



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία:

**Εναλλακτικές Τεχνολογίες Ξήρανσης Οικιακών
Βιοαποβλήτων**

Χλωράκης Ζαχαρίας

Επιβλέπων: Γ. Λυμπεράτος – Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Γεράσιμο Λυμπεράτο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα και για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της ενασχόλησής μου με αυτό.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τη Δρ. Μάρθα Γεωργιοπούλου για όλη την βοήθεια, τον σημαντικό χρόνο που μου αφιέρωσε και την αγόγγυστη υπομονή της κατά την διάρκεια της συγγραφής της εργασίας, συμβάλλοντας στην ολοκλήρωσή της.

Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές της εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου και την οικογένεια μου για τη βοήθεια και τη στήριξη τους.

Αυτή η εργασία αφιερώνεται στην μνήμη των γονέων μου....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ορθολογική εναλλακτική διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων καθίσταται επιτακτική ανάγκη. Η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων, όπως η τεχνολογία της ξήρανσης οι οποίες επιτυγχάνουν την επεξεργασία, την ανακύκλωση και την ανάκτηση των αστικών στερεών αποβλήτων, προάγουν περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην τεχνολογία της ξήρανσης για την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων (βιοαποβλήτων), στην καταλληλότητα της ως μέθοδος καθώς και στους διαφορετικούς τύπους ξηραντήρων. Έχει ως στόχο την τεχνοοικονομική εκτίμηση της εφαρμογής της τεχνολογίας αυτής για την επεξεργασία και ανακύκλωση των βιοαποδομήσιμων αστικών στερεών αποβλήτων ενός δήμου.

Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύσσονται πέντε εναλλακτικά σενάρια ξήρανσης (χρήση διαφορετικών τύπων ξηραντήρων) για την διαχείριση των βιοαποβλήτων και γίνεται μία οικονομική εκτίμηση του κάθε σεναρίου.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή του Σεναρίου 2, έχει το μικρότερο κόστος σε σύγκριση με τα άλλα τέσσερα εναλλακτικά σενάρια που εξετάστηκαν.

Τέλος με την αποκεντρωμένη διαχείριση των διαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων επιτυγχάνεται η ορθολογική διαχείριση τους, με μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα μειώνονται οι επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: Ξήρανση, Θερμική Ξήρανση, Βιο-ξήρανση, Θερμική Ξήρανση Οργανικού Κλάσματος, Αστικά Στερεά Απόβλητα, Απορρίμματα Τροφίμων, Βιοαπόβλητα, Ξηραντήρες, Εξοπλισμός Ξήρανσης

ABSTRACT

It is imperative to provide an alternative rational management of biodegradable waste. The implementation of sophisticated methods such as drying technology, which achieve treatment, recycle and recovery of urban solid waste, has numerous environmental and financial advantages.

This study focus on the drying technology for the treatment of the organic fraction of the municipal solid waste (biowaste), its adequacy as a method and in various types of dryers. It aims to present a techno-economic assessment of the implementation of this technology for the treatment and recycling of biodegradable waste in a municipality.

Within the context of this study, five alternative drying scenaria (implementation of different types of dryers) of biowaste management were developed with a technical and financial analysis.

The interpretation of the results suggests that the most preferable scenario is the second one, which has the lowest financial cost compared to the other four alternative scenaria.

Finally the decentralized management of the pre-separated biowaste leads to lower cost and at the same time, is more environmentally friendly.

Keywords: Drying, Thermal Drying, Biodrying, Thermal Drying of Organic Fraction, Municipal Solid Waste, Food Waste, Biowaste, Dryers, Drying Equipment

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT.....	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	viii
1 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	1
1.1 Είδη Αστικών Στερεών Αποβλήτων	1
1.2 Βιοαποδομήσιμα Αστικά Στερεά Απόβλητα.....	4
1.3 Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	5
1.4 Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων	8
2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	13
2.1 Διαχείριση Βιοαποδομήσιμων Αστικών Στερεών Αποβλήτων.....	14
2.2 Αστικά Στερεά Απόβλητα ως καύσιμη ύλη.....	16
2.3 Συλλογή και Μεταφορά Αστικών Στερεών Αποβλήτων	17
3 ΞΗΡΑΝΣΗ	20
3.1 Μέθοδοι Ξήρανσης	21
3.2 Βιολογική Ξήρανση	25
3.3 Θερμική Ξήρανση	31
3.4 Τύποι Ξηραντήρων.....	33
3.4.1 Περιστροφικός Ξηραντήρας (Rotary Dryer)	35
3.4.2 Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας (Conveyor/Belt Dryer)	40
3.4.3 Ξηραντήρας Στιγμαϊαίας Δράσης (Flash Dryer)	42
3.4.4 Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Dryer)	45
3.4.5 Ξηραντήρας Υπέρθερμου Ατμού (Superheated Steam Dryer).....	49
3.4.6 Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer)	51
3.4.7 Ξηραντήρας Φρεατίου (Shaft Dryer)	54
3.4.8 Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης (Rolling Bed Dryer)	55
3.4.9 Ξηραντήρας Θαλάμου.....	58

3.4.10	Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας	60
3.4.11	Ξηραντήρας Τουρμπίνας.....	61
3.4.12	Ξηραντήρας Τυμπάνου (Drum Dryer)	63
4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΣΑ	64
4.1	Εισαγωγή	64
4.2	Σκοπός και αντικείμενο μελέτης	64
4.3	Υπολογισμοί Σχεδιασμού Σεναρίων	65
4.4	Παραδοχές - Υποθέσεις	69
4.5	Σύστημα Διαχείρισης	70
4.6	Εναλλακτικά Σενάρια	71
4.6.1	Σενάριο 1 – Ξήρανση με Περιστροφικό Ξηραντήρα	71
4.6.2	Σενάριο 2 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης	73
4.6.3	Σενάριο 3 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας	75
4.6.4	Σενάριο 4 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης	77
4.6.5	Σενάριο 5 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης	79
4.7	Συγκεντρωτικά Στοιχεία Εναλλακτικών Σεναρίων	81
5	ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	84
5.1	Συλλογή και Μεταφορά Βιοαποβλήτων	84
5.2	Εναλλακτικό Σενάριο 1 - Ξήρανση με Περιστροφικό Ξηραντήρα.....	85
5.3	Εναλλακτικό Σενάριο 2 - Ξήρανση με Ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης.....	87
5.4	Εναλλακτικό Σενάριο 3- Ξήρανση με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας....	88
5.5	Εναλλακτικό Σενάριο 4- Ξήρανση με Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης	89
5.6	Εναλλακτικό Σενάριο 5- Ξήρανση με Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης	90
5.7	Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Εναλλακτικών Σεναρίων	92
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	93
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	95
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3-1: Διάγραμμα Ροής Τυπικής Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας.....	26
Σχήμα 3-2: Απεικόνιση κουτιού (box) βιοξήρανσης	30
Σχήμα 3-3: Απεικόνιση Περιτροφικού Ξηραντήρα	36
Σχήμα 3-4: Απεικόνιση Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας	41
Σχήμα 3-5: Ξηραντήρας Στιγμαιαίας Δράσης (Flash Dryer).....	43
Σχήμα 3-6: Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Dryer)	46
Σχήμα 3-7: Ξηραντήρας Υπέρθερμου Ατμού (Superheated Steam Dryer)	49
Σχήμα 3-8: Ξηραντήρας κλίνης με υπέρθερμο ατμό	50
Σχήμα 3-9: Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer)	52
Σχήμα 3-10: Ξηραντήρας Φρεατίου (Shaft Dryer)	54
Σχήμα 3-11: Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης (Rolling Bed Dryer)	56
Σχήμα 3-12: Ατμοσφαιρικός Ξηραντήρας Θαλάμου	59
Σχήμα 3-13: Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας	61
Σχήμα 3-14: Ξηραντήρας Τουρμπίνας.....	62
Σχήμα 3-15: Ξηραντήρας Τυμπάνων	63
Σχήμα 4-1: Διάγραμμα Ροής Θερμικής Ξήρανσης με Περιτροφικό Ξηραντήρα	71
Σχήμα 4-2: Διάγραμμα Ροής Ξήρανσης με Ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης.....	73
Σχήμα 4-3: Διάγραμμα Ξήρανσης με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας.....	76
Σχήμα 4-4: Διάγραμμα Ροής Ξήρανσης με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας.....	77
Σχήμα 4-5: Διάγραμμα Ροής Θερμικής Ξήρανσης Ρευστοποιημένης Κλίνης.....	78
Σχήμα 4-6: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1: Συνολικές Ποσότητες ΑΣΑ στην Ελλάδα (έτη 1997-2011).....	4
Πίνακας 1-2: Προβλέψεις για Παραγωγή ΑΣΑ στην Ελλάδα	4
Πίνακας 2-1: Θερμογόνος δύναμη και ενεργειακό περιεχόμενο των Ελληνικών οικιακών απορριμμάτων	16
Πίνακας 3-1: Παράμετροι box/κουτιού βιοξήρανσης.....	31
Πίνακας 3-2: Σύγκριση Άμεσων και Έμμεσων Ξηραντήρων	32
Πίνακας 3-3: Ταξινόμηση Ξηραντήρων	33
Πίνακας 3-4: Βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά τύπων ξηραντήρων βιομάζας	45
Πίνακας 3-5: Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών ξηραντήρων	48
Πίνακας 3-6: Τεχνικά χαρακτηριστικά Ξηραντήρων Σήραγγας (Tunnel Dryer) και Ξηραντήρων Φρεατίου (Shaft Dryer)	55
Πίνακας 3-7: Χαρακτηριστικά Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης	57
Πίνακας 4-1: Ετήσιες Ποσότητες ΑΣΑ	66
Πίνακας 4-2: Τιμές Ποιοτικής Σύστασης ΑΣΑ.....	66
Πίνακας 4-3: Τυπικές Τιμές Ποιοτικών Χαρακτηριστικών ΑΣΑ	67
Πίνακας 4-4: Τυπικές Τιμές Περιεκτικότητας βιοαποδομήσιμων αποβλήτων	67
Πίνακας 4-5: Ποσότητα υγρασίας, Ξ, Β, και C, H, O, N, S οργανικών ΑΣΑ.....	68

Πίνακας 4-6: Ποσότητα σε moles C, H, O, N, S των οργανικών ΑΣΑ	68
Πίνακας 4-7: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Περιστροφικού Ξηραντήρα	72
Πίνακας 4-8: Κόστος Εξοπλισμού Περιστροφικού Ξηραντήρα	72
Πίνακας 4-9: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Στιγμαϊαίας Δράσης ...	74
Πίνακας 4-10: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας	76
Πίνακας 4-11: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης	78
Πίνακας 4-12: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης	81
Πίνακας 4-13: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρων Σεναρίων	82
Πίνακας 5-1: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 1	86
Πίνακας 5-2: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 2	88
Πίνακας 5-3: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 3	89
Πίνακας 5-4: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 4	90
Πίνακας 5-5: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 5	91
Πίνακας 5-6: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Εναλλακτικών Σεναρίων	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Ποσοστά ΑΣΑ ανά κατηγορία που παράγονται στην Ελλάδα	2
Εικόνα 1-2: Ποσοστά ΑΣΑ ανά κατηγορία που παράγονται στην Ευρώπη	3
Εικόνα 1-3: Κατανομή ΑΣΑ ανά Περιφέρεια της Ελλάδας	3
Εικόνα 1-4: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα	4
Εικόνα 1-5: Πυραμίδα Ιεράρχησης Στόχων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων	7
Εικόνα 2-1: Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)	13
Εικόνα 2-2: Κάδοι Συλλογής ΑΣΑ	17
Εικόνα 2-3: Φόρτωση Απορριματοφόρου με απορρίμματα που βρίσκονται σε χοάνες ΣΜΑ	17
Εικόνα 2-4: Χειροδιαλογή ΑΣΑ σε ΚΔΑΥ	18
Εικόνα 2-5: Σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ αποτελούμενο κάδους	19
Εικόνα 3-1: Τμήμα Υποδοχής, Τεμαχισμού, Βιολογικής Ξήρανσης Απορριμμάτων ..	28
Εικόνα 3-2: Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς	29
Εικόνα 3-3: Βιολογική Ξήρανση σε Κουτιά	29
Εικόνα 3-4: Περιστροφικός Ξηραντήρας	38
Εικόνα 3-5: Τρόποι μεταφοράς του προς ξήρανση υλικού εντός περιστρεφόμενου κυλίνδρου με πτερύγια	39
Εικόνα 3-6: Δύο διαφορετικές διαμορφώσεις των πτερυγίων που βρίσκονται εντός περιστρεφόμενου ξηραντήρα	39
Εικόνα 3-7: Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας	41
Εικόνα 3-8: Ξηραντήρας Στιγμαϊαίας Δράσης (Flash Dryer)	44
Εικόνα 3-9: Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Dryer)	47
Εικόνα 3-10: Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer)	53
Εικόνα 3-11: Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης (Rolling Bed Dryer)	57

Εικόνα 3-12: Ξηραντήρας Θαλάμου Κενού	60
Εικόνα 4-1: Compact ξηραντήρας για εφαρμογές μικρού και μεσαίου μεγέθους	79
Εικόνα 4-2: Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης	80
Εικόνα 4-3: Βραχίονας Ανάδευσης.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 6-1: Κόστος αγοράς και λειτουργίας	94
Διάγραμμα 6-2: Ηλεκτρικές και Θερμικές Απαιτήσεις Εναλλακτικών Σεναρίων	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ

Διάγραμμα Ροής 4-1: Διάγραμμα Ροής Συστήματος	70
---	----

1 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

«Στερεά Απόβλητα (ΣΑ) χαρακτηρίζονται οι ουσίες ή τα αντικείμενα που υπάρχουν κυρίως σε στερεά φυσική κατάσταση, από τις οποίες ο κάτοχος τους επιθυμεί ή είναι υποχρεωμένος να απαλλαγεί, και δεν εμπεριέχονται στον κατάλογο επικινδύνων αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΚΑ)». Ο ορισμός αυτός λαμβάνει υπόψη την ετερογενή μάζα των ΣΑ από τις αστικές περιοχές, όπως επίσης και την πιο ομοιογενή μάζα γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων. (Μουσιόπουλος & Καραγιαννίδης, 2002) Ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) ταξινομεί τα στερεά απόβλητα σε κατηγορίες ανάλογα με την πηγή προέλευσης ή το είδος του υλικού. Τα αστικά απόβλητα ταξινομούνται στον ΕΚΑ με τον κωδικό 20 και ορίζονται ως τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα, τα οποία λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά.

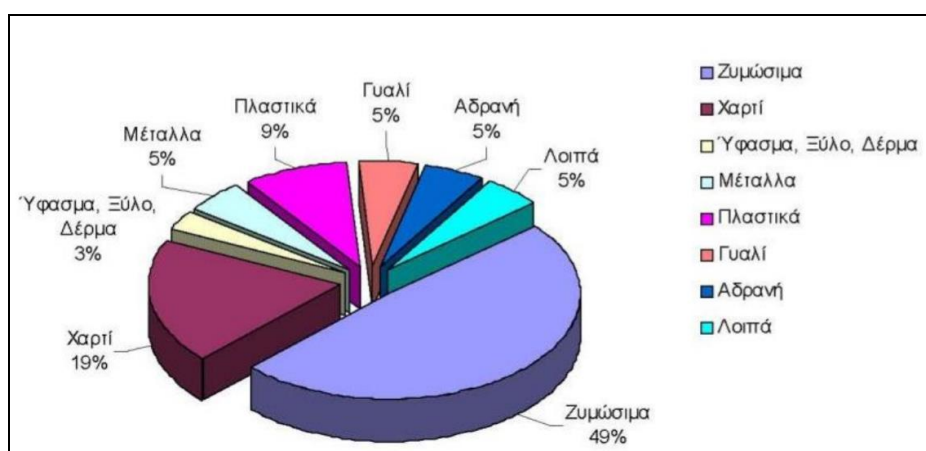
1.1 Είδη Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η καπιταλιστική τάση που χαρακτηρίζει τα πιο πολλά κράτη με σκοπό την κατανάλωση όλο και περισσότερων υλικών αγαθών και η εξέλιξη της διαφήμισης είναι λόγοι που διογκώνουν διαρκώς το μέγεθος των αστικών στερεών αποβλήτων/απορριμμάτων και η ανάγκη της ορθολογικής διαχείρισης τους καθίσταται επιτακτική.

Στον όρο αστικά στερεά απόβλητα, (ΑΣΑ, Municipal Solid Waste) περιλαμβάνονται κατηγορίες απορριμμάτων όπως τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα αστικού τύπου, όπως τα απόβλητα από εμπορικές και συναφείς δραστηριότητες, κτίρια γραφείων, χώρων εστίασης και ιδρυμάτων (σχολείων, νοσοκομείων κ.α.). Στα ΑΣΑ συμπεριλαμβάνονται και τα ογκώδη απόβλητα (όπως στρώματα, έπιπλα κ.α.), τα απόβλητα κήπων, πάρκων καθώς και απόβλητα από τον καθαρισμό των δρόμων. Η κατηγοριοποίηση των ΑΣΑ περιλαμβάνει τις εξής ομάδες /κατηγορίες υλικών:

- Ζυμώσιμα: Περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας και κήπου.
- Χαρτί: Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια.
- Μέταλλα: Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών (σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα).

- Γυαλί: Όσον αφορά στην ανακύκλωση, γίνεται διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- Πλαστικό: Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών αποβλήτων.
- Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Υφασμα: Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα.
- Αδρανή: Περιλαμβάνονται χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απόβλητα (π.χ. χρώματα, πέτρες, κ.λπ.).
- Λοιπά: Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να καταταχθούν σε καμία από τις άλλες κατηγορίες.



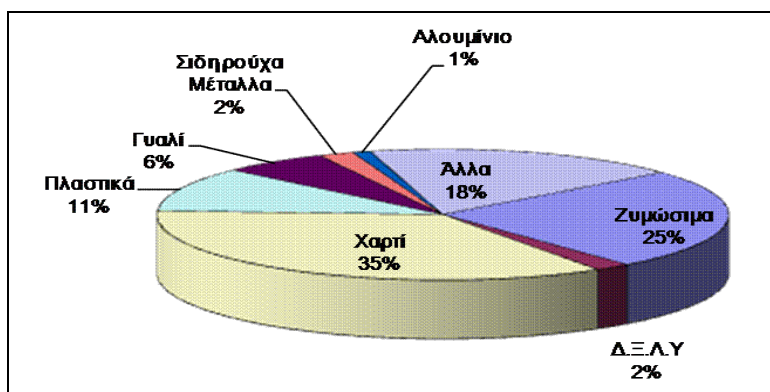
Εικόνα 1-1: Ποσοστά ΑΣΑ ανά κατηγορία που παράγονται στην Ελλάδα

Figure 1

Τα ΑΣΑ που διαχειρίζονται οι φορείς αποκομιδής περιλαμβάνονται γενικά (Hogg, et.al, 2002, Νταρακάς, 2014):

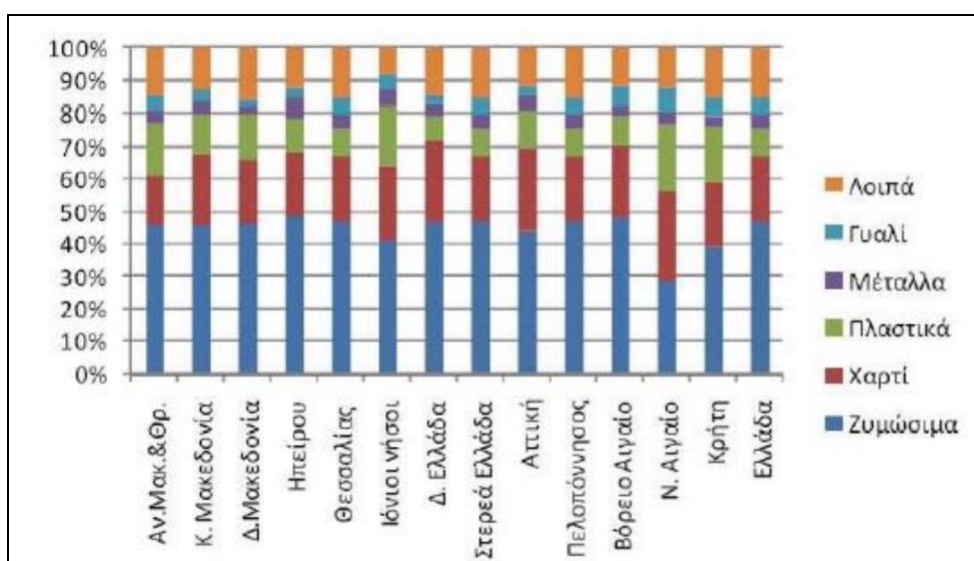
- Κατάλοιπα κάθε φύσης, όπως οικιακά απορρίμματα, σκουπίσματα, χαρτιά.
- Απορρίμματα εμπορικών εγκαταστάσεων και βιομηχανιών, κτιρίων γραφείων.
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλύες, απόβλητα από καθαρισμούς δρόμων και δημοσίων χώρων.
- Κατάλοιπα από χώρους εκθέσεων αγορές, εορτές, κ.α.
- Απορρίμματα σχολείων, στρατιωτικών εγκαταστάσεων, νοσοκομείων (πλην των μολυσματικών), ξενοδοχείων, εστιατορίων, κ.α.
- Ογκώδη αντικείμενα (π.χ. ηλεκτρικές συσκευές).

Επισημαίνεται ότι στα ΑΣΑ δεν περιλαμβάνονται τα αδρανή και κατάλοιπα δημοσίων έργων, οι βιομηχανικές στάχτες, οι σκουριές, τα μολυσματικά απόβλητα νοσοκομείων, τα υπολείμματα σφαγείων κ.α.



Εικόνα 1-2: Ποσοστά ΑΣΑ ανά κατηγορία που παράγονται στην Ευρώπη

Το ποσοστό (%) των κατηγοριών αστικών απορριμμάτων που περιέχονται στα ΑΣΑ σε εθνικό επίπεδο και στην Ευρώπη παρουσιάζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Σημειώνεται ότι, στην Ελλάδα, τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν όλες τις κατηγορίες αστικών απορριμμάτων με τα ζυμώσιμα να κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό, το χαρτί και τα πλαστικά να κατέχουν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό, ενώ τα μέταλλα και το γυαλί να κατέχουν ένα αρκετά μικρό ποσοστό. Στην Ευρώπη το ποσοστό της κατηγορίας χαρτί είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που παράγεται στην Ελλάδα, ενώ το ποσοστό των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (ζυμώσιμα) είναι μειωμένο κατά 25%. Επιπλέον παρουσιάζεται η κατανομή των παραγόμενων αστικών απορριμμάτων ανά κατηγορία και περιφέρεια για την Ελλάδα.



Εικόνα 1-3: Κατανομή ΑΣΑ ανά Περιφέρεια της Ελλάδας

Εξαιτίας του τρόπου ζωής και της ολοένα μεγαλύτερης τάσης κατανάλωσης υλικών αγαθών από τους πολίτες, ο συνολικός όγκος των ΑΣΑ στις ανεπτυγμένες χώρες αυξάνει διαρκώς. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η αύξηση της ποσότητας των ΑΣΑ στην Ελλάδα κατά τα έτη 1997 - 2011 και απεικονίζεται η αναμενόμενη αύξηση της συνολικής ποσότητας των ΑΣΑ έως το έτος 2035.

Πίνακας 1-1: Συνολικές Ποσότητες ΑΣΑ στην Ελλάδα (έτη 1997-2011)

(Πηγή: ΕΣΔΑ)

Έτος	1997	1998	1999	2000	2001	2011
Παραχθείσες Ποσότητες ΑΣΑ (t/έτος)	3.900.000	4.082.000	4.264.000	4.447.000	4.559.000	6.000.000

Πίνακας 1-2: Προβλέψεις για Παραγωγή ΑΣΑ στην Ελλάδα

(Πηγή: JESSICA, 2010)

Έτος	2015	2020	2025	2030	2035
Ποσότητες ΑΣΑ (t/έτος)	6.600.000	7.100.000	7.700.000	8.100.000	9.000.000

1.2 Βιοαποδομήσιμα Αστικά Στερεά Απόβλητα

Τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν σε μεγάλο ποσοστό τρόφιμα, δηλαδή ένα υψηλό κλάσμα ταχέως βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων. Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ) σε εύλογο χρονικό διάστημα δύναται να αποδομούνται. Πιο συγκεκριμένα βιοαποδομήσιμα απόβλητα είναι τα υπολείμματα τροφίμων, τα πράσινα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απόβλητα χαρτιού και τα βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά.



Εικόνα 1-4: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

Το κλάσμα των ταχέως βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων δημιουργεί τη μεγαλύτερη δυσκολία στη διαχείριση τους καθώς περιέχει υψηλό ποσοστό υγρασίας, φέρει παθογόνους μικροοργανισμούς και εκλύει δυσάρεστες οσμές.

1.3 Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στρατηγικός στόχος της Ε.Ε. είναι να περιοριστούν οι αρνητικές συνέπειες και να επιτευχθεί μία ενεργειακά αποδοτική «κοινωνία ανακύκλωσης». Η διαχείριση των αποβλήτων διέπεται από έναν μεγάλο όγκο κανονιστικών ρυθμίσεων, υπάρχουν όμως ακόμη δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης της διαχείρισης ορισμένων κύριων ροών αποβλήτων.

Στις αρχές της δεκαετίας του '70, η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα αναλαμβάνει σταθερή δέσμευση σχετικά με το περιβάλλον με κύριους άξονες την προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και των υδάτων, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, τη διατήρηση των φυσικών πόρων και τη διαχείριση των αποβλήτων και των δραστηριοτήτων με δυσμενείς επιπτώσεις. Η ευαισθητοποίηση στην Ε.Ε. για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε ουσιαστικά με τη Σύνοδο Κορυφής των Παρισίων το 1974, στη συνέχεια ακολούθησαν Προγράμματα Δράσης της Κοινότητας, ενώ από το 1975 προβλέπονται στον Κοινοτικό Προϋπολογισμό κονδύλια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το έτος 1981 οι ως τότε διάσπαρτες περιβαλλοντικές υπηρεσίες συγχωνεύονται στη Γενική Διεύθυνση XI (Περιβάλλον, Πυρηνική Ασφάλεια, Προστασία Πολιτών) και υπό το πρίσμα των εξελίξεων υιοθετείται η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη (1^η Ιουλίου 1987), ως ανεξάρτητη πολιτική για το περιβάλλον ενώ υιοθετείται το 4^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον από τα κράτη μέλη. Το 1991 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το Πρόγραμμα για τη διαχείριση αποβλήτων προτεραιότητας (όπως τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), κατασκευών και κατεδαφίσεων, οχημάτων στο τέλος κύκλου ζωής τους, χρησιμοποιημένων συσσωρευτών, ελαστικών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, συσκευασιών και απορριμμάτων συσκευασιών, χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων, νοσοκομειακών αποβλήτων και PCB's).

Ακολούθησε το 5^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον «προς μια αειφόρο ανάπτυξη» το οποίο θέσπισε τις αρχές μιας πιο ενεργητικής Ευρωπαϊκής Στρατηγικής κατά τη χρονική περίοδο 1992-2000 και ταυτόχρονα σηματοδότησε την αρχή μιας οριζόντιας κοινοτικής δράσης λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες ρύπανσης

(βιομηχανία, ενέργεια, τουρισμός, μεταφορές και γεωργία). Τέλος έως το τέλος του 2010 υλοποιήθηκε το 6^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον το οποίο προσδιορίζει τον κατάλογο περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων.

Επισημαίνεται ότι η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης εστιάζει στα εξής σημεία:

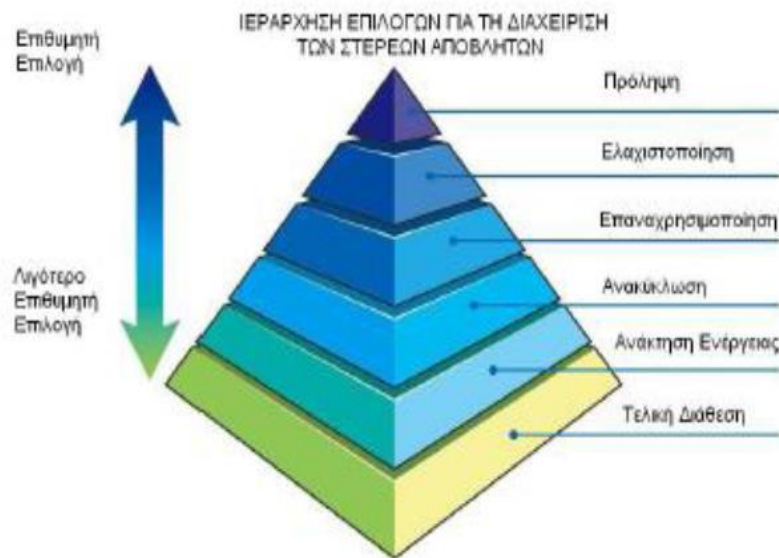
- Η πρόληψη είναι προτιμότερη από τη λήψη διορθωτικών μέτρων,
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους,
- Ο ρυπαίνων πρέπει να πληρώνει το κόστος των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος,
- Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αποτελεί τμήμα των άλλων πολιτικών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Ειδικότερα σύμφωνα με την Ε.Ε. η περιβαλλοντική πολιτική βασίζεται στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και σύμφωνα με αυτή την αρχή, ο ρυπαντής είναι υπεύθυνος για τις επιπτώσεις και για τη δαπάνη αποκατάστασης των ζημιών. Συνεπώς το ζητούμενο είναι ό,τι κάθε πολίτης πρέπει να υποχρεούται να καλύπτει πλήρως τη δαπάνη διαχείρισης των ΑΣΑ που παράγει. Οι πληρωμές είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν είτε με τη μορφή επενδύσεων, προκειμένου να επιτύχουν τη συμμόρφωση σε αυστηρότερα πρότυπα, είτε με τη μορφή φόρου επιβαλλόμενου στις επιχειρήσεις ή στους καταναλωτές που δεν χρησιμοποιούν μη οικολογικά προϊόντα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στον τομέα διαχείρισης των ΑΣΑ, σύμφωνα με τις ισχύουσες συνθήκες και βάσει των αρχών της αειφορικής ανάπτυξης, έχει υιοθετήσει την εξής ιεράρχηση (Εικόνα 1-5): Πρόληψη ή Μείωση στην Πηγή, Ελαχιστοποίηση, Επαναχρησιμοποίηση, Ανακύκλωση, Ανάκτηση Ενέργειας και Τελική Διάθεση.

Σύμφωνα με την πυραμίδα ιεράρχησης, προτεραιότητα έχει η πρόληψη και η μείωση των παραγόμενων αποβλήτων (ελαχιστοποίηση), ακολουθεί στη συνέχεια η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η καύση (ανάκτηση ενέργειας) και τέλος η ασφαλής διάθεση των αποβλήτων. Κάθε επίπεδο αναλύεται, σύμφωνα με το Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Ε.Ε., στις παραγράφους που ακολουθούν:

- Αρχή Πρόληψης ή/και Μείωσης των Παραγόμενων Αποβλήτων (Ελαχιστοποίηση): Βασικό ζήτημα στην πρόληψη της παραγωγής ή και στη μείωση των αποβλήτων, αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής, παρθένων πρώτων υλών και από τα στάδια της επεξεργασίας, της μεταποίησης, της μεταφοράς και της χρήσης. Τα πλεονεκτήματα της πρόληψης και της ελαχιστοποίησης είναι η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων καθώς και η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των παραγόμενων αποβλήτων.



Εικόνα 1-5: Πυραμίδα Ιεράρχησης Στόχων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
(Πηγή: Οδηγία 2008/98/ΕΚ (Άρθρο 4, §1))

- Αρχή Επαναχρησιμοποίησης Υλικών: Η επαναχρησιμοποίηση αποσκοπεί στη χρησιμοποίηση εκ νέου των αποβλήτων για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν. Δηλαδή με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει τη δημιουργία αποβλήτων (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών), αλλά και για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και η ανάκτησή τους.
- Αρχή Ανακύκλωσης και Αξιοποίησης των Υλικών: Η ανακύκλωση επιτυγχάνει τη μετατροπή των αποβλήτων εκ νέου σε προϊόντα ή υλικά ή ουσίες. Η ανάκτηση των αποβλήτων αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται,

θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Σημαντική, προϋπόθεση αποτελεί για την οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.

- Αρχή Ανάκτησης Ενέργειας: Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών - λόγω τεχνικών περιορισμών - θα πρέπει τα απόβλητα, με σημαντικό θερμικό περιεχόμενο, να οδηγούνται σε μονάδες καύσης, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, έτσι ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δε δύναται να αξιοποιηθεί.
- Αρχή Ασφαλούς Διάθεσης: Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης, διαχείριση η οποία θεωρείται η πιο οικονομικότερη λύση και εφαρμόζεται εκτενώς, έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως έσχατη λύση. Τέλος σημειώνεται ότι οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να οδηγούνται (καταλήγουν) σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα.

1.4 Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

Η πρώτη αναφορά στη διαχείριση αποβλήτων στην Ελλάδα γίνεται με την ΥΑ ΕΙΒ/301/64 «Περί συλλογής, αποκομιδής και διάθεσης απορριμμάτων», στην οποία θέτονται οι αρχές, μέθοδοι διαχείρισης των ΑΣΑ, καθώς και οι τρόποι συλλογής και τελικής διάθεσης τους (Αβραμίκος και Ανθούλης, 2008). Στη συνέχεια ψηφίστηκαν νομοθετικές ρυθμίσεις, οι οποίες ισχύουν έως σήμερα, όπως η ρύθμιση ΝΔ 703/1970 «Περί τροποποίησης διατάξεων αφορωσών εις τα έσοδα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοικήσεως» και οι νόμοι Ν. 25/1975, 429/1976 και 1080/1980, με τους οποίους καθορίστηκε ο τρόπος υπολογισμού των δημοτικών τελών καθαριότητας, βάσει των τετραγωνικών μέτρων που καταλαμβάνει το νοικοκυριό.

Με το Ν. 1650/1985 «Περί προστασίας του περιβάλλοντος», καθορίζεται το γενικό πλαίσιο, οι στόχοι και τα μέσα προστασίας του περιβάλλοντος καθώς επίσης

αναθέτεται η ευθύνη για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στους Ο.Τ.Α. Επιχειρείται η προσαρμογή της εθνικής νομοθεσίας με την αντίστοιχη Κοινοτική, ΚΥΑ 49541/1424/86 «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ», όπου ορίζονται οι βασικές έννοιες σχετικά με τα απόβλητα και τους φορείς διαχείρισης τους, καταγράφονται οι βασικές αρχές που πρέπει να εφαρμόζονται στη διαχείριση των ΑΣΑ, προκειμένου να μην υπάρξουν κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ενώ γίνεται αναφορά στην ανάγκη θεσμοθέτησης σχεδίων διαχείρισης. Επίσης καθορίζονται οι υπόχρεοι καταβολής δαπάνης διαχείρισης καθώς και κυρώσεις (ποινικές, διοικητικές ή/και χρηματικές) σε αυτούς που δεν συμμορφώνονται με τις οδηγίες των αρμόδιων. Δημιουργείται το «Ειδικό Σώμα Ελεγκτών για την προστασία του περιβάλλοντος», Ν. 2242/1994, υπό τη δικαιοδοσία του Υπουργείου Περιβάλλοντος καθώς επίσης και των οικείων Νομαρχιών και Περιφερειών. Όμως λόγω των πολλών και περίπλοκων αρμοδιοτήτων δημιουργήθηκε αντιπαράθεση με τις υπηρεσίες της τοπικής Αυτοδιοίκησης με συνέπεια τη ψήφιση του Ν. 2947/2001, ο οποίος κατήργησε το Ειδικό Σώμα Ελεγκτών και το αντικατέστησε με την «Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος (ΕΥΕΠ)», υπαγόταν απευθείας στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, ενώ οι αρμοδιότητες αυτής της υπηρεσίας ήταν κατά κύριο λόγο ελεγκτικές και γνωμοδοτικές.

Στην ΚΥΑ 69728/824/1996 καθορίζονται οι γενικές κατευθύνσεις για τη σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης των Αποβλήτων και ορίζονται οι υπόχρεοι για το σχεδιασμό και την υλοποίησή τους. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την εν λόγω ΚΥΑ, αρμόδια υπηρεσία σε επίπεδο Νομού είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, ενώ στην περίπτωση μη ανάληψης της ευθύνης από αυτή την υπηρεσία, αρμόδια υπηρεσία είναι η οικεία Περιφέρεια. Τέλος στην εν λόγω ΚΥΑ γίνεται αναφορά στην ανάγκη εξυγίανσης των χώρων διάθεσης αποβλήτων μετά το τέλος λειτουργίας τους και στην αποκατάσταση των ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης απορριμμάτων. Σημαντικό στοιχείο της ΚΥΑ είναι η προσάρτηση του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων (ΕΚΑ) στην εθνική νομοθεσία και η εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 94/3/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου.

Θεσπίζονται τα απαιτούμενα μέτρα για τη διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων με στόχο την επαναχρησιμοποίηση ή αξιοποίηση των αποβλήτων

τους με το Ν. 2939/2001 «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και των άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις». Οι ρυθμίσεις του νόμου αυτού εναρμονίζονται με τις διατάξεις της Οδηγίας 94/62/ΕΚ και ουσιαστικά εισάγουν το νομοθετικό πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης/επαναχρησιμοποίησης/αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (όπως συσσωρευτές, ελαστικά, ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός κ.α.) καθορίζοντας ταυτόχρονα τις ποσότητες καθώς και χρονικά όρια για την προσέγγισής τους. Οι επιμέρους όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση κάθε ρεύματος αποβλήτων, καθορίζονται με σχετικά Π.Δ. που εκδίδονται ανάλογα με την περίπτωση. Επιπλέον, σε εθνικό επίπεδο, η διαχείριση των στερεών αποβλήτων υπάγεται στις διατάξεις της ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για την Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων-Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» η οποία εναρμονίζεται με την Οδηγία 91/156/ΕΟΚ και θέτει στόχους και αρχές για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, καθώς και τις προδιαγραφές του εθνικού Ε.Σ.Δ.Α. αλλά και των περιφερειακών σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων. Καθορίζονται οι υπόχρεοι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, τα μέτρα για την εξυγίανση-αξιοποίηση των χώρων διάθεσης μετά τον τερματισμό της λειτουργίας τους, καθώς επίσης και οι άδειες που πρέπει να ληφθούν για την αποκατάσταση των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης στερεών αποβλήτων (Αβραμίκος και Ανθούλη, 2008). Τέλος επισημαίνεται ότι η ΚΥΑ 50910/2727/2003 τροποποιήθηκε από το Ν. 4042/2012.

Η ΚΥΑ 22912/1117/05 εναρμονίζει την εθνική νομοθεσία με την κοινοτική Οδηγία 2000/76/ΕΚ «περί αποτέφρωσης των αποβλήτων» και καταγράφει τα μέτρα και τους όρους για την αποφυγή και το περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση. Επιπλέον ο Ν. 3536/2007 καθορίζει τη νομική μορφή των Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΣΔΑ), ενώ οι δραστηριότητες τους, η λειτουργία τους και η τιμολογιακή πολιτική τους καθορίζονται από την απόφαση ΥΑ 2527/2009 (ΦΕΚ 83/Β). Επίσης ο Ν. 3688/2008 συμπληρώνει τις διατάξεις του Ν. 3536/2007 για τους ΦοΣΔΑ, σχετικά με την οργάνωση και λειτουργία του Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.).

Οι κοινοτικές Οδηγίες 2008/98/ΕΚ και 2008/99/ΕΚ ενσωματώθηκαν στο εθνικό δίκαιο με το Ν. 4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012) «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος-Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/99/ΕΚ-Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων-Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», ο οποίος θεσπίζει την ποινική προστασία του περιβάλλοντος και καθορίζει ποινές και κυρώσεις στους παραβάτες ανάλογα με το είδος και τη μορφή της πράξης, ενώ ταυτόχρονα αναθεωρεί το πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων. Κομβικό στοιχείο θεωρείται η μετονομασία του Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π. σε Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (Ε.Ο.Α.Ν.) ο οποίος αποτελεί Ν.Π.Ι.Δ., υπάγεται στην αρμοδιότητα του ΥΠΕΚΑ και χαρακτηρίζεται από πλήρη διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια. Σημειώνεται ότι η λειτουργία του Ε.Ο.Α.Ν. έχει ως βασικό στόχο το σχεδιασμό, τη μελέτη πολιτικών και την εφαρμογή προγραμμάτων για την ορθολογική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Ο οργανισμός αυτός εποπτεύει και ελέγχει τη λειτουργία των ήδη αδειοδοτημένων συστημάτων ατομικής και συλλογικής εναλλακτικής διαχείρισης, αφού πρόκειται για όργανο με εισηγητικό, γνωμοδοτικό και ελεγκτικό χαρακτήρα (Λαζαρίδης, 2012).

Το νομικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο (ΥΠΕΝ, 2015) καθορίζεται πλέον από:

- το Ν. 2939 (ΦΕΚ179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε με το Ν. 3854 (ΦΕΚ 94/Α/23.06.2010) «Τροποποίηση της νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις» και το Ν. 4042/2012,
- το Ν. 4042 (ΦΕΚ24/Α/13-2-2012) «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα,

- καθώς και από τις ειδικές προβλέψεις του Ν. 4014 (ΦΕΚ 209/Α/21-9-11) «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων & δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

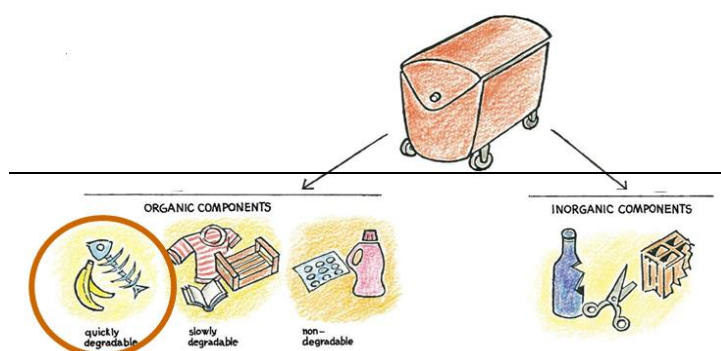
Στο εθνικό δίκαιο έχουν επίσης ενσωματωθεί βασικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα απόβλητα, όπως η ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ, και η ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ 759 Β) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ, ενώ έχει άμεση ισχύ ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2002/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.

Για τη ρύθμιση επιμέρους θεμάτων έχει εκδοθεί σειρά κοινών υπουργικών αποφάσεων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- ΚΥΑ με αρ. 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012
- ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012 και
- ΚΥΑ με αρ. Κ.Υ.Α. 146163//2012 «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων 1991», που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 38, παρ. 7 του Ν. 4042/2012.

2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η διαχείριση των ΑΣΑ είναι μία σημαντική πρόκληση στην οποία θα πρέπει να δοθούν βιώσιμες λύσεις. Στην ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης που υποστηρίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) προηγείται η πρόληψη παραγωγής στερεών αποβλήτων, με σκοπό τη μείωση του όγκου τους, ακολουθεί η ανακύκλωση και η ανάκτηση υλικών, κατόπιν η ανάκτηση ενέργειας, ενώ η ταφή αποτελεί τη χειρότερη επιλογή χειρισμού των αποβλήτων.



Εικόνα 2-1: Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, σε συνδυασμό ίσως με τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας αυτών, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την επίτευξη των στόχων στον τομέα διαχείρισης των ΑΣΑ όπως αυτοί έχουν τεθεί από τις νομοθετικές δεσμεύσεις που η χώρα μας έχει αναλάβει. Στην Ελλάδα, η οποία βασίζεται στην υγειονομική ταφή των αποβλήτων και σε ένα μικρό μόνο ποσοστό στην ανάκτηση συγκεκριμένων υλικών, απαιτείται η άμεση κινητοποίηση των αρμόδιων φορέων για τη δημιουργία ενός ενιαίου και κατάλληλου σχεδίου δράσης που θα αποσκοπεί στην υλοποίηση ανάκτηση και ανακύκλωση των ΑΣΑ.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ αφορά σε μια σειρά από παράγοντες όπως η ευαισθητοποίηση του πολίτη για συμμετοχή στην ανακύκλωση με οικιακή διαλογή των αποβλήτων (διαχείριση ΑΣΑ στη πηγή), η συλλογή, μεταφορά και η διαλογή (εφόσον απαιτείται) των ΑΣΑ. Τα στάδια της προεπεξεργασίας των ΑΣΑ στοχεύουν κυρίως στη μείωση του μεγέθους των αποβλήτων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ορθολογική διαχείρισή τους.

2.1 Διαχείριση Βιοαποδομήσιμων Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Η διαχείριση των Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων (ΒΑΑ) πρέπει να εναρμονίζεται πλήρως με όσα ορίζονται ρητά στην κείμενη κοινοτική νομοθεσία και κυρίως σε ότι αφορά σε συμμόρφωση με την Κοινοτική Οδηγία 1999/31/ΕΚ Οδηγία του Συμβουλίου περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων και την ενσωμάτωση αυτής στο εθνικό δίκαιο (ΚΥΑ 29407/3508/2002) όπου ποσοτικοποιούνται οι στόχοι εκτροπής των ΒΑΑ από τους ΧΥΤΑ.

Οι σχετικοί ποσοτικοί περιορισμοί συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Έως την 16^η Ιουλίου 2010 η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ΒΑΑ που θα διατίθεται προς υγειονομική ταφή θα ανέρχεται στο 75% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των ΒΑΑ που είχε παραχθεί το έτος 1995.
- Έως την 16^η Ιουλίου 2013 η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ΒΑΑ που θα διατίθεται προς υγειονομική ταφή θα ανέρχεται στο 50% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των ΒΑΑ που είχε παραχθεί το έτος 1995.
- Έως την 16^η Ιουλίου 2020 η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ΒΑΑ που θα διατίθεται προς υγειονομική ταφή θα ανέρχεται στο 35% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των ΒΑΑ που είχε παραχθεί το έτος 1995.

Η διαχείριση των ΑΣΑ περιλαμβάνει τεχνολογίες που επιτυγχάνουν το διαχωρισμό των ΑΣΑ σε δύο κύρια ρεύματα (ρεύμα οργανικών, βιοαποδομήσιμων υλικών και ρεύμα λοιπών υλικών) από τα οποία το ένα περιέχει το προς ανάκτηση υλικό σε υψηλή συγκέντρωση.

Τα μέτρα για την επίτευξη των προηγούμενων στόχων αναφέρονται κυρίως στην προώθηση της αξιοποίησης των αποβλήτων και ειδικότερα στην ανακύκλωση, λιπασματοποίηση ή παραγωγή βιομεθανίου ή ανάκτηση υλικών/ ενέργειας (άρθρο 21 Παράρτημα ΙΒ της ΚΥΑ 69728/96).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η τεχνολογία της ξήρανσης ως μέθοδος διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ. Η μέθοδος αυτή επεξεργασίας επιτυγχάνει τη μείωση, σε μεγάλο βαθμό, του όγκου των ΑΣΑ (έως και 90%), τη μείωση της μάζας τους (έως και 70%), μπορεί να σχεδιασθεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες

ποσότητες αποβλήτων και μέσω αυτής της μεθόδου δύναται να επιτευχθεί ανάκτηση και αξιοποίηση της θερμογόνου ενέργειας των αποβλήτων.

Επισημαίνεται ότι, η τεχνολογία της ξήρανσης, η οποία προτείνεται στην παρούσα μελέτη για την διαχείριση των βιοαποβλήτων, εφαρμόζεται παγκοσμίως στις μέρες μας κυρίως για την επεξεργασία της λυματολάσπης και με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται κυρίως η μείωση του όγκου της.

Επιπλέον η τεχνολογία της ξήρανσης δύναται να χρησιμοποιηθεί και για την επεξεργασία των αποβλήτων με οργανικό φορτίο όπως τη ξήρανση της παραγόμενης από της μονάδες βιολογικής επεξεργασίας ιλύος (λυματολάσπη). Σημειώνεται ότι οι κύριοι στόχοι της θερμικής ξήρανσης της ιλύος είναι οι εξής (DryWaste, 2011):

- Αφαίρεση της υγρασίας και μείωση του όγκου της ιλύος (περίπου 4-5 φορές), έτσι ώστε να επιτευχθεί μείωση του κόστους μεταφοράς της και να δύναται να αποθηκευτεί ευκολότερα.
- Αύξηση της θερμογόνου δύναμης της ιλύος, ώστε να μπορεί να αποτεφρωθεί χωρίς τη χρήση επιπλέον καυσίμου.
- Υγιεινοποίησή της ιλύος (προϊόν χωρίς παθογόνους οργανισμούς).
- Σταθεροποίηση της ιλύος (ειδικότερα επιτυγχάνεται με ξήρανση σε ξηρή μάζα πάνω από 90% στερεού περιεχομένου).
- Βελτίωση της δομής της ιλύος και δυνατότητα χρήσης της ως εδαφοβελτιωτικό.
- Η παραγωγή λιπάσματος/εδαφοβελτιωτικού υψηλής αγοραστικής αξίας.

Όλα τα παραπάνω, τα οποία αναφέρονται ως στόχοι της θερμικής ξήρανσης, είναι ταυτόχρονα και τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της τεχνολογίας της ξήρανσης της ιλύος. Ομοίως η εφαρμογή της τεχνολογίας της ξήρανσης σε οργανικά απόβλητα οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα με την ιλύ. Επιπλέον σημειώνεται ότι η μέθοδος της ξήρανσης δύναται να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα στη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων, για την μείωση του όγκου των οργανικών αποβλήτων τα οποία παράγονται κατά την παραγωγική διαδικασία. Τέλος, η μέθοδος της ξήρανσης βρίσκεται σε εφαρμογές και σε άλλους βιομηχανικούς κλάδους όπως η βιομηχανία παραγωγής βιομάζας, η βιομηχανία παραγωγής φαρμάκων, κ.α.

2.2 Αστικά Στερεά Απόβλητα ως καύσιμη ύλη

Η μάζα των αποβλήτων διακρίνεται από μεγάλη ανομοιογένεια και διακύμανση της αναλογίας σε οργανικά και ανόργανα συστατικά. Οι βασικότερες ιδιότητες των αποβλήτων που επηρεάζουν την συμπεριφορά τους στην καύση είναι:

- Η ανώτερη και η κατώτερη θερμογόνος δύναμη (Πίνακας 2-1).
- Η περιεκτικότητα σε υγρασία (% κ.β.).
- Η περιεκτικότητα σε στάχτη (% κ.β.).
- Οι πτητικές ύλες (% κ.β.).

Πίνακας 2-1: Θερμογόνος δύναμη και ενεργειακό περιεχόμενο των Ελληνικών οικιακών απορριμμάτων
(Πηγή: Σκορδίλης, 1997).

Υλικά	% κ.β.	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)	Ενέργεια (kcal)/100kg απορριμμάτων	Συμμετοχή στην ενέργεια (%)
Χαρτί	20,0	3960	79300	32,3
Πλαστικά	8,5	7700	65450	26,7
Ζυμώσιμα	49,0	1100	53900	22,0
Γυαλί	4,5	33	748	0
Μέταλλα	4,5	165	742	0
Αδρανή	5,0	30	150	0
Λοιπά	5,5	5770	31735	12,9

Γενικά τα υλικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα καύσιμα και τα αδρανή (μη καύσιμα). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα ζυμώσιμα υλικά, πλαστικό, χαρτί, ξύλο, ελαστικά υλικά, δέρμα, υφάσματα, κλπ., ενώ στη δεύτερη ανήκουν τα μέταλλα, γυαλιά, κ.α. Συγκεκριμένα, στα οικιακά απορρίμματα τα αδρανή υλικά μπορεί να καταλαμβάνουν το 25-60% του βάρους, ενώ η περιεχόμενη υγρασία να αντιστοιχεί στο 20-60% του βάρους των απορριμμάτων.

Η ποσοστιαία σύνθεση των αποβλήτων μεταβάλλεται χωροταξικά και εποχιακά. Στην Ελλάδα παρατηρείται αυξημένο ποσοστό πλαστικών και ζυμώσιμων με εποχιακή έξαρση τους θερινούς μήνες.

Από όλα τα είδη των απορριμμάτων το πλαστικό έχει τη μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη. Η καύση των πλαστικών παράγει μικρότερο ποσό οξειδίων του θείου και του αζώτου από ό,τι των συμβατικών καυσίμων. Το βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζει η καύση των πλαστικών είναι οι εκπομπές ενώσεων χλωρίου και τα στερεά υπολείμματα που είναι πλούσια σε βαρέα μέταλλα.

2.3 Συλλογή και Μεταφορά Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Τα ΑΣΑ συλλέγονται είτε σε πλαστικούς είτε σε μεταλλικούς κάδους διαφορετικής χωρητικότητας και δυναμικότητας περισυλλογής από 60 έως 5000 lt. Σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ τα ΑΣΑ θα πρέπει να συλλέγονται ξεχωριστά (π.χ. χαρτί, γυαλί, μέταλλο, πλαστικά) σε κάδους έτσι ώστε να δύναται να οδηγούνται προς ανακύκλωση (ΥΠΕΝ, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας).



Εικόνα 2-2: Κάδοι Συλλογής ΑΣΑ

Η μεταφορά των ΑΣΑ γίνεται με απορριματοφόρα οχήματα, χωρητικότητας περίπου 6.5 t, τα οποία διαθέτουν ηλεκτρονικά συστήματα καταγραφής του όγκου των απορριμμάτων και είναι εφοδιασμένα με περιστρεφόμενο τύμπανο ή πρέσα για συμπίεση των εισαγόμενων απόβλητων και άμεση δημιουργία μεγαλύτερου ελεύθερου χώρου.



Εικόνα 2-3: Φόρτωση Απορριματοφόρου με απορρίμματα που βρίσκονται σε χοάνες ΣΜΑ

Τα απορριμματοφόρα οχήματα συλλέγουν και μεταφέρουν τα ΑΣΑ στους σταθμούς μεταφόρτωσης απόβλητων (ΣΜΑ), οι οποίοι πρέπει να είναι σε κοντινές αποστάσεις ώστε να είναι άμεσα προσάνεμοι από τα απορριμματοφόρα που διανύουν διαρκώς αποστάσεις μέσα στους δρόμους των πόλεων για την περισυλλογή των απόβλητων. Στους σταθμούς μεταφόρτωσης απόβλητων (ΣΜΑ) τα αστικά απορρίμματα μέσω ειδικής πρέσας συμπιέζονται περαιτέρω και συλλέγονται από οχήματα με δυνατότητα μεγέθους για μεγαλύτερους όγκους απόβλητων σε σχέση με τα απορριμματοφόρα χωρητικότητας περίπου 20 τόνους. (Hogg et al. 2002, Νταρακάς, 2014).

Όσον αφορά στα ανακυκλώσιμα υλικά, αυτά οδηγούνται σε ειδικά κέντρα διανομής ανακυκλώσιμων υλικών (ΚΔΑΥ), όπου τα καθαρά υλικά επανακτώνται και δεματοποιούνται. Σημειώνεται ότι η ποιότητα ενός επανακτώμενου υλικού εξαρτάται από τη πηγή συλλογής. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ένας κοινός κάδος για την συνολική συλλογή όλων των ανακυκλώσιμων υλικών (πχ χαρτί, γυαλί, μέταλλο, πλαστικό), τότε ο διαχωρισμός τους είναι πολύ δύσκολος. Απαιτούνται χειροδιαλογή, διαφορετικός εξοπλισμός διαχωρισμού, ενώ η ποιότητα των τελικά επανακτώμενων υλικών είναι χαμηλή.



Εικόνα 2-4: Χειροδιαλογή ΑΣΑ σε ΚΔΑΥ

Αντιθέτως, εάν η αρχική περισυλλογή, γίνεται σε σύστημα τεσσάρων (4) κάδων, ένας κάδος για κάθε υλικό, τότε η διαδικασία επεξεργασίας δεν είναι χρονοβόρα, ενώ η ποιότητα των ανακυκλώσιμων υλικών υψηλή και τα επανακτημένα

υλικά έχουν μεγαλύτερη εμπορική αξία. (Hogg et al. 2002, Νταρακάς, 2014 και Ελληνικός Οργανισμός Ανακυκλώσεως).



Εικόνα 2-5: Σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ αποτελούμενο κάδους (τέσσερεις ξεχωριστοί κάδοι, ένα κάδο για κάθε υλικό, πλαστικό, αλουμίνιο, γυαλί, χαρτί)

3 ΞΗΡΑΝΣΗ

Ο όρος ξήρανση περιγράφει τη διαδικασία θερμικής απομάκρυνσης ποσοτήτων υγρού και αναφέρεται κυρίως στην αφαίρεση μικρών σχετικά ποσοτήτων υγρού (αφαίρεση υγρασίας ή πτητικών ουσιών) από τα στερεά ή ημιστερεά υλικά προκειμένου να μειωθεί το περιεχόμενο του εναπομείναντος υγρού σε μία αποδεκτή χαμηλή τιμή και τελικά να παραχθεί ένα στερεό προϊόν. Τα στερεά που πρόκειται να ξηραθούν μπορεί να βρίσκονται σε μορφές: νιφάδες, κόκκοι, κρύσταλλοι, σκόνη, πλάκες ή συνεχή φύλλα και να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Το υγρό που πρόκειται να εξατμιστεί μπορεί να βρίσκεται στην επιφάνεια του στερεού, ή εν μέρει έξω και εν μέρει στο εσωτερικό.

Η αφαίρεση υγρασίας από αέρια αποδίδεται κυρίως στους όρους αφύγρανση (dehumidification) και προσρόφηση (adsorption). Συνήθως η ξήρανση αποτελεί την τελική βαθμίδα μιας σειράς διεργασιών και το προϊόν μετά τη ξήρανση είναι πολλές φορές έτοιμο προς χρήση στο εμπόριο. Παράλληλα, το νερό ή οποιαδήποτε άλλα υγρά, απομακρύνονται είτε θερμικά με εξάτμιση είτε μηχανικά. (McCabe, Smith, & Harriot, 2003)

Στις διεργασίες ξήρανσης δίνεται περισσότερο έμφαση συνήθως στο αποξηραμένο τελικό προϊόν και στις περισσότερες περιπτώσεις η ξήρανση επιτυγχάνεται με αφαίρεση της υγρασίας σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο βρασμού. Η διεργασία της ξήρανσης μετατρέπει ένα στερεό ή ημιστερεό ή υγρό υλικό σε ένα στερεό προϊόν με εξάτμιση του υγρού μέσω εφαρμογής θερμότητας. Η θερμότητα μπορεί να παρέχεται με συναγωγή (ξηραντήρες), με αγωγιμότητα, με ακτινοβολία ή με θέρμανση σε φούρνο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ξήρανση δύναται να προκαλέσει επιθυμητές ή ανεπιθύμητες χημικές ή βιολογικές αντιδράσεις, οδηγώντας σε αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή, και άλλες ιδιότητες του ρευστού προϊόντος.

Τα στέρεα που πρόκειται να υποστούν ξήρανση μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες μορφές όπως νιφάδες, κόκκοι, κρύσταλλοι, σκόνη, πλάκες ή συνεχή φύλλα και να έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Το υγρό που πρόκειται να εξατμιστεί μπορεί να βρίσκεται είτε στην επιφάνεια του στερεού, είτε στο εσωτερικό του, είτε εν μέρει

στην επιφάνεια και εν μέρει στο εσωτερικό. Συγκεκριμένα τα στερεά υλικά δύναται να περιέχουν δύο κατηγορίες υγρασίας:

- Την υγρασία που συγκρατείται με χαλαρούς χημικούς δεσμούς και είναι παγιδευμένη μέσα στη μικροκατασκευή του στερεού και η οποία ασκεί τάση ατμών μικρότερη από αυτή του καθαρού υγρού. Η υγρασία αυτή ονομάζεται «δεσμευμένη υγρασία» και παρουσιάζεται ως φυσικά προσροφημένο νερό, κρυσταλλικό νερό ή ως διάλυμα.
- Την υγρασία που συγκρατείται με χαλαρούς χημικούς δεσμούς και υπάρχει στο στερεό σαν υγρό διάλυμα. Η υγρασία αυτή ονομάζεται «μη δεσμευμένη» και είναι σε περίσσεια σε σχέση με τη δεσμευμένη.

Η κύρια διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις δύο κατηγορίες υγρασίας είναι ότι η αποβολή της μη δεσμευμένης υγρασίας πραγματοποιείται πιο εύκολα από το στερεό, ακόμα και με ελεύθερη εξάτμιση, ενώ για την αποβολή της δεσμευμένης υγρασίας απαιτείται θέρμανση.

Ο ρυθμός της ξήρανσης εξαρτάται από το ρυθμό που ακολουθούν:

- Η μεταφορά ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας. Προκαλείται από τη βαθμίδα της θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του υλικού και στον περιβάλλοντα αέρα. Η μεταφορά ενέργειας εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες, όπως η υγρασία αέρα, ο ρυθμός ροής του αέρα στην επιφάνεια έκθεσης και η πίεση. Τέλος μπορεί να επιτευχθεί με συναγωγή, αγωγή και ακτινοβολία.
- Η μεταφορά της μάζας της εσωτερικής υγρασίας στην επιφάνεια του στερεού λόγω διάχυσης και ακολούθως εξάτμισης. Η διάχυση της υγρασίας πραγματοποιείται από τη βαθμίδα συγκέντρωσης του νερού στο εσωτερικό του υλικού και την επιφάνεια του υλικού και εξαρτάται από τη φύση του υλικού και τη θερμοκρασία. (Mujumdar, 2015), (Land, 2012)

3.1 Μέθοδοι Ξήρανσης

Η διεργασία της ξήρανσης έχει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία στις οποίες το απομακρυσμένο πτητικό συστατικό είναι συνήθως το νερό. Κάποιες από τις μεθόδους ξήρανσης χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε βιομηχανικό αλλά και σε εργαστηριακό επίπεδο. *Οι κυριότερες μέθοδοι ξήρανσης είναι:*

- **Συμβατική μέθοδος:** Πραγματοποιείται έχοντας ως πηγή θερμότητας θερμαινόμενο αέρα που διαχέεται μέσα στο φούρνο με τη βοήθεια ενός προσαρμοζόμενου ανεμιστήρα. Τα προϊόντα που τοποθετούνται μέσα στο φούρνο αλλάζουν σταδιακά ξεκινώντας από την αρχική τους θερμοκρασία και καταλήγοντας στη θερμοκρασία ξήρανσης του ξηραντήρα. Η θερμοκρασιακή διαφορά αποτελεί την κινητήρια δύναμη που οδηγεί στην εξάτμιση.
- **Ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying, freeze dehydration):** Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται συνήθως με την εφαρμογή κενού και ολοκληρώνεται σε δύο στάδια. Αρχικά έχουμε τη κατάψυξη του φρέσκου υλικού και ακολούθως την ξήρανση υπό κενό, έτσι ώστε να εξαχνωθεί ο πάγος. Η απόλυτη πίεση λειτουργίας είναι συνήθως χαμηλότερη από την πίεση του τριπλού σημείου του νερού με συνέπεια να επιτευχθεί η εξάχνωση του πάγου.
- **Οσμωτική Αφυδάτωση (osmotic dehydration):** Πρόκειται για την αφαίρεση νερού από κυτταρώδη υλικά όπως τα φρούτα και λαχανικά, τα οποία βυθισμένα σε κορεσμένο οσμωτικό διάλυμα που αποτελείται από έναν ή περισσότερους διαλύτες, χάνουν το νερό από τα κύτταρα τους διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης.
- **Μικροκύματα:** Σύμφωνα με τη μέθοδο η εξάτμιση αρχίζει να πραγματοποιείται πολύ γρήγορα δημιουργώντας μια μεγάλη κινητήρια δύναμη. Συνεπώς, υπάρχει μια επίδραση μιας αναλυτικής δύναμης, η οποία ωθεί την υγρασία στην επιφάνεια του υλικού. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μια πολύ γρήγορη ξήρανση, χωρίς να χρειάζεται να υπερθερμανθεί η ατμόσφαιρα ή να υποστεί η επιφάνεια τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης.
- **Μέθοδος Βιολογικής Ξήρανσης:** Αποτελεί τεχνική προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ και κατά επέκταση του όγκου τους, στη διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού των άχρηστων υλικών και στην παραγωγή SRF. Ειδικότερα η μέθοδος αυτή μετατρέπει υπό αερόβιες συνθήκες το κλάσμα των σύμμεικτων απορριμμάτων, απαλλαγμένο από μέταλλα, σε δευτερογενές καύσιμο SRF πλουσιότερο σε οργανική ύλη. Με τη μέθοδο αυτή το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Η πιο σημαντική παράμετρος 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. Το τελικό προϊόν της επεξεργασίας είναι ένα στερεό σταθεροποιημένο υλικό, το οποίο ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερογενές καύσιμο βιομάζας ή να οδηγηθεί σε υγειονομική ταφή. Τέλος επισημαίνεται ότι η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης για την παραγωγή SRF εφαρμόζεται ήδη, με μεγάλη επιτυχία, σε συνολικά δέκα τρεις (13) εγκαταστάσεις στην Ιταλία, τη Γερμανία και το Βέλγιο. Επιπρόσθετα, τέσσερις (4) ακόμη μονάδες προετοιμάζονται στην Αγγλία. (Μαυρόπουλος, 2008).

Στην αγορά υπάρχουν συστήματα επεξεργασίας οργανικών απορριμμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ως μια συνηθισμένη οικιακή συσκευή χωρίς να ανήκουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο διαχείρισης των οικιακών αποβλήτων. Στην συνέχεια δίνεται μία σύντομη περιγραφή των υφιστάμενων εμπορικών συστημάτων ξήρανσης οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή.

Τα υλικά, βάση της συμπεριφοράς τους κατά την ξήρανση, κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- Στα κοκκώδη ή κρυσταλλικά υλικά: Συγκρατούν την υγρασία στα διάκενα μεταξύ των σωματιδίων ή σε επιφανειακούς πόρους. Η κίνηση της υγρασίας δεν εμποδίζεται ιδιαίτερα και λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των βαρυτικών και των τριχοειδών δυνάμεων. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως ανόργανα και μένουν ανεπηρέαστα από την παρουσία του υγρού και γι' αυτό παραμένουν ανεπηρέαστα από την διεργασία της ξήρανσης. Επιπλέον στα υλικά αυτής της κατηγορίας οι συνθήκες ξήρανσης επιλέγονται κατά κύριο λόγο βάσει οικονομικών κριτηρίων και λιγότερο βάσει των ιδιοτήτων των αποξηραμένων προϊόντων. Στις ένυδρες ουσίες, οι συνθήκες ξήρανσης επηρεάζουν το προϊόν που λαμβάνεται, αλλά τα υλικά δεν επηρεάζονται από τις συνθήκες ξήρανσης για μεγάλα εύρη θερμοκρασιών και υγρασιών. Για τα υλικά αυτά η υγρασία ισορροπίας είναι συνήθως πολύ κοντά στο μηδέν.
- Στα οργανικά στερεά: Τα περισσότερα οργανικά στερεά είναι είτε άμορφα είτε ινώδη ή έχουν δομή παρόμοια με γέλη και αποτελούν την δεύτερη κατηγορία υλικών. Στα υλικά αυτά η υγρασία αποτελεί απαραίτητο μέρος της δομής τους

ή είναι παγιδευμένη σε ίνες ή πόρους. Η κίνηση της υγρασίας είναι αργή και πιθανότατα πραγματοποιείται με τη διάχυση του υγρού μέσα στη δομή του στερεού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ρυθμός ξήρανσης να ελέγχεται από το ρυθμό διάχυσης του υγρού μέσα στο στερεό και γι αυτό το λόγο οι καμπύλες ξήρανσης δείχνουν πολύ μικρές περιόδους σταθερού ρυθμού που καταλήγουν σε υψηλές τιμές κρίσιμης υγρασίας. Η υγρασία ισορροπίας είναι γενικά μεγάλη, υποδηλώνοντας έτσι μια μεγάλη ποσότητα του νερού που κατακρατείται τόσο σταθερά από τη δομή του στερεού ή σε μικροσκοπικούς πόρους του, που η τάση ατμών εμφανίζεται αισθητά μειωμένη. Το νερό που υπάρχει είναι ισχυρά συνδεδεμένο με τη δομή του υλικού και για αυτό το λόγο επηρεάζονται έντονα από την αφαίρεση της υγρασίας. Συχνά παρατηρείται η γρηγορότερη ξήρανση των επιφανειακών στρωμάτων από τα εσωτερικά. Δηλαδή εάν ο ρυθμός ξήρανσης είναι υψηλός τότε μπορεί να δημιουργηθούν διαφορές στο ποσοστό υγρασίας μεταξύ των επιφανειακών και εσωτερικών στρωμάτων, με συνέπεια να εμφανιστούν ρωγμές και αναδιπλώσεις στο υλικό. Επίσης μπορεί να σχηματιστεί εξωτερικά ένα αδιαπέραστο αποξηραμένο κέλυφος, που εμποδίζει την διαδικασία της ξήρανσης και επιτείνει την ανομοιομορφία στο ποσοστό της υγρασίας, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες αλλοίωσης του στερεού. (Earle, 2003, Land, 2012, Mujumdar, 2015).

Ένα σημαντικό φαινόμενο κατά την ξήρανση είναι η συρρίκνωση των υλικών όσο μειώνεται το ποσοστό υγρασίας. Υπάρχουν ωστόσο υλικά που διαφέρουν ως προς την ιδιότητα αυτή. Σκληρά, πορώδη ή μη πορώδη, στερεά δεν συστέλλονται σημαντικά κατά την ξήρανση, αλλά τα κολλοειδή και ινώδη υλικά συρρικνώνονται σημαντικά όσο προχωράει η αφαίρεση της υγρασίας από αυτά. Το φαινόμενο της συρρίκνωσης έχει τρεις σημαντικές συνέπειες: Πρώτη συνέπεια είναι η μεταβολή που παρατηρείται στην επιφάνεια του υλικού ανά μονάδα μάζας με συνέπεια να μην είναι γνωστή η επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα λαχανικά και στα τρόφιμα, όπου μεταβάλλεται η επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη στον αέρα. Η δεύτερη συνέπεια είναι η ανάπτυξη μιας σκληρής στοιβάδας, αδιαπέραστης από την ροή της υγρασίας είτε ως υγρό είτε ως ατμός. Συνεπώς η υγρασία αδυνατεί να κινηθεί εύκολα από το εσωτερικό του στερεού προς την επιφάνεια του, ελαττώνοντας σημαντικά την ξήρανση. Η τρίτη συνέπεια είναι η αλλαγή στην ολική δομή του στερεού.

Στα στερεά που παρουσιάζουν τη δεύτερη και τρίτη συνέπεια της συρρίκνωσης επιθυμητή είναι η διεξαγωγή της ξήρανσης με υγρό αέρα, δηλαδή επιδιώκεται η ελάττωση της διαφοράς υγρασίας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του στερεού έτσι ώστε να ελαττωθεί ο ρυθμός ξήρανσης. (McCabe, Smith, & Harriot, 2003).

Η ξήρανση των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή, Οικιακή Ξήρανση, θεωρείται ως μια αναδυόμενη βιώσιμη επιλογή για τη διαχείριση των διατροφικών αποβλήτων, δεδομένου ότι αυτό το κλάσμα των αποβλήτων έχει μια περιεκτικότητα σε νερό που κυμαίνεται από 70-95% κατά βάρος. (Zhang, He, & Shao, 2008) Επομένως, η απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας με ξήρανση στην πηγή συμβάλλει σημαντικά στη μείωση μάζας και όγκου των αποβλήτων κουζίνας. Τα υψηλά θερμοϊδικώς, οργανικά υλικά (βιομάζα), διαχωριζόμενα και αποξηραμένα στην πηγή μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα καθώς παρέχουν επιπλέον φιλικές προς το περιβάλλον δυνατότητες για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας (π.χ. πράσινη ενέργεια, βιοκαύσιμα). Επιπλέον η ξήρανση των οικιακών αποβλήτων είναι μια πρωτοποριακή τεχνολογία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση και επεξεργασία των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές σε συστήματα μικρής κλίμακας, τα οποία να έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την διαχείριση των οργανικών απορριμμάτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

3.2 Βιολογική Ξήρανση

Η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης ή βιο-ξήρανση είναι μία μέθοδος παρόμοια με την αερόβια επεξεργασία σε συνδυασμό με τη μηχανική επεξεργασία. Το κύριο προϊόν είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο πλούσιο σε περιεχόμενο βιομάζας και υψηλής θερμογόνου δύναμης, το SRF (Solid Recovered Fuel). (Velis, Longhurst, Drew, Smith, & Pollard, 2009)

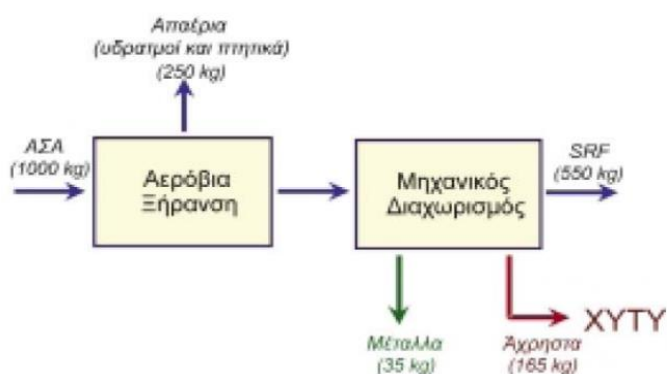
Κατά την βιολογική ξήρανση επιτυγχάνεται μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ (12 - 15% κατά βάρος), διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων σιδηρούχων μετάλλων και του αλουμινίου και παραγωγή SRF (Solid Recovered Fuel), προς θερμική αξιοποίηση, με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 15 MJ/kg.

Η υγρασία απομακρύνεται από το υλικό με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας κατά την αερόβια αποδόμηση του οργανικού κλάσματος. Η πιο σημαντική

παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες. Στο Σχήμα 3-1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης, με τυπικό ισοζύγιο μάζας.

Στη βιοξήρανση η συναγωγή του αέρα και η μοριακή διάχυση είναι οι κύριοι μηχανισμοί που ευθύνονται για την απομάκρυνση της υγρασίας. Συγκεκριμένα, η αφαίρεση της υγρασίας ελέγχεται από τη θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ του υγρών απορριμμάτων (στερεά κατάσταση) και του αέρα που ρέει μέσα από το υλικό (αέρια κατάσταση).

Ο μηχανική παροχή του αέρα είναι κρίσιμης σημασίας για τη βιοξήρανση. Αποτελεί το μέσο ροής της ενέργειας και μάζας και επιτρέπει πέρα από την αφαίρεση της υγρασίας, την απαραίτητη κατανομή της ενέργειας καθώς και τη διάχυση του οξυγόνου, ώστε να ικανοποιηθούν οι στοιχειομετρικές απαιτήσεις για την αποδόμηση. Αποτελεί τη κύρια μεταβλητή για τον έλεγχο της διεργασίας, τόσο σε εργαστηριακό επίπεδο όσο και σε μεγάλες μονάδες. Συνεπώς καθορίζει τη θερμοκρασία, και μπορεί ακόμα και να επηρεάσει και το σημείο δρόσου και την κινητική της βιολογικής αποδόμησης του υποστρώματος. Ο υψηλός ρυθμός παροχής αέρα είναι απαραίτητος προκειμένου να παραχθεί υψηλής θερμογόνου δύναμης SRF, καθώς έτσι διατηρείται το βιογενές περιεχόμενο.



Σχήμα 3-1: Διάγραμμα Ροής Τυπικής Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας

(Πηγή: Οικονομόπουλος, 2007)

Η απαραίτητη ενέργεια για την ξήρανση παρέχεται από την βιολογική αερόβια αποδόμηση του υλικού, σε αντίθεση με τις συμβατικές ξηράσεις που απαιτούν εξωτερικές πηγές θερμότητας. Με την εξώθερμη αυτή βιοχημική μετατροπή το υλικό

έρχεται σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες. Για το ποιο είναι το ιδανικό εύρος θερμοκρασιών για τη διεργασία της βιοξήρανσης, δηλαδή εκεί που θα επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός απομάκρυνσης της υγρασίας, οι απόψεις στην βιβλιογραφία ποικίλουν. Η πλειοψηφία από αυτές δηλώνουν όμως πως συγκριτικά, οι αποδοτικότερες συνθήκες την αφαίρεση της υγρασίας επιτυγχάνεται με υψηλές παροχές αέρα που προκαλούν χαμηλότερες θερμοκρασίες στο υπόστρωμα με βέλτιστη θερμοκρασία γύρω στους 45 °C, ενώ ο μεγαλύτερος ρυθμός βιολογικής αποδόμησης είναι στους 60 °C. (Skourides, Theophilou, Loizides, Hood, & Smith, 2006)

Ο ρυθμός της βιολογικής αποδόμησης γενικά δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτόν της κομποστοποίησης εφόσον λαμβάνει χώρα με πολύ μικρότερο περιεχόμενο υγρασίας. (Adani, Baido, Calcaterra, & Genevini, 2002)

Το περιεχόμενο της υγρασίας είναι η πιο σημαντική μεταβλητή για την αξιολόγηση της επίδοσης της διαδικασίας της βιοξήρανσης και μετράται συνήθως με σταθμικές μεθόδους και εκφράζεται ως ποσοστό νερού σε υγρή βάση. Στη βιοξήρανση μπορεί να μειωθεί η υγρασία από 35 - 55% μέχρι 10 - 20% σε υγρή βάση. Παράγεται και νερό από την μεταβολική δραστηριότητα (0,5 - 0,6g νερού/g υποστρώματος που βιοαποδομείται). Η ποσότητα που απομακρύνεται όμως είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται για αυτό και το υλικό ξηραίνεται.

Η Βιολογική ξήρανση εφαρμόζεται με τις εξής μεθόδους:

- **Βιολογική Ξήρανση σε Βιομηχανικό Κτίριο εντός ενιαίας δεξαμενής:** Οι εγκαταστάσεις, στις οποίες λαμβάνει χώρα αυτή η μέθοδος διαμορφώνονται ως κλειστοί ενιαίοι χώροι εντός βιομηχανικού κτιρίου. Τα στάδια της διαδικασίας είναι η υποδοχή/ δοσομέτρηση, τεμαχισμός, βιολογική ξήρανση και η μηχανική μετ-επεξεργασία, όπου πραγματοποιείται ο εξευγενισμός του SRF και ανακτούνται ανακυκλώσιμα υλικά. Σύστημα αερισμού, το οποίο δημιουργεί ελαφρά υποπίεση προς περιορισμό της έκλυσης αερίων στον περιβάλλοντα χώρο, συνήθως χρησιμοποιείται. Ο εκλυόμενος αέρας οδηγείται σε βιοφίλτρο. Ο χρόνος παραμονής για την παραγωγή υλικού με υγρασία περίπου 20% είναι τουλάχιστον 14 ημέρες, ενώ η διεργασία της ξήρανσης εξελίσσεται σε 24ωρη βάση. Το σταθεροποιημένο υλικό είτε δεματοποιείται και οδηγείται στο

Χ.Υ.Τ.Α.. είτε αν είναι επιθυμητή η παραγωγή SRF, τότε πραγματοποιείται η μηχανική μετ-επεξεργασία.



Εικόνα 3-1: Τμήμα Υποδοχής, Τεμαχισμού, Βιολογικής Ξήρανσης Απορριμμάτων
(Πηγή: ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε, 2010)

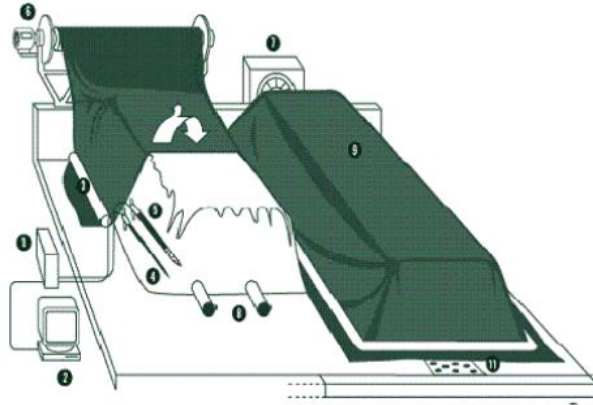
- **Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς:** Μέθοδος χαμηλού κόστους και η οποία εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακας εγκαταστάσεις ή σε απόβλητα που έχουν υποστεί σε κάποιο βαθμό διαλογή. Συνήθως αυτά τα συστήματα ενσωματώνονται με στους ΧΥΤΑ και δεν απαιτούν σημαντική κτιριακή υποδομή. Σε αυτά τα συστήματα, κατόπιν της πρωτογενούς μηχανικής επεξεργασίας, με φορτωτή τοποθετούνται σε σειράδια και καλύπτονται από μια ειδική μεμβράνη, η οποία δεν επιτρέπει την είσοδο όμβριων στον σωρό. Ο αέρας παρέχεται από κατάλληλα συστήματα φυσητήρων και με κατάλληλο σύστημα διάτρητων σωλήνων εξασφαλίζεται η διασπορά του σε όλη την μάζα των απορριμμάτων.

Οι αγωγοί μπορούν να τοποθετηθούν με δύο τρόπους: είτε με χρήση διάτρητου δαπέδου (in floor pipes) είτε με την τοποθέτηση πλέγματος αγωγών πάνω στην επιφάνεια τοποθέτησης του σωρού (on floor pipes). Το σταθεροποιημένο υλικό μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης, μπορεί να οδηγείται προς δεματοποίηση και κατόπιν στο ΧΥΤΑ, ή προς μηχανική διαλογή για την ανάκτηση υλικών και την παραγωγή SRF όπως περιγράφηκε και προηγούμενα.

Η εγκατάσταση τεμαχιστή και σωρών βρίσκεται σε ανοικτό, μη στεγασμένο χώρο, διαμορφωμένο ως «πλατεία». Εάν είναι επιθυμητός εξοπλισμός

μηχανικής διαλογής, τότε αυτός θα είναι στεγασμένος (π.χ. σε μεταλλικό κτίριο με βιομηχανικό δάπεδο).

1. Σύστημα ελέγχου
2. Η/Υ
3. Συγκρότηση μεμβράνης
4. Σένσορας θερμοκρασίας
5. Σένσορας O₂/ θερμοκρασίας
6. Σύστημα τοποθέτησης
7. Σταθμός παραγωγής αέρα
8. Αγωγοί παραγωγής αέρα τύπου "on floor"
9. Μεμβράνη
10. Αποχέτευση στραγγισμάτων
11. Κυκλίου εμριμυδίου τύπου "in floor"



Εικόνα 3-2: Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς

(Πηγή: ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε, 2010)

- **Βιολογική Ξήρανση (Αερόβια Επεξεργασία):** Εναλλακτική τεχνική της αερόβιας κομποστοποίησης είναι η αερόβια ξήρανση. Με τη μέθοδο αυτή το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες.



Κλειστό bio-box

Ανοιγμένο bio-box

Εικόνα 3-3: Βιολογική Ξήρανση σε Κουτιά

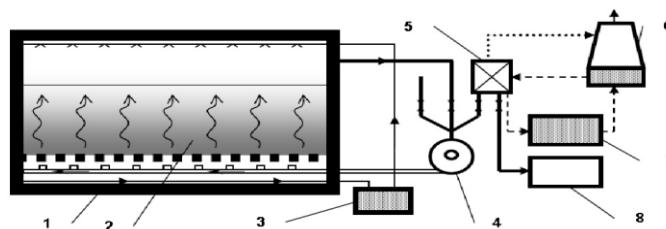
(Πηγή: Juniper, 2005)

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.

Η βιολογική ξήρανση σε βιομηχανικό κτίριο, εντός διαμερισμάτων (boxes) λαμβάνει χώρα σε κλειστά μεταλλικά ή τσιμεντένια κουτιά (διαμερίσματα) που η χωρητικότητά τους συνήθως είναι όσο απαιτείται για το υλικό μιας ημέρας και βρίσκονται είτε σε πλήρως στεγασμένο χώρο, είτε σε πλατεία κάτω από στέγαστρο, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της αδειοδοτούσας περιβαλλοντικής αρχής. Η παροχή του αέρα πραγματοποιείται από το ειδικό δάπεδο και ρυθμίζεται από τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα. Στα συστήματα αυτά οι βιολογικές διεργασίες επιταχύνονται και οι οσμές απουσιάζουν. Ο χρόνος παραμονής είναι από 5 έως 10 μέρες.

Στο Σχήμα 3-2, παρουσιάζεται ένα σύστημα βιοξήρανσης box/κουτί (συγκεκριμένης εταιρείας), το οποίο αποτελείται από ένα κλειστό κουτί (No1), στο οποίο ο αέρας διοχετεύεται μέσω της στοίβας των αποβλήτων και θερμαίνεται μέσω εξώθερμης αερόβιας βιοαποικοδόμησης ενός μέρους του οργανικού κλάσματος (No 2). Το σύστημα περιλαμβάνει: σύστημα συλλογής στραγγισμάτων και ανακυκλοφορίας (No3), σύστημα αερισμού με μερική ανακυκλοφορία αέρα, μίξη ατμοσφαιρικού αέρα και αέρα διεργασίας (No4), εναλλάκτη θερμότητας (No5), πύργο ψύξης (No6), εξοπλισμό ροής νερού, συμπυκνώματος ατμού (No7) και εξοπλισμό επεξεργασίας απαερίων, βιόφιλτρο ή μονάδα RTO (No8).



Σχήμα 3-2: Απεικόνιση κουτιού (box) βιοξήρανσης

Οι κατάλληλες συνθήκες για τη μικροβιακή δραστηριότητα που επιτρέπουν τη βιοαποδόμηση των αποβλήτων που έχουν εισαχθεί στον αντιδραστήρα βιοξήρανσης επιτυγχάνονται με την παροχή της απαραίτητης θερμότητας για

την εξάτμιση της υγρασίας από το οργανικό κλάσμα. Η υγρασία που εξατμίστηκε απομακρύνεται με το ρεύμα αέρα που εξέρχεται. Ο εξερχόμενος αέρας περνά από διάφορα στάδια επεξεργασίας που βελτιώνουν την ικανότητα της ξήρανσης (ικανότητα μεταφοράς υγρασίας), πριν ανακυκλοφορήσει στον αντιδραστήρα, και αφού αναμιχθεί με ατμοσφαιρικό αέρα. Το τελικό ξηρό προϊόν χρησιμοποιείται σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Στον Πίνακα 3-1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παράμετροι και το κόστος αγοράς του συστήματος/κουτιού βιοξήρανσης του Σχήματος 3-2.

Πίνακας 3-1: Παράμετροι box/κουτιού βιοξήρανσης

Παράμετρος	Box / Κουτί βιοξήρανσης
Χωρητικότητα ενός (1) κουτιού	300 t/week
Υγρασία εισόδου	45 - 50%
Υγρασία εξόδου	< 20%
Θερμοκρασία εισόδου/ εξόδου αέρα	25 - 30 °C / 50 °C
Χρόνος παραμονής	7 d
Ηλεκτρική κατανάλωση	30 kWh/t _{input}
Πλήρης εξοπλισμός	σύστημα επεξεργασίας απαερίων, σύστημα επεξεργασίας συμπυκνωμάτων και στραγγισμάτων, πλήρης αυτοματισμός φόρτωσης-εκφόρτωσης
Κόστος αγοράς με πλήρη εξοπλισμό	250.000 - 300.000 €

3.3 Θερμική Ξήρανση

Οι ξηραντήρες διαχωρίζονται σε αδιαβατικούς και μη αδιαβατικούς. Στους αδιαβατικούς, τα στερεά ξηραίνονται από την άμεση επαφή με τα αέρια, συνήθως αέρα. Οι μη-αδιαβατικοί δε χρησιμοποιούν θερμό αέρα ή άλλα αέρια για να παρέχουν την ενέργεια που χρειάζεται για την ξήρανση. Επιπλέον οι ξηραντήρες διαχωρίζονται με βάση τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας, και διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: (α) άμεσοι ξηραντήρες (η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγή), (β) έμμεσοι ή επαφής ξηραντήρες (η μεταφορά θερμότητας γίνεται με συναγωγή) και (γ) ξηραντήρες που θερμαίνονται με διηλεκτρική ή ακτινοβολία ενέργεια ή ενέργεια μικροκυμάτων.

Οι άμεσοι ή αδιαβατικοί, ξηραντήρες χρησιμοποιούν την θερμότητα του ρευστού/αερίου που έρχεται σε επαφή με το προς ξήρανση υλικό για να παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα εξάτμισης της υγρής φάσης.

Στους αδιαβατικούς ξηραντήρες, τα προς ξήρανση υλικά εκτίθενται σε θερμά αέρια με διάφορες μεθόδους, όπως για παράδειγμα, τα αέρια διοχετεύονται σε όλη την επιφάνεια (εγκάρσια κυκλοφορία) ή τα αέρια διοχετεύονται μέσω κλίνης (ανακυκλοφορία). Στο ξηραντήρα ακαριαίας δράσης τα προς ξήρανση στερεά τροφοδοτούνται σε ένα ρεύμα θερμού αέρα μεγάλης ταχύτητας και με πνευματική μεταφορά οδηγούνται σε μηχανικό διαχωριστή.

Στους μη αδιαβατικοί ξηραντήρες, επαφής, ή έμμεσους, εφαρμόζεται μια έμμεση μέθοδο για την απομάκρυνση της υγρής φάσης από τη στερεή φάση μέσω εφαρμογής θερμότητας, ενώ το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι διαχωρισμένο από το προς ξήρανση υλικό με μία μεταλλική επιφάνεια. Η μεταφορά θερμότητας στο υλικό πραγματοποιείται κυρίως με συναγωγή, μέσω μεταλλικού τοιχώματος και χρήση στροβίλου. Οι μη αδιαβατικοί ξηραντήρες διαφέρουν από τους αδιαβατικούς κυρίως στον τρόπο με τον οποίο τα προς ξήρανση υλικά εκτίθενται στην θερμή επιφάνεια ή σε οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας.

Το μεγαλύτερο ποσοστό (>85%) των βιομηχανικών ξηραντήρων είναι άμεσου τύπου, όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε σχέση με τους ξηραντήρες άμεσου τύπου, οι ξηραντήρες έμμεσου τύπου έχουν υψηλότερη θερμική απόδοση και προσφέρουν οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Στον Πίνακα 3-2 δίνεται μία σύγκριση των άμεσων και έμμεσων ξηραντήρων και στον Πίνακα 3-3 παρουσιάζεται μία ταξινόμηση των ξηραντήρων με βάση διαφορετικά κριτήρια.

Πίνακας 3-2: Σύγκριση Άμεσων και Έμμεσων Ξηραντήρων

Ιδιότητα	Άμεσος/Αδιαβατικός Ξηραντήρας	Έμμεσος/Μη Αδιαβατικός Ξηραντήρας
Αέριο Φέρον	Χρησιμοποιεί την αισθητή θερμότητα του αερίου που έρχεται σε επαφή με το προς ξήρανση υλικό για να παρέχει τη θερμότητα εξάτμισης της υγρής φάσης	Καθόλου ή μικρή ποσότητα αερίου απαιτείται για την αφαίρεση των ατμών που απελευθερώνονται από τα προς ξήρανση στερεά
Μεταφορά θερμότητας	Το μέσον μεταφοράς θερμότητας έρχεται σε απευθείας επαφή με την επιφάνεια του προς ξήρανση υλικού	Η θερμότητα για την εξάτμιση του διαλύματος (solvent) μεταφέρεται μέσω μίας επιφάνειας
Κίνδυνος μόλυνσης	Υπάρχει	Αποφεύγεται, εάν το μέσο μεταφοράς θερμότητας δεν έρχεται σε επαφή με το προς ξήρανση υλικό
Ανάκτηση διαλύματος (solvent)	Δύσκολη, καθώς υπάρχει μεγάλος όγκος αερίου και δε δύναται να ψυχθεί για την ανάκτηση του	Ανάκτηση διαλύματος, λόγω της περιορισμένης ποσότητας μη συμπυκνωμένων αερίων
Λειτουργία υπό κενό	Δεν δύναται να λειτουργήσει υπό κενό	Επιτρέπεται η λειτουργία υπό κενό, ιδανικός ξηραντήρας για υλικά

		ευαίσθητα στη θερμότητα
Σκόνη	Υψηλή παραγωγή σκόνης	Ελαχιστοποιείται η παραγωγή σκόνης, λόγω του μικρού όγκου των ατμών που παράγονται
Κίνδυνος Έκρηξης	Υψηλό ποσοστό κινδύνου έκρηξης	Ευκολότερο να ελεγχθεί, καθώς οι ατμοί μπορούν να συμπυκνωθούν εύκολα
Χειρισμός τοξικών υλικών	Δεν είναι κατάλληλος	Κατάλληλος λόγω της μικρής ροής αερίων
Ενεργειακή Απόδοση	Σημαντικές απώλειες θερμότητας μέσω του αερίου εξόδου	Υψηλότερη ενεργειακή απόδοση καθώς οι ενεργειακές απώλειες μέσω του αερίου εξόδου είναι σημαντικά μειωμένες
Ρυθμοί εξάτμισης και παραγωγής	Υψηλότεροι σε σχέση με τους ρυθμούς των έμμεσων ξηραντήρων	Ο ρυθμός της ξήρανσης (εξάτμισης) είναι περιορισμένος λόγω της επιφανειακής μεταφοράς θερμότητας, μικρός ρυθμός παραγωγής
Κόστος	Υψηλό	Υψηλό αρχικό κόστος, δύσκολος ο σχεδιασμός, Υψηλό κόστος συντήρησης

Πίνακας 3-3: Ταξινόμηση Ξηραντήρων

Κριτήριο	Τύπος
Τρόπος λειτουργίας	κατά παρτίδες, συνεχούς λειτουργίας (πιο συνηθισμένοι)
Τύπος εισαγωγής θερμότητας	αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία, ηλεκτρομαγνητικά πεδία, συνδυασμός μεθόδων μεταφοράς θερμότητας, διαλείπουσας ή συνεχούς θερμότητας, αδιαβατική ή μη αδιαβατική θερμότητα
Κατάσταση υλικού στον ξηραντήρα	στατικό, κινούμενο, αναδύομενο, διασκορπιζόμενο
Πίεση λειτουργίας	υπό κενό, ατμοσφαιρική πίεση
Μέσον ξήρανσης (άμεσοι)	αέρας (πιο συνηθισμένο μέσον ξήρανσης), υπέρθερμος ατμός, καυσαέρια (ανακυκλοφορία)
Θερμοκρασία ξήρανσης	κάτω από το σημείο βρασμού, πάνω από το σημείο βρασμού, κάτω από το σημείο ψύξης
Σχετική κίνηση μεταξύ ξήρανσης και στερεών	παράλληλη, αντίθετη, μικτή ροή
Αριθμός σταδίων	ενός σταδίου, πολλαπλών σταδίων
Χρόνος παραμονής	μικρός (<1 min), μέσος (1-60min), μεγάλος (>60min)

3.4 Τύποι Ξηραντήρων

Στο πεδίο εφαρμογής της διαδικασίας ξήρανσης, οι αντίστοιχες διατάξεις μικρής, μέσης και ευρείας κλίμακας προκειμένου για οργανικά απόβλητα (βιοαποδομήσιμα ΑΣΑ), δεν διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση των τροφίμων στη βιομηχανία. Εν γένει, οι κυριότεροι τύποι ξηραντήρων

περιλαμβάνουν μια ευρεία ποικιλία τύπων μεταξύ των οποίων αναφέρονται οι κάτωθι (Amos, 1998, McCabe, Smith, & Harriot, 2003, United Nations Industrial Development Organization, 2004, UWIC, 2010, Land, 2012, Roos, 2013, Mujumdar, 2015):

- Ξηραντήρες στατικών δοχείων. Το υλικό τοποθετείται στο εσωτερικό κλειστού δοχείου (in vessel) στο οποίο προσάγεται θερμός αέρας δια μέσω του διάτρητου πυθμένα. Αυτός ο τύπος ξηραντήρα ενδείκνυται για τύπους υλικών με μεγάλο σχετικά μέγεθος σωματιδίων όπου κατά τη συσσώρευσή τους σχηματίζουν μεταξύ τους διάκενα.
- Ξηραντήρες δίσκων και σήραγγας. Το υλικό διατάσσεται σε στρώσεις επί της επιφάνειας διάτρητων δίσκων οι οποίοι προσαρμίζονται στο εσωτερικό σήραγγας. Η ξήρανση επιτυγχάνεται από ρεύμα θερμού αέρα που διαχέεται μεταξύ των δίσκων κατά μήκος της σήραγγας. Εναλλακτικά, η ξήρανση γίνεται με θέρμανση της επιφάνειας των δίσκων.
- Ξηραντήρες με χρήση μεταφορικού ιμάντα. Το υλικό τοποθετείται στην επιφάνεια μεταφορικής ταινίας με διάτρητη βάση για τη διέλευση του αέρα ξήρανσης. Η συνεχής αναδιάταξη του υλικού μεταξύ επάλληλων διαδρομών της μεταφορικής ταινίας ευνοεί την ξήρανση.
- Ξηραντήρες τυμπάνου. Το υλικό διατάσσεται κατά μήκος της εξωτερικής επιφάνειας περιστρεφόμενων κυλίνδρων, στο εσωτερικό των οποίων διαχέεται υπέρθερμος ατμός. Η απόληψη του υλικού επιτυγχάνεται με χρήση μηχανικών ξέστρων που αποκολλούν το υλικό από την επιφάνεια των κυλίνδρων σε κάθε κύκλο λειτουργίας.
- Ξηραντήρες υπό συνθήκες κενού. Το υλικό διατάσσεται σε μεταφορική ταινία η οποία βρίσκεται εντός θαλάμου με αεροστεγή τοιχώματα, στον οποίο εφαρμόζονται συνθήκες υπερπίεσης. Η υγρασία και ο αέρας εντός του θαλάμου απομακρύνεται με χρήση αντλητικού συγκροτήματος. Οι συνθήκες κενού ευνοούν την απομάκρυνση της υγρασίας και κατ' επέκταση, την αποδοτικότητα της ξήρανσης.
- Ξηραντήρες εξάχνωσης. Το υλικό συσσωρεύεται σε θάλαμο κενού όπου και καταψύχεται. Η θέρμανση του υλικού γίνεται με αγωγή μέσω παροχής θερμού αέρα, ή ακτινοβολία. Η αφαιρούμενη υγρασία εξέρχεται του συστήματος με χρήση αντλητικού συγκροτήματος σε συνθήκες κενού.

- Ξηραντήρες ρευστοστερεάς κλίνης. Το υλικό τεμαχίζεται με σωματίδια μικρού μεγέθους τα οποία, κατά την εισαγωγή τους στο θάλαμο ξήρανσης αιωρούνται σε ρεύμα θερμού αέρα. Το ρεύμα του αέρα είναι ανοδικό και εισέρχεται στο θάλαμο από ειδικά διαμορφωμένο διάτρητο πυθμένα.
- Ξηραντήρες με ψεκάσμο. Το υλικό εισέρχεται στο θάλαμο ξήρανσης μέσω εκνεφωτή σε μορφή σταγονιδίων. Σε κατεύθυνση αντίθετη της φοράς ροής του εκνεφωτή, προσάγεται ρεύμα θερμού αέρα το οποίο και ξηραίνει το υλικό.

Επισημαίνεται ότι, οι τύποι ξηραντήρων που αναφέρθηκαν ανωτέρω αφορούν κυρίως σε ξήρανση τροφίμων. Προκειμένου για ξήρανση οργανικών αποβλήτων, οι τύποι ξηραντήρων που έχουν εφαρμοστεί σε κεντρικές εγκαταστάσεις μηχανικής ανακύκλωσης αφορούν σε ξηραντήρων σήραγγας, περιστροφικών ξηραντήρων και ξηραντήρων με χρήση μεταφορικού μιάντα.

Αναλυτικότερα μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων ξήρανσης έχει αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια, βασισμένη κυρίως στη βιομηχανική εμπειρία. Συχνά υπάρχουν ξηραντήρες διαφορετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται για παρόμοιες διεργασίες, γιατί είναι συνηθισμένο σ' ένα τομέα της βιομηχανίας να χρησιμοποιείται ένας τύπος και σ' έναν άλλο τομέα ένας άλλος τύπος, που μπορεί να είναι τελείως διαφορετικός, για τον ίδιο σκοπό.

Στις ενότητες που ακολουθούν δίνονται αναλυτικά στοιχεία κάθε τύπου ξηραντήρα που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη (Amos, 1998, McCabe, Smith, & Harriot, 2003, (United Nations Industrial Development Organization, 2004, UWIC, 2010, Land, 2012, Κροκίδα & Μιχαηλίδης, 2015, Mujumdar, 2015):

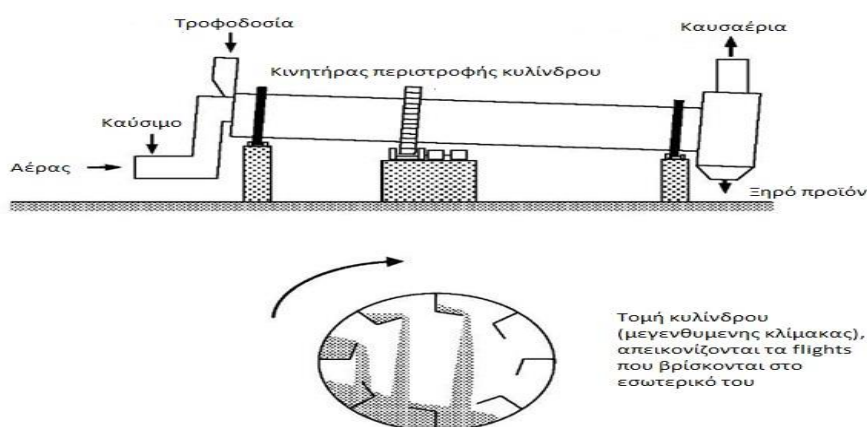
3.4.1 Περιστροφικός Ξηραντήρας (Rotary Dryer)

Αποτελείται από περιστροφικό κυλινδρικό κέλυφος. Ο άξονας του κελύφους σχηματίζει μικρή γωνία με το οριζόντιο επίπεδο (0 έως -5°). Το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται στο άνω μέρος και κινείται προς τα εμπρός καθώς το κέλυφος περιστρέφεται. Η θέρμανση μπορεί να γίνει με απ' ευθείας επαφή του στερεού με θερμό αέρα ή με θερμά καύσιμα αέρια. Επίσης μπορεί να γίνει με έμμεση επαφή μέσω θερμαινόμενων επιφανειών. Διακρίνεται σε περιστροφικό ξηραντήρα με

θέρμανση με απ' ευθείας επαφή και σε περιστροφικό ξηραντήρα με θέρμανση χωρίς απ' ευθείας επαφή.

Η κατεύθυνση του ρεύματος αέρα, εξαρτάται από τις ιδιότητες του προς ξήρανση υλικού. Ειδικότερα παράλληλη ροή ρεύματος αέρα χρησιμοποιείται στα θερμικά ευαίσθητα υλικά, ακόμη και στην περίπτωση υψηλής θερμοκρασίας εισόδου (λόγω της ταχείας ψύξεως του αερίου κατά τη διάρκεια της αρχικής εξάτμισης της επιφανειακής υγρασίας), ενώ για άλλα υλικά είναι επιθυμητή η αντίθετη ροή αέρα σε σχέση με τη ροή της τροφοδοσίας (προκειμένου να επωφεληθούν από την υψηλότερη θερμική απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί με αυτόν τον τρόπο). Στην πρώτη περίπτωση, η ροή του αερίου αυξάνει το ρυθμό ροής των προς ξήρανση υλικών (στερεών), ενώ στην δεύτερη περίπτωση τον επιβραδύνει.

Η μέθοδος της απ' ευθείας επαφής είναι πιο συνηθισμένη αλλά όταν η επαφή με τον θερμό αέρα ή με τα θερμά καύσιμα αέρια δεν είναι επιθυμητή χρησιμοποιείται μέθοδος χωρίς απευθείας επαφή. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο θέρμανσης, οι ατμοί πρέπει να εξέρχονται από τον ξηραντήρα και αυτό γίνεται στις πλείστες περιπτώσεις με τη βοήθεια ρεύματος αέρα που περνά μέσω του ξηραντήρα. Οι περιστροφικοί ξηραντήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για κοκκώδη υλικά που κινούνται ελεύθερα.



Σχήμα 3-3: Απεικόνιση Περιστροφικού Ξηραντήρα

Οι περιστροφικοί ξηραντήρες κατηγοριοποιούνται σε άμεσους (αδιαβατικούς), έμμεσους (μη αδιαβατικούς) και σε περιπτώσεις ειδικών τύπων (συνδυασμός άμεσων και έμμεσων τύπων). Ο διαχωρισμός των περιστροφικών ξηραντήρων γίνεται με βάση τη μέθοδο μεταφοράς θερμότητας που εφαρμόζεται, δηλαδή στον άμεσο τύπο ξηραντήρων η θερμότητα προστίθεται στο υλικό ή αφαιρείται από τα στερεά με

άμεση εναλλαγή μεταξύ αέρα και στερεών, ενώ στον έμμεσο τύπο το θερμαντικό μέσο είναι διαχωρισμένο από τα στερεά με μία μεταλλική επιφάνεια ή σωλήνα και δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Επίσης οι περιστροφικοί ξηραντήρες δύναται να διαμορφωθούν έτσι ώστε τα προς ξήρανση υλικά να μπορούν να περάσουν από το εσωτερικό τους σε περισσότερες από μία διαδρομές, χρησιμοποιώντας ομόκεντρους μικρότερους περιστροφικούς κύκλους ή με ανακυκλοφορία.

Οι περιστροφικοί ξηραντήρες μπορούν να τροφοδοτούνται με στερεά είτε συνεχώς είτε κατά παρτίδες και το τελικό ξηραμένο προϊόν είναι κοκκώδες, σχετικά ελεύθερης ροής.

Οι άμεσοι ξηραντήρες είναι οι πιο απλοί και οικονομικότεροι ξηραντήρες και χρησιμοποιούνται όταν η επαφή μεταξύ αερίων και των προς ξήρανση στερεών δεν είναι επιβλαβής. Αν τα στερεά περιέχουν εξαιρετικά λεπτόκοκκα σωματίδια, θα υπάρξουν απώλειες υλικού, επειδή παρασύρονται στο αέριο ρεύμα εξόδου, ρεύμα μεγάλου όγκου και υψηλών ταχυτήτων. Γι αυτό το λόγο, απαιτείται τα παραγόμενα από την εξάτμιση αέρια να οδηγούνται σε κατάλληλα μέσα συγκράτησης σωματιδίων, όπως ο απλός κυκλώνας, ο πολλαπλός κυκλώνας, το σακκόφίλτρο, η πλυντρίδα (scrubber) ή το ηλεκτροστατικό φίλτρο/διαχωριστής (ESP), πριν την εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα. Ανάλογα με τη διαμόρφωση του ξηραντήρα δύναται να απαιτείται η λειτουργία ενός ανεμιστήρα ελκυσμού (Induced Draught Fan) ο οποίος εγκαθίσταται είτε μετά από τον εξοπλισμό ελέγχου αερίων εκπομπών, για να επιτευχθεί η μείωση της διάβρωσης, είτε πριν το πρώτο κυκλώνα για να επιτευχθεί πτώση πίεσης της διεργασίας. Για τη μείωση των απωλειών θερμότητας του ξηραντήρα και ειδικότερα για τους άμεσους ξηραντήρες με ομοροπή, καθώς και για τη μείωση των απωλειών θερμότητας του εξοπλισμού, απαιτείται εγκατάσταση μόνωσης.

Ο άμεσος περιστροφικός ξηραντήρας μονής διαδρομής έχει τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

- Η θερμοκρασία εισόδου κυμαίνεται συνήθως από 425 έως 650°C, ενώ το πλήρες εύρος της θερμοκρασίας είναι 232 - 1.093°C και είναι ελεγχόμενη με ανακυκλοφορία (Flue Gas Recirculation, FGR) αέρα (καυσαερίων). Η ανακυκλοφορία (FGR) βελτιώνει τη μεταφορά θερμότητας και μειώνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς αυξάνοντας την υγρασία.

- Η θερμοκρασία εξόδου αέρα (καυσαερίων) είναι συνήθως 93 - 121°C (εύρος θερμοκρασίας 71 - 149 °C). Συνήθως κατά τη διεργασία επιλέγεται θερμοκρασία εξόδου πάνω από 104°C, δηλαδή τιμή θερμοκρασίας που αποτρέπει τη συμπύκνωση των οξέων και των ρητινών.
- Τα εσωτερικά "πτερύγια" (flights) που βρίσκονται στο εσωτερικό του κυλίνδρου βοηθάνε στην ανύψωση των στερεών και στη συνέχεια τα καταιώνίζουν στο εσωτερικό μέρος του κελύφους, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή του αέρα και επιπλέον συντελούν στην ομοιόμορφη ξήρανση του υλικού.
- Ο χρόνος παραμονής του προς ξήρανση υλικού είναι μικρότερος από 1 min για μικρά σωματίδια, ενώ για μεγαλύτερα υλικά κυμαίνεται από 10 έως 30 min. Οι ταχύτητες του αέρα είναι έως 2 m/s και το ελάχιστο μέγεθος σωματιδίων που μπορούν να επεξεργαστούν είναι 0,1 mm.
- Η τυπική παραγωγή των περιστρεφόμενων ξηραντήρων είναι από 5 - 50 t/hr ξηραμένου προϊόντος, με περιεχόμενο υγρασίας περίπου 10 %.
- Το ελάχιστο περιεχόμενο υγρασίας που δύναται να επιτευχθεί είναι 3 - 5%, ενώ υγρασία 2% στο τελικό προϊόν είναι εφικτή.



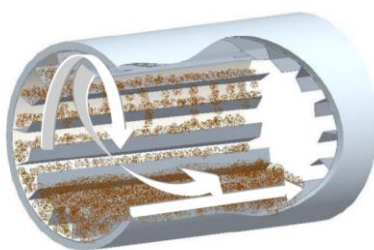
Εικόνα 3-4: Περιστροφικός Ξηραντήρας

(Πηγή: GEA Barr-Rosin, 2015)

Στο εσωτερικό των περιστρεφόμενων ξηραντήρων βρίσκονται φτερά που επιτυγχάνουν την ανάμιξη του προς ξήρανση υλικού έτσι ώστε να έρχεται σε επαφή με τα αέρια καύσης και να υπάρχει ομοιογένεια στη ξήρανση. Το σχήμα των φτερών διαφέρει από ξηραντήρα σε ξηραντήρα και μπορεί να είτε σπειροειδή είτε ευθύγραμμα κατά μήκος του κυλίνδρου. Επιπλέον μπορεί να υπάρχουν διαφορές και στον αριθμό αλλά και στις διαστάσεις τους, παράγοντες που δύναται να επηρεάσουν

ποικιλοτρόπως την απόδοση ενός περιστρεφόμενου ξηραντήρα. Τα φτερά εκτός από τη ανάμιξη που προκαλούν στο προς ξήρανση υλικό, χρησιμεύουν και για τη μεταφορά του υλικού εντός του κυλίνδρου.

Η μεταφορά του προς ξήρανση υλικού πραγματοποιείται με τρεις τρόπους: (α) κατά την ανύψωση του από τα φτερά, (β) κατά την πτώση του από αυτά καθώς ο κύλινδρος περιστρέφεται και το υλικό βρίσκεται στον αέρα και (γ) γλιστρώντας στο κατώτερο σημείο του ξηραντήρα προς την έξοδο.



Εικόνα 3-5: Τρόποι μεταφοράς του προς ξήρανση υλικού εντός περιστρεφόμενου κυλίνδρου με πτερύγια



Εικόνα 3-6: Δύο διαφορετικές διαμορφώσεις των πτερυγίων που βρίσκονται εντός περιστρεφόμενου ξηραντήρα

(Πηγή: GEA Barr-Rosin, 2015)

Πλεονεκτήματα: Οι περιστροφικοί ξηραντήρες δέχονται μεγάλο εύρος σωμάτων, διαφορετικού μεγέθους, και δύναται να δεχθούν πιο θερμά ρεύματα αέρα σε σχέση με κάθε άλλο τύπο ξηραντήρα. Επιπλέον έχουν τη μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σύγκριση με όλους τους άλλους τύπους ξηραντήρων. Επίσης καταναλώνουν μικρά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λειτουργία τους, σε σχέση με τους άλλους τύπους ξηραντήρων, καθώς επίσης το κόστος λειτουργίας τους και συντήρησής τους είναι αρκετά χαμηλό.

Μειονεκτήματα: Από τη λειτουργία των περιστροφικών ξηραντήρων παράγονται υψηλές εκπομπές μικρών σωματιδίων και συνήθως απαιτείται η χρήση κυκλώνα ή πολυκυκλώνα, ηλεκτροστατικού διαχωριστή ή σακκόφιλτρου για τη συγκράτησή τους. Επιπλέον κατά τη λειτουργία των περιστροφικών ξηραντήρων δημιουργούνται υψηλές εκπομπές πτητικών ουσιών (VOC) και για τη συγκράτησή τους απαιτείται η χρήση συστήματος αναγεννώμενης θερμικής οξείδωσης (Regenerative Thermal Oxidizer, RTO), το οποίο επιτυγχάνει την απομάκρυνση/καταστροφή των εκπομπών VOC. Επιπλέον υπάρχει δυσκολία στον έλεγχο της υγρασίας του προς ξήρανση υλικού καθώς και μεγαλύτερος κίνδυνος πυρκαγιάς.

Ένας περιστροφικός ξηραντήρας καταλαμβάνει μεγάλο χώρο κατά την εγκατάστασή του σε σχέση με τους άλλους τύπους ξηραντήρων.

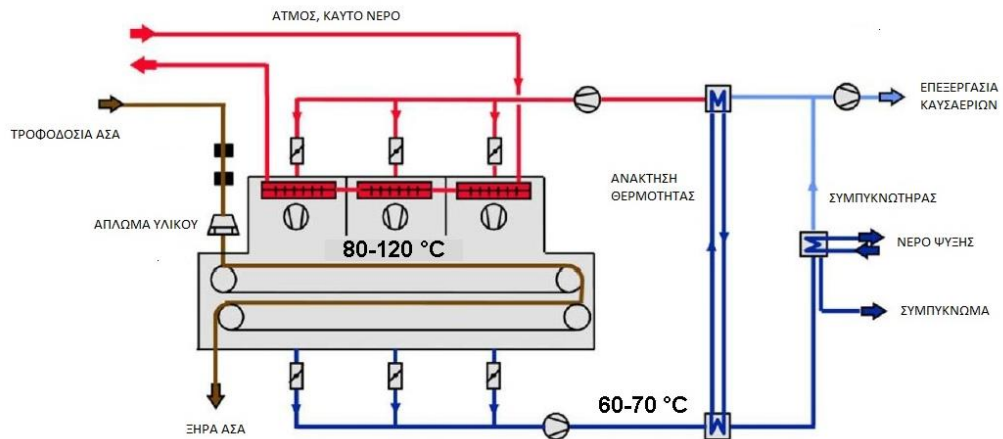
Επιπλέον η λειτουργία του οδηγεί σε υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Επίσης στην περίπτωση που απαιτηθεί αύξηση των διαδρομών κατά τη ξήρανση αυτό οδηγεί σε αύξηση του κόστους αγοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού και του κόστους λειτουργίας, αλλά ταυτόχρονα σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται και ο κίνδυνος πυρκαγιάς.

3.4.2 Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας (Conveyor/Belt Dryer)

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας όταν κοκκώδη σωματίδια στερεών πρόκειται να ξηραθούν, χρησιμοποιούνται συνήθως διάτρητες ή σε μορφή κόσκινου ταινίες. Τα υγρά κοκκώδη στερεά μεταφέρονται ως ένα στρώμα βάθους 25 - 150 mm, περίπου, σε ένα κόσκινο ή μια διάτρητη ταινία, ενώ θερμός αέρας φυσά προς τα πάνω διαμέσω του στρώματος, ή προς τα κάτω.

Αποτελείται από αρκετά τμήματα σε σειρά, το καθένα με ανεμιστήρα και σπείρωμα θέρμανσης. Ένα ποσοστό του αέρα απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα με έναν ανεμιστήρα. Σε μερικές περιπτώσεις, υλικά με μορφή ζύμης μπορούν να μορφοποιηθούν εκ των προτέρων με κυλίνδρους και να τοποθετηθούν σε στρώμα, έτσι ώστε να ξηραθούν.

Σε αυτό το τύπο ξηραντήρα η θερμοκρασία εισόδου αέρα κυμαίνεται από 93 έως 205 °C, αλλά δύναται να λειτουργήσει και σε θερμοκρασία έως και 30 °C. Η θερμοκρασία εξόδου επιλέγεται συνήθως πάνω από 104 °C έτσι ώστε να αποτρέπεται η συμπύκνωση των οξέων και ρητινών. Ο χρόνος παραμονής του προς ξήρανση υλικού στον ξηραντήρα κυμαίνεται περίπου σε 10 - 60 min.



Σχήμα 3-4: Απεικόνιση Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας
(Πηγή: Haarslev)

Για την ξήρανση των αστικών στερεών αποβλήτων σε ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας απαιτείται τα απόβλητα να έχουν μέγεθος μικρότερο των 40 mm. Η τροφοδοσία μπορεί να είναι έως και 100.000 t/y. Σε αντίθεση με τους άλλους τύπους ξηραντήρων, οι οποίοι αναμειγνύουν μηχανικά τα αστικά στερεά απόβλητα, στους ξηραντήρες με μεταφορική ταινία ένα στατικό, σταθερό, στρώμα αστικών στερεών αποβλήτων μεταφέρεται διαμέσου του αντιδραστήρα ξήρανσης σε περίπου 10 - 20 min. Η θερμοκρασία εισόδου του αέρα είναι μεταξύ 80 - 120 °C.



Εικόνα 3-7: Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας
(Πηγή: Haarslev)

Κατά τη διεργασία υπάρχει ο κίνδυνος κάποια σημεία των απορριμμάτων να υπερθερμανθούν, ενώ άλλα να παραμένουν υγρά. Γι' αυτό το λόγο, σημαντικό είναι τα αστικά στερεά απόβλητα να κατανεμηθούν ομοιόμορφα κατά μήκος του ιμάντα. Ως μέσο θέρμανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ατμός και ζεστό νερό. Οι ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας έχουν υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με άλλους ξηραντήρες. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει σύστημα ανακυκλοφορίας αέρα, ενώ τα συμπυκνώματα που προκύπτουν απαιτείται να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία.

Πλεονεκτήματα: Οι ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας δέχονται μεγάλο εύρος υλικών και χρησιμοποιούν την απορριπτόμενη θερμότητα. Δεν απαιτείται ανάδευση του προς ξήρανση υλικού και αυτό σημαίνει δημιουργία λιγότερων σωματιδίων στις εκπομπές από τη λειτουργία του ξηραντήρα, καθώς και χαμηλότερες εκπομπές πτητικών ουσιών (VOC), εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας και επιπλέον λόγω του τρόπου λειτουργίας του τα επίπεδα του κίνδυνου πυρκαγιάς είναι χαμηλά.

Μειονεκτήματα: Το ελάχιστο υπόλοιπο υγρασίας του ξηραμένου προϊόντος είναι περίπου 8%. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τη λειτουργία αυτού του τύπου ξηραντήρα είναι σχετικά μεγάλο, ενώ η λειτουργία του απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με τους άλλους τύπους ξηραντήρων. Όσον αφορά στα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, αυτά είναι ελαφρώς υψηλότερα από τα αντίστοιχα κόστη του περιστροφικού ξηραντήρα, και επιπλέον το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας είναι αρκετά υψηλότερο σε σχέση με τους άλλους τύπους ξηραντήρων.

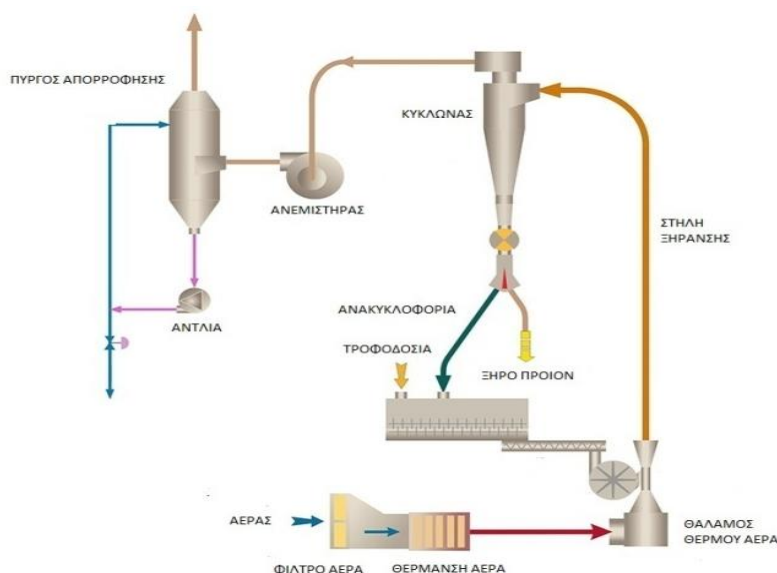
Επιπλέον κατά τη λειτουργία του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας μπορεί να υπάρξουν προβλήματα από τη συγκέντρωση πίσσας (συγκέντρωση πολύ λεπτών υλικών). Ειδικότερα τα λεπτά υλικά (fines) σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται να υποβληθούν σε ένα ενδιάμεσο στάδιο, δηλαδή σε διαχωρισμό, πριν τροφοδοτηθούν στον ξηραντήρα καθώς μπορεί να πέσουν από τη διάτρηση του ιμάντα.

3.4.3 Ξηραντήρας Στιγμαϊάς Δράσης (Flash Dryer)

Στους ξηραντήρες στιγμαϊάς δράσης το προς ξήρανση υλικό, κονιοποιημένα σωματίδια, θερμαίνεται και ταυτόχρονα μεταφέρεται από το ίδιο ρεύμα αέρα (πνευματική μεταφορά). Τα προς ξήρανση σωματίδια ή πολτός εισέρχονται κάτω

(λίγο πιο πάνω) από την είσοδο του ρεύματος του θερμού αέρα (έως και 650 °C) που τα παρασύρει και τα μεταφέρει συνεχώς με ταχύτητα 10-30 m/sec με αποτέλεσμα να δημιουργείται πολύ μεγάλη επιφάνεια επαφής αερίου/στερεού. Οι υψηλές ταχύτητες του αερίου, οδηγούν σε τριβές και σχηματισμό σκόνης, κάτι που αυξάνει το κόστος συντήρησης του ξηραντήρα.

Η εξάτμιση της υγρασίας επιτυγχάνεται σε χρόνους παραμονής περίπου 1 - 10 sec στον κύλινδρο ξήρανσης. Το μείγμα αέρα/στερεού διαχωρίζεται κατόπιν σε μηχανικό κυκλώνα. Παρόλο που η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο μπορεί να λάβει υψηλές τιμές, ο χρόνος παραμονής είναι πολύ μικρός, έτσι η θερμοκρασία του προς ξήρανση στερεού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης σπάνια ξεπερνάει τους 50 °C.



Σχήμα 3-5: Ξηραντήρας Στιγμαιαίας Δράσης (Flash Dryer)

(Πηγή: GEA Barr-Rosin)

Επισημαίνεται ότι ο τύπος αυτός του ξηραντήρα δεν είναι κατάλληλος για χονδρόκοκκα υλικά και για στερεά με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, λόγω του μικρού χρόνου παραμονής.

Λόγω της στενής-πλήρης επαφής με τον αέρα επιτυγχάνεται πολύ γρήγορη ξήρανση. Τα υγρά ή κολλώδη υλικά μπορούν να ανακυκλωθούν για καλύτερο χειρισμό του προς ξήρανση υλικού. Η θερμοκρασία εισόδου του προς ξήρανση υλικού είναι χαμηλότερη συγκριτικά με τον περιστροφικό ξηραντήρα, δηλαδή κυμαίνεται από 150 - 700 °C και θερμοκρασία εξόδου του ξηραμένου προϊόντος ανέρχεται πάνω από 104 °C.

Πλεονεκτήματα: Ο ξηραντήρας με πνευματική μεταφορά είναι κατάλληλος για μεγάλο εύρος υλικών, είναι απλός στο σχεδιασμό του και αξιόπιστος, ενώ η ποιότητα του τελικού / ξηραμένου προϊόντος είναι καλή/σταθερή. Η λειτουργία του οδηγεί σε χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενώ το ρίσκο δημιουργίας πυρκαγιάς είναι επίσης χαμηλό. Οι ξηραντήρες αυτού του τύπου είναι ευκολότεροι στο χειρισμό συγκριτικά με τους περιστροφικούς ξηραντήρες. Η εξάτμιση της υγρασίας είναι υψηλότερη και λόγω του μικρού χρόνου παραμονής δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης χαμηλότερες εκπομπές πτητικών ουσιών (VOC).



Εικόνα 3-8: Ξηραντήρας Στιγμιαίας Δράσης (Flash Dryer)
(Πηγή: GEA Barr-Rosin)

Μειονεκτήματα:

Οι ξηραντήρες αυτού του τύπου είναι αποδοτικότεροι ως προς το κόστος μόνο σε μεγάλη κλίμακα, δηλαδή ο τύπος αυτός ξηραντήρα έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης. Επιπλέον κατά τη λειτουργία του η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή και οι απατήσεις θερμότητας για την ξήρανση είναι υψηλές. Ο ξηραντήρας στιγμιαίας δράσης (Flash Dryers) πρέπει να τροφοδοτείται με μικρού μεγέθους σωματίδια, συνεπώς το υλικό τροφοδοσίας θα πρέπει αρχικά να τεμαχιστεί. Επιπλέον ο ξηραντήρας στιγμιαίας δράσης υπόκειται σε χημική και φυσική διάβρωση και έχει

υψηλότερα κόστη λειτουργίας και συντήρησης. Τέλος η ανάκτηση της θερμότητας στους ξηραντήρες αυτού του τύπου είναι δύσκολη.

Στον Πίνακα 3-4, που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά του περιστροφικού ξηραντήρα, του ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης και του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας, ξηραντήρων που δύναται να εφαρμοστούν για την ξήρανση βιομάζας.

Πίνακας 3-4: Βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά τύπων ξηραντήρων βιομάζας
(Πηγή: SUWIC, 2010)

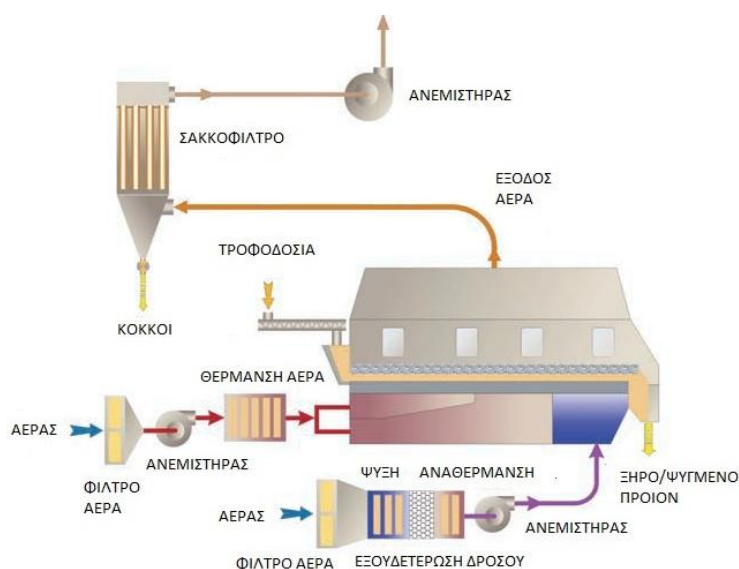
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Τύπος Ξηραντήρα		
	Περιστροφικός Ξηραντήρας	Ξηραντήρας Στιγμιαίας Δράσης	Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας
Ρυθμός Εξάτμισης (t/hr)	3 - 23	4.8 - 17	0.5 - 40
Θερμοκρασία Ξήρανσης (°C)	200 - 600	150 - 280	30 - 200
Χωρητικότητα (t/hr)	3 - 45	4,4 - 16	-
Υγρασία Εισόδου (%)	45 - 65	45 - 65	45 - 72
Απομάκρυνση Υγρασίας (%)	10 - 45	10 - 45	15 - 25
Υγρασία Εξόδου (%)	-	12	25
Πτώση Πίεσης (kPa)	2,5 - 3,7	7,5	0,5
Βέλτιστο Μέγεθος Σωματιδίων (mm)	19 - 50	-	-
Μέγιστο Μέγεθος Σωματιδίων (mm)	25 - 125	0,5 - 50	0,5 - 10
Θερμική Απαίτηση (GJ/t _{Evap})	3,0 - 4,0	2,7 - 2,8	1,26 - 2,5
Χρόνος Παραμονής (min)	10 - 60	0,2 - 0,5	10 - 60

3.4.4 Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Dryer)

Στους ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης το ρεύμα θερμού αέρα διαβιβάζεται στη βάση και κρατά σε αιώρηση το υλικό επιτυγχάνοντας τη ρευστοποίηση του. Η ανάμιξη και η μεταφορά θερμότητας είναι ταχύτατες.

Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης είναι κατάλληλοι για υλικά ανθεκτικά στη θερμοκρασία. Ο χρόνος παραμονής του προς ξήρανση υλικού κυμαίνεται σε 2 - 3 min για την απομάκρυνση της επιφανειακής υγρασίας και σε 15 - 30 min στην περίπτωση εσωτερικής διάχυσης. Οι τιμές θερμοκρασίας εισόδου (100 - 450 °C, εξαρτάται από το προς ξήρανση υλικό) είναι συνήθως ενδιάμεσες θερμοκρασίες σε σχέση με τις τιμές θερμοκρασίας εισόδου των περιστροφικών ξηραντήρων και των ξηραντήρων μεταφορικής ταινίας και η θερμοκρασία εξόδου του τελικού/ξηραμένου

προϊόντος κυμαίνεται μεταξύ 50 - 104°C. Η ταχύτητα του αέρα εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων και την πυκνότητά τους, συνήθεις τιμές 0,05 - 1 m/s. Στην περίπτωση λεπτόκοκκων σωματιδίων, δημιουργείται σημαντικός συμπαρασυρμός με το αέριο εξόδου και απαιτείται η εγκατάσταση κυκλώνων και σακκόφιλτρων για την ανάκτησή τους. Για μεγαλύτερα ή πυκνότερα σωματίδια, που δύσκολα ρευστοποιούνται (μετατρέπονται σε σκόνη), χρησιμοποιείται συμπληρωματική ανακίνηση του ιμάντα μεταφοράς αυτών.



Σχήμα 3-6: Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Dryer)

(Πηγή: GEA Barr-Rosin)

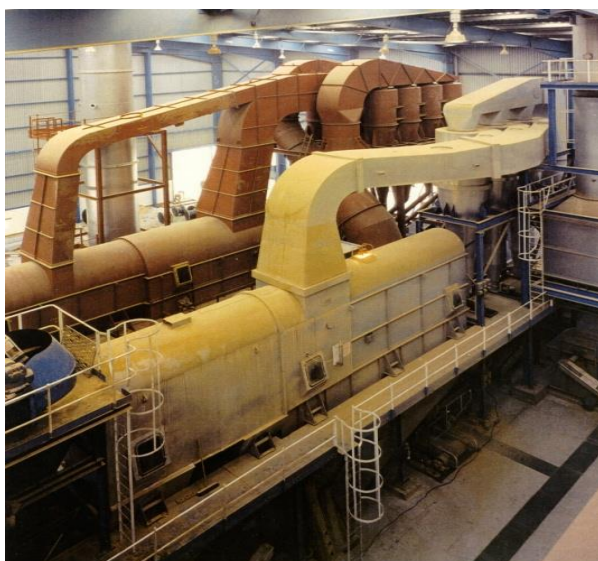
Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης, σε κάποιο βαθμό, κατατάσσονται μεταξύ των περιστροφικών ξηραντήρων και των ξηραντήρων ακαριαίας δράσης. Οι ξηραντήρες ακαριαίας δράσης είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές της τροφοδοσίας, σε αντίθεση με τους περιστροφικούς που παραμένουν σχετικά ανεπηρέαστοι. Ο χρόνος παραμονής των ξηραντήρων ακαριαίας δράσης ανέρχεται σε κάποια δευτερόλεπτα, των περιστροφικών ξηραντήρων, άμεσου τύπου, είναι περίπου 30 min και των ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης, με μικρό ύψος κλίνης, είναι μερικά λεπτά.

Ανάλογα με το σχεδιασμό τους, λειτουργούν είτε συνεχώς είτε κατά παρτίδες και μπορεί να εφαρμοστεί θέρμανση και ψύξη των σωματιδίων στην ίδια μονάδα. Κυρίως δύο τύποι χρησιμοποιούνται, ο ξηραντήρας κυκλικού τύπου με ύψος κλίνης 0,5 - 2,0 m. και ο ξηραντήρας ορθογώνιου τύπου με ύψος κλίνης μέχρι 0,2 - 1 m.

Διαχωρίζονται επίσης σε ξηραντήρες στατικούς και δόνησης. Οι στατικοί ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης δύναται να λειτουργούν κατά παρτίδες, με εμβολική ροή, με μικτή λειτουργία ή σε στάδια και τροφοδοτούνται με το προς ξήρανση υλικό από την κορυφή, ενώ το υλικό ξηραίνεται από ένα ανερχόμενο θερμό ρεύμα αέρα (θερμοκρασίας έως και 800 °C). Το ξηρό προϊόν απομακρύνεται από το κάτω μέρος του ξηραντήρα, ενώ ο αέρας οδηγείται για διαχωρισμό και επεξεργασία και εν συνεχεία απομακρύνεται από την κορυφή του ξηραντήρα.

Διάφοροι παράγοντες (όπως ανομοιομορφία του προς ξήρανση υλικού ή υλικό κολλώδους μορφής) δύναται να αποτρέψουν τα σωματίδια να ρευστοποιηθούν. Ειδικότερα το προς ξήρανση υλικό δεν πρέπει να είναι πολύ πυκνό ή να προκαλεί άνιση κατανομή του αέρα. Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης με δόνηση, χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα που προκαλούνται από την ανομοιομορφία ή τα υλικά κολλώδους μορφής. Σε αυτούς τους ξηραντήρες τα προς ξήρανση υλικά ρευστοποιούνται με ταλάντωση της κλίνης και όχι λόγω της ροής του αέρα. Οι ξηραντήρες με δόνηση λειτουργούν συνήθως σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους στατικούς ($T_{\max} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Το μέγεθος των ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης είναι δυσανάλογα μεγάλο τροφοδοσία με κατά μέσο όρο μέγεθος σωματιδίων $\leq 0,1\text{mm}$. Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης συνεχούς λειτουργίας έχουν δυνατότητα εξάτμισης νερού έως και 5000 kg/hr.



Εικόνα 3-9: Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Dryer)
(Πηγή: GEA Barr-Rosin)

Πλεονεκτήματα: Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της λειτουργίας των ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης είναι μικρότερο σε σχέση με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της λειτουργίας των περιστροφικών ξηραντήρων και των ξηραντήρων ταινίας μεταφοράς. Υψηλός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας. Επίσης η ομοιόμορφη κατανεμημένη ροή επιτρέπει την συνεχή λειτουργία μονάδας μεγάλης κλίμακας και αυτοματοποιημένου ελέγχου.

Μειονεκτήματα: Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης είναι επιρρεπής στη χημική και φυσική διάβρωση, το κόστος λειτουργίας τους και συντήρησής τους είναι αρκετά υψηλό, η ανάκτηση της θερμότητας είναι δύσκολη, ενώ το μέγεθος του προς ξήρανση υλικού (υλικό τροφοδοσίας) πρέπει να είναι ομοιόμορφο.

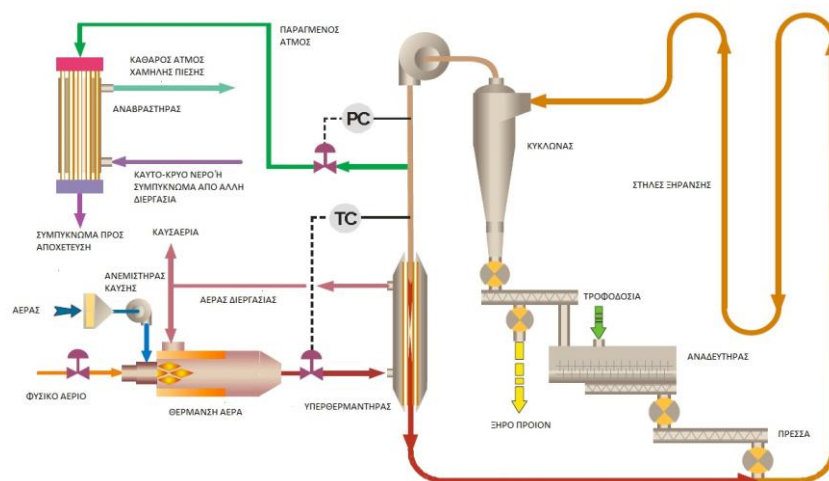
Στον Πίνακα 3-5 παρουσιάζονται συγκριτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του περιστροφικού ξηραντήρα, του ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης, του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας και του ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

Πίνακας 3-5: Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών ξηραντήρων
(Πηγή: Mujumdar, 2015)

Παράμετρος	Περιστροφικός Ξηραντήρας	Ξηραντήρας Στιγμιαίας Δράσης	Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας	Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης κλίνης
Μέγεθος Σωματιδίων	Μεγάλο εύρος	Μικρά σωματίδια	Σωματίδια 0,5 - 10 mm	Σωματίδια 0,1 - 2 mm
Χρόνος Παραμονής	10 - 60 min	10 - 30 s	10 - 60 min (120 min _{max})	≤ 60 min
Επιφάνεια Δαπέδου	Μεγάλη	Μεγάλου μήκους	Μεγάλη	Μικρή
Φθορά	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Κατανάλωση Ενέργειας	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια
Συντήρηση	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια
Ενεργειακή Απόδοση	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια
Ευκολία Ελέγχου	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή
Χωρητικότητα	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια

3.4.5 Ξηραντήρας Υπέρθερμου Ατμού (Superheated Steam Dryer)

Είναι παρόμοιος με τον ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης (Flash Dryer) με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται ατμός αντί για αέρα για την παροχή θερμότητας και την ξήρανση του υλικού. Συνήθως το 90% του ατμού ανακυκλοφορεί και το 10% συμπυκνώνεται ή επαναχρησιμοποιείται. Υπό κανονικές συνθήκες, το προς ξήρανση υλικό αναμειγνύεται με επαρκή υπέρθερμο ατμό έτσι ώστε να επιτευχθεί η ξήρανση αλλά και να παραμείνει αρκετός υπέρθερμος ατμός στο ξηραντήριο.



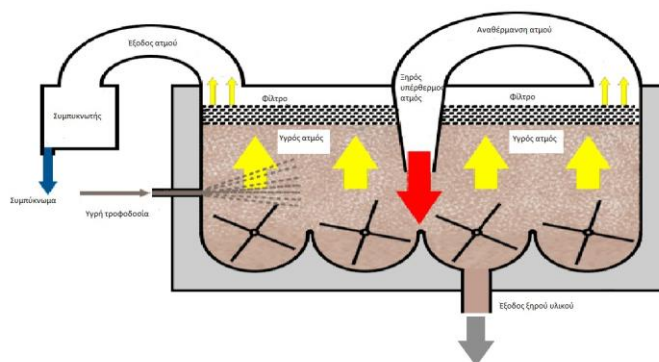
Σχήμα 3-7: Ξηραντήρας Υπέρθερμου Ατμού (Superheated Steam Dryer)

(Πηγή: GEA Barr-Rosin)

Στην περίπτωση της ξήρανσης με χρήση ατμού αντί για αέρα, επιτυγχάνεται για ίση ποσότητα τροφοδοσίας μεταφορά της διπλάσιας ποσότητας θερμότητας σε σχέση με τη μεταφορά που επιτυγχάνεται με χρήση αέρα. Επιπλέον για την επίτευξη μιας δεδομένης μεταφοράς θερμότητας η απαιτούμενη ισχύς του ανεμιστήρα μειώνεται στο μισό.

Το ιξώδες του ατμού είναι περίπου το μισό σε σχέση με το ιξώδες του αέρα στην ίδια θερμοκρασία, ενισχύοντας την ικανότητά του να προσπίπτει ή να διηθείται σε ένα υγρό προϊόν αυξάνοντας την επίδραση της ξήρανσης. Σε ένα περιβάλλον υπέρθερμου ατμού η θερμοκρασία του προς ξήρανση υλικού φτάνει γρήγορα στη θερμοκρασία κορεσμένου ατμού (στους 100 °C), μηδενίζοντας την επιφανειακή τάση της υγρασίας και μειώνει το ιξώδες κατά το ήμισυ. Η απουσία επιφανειακής τάσης βοηθά την επιφανειακή υγρασία να εξατμιστεί πιο γρήγορα, ενώ το χαμηλό ιξώδες επιτρέπει στην εσωτερική υγρασία να ανέλθει γρηγορότερα στην επιφάνεια του

υλικού. Σε άλλες περιπτώσεις, η απουσία αέρα αποτρέπει τυχόν οξείδωση ευαίσθητων προϊόντων. Επίσης όπου απαιτείται, χρησιμοποιείται έμμεση θέρμανση, ούτως ώστε να αποφευχθεί τυχόν μόλυνση του προϊόντος από την καύση των υπολειμμάτων, κάτι που συμβαίνει και με τους ξηραντήρες θερμού αέρα. Τέλος, οι συνθήκες λειτουργίας ελαχιστοποιούν το ενδεχόμενο καύσης ή έκρηξης δυνητικά εύφλεκτων υλικών (όπως το ξύλο, το πλαστικό, ο χαρτί κ.α.), όταν ξηραίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι περισσότεροι τύποι ξηραντήρων, λειτουργούν και με υπέρθερμο ατμό και ο μόνος διαχωρισμός τους είναι το μέσο μεταφοράς θερμότητας.



Σχήμα 3-8: Ξηραντήρας κλίνης με υπέρθερμο ατμό
(Πηγή: Multivector)

Πλεονεκτήματα: Με τη χρήση ξηραντήρων αυτού του τύπου επιτυγχάνεται ανάκτηση έως 70 - 80% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ο παραγόμενος κατά το στάδιο της ξήρανσης ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικούς σκοπούς, ενώ η χρήση του ατμού είναι σημαντική για την επιχείρηση, καθώς το κόστος επένδυση για τους ξηραντήρες υπέρθερμου ατμού είναι μεγάλο.

Λόγω του υψηλού ρυθμού μεταφοράς θερμότητας, επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός ξήρανσης σε μικρότερο χρόνο παραμονής, καθώς και μείωση του μεγέθους του εξοπλισμού και του κόστους κεφαλαίου αγοράς.

Οι ατμοσφαιρικές εκπομπές από τη λειτουργία του ξηραντήρα υπέρθερμου ατμού μπορεί να είναι και μηδενικές (οι αέριες εκπομπές εξαρτώνται από τον τύπο/είδος του καυσίμου). Δύναται να γίνεται ακριβής έλεγχος της υγρασίας του προϊόντος. Δεν υπάρχει ρίσκο πυρκαγιάς ή έκρηξης. Κατά τη λειτουργία τους η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή και η λειτουργία τους δημιουργεί χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Επιπλέον η λειτουργία τους είναι εύκολη και συντελεί στην υψηλή εξάτμιση υγρασίας και τη δημιουργία μικρότερου ρεύματος αερίων που οδηγούνται σε σύστημα αναγεννώμενης θερμικής οξείδωσης (RTO). Στους ξηραντήρες υπέρθερμου ατμού υπάρχει η δυνατότητα χρήσης πολλαπλών πηγών θερμότητας όπως φυσικού αερίου, άνθρακα και βιομάζα.

Μειονεκτήματα: Απαιτείται ο τεμαχισμός του προς ξήρανση υλικού, δηλαδή δε μπορούν να υποβληθούν σε ξήρανση υλικά μεγάλου όγκου. Οι τερπίνες και τα έλαια των ξύλων πρέπει να εξαχθούν. Τα παραγόμενα από τη διεργασία της ξήρανσης συμπυκνώματα είναι διαβρωτικά, περιέχουν υψηλό βιολογικό φορτίο (BOD) και απαιτείται να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον δύναται να δημιουργηθούν πιθανά προβλήματα στεγανοποίησης/διαρροών. Τέλος το κόστος του δοχείου πίεσης το οποίο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο ατσάλι είναι υψηλό καθώς και το κόστος επένδυσης.

3.4.6 Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer)

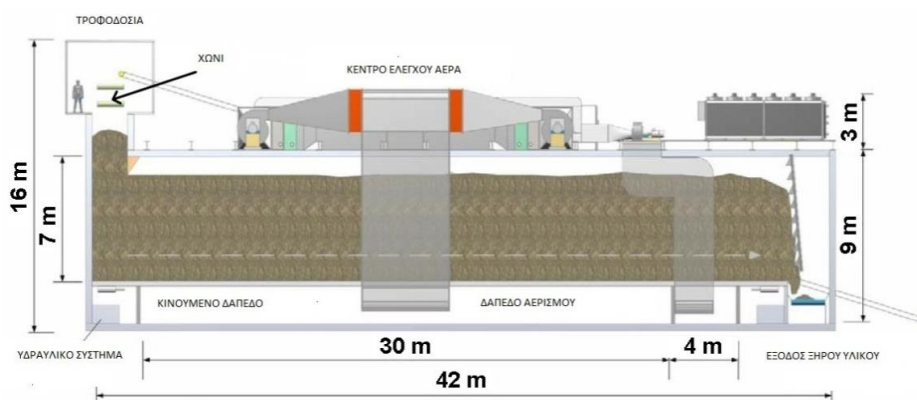
Μία σήραγγα ξήρανσης χαμηλής θερμοκρασίας, είναι μια διαμόρφωση ενός ξηραντήρα με ταινία μεταφοράς προσαρμοσμένου στην μονάδα επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων. Η θερμοκρασία εισόδου του αέρα στον ξηραντήρα είναι μεταξύ 85 - 95 °C. Η θέρμανση της σήραγγας ξήρανσης μπορεί να ευθύνεται για το 50% του κόστους λειτουργίας, και ως ετούτου θεωρείται πλεονέκτημα η χρήση χαμηλής θερμοκρασίας, απορριπτόμενη θερμότητα, για τη θέρμανση των προς ξήρανση αποβλήτων σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων για να επιτευχθεί υψηλή θερμοκρασία.

Οι ξηραντήρες αυτοί έχουν σχεδιαστεί για ξήρανση υπό συνεχή λειτουργία μεγάλων ποσοτήτων υλικού. Ο ξηραντήρας σήραγγας, μπορεί να διαιρεθεί σε τμήματα για την εφαρμογή διαφόρων συνθηκών ξήρανσης. Το μήκος της σήραγγας εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του υλικού στον ξηραντήρα, δηλαδή από το ρυθμό ξήρανσης και την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το υλικό στον ξηραντήρα. Η ξήρανση σήραγγας είναι φτωχό υποκατάστατο της ξήρανσης θαλάμου με ράφια, αφού τα εργατικά είναι το ίδιο υψηλά για το φόρτωμα και ξεφόρτωμα των καροτσιών. (Μουσιόπουλος & Καραγιαννίδης, 2002).

Μία σήραγγα ξήρανσης μπορεί να βρίσκεται στην αρχή της αλυσίδας διεργασιών επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων, ακριβώς μετά τον προ-

τεμαχισμό των αποβλήτων. Το βέλτιστο μέγεθος σωματιδίων αστικών στερεών αποβλήτων που δύναται να εφαρμοστεί σε αυτό τον τύπο ξηραντήρα είναι 80-400mm. Μετά από ένα χρόνο παραμονής περίπου 8 ώρες, λαμβάνονται το ξηραμένο υλικό με περιεχόμενο υγρασίας 8-12 κ.β.%. Λόγω της ανακυκλοφορίας του αέρα, οι αέριες εκπομπές που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία (ποσότητα απορριπτόμενου στην ατμόσφαιρα αέρα) είναι ελάχιστες. (Schu, 2008)

Ο αέρας ξήρανσης ανακυκλοφορεί, ψύχεται για συμπύκνωση και ξαναθερμαίνεται/αναθερμαίνεται σε θερμοκρασίας 85 - 95 °C, δηλαδή θερμοκρασία αρκετά χαμηλή για να αποφευχθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Επιπλέον για την αφαίρεση σκόνης, ρύπους και οσμών, ο αέρας θα πρέπει να υπόκειται σε επεξεργασία σε πλυντρίδα.. Η χαμηλή θερμοκρασία αναθέρμανσης του αέρα μπορεί να επιτευχθεί εύκολα με τη χρήση φθηνής βιομηχανικής απορριπτόμενης θέρμανσης, για παράδειγμα από μονάδες συμπαραγωγής (CHP) ή από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

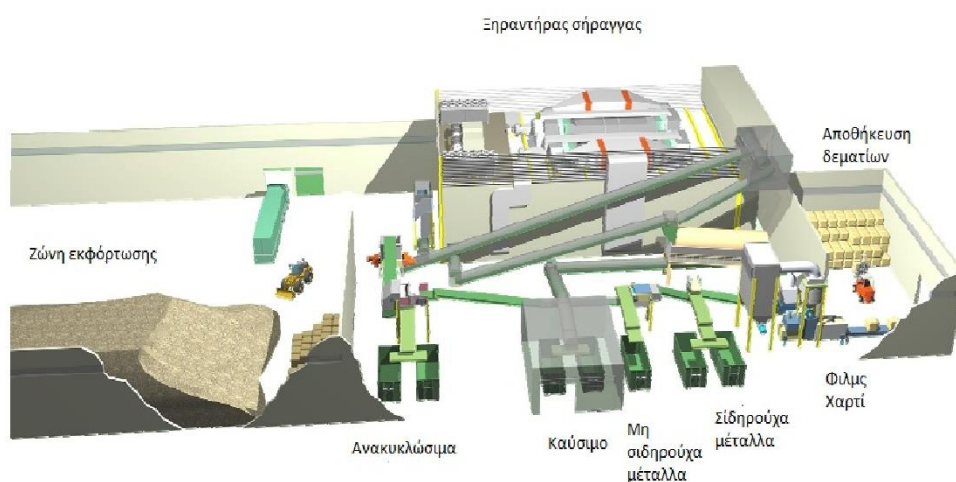


Σχήμα 3-9: Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer)

(Πηγή: Schu AG)

Η διεργασία της ξήρανσης, η τροφοδοσία του ξηραντήρα και η εκφόρτωση του ξηραμένου τελικού προϊόντος είναι αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Μετά την ξήρανση το υλικό υπόκειται σε μηχανική επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει κοσκίνισμα, διαχωρισμό με αέρα, μεταλλικό διαχωρισμό καθώς και οπτική διαλογή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ανακυκλώσιμων υλικών υψηλής ποιότητας και με τη μηχανική επεξεργασία επιτυγχάνονται υψηλά ποσοστά ανάκτησης των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα το ξηραμένο προϊόν απομακρύνεται από τον ξηραντήρα και οδηγείται για κοσκίνισμα σε ένα κυλινδρικό κόσκινο ανοιγμάτων

40mm. Τα υλικά με μέγεθος < 40 mm απομακρύνονται ως καύσιμο RDF. Από την υπερχειλίση του κόσκινου συλλέγονται τα ανακυκλώσιμα υλικά τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται σε διεργασίες όπως ο διαχωρισμός με αέρα, ο μεταλλικός διαχωρισμός και ο οπτικός διαχωρισμός. Το υπολειπόμενο μέρος του υλικού τεμαχίζεται σε μέγεθος <40 mm, και ανακυκλοφορεί στον ξηραντήρα, βελτιώνοντας έτσι τον διαχωρισμό του υλικού. Σημειώνεται ότι, τα ανακυκλώσιμα υλικά όπως και το κλάσμα του RDF έχουν καλύτερες ιδιότητες αποθήκευσης λόγω της ξηρής σταθεροποίησής τους.



Εικόνα 3-10: Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer)

(Πηγή: Schu AG)

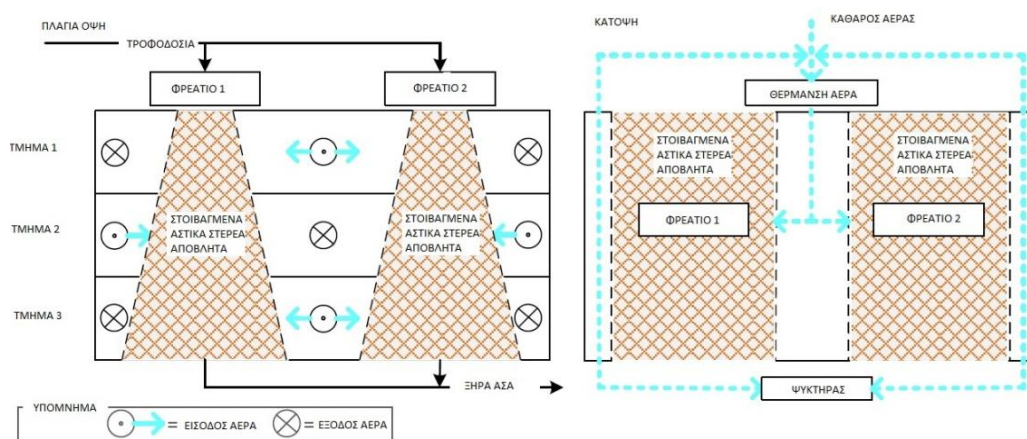
Άλλα πλεονεκτήματα της χρήσης ξηραντήρα σήραγγας, είναι η αύξηση της θερμογόνου δύναμης του κλάσματος του RDF καθώς και επίτευξη υπολειπόμενης υγρασίας, μεταξύ 8 - 12 %, το οποίο είναι ωφέλιμο κατά τη μεταγενέστερη παραγωγή των πέλλετ (pellets). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η χρήση της χαμηλής θερμοκρασίας και της απορριπτόμενης θερμότητας μειώνει το κόστος ξήρανσης και την ίδια στιγμή μειώνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς και έκρηξης.

Επιπλέον κύριο πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης ενός ξηραντήρα σήραγγας είναι η αντιρροή του αέρα ξήρανσης στα ράφια. Υπάρχουν πιο πρακτικοί τρόποι για τον χειρισμό υγρών μικρομερών στερεών σε συνεχή λειτουργία, όπως ο ξηραντήρας ενδιάμεσης κυκλοφορίας με μεταφορική ταινία, ο ξηραντήρας τουρμπίνας ή ο περιστροφικός ξηραντήρας.

Τέλος ο ξηραντήρας σήραγγας είναι προτιμότερος για ξήρανση, σε συνεχή λειτουργία υλικών όπως η ξυλεία, τούβλα, κεραμικά, δέρματα και υγρές κλωστές. Είναι η καλύτερη μέθοδος για ξήρανση υπέρυθρης ακτινοβολίας και «ψησίματος» βαμμένων ή λακαρισμένων επιφανειών. (Μουσιόπουλος & Καραγιαννίδης, 2002)

3.4.7 Ξηραντήρας Φρεατίου (Shaft Dryer)

Ένα φρεάτιο ξήρανσης είναι κατάλληλο για μικρότερες τροφοδοσίες αστικών στερεών αποβλήτων συγκριτικά με τους παραπάνω τύπους ξηραντήρων. Το μέγεθος των σωματιδίων του προς ξήρανση υλικού πρέπει να είναι μικρότερο από 100 - 200 mm για την αποφυγή αποφράξεων. (Kirschbaum & Orth, 2002)



Σχήμα 3-10: Ξηραντήρας Φρεατίου (Shaft Dryer)

(Πηγή: Roebbecke)

Τα αστικά στερεά απόβλητα τροφοδοτούνται σε ένα φρεάτιο κωνικού σχήματος. Με μια κάθετη κίνηση, τα αστικά στερεά απόβλητα περνούν διαμέσω του αντιδραστήρα ξήρανσης, ο οποίος είναι διαχωρισμένος σε οριζόντια τμήματα διαφορετικής θερμοκρασίας και κίνησης αέρα. Ο αέρας προέρχεται από το πλάι και διαχέεται μέσω των αστικών στερεών αποβλήτων από αριστερά προς τα δεξιά ή αντίστροφα. Πριν ληφθεί το τελικό προϊόν (ξηραμένα αστικά στερεά απόβλητα) από το κάτω μέρος του αντιδραστήρα ξήρανσης, ψύχονται στο τελευταίο τμήμα του φρεατίου.

Για ένα φρεάτιο ξήρανσης απαιτείται τροφοδοσία αέρα περίπου $1000 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{τροφ}}$. Σε συνδυασμό με μια μονάδα καύσης (mono-combustion), επιτυγχάνεται η χρήση καυσίμου και του απαιτούμενου θερμού αέρα, ενώ ταυτόχρονα τα απαέρια δύναται

να επεξεργάζονται στη μονάδα καύσης. Αν και αυτού του τύπου ξηραντήρας δεν εφαρμόζεται στην επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων θεωρείται ότι δύναται να αποτελέσει μία κατάλληλη λύση για τη διαχείρισή τους.

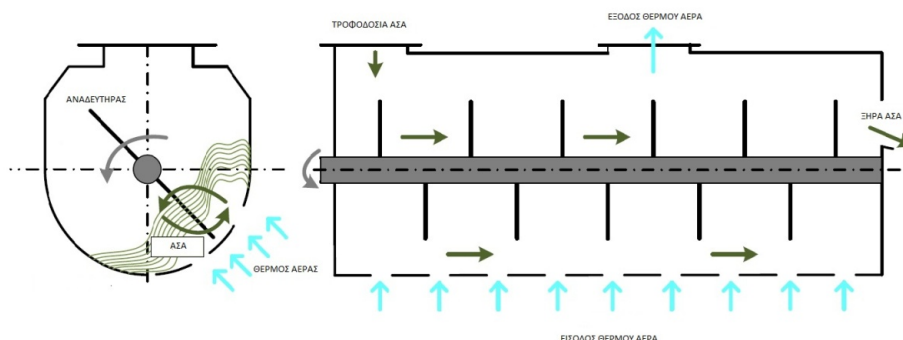
Πίνακας 3-6: Τεχνικά χαρακτηριστικά Ξηραντήρων Σήραγγας (Tunnel Dryer) και Ξηραντήρων Φρεατίου (Shaft Dryer)
(Πηγή: Roebbecke)

Παράμετρος	Ξηραντήρας Σήραγγας (Tunnel Dryer) 15 t/hr ΑΣΑ	Ξηραντήρας Φρεατίου (Shaft Dryer) 5 t/hr ΑΣΑ
Ύψος Στοιίβας	6 m	4,2 m
Αποτελεσματικό Πλάτος	10 m	1 m
Μήκος	34 m (30 m θέρμανση, 4 m ψύξη)	2 m
Επιφάνεια	300 m ²	2 m ²
Επιφάνεια Φόρτωσης	0.8 t/m ²	-
Εξάτμιση Νερού	3 t/hr / 20% των t _{Τροφ}	1,2 t/hr / 24% των t _{Τροφ}
Χρόνος Παραμονής	8 - 24 h	1 h
Μαζική Πυκνότητα	0.07 - 0.2 t/m ³	-
Θέρμανση	95 °C (απορριπτόμενη θερμότητα)	150 °C
Θερμοκρασία Ξήρανσης Είσοδος / Έξοδος	85 °C / 45-50 °C	150 °C
Απαέρια	1.050 - 2.100 m ³ /h 70 - 140 m ³ /t _{Τροφ}	6.000 kg/hr
Ηλεκτρική Κατανάλωση	80 kWh/t _{Evap} , 240 kWh/h 16 kWh/tn _{Τροφ}	-
Κατανάλωση Φυσικού Αερίου από RTO	7 - 14 kWh/ t _{Evap} , 1,4 - 2,8 kWh/t _{Τροφ}	-
Ενέργεια Θέρμανσης για την Ξήρανση	1.000 kWh/tn _{Evap} , 200 kWh/tn _{Τροφ}	800 kWh/t _{Evap} , 192 kWh/t _{Τροφ} , 960 kWh/hr 3460 MJ/hr
Συμπύκνωμα για επεξεργασία	0 kg/t _{Τροφ}	-

3.4.8 Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης (Rolling Bed Dryer)

Σε ένα ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης, τα αστικά στερεά απόβλητα αναμιγνύονται συνεχώς με κουπιά (paddles)/αναμοχλευτές (stirrers), εξοπλισμός που είναι προσαρτημένος σε έναν άξονα. Αυτοί οι αναμοχλευτές ομογενοποιούν το προς ξήρανση υλικό και το μεταφέρουν στον αντιδραστήρα ξήρανσης. Ο αέρας

τροφοδοτείται στην κυλιόμενη κλίνη από κάτω. Η απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί (ανακύκλωση). Μέσω ενός κόσκινου στο κάτω μέρος, τα πολύ λεπτά (fines), αδρανή, υλικά δύναται να απομακρυνθούν κατά τη διεργασία της ξήρανσης. (Weiss, Trojosky, & Klein, 2014).



Σχήμα 3-11: Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης (Rolling Bed Dryer)

(Πηγή: Allgaier)

Αυτός ο τύπος ξηραντήρα προσφέρει μια συμπαγή κλίνη προϊόντος για τη βέλτιστη μεταφορά θερμότητας. Ο κύριος όγκος του προϊόντος είναι σχετικά μεγάλος και κινείται ομοιόμορφα από τα στοιχεία ανάδευσης τα οποία περιστρέφονται αργά.

Ο αέρας ξήρανσης διέρχεται μέσω του στερεού προς ξήρανση προϊόντος από κάτω προς τα πάνω, με ένα σχετικά μεγάλο χρόνο επαφής μεταξύ του αέρα και του προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι η ξήρανση λαμβάνει χώρα ομοιόμορφα, ακόμα και στα πιο δύσκολα υλικά, με υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Ο βέλτιστος τρόπος θέρμανσης είναι είτε η χρήση του ζεστού αέρα από άλλη διεργασία, είτε με ζεστό νερό το οποίο θερμαίνει τον αέρα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας.

Τα στερεά υλικά μεταφέρονται μέσα στον ξηραντήρα δεξιόστροφα από τη ροή του αέρα από την είσοδο τους μέχρι και την έξοδο τους, με ένα συνδυασμό του ρέοντος αέρα και των στοιχείων ανάδευσης. Το προϊόν εξέρχεται από το τέλος του ξηραντήρα με υπερχείλιση. Υπάρχει μία κυλιόμενη κίνηση του υλικού ξήρανσης, ιδιαίτερα στη μία πλευρά στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Αυτό, σε συνδυασμό με τον αερισμό του στερεού υλικού, καθιστά δυνατή την επίτευξη χαμηλών επιπέδων ισχύος μετάδοσης κίνησης για τα στοιχεία του αναδευτήρα. Επίσης, στερεά υλικά με εξαιρετικά μη ανομοιογενή μορφή ή ογκώδη υλικά, όπως κλαδιά, φλοιοί και φυλλωσιές από τα απόβλητα κήπου ή ακανόνιστου μεγέθους ροκανίδια, μπορούν να μεταφερθούν διαμέσω του ξηραντήρα με αξιοπιστία. Παρά την ελαφρά απώλεια

πίεσης στη ροή του αέρα, η μηχανική ανάδευση και η διανομή του στερεού υλικό, βοηθούν στην ομοιόμορφη κατανομή της ροής του αέρα. Η συνεχής ανάδευση και κίνηση του ξηρού υλικού επιτυγχάνει να αποφεύγεται τυχόν τοπική υπερθέρμανση του προϊόντος, και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες ξήρανσης, από ό,τι στους ξηραντήρες με μεταφορική ταινία. Επίσης, λόγω της εγκάρσιας ροής μεταξύ του αέρα και του υλικού, καθώς και λόγω του μεγάλου χρόνου κατακράτησης των στερεών υλικών, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μια αποτελεσματική διαχείριση της διεργασίας με μικρές ποσότητες απαερίων και χαμηλές θερμοκρασίες προϊόντος, ακόμα και αν οι διαθέσιμες θερμοκρασίες του αέρα ξήρανσης είναι σχετικά χαμηλές.

Πίνακας 3-7: Χαρακτηριστικά Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης
(Rolling Bed Dryer) (Πηγή: Allgaier)

Παράμετρος	Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης
Ονομαστικό Πλάτος	1,5 m
Ονομαστικό Μήκος	8 m
Μέγεθος Σωματιδίων	<10 cm
Χωρητικότητα	2.400 kg/h
Θερμοκρασία Εισόδου / Εξόδου Αέρα	140 °C / 59 °C
Αρχική Υγρασία	50%
Τελική Υγρασία	20%
Ρυθμός Εξάτμισης Νερού	900 kg/h
Απαέρια	32.000 m ³ /h
Ενέργεια Θέρμανσης	1,154 kW (δεν έχει γίνει επιλογή πηγής θέρμανσης)
Κατανάλωση Ηλεκτρικής ενέργειας	100 kWh/t _{Evap}



Εικόνα 3-11: Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης (Rolling Bed Dryer)
(Πηγή: Allgaier)

Ο βασικός εξοπλισμός μιας διάταξης ξήρανσης κυλιόμενης κλίνης περιλαμβάνει τα εξής μέρη:

- Ένα ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης
- Δύο ανεμιστήρες για τη μεταφορά του αερίου επεξεργασίας
- Ένα εναλλάκτη θερμότητας
- Δύο κυκλώνες για τα απαέρια
- Ένα φίλτρο για τα απαέρια
- Μία μονάδα ελέγχου

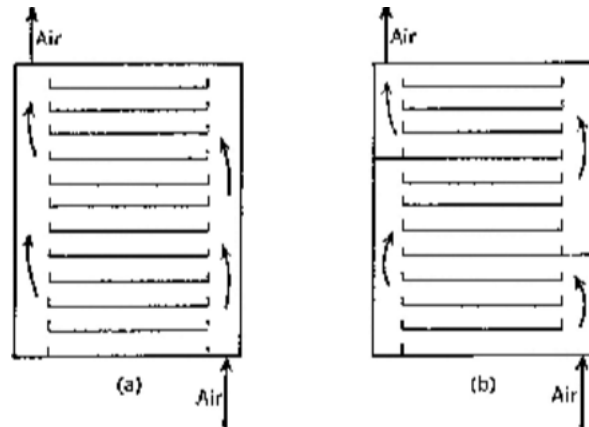
3.4.9 Ξηραντήρας Θαλάμου

Ξηραντήρας ασυνεχούς λειτουργίας. Αποτελείται από μονωμένο θάλαμο μεγάλου μεγέθους, για να μπορεί να χωράει μεγάλες παρτίδες ανά κύκλο.

Διακρίνονται δύο τύποι ξηραντήρων θαλάμου, οι ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου και οι ξηραντήρες θαλάμου κενού:

- Οι ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου λειτουργούν κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η θέρμανσή τους γίνεται με κυκλοφορία ενός αερίου μέσα στον ξηραντήρα, όπως προθερμασμένος αέρας ή θερμά καύσιμα αέρια. Το αέριο ξήρανσης εισέρχεται στον ξηραντήρα με την όσο το δυνατόν πιο υψηλή θερμοκρασία που η σταθερότητα του υλικού μπορεί να επιτρέψει. Η χρήση της όσο το δυνατόν πιο υψηλής θερμοκρασίας προτείνεται, επειδή η ικανότητα μεταφοράς υγρασίας του αερίου και ο ρυθμός ξήρανσης του υλικού αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το υλικό που θα ξηραθεί, τοποθετείται με οποιοδήποτε τρόπο, όπως π.χ. με άπλωμα του υλικού και υποστήριξη του πάνω σε ράφια ή κρεμασμένο από κατάλληλες κρεμάστρες ή τοποθετημένο το ένα πάνω στο άλλο σε σωρό. Οι λεπτομέρειες της κατασκευής αντικατοπτρίζουν την ευκολία στο χειρισμό και την μετέπειτα ξήρανση του υλικού. Για παράδειγμα, οι δίσκοι (ράφια) θα πρέπει να έχουν μια απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε ο θερμός αέρας ξήρανσης να μπορεί να κυκλοφορεί ανάμεσα και πάνω από κάθε δίσκο με δεδομένη ταχύτητα, χρησιμοποιώντας, αν είναι απαραίτητο, ανακλαστήρες για ομοιομορφία κατανομής του μέσα στο ξηραντήριο. Αυτός ο τύπος ξηραντήρα ειδικά χρησιμοποιείται για μικρές παρτίδες ή για ξήρανση υλικών που πρέπει να ξηραθούν αργά και έτσι ο χρόνος ξήρανσης θα είναι μεγάλος. Ο ξηραντήρας πρέπει να είναι όσο το

δυνατόν πιο εργονομικός, δηλαδή να μπορεί να λειτουργεί κάτω από συνθήκες όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ρυθμού ξήρανσης. Όταν το υλικό τοποθετείται στα ράφια, ανάλογα και με τη φύση του υλικού, η ξήρανση λαμβάνει χώρα και από τις δυο μεριές των ραφιών ή καλύτερα και ενδιάμεσα, αλλά αυτό αναφέρεται παρακάτω.



Σχήμα 3-12: Ατμοσφαιρικός Ξηραντήρας Θαλάμου

- Στους ξηραντήρες θαλάμου κενού η ξήρανση υπό κενό χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του υλικού από αυξημένες θερμοκρασίες και οξειδώσεις. Επίσης χρησιμοποιείται για λόγους ευκολίας, όπως για παράδειγμα στην ανάληψη μιας οργανικής ουσίας από εκχυλισμένο στερεό. Αν σ' αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιηθεί αέρας ως μέσο ξήρανσης, η παροχή αέρα θα δώσει ένα μίγμα αέρα-διαλύτη, που μπορεί να είναι εκρηκτικό, και ενώ ο διαλύτης σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να αναληφθεί εύκολα, σ' άλλες δεν είναι και τόσο πρακτικό. Όταν χρησιμοποιείται κενό, ένα σημαντικό μέρος του συστήματος είναι ο συμπυκνωτής, που βρίσκεται μεταξύ του ξηραντήρα και της αντλίας κενού. Ο κύριος όγκος του διαλύτη συλλέγεται στο συμπυκνωτή. Μια ποσότητα διαλύτη χάνεται στην αντλία κενού, γιατί τα μη-συμπυκνούμενα αέρια που εξέρχονται είναι κορεσμένα με το διαλύτη. Για να υπάρχουν λίγες απώλειες σ' αυτό το σημείο, το νερό ψύξης του συμπυκνωτή θα πρέπει να είναι στη χαμηλότερη πρακτικά θερμοκρασία. Αν είναι αναγκαίο, η περίσσεια του διαλύτη στα μη-συμπυκνούμενα αέρια συλλέγεται με κατάλληλο προσροφητικό μέσο. Στη ξήρανση κενού χρησιμοποιείται έμμεση θέρμανση. Σε ξηραντήρες κενού με ράφια, οι δίσκοι του υλικού τοποθετούνται σε επίπεδα ράφια, διαμέσου των οποίων κυκλοφορεί το μέσο ξήρανσης, όπως ατμός ή θερμό νερό.

Οι περιστροφικοί ξηραντήρες κενού είναι εφοδιασμένοι με διπλότοιχο σύστημα και το προς ξήρανση υλικό έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες που αποξέονται συνεχώς. Η απόξυση διατηρεί τις θερμές επιφάνειες καθαρές και το υλικό σε συνεχή ανάμιξη, έτσι οι ρυθμοί ξήρανσης είναι σαφώς υψηλότεροι απ' αυτούς που θα είχαμε αν ξηραίναμε το υλικό σε ράφια. Εφόσον η απόξυση συνήθως παράγει σκόνη που μπορεί να δημιουργήσει απόφραξη (fouling) στο συμπυκνωτή ή στην αντλία κενού, μετά τον ξηραντήρα συνήθως υπάρχει σύστημα για τη συλλογή της σκόνης. Κατά τη περίοδο σταθερού ρυθμού, το υγρό βράζει στο σημείο βρασμού, που αντιστοιχεί στο κενό που επικρατεί στον ξηραντήρα. Πολύ θερμοευαίσθητα υλικά, όπως η πενικιλίνη και ο ορός του αίματος ξηραίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (ψύξης) και απαιτούν τη διατήρηση πολύ υψηλού κενού. Αυτή η διεργασία ονομάζεται λυοφιλίωση (freeze-drying).



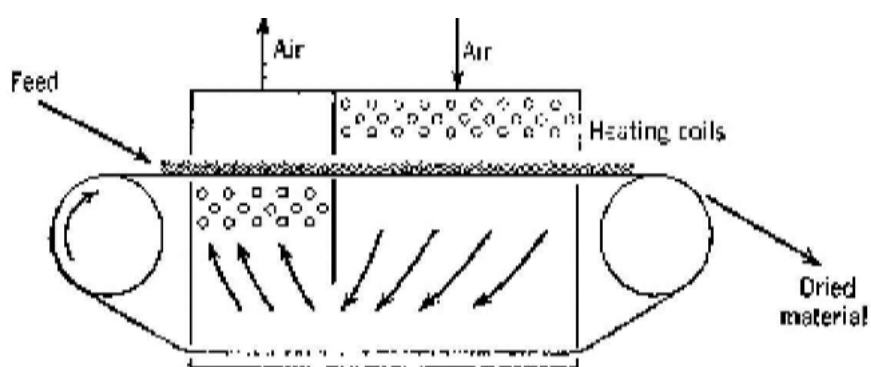
Εικόνα 3-12: Ξηραντήρας Θαλάμου Κενού

3.4.10 Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας

Οι ξηραντήρες ενδιάμεσης κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται για τη ξήρανση κοκκωδών υλικών. Ο αέρας ξήρανσης διέρχεται μέσα από τη κλίνη και γύρω από τα σωματίδια του προς ξήρανση υλικού. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι ρυθμοί ξήρανσης ανά κιλό υλικού σε σχέση με την ξήρανση δίσκων σε παρόμοιες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα.

Αν το υλικό κινείται ελεύθερα, τότε ο ξηραντήρας λειτουργεί με την αρχή της κινούμενης κλίνης, δηλαδή το υλικό εισέρχεται από την κορυφή ενός πύργου και κινείται με την βαρύτητα, ενώ ο αέρας ξήρανσης περνά από μέσα προς την αντίθετη

κατεύθυνση. Ο αέρας ξήρανσης μπορεί να κινείται και κατά πλάτος της κινούμενης κλίνης. Υλικά που μπορούν και κινούνται ελεύθερα μπορούν να ξηραθούν με την αρχή της ρευστοποιημένης στοιβάδας, με τον αέρα ξήρανσης να παίζει το ρόλο του ρευστοποιητικού μέσου. Σε άλλη περίπτωση το υλικό μπορεί να μην κινείται ελεύθερα, αλλά μπορεί να ξηραθεί σε συνεχή λειτουργία με κατάλληλο άπλωμα του πάνω σε κινούμενη μεταφορική ταινία. Μερικά υλικά δεν μπορούν να ξηραθούν σε τέτοιο τύπο ξηραντήρα λόγω της μικρής διαπερατότητας τους. Μπορούν όμως να τροποποιηθούν σε συσσωματώματα κατάλληλου μεγέθους και σχήματος για να δημιουργήσουν στοιβάδες υψηλής διαπερατότητας.



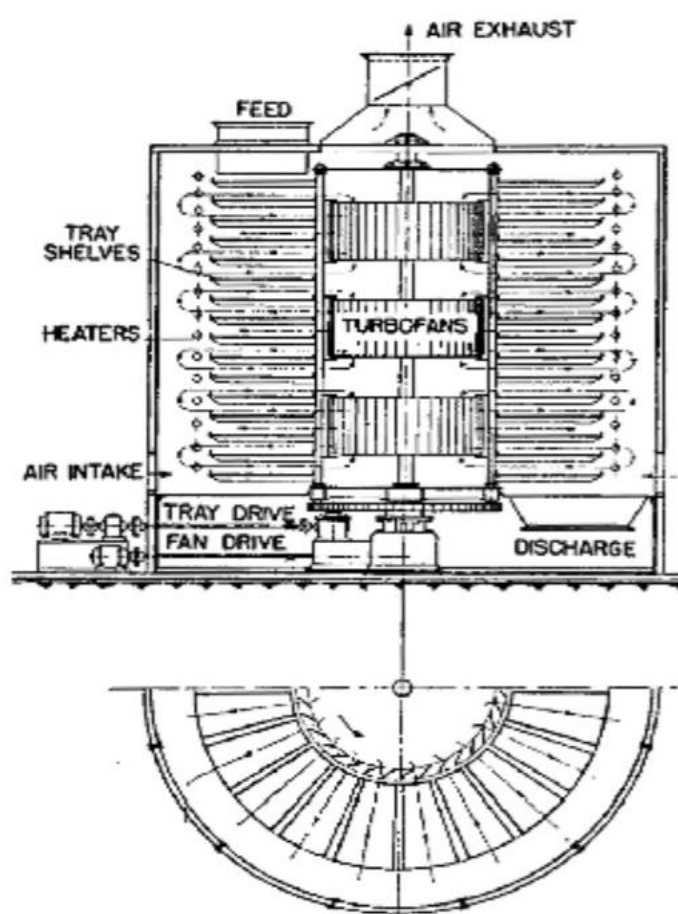
Σχήμα 3-13: Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας

3.4.11 Ξηραντήρας Τουρμπίνας

Αποτελείται από δακτυλιοειδή ράφια που είναι τοποθετημένα κάθετα το ένα πάνω στο άλλο με την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Κάθε ράφι αποτελείται από τμήματα με κενά μεταξύ τους. Ο κεντρικός άξονας φέρει ανεμιστήρες τύπου τουρμπίνας, που εισάγουν ακτινικά τον αέρα ξήρανσης στον ξηραντήρα. Θερμαντικά στοιχεία είναι τοποθετημένα γύρω από τα ράφια. Όλο το σύστημα – ράφια, ανεμιστήρες και θερμαντικά στοιχεία είναι κλεισμένο σε κυλινδρικό ή εξαγωνικό κέλυφος. Υπάρχουν πόρτες για πρόσβαση στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Το σύστημα περιστρέφεται με ταχύτητες 0.1 - 1 rpm. Οι ανεμιστήρες κυκλοφορούν τον αέρα με ταχύτητες από 0.8 ως 3.0 m/s. Ο φρέσκος αέρας εισέρχεται στη βάση του ξηραντήρα, κυκλοφορεί μέσα στο ξηραντήρα και εξέρχεται από την κορυφή.

Το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται στο άνω ράφι. Ένας σταθερός βραχίονας πατάει και φέρνει στο ίδιο επίπεδο όλο το υλικό που εισέρχεται σε κάθε τμήμα του ραφιού. Καθώς το ράφι περιστρέφεται περνάει τελικά από ένα άλλο σταθερό βραχίονα, ο οποίος αποξύνει το υλικό και το αναγκάζει μέσα από μια οπή να πέσει

στο αμέσως κάτω ράφι. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και το υλικό κατέρχεται διαδοχικά από ράφι σε ράφι. Τα ράφια έχουν απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε το υλικό να μην βρίσκεται σε επαφή και με τα δύο ράφια καθώς κατέρχεται μέσω του κενού. Καθώς το υλικό κατέρχεται από ράφι σε ράφι, πάντα μια φρέσκια επιφάνεια εκτίθεται στον αέρα ξήρανσης, με αποτέλεσμα ο ρυθμός ξήρανσης να είναι αυξημένος, σε σχέση με την απλή ξήρανση δίσκων και το προϊόν να είναι ομοιόμορφα ξηραμένο. Το τελικό προϊόν εξέρχεται από το κάτω ράφι πάνω σε μεταφορική ταινία και απομακρύνεται.

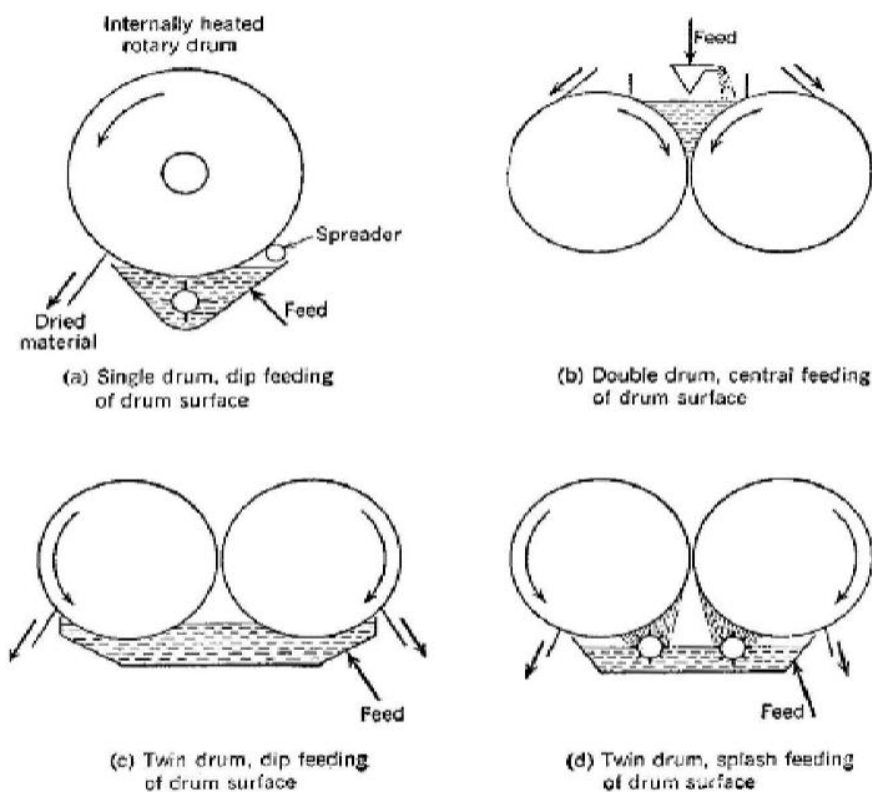


Σχήμα 3-14: Ξηραντήρας Τουρμπίνας

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του ξηραντήρα είναι ότι έχει καλή δυναμικότητα ξήρανσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι καταλαμβάνει μικρό χώρο. Αυτοί οι τύποι ξηραντήρων μπορούν να ξηράνουν υλικά με μεγάλο εύρος υγρασιών.

3.4.12 Ξηραντήρας Τυμπάνου (Drum Dryer)

Ο Ξηραντήρας τυμπάνων αποτελείται από εσωτερικά θερμαινόμενα περιστροφικά τύμπανα. Η Ξήρανση λαμβάνει χώρα στην εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου.



Σχήμα 3-15: Ξηραντήρας Τυμπάνων

Το υλικό καθώς ξηραίνεται είναι στη μορφή λεπτού στρώματος απλωμένου ομοιόμορφα και με όμοιο πάχος στην επιφάνεια του τυμπάνου. Έτσι αυτός ο τύπος Ξηραντήρων είναι καταλληλότερος για πολτούς ή πάστες στερεών σε λεπτο-αιώρηση και αληθινών διαλυμάτων. Στη περίπτωση των διαλυμάτων, το τύμπανο συνδυάζει τη λειτουργία συμπυκνωτή και Ξηραντήρα μαζί. Διαλύματα που μπορεί να Ξηραθούν σε τύμπανα, είναι αυτά των ένυδρων κρυστάλλων τηγμένα στο νερό κρυστάλλωσής τους.

Οι Ξηραντήρες τυμπάνων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μονού τυμπάνου, διπλών τυμπάνων και ζεύγους τυμπάνων. Στους Ξηραντήρες διπλών τυμπάνων, τα δυο τύμπανα περιστρέφονται το ένα ως προς το άλλο, ενώ στους Ξηραντήρες ζεύγους τυμπάνων, περιστρέφονται αντίθετα.

4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΣΑ

4.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη διαχείριση των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει μια πιο ολοκληρωμένη αντιμετώπιση, ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την τελική διάθεση τους καθώς και μείωση των τυχόν επιπτώσεων που δύναται να προκύψουν από τη διάθεση τους. Είναι κοινώς αποδεχτό ότι τα στερεά απορρίμματα ευθύνονται για ένα μεγάλο ποσοστό ρύπανσης, με συνέπειες που μπορούν να είναι επιβλαβές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, αλλά και ότι με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να επανακτηθούν χρήσιμες πρώτες ύλες.

Συνεπώς οι περιβαλλοντικές στρατηγικές και πολιτικές που εφαρμόζονται σήμερα στην διαχείριση αποβλήτων, τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, δίνουν νέες κατευθύνσεις και θέτουν καινούργιες αρχές, κυρίως μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών και ενέργειας, με απώτερο σκοπό τη μείωση του συνολικού όγκου και την ασφαλέστερη διάθεση των απορριμμάτων.

Η ορθολογική διαχείριση των βιοαποβλήτων, τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο κλάσμα των ΑΣΑ και προκαλούν προβλήματα στους χώρους υγειονομικής ταφής κυρίως λόγω της δημιουργίας αερίων και συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι κάτι παραπάνω από επιβεβλημένη. Επιπλέον στις μέρες μας με την συνεχόμενη εξέλιξη των διαθέσιμων τεχνολογιών και τη θέσπιση ισχυρού νομοθετικού πλαισίου, η διαχείριση των βιοαποβλήτων είναι αναγκαία.

4.2 Σκοπός και αντικείμενο μελέτης

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί και να εκτιμηθεί τεχνοοικονομικά το καταλληλότερο ολοκληρωμένο εναλλακτικό σενάριο διαχείρισης βιοαποβλήτων με εφαρμογή της τεχνολογίας της ξήρανσης και χρήση διαφορετικού τύπου ξηραντήρα.

Στην παρούσα μελέτη ο όρος βιοαπόβλητα (bio-waste) περιλαμβάνει τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα των κατοικιών ενός δήμου, δηλαδή τα απόβλητα των

οικιών των δημοτών όπως απόβλητα τροφίμων και κουζίνας, τα απόβλητα των εγκατεστημένων στο δήμο χώρων εστίασης, όπως τα απόβλητα τροφίμων από καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος (πχ απόβλητα χώρων εστίασης, εστιατορίων, ταβερνών, καντίνων κ.α.), τα απόβλητα των χώρων διασκέδασης (καφετέριες, μπαρ κ.α.) και χώρων εκδήλωσης, τα απόβλητα των ξενοδοχείων και των σούπερ μάρκετ, τα απόβλητα των λαϊκών αγορών καθώς και απόβλητα των κοινόχρηστων χώρων πρασίνου (πάρκα, πλατείες, παιδικές χαρές) και τα απόβλητα των αυλών των κατοικιών του δήμου. Ως εκ τούτου στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θέτοντας ως γνώμονα την ορθολογικότερη αποκεντρωμένη διαχείριση των βιοαποβλήτων ενός δήμου και λαμβάνοντας υπόψη τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά διαλεγμένων βιοαποβλήτων, ερευνήθηκαν και αποτιμήθηκαν διαφορετικά εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων, στα οποία εφαρμόζεται η τεχνολογία της ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε σενάριο εφαρμόζεται η τεχνολογία της ξήρανσης για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων και χρησιμοποιείται διαφορετικός τύπος ξηραντήρα.

Επιπλέον στα πλαίσια της εργασίας έγινε τεχνοοικονομική μελέτη της αποκεντρωμένης διαχείρισης διαλεγμένων βιοαποβλήτων ενός δήμου 100.500 κατοίκων. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι γίνεται διαχωρισμός των βιοαποβλήτων στην πηγή και τα διαλεγμένα βιοαπόβλητα (απόβλητα τροφίμων, κουζίνας, υπολείμματα λαϊκών αγορών, κλαδέματα από τα πάρκα και τους κήπους των κατοικιών κ.α.) συγκεντρώνονται σε ένα χώρο εντός της έκτασης του δήμου (greenpoint) και υπόκεινται σε επεξεργασία, ξήρανση, πριν από την τελική τους διάθεση. Επισημαίνεται ότι κατά το σχεδιασμό και τη διερεύνηση του καταλληλότερου τύπου ξηραντήρα οι εκτιμήσεις που έγιναν ειδικά ως προς τις ποσότητες είναι επισφαλείς και βασίζονται σε απλοποιήσεις και παραδοχές.

4.3 Υπολογισμοί Σχεδιασμού Σεναρίων

Θεωρούμε ότι ο δήμος στην έκταση του αποτελείται από περιοχές αμιγούς κατοικίας, περιοχές με εμπορικές χρήσεις όπως χώροι εστίασης (εστιατόρια, ταβέρνες, καντίνες) και χώρους πρασίνου (όπως πάρκα, δενδρόφυτους χώρους, πλατείες με πράσινο, παιδικές χαρές κ.α.).

Επιπλέον θεωρούμε ότι ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων του δήμου ανέρχεται σε 100.000 άτομα. Με βάση τον αριθμό των μόνιμων κατοίκων και των επισκεπτών και λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΣΑ ανέρχεται σε 300-450 kg/κάτοικο/έτος, εκτιμήθηκε ότι η ετήσια ποσότητα των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων στο δήμο ανέρχεται σε περίπου **35.780 ton/έτος** ήτοι **98 ton /ημέρα**. Τέλος με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων εκτιμήθηκε ότι η ετήσια ποσότητα των παραγόμενων βιοαποβλήτων ανέρχεται σε περίπου **15.600 ton/έτος** ήτοι **42,74 ton /ημέρα**.

Πίνακας 4-1: Ετήσιες Ποσότητες ΑΣΑ

Τύπος Αποβλήτων	Ποσότητα(ton/έτος)
Σύνολο Αστικών Στερεών Αποβλήτων	35.780
Σύμμεικτα	20.180
Οργανικά Απόβλητα – Βιοαπόβλητα	15.600

Η σύσταση των προς επεξεργασία ΑΣΑ υπολογίστηκε με βάση τη σύσταση των στερεών αποβλήτων της εγκεκριμένης μελέτης της Αναθεώρησης του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Ιούλιος, 2014). Στον Πίνακα 4-2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές της ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ που λαμβάνεται υπόψη.

Πίνακας 4-2: Τιμές Ποιοτικής Σύστασης ΑΣΑ

(Πηγή: ΕΕΣΔΑ)

Τύπος Αποβλήτου	% (κ.β.)
Οργανικά	43,6
Χαρτί - Χαρτόνι	17,6
Πλαστικά	8,8
Μέταλλα	13,2
Γυαλί	7
Ξύλο	2,6
Λοιπά	7,2
Σύνολο	100

Κατά τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι τυπικές τιμές της περιεκτικότητας σε υγρασία, της πυκνότητας, της περιεκτικότητας σε στοιχεία C, H,

Ο, S καθώς επίσης και οι τυπικές τιμές του ενεργειακού περιεχομένου σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 4-3.

Πίνακας 4-3: Τυπικές Τιμές Ποιοτικών Χαρακτηριστικών ΑΣΑ

(Πηγή: Γ. Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

	Πυκνότητα (kg/m ³)	% Περιεκτικότητα σε υγρασία	% C ξ.β.	% H ξ.β.	%O ξ.β.	%N ξ.β.	%S ξ.β.	Αδρανές υπόλειμμα %	Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ/kg)
υπολείμματα τροφών	291	70	48	6.4	37.6	2.6	0.40	5	4652
χαρτί	89	6	43.5	6	44	0.3	0.20	6	16747.2
χαρτόνι	50	5	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5	16282
πλαστικά	65	2	60	7.2	22.8	0	0.00	10	32564
υφάσματα	65	10	55	6.6	31.2	4.6	0.15	6.5	17445
λάστιχο	131	2	78	10		2	0.00	9.9	23260
δέρμα	160	10	60	8	11.6	10	0.40	8	17445
υπολείμματα αυλών	101	60	47.8	6	38	3.4	0.40	4.5	6512.8
ξύλο	237	20	49.5	6	42.7	0.2	0.10	1.5	18608
γυαλί	196	2	0.5	0.1	0.4	0.1		98.9	139.56
λευκοσίδηρος	89	3	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
αλουμίνιο	160	2	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	
άλλα μέταλλα	320	3	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
λοιπά ανόργανα	481	8	26.3	3	2	0.5	0.2	68	697.8

Θεωρώντας ότι η πυκνότητα των ΑΣΑ ισούται με $d = 291.7 \text{ kg/m}^3$ υπολογίζεται ότι ο ετήσιος όγκος των ΑΣΑ ανέρχεται σε $53.600 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και σε C, H, O, N και S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων εκτιμάται ο εμπειρικός τύπος των παραγόμενων ΑΣΑ.

Πίνακας 4-4: Τυπικές Τιμές Περιεκτικότητας βιοαποδομήσιμων αποβλήτων

(Πηγή Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεων Αποβλήτων)

ΑΣΑ	% C ξ.β.	% H ξ.β.	% O ξ.β.	% N ξ.β.	% S ξ.β.	% περιεκτικότητα σε υγρασία
Οργανικά	48	6,4	37,6	2,6	0,40	70

Πιο συγκεκριμένα:

Το ξηρό βάρος σε C, H, O, N και S υπολογίζεται βάσει τις περιεκτικότητες των C, H, O, N και S στα απόβλητα και του ξηρού βάρους του κάθε είδους αποβλήτου στο πτητικό κλάσμα:

Το βάρος της υγρασίας (B.Y.) υπολογίζεται από τη σχέση : B.Y. Οργ. Κλάσμα = $15.600 \text{ t} * 70\% = 10.920 \text{ t}$

Το ξηρό βάρος (Ξ.Β.) προκύπτει αφαιρώντας από την ολική μάζα την ποσότητα της υγρασίας δηλαδή: Ξ.Β. Οργ. Κλάσμα = $15.600 \text{ t} - 10.920 \text{ t} = 4.680 \text{ t}$

Το ξηρό βάρος του C υπολογίζεται (ξ.β. C) από τη σχέση: Ξ.β.C (οργ. Κλάσμα) = 4.680 t * 48% = 2.246,4 t

Αντίστοιχα τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-5 που ακολουθεί.

Πίνακας 4-5: Ποσότητα υγρασίας, Ξ. Β. και C, H, O, N, S οργανικών ΑΣΑ

Αποτελέσματα Υπολογισμών	Οργανικά
Ποσότητα (kg)	15.600.000
Βάρος Υγρασίας (kg)	10.920.000
Ξηρό βάρος οργανικών (kg)	4.680.000
Ξηρό βάρος C (kg)	2.246.400
Ξηρό βάρος H (kg)	299.520
Ξηρό βάρος O (kg)	1.759.680
Ξηρό βάρος N (kg)	121.680
Ξηρό βάρος S (kg)	18.720

Για τον υπολογισμό του εμπειρικού τύπου ξηρού βάρους του βιοαποδομήσιμου μέρους των αποβλήτων, υπολογίζουμε τα mol των C, H, O, N, S (μάζα/ΑΒ) κι έπειτα διαιρώντας τα με τα mol N ή S βρίσκουμε τους αντίστοιχους εμπειρικούς τύπους. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-6 που ακολουθεί.

Πίνακας 4-6: Ποσότητα σε moles C, H, O, N, S των οργανικών ΑΣΑ

	mol	mol/mol N	mol/mol S
C	187.200	21,54	320
H	299.520	34,46	512
O	109.980	11,36	188
N	8.691,43	1,00	14,86
S	585	-	1,00

Συνεπώς από τα αποτελέσματα των υπολογισμών ο εμπειρικός τύπος, ξηρού βάρους του οργανικού μέρους των αποβλήτων που παράγονται (εμπειρικός τύπος αποβλήτων στην πηγή) είναι: $C_{22}H_{35}O_{12}N$ ή $C_{320}H_{512}O_{188}N_{14}S$.

4.4 Παραδοχές - Υποθέσεις

Κατά το σχεδιασμό των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης βιοαποβλήτων έχουν ληφθεί υπόψη οι εξής παραδοχές - υποθέσεις :

- Η διαλογή των οργανικών, βιοαποβλήτων θεωρούμε ότι πραγματοποιείται στην πηγή, δηλαδή τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα συλλέγονται σε διαφορετικό κάδο από τα σύμμεικτων και το ποσοστό συμμετοχής στην διαλογή των κατοίκων ανέρχεται στο 100%.
- Το παραγόμενο προϊόν από την ξήρανση των βιοαποβλήτων δύναται να αποθηκευτεί και να ανακυκλωθεί/επαναχρησιμοποιηθεί. Ειδικότερα το παραγόμενο προϊόν από την ξήρανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως δευτερογενές καύσιμο, εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά και υψηλής θερμογόνου δύναμης, είτε να χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματικό υλικό σε βιολογικές καλλιέργειες.
- Σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια στην παρούσα μελέτη τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα επεξεργάζονται με τη τεχνολογία της ξήρανσης. Σε κάθε σενάριο εφαρμόζεται διαφορετικός τύπος ξηραντήρα.
- Σύμφωνα με την συνολική ποσότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προς επεξεργασία βιοαποβλήτων θεωρείται ότι οι ξηραντήρες που εφαρμόζονται στα σενάρια 1-4 λειτουργούν πέντε (5) ημέρες την εβδομάδα. Ο κύκλος λειτουργίας είναι περίπου 8 ώρες ανά ημέρα, δηλαδή 40 h/εβδομάδα για 260 μέρες/έτος και η τροφοδοσία ορίζεται σε περίπου 7 - 7,5 t/hr.
- Στο σενάριο 5, θεωρείται ότι ο ξηραντήρας λειτουργεί 24 ώρες όλο το χρόνο.
- Θεωρείται ότι οι επικρατέστεροι ξηραντήρες για την επεξεργασία των ΑΣΑ και κυρίως των βιοαποβλήτων είναι οι ξηραντήρες θερμού αέρα. Είναι ξηραντήρες συνεχούς ροής. Στον Πίνακα 4-7 παρουσιάζεται ο βασικός εξοπλισμός ενός συστήματος θερμικής ξήρανσης με θερμό αέρα. Επισημαίνεται ότι στα πλαίσια της παρούσας μελέτης για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων της δημοτικής κοινότητας που επιλέχθηκαν ξηραντήρες θερμού αέρα.

Τέλος επισημαίνεται ότι οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την ξήρανση των βιοαποβλήτων είναι γενικά πολύ περιορισμένες παρόλο που η ξήρανση υπάγεται στις πιο σύγχρονες μεθόδους επεξεργασίας των αστικών στερεών αποβλήτων. Για την εκπόνηση αυτής της μελέτης η συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων των

προτεινόμενων ξηραντήρων (τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού, καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμων, κόστος ξηραντήρων, κόστος απαιτούμενου εξοπλισμού κ.α.) έγινε μετά από επικοινωνία με διάφορες τεχνικές εταιρίες.

Πίνακα 4-7: Βασικός Εξοπλισμός Συστήματος Θερμικής Ξήρανσης

Τμήματα Συστήματος Θερμικής Ξήρανσης	Εξοπλισμός Συστήματος Θερμικής Ξήρανσης
Θάλαμος Καύσης	<ul style="list-style-type: none"> - καυστήρας - εξαεριστήρας - βαλβίδα ελέγχου
Αντιδραστήρας Ξήρανσης	<ul style="list-style-type: none"> - ξηραντήρας, - σύστημα τροφοδοσίας εισόδου (dosing unit), - κυκλώνας/διαχωριστής ξηρού υλικού απαερίων - τμήμα ψύξης προϊόντος (ξηραμένου υλικού)
Επεξεργασία αέριων εκπομπών (απαερίων) /καυσαερίων (exhaust vapor and exhaust gas)	<ul style="list-style-type: none"> - περιστροφικός κυκλώνας για απομάκρυνση της σκόνης, - σύστημα αναγεννώμενης θερμικής οξείδωσης (Regenerative Thermal Oxidizer, RTO) για την επεξεργασία των αέριων εκπομπών (απαερίων), - σύστημα ανακυκλοφορίας αέρα - σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (στραγγιδίων)

4.5 Σύστημα Διαχείρισης

Σύμφωνα με το σχεδιασμό του συστήματος διαχείρισης, θεωρείται ότι τα βιοαπόβλητα συλλέγονται σε κάδους, στη συνέχεια μεταφέρονται σε κατάλληλο χώρο εντός των ορίων του δήμου (greenpoint) όπου υπόκεινται σε επεξεργασία, με τη τεχνολογία της ξήρανσης και το τελικό προϊόν της ξήρανσης οδηγείται σε κατάλληλο χώρο τελικής διάθεσης.



Διάγραμμα Ροής 4-1: Διάγραμμα Ροής Συστήματος

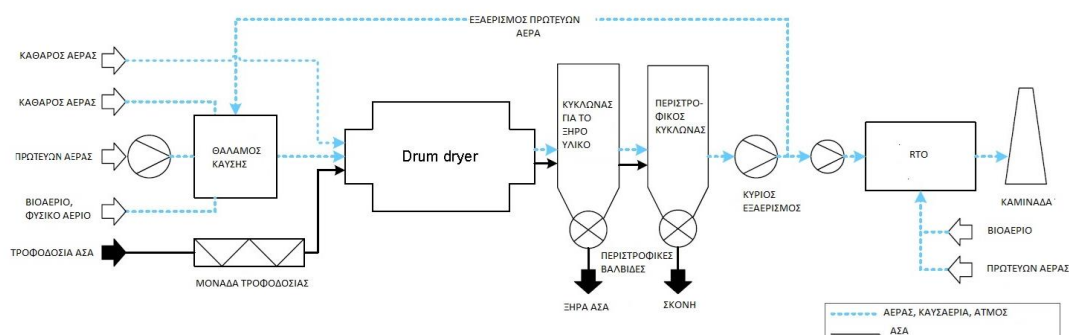
4.6 Εναλλακτικά Σενάρια

Στην παρούσα εργασία μελετούνται πέντε εναλλακτικά ολοκληρωμένα σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων.

4.6.1 Σενάριο 1 – Ξήρανση με Περιτροφικό Ξηραντήρα

Σύμφωνα με το σχεδιασμό στο **Σενάριο 1** για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με την τεχνολογία της ξήρανσης χρησιμοποιείται **Περιτροφικός Ξηραντήρας (Rotary Drum Dryer)**.

Σε αυτό το τύπο ξηραντήρα τα ΑΣΑ, με περιεχόμενο υγρασίας μεταξύ 35 - 70 w% και μέγεθος μικρότερο των 60mm, τροφοδοτούνται (εύρος τροφοδοσίας ξηραντήρα 7,5 - 46 t/h) στο σύστημα ξήρανσης και στη συνέχεια μεταφέρονται συνεχώς, με ελικοειδή τρόπο, διαμέσω του ξηραντήρα. Μια στροβιλώδη ροή αέρα περνάει με μεγάλη ταχύτητα γύρω από το προς ξήρανση υλικό (multi-pass-system), έτσι ώστε να επιτευχθεί η ξήρανσή του. Τέλος ο χρόνος παραμονής του προς ξήρανση υλικού κυμαίνεται από 10 έως 20 min.



Σχήμα 4-1: Διάγραμμα Ροής Θερμικής Ξήρανσης με Περιτροφικό Ξηραντήρα

Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα (m^3/h) για την εξάτμιση μιας καθορισμένης ποσότητας νερού, εξαρτάται και από το μέγεθος του ξηραντήρα. Ειδικότερα η ποσότητα του μεταφερόμενου αέρα κατά τη λειτουργία κυμαίνεται από 28.000 έως 180.000 m^3/h . Το θερμό ρεύμα αέρα έχει θερμοκρασία εισόδου μεταξύ 290 - 380 °C και θερμοκρασία εξόδου είναι 90 - 105 °C. Το υπολειπόμενο περιεχόμενο νερού είναι περίπου 10 - 15 w%.

Στον Πίνακα 4-8 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ίδιου τύπου ξηραντήρα τα οποία είναι παρόμοια καθώς και το κόστος αγοράς του, από διαφορετική εταιρία αυτή τη φορά .

Πίνακας 4-7: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Περιστροφικού Ξηραντήρα

Παράμετρος	Κυλινδρικός Ξηραντήρας (Rotary Drum Dryer)
Μέγεθος σωματιδίων	< 60 mm
Χρόνος παραμονής	10 - 20 min
Θέρμανση	Φυσικό αέριο
Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση	850 kWh/t _{Evap} , μέσω εξωτερικής τροφοδοσίας θερμικής ενέργειας
Θερμοκρασία εισόδου / εξόδου	350 °C / 105 °C
Απαέρια	3.000 - 5.000 Nm ³ /t _{Evap}
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	40 - 80 kWh/t _{Evap}
Κατανάλωση φυσικού αερίου από RTO	25 - 50 kWh/t _{Evap}
Συμπύκνωμα για επεξεργασία	0 kg/t _{Evap}
Εξάτμιση H ₂ O	4700 kg/h
Υγρασία εισόδου/ εξόδου	70% / 10%
Απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια	110.7 kW

Πίνακας 4-8: Κόστος Εξοπλισμού Περιστροφικού Ξηραντήρα

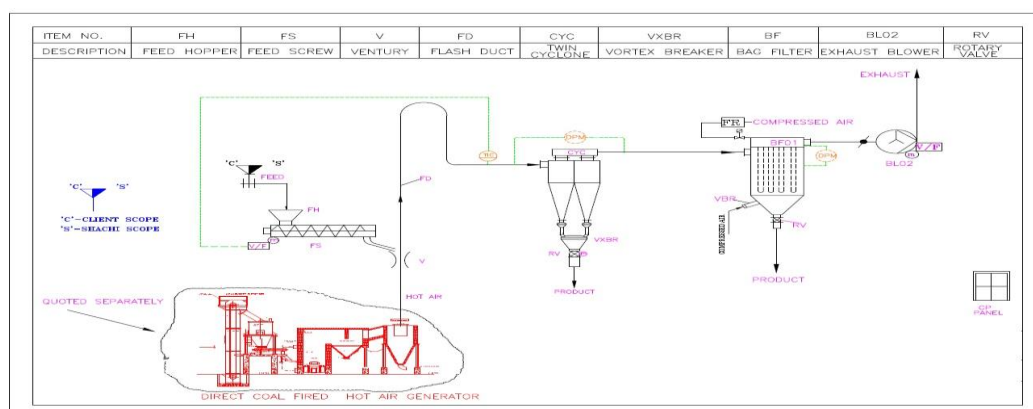
Κόστος αγοράς	215.000 € (περιλαμβάνει σύστημα τροφοδοσίας 4,5kW, σύστημα μεταφοράς 3,0kW, ξηραντήρα με το μοτέρ κίνησης(drive station) 11kW, κυκλώνα με airlock (χωρίς σωληνώσεις) 2,2kW, ανεμιστήρα 90kW (χωρίς σωληνώσεις, σύστημα επεξεργασίας απαερίων), πίνακα ελέγχου)
Λοιπός εξοπλισμός - επιλογές	
Καυστήρας στερεών καυσίμων (Solid fuel burner) 4MW	83.700€
Σύστημα τροφοδοσία κοκκων στερού καυσίμου (Granulated dry solid fuel)	50.000€
Καυστήρας Φυσικού αερίου 5,5MW	27.000€
Καυστήρας πετρελαίου (oil burner) 5,5MW	22,900 €
Σύστημα εντοπισμού σπινθήρα	27,590 €

4.6.2 Σενάριο 2 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Στιγμαϊάας Δράσης

Σύμφωνα με το σχεδιασμό στο **Σενάριο 2** για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με την τεχνολογία της ξήρανσης χρησιμοποιείται **Ξηραντήρας Στιγμαϊάας Δράσης**.

Στον ξηραντήρα στιγμαϊάας δράσης, το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται μέσω μιας χοάνης και μεταφέρεται μέσω ενός κοχλίου σε έναν αγωγό, τύπου Venturi, που βρίσκεται στην βάση του ξηραντήρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνεται στην απαιτούμενη θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας μία γεννήτρια θερμού αέρα, με καύση άνθρακα. Η προς ξήρανση τροφοδοσία έρχεται σε απευθείας επαφή με το θερμό αέρα και ξηραίνεται καθώς μεταφέρεται διαμέσω του αγωγού. Το ξηρό προϊόν συλλέγεται σε ένα διαχωριστή διπλού κυκλώνα, υψηλής απόδοσης και εξάγεται μέσω της περιστροφικής βαλβίδας. Ο αέρας, μαζί με τη συμπαρασυρόμενη σκόνη οδηγείται σε σακκόφιλτρο για διαχωρισμό και κατακράτηση της σκόνης. Η σκόνη που εγκλωβίζεται στο σακκόφιλτρο συλλέγεται από το κάτω μέρος του, ενώ οι αέριες εκπομπές (απαέρια) μετά το σακκόφιλτρο απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Η διεργασία βασίζεται σε δύο στατικούς ανεμιστήρες, τον ανεμιστήρα μεταφοράς και τον εξαεριστήρα απαερίων. Η όλη λειτουργία του ξηραντήρα ελέγχεται από έναν πίνακα ελέγχου.

Στο Σχήμα 4-4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του συστήματος ξήρανσης με ξηραντήρα στιγμαϊάας δράσης και στον Πίνακα 4-9 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος για διαφορετικές τροφοδοσίες (20.000 kg/d, 40.000 kg/d και 300.000 kg/week αντίστοιχα) καθώς και το κόστος αγοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού.



Σχήμα 4-2: Διάγραμμα Ροής Ξήρανσης με Ξηραντήρα Στιγμαϊάας Δράσης

(Πηγή: Shachi Engineering PVT)

Πίνακας 4-9: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης

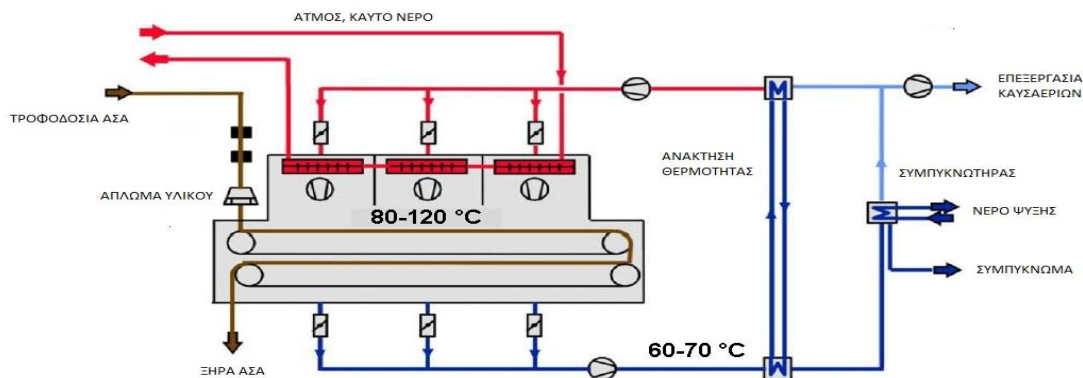
Υλικό Τροφοδοσίας	ΑΣΑ		
Παραμετροι σχεδιασμού ξηραντήρα			
Χωρητικότητα τροφοδοσίας	(1) 20.000 kg/d	(2) 40.000 kg/d	(3) 300.000 kg/week
Ρυθμός εξάτμισης	1.225 kg/h	2.555 kg/h	3.670 kg/h
Ρυθμός εξόδου ξηρού υλικού (45% SC, τροφοδοσία)	1.275 kg/h	2.445 kg/h	3.830kg/h
Ρυθμός Τροφοδοσίας	2.500kg/hr	5.000 kg/h	7.500 kg/h
Χαρακτηριστικά Τροφοδοσίας			
Στερεό περιεχόμενο	45 % w/w		
Διαλύτικό μέσο	Νερό		
Θερμοκρασία	30 °C		
Χαρακτηριστικά Ξηρού υλικού			
Περιεχόμενο Υγρασίας	< 12%		
Μέγιστη θερμοκρασία υλικού	50 °C		
Συλλογή	Ένα σημείο εξόδου, κάτω απο τον κυκλώνα		
Συνθήκες λειτουργίας			
Μέσον θέρμανσης	Θερμός αέρας		
Θέρμανση αέρα	Άμεσος γεννήτορας θερμού αέρα, με καύση άνθρακα		
Θερμοκρασία εισόδου	400 °C		
Θερμοκρασία εξόδου	100 °C		
Υλικό κατασκευής (για τμήματα επαφής)			
Τροφοδοσία/ Προϊόν	Ανοξειδωτος Χάλυβας AISI 304		
Αγωγός θερμού αέρα	MS Brick lining		
Απαέρια/τμήματα μη επαφής	Carbon Steel Epoxy Painted		
Συνθήκες Περιβάλλοντος			
Θερμοκρασία	Min.: 22 °C Max.: 47,2 °C Avg.: 25 °C		
Υγρασία	38 - 64 % μέγιστη σχετική υγρασία σε μέση θερμοκρασία		
Υψόμετρο	55 m από την επιφάνεια της θάλασσας		
Εγκατάσταση	Εσωτερικού χώρου		
Περιοχή	Non Hazardous / Non Explosive / Non Flameproof.		
Προδιαγραφές εξοπλισμού (Utility specifications)			
Ισχύς	Voltage: 415V / τριφασικό / 4 καλώδια (wire) συχνότητας 50 HZ		
Ξηραντήρας ακαριαίας δράσης			
Χωρητικότητα	(1)	(2)	(3)
Συνδεδεμένη ισχύς / φορτίο (Connected Load)	72 kW	144 kW	179 kW
Κατανάλωση ισχύος/ φορτίου (Consumed load)	55 kW	107 kW	150 kW
Φορτίο γεννήτορα θερμού αέρα			
Συνδεδεμένη ισχύς/φορτίο	46 kW	30 kW	18 kW

Κατανάλωση ισχύος/φορτίου	37 kW	24 kW	15 kW
Γεννήτρια θερμού αέρα	Γεννήτρια θερμού αέρα, με καύση άνθρακα		
Θερμικό Φορτίο (kcal/h)	960.000	1.915.000	2.875.000
Κατανάλωση Καυσίμου (kg/h)	205	409	615
Κόστος αγοράς συστήματος ξήρανσης Στιγματικής Δράσης			
Κόστος αγοράς (δεν περιλαμβάνεται το τμήμα θερμού αέρα)	(1) 128.000 €	(2) 170.000 €	215.000 €
Κόστος συστήματος άμεσου γεννήτορα θερμού αέρα, καύσης άνθρακα			
Κόστος αγοράς γεννήτριας θερμού αέρα, καύσης άνθρακα	(1) 30.770 €	(2) 40.000 €	(3) 60.000 €
Κόστος για επίβλεψη ανέγερσης και έναρξης λειτουργίας (χρόνος 15d)	7.500 €		

4.6.3 Σενάριο 3 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας

Σύμφωνα με το σχεδιασμό στο **Σενάριο 3** για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με την τεχνολογία της ξήρανσης χρησιμοποιείται **Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας**.

Για την ξήρανση των αστικών στερεών αποβλήτων σε ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας απαιτείται τα απόβλητα να έχουν μέγεθος μικρότερο των 40 mm. Η τροφοδοσία μπορεί να είναι έως και 100.000 t/έτος. Σε αντίθεση με τους άλλους τύπους ξηραντήρων, οι οποίοι αναμειγνύουν μηχανικά τα αστικά στερεά απόβλητα, στους ξηραντήρες η μεταφορά των αστικών στερεών αποβλήτων γίνεται διαμέσου του αντιδραστήρα ξήρανσης, στατικά με χρήση μεταφορικής ταινίας, σε περίπου 10-20 min. Η θερμοκρασία εισόδου του αέρα είναι μεταξύ 80 - 120 °C.



Σχήμα 4-3: Διάγραμμα Ξήρανσης με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας
(Πηγή: Haarslev)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του προτεινόμενου σε αυτό το σενάριο ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας, για τροφοδοσία 300.000 kg/εβδομάδα, 40.000 kg/ημέρα και 20.000 kg/ημέρα αντίστοιχα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-10. Επίσης στον Πίνακα περιλαμβάνεται και το κόστος αγοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της μελέτης είναι:

- Πηγή θερμότητας: ζεστό νερό στους 100 °C (φθηνότερη και πιο απλή λύση)
- Ώρες λειτουργίας ξηραντήρα: 40 hr/εβδομάδα (2100 hr/έτος, με σχεδιασμό ξηραντήρα για λειτουργία έως και 8000 hr/έτος)
- Υλικό τροφοδοσίας: ΑΣΑ μεγέθους μεταξύ 10 - 100 mm (δύναται να απαιτηθεί τεμαχιστής)
- Αέρας: Θερμοκρασία 15 °C, 70 % σχετική υγρασία

Πίνακας 4-10: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας

Ποσότητα επεξεργασίας	300.000 kg/week	40.000 kg/day	20.000kg/day
Δυναμικότητα τροφοδοσίας ξηραντήρα	7.500 kg/h	5.000 kg/h	2.5000 kg/h
Δυναμικότητα εξόδου ξηραντήρα	4.100 kg/h	2.700 kg/h	1.350 kg/h
Υγρασία εισόδου	~52%	~52%	~52%
Υγρασία εξόδου	~12%	~12%	~12%
Εξάτμιση νερού	3400 kg/h	2.300 kg/h	1.150 kg/h
Θερμοκρασία ξήρανσης	~90 °C	~90 °C	~90 °C
Απαιτήση σε θερμική ενέργεια	~4.250 kW (4.750 kW στους 0 °C)	~2.900 kW (3.200 kW στους 0 °C)	~1.450 kW (1.550 kW στους 0 °C)
Ηλεκτρική κατανάλωση	~105 kW	~78 kW	~50 kW
Πραγματική επιφάνεια ξήρανσης	87 m ²	60 m ²	50 m ²
Κόστος αγοράς εξοπλισμού	548.000 € (±10%)	434.000 € (±10%)	315.000 € (±10%)



Σχήμα 4-4: Διάγραμμα Ροής Ξήρανσης με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας
(Πηγή: Stela)

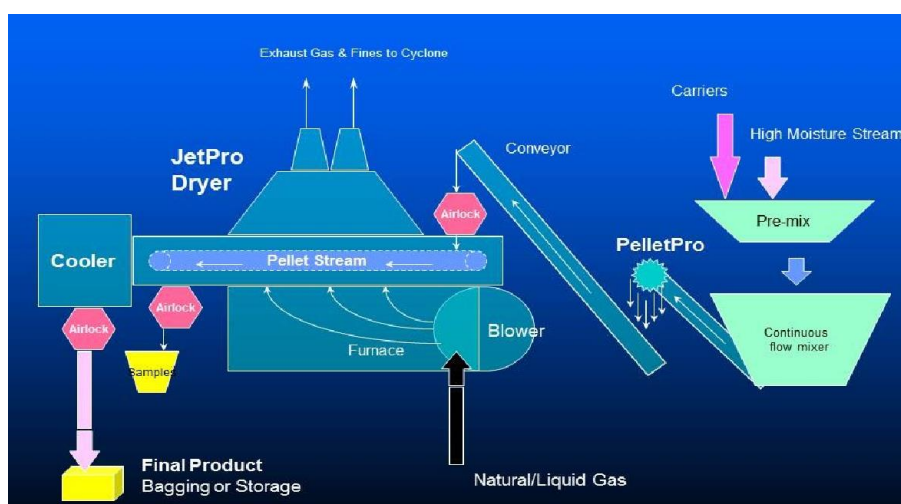
Το προτεινόμενο κόστος του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας (Πίνακας 4-10) περιλαμβάνει τον εξής εξοπλισμό (Σχήμα 4-4): (1) Σύστημα τροφοδοσίας, (2) Στρώμα υλικού, (3) Σύστημα εξόδου, (4) Συσκευή ανάμιξης, (5) Ανεμιστήρα καθαρισμού μεταφορικής ταινίας, (6) Σύστημα καθαρισμού μεταφορικής ταινίας (ξηρός καθαρισμός), (7) Μεταφορική ταινία, (8) Σύστημα καθαρισμού μεταφορικής ταινίας (υγρός καθαρισμός), (9) Εναλλάκτη θερμότητας, (10) Τροφοδοσία θερμότητας, (11) Είσοδος καθαρού αέρα, (12) Καθαρός αέρας, (13) Αέρας ξήρανσης, (14) Εξαεριστήρας αέριων εκπομπών (απαερίων), (15) Καμινάδες εξόδου αέριων εκπομπών (απαερίων), (16) Ευθυγράμμιση μεταφορικής ταινίας και (17) Πύλη εισόδου προσωπικού.

4.6.4 Σενάριο 4 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης

Σύμφωνα με το σχεδιασμό στο **Σενάριο 4** για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με την τεχνολογία της ξήρανσης χρησιμοποιείται **Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης**.

Στον ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης αναμειγνύεται ξηρό και το προς ξήρανση υλικό έως ότου το μείγμα να έχει την κατάλληλη περιεκτικότητα σε υγρασία (περίπου 35 έως 55%) για την εξώθηση του σε μηχανήμα παραγωγής πέλλετ (ομοιόμορφες μακρόστενες λωρίδες, περίπου 6,5 mm για τα απορρίμματα φαγητού). Στην περίπτωση που η υγρασία του μείγματος είναι < 35 - 55% τότε υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας απόφραξης, ενώ εάν η υγρασία του μείγματος είναι > 35 - 55% τότε υπάρχει κίνδυνος μη συνοχής της δομής του πέλλετ (δηλαδή αυτό θα απλώνεται στον αντιολισθητικό μεταφορέα ή θα πέφτει πάνω στην ρευστοποιημένη κλίνη). Η πηγή θέρμανσης προέρχεται από καύση ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή υγροποιημένο αέριο πετρελαίου).

Στον Πίνακα 4-11 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος αγοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού του ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης.



Σχήμα 4-5: Διάγραμμα Ροής Θερμικής Ξήρανσης Ρευστοποιημένης Κλίνης
(Πηγή: BandTech)

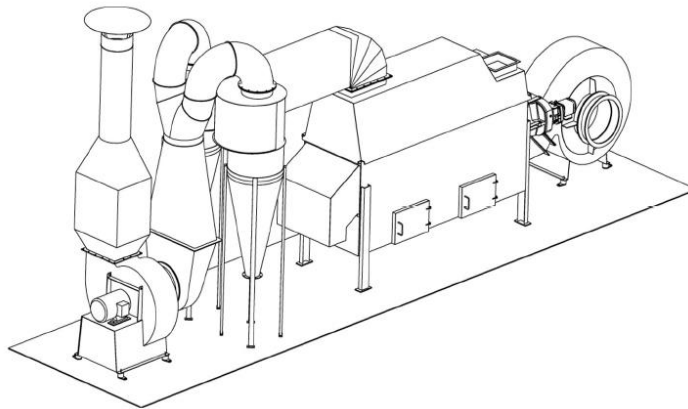
Πίνακας 4-11: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης

Παράμετρος	Ρευστοποιημενη κλίνη
Χωρητικότητα	7,5 t/h
Υγρασία εισόδου	55 %
Υγρασία εξόδου	12 %
Ρυθμός απομάκρυνσης	3.68 t/h

Μέγεθος σωματιδίων	6,5 mm
Χρόνος παραμονής	7-10 min
Θερμοκρασία εισόδου / εξόδου	177 - 204 °C / -
Θερμοκρασία υλικού	75 °C
Θερμική απαίτηση	1.600 kWh/t _{Evap}
Κόστος αγοράς	1.500.000 €

4.6.5 Σενάριο 5 – Ξήρανση με Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης

Σύμφωνα με το σχεδιασμό στο **Σενάριο 5** για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με την τεχνολογία της ξήρανσης χρησιμοποιείται **Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης**.



Εικόνα 4-1: Compact ξηραντήρας για εφαρμογές μικρού και μεσαίου μεγέθους
(Πηγή: Allgaier)

Ο ξηραντήρας λειτουργεί με την αρχή της κινούμενης κλίνης. Περιλαμβάνει ένα σύστημα τροφοδοσίας, δύο ανεμιστήρες, έναν εναλλάκτη θερμότητας (για τη θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα πριν την είσοδο του στο θάλαμο), ένα διάτρητο δίσκο έτσι ώστε να διασκορπίζεται ομοιόμορφα ο θερμός αέρας στο εσωτερικό του ξηραντήρα, έναν αγωγό υπερχειλίσσης για την απομάκρυνση του ξηρού προϊόντος, ένα βραχίονα ανάδευσης εξοπλισμένο κατά μήκος με κατάλληλα στελέχη για ανάδευση, δύο κυκλώνες και ένα φίλτρο αέρος προκειμένου να συγκρατηθούν τα σωματίδια του απορρίμματος μπορεί να συμπαρασύρονται με τον θερμό αέρα. Στον πυθμένα τοποθετείται ένας θάλαμος μέσα στον οποίο εισέρχεται ο θερμός αέρας και στη συνέχεια διανέμεται ομοιόμορφα μέσω ακροφυσίων στο θάλαμό έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση στο εσωτερικό του θαλάμου.

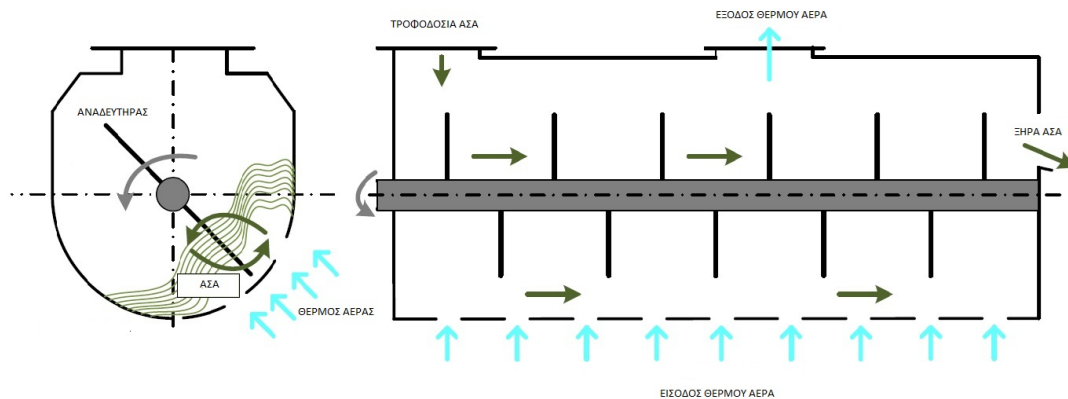


Εικόνα 4-2: Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης
(Πηγή: Allgaier)



Εικόνα 4-3: Βραχίονας Ανάδευσης
(Πηγή: Allgaier)

Η τεχνική που εφαρμόζεται στο ξηραντήρα επιτυγχάνει υψηλό βαθμό μεταφοράς θερμότητας και λόγω της τυρβώδους ροής που επικρατεί στο θάλαμο ο θερμός αέρας ξηραίνει ομοιόμορφα τα απορρίμματα. Πριν από την τροφοδοσία του ξηραντήρα, τα απορρίμματα (βιοαπόβλητα) τεμαχίζονται με λειοτεμαχιστές ή με χρήση οδοντωτού τυμπάνου και στη συνέχεια το τεμαχισμένο μίγμα μεταφέρεται σε θάλαμο κινούμενης κλίνης.



Σχήμα 4-6: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης
(Πηγή: Allgaier)

Το τελικό παραγόμενο προϊόν ενός ξηραντήρα κινούμενης κλίνης με ατμό (κλειστός βρόγχος ξήρανσης χωρίς οσμές) είναι ένα ξηρό κοκκώδες υλικό, το οποίο περιέχει 12% υγρασία. Οι απαιτήσεις σε ενέργεια για την λειτουργία του ξηραντήρα κινούμενης κλίνης ανέρχονται σε περίπου 90 kWh ανά κύκλο λειτουργίας. Ο παρακάτω Πίνακας 4-12 είναι ο ίδιος με τον Πίνακα 3-7, με την προσθήκη του κόστους αγοράς.

Πίνακας 4-12: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης

Παράμετρος	Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης
Ονομαστικό πλάτος	1,5 m
Ονομαστικό μήκος	8 m
Μέγεθος σωματιδίων	<10 cm
Χωρητικότητα	2.400 kg/h
Θερμοκρασία εισόδου / εξόδου αέρα	140 °C / 59 °C
Αρχική υγρασία	50%
Τελική υγρασία	20%
Ρυθμός εξάτμισης νερού	900 kg/h
Απαέρια	32.000 m ³ /h
Ενέργεια θέρμανσης	1,154 kW
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	90 kWh
Κόστος αγοράς (περιλαμβάνει: ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης, Δύο ανεμιστήρες για τη μεταφορά του αερίου επεξεργασίας, ένα εναλλάκτη θερμότητας, δύο κυκλώνες και ένα φίλτρο για τα απαέρια, μία μονάδα ελέγχου)	600.000 €
Κόστος αγοράς χωρίς φίλτρο απαερίων	500.000 €

4.7 Συγκεντρωτικά Στοιχεία Εναλλακτικών Σεναρίων

Στην παρούσα μελέτη σχεδιαστικά και αξιολογήθηκαν πέντε (5) Εναλλακτικά Σενάρια για την ολοκληρωμένη διαχείριση των βιοαποβλήτων ενός δήμου. Σε όλα τα σενάρια εφαρμόζεται η τεχνολογία της ξήρανσης με διαφορετικό τύπο ξηραντήρα για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων.

Πιο συγκεκριμένα στο Σενάριο 1 η ξήρανση των βιοαποβλήτων πραγματοποιείται με Περιτροφικό Ξηραντήρα, στο Σενάριο 2 η ξήρανση των βιοαποβλήτων πραγματοποιείται με Ξηραντήρα Στιγμαίας Δράσης, στο Σενάριο 3 η ξήρανση των βιοαποβλήτων πραγματοποιείται με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας, στο Σενάριο 4 η ξήρανση των βιοαποβλήτων πραγματοποιείται με Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης και στο Σενάριο 5 η ξήρανση των βιοαποβλήτων πραγματοποιείται με Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης. Στον Πίνακα 4-8, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των ξηραντήρων που προτάθηκαν για την ξήρανση στα εναλλακτικά σενάρια καθώς και το κόστος αγοράς τους.

Επισημαίνεται ότι κατά το σχεδιασμό των σεναρίων ελήφθησαν υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ξηραντήρων, η δυνατότητα των ξηραντήρων να επεξεργαστούν αστικά στερεά απόβλητα καθώς και το κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού. Για παραδειγμα οι ξηραντήρες σήραγγας και φρεατιού είναι κατάλληλοι για την ξήρανση των αστικών απορριμμάτων, αλλά αποκλείστηκαν λόγω έλλειψης βασικών τεχνικών χαρακτηριστικών και τιμών κόστους αγοράς.

Πίνακας 4-13: Τεχνικά Χαρακτηριστικά & Κόστος Ξηραντήρων Σεναρίων

	Εναλλακτικό Σενάριο 1	Εναλλακτικό Σενάριο 2	Εναλλακτικό Σενάριο 3	Εναλλακτικό Σενάριο 4	Εναλλακτικό ό Σενάριο 5
Ξηραντήρας	Περιστροφικός Ξηραντήρας	Ξηραντήρας Στιγμαίας Δράσης	Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας	Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης	Ξηραντήρας Κυλιόμενη Κλίνης
Παράμετρος					
Τροφοδοσία (t/hr)	7	7,5	7,5	7,5	2,4
Ρυθμός Εξάτμισης (t/hr)	4,7	3,67	3,4	3,68	0,9
Ρυθμός Ξηρού Υλικού (t/h)	2,3	3,83	4,1	3,82	1.5
Θερμοκρασία Εισόδου Αέρα (°C)	350	400	90	190	140
Θερμοκρασία Εξόδου Αέρα (°C)	105	100	65	-	59
Υγρασία Εισόδου (%)	70	45	52	55	50
Απομάκρυνση Υγρασίας (%)	60	33	33	33	30
Υγρασία Εξόδου (%)	10	12	12	12	20
Μέγεθος Τροφοδοσίας (mm)	60	-	55	6,5	100
Εύρος Μεγέθους Σωματιδίων (mm)	25 - 125	0,5 - 50	10 - 100	0,1 - 10 mm	≤100
Θερμική Απαιτήση (kWh/t _{Evap})	850	911	1.250	1.600	1.282
Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (kWh/t _{Evap})	60	45	30,9	30,6	100
Χρόνος Παραμονής (min)	20	0,33	15	7-10	35
Κόστος Αγοράς Εξοπλισμού	215.000 €	215.000 €	548.000 €	1.500.000 €	600.000 €

Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 4-13 και από τη σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των επιλεγόμενων για τα εναλλακτικά σενάρια ξηραντήρων προκύπτουν τα εξής:

- Η δυναμικότητα τροφοδοσίας του ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης (Σενάριο 5) είναι κατά πολύ μικρότερη (2,5 t/hr) σε σχέση με την δυναμικότητα τροφοδοσίας των ξηραντήρων των άλλων σεναρίων [τροφοδοσία Περιστροφικού Ξηραντήρα, 7 t/hr (Σενάριο 1) και τροφοδοσία ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης, Μεταφορικής Ταινίας και Ρευστοποιημένης Κλίνης 7,5 t/hr (Σενάρια 2, 3 και 4 αντίστοιχα)], όμως σύμφωνα με τη λειτουργία του σε αντίθεση με τους ξηραντήρες των άλλων σεναρίων ο ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης του Σεναρίου 5 δύναται να λειτουργεί συνεχώς.
- Ο ρυθμός παραγωγής ξηρού προϊόντος είναι μικρός, ανέρχεται σε 1,5 t/hr, στο ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης (Σενάριο 5), ενώ ο μεγαλύτερος ρυθμός παραγωγής ξηρού προϊόντος παρατηρείται στον ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας, ανέρχεται σε 4,1 t/hr (Σενάριο 3).
- Επιπλέον παρατηρείται ότι με χρήση του Περιστροφικού Ξηραντήρα, 7 t/hr (Σενάριο 1) επιτυγχάνεται μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης υγρασίας από το προς ξήρανση υλικό, περίπου 60%, σε σχέση με την απόδοση των ξηραντήρων των άλλων εναλλακτικών σεναρίων.
- Το ποσοστό υγρασίας στο τελικό ξηραμένο προϊόν ανέρχεται σε 10 – 12 % στα Σενάρια 1, 2, 3 και 4, ενώ στο Σενάριο 5 (χρήση ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης) το ποσοστό υγρασίας στο τελικό ξηραμένο προϊόν ανέρχεται σε 20 %.
- Τέλος ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής της λειτουργίας του ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης (Σενάριο 5) είναι κατά πολύ μεγαλύτερος, 35 min, σε σχέση με τους χρόνους παραμονής της λειτουργίας των άλλων ξηραντήρων. Ο μικρότερος χρόνος παραμονής παρατηρείται στην χρήση του ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης (Σενάριο 2), περίπου 0,33 min.

5 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής μελέτης των ολοκληρωμένων εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης βιοαποβλήτων. Κατά την οικονομική εκτίμηση του κάθε σεναρίου λαμβάνεται υπόψη το κόστος αγοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού (κόστος επένδυσης) καθώς και το ετήσιο ηλεκτρικό κόστος λειτουργίας και οι ετήσιες θερμικές απαιτήσεις κάθε σεναρίου.

5.1 Συλλογή και Μεταφορά Βιοαποβλήτων

Τα διαλεγμένα βιοαπόβλητα, μεταφέρονται σε χώρο εντός της έκτασης του δήμου και επεξεργάζονται με τη μέθοδο της ξήρανσης, πριν τη μεταφορά τους στο χώρο τελικής διάθεσης.

Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων εντός του δήμου ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Λαμβάνοντας υπόψη ότι χρησιμοποιούνται απορριμματοφόρα τύπου πρέσσας, δυναμικότητας 11,5 - 12 t έκαστο, με βαθμό συμπίεσης 2 και πληρότητα 0,8 ανά δρομολόγιο, προκειμένου να συλλεχθεί η ποσότητα των 15.600 t/year ήτοι 42,74 t/day βιοαποβλήτων απαιτούνται περίπου 5 δρομολόγια ημερησίως.

Θεωρώντας ότι κάθε απορριμματοφόρο πραγματοποιεί δύο (2) δρομολόγια ημερησίως, υπολογίστηκε ότι χρειάζονται περίπου τρία (3) απορριμματοφόρα ημερησίως για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των παραγόμενων στο δήμο βιοαποβλήτων.

Επιπλέον θεωρώντας ότι σε εβδομαδιαία βάση η αποκομιδή των βιοαποβλήτων θα γίνεται 2 φορές προκύπτει ότι οι απαιτήσεις για την αποκομιδή των βιοαποβλήτων σε εβδομαδιαία βάση ανέρχονται σε εννέα (9) απορριμματοφόρα ανά ημέρα αποκομιδής.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την αποκομιδή σε κάθε απορριμματοφόρο απασχολούνται τρεις υπάλληλοι (ένας οδηγός και δύο εργάτες καθαριότητας) προκύπτει ότι για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των βιοαποβλήτων απαιτούνται συνολικά εννέα (9) εργαζόμενοι.

Θεωρείται ότι η χιλιομετρική απόσταση από το σημείο συλλογής έως το χώρο επεξεργασίας εντός του δήμου (greenpoint) ισούται με 15 km.

Θεωρώντας ότι το κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων ανά χιλιόμετρο ισούται με 5€ και με βάση τα ανωτέρω υπολογίζεται ότι το συνολικό κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων από τους κάδους του δήμου έως χώρο επεξεργασίας το ισούται με 139.624 €.

Δηλαδή: (9 απορριμματοφόρα) x (4 φορές/week) x (52 weeks/year) x (15 km/διαδρομή) x (5€/ km) = 139.624 € ετησίως.

Θεωρώντας ότι το κόστος του κάθε εργαζομένου ανέρχεται σε 18.000 € ετησίως προκύπτει ότι το ετήσιο κόστος του προσωπικού που απασχολείται στην αποκομιδή των βιοαποβλήτων ανέρχεται σε:

9 άτομα x 18.000 €/έτος = 162.000 € ετησίως.

Για την λειτουργία του χώρου επεξεργασίας απαιτούνται δύο εργαζόμενοι με συνολικό ετήσιο κόστος 36.000 €.

Τα παραπάνω κόστη, θεωρούνται ως ετήσια πάγια κόστη και στα πέντε (5) εναλλακτικά σενάρια και το άθροισμά τους ισούται με 337.624 €. Συνεπώς το ετήσιο κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων εντός δήμου ανέρχεται σε 337.624 €.

5.2 Εναλλακτικό Σενάριο 1 - Ξήρανση με Περιτροφικό Ξηραντήριο

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Εναλλακτικό Σενάριο 1 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος ξήρανσης, περιστροφικού ξηραντήρα και το λειτουργικό κόστος του ξηραντήρα (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα:

- Το κόστος αγοράς του περιστροφικού ξηραντήρα ανέρχεται σε περίπου 215.000 €, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής ξηραντήρων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς δηλαδή σε περίπου 25.000 €.
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς δηλαδή σε 12.500 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική απαίτηση για τα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού ανέρχεται στα 60 kWh/t_{Evap}, οπότε η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανέρχεται σε 586.560 kWh και το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (0,125 €/kWh) ανέρχεται σε 73.320 €.
- Επιπλέον στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία του, που εξαρτάται από τις θερμικές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του. Ειδικότερα για τις θερμικές απαιτήσεις του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κ.α. με συνέπεια το λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης ανάλογα το καύσιμο που θα επιλεγεί, αυξάνεται και το κόστος αγοράς του εξοπλισμού. Η ετήσια θερμική απαίτηση ανέρχεται σε 8.905.936 kWh.

Τέλος η εκτίμηση του κόστους του Εναλλακτικού Σεναρίου 1 (Ξήρανση με χρήση περιστροφικού ξηραντήρα) παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 1

	Σενάριο 1
Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/year)	15.600
Ημερήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/day)	42,74
Ετήσιο κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου (€)	139.624
Ετήσιο κόστος προσωπικού (9 άτομα) αποκομιδής αποβλήτων, εντός δήμου (€)	162.000
Ετήσιο κόστος προσωπικού (2 άτομα) χώρου επεξεργασίας (€)	36.000
Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/year)	586.560
Κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (kWh/year)	73.320
Ετήσια θερμική απαίτηση (kWh/year)	8.905.936
Ετήσιο κόστος ασφάλισης (€)	12.500
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	25.000
Ετήσιο πάγιο συνολικό κόστος (χωρίς καύσιμο) (€)	448.444

5.3 Εναλλακτικό Σενάριο 2 - Ξήρανση με Ξηραντήρα Στιγμαιαίας Δράσης

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Εναλλακτικό Σενάριο 2 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος ξήρανσης, ξηραντήρας στιγμαιαίας δράσης και το λειτουργικό κόστος του ξηραντήρα (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα:

- Το κόστος αγοράς του ξηραντήρα στιγμαιαίας δράσης ανέρχεται σε περίπου 215.000 €, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής ξηραντήρων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς δηλαδή σε περίπου 25.000 €.
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς δηλαδή σε 12.500 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική απαίτηση για τα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού ανέρχεται στα 45 kWh/t_{Evap}, οπότε η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανέρχεται σε 358.488 kWh και το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (0,125 €/kWh) ανέρχεται σε 44.811 €.
- Επιπλέον στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία του, που εξαρτάται από τις θερμικές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του. Ειδικότερα για τις θερμικές απαιτήσεις του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο, φυσικό αέριο, και άλλα με συνέπεια το λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης ανάλογα το καύσιμο που θα επιλεγεί, αυξάνεται και το κόστος αγοράς του εξοπλισμού. Η ετήσια θερμική απαίτηση ανέρχεται σε 6.771.440 kWh.

Τέλος η εκτίμηση του κόστους του Εναλλακτικού Σεναρίου 2 (Ξήρανση με χρήση ξηραντήρα στιγμαιαίας δράσης) παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 5-2

Πίνακας 5-2: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 2

	Σενάριο 2
Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/year)	15.600
Ημερήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/day)	42,74
Ετήσιο κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου (€)	139.624
Ετήσιο κόστος προσωπικού (9 άτομα) αποκομιδής αποβλήτων, εντός δήμου (€)	162.000
Ετήσιο κόστος προσωπικού (2 άτομα) χώρου επεξεργασίας (€)	36.000
Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/year)	358.488
Κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (kWh/year)	44.811
Ετήσια θερμική απαίτηση (kWh/year)	6.771.440
Ετήσιο κόστος ασφάλισης (€)	12.500
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	25.000
Ετήσιο πάγιο συνολικό κόστος (χωρίς καύσιμο) (€)	419.935

5.4 Εναλλακτικό Σενάριο 3- Ξήρανση με Ξηραντήρα Μεταφορικής Ταινίας

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Εναλλακτικό Σενάριο 3 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος ξήρανσης, ξηραντήρας μεταφορικής ταινίας και το λειτουργικό κόστος του ξηραντήρα (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα:

- Το κόστος αγοράς του ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας ανέρχεται σε περίπου 548.000 €, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής ξηραντήρων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς δηλαδή σε περίπου 54.800 €.
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς δηλαδή σε 27.400 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική απαίτηση για τα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού ανέρχεται στα 30,9 kWh/t_{Evap}, οπότε η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανέρχεται σε 218.525 kWh και το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (0,125 €/kWh) ανέρχεται σε 27.316 €.
- Επιπλέον στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία του, που εξαρτάται από τις θερμικές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του. Ειδικότερα για τις θερμικές απαιτήσεις του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο, φυσικό αέριο, και άλλα με συνέπεια το

λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης ανάλογα το καύσιμο που θα επιλεγεί, αυξάνεται και το κόστος αγοράς του εξοπλισμού. Η ετήσια θερμική απαίτηση ανέρχεται σε 8.884.000 kWh.

Η εκτίμηση του κόστους του Εναλλακτικού Σεναρίου 3 (Ξήρανση με χρήση ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας) παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 5-3.

Πίνακας 5-3: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 3

	Σενάριο 3
Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/year)	15.600
Ημερήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/day)	42,74
Ετήσιο κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου	139.624
Ετήσιο κόστος προσωπικού (9 άτομα) αποκομιδής αποβλήτων, εντός δήμου (€)	162.000
Ετήσιο κόστος προσωπικού (2 άτομα) χώρου επεξεργασίας	36.000
Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/year)	218.525
Κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (kWh/year)	27.316
Ετήσια θερμική απαίτηση (kWh/year)	8.884.000
Ετήσιο κόστος ασφάλισης (€)	27.400
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	54.800
Ετήσιο πάγιο συνολικό κόστος (χωρίς καύσιμο) (€)	447.140

5.5 Εναλλακτικό Σενάριο 4- Ξήρανση με Ξηραντήρα Ρευστοποιημένης Κλίνης

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Εναλλακτικό Σενάριο 4 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος ξήρανσης, ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης και το λειτουργικό κόστος του ξηραντήρα (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα:

- Το κόστος αγοράς του ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης ανέρχεται σε περίπου 1.500.000 €, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής ξηραντήρων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς δηλαδή σε περίπου 150.000 €.
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς δηλαδή σε 75.000 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική απαίτηση για τα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού ανέρχεται στα 30.6

kWh/t_{Evap}, οπότε η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανέρχεται σε 234.225 kWh και το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (0,125 €/kWh) ανέρχεται σε 29.303 €.

- Επιπλέον στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία του, που εξαρτάται από τις θερμικές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του. Ειδικότερα για τις θερμικές απαιτήσεις του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο, φυσικό αέριο, και άλλα με συνέπεια το λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης ανάλογα το καύσιμο που θα επιλεγεί, αυξάνεται και το κόστος αγοράς του εξοπλισμού. Η ετήσια θερμική απαίτηση ανέρχεται σε 12.247.040 kWh.

Η εκτίμηση του κόστους του Εναλλακτικού Σεναρίου 4 (Ξήρανση με χρήση ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης) παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 5-4.

Πίνακας 5-4: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 4

	Σενάριο 4
Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/year)	15.600
Ημερήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/day)	42,74
Ετήσιο κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου	139.624
Ετήσιο κόστος προσωπικού (9 άτομα) αποκομιδής αποβλήτων, εντός δήμου (€)	162.000
Ετήσιο κόστος προσωπικού (2 άτομα) χώρου επεξεργασίας	36.000
Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/year)	234.225
Κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (kWh/year)	29.303
Ετήσια θερμική απαίτηση (kWh/year)	12.247.040
Ετήσιο κόστος ασφάλισης (€)	75.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	150.000
Ετήσιο πάγιο συνολικό κόστος (χωρίς καύσιμο) (€)	591.927

5.6 Εναλλακτικό Σενάριο 5- Ξήρανση με Ξηραντήρα Κυλιόμενης Κλίνης

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Εναλλακτικό Σενάριο 5 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος ξήρανσης, ξηραντήρας κυλιόμενης κλίνης και το λειτουργικό κόστος του ξηραντήρα (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα:

- Το κόστος αγοράς του ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης ανέρχεται σε περίπου 600.000 €, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής ξηραντήρων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς δηλαδή σε περίπου 60.000 €.
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς δηλαδή σε 30.000 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική απαίτηση για τα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού ανέρχεται στα 100 kWh/t_{Evap}, οπότε η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανέρχεται σε 788.400 kWh και το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (0,125 €/kWh) ανέρχεται σε 98.550 €.
- Επιπλέον στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία του, που εξαρτάται από τις θερμικές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του. Ειδικότερα για τις θερμικές απαιτήσεις του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο, φυσικό αέριο, και άλλα με συνέπεια το λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης ανάλογα το καύσιμο που θα επιλεγεί, αυξάνεται και το κόστος αγοράς του εξοπλισμού. Η ετήσια θερμική απαίτηση ανέρχεται σε 10.107.288 kWh.

Η εκτίμηση του κόστους του Εναλλακτικού Σεναρίου 5 (Ξήρανση με χρήση ξηραντήρα κυλιόμενης κλίνης) παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 5-5.

Πίνακας 5-5: Εκτίμηση Κόστους, Εναλλακτικό Σενάριο 5

	Σενάριο 5
Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/year)	15.600
Ημερήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (t/day)	42,74
Ετήσιο κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου	139.624
Ετήσιο κόστος προσωπικού (9 άτομα) αποκομιδής αποβλήτων, εντός δήμου (€)	162.000
Ετήσιο κόστος προσωπικού (2 άτομα) χώρου επεξεργασίας	36.000
Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση (kWh/year)	788.400
Κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (kWh/year)	98.550
Ετήσια θερμική απαίτηση (kWh/year)	10.107.288
Ετήσιο κόστος ασφάλισης (€)	30.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	60.000
Ετήσιο πάγιο συνολικό κόστος (χωρίς καύσιμο) (€)	526.174

5.7 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Εναλλακτικών Σεναρίων

Στον Πίνακα 5-6 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των πέντε (5) εναλλακτικών σεναρίων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα μελέτη. Πιο συγκεκριμένα στο Σενάριο 1 χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση των βιοαποβλήτων περιστροφικός ξηραντήρας, στο Σενάριο 2 χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση των βιοαποβλήτων ξηραντήρας στιγμιαίας δράσης, στο Σενάριο 3 χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση των βιοαποβλήτων ξηραντήρας μεταφορικής ταινίας, στο Σενάριο 4 χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση των βιοαποβλήτων ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης και στο Σενάριο 5 χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση των βιοαποβλήτων ξηραντήρας κυλιόμενης κλίνης.

Πίνακας 5-6: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Εναλλακτικών Σεναρίων

	Εναλλακτικό Σενάριο 1	Εναλλακτικό Σενάριο 2	Εναλλακτικό Σενάριο 3	Εναλλακτικό Σενάριο 4	Εναλλακτικό Σενάριο 5
Ξηραντήρας	Περιστροφικός Ξηραντήρας	Ξηραντήρας Στιγμιαίας Δράσης	Ξηραντήρας Μεταφορικής Ταινίας	Ξηραντήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης	Ξηραντήρας Κυλιόμενης Κλίνης
Παράμετρος					
Μέγεθος Τροφοδοσίας (mm)	60	-	55	6,5	100
Κόστος Αγοράς Ξηραντήρα (€)	215.000	215.000	548.000	1.500.000	600.000
Πάγιο Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας	337.624	337.624	337.624	337.624	337.624
Ετήσια Ηλεκτρική Κατανάλωση (kWh/year)	586.560	358.488	218.525	234.225	788.400
Κόστος Ηλεκτρικής Κατανάλωσης (€)	73.320	44.811	27.316	29.303	98.550
Ετήσια Θερμική Απαιτηση (kWh/year)	8.905.936	6.771.440	8.884.000	12.247.040	10.107.288
Ετήσιο Κόστος Ασφάλισης (€)	12.500	12.500	27.400	75.000	30.000
Ετήσιο Κόστος Συντήρησης (€)	25.000	25.000	54.800	150.000	60.000
Ετήσιο Πάγιο Συνολικό Κόστος (χωρίς καύσιμο) (€)	448.444	419.935	447.140	591.927	526.174

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πέντε εναλλακτικών σεναρίων που ερευνήθηκαν στην παρούσα μελέτη προκύπτει ότι τα οικονομικότερα εναλλακτικά σενάρια ως προς το κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού για επεξεργασία των βιοαποβλήτων με ξήρανση είναι τα Σενάρια 1 (εφαρμόζεται ξήρανση με περιστροφικό ξηραντήρα) και 2 (εφαρμόζεται ξήρανση με ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης), στα οποία το κόστος αγοράς του ξηραντήρα (βασικός εξοπλισμός) ανέρχεται σε 215.000 €. Από τη σύγκριση αυτών των δύο εναλλακτικών σεναρίων προκύπτει ότι το οικονομικότερο σενάριο είναι το εναλλακτικό Σενάριο 2 (εφαρμόζεται ξήρανση με ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης) διότι το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι μικρότερο. Πιο συγκεκριμένα οι απαιτήσεις για τη λειτουργία του Σεναρίου 2 σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια είναι μικρότερες. Επιπλέον θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τη λειτουργία, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του Σεναρίου 2 είναι μικρό σε σχέση με τη λειτουργία του Σεναρίου 1. Τέλος παρατηρείται ότι το Σενάριο 2 (εφαρμόζεται ξήρανση με ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης) είναι το οικονομικότερο και το φιλικότερο σενάριο σε σχέση με τα πέντε εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα μελέτη.

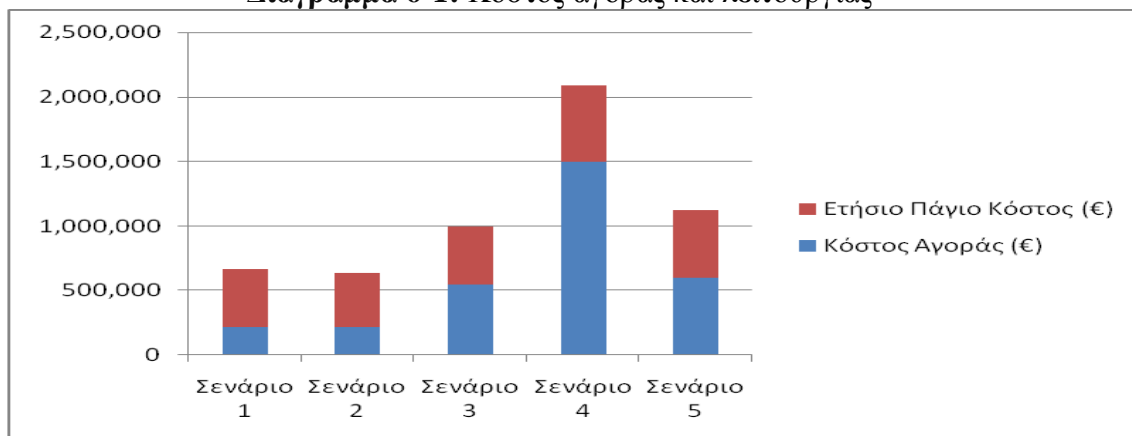
Επιπλέον θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά ο ξηραντήρας στιγμιαίας δράσης, ο οποίος εφαρμόζεται στο Σενάριο 2, έχει ικανοποιητικό ρυθμό εξάτμισης 3,67 t/hr σε σχέση με το ρυθμό εξάτμισης των ξηραντήρων που εφαρμόζονται στα άλλα προτεινόμενα εναλλακτικά σενάρια καθώς και ο ρυθμός τροφοδοσίας του ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης είναι ικανοποιητικός ανέρχεται σε 7,5 t/hr.

Οι απαιτήσεις του Σενάριο 3, στο οποίο εφαρμόζεται ξήρανση με ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας, σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερες σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για να λειτουργήσουν οι ξηραντήρες των σεναρίων 1, 2, 4 και 5, όμως οι απαιτήσεις της λειτουργίας του Σενάριο 3 σε θερμική ενέργεια είναι υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις των σεναρίων 1 και 2. Δηλαδή οι απαιτήσεις σε ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ) του Σεναρίου 3 είναι υψηλότερες για τη λειτουργία του ξηραντήρα. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υψηλές απαιτήσεις του ξηραντήρα σε θερμική ενέργεια

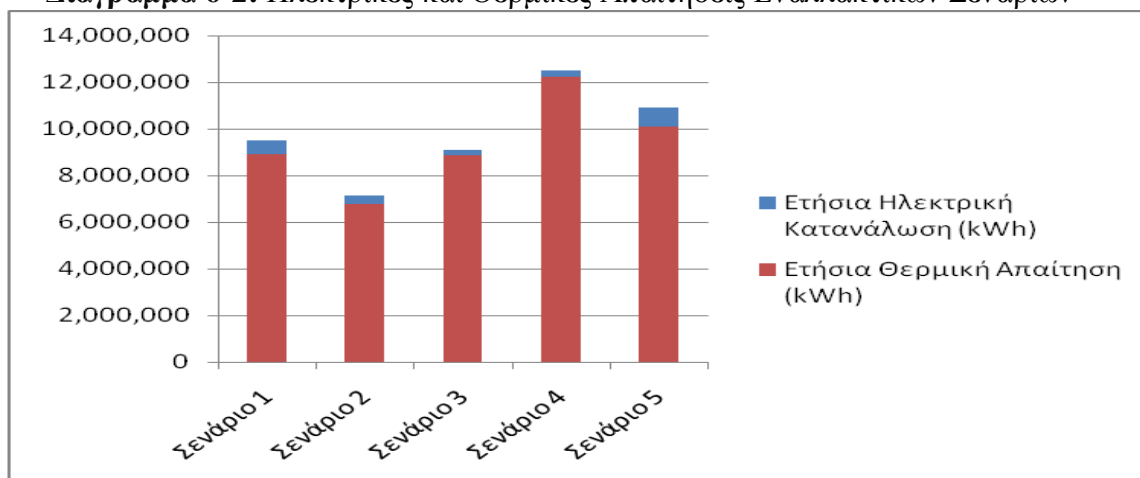
οδηγούν σε δημιουργία υψηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τη λειτουργία του. Επιπλέον το κόστος αγοράς του ξηραντήρα του Σεναρίου 3 είναι διπλάσιο σε σχέση με το κόστος αγοράς του ξηραντήρα του Σεναρίου 1 (περιστροφικός ξηραντήρας).

Το κόστος του βασικού εξοπλισμού των Σεναρίων 4 και 5 για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων, στα οποία χρησιμοποιούνται ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης και ξηραντήρας κυλιόμενης κλίνης αντίστοιχα, είναι υψηλό σε σχέση με το κόστος του βασικού εξοπλισμού των άλλων Σεναρίων. Επιπλέον οι απαιτήσεις του Σεναρίου 5 σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμική ενέργεια είναι υψηλές και οι απαιτήσεις του Σεναρίου 4 σε θερμική ενέργεια είναι πολύ υψηλές σε σχέση με τις απαιτήσεις των άλλων Σεναρίων.

Διάγραμμα 6-1: Κόστος αγοράς και λειτουργίας



Διάγραμμα 6-2: Ηλεκτρικές και Θερμικές Απαιτήσεις Εναλλακτικών Σεναρίων



Σύμφωνα με το Διάγραμμα 6-2 οι ηλεκτρικές και θερμικές απαιτήσεις για τη λειτουργία του Σεναρίου 2 (ξήρανση με ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης) είναι μικρότερες σε σχέση με τα άλλα εναλλακτικά σενάρια. Επιπλέον το Σενάριο 4 (ξήρανση με ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης) έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

Τέλος επισημαίνεται ότι σε όλα τα εναλλακτικά σενάρια απαιτείται η χρήση τεμαχιστή, διότι σύμφωνα με τις προδιαγραφές της τροφοδοσίας όλων των ξηραντήρων που εφαρμόζονται στα σενάρια το μέγεθος των σωματιδίων που δύναται να τροφοδοτηθούν οι ξηραντήρες είναι καθορισμένο (εύρος 60 - 100mm). Σημειώνεται ότι ο ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης (Σενάριο 4) περιλαμβάνει σύστημα πελλετοποίησης, του προς ξήρανση υλικού, διότι εκτός από τη προδιαγραφή της τροφοδοσίας (μέγεθος τροφοδοσίας 6,5 mm) απαιτείται και ομοιόμορφο σχήμα του προς ξήρανση υλικού για να επιτευχθεί ομοιόμορφη ξήρανση.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη τεchnοοικονομική εκτίμηση των πέντε ολοκληρωμένων εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης βιοαποβλήτων παρουσιάζονται συνοπτικά στις ενότητες που ακολουθούν:

- Με την αποκεντρωμένη διαχείριση των διαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων επιτυγχάνεται η ορθολογική διαχείριση τους, με μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα μειώνονται οι επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον.
- Το κόστος μεταφοράς των βιοαποβλήτων από το δήμο έως το χώρο τελικής διάθεσης μειώνεται δραματικά λόγω της επεξεργασίας με τη τεχνολογία της ξήρανσης που υπόκεινται τα βιοαπόβλητα.
- Με την εφαρμογή της τεχνολογίας της ξήρανσης ως μέθοδο επεξεργασίας των βιοαποβλήτων επιτυγχάνεται η μείωση της μάζας τους (έως και 70%) και δύναται να επιτευχθεί ανάκτηση και αξιοποίηση της θερμογόνου ενέργειας των αποβλήτων. Δηλαδή το παραγόμενο προϊόν (ξηραμένο υλικό) δύναται να

αξιοποιηθεί είτε ως καύσιμο ανάλογα με τη θερμογόνο δύναμη, είτε ως εδαφοβελτιωτικό είτε να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.

- Με τη θερμική ξήρανση επιτυγχάνεται σταθεροποίηση του οργανικού κλάσματος και ξήρανση των απορριμμάτων έως και 90%. Το παραγόμενο προϊόν είναι κυρίως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό υψηλής αγοραστικής αξίας.
- Το Σενάριο 2 στο οποίο εφαρμόζεται η τεχνολογία της ξήρανσης με χρήση ξηραντήρα στιγμιαίας δράσης αναδεικνύεται το πιο οικονομικό από τα πέντε ολοκληρωμένα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων, ανεξαρτήτως της καύσιμης ύλης (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο) που χρησιμοποιείται για τις θερμικές ανάγκες του. Επιπλέον το Σενάριο 2 είναι το φιλικότερο προς το περιβάλλον διότι η λειτουργία του συμβάλλει στη δημιουργία του μικρότερου περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
- Το Σενάριο 4 (εφαρμόζεται ξήρανση με χρήση ρευστοποιημένης κλίνης) είναι πιο δαπανηρό από τα πέντε ολοκληρωμένα εναλλακτικά σενάρια.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Acmefil Engineering systems pvt. <http://www.acmefil.com/index.html>.
2. Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E., & Genevini, P. (2002). *The influence of biomass temperature on biostabilization–biodrying of municipal solid waste*. Bioresource Technology.
3. Agregatas. www.drumdryers.eu.
4. Allgaier. <https://www.allgaier.de/en>.
5. Altentech. <http://www.altentech.com/why-our-biomass-dryer-is-different.html>.
6. Amos, W. A. (1998). *Report on Biomass Drying Technology*. NREL - National Renewable Energy Laboratory.
7. Andritz. <https://www.andritz.com/products-and-services/pf-detail.htm?productid=15137>.
8. Andritz. <https://www.andritz.com/products-and-services/pf-detail.htm?productid=28377>.
9. Anhydro. <http://global.anhydro.com/content/us/products/dryers/>.
10. APV. (2000). *APV Dryer Handbook*. APV.
11. BandTech. <http://www.bandttech.com/jet-pro-equipment/jet-prot textureddryingprocess>.
12. Bruks. <http://www.bruks.com/>.
13. Buettner. <http://www.buettner-energy-dryer.com/en/industrial-dryer-systems/>.
14. CalReecycle. <http://www.calreecycle.ca.gov/organics/food/Commercial/Dehydrators.htm>.
15. Canadian Biomass Magazine. <http://www.canadianbiomassmagazine.ca/dryers/drying-technology-2027>.
16. CDS. http://www.cds-group.co.uk/biodri/cds_biodri_products.asp.
17. Chemical Engineering Magazine. <http://www.chemengonline.com/solids-drying-basics-and-applications/?printmode=1>.
18. Choi P. (2014). *Optimum way of Organic Waste's Recycling*. GAIA Corp.

19. Choi P. (2014). *The Optimum way of organic (mainly food & slaughterhouse) waste's recycling*. 2nd International Conference on Sustainable Solid Waste Management.
20. DryWaste. (2011). *Development and demonstration of an innovative household dryer for the treatment of organic waste*. Athens: UEST.
21. Dutch Dryers. <http://www.dutchdryers.nl/>.
22. Earle, R. (2003). *Unit Operations in Food Processing - The web Edition*. <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/about.htm>.
23. Earth Cares Products, Inc. <http://ecpisystems.com/dehydration/>.
24. ECN. <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis#msw>.
25. Eksis. <http://www.dryingsystems.net/>.
26. Encyclopedia of Chemical Engineering Equipment. <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/SeparationsChemical/Dryers/Dryers.html>.
27. Environmental statistics and accounts in Europe. (2010). <http://ec.europa.eu/eurostat>.
28. European Commission. (2010). *Preparatory study on food waste across EU27*. European Commission.
29. Exergy Group. (2014). *Product Catalogue*. Exergy.
30. GEA Barr-Rosin. (2015). *Industrial Drying Brochure*. GEA .
31. General Kinematics. <https://www.generalkinematics.com/product/fluidbed-dryers-municipal-solid-waste-msw-refuse-derived-fuel-rdf/>.
32. Haarslev. *Belt Dryer BD 3000*.
33. Hennessy, K. (2011). *Initiative - Investigating Drying Technologies for Post-Digester Solids*. AURI - Agricultural Utilization Research Institute.
34. Herbst, V., Streff, L., & Humeniuk, A. (2013). *New ways to make MBT sustainable - Case study: Bio-drying for RDF production in Sulaimaniyah, Iraq*. ICP mbH.
35. Hogg, D., Favoino, E., Nielsen, N., Thompson, J., Wood, K., Penschke, A., και συν. (2002). ECONOMIC ANALYSIS OF OPTIONS FOR MANAGING BIODEGRADABLE MUNICIPAL WASTE. *Final Report to the European Commission*. Bristol, United Kingdom.

36. Hoornweg, D., & Bhada - Tata, P. (2012). *What a waste: A global Review of Solidwaste Management*. World Bank Urban Development & Local Government Unit.
37. Iguaz, A., Esnoz, A., Martinez, G., & Virseda, P.
38. Industrial Dryers. <http://www.industrialdryers.com/>.
39. IPS. (1997). *Engineering Standard for Process Design of Dryers*. IPS.
40. Jangam, S., & Mujumdar, A. (2001). *Industrial Drying - Principles and Practice (Lecture Notes)*. Transport Processes Research - Innovation and Sustainability.
41. JESSICA. (2010). *Instruments for solid waste management in Greece*. Euroconsultants, EPTA.
42. Juniper. (2005). *Mechanical-Biological Treatment: A guide for decision makers, Processes, Policies and Markets*. Juniper Consultancy Services.
43. Kirschbaum, H., & Orth, M. (2002). *Trocknungsverfahren zur Vorbehandlung von Restabfällen*. Mull und Abfall.
44. Land, C. v. (2012). *Drying in the Process Industry*. Wiley.
45. Li, C. (2015). *Study on thermal drying efficiency and odor emission characteristics of municipal solid waste (MSW)*. 4th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering.
46. McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2003). *Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής - 6η έκδοση*. Τζιόλα.
47. Metso. (2012). *Thermal waste processing systems*. Metso.
48. Mujumdar, A. S. (2015). *Handbook of Industrial Drying - 4th Edition*. CRC Press.
49. Multivector. <http://www.multivector.no/waste-drying/food-waste/>.
50. Process Heating Magazine. <http://www.process-heating.com/articles/91583-drying-bulk-particulate-effectively>.
51. Qalovis. <http://www.qalovis.com/en/dryer-livestock-owner/>.
52. R., E. (2004). *Unit Operations in Food Processing*. The New Zealand Institute of Food Science & Technology.
53. Ragazzi, M., & Rada, E. C. (2012). *RDF/SRF evolution and MSW bio-drying*. WIT.

54. Ragazzi, M., Rada, E. C., Panaitescu, V., & Apostol, T. (2007). *Municipal solid waste pre-treatment: a comparison between two dewatering options*. WIT Press.
55. Recycling Equipment Canada. <http://recyclingequipmentcanada.com/wp-content/uploads/2016/02/REC-Dryclone-brochure-rev.pdf>.
56. Roebbecke, I. (2016). *Drying processes for municipal solid waste (MSW) as part of the refuse derived fuel (RDF) production - A technology comparison*.
57. Roos, C. J. (2013). *Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power*. U.S Department of Energy.
58. Rosillo - Calle, F., Groot, d. P., Hemstock, S. L., & Woods, J. (2007). *The Biomass Assessment Handbook*. Earthscan.
59. Schu AG. http://schu-ag.ch/index_e.html.
60. Schu, R. (2008). *Low Temperature Drying as Key Technology for Waste Recycling*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste.
61. Schu, R., & Schu, K. (2008). *MBT Concepts for a Sustainable Waste Management*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste.
62. Shachi Engineering PVT. <http://www.shachiengineering.com/>.
63. Skourides, I., Theophilou, C., Loizides, M., Hood, P., & Smith, S. (2006). *Optimisation of advanced technology for production of consistent auxiliary fuels from biodegradable municipal waste for industrial purposes*. Waste 2006 –Sustainable Waste and Resource Management. Stratford-upon-Avon.
64. Stela. http://www.stela.de/en/products/niedertemperatur_bandrockner/for_ssw_ms_w_rdf_drying/.
65. Stronga. <http://www.stronga.co.uk/news/featured/stronga-drying-solid-recovered-fuel-srf-and-refuse-derived-fuel-rdf-from-waste/>.
66. SUWIC, S. U. (2010). *EPSRC Thermal Management of Industrial Processes - A Review of Drying Technologies*. Sheffield: Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC).
67. Swiss Combi. <http://www.swisscombi.ch/en/start-page.html>.
68. Thamer, D., & Doussel, C. (2014). *Treatment of organic waste digestates - A practical case study*. Andritz.

69. Tobin, D. (2009). *Evaluating and selecting class A biosolids heat drying options in the pacific northwest*.
70. United Nations Industrial Development Organization. (2004). *Classification of Dryers*.
http://www.unido.org/fileadmin/import/32148_34ClassificationofDryers.17.pdf.
71. Valta, K., Malamis, D., Sotiropoulos, A., Kosanovic, T., Antonopoulou, G., Alexandropoulou, M., και συν. (2013). *Assessment of the effect of drying temperature and composition on the biochemical methane potential in-house dried household food waste*.
72. Velis, C., Longhurst, P., Drew, G., Smith, R., & Pollard, J. (2009). *Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: a review of process science and engineering*. Bioresources Technology.
73. Voice Engineers Ltd. <http://www.dryersncoolers.com/bio-waste-dryer.html>.
74. Wasantakorn, A. (2004). *The heat and mass transfer coefficient correlation for a msw drying system*.
75. Water Environment Federation & Residuals and Biosolids Committee & Bioenergy Technology Subcommittee & Thermal Drying Technology Team. (2004). *Thermal Drying of Wastewater Solids*. Water Environment Federation Residuals and Biosolids Committee Bioenergy Technology Subcommittee.
76. Weiss, H., Trojosky, M., & Klein, M. (2014). *Drying organic residues in the rolling bed dryer*. ALLGAIER.
77. Zhang, D.-Q., He, P.-J., & Shao, L.-M. (2008). *Bio-drying of Municipal Solid Waste with high water content by aeration procedures regulation and inoculation*. Bioresource Technology.
78. Zhang, R., El-Mashad, H., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., και συν. (2007). *Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion*. Bioresources Technology.
79. Ασημακόπουλος, Δ., Λυγερού, Β., & Αραμπατζής, Γ. (2012). *Μεταφορά θερμότητας και μάζας*. Παπασωτηρίου.
80. ΕΕΔΣΑ. (2006). *Το νομοθετικό πλαίσιο των ΑΣΑ στην Ελλάδα*. www.eedsa.gr.
81. ΕΕΔΣΑ. (2008). *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων: Νομοθεσία και πολιτική, έννοιες που δεν ταυτίζονται πάντοτε*. ΕΕΔΣΑ - Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων.
82. ΕΕΣΔΑ. <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=6>.

83. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ. (n.d).
<http://www.eoan.gr/el/content/22/i-simasia-kai-ta-ofeli-tis-anakuklosis>.
84. ΕΠΕΜ. <http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/Biodrying-00.htm>.
85. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (2010). *Μελέτη χωροθέτησης εργοστασίου επεξεργασίας στερεών αποβλήτων - ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την περιφέρεια Ηπείρου*. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε.
86. Κροκίδα, Μ., & Μιχαηλίδης, Π. (2015). *Σχεδιασμός Φυσικών Διεργασιών*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράματα και Βοηθήματα.
87. Κροκίδα, Μ., Μαρίνος-Κουρή, Δ., & Μαρούλης, Ζ. (2003). *Σχεδιασμός Θερμικών Διεργασιών*. Αθήνα: Ε.Μ.Πολυτεχνείο.
88. Λυμπεράτος, Γ. (2013). *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*. Ε.Μ. Πολυτεχνείο.
89. Λυμπεράτος, Γ., Γρηγοροπούλου, Ε., & Βλυσίδης, Α. (2014). *Περιβαλλοντική Μηχανική Σημειώσεις Παραδόσεων*. Αθήνα.
90. Μαυρόπουλος, Α. (2008). *Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων*. ΕΣΔΑΚ.
91. Μουσιόπουλος, Ν., & Καραγιαννίδης, Α. (2002). *Διαχείριση Απορριμμάτων*. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.
92. Νταρακάς, Ε. (2014, Ιανουαριος Θεσσαλονίκη). ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.
93. Οικονομόπουλος, Α. (2007). *Διαχείριση Οικιακού τύπου απορριμμάτων/Προβλήματα εθνικού σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις*. ΤΥΣ .
94. Ταούκης, Π., & Ωραιούπουλος, Β. (2009). *Επιστήμη και μηχανική διεργασιών τροφίμων*. Αθήνα: Ε.Μ. Πολυτεχνείο.
95. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. (n.d).
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=224&language=el-GR>.