



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

*Τηλ: 2310 994352, 6973 841753.  
E-mail: pbiskas@auth.gr*



**ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΟΜΙΛΟΥ Δ.Ε.Η.**

**ΙΔΡ. ΜΕΛΟΣ ΓΕΝ.Ο.Π./Δ.Ε.Η.-Κ.Η.Ε.  
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΟ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΕΙΟ  
(Αρ. Απόφασης 1583/56 Πρωτοδικείου Αθηνών)**

*Στουρνάρη 73-75, 104 32 Αθήνα. Url: [www.sdmdei.gr](http://www.sdmdei.gr)  
Τηλ. 210 5220852, 5238551. E-mail: [sdmdei@otenet.gr](mailto:sdmdei@otenet.gr)*

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ – ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

Εκπονήθηκε από το Α.Π.Θ., κατόπιν ανάθεσης και συμβολής του  
ΣΥΛΛΟΓΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΜΙΛΟΥ ΔΕΗ (& ΑΔΜΗΕ)

**ΑΘΗΝΑ**

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2020**

## ΣΥΜΒΑΣΗ ΕΡΓΟΥ

Για τη μελέτη διερεύνησης επιπτώσεων εφαρμογής του Εθνικού Σχεδίου για την  
Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αναφορικά με τη χρήση των λιγνιτικών και  
υδραντλητικών μονάδων της ΔΕΗ πριν και μετά το 2030

Μεταξύ

του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης του  
Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανικών Ομίλου ΔΕΗ και του  
κ. Παντελή Μπίσκα, Αναπληρωτή Καθηγητή της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ

Ιανουάριος 2020

<b>ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟ</b>	<b>ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΠΟΔΕΚΤΗ</b>	<b>Ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ</b>
<b>Ο Πρόεδρος της Ε.Ε. ΑΠΘ</b>	<b>Ο Νόμιμος Εκπρόσωπος ΣΔΜ ΟΜΙΛΟΥ ΔΕΗ</b> (Απόφαση ΔΣ, 16.1.2020)	
<b>Ευστράτιος Στυλιανίδης</b> <b>Αν. Καθηγητής</b> <b>Αντιπρύτανης Έρευνας</b> <b>και Διά Βίου Εκπαίδευσης</b>	<b>Γρηγόρης Μπαρμπαγιάννης</b> <b>Πρόεδρος</b>	<b>Παντελής Μπίσκας</b> <b>Αναπληρωτής Καθηγητής</b> <b>Πολυτεχνικής Σχολής ΑΠΘ</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Αρκτικόλεξα.....	2
Λίστα Πινάκων.....	3
Λίστα Σχημάτων.....	3
Επιτελική Σύνοψη .....	4
1. Εισαγωγή.....	7
2. Νομικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων .....	9
3. Διαθέσιμες Τεχνολογίες για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων .....	12
4. Τεχνολογία της Μαζικής Αποτέφρωσης των Αστικών Απορριμμάτων .....	15
5. Σύνθεση και Θερμογόνος Δύναμη των Στερεών Αστικών Απορριμμάτων .....	19
6. Ενεργειακή απόδοση.....	21
7. Οικονομική ανάλυση .....	24
7.1 Εισαγωγή .....	24
7.2 Έσοδα .....	24
7.3 Έξοδα Λειτουργίας και Συντήρησης .....	25
7.4 Κόστος Επένδυσης .....	26
7.5 Χρηματοδότηση, Κεφαλαιακή Δομή & Χρηματοοικονομικές Παραδοχές .....	27
7.6 Οικονομική Απόδοση και Ανάλυση Ευαισθησίας .....	27
8. Βιβλιογραφία .....	29

## Αρκτικόλεξα

ΑΣΑ	Αστικά Στερεά Απορρίμματα
CHP	Combined Heat Power
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΣΔΑ	Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Απορριμμάτων
IRR	Internal Rate of Return – Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης
ΚΔΑΥ	Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Απορριμμάτων
ΜΒΕ	Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία
ΟΤΑ	Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης
ΠΕΣΔΑ	Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Απορριμμάτων
RDF	Refuse-Derived Fuel
SRF	Solid Recovered Fuel
ΦοΣΔΑ	Φορείς Διαχείρισης Απορριμμάτων
ΧΑΔΑ	Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων
ΧΥΤΑ	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
ΧΥΤΕΑ	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Επικίνδυνων Απορριμμάτων

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 5-1. Σταθμισμένη θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων .....	20
Πίνακας 5-2. Μέση θερμογόνος δύναμης των σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων σε διάφορες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας.....	20
Πίνακας 7-1. Κόστος επένδυσης από υφιστάμενες μονάδες μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων .....	26
Πίνακας 7-2. Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας οικονομικής απόδοσης έργου .....	28

## Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2-1. Ιεράρχηση Πρακτικών για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων.....	9
Σχήμα 3-1. Διαθέσιμες Τεχνικές Λύσεις για την Διαχείριση των Απορριμμάτων.....	12
Σχήμα 4-1. Γενική Διάταξη Μονάδας Μαζικής Αποτέφρωσης Απορριμμάτων [4].....	15
Σχήμα 5-1. Σύνθεση Στερών Απορριμμάτων στην Ελλάδα [5] .....	19
Σχήμα 6-1. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Μαζικής Καύσης Απορριμμάτων [7] .....	21
Σχήμα 6-2. Ενδεικτική Ενεργειακή Απόδοση Μονάδας Αποτέφρωσης Απορριμμάτων.....	22

## Επιτελική Σύνοψη

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να θέσει το τεχνικό και οικονομικό υπόβαθρο της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων - ειδικότερα της τεχνολογίας της μαζικής αποτέφρωσης (mass incineration) - για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, υπό το πρίσμα πιθανής μελλοντικής επιχειρηματικής εμπλοκής της ΔΕΗ στην υλοποίηση έργων από τις Περιφέρειες και τους φορείς της τοπικής αυτοδιοίκησης για την αντιμετώπιση του οξύτατου προβλήματος της διαχείρισης απορριμμάτων στην Ελλάδα.

Στόχος της μελέτης δεν είναι ο σχεδιασμός ή η σε βάθος τεχνική ανάλυση της διαδικασίας της μαζικής αποτέφρωσης των απορριμμάτων, αλλά η πρακτική προσέγγιση για τη διαμόρφωση ολοκληρωμένης άποψης για την τεχνική σκοπιμότητα και οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος. Στόχος είναι επίσης η τεκμηρίωση της ανταγωνιστικότητας της τεχνολογίας αυτής σε σχέση με άλλες τεχνικές λύσεις διαχείρισης απορριμμάτων στις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα. Ιδιαίτερη σημασία έχει η κατανόηση των κύριων παραγόντων που θα επηρεάσουν την ενδεχόμενη μελλοντική υλοποίηση μονάδων αποτέφρωσης απορριμμάτων και παραγώγων τους στην Ελλάδα, καθώς και το ελληνικό και ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο που διέπει την διαχείριση των απορριμμάτων και την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Η μελέτη βασίζεται στη σύνθεση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας αλλά και στην προσωπική εμπειρία και ενεργό συμμετοχή στον κλάδο της διαχείρισης απορριμμάτων τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη είναι τα εξής:

1. Η αποτέφρωση των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) προβλέπεται από την κείμενη Κοινοτική και Ελληνική νομοθεσία.
2. Η αποτέφρωση των απορριμμάτων αποτελεί σημαντική τεχνική λύση στο μείγμα τεχνολογιών για την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων σε πολλές χώρες, όπως π.χ. στη Γερμανία, όπου έχουν θεσπιστεί αυστηροί περιβαλλοντικοί όροι. Ενδεικτικό είναι ότι σήμερα λειτουργούν παγκοσμίως περίπου 2,5 χιλιάδες μονάδες μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων οι οποίες διαχειρίζονται περισσότερους από 350 εκατομύρια τόνους απορριμμάτων ετησίως.
3. Για να προκύψουν μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων στην Ελλάδα πρέπει να ενταχθούν στον Περιφερειακό Σχεδιασμό Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΠΕΣΔΑ), όπου Περιφέρειες μαζί με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και τους φορείς της τοπικής αυτοδιοίκησης έχουν την ευθύνη να χωροθετήσουν, να αδειοδοτήσουν και να προκηρύξουν δημόσιους διαγωνισμούς για την υλοποίηση τέτοιων μονάδων.
4. Αποκλειστικά στηριζόμενες σε ιδιωτική πρωτοβουλία είναι δυνατά μονάδες αποτέφρωσης των υπολειμμάτων που προκύπτουν από τα Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ), δηλαδή την επεξεργασία του «μπλέ κάδου», καθώς επίσης και των δευτερογενών καυσίμων (Refuse-Derived Fuel & Solid Recovered Fuel) που προκύπτουν από τις μονάδες Μηχανικής Βιολογικής

Επεξεργασίας (MBE) απορριμμάτων που υφίστανται σήμερα και προωθούνται σε μεγάλο βαθμό ως βέλτιστη τεχνική λύση διαχείρισης των απορριμμάτων στην Ελλάδα.

5. Οι μονάδες αποτέφρωσης αποτελούν σημαντικό μερίδιο των τεχνικών λύσεων διαχείρισης απορριμμάτων, και είναι συμπληρωματικές στο μείγμα ολοκληρωμένων λύσεων διαχείρισης απορριμμάτων. Σε καμία περίπτωση δεν συγκρούονται με τις τεχνολογίες ανακύκλωσης. Τρανταχτό παράδειγμα είναι η αγορά της Γερμανίας η οποία πετυχαίνει πολύ υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης των οικιακών απορριμμάτων – ποσοστά που ξεπερνούν το 70% - και ταυτόχρονα λειτουργεί 60 μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων με συνολική δυναμικότητα 20 εκατομμυρίων τόνων ετησίως. Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα δεν έχουν εγκατασταθεί μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων ενώ τέτοιες μονάδες υφίστανται σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις. Ενδεικτικά αναφέρουμε μονάδες στην Βιέννη, Μόναχο, Βερολίνο, Κοπενχάγη, Μάλμο, Ζυρίχη, Άμστερταμ, και Βαρκελώνη.
6. Η έλλειψη οικιακών και βιομηχανικών καταναλωτών καθώς επίσης και η υποδομή μεταφοράς ατμού στην Ελλάδα καθιστούν εξαιρετικά δύσκολο το να προκύψουν μονάδες συμπαραγωγής από την αποτέφρωση των απορριμμάτων. Σε κάθε περίπτωση όμως, ακόμη και μόνο με την εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την αποτέφρωση των απορριμμάτων, οι μονάδες αυτές είναι οικονομικά βιώσιμες και πιο ανταγωνιστικές σε σχέση με τις μονάδες MBE, αφού είναι οικονομικά βιώσιμες με χαμηλότερες τιμές εισόδου (gate fee/tipping fee) ανά τόνο. Ο δείκτης εσωτερικής απόδοσης (IRR) των ιδίων κεφαλαίων που απαιτούνται για την επένδυση μίας μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων συνολικής δυναμικότητας πεντακοσίων χιλιάδων τόνων ετησίως (43,75 MW ηλεκτρική εγκατεστημένη ισχύς) κυμαίνεται από 11% έως 15%, με κατά 20% μικρότερη τιμή χρέωσης εισόδου ανά τόνο σε σχέση με εναλλακτικές τεχνολογίες που έχουν εφαρμοστεί στην Ελλάδα και οι οποίες μάλιστα υλοποιούνται με δημόσια επιδότηση.
7. Το ενδέχομενο μετατροπής του εργοστασίου της ΔΕΗ στην Πτολεμαίδα από εργοστάσιο καύσης λιγνίτη σε εργοστάσιο καύσης ΑΣΑ συναντά σημαντικά θεσμικά, τεχνικά και οικονομικά εμπόδια: α) για να υλοποιηθούν μονάδες καύσης ΑΣΑ επιβάλλεται να προβλέπονται στον ΠΕΣΔΑ, χωροθετούνται και αδειοδοτούνται από τις Περιφέρειες σε σημεία της δικιάς τους επιλογής και είναι αντικείμενο δημόσιων διαγωνισμών, β) η τεχνική διάταξη εργοστασίου καύσης ΑΣΑ διαφοροποιείται σημαντικά από αυτή της καύσης λιγνίτη λόγω της σύνθεσης, ανομοιογένειας και διαφορετικής θερμογόνου δύναμης των ΑΣΑ, με ότι αυτό συνεπάγεται για τους χώρους υποδοχής, την τεχνολογία του καυστήρα, τον βέλτιστο σχεδιασμό του λέβητα, και το σύστημα καθαρισμού των αέριων ρύπων, γ) η Πτολεμαίδα είναι αρκετά μακριά από την Θεσσαλονίκη και την κρίσιμη μάζα ΑΣΑ με δυσμενείς επιπτώσεις στο κόστος μεταφοράς. Για το λόγο αυτό, και κατόπιν πρότασης του Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανικών Ομίλου ΔΕΗ & ΑΔΜΗΕ, θεωρείται ότι αφορά νέα μονάδα (όχι τροποποίηση υπάρχουσας) και η τοποθεσία της επένδυσης είναι στην περιοχή Αγίου Δημητρίου (Δυτική Μακεδονία).

8. Στην Ελλάδα χρειάζεται να υλοποιηθούν τουλάχιστον δύο μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ, οι οποίες θα μπορούσαν να σχεδιαστούν, έτσι ώστε να δέχονται και τα υπολείμματα των ΚΔΑΥ, και των δευτερογενών καυσίμων που προέρχονται από τα απορρίμματα (RDF & SRF), ιδανικά στις περιοχές των δύο μεγάλων αστικών κέντρων της χώρας, Αθήνας και Θεσσαλονίκης όπου παράγεται περίπου το 60% των συνολικών ΑΣΑ στην Ελλάδα. Οι ποσότητες των απορριμμάτων που απαιτούνται για τη μονάδα αποτέφρωσης υπό εξέταση ανέρχονται στις πεντακόσιες χιλιάδες τόνους ετησίως. Οι ποσότητες αυτές μπορούν να εξασφαλισθούν από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Ο πληθυσμός της περιοχής είναι περίπου ένα εκατομύριο κάτοικοι και ο μέσος όρος παραγωγής απορριμμάτων είναι περίπου μισός τόνος κατά κεφαλή κι ανά έτος, ήτοι πεντακόσιες χιλιάδες τόνοι ετησίως. Σημειώνουμε ότι ποσότητες απορριμμάτων της Δυτικής Μακεδονίας διατίθενται ήδη στην μονάδα ΜΒΕ της Κοζάνης η οποία προέκυψε μετά από δημόσιο διαγωνισμό με τη μορφή Σύμπραξης Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ).



## 1. Εισαγωγή

Η διαχείριση των απορριμμάτων είναι διεθνές πρόβλημα αλλά οι λύσεις είναι τοπικές. Ο παγκόσμιος πληθυσμός παράγει περίπου 2 δισεκατομμύρια τόνους ΑΣΑ ετησίως. Σε πολλές χώρες η διαχείριση των απορριμμάτων δημιουργεί μεγάλες πολιτικές και περιβαλλοντικές δυσκολίες. Ειδικά στις μη αναπτυγμένες χώρες το πρόβλημα είναι τεράστιο με αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Οι τοπικοί πληθυσμοί φοβούνται την πιθανή μόλυνση του περιβάλλοντος από την ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων ενώ την ίδια στιγμή διαθέτουν τα απορρίμματα σε ανεξέλεγκτους χώρους διάθεσης (χωματερές) με δυσμενέστερες συνέπειες στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία, φαινόμενο το οποίο ζούμε και στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα αντιμετωπίζει οξύτατο πρόβλημα στο θέμα της διαχείρισης των στερεών αστικών απορριμμάτων, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, αλλά και των μεγάλων οικονομικών προστίμων που επιβάλλονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) για την μη συμμόρφωσή της χώρας με τις Οδηγίες της και τη λειτουργία ακόμη και χωματερών (η χώρα έχει ήδη πληρώσει περισσότερα από €100 εκατ. σε πρόστιμα). Εντούτοις, συχνά προβάλλονται έντονες αντιδράσεις για την επίπτωση στο περιβάλλον σύγχρονων τεχνικών λύσεων, και γενικά οι πολίτες αλλά και οι αρμόδιοι φορείς διακατέχονται από άγνοια.

Τα μεγάλα ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα: Πώς ιεραρχούμε τη διαχείριση των απορριμμάτων μαζί με άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα; Πώς ορίζουμε την ιεράρχηση της διαχείρισης των απορριμμάτων, έτσι ώστε να παρέχει προτεραιότητα στην πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, κομποστοποίηση, ενεργειακή αξιοποίηση και την ταφή των απορριμμάτων; Ποιες είναι οι ρεαλιστικές λύσεις σήμερα; Μπορούμε να επωφεληθούμε και να δημιουργήσουμε κάτι χρήσιμο από τα απορρίμματα;

Η απάντηση είναι ότι πρέπει κατ' αρχήν να αντιληφθούμε ότι τα απορρίμματα δεν είναι «για πέταγμα» αλλά ότι είναι ωφέλιμοι πόροι. Κατά συνέπεια, πρέπει να περάσουμε από την αντίληψη της διαχείρισης απορριμμάτων στη διαχείριση πόρων, και από την γραμμική στη κυκλική οικονομία. Αυτό σημαίνει ότι η ιεραρχία της διαχείρισης των απορριμμάτων θα πρέπει να μας οδηγήσει στο να μειώσουμε την παραγωγή απορριμμάτων, να υπάρξει διαλογή των απορριμμάτων στην πηγή για ανακύκλωση και κομποστοποίηση, και ενεργειακή αξιοποίηση. Όλες αυτές οι επιλογές είναι μέρος της λύσης στο αυξανόμενο πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων και μαζί αποτελούν μια ολοκληρωμένη λύση, φιλική προς το περιβάλλον και ασφαλή για τη δημόσια υγεία. Τα απορρίμματα μπορούν να θεωρηθούν ως χρήσιμα προϊόντα της καθημερινής μας ζωής.

Δυστυχώς στην Ελλάδα πολλές φορές συζητάμε τα αυτονόητα και προσπαθούμε να «ξανα-ανακαλύψουμε τον τροχό». Σήμερα στην Ελλάδα περίπου το 80% των ΑΣΑ οδηγούνται για ταφή και πολλά από αυτά καταλήγουν σε χωματερές, όταν άλλες Ευρωπαϊκές χώρες έχουν ξεπεράσει τους στόχους του 2020 που έχουν τεθεί στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ! Συζητάμε για διαλογή στη πηγή που εφαρμόζεται σε πολλές χώρες της ΕΕ για καλύτερη αξιοποίηση των απορριμμάτων, αλλά αδυνατούμε να αντιληφθούμε ότι αυτό απαιτεί πολλά χρόνια για να εμπεδωθεί στα κοινωνικά σύνολα και ότι για τα διαχωρισμένα στην πηγή απορρίμματα χρειάζεται υποδομή για την αξιοποίηση τους

και ότι πάντοτε θα υπάρχει υπόλειμμα το οποίο δεν μπορεί να ανακυκλωθεί αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά. Οι ολοκληρωμένες τεχνικές λύσεις που έχουν εφαρμοστεί στην Ευρώπη και σε άλλες αναπτυγμένες χώρες και αποδεδειγμένα λειτουργούν σε εμπορική κλίμακα εδώ και πολλά χρόνια είναι δεδομένες, πολύ συγκεκριμένες και προφανώς πληρούν τους πολύ αυστηρούς περιβαλλοντικούς όρους των χωρών αυτών. Αφού λοιπόν οι τεχνικές λύσεις είναι δεδομένες και πληρούν αυστηρούς περιβαλλοντικούς όρους, αυτό που πρέπει να απασχολεί τους αρμόδιους τοπικούς φορείς στην Ελλάδα είναι η επιλογή βέλτιστων από οικονομικής άποψης τεχνικών λύσεων. Οι ερωτήσεις που θα καθορίσουν τη βέλτιστη τεχνική λύση είναι αμιγώς οικονομικές/εμπορικές, π.χ., η σύνθεση των απορριμμάτων και η περιεκτικότητα σε υψηλής αξίας ανακυκλώσιμα υλικά, η θερμογόνο δύναμη και η δυνατότητα εκμετάλλευσης του παραγόμενου ατμού, η τιμή πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρισμού, η δυνατότητα αξιοποίησης των δευτερογενών καυσίμων RDF & SRF που παράγονται από τις μονάδες ΜΒΕ, η δυνατότητα αξιοποίησης του κόμποστ, κτλ.

Την ώρα που οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται κατακόρυφα και η ανάγκη για νέους ενεργειακούς πόρους είναι μείζον και επείγον θέμα, επιβάλλεται να περάσουν τα μηνύματα στις τοπικές κοινωνίες ότι τα απορρίμματα αποτελούν νέα πηγή ενέργειας, χρήσιμο οικονομικό και περιβαλλοντικό πόρο και επομένως ότι πρέπει να μεταβούμε από την αντίληψη της διαχείρισης των απορριμμάτων στην διαχείριση ωφέλιμων πόρων.

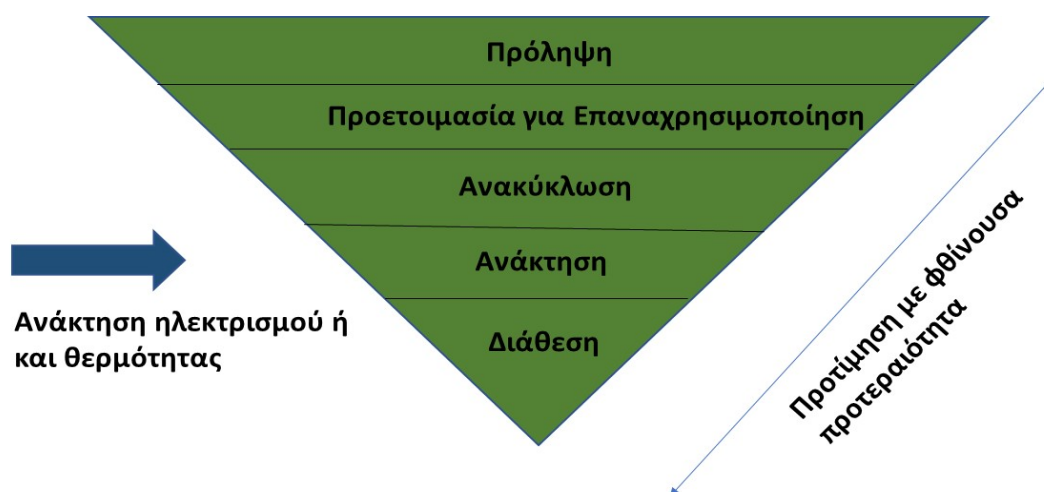
Σημαντικό μήνυμα αποτελεί επίσης το γεγονός ότι η θερμική αξιοποίηση των απορριμμάτων είναι απολύτως ασφαλής για την δημόσια υγεία και την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό τεκμαίρεται από το γεγονός ότι σήμερα υπάρχουν ενεργές περίπου 2.450 μονάδες θερμικής επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων παγκοσμίως, με δυναμικότητα περίπου 368 εκατομμυρίων τόνων ετησίως. Οι προβλέψεις κάνουν λόγο για περίπου 2.700 μονάδες με δυναμικότητα 530 εκατομμυρίων τόνων ετησίως μέχρι το 2028 [1]. Στην Γερμανία, η χώρα με τους πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς όρους παγκοσμίως, λειτουργούν 60 μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων με συνολική δυναμικότητα 20 εκατ. τόνων ετησίως [2].

Προφανώς για όλα αυτά επιβάλλεται ισχυρή πολιτική βούληση σε όλα τα επίπεδα, κατάλληλη ενημέρωση των πολιτών, και συστηματική δουλειά.

## 2. Νομικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων

Το νομικό πλαίσιο σχετικά με την διαχείριση των ΑΣΑ περιλαμβάνει μια σειρά Ευρωπαϊκών Οδηγιών και τροποποιήσεων, οι οποίες έχουν ενσωματωθεί στην κείμενη ελληνική νομοθεσία. Η προσέγγιση της ΕΕ στο θέμα της διαχείρισης των απορριμμάτων βασίζεται στις αρχές της πρόληψης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης, ανάκτησης και διάθεσης. Οι πιο σημαντικές Οδηγίες και νόμοι για σκοπούς της μελέτης συνοψίζονται ως εξής:

- Μια από τις πιο σημαντικές νομοθετικές παρεμβάσεις είναι η Οδηγία 2008/98/ΕΚ, η Οδηγία Πλαίσιο για την διαχείριση των απορριμμάτων. Η Οδηγία θεσπίζει την ιεράρχηση των τεχνικών λύσεων για την διαχείριση των απορριμμάτων με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας. Η Οδηγία Πλαίσιο για τη διαχείριση των απορριμμάτων απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 2-1. Σύμφωνα με αυτό, πρώτη σε προτίμηση είναι η πρόληψη, μετά ακολουθεί η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η ανάκτηση (π.χ., ανάκτηση ενέργειας) και τέλος η διάθεση. Η Οδηγία επίσης θεσπίζει την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και τη «διευρυμένη ευθύνη των παραγωγών», καθώς επίσης ορίζει στόχους για την ανακύκλωση και την εκτροπή από την ταφή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου. Ειδικά για την τεχνολογία αποτέφρωσης απορριμμάτων η Οδηγία θεσπίζει συγκεκριμένο δείκτη/κριτήριο ενεργειακής απόδοσης (R1) έτσι ώστε να μπορούμε να διακρίνουμε και να χαρακτηρίζουμε την αποτέφρωση απορριμμάτων ως ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων ως πρωταρχικό στόχο ή ως διάθεση των απορριμμάτων, δηλαδή την μείωση του όγκου και της μάζας των απορριμμάτων ως πρωταρχικό στόχο.



Σχήμα 2-1. Ιεράρχηση Πρακτικών για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων

- Για τους σκοπούς της μελέτης εξίσου σημαντική είναι και η Οδηγία 2000/76/ΕΚ για την αποτέφρωση των απορριμμάτων μαζί με πρόσφατες τροποποιήσεις, η οποία θέτει

τις συνθήκες λειτουργίας και λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη ή τον περιορισμό της ρύπανσης του αέρα, του νερού και του εδάφους, η οποία προέρχεται από την αποτέφρωση των απορριμμάτων.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η πλήρης ολοκλήρωση της καύσης των απορριμμάτων, η Οδηγία προβλέπει την υποχρέωση διατήρησης των αερίων καύσεως που προκύπτουν από την αποτέφρωση σε ελάχιστη θερμοκρασία 850<sup>0</sup> C τουλάχιστον για δύο δευτερόλεπτα, και η θερμότητα που παράγεται πρέπει να ανακτάται στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Συνεπώς η Οδηγία προβλέπει ότι οι μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων πρέπει να διαθέτουν βοηθητική μονάδα καύσης με συμβατικά καύσιμα, έτσι ώστε να είναι συνεχώς εγγυημένη η ελάχιστη θερμοκρασία καύσης. Η Οδηγία επίσης θεσπίζει τις οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών για τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων που αφορούν τα βαρέα μέταλλα, τις διοξίνες και τα φουράνια, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη), τον ολικό οργανικό άνθρακα, το υδροχλώριο (HCL), το υδροφθόριο (HF), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα οξείδια του άζωτου (NO & NO<sub>2</sub>).

Η Οδηγία προβλέπει ακόμη την υποχρεωτική εγκατάσταση συστημάτων μέτρησης για την παρακολούθηση των σχετικών παραμέτρων εκμετάλλευσης και εκπομπών σε συνεχή, πραγματικό χρόνο.

- Επίσης, ο ελληνικός νόμος 3851/2010 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθορίζει την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με το ποσοστό ανακυκλώσιμων υλικών στην σύνθεση των ΑΣΑ.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι σε αυτό το πλαίσιο των Ευρωπαϊκών Οδηγιών, οι οποίες έχουν ενσωματωθεί στην κείμενη ελληνική νομοθεσία, η αρμοδιότητα για τη διαχείριση των απορριμμάτων εμπίπτει στις αρμοδιότητες του Υπουργείου Ενέργειας και Περιβάλλοντος, το οποίο είναι υπεύθυνο για την συνολική ενεργειακή και περιβαλλοντική πολιτική της χώρας και την προετοιμασία των νομοθετικών πράξεων, την εκπόνηση του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΕΣΔΑ), την γνωμοδότηση επί των προτάσεων ένταξης έργων σε χρηματοδοτικά προγράμματα, και την ευθύνη για την περιβαλλοντική αδειοδότηση των έργων. Οι Περιφέρειες είναι αρμόδιες για την σύνταξη των Περιφερειακών Σχεδιασμών Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΠΕΣΔΑ) όπου εξειδικεύονται οι τεχνικές λύσεις σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του ΕΣΔΑ, την ένταξη των έργων στα Περιφερειακά Επιχειρησιακά Προγράμματα, την ευθύνη για την περιβαλλοντική αδειοδότηση των έργων, τη χωροθέτηση και την παρακολούθηση υλοποίησης των έργων. Οι Φορείς Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΦοΣΔΑ) ή Οργανισμοί της Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) έχουν την ευθύνη υλοποίησης των έργων διαχείρισης απορριμμάτων, τη λειτουργία και συντήρηση των έργων, και την ευθύνη τιμολογιακής πολιτικής για να εξασφαλίζει τους απαραίτητους οικονομικούς πόρους για τη λειτουργία και συντήρηση των υποδομών διαχείρισης απορριμμάτων. Συνεπώς, για να υλοποιηθούν μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων πρέπει να προβλεφθούν στους ΠΕΣΔΑ.

Αποκλειστική ιδιωτική πρωτοβουλία θα μπορούσε να είναι μονάδα αποτέφρωσης των υπολειμμάτων που προέρχονται από τα ΚΔΑΥ (περίπου το 40% του «μπλε κάδου» είναι υπόλειμμα το οποίο καταλήγει στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων ή ΧΥΤΑ), καθώς επίσης και των δευτερογενών καυσίμων RDF & SRF που προέρχονται από τις ΜΒΕ

(συνολικά περίπου το 40% των εισερχομένων απορριμμάτων το οποίο και αυτό τις περισσότερες φορές καταλήγει στους ΧΥΤΑ). Φυσικά αυτό προϋποθέτει νομοθετικές ρυθμίσεις και αυστηρό έλεγχο, έτσι ώστε να αναγκαστούν οι παραγωγοί της πιο πάνω καύσιμης ύλης να την διαθέσουν σωστά και να μη την οδηγούν σε ταφή, αλλά και να επιβαρυνθούν με το κόστος διάθεσής τους σε μονάδες αποτέφρωσης.

### 3. Διαθέσιμες Τεχνολογίες για τη Διαχείριση των Απορριμμάτων

Όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-1, σήμερα υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές λύσεις για τη διαχείριση των απορριμμάτων και οι οποίες έχουν εφαρμοστεί σε εμπορική κλίμακα παγκοσμίως:

- Υγειονομική Ταφή (ΧΥΤΑ)
- Θερμική Επεξεργασία
- Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία (ΜΒΕ)



Σχήμα 3-1. Διαθέσιμες Τεχνικές Λύσεις για την Διαχείριση των Απορριμμάτων

Η Υγειονομική Ταφή των σύμμεικτων απορριμμάτων είναι η λιγότερη φιλική προς το περιβάλλον τεχνική λύση με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αφού η διαφυγή στραγγισμάτων μολύνει τον υδροφόρο ορίζοντα, το βιοαέριο που εκλύεται από την βιοαποδόμηση των οργανικών απορριμμάτων είναι 22 φορές πιο τοξικό από το διοξείδιο του άνθρακα ενώ ταυτόχρονα χάνονται πολύτιμοι πόροι. Ακόμη και όπου προβλέπεται η συλλογή και καύση σε πυρσό του βιοαερίου, ή η ενεργειακή αξιοποίηση του μέσω της καύσης του βιοαερίου σε μηχανές εσωτερικής καύσης, δεν αποτελούν βέλτιστες λύσεις, αφού η ενεργειακή απόδοση είναι πολύ χαμηλή. Σε πολλές περιπτώσεις βέβαια, όπως και στην Ελλάδα, ακόμη λειτουργούν ανεξέλεγκτοι χώροι διάθεσης αστικών απορριμμάτων (χωματερές ή ΧΑΔΑ) με ακόμη πιο δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία από την υγειονομική ταφή. Το διοξείδιο του άνθρακα από την ταφή των απορριμμάτων είναι περίπου 1,4 τόνοι ανά τόνο ΑΣΑ [3], και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα από την ταφή είναι μεγαλύτερο από την θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων.

Η ΜΒΕ των ΑΣΑ είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον, αλλά έχει υψηλό λειτουργικό κόστος και μικρά ποσοστά ανακύκλωσης. Μέσω της μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας ανακτώνται ανακυκλώσιμα υλικά, τα οποία πωλούνται στην δευτερογενή αγορά για να μετατραπούν σε πρώτη ύλη και να εισέλθουν εκ νέου στην παραγωγική διαδικασία, και

διαχωρίζεται το οργανικό κλάσμα το οποίο στη συνέχεια μέσω βιολογικής επεξεργασίας σταθεροποιείται και μετατρέπεται σε κόμποστ.

Το πρόβλημα όμως με την MBE είναι ότι το πραγματικό ποσοστό ανάκτησης είναι πολύ μικρό, περίπου 10% των εισερχομένων απορριμμάτων, και μάλιστα από αυτά μόνο τα μισά, ήτοι το 5%, έχουν θετική εμπορική αξία. Ανακυκλώσιμα υλικά, όπως το χαρτί/χαρτόνι, βρέχονται από τα στραγγίσματα των απορριμμάτων με αποτέλεσμα την διάβρωση των ινών του υλικού και την μείωση της εμπορικής του αξία. Οι πλαστικές σακούλες (film) είναι βρώμικες αφού προσκολλώνται υπολείμματα τροφών και χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία για να έχουν θετική τιμή στην δευτερογενή αγορά, με αποτέλεσμα και τα δύο αυτά ανακυκλώσιμα υλικά να καταλήγουν στην ταφή.

Επίσης ένα μεγάλο ποσοστό των ΑΣΑ που προκύπτει από την μηχανική επεξεργασία είναι και το λεγόμενο RDF, το οποίο είναι ένα μίγμα μικρών τεμαχίων χαρτιού και πλαστικού, τα οποία δεν είναι ανακτήσιμα και ωφέλιμα για την δευτερογενή αγορά ανακυκλώσιμων υλικών. Το RDF, αν και θεωρείται δευτερογενές καύσιμο με υψηλή θερμογόνο δύναμη, δεν έχει θετική τιμή στην δευτερογενή αγορά χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, αφού έχει υψηλή υγρασία (>20%) και περιέχει υψηλά ποσοστά χλωρίου (Cl) λόγω των πλαστικών, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό καύσιμο στην βιομηχανία (π.χ. στη τσιμεντοβιομηχανία), κι άρα να οδηγείται και αυτό στην ταφή.

Συνεπώς, τα μόνα υλικά που ανακτώνται και έχουν θετική αξία στην αγορά είναι τα μέταλλα, το «μαλακό πλαστικό» (PET) και το «σκληρό πλαστικό» (HDP), τα οποία όμως αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό των εισερχομένων απορριμμάτων.

Επίσης, από την μηχανική επεξεργασία των απορριμμάτων προκύπτει ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος (υπολείμματος κουζίνας) των απορριμμάτων, το οποίο οδηγείται σε αναερόβια ή αερόβια χώνευση. Στην αναερόβια χώνευση παράγεται βιοαέριο το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με πολύ όμως χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Στην περίπτωση της αερόβιας χώνευσης το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων σταθεροποιείται και παράγεται κόμποστ. Το παραγόμενο κόμποστ από ΑΣΑ - και στις δύο περιπτώσεις - είναι όμως Β ποιότητας γιατί περιέχει προσμίξεις πλαστικών, γυαλιών και βαρέων μετάλλων το οποίο δεν πληροί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εδαφοβελτιωτικού. Το κόμποστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε συνδυασμό με χώμα ως επικάλυμμα απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ ή σε αποκατάσταση χωματερών, ή στην αποκατάσταση λατομείων, άρα και αυτό καταλήγει στην ταφή. Αξίζει να σημειώσουμε ότι σε χώρες όπου έχουν προωθήσει σε μεγάλο βαθμό την διαλογή των ΑΣΑ στην πηγή, τα υπολείμματα κουζίνας («καφέ κάδος») μαζί με τα απορρίμματα κήπου (κλαδέματα) καταλήγουν σε μονάδες αναερόβιας χώνευσης, όπου συντελείται ενεργειακή αξιοποίηση και παράγεται Α ποιότητας κόμποστ, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό.

Από την όλη διαδικασία της MBE των ΑΣΑ περίπου μόνο το 5% είναι ωφέλιμα ανακυκλώσιμα υλικά και το υπόλοιπο – πέραν της υγρασίας και των στραγγισμάτων – τελικά καταλήγει στην ταφή. Συνεπώς, δαπανώνται πολλά χρήματα σε υποδομή και λειτουργικές δαπάνες (προσωπικό, ηλεκτρισμός, συντήρηση, κτλ.), για να οδηγήσουμε τελικά το μεγαλύτερο μέρος των ΑΣΑ στην ταφή.

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους επεξεργασίας απορριμμάτων τα οποία δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, η Θερμική Επεξεργασία είναι μια ασφαλής και βέλτιστη μέθοδος ανάκτησης ενέργειας, καταστροφής των επιβλαβών ουσιών, και σημαντικής μείωσης του όγκου και μάζας των απορριμμάτων. Οργανικοί ρύποι και τοξικές ουσίες καταστρέφονται σε υψηλές θερμοκρασίες, ο όγκος μειώνεται κατά περίπου 90% και η μάζα κατά περίπου 75%. Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων παράγει ηλεκτρισμό και θερμότητα τα οποία αντικαθιστούν τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η συνολική ενέργεια (ηλεκτρισμός και θερμότητα) από την επεξεργασία των απορριμμάτων θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και δύναται να παράγει ηλεκτρισμό βάσης φορτίου (base load) 365 ημέρες το χρόνο και σε 24ωρη βάση. Για αυτό τον λόγο είναι μέρος των βιώσιμων περιβαλλοντικών πολιτικών σε αναπτυγμένες χώρες.

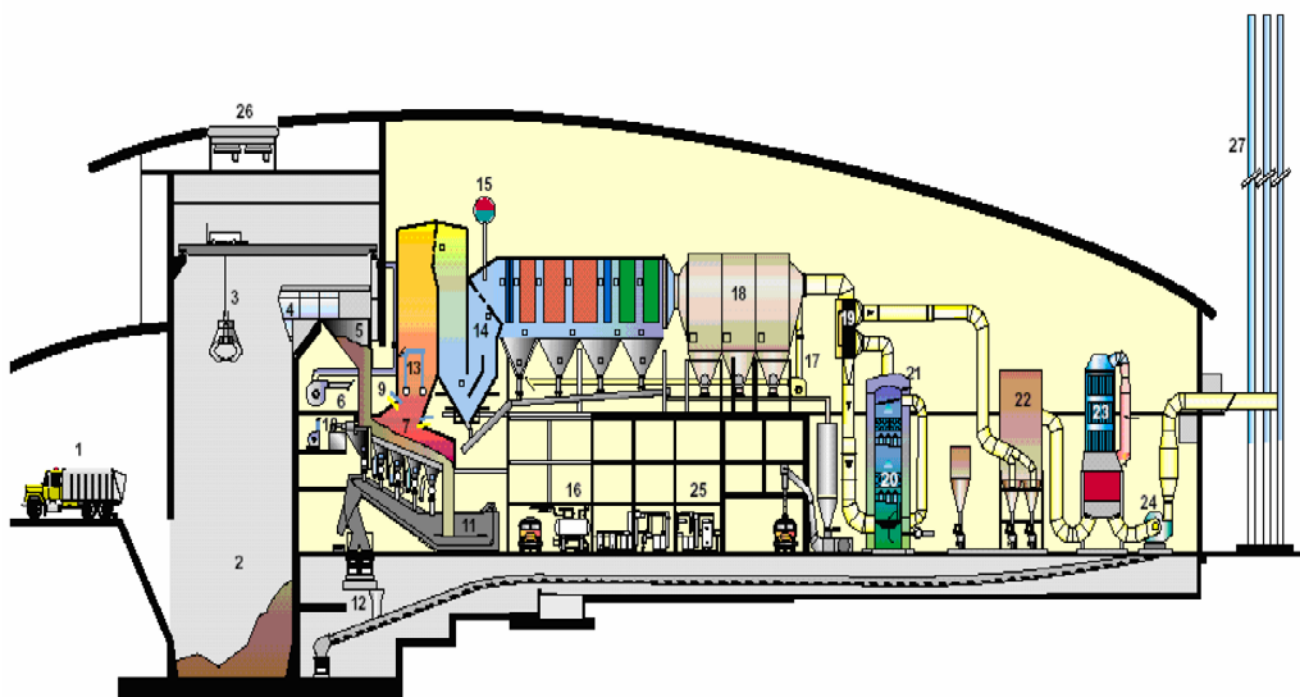
Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων μπορεί να επιτευχθεί στην απουσία αέρα (πυρόλυση), με την περιορισμένη προσθήκη αέρα (αεριοποίηση) ή με την απεριόριστη προσθήκη αέρα (αποτέφρωση). Στην περίπτωση της αποτέφρωσης τα απορρίμματα καίγονται όπως οποιοδήποτε καύσιμο και η θερμική επεξεργασία μετατρέπεται σε μονάδα παραγωγής ενέργειας. Η πυρόλυση και εν μέρει η αεριοποίηση χρειάζονται εξωτερική πηγή ενέργειας, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις η θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων επαρκεί στην περίπτωση της αποτέφρωσης. Σημειώνεται ότι η πυρόλυση και αεριοποίηση των ΑΣΑ δεν ενδείκνυνται λόγω της ανομοιογένειας της καύσιμης ύλης και του υψηλού κόστους επένδυσης και λειτουργίας, για αυτό και δεν υπάρχουν διεθνή παραδείγματα χρήσης των τεχνολογιών αυτών για την θερμική επεξεργασία ΑΣΑ σε εμπορική κλίμακα.



#### 4. Τεχνολογία της Μαζικής Αποτέφρωσης των Αστικών Απορριμμάτων

Το Σχήμα 4-1 πιο κάτω απεικονίζει την γενική διάταξη μιας κλασικής μονάδα μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων (mass incineration). Η τεχνολογία της μαζικής καύσης απορριμμάτων αποτελείται από τρία βασικά τμήματα όπου το καθένα εμπεριέχει υψηλή τεχνογνωσία και συνεχώς εξελίσσεται: 1) καυστήρας, 2) λέβητας και 3) σύστημα ελέγχου και καθαρισμού των αέριων ρύπων.

Υπάρχουν τρεις βασικές τεχνικές λύσεις/πρακτικές για την αποτέφρωση των απορριμμάτων όσον αφορά το θάλαμο καύσης: 1) αποτέφρωση σε σχάρα; 2) αποτέφρωση σε ρευστοποιημένο κλίβανο; 3) αποτέφρωση σε περιστρεφόμενο κλίβανο. Η μέθοδος του ρευστοποιημένου κλίβανου όπως και η πυρόλυση και αεριοποίηση απαιτούν τα απορρίμματα να είναι τεμαχισμένα σε μικρά τεμάχια πριν την εισαγωγή τους στον θάλαμο καύσης, ενώ στην περίπτωση της αποτέφρωσης σε σχάρα αυτό δεν απαιτείται και μόνο ογκώδη απορρίμματα επιβάλλεται να τεμαχιστούν.



##### Μεταφορά και αποθήκευση απορριμμάτων

##### Αποτέφρωση, σκωρία, ανάκτηση ενέργειας

##### Καθαρισμός αερίων και υπολείμματα καύσης

- |                                      |                            |                          |   |                              |
|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------|---|------------------------------|
| 1. Χώρος εκφόρτωσης απορριμματοφόρων | 5. Χοάνη τροφοδοσίας       | 12. Απομάκρυνση σκωρίας  | 18. Ηλεκτροστατική καθίζηση             | 23. Καταλύτης SCR            |
| 2. Χώρος αποθήκευσης απορριμμάτων    | 6. Πρωτογενής αέρας        | 13. Βοηθητικοί καυστήρες | 19. Εναλλάκτης θερμότητας               | 24. Ανεμιστήρας άντλησης     |
| 3. Σύστημα γερανού                   | 7. Σύστημα εσχάρων         | 14. Γεννήτρια ατμού      | 20. Συσκευή καθαρισμού όξινων αερίων    | 25. Ηλεκτρικό κέντρο ελέγχου |
| 4. Αίθουσα ελέγχου γερανού           | 8. Παροχή πρωτογενούς αέρα | 15. Έλεγχος ατμού        | 21. Συσκευή καθαρισμού ουδέτερων αερίων | 26. Σύστημα ψύξης νερού      |
|                                      | 9. Δευτερογενής αέρας      | 16. Συμπυκνωτής          | 22. Διαδικασία προσρόφησης              | 27. Καπνοδόχος               |
|                                      | 10. Βαλβίδα φραγής         | 17. Ανακυκλοφορία αέρα   |   |                              |
|                                      | 11. Υγρός αποσκωριωτής     |                          |   |                              |

Σχήμα 4-1. Γενική Διάταξη Μονάδας Μαζικής Αποτέφρωσης Απορριμμάτων [4]



Η βασική διαδικασία αποτέφρωσης έχει ως εξής:

- Πριν την είσοδο στην αίθουσα ανατροπής, τα απορριμματοφόρα ζυγίζονται κατά την είσοδο και έξοδο τους από την μονάδα για να προκύψει το καθαρό βάρος των απορριμμάτων και το κόστος διάθεσης τους σύμφωνα με την τιμή εισόδου (gate fee or tipping fee ) ανά τόνο.
- Στην αίθουσα ανατροπής απορριμμάτων η τάφρος (bunker) αποτελεί χώρο προσωρινής αποθήκευσης των απορριμμάτων. Τα απορρίμματα αναμειγνύονται για να επιτευχθεί καλύτερη ομοιογένεια της καύσιμης ύλης και να αποφευχθούν ακραίες διακυμάνσεις της σύνθεσης (στάχτη, νερό, καύσιμη ύλη) και της θερμογόνου δύναμης, και τα ογκώδη απορρίμματα απομακρύνονται για τεμαχισμό. Επίσης, εφαρμόζεται δειγματοληπτικός έλεγχος για την αποφυγή διάθεσης επικίνδυνων απορριμμάτων. Οι τάφροι απορριμμάτων διαστασιολογούνται για ενδιάμεση αποθήκευση 3 – 5 ημερών. Ειδικά μέτρα υιοθετούνται για την πυροπροστασία της τάφρου.
- Στο σύστημα τροφοδοσίας για την μεταφορά των απορριμμάτων από τον χώρο υποδοχής προς την χοάνη και τον θάλαμο καύσης εγκαθίσταται γερανογέφυρα, από την οποία αναρτάται αρπάγη. Η λειτουργία της γερανογέφυρας επιβλέπεται από χειριστή σε μία εξωτερική καμπίνα με καθαρό οπτικό πεδίο προς την τάφρο και την χοάνη τροφοδοσίας.
- Η χοάνη τροφοδοσίας είναι κάθετη με αρνητική κλίση και τροφοδοτεί αυτοματοποιημένα το θάλαμο καύσης με απορρίμματα σε ίσες ποσότητες. Η χοάνη είναι κατασκευασμένη για να είναι ανθεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες και ψύχεται είτε με νερό είτε με αέρα.
- Τα απορρίμματα εισέρχονται στον θάλαμο καύσης, κινούμενη σχάρα ή ρευστοποιημένος κλίβανος. Η συνήθης πρακτική, όταν η καύσιμη ύλη είναι ΑΣΑ, είναι η χρήση της κινούμενης σχάρας, ενώ όταν πρόκειται για πιο ελαφριά καύσιμη ύλη όπως RDF/SRF τότε μπορεί να γίνει και χρήση του ρευστοποιημένου κλίβανου. Πάνω στη σχάρα λαμβάνουν χώρα οι χημικές αντιδράσεις και τα απορρίμματα οξειδώνονται, εξυγιαίνονται και αδρανοποιούνται. Για την διαδικασία αυτή προσάγεται στο κάτω μέρος της σχάρας πρωτογενής αέρας με αναρρόφηση από την τάφρο των απορριμμάτων και στο πάνω μέρος της σχάρας δευτερογενής αέρας με αναρρόφηση από το περιβλήμα του λέβητα. Ο πρωτογενής αέρας αποτελεί περίπου το 75% και ο δευτερογενής αέρας το 25% του συνολικού προσαγόμενου αέρα. Ο θάλαμος καύσης πρέπει να θερμανθεί στους 850° C πριν εισέλθουν σε αυτόν απορρίμματα προς καύση και αυτή η θερμοκρασία είναι η ελάχιστη που πρέπει να διατηρηθεί κατά τη διάρκεια της καύσης. Για τους λόγους αυτούς εγκαθίσταται βοηθητικός καυστήρας ο οποίος λειτουργεί με συμβατικά καύσιμα. Η κινούμενη σχάρα ψύχεται είτε με αέρα είτε με νερό.
- Η θερμότητα που δημιουργείται στον θάλαμο καύσης μετατρέπεται σε ατμό στον λέβητα. Ο ατμός είναι η κινητήρια δύναμη της τουρμπίνας ατμού, η οποία με την σειρά της παράγει ηλεκτρισμό, ο οποίος διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Η τεχνολογία προσφέρει την δυνατότητα ο εναπομείναντας χαμηλής πίεσης ατμός μετά την παραγωγή ατμού να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανική χρήση, ή να διοχετευτεί στο σύστημα τηλεθέρμανσης πόλεων, δηλαδή όταν υπάρχουν διαθέσιμοι καταναλωτές. Όταν

υφίσταται αξιοποίηση και του ατμού τότε έχουμε μονάδα συμπαραγωγής (CHP – combined heat power).

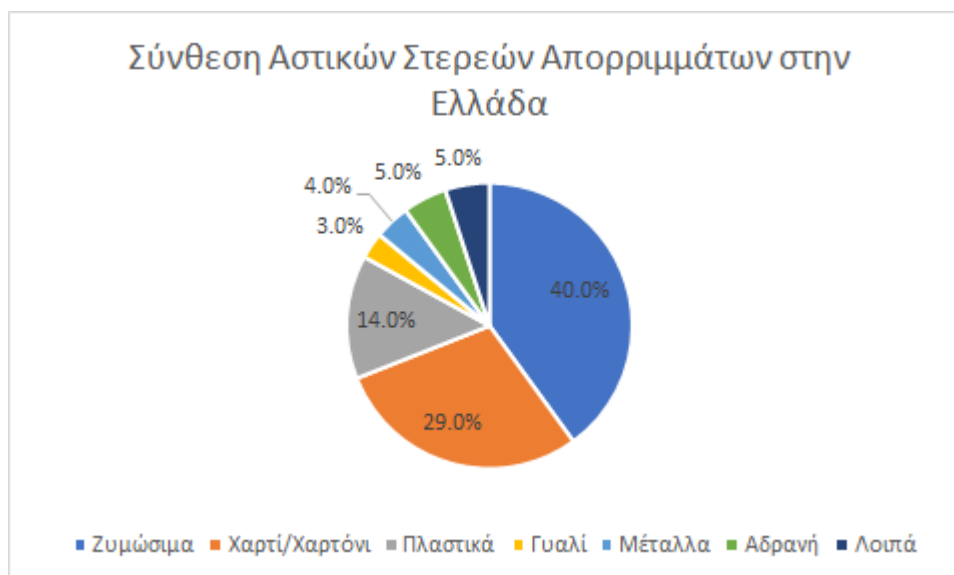
- Η τέφρα πυθμένα (bottom ash, 20% - 28% της μάζας των απορριμμάτων) που παράγεται από την αποτέφρωση των απορριμμάτων ως υπόλειμμα της διαδικασίας εξέρχεται από το κάτω μέρος του θαλάμου καύσης και η ιπτάμενη τέφρα (flying ash, περίπου 2% - 5%) μαζί με το καυσαέριο (flue gas) ανεβαίνουν προς τα πάνω και εισέρχονται στο σύστημα ελέγχου των εκπομπών όπου περνάνε διαδικασία καθαρισμού για τον περιορισμό των ρύπων. Η τέφρα πυθμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές υλικό για την παραγωγή σκυροδέματος ή ασφάλτου και ως άλλο υλικό κατασκευών (συνήθης πρακτική στην Ευρώπη) ή ως υλικό κάλυψης των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ (συνήθης πρακτική στην Αμερική). Μαγνήτες και δινορευτικά ρεύματα χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση των μετάλλων από την τέφρα. Η ιπτάμενη τέφρα είναι μολυσματική και επιβάλλεται η διάθεση της σε Χώρους Υγιεινής Ταφής Επικινδύνων Απορριμμάτων (ΧΥΤΕΑ).
- Στο σύστημα ελέγχου εκπομπών για την ιπτάμενη τέφρα και το καυσαέριο πραγματοποιείται μια σειρά διαδικασιών επεξεργασίας για την μείωση της θερμοκρασίας, την μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων, των διοξινών, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HCL, CO, βαρέων μετάλλων, άλλων ρυπογόνων σωματιδίων, στον μέγιστο δυνατό βαθμό, πριν ο αέρας εξέλθει της καμινάδας της μονάδας. Όλες οι μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων διαθέτουν συστήματα ελέγχου και περιορισμού των αέριων ρύπων έτσι ώστε να συμμορφώνονται με τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και να προάγουν την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, σύμφωνα με την Οδηγία 200/76/ΕΚ. Για τον λόγο αυτό, τα καυσαέρια της παραγωγικής διαδικασίας υφίστανται την απαραίτητη επεξεργασία με συστήματα χημικού καθαρισμού καυσαερίων, όπως ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες, σακκόφιλτρα, ενεργό άνθρακα, μη καταλυτική αναγωγή αζωτοξειδίων, κτλ. Η τεχνολογία ελέγχου και καθαρισμού των καυσαερίων έχει εξελιχθεί σημαντικά με τους αέριους ρύπους να περιορίζονται σημαντικά κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια που προβλέπουν οι Οδηγίες της ΕΕ.

## 5. Σύνθεση και Θερμογόνος Δύναμη των Στερεών Αστικών Απορριμμάτων

Η θερμογόνος δύναμη των αστικών στερεών απορριμμάτων εξαρτάται από την σύνθεση τους (περιεκτικότητα σε καύσιμη ύλη, υγρασία, τέφρα, πτητικές ύλες), και αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την τεχνική σκοπιμότητα και οικονομική βιωσιμότητα ενεργειακών σταθμών που χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη τα απορρίμματα.

Με τη πάροδο των χρόνων οι διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών αλλά και οι πρακτικές των βιομηχάνων αλλάζουν με αποτέλεσμα να αλλάζει και η σύνθεση των απορριμμάτων. Η σύνθεση των απορριμμάτων επηρεάζεται και από το οικονομικό επίπεδο των περιοχών προέλευσης των απορριμμάτων και παρουσιάζει μεταβλητότητα ανάλογα με την εποχή.

Αντιπροσωπευτική σύνθεση των αστικών απορριμμάτων κατά μέσο όρο στην Ελλάδα είναι αυτή που απεικονίζεται στο Σχήμα 5-1 πιο κάτω:



Σχήμα 5-1. Σύνθεση Στερεών Απορριμμάτων στην Ελλάδα [5]

Από την σύνθεση πιο πάνω, τα «Λοιπά» αποτελούνται από υφάσματα, δέρμα, ελαστικά και ξύλο, δηλαδή καύσιμη ύλη. Από την μέση σύνθεση αυτά που δεν καίγονται είναι το γυαλί, τα μέταλλα, και τα αδρανή.

Ο μέσος όρος θερμικής δύναμης των απορριμμάτων στην Ευρώπη είναι περίπου 10 MJ/υγρό Kg [6] και το εύρος κυμαίνεται από 9 έως 20 MJ/Kg. Τα μη επεξεργασμένα απορρίμματα είναι πλησίον της μικρότερης τιμής θερμογόνου δύναμης ενώ οι υψηλότερες τιμές θερμογόνου δύναμης είναι αποτέλεσμα προ επεξεργασίας των απορριμμάτων όπως διαχωρισμός των απορριμμάτων ή βιοξήρανση τους. Χρησιμοποιώντας την μέση σύνθεση των απορριμμάτων στην Ελλάδα και την μέση θερμογόνο δύναμη της κάθε κατηγορίας υλικού που το συνθέτουν καταλήγουμε με σταθμισμένη θερμογόνο δύναμη 12,37 MJ/Kg υγρής μάζας απορριμμάτων, όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 5-1.

**Πίνακας 5-1. Σταθμισμένη θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων**

Υλικό	%κ.β.	Μέσος Όρος	Σταθμισμένη
		Θερμογόνου	Θερμογόνος
		Δύναμης (MJ/Kg)	Δύναμης (MJ/Kg)
Ζυμώσιμα	40,0%	4,61	1,84
Χαρτί/Χαρτόνι	29,0%	16,58	4,81
Πλαστικά	14,0%	32,24	4,51
Γυαλί	3,0%	-	-
Μέταλλα	4,0%	-	-
Αδρανή	5,0%	-	-
Λοιπά	5,0%	24,16	1,21
Σύνολο	100%		12,37

Η μέση θερμογόνος δύναμης των σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων σε διάφορες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας από παλαιότερες πραγματικές μετρήσεις αποτυπώνονται στον Πίνακα 5-2.

**Πίνακας 5-2. Μέση θερμογόνος δύναμης των σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων σε διάφορες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας**

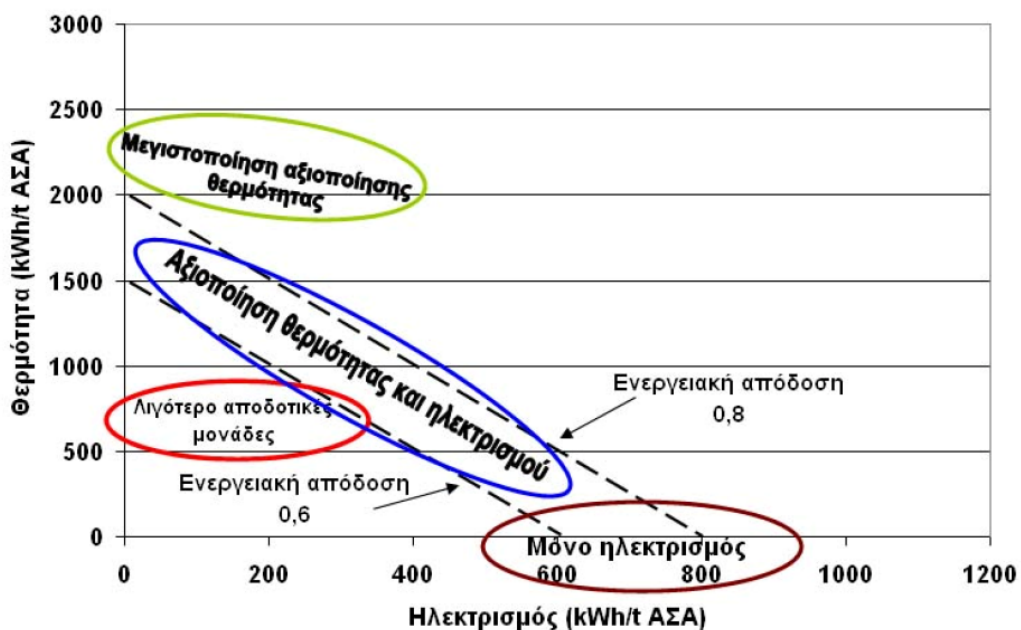
Περιοχή	Θερμογόνος	Πηγή	Έτος
	Δύναμη		
	(MJ/Kg)		Μέτρησης
Καβάλα	14,6	Intergeo	2008
Δράμα	15,2	Intergeo	2008
Έβρος	15,1	Intergeo	2008
Ξάνθη	11,6	Intergeo	2008
Ροδόπη	15,5	Intergeo	2009

Για σκοπούς της μελέτης χρησιμοποιήσαμε ως μέση θερμογόνο δύναμη την τιμή 10 MJ/Kg υγρής μάζα απορριμμάτων (αρκετά χαμηλότερη τιμή από παλαιότερες μετρήσεις), αλλά σε κάθε περίπτωση στην οικονομική ανάλυση ευαισθησίας που ακολουθεί η θερμογόνος δύναμης είναι παράμετρος όπου εξετάζεται ένα εύρος τιμών και η επίπτωση τους στην οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος.

## 6. Ενεργειακή απόδοση

Οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ, πέραν της μείωσης του όγκου και της μάζας των απορριμμάτων, έχουν ως στόχο την παραγωγή ενέργειας και την αντικατάσταση συμβατικών καυσίμων. Η ΕΕ στο πλαίσιο προώθησης βέλτιστων τεχνικών λύσεων για τέτοιου είδους μονάδων, θέσπισε μέσω της Οδηγίας Πλαίσιο 2008/98 τύπο ενεργειακής απόδοσης μονάδων αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων. Σύμφωνα με τον τύπο, ο οποίος ουσιαστικά είναι ένα πολλαπλάσιο της πραγματικής ενεργειακής απόδοσης της μονάδας όπως θα εξηγήσουμε πιο κάτω, οι μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων οφείλουν να υπερβαίνουν τα όρια που θέτει η ΕΕ, ώστε η διαδικασία που εκτελούν να θεωρείται ανάκτηση ενέργειας και όχι διάθεση απορριμμάτων. Τα όρια που έχουν τεθεί είναι 0,6 για μονάδες κατασκευασμένες έως την 31.12.2008 και 0,65 για την κατασκευή μονάδων μετά την 1.1.2009. Σημειώνουμε ότι τα όρια δεν είναι απολύτως δεσμευτικά αφού λαμβάνονται υπόψη και οι εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες, όπως οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και η ανάγκη παροχής θέρμανσης.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6-1 πιο κάτω η παραγωγή ενέργειας από την αποτέφρωση απορριμμάτων και την εκμετάλλευση μόνο της ηλεκτρικής ενέργειας, ο δείκτης εξαρτάται μόνο από τις KWh/t ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με την αποτέφρωση των απορριμμάτων. Από την θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 10 MJ/Kg, με 8.000 ώρες λειτουργίας και 25% πραγματική ενεργειακή απόδοση μεταφράζεται σε 700 KWh/t, και συνεπώς το κριτήριο πληρείται όπως φαίνεται οπτικά στο Σχήμα 6-1, αλλά και όπως θα αναπτύξουμε πιο εμπειρισταωμένα στην ανάλυση που ακολουθεί σύμφωνα με τον τύπο της Οδηγίας Πλαίσιο.



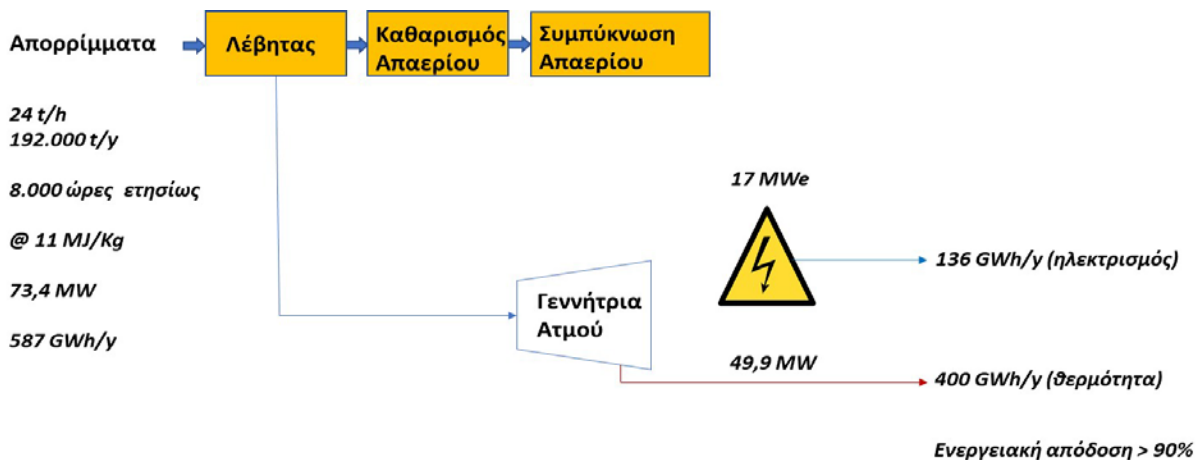
Σχήμα 6-1. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Μαζικής Καύσης Απορριμμάτων [7]

Για τη συγκεκριμένη δυνητική μονάδα υπό εξέταση όπου πρόκειται για παραγωγή ηλεκτρισμού μόνο, συνολικής ετήσιας δυναμικότητας 500.000 τόνων απορριμμάτων, θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων 10 MJ/Kg, ετήσιες ώρες λειτουργίας 8.000, ηλεκτρική απόδοση τεχνολογίας 25%, ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης όπως προσδιορίζεται στην Οδηγία Πλαίσιο της ΕΕ,  $R1 = ((E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_f + E_w)))$ , όπου:

- $E_p$  ισούται 2,6 φορές τον παραγόμενο ηλεκτρισμό, συμπεριλαμβανομένου και της ίδιας κατανάλωσης της μονάδας, τα συνολικά 43,75 MW για 8.000 ώρες ετησίως (3.276.166 GJ/έτος), πλέον 1,1 φορές την παραγόμενη θερμική ενέργεια όπου στην προκειμένη περίπτωση ισούται με μηδέν,
- $E_f$  είναι η θερμογόνος δύναμη του υποστηρικτικού συμβατικού καυσίμου (πετρέλαιο, 43,4 MJ/Kg, ή 17.360 GJ/έτος),
- $E_w$  είναι η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων (5.000.000 GJ/έτος), και
- $E_i$  η υπόλοιπη ενέργεια πέραν της  $E_f$  και της  $E_w$  που τροφοδοτείτε στο σύστημα, κυρίως η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά την αναστολή λειτουργία της μονάδας λόγω συντήρησης όπου για την συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ίσο με περίπου 2% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (65.523 GJ/έτος), και τέλος
- ο συντελεστής 0.97 αναφέρεται στις απώλειες του συστήματος λόγω της ακτινοβολίας και της αφαίρεσης της τέφρας.

Συνεπώς, ο δείκτης  $R1$  είναι 0,656, έστω και οριακά μεγαλύτερος από 0,65 και άρα αυτή η δυνητική μονάδα μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων μπορεί να χαρακτηριστεί ως μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης και όχι διάθεσης.

Σε μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων όπου αξιοποιείται η ηλεκτρική αλλά και η θερμική ενέργεια, δηλαδή σε μονάδες συμπαραγωγής, η ενεργειακή απόδοση μπορεί να ξεπεράσει και το 90% όπως φαίνεται στο ενδεικτικό παράδειγμα πιο κάτω:



Σχήμα 6-2. Ενδεικτική Ενεργειακή Απόδοση Μονάδας Αποτέφρωσης Απορριμμάτων [8]



Σε περιπτώσεις δε που γίνεται συμπύκνωση του ατμού και χρήση αντλιών θέρμανσης η ενεργειακή απόδοση φτάνει στο 100%.

## 7. Οικονομική ανάλυση

### 7.1 Εισαγωγή

Είναι σαφές ότι η αποτέφρωση των ΑΣΑ είναι πολύ πιο αποδοτική από οικονομικής άποψης όταν επιτυγχάνεται και αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας πέραν της ηλεκτρικής, αφού σύμφωνα με την βιβλιογραφία για κάθε τόνο ΑΣΑ παράγονται 2/3 MWh ηλεκτρική ενέργεια και 2 MWh θερμικής ενέργειας. Για αυτό οι περισσότερες σύγχρονες μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων στην κεντρική και ειδικότερα στη βόρεια Ευρώπη είναι μονάδες συμπαραγωγής (Combined Heat & Power, CHP). Σε αυτές τις περιπτώσεις όμως λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούν υπάρχουν θερμικοί καταναλωτές, οικιακοί και βιομηχανικοί σε μικρές σχετικά αποστάσεις, καθώς επίσης και η κατάλληλη υποδομή (δίκτυα τηλεθέρμανσης) για την μεταφορά της θερμικής ενέργειας. Δυστυχώς όμως αυτά δεν ισχύουν για την Ελλάδα και γενικότερα για την Νότια Ευρώπη. Συνεπώς, επιλέξαμε την ρεαλιστική προσέγγιση για την ανάλυση της οικονομικής βιωσιμότητας μονάδας αποτέφρωσης ΑΣΑ, υιοθετώντας την παραδοχή ότι μια τέτοια μονάδα εγκαταστημένη στην Ελλάδα θα μπορέσει να αξιοποιήσει μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Εξετάσαμε την περίπτωση μιας μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων δυναμικότητας 500 χιλιάδων τόνων ετησίως, όπου είναι περίπου 50% των συνολικών παραγόμενων ΑΣΑ στην Θεσσαλονίκη. Σε κρίσιμους παραμέτρους που επηρεάζουν την οικονομική απόδοση της μονάδας διενεργήθηκε ανάλυση ευαισθησίας.

### 7.2 Έσοδα

Τα έσοδα μιας τέτοιας μονάδας προέρχονται από τις εξής πηγές:

- Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας
- Χρέωση τιμής εισόδου (gate or tipping fee) ανά εισερχόμενο τόνο απορριμμάτων
- Πώληση των ανακτώμενων μετάλλων από την τέφρα πυθμένα

Τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το γινόμενο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) και την τιμή πώληση της στο δίκτυο (€/MWh). Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προκύπτει από την θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων και την ηλεκτρική απόδοση της τεχνολογίας, δηλαδή τη δυνατότητά της να μετατρέψει την θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η θερμογόνο δύναμη των ανεπεξέργαστων ΑΣΑ που χρησιμοποιήσαμε είναι 10 MJ/Kg υγρής μάζας. Αυτό συνεπάγεται ότι ένα τόνο απορριμμάτων με 100% μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική μπορεί να αποδώσει  $10 \text{ MJ/Kg} \times 0,28 \text{ KWhr/MJ} \times 1.000 \text{ Kg/t} = 2.820 \text{ KWhr}$ . Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ο βαθμός απόδοσης της τεχνολογίας μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων κυμαίνεται από 20% - 30% [9], με την εξέλιξη της τεχνολογίας να προσεγγίζει και να ξεπερνά το ανώτατο όριο. Για σκοπούς της μελέτης ως βασική τιμή απόδοσης χρησιμοποιήσαμε το 25%. Συνεπώς, η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται ανά τόνο αποτέφρωσης απορριμμάτων είναι 700

KWh/t, ή 43,75 MW συνολικής ηλεκτρικής ισχύος. Η ίδια κατανάλωση ηλεκτρισμού των μονάδων αποτέφρωσης απορριμμάτων σύμφωνα με την βιβλιογραφία κυμαίνεται από 13% έως 19% [8] της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, χρησιμοποιώντας 15% για ίδια κατανάλωση η ηλεκτρική ενέργεια διαθέσιμη προς πώληση είναι περίπου 595 KWh/t.

Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι αποτέλεσμα του ποσοστού ανακυκλώσιμων υλικών στην σύνθεση των αστικών απορριμμάτων και συνεπώς την τιμή που αφορά την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και την οριακή τιμή του συστήματος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μέση οριακή τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2019 ήταν περίπου €60/MWh. Το ποσοστό ανακυκλώσιμων υλικών στην σύνθεση των αστικών απορριμμάτων είναι περίπου 44.3% και η τιμή για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σύμφωνα με τον νόμο 3851/2010 είναι €87,90/MWh. Συνεπώς, η σταθμισμένη τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την αποτέφρωση των απορριμμάτων είναι €72,36/ MWh. Τα συνολικά ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την δυνητική μονάδα υπό εξέταση ανέρχονται σε περίπου €20 εκατ.

Η χρέωση τιμής εισόδου ανά τόνο εισερχομένων απορριμμάτων είναι αποτέλεσμα του ανταγωνιστικού περιβάλλοντος στο πλαίσιο δημόσιων διαγωνισμών. Για σκοπούς της μελέτης χρησιμοποιήσαμε τιμή εισόδου έτσι ώστε η τεχνική λύση της αποτέφρωσης να είναι ανταγωνιστική σε σχέση με τις τιμές εισόδου άλλων τεχνικών λύσεων όπως είναι η ΜΒΕ. Αξίζει να σημειώσουμε ότι από πρόσφατους διαγωνισμούς που διεξήχθησαν στην Ελλάδα, π.χ., Δυτική Μακεδονία (Κοζάνη), Πελοπόννησος, Σέρρες, κτλ., η τιμή εισόδου είναι άνω των €75 ανά τόνο και μάλιστα με μερικώς επιδοτούμενο το κόστος κατασκευής αφού πρόκειται για Συμπράξεις Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ). Στην προκειμένη περίπτωση η τεχνολογία μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων είναι όχι μόνο βιώσιμη αλλά και επενδυτικά ελκυστική με τιμή εισόδου €60 ανά τόνο, με συνολικά ετήσια έσοδα της τάξης των €30 εκατ.

Τα έσοδα από την πώληση ανακτώμενων μετάλλων από την τέφρα πυθμένα προκύπτουν από το ποσοστό μετάλλων στην σύνθεση των απορριμμάτων, το ποσοστό ανάκτησης τους και την τιμή πώληση των μετάλλων στην δευτερογενή αγορά. Το ποσοστό μετάλλων στην σύνθεση των απορριμμάτων είναι περίπου 4%. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το 75% των μετάλλων ανακτάται από την τέφρα πυθμένα, και σύμφωνα με συντηρητικές τιμές στην δευτερογενή αγορά €100 ανά τόνο, προκύπτουν ετήσια έσοδα της τάξης του €1,5 εκατ.

### 7.3 Έξοδα Λειτουργίας και Συντήρησης

Σε μία προσέγγιση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης κτίζοντας το κόστος «από κάτω προς τα πάνω» πρέπει να λάβουμε υπόψη τις κύριες κατηγορίες εξόδων μονάδων αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων, δηλαδή:

- Προσωπικό
- Συντήρηση
- Αναλώσιμα

- Διάθεση τέφρας

Μια τέτοια προσέγγιση όμως απαιτεί πραγματικά στοιχεία και αναπροσαρμοσμένα στα ελληνικά δεδομένα, πράγμα δύσκολο αφού δεν υπάρχουν μονάδες αποτέφρωσης στην Ελλάδα, πέραν από τον αποτεφρωτήρα νοσοκομειακών αποβλήτων στα Άνω Λιόσια, Αττικής. Συνεπώς, επιλέξαμε να εκτιμήσουμε το λειτουργικό κόστος στηριζόμενοι στην διεθνή βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με τον μαθηματικό συσχετισμό από πραγματικά δεδομένα το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μονάδων αποτέφρωσης απορριμμάτων [10] με τιμές 2003 έχει ως εξής:

$$\text{Λειτουργικό κόστος} = 700 \times \Delta^{-0.3}$$

όπου  $\Delta$  είναι η δυναμικότητα της μονάδας. Συνεπώς, για την συγκεκριμένη δυναμικότητα και πληθωρίζοντας (2,7% ετησίως) το αποτέλεσμα σε τιμές 2020, είναι περίπου €21 ανά τόνο. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία το λειτουργικό κόστος κυμαίνεται μεταξύ 14,5 – 17, 4 €/t με τιμές 2005 [12]. Αναπροσαρμόζοντας τις τιμές αυτές σε σημερινά δεδομένα καταλήγουμε το εύρος του λειτουργικού κόστους να είναι μεταξύ 21,6 και 25,9 €/t. Λόγω του ότι στην Ελλάδα δεν υφίσταται ΧΥΤΕΑ και η ιπτάμενη τέφρα πρέπει να διατεθεί σε ΧΥΤΕΑ του εξωτερικού, αναπροσαρμόσαμε το λειτουργικό κόστος της μονάδας προς τα πάνω, στα €25 ανά τόνο απορριμμάτων, και εκτελέσαμε ανάλυση ευαισθησίας στην συγκεκριμένη τιμή.

#### 7.4 Κόστος Επένδυσης

Είναι γνωστό ότι η τεχνολογία μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων είναι τεχνολογία εντάσεως κεφαλαίου. Το κόστος επένδυσης από υφιστάμενες μονάδες μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων συνοψίζεται στον Πίνακα 7-1 [11].

**Πίνακας 7-1. Κόστος επένδυσης από υφιστάμενες μονάδες μαζικής αποτέφρωσης απορριμμάτων**

A/A	Περιοχή	Έτος Λειτουργίας	Δυναμικότητα (t/έτος)	Κόστος επένδυσης (εκ. €)	Ειδικό κόστος επένδυσης (€/t)
1	Freiburg, Γερμανία	2005	150.000	77	513
2	Zorbau, Γερμανία	2005	300.000	100	333
3	Antwerpen, Βέλγιο	2005	400.000	180	450
4	Ringaskiddy, Ιρλανδία	2007	100.000	75	750
5	Garranstown, Ιρλανδία	2007	150.000	85	567
6	Halle, Γερμανία	2007	80.000	47	588
7	Amsterdam, Ολλάνδια	2006	500.000	340	680
8	Posieux, Ελβετία	2006	45.000	20	444
9	Roosendaal, Ολλάνδια	2007	180.000	90	500

10	Urvier,Ελβετία	2007	60.000	30	500
11	Barzenheit,Ελβετία	2008	40.000	30	750
<b>Μέσος Όρος</b>					<b>552</b>

Από τον πιο πάνω πίνακα προκύπτει ότι την προηγούμενη δεκαπενταετία το ειδικό κόστος επένδυσης ανέρχεται σε €552 ανά τόνο δυναμικότητας, και είναι προφανές ότι ο πίνακας απεικονίζει οικονομίες κλίμακος.

Σύμφωνα με τον μαθηματικό συσχετισμό από πραγματικά δεδομένα το κόστος επένδυσης μονάδων αποτέφρωσης απορριμμάτων [10] με τιμές 2003 έχει ως εξής:

$$\text{Κόστος Επένδυσης} = 5.000 \times \Delta^{0.8}$$

όπου  $\Delta$  είναι η δυναμικότητα της μονάδας. Συνεπώς, για την συγκεκριμένη δυναμικότητα και πληθωρίζοντας (2,7% ετησίως) το ειδικό κόστος επένδυσης σε τιμές 2020, είναι περίπου €570 ανά τόνο, πολύ κοντά στα στοιχεία της βιβλιογραφίας που απεικονίζονται στον πιο πάνω πίνακα.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι Κινέζοι κατασκευαστές αναλαμβάνουν την κατασκευή τέτοιων μονάδων σε πολύ χαμηλότερο κόστος όπως προκύπτει από δύο πρόσφατα παραδείγματα στην Αιθιοπία και Βιετνάμ όπου το ειδικό κόστος κατασκευής ήταν περίπου στα €350 ανά τόνο δυναμικότητας [13].

### 7.5 Χρηματοδότηση, Κεφαλαιακή Δομή & Χρηματοοικονομικές Παραδοχές

Οι παραδοχές σχετικά με την χρηματοδότηση της μονάδας και την κεφαλαιακή δομή έχουν ως εξής:

- 40% ίδια κεφάλαια και 60% τραπεζικός δανεισμός
- Τραπεζικό σταθερό επιτόκιο δανεισμού 5% και κεφαλαιοποίηση τόκων κατά την διάρκεια της κατασκευής (2 έτη). Διάρκεια δανείου 15 έτη
- Ωφέλιμη ζωή μονάδας 20 έτη και απόσβεση της επένδυσης ισόποσα κατά τα 20 έτη ωφέλιμης ζωής
- Εταιρικός φορολογικός συντελεστής 20% (προβλεπόμενος τα επόμενα έτη)
- Πληθωρισμός 2% ετησίως στα έσοδα και έξοδα της μονάδας
- Μεταβολές κεφαλαίου κίνησης θωρήθηκαν σταθερές
- Δυνατότητα μείωσης μετοχικού κεφαλαίου μετά την αποπληρωμή του δανείου για απελευθέρωση νωρίτερα της συσσωρευμένης ρευστότητας λόγω αποσβέσεων

### 7.6 Οικονομική Απόδοση και Ανάλυση Εναισθησίας

Η οικονομική απόδοση της δυνητικής μονάδας που εξετάσαμε, όπως αυτή υπολογίζεται από τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR), κυμαίνεται από 11% έως 15%.

Οι σημαντικοί παράμετροι που επηρεάζουν την οικονομική απόδοση της μονάδας και εξετάστηκαν πάντοτε σε δυσμενέστερες τιμές σε σχέση με το σενάριο βάσης είναι οι εξής:

- Το κόστος επένδυσης
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Η ενεργειακή απόδοση
- Το οριακό κόστος του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας απεικονίζονται στον Πίνακα 7-2.

**Πίνακας 7-2. Αποτελέσματα ανάλυση ευαισθησίας οικονομικής απόδοσης έργου**

IRR	Κόστος	IRR	Ηλεκτρική	IRR	Λειτουργικ	IRR	Τιμή
	Επένδυσης		Ενέργεια		ό		Ηλεκτρισμο
	(€/t)		(KWh/t)		Κόστος		ύ (€/MWh)
					(€/t)		
15,01		15,01		15,01		15,01	
%	570,00	%	700,00	%	25,00	%	72,36
13,94		14,16		14,66		13,03	
%	598,50	%	650,00	%	26,25	%	68,74
12,95		13,74		14,32		12,43	
%	627,00	%	625,00	%	27,50	%	65,12
12,05		13,31		13,98		11,83	
%	655,50	%	600,00	%	28,75	%	61,51
11,21		12,88		13,63		11,22	
%	684,00	%	575,00	%	30,00	%	57,89

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 7-2, η οικονομική απόδοση της δυνητικής μονάδας είναι πιο ευαίσθητη στο κόστος επένδυσης και την τιμή πώλησης του ηλεκτρισμού στο δίκτυο. Σε κάθε περίπτωση όμως η οικονομική απόδοση παραμένει σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα ακόμη όταν οι παράμετροι αυτοί μεταβάλλονται αρνητικά έως και 20%. Επισημαίνουμε, ότι οι οικονομικές αποδόσεις που παρουσιάζουμε είναι χωρίς επιδότηση του δημοσίου όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των ΣΔΙΤ για μονάδες διαχείρισης απορριμμάτων που ανατέθηκαν πρόσφατα στην Ελλάδα.

## 8. Βιβλιογραφία

- [1] Waste to Energy 2019/2020, 12th edition, 2019, ecoprogram GmbH, Διαθέσιμος Online: [https://www.ecoprogram.com/fileadmin/user\\_upload/extract\\_market\\_report\\_WtE\\_2019-2020\\_ecoprogram.pdf](https://www.ecoprogram.com/fileadmin/user_upload/extract_market_report_WtE_2019-2020_ecoprogram.pdf)
- [2] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Διαθέσιμος Online: <https://www.bmu.de/en/topics/water-waste-soil/waste-management/waste-treatment-and-technology/thermal-treatment/>
- [3] Waste to Energy in Denmark, Ramboll (2006), Διαθέσιμος Online: <https://stateofgreen.com/files/download/275>
- [4] VonRoll Environmental Technology Inc. (brochure 2001), Διαθέσιμος Online: <https://en.ppt-online.org/356562>
- [5] DIAAMATH (2008) Recording of composition and management of MSW in East Macedonia and Thrace Region, Διαθέσιμος Online: <http://www.diaamath.gr/sites/default/files>
- [6] WASTE2GO (2014) Deliverable 2.2 waste profiling, Διαθέσιμος Online: [http://waste2go.eu/download/1/D2.2\\_Waste%20profiling](http://waste2go.eu/download/1/D2.2_Waste%20profiling)
- [7] Kalogirou E. (2008), Waste to Energy, WTER 2008 Bi-Annual at Columbia University, NY
- [8] 21<sup>st</sup> Century Advanced Concept for Waste-Fired Power Plants, Babcock & Wilcox Volund, Διαθέσιμος Online: [http://www.volund.dk/Waste\\_to\\_Energy/Self\\_study](http://www.volund.dk/Waste_to_Energy/Self_study)
- [9] Bilitewski B. (2008), Thermal Treatment & Energetic Utilization of Solid Waste, Current Status & Perspectives, Thessaloniki
- [10] Tsilemou K and Panagiotakopoulos D (2006), Approximate cost functions for solid waste treatment facilities, Waste Management & Research 24
- [11] Λάλας & άλλοι (2007), Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης
- [12] Whiting K, Wood S and Fanning M (2013) Waste Technologies: Waste to energy facilities. A report for the Strategic Waste Infrastructure Planning, Department of Environment and Conservation of Western Australia
- [13] Jane Siyuan Wu (2018), Capital Cost Comparisons of Waste-to-Energy Facilities in China & the US, Διαθέσιμος Online: [http://gwcouncil.org/wp-content/uploads/2018/07/Jane-Wu\\_thesis.pdf](http://gwcouncil.org/wp-content/uploads/2018/07/Jane-Wu_thesis.pdf)