ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Θερμότητας

Εργαστήριο Θερμικών Διεργασιών

Διπλωματική εργασία

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Επιμέλεια: **Κουτσομπίνας Κων/νος**

Επιβλέπουσα: **κ. Αθηνά Στέγγου-Σαγιά, Καθηγήτρια**

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Αθήνα, 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....5

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....6

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....8

1. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....9

1.1 Εισαγωγή.....9

1.2 Γενικά για τα στερεά απόβλητα.....10

1.3 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα.....14

1.4 Οικονομικές συνέπειες στην Ελλάδα.....16

1.5 Περιβαλλοντικές συνέπειες στην Ελλάδα.....18

1.5.1 Εισαγωγή.....18

1.5.2 Κίνδυνος από τις διοξίνες.....18

1.6 Απαραίτητες προϋποθέσεις.....20

1.7 Ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων.....21

2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (ΜΒΕ).....24

2.1 Γενικά για τη μέθοδο.....24

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΜΒΕ.....28

2.3 Βιολογική Ξήρανση (ΒΜΕ).....30

2.3.1 Βιολογική ξήρανση σε καλυμμένους σωρούς.....32

2.3.2 Βιολογική ξήρανση εντός ενιαίας δεξαμενής.....34

2.3.3 Βιολογική ξήρανση σε κουτιά (boxes).....36

2.4 Μετατροπή των ΧΥΤΑ σε ΧΥΤΥ 39

3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ (ΒΜΕ)…….…..….....41

3.1 Τεχνολογία ξήρανσης.....41

3.1.1 Υγρασία στερεών σωμάτων.....41

3.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ξήρανση.....43

3.1.3 Φαινόμενα κατά την ξήρανση.....44

3.2 Γενικά για τη βιολογική ξήρανση.....47

3.3 Βιολογική ξήρανση για εγκαταστάσεις ΜΒΕ.....50

3.4 Διαδικασία βιολογικής ξήρανσης.....52

3.4.1 Ενεργειακή ισορροπία στους αντιδραστήρες 53

3.4.2 Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες.....54

3.4.3 Τύπος συστημάτων αερισμού.....55

3.4.4 Θερμοκρασίες αέρα και μητρών για τη βελτιστοποίηση της ξήρανσης.....55

3.4.5 Μικροβιακή δραστηριότητα.....56

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....59

4.1 Βιολογική ξήρανση με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη.....59

4.2 Ενεργειακό περιεχόμενο υλικών.....61

4.3 Μέθοδος υπολογισμού θερμογόνου δύναμης.....64

4.4 Ενεργειακή βιωσιμότητα της τεχνολογίας.....65

4.4.1 Εκτίμηση θερμογόνου δύναμης (HHV-LHV) των Α.Σ.Α της

Ελλάδας.....65

4.4.2 Αξιολογήσεις και αναλύσεις.....80

4.5 Περιβαλλοντικές πτυχές εγκαταστάσεων βιολογικής ξήρανσης.....83

4.6 Οικονομικές πτυχές εγκαταστάσεων βιολογικής ξήρανσης.....87

5. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ.....92

5.1 Εμπορικές εφαρμογές μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας (MBE).....92

5.1.1 Εισαγωγή.....92

5.1.2 Προμηθευτές τεχνολογίας.....92

5.2 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα.....97

5.3 Εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης στο εξωτερικό.....99

5.4 Παράδειγμα εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης στη Γερμανία (Herhof).....100

5.4.1 Περιγραφή της εγκατάστασης..... 100

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....103

ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....109

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....110

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει τη βιολογική ξήρανση ως μέθοδο αξιοποίησης των απορριμμάτων και να γίνει γνωστό στο ευρύτερο κοινό πως η διαδικασία ξήρανσης εκτός από τις ανέκαθεν γνωστές εφαρμογές της μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία των απορριμμάτων προς παραγωγή ενέργειας. Σε αυτή την προσπάθεια μελέτες που εκπονήθηκαν στα πλαίσια διδακτορικών στο πολυτεχνείο του Βουκουρεστίου σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο του Τρέντο, συνέβαλαν στην ακόμα πιο ουσιαστική ανάλυση της μεθόδου.

Συγκεκριμένα, αναλύονται τα συστήματα διαχείρισης των απορριμμάτων και παρουσιάζεται η **βιολογική ξήρανση** ως μια καινούρια και ανερχόμενη μέθοδος επεξεργασίας των αποβλήτων που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια στο εξωτερικό και μπορεί να λύσει πολλά από τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα που αντιμετωπίζει η χώρα μας. Στη συνέχεια με χρήση συγκεκριμένης μεθοδολογίας (εκφράσεις Dulong και Hougan et Al) υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη των σύμμεικτων αποβλήτων της χώρας μας με σκοπό να αναδείξει κατά μέση τιμή το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων στην Ελλάδα και να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα της βιοξήρανσης στη χώρα μας. Τέλος προτείνεται η προσπάθεια μιας τέτοιας μελέτης της βιωσιμότητας της εφαρμογής στην Ελλάδα, με σκοπό την προώθηση της τεχνολογίας στη χώρα μας, και ειδικότερα στο μέλλον καθώς εν μέσω οικονομικής κρίσης πρέπει να γίνουν προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση (εναλλακτικές μορφές ενέργειας).

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κυρία Στέγγου-Σαγιά Αθηνά, η οποία μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα θέμα το οποίο με ενδιαφέρει πολύ και θα ήθελα να ερευνήσω περισσότερο και στο μέλλον.

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΜΒΕ Μηχανική βιολογική επεξεργασία

ΒΜΤ Βιολογική μηχανική επεξεργασία

ΑΠΕ Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

ΧΥΤΑ Χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

ΧΥΤ Χώρος υγειονομικής ταφής

RDF Refuse Derived Fuel (καύσιμο παραγόμενο από απορρίμματα)

SRF Solid Recovered Fuel (στερεό ανεκτηθέν καύσιμο)

Α.Σ.Α Αστικά σύμμεικτα απορρίμματα

MSW Municipal Solid Waste

LHV Lower Heating Value (κατώτερη θερμογόνος δύναμη)

HHV Higher Heating Value (ανώτερη θερμογόνος δύναμη)

PCBs Κλοφέν

SOF Σταθεροποιημένα οργανικά μέρη (Soluble Organic Fraction)

PVC Χλωριωμένα πλαστικά

Ε.Ε Ευρωπαική Ένωση

WHO World Health Organization (ΠΟΥ : Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας)

ΕΣΔΚΝΑ Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής

ASTM American society of testing and materials

HRO Herhof Recycling Center Osnabruck

RBD Rotary biodryer

RTO Αναπαραγωγική θερμική οξείδωση

MC Moisture Content (περιεκτικότητα σε υγρασία)

COD Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο

VOCs Volatile organic compounds

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το περιβάλλον ορίζεται ως << το σύνολο των συνθηκών (φυσικών, χημικών, βιολογικών, πολιτιστικών, κοινωνικών), οι οποίες είναι ικανές να επηρεάσουν τους ζωντανούς οργανισμούς και τις ανθρώπινες δραστηριότητες>>(Henri Poglio Γάλλος enviromental manager, 2007) **[1].** Επιτακτική μοιάζει να είναι η ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας, με τα τόσα περιβαλλοντικά προβλήματα, για διαχείριση του περιβάλλοντος κατά αειφόρο τρόπο. Δηλαδή κατά τρόπο, ο οποίος θα ικανοποιεί τις ανάγκες των σημερινών γενεών, χωρίς να διακυβεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες.

Ένας από τους παράγοντες που αποτελούν σημαντική επιβάρυνση για το περιβάλλον, είναι τα απορρίμματα. Ο όγκος των απορριμμάτων που παράγουμε συνεχώς αυξάνει λόγω της αύξησης του ρυθμού ανάπτυξης αλλά και της αλλαγής στα καταναλωτικά πρότυπα. Ταυτόχρονα, όμως, αυξάνεται και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης και γίνεται ολοένα και πιο έντονη η απαίτηση των πολιτών, για την ορθή διαχείρισή τους. Κάθε σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης απορριμμάτων, πρέπει να σχεδιάζεται με τρόπο ο οποίος θα εξασφαλίζει, με σειρά προτεραιότητας τα παρακάτω:

- Την ελαχιστοποίηση της παραγωγής απορριμμάτων, με ενθάρρυνση της μείωσης δημιουργίας.
- Την επαναχρησιμοποίηση των υλικών.
- Την ανακύκλωση υλικών.
- Την ανάκτηση ενέργειας σε ειδικές εγκαταστάσεις με παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι εφαρμόζοντας τις παραπάνω αρχές στη διαχείριση των απορριμμάτων, τα τελευταία όχι μόνο δεν θα αποτελούν επιβάρυνση για το περιβάλλον, αλλά θα μπορούν να θεωρηθούν μια πολύ σημαντική πηγή ενέργειας και μάλιστα σε μια εποχή που οι φυσικοί πόροι εξαντλούνται. Έτσι, δίνεται λύση στην εύρεση νέων πηγών ενέργειας, καθώς μπορούν να χρησιμοποιούνται και τα απορρίμματα, σε συνδυασμό με τις **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**, για την παραγωγή ενέργειας.

1. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Στο πρώτο ήμισυ του προηγούμενου αιώνα, ο περισσότερος πληθυσμός κατοικούσε σε χωριά και μικρές πόλεις, και είχε στην κατοχή του κυρίως μικρές καλλιέργειες ενώ είχε λίγα κατοικίδια ζώα με αποτέλεσμα τα απόβλητα τα όποια παρήγαγε να τα μετατρέπει σε κομπόστ ή να δίνονται ως τροφή στα ζώα. Τα χαρτιά, τα μπουκάλια, τα μέταλλα ή άλλες συσκευασίες ήταν πολύτιμα υλικά για διάφορες χρήσεις και εν συνεχεία για το τζάκι, το μαγκάλι ή την ανακύκλωση.

Μετά τον πόλεμο διάφοροι λόγοι, κυρίως πολιτικοί, κοινωνικοί, οικονομικοί και χωροταξικοί, συντέλεσαν ώστε να οδηγηθούμε στη σημερινή κατάσταση. Κατά συνέπεια στο δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα η ύπαιθρος ερημώθηκε σε μεγάλο βαθμό και οι πόλεις διογκώθηκαν υπερβολικά για να καταλήξουν στην σημερινή τους μορφή με τους πολίτες στοιβαγμένους σε πολυώροφα κτίρια με κεντρική θέρμανση και χωρίς δυνατότητα πρόσβασης σε ελεύθερο χώρο, με συνέπεια να μην είναι δυνατή η αξιοποίηση μεγάλου μέρους των σκουπιδιών, δηλαδή των χαρτιών ή των οργανικών. Συνεπώς η πληθυσμιακή έκρηξη των πόλεων σε συνδυασμό με τη συγκεκριμένη χωροταξική τους κατάληξη και δομή οδήγησαν τις σημερινές πόλεις στην ανεξέλεγκτη παραγωγή σκουπιδιών.

Όμως, οι αλλαγές αυτές που είχαν σαν αποτέλεσμα την τεράστια αύξηση των σκουπιδιών, δεν περιορίζονται μόνο στα παραπάνω. Έτσι, τις τελευταίες δεκαετίες αυξήθηκαν αισθητά οι καταναλωτικές συνήθειες των πολιτών, άλλαξε ο τρόπος συσκευασίας των προϊόντων, αυξήθηκαν υπερβολικά τα συσκευασμένα προϊόντα, οι συσκευασίες έγιναν μεγαλύτερες και βαρύτερες, μιας χρήσης και λιγότερο φιλικές προς το περιβάλλον. Επίσης μειώθηκε αισθητά η διάρκεια ζωής συσκευών και προϊόντων, ενώ τα πλαστικά, που ανακυκλώνονται και αποικοδομούνται δύσκολα, εισχωρούν όλο και περισσότερο στην καθημερινότητά μας.

Παράλληλα, η μόνη «τεχνική» που εφαρμοζόταν στη διαχείριση των απορριμμάτων στις πόλεις, μικρές ή μεγάλες, ήταν η συλλογή και το ξεφόρτωμά τους

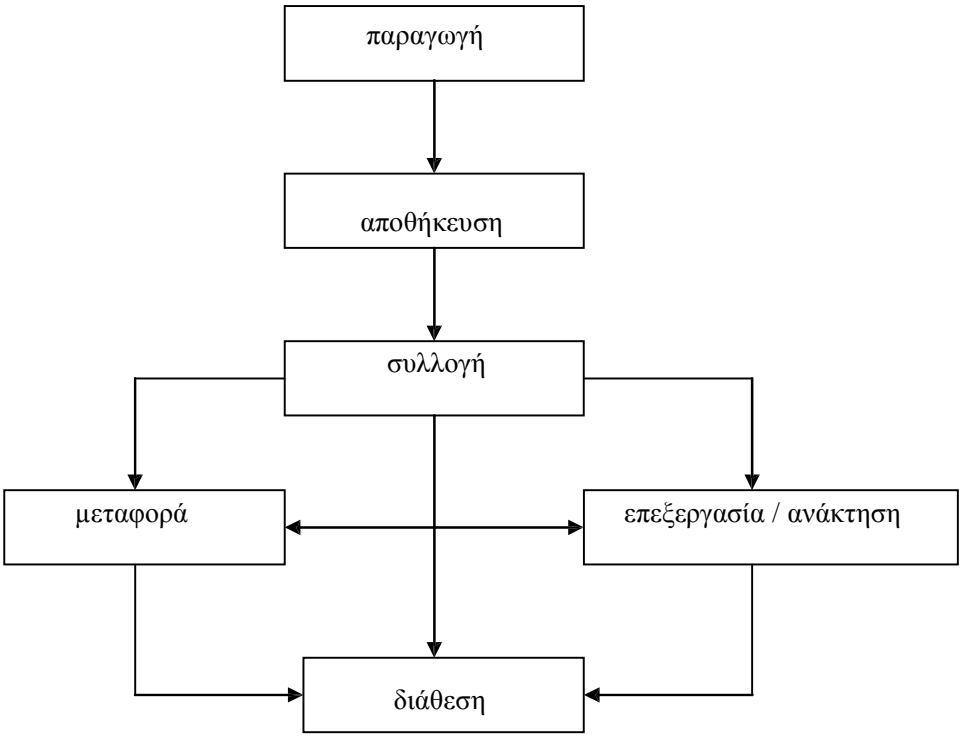
οπουδήποτε, και στην συνεχεία έπαιρνε σειρά η ανεξέλεγκτη ή «ελεγχόμενη» καύση τους. Εδώ αξίζει να τονιστεί ότι εξαιρέσεις αποτέλεσαν οι λίγοι δήμοι που προσπάθησαν να υλοποιήσουν κάποια προγράμματα ανάκτησης υλικών **[2].**

1.2 Γενικά για τα στερεά απόβλητα

Εισαγωγή

Ορίζεται ως **στερεό απόβλητο** οποιοδήποτε υλικό είναι ανεπιθύμητο και δεν είναι αέριο ή υγρό.

Η διαχείρισή τους παριστάνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 1.1 Σχηματική παράσταση διαχείρισης αποβλήτων [3].

Παραγωγή αποβλήτων

Το αρχικό στάδιο κατά το οποίο ένα μέρος των στερεών αποβλήτων κρίνονται ως ανεπιθύμητα και αποφασίζεται είτε να πεταχτούν είτε να συλλεγούν για κεντρική διάθεση.

Από οικονομικής πλευράς, η δεδομένη στιγμή χαρακτηρίζεται ως η καλύτερη για να επιλεγούν τα υλικά προς ανακύκλωση ή ανάκτηση.

Επιτόπου διαχείριση (αποθήκευση)

Το στάδιο που κρίνεται η μελλοντική χρησιμοποίηση των αποβλήτων. Παράλληλα μπορούν να αποθηκευτούν αμέσως πριν οδηγηθούν στο επόμενο στάδιο (επεξεργασία, διάθεση).

Η επιτόπου αποθήκευση είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω αισθητικής, δημόσιας υγείας και οικονομικών.

Συλλογή

Το στάδιο κατά το οποίο συγκεντρώνονται τα απόβλητα και φορτώνονται στο όχημα μεταφοράς. Στη συνέχεια θα οδηγηθούν σε σταθμό μεταφόρτωσης, θέση επεξεργασίας ή χώρο διάθεσης.

Μεταφορά

Τα στάδια όπου, διαδοχικά, τα απόβλητα μεταφέρονται στο σταθμό μεταφόρτωσης και στη συνέχεια οδηγούνται στο χώρο επεξεργασίας ή στο χώρο διάθεσης, ο οποίος συνήθως βρίσκεται σε μακρινή απόσταση.

Επεξεργασία/ανάκτηση

Το στάδιο κατά το οποίο, με διάφορες διεργασίες και κατάλληλο εξοπλισμό, επιδιώκεται με κατάλληλες διεργασίες η όσο τον δυνατόν βέλτιστη αξιοποίηση των αποβλήτων με στόχο την βελτίωση των χαρακτηριστικών του, είτε η παραλαβή χρήσιμων συστατικών ή ενέργειας **[3]**.

Τύποι στερεών αποβλήτων

Μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες **[4]**:

- Αστικά απόβλητα.
- Ειδικά απόβλητα.

- Επικίνδυνα απόβλητα.
- Μη επικίνδυνα απόβλητα.
- Ιατρικά απόβλητα.

Τα συμβατικά στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν:

- Αστικά απορρίμματα.
- Στερεά η υδαρή απόβλητα που δεν διατείθενται μαζί με τα οικιακά..
- Πετρελαιοειδή απόβλητα.
- Απόβλητα που προέρχονται από γεωργική και κτηνοτροφική εκμετάλλευση.
- Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων.
- Απόβλητα εκσκαφών.

Επικίνδυνα απόβλητα

Ως **επικίνδυνα** στερεά απόβλητα θεωρούνται όσα προκαλούν, άμεσα ή μετά από χρονικό διάστημα, κίνδυνο στον άνθρωπο, τα ζώα ή τα φυτά.

Ένα απόβλητο θεωρείται επικίνδυνο όταν :

- Έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ασθενειών που μπορεί να οδηγήσουν ως και τον θάνατο
- Μολύνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η χλωρίδα και η πανίδα

Μη επικίνδυνα απόβλητα

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα ειδικά απόβλητα που δεν είναι επικίνδυνα.

Ιατρικά απόβλητα

Διακρίνονται σε:

- Νοσοκομειακά.
- Λοιπά ιατρικά και φαρμακευτικά απόβλητα.

Πηγές στερεών αποβλήτων

Οικιακά στερεά απόβλητα

Είναι αποτέλεσμα των νοικοκυριών και αποτελούνται κυρίως από τρόφιμα και υπολείμματά τους, υλικά συσκευασίας και μικροαντικείμενα, τα οποία για διάφορους λόγους θεωρούνται ότι έχουν κλείσει το χρόνο ζωής τους.

Στα οικιακά στερεά απόβλητα συμπεριλαμβάνονται και εκείνα τα στερεά απόβλητα βιοτεχνικών και δραστηριοτήτων που συλλέγονται με τα κατά τόπους κεντρικά συστήματα συλλογής και διακομιδής απορριμμάτων.

Η συλλογή τους είναι αποτέλεσμα είτε ατομικών πρωτοβουλιών, σε απομωνομένες περιοχές ή σε μικρούς οικισμούς, είτε πραγματοποιείται με απορριμματοφόρα.

Βιομηχανικά στερεά απόβλητα

Αποτελούνται από, επικύνδηνα η μη, στερεά απόβλητα τα οποία παράγονται σε βιομηχανικές περιοχές. Τα απόβλητα αυτά είναι συνήθως:

- Παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας.
- Ακαθαρσίες της πρώτης ύλης.
- Λάσπες που παράγονται σε κάποιο σημείο της διεργασίας.

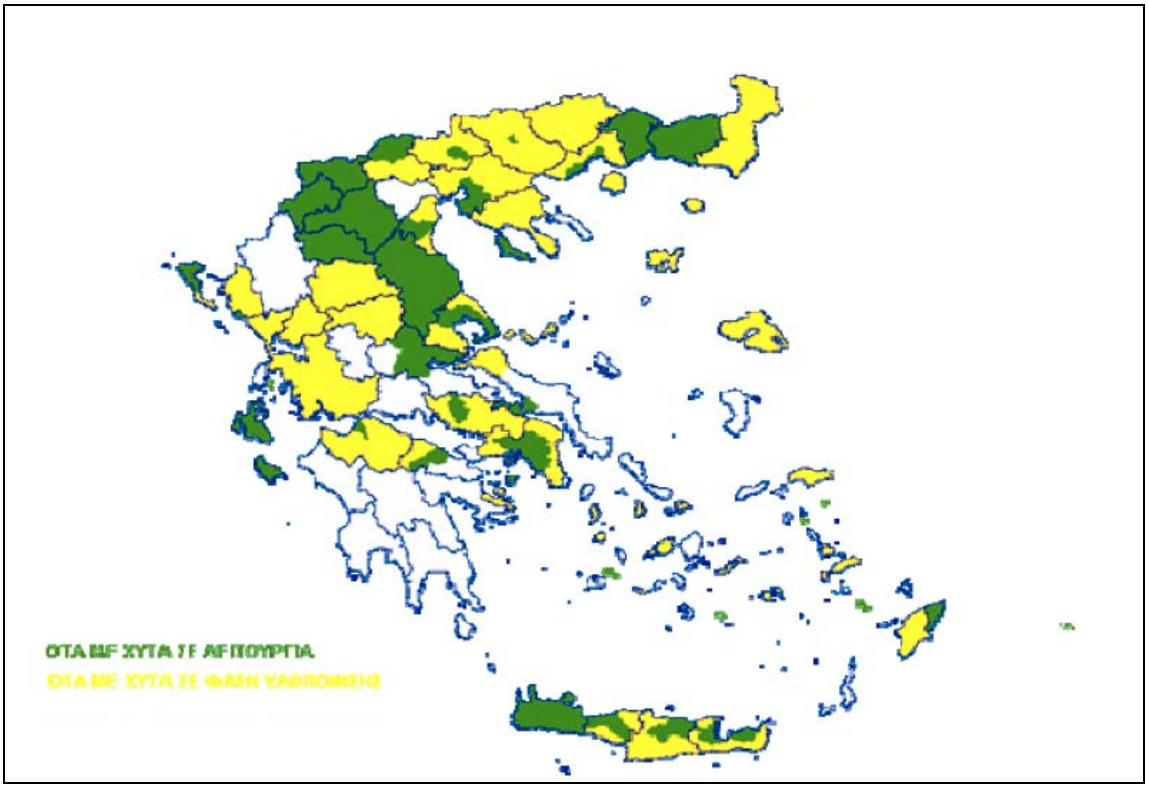
Οι κυριότερες πηγές δημιουργίας τους είναι τα ατυχήματα (μικρής κλίμακας) και οι διάφορες διαρροές, όπου γίνεται αντιμετώπιση των επικίνδυνων υγρών απόβλητων με προσθήκη κάποιου προσροφητικού (συνήθως πριονίδι), είτε διάθεσή

τους στο έδαφος. Μετά από αυτό το πριονίδι και το έδαφος πρέπει να λογίζονται πλέον ως επικίνδυνα στερεά απόβλητα **[4].**

1.3 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα

Το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων είναι πολύ σοβαρό και επείγον, παρόλα αυτά η αδιαφορία της πολιτείας έχει οδηγήσει σε όξυνση του προβλήματος το οποίο απειλεί το περιβάλλον αλλά και εμάς τους ίδιους. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων, το οποίο αποτελεί μείζον θέμα στις σύγχρονες κοινωνίες πρέπει να αντιμετωπίζεται με σοβαρότητα και διαφάνεια όπως προβλέπεται από το διεθνές και ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο **[5].**

Παρά την πρόοδο που έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια, συνολικά στην Ελλάδα δεν έχει επιτευχθεί μια ολοκληρωμένη και ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων. Στο παρακάτω σχήμα παριστάνεται η κατάσταση που επικρατεί στη χώρα μας όσον αφορά τα απορρίμματα..

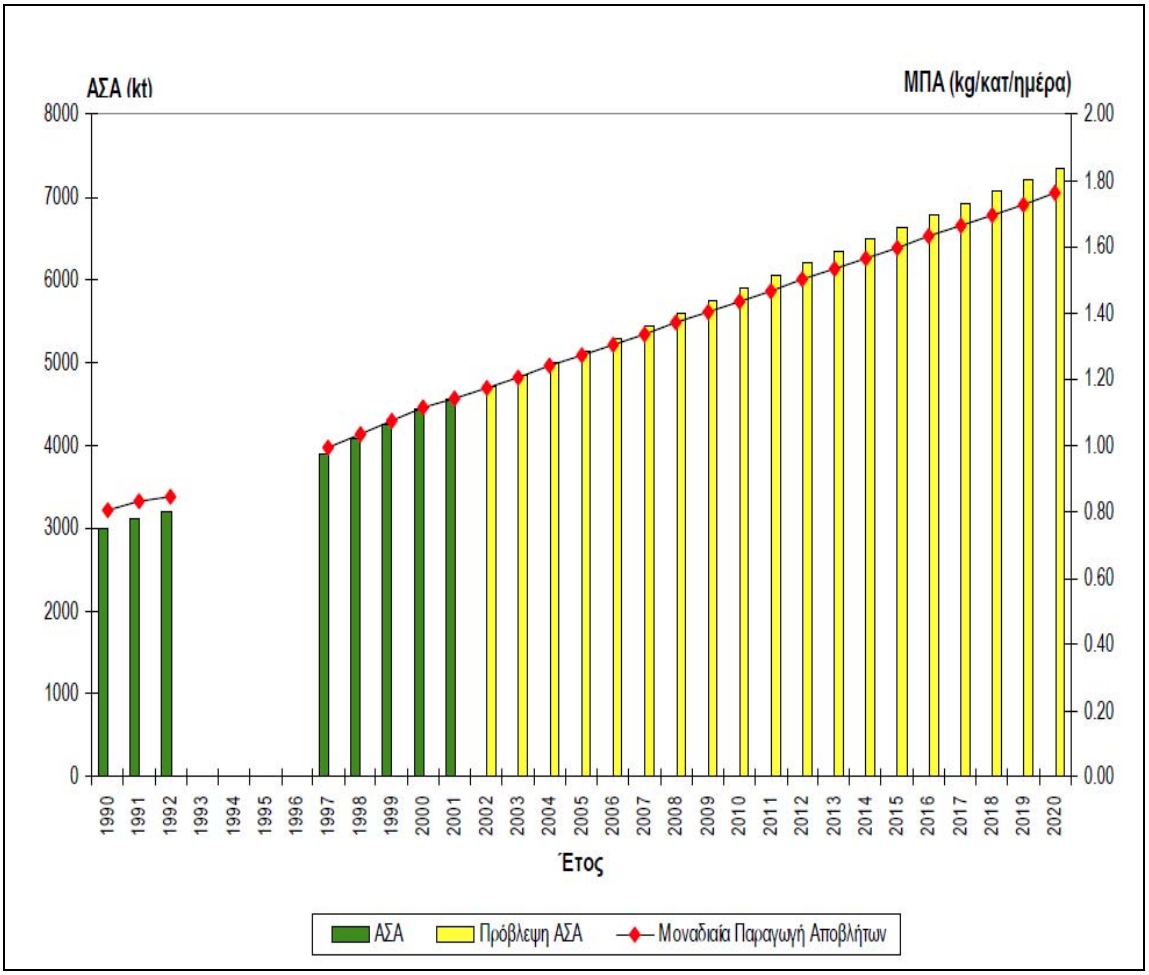


Σχήμα 1.1 Έργα υγειονομικής ταφής αποβλήτων στη χώρα μας [6].

Σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη της Ε.Ε η Ελλάδα υστερεί σημαντικά στην σωστή και ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων. Αυτό είναι εύλογο καθώς η χώρα μας βασίζεται σε ποσοστό άνω του 92% στην, υγειονομική και μη, ταφή.

Παρά τις οδηγίες για την ανακύκλωση και την ανάκτηση υλικών συσκευασίας στην πηγή όπως η 2008/98 και η 1999/31 για την υγειονομική ταφή, είναι αδύνατο να επιτευχθεί μια καλύτερη λύση στο πρόβλημα των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα σε περιοχές όπως η Αττική και η Πελοπόννησος, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων οξύνεται συνέχεια. Τα χρονικά περιθώρια για την εφαρμογή διατάξεων από την χώρα μας, κυρίως στο θέμα των ανεξέλεγκτων ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ, καθώς επίσης και στην εφαρμογή διατάξεων με στόχο την ανακύκλωση, έχουν παρέλθει και από εδώ και πέρα θα επισύρονται μεγάλα πρόστιμα.

Γενικά στην Ελλάδα σε αντίθεση με τις άλλες χώρες της Ε.Ε όπου η μείωση των αποβλήτων είναι εμφανής, παρουσιάζεται μια συνεχιζόμενη τάση αύξησης της ποσότητας των αποβλήτων σε μεγάλες τιμές. Όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα αποτέλεσμα της τάσης αυτής είναι η αύξηση της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας στην Ελλάδα κατά περισσότερο από 45% μέχρι το 2027 σε σχέση με σήμερα, κυρίως γιατί τα ποσοστά ανακύκλωσης και μείωσης της παραγόμενης ποσότητας στην πηγή θα εξακολουθήσουν να είναι χαμηλά **[6]**.



Διάγραμμα 1.2 Διακύμανση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001 [6].

1.4 Οικονομικές συνέπειες στην Ελλάδα

Όπως έγινε σαφές και πιο πάνω, η κατάσταση στην Ελλάδα αντί να βελτιώνεται χειροτερεύει αν επαληθευθούν και οι παραπάνω εκτιμήσεις. Σε συνάρτηση με αυτά, σημαντικές είναι οι επιπτώσεις και στην οικονομία της χώρας μας λόγω των ανεξέλεγκτων χωματερών.

Επίσης, αμφιβολίες υπάρχουν από αρμόδιους παράγοντες στις Βρυξέλες για το αν η απογραφή των χωματερών που παραμένουν σε χρήση είναι έγκυρη. Οι χωματερές στην πραγματικότητα δεν είναι 492, όσες αναφέρονται στις τελευταίες αναφορές της χώρας μας προς την Κομισιόν, αλλά είναι ακόμα περισσότερες. Εδώ πρέπει να

σημειωθεί ότι θα επιβάλλεται πρόστιμο 34.000 ευρώ την ημέρα για κάθε χωματερή που θα εξακολουθεί να λειτουργεί.

Το πιο ανησυχητικό στοιχείο της όλης υπόθεσης είναι ότι η χώρα μας δεν έχει κάνει αξιόπιστες προσπάθειες για τη μείωση των απορριμμάτων. Υπολογίζεται ότι κάθε πολίτης παράγει 474 κιλά σκουπίδια τον χρόνο, περίπου 1,3 κιλά την ημέρα και η γενική τάση την τελευταία τριετία είναι η αύξηση των ποσοτήτων που καταλήγουν στις χωματερές κατά 3% τον χρόνο. Η συνολική αύξηση από το 2000 είναι της τάξης του 48%. Παράλληλα αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες καταγράφεται σταθεροποίηση, ενώ στη Σουηδία και τη Δανία τα απορρίμματα έχουν μειωθεί λόγω των προγραμμάτων ανακύκλωσης **[7].**

Εικόνα 1.1 Χωματερή στο Νομό Αττικής [8].

1.5 Περιβαλλοντικές συνέπειες στην Ελλάδα

1.5.1 Εισαγωγή

Η κατάσταση αυτή, η οποία περιγράφτηκε παραπάνω, έχει εφιαλτικές επιπτώσεις και στην υγεία μας. Επιστημονικές μελέτες δείχνουν ότι η ύπαρξη των χωματερών και η μόλυνση που παράγουν όχι μόνο σκοτώνουν αργά όσους κατοικούν στις γύρω περιοχές, άλλα η απειλή φτάνει ακόμα και στα ράφια των σούπερ μάρκετ και φυσικά στο πιάτο μας. Είναι λοιπόν προφανές ότι η προστασία του περιβάλλοντος βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την προστασία της υγείας μας **[9].**

1.5.2 Κίνδυνοι από τις διοξίνες

Μια από τις μεγαλύτερες απειλές των χωματερών είναι η παραγωγή διοξινών, που όπως αναφέρεται από την επίκουρο καθηγήτρια του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, Κάτια Λαζαρίδου, μπορούν ακόμα και σε μικρές ποσότητες να προκαλέσουν ακόμα και θανάτους. Οι ανεξέλεγκτες πυρκαγιές καθώς και η καύση των απορριμμάτων έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων διοξινών στην ατμόσφαιρα. Αυτό συμβαίνει, κυρίως με την καύση οργανικών υλικών και χλωρίου που υπάρχει κυρίως στα πλαστικά των οικιακών αποβλήτων. Παράλληλα όπως επισημαίνει η κ. Λαζαρίδου, η μόλυνση από τις χωματερές έχει σχέση και με την αύξηση των κρουσμάτων καρκίνων κυρίως των όρχεων και του μαστού **[10].**

Πιο συγκεκριμένα οι διοξίνες αποτελούν μια κατηγορία 75 ουσιών που περιέχουν χλώριο. Συχνά στην ίδια κατηγορία κατατάσσονται και άλλες συγγενείς ουσίες όπως είναι τα PCBs (κλοφέν) και τα φουράνια. Οι διοξίνες αποτελούν επικίνδυνο παραπροϊόν διαφόρων διεργασιών, στις οποίες εμπλέκεται το χλώριο και δεν αποτελούν κάποιο χρήσιμο προϊόν της χημικής βιομηχανίας. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η καύση των σκουπιδιών ή αποβλήτων στα οποία περιέχεται χλώριο, έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση σημαντικών ποσοτήτων διοξινών οι οποίες απειλούν το περιβάλλον και την υγεία **[11].**

Η παρουσία του χλωρίου στα απορρίμματα που αποτελούνται από πλαστικά PVC είναι η βασική αιτία για την έκλυση διοξινών από την καύση των σκουπιδιών**.** Όπως είναι γνωστό κάθε χρόνο στις χωματερές καταλήγουν τόνοι πλαστικών PVC (φιάλες

νερού, σωλήνες, δάπεδα, καλώδια, μουσαμάδες, κ.λπ). Επιπροσθέτως, η φυσιολογική φθορά του PVC που καταλήγει στις χωματερές, έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση κυρίως τοξικών μετάλλων και διάφορων πλαστικοποιητών, όπως απέδειξαν πρόσφατες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι χωματερές, παρόλα αυτά, εκτός από το έδαφος ρυπαίνουν και τον αέρα. Τα αέρια απόβλητα μιας χωματερής έχουν ως κύρια συστατικά το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα ενώ στις περιπτώσεις χωματερών που καίγονται ανεξέλεγκτα παράγονται ακόμα διοξίνες και μονοξείδιο του άνθρακα. Αν λάβει υπόψην κανείς ότι το μεθάνιο επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου 21 φορές περισσότερο σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα, τότε γίνεται κατανοητό ότι η ανεξέλεγκτη αυτή έκκληση αερίων έχει σοβαρές επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή **[12].**

Εικόνα 1.3 Χωματερή στον ποταμό Σπερχειό [13].

1.6 Απαραίτητες προϋποθέσεις

Είναι φανερό ότι το πρόβλημα των σκουπιδιών έχει οξυνθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα να έχουν προκληθεί τεράστιες ζημιές_στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία μας. Για το λόγο αυτό πρέπει όλοι μας να συμβάλλουμε ενεργά με σκοπό την προφύλαξη του περιβάλλοντος αλλά και της υγείας μας **[14].**

Με βάση όλα τα προαναφερθέντα πρέπει να εξασφαλιστούν κάποιες προϋποθέσεις με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των απορριμμάτων. Κατά συνέπεια κρίνονται απαραίτητα τα εξής:

- Η εφαρμογή μιας πολιτικής για τη διαχείριση των απορριμμάτων που θα βασίζεται σε μέτρα μείωσης του όγκου, την ανακύκλωση-λιπασματοποίηση και την ασφαλή διάθεση του τμήματος που παραμένει μετά την ορθολογική διαχείριση των σκουπιδιών.

- Το κλείσιμο, το συντομότερο δυνατόν, των χιλιάδων ανεξέλεγκτων χωματερών και την αποκατάσταση των υποβαθμισμένων χώρων.

- Μια εθνική πολιτική για την απάλειψη όλων των πηγών διοξινών.

Με λίγα λόγια είναι επιβεβλημένη η μείωση καθώς και η σωστή εκμετάλλευση των απορριμμάτων στην χώρα μας. Σημαντικός παράγοντας που πρέπει να επηρεάζει την πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων είναι το περιβάλλον καθώς και η δυνατότητα παραγωγής εναλλακτικών καυσίμων.

Με τη σωστή διαχείριση των αποβλήτων όχι μόνο θα επιτευχθεί αξιόλογη μείωσή τους, αλλά θα είναι δυνατή και η παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων όπως το **RDF**, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία μέσω της καύσης συμβάλλοντας στην ενεργειακή κάλυψη των σύγχρονων αναγκών (ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας). Επομένως είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν μέθοδοι επεξεργασίας και διαχείρισης των αποβλήτων με σκοπό την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων **[15].**

1.7 Ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων

Σύμφωνα με τους ορισμούς που έχουν δωθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, την Διεθνή Ένωση Ενέργειας, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Βιομάζας και τη σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, το μη διαχωρισμένο βιοαποδομήσιμο κλάσμα των Α.Σ.Α, θεωρείται βιομάζα και κατά επέκταση Α.Π.Ε. Στις μέρες μας μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται από Α.Π.Ε με σκοπό την εξυπηρέτηση των ανθρωπίνων αναγκών αλλά και των περιβαλλοντικών κριτηρίων. Σύμφωνα με τα στοιχεία των Υπουργείων Περιβάλλοντος αυτών των χωρών, περισσότερο από 50% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Αστικά Στερεά Απόβλητα, προέρχεται από βιομάζα και επομένως θεωρείται **Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας [16].**

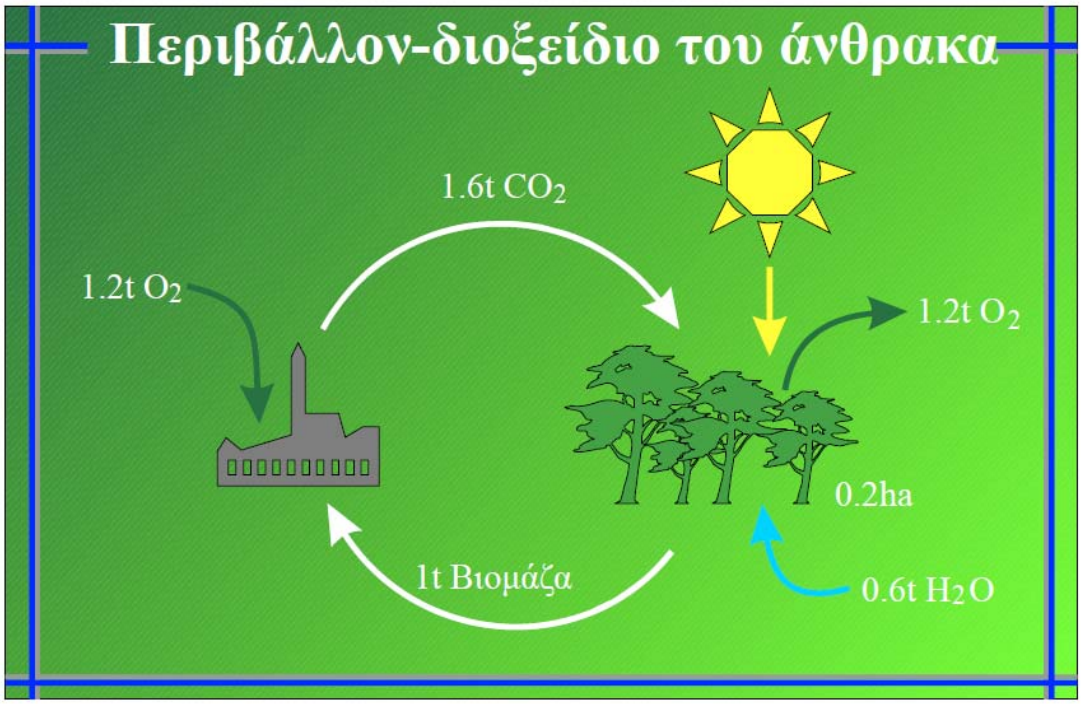
Τα πιο σημαντικά ωφέλη που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας προς παραγωγή ενέργειας είναι τα εξής **[17]**:

- Αποτρέπεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο επιδεινώνεται με την καύση ορυκτών καυσίμων και συνεπώς την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα CO_2. Η βιομάζα δεν έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού, γιατί ενώ παράγεται CO_2 κατά την καύση, κατά την παραγωγή της και κυρίως με τη φωτοσύνθεση επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες του ρύπου.

- Η περιεκτικότητα των αποβλήτων σε θείο είναι σχεδόν μηδαμινή με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου SO_2, το οποίο παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων και συμβάλλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής.

- Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, κυρίως μειώνοντας την εισαγωγή καυσίμων από τρίτες χώρες.

- Η εξασφάλιση εργασίας και η περιφερειακή ανάπτυξη που μπορεί να δώσει η αξιοποίηση των απορριμμάτων σε μια χώρα.



Σχήμα 1.1 Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα [17].

Τα κυριότερα προβλήματα που αφορούν την αξιοποίηση των απορριμμάτων παρουσιάζονται παρακάτω **[17]**:

- Ο μεγάλος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία όπως θα δούμε και παρακάτω.

- Μεγαλύτερη δυσκολία σε σχέση με τα ορυκτά κάυσιμα σε ότι έχει να κάνει με τη συλλογή, τη μεταποίηση, την αποθήκευση και τη μεταφορά.

- Πιο ακριβές εγκαταστάσεις και εξοπλισμός σε σχέση με τις συνηθισμένες πηγές ενέργειας.

Λόγω των παραπάνω μειονεκτημάτων το κόστος της βιομάζας παραμένει σχετικά υψηλό σε σχέση με το πετρέλαιο. Παρόλα αυτά έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά ωφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό δείχνει να ξεπερνιέται καθώς από τη μία η τιμή του πετρελαίου αυξάνει συνεχώς και από την άλλη αναπτύσσονται συνέχεια τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η βιολογική ξήρανση των αποβλήτων ως μία διαδικασία η οποία αποτελεί σημαντικό κομμάτι στη μηχανική βιολογική επεξεργασία (MBE) των αποβλήτων, που έχει σκοπό την επεξεργασία και αξιοποίηση των απορριμμάτων με κατάληξη την παραγωγή καυσίμου (RDF) **[17].**

2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (ΜΒΕ)

2.1 Γενικά για τη μέθοδο

Η βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων, δεν αποτελεί μια τεχνολογία που πραγματοποιείται από μόνη της, διότι για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα, εκτός από την βιολογική επεξεργασία, είναι απαραίτητος και μηχανολογικός εξοπλισμός με τον οποίο πραγματοποιείται η αφαίρεση προσμίξεων από τα οργανικά απόβλητα (κοσκίνηση) αλλά και η ομογενοποίησή τους (ανάμειξη και τεμαχισμός).

Παράλληλα ολοκληρωμένη λύση δεν μπορεί να αποτελέσει ούτε η Μηχανολογική Διαλογή, καθώς εκτός από το ότι ανακτούνται κάποια ανακυκλώσιμα υλικά, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία όσον αφορά τα υπόλοιπα ρεύματα που διαχωρίζονται.

Η διαφορά μεταξύ των συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων και των συστημάτων ΜΒΕ (των συστημάτων δηλαδή που συνδυάζουν μηχανική διαλογή και βιολογική επεξεργασία), έγκειται στην πολυπλοκότητα των απαιτούμενων μηχανικών διαχωρισμών αλλά και τα προϊόντα τα οποία παράγονται.

Επομένως, όσον αφορά τα <<καθαρά>> ρεύματα οργανικών αποβλήτων (π.χ. απόβλητα κήπου, γεωργικά υπολείμματα κ.λ.π), στον μηχανολογικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται κάποια στάδια, όπως ο τεμαχισμός και η κοσκίνηση, κατά τα οποία προετοιμάζονται τα απόβλητα με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η καθαρότητά τους. Στην περίπτωση όπου γίνεται επεξεργασία Α.Σ.Α, τότε το τμήμα της μηχανικής διαλογής, αποτελεί βασικό μέρος της επεξεργασίας και το κόστος επένδυσης και λειτουργίας του είναι ιδιαίτερα υψηλό. Επίσης, για να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες για τη βιοσταθεροποίηση του οργανικού κλάσματος των Α.Σ.Α, που έχει διαχωριστεί κατά τη μηχανική διαλογή, το τμήμα της βιολογικής επεξεργασίας εμφανίζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.

Στη συνέχεια, τη μηχανική επεξεργασία των Α.Σ.Α, ακολουθεί η βιολογική επεξεργασία ενός κλάσματος το οποίο είναι εμπλουτισμένο σε βιοαποδομίσημα υλικά και η ποιότητά του εξαρτάται από τις αντίστοιχες διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Σε αυτή την περίπτωση η βιολογική επεξεργασία μπορεί να λειτουργήσει εξ ίσου καλά όσον αφορά τις βιολογικά εξαρτώμενες παραμέτρους (καταστροφή παθογόνων – υγειονοποίηση και βιοσταθεροποίηση), όμως στο τελικό προϊόν θα περιλαμβάνονται όλες οι μη βιοδιασπώμενες προσμείξεις και ρύποι του υλικού εισόδου. Παράλληλα λόγω του ότι μέρος του οργανικού υλικού έχει αποδομηθεί σε CO_2 , είναι πολύ πιθανό αυτό να συμβεί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Στην ουσία, τα υλικά που δεν βιοαποδομούνται και εισέρχονται σε μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας, θα ληφθούν ως έχουν στην έξοδό της. Στην περίπτωση των Α.Σ.Α αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν προσμείξεις ξένων σωμάτων, όπως πλαστικό φίλμ και γυαλί, καθώς επίσης και μη βιοδιασπάσιμους ρύπους (βαρέα μέταλλα, εμμένοντες οργανικούς ρύπους), που εντοπίζονται στο τελικό προϊόν κι έχουν σαν αποτέλεσμα να υποβαθμίζουν την αξία του και να περιορίζουν τις δυνατότητες χρήσης του. Επομένως η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την καθαρότητα των υλικών εισόδου.

Τέτοια συστήματα, στα οποία γίνεται συνδυασμός των μηχανικών διαχωρισμών και της επεξεργασίας του διαχωρισμένου οργανικού κλάσματος, ονομάζονται συστήματα Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας (Mechanical Biological Treatment-MBT). Πολλές παραλλαγές της βιολογικής επεξεργασίας καθώς επίσης και πολλοί τύποι μηχανολογικού εξοπλισμού είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο.

Πιο συγκεκριμένα μπορεί να ειπωθεί, όσον αφορά τα συστήματα MBE, ότι **[18]**:

- Το <<Μ>> σημαίνει <<Μηχανικό>> και αναφέρεται στο μηχανικό μέρος της διεργασίας, όπως είναι ο διαχωρισμός, η ταξινόμηση, η μείωση του μεγέθους και το κοσκίνισμα, προκειμένου να γίνει διαχωρισμός μέρους των αποβλήτων και να οδηγηθεί προς επαναχρησιμοποίηση και/ή βιολογική επεξεργασία.

- Το <<Β>> σημαίνει <<Βιολογική>> και αναφέρεται ση διαδικασία της αερόβιας ή αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας, κατά την οποία

μετατρέπεται μέρος των αποβλήτων σε προϊόντα κομπόστ και σε βιοαέριο στην περίπτωση που γίνεται επεξεργασία με αναερόβια χώνευση.

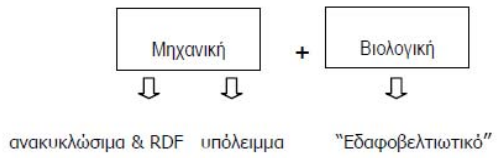
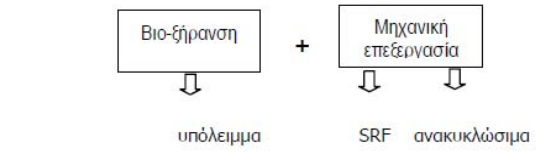
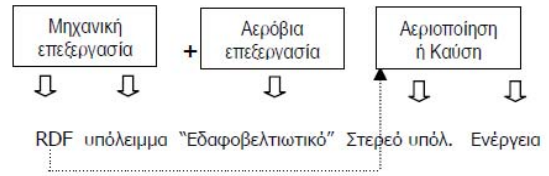
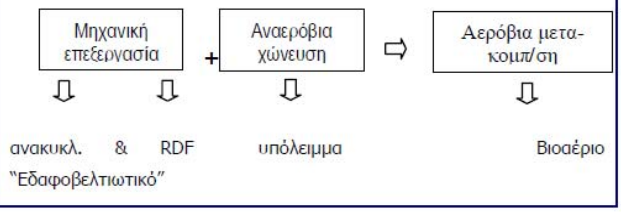
- Το <<Β>> γράφεται πριν από το <<Μ>>. Σε αυτή την περίπτωση, η οποία αποτελεί παραλλαγή της ΜΒΕ, η επεξεργασία είναι γνωστή ως ΒΜΕ και η πιο γνωστή παραλλαγή, είναι γνωστή ως <<**βιοξήρανση**>>, όπου γίνεται μερική ξήρανση των αποβλήτων κατά τη βιολογική επεξεργασία.

Όπως γίνεται αντιληπτό και πιο πάνω τα συστήματα ΜΒΕ αποτελούνται από δύο βασικά μέρη : Τη Μηχανική Επεξεργασία και τη Βιολογική Επεξεργασία.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται κάποιοι χαρακτηριστικοί συνδυασμοί μηχανικής διαλογής και βιολογικής επεξεργασίας.

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικοί συνδυασμοί μηχανικής διαλογής και βιολογικής επεξεργασίας [18].

Στόχος	Βασικά στοιχεία του συνδυασμού
Σταθεροποίηση αποβλήτων για διάθεση σε ΧΥΤΑ. *Μείωση της βιοαποδομησιμότητας των ΑΣΑ, ανακτώντας και ποσοστό ανακυκλώσιμων*	Μηχανική επεξεργασία ⇩ ⇩ + Αερόβια κομπ/ση ⇩ ανακυκλώσιμα υπόλειμμα — Βιοσταθεροποιημένο οργανικό για ΧΥΤ
Παραγωγή χαμηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού *Χρήση σε ΧΥΤ για υλικό κάλυψης, σε αποκαταστάσεις παλιών λατομείων, αναπλάσεις και πιθανά σε φυτώρια αν πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια*	Μηχανική επεξεργασία ⇩ ⇩ + Αερόβια κομπ/ση ⇩ ανακυκλώσιμα υπόλειμμα — "Εδαφοβελτιωτικό"

Στόχος	Βασικά στοιχεία του συνδυασμού
Παραγωγή RDF *Χρήση του ξηρού κλάσματος ως καύσιμο*	
Παραγωγή καυσίμου με χρήση βιο – ξήρανσης *Η βιο-ξήρανση, παραλλαγή της ΜΒΕ παράγει καύσιμο καθορισμένων προδιαγραφών (SRF).*	
ΜΒΕ προκειμένου να μειωθεί η ανάγκη θερμικής επεξεργασίας *Η ΜΒΕ λιγοστεύει το ποσοστό του υπολείμματος, άρα μπορεί και να μειώσει την κλίμακα της δυναμικότητας της θερμικής επεξεργασίας.*	
Παραγωγή βιοαερίου *Εάν η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιηθεί ως συστατικό στοιχείο της ΜΒΕ, παράγεται βιοαέριο. Στην περίπτωση αυτή το υπόλειμμα καταλήγει σε ΧΥΤΑ.*	
Παραγωγή βιοαερίου και "εδαφοβελτιωτικού" *Σε πολλές περιπτώσεις παράγονται βιοαέριο και εδαφοβελτιωτικό μαζί.*	

Σε πολλές χώρες έχουν αναπτυχθεί πολύπλοκα συστήματα ΜΒΕ τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή των εξής προϊόντων **[18]**:

- Εδαφοβελτιωτικό χαμηλής ποιότητας (χρήση ως υλικό αποκαταστάσεων, τελικής κάλυψης, κ.λ.π), το οποίο για να παραχθεί απαιτεί εκτεταμένη επεξεργασία του οργανικού κλάσματος. Αυτό συμβαίνει, γιατί πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια σε ότι αφορά το βαθμό χουμοποίησης (αποσύνθεση των οργανικών υπολλειμάτων που υπάρχουν στο έδαφος ή που βάζουμε εμείς κατά την οργανική λίπανση **[45]**), την κοκκομετρία και την παρουσία μικροοργανισμών κ.λ.π., από υλικά όπως, εδαφοβελτιωτικά ή υλικά τύπου κομπόστ.

- Δευτερογενές καύσιμο, το γνωστό RDF, το οποίο είναι ένα ξηρό κλάσμα υψηλότερης θερμογόνου δύναμης από τα σύμμεικτα Α.Σ..Α το οποίο περιέχει χαρτί, πλαστικό, οργανικά σε μικρότερο βαθμό και άλλα καύσιμα και μη καύσιμα υλικά. Η αξιοποίηση του κλάσματος αυτού πραγματοποιείται σε ενεργοβόρες βιομηχανίες ή ειδικά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις .

- Σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα και σε μικρότερο βαθμό χαρτί και πλαστικά τα οποία είναι ανακυκλώσιμα υλικά.

- Σε περίπτωση που η βιολογική επεξεργασία γίνει με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης , παραγωγή βιοαερίου.

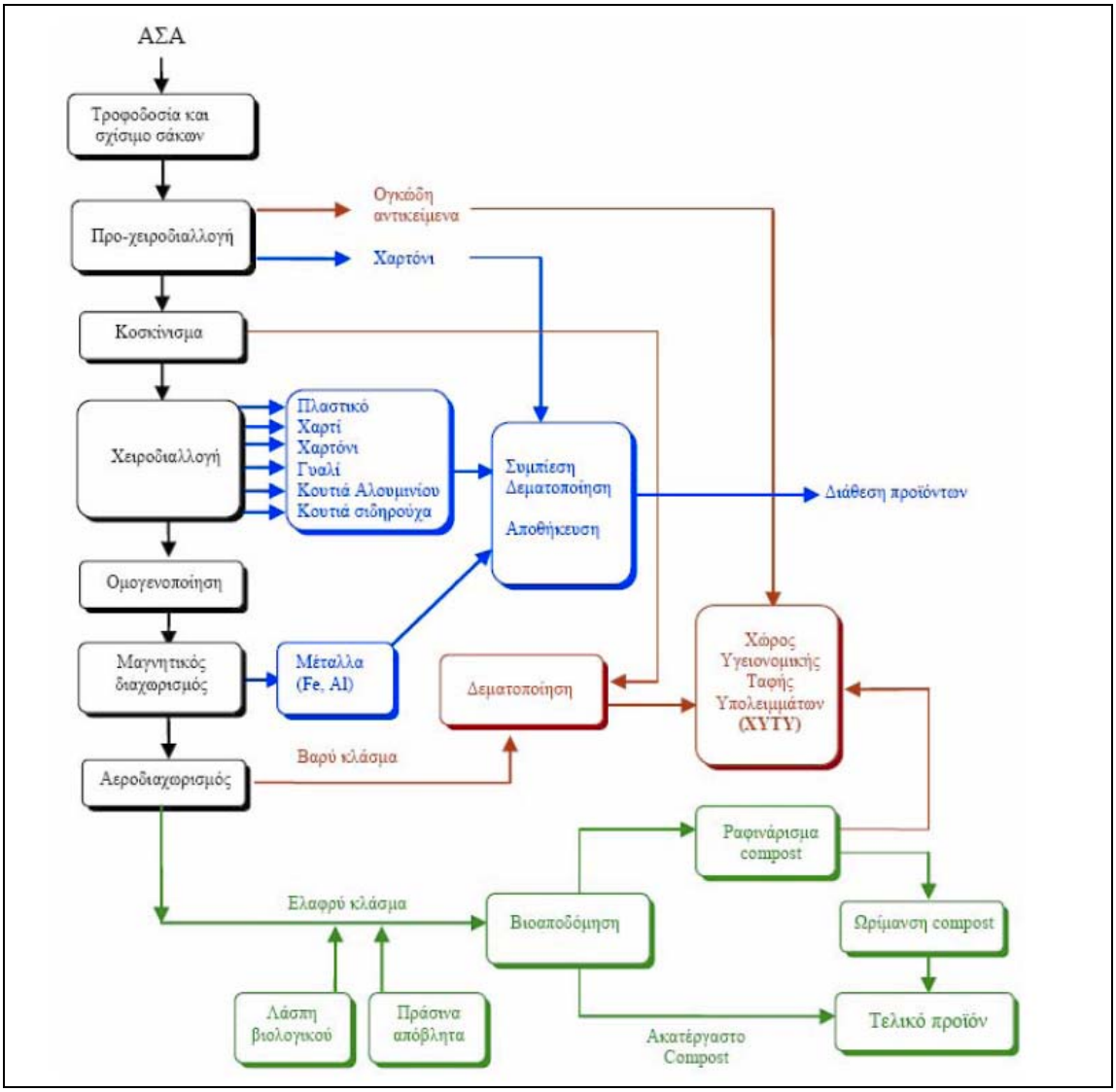
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΜΒΕ

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μονάδων ΜΒΕ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα **[19]**:

Πίνακας 2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας [19].

Είδος Τεχνολογίας	**Πλεονεκτήματα**	**Μειονεκτήματα**
Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία		
	Μεγάλος αριθμός μονάδων έχει εφαρμόσει την τεχνολογία .	Περιορισμένη αγορά για το RDF και το SRF.
	Επιτρέπεται η δυνατότητα επέκτασης λόγω του ευέλικτου σχεδιασμού	Υψηλός βαθμός εξάρτησης από την εφαρμοσμένη τεχνολογία.
	Παράγεται ποικιλία προϊόντων, εδαφοβελτιωτικά, καύσιμα (SRF) υψηλής θερμογόνου δύναμης.	Αδυναμία ανάπτυξης αγοράς για τα προϊόντα επεξεργασίας με αποτέλεσμα να οδηγούνται σε ΧΥΤΑ.
	Δυνατότητα ανάκτησης σιδηρούχων υλικών και μετάλλων, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην ανακύκλωση.	
	Αυτοματοποιημένο και απομακρυσμένο σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης.	
	Δυνατότητα παραμετροποίησης στη διεργασία κομποστοποίησης για την προσέγγιση βέλτιστων θερμοκρασιών και υγρασίας.	
	Περιορισμένη οπτική όχληση.	

Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι οι περισσότερες μονάδες ΜΒΕ βρίσκονται στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική Η χρήση της αερόβιας ΜΒΕ, γνωρίζει μεγάλη άνθιση τα τελευταία χρόνια καθώς είναι συμβατή με τους στόχους που θέτει η Ε.Ε, όσον αφορά τις εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται απορρίμματα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα αρκετά αναλυτικό διάγραμμα ροής μονάδων επεξεργασίας Α.Σ.Α:



Διάγραμμα 2.1 Τυπική ροή μονάδων επεξεργασίας Α.Σ.Α [19].

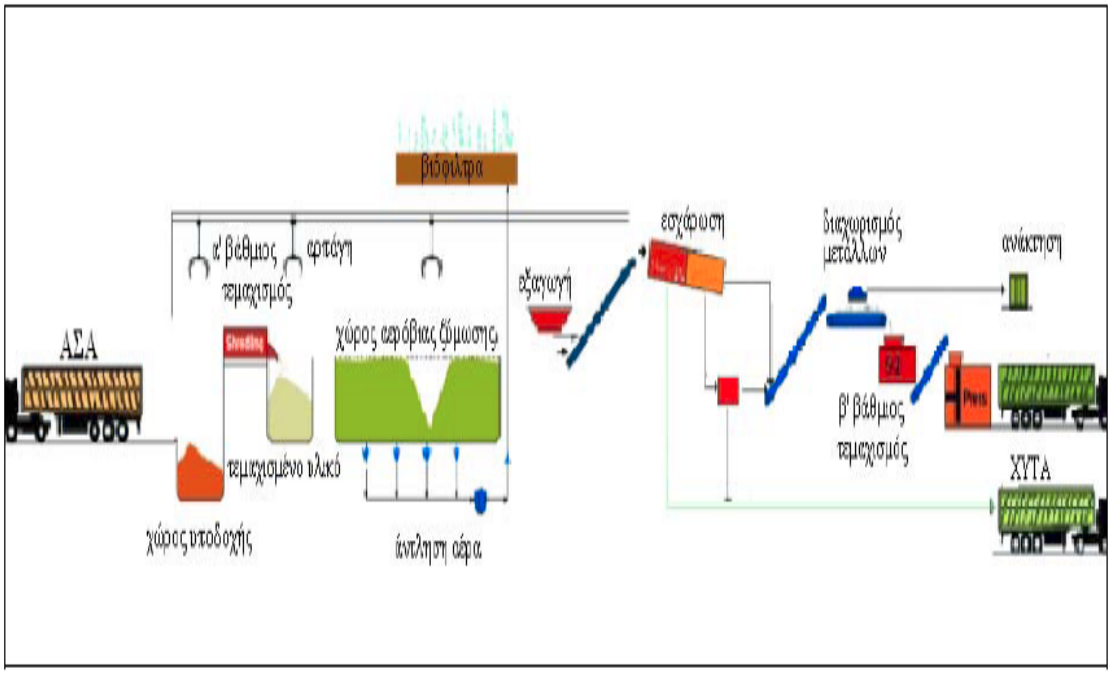
2.3 Βιολογική ξήρανση (ΒΜΕ)

Μια παραλλαγή της Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας, όπου η βιολογική επεξεργασία προηγείται της μηχανικής έχει επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια. Σκοπός της παραλλαγής αυτής, είναι η παραγωγή στερεού καυσίμου με καλή ποιότητα, του οποίου οι προδιαγραφές ποικίλουν ανάλογα με τον τελικό χρήστη και είναι γνωστό ως Solid Recover Fuel (SRF). Η παραλλαγή αυτή, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι γνωστή με το όνομα **Βιολογική Ξήρανση** και περιληπτικά μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από **[18]:**

- Την αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων κατά την οποία συνήθως γίνεται ελάττωση του μεγέθους με τεμαχισμό. Στο στάδιο αυτό γίνεται αποδόμηση των αποβλήτων, με παροχή οξυγόνου, αλλά σε αντίθεση με την κλασσική κομποστοποίηση δεν πραγματοποιείται προσθήκη νερού στα απόβλητα, με αποτέλεσμα η περιεχόμενη υγρασία όσο προχωρά η δράση των μικροοργανισμών ελαττώνεται. Έτσι λοιπόν γίνεται μερική αποδόμηση των αποβλήτων και ένα μεγάλο μέρος του βιολογικού τους περιεχομένου διατηρείται. Μετά την εξάτμιση του εισερχόμενου νερού και λόγω της βιοαποδόμησης (συνολικά σε ποσοστό περίπου 24-30% κ.β της εισόδου), παράγεται ένα προϊόν το είναι απαλλαγμένο από οσμές και μικροοργανισμούς και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που πραγματοποιούνται κατά το στάδιο της βιοξήρανσης (~50°C).

- Μετά το στάδιο της βιοξήρανσης ακολουθεί μηχανική μετεπεξεργασία, η οποία γίνεται με συνδυασμούς μηχανολογικού εξοπλισμού και έχει σκοπό τη βελτίωση της σύστασης του υλικού μέσω της απομάκρυνσης μετάλλων και της μείωσης των μη καύσιμων υλικών όπως οι πέτρες και τα γυαλιά. Το SRF/RDF, το οποίο αποτελεί το τελικό προϊόν της βιοξήρανσης, είναι ένα δευτερογενές καύσιμο με αρκετά σημαντική θερμογόνο δύναμη, περίπου (15-18 MJ/kg), ενώ παράλληλα λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, γίνονται πιο εύκολα οι μηχανκοί διαχωρισμοί, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να έχει χαμηλό ποσοστό προσμίξεων.

Οι κύριες διαφοροποιήσεις των διαφόρων συστημάτων που εφαρμόζονται έγκειται κυρίως ως προς το πως διαμορφώνεται ο χώρος της ξήρανσης. Τα βασικά συστήματα είναι τρία και παρακάτω γίνεται περιγραφή τους:



Σχήμα 2.3 Τυπικό διάγραμμα ροής βιολογικής ξήρανσης [22].

2.3.1 Βιολογική ξήρανση σε καλυμμένους σωρούς

Διάφορες εταιρίες σε Γερμανία, Αυστρία και Ιταλία εφαρμόζουν αυτή τη μέθοδο και αποτελεί ένα απλό και σχετικά φθηνό σύστημα, που εφαρμόζεται κυρίως σε μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις ή σε απόβλητα που έχουν πρώτα υποστεί κάποιο βαθμό διαλογής. Συχνά η εγκατάσταση των συστημάτων αυτών γίνεται εντός των ΧΥΤΑ, και δεν απαιτείται κτιριοδομική υποδομή.

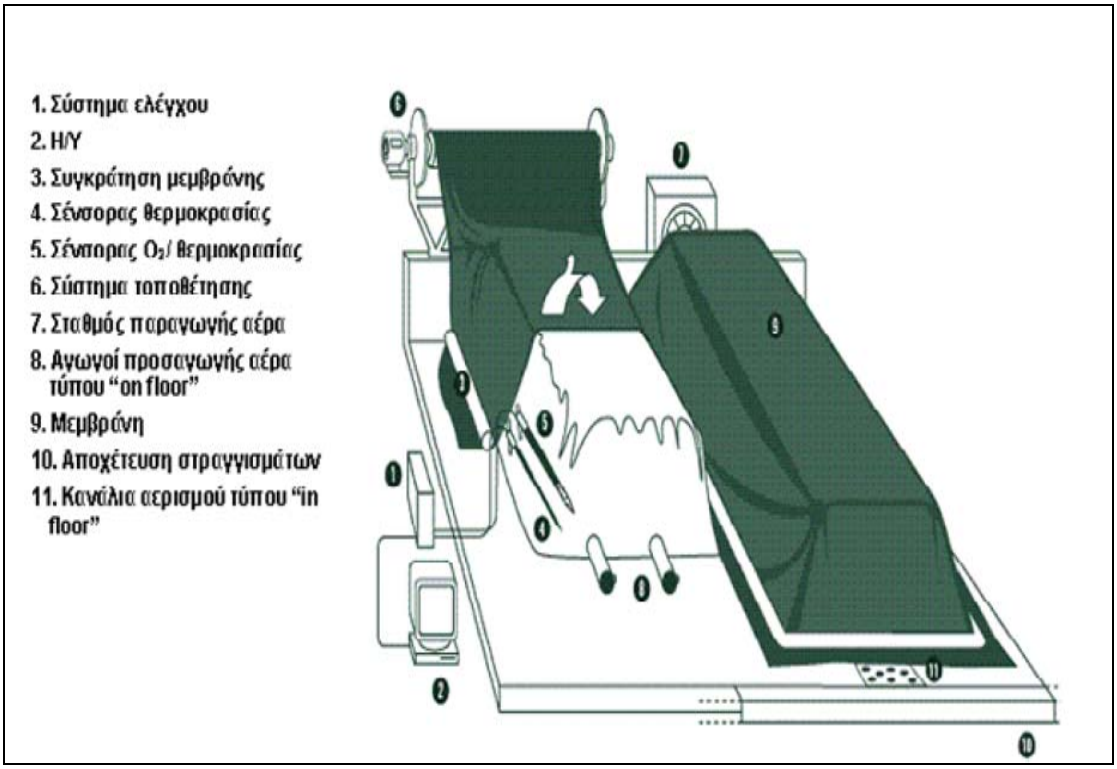
Τα απορρίμματα μέσω του απορριμματοφόρου, οδηγούνται σε φορτωτή σε χοάνη μονάδας λειοτεμαχισμού (shredding) και το μέγεθος τεμαχισμού είναι συνήθως 200 mm. Στη συνέχεια, προαιρετικά, μπορεί να γίνει και κοσκίνηση με σκοπό να δημιουργηθούν δύο κλάσματα. Τα κλάσματα τα οποία είναι μεγαλύτερα από 80 mm και αυτά τα οποία είναι μικρότερα. Σε αυτήν την περίπτωση τα μεγαλύτερα κλάσματα μπορούν να οδηγηθούν κατευθείαν σε ταφή καθώς έχουν πολύ μικρό οργανικό φορτίο.

Τα απορρίμματα τα οποία έχουν υποστεί τεμαχισμό, αφού με τη βοήθεια των φορτωτών τοποθετηθούν σε σωρούς, καλύπτονται από ειδική μεμβράνη. Η μεμβράνη αυτή είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την έξοδο του παραγόμενου CO_2 και των υδρατμών, αλλά να αποτρέπει την έξοδο των οσμών.

Κατάλληλα συστήματα φυσητήρων, επιτρέπουν την παροχή οξυγόνου ενώ η διασπορά του σε όλη τη μάζα των απορριμάτων, εξασφαλίζεται με κατάλληλο σύστημα διάτρητων σωλήνων. Η τοποθέτηση των αγωγών μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε με χρήση διάτρητου δαπέδου (in floor pipes) είτε με την τοποθέτηση πλέγματος αγωγών πάνω στην επιφάνεια που τοποθετείται ο σωρός (on floor pipes). Όσον αφορά τη θερμοκρασία και την υγρασία, κατά τη διάρκεια της διεργασίας, παρακολουθούνται όλα τα τμήματα του συγκροτήματος βιοσταθεροποίησης. Γίνεται αυτόματη καταγραφή των παραμέτρων και η παροχή οξυγόνου ρυθμίζεται μέσω συστήματος αυτοματισμού.

Μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης το σταθεροποιημένο υλικό οδηγείται προς δεματοποίηση και στην συνέχεια στο ΧΥΤ, ή προς μηχανική διαλογή για την ανάκτηση υλικών και την παραγωγή SRF.

Η εγκατάσταση των σωρών και του τεμαχιστή βρίσκεται σε ανοικτό χώρο, ο οποίος δεν είναι στεγασμένος και είναι διαμορφωμένος σαν <<πλατεία>>. Στην περίπτωση που ο εξοπλισμός μηχανικής διαλογής είναι επιθυμητός, τότε αυτός θα είναι στεγασμένος (π.χ σε μεταλλικό κτίριο με βιομηχανικό δάπεδο) **[18].**



Σχήμα 2.3 Βιολογική ξήρανση με τη μέθοδο των καλυμμένων σωρών [18].

2.3.2 Βιολογική ξήρανση εντός ενιαίας δεξαμενής

Είναι μια μέθοδος η οποία εφαρμόζεται από δύο ιταλικές εταιρίες.

Στην εγκατάσταση, υπάρχει ο ενιαίος κλειστός χώρος εντός βιομηχανικού κτιρίου ο οποίος περιλαμβάνει την υποδοχή/δοσομέτρηση, τον τεμαχισμό, την βιολογική ξήρανση και το τμήμα μηχανικής μετεπεξεργασίας. Το σύστημα εξαερισμού που λειτουργεί στο χώρο δημιουργεί ελαφρά υποπίεση και έτσι αποφεύγεται η έκλυση αερίων εκπομπών στον περιβάλλοντα χώρο. Στη συνέχεια τα αστικά απορρίμματα οδηγούν τον αέρα ο οποίος αναρροφάται, για την απαιτούμενη παροχή οξυγόνου σε αυτά και στο τέλος καταλήγει σε βιοφίλτρο για καθαρισμό.

Η βιολογική ξήρανση λαμβάνει χώρα σε μια κλειστή ενιαία δεξαμενή, μέσα στην οποία τα απορρίμματα έρχονται σε εξαναγκασμένη επαφή με το ρεύμα αέρα. Έτσι εξελίσσονται αντιδράσεις αερόβιας αποικοδόμησης του οργανικού κλάσματος ενώ ο απαραίτητος χρόνος παραμονής για την παραγωγή ενός υλικού με υγρασία περίπου 20% είναι το λιγότερο 14 ημέρες.

Το σταθεροποιημένο υλικό αφού απαλλαχθεί από τις οσμές, εισέρχεται στο σύστημα δεματοποίησης, μέσω χοάνης σε ταινία μεταφοράς. Με τη δεματοποίηση επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του όγκου των απορριμμάτων.

Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η παραγωγή SRF, με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση, μέσα στο κτιρίο τοποθετείται μηχανολογικός εξοπλισμός με σκοπό τη μηχανική διαλογή υλικών από το βιοσταθεροποιημένο υλικό.

Σε αυτή την περίπτωση, το σταθεροποιημένο υλικό, δεν οδηγείται προς δεματοποίηση αλλά αυτοματοποιημένα τροφοδοτείται, μέσω χοάνης και μεταφορικής ταινίας, σε κόσκινο μικρής διαμέτρου οπών (20mm) όπου γίνεται διαχωρισμός του υπολείμματος το οποίο έχει μέγεθος μικρότερο των 20 mm, το οποίο και οδηγείται προς ΧΥΤΑ, από το χρήσιμο υλικό, το οποίο έχει μεγαλύτερη διάμετρο και το οποίο οδηγείται ξανά για κοσκίνηση σε κόσκινο των 120 mm.

Το κλάσμα διερχόμενο μέσα από τις οπές (κλάσμα <120 mm) οδηγείται προς αεροδιαχωρισμό με σκοπό την ανάκτηση χαρτιού, πλαστικού, δηλαδή των υλικών υψηλού ενεργειακού περιεχομένου ενώ τα υλικά τα οποία δεν ανακτώνται από τον αεροδιαχωρισμό αποτελούν υπόλειμμα και οδηγούνται στο ΧΥΤΑ.

Το κλάσμα που έχει μεγέθος μεγαλύτερο των 120 mm εμπλουτίζεται με τα ελαφρά υλικά και οδηγείται σε μαγνητικό διαχωρισμό και αλουμινοδιαχωρισμό για ανάκτηση των μετάλλων και κατάληξη, να παραχθεί ένα σταθεροποιημένο προϊόν από χαρτί, οργανικό, πλαστικά και μικρή ποσότητα ανόργανων υλικών και προσμίξεων, που μπορεί να διατεθεί ως καύσιμο SRF. Τέλος, ένας μαγνητικός διαχωριστής διαχωρίζει τα μέταλλα, ενώ το αλουμίνιο διαχωρίζεται μέσω ενός διαχωριστή επαγωγικών ρευμάτων **[18]**.

Εικόνα 2.1 Υποδοχή, τεμαχισμός και βιολογική ξήρανση αποβλήτων [18].

2.3.3 Βιολογική ξήρανση σε κουτιά (boxes)

Η μέθοδος αυτή, έχει πολλές ομοιότητες με τη μέθοδο σε εντός ενιαίας δεξαμενής, απλά η ξήρανση δεν γίνεται σε δεξαμενή αλλά σε τσιμεντένια ή μεταλλικά διαμερίσματα-κουτιά. Τη μέθοδο αυτή εφαρμόζουν δύο γερμανικές εταιρίες, με διαφορές στη δυναμικότητα των μονάδων.

Στη μέθοδο αυτή η εισαγωγή αέρα γίνεται μέσω κατάλληλου δαπέδου και μετρώντας τη θερμοκρασία και το διοξειδίο του άνθρακα, ρυθμίζεται η κατάλληλη παροχή. Μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο η θερμοκρασία μέσα στα κουτιά φτάνει τους 50° C και παραμένει σε αυτά τα επίπεδα για 5 με 10 μέρες ενώ παράλληλα, οι βιολογικές διεργασίες καθώς και η απουσία οσμών εξασφαλίζεται με την χρήση κουτιών.

Μετά την έξοδο από τα κουτιά, το μεγαλύτερο ποσοστό του παρεχόμενου αέρα, ψύχεται σε εναλλάκτη και κατόπιν επιστρέφει σε αυτά. Αυτό γίνεται αρκετές φορές με σκοπό τα επίπεδα του CO_2 να ξεπεράσουν ένα συγκεκριμένο όριο. Αν συμβεί αυτό, ένα αρκετά προηγμένο σύστημα (Αναπαραγωγική θερμική οξείδωση - RTO), επεξεργάζεται τον αέρα, προκειμένου να τηρηθούν τα αυστηρά όρια, όσον αφορά τις εκπομπές VOCs, που έχουν τεθεί στη Γερμανία, ενώ παράλληλα το συμπύκνωμα από την ψύξη του αέρα οδηγείται με σκοπό την επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Όπως ειπώθηκε και στις προηγούμενες τεχνικές, το σταθεροποιημένο υλικό, αφού απαλλαχθεί από οσμές, οδηγείται σε σύστημα δεματοποίησης και στη συνέχεια τα οχήματα μεταφοράς το οδηγούν στους διάφορους ΧΥΤΑ.

Στην περίπτωση βέβαια που σκοπός είναι η ενεργειακή αξιοποίηση μέσω καυσίμου SRF, τότε για τη μηχανική διαλογή υλικών από το βιοσταθεροποιημένο υλικό, τοποθετείται στο κτίριο μηχανολογικός εξοπλισμός .

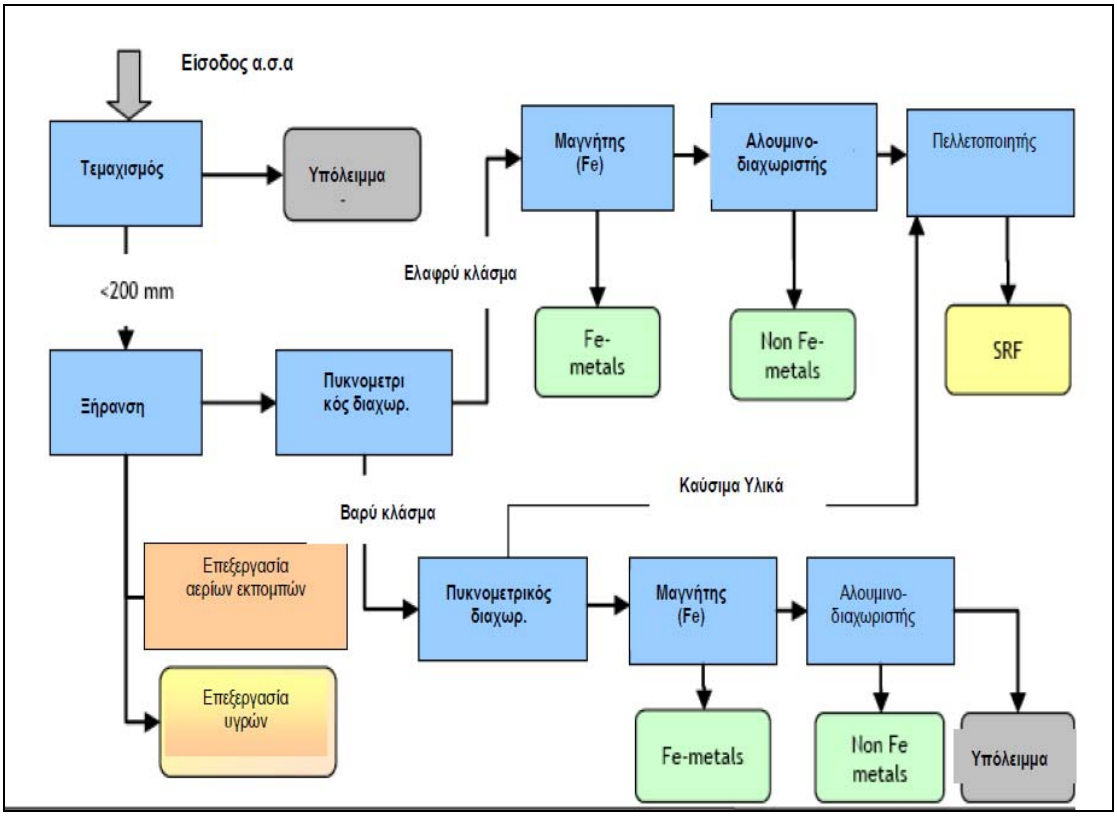
Στη συνέχεια, το σταθεροποιημένο υλικό, αυτοματοποιημένα τροφοδοτείται σε πυκνομετρικό διαχωριστή, με αποτέλεσμα να προκύψουν δύο κλάσματα, ένα βαρύ και ένα ελαφρύ. Μετά το ελαφρύ κλάσμα διέρχεται από μαγνήτη και αλουμινοδιαχωριστή και γίνεται ανάκτηση μετάλλων. Στο υλικό που απομένει, περιέχονται ελαφριά καύσιμα υλικά τα οποία αναμιγνύονται με τα αντίστοιχα καύσιμα υλικά από το δεύτερο πυκνομετρικό διαχωριστή, ο οποίος χρησιμοποιείται με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του βαρέως κλάσματος. Η πελλετοποίηση των υλικών αυτών έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή SRF.

Η πελλετοποίηση είναι μια απλή και οικονομική διαδικασία που περιλαμβάνει την άλεση, τη ξήρανση και τη συμπίεση. Έτσι προκύπτει ένα προϊόν, τα γνωστά Pellets, που είναι υψηλής πυκνότητας και υψηλής περιεκτικότητας σε ενέργεια **[47].**

Τέλος, το βαρύ κλάσμα, μετά το δεύτερο πυκνομετρικό διαχωρισμό, διέρχεται από μαγνήτη και αλουμινοδιαχωριστή, με σκοπό την ανάκτηση σίδηρου και αλουμινίου ενώ το υλικό που απομένει αποτελεί υπόλειμμα **[18].**

Εικόνα 2.2 Κουτιά της γερμανικής εταιρίας Herhof [18].

Εικόνα 2.3 Κουτιά της γερμανικής εταιρίας Nehlsen [18].



Διάγραμμα 2.2 Ενδεικτικό διάγραμμα ροής βιοξήρανσης σε κουτιά [18].

2.4 Μετατροπή των ΧΥΤΑ σε ΧΥΤΥ

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τα προηγούμενα, η διαχείριση των αποβλήτων δεν στηρίζεται σε μεμωνομένα συστήματα διαχείρισης, αλλά στο συνδυασμό διαφόρων τεχνολογιών, με στόχο, ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης των Α.Σ.Α. Κάτι το οποίο επιτυγχάνει σε μεγάλο βαθμό η μηχανική βιολογική επεξεργασία των απορριμμάτων (ΜΒΕ).

Παρόλα αυτά, ακόμα και σε αυτά τα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης των απορριμμάτων, όπως η ΜΒΕ, ο ρόλος των χώρων υγειονομικής ταφής παραμένει πολύ σημαντικός. Η διαφορά είναι, βέβαια, ότι πλέον δεν παραμένει σημαντικός ως ΧΥΤΑ αλλά ως ΧΥΤΥ (χώρος υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων).

Στην περίπτωση της βιολογικής ξήρανσης, έχουμε συνδυασμό μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας, ενώ το επόμενο στάδιο είναι η θερμική επεξεργασία. Αρχικά, όπως έχει αναφερθεί, γίνεται διαχωρισμός των απορριμμάτων σε κλάσμα με υψηλή θερμογόνο δύναμη για την θερμική επεξεργασία και σε οργανικό κλάσμα για την

βιολογική επεξεργασία πριν την ταφή.

Σε αυτό το σημείο, αμελώντας τα πλεονεκτήματα που μας δίνει η παραγωγή καυσίμου SRF/RDF που θα αναφερθούν παρακάτω, μπορούμε να πούμε ότι η διάθεση επεξεργασμένων αποβλήτων στους ΧΥΤ σε σχέση με την διάθεση ανεπεξέργαστων, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα επίσης. Συνοπτικά αναφέρονται τα εξής **[20]:**

- Η βιολογική επεξεργασία των απορριμμάτων, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με τις εκπομπές που προκαλούνται από τα ανεξάρτητα απορρίμματα.

- Η μείωση στη μάζα των επεξεργασμένων απορριμμάτων είναι της τάξης του 20-40%, ενώ η πυκνότητά τους από τη συμπίεση αυξάνεται από 0,8-0,9 t/m^3 σε 1.2-1,4 t/m^3 με άμεση συνέπεια, τη μείωση του μεγέθους του ΧΥΤ μέχρι 60%.

- Σε ένα ΧΥΤ, που καταλήγουν επεξεργασμένα απόβλητα, βελτιώνεται η ποιότητα των εκπομπών του. Έχει παρατηρηθεί μείωση του αζώτου και του COD κατά 90% στα παραγόμενα στραγγίσματα.

- Η ποσότητα βιοαερίου που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια αλλά και το τέλος ενός ΧΥΤ που δέχεται ανεπεξέργαστα απορρίμματα, ανέρχεται στα $150m^3/Mg$, ενώ στην περίπτωση ΧΥΤ που δέχεται επεξεργασμένα, μειώνεται μόνο στο 20 m^3/Mg.

3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ (MBE): ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

3.1 Η τεχνολογία της ξήρανσης

Η ξήρανση έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως όσον αφορά τα στερεά σώματα και σημαίνει απομάκρυνση σχετικά μικρών ποσοτήτων υγρού από ένα στερεό υλικό, πράγμα που έχει ως στόχο, την ελάττωση του ποσοστού του απομένοντος υγρού σε μια παραδεκτή τιμή.

Συνήθως η ξήρανση αποτελεί την τελική βαθμίδα μιας σειράς διεργασιών και το προϊόν από έναν ξηραντήρα είναι πολλές φορές έτοιμο προς χρήση στο εμπόριο. Παράλληλα, το νερό ή οποιαδήποτε άλλα υγρά, απομακρύνονται είτε θερμικά με εξάτμιση είτε μηχανικά.

Όσον αφορά από οικονομικής απόψεως, η απομάκρυνση του νερού μηχανικά, είναι πιο οικονομική από ότι να συμβεί αυτό θερμικά ενώ εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η ξήρανση, στην ουσία είναι η διεργασία ταυτόχρονης μεταφοράς μάζας και θερμότητας, μεταξύ στερεών σωμάτων και αδρανών αερίων η κενού, κατά τη διάρκεια της οποίας υπάρχει ελάττωση της περιεκτικότητας σε υγρασία των στερεών από μια αρχική τιμή σε μια τελική **[21].**

3.1.1 Υγρασία στερεών σωμάτων

Στα στερεά σώματα μπορεί κάποιος να εντοπίσει δύο είδη υγρασίας **[22]:**

- Το ελεύθερο νερό, που συγκρατείται μηχανικά από το στερεό και η δράση του είναι όπως το καθαρό νερό.
- Το ενωμένο η δεσμευμένο νερό. Το οποίο μπορεί να βρεθεί σε διάφορες μορφές. Μπορεί να εντοπιστεί ως φυσικά προσροφημένο νερό, η κρυσταλλικό νερό, η ως διάλυμα.

Η ειδοποιώς διαφορά στα δύο διαφορετικά αυτά είδη υγρασίας, είναι ότι η αποβολλή του πρώτου από το στερεό γίνεται πολύ πιο εύκολα (ακόμη και με ελεύθερη εξάτμιση), ενώ το δεύτερο απαιτεί θέρμανση.

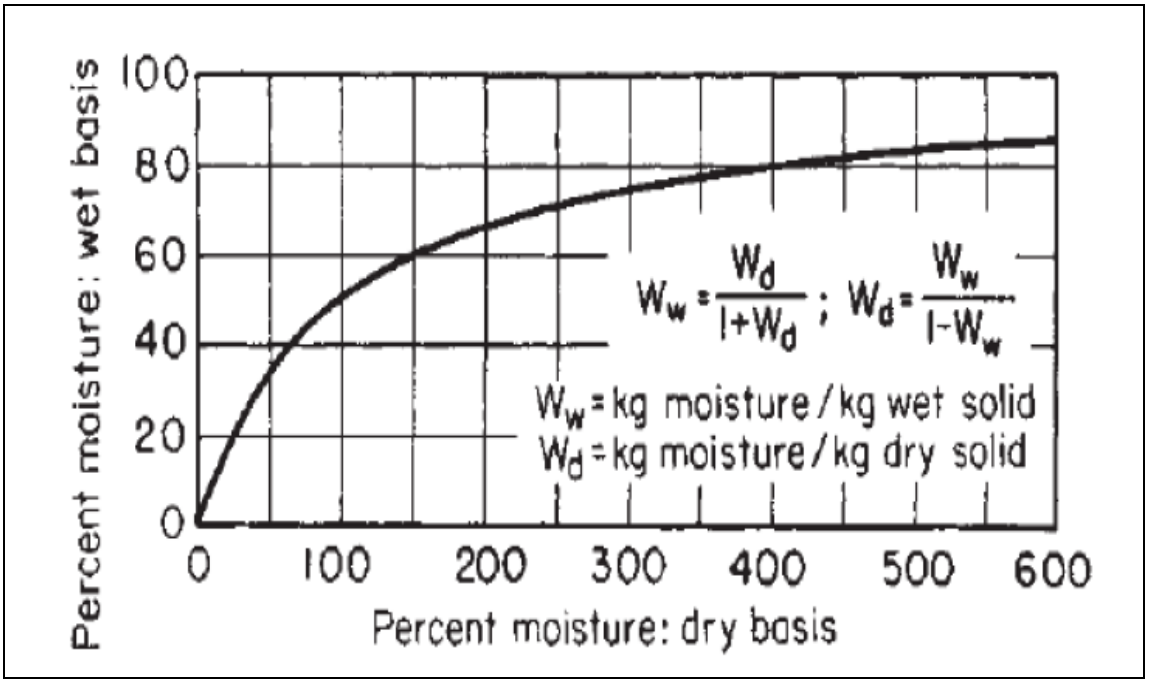
Την υγρασία ενός στερεού, την υπολογίζουμε ποσοτικά, συνήθως επί ξηράς βάσης (%W_d) σε kg ύδατος/kg ξηρού στερεού. Η υγρασία επί ξηρής βάσης σχετίζεται με την αντίστοιχη υγρής βάσης (% W_W) με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$W_d = \frac{w_w}{1-w_w} \tag{2.1}$$

$$W_w = \frac{W_d}{1 + W_d} \tag{2.2}$$

Η υγρασία των στερεών μπορεί να υπολογιστεί με αρκετούς τρόπους:

- Ξήρανση εντός κλιβάνου, για ορισμένο χρονικό διάστημα, σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασία 105°C.
- Ογκομετρικώς με το αντιδραστήριο του Fischer.
- Ξήρανση στο κενό σε περίπτωση που τα προϊόντα είναι ευαίσθητα στην θερμοκρασία.
- Αζεοτροπική απόσταξη του νερού με ανάμιξη του στερεού με τολουένιο.
- Με ηλεκτρικές μετρήσεις καθώς η περιεκτικότητα σε υγρασία, επηρεάζει την ηλεκτρική αντίσταση και τη διηλεκτρική σταθερά.



Διάγραμμα 2.1 Συσχέτιση υγρασιών στερεής και υγρής βάσης [22].

3.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ξήρανση

Η διαδικασία ξήρανσης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες **[22]:**

- Τη θερμοκρασία.
- Την υγρασία.
- Την ποσότητα αέρα που χρησιμοποιείται.
- Το μέγεθος των προς ξήρανση προϊόντων.
- Τη δομή τους και τη σύστασή τους.
- Τον τρόπο κυκλοφορίας του αέρα στον ξηραντήρα.

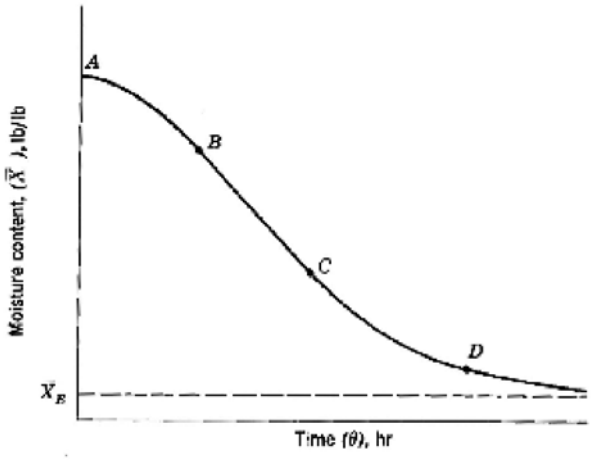
Συνεπώς για την πιο αποδοτική λειτουργία ενός ξηραντήρα, απαιτείται καλή γνώση των παραπάνω συνθηκών, με σκοπό την βελτιστοποίηση της διαδικασίας ξήρανσης. Αυτό θα συντελέσει στην εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και στην κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων.

3.1.3 Φαινόμενα κατά την ξήρανση

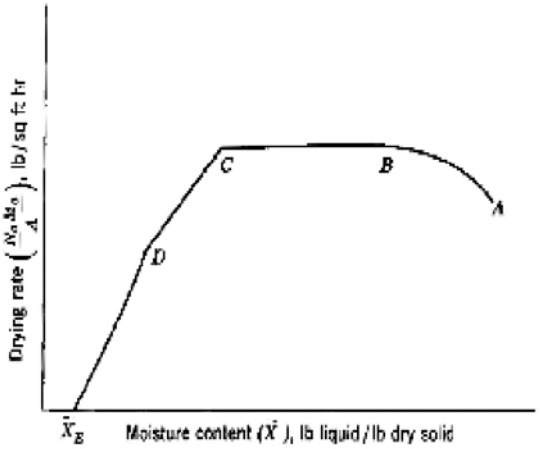
Η επαφή οποιουδήποτε υγρού στερεού με αέριο σε δεδομένη θερμοκρασία και υγρασία, έχει ως αποτέλεσμα η διεργασία ξήρανσης να εμφανίζει μια συγκεκριμένη συμπεριφορά. Μετά την πρώτη επαφή του υλικού και του μέσου ξήρανσης, υπάρχει μεταβολή στη θερμοκρασία του στερεού μέχρι αυτή να αποκτήσει σταθερή τιμή. Μέχρι να επιτευχθούν σταθερές συνθήκες, η θερμοκρασία του στερεού μπορεί είτε να αυξηθεί είτε να μειωθεί ανάλογα. Στη φάση που έχουν επιτευχθεί αυτές οι σταθερές συνθήκες, η θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού, είναι η θερμοκρασία του υγρού βολβού του μέσου ξήρανσης. Η καθυστέρηση στη μεταφορά της μάζας και της θερμότητας δεν θα επιτρέπουν στις θερμοκρασίες μέσα στο υλικό να εξισωθούν με τη θερμοκρασία του υγρού βολβού του αερίου. Όταν οι θερμοκρασίες του υλικού εξισωθούν με τη θερμοκρασία του υγρού βολβού του αερίου, τότε παραμένει σταθερός ο ρυθμός της ξήρανσης και στην περίπτωση αυτή, το στάδιο αυτό είναι γνωστό ως *περίοδος σταθερού ρυθμού ξήρανσης* (constant-rate drying period)**.**

Η περίοδος σταθερού ρυθμού ξήρανσης τελειώνει όταν το υλικό αποκτήσει ένα καθορισμένο για κάθε υλικό ποσοστό υγρασίας, το οποίο ονομάζεται *κρίσιμη υγρασία* (critical moisture content). Μετά από αυτό το σημείο ακολουθεί αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ παράλληλα ο ρυθμός ξήρανσης μειώνεται γρήγορα. Η *περίοδος ελαττούμενου ρυθμού ξήρανσης* (falling-rate drying period) διαρκεί περισσότερο από την περίοδο του σταθερού ρυθμού, παρόλο που η αφαίρεση υγρασίας είναι πολύ μικρότερη. Κατά την περίοδο αυτή, αρχίζει να αυξάνει η θερμοκρασία της επιφάνειας και η αύξηση αυτή συνεχίζεται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, μέχρι τελικά να πλησιάσει τη θερμοκρασία του ξηρού βολβού του αέρα.

Σε κάποιο ποσοστό υγρασίας που ονομάζεται υγρασία ισορροπίας και είναι το μικρότερο ποσό υγρασίας το οποίο μπορεί να παραμείνει στο στερεό, $\overline{X}_E$, (equilibrium moisture content), ο ρυθμός της ξήρανσης τείνει στο μηδέν. Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται τυπικές *καμπύλες ξήρανσης* (drying curves). Η πιο συνιθησμένη μορφή είναι η μορφή του σχήματος 2.2, αλλά το σχήμα 2.3 περιγράφει καλύτερα τη διεργασία ξήρανσης **[23].**



Διάγραμμα 2.2 Καμπύλη ξήρανσης για σταθερές συνθήκες – Υγρασία σε συνάρτηση με το χρόνο [23].



Διάγραμμα 2.3 Καμπύλη ξήρανσης για σταθερές συνθήκες - Ρυθμός ξήρανσης σε συνάρτηση με την υγρασία [23]

Κατά την περίοδο ξήρανσης του τμήματος ΑΒ, η θερμοκρασία του στερεού τείνει προς τις σταθερές συνθήκες. Παρόλο που στο διάγραμμα παριστάνεται μια τυπική μορφή καμπύλης, η περίοδος ΑΒ μπορεί να έχει οποιαδήποτε μορφή, δηλαδή μπορεί να είναι είτε ελαττούμενου είτε αυξανόμενου ρυθμού. Το τμήμα ΒC παριστάνει την περίοδο σταθερού ρυθμού, και στην φάση αυτή ολόκληρη η εξωτερική επιφάνεια του στερεού είναι κορεσμένη με νερό. Η ξήρανση πραγματοποιείται καθώς ο υδρατμός μεταβαίνει στην κύρια μάζα του ρεύματος θερμού αέρα, από την επιφάνεια του υγρού μέσω ενός υμενίου αέρα.

Ο ρυθμός της ξήρανσης εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο μεταδίδεται θερμότητα στην επιφάνεια ξήρανσης. Παράλληλα, ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας εξισορροπείται από το ρυθμό μεταφοράς της μάζας και με αυτό τον τρόπο η θερμοκρασία της επιφάνειας ξήρανσης παραμένει σταθερή. Η δύναμη η οποία προκαλεί την κίνηση του υδρατμού μέσω του υμενίου του αέρα, είναι η διαφορά της τάσης των υδρατμών μεταξύ της κύριας μάζας του αέρα και της επιφάνειας. Η ξήρανση λαμβάνει χώρα χωρίς να υπάρχει επιρροή του στερεού υλικού στο ρυθμό ξήρανσης. Στη συνέχεια η μάζα που απομακρύνεται από την επιφάνεια συνεχώς αποκαθίσταται από την κίνηση υγρού και στερεού στο εσωτερικό του υλικού. Ανάλογα με την δομή του υλικού, ο μηχανισμός της κίνησης του υγρού και συνεπώς ο ρυθμός της αλλάζει, ενώ στα στερεά υλικά που έχουν σχετικά μεγάλα διάκενα στη δομή τους, ο έλεγχος της κίνησης γίνεται από την επιφανειακή τάση και τις βαρυτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μέσα στο στερεό υλικό. Στα στερεά που έχουν άμορφη ή ινώδη μορφή, το υγρό κινείται με διάχυση διαμέσου του στερεού ενώ από τι στιγμή που οι ρυθμοί διάχυσης είναι μικρότεροι από τη ροή με τη δύναμη βαρύτητας, στα στερεά που πραγματοποιείται διάχυση του υγρού έχουμε και μικρότερες περιόδους σταθερού ρυθμού ή ακόμη και μηδενικές. Τέλος στο σημείο C (κρίσιμη υγρασία), μόλις που είναι δυνατό να εφοδιαστεί με υγρό η ελεύθερη επιφάνεια, καθώς το ποσοστό της υγρασίας του στερεού είναι ελάχιστο.

Παράλληλα μεταξύ των σημείων C και D του διαγράμματος 2.3, που ονομάζεται *πρώτη περίοδος ελαττούμενου ρυθμού* (first falling-rate period), ο ρυθμός της κίνησης του υγρού προς την επιφάνεια, είναι μικρότερος από το ρυθμό απομάκρυνσης του από την επιφάνεια προς το αέριο ρεύμα, με αποτέλεσμα το υγρό στην επιφάνεια να λιγοστεύει συνέχεια Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στο σημείο D να μην υπάρχει σημαντικό ποσό κορεσμένου υγρού στην επιφάνεια, ενώ το τμήμα της επιφάνειας που παρέμεινε κορεσμένο, υπόκειται σε περαιτέρω ξήρανση με μετάδοση θερμότητας, με συναγωγή από το θερμό ρεύμα αέρα και ταυτόχρονη μεταφορά μάζας προς το θερμό ρεύμα αέρα. Παράλληλα, μέσω των εσωτερικών στρωμάτων του δείγματος, διαχέεται ο υδρατμός προς τα μη κορεσμένα τμήματα της επιφάνειας και στη συνέχεια μεταφέρεται στο ρεύμα του αέρα.

Εάν το ποσοστό της υγρασίας, είναι χαμηλότερο απ' αυτό του σημείου D του διαγράμματος 2.2, η ξήρανση πραγματοποιείται αποκλειστικά στο εσωτερικό εντός του

στερεού. Η απόσταση για τη διάχυση της θερμότητας και της μάζας μεγαλώνει, αφού το ποσοστό υγρασίας μειώνεται συνεχώς και τελικώς η διαφορά συγκεντρώσεων μειώνεται συνεχώς μέχρι που στο $\overline{X}_E$ (υγρασία ισορροπίας), να μην υπάρχει περαιτέρω ξήρανση.

Τέλος, όσον αφορά την υγρασία ισορροπίας, μπορούμε να πούμε ότι εμφανίζεται όταν η τάση ατμών πάνω από το στερεό, γίνει ίση με τη μερική πίεση των υδρατμών στο ρεύμα αέρα και την περίοδο αυτήν την ονομάζουμε *δεύτερη περίοδο ελαττούμενου ρυθμού* (second falling rate period) **[23].**

3.2 Γενικά για τη βιολογική ξήρανση

Η βιολογική ξήρανση, αποτελεί μια τεχνική προεπεξεργασίας των απορριμμάτων με απώτερο σκοπό την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Πιο συγκεκριμένα έχει στόχο να μειώσει την υγρασία των αποβλήτων και κατά επέκταση του όγκου τους, να διευκολύνει τους μηχανικούς διαχωρισμούς των άχρηστων υλικών και να παραγάγει SRF. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου, είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες. Οι ξηραντήρες είναι συνήθως είτε κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων είτε κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes), τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων **[24].**

Πρέπει να τονιστεί, ότι βιολογική ξήρανση αποτελεί τη σημαντικότερη επεξεργασία στις εγκαταστάσεις ΜΒΕ και είναι μια σημαντική εναλλακτική λύση για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων (MSW).

Ο όρος βιολογική ξήρανση, δημιουργήθηκε από τους **Jewell et al. (1984)**. Όσον αφορά τη διαδικασία πρέπει να τονίσουμε ότι τρία πράγματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά και παρουσιάζονται παρακάτω **[25]:**

- Ο αντιδραστήρας βιολογικής ξήρανσης μέσα στον οποίο τα απόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία.

- Η φυσιοβιοχημική διαδικασία, η οποία πραγματοποιείται μέσα στον αντιδραστήρα.

- Οι εγκαταστάσεις MBE που περιλαμβάνουν έναν αντιδραστήρα βιοξήρανσης.

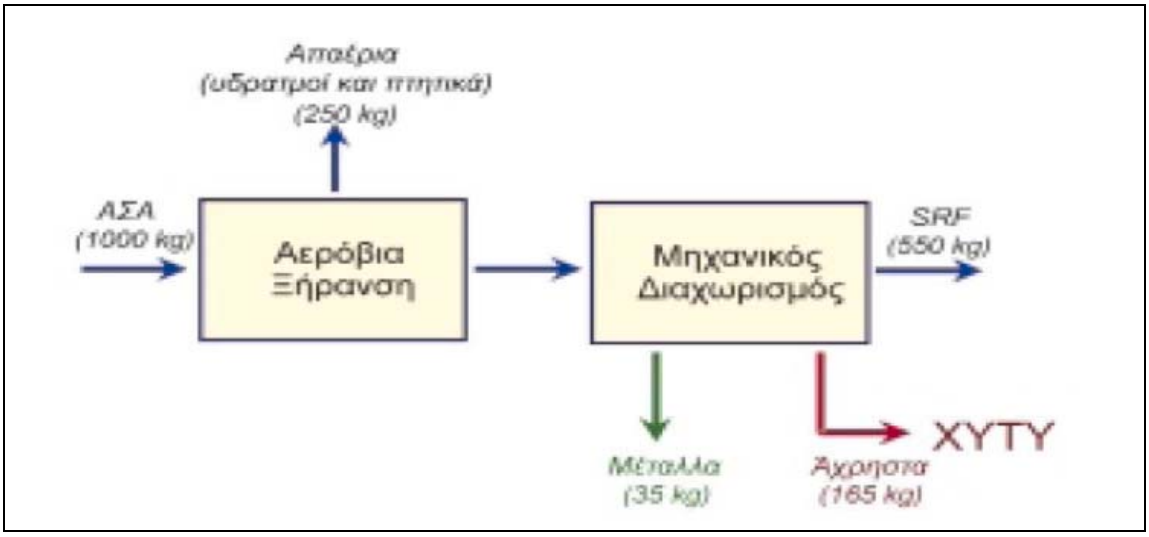
Χαρακτηριστικά, ο αντιδραστήρας στις εγκαταστάσεις MBE λαμβάνει τεμαχισμένο υπόλοιπο αποβλήτων. Μέσα στον αντιδραστήρα βιοξήρανσης η θερμική ενέργεια που εκδίδεται, κατά τη διάρκεια της αεροβικής αποσύνθεσης της εύκολα διασπάσιμης οργανικής ουσίας, συνδυάζεται με τον αερισμό για να ξεράνει τα απόβλητα .

Αυτό είναι σημαντικό στις εγκαταστάσεις MBE που καθιερώνονται για να παραγάγουν το στερεό καύσιμο (SRF) ως βασική έξοδό τους, επειδή η αφαίρεση της υπερβολικής υγρασίας των αποβλήτων εισόδου, διευκολύνει τη μηχανική επεξεργασία. Ένα σημαντικό όφελος της παραγωγής SRF είναι η ευκαιρία να ενσωματωθεί το βιολογικό περιεχόμενο των αποβλήτων εισόδου, σε ένα προϊόν καυσίμων. Αυτό παράγει ένα SRF το οποίο έχει χαμηλά επίπεδα εκπομπής CO_2, μετριάζοντας τη συμβολή των αποβλήτων στην αλλαγή κλίματος. Σαν αποτέλεσμα, υπάρχει υψηλό ενδιαφέρον για τις εγκαταστάσεις MBE: 20 εμπορικές αναφορές είναι αυτή την περίοδο λειτουργικές στην Ευρώπη, με γενική ικανότητα περίπου 2.000.000 Mg a^{-1}.

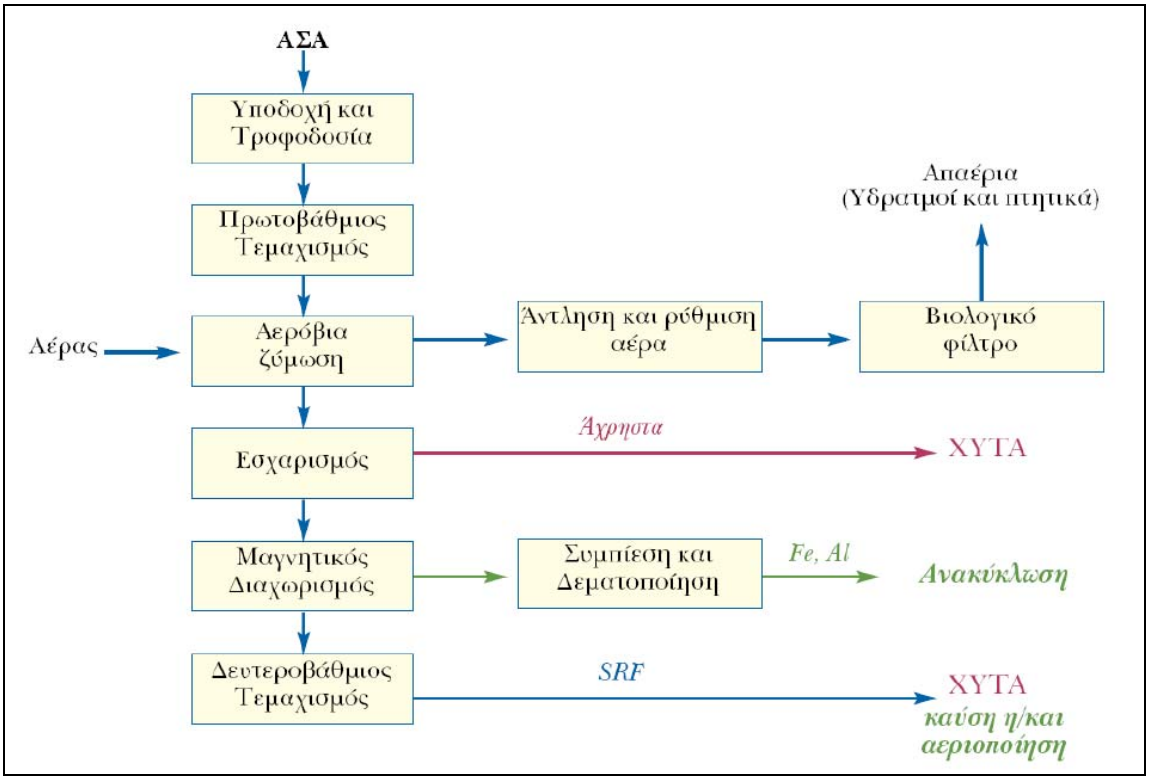
Εντούτοις, παραμένει μια σχετικά νέα τεχνολογία και η δημοσιευμένη έρευνα είναι περιορισμένη. Η εμπειρία από την εφαρμογή εγκαταστάσεων MBE προκύπτει μόνο κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Οι πρώτες εγκαταστάσεις που έγιναν λειτουργικές ήταν η διαδικασία eco-Deco στην Ιταλία (1996), που χρησιμοποιεί την αεροβική διαδικασία ξήρανσης και η διαδικασία Herhof στην Γερμανία (1997).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται και αξιολογείται η επιστήμη και η εφαρμοσμένη μηχανική της διαδικασίας η οποία είναι διαθέσιμη για τη βέλτιστη παραγωγή SRF μέσω εγκαταστάσεων MBE.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας τυπικής εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης, με τυπικό ισοζύγιο μάζας.



Διάγραμμα 3.3 Τυπική ροή μονάδας βιολογικής επεξεργασίας [6].



Διάγραμμα 3.4 Παραγωγική διαδικασία εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης [6].

3.3 Βιολογική ξήρανση σε εγκαταστάσεις (ΒΜΕ)

Οι αντιδραστήρες βιολογικής ξήρανσης, χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό φυσικών και βιοχημικών διαδικασιών, ενώ το σχέδιο των αντιδραστήρων περιλαμβάνει ένα εμπορευματοκιβώτιο που συνδέεται με ένα σύστημα αερισμού.

Η εκ μεταφοράς αφαίρεση υγρασίας επιτυγχάνεται μέσω του ελεγχόμενου αερισμού. Ενώ η γενική διαμόρφωση αντιδραστήρων και το φυσιοβιοχημικό φαινόμενο που λαμβάνει δράση εντός των αντιδραστήρων είναι παρόμοιο με τη λιπασματοποίηση, ο ακριβής τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται είναι σημαντικά διαφορετικός.

Η λιπασματοποίηση είναι μια ρυθμιζόμενη διάσπαση ή αδρανοιοποίηση των οργανικών ενώσεων των απορριμμάτων, από την οποία με τη βοήθεια μικροοργανισμών προκύπτουν:

- Χούμους το οποίο είναι ένα βελτιωτικό εδάφους που ονομάζεται κομπόστ, όπως επίσης CO_2 και H_2O (αερόβια λιπασματοποίηση).
- CH_4 (μεθανογένεση), όπως επίσης CO_2 και λάσπη (αναερόβια λιπασματοποίηση).

Στη διαδικασία αυτή συμμετέχουν διάφοροι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μήκυτες και πρωτόζωα), των οποίων η δραστηριότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως, η αναλογία C/N(ο άνθρακας είναι πηγή ενέργειας και το άζωτο αποτελεί τροφή για τους μικροοργανισμούς), η υγρασία των αποβλήτων , το διαθέσιμο οξυγόνο (αερόβια ζύμωση), το pH και η θερμοκρασία.

Το προϊόν της λιπασματοποίησης λέγεται βελτιωτικό εδάφους και πρέπει να είναι απαλλαγμένο από πλαστικό, μικροοργανισμούς, βαρέα μέταλλα και γυαλί. Το βελτιωτικό εδάφους χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στις καλλιέργειες, αυξάνοντας την παραγωγή καθώς εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικές ουσίες, αυξάνει το πορώδες του, κατακρατεί την υγρασία και δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες αερισμού **[46]**.

Η βιολογική ξήρανση, ως παραλλαγή της λιπασματοποίησης, έχει περιγραφεί για διάφορες εφαρμογές, εκτός από τις εγκαταστάσεις ΜΒΕ, συμπεριλαμβανομένης της

λιπασματοποίησης των υλικών με υψηλό MC, όπως το λίπασμα και η λάσπη, αλλά και την επεξεργασία χαρτιού προοριζόμενη για την καύση στους φούρνους.

Έρευνα σχετική έχει πραγματοποιηθεί επίσης για την ξήρανση σιταριού, για τη συντήρηση τροφίμων και για τη ξήρανση και την αποθήκευση των δασικών υπολειμμάτων. Η συμβατική ξήρανση χρησιμοποιεί τη ροή του αέρα μέσω των συγκομισμένων σιταριών ή των δασικών υπολειμμάτων για να τα ξεράνει, ενώ επιτυγχάνονται θερμοκρασίες μητρών μέχρι 5°C. Οι κρίσιμες λειτουργικές παράμετροι είναι (MC, MC ισορροπίας, ασφαλής χρόνος αποθήκευσης και αντίσταση πίεσης στη ροή αέρος) και σχετικός αέρας (ποσοστό ροών αέρος και ψυχρομετρικές ιδιότητες, δηλ., ιδιότητες που αναφέρονται στη θερμοδυναμική και φυσική σχέση μεταξύ του αέρα και του υδρατμού, όπως η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία, κ.λπ.).

Η βιοξήρανση διαφέρει από τη λιπασματοποίηση και τη συμβατική ξήρανση από την άποψη των στόχων κάθε διαδικασίας. Ο περιβαλλοντικός αέρας που χρησιμοποιείται για την ξήρανση **[25]:**

- Ξηραίνει τα σιτάρια ή τα υπολείμματα δασονομίας πριν από την αποθήκευση.
- Επιτυγχάνει τη μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Μειώνει τον κίνδυνο, με τη χρησιμοποίηση των θερμοκρασιών αέρα κοντά στο περιβαλλοντικό επίπεδο (Nellist, 1998 Nellist et Al, 1993).

Αντίθετα, ο αντιδραστήρας στοχεύει να επεξεργαστεί εκ των προτέρων τα απόβλητα, στον μικρότερο πιθανό χρόνο, προκειμένου να παραχθεί ένα υψηλής ποιότητας SRF. Αυτό επιτυγχάνεται με τα εξής **[25]:**

- Αυξάνοντας την ενέργεια με τη μεγιστοποίηση της αφαίρεσης της υγρασίας στη μήτρα αποβλήτων και τη συντήρηση του μεγαλύτερου μέρους της ακαθάριστης θερμογόνου δύναμης από τις οργανικές χημικές ενώσεις.
- Διευκόλυνση της ενσωμάτωσης του εν μέρει συντηρημένου βιολογικού περιεχομένου στο SRF.
- Καθιστώντας την έξοδο καταλληλότερη για τη μηχανική επεξεργασία.

Η βιοξήρανση καθιστά το υλικό καταλληλότερο για τη βραχυπρόθεσμη αποθήκευση και μεταφορά.

3.4 Διαδικασία βιολογικής ξήρανσης

Όπως έχει γίνει κατανοητό και παραπάνω, η ξήρανση μειώνει γενικά το ΜC των αποβλήτων, αναγκάζοντας το ύδωρ να εξατμιστεί στη φάση αέρα (ατμός) και παράγει τα ξηρά αποτελέσματα των επιθυμητών χαρακτηριστικών. Τα φαινόμενα ξήρανσης έχουν ερευνηθεί ευρέως εντούτοις, οι μηχανισμοί είναι ιδιαίτερα σύνθετοι και όχι πλήρως κατανοητοί. Η τεχνολογία ξήρανσης έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο των τροφίμων, των γεωργικών και φαρμακευτικών προϊόντων, του πολτού και του χαρτιού και πολλών άλλων βιομηχανικών εφαρμογών.

Όσον αφορά συγκεκριμένα την ξήρανση απορριμμάτων, ο κεντρικός αγωγός χρησιμοποιεί τη θερμότητα από την αεροβική βιοδιάσπαση των τμημάτων αποβλήτων, σε συνάρτηση με τη μηχανικά υποστηριγμένη ροή αέρος, με σκοπό την ξήρανση. Το ΜC των αποβλήτων μειώνεται μέσω δύο βασικών βημάτων **[25]:**

- Τα μόρια ύδατος εξατμίζονται (δηλ., φάση αλλαγής από το υγρό σε αεριώδη κατάσταση) από την επιφάνεια των αποβλήτων στον περιβάλλοντα αέρα.

- Το εξατμισμένο ύδωρ μεταφέρεται μέσω της μήτρας από τη ροή αέρος. Το περιορισμένο ποσό ελεύθερου ύδατος μπορεί να διαρρεύσει και εισπράττεται στο κατώτατο σημείο του αντιδραστήρα.

Η μεταφορά αέρα, που προκαλείται από τη ροή αέρος μέσω της μήτρας, είναι σχεδόν αποκλειστικά αρμόδια για τις απώλειες ύδατος. Η αφαίρεση της περιεκτικότητας σε ύδωρ από τη μήτρα αποβλήτων (εκρόφηση), από την εκ μεταφοράς εξάτμιση, συναρτάται από τη θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ της υγρής μήτρας αποβλήτων (στερεάς κατάστασης) και του αέρα που διατρέχει τη μήτρα (αεριώδης φάση).

3.4.1 Ενεργειακή ισορροπία στους αντιδραστήρες

Η απαραίτητη ενέργεια για την εξάτμιση (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, ή ενθαλπία της εξάτμισης) παρέχεται κυρίως από την αεροβική βιοδιάσπαση. Αντίθετα όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η συμβατική ξήρανση υιοθετεί τις εξωτερικές πηγές θερμότητας. Η αεροβική αποσύνθεση του οργανικού περιεχομένου των αποβλήτων από τους μικροοργανισμούς, είναι ένας εξωθερμικός βιοχημικός μετασχηματισμός που μπορεί γρήγορα να αυξήσει τις θερμοκρασίες μητρών. Στη λιπασματοποίηση, οι μέγιστες θερμοκρασίες είναι της τάξης 50- 62°C για τα μικρής κλίμακας συστήματα ή μέχρι 70°C για τους μεγαλύτερους αντιδραστήρες. Οι Roy et Al (2006), εξέθεσαν τα μέσα ποσοστά ενεργειακής παραγωγής, λόγω βιομετατροπής σε 23-29 W kg_{DM}^{-1} κατά τη διάρκεια της ξήρανσης λάσπης και χαρτιού. Αυτή η ενέργεια αποτελεί συνήθως μια ικανοποιητική πηγή για την ξήρανση, παρά τις απώλειες θερμότητας από μεταφορά, ακτινοβολία και θέρμανση του αέρα εξόδου. Ένα μικρό μέρος της εξωτερικής ενέργειας, που απαιτείται για τον αερισμό, μετατρέπεται σε ροή θερμότητας μέσω των απωλειών τριβής που προκαλούνται από τη μηχανικά υποστηριγμένη ροή του αέρα. Στην ξήρανση σιταριού, αυτό οδηγεί σε μια προσδοκώμενη χαρακτηριστική άνοδο στη θερμοκρασία σιταριού μεταξύ 0.5°C και 2°C (Nellist, 1998), εντούτοις, η άνοδος μπορεί να ποικίλει σύμφωνα με τις ακριβείς περιβαλλοντικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα των μελετών μεταφοράς θερμότητας, έχουν καθιερωθεί σε μεγάλες εφαρμογές για να ελεγχθούν οι απώλειες θερμότητας και στη συνέχεια η θερμοκρασίες των μητρών. Για τα βιομηχανικής κλίμακας και πλήρως εσωκλειόμενα κουτιά Herhof- Rottebox, η εξάτμιση ύδατος βρέθηκε να συμβάλλει περισσότερο από 75% στη μεταφορά θερμότητας (Weppen, 2001).

Το σχέδιο διαδικασίας, παρακολούθησης και ελέγχου, μπορεί να επιτευχθεί μέσω των αποτελεσματικών σχεδίων αντιδραστήρων και της βελτίωσης του υλικού εισόδου. Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη ρύθμιση του επιπέδου λειτουργικών μεταβλητών. Το χαρακτηριστικό σχέδιο και οι λειτουργικές επιλογές περιλαμβάνουν **[25]:**

- Μηχανική προεπεξεργασία, π.χ., τεμαχισμός ή/και η μίξη.

- Ανακάτεμα των αποβλήτων στους αντιδραστήρες για να ομογενοποιηθεί το μίγμα.

- Σχέδιο συστημάτων αερισμού.

- Συστήματα διαχείρισης του ποσοστού αερισμού της μήτρας των αποβλήτων, όπως ο έλεγχος του ποσοστού ροών αέρος (Qair), η θερμοκρασία υποστρωμάτων και η διαθεσιμότητα οξυγόνου.

Ο έλεγχος της διαδικασίας είναι δύσκολος, εντούτις, θα μπορούσε να ωφεληθεί από τις πρόσφατες προόδους ξήρανσης. Η εφαρμοσμένη μηχανική ελέγχου για την τεχνολογία ξήρανσης, εφαρμόζεται κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων, αλλά και όλο και περισσότερο στη ζωγραφική, τα φαρμακευτικά είδη και τις ξύλινες εφαρμογές.

Και οι απλές και σύνθετες στρατηγικές ελέγχου διεργασίας υιοθετούνται στα εμπορικά συστήματα βιολογικών αντιδραστήρων. Οι Word et Al (2008) αναθεώρησαν τα συστήματα ελέγχου για τους αντιδραστήρες αναερόβιας χώνευσης και οι γενικές προτάσεις τους, συμπεριλαμβανομένης της σημασίας της παρακολούθησης και του ελέγχου της διαδικασίας, ισχύουν κατά ένα μεγάλο μέρος για όλες τις τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων.

Ορισμένες εμπορικές εφαρμογές χρησιμοποιούν τα προηγμένα συστήματα ελέγχου. Η Bartha (2008) ανέπτυξε ένα σύστημα ελέγχου διεργασίας για έναν βιοαντιδραστήρα περιστρεφόμενων τυμπάνων, ενώ ένα ευρωπαϊκό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Herhof επιλέγει τον έλεγχο της παροχής αέρα έτσι ώστε η περιεκτικότητα σε CO_2 στον αέρα εξάτμισης να κινείται στα όρια 0.05-0.4% v/v .

3.4.2 Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των αποβλήτων κατά την ξήρανση

Οι Scholwin et Al (2003) τόνισαν τη σημασία των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των αποβλήτων, για την αποτελεσματική διαμόρφωση και τον έλεγχο διαδικασίας στην περίπτωση της οργανικής λιπασματοποίησης των αποβλήτων. Οι σχετικές παράμετροι ομαδοποιήθηκαν σε δύο περιπτώσεις, σχετικά με τα υλικά και το πρότυπο ροής.

Ιδιότητες όπως το MC, η διαπερατότητα και η συμπίεση της μήτρας αποβλήτων, έχουν τη δυνατότητα να έχουν επιπτώσεις στην αντίσταση της ροής του αέρα. Μερικές από αυτές τις ιδιότητες θα μπορούσαν να ρυθμιστούν ευεργετικά με την προεπεξεργασία του υλικού εισόδου στον αντιδραστήρα βιολογικής επεξεργασίας. Αυτήν την περίοδο, η στρατηγική προεπεξεργασίας στις περισσότερες εγκαταστάσεις MBE περιορίζεται να τεμαχίσει, π.χ., στο μέγιστο μέγεθος μορίων 300-150 χιλ**. [25].**

3.4.3 Τύπος συστημάτων αερισμού

Ο μηχανικά υποστηριγμένος αερισμός των αποβλήτων είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Παρέχει την απαραίτητη ροή μάζας και ενέργειας, επιτρέποντας **[25]:**

- Ικανοποιητική αφαίρεση ύδατος.
- Ανακατανομή θερμότητας, αφαιρώντας την υπερβολική θερμότητα και, ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία μητρών.
- Κατάλληλη ποσότητα O_2 για να ικανοποιηθεί η στοιχειομετρική απαίτηση για την αεροβική αποσύνθεση.

Η διαχείριση αέρα ποικίλλει σύμφωνα με το σχέδιο των αντιδραστήρων και την πολυπλοκότητα της διαδικασίας. Το κατώτατο σημείο ενός εμπορικού βιοαντιδραστήρα (Herhof Rottebox), διαιρείται σε 12 μέρη που επιτρέπουν στη ροή αέρος να ποικίλει σε κάθε τμήμα.

3.4.4 Θερμοκρασίες αέρα και μητρών για τη βελτιστοποίηση της ξήρανσης

Διάφορα στοιχεία είναι διαθέσιμα για τη μεταβολή της θερμοκρασίας που βελτιστοποιεί την ξήρανση. Ενώ μερικές μελέτες για την αεροβική βιοδιάσπαση, δείχνουν την αφαίρεση υγρασίας στις υψηλότερες θερμοκρασίες μητρών, τα πειραματικά στοιχεία υποστηρίζουν τη μέγιστη ξήρανση για τις πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες καθυστερούν τη βιοδιάσπαση.

Οι Skourides et Al. (2006) ερεύνησαν το οργανικό μέρος των δημοτικών στερεών αποβλήτων σε ένα ημιβιομηχανικό περιστροφικό τύμπανο. Ομοίως, τα

αποτελέσματα εμφάνισαν μέγιστο ποσοστό ξήρανσης που επιτεύχθηκε για τα υψηλότερα ποσοστά αερισμού (120 m^3 h^{-1}), οδηγώντας στα χαμηλότερα τελικά επίπεδα MC (20% w/w από ένα αρχικό 40% w/w) σε ένα χρόνο (< 7 d).

Εντούτοις, ένα μοντέλο της λιπασματοποίησης που βασίστηκε στην ισορροπία θερμότητας και μάζας και που επικυρώθηκε με το εργαστήριο και τα πειράματα κλίμακας στα μίγματα φλοιών σπόρου και ρυζιού, συνήγαγε στα ακόλουθα συμπεράσματα (Nakasaki et al, 1987). Η βέλτιστη αφαίρεση MC (από 60,3% w/w σε 44,8% w/w) επιτεύχθηκε σε μια θερμοκρασία υποστρωμάτων 60°C, με έναν μέσο όρο ροών αέρος 0.0143 του m^3 h^{-1} $kg_{initia}{}^{-1}$ μετά από 150 h λειτουργίας, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία 50°C απαιτεί συγκεκριμένο ποσοστό ροών αέρος γύρω στο 0.0164 m^3 h^{-1} $kg_{initia}{}^{-1}$, μειώνοντας το MC μόνο σε 48,6% w/w. Το μοντέλο πρόβλεψε ότι η βέλτιστη θερμοκρασία για τη βιοδιάσπαση συνέπεσε με τη βέλτιστη θερμοκρασία για την ξήρανση, ένα αποτέλεσμα που ελέγχθηκε με μια σειρά κινητικών μοντέλων βιοδιάσπασης που εξετάστηκε από τους Richard και Choi (1997) **[25].**

3.4.5 Μικροβιακή δραστηριότητα

Για να επιτευχθεί η βιολογική μετατροπή ενός οργανικού κλάσματος πρέπει να υπάρχει μια δυναμική ισορροπία στο βιολογικό σύστημα. Για τη διατήρηση αυτής της ισορροπίας πρέπει το περιβάλλον να είναι απαλλαγμένο από συγκεντρώσεις αμμωνίας, βαρέων μετάλλων, σουφλιδίων και άλλων τοξικών ενώσεων.

Η θερμοκρασία, το pH και η υγρασία είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Θερμοκρασία

Για τη θερμοκρασία πρέπει να σημειώσουμε ότι καθώς αυτή αυξάνεται τότε κάθε 10 διπλασιάζεται ο ρυθμός ανάπτυξης μέχρι να επιτευχθεί η βέλτιστη θερμοκρασία. Ο ρυθμός ανάπτυξης δεν επηρεάζεται πολύ από θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τη βέλτιστη.

Οι μικροοργανισμοί διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν καλύτερα, όπως φαίνεται και στον παρακάτων πίνακα.

Πιν. 3.1 Συνθήκες θερμοκρασίας για την λειτουργία διάφορων βακτηριδίων [46].

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Περιοχή Θ λειτουργίας [°C]	Βέλτιστη Θ λειτουργίας [°C]
Ψυχροφυλικά	-10 - 30	15
Μεσοφυλικά	20 – 50	35
Θερμοφυλικα	45 – 75	55

pH

Το pH πρέπει να κυμαίνεται στην περιοχή 6-9. Η βέλτιστη τιμή του pH στην οποία αναπτύσσονται τα βακτήρια είναι 6.5-7.5.

Υγρασία

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών επηρεάζεται πολύ από την υγρασία. Για αυτό είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε την υγρασία του οργανικού κλάσματος των Α.Σ.Α που πρόκειται να μετατραπεί **[46].**

Οι μικροβιακές διαδικασίες κατά τη διάρκεια της ξήρανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς επιτρέπουν την παραγωγή της απαραίτητης θερμότητας για την αποτελεσματική ξήρανση. Η θερμοκρασία υποστρωμάτων T_{waste} είναι ο κρισιμότερος παράγοντας που έχει επιπτώσεις στη μικροβιακή αύξηση, επειδή, μεταξύ άλλων, παρέχει τις ιδανικές συνθήκες για τον πολλαπλασιασμό ορισμένων τύπων μικροοργανισμών, π.χ., μεσοφιλικών ή θερμοφιλικών. Για παράδειγμα στη λιπασματοποίηση, σε θερμοκρασία Twaste > 60°C η κυτταρίνη και η λιγνίνη συντηρούνται κατά ένα μεγάλο μέρος, καθώς οι θερμοφιλικοί μύκητες πεθαίνουν, αλλά οι πρωτεϊνες και οι ημικυτταρίνες μεταβολίζονται εύκολα από τα βακτηρίδια και τους ακτινομύκητες (Lester και Birckett, 1999).

Κατά τη διάρκεια μιας μήτρας με υψηλό MC, λάσπης και χαρτιού, οι Roy et al (2006) προσδιόρισαν τρία στάδια ξήρανσης, τα οποία συσχέτισαν με τις μικροβιακές περιόδους αύξησης πληθυσμών **[25]:**

- Εγκλιματισμός των μικροβίων με συνέπεια ένα εκθετικά αυξανόμενο ποσοστό ξήρανσης.

- Εκθετική μείωση του ποσοστού ξήρανσης, λόγω της ανεπαρκούς διαθεσιμότητας για τις θρεπτικές ουσίες.

- Σταθερό ποσοστό ξήρανσης, που αντιστοιχεί στις διακυμάνσεις του Qair.

4. *ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ*

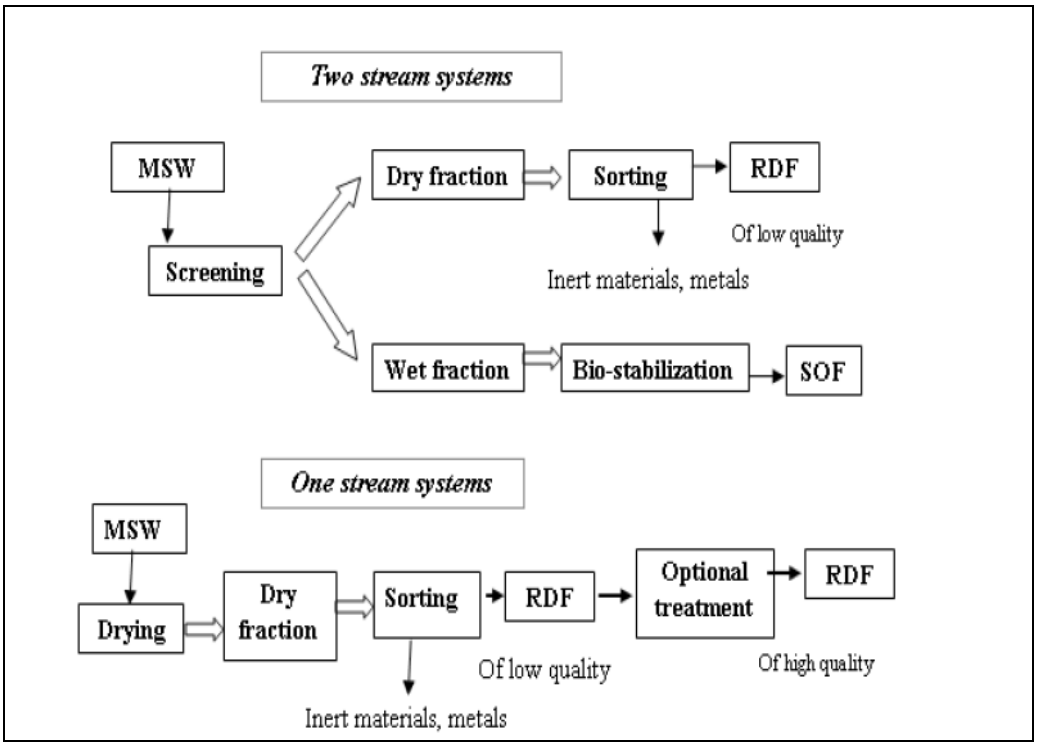
4.1 Βιοξήρανση με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη

Αρχικά πρέπει να τονίσουμε ότι η *Βιώσιμη Ανάπτυξη (Sustainable Development),* αποτελεί έννοια κλειδί στον 21^{ο} αιώνα και πρέπει να αποτελεί τη βάση τόσο για τους επιστήμονες που ασχολούνται με θέματα περιβάλλοντος και ανάπτυξης όσο και για τον κάθε πολίτη ξεχωριστά.

Με άλλα λόγια, **η βιώσιμη ανάπτυξη είναι ζωτικής σημασίας τόσο για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών όσο και τη βελτίωση του βιωτικού μας επιπέδου. Αυτό, όπως γίνεται σαφές, πρέπει να γίνεται αποτελεσματικά αλλά και υπεύθυνα λαμβάνοντας πάντα υπόψη το περιβάλλον και τον άνθρωπο [26].**

Όπως είναι προφανές και η ευρωπαϊκή συμφωνία ορίζει, ότι οι πολιτικές ανάπτυξης πρέπει να καθοδηγηθούν από την αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης και να λάβουν πλήρως υπόψη περιβαλλοντική εκτίμηση.

Συνδέοντας τα παραπάνω με την ανάπτυξη τεχνολογιών ΜΒΕ μπορούμε να πούμε, ότι οι τεχνολογίες που προσελκύουν ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η μηχανική βιολογική επεξεργασία (ΜΒΕ) και η βιολογική μηχανική επεξεργασία (ΒΜΕ), ειδικότερα που στοχεύει στην ενεργειακή παραγωγή. Σε αυτήν την ανησυχία μια επιλογή ενός συστήματος ρευμάτων ΒΜΕ θα μπορούσε να προτιμηθεί από μια επιλογή δύο ρευμάτων, ΜΒΕ. Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα του συστήματος δύο ρευμάτων συσχετίζεται με την παραγωγή των σταθεροποιημένων οργανικών μερών (SOF).



Διάγραμμα 4.1 Ένα και δύο συστήματα ρευμάτων ΜΒΕ [27].

Ο χαρακτηριστική επιλογή ενός συστήματος ρευμάτων είναι βασισμένη στη διαδικασία βιοξήρανσης. Μια χαρακτηριστική επιλογή δύο ρευμάτων είναι βασισμένη στην έννοια του κοσκινίσματος (που δημιουργούνται δύο ρεύματα) και στη βιο-σταθεροποίηση . Επομένως η επιλογή ενός συστήματος ρευμάτων που είναι βασισμένη στη διαδικασία της βιοξήρανσης, παρέχει έναν περισσότερο βιώσιμο τρόπο ανάπτυξης.

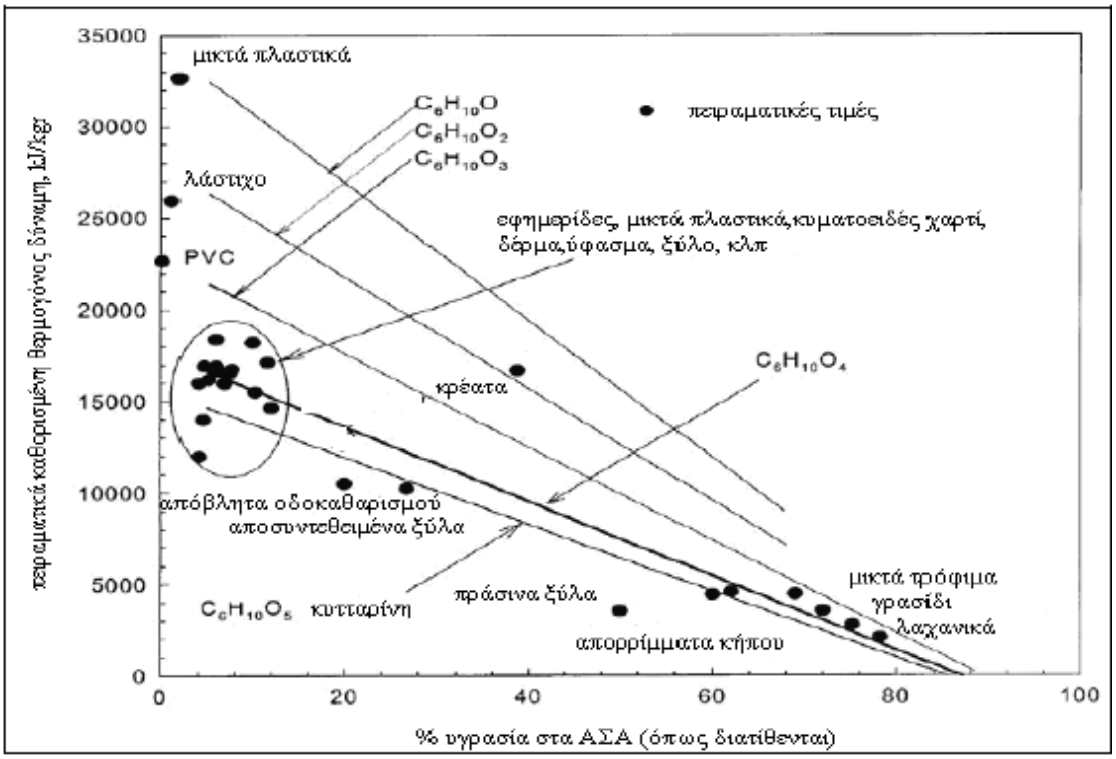
Επιπροσθέτως, όπως έχει γίνει σαφές, η διαχείριση των απορριμμάτων αντιπροσωπεύει ένα από τα σύγχρονα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας. Οι εθνικές, περιφερειακές και δημοτικές κυβερνήσεις, πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα συχνά επειδή όλα τα προηγούμενα προγράμματα διάθεσης χαμηλότερου κόστους, δεν είναι πλέον αποδεκτά στο πλαίσιο της Ε.Ε.

Η εφαρμογή των βιολογικών διαδικασιών για την επεξεργασία των αποβλήτων και η επιτυχής ανάπτυξή τους παρουσιάζουν αυξανόμενο ενδιαφέρον. Το τελικό υλικό, που όπως έχει αναφερθεί και σε περοηγούμενο κεφάλαιο, ονομάζεται Refuse Derived Fuel (RDF), μετά από ένα στάδιο καθαρισμού μπορεί να σταλεί στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ή στους κλιβάνους τσιμέντου και να αντικαταστήσει μερικώς τον άνθρακα.

4.2 Ενεργειακό περιεχόμενο υλικών

Τα απόβλητα αποτελούνται από μεγάλη ανομοιογένεια και διακύμανση της αναλογίας σε οργανικά και ανόργανα συστατικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο σχεδιασμός και η λειτουργία μιας εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας. Η συμπεριφορά των αποβλήτων στην καύση επηρεάζεται από τα εξής **[31]:**

- Ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη.
- Η περιεκτικότητα σε υγρασία (% κ.β) και σε στάχτη (% κ.β).
- Οι πτητικές ύλες (% κ.β).



Διάγραμμα 4.1 Θερμογόνος δύναμη υλικών σε συνάρτηση με την υγρασία [31].

Το ενεργειακό περιεχόμενο ενός καυσίμου εκφράζεται με τους εξής όρους **[31]:**

- Ολική Θερμογόνος Δύναμη η Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (HHV).
- Καθαρή Θερμογόνος Δύναμη η Χαμηλή Θερμογόνος Δύναμη (LHV).

Το LHV αποτελεί ορθότερο μέτρο από το HHV όσον αφορά τη θερμότητα που απελευθερώνεται από τα απόβλητα σε πραγματικές συνθήκες. Το HHV είναι η ολική θερμότητα που απελευθερώνεται όταν ένα αρκετά μικρό δείγμα του υλικού καίγεται σε ένα θερμιδομετρητή δοκιμής, σε μια θερμοκρασία γύρω στους 25°C και όλα τα προϊόντα βρίσκονται στη σταθερή τους κατάσταση στην ίδια θερμοκρασία.

Σε αντίθεση με το HHV το LHV αντιπροσωπεύει την ενέργεια που μπορεί πραγματικά να ληφθεί από την καύση των αποβλήτων.

Πίνακας 4.1 Θερμογόνος δύναμη των κύριων υλικών Α.Σ.Α [31].

Τύπος απορρίμματος	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)
RDF	13,3-14,4
Χαρτί	16,7-18,6
Κήπου	9,8-16,3
Υπολείμ.φαγητού	4,2-18,1
Πλαστικό	22,1-41,9
Ξύλο	10,9-16,3
Λάστιχο	27,9-32,6

Στον παρακάτω πίνακα, συγκρίνεται το LHV για τα διαφορετικά καύσιμα, για το βιοξηραμένο υλικό και το RDF. Η σύγκριση είναι χρήσιμη για να καταλάβει κανείς τη δυνατότητα του RDF ως μερικό υποκατάστατο των συμβατικών καυσίμων στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Πίνακας 4.2 LHV για διάφορα καύσιμα

ΚΑΥΣΙΜΑ	LHV [MJ/kg]
ΚΟΚ	29,5
ΑΝΘΡΑΚΙΤΗΣ	25,0
ΞΥΛΙΝΑ ΤΣΙΠ	12,0
ΒΙΟΞΗΡΑΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	10,4
RDF	11,7

Κατά συνέπεια, η εκμετάλλευση του RDF θα μπορούσε να βασιστεί επίσης στη χρήση στους κλιβάνους τσιμέντου και στην υιοθέτησή του ως βιομηχανικό καύσιμο στους καυστήρες. Αυτή η τελευταία περίπτωση αφορά ένα σενάριο που προβλέπει στην ανάπτυξη νέων βιομηχανικών περιοχών, που είναι δυνατό να προγραμματιστεί η κατασκευή των καυστήρων RDF αντί των πετρελαιοκαυστήρων για τις τοπικές βιομηχανικές χρήσεις **[27].**

Για το RDF πρέπει να επισημάνουμε ότι αποτελείται κυρίως από μικρά τεμάχια χαρτιού (60-70%), πλαστικού (20-30%) και υφάσματος (5-10%) και λοιπές προσμίξεις σε μικρότερη περιεκτικότητα [28].

Εδώ αξίζει να τονίσουμε όσον αφορά το RDF ότι η ευρεία χρήση του εξαρτάται από τις εξής περιπτώσεις **[29]:**

- Υψηλή και ομοιόμορφη θερμογόνο δύναμη.
- Μικρή περιεκτικότητα σε νερό.
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες.

- Αρκετά καλή ικανότητα στη μεταφορά.
- Δυνατότητα καύσης του.
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε αδρανή υλικά.
- Ικανότητα αποθήκευσής του χωρίς να αλλοιώνεται η βιολογική του δομή.

4. 3 Μέθοδος υπολογισμού θερμογόνου δύναμης

Η θερμογόνος δύναμη, είναι η πιο σημαντική παράμετρος και σχετίζεται άμεσα με το ενεργειακό περιεχόμενο των αποβλήτων. Μια γνωστή και αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού του HHV των απορριμμάτων είναι η μέθοδος **Dulong**. Οι εκφράσεις Dulong επιτρέπουν την αξιολόγηση της HHV των αποβλήτων με την απόλυτη ανάλυση του κάθε κλάσματος ΑΣΑ. Στη συνέχεια για να υπολογιστεί η χαμηλή θερμογόνος δύναμη γίνεται χρήση της έκφρασης **Hougan et. Al (1954) που επιτρέπει τον υπολογισμό του LHV γνωρίζοντας το HHV των Α.Σ.Α.** Οι εκφράσεις χρησιμοποιούνται σε λειτουργία άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου και θείου **[30,31].**

$$\mathbf{HHV = \{ 1 - \% H_2O / 100\} \cdot [0{,}3373 \cdot (\%C) + 1{,}4423 \cdot (\%H - \%O/8) + 0{,}09304 \cdot (\%S) + 0{,}02326 \cdot (\%O) \quad [MJ/kg]} \tag{4.1}$$

όπου:

C, H, O, S = η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη LHV υπολογίζεται σύμφωνα με τους Hougan et. Al (1954) με την εξής σχέση:

$$\mathbf{LHV = HHV\ [MJ/kg] - 0{,}0244\ (W + 9H)\quad [MJ/kg]} \tag{4.2}$$

όπου

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

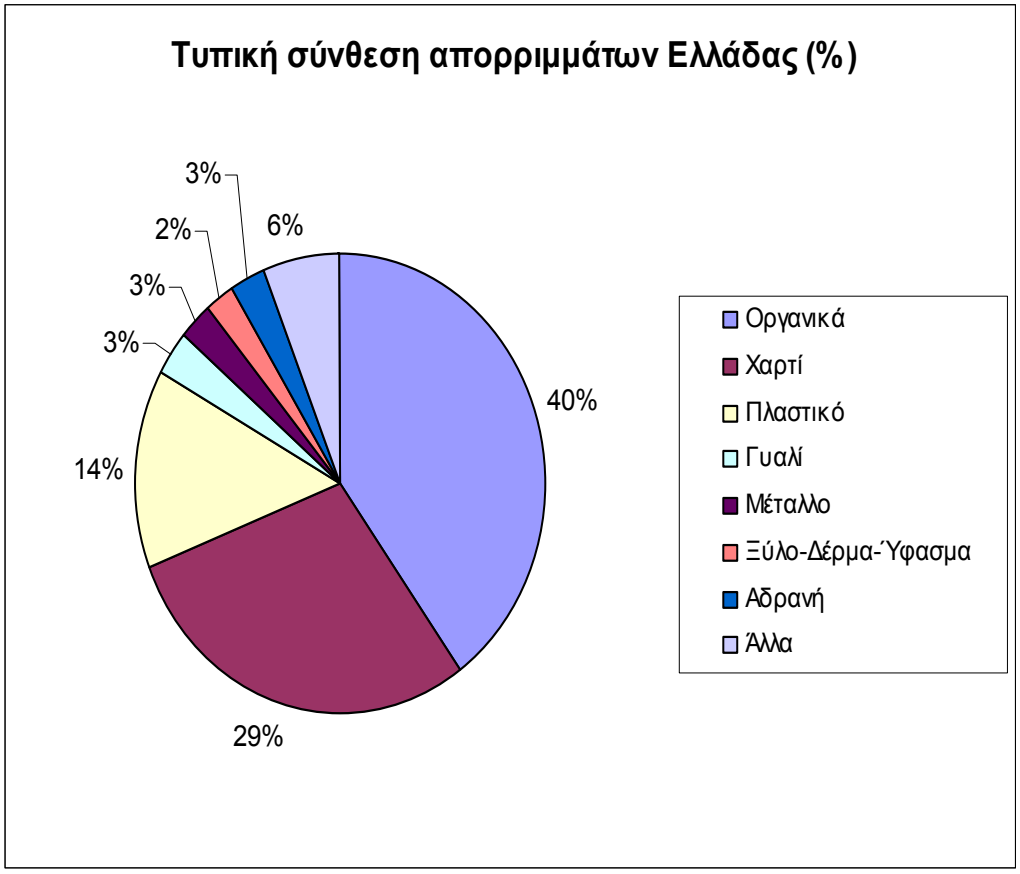
4.4 Ενεργειακή βιωσιμότητα της τεχνολογίας.

4.4.1 Εκτίμηση θερμογόνου δύναμης (HHV-LHV) των Α.Σ.Α της Ελλάδας

Στη συνέχεια θα εφαρμοστεί η παραπάνω μέθοδος στα σύμμεικτα απόβλητα της Ελλάδος, υπολογίζοντας τη χαμηλή θερμογόνο δύναμη (LHV) η οποία αποτελεί και το σημαντικότερο κριτήριο για να προσδιοριστεί το ενεργειακό περιεχόμενο των αποβλήτων.

Για να γίνει αυτό εφικτό είναι απαραίτητα στατιστικά στοιχεία όπως η σύνθεση των αποβλήτων στην Ελλάδα, η μέση υγρασία των αποβλήτων, καθώς και η ποσοστιαία ανάλυση της χημικής σύστασης κάθε είδους αποβλήτου.

Η κατάσταση που επικρατεί στη χώρα μας όσον αφορά τα Α.Σ.Α, παρουσιάζεται σε μια μέση τιμή (%) παρακάτω, με τη βοήθεια της βιβλιογραφίας **[32]**:



Διάγραμμα 4.2 Τυπική σύνθεση απορριμμάτων Ελλάδας (%)

Παράλληλα από την βιβλιογραφία **[32, 33]** προσδιορίζεται και η μέση υγρασία επί ξηρής βάσης για κάθε είδος αποβλήτου ανά κιλό.

Πίνακας 4.3 Υγρασία κάθε είδους αποβλήτου επί ξηρής βάσης

Είδος αποβλήτου	**Υγρασία (%)**
Χαρτί	6
Ζυμώσιμα	70
Πλαστικό	2
Μέταλλα	3
Ξύλο	20
Δέρμα	10
Γυαλί	2
Ύφασμα	10
Απορρίμματα αυλών (yard waste)	60
Άλλα	20,5

Για να υπολογιστεί η χαμηλή θερμογόνος δύναμη, με βάση τους τύπους που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η χημική σύσταση κάθε είδους αποβλήτου. Η χημική σύσταση κάθε αποβλήτου επί ξηρής βάσης λαμβάνεται από τη βιβλιογραφία **[32]** και φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 4.4 Φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες των σύμμεικτων απορριμμάτων [33].

Type of waste	Percent by weight (dry basis)					
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Food and food products						
Fats	73.0	11.5	14.8	0.4	0.1	0.2
Food wastes (mixed)	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Fruit wastes	48.5	6.2	39.5	1.4	0.2	4.2
Meat wastes	59.6	9.4	24.7	1.2	0.2	4.9
Paper products						
Cardboard	43.0	5.9	44.8	0.3	0.2	5.0
Magazines	32.9	5.0	38.6	0.1	0.1	23.3
Newsprint	49.1	6.1	43.0	<0.1	0.2	1.5
Paper (mixed)	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6.0
Waxed cartons	59.2	9.3	30.1	0.1	0.1	1.2
Plastics						
Plastics (mixed)	60.0	7.2	22.8	—	—	10.0
Polyethylene	85.2	14.2	—	<0.1	<0.1	0.4
Polystyrene	87.1	8.4	4.0	0.2	—	0.3
Polyurethane[b]	63.3	6.3	17.6	6.0	<0.1	4.3
Polyvinyl chloride[b]	45.2	5.6	1.6	0.1	0.1	2.0
Textiles, rubber, leather						
Textiles	48.0	6.4	40.0	2.2	0.2	3.2
Rubber	69.7	8.7	—	—	1.6	20.0
Leather	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Wood, trees, etc.						
Yard wastes	46.0	6.0	38.0	3.4	0.3	6.3
Wood (green timber)	50.1	6.4	42.3	0.1	0.1	1.0
Hardwood	49.6	6.1	43.2	0.1	<0.1	0.9
Wood (mixed)	49.5	6.0	42.7	0.2	<0.1	1.5
Wood chips (mixed)	48.1	5.8	45.5	0.1	<0.1	0.4
Glass, metals, etc.						
Glass and mineral[c]	0.5	0.1	0.4	<0.1	—	98.9
Metals (mixed)[c]	4.5	0.6	4.3	<0.1	—	90.5
Miscellaneous						
Office sweepings	24.3	3.0	4.0	0.5	0.2	68.0
Oils, paints	66.9	9.6	5.2	2.0	—	16.3
Refuse-derived fuel (RDF)	44.7	6.2	38.4	0.7	<0.1	9.9

Μετά από την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων όσον αφορά τη μέση σύνθεση των αποβλήτων της χώρας μας, την υγρασία και τη χημική σύστασή τους (πάντα επί ξηρής βάσης), μπορεί να γίνει εφαρμογή των εκφράσεων Dulong και Hougan et Al με σκοπό τον υπολογισμό του HHV, αλλά κυρίως του LHV.

Εφαρμογή των εκφράσεων Dulong και Hougan et Al

Αρχικά υπολογίζουμε την υψηλή θερμογόνο δύναμη για κάθε είδος αποβλήτου με βάση την περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου. Η υψηλή θερμογόνος δύναμη (HHV) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον εξής τύπο:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη LHV υπολογίζεται σύμφωνα με τους Hougan et. Al (1954) με την εξής σχέση:

LHV = HHV [MJ/kg] – 0,0244·(W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

1. ΖΥΜΩΣΙΜΑ

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100} · [0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_1=(1 – 70/100)·[0,3373·48+1,4423·(6,4 – 37,6/ 8)+0,09304·0,4+0,02326·37,6] [MJ/kg]

HHV_1= 0,3 ·16,19 +0,3 ·2,452+0,3 ·0,0372 +0,3 ·0,8745

HHV_1=4,857+0,7356+0,01116+0,26235 = 5,866 MJ/kg

HHV_1 = 5,866 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_1 = HHV_1 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_1 = 5,866 -0,0244·(70 +9·6,4)

LHV_1 = 5,866 – 3,113 = 2,753 MJ/kg

LHV_1 =2,753 MJ/kg

2. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΑΥΛΩΝ (yard waste)

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV_2 = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_2=(1 – 60/100)·[0,3373·48+1,4423·(6 – 38/ 8)+0,09304·0,3+0,02326·38] [MJ/kg]

HHV_2= 0,4 ·16,19 +0,4 ·1,8+0,4 ·0,028 +0,4 ·0,884

HHV_2=6,476+0,72+0,0112+0,3536 = 7,56 MJ/kg

HHV_2 = 7,56 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_2 = HHV_2 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_2 = 7,56 -0,0244·(60 +9·6)

LHV_2 = 7,56 – 3,0256 = 4,5344MJ/kg

LHV_2 =4,5344 MJ/kg

<u>3. ΧΑΡΤΙ</u>

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_3=(1 – 6/100)·[0,3373·43,4+1,4423·(5,8 – 44,3/ 8)+0,09304·0,2+0,02326·44,3] [MJ/kg]

HHV_3= 0,94 ·14,64 +0,94·0,38+0,94 ·0,0186 +0,94 ·1,03

HHV_3=13,76+0,3572+0,0175+0,968 = 15,10 MJ/kg

HHV_3 = 15,10 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_3 = HHV_3 [MJ/kg] – 0,0244·(W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_3 = 15,10 -0,0244·(6 +9·5,8)

LHV_3 = 15,10 – 1,42 = 13,68 MJ/kg

LHV_3 =13,68 MJ/kg

<u>4. ΠΛΑΣΤΙΚΟ</u>

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_4=(1 – 2/100)·[0,3373·60+1,4423·(7,2 – 22,8/ 8)+0,02326·22,8] [MJ/kg]

HHV_4= 0,98 ·20,23 +0,98 ·6,26+0,98 ·0,53

HHV_4=19,825+6,135+0,52 = 26,5 MJ/kg

HHV_4 = 26,5 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_4 = HHV_4 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_4 = 26,5 -0,0244·(2 +9·7,2)

LHV_4 = 26,5 – 1,63 = 24,87 MJ/kg

LHV_4 =24,87 MJ/kg

5. ΜΕΤΑΛΛΑ

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373 ·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_5=(1 – 3/100)·[0,3373·4,5+1,4423·(0,6 – 4,3/ 8)+0,02326·4,3] [MJ/kg]

HHV_5= 0,97 ·1,51758 +0,97 ·0,09+0,97 ·0,1

HHV_5=1,472+0,0873+0,097 = 1,6563 MJ/kg

HHV_5 = 1,6563 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_5 = HHV_5 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_5 = 1,6563 -0,0244·(3 +9·0,6)

LHV_5 = 1,6563 – 0,225 = 1,43 MJ/kg

LHV_5 =1,43 MJ/kg

6. ΞΥΛΟ

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_6=(1 – 20/100)·[0,3373·49,5+1,4423·(6 – 42,7/ 8)+0,02326·42,7] [MJ/kg]

HHV_6= 0,8 ·16,7 +0,8 ·0,955+0,8 ·0,993

HHV_6=13,36+0,764+0,7945 = 14,92 MJ/kg

HHV_6 = 14,92 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_6 = HHV_6 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_6 = 14,92 -0,0244·(20 +9·6)

LHV_6 = 14,92 – 1,8 = 13,12 MJ/kg

LHV_6 =13,12 MJ/kg

7. ΥΦΑΣΜΑ

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_7=(1 – 10/100)·[0,3373·48+1,4423·(6,4 – 40/ 8)+0,09304·0,2+0,02326·40] [MJ/kg]

HHV_7= 0,9 ·16,19 +0,9 ·2,019+0,9 ·0,0186 +0,9 ·0,93

HHV_7=14,57+1,817+0,0167+0,837 = 17,24 MJ/kg

HHV_7 = 17,24 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_7 = HHV_7 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_7 = 17,24 -0,0244·(10 +9·6,4)

LHV_7 = 17,24 – 1,65 = 15,6 MJ/kg

LHV_7 =15,6 MJ/kg

<u>8. ΔΕΡΜΑ</u>

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373 ·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_8=(1 – 10/100)·[0,3373·60+1,4423·(8 – 11,6/ 8)+0,09304·0,4+0,02326·11,6] [MJ/kg]

HHV_8= 0,9 ·20,24 +0,9 ·9,44+0,9 ·0,037 +0,9 ·0,27

HHV_8=18,21+8,496+0,0333+0,243 = 26,98 MJ/kg

HHV_8 = 26,98 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_8 = HHV_8 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_8 = 26,98 -0,0244·(10 +9·8)

LHV_8 = 26,98 – 2 = 24,98 MJ/kg

LHV_8 =24,98 MJ/kg

9. ΓΥΑΛΙ

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 - % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_9=(1 – 2/100)·[0,3373·0,5+1,4423·(0,1 – 0,4/ 8) +0,02326·0,4] [MJ/kg]

HHV_9= 0,98 ·0,16865 +0,98 ·0,072+0,98 ·0,0093

HHV_9=0,165277+0,07+0,9114 = 1,147 MJ/kg

HHV_9 = 1,147 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_9 = HHV_9 [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_9 = 1,147 -0,0244·(2 +9·0,1)

LHV_9 = 1,147 – 0,07 = 1,077 MJ/kg

LHV_9 =1,077 MJ/kg

10.ΛΟΙΠΑ

Από βιβλιογραφία **[32],** για τα υπόλοιπα αποβλητα της χώρας μας έχω την ακόλουθη χημική σύσταση:

Είδος αποβλήτου	Υγρασία (%)	C (%)	H (%)	O (%)	S (%)
Άλλα	20.5	20.91	2.39	12.78	0.1

Αρχικά υπολογίζουμε την ανώτερη θερμογόνο δύναμη:

HHV = { 1 – % H_2O / 100}·[0,3373·(%C) + 1,4423·(%H - %O/8) +0,09304·(%S) + 0,02326·(%O) [MJ/kg]

όπου:

C, H, O, S : η περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο κάθε αποβλήτου.

HHV_{10}=(1–20,5/100)·[0,3373·20,91+1,4423·(2,39 – 12,78/ 8)+0,09304·0,1+0,02326·12,78] [MJ/kg]

HHV_{10}= 0,795 ·7,053 +0,795 ·1,143+0,795 ·0,0093 +0,795 ·0,297

HHV_{10}=5,6+0,9+0,0074+0,2326 = 6,7435 MJ/kg

HHV_{10} = 6,7435 MJ/kg

Τέλος υπολογίζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη με βάση τη σχέση Hougan et al:

LHV_{10} = HHV_{10} [MJ/kg] – 0,0244 (W + 9H) [MJ/kg]

Όπου:

W: % μάζα της υγρασίας
H: % βάρος του υδρογόνου επί ξηρού βάρους

LHV_{10} = 6,7435 -0,0244·(20,5 +9·2,39)

LHV_{10} = 6,7435 – 1,025 = 5,7185 MJ/kg

LHV_{10} = 5,7185 MJ/kg

Λαμβάνοντας υπόψην ότι στα οργανικά απόβλητα περιλαμβάνονται τα ζυμώσιμα και τα υπολείμματα κήπων (yard waste) και ότι το ξύλο, το ύφασμα και το δέρμα ομαδοποιούνται σε μια ομάδα, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο οι τιμές της θερμογόνου δύναμης για τις προαναφερθείσες ομάδες προκύπτουν από το μέσο όρο των τιμών των αποβλήτων από τα οποία αποτελούνται.

Πίνακας 4.5 Τιμές HHV και LHV για τα απόβλητα

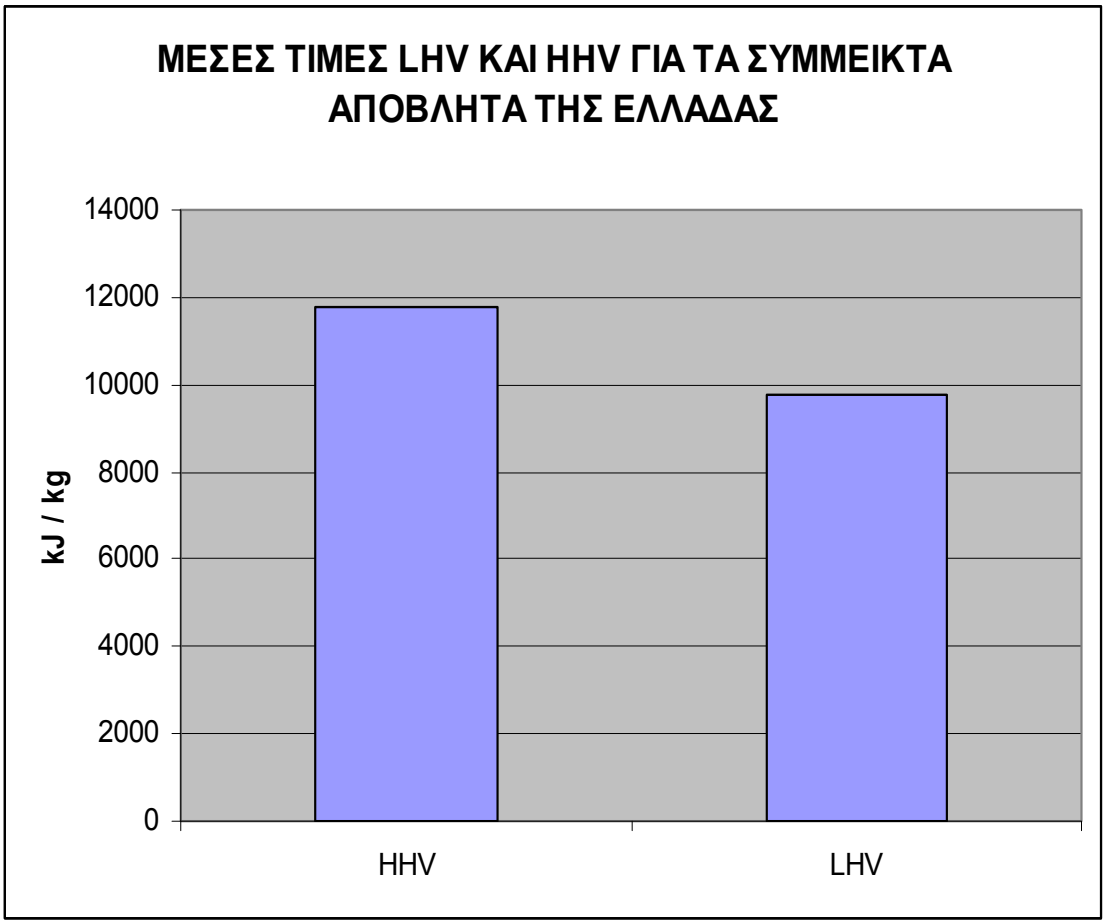
Είδος αποβλήτου	**HHV(MJ/kg)**	**LHV(MJ/kg)**
Οργανικά	6,7	3,7
Χαρτί	15,10	13,68
Πλαστικό	26,5	24,87
Μέταλλα	1,6563	1,43
Ύφασμα-ξύλο-Δέρμα	19,7	17,9
Γυαλί	1,147	1,077
Άλλα	6,7435	5,7185

Συνοψίζοντας όλες τις παραπάνω τιμές, λαμβάνοντας υπόψην το ποσοστό κάθε ομάδας αποβλήτων στη συνολική μάζα, προκύπτει:

Πίνακας 4.6 Τιμές HHV και LHV για κάθε είδος αποβλήτου ως προς τη συνολική μάζα.

Είδος αποβλήτου	**Σύσταση(%)**	**HHV(MJ/kg)**	**LHV(MJ/kg)**
Οργανικά	40	2,7	1,46
Χαρτί	29	4,379	3,967
Πλαστικό	14	3,71	3,469
Μέταλλα	3	0,0497	0,0429
Υφασμα-ξύλο-Δέρμα	2	0,394	0,358
Γυαλί	3	0,03441	0,0323
Άλλα	6	0,4	0,343
Αδρανή	3	-	-
Σύνολο		**11,67**	**9,6722**

Με βάση τα παραπάνω για την χώρα μας προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.3 Μέσες τιμές HHV και LHV για τα σύμμεικτα απόβλητα της Ελλάδας.

Το παραπάνω διάγραμμα μας δείχνει μια μέση τιμή της θερμογόνου δύναμης των αποβλήτων στην Ελλάδα και κατά συνέπεια αυτό προσδιορίζει κατά μέση τιμή το ενεργειακό περιεχόμενο των αποβλήτων της χώρας μας (**LHV=9,6722 MJ/kg**). Όπως γίνεται αντιληπτό, αποκλίσεις θα υπάρχουν σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδος λόγω της αναμενόμενης διαφορετικής ποσοστιαίας σύστασης των απορριμμάτων.

4.4.2 Αξιολογήσεις και αναλύσεις

Παραπάνω, υπολογίστηκε η κατώτερη και ανώτερη θερμογόνος δύναμη των τυπικών Α.Σ.Α της χώρας μας και είναι προφανές ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των Α.Σ.Α πρέπει να αξιοποιηθεί με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Στη Ρουμανία που υπολογίστηκε το ενεργειακό περιεχόμενο των αποβλήτων σε τρεις πόλεις, με την παραπάνω μέθοδο, εφαρμόστηκε πειραματική μέθοδος βιολογικής ξήρανσης η οποία θα

παρουσιαστεί παρακάτω. Είναι πολύ εύκολο να καταλάβουμε ότι η τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης συμβάλλει αισθητά στην αύξηση του LHV των αποβλήτων, καθώς η αφαίρεση της υγρασίας αλλά και τα χαμηλά ποσοστά σε υγρασία που θα διαθέτει το βιοξηραμένο υλικό, θα έχουν ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της θερμογόνου δύναμης.

Από εκεί και πέρα μπορούμε να πούμε ότι ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι η αφαίρεση της υγρασίας (περίπου 30% της εισόδου), θα έχει ως αποτέλεσμα τον πιο εύκολο χωρισμό μετάλλων, αδρανών και γυαλιού, με αποτέλεσμα να παραχθεί το επιθυμητό RDF. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι το RDF αποτελείται κυρίως από μικρά τεμάχια χαρτιού (60-70%), πλαστικού (20-30%) και υφάσματος (5-10%) και λοιπές προσμίξεις σε μικρότερη περιεκτικότητα.

Όσον αφορά τη βιωσιμότητα της τεχολογίας της βιολογικής ξήρανσης, πρέπει να τονιστεί ότι ικανοποιητικό εύρος τιμών για τη καθαρή θερμογόνο δύναμη του RDF (LHV_{RDF}) μετά την βιολογική ξήρανση και τον χωρισμό μετάλλων, αδρανών και γυαλιού, είναι το εύρος τιμών (15 -18) MJ/kg.

Παρόλα αυτά, αποκλίσεις στην τιμή αυτή θα υπάρχουν λόγω της διαφορετικής σύστασης των απορριμμάτων σε κάθε περιοχή και είναι πιθανό να μην μπορεί να επιτευχθεί ένα LHV_{RDF} κοντά στα 15 MJ/kg.

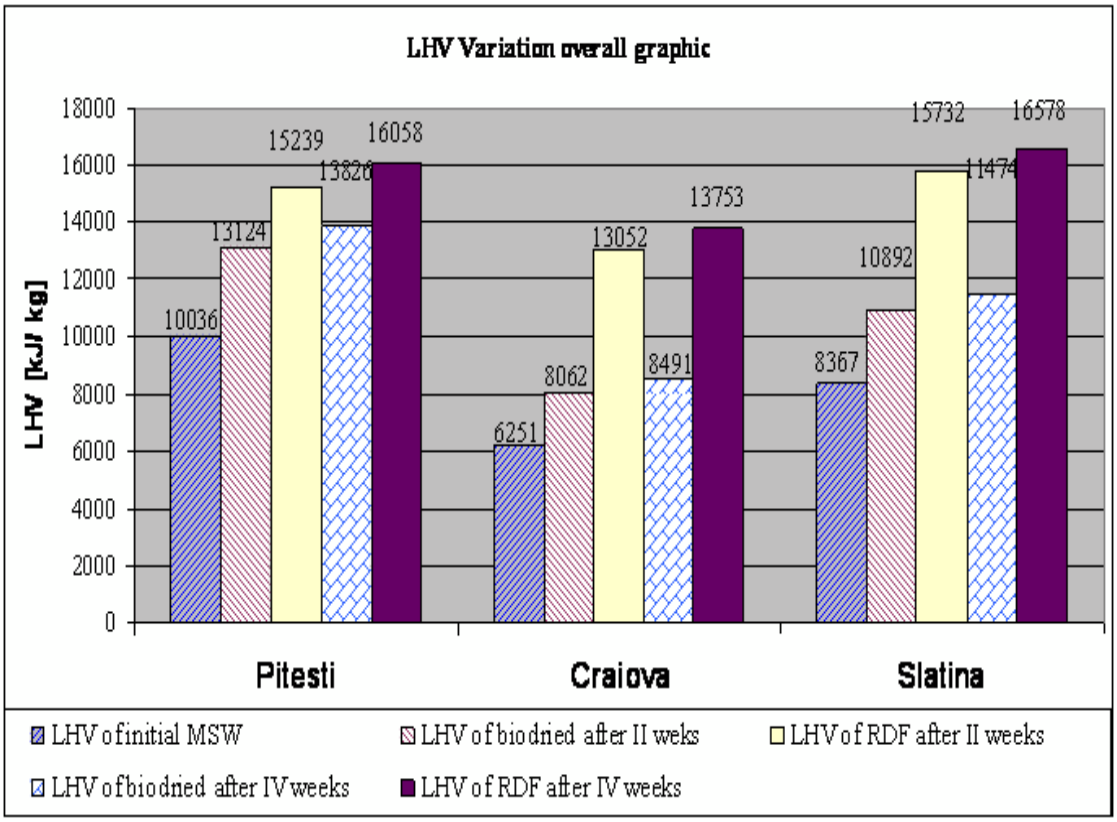
Επομένως, εδώ πρέπει να τονιστεί ότι μία αρκετά μεγάλη και ικανοποιητική τιμή της θερμογόνου δύναμης των Α.Σ.Α, δεν σημαίνει ότι θα έχει ως αποτέλεσμα η καθαρή θερμογόνος δύναμη του RDF, μετά την ξήρανση και τον διαχωρισμό μετάλλων και σιδηρούχων υλικών, να ξεπεράσει την τιμή των 15 MJ/kg. Αυτό είναι λογικό καθώς πολύ σημαντικός παράγοντας όσον αφορά το ενεργειακό περιεχόμενο του RDF είναι η σύσταση χαρτιού, πλαστικού και υφάσματος στην πηγή.

Για παράδειγμα από τη βιβλιογραφία **[30],** βλέπουμε ότι στη Ρουμανία όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης, με μετρήσεις και πειράματα σε βιολογικό αντιδραστήρα, σε τρεις μεγάλες πόλεις, τα αποτελέσματα ήταν ποικίλα. Η ποσοστιαία σύνθεση των απορριμμάτων στις τρεις αυτές πόλεις παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 4.7 Ποσοστιαία σύνθεση απορριμμάτων σε τρεις μεγάλες πόλεις της Ρουμανίας (επί ξηρής βάσης) [30].

Fractions	Pitesti [%]	Craiova [%]	Slatina [%]
Paper and cardboard	15.4	8.8	15
Plastics	18.7	9.2	12
Glass	8.3	6.5	4
Inert	2.0	2.0	6
Organic fraction	50.0	67.6	48
Textiles	1.3	0.5	5
Wood	0.5	3.0	3
Aluminum	0.5	0.5	1
Other metals	3.3	1.9	6
Total	100.0	100.0	100

Μετά το τέλος της διαδικασίας τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.4 Διακυμάνσεις LHV από την βιοξήρανση των Α.Σ.Α σε τρεις μεγάλες πόλεις της Ρουμανίας [30].

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η αύξηση της θερμογόνου δύναμης των Α.Σ.Α μετά την ξήρανση των απορριμμάτων σε τρεις πόλεις της Ρουμανίας. Όπως παρατηρούμε στην Slatina, όπου η ποσοστιαία σύνθεση των Α.Σ.Α είναι αρκετά κοντά στην σύνθεση της Ελλάδος, παρατηρήθηκε αύξηση του LHV από το σύμμεικτο προϊόν στο βιοξηραμένο υλικό περίπου 27%, ενώ από το σύμμεικτο προϊόν στο RDF περίπου 50% (μετά από τέσσερις εβδομάδες ξήρανσης). Παράλληλα, η καθαρή τιμή της θερμογόνου δύναμης του RDF έφτασε την τιμή LHV_{RDF} = 16,578 MJ/kg, μετά από 4 εβδομάδες ξήρανσης. Στο Pitesti, αντίστοιχα, οι αυξήσεις του LHV είναι 27% και 38%.

Επιπλέον το διάγραμμα δείχνει ότι στην Craiova το LHV_{RDF} δεν μπόρεσε να ξεπεράσει το όριο των 15 MJ/kg ούτε μετά από ξήρανση 4 εβδομάδων. **Αυτό οφείλεται κυρίως στην πολύ χαμηλή σύσταση του πλαστικού και του χαρτιού στην πηγή καθώς η συνεισφορά τους είναι μεγάλη στην θερμογόνο δύναμη.**

4.5 Περιβαλλοντικές πτυχές εγκαταστάσεων βιολογικής ξήρανσης

Αρχικά, πρέπει να επισημάνουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν οι εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης όσον αφορά τον αέρα, το νερό, το έδαφος, το θόρυβο και τους παθογόνους μικροοργανισμούς.

Αέρας

Στις αέριες εκπομπές περιλαμβάνονται **[35]**:

- Υδρόθειο, οσμές και μερκαιπτάνες λόγω της επεξεργασίας και μεταφοράς των Α.Σ.Α.
- Αμμωνία, οσμές και πτητικές ενώσεις, π.χ VOCs από το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.
- Σκόνη που προκύπτει από τις διεργασίες κοσκινίσματος, ανάδευσης και αλέσματος.
- Σκόνη λόγω της εκφόρτωσης των απορριμμάτων.

- Βιο-αερολύματα.

Παρόλο που συχνά οι εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης κατασκευάζονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, δεν έχουν αναφερθεί οχλήσεις από κατοίκους λόγω της σκόνης ή των οσμών καθώς οι εγκαταστάσεις είναι κλειστές και ελεγχόμενες.

Νερό

Το στάδιο κατά το οποίο παράγονται υγρά απόβλητα στις μονάδες αυτές είναι κατά το στάδιο της βιοξήρανσης. Από βιβλιογραφικά στοιχεία, όμως, προκύπτει ότι οι ποσότητες αυτές δεν είναι περισσότερο από 3% της ποσότητας εισόδου των Α.Σ.Α. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4.8 Σύσταση υγρών αποβλήτων κατά τη διάρκεια της βιολογική ξήρανσης [35].

Ρύπος	Συγκέντρωση (mg / lt)
COD	1.500
Χλώριο	1
Αρσενικό	0,07
Κάδμιο	0,02
Χρώμιο	0,1
Φωσφόρος	5,27
Υδράργυρος	0,01
Νικέλιο	0,09
Μόλυβδος	0,25
Χαλκός	1,82
Ψευδάργυρος	0,59
Θειικά	20
Ολικό άζωτο	55

Θόρυβος

Οι εκπομπές θορύβου από την επεξεργασία των αποβλήτων, του SRF άλλά και από τον τεμαχισμό μειώνονται, καθώς η βιολογική ξήρανση πραγματοποιείται σε κλειστά κτίρια. Παρόλα αυτά, οι εγκαταστάσεις κατασκευάζονται με κατάλληλη ηχητική προστασία ώστε να αποφευχθούν τυχόν παράπονα.

Έδαφος

Η συγκεκριμένες εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης, έχουν επιπτώσεις στο έδαφος μόνο στην περίπτωση που το SRF θάβεται στους ΧΥΤ.

Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Το υλικό που προκύπτει από τη βιολογική ξήρανση είναι υγειονοποιημένο, καθώς οι εξώθερμες αντιδράσεις (55°C) και οι σχετικά μεγάλοι χρόνοι παραμονής (7-15 μέρες) κατά τη βιοξήρανση συμβάλλουν σε αυτό **[35]**.

Εκτός των όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι εγκαταστάσεις βιοξήρανσης παρέχουν έναν περιβαλλοντικό βιώσιμο τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων :

- **Καθώς μειώνουν το ποσό των αποβλήτων που πηγαίνουν στα υλικά οδόστρωσης.**
- **Συμβάλλοντας στην αύξηση του ποσοστού της ανακύκλωσης των αποβλήτων με τη σύλληψη των υλικών (αδρανών, σιδηρούχων και μη σιδηρούχων, μετάλλων και γυαλιού) που δεν είναι εντελώς χωρισμένα στο σπίτι.**
- **Δίνοντας μια άλλη λύση στην αποτέφωση των απορριμμάτων.**
- **Χρησιμοποιώντας την ενέργεια που μπορεί να ανακτηθεί από τα υπόλοιπα απόβλητα με την παραγωγή RDF, που ακολούθως μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σύγχρονη βιομηχανία αντί του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου**.

Επιπροσθέτως, τα απόβλητα περιέχουν μηδαμινές ποσότητες θείου με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου SO_2, το οποίο παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων και συμβάλλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής.

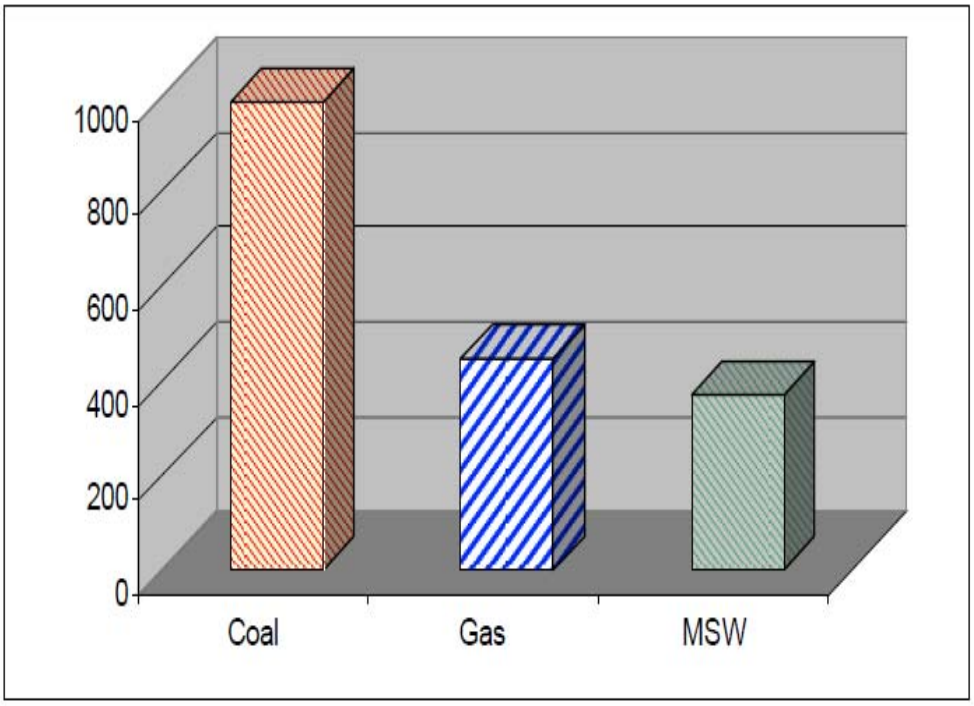
Σε αυτό το σημείο, αμελώντας τα πλεονεκτήματα που μας δίνει η παραγωγή καυσίμου SRF/RDF, αξίζει να υπενθυμήσουμε ότι η βιολογική ξήρανση έχει ως αποτοτέλεσμα τη διάθεση επεξεργασμένων αποβλήτων στους ΧΥΤ, κάτι το οποίο σε σχέση με την διάθεση ανεπεξέργαστων, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα επίσης. Συνοπτικά αναφέρονται τα εξής **[20]:**

- Μείωση των εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς λόγω της βιολογικής επεξεργασίας οι εκπομπές μειώνονται, σε σχέση με την διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων στους ΧΥΤ.

- Μείωση του αζώτου και του COD κατά 90% στα παραγόμενα στραγγίσματα, λόγω του ότι σε ένα ΧΥΤ που καταλήγουν επεξεργασμένα απόβλητα βελτιώνεται η ποιότητα των εκπομπών του.

Επιπροσθέτως, από τη μάζα των απορριμμάτων περίπου 70 kg μεθανίου (πραγματική σειρά 50-100 kg) θα μπορούσαν να απελευθερωθούν για κάθε τόνο αποβλήτων. Εξετάζοντας τη σφαιρική δυνατότητα θέρμανσης του μεθανίου, το ισοδύναμο CO_2 για 1 τόνο αποβλήτων είναι περίπου 1610 kg (υψηλότερα από την άμεση αποτέφρωση). Σε σύγχρονα υλικά οδόστρωσης, περίπου 20-80% του CH_4 ανακτάται, ανάλογα με την τεχνολογία, επομένως μερικές εκπομπές αποφεύγονται αλλά μερικές εκπομπές εμφανίζονται ακόμα.

Στο διάγραμμα 4.5 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO_2 από την αποτέφρωση αποβλήτων και συγκρίνονται με εκείνες από τις πηγές απολιθωμένων καυσίμων **[28].**



Διάγραμμα 4.5 Εκπομπές CO_2 (γραμμάρια ανά kWh ηλεκτρικής Ενέργειας) [28].

Βεβαία, παρόλο που στο παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ένα ώφελος όσων αφορά τις εκπομπές CO_2 από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, η καύση του RDF στις τσιμεντοβιομηχανίες έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή διοξινών στην ατμόσφαιρα. Όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο, οι διοξίνες αποτελούν επικίνδυνες ενώσεις και πρέπει να αποφεύγονται όσο το δυνατόν περισσότερο. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε, όσον αφορά την καύση RDF στις τσιμεντοβιομηχανίες, ότι οι οργανικές ενώσεις που περιέχονται στις εναλλακτικές πρώτες ύλες της τσιμεντοβιομηχανίας, που μεταπίπτουν σε αεριώδη κατάσταση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών στον προθερμαντή, σε συνδυασμό με το χλώριο που παράγεται από τις αλογονούχες ενώσεις είναι δυνατόν να οδηγήσουν στο σχηματισμό διοξινών **[28].**

4.6 Οικονομικές πτυχές εγκαταστάσεων βιολογικής ξήρανσης

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης είναι αρκετά δαπανηρές, καθώς περιλαμβάνουν πολύπλοκα συστήματα διαχείρισης των αποβλήτων. Αυτό αποτελεί ένα από τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας όπως τονίζουν πολλοί σε σχέση με την απευθείας καύση των αποβλήτων. Αυτό συμβαίνει διότι το 55% που παράγεται από το εργοστάσιο βιολογικής ξήρανσης, αποτελεί το SRF/RDF και το οποίο απαιτεί στη συνέχεια ένα δεύτερο εργοστάσιο καύσης για να καεί. Επομένως απαιτείται η δημιουργία ενός εργοστασίου καύσης ή μια αρκετά δαπανηρή μετατροπή του υπάρχοντος εξοπλισμού **[16]**.

Κατά συνέπεια, ο αριθμός των μονάδων MBE είναι αρκετά μικρός και ο παρακάτω πίνακας ενισχύει την άποψη αυτή:

Πίνακας 4.9 Εγκαταστάσεις MBE παγκοσμίως [16].

Εγκαταστάσεις MBE σε λειτουργία	147
Εγκατεστημένη δυναμικότητα	13.500.000 τόνοι / έτος

Η παραλλαγή στο μέγεθος και τα εύρη των δαπανών οφείλονται στην ευρεία ποικιλία των διαθέσιμων συστημάτων στην αγορά, τις ικανότητες εγκαταστάσεων και το επίπεδο αυτόματου ελέγχου. Τα οικονομικά στοιχεία σχετικά με τη κατασκευή εγκαταστάσεων βιοξήρανσης και τη συντήρηση, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.10, για μια εγκατάσταση με ικανότητα 20.000 τόνους/έτος (που υπολογίζεται στις τρέχουσες δαπάνες της αγοράς).

Πίνακας 4.10 Κύριες και λειτουργικές δαπάνες εγκατάστασης βιοξήρανσης [30].

ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ		ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	
Στοιχείο	**€**	**Στοιχείο**	**€**
Έδαφος	**300000**	**Μεταφορά**	**7000**
Εγκαταστάσεις Βιοξήρανσης και καθαρισμός	**585000**	**Αποθήκευση**	**20000**
Κατασκευή δεξαμενών	**120000**	**Προϊόντα απαλλαγμένα από κακοσμία**	**8000**
Βελτιώσεις	**166500**	**Καύσιμα**	**18000**
Εξοπλισμοί ανασκαφής/διάθεσης	**30000**	**Ηλεκτρική ενέργεια**	**15000**
1 γομμαρισμένη σέσσουλα	**110000**	**Συντήρηση**	**10000**
Σύστημα σωληνώσεων	**100000**	**Προσωπικό**	**14000**
Σύστημα συλλογής	**20000**	**Ασφάλεια**	**5000**
Δεξαμενή συλλογής	**7000**		
Κτίριο γραφείων	**18000**		
Εγκαταστάσεις εξουδετέρωσης της κακοσμίας	**15000**		
Σχέδιο και εφαρμοσμένη μηχανική	**30000**		
Έξοδα ασφάλειας και μέτρα έκτακτης ανάγκης	**500000**		
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	**2001500**	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**	**97000**

Από εκεί και πέρα αν κάνουμε μια μικρή οικονομική ανάλυση όσον αφορά τη χρησιμοποίηση του καυσίμου από βιομάζα (RDF) σε σχέση με τη χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων, γίνεται κατανοητό κατά πόσο αξίζει να γίνει

αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από RDF. Επομένως, αν υποθέσουμε ότι το βιοξηραμένο υλικό είναι τεχνικά αποδεκτό από την προοπτική της ενεργητικής αποκατάστασης μέσω της θερμικής ή θερμοχημικής διαδικασίας, κατόπιν οι δαπάνες που χρησιμοποιούνται στο υποκατάστατο ενός τόνου του απολιθώματος μπορούν να υπολογιστούν με:

$$p_{RDF}^{1tonne\ fuel} = \left(\frac{LHV_f}{LHV_{RDF}} \right) * p_{RDF} \qquad [€/t] \tag{4.4}$$

Η καθαρή αποταμίευση είναι:

$$\Delta p = p_f - \left[\frac{LHV_f}{LHV_{RDF}} * p_{RDF} \right] \tag{4.5}$$

όπου :

- $\mathbf{p_{RDF\ (1\ tonne\ fuel)}}$: κόστος RDF που χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο ενός τόνου καυσίμων.
- $\mathbf{p_{RDF}}$: το κόστος του RDF στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ανά τόνο
- $\mathbf{LHV_{RDF}}$: καθαρή θερμογόνος δύναμη RDF [kJ/kg].
- $\mathbf{p_f}$: κόστος αντικατάστασης των καυσίμων από RDF [euro/tonne].
- $\mathbf{LHV_f}$: καθαρή θερμογόνος δύναμη των καυσίμων [kJ/kg].

Επομένως, λαμβάνοντας μια μέση τιμή για την κατώτερη θερμογόνο δύναμη του RDF ίση με $\mathbf{LHV_{RDF}}$ **=15,5 MJ/kg** και ότι με βάση τη βιβλιογραφία **[30]** ισχύει για τις τιμές του RDF και των συμβατικών καυσίμων στις τρέχουσες τιμές της αγοράς:

- p_{RDF} = 34 euro
- p_f = 80 euro

ενώ η καθαρή θερμογόνος δύναμη των καυσίμων είναι περίπου LHV_f = 30 MJ/kg, έχουμε:

- $\mathbf{p_{RDF\ (1\ tonne\ fuel)} = (30 / 15.5) \cdot 34 = 65.8}$ **euro / τόνο καυσίμου**

- $\mathbf{\Delta p = 80 - (30/15{,}6 \cdot 34) = 14.2}$ **euro / τόνο καυσίμου**

Επομένως πετυχαίνοντας μετά τη βιολογική ξήρανση, την παραγωγή RDF με $\mathbf{LHV_{RDF} = 15.5\ MJ/kg}$, η οποία αποτελεί μια μέση και ικανοποιητική τιμή, σύμφωνα με τις τιμές των καυσίμων στην τρέχουσα αγορά, θα έχουμε καθαρή αποταμίευση από την αντικατάσταση ενός τόνου καυσίμων από RDF ίση με 14,2 euro.

Γενικεύοντας μπορούμε να πούμε ότι η αποταμίευση αυξάνεται καθώς οι τιμές των καυσίμων αυξάνουν (και οι φόροι καυσίμων μπορούν να αυξηθούν στο μέλλον και τα μέτρα μείωσης του αερίου του θερμοκηπίου μπορούν να έχουν παρόμοια επίδραση), αλλά και καθώς η αναλογία $\mathbf{p_{RDF} / LHV_{RDF}}$ **γίνεται μικρότερη.**

5. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ

5.1 Εμπορικές εφαρμογές μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας (MBE)

5.1.1 Εισαγωγή

Οι εμπορικές εφαρμογές διάφορων εγκαταστάσεων MBE, που χρησιμοποιούν τη διαδικασία της βιολογικής ξήρανσης, περιγράφονται παρακάτω. Παρουσιάζονται οι προμηθευτές των τεχνολογιών και αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι καινοτομίες κάθε τεχνολογίας **[25].**

5.1.2 Προμηθευτές τεχνολογίας

Προμηθευτής τεχνολογίας: Eco-Deco

Η eco-Deco είναι ιταλική επιχείρηση που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του '90 και εκμεταλλεύεται 10 εργοστάσια εγκαταστάσεων στην Ιταλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ισπανία με μια γενική ικανότητα 900,000 Mg a^{-1}. Η διαδικασία πωλείται ως “BioCubi” στην Ιταλία και το γενικό πλάνο των εγκαταστάσεων ως σταθμός μεταφοράς “Intelligent Transfer Station (ITS)”.

Οι εγκαταστάσεις eco-Deco είναι πλήρως εσωκλειόμενες και εξοπλισμένες με συστήματα ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα απόβλητα στην είσοδο είναι τεμαχισμένα σε περίπου 200-300 χιλ., με στόχο την ομογενοποίηση και την μείωση μεγέθους για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της επόμενης αεροβικής ζύμωσης. Η βιοξήρανση εμφανίζεται σε μια εσωκλειόμενη αίθουσα.

Το ποσοστό ροών αέρος ρυθμίζεται αυτόματα ανάλογα με τη θερμοκρασία αέρα εξάτμισης. Οι διάφορες βέλτιστες σειρές θερμοκρασίας είναι, 55-70°C (Juniper, 2005), 50- 60°C (αντιπροσωπεία περιβάλλοντος, 2007) και περίπου 65°C (Cozens, 2004) **[25].**

Εικόνα 5.1 Εργοστάσιο της εταιρίας Eco-Deco στην Ιταλία [35].

Εικόνα 5.2 Εργοστάσιο της εταιρίας Eco-Deco στην Ιταλία [35].

Προμηθευτής τεχνολογίας: Entsorga

Η τεχνολογία πωλείται ως "H.E.BIO.T.,"("High Efficiency Biological Treatment"). Η τεχνολογία Entsorga κατασκευάζει εγκαταστάσεις ΜΒΕ για να

μεταχειριστεί 60,000 Mg a^{-1} στο Westbury στην Αγγλία. Κανένα στοιχείο, όσον αφορά την προσδοκώμενη απόδοση της διαδικασίας δεν είναι ακόμα διαθέσιμο στο δημόσιο τομέα **[25]**.

Εικόνα 5.3 Μονάδα Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας της εταιρίας Entsorga στη βόρεια Ιταλία [36].

Προμηθευτής τεχνολογίας: Future Fuels

Ο προμηθευτής Future Fuels, έχει υποβάλει αίτηση πρόσφατα για ένα διεθνές δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μιας μεθόδου βιοξήρανσης. Η έννοια χρησιμοποιεί ένα κεκλιμένο περιστρεφόμενο τύμπανο ("Rotary bio-dryer," (RBD) για να επεξεργαστεί ένα μηχανικά χωρισμένο οργανικό μέρος αποβλήτων. Το RDB χρησιμοποιείται στους εναλλασσόμενους κύκλους ψύξης και θέρμανσης, χρησιμοποιώντας τη διαδοχική περιστροφή και τα στατικά διαστήματα και τα μεταβλητά ποσοστά ροών αέρος. Σύμφωνα με τους υπεύθυνους για την ανάπτυξη της διαδικασίας, το RDB μπορεί να επιτύχει τη γρήγορη και ομοιογενή ξήρανση των απορριμμάτων, μειώνοντας το MC από 35-40% w/w ar σε 10-15% w/w ar μέσα σε τρεις μέρες **[25].**

Προμηθευτής τεχνολογίας: Herhof

Η Herhof εκμεταλλεύεται 8 εργοστάσια στη Γερμανία, την Ιταλία και το Βέλγιο, με γενική λειτουργική ικανότητα περίπου 1.085.000 Mg a^{-1}. Οι εγκαταστάσεις είναι πλήρως εσωκλειόμενες, αυτοματοποιημένες και εξοπλισμένες με APC συστήματα. Οι περιστροφικοί καταστροφείς εγγράφων, χρησιμοποιούνται για τη μηχανική προγενέστερη επεξεργασία (Rennerod: < 150 mm. Δρέσδη: < 200 mm.). Παράλληλα μια μαγνητική ζώνη μεταφορέων αφαιρεί το σιδηρούχο υλικό ενώ η χρονική διάρκεια βιοξήρανσης των αντιδραστήρων, κυμαίνεται από 5 έως 10 μέρες.

Οι μαζικές απώλειες στο στάδιο της βιοξήρανσης είναι περίπου 30%. Το MC από 42% μειώνεται σε 12% μετά από έξι ημέρες. Το υπόλειμμα (σκόνη) από το φίλτρο πελλετοποιείται και αναμιγνύεται με το SRF **[25].**

Εικόνα 5.4 Εργοστάσιο της Herhof στη Γερμανία [36].

Εικόνα 5.5 Αντιδραστήρες βιολογικής ξήρανσης της εταιριας Herhof [38].

Προμηθευτής τεχνολογίας: Nehlsen

Ο προμηθευτής Nehlsen ανέπτυξε μια διαδικασία βιοξήρανσης κατά τα μέσα της δεκαετίας του '90 στη Γερμανία, που πωλήθηκε ως "Mechanical Biological Stabilisation" (MBS) και το παραγόμενο SRF ως "Calobren. Η διαμόρφωση της διαδικασίας είναι παρόμοια με τον προμηθευτή Herhof, χρησιμοποιώντας τα εμπορευματοκιβώτια βιοξήρανσης. Στο παρελθόν, οι ικανότητες των εγκαταστάσεων ήταν χαμηλότερες και το μηχανικό στάδιο καθαρισμού λιγότερο περίπλοκο από άλλους προμηθευτές βιοξήρανσης **[25].**

Προμηθευτής τεχνολογίας: Wehrle Werk

Το σύστημα Wehrle Werk χρησιμοποιεί τη μηχανική προεπεξεργασία που ακολουθείται από τη διείσδυση ("Bio-percolat") και την αναερόβια χώνευση, στοχεύοντας στα εύκολα διασπάσιμα υλικά. Από τα στερεά υπόλοιπα από το διηθητήρα αφαιρείται το νερό (MC 40%). Αυτό τροφοδοτείται τους κλειστούς αντιδραστήρες σηράγγων με την κυκλοφορία μητρών γνωστή ως "Percotry." Το

MC εξόδου μειώνεται κάτω από 15%. Το κοσκίνισμα θα μπορούσε να παραγάγει ένα SRF που είναι περίπου 35% w/w των αποβλήτων εισόδου, ενώ οι απώλειες είναι περίπου 15% w/w **[25].**

5.2 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης είναι αρκετά πρώιμο. Η μόνη εμπορική αναφορά όσον αφορά εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης στην χώρα μας είναι στο Ηράκλειο και στην Κεφαλονιά.

Εργοστάσιο μηχανικής βιολογικής ανακύκλωσης στο Ηράκλειο και στην Κεφαλονιά

Στο Ηράκλειο το εργοστάσιο μηχανικής βιολογικής ανακύκλωσης λειτουργεί με την τεχνολογία της βιοξήρανσης. Το συγκεκριμένο εργοστάσιο επεξεργάζεται 70.000 τόνους το χρόνο και τέθηκε σε λειτουργία τον Φεβρουάριο του 2009. Η κατασκευή του έγινε από τη Μεσόγειος Α.Ε. σε συνεργασία με τον ιταλικό εξειδικευμένο οίκο Ecodeco και αποτελεί μια καινούρια εγκατάσταση. Παρόμοια αλλά πολλή μικρότερη μονάδα υπάρχει και στην Κεφαλονιά, η οποία επεξεργάζεται 10000 tn/έτος και στοίχισε 2.000.000 ευρώ **[41]**.

Παρόλα αυτά, ο αριθμός των εγκαταστάσεων ΜΒΕ στην Ελλάδα, συν τις δύο προαναφερθείσες που χρησιμοποιούν τη βιοξήρανση, είναι πέντε. Οι εγκαταστάσεις ΜΒΕ στη χώρα μας παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη **[44]**.

Εικόνα 5.6 Μονάδες ΜΒΕ στην Ελλάδα [44].

5.3 Εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης στο εξωτερικό

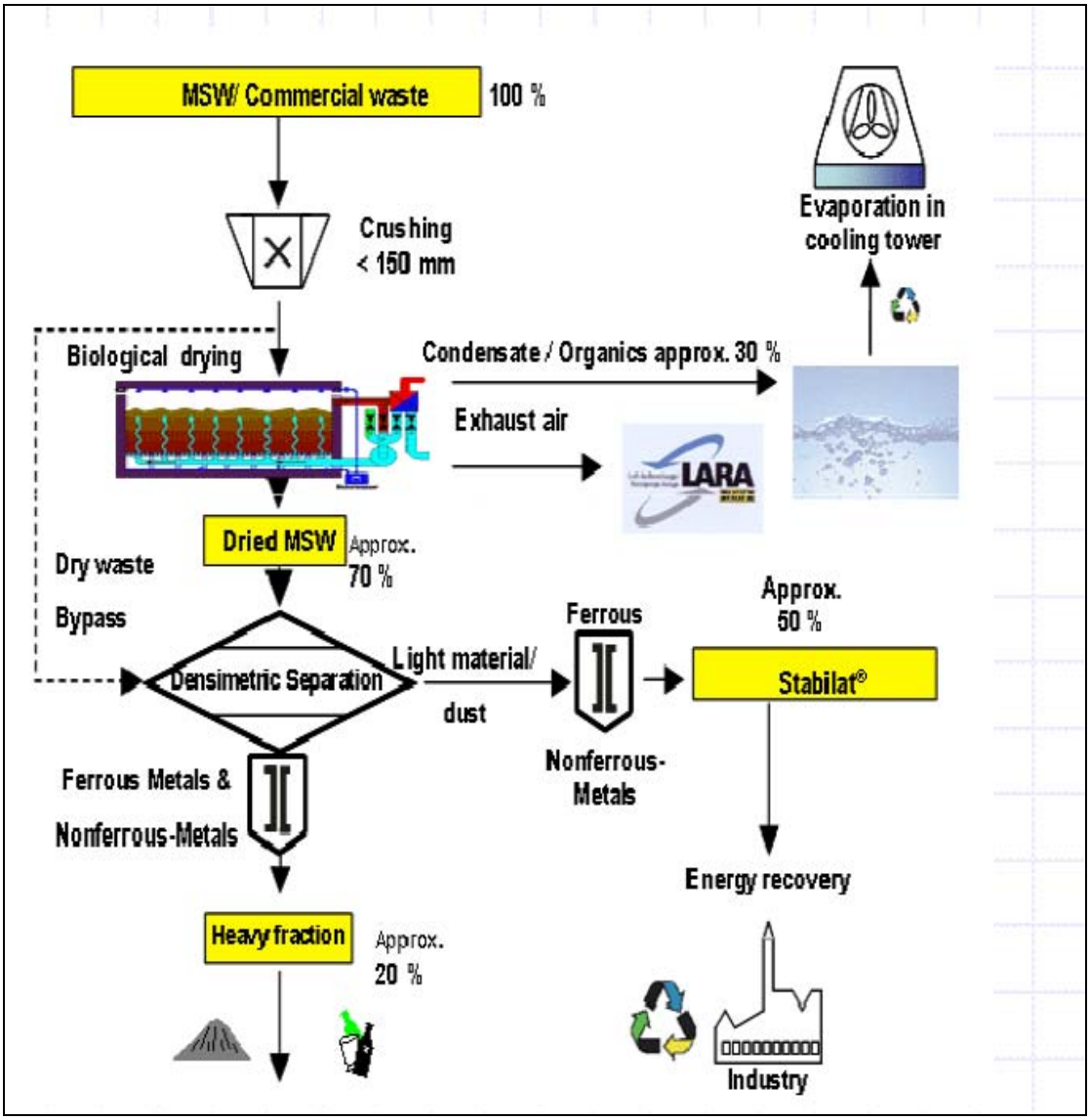
Το 2004 από το σύνολο των 80 εργοστασίων ΜΒΕ, που λειτουργούσαν παγκοσμίως, τα 14 χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης. Επιπλέον, τα εργοστάσια βιολογικής ξήρανσης αποτελούσαν το 13,7% της δυναμικότητας των ΜΒΕ και πιο συγκεκριμένα είχαν δυναμικότητα 1.165.000 tn/έτος.

Τα ήδη κατασκευασμένα και εν λειτουργία εργοστάσια βιολογικής ξήρανσης στην Ευρώπη, μπορούν να επεξεργαστούν 830.000 tn/έτος Α.Σ.Α και παράγουν 460.000 tn/έτος SRF.

Μία πολλή γνωστή εταιρία που εξειδικεύεται στο χώρο της κατασκευής εργοστασίων βιολογικής ξήρανσης είναι η εταιρία Herhof GmbH, αναφορά στην οποία έχει γίνει και πιο πάνω. Η συγκεκριμένη εταιρία έχει κατασκευάσει 8 εργοστάσια βιολογικής ξήρανσης στην Ευρώπη με σκοπό την παραγωγή δευτερογενούς ξηρού καυσίμου (DryStabilat) **[35]**.

Πίνακας 5.1 Εργοστάσια βιολογικής ξήρανσης της εταιρίας Herhof GmbH [35].

Α/Α	Πόλη – Χώρα	Δυναμικότητα (τόνοι / έτος)	Έτος ολοκλήρωσης
1	Asslar, Γερμανία	140.000 15.000	08/97 08/99 (επέκταση)
2	Rennerod, Γερμανία	100.000	04/00
3	Dresden, Γερμανία	85.000	05/01
4	Fusina, Ιταλία	150.000	02/02
5	Geel, Βέλγιο	150.000	08/05
6	Osnabrück, Γερμανία	90.000	02/06
7	Niederlehme, Γερμανία	135.000	09/06
8	Trier, Γερμανία	220.000	03/07



Σχήμα 5.1 Σχηματική παράσταση ΜΒΕ της εταιρείας Herhof [40].

5.4 Παράδειγμα εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης στη Γερμανία (Herhof)

5.4.1 Περιγραφή της εγκατάστασης

Στην πόλη Osnabruck της Γερμανίας, η Herhof Recycling Center Osnabruck (HRO) διαθέτει μια μονάδα επεξεργασίας Α.Σ.Α οι οποία έχει δυναμικότητα 90,000 ton σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων ανά έτος και χρησιμοποιεί την τεχνολογία της HERHOF-DryStabilat. Όλα τα αστικά απορριμμάτα της πόλεως και της περιφέρειας του Osnabruck διαχειρίζονται από την συγκεκριμένη μονάδα για 17

χρόνια και εξυπηρετούνται έτσι 350.000 κάτοικοι. Ο σχεδιασμός της μονάδας έγινε με την πλέον προηγμένη τεχνολογία στον τομέα της Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας Α.Σ.Α.

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση βρίσκεται στην βιομηχανική ζώνη της πόλης σε απόσταση μόλις 3 km από το κέντρο και οι εγκαταστάσεις της μονάδας καταλαμβάνουν έκταση 7.500 m^2 επί συνολικού οικοπέδου 14.000 m^2. Η λειτουργία της ξεκίνησε να στις 1/2/2006 και καθημερινά σε πενθήμερη βάση δέχεται περίπου 350 τόνους Α.Σ.Α. Η συγκεκριμένη μονάδα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή περίπου 48.000 τόνους ξηρού δευτερογενούς καυσίμου (DryStabilat®) ετησίως που χρησιμοποιείται από εταιρεία παραγωγής Τσιμέντου HOLCIM στο Αμβούργο και σε τοπικούς εμπόρους ανακυκλώσιμων προϊόντων.

Εντομεταξύ το αδρανές υπόλειμμα που προκύπτει (περίπου 15% επί των εισερχομένων απορριμμάτων) διατίθεται στον τοπικό χώρο υγειονομικής ταφής καθώς εκπληρώνει τις απαιτήσεις της γερμανικής νομοθεσίας (περιεκτικότητα σε βιοαποδομήσιμα υλικά μικρότερη του 5%). Η μονάδα παρέχει εργασία σε 11 άτομα τα οποία εναλλάσονται σε δύο βάρδιες ενώ συνολικά η εγκατάσταση λειτουργεί 10 ώρες κάθε μέρα.

Μετά τη βιολογική ξήρανση, το ξηρό κλάσμα τροφοδοτείται στο τμήμα Μηχανικής Διαλογής όπου εκεί μέσω μίας σειράς μηχανικών διαχωρισμών διαχωρίζεται στα εξής προϊόντα:

• Δευτερογενές καύσιμο, υψηλής ποιότητας, με την εμπορική ονομασία Stabilat που διατίθεται σε χύδην (fluff) ή συμπιεσμένη μορφή (pellets) ανάλογα με το τι ζητάει κάθε φορά ο τελικός αποδέκτης.

• Αλουμινούχα και σιδηρούχα υλικά σε χύδην μορφή προς ανακύκλωση.

• Υπόλλειμα, το οποίο αποτελείται κυρίως από μίγμα αδρανών, άκαυστων, υλικών (πέτρες, γυαλί, κεραμικά κ.α.) με πολύ μικρή περιεκτικότητα σε βιοαποδομήσιμα υλικά (περιεκτικότητα σε βιοαποδομήσιμα <5% κ.β.) το οποίο στη συνέχεια καταλήγει σε ΧΥΤΑ **[42].**

Εικόνα 5.7 Εργοστάσιο της Herhof Recycling Center Osnabruck [43].

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όσον αφορά τα απορρίμματα είναι ανεξέλεγκτη. Αυτό, σε συνάρτηση με τις συνεχόμενα αυξανόμενες απαιτήσεις για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών, συνιστά απαραίτητη την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αξιοποίησης των σύμμεικτων αποβλήτων. Επιπλέον, οι όλο και δυσμενέστερες επιπτώσεις των απορριμμάτων και των ανεξέλεγκτων χωματερών στην οικονομία αλλά και το περιβάλλον, ενισχύουν την παραπάνω άποψη.

Η βιολογική ξήρανση, όχι μόνο συμβάλλει στην επεξεργασία των αποβλήτων αλλά παράλληλα έχει ως αποτέλεσμα, πέραν της ανάκτησης σιδηρούχων υλικών και μετάλλων με σκοπό την ανακύκλωση, στην περαιτέρω επεξεργασία προς παραγωγή καυσίμου (RDF) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στη διεθνή αγορά. Η ξήρανση των απορριμμάτων επιτυγχάνεται, καθώς η θερμική ενέργεια που εκδίδεται κατά τη διάρκεια της αεροβικής αποσύνθεσης της εύκολα διασπάσιμης οργανικής ουσίας, συνδυάζεται με τον υπερβολικό αερισμό για να τα ξεράνει. Με αυτό τον τρόπο η βιολογική ξήρανση **μειώνει τα επίπεδα υγρασίας των Α.Σ.Α σε ποσοστό περίπου (25-30%) με αποτέλεσμα η επίτευξη των παραπάνω στόχων να είναι ακόμα πιο εύκολη**. Το παραγόμενο RDF αποτελείται από μικρά τεμάχια χαρτιού (60-70%), πλαστικού (20-30%) και υφάσματος (5-10%) και λοιπές προσμίξεις σε μικρότερη περιεκτικότητα. **Με λίγα λόγια η βιολογική ξήρανση αποτελεί ένα στάδιο προεπεξεργασίας των Α.Σ.Α, με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίησή τους.**

Αρχικά όσον αφορά την διαδικασία της βιολογικής ξήρανσης πρέπει να τονίσουμε ότι ο αντιδραστήρας βιοξήρανσης στοχεύει να επεξεργαστεί εκ των προτέρων τα απόβλητα, στο μικρότερο πιθανό χρόνο, προκειμένου να παραχθεί ένα υψηλής ποιότητας SRF. Αυτό επιτυγχάνεται με τα εξής**:**

- Αυξάνοντας την ενέργεια με τη μεγιστοποίηση της αφαίρεσης της υγρασίας στη μήτρα αποβλήτων και τη συντήρηση του μεγαλύτερου μέρους της ακαθάριστης θερμογόνου δύναμης από τις οργανικές χημικές ενώσεις.

- Διευκόλυνση της ενσωμάτωσης του εν μέρει συντηρημένου βιολογικού περιεχομένου στο SRF.

- Καθιστώντας την έξοδο καταλληλότερη για τη μηχανική επεξεργασία.

Στη συνέχεια πρέπει να επισημανθεί ότι η βιολογική ξήρανση και γενικώς οι εγκαταστάσεις ΜΒΕ συμβάλλουν στην μετατροπή των ΧΥΤΑ σε ΧΥΤΥ. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως έχει ειπωθεί, το επεξεργασμένο οργανικό υπόλειμμα από τη βιολογική ξήρανση οδηγείται στους ΧΥΤ, με αποτέλεσμα μια σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με τους ΧΥΤ που δέχονται μη επεξεργασμένο υπόλειμμα (**μείωση των όγκων των ΧΥΤ μέχρι 60%, μείωση των εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου** κ.α).

Η συγκεκριμένη τεχνολογία που στηρίζεται στη βιοξήρανση σύμμεικτων απορριμμάτων, που ακολουθείται με την χρήση RDF στις διαφορετικές εγκαταστάσεις, μπορεί να θεωρηθεί εναλλακτικός τρόπος μιας άμεσης καύσης αυτών εάν είναι βιώσιμο. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι η χρήση του RDF στη βιομηχανική διαδικασία, προσφέρει περισσότερη ευελιξία από την αποτέφρωση, και δημιουργεί νέους τρόπους και προγράμματα και δεν απαιτεί να επενδυθεί κεφάλαιο για άλλες εγκαταστάσεις.

Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύεται με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 4.1, πράγμα που σημαίνει ότι θα μπορούσε να γίνει εκμετάλλευση του RDF στις τσιμεντοβιομηχανίες αλλά και στην υιοθέτησή του ως βιομηχανικό καύσιμο στους καυστήρες. **Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία νέων βιομηχανικών εγκαταστάσεων όπου θα γινόταν αντικατάσταση των συμβατικών πετρελεοκαυστήρων με κατασκευή καυστήρων RDF.**

Με αυτή την τεχνολογία (βιοξήρανση + RDF που χρησιμοποιείται στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις) η επιχωμάτωση μειώνεται, ανακυκλώνοντας έναντι της παρούσας κατάστασης στην Ελλάδα. **Η μερική αντικατάσταση των απολιθωμένων καυσίμων, μπορεί να δώσει μερικά πλεονεκτήματα από την άποψη του πρωτοκόλλου του Κιότο καθόσον το RDF είναι μόνο μερικώς βιομάζα**.

Παράλληλα, αξίζει να σημειώσουμε, ότι το RDF από σύμμεικτα αστικά απορρίμματα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις εγκαταστάσεις που κατασκευάστηκαν για τη θέρμανση αστικών περιοχών στην ελληνική επικράτεια και έτσι να αντιμετωπιστούν τυχόν μελλοντικές κρίσεις στην αξιοποίηση του φυσικού αερίου.

Όσον αφορά τα σύμμεικτα απορρίμματα της χώρας μας, υπολογίστηκε **με βάση τις εκφράσεις Dulong και Hougan et al, μια μέση τιμή της καθαρής θερμογόνου δύναμης για τα απόβλητα της χώρας μας ίση με 9,6722 MJ/kg**. Η τιμή αυτή επαληθεύεται και από άλλες μελέτες που έχουν γίνει στην Ελλάδα με σκοπό την αξιολόγηση του ενεργειακού περιεχομένου των Α.Σ.Α. (**Βιβλιογραφία: 32**). Παρόλα αυτά είναι προφανές ότι σημαντικές αποκλίσεις στη θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων θα υπάρχουν από περιοχή σε περιοχή στην ελληνική επικράτεια. Αυτό είναι λογικό αφού υπάρχουν αποκλίσεις στη σύσταση των σύμμεικτων απορριμμάτων καθώς επίσης και στα ποσοστά υγρασίας τους. Με την ίδια μέθοδο υπολογίστηκε και το ενεργειακό περιεχόμενο σε τρεις πόλεις της Ρουμανίας όπου, στα πλαίσια διαδακτορικού, εφαρμόστηκε η τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης με σκοπό την ανάλυση της βιωσιμότητάς της.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τη χρήση της πειραματικής μεθόδου βιολογικής ξήρανσης στη Ρουμανία, είναι εύκολο κανείς να διαπιστώσει ότι στη Slatina, όπου η σύσταση των Α.Σ.Α είναι αρκετά κοντά στη σύσταση της Ελλάδος, παρατηρήθηκε αύξηση του LHV από το σύμμεικτο προϊόν στο βιοξηραμένο περίπου 27%, ενώ από το σύμμεικτο προϊόν στο RDF περίπου 50% (μετά από τέσσερις εβδομάδες ξήρανσης). Παράλληλα η καθαρή τιμή της θερμογόνου δύναμης του RDF έφτασε την τιμή LHV_{RDF} = 16,578 MJ/kg, μετά από 4 εβδομάδες ξήρανσης.

Παρόλα αυτά σε μια από τις τρεις πόλεις που έγινε η εφαρμογή (Craiova) το LHV δεν μπόρεσε να φτάσει μια ικανοποιητική τιμή της τάξης των 15MJ, ούτε μετά από 4 εβδομάδες ξήρανσης. Αυτό συνέβει διότι τα ποσοστά χαρτιού και πλαστικού στη συγκεκριμένη πόλη ήταν αρκετά χαμηλά σε σχέση με τις υπόλοιπες. Επομένως, αν σκεφτεί κανείς ότι το RDF αποτελείται κυρίως από χαρτί, πλαστικό και ύφασμα και σε μικρότερο βαθμό από οργανικά μέρη, τότε καταλαβαίνουμε ότι η συνεισφορά τους στην καθαρή θερμογόνο δύναμη είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι εάν η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του RDF, δεν είναι αποδεκτή για την αντικατάσταση καυσίμων επειδή είναι πάρα πολύ χαμηλή (ικανοποιητική τιμή 15000-18000 kJ/kg), θα πρέπει να σημειωθεί μια άλλη λύση. Μια λύση θα μπορούσε να είναι, ένα στάδιο μετεπεξεργασίας που στοχεύει να χωρίσει τα μέρη των αποβλήτων και των επιπέδων υγρασίας. Αυτή η λύση πρέπει να αποφευχθεί εάν ο στόχος της στρατηγικής είναι η ελαχιστοποίηση των όγκων επιχωμάτωσης.

Από οικονομικής πλευράς πρέπει να επισημανθεί ότι **οι εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης είναι περισσότερο δαπανηρές σε σχέση με την άμεση καύση των αποβλήτων.** Παρόλα αυτά, όπως περιγράφτηκε παραπάνω, επιτρέπουν τον έλεγχο της μάζας των απορριμμάτων και κυρίως τη μείωση της υγρασίας τους που καθιστά πιο εύκολες όλες τις περαιτέρω επεξεργασίες και κυρίως τη θερμική επεξεργασία (καύση RDF). Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί, ότι σε μια χώρα όπως η Ελλάδα που στηρίζεται κυρίως στην καύση λιγνίτη και ορυκτών καυσίμων, η τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης θα συνέβαλε ουσιαστικά στην αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με RDF.

Ενισχύοντας την άποψη αυτή, υπολογίστηκε με βάση τις τιμές των καυσίμων στην τρέχουσα αγορά ότι, αν υποθέσουμε ότι το βιοξηραμένο υλικό είναι τεχνικά αποδεκτό από την προοπτική της ενεργητικής αποκατάστασης μέσω της θερμικής ή θερμοχημικής διαδικασίας, τότε **από την παραγωγή RDF με καθαρή θερμογόνο δύναμη LHV_{RDF} = 15,5 MJ/kg**, **που αποτελεί μια μέση και ικανοποιητική τιμή για το RDF, προκύπτει μια καθαρή αποταμίευση από την αντικατάσταση ενός τόνου καύσιμων από RDF ίση με 14,2 euro.**

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η αποταμίευση αυξάνεται καθώς οι τιμές καυσίμων αυξάνουν, αλλά και καθώς η αναλογία p_{RDF} / LHV_{RDF} γίνεται μικρότερη.

Από περιβαλλοντική άποψη, δύο πτυχές πρέπει να υπογραμμιστούν: **η πρώτη θεωρεί την αντικατάσταση των απολιθωμένων καυσίμων με RDF (το οποίο αποτελεί μερικώς βιομάζα), ενώ η άλλη θεωρεί τη μείωση του αντίκτυπου από τα υλικά οδόστρωσης**. Συνεπώς, όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της τεχνολογίας, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι εγκαταστάσεις

βιοξήρανσης παρέχουν έναν περιβαλλοντικό βιώσιμο τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων :

- **Ουσιαστικά μειώνοντας το ποσό των αποβλήτων που πηγαίνουν στα υλικά οδόστρωσης.**
- **Αυξάνοντας το ποσοστό της ανακύκλωσης των αποβλήτων με τη σύλληψη των υλικών (αδρανών, σιδηρούχων και μη σιδηρούχων, μέταλλα, γυαλί), που δεν είναι εντελώς χωρισμένα στο σπίτι.**
- **Προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στην αποτέφρωση μαζικών αποβλήτων.**
- **Ανακτώντας την ενέργεια από τα υπόλοιπα απόβλητα, με την παραγωγή RDF που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη βιομηχανία αντί του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου**.

Επιπλέον προκύπτει ένα όφελος από τη βιοξήρανση, ειδικά σε ότι αφορά την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. **Όμως, το όφελος αυτό εξανεμίζεται στην περίπτωση που το παραγόμενο RDF δε χρησιμοποιείται ως καύσιμο αλλά θάβεται σε ΧΥΤΑ**. Η βιολογική αποικοδόμηση του RDF στους ΧΥΤΑ αφ' ενός οδηγεί σε παραγωγή μεθανίου, το οποίο είναι ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου και αφ' ετέρου δεν υποκαθιστά ορυκτά καύσιμα αναιρώντας το πλεονέκτημα της μείωσης των εκπομπών CO_2.

Επιπροσθέτως, η περιεκτικότητα των αποβλήτων σε θείο είναι σχεδόν μηδαμινή με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου SO_2, το οποίο παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων και συμβάλλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να επισημανθεί, ότι η εφαρμογή εγκαταστάσεων βιοξήρανσης στην Ελλάδα, θα μπορούσε να βοηθήσει να φθάσει στο στόχο της ΕΕ σχετικά με τα βιοδιασπάσιμα απόβλητα, ενώ οι ανακυκλώσιμοι στόχοι αποκατάστασης υλικού και ενέργειας, μπορούν να διατηρήσουν τις χαμηλές δαπάνες για την αποκομιδή αποβλήτων**. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι οι**

εγκαταστάσεις βιοξήρανσης δεν αντικαθιστούν τις τοπικές πρωτοβουλίες ανακύκλωσης, αλλά τις ενισχύουν.

Βέβαια, εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι οι ποσότητες RDF που είναι δυνατόν να παραχθούν από τις εκτιμώμενες ποσότητες παραγωγής Α.Σ.Α ετησίως, από τυχόν εκτενή χρήση της βιολογικής ξήρανσης, δεν θα ήταν δυνατό να αξιοποιηθούν από την τσιμεντοβιομηχανία της χώρας μας. Αυτό επιβεβαιώνεται, αν σκεφτεί κανείς ότι η τσιμεντοβιομηχανία στην Ελλάδα καλύπτει μόνο το 10-20% των δυνατοτήτων παραγωγής των καυσίμων αυτών. Επομένως, η εκτενής χρήση της τεχνολογίας στην χώρα μας δεν θα είχε και τα καλύτερα αποτελέσματα, καθώς η τυχόν πλεονάζουσα παραγωγή των καυσίμων αυτών θα έπρεπε να αξιοποιηθεί είτε σε μονάδες στοιχειομετρικής καύσης είτε να διατεθεί σε ΧΥΤΑ. Το τελευταίο θέλουμε να το αποφύγουμε, καθώς η ταφή του καυσίμου στους ΧΥΤΑ έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεθανίου.

Τέλος, σε συνάρτηση με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μια προσπάθεια για την επεξεργασία και αξιοποίηση των απορριμμάτων θα πρέπει :

- Να προτάσσει κριτήρια δημόσιου και κοινωνικού συμφέροντος, ιδιαίτερα, στις σημερινές συνθήκες της κρίσης.
- Να καλλιεργεί και να ενθαρρύνει την άμεση εμπλοκή των πολιτών στη διαδικασία της διαχείρισης αποβλήτων.
- Να ενισχύει τις αποκεντρωμένες διαδικασίες προδιαλογής και ανάκτησης υλικών, έτσι ώστε να περιοριστεί, στο ελάχιστο, η ποσότητα των σύμμεικτων απορριμμάτων, που έχουν ανάγκη μεταφοράς και κεντρικής επεξεργασίας.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, είχε ως σκοπό να θίξει και να παρουσιάσει το πρόβλημα αντιμετώπισης των απορριμμάτων στις σύγχρονες κοινωνίες και συγκεκριμένα μελετώντας την τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης, η οποία αποτελεί νέα και όχι τόσο ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδο στην χώρα μας.

Η διαχείριση των απορριμμάτων αντιπροσωπεύει ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας. Οι εθνικές, περιφερειακές και δημοτικές κυβερνήσεις πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα συχνά επειδή όλα τα προηγούμενα προγράμματα διάθεσης χαμηλότερου κόστους δεν είναι πλέον αποδεκτά στο πλαίσιο της Ε.Ε.

Δεδομένης της κατάστασης που επικρατεί σήμερα στην χώρα μας σε ότι αφορά την διαχείριση των αποβλήτων, θεωρώ ότι η ανάπτυξη μεθόδων όπως η λειτουργία εγκαταστάσεων βιολογικής ξήρανσης, θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ουσιώδη επεξεργασία των αποβλήτων της χώρας μας καλύπτοντας τις σύγχρονες ανάγκες για νέες μορφές ενέργειας (καύσιμα από βιομάζα) και παράλληλα να δώσουν μία σημαντική λύση στο πρόβλημα των σκουπιδιών και των ανεξέλεγκτων χωματερών.

Ταυτόχρονα και λόγω της σοβαρής οικονομικής κρίσης στην χώρα μας σήμερα, τέτοιες επενδύσεις θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα τομέα ανάπτυξης και να δημιουργήσουν θέσεις εργασίας. Επιπλέον, επενδύσεις στην διαχείριση απορριμμάτων με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, σε συνδυασμό με παραγωγή ενέργειας, είναι ελκυστικές στους ιδιώτες επενδυτές και είναι δυνατόν να τύχουν σοβαρής χρηματοδότησης από ευρωπαϊκά προγράμματα.

Τέλος, η εργασία αυτή, μπορεί να αποτελέσει ερέθισμα για την ευρύτερη μελέτη της αξιοποίησης και διαχείρισης των απορριμμάτων καθώς επίσης και για την μελέτη της βιωσιμότητας της τεχνολογίας της βιολογικής ξήρανσης στην ελληνική επικράτεια. Αυτό θα συμβάλλει έτσι, όχι μόνο στην ουσιώδη μείωση των αποβλήτων, αλλά και στην κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της χώρας μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ειδική ερασιτεχνική ασχολία περιβάλλοντος
   dihala.sep.org.gr/proodos/eea_pr_perivalontos.pdf

2. Πως φτάσαμε στο σημερινό αδιέξοδο με τα σκουπίδια
   www.in.gr

3. Διαχείρηση στερεών αποβλήτων
   http://www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k_2.pdf

4. Παραγωγή Στερεών αποβλήτων
   aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm1.pdf

5. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας , Αθήνα Νοέμβριος 2006
   Διαχείριση στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα/ Η περίπτωση της Αττικής

6. Διπλωματική Εργασία: Αξιολόγηση τεχνολογιών μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων. Αθήνα 2011,
   Ευαγγελία Π.Βαρελά
   Επιβλέπων: Α.Γ.Ανδρεόπουλος , Καθηγητής Ε.Μ.Π

7. *Πρόστιμο-μαμούθ, της τάξης των 7,5 εκατ. ευρώ την ημέρα*
   Πηγή:Ελευθεροτυπία
   www.silvercity.gr

8. http://sikam.wordpress.com

9. Περιβάλλον
   http://archive.in.gr/news/reviews/placeholder.asp?lngReviewID=829017&lngChapterID=836503&lngItemID=836520

10. Διοξίνες στις χωματερές
Τεράστιο το πρόβλημα – Ανάγκη άμεσης λήψης μέτρων
www.greenpeace.orq

11. Οι επιπτώσεις της ρύπανσης του περιβάλλοντος στην τροφική αλυσίδα. Η περίπτωση των παραμένοντων οργανικών ρύπων και των βαρέων μετάλλων.
Πτυχιακή Μελέτη
Φοιτήτρια: Κίρλαππου Μαργαρίτα
Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Αμπελιώτης Κων/νος, Λέκτορας

12. Θανατηφόρες διοξίνες από τις χωματερές στο πιάτο μας
www.ecocity.gr

13. Χωματερή στον ποταμό Σπερχειό
http://www.ethnos.gr

14. Σκουπίδια ο πλανήτης κυνδυνεύει
4lyk-pyrgou.ilei.sch.gr/8.htm

15. Πρόταση για μια Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων στην Ελλάδα
www.wtert.gr/.../Presentation_Tassios_MESAEP%2026.9.2011.ppt

16. Συμβούλιο Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων
Θέμα: Μελέτη, Χρηματοδότηση, Κατασκευή, και Λειτουργία των Μονάδων Επεξεργαίας Απορριμμάτων εντός των Ολοκληρωμένων Εγκαταστάσεων Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ) Περιφέρειας Αττικής με Σ.Δ.Ι.Τ.

17. BIOMAZA
http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf

18. Εναλλακτικές λύσεις επεξεργασίας σύμμεικτων απορριμμάτων
www.diaamath.gr/?dl_id=87

19. Πρόταση για την ολοκληρωμένη διαχείριση των μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων στην Κέρκυρα
http://lib.teekerk.gr/bitstream/lib.teekerk.gr/95/1/sterea_apovlita_m_309.pdf

20. Παρουσίαση και αξιολόγηση τεχνολογιών επεξεργασίας και αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων
Διπλωματική Εργασία: Μιχαηλίδου Γεωργία

21. Δρ. Αθηνά Στέγγου – Σαγιά, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ , ΑΘΗΝΑ 2008

22. Ανάλυση Ηλιακών Ξηραντήρων
Διπλωματική εργασία: Γαλανού Βασιλεία
Επιβλέπων καθηγητής: Αντωνόπουλος Κίμων

23. ΞΗΡΑΝΣΗ
Θοδωρής Καραπάντσιος
www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/dry/dry01.pdf

24. Τεχνικές Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων
http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=96

25. Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes:a review of process science and enineering [Bioresource Technology, Volume 100, Issue 11, June 2009, Pages 2747-276]

26. Βιώσιμη Ανάπτυξη και Βιωσιμότητα
diocles.civil.duth.gr/links/.../Viosimi_anaptiksi_kai_viosimotita.doc

27. MSW BIO-DRYING: AN ALTERNATIVE WAY FOR ENERGY RECOVERY OPTIMIZATION AND LANDFILLING MINIMIZATION [U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol71, Iss. 4, 2009]

28. Σχηματισμός διοξινών κατά την καύση εναλλακτικού καυσίμου RDF σε εγκαταστάσεις τσιμεντοβιομηχανίας.
Μ. Χριστόλη, Ε. Καπετάνιου, Γ. Σταυρακάκη, Α. Λυγερού, Ν.Χ. Μαρκάτου
ΕΜΠ – Σχολή Χημικών Μηχανικών

29. Πτυχιακή Εργασία : Συστήματα Διαχείρισης απορριμμάτων για παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας, Μάρτιος 2004
Εισηγητής: Κούκος Παντελής

30. Bio-drying of Romanian municipal solid waste: An analysis of its viability (Ramona Mihaela NEGOI, MarcoRagazzi, Tiberiu Apostol, Elena Cristina Rada, Cosmin MARCULESCU) , Phd Power Engineering Faculty, University POLITECHNICA of Bucharest, Romania .

31. Εκτίμηση ιδιοτήτων αστικών απορριμμάτων και ποσότητας διασταλαγμάτων που προκύπτουν από χώρο υγειονομικής ταφής.
Μεταπτυχιακή Διατριβή: Γκούσκος Ζαχαρίας, Χανιά, Απρίλιος 2006

32. Estimation of municipal solid waste heating value in Greece in the frame of formulating appropriate scenarios on waste treatment
I.-S. Antonopoulos, A. Karagiannidis, E. Kalogirou

33. Φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες των απορριμμάτων
Mebig.marmara.edu.tr/Enve330/Chapter4.pdf

34. Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των αστικών στερεών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης – Οικονομικές προεκτάσεις, Πούλιος Κ., Παπαχρήστου Ε.

35. Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας Α.Σ.Α για την περιφέρεια Ηπείρου
Μελετητής ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε

36. http://www.ecodeco.it/home/cms/ecodeco/

37. http://www.letsrecycle.com/news/latest-news/compost/entsorga-reveals-plans-for-wiltshire-mbt-facility

38. http://ecology-salonika.org/2009/?p=1276

39. http://www.helector.gr/en/article.php?id=14

40. Οργανική συν-αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων και βιομάζας
ΗΜΑΡΙΔΑ ΙΕΝΕ
Αθήνα 25 Νοεμβρίου 2010
Ι. Μπούκης & Γ. Κουφοδήμος

41. Διαχείριση των στερεών απορριμμάτων στην Αττική.
http://linospapa.blogspot.com/2011_02_01_archive.html

42. Βιολογική Ξήρανση – Γερμανία.
http://dimotikakerkyras.blogspot.com/2009/02/blog-post_23.html

43. HELECTOR
http://www.helector.gr/en/article.php?cat=7

44. Θερμική επεξεργασία και ενεργειακή αξιοποίηση στερεών αποβλήτων – Μύθοι και πραγματικότητα.
Αβραάμ Καραγιαννίδης
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ

45. http://users.sch.gr/xarito/TROPOI%20PROSTASIAS%20-%20LIPANSHS%20GIA%20APOTELESMATIKOTERI%20ANAPTIXH%20TWN%20BIOKALLIERGIWN.HTM

46. Μηχανικός διαχωρισμός-Λιπασματοποίηση
http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm4.pdf

47. Α.Ζερβός , Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2007.

48. E.C.Rada, M.Ragazzi, V.Panaitescu, T.Apostol, An example of technology transfer: Why Municipal Solid Waste bio-drying ? . Proc. Of the international Energy – Environment Conference CIEM 2005, pp. 7.46-7.51. Editura Universal Energiciei, 2005.

49. Οι τεχνολογίες που δίνουν σήμερα ώθηση σε σημαντικές ενεργειακές εφαρμογές της βιομάζας
Προβλήματα και προοπτικές για τη Χώρα μας
Σπύρος Κυρίτσης
http://www.hellabiom.gr/files/01022010.pdf

50. Mechanical biological treament and selective collection of municipal solid waste: which interactions? (RADA E.C, M. RAGAZZI, V. PANAITESCU., T. APOSTOL) , Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium

51. Biological drying of municipal solid waste and sewage sludge: mass and energy balances, L. Krzystek, A. Zawadzka, P. Stolarek and S. Ledakowicz
Department of bioprocess Engineering, Faculty of Process and environmental Engineering, Technical University of Lodz, Poland.

52. Πτυχιακή εργασία : Παρουσίαση και αξιολόγηση τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας και ενεργειακής αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων, Κοζάνη 2009
Εισηγητής: Παυλουδάκης Φραγκίσκος.

53. Συμπεράσματα και προτάσεις για τη βιώσιμη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων στην Αττική, Ειδική μόνιμη επιτροπή περιβάλλοντος, Αθήνα, Μάιος 2009.

54. Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων / Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και Ορθολογικές Λύσεις.

Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης