αστική ιλύς, ζωικά λίπη, ξύλο, χαρτί, πλαστικό, ύφασμα, γεωργικά κατάλοιπα, πριονίδια και μίγματα αυτών κ.α.

Στην Ιταλία ο όρος RDF αναφέρεται στο υψηλής θερμογόνου δύναμης κλάσμα που προέρχεται απ'την επεξεργασία αστικών και εμπορικών αποβλήτων. Στην Ολλανδία, ο όρος RDF χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει το υψηλής θερμογόνου δύναμης κλάσμα των στερεών αποβλήτων απ'τη βιομάζα.

Τα καύσιμα που προέρχονται από μη επικίνδυνα απόβλητα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να αξιοποιηθούν από μονάδες αποτέφρωσης και συν-αποτέφρωσης για ανάκτηση της ενέργειάς τους, μπορούν να ονομαστούν «Στερεά Ανακτηθέντα Καύσιμα» (SRF: Solid Recovered Fuel) εφόσον πληρούν τους όρους ποιότητας του ευρωπαϊκού προτύπου CEN / TC 343. Ειδικότερα για πρότυπο αυτό θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Επομένως, ο όρος SRF αναβαθμίζει το παραγόμενο RDF όταν αυτό πληρεί συγκεκριμένα ποιοτικά κριτήρια, που του δίνουν τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί.

4.2 Front End Συστήματα Επεξεργασίας Απορριμμάτων

Για την ανάκτηση των καυσίμων υλικών (υψηλής θερμογόνου δύναμης υλικά) απ'τα απορρίμματα απαιτείται επεξεργασία των απορριμμάτων.

Η κύρια λειτουργία ενός front-end (pre-processing-προεπεξεργασία) υποσυστήματος είναι να δεχθεί τα στερεά απορρίμματα κατευθείαν από το όχημα αποκομιδής και εν συνεχεία να τα διαχωρίσει σε δυο κατηγορίες, στα αποκαλούμενα: καύσιμα και μη καύσιμα υλικά. Τα front-end systems αποτελούν τα συστήματα μηχανικής επεξεργασίας στις μονάδες Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (MBE-MBT = mechanical biological treatment).

Στην Ευρώπη, μία απ'τις λιγότερο ακριβές και καλά εδραιωμένες τεχνολογίες για να παραχθεί RDF απ'τα ΑΣΑ είναι η μηχανική και βιολογική επεξεργασία (MBT: Mechanical Biological Treatment).

Η παραγωγή RDF απ'τα ΑΣΑ ενεργοποιείται περισσότερο στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου η διαλογή στην πηγή και η ανακύκλωση των απορριμμάτων εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό (καλύτερα παραδείγματα αποτελούν η Αυστρία, η Γερμανία και η Ολλανδία)(Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003). Συγκεκριμένα, η παραγωγή RDF απ'τα ΑΣΑ στην Ευρώπη γίνεται στα υπολειπόμενα των ΑΣΑ απορρίμματα, αφού, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έχουν προηγηθεί διάφορα προγράμματα ανακύκλωσης.

Η συνολική παραγόμενη ποσότητα RDF απ'τα ΑΣΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμάται ότι κυμαίνεται στους 3 εκατομμύρια τόνους. Η Αυστρία, το Βέλγιο, η Φιλανδία, η Ιταλία και η Ολλανδία κατασκευάζουν συνεχώς νέα εργοστάσια μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας απορριμμάτων. (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003).

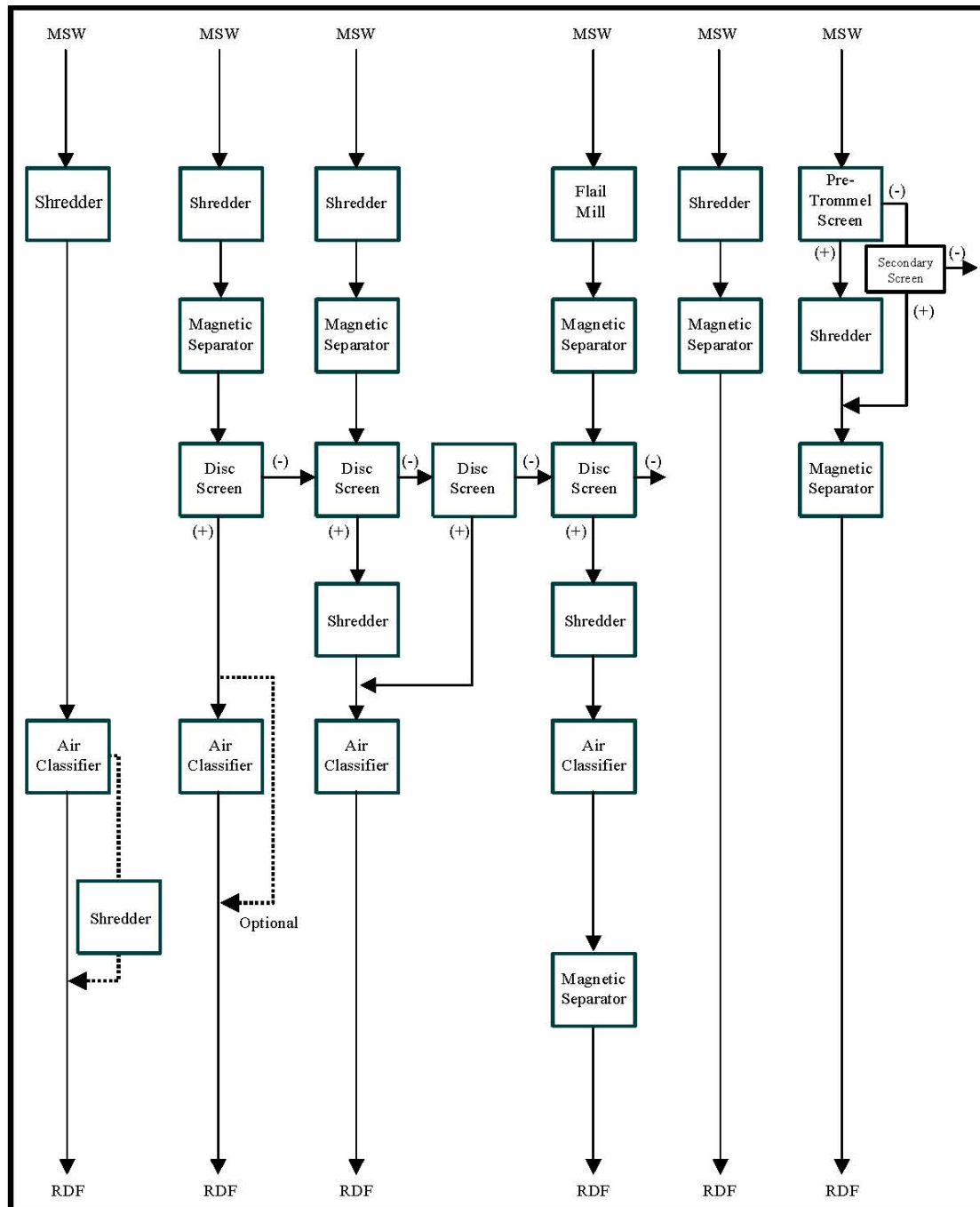
Η προεπεξεργασία των απορριμμάτων (συστήματα MBE) παράγει τις πρώτες ύλες τροφοδοσίας (feedstock) για τα back-end συστήματα ανάκτησης (ή μετατροπής), μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται τα θερμικά και τα βιολογικά συστήματα.

Οι κύριες συνιστώσες ενός συστήματος προεπεξεργασίας (front-end system) των απορριμμάτων συνήθως είναι συνδυασμός της μείωσης του μεγέθους των απορριμμάτων (size reduction), του κοσκινίσματος (screening), του μαγνητικού διαχωρισμού και του διαχωρισμού πυκνότητας (π.χ. διαχωρισμός με αέρα). Η λειτουργία των μονάδων προεπεξεργασίας απορριμμάτων εξαρτάται από τον τύπο των δευτερευόντων υλικών τα οποία θα ανακτηθούν καθώς επίσης και από την επιθυμητή ποιότητα του ανακτώμενου καύσιμου κλάσματος. Η ποιότητα του ανακτώμενου καύσιμου κλάσματος καθορίζεται από τον σχεδιαστή ή προμηθευτή του θερμικού συστήματος ανάκτησης.

Συνήθως, τα συστήματα τα οποία ανακτούν RDF από αναμεμιγμένα ΑΣΑ χρησιμοποιούν μεθόδους μείωσης μεγέθους μέσω του κοσκινίσματος και του μαγνητικού διαχωρισμού. Πολλές είναι οι μονάδες επεξεργασίας απορριμμάτων που χρησιμοποιούν το περιστροφικό κόσκινο για την μείωση

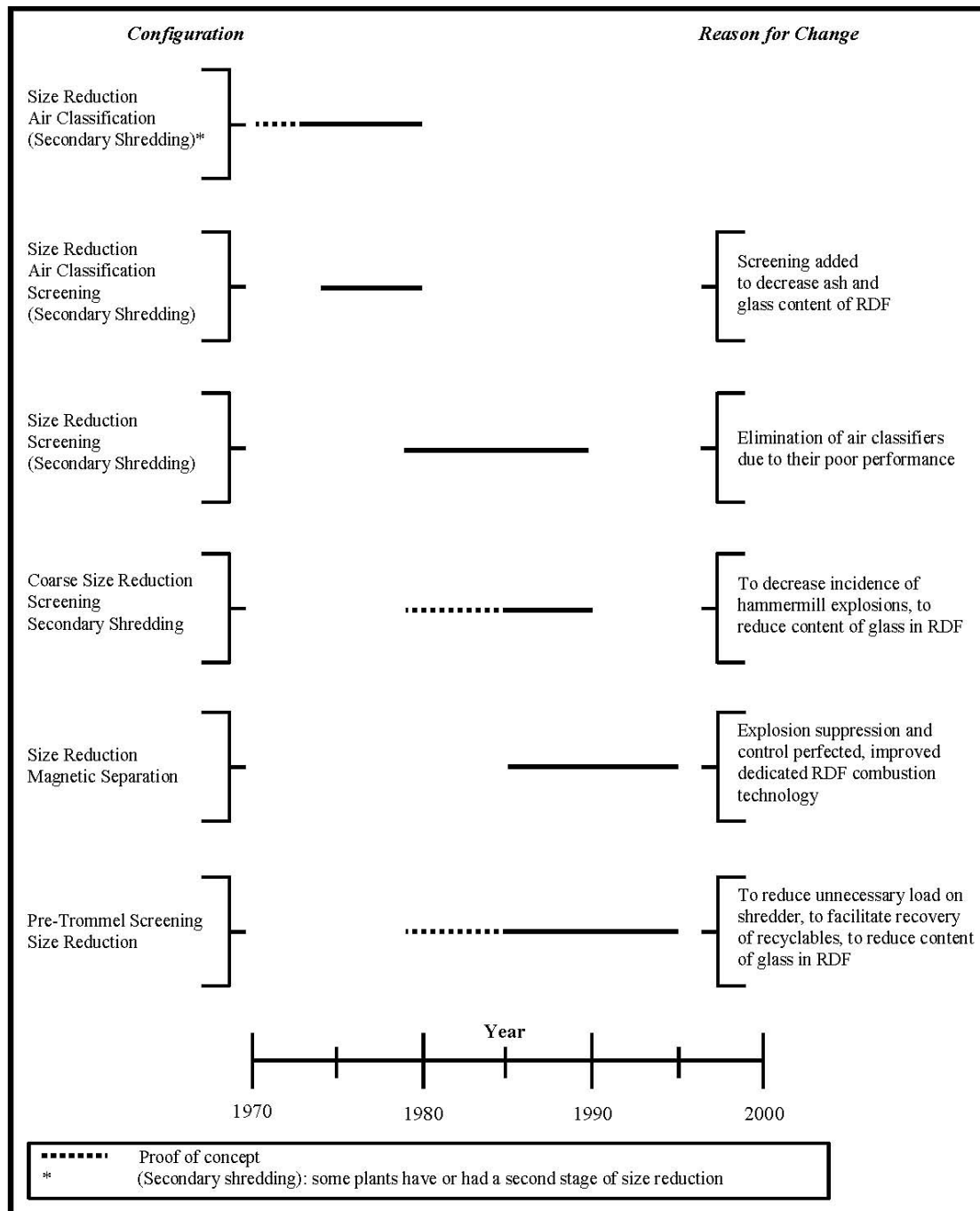
μεγέθους των υλικών σαν το βασικό θεμέλιο σχεδιασμού του συστήματος. Ο σχεδιασμός μιας μονάδας επεξεργασίας απορριμμάτων εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, μεταξύ αυτών είναι και η σύνθεση των απορριμμάτων.

Στο Διάγραμμα 4.2.1 παρουσιάζονται παραδείγματα από τις ΗΠΑ που αφορούν τρέχουσες και προηγούμενες ευελιξίες από παραδείγματα διαμόρφωσης παραγωγής RDF. Οι επεξεργασμένες διαμορφώσεις που υπάρχουν στο διάγραμμα έχουν διευθετηθεί από τα αριστερά προς τα δεξιά με την κατά προσέγγιση σειρά σύμφωνα με την ιστορική τους εξέλιξη. Η ωρίμανση των επεξεργασμένων σχεδιασμών έχει τεθεί ως αποτέλεσμα κάποιων περιπτώσεων, οι οποίες περιέχουν είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό, ανεπαρκή επίδοση του εξοπλισμού, ανεπαρκή ενεργειακή απόδοση και ανεπιθύμητα υψηλής περιεκτικότητας σε στάχτη RDF.



Διάγραμμα 4.2.1: Παραδείγματα front-end συστημάτων που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ για την παραγωγή RDF. (Cal Recovery Systems Inc)

Μια ιστορική προοπτική ωρίμανσης σχηματικής επεξεργασίας RDF στις ΗΠΑ απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.2.2, δίνοντας έμφαση στα αίτια μετατροπής των σχηματισμών.



Διάγραμμα 4.2.2: Ιστορική όψη front-end συστημάτων στην παραγωγή RDF. (Cal Recovery Systems Inc)

4.3 Χαρακτηριστικά του RDF

4.3.1 Ποιοτικές Παράμετροι του RDF

Μέσω της προεπεξεργασίας των απορριμμάτων παρέχονται τρόποι ανάκτησης υψηλής ποιότητας καυσίμου από τα στερεά απορρίμματα. Επιπλέον και εξ ίσου σημαντικό πλεονέκτημα της προεπεξεργασίας των ΑΣΑ αποτελεί το γεγονός ότι χρησιμεύει για να ελέγχει τη διακύμανση των χαρακτηριστικών του RDF. Με άλλα λόγια, μέσα στα συνήθη όρια της χρονικής διακύμανσης των γνωρισμάτων (όπως σύνθεση) των ΑΣΑ, η προεπεξεργασία τους αποδίδει ποσότητα καυσίμου του οποίου οι ιδιότητες είναι σχετικά ομοιόμορφες όταν συγκριθούν με την ποικιλία ιδιοτήτων των ανεπεξέργαστων ΑΣΑ.

Πολλές ποιότητες RDF μπορούν να παραχθούν, εξαρτωμένων των αναγκών του χρήστη ή της αγοράς. Υψηλή ποιότητα RDF σημαίνει υψηλή θερμογόνο δύναμη και χαμηλές τιμές σε περιεχόμενη υγρασία και τέφρα. Η ποιότητα του RDF επαρκώς εγγυάται την προτίμηση τύπου καυσίμου όταν τα στερεά απορρίμματα θεωρείται ότι πρέπει να συγκαίονται με άνθρακες ή να καίγεται μόνο του σε λέβητα.

Η θερμογόνος δύναμη του RDF που παράγεται απ'τα στερεά απορρίμματα θεωρείται αξιόλογη σε σχέση με την θερμογόνο δύναμη γνωστών στερεών καυσίμων. Στον Πίνακα 4.3.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ανώτερη θερμογόνος δύναμη γνωστών στερεών καυσίμων:

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΑΘΔ (Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη, Mj/kg)
Ανθρακίτης	27,00
Λιγνίτης	15,00
Ξύλο	15,00
Τύρφης	15,00
RDF	21,00

Πίνακας 4.3.1: Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη Στερεών Καυσίμων

Παρότι το RDF έχει σχετικά μεγάλη συγκέντρωση χάρτινης και πλαστικής ύλης, και τα δυο έχουν υψηλή θερμική ενέργεια (το χαρτί γύρω στα 17.000 kJ/kg, το πλαστικό γύρω στα 40.000 kJ/kg), εν συγκρίσει με τους περισσότερους άνθρακες, περιέχει επίσης υλικά τα οποία περιέχουν σχετικά μεγάλο ποσοστό τέφρας το οποίο μπορεί να προκαλέσει ζημιά στους καυστήρες και λέβητες και μπορεί να ασκήσει σοβαρά προβλήματα στην ποιότητα των απαερίων της εγκατάστασης της θερμικής επεξεργασίας. Παραδείγματος χάριν, τυπικά το RDF περιέχει υλικά που έχουν σημαντικές συγκεντρώσεις σε χλωρίδια. Κατά τη διάρκεια της καύσης μέρος ή όλο το χλώριο μπορεί να μετατραπεί σε υδροχλώριο (HCL) από την ένωσή του με το υδρογόνο που απελευθερώνει το νερό που περιέχεται στην ποσότητα καυσίμου ή με το σχηματισμό του νερού από την οξείδωση του υδρογόνου. Όπως είναι γνωστό, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες το υδροχλώριο μπορεί να γίνει διαβρωτικό για τις εσωτερικές επιφάνειες του καυστήρα και τμημάτων του λέβητα και ειδικά των σωληνώσεών του.

Η παρουσία μερικών σωματιδίων μετάλλων και μικρών σωματιδίων γυαλιού (κοκκομετρίας $<0.125\text{cm}$) στο RDF μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο σύστημα καύσης. Η απομάκρυνση αυτών των σωματιδίων απ'το RDF αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία η οποία όμως μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα έπειτα απ'το κατάλληλο σχεδιασμό της μονάδος επεξεργασίας των ΑΣΑ και της σωστής τοποθέτησης του απαραίτητου μηχανολογικού εξοπλισμού. Δηλαδή, η παρουσία προσμίξεων, όπως μικρά σωματίδια μετάλλων και γυαλιού, μπορεί να αποφθεχθεί αν κατά το σχεδιασμό της μονάδας γίνει σωστή εκτίμηση του απαραίτητου εξοπλισμού για την απομάκρυνση των προσμίξεων αυτών (όπως π.χ. κόσκινα, μαγνήτες κ.α.).

Σε ότι αφορά τώρα την παραγόμενη τέφρα του RDF, για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ποσότητας ενέργειας, η τέφρα που παράγεται από την καύση του RDF μπορεί να είναι μεγαλύτερη από εκείνη που θα παραγόταν απ' την καύση συμβατικού καυσίμου (π.χ. άνθρακας). Επομένως, σε περίπτωση συνκαύσης του RDF μαζί με τον άνθρακα, πρέπει να γίνει πρόβλεψη για τη χρησιμοποίηση της πρόσθετης παραγόμενης ποσότητας τέφρας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το RDF τείνει περισσότερο να είναι ομοιογενές σε σύγκριση με τα ακατέργαστα στερεά απορρίμματα, παρόλα αυτά απέχει πολύ από το να θεωρείται καθαρό ή υψηλής ποιότητας καύσιμο (όπως τα συμβατικά) στα πλαίσια της καύσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το RDF αποτελεί συνδυασμό πολλών υλικών απ' τα οποία αποτελείται, κάθε ένα από τα οποία, όμως, φέρει τα δικά του χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα είναι ότι σε σύγκριση με πολλά ομοιογενή στερεά καύσιμα, όπως το ξύλο και ο άνθρακας, η διατήρηση μιας επαρκούς διαδικασίας καύσης γίνεται πιο δύσκολη όταν το RDF χρησιμοποιείται σαν καύσιμο.

4.3.2 Σχεδιαστικοί Παράγοντες που επηρεάζουν την Ποιότητα του Παραγόμενου RDF

Ένα εργοστάσιο μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας ξεχωρίζει τα μεταλλικά και αδρανή υλικά, κοσκινίζει το οργανικό κλάσμα (το οποίο το σταθεροποιεί μέσω κομποστοποίησης) και τέλος διαχωρίζει το υψηλής θερμογόνου αξίας κλάσμα για την παραγωγή RDF. Εκτός, της μείωσης μεγέθους των υλικών οι μονάδες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν και άλλες μεθόδους επεξεργασίας όπως χειροδιαλογή, μαγνητικό διαχωρισμό, αεροδιαχωρισμό και δημιουργία σωρών από μπάλες (pelletization) για αύξηση της πυκνότητας σύμφωνα με τις ανάγκες ανάκτησης των υλικών (π.χ. αλουμινίο, κλπ). Η εφαρμογή των παραπάνω πρακτικών οδηγεί στην επιτυχία και στην επιθυμητή προδιαγραφή του στερεού καύσιμου προϊόντος.

Βασικό «κλειδί» στο σχεδιασμό μιας μονάδας ΜΒΕ, για την ανάκτηση πολύ υψηλής ποιότητας RDF, είναι η κατάλληλη χρήση κοσκινίσματος κατά την επεξεργασία. Το κοσκίνισμα είτε πριν είτε μετά την ελάττωση του μεγέθους έχει αποδειχθεί επιτυχές. Επιπλέον, το περιστροφικό κοσκίνισμα ιστορικά υπήρξε ο εξοπλισμός επιλογής, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις. Δια μέσου μιας διακριτικής επιλογής ενός κατάλληλου ανοίγματος του κοσκίνου, οι περισσότερες προσμίξεις (λεπτές) μπορούν να μετακινηθούν από το RDF διότι περνούν από τα ανοίγματα του κοσκίνου. Εξ άλλου, η ποσότητα καυσίμου συγκρατείται στο κόσκινο και διαφεύγει από το κόσκινο σαν

υπερμεγέθους ροή. Από τη στιγμή που μικρά σωματίδια του μείγματος είναι χαρακτηριστικά αδρανή υλικά που έχουν μικρή ή καμία θερμική αξία, η εξάλειψή τους έχει διπλό στόχο:

- 1) Πρώτον, η συνολική θερμική ενέργεια του RDF αυξάνεται σαν αποτέλεσμα συγκέντρωσης καύσιμου χάρτου και πλαστικών υλών και
- 2) Δεύτερον, η περιεκτικότητα σε στάχτη έχει ελαττωθεί.

Οι ουσίες που συνολικά αποδίδουν στο RDF την θερμική του αξία ανήκουν σε μία ή δυο ομάδες : στην ομάδα όπου συνυπάρχουν υλικά υψηλής θερμικής ενέργειας και σ' αυτή που περιέχει υλικά χαμηλής θερμικής ενέργειας. Ο μέσος όρος της θερμικής ενέργειας ανέρχεται περίπου 18.600 J/g. Η παρουσία ανόργανων σωματιδίων (όπως σωματίδια υάλου) και λεπτόκοκκων αδρανών υλικών ή υγρών οργανικών υλικών (όπως απορρίμματα από προετοιμασία τροφών) είναι ικανά να μειώσουν τη θερμογόνο δύναμη του παραγόμενου RDF. Στα πλαίσια μιας θερμικής επάρκειας, η απομάκρυνση (μέσω της κοσκίνισης) των λεπτών σε μέγεθος , ανόργανων (μη καυσίμων) σωματιδίων καθώς και των λεπτών, υγρών οργανικών σωματιδίων του RDF μπορούν να επιφέρουν αύξηση στη θερμική ενέργεια του RDF κατά 20% σε σύγκριση με την ανάλογη των μη καυσίμων , λεπτών, οργανικών σωματιδίων τα οποία κατακρατούνται.

Ένα άλλο μείζον πλεονέκτημα της προεπεξεργασίας του MSW για την ανάκτηση καυσίμου ποιότητας αποτελεί η ελάττωση της περιεκτικότητας σε υγρασία από την ανακτώμενη ποσότητα RDF συγκριτικά με εκείνη του αρχικού MSW. Αυτό το πλεονέκτημα τυγχάνει ειδικής εφαρμογής στις αναπτυσσόμενες χώρες , όπου τα απορρίμματα έχουν υψηλή συγκέντρωση σε υγρασία και σε υλικά που υπόκεινται σε σήψη. Η ελάττωση της υγρασίας είναι αποτέλεσμα της δυσανάλογης μετατόπισης της υγρασίας που συνοδεύει την μετατόπιση των απορριμμάτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας που κατέχει τη χαμηλότερη σειρά κατανομής των σωματιδίων (λεπτού μεγέθους υλικά) του MSW. Αυτά τα υλικά (όπως απορρίμματα από τροφές και απόβλητα κήπου) είναι πιο υγρά απ'ότι το χαρτί, το πλαστικό ή το ύφασμα. Η απομάκρυνση των ελαφρών σωματιδίων είναι ότι πιο εύκολο και σύνηθες που διεξάγεται με κοσκίνισμα (συνήθως περιστροφικά) πράγμα

το οποίο επιτρέπει στα λεπτότερα σωματίδια να περάσουν ανάμεσα από τα ανοίγματα. Η μετακίνηση είναι δυσανάλογη διότι ο μέσος όρος της υγρασίας των μικροσκοπικών σωματιδίων είναι μεγαλύτερος από αυτόν των υπερμεγέθων ποσοτήτων. Εξαρτώμενου από τις τοπικές συνθήκες και από το σχέδιο του συστήματος προεπεξεργασίας, το RDF κάλλιστα μπορεί να έχει περιεκτικότητα σε υγρασία της τάξης του 25% έως και 50% χαμηλότερη από την αρχική του MSW. Συγχρόνως η θερμογόνο δύναμή του αυξάνεται ανάλογα (Models of Unit Operations Used for Solid Waste Processing-Final Report, Cal Recovery Systems, 1984).

4.3.3 Πρότυπα Ποιοτικά Κριτήρια για Παραγωγή και Χρήση του RDF

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημοσιεύσει, μέσω της EURITS (European Association Treatment Companies for Specialized Waste) και της CEN, κριτήρια για την ποιότητα των καυσίμων που ανακτώνται απ'τα στερεά απόβλητα. (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003 και Final Draft prCEN/TS 15359).

Εκτός απ'την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μερικά κράτη μέλη της έχουν θεσπίσει εθνικά όρια για την ποιότητα των καυσίμων προερχόμενα από στερεά απόβλητα.

Για παράδειγμα υπάρχουν όρια για την Φιλανδία, την Ιταλία και την Ολλανδία, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.3.1:

		Italy	Finland		
Characteristic	Unit		Quality Class I	Quality Class II	Quality Class III
υγρασία	%	<25			
Θερμογόνος Δύναμη	kJ/kg	15.000			
Τέφρα	%	20			
Cl	%(m/m)	0,9	<0,15	<0,5	<1,5
S	%(m/m)	0,6	<0,2	<0,3	<0,5
N	%(m/m)		<1	<1,5	<2,5
K-Na	%(m/m)		<0,2	<0,4	<0,5
Al	%(m/m)				
Hg	Mg/kg		<0,1	<0,2	<0,5

Cd	Mg/kg		<1	<4	<5
Pb	Mg/kg	200			
Cu	Mg/kg	300			
Mn	Mg/kg	400			
Cr	Mg/kg	100			
Zn	Mg/kg	500			
Ni	Mg/kg	40			
Ar	Mg/kg	9			
Cd+Hg		7			

Πίνακας 4.3.3.1: Ποιοτικά Όρια για SRF (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003)

Πρόσθετα, στη Γερμανία ο Οργανισμός Διασφάλισης Ποιότητας για τα Στερεά Ανακτημένα Καύσιμα (BGS) εξέδωσε πρότυπο διασφάλισης RAL-GZ 724 για την προτυποποίηση του SRF όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα στο SRF (Πίνακας 4.3.3.2) .

Παράμετρος	Συγκέντρωση βαρέων Μετάλλων (ppm,d.w.)	
	Διάμεσος	80 κοστή
Cd	4	9
Hg	0,6	1,2
Tl	1	2
As	5	13
Co	6	12
Ni	80	160
Se	3	5
Te	3	5
Sb	25	60
Pb	190	-
Cr	125	250
Cu	350	-
Mn	250	500
V	10	25
Sn	30	70
Be	0,5	2

Πίνακας 4.3.3.2: Όρια συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων του προτύπου RAL-GZ 724 (Solid Recovered Fuels, Quality Assurance, RAL-GZ 724, June 2001)

Υπάρχουν, επίσης, ποιοτικά όρια για δευτερογενή καύσιμα που προορίζονται για συν-καύση στις τσιμεντοβιομηχανίες στην Σουηδία. Τα όρια αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.3.3:

Parameter	Criteria	
	"Specialbransle A" ¹	Lattbransle" ²
Θερμογόνος Δύναμη	23,9-31,4Mj/kg	25,1-31,4Mj/kg
Σημείο Ανάφλεξης	<210C	<210C
Πυκνότητα στους 15° C	0,9-1,1 kg/dm3	0,8-0,95 kg/dm3
Ιξώδες	pumpable	1-5 cst at 50oC
Τέφρα	5-10%	0,6-0,8%
Υγρασία	<30%	<10%
Cl	<1%	<1%
S	n/a	<0,5%
Cr	<300ppm	<30ppm
V	n/a	<50ppm
Z	n/a	<300ppm
Zn	<2000ppm	n/a
Cd	<10ppm	<5ppm
Pb	<350ppm	<100ppm
Ni	n/a	<10ppm
Hg	n/a	<5ppm
PCB	n/a	<5ppm

Πίνακας 4.3.3.3: Όρια για SRF για χρήση στη τσιμεντοβιομηχανία στη Σουηδία (Refuse DerivedFuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commision, 2003)

Εκτός απ'τα ήδη αναφερθέντα όρια, ο Ευρωπαϊκός Σύνδεσμος των Εταιρειών Θερμικής Επεξεργασίας Ειδικών αποβλήτων (EURITS) έχει θεσπίσει οριακές τιμές για το RDF, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.3.4:

¹ Εμπορική ονομασία παραγόμενου SRF

² Εμπορική ονομασία παραγόμενου SRF

Παράμετρος	Μονάδα	Όρια EURITS
Θερμογόνος Δύναμη	Mj/kg	15
Cl	%	0,5
S	%	0,4
Br/I	%	0,01
N	%	0,7
F	%	0,1
Be	mg/kg	1
Hg/Tl	mg/kg	2
As,Se, Cd,Sb	mg/kg	10
Mo	mg/kg	20
V,Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn	mg/kg	200
Zn	mg/kg	500

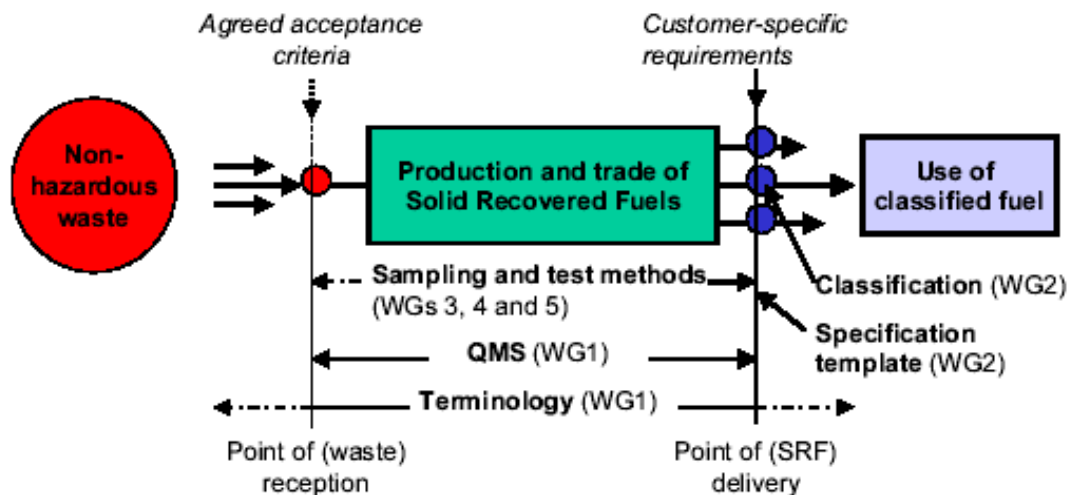
Πίνακας 4.3.3.4: Όρια EURITS για την συναποτερώση

SRF στις τοιμεντοβιομηχανίες (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003)

Το 2002 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εντολοδότησε τη CEN (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Προτυποποίησης) να δημιουργήσει μια ανάλογη σειρά από τεχνικές προδιαγραφές σχετιζόμενες με τη χρήση του SRF για ανάκτηση της ενέργειάς του σε μονάδες καύσης απορριμμάτων ή σε μονάδες συνκαύσης.

Σκοπός της Τεχνικής Επιτροπής CEN/TC 343 για τα «Solid Recovered Fuels» αποτελεί η επεξεργασία και η δημιουργία προτύπων (standards), τεχνικών προδιαγραφών και τεχνικών αναφορών για τα καύσιμα αυτά, αποκλείοντας έτσι εκείνα που αποτελούνται αποκλειστικά από βιομάζα και αναφέρονται στη CEN/TC 335 για τα «Βιοκαύσιμα».

Συγκεκριμένα, η ομάδα εργασίας έπρεπε να καθορίσει ποιοτικά όρια για καύσιμα αυτά, μεθόδους δειγματοληψίας και μεθόδους αναλύσεων των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων τους. Στο παρακάτω Διάγραμμα ροής παρουσιάζονται οι επιμέρους στόχοι της ομάδας εργασίας CEN/TC 343.



Διάγραμμα 4.3.3.1: Διάγραμμα ροής SRF (Final Draft prCEN/TS 15359)

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο CEN/TC 343 ως SRF (Solid Recovered Fuel-Στερεό Ανακτηθέν Καύσιμο) ορίζεται «το καύσιμο που παράγεται από μη επικίνδυνα απόβλητα για να αξιοποιηθεί σε ανάκτηση ενέργειας από μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης (Final Draft, pr CEN/TS 15359). Για να χαρακτηριστεί ένα δευτερογενές καύσιμο ως SRF θα πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις του προτύπου CEN/TC 343. Οι προϋποθέσεις αυτές, κριτήρια, του τελικού προσχέδιου του προτύπου (CEN/TC 343 WG NO92 Final Draft 2005-06-08) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.3.5:

ΠΡΟΤΥΠΟ TC343 – WG 2: Κατηγοριοποίηση των Solid Recovered Fuels (SRF)							
Παράμετρος		Μονάδα	Κατηγορίες Θερμογόνου Δύναμης				
			1	2	3	4	5
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη	NCV	MJ/kg υγρού βάρους	>25	>20	>15	>10	>3
Κατηγορίες Χλωριούχων							
			1	2	3	4	5
Χλωριούχα	Cl	% υγρού βάρους	< 0.2	< 0.6	< 1.0	< 1.5	< 3.0
Κατηγορίες Υδραργύρου							
			1	2	3	4	5
Υδράργυρος	Hg	mg/MJ διάμεσος mg/MJ 80 ^{στο}	<0.02 <0.04	<0.03 <0.06	<0.08 <0.16	<0.15 <0.30	<0.5 <1.0

Πίνακας 4.3.3.5: Προσχέδιο Ευρωπαϊκού Προτύπου CEN TC 343 (Final Draft prCEN-TS15359)

4.4 Αξιοποίηση RDF

4.4.1 Βασικοί Παράμετροι στην Αξιοποίηση του RDF

Η διαδικασία επεξεργασίας των αστικών στερεών απορριμμάτων για την παραγωγή καύσιμου προϊόντος φαίνεται να είναι άμεση στα πλαίσια του σχεδίου και δραστηριοποίησης του συστήματος. Η επιλογή, η απόδοση και η δραστηριοποίηση ενός συστήματος επεξεργασίας καθορίζεται ουσιαστικά και αποτελεσματικά από τα χαρακτηριστικά του καύσιμου προϊόντος, τις πρώτες ύλες τροφοδοσίας στερεών απορριμμάτων, τον τύπο επιλογής του εξοπλισμού και την τοποθεσία του εξοπλισμού στη διαμόρφωση της συνολικής επεξεργασίας. Πάραυτα, κάποιοι εξοπλισμοί διαθέσιμοι για την εφαρμογή επεξεργασίας των στερεών απορριμμάτων μπορεί να έχουν αποδειχθεί να ταιριάζουν σε άλλες βιομηχανίες (όπως μεταλλουργία,, δασοκομία, κ.λ.π) δεν πρέπει, όμως, να λησμονείται ότι τα ακατέργαστα στερεά απορρίμματα διαφέρουν ουσιαστικά από τα ακατέργαστα υλικά που χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες τροφοδοσίας από άλλες βιομηχανίες. Η αποτυχία ώστε να ληφθεί υπόψη η διαφορά, ειδικότερα σε μερικά βιομηχανοποιημένα έθνη, προέκυψε μετά από ένα αριθμό προβλημάτων κατά την επεξεργασία των απορριμμάτων. Τα προβλήματα προκλήθηκαν σε πολλές περιπτώσεις από την χρήση του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, σχεδιάσθηκε ή διεξήχθη ακατάλληλα. Μετά από μια μακρά περίοδο εκμάθησης των χειριστών και σχεδιαστών, τώρα αναγνωρίζεται η ανάγκη πλήρους κατανόησης των χειριστικών παραμέτρων κάθε μέρους του εξοπλισμού όπως ανήκουν ειδικά τα στερεά απορρίμματα. Αυτή η ανάγκη για εξειδικευμένη γνώση επεκτείνεται σε μια λεπτομερή εξοικείωση με τα φυσικά και τα χημικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων.

Εκτός απ'την τεχνολογία επεξεργασίας των απορριμμάτων, η ποιότητα της καύσιμης ύλης εξαρτάται απ'την σύνθεση των απορριμμάτων και απ'τον τρόπο συμπίεσής της. Συνήθως, η καύσιμη ύλη χρησιμοποιείται με την εξής μορφή: Pellets, Πλίνθοι, χύμα και κύβοι. Τις ιδιότητες της καύσιμης ύλης τις χωρίζουμε σε φυσικές και χημικές. Με τις χημικές αξιολογούμε την περιεκτικότητά τους σε ενέργεια και βλαβερές ουσίες. Οι μηχανικές-

φυσικές ιδιότητες περιλαμβάνουν το μέγεθος, τη μορφή, το ειδικό βάρος, την σκληρότητα, την αντοχή, τη δυνατότητα αποθήκευσης κ.α. Από τις πλέον σπουδαίες παραμέτρους είναι η υγρασία. Στα απορρίμματα υπάρχει η δυνατότητα να εμφανιστεί ως απόλυτη περιεκτικότητα σε νερό, ως υδροσκοπική υγρασία κ.α. Λέγοντας απόλυτη περιεκτικότητα σε νερό εννοείται η συνολική συσσωρευμένη υγρασία στην καύσιμη ύλη. Αυτή μπορεί να είναι το νερό το οποίο εξατμίζεται όταν η καύσιμη ύλη είναι εκτεθειμένη στον αέρα καθώς και η υγρασία η οποία απομακρύνεται κατά την ξήρανση. Άλλη σπουδαία παράμετρος είναι η πυκνότητα. Η πυκνότητα επηρεάζει τον χρόνο ξήρανσης καθώς και την συμπεριφορά του υλικού κατά την αποθήκευση. Όσο καλύτερη συμπύκνωση έχει τόσο λιγότερη δυνατότητα λήψης υγρασίας από το περιβάλλον υπάρχει. Το μέγεθος και η μορφή της καύσιμης ύλης προσδιορίζει την δυνατότητα υποδοχής, δοσομέτρησης και γενικά χρήσης της.

Η αξιοποίηση του RDF γίνεται σύμφωνα με τους στόχους και την χρήση της. Βασικοί παράμετροι είναι:

- Ικανότητα αποθήκευσης και μεταφοράς
- Δυνατότητα χρήσης της καύσιμης ύλης σε διάφορες εστίες καύσης
- Σταθερή ποιότητα
- Καλή θερμική χρήση
- Ελάχιστη περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες

Αυτές οι προϋποθέσεις προσδιορίζονται απ' τις ακόλουθες φυσικές και χημικές ιδιότητες:

- Μέγεθος κόκκων
- Κατανομή μεγέθους κόκκων
- Μορφή καύσιμης ύλης
- Ομογενοποίηση
- Θερμογόνος τιμή
- Περιεκτικότητα σε υγρασία
- Περιεκτικότητα σε στάχτη
- Περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες
- Συμπεριφορά τήξης της στάχτης

Εκτός απ'τους ήδη αναφερθέντες παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή κατάλληλης μεθόδου θερμικής επεξεργασίας του RDF-SRF, επιβάλλεται η επιλεγμένη μέθοδος θερμικής επεξεργασίας να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει στις εκπομπές από την καύση RDF-SRF.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφ.3, υπάρχουν 3 είδη ρύπανσης απ'την θερμική επεξεργασία του RDF-SRF όπως:

1. Εσωτερικοί ρυπαντές, όπως βαρέα μέταλλα, θείο και χλώριο. Κατά την καύση μετακινούνται και εκπέμπονται.
2. Ρυπαντές οι οποίοι παράγονται πυροχημικώς. Αυτοί οι ρυπαντές δεν βρίσκονται στην καύσιμη ύλη αλλά σχηματίζονται κατά την καύση. Η ποιότητα και η ποσότητά τους εξαρτάται απ'τις συνθήκες καύσης (Nox, CO).
3. Ρυπαντές οι οποίοι εξαρτώνται απ'την καύσιμη ύλη και τη διαδικασία της καύσης π.χ. πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες.

Ανακεφαλαιώνοντας, συμπεραίνεται ότι η επιλογή μεθόδου θερμικής επεξεργασίας RDF-SRF εξαρτάται απ' όλους τους παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, την χωροθέτηση μιας τέτοιας μονάδας και την κοινωνική αποδοχή.

4.4.2 Χρήσεις RDF Παραγόμενου από ΑΣΑ

Οι μονάδες επεξεργασίας, που μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά (waste to energy) είτε από μόνο του είτε σε συνδυασμό με συμβατικά καύσιμα (συνκαύση) το RDF-SRF είναι μονάδες όπως:

1. εργοστάσια συμβατικής (στοιχειομετρικής) καύσης
2. ατμολέβητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
3. σε κλιβάνους τσιμέντου
4. σε εγκαταστάσεις αεριοποίησης

Το παραγόμενο RDF από επεξεργασμένα ΑΣΑ, χρησιμοποιείται στην Ευρώπη σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε μονάδες θερμικής επεξεργασίας καθώς

Ενέργεια από Δευτερογενή Καύσιμα (RDF/SRF)- Η περίπτωση του ΕΜΑΚ

και σε βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου και χαρτοποιίας. Η συνολική χρησιμοποιούμενη ποσότητα RDF στην Ευρώπη εκτιμάται σε περισσότερο από 2 εκατομμύρια τόνους το έτος (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003).

Χώρα	Αριθμός Μονάδων ³	Δυναμικότητα (*10 ³ tpa)	Ποσότητα (*10 ³ tpa)
Μονάδες Καύσης RDF			
Ιταλία	(2)		Κ ⁴
Σουηδία	NI ⁵		1.400
Ηνωμένο Βασίλειο	1		30
Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής			
Γερμανία	NI		
Ιταλία	(3)	(1.200)	Δ ⁶
Ηνωμένο Βασίλειο	1		50
Μονάδες Χαρτοποιίας			
Φιλανδία	NI		220
Μονάδες Παραγωγής Ενέργειας για Τηλεθέρμανση			
Βέλγιο	NI		NI
Δανία	NI		NI
Φιλανδία	50		50
Σουηδία	NI		NI
Τσιμεντοβιομηχανίες			
Αυστρία	NI	NI	NI
Βέλγιο	1		15
Ιταλία	5		300
Δανία	1		2.6
Ολλανδία	1		7 ⁷
Σύνολο			≈2.000

Πίνακας 4.4.2.1: Χρήσεις RDF από ΑΣΑ στην Ευρώπη (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003)

Πρόσθετα, υπάρχουν αναφορές και για χρήση του RDF παραγόμενο από ΑΣΑ και σε μονάδες αεριοποίησης και πυρόλυσης σε μονάδες όπως η

³ Οι αριθμοί στις παρενθέσεις αναφέρονται σε μη βέβαιες πληροφορίες

⁴ Υπό κατασκευή

⁵ No Information

⁶ Υπό δοκιμή

⁷ Pellet χαρτιού και πλαστικού

Φιλανδία, η Γερμανία, η Ιταλία, η Ολλανδία, η Σουηδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Επίσης, υπάρχουν μονάδες που παράγουν κάρβουνο απ'τα ΑΣΑ στην Γαλλία, μέσω θερμόλυσης.

5. Η Κατάσταση στην Ελλάδα

5.1 Εισαγωγή

Αν και η θερμική αξιοποίηση του RDF αλλά και άλλων δευτερογενών καυσίμων έχει ξεκινήσει εδώ και χρόνια στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη, στην Ελλάδα δυστυχώς η κατάσταση δεν συμβαδίζει μ'αυτή των άλλων χωρών.

Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ, μαζί με τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας αυτών (π.χ. κομποστοποίηση, παραγωγή βιομάζας), αποτελούν ίσως τα μοναδικά «εργαλεία» επίτευξης των στόχων πολιτικής διαχείρισης ΑΣΑ, που έχουν τεθεί απ'την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στην Ελλάδα, υπάρχουν κάποιες τοιμεντοβιομηχανίες που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα (όπως λάστιχα, ιλύ, κ.α.) αλλά δυστυχώς η προώθηση του RDF, που παράγεται στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) στα Άνω Λιόσια Αττικής, δεν έχει ακόμα προωθηθεί.

Το ΕΜΑΚ είναι το μόνο εργοστάσιο επεξεργασίας ΑΣΑ στην Ελλάδα που παράγει RDF.

Αρκετή συζήτηση έχει γίνει σχετικά με την ποιότητα του παραγόμενου απ'το ΕΜΑΚ RDF και τη δυνατότητα συν-κάυσης του σε τοιμεντοβιομηχανία.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια περιγραφή λειτουργίας του ΕΜΑΚ καθώς και ο σκοπός της παρούσας μελέτης.

5.2 Εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης Απορριμμάτων.

5.2.1 Εισαγωγή

Στην Ελλάδα λειτουργεί ένα εκ των μεγαλύτερων στην Ευρώπη Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) Αστικών Απορριμμάτων. Το εργοστάσιο ανήκει και διαχειρίζεται απ' τον ΕΣΔΚΝΑ (Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής).

Το ΕΜΑΚ επεξεργάζεται σύμμεικτα δημοτικά απορρίμματα των ΟΤΑ της Αττικής (για τα οποία δεν εφαρμόζεται Πρόγραμμα Διαλογής στην Πηγή (ΠΔοΠ)), καθώς και τα πράσινα απόβλητα (π.χ. κλαδιά) που συλλέγονται στους Δήμους της Αττικής.

Η λειτουργία του ΕΜΑΚ μπορεί να συνδυαστεί με τα Προγράμματα Διαλογής στην Πηγή, αφού επεξεργάζεται τα υπολειπόμενα του προγράμματος, παρέχοντας έτσι μια ολοκληρωμένη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων στις περιοχές που εφαρμόζονται τα προγράμματα αυτά.

Η κατασκευή και η λειτουργία του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) αποτελεί ένα απ' τα μέτρα της πολιτικής της Ελλάδος προκειμένου να εναρμονιστεί με την Ευρωπαϊκή πολιτική σ' ότι αφορά την διαχείριση των απορριμμάτων.

Το ΕΜΑΚ επεξεργάζεται καθημερινά, σε πενθήμερη βάση, 1200 τόνους παραγόμενων απορριμμάτων στη περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής. Το 2008 το ΕΜΑΚ επεξεργάστηκε 250.000 τόνους σύμμεικτων δημοτικών απορριμμάτων και 7.600 τόνους κλαδιά-χόρτα.

Τα προϊόντα παραγωγής του είναι το καύσιμο RDF, το compost, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμινούχα μέταλλα.

Το παραγόμενο RDF (SRF) του ΕΜΑΚ προκύπτει έπειτα από μηχανικό διαχωρισμό των υψηλών θερμογόνου δύναμης υλικών που περιέχονται στα σύμμεικτα αστικά απόβλητα. Το παραγόμενου καύσιμο του ΕΜΑΚ αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από χαρτί και πλαστικό ενώ περιέχονται σε μικρότερο ποσοστό ύφασμα και ξύλο.

5.2.2 Περιγραφή Λειτουργίας του ΕΜΑΚ

Τα απορριμματοφόρα αφού εισέλθουν στο εργοστάσιο ζυγίζονται και στη συνέχεια με αυτοποιημένο τρόπο οδηγούνται στη διαθέσιμη θέση εκκένωσης μέσα σε μεγάλες δεξαμενές. Η τροφοδοσία των απορριμμάτων στη γραμμή παραγωγής γίνεται μέσω αρπαγών σε χοάνες απ' όπου δοσομετρούνται.

Τα δοσομετρούμενα εισερχόμενα απορρίμματα στη γραμμή παραγωγής υφίστανται κοσκίνιση αφού πρώτα διέλθουν από κατάλληλους σχίστες ώστε να ανοιχθούν οι σάκοι μέσα στους οποίους περιέχονται.

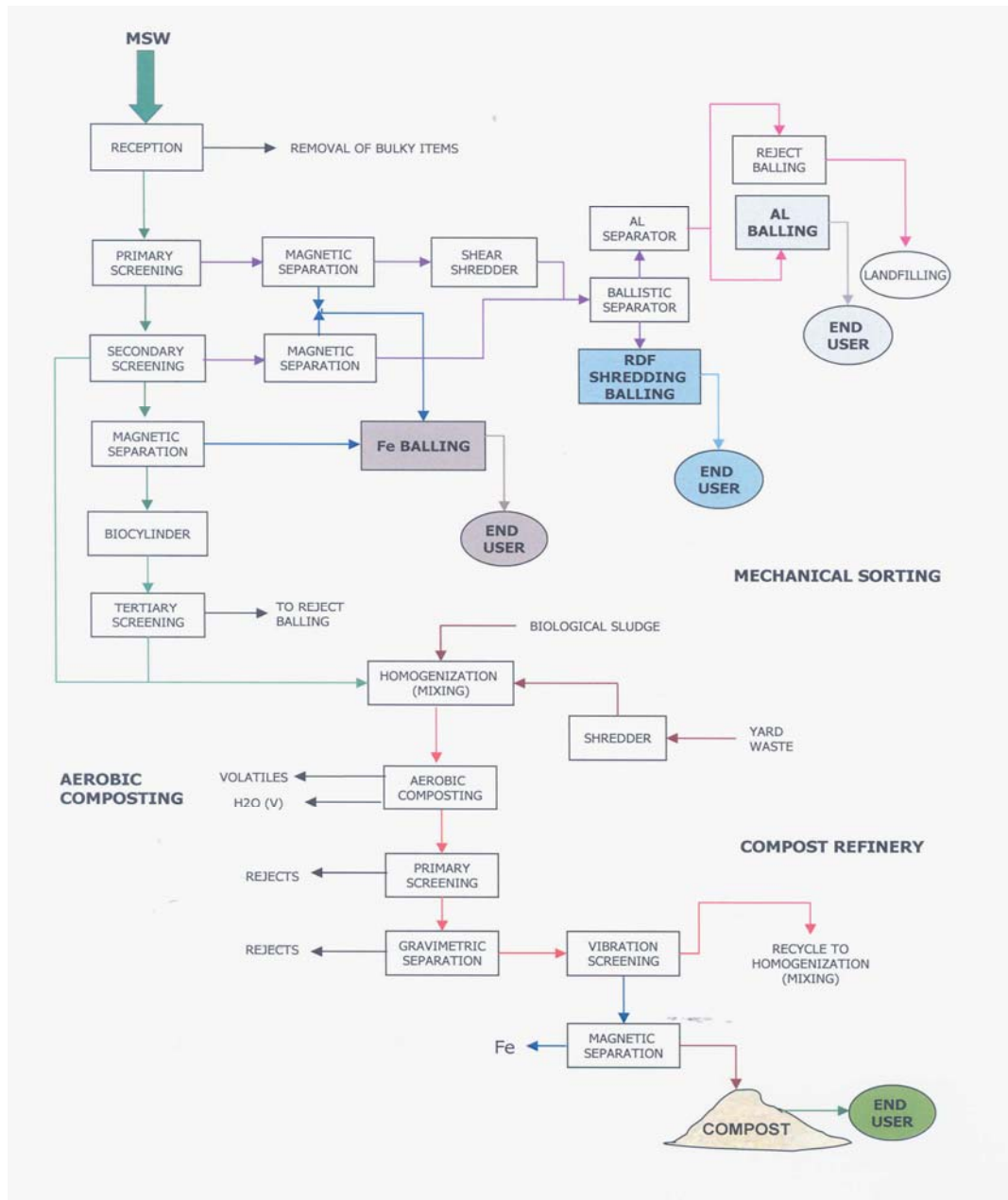
Τα απορρίμματα υφίστανται δύο ειδών κοσκινίσεις: την πρωτοβάθμια και την δευτεροβάθμια. Κατά την πρωτοβάθμια κοσκίνιση πραγματοποιείται ένας πρώτος διαχωρισμός του ξηρού κλάσματος των απορριμμάτων. Τα ευμεγέθη του Α' βαθμίου κοσκίνου αποτελούνται κυρίως από μεγάλα κομμάτια χαρτονιού και πλαστικών φύλλων, τα οποία αφού υποστούν μαγνητικό διαχωρισμό, τεμαχίζονται και οδεύουν προς περαιτέρω επεξεργασία στο ξηρό κλάσμα.

Το υλικό που διέρχεται των οπών του Α'βαθμίου κοσκίνου συνεχίζει για κοσκίνιση στο Β'βάθμιο κόσκινο. Κατά την Β'βάθμια κοσκίνιση πραγματοποιείται διαχωρισμός του ξηρού απ'το υγρό (οργανικό) κλάσμα. Το ευμεγέθες κλάσμα του Β'βαθμίου κοσκίνου έπειτα από μαγνητικό διαχωρισμό οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία στο ξηρό κλάσμα. Το οργανικό κλάσμα έπειτα απ'την Β'βάθμια κοσκίνιση διέρχεται από μαγνήτες, για να αφαιρεθούν τυχόν σιδηρούχα υλικά που μπορεί να υπάρχουν, και στη συνέχεια οδηγείται στους βιοκυλίνδρους όπου πραγματοποιείται μία προκομποστοποίηση του υλικού με σκοπό την ελάττωση του μεγέθους του, ώστε να απομακρυνθούν τα άχρηστα υλικά. Το υγρό κλάσμα αφού διέλθει και από Γ'βάθμια κοσκίνιση αναμειγνύεται με φυτικά υλικά (κυρίως κλαδί) που ρυθμίζουν το πορώδες του. Εν συνεχεία το μείγμα οδηγείται στη μονάδα κομποστοποίησης.

Η γραμμή επεξεργασίας του ξηρού κλάσματος περιλαμβάνει βαλλιστικούς διαχωριστές όπου διαχωρίζονται τα υλικά υψηλής θερμογόνου δύναμης (RDF), τεμαχίζονται, συμπιέζονται και δεματοποιούνται προκειμένου να διατεθούν ως εναλλακτικό καύσιμο.

Στη γραμμή επεξεργασίας του ξηρού κλάσματος ανακυκλώνονται αυτόματα τα σιδηρούχα και αλουμινούχα υλικά και οδηγούνται προς δεματοποίηση και διάθεση για πώληση. Τα άχρηστα υλικά, που παράγονται στις επιμέρους φάσεις της μηχανικής διαλογής, συλλέγονται και μεταφέρονται προς συμπίεση και δεματοποίηση προκειμένου να οδηγηθούν τελικά στον παρακείμενο Χ.Υ.Τ.Α.

Το διάγραμμα ροής του εργοστασίου παρουσιάζεται παρακάτω:

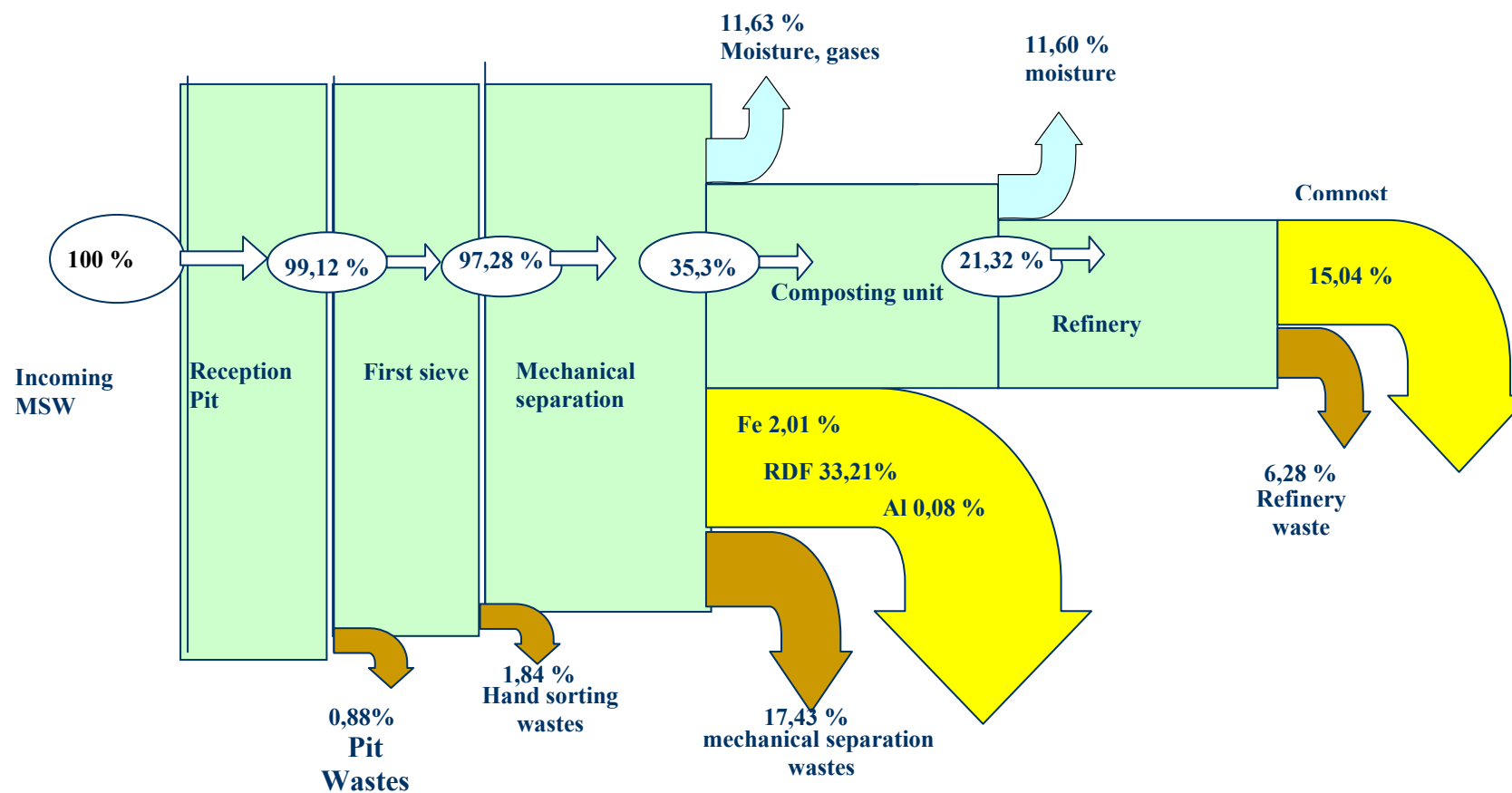


Διάγραμμα 5.2.2.1: Διάγραμμα Παραγωγικών Διαδικασιών ΕΜΑΚ

Ενέργεια από Δευτερογενή Καύσιμα (RDF/SRF)- Η περίπτωση του ΕΜΑΚ

Το ισοζύγιο μάζας του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης των Άνω Λιοσίων, όπως αυτό εκτιμήθηκε έπειτα από μελέτη του ΕΚΠΑ, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.2.2.2:

Διάγραμμα 5.2.2.2: Ισοζύγιο μάζας ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων (Σίσκος, Ημερίδα ΕΕΣΔΑ 28-5-2009)



Η σύσταση του παραγόμενου RDF μελετήθηκε απ' το Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ) και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.2.2.2:

	% Σύσταση RDF ΕΜΑΚ (Μ.Ο. έτους Μάιος 2006-Μάιος 2007)
Οργανικά	0.84
Χαρτί Συσκευασίας	16.6
Έντρυπο Υλικό	38.0
Λοιπά Χαρτιά	4.92
Πλαστικά Συσκευασίας	26.3
Λοιπά Πλαστικά	1.32
Ύφασμα	11.1
Ξύλο	0.43
Σύνθετα υλικά (π.χ. tetrapak)	0.41
Γυαλί	0.10
Σιδηρούχα (Fe) Συσκευασία	0.03
Λοιπά Fe	0.04
Μη Fe Συσκευασία	0.27
Λοιπά Μη Fe	0.02
Αδρανή	0.04

Πίνακας 5.2.2.2: % Σύσταση RDF ΕΜΑΚ (Σίσκος, Ημερίδα ΕΕΣΔΑ 28-5-2009)

Στο παράρτημα της εργασίας παρουσιάζονται φωτογραφίες του RDF που παράγεται στο ΕΜΑΚ.

5.3 Σκοπός Παρούσας Μελέτης

Η παρούσα μελέτη, που πραγματοποιείται στα πλαίσια μεταπτυχιακής διατριβής, έχει ως στόχο την παρουσίαση δυνατοτήτων θερμικής επεξεργασίας των στερεών ανακτηθέντων καυσίμων (δευτερογενή καύσιμα) απ'τα στερεά απορρίμματα, τον τρόπο παραγωγής τους, τα χαρακτηριστικά τους καθώς και την κατάσταση στην Ελλάδα σχετικά με την ποιότητα και αξιοποίηση του παραγόμενου RDF απ'το ΕΜΑΚ Αττικής.

Η ποιότητα του παραγόμενου απ'το ΕΜΑΚ RDF έχει μελετηθεί αναλυτικά (2006-2007) απ'το Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), το Πολυτεχνείο της Δρέσδης και το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Σίοςκος, Ημερίδα ΕΕΣΔΑ 28-5-2009). Απώτερο σκοπό αποτελεί η απόδοση σεναρίων ανάκτησης ενέργειας από τα δευτερογενή καύσιμα (RDF/SRF) του ΕΜΑΚ, βασιζόμενα στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυσή αυτών.

Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται και κάποιες επιπλέον ιδιότητες του RDF του, εκτός απ'αυτές που έως τώρα έχουν μελετηθεί, ΕΜΑΚ για την χρονική περίοδο Ιουλίου 2008 – Μαΐου 2009.

Συγκεκριμένα, αναλύθηκαν εργαστηριακά η υγρασία, η τέφρα, η πτητική ύλη, η θερμογόνο δύναμη, το χλώριο, το % C, το % H, το %N και προσδιορίστηκε ο εμπειρικός τύπος του RDF του ΕΜΑΚ .

5.4 Εργαστηριακές Αναλύσεις

5.4.1 Εισαγωγή

Οι εργαστηριακές αναλύσεις του παραγόμενου απ'το ΕΜΑΚ RDF/SRF πραγματοποιήθηκαν στο χημικό εργαστήριο του «Τομέα Ποιοτικού Ελέγχου και Διεργασιών» του ΕΜΑΚ καθώς και στο «Εργαστήριο Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων» του Πολυτεχνείου Κρήτης. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους της ASTM (American Standardization Test Methods). Ειδικότερα, στα δείγματα του RDF/SRF που συλλέχθηκαν την περίοδο Ιουλίου 2008 – Μαΐου 2009 πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω αναλύσεις:

- Ανάλυση Καταλληλότητας για Καύση (Proximate Analysis): περιλαμβάνει τη μέτρηση του % περιεχομένου σε υγρασία, του % περιεχομένου σε τέφρα και του % περιεχομένου σε πτητική ύλη. Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM E949-88⁸, E830-87⁹ και E897-88¹⁰, αντίστοιχα.
- Στοιχειακή ανάλυση (Ultimate Analysis): περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της % σύστασης σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και άζωτο (N). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM E777-87¹¹ και E778 αντίστοιχα για C, H και N.
- Θερμογόνος δύναμη: ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης του RDF πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E711-87¹².
- % περιεχόμενο χλώριο: ο προσδιορισμός του %Cl (d.w.) πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο E776-87¹³.

⁸ Standard test method for total moisture in a Refused-Derived Fuel laboratory sample.

⁹ Standard test method for ash in the analysis sample of Refused-Derived Fuel.

¹⁰ Standard test method for volatile matter in the analysis sample of Refused-Derived Fuel.

¹¹ Standard test method for carbon and hydrogen in the analysis sample of Refused-Derived Fuel.

¹² Standard test method for gross calorific value of Refused-Derived Fuel by the bomb calorimeter.

¹³ Standard test method for forms of chlorine in Refused-Derived Fuel.

5.4.2 Περιγραφή Συσκευών

Όλες οι αναλύσεις του RDF, εκτός απ'την στοιχειακή ανάλυση, πραγματοποιήθηκαν στο χημικό εργαστήριο του ΕΜΑΚ το οποίο είναι εξοπλισμένο με τα κατάλληλα όργανα για τον προσδιορισμό της ποιότητας του RDF. Η στοιχειακή ανάλυση του RDF πραγματοποιήθηκε στο «Εργαστήριο Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων» του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Μύλος Άλεσης

Για την άλεση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε μύλος (μαχαιρόμυλος) της εταιρείας Fritsch μοντέλο P-25. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μύλου άλεσης φαίνονται στον Πίνακα 1. Ο συγκεκριμένος μύλος είναι ικανός για την επεξεργασία υλικών όπως: ξύλο, δέρμα, πλαστικά, ελαστικά, υφάσματα, αποξηραμένα φυτά, δημητριακά, κυτταρίνη (χαρτί) , απορρίμματα κ.α.



ΠΛΑΤΟΣ X ΎΨΟΣ X ΒΑΘΟΣ	450MM X 630MM X 650MM
Καθαρό βάρος	75kg
Κινητήρας	3φασικού εναλλασσόμενου ρεύματος με μηχανικό φρένο
Στάθμη θορύβου	73dB(A), 95dB(A)
Τάση λειτουργίας, Κατανάλωση	400V
Ισχύς, Ένταση ρεύματος	3240W, 5,5A
Μέγιστη χωρητικότητα	60kg/h
Τελικό μέγεθος κόκκων	0,5 – 10mm
Ταχύτητα περιστροφής ρότορα	300 rpm

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά μύλου άλεσης

2. Φούρνος Ξήρανσης

Ο φούρνος με αέρα χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση του δείγματος και τον προσδιορισμό της υγρασίας του, είναι της εταιρείας MEMMERT μοντέλο UFE-600. Ο φούρνος της MEMMERT διαθέτει ramp system, ψηφιακή ένδειξη θερμοκρασίας, χρονόμετρο καθώς και εβδομαδιαίο προγραμματισμό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2.



ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (L)	256
Εξωτ. Διαστάσεις (ΠxΥxB)	950X920X650
Μέγιστη θερμοκρασία °C	250

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά φούρνου αέρα

3. Κλίβανος Υψηλών Θερμοκρασιών

Για τη μέτρηση της τέφρας και της πτητικής ύλης χρησιμοποιήθηκε ο κλίβανος της Thermolyne μοντέλο F48020-33. Ο κλίβανος της THERMOLYNE διαθέτει ramp system, ψηφιακή ένδειξη θερμοκρασίας, χρονόμετρο. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 3.



ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (L)	5.8
Βάρος (kg)	75
Κατανάλωση (W)	1560
Εξωτ. Διαστάσεις (ΠxΥxB)(mm)	337X483X495
Μέγιστη θερμοκρασία °C	1200
Ψηφιακή ένδειξη T	Ναι

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά κλιβάνου

4. Ζυγός Ακριβείας

Για τη ζύγιση ακριβείας των εργαστηριακών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε αναλυτικός ζυγός της AND μοντέλο HR 200 – EC. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ζυγού δίνονται στον Πίνακα 4.



ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (ΠΛΑΤΟΣ X ΒΑΘΟΣ X ΎΨΟΣ) (MM)	213 X 319 X 301
Μέγιστο βάρος ζύγισης (g)	210
Διάμετρος δίσκου ζύγισης (mm)	85
Ακρίβεια (mg)	0,1
Άλλα	Πολλαπλές μονάδες ζύγισης, λειτουργία ποσοστού %, μέτρηση κομματιών, αυτόματη ρύθμιση με βάση τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, άγκιστρο ανάρτησης δείγματος.

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά ζυγού

5. Θερμιδόμετρο

Η θερμογόνος δύναμη των δειγμάτων προσδιορίστηκε στο εργαστήριο με τη βοήθεια αυτόματου θερμιδόμετρου της PARR τύπου 6200 Calorimeter (σε

συνδυασμό με το 6510 Water Handling System), το οποίο φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ζυγού δίνονται στον Πίνακα 5.

ΜΟΝΑΔΑ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ	ΤΑΣΗ	: 230 V
	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	: 50 – 60 Hz
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΡ/ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ	: 3A
	Εξωτ. Διαστάσεις (ΠxΥxB)(mm)	425X285X485
ΜΟΝΑΔΑ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟΥ	Εξωτ. Διαστάσεις (ΠxΥxB)(mm)	550X440X390
	ΤΑΣΗ	: 240V
	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	: 50 - 60 Hz
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΡ/ΝΗ ΕΝΤΑΣΗ	: 3A

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμιδομέτρου

6. Στοιχειακός Αναλυτής.



Όλα τα παραπάνω όργανα που έχουν ήδη αναφερθεί αποτελούν μέρος του εξοπλισμού του χημικού εργαστηρίου του ΕΜΑΚ.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του άνθρακα, του υδρογόνου και του αζώτου πραγματοποιήθηκε με τον αυτόματο στοιχειακό αναλυτή της Eurovector τύπου EuroEA3000 απ' το «Εργαστήριο Τοξικών και Επικινδυνών Αποβλήτων» του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

5.5 Μεθοδολογία Αναλύσεων

5.5.1 Προετοιμασία δείγματος

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες αναλύσεις στο RDF, έγινε η κατάλληλη προεπεξεργασία του εργαστηριακού δείγματος ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ομογενοποίηση του υλικού. Το εισερχόμενο στο εργαστήριο δείγμα RDF ζύγιζε 2kg και προετοιμάστηκε κατάλληλα για τις περαιτέρω αναλύσεις σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο της ASTM E829-84¹⁴. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα μέθοδο το εργαστηριακό δείγμα αρχικά ξηραίνεται σε φούρνο αέρα (air-drying στους 40^o C για μια μέρα) και στη συνέχεια αλέθεται σε μύλο άλεσης προκειμένου να ομογενοποιηθεί όσο το δυνατό περισσότερο. Η κοκκομετρία του ομογενοποιημένου RDF που προκύπτει μετά την άλεση του δείγματος είναι μικρότερη των 0,5mm.

Κατά την προεπεξεργασία του RDF στο εργαστήριο δεν χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός που ήταν πιθανό να αλληλεπιδράσει με το δείγμα και να το αλλοιώσει. Έπειτα απ' την ξήρανση και την ομογενοποίηση του εργαστηριακού δείγματος, το δείγμα είναι έτοιμο για να πραγματοποιηθούν οι περαιτέρω αναλύσεις.

5.5.2 Προσεγγιστική Ανάλυση

Προσδιορισμός Ολικής Υγρασίας

Βάσει της διεθνούς εμπειρίας η υγρασία του RDF μπορεί να ποικίλει από εξαιρετικά υγρό έως και σχεδόν στεγνό. Για τον λόγο αυτόν μεγάλη βαρύτητα δίνεται στη δειγματοληψία του RDF.

Η ολική υγρασία του RDF μετράται σε δύο στάδια σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο της ASTM E949-88 (όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα). Αρχικά προσδιορίζεται η υγρασία ξήρανσης και στη συνέχεια προσδιορίζεται η εναπομείνουσα υγρασία.

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας ξήρανσης, αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό με ακρίβεια 0,1 mg και θερμαίνεται σε φούρνο αέρα (air drying) για 24 ώρες στους 40°C. Μετά την ξήρανση το

¹⁴ Standard Practice for Preparing Refuse-Derived Fuel (RDF) Laboratory Samples for Analysis.

δείγμα ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και εν συνεχεία ζυγίζεται για να προσδιοριστεί η υγρασία ξήρανσης A (Air Drying Sample).

Απ' το ήδη ξηρό δείγμα, λαμβάνεται αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος και αφού ζυγιστεί θερμαίνεται στους $107\pm 3^{\circ}\text{C}$ για 1 ώρα. Στη συνέχεια φυλάσσεται σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας έως ότου έρθει σε θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου και κατόπιν ζυγίζεται ξανά προκειμένου να προσδιοριστεί η εναπομείνουσα υγρασία R (Residual Moisture).

Το ποσοστό της ολικής υγρασίας M υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\% M = (R \cdot (100 - A) / 100) + A$$

Όπου: M = η επί τοις εκατό ολική υγρασία.

A = η επί τοις εκατό υγρασία ξήρανσης.

R = η επί τοις εκατό εναπομείνουσα υγρασία.

Προσδιορισμός Τέφρας

Ο προσδιορισμός της τέφρας πραγματοποιήθηκε κατά το πρότυπο ASTM E830–87 σύμφωνα με το οποίο τα δείγματα καίγονται σε θερμοκρασία $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ για 1h. Μετά την καύση, τα δείγματα μεταφέρονται σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας, για την εξισορρόπηση των θερμοκρασιών μεταξύ του χωνευτηρίου και της ατμόσφαιρας. Κατόπιν ζυγίζονται στον αναλυτικό ζυγό και ο προσδιορισμός της τέφρας γίνεται από τη σχέση:

$$\text{Τέφρα \%} = \left[\frac{(F - G)}{W} \right] \times 100$$

Όπου:

F = βάρος χωνευτηρίου και τέφρας σε g

G = βάρος χωνευτηρίου σε g

W = αρχικό βάρος δείγματος σε g

Προσδιορισμός Πτητικής Ύλης

Ο υπολογισμός της γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E897-88. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό 1gr καλά ομογενοποιημένου και ξηραμένου δείγματος τοποθετείται σε προζυγισμένο χωνευτήριο το οποίο διαθέτει και καπάκι (closed crucible). Το χωνευτήριο στη συνέχεια τοποθετείται στον κλίβανο σε θερμοκρασία 970 ± 20 °C για 7 min. Έπειτα αφήνεται να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας. Η πτητική ύλη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Πτητική Ύλη επί Ξηρού(\%)} = \left[\frac{(A-B)}{A} \right] \times 100$$

όπου: A = Βάρος δείγματος που αναλύεται σε g

B = Βάρος δείγματος μετά την καύση σε g

Στοιχειακή Ανάλυση – Προσδιορισμός Άνθρακα (C), Υδρογόνου (H) και Αζώτου (N)

Ποσότητα δείγματος της τάξης των mg εισάγεται στο μηχάνημα σε ειδικό υποδοχέα και καίγεται πλήρως σε καθαρή ατμόσφαιρα οξυγόνου. Κατά την καύση παράγονται υδρατμοί, CO₂, NO_x, N₂ και SO_x. Από το CO₂ υπολογίζεται ο άνθρακας, από τους υδρατμούς το υδρογόνο και από το υπόλοιπο αέριο το άζωτο.

Η ροή του οξυγόνου, η ροή του ηλίου καθώς και η θερμοκρασία, είναι πλήρως ελεγχόμενες και ρυθμιζόμενες τόσο από ενσωματωμένους ψηφιακούς αισθητήρες, όσο και από το λογισμικό του συστήματος.

Επιπλέον, το όργανο περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα σύνδεσης του στοιχειακού αναλυτή με φασματομέτρο μάζας με αυτόματο σύστημα αραίωσης των αερίων που να αντισταθμίζει τις διαφορετικές συγκεντρώσεις άνθρακα και αζώτου σε οργανικά δείγματα. Εκτελεί την μέτρηση του λόγου των ισοτόπων του άνθρακα, αζώτου και θείου στο ίδιο δείγμα χωρίς την μείωση της επαναληψιμότητας.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά με μία δευτερογενή καύση παρουσία CaO δεσμεύονται τα SO_x, με σκοπό την αποφυγή δημιουργίας θειϊκού οξέος το

οποίο θα έφθειρε τη συσκευή. Στη συνέχεια, δεσμεύονται σε δύο στήλες οι υδρατμοί και το CO₂, ενώ το οξυγόνο απομακρύνεται με χρήση κατάλληλου καταλύτη. Στο αέριο που διαφεύγει με χρήση υπέρθερμου χαλκού μετατρέπονται τα NO_x σε N₂. Κατόπιν το αέριο μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που αποτελείται από μία γέφυρα Wheatstone, όπου λόγω διαφορετικής αγωγιμότητας αζώτου και ηλίου (αέριο που μεταφέρει από την αρχή το αέριο της καύσης) μετριέται το άζωτο. Από τους υδρατμούς και το CO₂ που έχουν δεσμευτεί υπολογίζονται φασματοφωτομετρικά το H₂ και ο C.

Αφού ολοκληρωθούν όλες οι διαδικασίες, γίνονται διορθώσεις ως προς τη βαρομετρική πίεση και ως προς άλλες παρεμβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της καύσης και λαμβάνονται καταγεγραμμένα τα συνολικά ποσοστά C, H, N, συμπεριλαμβανομένων του άνθρακα των ανθρακικών ενώσεων, του υδρογόνου της υγρασίας και της ενυδάτωσης των πυριτικών ενώσεων. Αν το ποσοστό της υγρασίας είναι γνωστό, τα αποτελέσματα μπορούν να υπολογιστούν επί ξηρού.

Θερμογόνος Δύναμη – Προσδιορισμός της % περιεκτικότητας χλωρίου

Μία ποσότητα δείγματος της τάξεως του 1gr τοποθετείται σε ειδικό υποδοχέα, μέσα από τον οποίο περνά ένα λεπτό σύρμα, που χρησιμοποιείται για την ανάφλεξή του. Η όλη συσκευασία τοποθετείται σε μία οβίδα υψηλής ανθεκτικότητας σε πίεση 440 psi και σε ατμόσφαιρα καθαρού O₂. Η οβίδα περιβάλλεται από νερό, του οποίου η θερμοκρασία μετράται με ένα ηλεκτρονικό θερμόμετρο ακριβείας 1/20.000 του ενός βαθμού Κελσίου. Σε ένα ισοθερμικό σύστημα υπάρχει δυνατότητα ανταλλαγής μερικής ενέργειας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του νερού που περιβάλλει την οβίδα. Αυτό μπορεί να υπολογισθεί μετρώντας την αλλαγή θερμοκρασίας του νερού, όταν η οβίδα περιβάλλεται από νερό και πριν το δείγμα καεί.

Η θερμική ανταλλαγή λόγω συνθηκών περιβάλλοντος υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Ένας μικροεπεξεργαστής διαβάζει τη θερμοκρασία του νερού κάθε έξι λεπτά. Η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

υπολογίζεται και τα αποτελέσματα διορθώνονται σύμφωνα με αυτή και με το μήκος του καμένου σύρματος. Επιπρόσθετα γίνεται διόρθωση βάσει της περιεκτικότητας N₂, S και υγρασίας του δείγματος και εκτυπώνονται τα αποτελέσματα.

Στο θερμιδόμετρο μετράται η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (ΑΘΔ) του RDF μιας και το δείγμα που εισέρχεται προς καύση έχει ξηραθεί.

Ο προσδιορισμός του ποσοστού του χλωρίου λαμβάνει χώρα έπειτα απ' την καύση δείγματος RDF στο θερμιδόμετρο διότι λαμβάνονται για την ανάλυση τα εκπλύματα της βόμβας, για τον υπολογισμό του ποσοστού του χλωρίου, σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο της ASTM E776-87.

6. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων - Σχολιασμός

6.1 Εισαγωγή

Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του RDF πραγματοποιήθηκαν απ'τον Ιούλιο του 2008 έως τον Μάιο του 2009, ώστε να ληφθεί υπόψη η εποχιακή διακύμανση του προϊόντος.

Οι δειγματοληψίες για τον ποιοτικό έλεγχο του RDF, και τη λήψη εργαστηριακού δείγματος 2 kg , πραγματοποιήθηκαν απ'το εξειδικευμένο προσωπικό του ΕΜΑΚ, το οποίο λάμβανε απ'τους τεμαχιστές δείγματα παρακολούθησης του RDF εβδομαδιαίως σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους της ASTM.

Λόγω της ανομοιογένειας του δείγματος, έπειτα από συνεχή έρευνα διαπιστώθηκε ότι για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του RDF χρειάστηκε να γίνουν πέντε επαναλήψεις σε κάθε δείγμα για κάθε μετρούμενη παράμετρο.

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, που στόχο έχουν τον εμπλουτισμό της βάσης δεδομένων για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του RDF που παράγεται στο ΕΜΑΚ.

6.2 Υγρασία

Η υγρασία σε ένα καύσιμο είναι μια απ'τις σημαντικές παραμέτρους καύσης στη διεργασία της καύσης μιας και υψηλές τιμές μειώνουν τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου.

Η υγρασία στα στερεά αστικά απορρίμματα (ΑΣΑ) καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η εποχή, η ύπαρξη υλικών με υγρό περιεχόμενο (π.χ.μπουκάλια με νερό, μπουκάλια απορρυπαντικών που μισογεμάτα κ.α.) αλλά και ο τρόπος αποκομιδής των απορριμμάτων. Συχνά παρατηρούμε τους κάδους απορριμμάτων στη γειτονιά μας που δεν έχουν κλειστό καπάκι (λόγω κακής συνήθειας) με αποτέλεσμα τις βροχερές ημέρες τα απορρίμματα να βρέχονται επιπλέον αυξάνοντας έτσι την υγρασία. Πρόσθετα, επιβαρυντικό στην υγρασία των απορριμμάτων, είναι η λανθασμένη συμπεριφορά ορισμένων οδηγών απορριμματοφόρων, οι οποίοι προκειμένου

να μεταφέρουν μεγαλύτερο φορτίο απορριμμάτων σε ένα δρομολόγιο τα βρέχουν.

Η μέτρηση της υγρασίας του RDF, όπως αυτή έλαβε χώρα κατά την περίοδο παρακολούθησης, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.2.1: Τιμές υγρασίας RDF κατά την περίοδο παρακολούθησης

ΗΜ/ΝΙΑ	%ΥΓΡΑΣΙΑ
2/7/2008	28,35
9/7/2008	32,7
16/7/2008	34
3/9/2008	30,05
17/9/2008	33,56
24/9/2008	32,7
1/10/2008	33,09
15/10/2008	35,7
22/10/2008	28,75
30/10/2008	33
6/11/2008	31,8
13/11/2008	32,25
19/11/2008	34,5
26/11/2008	31,9
3/12/2008	33,4
11/12/2008	32,8
17/12/2008	34,1
7/1/2009	34,7
15/1/2009	32,1
22/1/2009	33,6
28/1/2009	36,2
4/2/2009	30,2
11/2/2009	33,9
18/2/2009	36,4
11/3/2009	36,6
18/3/2009	34,7
27/3/2009	35,8
1/4/2009	32,9
8/4/2009	33,1
15/4/2009	34,6
22/4/2009	33,8
6/5/2009	34,9
13/5/2009	37,1

Μετά από στατιστική επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, προκύπτει η μέση υγρασία του RDF στον Πίνακα 6.2.2:

Πίνακας 6.2.2: Υγρασία RDF (%)

Μέση τιμή	33
Τυπική Απόκλιση	2,1
Όριο Εμπιστοσύνης ¹⁵	0,7

Η μέση υγρασία του παραγόμενου RDF κρίνεται ικανοποιητική για ένα προϊόν που εξάγεται από σύμμεικτα απορρίμματα μέσω μηχανικής διεργασίας. Τα στερεά αστικά απορρίμματα εισέρχονται στο εργοστάσιο με υγρασία γύρω στο 45%. Έπειτα από κατάλληλη μηχανική επεξεργασία, με σκοπό την ανάκτηση συγκεκριμένων προϊόντων, το παραγόμενο RDF εξέρχεται απ'την μονάδα με μέση υγρασία 33%, δηλαδή μειωμένη κατά 27%.

Ο ρόλος των Εργοστασίων Μηχανικής Επεξεργασίας (MBE-MBT) είναι να ανακτούν υλικά απ'τα σύμμεικτα απορρίμματα και όχι να μειώνουν την υγρασία των εισερχόμενων απορριμμάτων. Η μείωση της υγρασίας που επιτυγχάνεται στα ανακτώμενα προϊόντα προκύπτει απ'την φυσική εξάτμιση κάθε υλικού κατά την διάρκεια τη μηχανικής επεξεργασίας. Ανάλογα με τον σχεδιασμό μίας μονάδας MBE και διάφορες άλλες κατά περίπτωση παραμέτρους (π.χ. σύσταση απορριμμάτων, τρόπος συλλογής κ.α.), η υγρασία σε προεπεξεργασμένο RDF κυμαίνεται από 25% μέχρι 50% χαμηλότερη συγκριτικά με την υγρασία των εισερχόμενων προς επεξεργασία απορριμμάτων (ανεπεξεργαστα ΑΣΑ)(CalRecovery Systems Inc.)

Αν η υγρασία του καύσιμου προϊόντος (στη περίπτωση μας το RDF) πρέπει να μειωθεί για να οδηγηθεί σε καύση, αυτό αποτελεί μέρος της μονάδας καύσης που θα το δεχτεί. Μέρος της παραγωγικής διαδικασίας σε μια μονάδα καύσης αποτελεί και η προεπεξεργασία των καυσίμων υλικών με τα οποία τροφοδοτείται η μονάδα.

¹⁵ Αναφέρεται στα όρια τιμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

6.3 Τέφρα

Η τέφρα αποτελεί το υπόλειμμα της ανοικτής καύσης: προσθέτει βάρος και μειώνει ανάλογα τη θερμογόνο δύναμη. Μια βασική παράμετρος σε μια μονάδα θερμικής επεξεργασίας αποτελεί η τέφρα λόγω του ότι πριν τη διάθεση πρέπει να υποστεί ανάλογη επεξεργασία.

Η μέση τιμή της τέφρας του RDF παρουσιάζεται στον πίνακα 6.3.3:

Πίνακας 6.3.3: Τέφρα(dry basis) RDF (%)

Μέση τιμή	14,7
Τυπική Απόκλιση	1,2
Όριο Εμπιστοσύνης ¹⁶	0,4

Αναλυτικά, οι τιμές της τέφρας του RDF που μετρήθηκαν κατά την περίοδο ελέγχου παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 6.3.4: Τιμές τέφρας RDF κατά την περίοδο παρακολούθησης

ΗΜ/ΝΙΑ	%ΤΕΦΡΑ (ξηρή βάση)
2/7/2008	13,2
9/7/2008	12,9
16/7/2008	14,6
3/9/2008	13,6
17/9/2008	16,1
24/9/2008	13,7
1/10/2008	12,3
15/10/2008	14,3
22/10/2008	14,7
30/10/2008	15,2
6/11/2008	13,6
13/11/2008	17,1
19/11/2008	14,2
26/11/2008	15,4

¹⁶ Αναφέρεται στα όρια τμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

3/12/2008	16,2
11/12/2008	13,3
17/12/2008	14,5
7/1/2009	15,4
15/1/2009	16,4
22/1/2009	14,8
28/1/2009	14,3
4/2/2009	12,9
11/2/2009	12,9
18/2/2009	16
11/3/2009	15,2
18/3/2009	16,6
27/3/2009	15,4
1/4/2009	15,1
8/4/2009	14,4
15/4/2009	15,1
22/4/2009	16,9
6/5/2009	15,2
13/5/2009	14,3

Η τιμή της τέφρας στο RDF είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν των συμβατικών καυσίμων π.χ. ο άνθρακας (coal) περιέχει 5-10% τέφρα (Diaz-Savage, Waste to energy Symposium, Proceedings Venice 2006).

6.4 Πτητική Καύσιμη Ύλη

Η πτητική καύσιμη ύλη είναι το % κατά βάρος του RDF που μετατρέπεται σε αέρια όταν η θερμοκρασία αυξηθεί μέχρι τους 950° C.

Η πτητική καύσιμη ύλη του RDF παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.4.1: Πτητική Ύλη (ξηρή βάση) RDF (%)

Μέση τιμή	80
Τυπική Απόκλιση	1,6
Όριο Εμπιστοσύνης ¹⁷	0,6

¹⁷ Αναφέρεται στα όρια τιμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

Αναλυτικά οι τιμές της πτητικής ύλης του RDF που μετρήθηκαν κατά την περίοδο της μελέτης παρουσιάζονται παρακάτω:

**Πίνακας 6.4.2: Τιμές Πτητικής Ύλης RDF
κατά την περίοδο παρακολούθησης**

ΗΜ/ΝΙΑ	%ΠΤΗΤΙΚΗ ΥΛΗ (ξηρή βάση)
2/7/2008	81
9/7/2008	80
16/7/2008	81
3/9/2008	78
17/9/2008	82
24/9/2008	79
1/10/2008	79
15/10/2008	80
22/10/2008	78
30/10/2008	81
6/11/2008	81
13/11/2008	82
19/11/2008	80
26/11/2008	76
3/12/2008	79
11/12/2008	82
17/12/2008	81
7/1/2009	77
15/1/2009	79
22/1/2009	79
28/1/2009	82
4/2/2009	78
11/2/2009	80
18/2/2009	77
11/3/2009	78
18/3/2009	80
27/3/2009	81
1/4/2009	78
8/4/2009	79
15/4/2009	82

22/4/2009	79
6/5/2009	80
13/5/2009	82

Η πτητική ύλη του RDF μετρήθηκε ίση με 80% τιμή υψηλότερη απ' αυτήν των υπόλοιπων στερεών καυσίμων. Συνήθως η τιμή των πτητικών ενώσεων στα συμβατικά καύσιμα κυμαίνεται μεταξύ 15-35% (www.engineeringtoolbox.com).

6.5 Χλώριο

Η ύπαρξη χλωρίου στο RDF παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του καυσίμου λόγω του ότι αυξημένη ποσότητα χλωρίου μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των εσωτερικών τοιχωμάτων των καυστήρων. Επιπλέον, το χλώριο σε συγκεντρώσεις >1% συνεισφέρει στο σχηματισμό τοξικών ουσιών (διοξίνες-φουράνες) κατά την καύση.

Το ποσοστό χλωρίου που μετρήθηκε στο RDF παρουσιάζεται στον πίνακα 6.5.1:

Πίνακας 6.5.1: Cl (d.w.) στο RDF (%)

Μέση τιμή	0,5
Τυπική Απόκλιση	0,12
Όριο Εμπιστοσύνης ¹⁸	0,04

Αναλυτικά, οι τιμές του χλωρίου του RDF που μετρήθηκαν κατά την περίοδο ελέγχου παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 6.5.2: % Cl (d.w.) στο RDF κατά την περίοδο παρακολούθησης

ΗΜ/ΝΙΑ	%Cl (d.w.)
2/7/2008	0,69
9/7/2008	0,57
16/7/2008	0,51
3/9/2008	0,49

¹⁸ Αναφέρεται στα όρια τμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

17/9/2008	0,83
24/9/2008	0,47
1/10/2008	0,81
15/10/2008	0,38
22/10/2008	0,35
30/10/2008	0,43
6/11/2008	0,54
13/11/2008	0,74
19/11/2008	0,58
26/11/2008	0,57
3/12/2008	0,58
11/12/2008	0,62
17/12/2008	0,56
7/1/2009	0,59
15/1/2009	0,65
22/1/2009	0,54
28/1/2009	0,44
4/2/2009	0,55
11/2/2009	0,42
18/2/2009	0,51
11/3/2009	0,40
18/3/2009	0,34
27/3/2009	0,48
1/4/2009	0,54
8/4/2009	0,40
15/4/2009	0,48
22/4/2009	0,49
6/5/2009	0,51
13/5/2009	0,52

Οι πηγές του χλωρίου στα ΑΣΑ ποικίλουν. Κύρια πηγή χλωρίου στα ΑΣΑ αποτελούν τα πλαστικά. Μέσω της κατάλληλης μηχανικής επεξεργασίας που πραγματοποιείται στο ΕΜΑΚ τα πλαστικά, μαζί με τα υπόλοιπα υλικά που περιέχουν χλώριο, απομακρύνονται απ' την γραμμή παραγωγής του RDF. Το ποσοστό χλωρίου που περιέχεται στο RDF, το παραγόμενο από ΑΣΑ, κυμαίνεται μεταξύ 0.5-1% (Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003).

Το παραγόμενο απ'το ΕΜΑΚ RDF περιέχει χλώριο ~0.5% υψηλότερο απ'αυτό του κοκ, που είναι μικρότερο των 0.1% (Genon-Brizio, Science Direct, 2008).

6.6 Ανώτατη Θερμογόνος Δύναμη

Ως θερμογόνος δύναμη ορίζεται το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την στοιχειομετρική καύση ενός καυσίμου. Η ποιότητα ενός καυσίμου καθορίζεται απ'τη θερμογόνο δύναμή του, γι'αυτό και αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την ποιότητά του.

Η ανώτατη θερμογόνος δύναμη του RDF παρουσιάζεται στο πίνακα 6.6.1:

Πίνακας 6.6.1: ΑΘΔ (ξηρή βάση) του RDF

Μέση τιμή	21,5 MJ/kg
Τυπική Απόκλιση	0,8
Όριο Εμπιστοσύνης ¹⁹	0,3

Αναλυτικά, οι τιμές της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του RDF που μετρήθηκαν κατά την περίοδο της μελέτης παρουσιάζονται παρακάτω:

**Πίνακας 6.6.2: ΑΘΔ (dry weight, MJ/kg) RDF
κατά την περίοδο παρακολούθησης**

ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΘΔ (d.w., MJ/kg)
2/7/2008	19,8
9/7/2008	20,1
16/7/2008	19,9
3/9/2008	21,2
17/9/2008	21,65
24/9/2008	20,43
1/10/2008	20,60
15/10/2008	21,60
22/10/2008	23,40
30/10/2008	21,44
6/11/2008	22,72

¹⁹ Αναφέρεται στα όρια τμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

13/11/2008	20,98
19/11/2008	21,70
26/11/2008	21,63
3/12/2008	21,38
11/12/2008	22,09
17/12/2008	21,81
7/1/2009	21,29
15/1/2009	20,81
22/1/2009	21,92
28/1/2009	20,72
4/2/2009	22,50
11/2/2009	22,50
18/2/2009	21,00
11/3/2009	20,97
18/3/2009	21,69
27/3/2009	21,44
1/4/2009	21,17
8/4/2009	21,94
15/4/2009	21,63
22/4/2009	21,77
6/5/2009	20,82
13/5/2009	21,34

Η τιμή της ανώτερης θερμογόνου δύναμης του RDF θεωρείται συγκρίσιμη με τα υπόλοιπα στερεά καύσιμα, αν θεωρήσουμε ότι η τιμή της θερμογόνου δύναμης του κοκ είναι 33 MJ/kg, γεγονός που το χαρακτηρίζει αξιόλογο για χρήση του σε μονάδες καύσης ή συν καύσης (Genon-Brizio, Science Direct, 2008).

6.7 Στοιχειακή Ανάλυση

Με τον όρο στοιχειακή ανάλυση εννοούμε τον προσδιορισμό του ποσοστού καθενός από τα χημικά στοιχεία που υπάρχουν σε μια ουσία. Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των στερεών καυσίμων βιομάζας είναι απαραίτητος προκειμένου να επιτευχθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός της μονάδας καύσης, να χαρακτηριστεί η χημική σύνθεση της οργανικής ύλης,

να εκτιμηθούν οι εκπομπές των αερίων ρύπων SO₂ και NO_x, καθώς παράλληλα επιτρέπει και στον προσδιορισμό της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στα καύσιμα χαρακτηριστικά της βιομάζας.

Για τη στοιχειακή ανάλυση ελήφθησαν τα μισά δείγματα RDF απ' αυτά που συλλέχθηκαν για τις υπόλοιπες αναλύσεις. Λόγω της ανομοιογένειας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν πέντε αναλύσεις για κάθε δείγμα, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στον πίνακα 6.7.1.

Πίνακας 6.7.1: Στοιχειακή ανάλυση (d.w.) RDF

2/7/2008	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	1,48	46,80	6,36	0,67
Τυπική Απόκλιση	0,77	4,34	0,84	-
Όριο Εμπιστοσύνης ²⁰	0,68	3,81	0,74	-
3/9/2008	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	0,87	47,34	6,42	
Τυπική Απόκλιση	0,14	8,72	1,58	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,13	8,54	1,55	
1/10/2008	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	1,70	49,60	7,02	
Τυπική Απόκλιση	0,57	4,55	0,85	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,50	3,99	0,75	
30/10/2008	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	0,74	49,53	7,04	
Τυπική Απόκλιση	0,11	2,39	0,50	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,09	2,10	0,44	
19/11/2008	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	0,86	45,78	6,36	
Τυπική Απόκλιση	0,20	4,14	0,73	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,18	3,62	0,64	
11/12/2008	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	1,76	44,92	6,40	
Τυπική Απόκλιση	1,10	3,77	0,62	

²⁰ Αναφέρεται στα όρια τιμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

Όριο Εμπιστοσύνης	0,96	3,31	0,55	
15/1/2009	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	1,09	49,66	7,17	
Τυπική Απόκλιση	0,21	3,19	0,65	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,18	2,80	0,57	
4/2/2009	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	0,86	55,44	7,55	
Τυπική Απόκλιση	0,08	8,94	0,70	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,07	7,84	0,61	
11/3/2009	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	1,29	59,58	8,57	
Τυπική Απόκλιση	0,27	21,58	3,32	
Όριο Εμπιστοσύνης	0,27	21,15	3,26	
1/4/2009	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	4,94	46,79	7,21	3,59
Τυπική Απόκλιση	1,37	3,23	0,76	-
Όριο Εμπιστοσύνης	1,20	2,83	0,66	-
22/4/2009	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	5,76	46,75	6,53	
Τυπική Απόκλιση	1,39	2,33	0,53	
Όριο Εμπιστοσύνης	1,22	2,04	0,47	
13/5/2009	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	9,10	49,52	6,27	9,15
Τυπική Απόκλιση	3,01	1,70	0,20	-
Όριο Εμπιστοσύνης	2,63	1,49	0,18	-

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι στις 2/7/2008, στην 1/4/2009 και στις 13/5/2009 μετρήθηκε θείο (S), αλλά η τυπική του απόκλιση δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί μιας και η εμφάνιση το θείου παρουσιάστηκε σε μία απ'τις πέντε επαναλήψεις του δείγματος. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την μη καλή ομοιογένεια του RDF, την τυχαιότητα της δειγματοληψίας, αλλά και την ελάχιστη ποσότητα θείου στο RDF. Λόγω του μικρού ποσοστού εμφάνισης του θείου στις μετρήσεις μας, δεν μπορεί να εξαχθεί μία μέση τιμή και γι'αυτό το λόγο δεχόμαστε ότι η παρουσία θείου στο RDF είναι πολύ μικρή και σύμφωνα με

βιβλιογραφία κυμαίνεται 0,1-0,2% όταν στα ορυκτά καύσιμα είναι 3-5% (Genon-Brizio, Science Direct, 2008).

Η ανομοιογένεια του RDF διαπιστώνεται παρατηρώντας και από τα υπόλοιπα στοιχεία της ανάλυσης.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω αποτελέσματα και με την κατάλληλη στατιστική τους επεξεργασία, προκύπτει η στοιχειακή ανάλυση του παραγόμενου απ'το ΕΜΑΚ RDF (Πίνακας 6.7.2).

Πίνακας 6.7.2: Στοιχειακή ανάλυση RDF (d.w.)

	%N	%C	%H	%S
Μέση τιμή	2,6	49,2	6,9	<1%
Τυπική Απόκλιση	1,7	13,1	2,1	-
Όριο Εμπιστοσύνης ²¹	0,99	7,43	1,17	-

Απ'την στοιχειακή ανάλυση διαπιστώνεται ότι η τιμή του υδρογόνου είναι 7%. Η μέση τιμή της περιεκτικότητάς σε θείο δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί γι'αυτό δεχόμαστε ότι είναι <1% . Το άζωτο μετρήθηκε κοντά στο 3% ενώ το ποσοστό του άνθρακα βρέθηκε ίσο με 49%.

Η στοιχειακή ανάλυση του RDF, σε σχέση μ'αυτήν του pet coke, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.7.3:

**Πίνακας 6.7.3: Στοιχειακή ανάλυση RDF-Pet Coke
(Genon-Brizio, Science Direct, 2008).**

	%N	%C	%H	%S
RDF	2,6	49.2	6.9	<1%
Pet coke	2	86	3.65	5

Με βάση την παραπάνω στοιχειακή ανάλυση, την εκτιμώμενη υγρασία του RDF και την παραδοχή (σύμφωνα με τη βιβλιογραφία) της περιεκτικότητας

²¹ Αναφέρεται στα όρια τμών (+/-) μέσα στα οποία είναι πιθανό να βρίσκεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (ASTM D 6233-98, Test Method for Data Assessment for Environmental Waste Management Activities).

του οξυγόνου στο συγκεκριμένο RDF, προσδιορίστηκε ο εμπειρικός χημικός τύπος του Ελληνικού RDF που παράγεται στο ΕΜΑΚ.

Ο εμπειρικός χημικός τύπος του RDF του ΕΜΑΚ προσδιορίστηκε βάση τη μεθοδολογία στις σημειώσεις του προπτυχιακού μαθήματος «Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων», του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πίνακας 6.7.3: Προσδιορισμός Εμπειρικού Χημικού Τύπου RDF

Χημικός Τύπος RDF
$C_{131}H_{222}O_{90}N_6S$ (d.w.)
$C_{131}H_{407}O_{183}N_6S$ (w.w.)
$C_{22}H_{37}O_{15}N$ (d.w.)
$C_{22}H_{68}O_{31}N$ (w.w.)

Ο εμπειρικός τύπος του RDF αποτελεί εργαλείο προσέγγισης των παραγόμενων εκπομπών (CO_2 , H_2O , NO_x , SO_x), που θα προκύψουν κατά την στοιχειομετρική καύση του δευτερογενούς καυσίμου.

7. Συμπεράσματα

7.1 Γενικά

Συγκεντρώνοντας, τα αποτελέσματα των αναλύσεων του RDF, που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει ο Πίνακας 7.1.1 που παρουσιάζει, συγκεντρωτικά, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου RDF απ'το ΕΜΑΚ:

Πίνακας 7.1.1: Χαρακτηριστικά RDF ΕΜΑΚ

	RDF ΕΜΑΚ
% Υγρασία	33
% Τέφρα(d.w.)	15
% Πτητική Ύλη(d.w.)	80
ΑΘΔ (Mj/kg, d.w.)	21
*ΚΘΔ(Mj/kg)	14
%Cl(d.w.)	0,5
%C	49
%H	7
%N	2,6
%S	<1

Αξιολογώντας τα παραπάνω φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του καύσιμου υλικού που παράγεται στο ΕΜΑΚ, καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Αν και η υγρασία του παραγόμενου RDF κρίνεται ικανοποιητική για ένα προϊόν που ανακτάται από σύμμεικτα απορρίμματα μέσω

* Γνωρίζοντας την υγρασία και το %H του RDF του ΕΜΑΚ, μπορούμε να υπολογίσουμε και την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη.

μηχανικής διεργασίας, εντούτοις δεν θεωρείται η βέλτιστη για χρήση του σε μονάδες θερμικής επεξεργασίας. Μέρος της παραγωγικής διαδικασίας σε μια μονάδα καύσης αποτελεί και η προεπεξεργασία των καυσίμων υλικών που τροφοδοτούνται στη μονάδα. Επομένως, η μείωση της υγρασίας του καυσίμου προϊόντος (στη περίπτωση μας το RDF) αποτελεί μέριμνα της μονάδας καύσης που θα το δεχτεί και όχι της μονάδας που το παράγει, της οποίας στόχος είναι να ανακτήσει από τα ΑΣΑ τα υψηλής θερμογόνου δύναμης κλάσματα με σκοπό να το συνθέσει. Η ξήρανση του RDF πριν την καύση του, θα αποτελούσε μία ικανοποιητική λύση. Η μείωση της υγρασίας του RDF, λόγω ξήρανσης, θα έχει ως αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση της θερμογόνου δύναμής του.

- Η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ) υπολογίστηκε θεωρώντας την υγρασία ίση με 33%, το Η ίσο με 7%. Η τιμή της ΚΘΔ του RDF κυμαίνεται στο 14Mj/kg, τιμή η οποία αναμένεται να αυξηθεί έπειτα από την απαραίτητη ξήρανσή του.
- Το παραγόμενο RDF του ΕΜΑΚ, με την συγκεκριμένη ποιότητα (Πίνακας 7.1.1), μπορεί να χαρακτηριστεί ως SRF (Solid Recovered Fuel), εφόσον σύμφωνα με το προσχέδιο του Ευρωπαϊκού Προτύπου CEN TC 343 κατατάσσεται σε μια απ' τις κατηγορίες που αναφέρει. Συγκεκριμένα, σε σχέση με τα όρια της πενταβάθμιας κλίμακας του προτύπου CEN/TS 15359, το RDF του ΕΜΑΚ κατατάσσεται στην 2^η κατηγορία από πλευράς χλωριούχων (<0.6%), στην 4^η κατηγορία από πλευράς κατώτερης θερμογόνου δύναμης (>10Mj/kg) και στην 1^η κατηγορία από πλευράς Hg²². Επομένως, το RDF του ΕΜΑΚ κωδικοποιείται στην τάξη NCV₄-Cl₂-Hg₁. Συμπεραίνεται λοιπόν, πως αφού ο RDF του ΕΜΑΚ πληροί τα όρια της CEN μπορεί να θεωρηθεί καύσιμο που παράγεται από μη επικίνδυνα απόβλητα για να αξιοποιηθεί σε ανάκτηση ενέργειας από μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης (ορισμός CEN).

²² Σίσκος, Ημερίδα ΕΕΔΣΑ 28-5-2009

- Όσον αφορά τα όρια του Ευρωπαϊκού Συνδέσμου των Εταιρειών Θερμικής Επεξεργασίας Ειδικών Αποβλήτων (EURITS), στο RDF του ΕΜΑΚ η περιεκτικότητά του σε χλωριούχα κυμαίνεται εντός των ορίων, ενώ η ΚΘΔ εκτιμάται στα 14 MJ/kg αντί 15 MJ/kg που ορίζει η EURITS. Τα βαρέα μέταλλα στο RDF, και συγκεκριμένα τα :Cu, Zn, Mn, Cr, Cd, Mg, έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα απ'αυτή που ορίζει η EURITS (Σίσκος, Ημερίδα ΕΕΣΔΑ 28-5-2009).
- Σύμφωνα με την νέα Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/ΕΚ), η παραγωγή και χρήση του RDF/SRF του ΕΜΑΚ χαρακτηρίζεται ως «**εργασία ανάκτησης**» υπό συγκεκριμένες συνθήκες, γεγονός που συνεισφέρει στους Εθνικούς στόχους εναλλακτικής διαχείρισης.
- Πρόσθετα, το βιοδιασπάσιμο κλάσμα (π.χ. χαρτί, ξύλο) που περιέχεται στο RDF/SRF του ΕΜΑΚ ανέρχεται στο 60% του βάρους του (Πίνακας 5.2.2.2). Το ποσοστό αυτό του βιοδιασπάσιμου κλάσματος αποτελεί το ποσοστό βιομάζας που περιέχεται στο RDF/SRF του ΕΜΑΚ. Η αξιοποίηση του RDF/SRF του ΕΜΑΚ σε μονάδα θερμικής επεξεργασίας για παραγωγή ενέργειας είναι δυνατόν να συνεισφέρει στους Εθνικούς στόχους για τις ΑΠΕ, όσον αφορά το ποσοστό συμμετοχής της βιομάζας που περιέχει.

7.2 Ενεργειακή Αξιοποίηση RDF-ΕΜΑΚ στην Ελλάδα

Το νέο ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο, και συγκεκριμένα οι Οδηγίες 2008/98/ΕΚ (Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα) και η 2009/28/ΕΚ (σχετικά με την προώθηση ενέργειας από ΑΠΕ), πιέζουν ακόμα περισσότερο την πολιτική διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων στην Ελλάδα. Οι Οδηγίες αυτές, θέτουν ακόμα αυστηρότερες προδιαγραφές αναγκάζοντας την Ελλάδα, αλλά και κάθε ευρωπαϊκή χώρα, να προβεί σε σημαντικές αλλά και ακριβές πρακτικές με σκοπό την βελτίωση του τρόπου διαχείρισης των στερεών αποβλήτων.

Η εκτροπή των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων (ΒΑΑ) από την εδαφική διάθεση ξεκίνησε με την Οδηγία 1999/31/ΕΚ για την Υγειονομική

Ταφή των Αποβλήτων (Η.Π.29407/3508/2002). Με την νέα Οδηγία Πλαίσιο θέτονται νέοι αυστηρότεροι ποσοτικοί στόχοι για την ανάκτηση των ΒΑΑ.

Συνολικά η Ελλάδα θα πρέπει να τριπλασιάσει την υπάρχουσα δυναμικότητα επεξεργασίας ΒΑΑ μέχρι το 2010, αλλά οι καθυστερήσεις που παρατηρούνται στα έργα διαχείρισης ΑΣΑ θέτουν υπό αμφισβήτηση τη δυνατότητα επίτευξης του στόχου αυτού (Λαζαρίδη, 3^ο Συνέδριο ΕΕΔΣΑ 2009).

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν Μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας που να αποτεφρώνουν αποκλειστικά RDF/SRF αλλά ούτε ΑΣΑ. Επομένως, οι ενδεδειγμένοι τρόποι αξιοποίησης του RDF/SRF στην Ελλάδα είναι η συναποτέφρωσή (co-incineration) του, σε βιομηχανίες τοιμέντου καθώς και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντικαθιστώντας έτσι μέρος των συμβατικών καυσίμων. Η αποτέφρωση-συναποτέφρωση στην Ελλάδα καλύπτεται απ'την ΚΥΑ 22912/1117/2005 - ΦΕΚ Β'/759/6.6.2005 (Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων). Ήδη στην Ελλάδα οι τοιμεντοβιομηχανίες χρησιμοποιούν δευτερογενή καύσιμα (π.χ. λάστιχα, ιλύ, ασφατικά παραπροϊόντα κ.α.) αλλά όχι ακόμα δευτερογενή καύσιμα προερχόμενα από αστικά απόβλητα.

Τα παραπροϊόντα της συναποτέφρωσης του RDF/SRF, όπως ήδη έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, είτε στις τοιμεντοβιομηχανίες είτε στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζονται σε αέρια, υγρή αλλά και στερεή μορφή. Η περαιτέρω επεξεργασία των παραπροϊόντων της αποτέφρωσης αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της διεργασίας που ακολουθείται σε μονάδες θερμικής επεξεργασίας, προκειμένου να επιτευχθεί η ασφαλής διάθεσή αυτών. Οι μονάδες παραγωγής τοιμέντου πλεονεκτούν σε σχέση με τις μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας διότι τα στερεά και τα υγρά υπολείμματα (π.χ. υγρά επεξεργασίας αερίων, ιπτάμενη τέφρα, υπολείμματα καύσης, σκόνη σακκόφιλτρων) ενσωματώνονται στο κλίνκερ. Κάτι αντίστοιχο δεν συμβαίνει στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής όπου έχουμε παραγωγή τέφρας. Το πλεονέκτημα αυτό των μονάδων παραγωγής τοιμέντου, συν το γεγονός ότι ο αριθμός των τοιμεντοβιομηχανιών στην Ελλάδα είναι υψηλός συντελεί

στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι ο ενδεδειγμένος τρόπος αξιοποίησης του RDF/SRF, για τις εγχώριες συνθήκες, είναι η συναποτέφρωσή του τοιμεντοβιομηχανίες.

Πιο αναλυτικά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τέφρα του καυσίμου και συγκεκριμένα τα οξείδια του ανόργανου μέρους της (π.χ. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$, SO_3) τα οποία αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στις μονάδες συναποτέφρωσης (τοιμεντοβιομηχανίες, ενεργειακές μονάδες κ.λ.π). Στη βιομηχανία τοιμέντου η χρησιμοποίηση στερεών καυσίμων στις περιστροφικές καμίνους έχει ως αναπόφευκτη συνέπεια την περίπου κατά 100% απορρόφηση της τέφρας του από το κλίνκερ και τη συνεπακόλουθη μικρής κλίμακας τροποποίηση της σύστασης των πρώτων υλών. Η σύσταση αυτή του ανόργανου μέρους της τέφρας περιέχει οξείδια αντίστοιχα με αυτά των πρώτων υλών τα οποία θα πρέπει πλέον να υπολογίζονται ως συστατικά του μίγματος των πρώτων υλών. Ιδιαίτερα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα SO_3 του καυσίμου λόγω των προβλημάτων που αυτά επιφέρουν. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η συναποτέφρωση του RDF του ΕΜΑΚ σε τοιμεντοβιομηχανίες αποτελεί την βέλτιστη λύση για την χρησιμοποίησή του, αφού ελεγχθούν τα οξείδια της τέφρας του RDF (αφορμή διεξαγωγής νέας επιστημονικής έρευνας).

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η χρήση του RDF/SRF στις τοιμεντοβιομηχανίες φαίνεται να είναι θετική διότι η καύση του προκαλεί μείωση κατά 1.61kg CO_2 ανά kg χρησιμοποιούμενου RDF, σε σύγκριση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα (G.Genon-E.Brizio, Science Direct,2008).

8. Βιβλιογραφία

Ξένα Βιβλιογραφία

- ❑ European Environmental Citizens Organization for Standardization (ECOs), Position of the Environmental NGOS on the Standardisation of the Recovered Fuels, 2005
- ❑ G.Genon-E.Brizio, Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF, Science Direct, 2008
- ❑ L.F.Diaz-G.M.Savage, Production and quality of Refuse Derived Fuel (RDF), Proceedings Venice 2006, Biomass and Waste to Energy Symposium.
- ❑ RAL German Institute for Quality Assurance and Certification, Solid Recovered Fuels-Quality Assurance RAL-GZ 724, 2001
- ❑ CalRecovery Inc, Handbook of Solid Waste Properties, 1993
- ❑ Kurzfassung, Combustion Behaviour of Refuse derived Fuels (RDF)-Development of a Characterisation Method, VGB PowerTech 2005
- ❑ Refuse Derived Fuel-Current Practice and Perspectives, Final Report, European Commission, 2003
- ❑ ASTM E 829-94: Standard test method for forms preparing Refused-Derived Fuel (RDF) Laboratory Samples for Analysis.
- ❑ ASTM E 856-83: Standard Definitions of Terms and Abbreviations Relating to Physical and Chemical Characteristics of Refused-Derived Fuel
- ❑ ASTM E 949-88: Standard test method for forms total moisture in a Refused-Derived Fuel laboratory sample.
- ❑ ASTM E 711-87: Standard test method for gross calorific value of Refused-Derived Fuel by the bomb calorimeter.
- ❑ ASTM E 776-87: Standard test method for forms of chlorine in Refused-Derived Fuel
- ❑ ASTM E 778-87: Standard test method for forms Nitrogen in the Analysis Sample of Refused-Derived Fuel
- ❑ ASTM E 830-87: Standard test method for ash in the analysis sample

of Refused-Derived Fuel.

- ❑ ASTM E 777-87: Standard test method for carbon and hydrogen in the analysis sample of Refused-Derived Fuel.FUEL.
- ❑ ASTM E 897-88: Standard test method for volatile matter in the analysis sample of Refused-Derived Fuel.
- ❑ Final Draft prCEN/TS 15359

Ελληνική Βιβλιογραφία

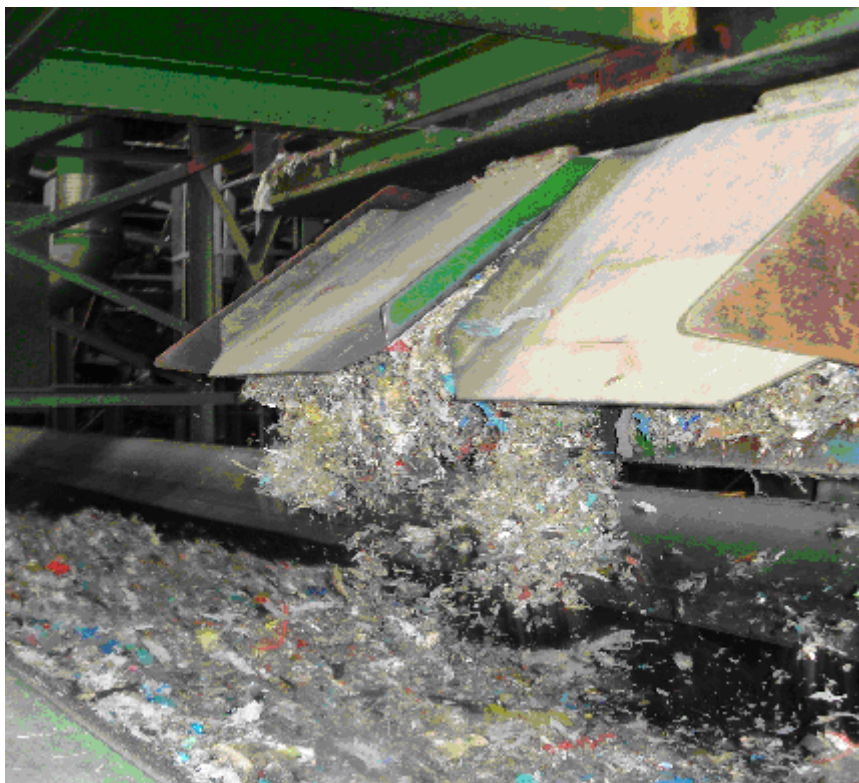
- ❑ Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών
- ❑ Οδηγία 2009/28/ΕΚ ου Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ
- ❑ Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων
- ❑ Οδηγία 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 4ης Δεκεμβρίου 2000, για την αποτέφρωση των αποβλήτων
- ❑ Οδηγία 2006/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Απριλίου 2006 , περί των στερεών αποβλήτων
- ❑ Οδηγία 2000/76/ΕΚ για την αποτέφρωση των αποβλήτων
- ❑ Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (IPPC 96/61/ΕΕ)
- ❑ Ε.Κακκαράς, Ενεργειακή αξιοποίηση στερεού καυσίμου ανακτηθέντος από απορρίμματα- Τυποποίηση και Εφαρμογές, Ημερίδα ΕΕΔΣΑ, 28-5-2009
- ❑ Κ.Λαζαρίδη, Η διαχείριση των αποβλήτων μπροστά στις προκλήσεις του Ευρωπαϊκού Θεσμικού Πλαισίου, 3ο Συνέδριο ΕΕΔΣΑ, 2009
- ❑ Κ.Κολοβός, Η Χρήση Δευτερογενών Υλικών και Καυσίμων στη Βιομηχανία Τσιμέντου, Εκδήλωση ΤΕΕ
- ❑ Δ.Αργυρόπουλος, Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικής Εκτίμησης του Ειδικού Χωροταξικού Σχεδίου για τη Βιομηχανία, ΥΠΕΧΩΔΕ

- ❑ Ε.Γιδαράκος, Διαχείριση Αστικών Απορριμμάτων και Τοξικών Αποβλήτων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, Πολυτεχνείο Κρήτης
- ❑ ΤΕΕ, Μελέτη «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων / Η περίπτωση της Αττικής», Νοέμβριος 2006
- ❑ Δ.Παναγιωτακόπουλος, Βιώσιμη Διαχείριση Στερεών αποβλήτων, Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ
- ❑ Α.Σκορδίλης, Η Θερμική επεξεργασία Απορριμμάτων και RDF, Εκδόσεις ΚΟΣΜΟΣ
- ❑ Σίσκος, Composition and Chemical Properties of RDF Produced at a MSW Mechanical Separation Plant in Greece, Ημερίδα ΕΕΣΔΑ 28-5-2009
- ❑ Σ.Τοίμας-Σ.Τσιβιλής, Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμ.Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- ❑ Ε.Γιδαράκος, Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση-Επεξεργασία-Διάθεση, Εκδόσεις Ζυγός,, 2006

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- ❑ www.eedsa.gr
- ❑ www.minenv.gr
- ❑ www.engineerengtoolbox.com
- ❑ www.herrco.gr
- ❑ www.europa.eu.int

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 1: Τεμαχιστές RDF στο ΕΜΑΚ Α.Λιουσίων.



Εικόνα 2: RDF χύδην (ΕΜΑΚ Α.Λιουσίων).



Εικόνα 3: Δεματοποίηση RDF (ΕΜΑΚ Α.Λιυσίων).



Εικόνα 4: Μεταφορά δέματος RDF (ΕΜΑΚ Α.Λιυσίων).



Εικόνα 5: Δέματα (μπάλες) RDF (ΕΜΑΚ Α.Λιουσίων).

