



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ Ι: ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## **Διαχείριση βιοαποβλήτων με την τεχνική της οικιακής ξήρανσης - Μελέτη περίπτωσης του Δήμου Νέας Σμύρνης**

**Διπλωματική εργασία**

**Μπαλασκώνης Αλέξανδρος**

Αθήνα 2016

Υπεύθυνη καθηγήτρια:

Μ. Λοϊζίδου



## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη Καθηγήτρια Κα Λοϊζίδου Μαρία για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ και να ασχοληθώ με ένα τόσο σημαντικό θέμα που επηρεάζει άμεσα την κοινωνία και την καθημερινότητα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα, Μηχανικό Περιβάλλοντος, Δημήτρη Κωνσταντίνο Μαλαμή για την πολύ σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια των πειραμάτων αλλά και τη συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα, Φυσικό, Άγγελο Σωτηρόπουλο, για την άριστη συνεργασία, τις πολύτιμες επιστημονικές του γνώσεις και τη συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτού του έργου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό των εργαστηρίων όπου εργάστηκα τόσο για το φιλικό κλίμα εντός του, όσο και για τη συνεργασία και τη συμπαράστασή τους.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη της διαχείρισης των διατροφικών απορριμμάτων με τη μέθοδο της οικιακής ξήρανσης. Η οικιακή ξήρανση αποτελεί μία καινοτόμο και ελπιδοφόρα τεχνική καθώς επιτυγχάνει σημαντική μείωση της μάζας και του όγκου των οικιακών διατροφικών αποβλήτων μέσω της αφαίρεσης της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας. Τα διατροφικά απορρίμματα εμπεριέχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας η οποία κυμαίνεται μεταξύ 75-95 % κ.β. Είναι λοιπόν φανερό ότι η διαχείρισή τους μέσω της οικιακής ξήρανσης μπορεί να αποφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά οφέλη όπως παρουσιάζεται και στην παρούσα εργασία για την περίπτωση του δήμου Αττικής Νέα Σμύρνη.

Για τους σκοπούς της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το καινοτόμο σύστημα οικιακής ξήρανσης Smart Cara CS10, το οποίο λειτούργησε για χρονική περίοδο 3 μηνών στο εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π.. Για τη διεξαγωγή της πειραματικής μελέτης διαμορφώθηκε κατάλληλο μίγμα διατροφικών απορριμμάτων σταθερής σύστασης το οποίο προέκυψε από παρατηρήσεις των διατροφικών συνηθειών 25 οικιών του δήμου Παπάγου – Χολαργού σε συνδυασμό με στοιχεία από τη WRAP στη διάρκεια πιλοτικής εφαρμογής η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος DRYWASTE.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 3 κύκλοι λειτουργίας της συσκευής ξήρανσης όπου κάθε ένας αντιστοιχούσε στις ποσότητες διατροφικών απορριμμάτων που απερρίπτεντο από μονομελή, διμελή και τριμελή οικογένεια αντίστοιχα. Το μίγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του τελικού ξηρού προϊόντος αλλά και τη σύγκριση της απόδοσης του συγκεκριμένου εμπορικού συστήματος με το εμπορικό σύστημα LOOFEN αλλά και με το σύστημα DRYWASTE το οποίο αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π..

Με τη χρήση του συστήματος Smart Cara η μέση ποσοστιαία μείωση μάζας που επετεύχθη ήταν ίση με 77,79% η οποία οφείλεται στην αφαίρεση της περιεχόμενης υγρασίας. Το ποσοστό αυτό κυμάνθηκε μεταξύ 76,01 – 78,81% το οποίο εξηρτάτο από την ποσότητα του νωπού υλικού που τοποθετείτο σε κάθε κύκλο ξήρανσης. Αντίστοιχα η μέση ποσοστιαία μείωση του όγκου που επετεύχθη βρέθηκε ίση με 83.74% το οποίο κυμάνθηκε μεταξύ 80,95 – 85,26%. Τέλος, η μέση ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής προσδιορίστηκε ίση με 2,08 kWh/kg και η οποία κυμάνθηκε μεταξύ 1,8 – 2,68 kWh/kg.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψε ότι το σύστημα ξήρανσης Smart Cara CS10 είναι αποδοτικό στη διαχείριση των οικιακών διατροφικών αποβλήτων επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση μάζας και όγκου και παράγοντας ένα υλικό το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω. Από την τεχνοοικονομική μελέτη μάλιστα που έγινε για την περίπτωση της εφαρμογής αυτού του συστήματος ξήρανσης στο δήμο Νέας Σμύρνης προέκυψε οικονομικό όφελος της τάξης των 300.684 ευρώ το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν αναλογιστεί κανείς τις περιβαλλοντικές και οικονομικές αλλαγές που είναι αναγκαίες στην Ελλάδα.

Η τεχνική της οικιακής ξήρανσης αν και δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα μπορεί στο μέλλον να αποτελέσει ένα σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης οικιακών αποβλήτων.

## **ABSTRACT**

The main objective of the present thesis is to study the treatment of household food waste with the use of the domestic waste drying method. Domestic waste drying is a new and promising method for the management of household food waste as it can significantly reduce its mass and volume through the reduction of its moisture content. Food waste contains a large amount of moisture, the percentage of which lies between 75 – 95% w/w. Therefore, it is obvious that domestic waste drying can have significant environmental but also financial benefits as shown in the present thesis for the case of the municipality of Attica named Nea Smyrni.

For the purposes of this thesis the drying system that was used was the Smart Cara CS10 which operated for a period of three months at the NTUA laboratories. In order to carry out this experimental study a fixed mix of food waste was used which was the result of the observation of the dietary habits of 25 houses in the municipality of Papagou - Holargos in conjunction with data from WRAP (Wellness Recovery Action Plan) during the European DRYWASTE program.

The drying system was used for three cycles, each with different amounts of food waste that corresponded to the quantities produced by a one-, two- and three-member family, in order to assess the characteristics of the final dry product that was produced by the system and to compare the performance of this drying system with the one of the LOOFEN company but also with the one of the DRYWASTE domestic waste dryer which was developed and built at the Unit of Environmental Science and Technology of the NTUA.

With the use of the Smart Cara dryer the average mass reduction for the three cycles was 77,79% which was the result of the reduction of the moisture content. This percentage varied between 76,01 – 78,82% as different amounts of food waste were treated in each cycle. The average volume reduction reached was 83,74% which varied between 80,95 – 85,26 %. Finally, the average energy consumption of the drying system was 2,08 kWh/kg which varied between 1,8 – 2,68 kWh/kg.

The experimental results showed that the Smart Cara CS10 drying system is efficient in managing household food waste as it significantly reduces its mass and volume and the final dry product can be further exploited. From the techno economic analysis of the use of such a system in the municipality of Nea Smyrni it was shown that the financial benefit was around 300.684 euros which is very important, especially in Greece which is in need of environmental and financial changes.

In conclusion the domestic waste drying method can be a vital part of the management of household food waste in the future, although it hasn't been used so far.

## Περιεχόμενα

1. Θεωρητικό μέρος .....	1
1.1 Εισαγωγή .....	1
1.2 Ορισμός και κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων.....	2
1.3 Στρατηγική διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Ε.Ε.....	5
1.4 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης βιοαποβλήτων σε Ελλάδα και Ε.Ε. ....	6
1.5 Στρατηγική διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Ελλάδα .....	9
1.5.1 Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων.....	9
1.5.2 Γενικοί στόχοι ΕΣΔΑ.....	10
1.5.3 Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης βιοαποβλήτων.....	12
1.5.4 Στόχος και στρατηγική διαχείρισης βιοαποβλήτων.....	14
1.6 Παραγωγή βιοαποβλήτων σε Ελλάδα και ΕΕ.....	16
1.7 Τεχνικές διαχείρισης βιοαποβλήτων .....	23
1.7.1 Διαλογή στην πηγή.....	23
1.7.2 Κομποστοποίηση.....	23
1.7.3 Αναερόβια χώνευση.....	25
1.7.4 Αποτέφρωση – καύση .....	26
1.7.5 Πυρόλυση.....	27
1.7.6 Αεριοποίηση.....	28
1.7.7 Αεριοποίηση/ Υαλοποίηση με την τεχνητή πλάσματος .....	29
1.7.8 Υγειονομική ταφή.....	30
1.7.9 Οικιακή ξήρανση .....	32
2. Πειραματικό μέρος.....	34
2.1 Μεθοδολογία διπλωματικής.....	34
2.2 Περιγραφή συστήματος ξήρανσης .....	35
2.3 Πειραματική διαδικασία .....	36
2.4 Πειραματική μέθοδος .....	38
2.4.1 Αρχική σύσταση υποστρώματος.....	38
2.4.2 Προσδιορισμός μείωσης μάζας .....	41
2.4.3 Προσδιορισμός όγκου δείγματος.....	42
2.4.4 Προσδιορισμός ενεργειακής κατανάλωσης.....	42
2.4.5 Άλεση ξηρού υλικού .....	43
2.4.6 Προσδιορισμός φυσικοχημικών χαρακτηριστικών.....	44
2.4.7 Προσδιορισμός υγρασίας.....	44

2.4.8 Προσδιορισμός pH/Αγωγιμότητας.....	45
2.4.9 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%)/ (TKN) (%)/ αμμωνιακών (N-NH <sub>4</sub> ) (%) και νιτρικών (N-NO <sub>3</sub> ) (%) κατά Kjeldahl.....	46
2.4.10 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα TOC (%).....	51
2.4.11 Προσδιορισμός πτητικών στερεών VS (%).....	52
2.4.12 Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών και αναγωγικών σακχάρων .....	53
2.4.13 Μέτρηση αμύλου .....	55
2.4.14 Μέτρηση κυτταρίνης-ημικυτταρίνης .....	56
2.4.15 Μέτρηση δειγμάτων στο φωτόμετρο .....	57
3. Πειραματικά αποτελέσματα .....	61
3.1 1 <sup>ο</sup> κύκλος ξήρανσης.....	61
3.1.1 Προσδιορισμός μεταβολής μάζας.....	61
3.1.2 Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος .....	63
3.1.4 Ενεργειακή κατανάλωση .....	66
3.1.5 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων τελικού ξηρού υλικού.....	67
3.1.6 Ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων του ξηρού υλικού .....	67
3.2 2 <sup>ο</sup> κύκλος ξήρανσης.....	67
3.2.1 Προσδιορισμός μεταβολής μάζας.....	68
3.2.2 Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος .....	70
3.2.3 Ενεργειακή κατανάλωση .....	73
3.2.4 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων τελικού ξηρού υλικού.....	73
3.2.5 Ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων του ξηρού υλικού .....	74
3.3 3 <sup>ο</sup> κύκλος ξήρανσης.....	74
3.3.1 Προσδιορισμός μεταβολής μάζας.....	74
3.3.2 Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος .....	77
3.3.3 Ενεργειακή κατανάλωση .....	79
3.3.4 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων τελικού ξηρού υλικού.....	80
3.3.5 Ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων του ξηρού υλικού .....	80
3.4 Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων .....	81
3.4.1 Διαχειρισθείσα ποσότητα υλικού .....	81
3.4.2 Χρόνος λειτουργίας.....	82
3.4.3 Ποσοστό μείωσης μάζας νωπού υλικού .....	83
3.4.4 Ποσοστό μείωσης όγκου νωπού υλικού .....	83
3.4.5 Ενεργειακή κατανάλωση ανά κιλό νωπού υλικού .....	85



3.4.6 Φυσικοχημικές παράμετροι.....	86
3.5 Εφαρμογή συστήματος ξήρανσης σε δήμο .....	87
3.5.1 Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης Α.Σ.Α. ....	87
3.5.2 Παραγόμενες ποσότητες βιοαποβλήτων.....	88
3.5.3 Υφιστάμενο κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων .....	88
3.5.4 Τρόπος εφαρμογής συστήματος ξήρανσης .....	88
4. Συμπεράσματα .....	95
5. Βιβλιογραφία.....	97

## Εικόνες

Εικόνα 1: Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων και Βιοαποβλήτων σε μορφή συνόλου .....	2
Εικόνα 2: Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων .....	4
Εικόνα 3: Ιεράρχηση των πολιτικών διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση .....	5
Εικόνα 4: Ποσοστό βιοαποβλήτων στο σύνολο των ΑΣΑ για το σύνολο της ΕΕ από το 2008 έως το 2020 .....	17
Εικόνα 5: Ποσοστό ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων ως προς το σύνολο των παραχθέντων ΑΣΑ για τα έτη 2001 και 2010 .....	18
Εικόνα 6: Ποσοστό ανακύκλωσης βιοαποβλήτων σε σχέση με την συνολική παραγωγή ΑΣΑ για το έτος 2010 .....	19
Εικόνα 7: Κατανομή τεχνικών διαχείρισης για τα βιοαπόβλητα στην ΕΕ από το 2008 έως το 2020 .....	19
Εικόνα 8: Ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια στο σύνολο της χώρας (2012) .....	22
Εικόνα 9: Κάδοι συλλογής διαφορετικών τύπων αποβλήτων .....	23
Εικόνα 10: Διεργασία κομποστοποίησης [29] .....	24
Εικόνα 11: Διεργασία Αναερόβιας Χώνευσης [30] .....	25
Εικόνα 12: Διεργασία Καύσης [17] .....	26
Εικόνα 13: Διεργασία Πυρόλυσης [17] .....	27
Εικόνα 14: Διεργασία Αεριοποίησης .....	28
Εικόνα 15: Διεργασία Υγειονομικής Ταφής [31] .....	31
Εικόνα 16: Σύστημα Ξήρανσης Smart Cara .....	35
Εικόνα 17: Φίλτρα ενεργού άνθρακα του συστήματος Smart Cara .....	36
Εικόνα 18: Πληρωμένος κάδος με νωπό υλικό και με το τελικό ξηρό υλικό για του τρεις κύκλους .....	37
Εικόνα 19: Ζυγός ακριβείας .....	42
Εικόνα 20: Μετρητής καταναλισκόμενης ενέργειας .....	43
Εικόνα 21: Αλεσμένο ξηρό υλικό των τριων κύκλων .....	43
Εικόνα 22: Φούρνος ξήρανσης .....	45
Εικόνα 23: Συσκευή Ανάδευσης .....	45
Εικόνα 24: Πεχάμετρο METTLER TOLEDO MPC227 .....	46
Εικόνα 25: Συσκευή Gerhardt KJELDATHERM .....	47
Εικόνα 26: Συσκευή απόσταξης VaroDest .....	48
Εικόνα 27: Πριν και μετά την τιτλοδότηση κατά τη μέθοδο προσδιορισμού του αζώτου των δειγμάτων .....	48
Εικόνα 28: Συσκευή Shimatzu (TOC) .....	51
Εικόνα 29: Φούρνος (Solid Sample Module SSM 500A) .....	51
Εικόνα 30: Κεντρική μονάδα TOCVCSH .....	52
Εικόνα 31: Φούρνος υψηλών θερμοκρασιών .....	53
Εικόνα 32: Υδατόλουτρο στους 50 C .....	54
Εικόνα 33: Διάταξη διήθησης .....	55
Εικόνα 34: Megazyme total starch kit .....	56
Εικόνα 35: Συσκευή επώασης .....	57

Εικόνα 36: Συσκευή Αποστείρωσης .....	57
Εικόνα 37: Φωτόμετρο (μέτρηση απορρόφησης στα 510 nm) .....	58

## Πίνακες

Πίνακας 1: Νομοθετικό Πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε Ελλάδα και ΕΕ .....	7
Πίνακας 2: Υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ για το έτος 2011 .....	13
Πίνακας 3: Προβλεπόμενες δράσεις σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων έως το 2020.....	16
Πίνακας 4: Ποσοστό των βιοαποβλήτων στο σύνολο των ΑΣΑ στις ευρωπαϊκές χώρες .....	17
Πίνακας 5: Εκτίμηση της παραγωγής, σύστασης & εξέλιξης των βιοαποβλήτων, ανά τομέα παραγωγής τους, σε επίπεδο χώρας (τον./έτος).....	20
Πίνακας 6: Σύσταση (%) των ΑΣΑ ανά περιφέρεια (2011).....	21
Πίνακας 7: Εκτίμηση ποσότητας βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια (τον./έτος).....	21
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά συστήματος Smart Cara [16].....	36
Πίνακας 9: Ημερήσιο πρότυπο μείγμα αποβλήτων τροφών συναρτήσει του αριθμού των μελών οικογένειας .....	38
Πίνακας 10: Σύσταση του προτύπου μείγματος διατροφικών απορριμάτων.....	41
Πίνακας 11: Απαιτούμενος εξοπλισμός και αντιδραστήρια για κάθε φυσικοχημική παράμετρο .....	44
Πίνακας 12: Ποσότητα εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας.....	62
Πίνακας 13: Όγκος εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας.....	64
Πίνακας 14: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικού ξηρού υλικού .....	67
Πίνακας 15: Αποτελέσματα βιοχημικών αναλύσεων .....	67
Πίνακας 16: Ποσότητα εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας.....	68
Πίνακας 17: Όγκος εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας.....	71
Πίνακας 18: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικού ξηρού υλικού .....	73
Πίνακας 19: Αποτελέσματα βιοχημικών αναλύσεων .....	74
Πίνακας 20: Ποσότητα εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας.....	75
Πίνακας 21: Όγκος εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας.....	77
Πίνακας 22: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικού ξηρού υλικού .....	80
Πίνακας 23: Αποτελέσματα βιοχημικών αναλύσεων .....	80
Πίνακας 24: Μέσος όρος τιμών φυσικοχημικών παραμέτρων του τελικού ξηρού υλικού για κάθε σύστημα ξήρανσης.....	86
Πίνακας 25: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικού σχεδιασμού για την περίπτωση της εφαρμογής του συστήματος Smart Cara στο δήμο Νέας Σμύρνης .....	91

## Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	61
Διάγραμμα 2: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	62
Διάγραμμα 3: Συνολική μεταβολή μάζας .....	63
Διάγραμμα 4: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	64
Διάγραμμα 5: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	65
Διάγραμμα 6: Συνολική μεταβολή όγκου .....	65
Διάγραμμα 7: Ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ημέρα λειτουργίας .....	66
Διάγραμμα 8: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	68
Διάγραμμα 9: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	69
Διάγραμμα 10: Συνολική μεταβολή μάζας .....	69
Διάγραμμα 11: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	70
Διάγραμμα 12: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	71
Διάγραμμα 13: Συνολική μεταβολή όγκου .....	72
Διάγραμμα 14: Ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ημέρα λειτουργίας .....	73
Διάγραμμα 15: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	75
Διάγραμμα 16: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	76
Διάγραμμα 17: Συνολική μεταβολή μάζας .....	76
Διάγραμμα 18: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	77
Διάγραμμα 19: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας .....	78
Διάγραμμα 20: Συνολική μεταβολή όγκου .....	78
Διάγραμμα 21: Ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ημέρα λειτουργίας .....	79
Διάγραμμα 22: Συνολική διαχειρισθείσα ποσότητα κάθε κύκλου σε κάθε σύστημα ξήρανσης .....	81
Διάγραμμα 23: Χρόνος λειτουργίας κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης .....	82
Διάγραμμα 24: Ποσοστό μείωσης μάζας κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης .....	83
Διάγραμμα 25: Ποσοστό μείωσης όγκου κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης .....	84
Διάγραμμα 26: Ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα μάζας κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης .....	85
Διάγραμμα 28: Μεταβολή κόστους-οφέλους συναρτήσει της μεταβολής του κόστους τιμολόγησης ηλεκτρικού ρεύματος .....	92
Διάγραμμα 29: Μεταβολή κόστους-οφέλους συναρτήσει της μεταβολής του ποσοστού επιτυχίας εκτροπής βιοαποβλήτων .....	93
Διάγραμμα 30: Μεταβολή κόστους-οφέλους συναρτήσει της μεταβολής του κόστους του ξηραντήρα .....	94

## Συντομογραφίες/Ακρωνύμια

ΑΣΑ	Αστικά στερεά Απορρίματα
ΒΑΑ	Βιοαποδομήσιμα Αστικά Απορρίματα
ΒΑ	Βιοαπόβλητα
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΜΑΚ	Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΕΠΠΕΡΑΑ	Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη
ΕΣΔΑ	Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμάτων
ΚΑΕΔΙΣΠ	Κέντρα Ανακύκλωσης Εκπαίδευσης Διαλογής στην Πηγή
ΚΔΑΥ	Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών
ΜΠΕΤ	Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας
ΠΕΣΔΑ	Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμάτων
ΦοΔΣΑ	Φορέας Διαχείρισης Στερεών Απορριμάτων
ΧΥΤ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής

## Abbreviations/Acronyms

NTUA	National Technical University of Athens
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
TN	Total Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon
VS	Volatile Solids

## 1.Θεωρητικό μέρος

### 1.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) ως αποτέλεσμα της ταχύτατης αστικοποίησης του πληθυσμού καθώς και του υπέρμετρα καταναλωτικού τρόπου ζωής. Τα αστικά στερεά απόβλητα αποτελούν σήμερα ένα από τα πλέον επείγοντα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως λόγω της εκτεταμένης ρύπανσης που προκαλούν με τη διαρροή τοξικών και επικίνδυνων χημικών ρύπων. [1]

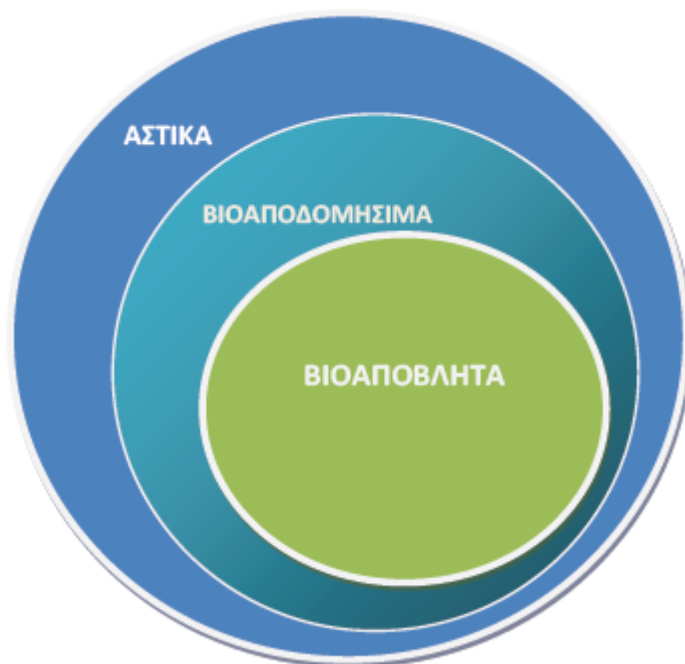
Η παραγωγή, η διανομή και η χρήση προϊόντων καθώς και η απόθεση των συνεπακόλουθων αποβλήτων συμβάλλουν στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα την αλλαγή του κλίματος της γης. Όταν οργανική ύλη αποσυντίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤ) παράγεται μεθάνιο το οποίο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου. Ενδεικτικά η ποσότητα του μεθανίου που παράγεται σε ΧΥΤ σε χώρες της Ασίας, της Λατινικής Αμερικής και της Αφρικής είναι ίση με το 40% της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας μεθανίου από ΧΥΤ και η οποία είναι ισοδύναμη με 37 εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα ή αλλιώς ισοδύναμη με την ποσότητα αερίων που εκπέμπεται από 102 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Η σωστή διαχείριση των στερεών αποβλήτων ωστόσο μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη καταπολέμηση αυτού του προβλήματος. [10]

Η σωστή διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι σημαντική και για έναν ακόμη λόγο. Η αυξημένη κατανάλωση των τελευταίων δεκαετιών έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία μείωση των διαθέσιμων φυσικών πόρων της γης. Χαρακτηριστικά η παγκόσμια εξόρυξη μετάλλων και μεταλλευμάτων και η εκμετάλλευση ξυλείας, γης, εδάφους και πόσιμο νερού προβλέπεται να αυξηθεί κατά 75% μέχρι το 2030, ενώ στην ΕΕ το 2010 εισήχθη η τριπλάσια ποσότητα υλικών σε σχέση με αυτήν που εξήχθη. Για την εξοικονόμηση λοιπόν ενέργειας και φυσικών πόρων είναι απαραίτητη η ανακύκλωση των στερεών αποβλήτων και η αντιμετώπισή τους ως ενδεχόμενοι νέοι πόροι. [11]

Τέλος η κατάλληλη αντιμετώπιση των στερεών αποβλήτων έχει επίσης κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Οι εργασίες της συλλογής, διαλογής, επεξεργασίας, αποσυναρμολόγησης κλπ απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό εργαζομένων σε σύγκριση με την απλή ταφή των αποβλήτων με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και οικονομικής ανάπτυξης.

## 1.2 Ορισμός και κατηγοριοποίηση βιοαπόβλητων

Ένα σημαντικό μέρος των ΑΣΑ αποτελούν τα λεγόμενα βιοαπόβλητα. Ως βιοαπόβλητα ορίζονται τα απορρίματα που προκύπτουν από κήπους και πάρκα, τα απορρίματα τροφών και μαγειρειών από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής καθώς και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων.



Εικόνα 1: Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων και Βιοαποβλήτων σε μορφή συνόλου

Τα βιοαπόβλητα χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Οικιακά βιοαπόβλητα

Τα οικιακά βιοαπόβλητα αποτελούν το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων τα οποία δημιουργούνται στις οικίες (ή και σε δημόσιους χώρους στην περίπτωση των αποβλήτων κήπων) και διακρίνονται περεταίρω σε:

- Απόβλητα τροφών, στα οποία περιλαμβάνονται τρόφιμα που απορρίπτονται γιατί δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου ή χρησιμοποιήθηκαν εν μέρει κατά την παρασκευή γευμάτων εντός των οικιών. Επίσης περιλαμβάνει τις ποσότητες φρέσκων φρούτων και λαχανικών που απορρίφθηκαν.
- Απόβλητα κήπων-πρασίνου, τα οποία είναι τα πράσινα απόβλητα από τους κήπους των οικιών και δημόσιων χώρων και εν γένει των υπολειμμάτων βλάστησης από τη συντήρηση χώρων πρασίνου του



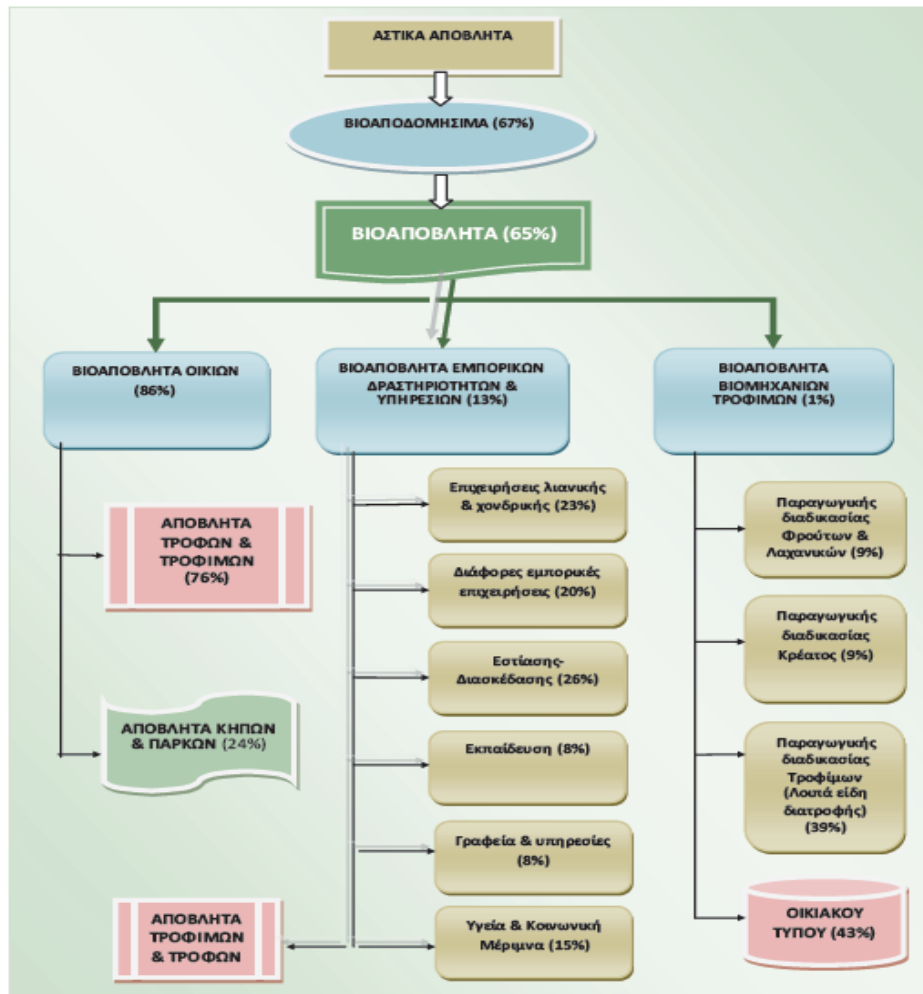
τοπίου. Περιλαμβάνουν μοσχεύματα δέντρων, κλαδιά, χόρτα, φύλλα, κλαδέματα, παλιά φυτά, λουλούδια κλπ

- Εμπορικά βιοαπόβλητα

Τα απόβλητα που προέρχονται από επιχειρήσεις που χρησιμοποιούνται κυρίως για εμπορικούς ή επαγγελματικούς σκοπούς, δραστηριοποιούνται ως κέντρα διασκέδασης, αναψυχής και εστίασης. Η κατηγορία αυτή εμπεριέχει τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από αθλητικές δραστηριότητες, υπηρεσίες αναψυχής, τις υπηρεσίες δημοσίου ή ιδιωτικού χαρακτήρα, οργανισμούς κοινής ωφέλειας και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

- Βιομηχανικά βιοαπόβλητα

Ως βιοαπόβλητα βιομηχανιών θεωρούνται τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Στον εν λόγω ορισμό δεν συμπεριλαμβάνονται τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα, η κοπριά, η ιλύς επεξεργασίας αστικών λυμάτων καθώς και άλλα βιοποδομήσιμα όπως οι φυσικές ίνες, το χαρτί ή το κατεργασμένο ξύλο. Επιπλέον και με βάση τον ορισμό για τα βιοαπόβλητα, εξαιρούνται τα παραπροϊόντα της παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα.



Εικόνα 2: Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων

Το ποσοστό των βιοαποβλήτων ως προς τα ΑΣΑ ποικίλλει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως οι συνθήκες ζωής του πληθυσμού, το βιοτικό επίπεδο, οι καταναλωτικές συνήθειες καθώς και το επίπεδο τεχνολογικής προόδου. Ενδεικτικά τα βιοαπόβλητα αποτελούν κατά μέσο όρο το 32% κ.β. της συνολικής παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ στην ΕΕ ενώ στην Ελλάδα το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται στο 40% κ.β. [2]

Είναι λοιπόν φανερό ότι η σωστή διαχείριση των βιοαποβλήτων αποτελεί ζήτημα υψίστης σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό κάθε χώρα χωριστά αλλά και η Ε.Ε. ως σύνολο χαράσσουν μια πολιτική αντιμετώπισης του προβλήματος.

### 1.3 Στρατηγική διαχείριση βιοαποβλήτων στην Ε.Ε.

Η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική πολιτική βασίζεται στις αρχές της προφύλαξης, της πρόληψης και της διόρθωσης των ρυπάνσεων στην πηγή, και στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Η αρχή της πρόληψης είναι ένα εργαλείο διαχείρισης κινδύνων που δύναται να ενεργοποιηθεί εάν υπάρχει επιστημονική αβεβαιότητα ως προς κάποιον εικαζόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ή για το περιβάλλον ο οποίος να προκύπτει από συγκεκριμένη ενέργεια ή πολιτική. Για παράδειγμα, για την αποτροπή βλάβης στην ανθρώπινη υγεία ή στο περιβάλλον σε περίπτωση αμφιβολίας ως προς πιθανές επικίνδυνες επιπτώσεις ενός προϊόντος, δύναται να δοθούν εντολές να σταματήσει η διανομή αυτού του προϊόντος ή να αποσυρθεί από την αγορά εάν μετά από μια αντικειμενική επιστημονική αξιολόγηση παραμείνει η αβεβαιότητα. Τα μέτρα αυτά πρέπει να μην ενέχουν διακρίσεις και να είναι αναλογικά, και να αναθεωρηθούν μόλις γίνουν διαθέσιμα περισσότερα επιστημονικά στοιχεία.



Εικόνα 3: Ιεράρχηση των πολιτικών διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Ειδικότερα για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων οι αρχές που διέπουν την περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε. είναι οι εξής:

1. Αρχή της πρόληψης ή και μείωσης των παραγόμενων αποβλήτων
2. Αρχή επαναχρησιμοποίησης των υλικών
3. Αρχή ανακύκλωσης και αξιοποίησης των υλικών
4. Αρχή ανάκτησης ενέργειας
5. Αρχή της ασφαλούς διάθεσης

Το Δεκέμβριο του 2005 ανακοινώθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή η νέα θεματική στρατηγική για τη πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση.

Στόχος της στρατηγικής είναι να μειωθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή μέχρι την τελική διάθεση τους, μέσω της ανακύκλωσης. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να αντιμετωπίζεται κάθε είδος αποβλήτων όχι μόνο ως πηγή ρύπανσης που επιβάλλεται να μειωθεί, αλλά και ως ενδεχόμενος πόρος που προσφέρεται για εκμετάλλευση. Επιπροσθέτως προβλέπει την ενθάρρυνση του τομέα της ανακύκλωσης με στόχο την επανένταξη, με ελάχιστο περιβαλλοντικό αντίκτυπο, των αποβλήτων στον οικονομικό κύκλο με τη μορφή προϊόντων ποιότητας. Η νέα στρατηγική προβλέπει και άλλα μέτρα, όπως η ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τη φορολογία της οριστικής εναπόθεσης των αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο καθώς και, μακροπρόθεσμα, τη λήψη μέτρων βάσει της φύσης των υλικών και ενδεχομένως μέτρων συμπλήρωσης των μηχανισμών της αγοράς, σε περίπτωση που δεν επαρκέσουν για την εξασφάλιση της ανάπτυξης της ανακύκλωσης. [3]

#### **1.4 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης βιοαποβλήτων σε Ελλάδα και Ε.Ε.**

Για την επίτευξη των κοινών στόχων η Ε.Ε. εκδίδει οδηγίες προς τα κράτη μέλη, αφήνοντας ωστόσο στις εθνικές αρχές την αρμοδιότητα ως προς τον τρόπο και τα μέσα που θα διαθέσουν για να το επιτύχουν. Όσον αφορά στην αντιμετώπιση των βιοαποβλήτων η Ε.Ε. έχει εκδόσει μια σειρά οδηγιών.

Αρχικά με την κοινοτική οδηγία 1999/31/ΕΚ τα κράτη μέλη της Ε.Ε. υποχρεώνονται να μειώσουν μέχρι το 2016 την ποσότητα των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που προορίζονται για διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής στο 35% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995 ή το τελευταίο προ του 1995 έτος για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία της Eurostat. Τα κράτη μέλη τα οποία είχαν πραγματοποιήσει διάθεση άνω του 80% των αστικών τους αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής την προαναφερθείσα περίοδο μπορούν να αναβάλουν την επίτευξη του ανωτέρου στόχου για περίοδο τεσσάρων ετών το πολύ (μεταξύ αυτών και η Ελλάδα).

Ταυτόχρονα με την κοινοτική οδηγία 2008/98/ΕΚ τα κράτη μέλη οφείλουν να λάβουν μέτρα με σκοπό την ενθάρρυνση:

- Της χωριστής συλλογής βιολογικών αποβλήτων, ενόψει της λιπασματοποίησης και της ζύμωσης των βιοαποβλήτων
- Της επεξεργασίας των βιολογικών αποβλήτων κατά τρόπο που να διασφαλίζεται υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας
- Της χρήσης περιβαλλοντικώς ασφαλών υλικών παραγόμενων από βιολογικά απόβλητα. [4]

Η μεταφορά του νομοθετικού πλαισίου στην ελληνική νομοθεσία υλοποιήθηκε με το νόμο Ν. 4042/2012 και την ΚΥΑ 29407/3508/2002 σε αντιστοιχία με τις Οδηγίες που αναφέρθηκαν. Σύμφωνα με τα ελληνικά νομοθετήματα, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί:

- διαλογή στην πηγή ανακυκλώσιμων υλικών (τουλάχιστον για γυαλί, χαρτί, πλαστικό και μέταλλο) μέχρι το 2015
- προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των στερεών αποβλήτων (τουλάχιστον για χαρτί, μέταλλο, πλαστικό και γυαλί) από τα νοικοκυριά και ενδεχομένως άλλης προέλευσης στο βαθμό που αυτές τα απόβλητα αυτά είναι παρόμοια με τα απόβλητα των νοικοκυριών, πρέπει να αυξηθεί στο ελάχιστο κατ' ελάχιστον στο 50 % ως προς το συνολικό βάρος μέχρι το 2020 μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που οδηγούνται προς τελική διάθεση κατά 50% έως το 2013 και κατά 35% έως το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 1995 [5]

Αναλυτικά το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά στα βιοαπόβλητα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα: [9]

**Πίνακας 1: Νομοθετικό Πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε Ελλάδα και ΕΕ**

<b>Ευρωπαϊκή Νομοθεσία</b>	<b>Εθνική Νομοθεσία</b>	<b>Επισημάνσεις</b>
Οδηγία 98/2008/ΕΚ για τα απόβλητα Οδηγία 2008/99/Εκ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου	ΝΟΜΟΣ 4042 (ΦΕΚ Α' 24/14-02-2012) Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων	(Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ και την Οδηγία 2008/98/ΕΚ) Σύμφωνα με το άρθρο 41: Έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, κατ'ελάχιστον, στο 5% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων και έως το 2020, κατ'ελάχιστον, στο 10% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων
Οδηγία 91/156/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων	ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016Β/17.11.97), Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων	Ενσωμάτωση των γενικών κατευθύνσεων και προδιαγραφών της 75/442/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων, όπως τροποποιήθηκε από την 91/156/ΕΚ
Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572Β/16.12.0.2), Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων	Θέσπιση στόχων για επεξεργασία πριν την ταφή και μείωση της ποσότητας των ΒΑΑ που οδηγείται για ταφή
Οδηγία 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 01/156/ΕΚ.	ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909Β/22.12.2003), Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο. Σε εθνικό επίπεδο με την εν λόγω ΚΥΑ ενσωματώθηκε η 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ θέτοντας αυστηρότερες κατευθύνσεις, μέτρα, όρους και διαδικασίες για την διαχείριση στερεών αποβλήτων και εισήγαγε τους ευρωπαϊκούς στόχους και αρχές στην εθνική στρατηγική διαχείρισης,
Οδηγία 2008/ι/ΕΚ, σχετικά με την	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο

ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.	759B/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.	
Οδηγία 28/2009/ΕΚ, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές	ΝΟΜΟΣ 3468/2006 (ΦΕΚ 129 <sup>Α</sup> /27.06.06) Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές & Συμπαράγωγή Ηλεκρισμού & Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης, (τροποποιήθηκε από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010.	Ενσωμάτωση της ευρωπαϊκής στην εθνική νομοθεσία. Τίθενται στόχοι σε εθνικό επίπεδο συμπεριλαμβάνοντας και τα βιοαπόβλητα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, στο ευρύτερο πλαίσιο της βιομάζας
Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ, για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211Α/05.06.06), Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3 <sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	Ενσωμάτωση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο. Το ΠΔ συμπληρώνεται και με τις εγκυκλίους όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω. Δίνονται προδιαγραφές για εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης και αναερόβιας χώνευσης (παρασκευής βιοαερίου), αδειοδότηση για ορθή λειτουργία. Επίσης, γίνεται και προσέγγιση για θέσπιση κριτηρίων οργανικών λιπασμάτων από υλικά αυτών των κατηγοριών.
Κανονισμός 1069/2009/ΕΚ, περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο – κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα).		Νέο συνεκτικό και συνολικό πλαίσιο κοινοτικών υγειονομικών κανόνων για τη συλλογή, τη μεταφορά, το χειρισμό, το μετασχηματισμό, τη μεταποίηση, την αποθήκευση, τη διάθεση στην αγορά, τη διανομή, τη χρήση ή την απόρριψη των ζωικών υποπροϊόντων
Κανονισμός 142/2011/ΕΚ, για την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο		Θέσπιση κανόνων για τη διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων, την επίτευξη των στόχων του Κανονισμού 1069/2009/ΕΚ και τη βιώσιμη χρήση ζωικών υλικών, αλλά και τη διατήρηση υψηλού επιπέδου προστασίας της δημόσιας υγείας και υγείας των ζώων στην ΕΕ.
Οδηγία 2000/76/ΕΚ, για την αποτέφρωση αποβλήτων	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 769B/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο
Οδηγία 2006/799/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους		Με τις οδηγίες αυτές είναι σαφής η προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων υλικών ή/και η ανακύκλωση οργανικής ύλης προερχόμενης από συγκέντρωση ή/και επεξεργασία αποβλήτων, ως συμβολή στην ελαχιστοποίηση των προς τελική διάθεση στερεών αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο ακόμη δεν έχουν εναρμονιστεί
Οδηγία 2007/64/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε καλλιεργητικά μέσα		

## 1.5 Στρατηγική διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Ελλάδα

### 1.5.1 Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

Η Ελλάδα ως κράτος μέλος της Ε.Ε. οφείλει να χαράσσει μια πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων της που να υπακούει στις οδηγίες της Ε.Ε. αλλά ταυτόχρονα να ανταποκρίνεται και στις ιδιαίτερες ανάγκες της. Προς αυτή την κατεύθυνση καταρτίστηκε τον Ιούνιο του 2015 το τελευταίο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) με χρονικό ορίζοντα το 2020.

Συγκεκριμένα το ΕΣΔΑ καθορίζει την πολιτική, τις στρατηγικές και τους στόχους διαχείρισης των αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο και προσδιορίζει τις γενικές κατευθύνσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων, υποδεικνύοντας τα ενδεδειγμένα μέτρα και τις δράσεις, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι και οι αρχές που θέτει ο Νόμος 4042/2012.

Προς εφαρμογή των κατευθύνσεων του ΕΣΔΑ, καταρτίζονται σε κάθε Περιφέρεια τα Περιφερειακά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) τα οποία εξειδικεύουν την ολοκληρωμένη διαχείριση του συνόλου των αποβλήτων που παράγονται στη γεωγραφική τους ενότητα σύμφωνα με τους στόχους και τις προβλέψεις του ΕΣΔΑ. Το ΠΕΣΔΑ εκπονείται και υλοποιείται από τον οικείο Περιφερειακό Φορέα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Φο.Δ.Σ.Α.) και, εάν αυτός δεν υφίσταται ή δεν λειτουργεί, από την οικεία Περιφέρεια. Στο ΠΕΣΔΑ καθορίζονται οι περιοχές που συγκροτούν τις ενότητες διαχείρισης των αποβλήτων, οι μέθοδοι διαχείρισης που πρέπει να εφαρμόζονται σε κάθε διαχειριστική ενότητα, ενώ εξειδικεύονται συγκεκριμένοι στόχοι, μέτρα, όροι και περιορισμοί για την επίτευξη των στρατηγικών και στόχων του Ν.4042/2012 και του ΕΣΔΑ. Οι στόχοι που καθορίζονται στα ΠΕΣΔΑ πρέπει να είναι σε συμφωνία με τους αντίστοιχους ποσοστιαίους στόχους του ΕΣΔΑ, ενώ μπορούν να τεθούν και πιο φιλόδοξοι στόχοι σε επίπεδο Περιφέρειας ανάλογα με τις ανάγκες, τα χαρακτηριστικά και τη στρατηγική της.

Το νέο ΕΣΔΑ έχει ως άξονες προτεραιότητας την αποκέντρωση των δραστηριοτήτων σε επίπεδο δήμων των οποίων αναβαθμίζεται ο ρόλος, την ποιοτική και ποσοτική ενίσχυση της ανακύκλωσης με έμφαση στη διαλογή στην πηγή, την διακριτή διαλογή και επεξεργασία του οργανικού κλάσματος, τη μικρή κλίμακα των μονάδων επεξεργασίας και ανάκτησης, την ενθάρρυνση της κοινωνικής συμμετοχής, και κυρίως την κατοχύρωση του δημόσιου χαρακτήρα της διαχείρισης αποβλήτων. Οι νέοι στόχοι του ΕΣΔΑ υιοθετούν πλήρως την φιλοσοφία της ιεράρχησης της διαχείρισης των αποβλήτων της εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας, υπερβαίνοντας τη λογική των συγκεντρωτικών μονάδων διαχείρισης σύμμεικτων αστικών αποβλήτων υπέρ της διαλογής στην πηγή ανακυκλώσιμων και βιοαποβλήτων και της μείωσης της παραγωγής αποβλήτων.

Ειδικότερα η εθνική πολιτική για τα απόβλητα είναι προσανατολισμένη στους εξής στόχους-ορόσημα για το 2020:

- Τα κατά κεφαλή παραγόμενα απόβλητα να έχουν μειωθεί δραστικά
- Η προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση με χωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων – βιοαποβλήτων να εφαρμόζεται στο 50% του συνόλου των ΑΣΑ
- Η ανάκτηση ενέργειας να αποτελεί συμπληρωματική μορφή διαχείρισης, όταν έχουν εξαντληθεί τα περιθώρια κάθε άλλου είδους ανάκτησης
- Η υγειονομική ταφή να αποτελεί την τελευταία επιλογή και να έχει περιοριστεί σε λιγότερο από το 30% του συνόλου των ΑΣΑ

Οι στρατηγικές για την εφαρμογή της νέας εθνικής πολιτικής διαχείρισης των αποβλήτων συνοψίζονται στις εξής:

1. Κατάρτιση ολοκληρωμένου πλαισίου σχεδιασμών διαχείρισης αποβλήτων
2. Διασφάλιση της υψηλής προστασίας του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας
3. Εφαρμογή της Διαλογής στην Πηγή, ως του πλέον δόκιμου τρόπου συλλογής με σκοπό την επίτευξη υψηλής ποιότητας ανακύκλωσης
4. Εξορθολογισμός κόστους υπηρεσιών διαχείρισης αποβλήτων και προώθηση οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμων επενδύσεων στον τομέα των αποβλήτων, με στόχο τη θεσμοθέτηση ανταποδοτικού οφέλους προς τον πολίτη και την ανακύκλωση

### 1.5.2 Γενικοί στόχοι ΕΣΔΑ

Οι γενικοί στόχοι του ΕΣΔΑ είναι οι παρακάτω:

1. Σταθεροποίηση παραγωγής αποβλήτων στα επίπεδα του 2011, με φθίνουσα τάση
2. Προτεραιότητα στην διαλογή αποβλήτων υλικών στην πηγή με σκοπό στη συνέχεια να οδηγηθούν σε αποκεντρωμένες υποδομές διαχείρισης, έναντι της διαχείρισής τους σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ.
3. Ολοκλήρωση του αναγκαίου δικτύου με την προσθήκη του νέου δικτύου των Πράσινων Σημείων – Κέντρων Ανακύκλωσης Εκπαίδευσης Διαλογής στην Πηγή (ΚΑΕΔΙΣΠ) σε υποδομές διαχείρισης αποβλήτων έως το 2020.
4. Μείωση στο ελάχιστον δυνατό της συνολικής ποσότητας ανακτήσιμων αποβλήτων που διατίθενται για υγειονομική ταφή.



5. Ριζικός ανασχεδιασμός του υφιστάμενου σχεδιασμού υποδομών διαχείρισης, με στόχο τη ριζική αναβάθμιση της ανακύκλωσης και ανάκτησης με χωριστή συλλογή έως το 2020.
6. Περαιτέρω αξιοποίηση δευτερογενών υλικών (κομπόστ, κομπόστ τύπου Α) με εξασφαλιστή αυστηρών ποιοτικών προδιαγραφών.
7. Ανάκτηση ενέργειας σε συμπληρωματικό ρόλο, όταν έχουν εξαντληθεί τα περιθώρια άλλου είδους ανάκτησης
8. Συστηματική καταγραφή και παρακολούθηση των δεδομένων παραγωγής και διαχείρισης των αποβλήτων – Δημιουργία ηλεκτρονικού μητρώου δεδομένων αποβλήτων έως το 2015, το οποίο θα είναι προσβάσιμο από όλους τους αρμόδιους φορείς.
9. Αναμόρφωση κεντρικού μηχανισμού παρακολούθησης και ελέγχου της διαχείρισης των αποβλήτων.
10. Ανάπτυξη εθνικής επικοινωνιακής στρατηγικής για τα απόβλητα έως και το 2015, η οποία θα πορκαθορίσει ομάδες-στόχους και θα αξιοποιήσει το σύνολο των προσβάσιμων τρόπων επικοινωνίας (π.χ. κοινωνικά μέσα δικτύωσης).
11. Αναθεώρηση των Περιφερειακών Σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) με γνώμονα το παρόν ΕΣΔΑ έως το Σεπτέμβριο του 2015. Βασικά χαρακτηριστικά τους, το μοντέλο αποκεντρωμένης διαχείρισης των αποβλήτων, με κεντρικό άξονα την πρόληψη – επαναχρησιμοποίηση αλλά και την οικονομική ανάπτυξη της Τοπικής Αυτοδιοίκησης με ίδιους πόρους, από την ανακύκλωση, σε άμεση συνεργασία με τους δημότες-ανακυκλωτές.
12. Εκπόνηση και εφαρμογή τοπικών σχεδίων αποκεντρωμένης διαχείρισης από όλους τους Δήμους, το αργότερο εντός 5 μηνών από την ισχύ του παρόντος
13. Εξάλειψη της ανεξέλεγκτης διάθεσης αστικών αποβλήτων εντός του 2015 και λοιπών αποβλήτων έως το 2018.
14. Ορθολογική διαχείριση των ιστορικά αποθηκευμένων αποβλήτων, με υποβολή των σχετικών προγραμμάτων/σχεδίων συμμόρφωσης από τους υπόχρεους έως τα τέλη του πρώτου εξαμήνου του 2016
15. Προτεραιότητα στη διαλογή υλικών στην πηγή μέσα από αποκεντρωμένες υποδομές έναντι της ανάκτησης σε συγκεντρωτικές εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής σύμμεικτων ΑΣΑ
16. Αποκατάσταση των κυριότερων ρυπασμένων χώρων διάθεσης αποβλήτων έως το 2020.

### 1.5.3 Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης βιοαποβλήτων

Μέχρι στιγμής στην Ελλάδα τα βιοαπόβλητα συλλέγονται και διατίθενται σχεδόν εξ'ολοκλήρου μαζί με τα υπόλοιπα ΑΣΑ σε ΧΥΤ. Για την ακρίβεια μόνο ένα μικρό ποσοστό σύμμεικτων βιοαποβλήτων επεξεργάζεται σε μονάδες κομποστοποίησης προς παραγωγή κομπόστ, η ποιότητα του οποίου είναι χαμηλή. Αναλυτικά:

#### *A) Δίκτυο συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ*

Η συλλογή-μεταφορά των ΑΣΑ πραγματοποιείται από τις υπηρεσίες καθαριότητας των 325 Δήμων, των συνδέσμων τους ή των ΦοΔΣΑ. Επιπλέον υπάρχουν 502 αδειοδοτημένες επιχειρήσεις συλλογής και μεταφοράς μη επικίνδυνων αποβλήτων, στις οποίες οι δήμοι μπορούν να αναθέτουν την αποκομιδή/μεταφορά των ΑΣΑ.

#### *B) Ανακύκλωση/ανάκτηση*

Από το έτος 2011 το 73% του πληθυσμού της χώρας εξυπηρετείται για χωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων υλικών από το δίκτυο μπλε κάδων και αυτόνομη αποκομιδή (200 Δήμοι). Η κάλυψη της χώρας σε Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) φτάνει το 76,2% του πληθυσμού, ενώ επίσης λειτουργούν 4 μονάδες μηχανικής ανακύκλωσης, όπου ανακτώνται κυρίως μέταλλα από τα σύμμεικτα ΑΣΑ. Για το 2011 η εκτροπή ΑΣΑ προς τα ΚΔΑΥ και τα Εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) της χώρας για υποβολή σε εργασίες ανάκτησης ανέρχεται σε 11,6% του συνόλου των παραγόμενων ΑΣΑ.

Τα Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (Κ.Δ.Α.Υ.) είναι εγκαταστάσεις όπου με συνδυασμό μεθόδων μηχανικής - χειρωνακτικής διαλογής, διαχωρίζονται ομάδες υλικών τα οποία προέρχονται από διαλογή στην πηγή (ανακυκλώσιμα). Στη συνέχεια, τα υλικά υφίστανται ποιοτική αναβάθμιση και δεματοποίηση ανά υλικό. Έτσι μπορούν να επιτευχθούν οι απαιτήσεις ποιότητας για την απορρόφησή τους από την αγορά και εξασφαλίζονται υψηλότερες τιμές πώλησης. Ο σχεδιασμός ενός Κ.Δ.Α.Υ. και η επιλογή του αντίστοιχου εξοπλισμού εξαρτάται από τις ποσότητες και το είδος των εισερχόμενων υλικών καθώς και από τις απαιτήσεις της αγοράς ως προς τα ανακτώμενα προϊόντα.

Η ανάκτηση του οργανικού κλάσματος ΑΣΑ πραγματοποιείται:

- Στα 3 ΕΜΑΚ (Α.Λιοσίων, Χανίων και Κεφαλονιάς)
- Στην μονάδα προεπεξεργασίας αποβλήτων Ηρακλείου, που στην ουσία δεν αφορά ανάκτηση καθαρής οργανικής μάζας, αλλά δευτερογενών καυσίμων, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων οδηγείται σε ταφή

- Στην κινητή μονάδα κομποστοποίησης του Δήμου Ελευσίνας
- Με εκτροπή ΒΑΑ σε οικιακό επίπεδο, είτε με τη χρήση οικιακών κάδων κομποστοποίησης, είτε με τη χρήση των ζυμώσιμων ως ζωτροφή κ.λ.π. (συνήθης πρακτική σε αγροτικές περιοχές της χώρας)

### Γ) Διάθεση

Η χώρα έχει καλύψει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις βασικές υποδομές για ασφαλή διάθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤ. Η τελική διάθεση των αστικών αποβλήτων σε ΧΥΤ καλύπτει το 94% του μόνιμου πληθυσμού της χώρας το 2011 σε 74 ΧΥΤΑ.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζεται συνοπτικά η υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ.

Πίνακας 2: Υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ για το έτος 2011

Κατηγορία αποβλήτων	Ανάκτηση (R) (χιλ. τόνοι)	Διάθεση (D) (χιλ. τόνοι)	Αποθήκευση (A) (χιλ. τόνοι)	Μη καταγεγραμμένη διαχείριση (X) (χιλ. τόνοι)
<b>I. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΣΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ</b>	<b>1.068</b>	<b>4.609</b>	<b>22</b>	<b>44</b>
[1] ΑΣΑ	1.004	4.565		
- Βιοαπόβλητα	175	4.565		
- Ανακυκλώσιμα υλικά (συμπ. αποβλήτων συσκευασίας)	787			
- ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης	43			
- Λοιπά μη επικίνδυνα ΑΣΑ				
[2] Ιλύες αστικού τύπου	64	44	22	44

#### 1.5.4 Στόχος και στρατηγική διαχείρισης βιοαποβλήτων

Ο στόχος που έχει θεσπιστεί από το παρόν ΕΣΔΑ όσον αφορά στα βιοαπόβλητα είναι η ξεχωριστή συλλογή ποσότητας ίσης με το 40% του συνολικού τους βάρους έως το 2020.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού το ΕΣΔΑ προβλέπει τα εξής:

- Πρόληψη

Η πρόληψη αποτελεί πρώτη προτεραιότητα στην ιεράρχηση των αποβλήτων. Το Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων προσβλέπει καταρχήν στη σταθεροποίηση της παραγωγής αποβλήτων και γενικότερα την αποσύνδεση από την οικονομική ανάπτυξη. Οι δράσεις για την πρόληψη των βιοαποβλήτων συνδέονται με την αλλαγή συμπεριφοράς των καταναλωτών και θα πρέπει να επικεντρώνονται στη συστηματική ενημέρωση-ευαισθητοποίηση των πολιτών συνδυαστικά με τη θέσπιση ικανών οικονομικών εργαλείων.

- Ανακύκλωση – Ανάκτηση

Προώθηση και εφαρμογή συνεργιστικά και συμπληρωματικά των παρακάτω συστημάτων χωριστής συλλογής και ανάκτησης

- ✓ Καθιέρωση με οικονομικά κίνητρα της δημιουργίας Πράσινων Σημείων, τουλάχιστον ένα άνα δήμο με χωροταξικά και πληθυσμιακά κριτήρια
- ✓ Οικιακή κομποστοποίηση με έμφαση στα νοικοκυριά περιοχών με αγροτικό και ημιαστικό χαρακτήρα και επιτόπια μηχανική κομποστοποίηση σε δημόσιους χώρους πρασίνου ή συγκεκριμένους χώρους των αστικών περιοχών, σχολεία, οικιστικά συγκροτήματα, ξενοδοχεία, στρατόπεδα κ.λ.π.
- ✓ Εκτροφή βιοαποβλήτων από τα νοικοκυριά των αγροτικών περιοχών και χρήση ως πρώτη ύλη για ζωοτροφές.
- ✓ Εκτροφή των αποβλήτων βρώσιμων λιπών και ελαίων με έμφαση στους μεγάλους παραγωγούς τέτοιων αποβλήτων, όπως οι χώροι μαζικής εστίασης, μονάδες catering, στρατόπεδα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία και παρασκευαστήρια έτοιμων τροφίμων
- ✓ Χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων και ανάκτηση σε μονάδες επεξεργασίας προδιαλεγμένων οργανικών αποβλήτων, με έμφαση στις αστικές περιοχές, τη νησιωτική χώρα, καθώς και στους μεγάλους παραγωγούς βιοαποβλήτων (χώρους πρασίνου, χώρους μαζικής εστίασης, μονάδες catering, ξενοδοχεία, στρατόπεδα, νοσοκομεία, λαχαναγορές, λαϊκές αγορές κ.λ.π.)

Προαπαιτούμενο της επιτυχούς εφαρμογής των προγραμμάτων ανακύκλωσης και ανάκτησης είναι η διαμόρφωση της αγοράς για την εξασφάλιση της απορρόφησης των παραγόμενων δευτερογενών υλικών (εδαφοβελτιωτικό κ.λ.π.)

Όσον αφορά στα βιοαπόβλητα στο ρεύμα των υπολειπόμενων σύμμεικτων ΑΣΑ αναμένεται να συνεχίσουν τη λειτουργία τους οι μονάδες του δικτύου επεξεργασίας υπολειπόμενων σύμμεικτων ΑΣΑ καθώς εξυπηρετούν την επίτευξη του εθνικού στόχου εκτροπής των βιοαποβλήτων από την υγειονομική ταφή έως το 2020. Ειδικότερα προβλέπονται:

- Σχεδιασμός αν απαιτούνται μέχρι το 2020 τυχόν πρόσθετων απαιτούμενων μονάδων επεξεργασίας υπολειπόμενων σύμμεικτων ΑΣΑ βάσει αναθεωρημένων περιφερειακών σχεδιασμών σύμφωνα με το Ν.4042/2012 λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες διαδημοτικής συνεργασίας και την αρχή της εγγύτητας.
- Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να τηρείται η ιεράρχηση των εργασιών διαχείρισης των αποβλήτων, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 29 του Ν.4042/2012, σε σχέση με τις παραγόμενες ποσότητες των ΑΣΑ ανά Περιφέρεια. Η πρόβλεψη παράλληλης επεξεργασίας προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων θα διευκολύνει την προοδευτική μείωση της επεξεργαζόμενης ποσότητας σύμμεικτων και τη βελτιστοποίηση της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι δράσεις που προβλέπονται για τη διαχείριση των βιοαποβλήτων. [8]

Πίνακας 3: Προβλεπόμενες δράσεις σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων έως το 2020

	<i>Ενέργειες</i>
<b>Δίκτυο</b>	
<b>Ξεχωριστό δίκτυο συλλογής ή Πράσινα Σημεία</b>	Δημιουργία Πράσινων Σημείων τουλάχιστον ένα ανά Δήμο, στα οποία θα πραγματοποιείται και χωριστή συλλογή των βιοαποβλήτων
<b>Επιτόπια/ οικιακή κομποστοποίηση</b>	Οργάνωση και σταδιακή προώθηση με στοχευμένες δράσεις της κομποστοποίησης στο σπίτι και της επιτόπιας μηχανικής κομποστοποίησης σε πανελλαδικό επίπεδο, θέτοντας κατ' ελάχιστο 3% εκτροπή βιοαποβλήτων έως το 2020.  Βελτίωση αποτελεσμάτων επιτόπιας εκτροπής των οργανικών αποβλήτων των νοικοκυριών στις αγροτικές περιοχές για την απευθείας χρήση τους ως ζωοτροφή.
<b>Εκτροπή αποβλήτων βρώσιμων λιπών και ελαίων</b>	Μεγιστοποίηση επιπέδων εκτροπής των “διαθέσιμων για συλλογή” αποβλήτων βρώσιμων λιπών και ελαίων, στοχεύοντας στο 75% έως το 2020.
<b>Χωριστή συλλογή και ανάκτηση βιοαποβλήτων σε μονάδες επεξεργασίας προδιαλεγμένων οργανικών αποβλήτων</b>	Πλήρης αξιοποίηση των τυχόν σχεδιαζόμενων μονάδων επεξεργασίας προδιαλεγμένων οργανικών αποβλήτων των υφιστάμενων περιφερειακών σχεδιασμών και σχεδιασμός νέων σε επίπεδο Δήμου ή νομού (Π.Ε.).  Μετατροπή ή προσθήκη γραμμών για προδιαλεγμένα οργανικά απόβλητα στις υφιστάμενες μονάδες επεξεργασίας υπολειπόμενων σύμμεικτων ΑΣΑ.

## 1.6 Παραγωγή βιοαποβλήτων σε Ελλάδα και ΕΕ

Η συνολική ποσότητα βιοαποβλήτων που παράγεται κάθε χρόνο στην ΕΕ εκτιμάται ότι ανέρχεται στους 120-140 εκ. τόνους, εκ των οποίων οι 90 τόνοι προέρχονται από νοικοκυριά. Το 40% των βιοαποβλήτων διατίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής ενώ 29% συλλέγεται μέσω προγραμμάτων διαλογής στην πηγή και επεξεργάζεται σε μονάδες αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης. Επίσης προβλέπεται ότι το ποσοστό των βιοαποβλήτων στα ΑΣΑ αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια και να ανέλθει στο 35.6% αυτών. Τα στατιστικά αυτά διαφοροποιούνται αρκετά από χώρα σε χώρα εξαιτίας διαφόρων παραγόντων. [6]

Πίνακας 4: Ποσοστό των βιοαποβλήτων στο σύνολο των ΑΣΑ στις ευρωπαϊκές χώρες

% of bio-waste in total municipal waste	Countries
Less than 20 %	Lithuania, Norway and Slovenia
Between 20 % and 30 %	Bulgaria, Denmark, Ireland, Hungary, Latvia and Switzerland
Between 30 % and 40 %	Germany, France, Italy, Sweden, United Kingdom, European average
Between 40 % and 50 %	Austria, Belgium, Czech Republic, Estonia, Finland, Luxembourg, the Netherlands, Poland, Romania and Spain
Between 50 % and 60 %	Greece, Portugal, Slovakia
Between 60 % and 80 %	Malta



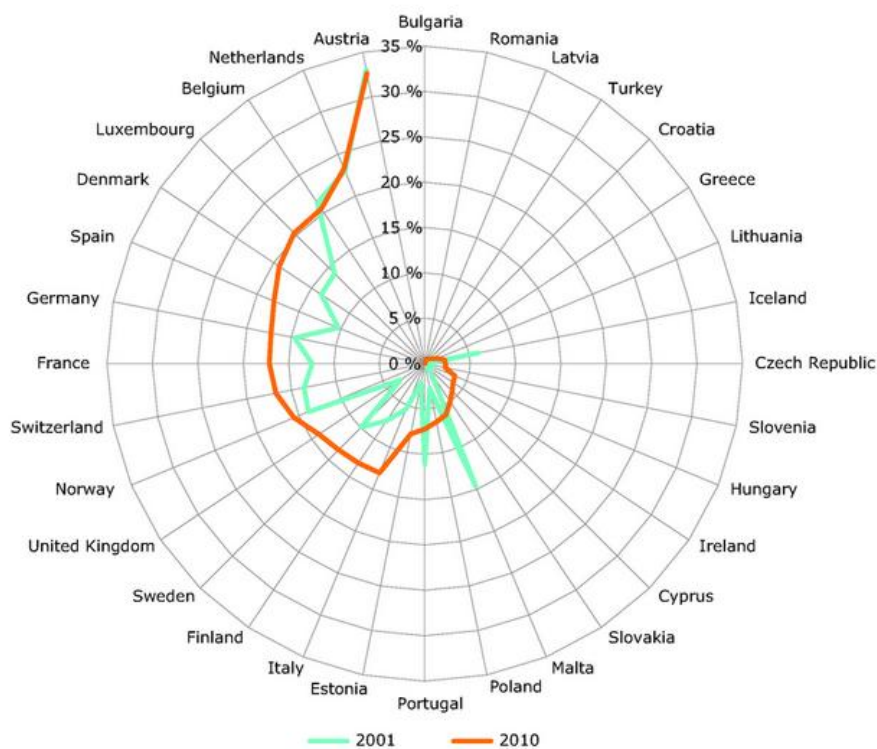
Εικόνα 4: Ποσοστό βιοαποβλήτων στο σύνολο των ΑΣΑ για το σύνολο της ΕΕ από το 2008 έως το 2020

Παρόλο που η ανακύκλωση υλικών έχει αυξηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια στην ΕΕ, η ανακύκλωση των βιοαποβλήτων σε αρκετές χώρες έχει μείνει στάσιμη.

Όπως φαίνεται και από το παρακάτω γράφημα μόνο μία χώρα αύξησε το ποσοστό ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων κατά 10 ποσοστιαίες μονάδες την περίοδο 2001-2010 και έξι χώρες από 5 έως 10 ποσοστιαίες μονάδες. Οι υπόλοιπες χώρες σημείωσαν ελάχιστη πρόοδο. Κάποιοι λόγοι που εξηγούν αυτό το φαινόμενο είναι:

- Η απουσία οδηγίας από την ΕΕ ως προς την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων. Αντιθέτως η ΕΕ έχει εκδόσει μόνο οδηγία για την εκτροπή από τους ΧΥΤ.
- Το γεγονός ότι μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχαν κριτήρια ως προς την ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ, με αποτέλεσμα να μην ήταν γνωστό αν το κόμποστ αυτό μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό
- Το γεγονός ότι σε κάποιες χώρες το ποσοστό των βιοαποβλήτων στα ΑΣΑ είναι σε χαμηλό επίπεδο με αποτέλεσμα οι χώρες αυτές να έχουν λιγότερες δυνατότητες για ανακύκλωση [7]

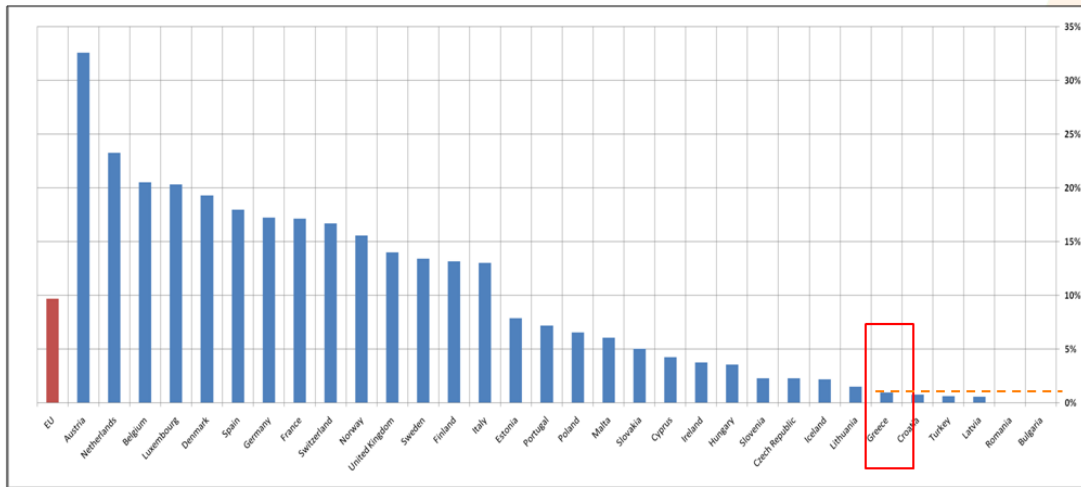
**Bio-waste recycling in 32 European countries as a percentage of total municipal waste generated in 2001 and 2010**



**Εικόνα 5: Ποσοστό ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων ως προς το σύνολο των παραχθέντων ΑΣΑ για τα έτη 2001 και 2010**

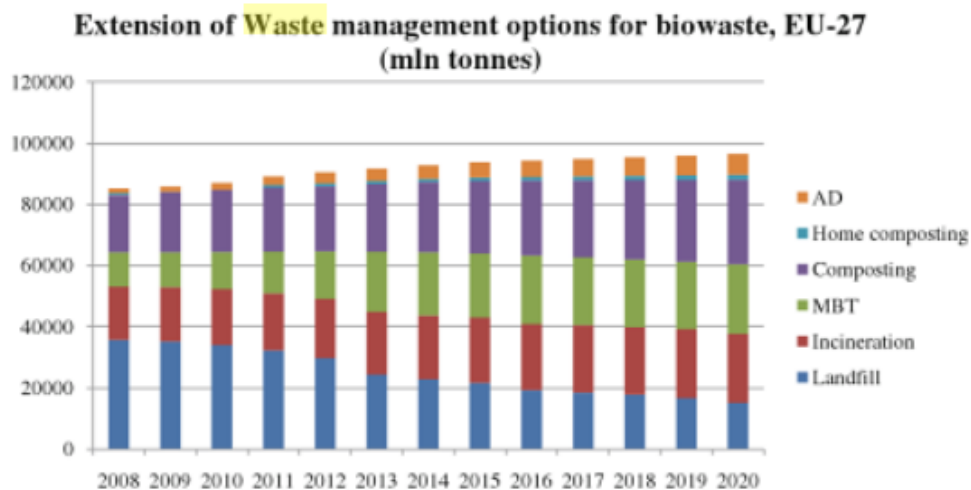


## Ποσοστό ανακύκλωσης βιοαποβλήτων σε σχέση με την συνολική παραγωγή ΑΣΑ (2010)



Εικόνα 6: Ποσοστό ανακύκλωσης βιοαποβλήτων σε σχέση με την συνολική παραγωγή ΑΣΑ για το έτος 2010

Όσον αφορά στη διαχείρισή τους, οι επικρατούσες τεχνικές είναι η ταφή και η καύση λόγω του χαμηλού τους κόστους. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η κατάσταση αυτή αναμένεται να αλλάξει τα επόμενα χρόνια σύμφωνα και με τις οδηγίες της ΕΕ.



Εικόνα 7: Κατανομή τεχνικών διαχείρισης για τα βιοαπόβλητα στην ΕΕ από το 2008 έως το 2020

Η ποσοτική και ποιοτική κατανομή των βιοαποβλήτων στη Ελλάδα παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα όπου αναγράφονται εκτιμήσεις σχετικά με τη σύσταση και την εξέλιξή τους για τις τρεις βασικές κατηγορίες προέλευσης (Οικιών, Βιομηχανίας, Εμπορικών δραστηριοτήτων και υπηρεσιών) καθώς και τις αντίστοιχες υποκατηγορίες τους.

**Πίνακας 5: Εκτίμηση της παραγωγής, σύστασης & εξέλιξης των βιοαποβλήτων, ανά τομέα παραγωγής τους, σε επίπεδο χώρας (τον./ετος)**

	2012	2013	2015	2020	2025	2030
<b>ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ</b>	5831855	5914672	6086485	6542883	7037736	7563297
<b>ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΑ</b>	3923126	3978247	4093349	4397807	4725343	5071028
<b>ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ</b>	<b>2567867</b>	<b>2599157</b>	<b>2659912</b>	<b>2824699</b>	<b>2984759</b>	<b>3148588</b>
<b>ΟΙΚΙΩΝ</b>	<b>2196682</b>	<b>2222775</b>	<b>2272776</b>	<b>2408822</b>	<b>2537969</b>	<b>2669125</b>
ΒΑ-ΤΡΟΦΩΝ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ	1678991	1698759	1736485	1839271	1936142	2034274
ΒΑ-ΚΗΠΩΝ & ΠΑΡΚΩΝ	517692	524016	536290	569551	601827	634851
<b>ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ*</b>	<b>30162</b>	<b>30451</b>	<b>31038</b>	<b>32783</b>	<b>34626</b>	<b>36572</b>
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΦΡΟΥΤΩΝ	2676	2702	2754	2909	3072	3245
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΡΕΑΤΟΣ & ΙΧΘΥΩΝ	2600	2625	2675	2826	2985	3152
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΛΟΙΠΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	11833	11946	12176	12860	13584	14347
ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	13054	13179	13433	14188	14985	15828
<b>ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ &amp; ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ</b>	<b>341022</b>	<b>345930</b>	<b>356098</b>	<b>383094</b>	<b>412164</b>	<b>442890</b>
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΛΙΑΝΙΚΗΣ & ΧΟΝΔΡΙΚΗΣ	79718	80865	83242	89553	96348	103531
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ	68962	69954	72010	77470	83348	89562
ΕΣΤΙΑΣΗΣ-ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗΣ	89212	90496	93156	100218	107823	115861
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	26734	27119	27916	30032	32311	34720
ΓΡΑΦΕΙΑ & ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	25623	25992	26756	28785	30969	33278
ΥΓΕΙΑ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	50773	51504	53018	57037	61365	65940

*\*Αφορά τις διαθέσιμες (και καταγεγραμμένες) ποσότητες των βιοαποβλήτων και όχι το σύνολο των παραγόμενων βιοαποβλήτων από τη βιομηχανία τροφίμων*

Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια εκτίμηση ως προς τη σύσταση των ΑΣΑ για το 2011.

Πίνακας 6: Σύσταση (%) των ΑΣΑ ανά περιφέρεια (2011)

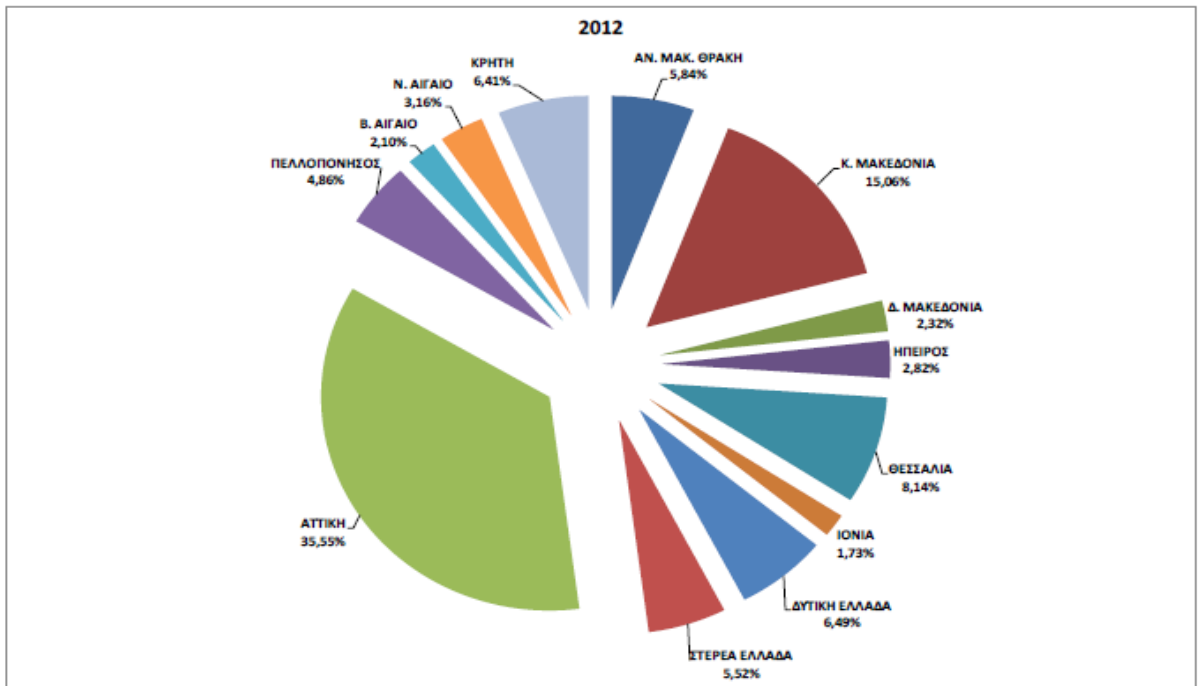
	Περιφέρεια	Βιοαπόβλητα (Οργανικό κλάσμα)	Χαρτί- χαρτόνι	Μέταλλα	Πλαστικά	Γυαλί	Λοιπά
1	ΑΝ. ΜΑΚ. ΘΡΑΚΗ	45,8	15,3	16,5	3,4	4,3	14,7
2	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	38,6	21,6	14,9	3,9	3,4	17,6
3	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	46,2	19,4	14,4	2,3	1,9	15,8
4	ΗΠΕΙΡΟΣ	44,9	18,9	11,3	5,2	3,8	15,8
5	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	53,9	17,1	16,3	3,8	6,7	2,2
6	ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
7	ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
8	ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
9	ΑΤΤΙΚΗ	43,6	28,1	13	3,3	3,4	8,6
10	ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	41	29	14	3,5	3,5	9
11	Β. ΑΙΓΑΙΟ	48,3	21,6	9,4	3,2	5,8	11,7
12	Ν. ΑΙΓΑΙΟ	30	28	21	3	7	11
13	ΚΡΗΤΗ	39,2	20	16,9	5	5,3	13,7

Αντίστοιχα η εκτίμηση της ποσότητας των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια η εξελιγή τους έως το 2030 παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 7: Εκτίμηση ποσότητας βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια (τον./έτος)

	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	2012	2013	2015	2020	2025	2030
1	ΑΝ. ΜΑΚ. ΘΡΑΚΗ	150931	151871	153745	157949	162772	168964
2	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	391194	397606	409994	439320	467422	496262
3	Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	58930	59117	59464	60804	62241	63917
4	ΗΠΕΙΡΟΣ	71764	72295	73336	77381	81573	85995
5	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	210890	212545	215755	227885	239328	250441
6	ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	43778	44319	45354	48420	51346	54145
7	ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	167038	168598	171633	182676	193704	204744
8	ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	143396	144478	146654	155595	165012	174763
9	ΑΤΤΙΚΗ	909711	923732	950682	1012922	1069214	1124555
10	ΠΕΛΟΠΟΝΗΣΟΣ	123464	125254	128869	138641	149083	159956
11	Β. ΑΙΓΑΙΟ	53417	52957	52209	51740	52517	54379
12	Ν. ΑΙΓΑΙΟ	80102	80826	82203	87045	91919	97078
13	ΚΡΗΤΗ	163252	165559	170012	184319	198628	213389
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2567867</b>	<b>2599157</b>	<b>2659912</b>	<b>2824699</b>	<b>2984759</b>	<b>3148588</b>

Τέλος η ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια για το 2012 δίνεται στο ακόλουθο σχήμα. [9]



Εικόνα 8: Ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια στο σύνολο της χώρας (2012)

## 1.7 Τεχνικές διαχείρισης βιοαποβλήτων

### 1.7.1 Διαλογή στην πηγή

Με τη διαλογή υλικών στην πηγή παραγωγής των στερεών αποβλήτων - απορριμμάτων επιτυγχάνεται μείωση της ποσότητας που οδηγείται προς τελική διάθεση, με παράλληλη αξιοποίηση υλικών. Η διαλογή στην πηγή αποτελεί εναλλακτικό και συμπληρωματικό στάδιο της συνολικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων και θεωρείται πλέον ένα από τα πιο σημαντικά στάδια στη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων. Η επιτυχής εφαρμογή ενός προγράμματος διαλογής στην πηγή εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- το είδος και την ποσότητα των προς διαλογή – ανακύκλωση υλικών
- την ποιότητα των ανακτώμενων υλικών
- την ύπαρξη αγορών για την απρόσκοπτη απορρόφησή τους
- την ευκολία υλοποίησης και το κόστος άλλων εναλλακτικών τεχνικών διαχείρισης των στερεών αποβλήτων που εφαρμόζονται στην υπό εξέταση περιοχή



Εικόνα 9: Κάδοι συλλογής διαφορετικών τύπων αποβλήτων

Η εφαρμογή συστημάτων διαλογής στην πηγή, προϋποθέτει την ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών μέσω της εφαρμογής προγραμμάτων ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης, τα οποία είναι απαραίτητα για τη βιώσιμη λειτουργία των συστημάτων αυτών. [17]

### 1.7.2 Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική διαδικασία η οποία μετατρέπει τα οργανικά υλικά σε μια πλούσια σκούρα ουσία. Αυτή η ουσία λέγεται κομπόστ ή χούμους ή εδαφοβελτιωτικό. Η κομποστοποίηση είναι ένας πολύ άμεσος και σημαντικός τρόπος ανακύκλωσης. Έχει υπολογιστεί ότι το 35% των οικιακών απορριμμάτων μπορούν να κομποστοποιηθούν.



Εικόνα 10: Διεργασία κομποστοποίησης [29]

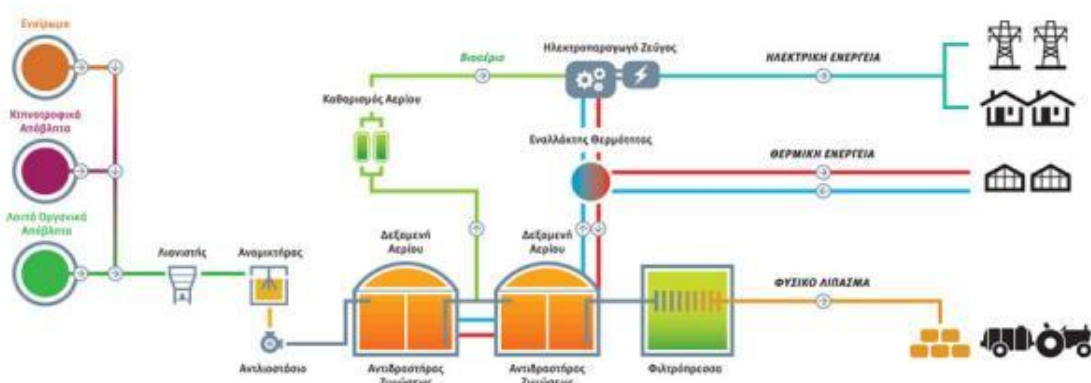
Κατά την κομποστοποίηση βακτήρια, μύκητες καθώς και άλλοι μικροοργανισμοί διασπούν το οργανικό υλικό παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα, θερμότητα και νερό. Το τελικό υλικό είναι ένα σταθεροποιημένο στερεό υλικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. [18] Η κομποστοποίηση αποτελεί μία βιολογική διεργασία. Οι βιολογικές διεργασίες μπορούν να χωριστούν σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο της βιοαποδόμησης λαμβάνουν χώρα οι μικροβιολογικές δραστηριότητες που έχουν σαν αποτέλεσμα την αποδόμηση και την σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών και διαρκεί 2-8 εβδομάδες ανάλογα με τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται προς υποστήριξη των βιολογικών διεργασιών. Στο στάδιο της ωρίμανσης το υλικό που παράγεται στο πρώτο στάδιο αφήνεται να ωριμάσει για μεγάλο χρονικό διάστημα που ανέρχεται σε 4-12 εβδομάδες με τελικό προϊόν το ώριμο κομπόστ. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης παρατηρείται περαιτέρω σταθεροποίηση του αρχικού κομπόστ.

Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής αυτή διαχείρισης βιοαποβλήτων εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- σύσταση υποστρώματος
- μέγεθος των συστατικών του υποστρώματος
- καθαρότητα του υποστρώματος (ύπαρξη προσμίξεων)
- υγρασία του υποστρώματος
- pH του υποστρώματος
- θερμοκρασία του υποστρώματος
- αερισμός του υποστρώματος [17]

### 1.7.3 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μία βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης παράγεται μικρή ποσότητα θερμότητας. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.



Εικόνα 11: Διεργασία Αναερόβιας Χώνευσης [30]

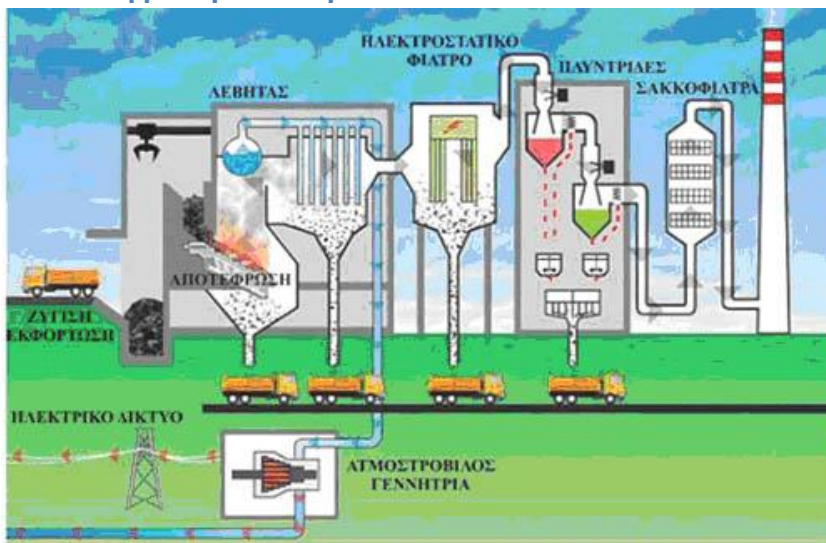
Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζει τέσσερα κύρια διακριτά στάδια: την υδρόλυση, την οξεογένεση, την ακετογένεση (οξικοποίηση) και τη μεθανογένεση. Διαφορετικά είδη μικροοργανισμών είναι υπεύθυνα για την ομαλή ολοκλήρωση κάθε ενός από τα παραπάνω στάδια. Τα στάδια της διεργασίας λαμβάνουν χώρα παράλληλα στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποδόμησης καθορίζεται από τα πιο αργά στάδια των διαφορετικών φάσεων.

Οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται μια διεργασία αναερόβιας χώνευσης είναι:

- Η θερμοκρασία
- Το pH
- Η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων, ιχνοστοιχείων, θρεπτικών ουσιών και τοξικών ενώσεων
- Η συγκέντρωση αναστολέων της αναερόβιας χώνευσης [19]



#### 1.7.4 Αποτέφρωση - καύση



Εικόνα 12: Διεργασία Καύσης [17]

Με την καύση των στερεών αποβλήτων επέρχεται πλήρης οξείδωση των εμπριεχόμενων στα ΑΣΑ οργανικών ουσιών. Για τη σωστή καύση απαιτείται η παροχή επαρκούς περίσσειας αέρα, πέρα από τη στοιχειομετρική αναλογία. Από τις εγκαταστάσεις καύσης και ανάλογα με την ποιότητα των ΑΣΑ παράγονται εκτός από τα τυπικά προϊόντα της καύσης (ατμός, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια) και μια σειρά άλλων τοξικών ενώσεων όπως υδροχλώριο, υδροφθόριο, διοξίνες, φουράνια, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα κτλ. Για τον έλεγχο των εκπομπών έχουν θεσπιστεί αυστηρά όρια, για την επίτευξη των οποίων απαιτείται η χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου. Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι:

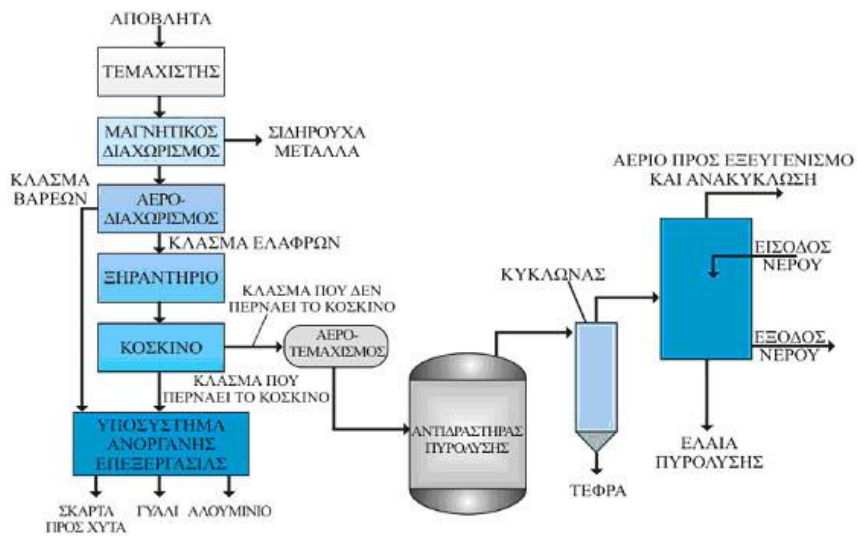
- επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου ( $O_2$ ) στην εστία καύσης
- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης
- σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης - οξυγόνου)
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης

Η τεχνική της καύσης των στερεών απορριμμάτων είναι η πλέον δόκιμη με πολυπληθείς μονάδες σε λειτουργία και κατασκευαστές στην ΕΕ. Βασικό προϊόν των μονάδων καύσης ΑΣΑ είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η διάθεση της οποίας δεν παρουσιάζει πρακτικά προβλήματα. [20]



### 1.7.5 Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι μία φυσικοχημική θερμική διεργασία απουσία οξυγόνου και έτσι δεν επιτυγχάνεται πλήρης οξείδωση των αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, τα οργανικά συστατικά αποσυντίθενται στους 450-750° C με εξωγενή θερμότητα. Αυτό είναι που διαφοροποιεί την πυρόλυση από τις άλλες κλασσικές τεχνολογίες καύσης αποβλήτων. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της πυρόλυσης είναι δυνατότητα καύσιμων αερίων και ανθρακικών παραπροϊόντων (κάρβουνο, charcoal) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάλλιστα ως καύσιμη ύλη για βιομηχανικές εφαρμογές.



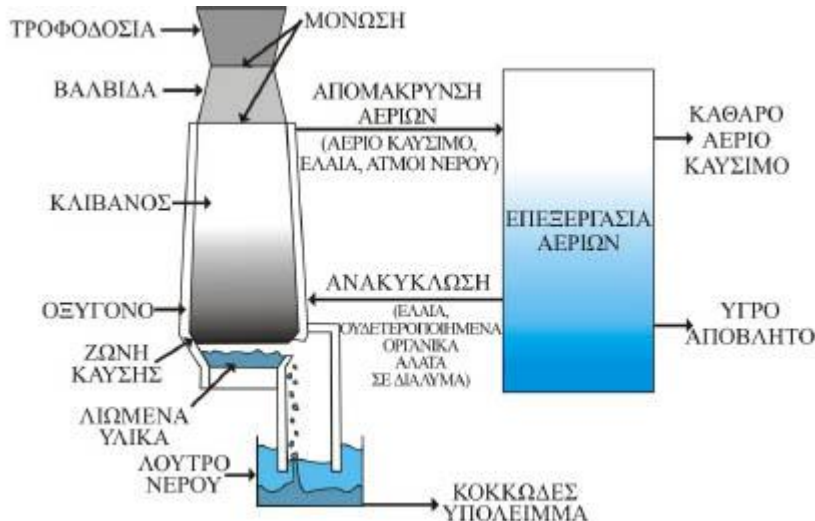
Εικόνα 13: Διεργασία Πυρόλυσης [17]

Σε αντίθεση με τους κλασσικούς κλιβάνους στους οποίους απαιτείται να λειτουργούν κοντά στο όριο χωρητικότητάς τους (60 – 100%) προς αποφυγή δυσλειτουργιών, οι μονάδες πυρόλυσης έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε ένα μεγαλύτερο εύρος χωρητικότητας από 40 – 150%. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ελαστικότητα προσαρμογής σε διάφορες μεταβολές, όπως εποχιακή αύξηση πληθυσμού ή ακόμα προσαρμογή σε αλλαγές στο σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων. Επίσης με την πυρόλυση αποκλείεται ο σχηματισμός χλωριούχων οργανικών ουσιών όπως διοξινών και Furan. [21]

Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμή τους, η περιεχόμενη υγρασία κ.λ.π.

### 1.7.6 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500 οC).



Εικόνα 14: Διεργασία Αεριοποίησης

Η αεριοποίηση έχει ομοιότητες με την πυρόλυση, όπως τη μετατροπή των απορριμμάτων σε αέρια, στερεά και υγρά καύσιμα, αλλά παρουσιάζει και βασική διαφορά κατά την εφαρμογή της, αφού η μεν πυρόλυση χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των απορριμμάτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου η δε αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο, όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα, αέρα ή οξυγόνο, για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης.

Μέσω της αεριοποίησης επιτυγχάνεται η παραγωγή καύσιμου αερίου πλούσιο σε H<sub>2</sub> και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο). Οι κύριες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι:

- C + O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub> (εξώθερμη) (1)
- C + H<sub>2</sub>O > CO + H<sub>2</sub> (ενδόθερμη) (2)
- C + CO<sub>2</sub> > 2CO (ενδόθερμη) (3)
- C + 2H<sub>2</sub> > CH<sub>4</sub> (εξώθερμη) (4)
- CO + H<sub>2</sub>O > CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> (εξώθερμη) (5)

Η θερμότητα για τη διατήρηση της διεργασίας προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα προϊόντα παράγονται κυρίως μέσω των ενδόθερμων αντιδράσεων. Οι βασικοί τύποι εγκαταστάσεων αεριοποίησης είναι:

- Κάθετης σταθερής κλίνης
- Οριζόντιας σταθερής κλίνης
- Ρευστοποιημένης κλίνης
- Πολλαπλών εστιών
- Περιστρεφόμενου κλιβάνου

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- Αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος που παράγεται κατά την πυρόλυση. [17]

#### 1.7.7 Αεριοποίηση/ Υαλοποίηση με την τεχική πλάσματος

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αεριοποίησης πλάσματος λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση/υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχόμενων αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης, ένα μίγμα πλούσιο σε CO και H<sub>2</sub>. Ο απαιτούμενος χρόνος προκειμένου να πραγματοποιηθεί η καταστροφή των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας και το χρόνο παραμονής των οργανικών ενώσεων στην ιονισμένη ατμόσφαιρα. Παράλληλα το ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο ύστερα από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές υψηλής πυκνότητας υαλώδες υλικό.

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

- Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, το οποίο προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών (οργανικό μέρος των αποβλήτων) του εισερχόμενου ρεύματος. Η σύσταση του αερίου καθώς και το ενεργειακό του περιεχόμενο, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος αποβλήτων. Το παραπάνω μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποδοτικό καύσιμο στη μονάδα πλάσματος μειώνοντας με τον

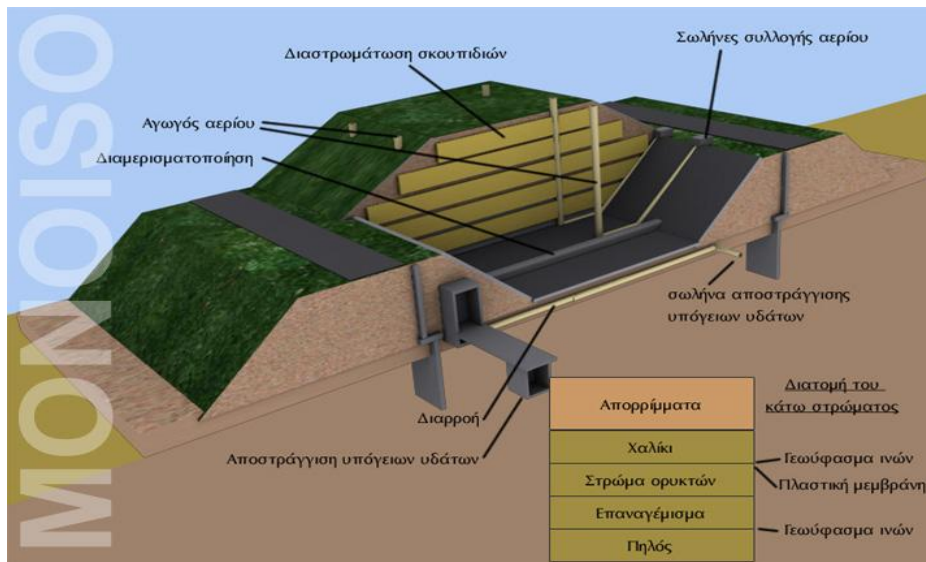
τρόπο αυτό το λειτουργικό κόστος ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εμπορεύσιμο προϊόν.

- Το υαλώδους μορφής, αδρανές υλικό το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων. Το υπόλειμμα αυτό είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. κατασκευή δρόμων)
- Τα απαέρια, τα οποία ύστερα από κατάλληλα επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Αναφορικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του πλάσματος, ισχύουν τα ίδια όρια με τις υπόλοιπες μονάδες θερμικής επεξεργασίας.
- Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας πλάσματος είναι η επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών και γενικά δραστικότερων συνθηκών σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα η μέση θερμοκρασία του αερίου πλάσματος μπορεί να υπερβεί τους 8000<sup>o</sup> C και για αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική και δραστική στην επεξεργασία των αποβλήτων. [22]

### 1.7.8 Υγειονομική ταφή

Η υγειονομική ταφή είναι η διαδικασία κατά την οποία τα απορρίμματα που πρόκειται να διατεθούν διαστρώνονται σε στρώσεις ύψους 2-3 μέτρων, συμπιέζονται και καλύπτονται με κατάλληλο αδρανές υλικό στο τέλος της καθημερινής λειτουργίας. Όταν ο χώρος διάθεσης φθάσει στην τελική του χωρητικότητα, τοποθετείται μια τελική στρώση αδρανούς υλικού πάχους 0,60 m περίπου και μετά στρώμα χώματος κατάλληλο για δενδροφύτευση, ώστε να αποκατασταθεί τελικά το τοπίο. Οι χώροι υγειονομικής ταφής δεν πρέπει να συγχέονται με τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης, οι οποίοι αποτελούν εστίες ρύπανσης του περιβάλλοντός και πηγές ανάφλεξης. Αντίθετα η υγειονομική ταφή είναι μια περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης καθώς επίσης και ένας τρόπος για την αξιοποίηση ανεκμετάλλευτων χώρων και για την περιβαλλοντική τους αποκατάσταση. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός χώρου υγειονομικής ταφής προϋποθέτει την εφαρμογή μιας σειράς επιστημονικών, τεχνικών και οικονομικών αρχών.



Εικόνα 15: Διεργασία Υγειονομικής Ταφής [31]

Οι διεργασίες στους χώρους της Υγειονομικής Ταφής είναι η γήρανση, η αποσάθρωση και η δημιουργία στραγγισμάτων. Η γήρανση είναι το σύνολο των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο εναποτιθέμενο υλικό που σε κανονικές συνθήκες υγρασίας δεν επηρεάζονται από παράγοντες που προέρχονται από την επιφάνεια. Πρόκειται κυρίως για αναερόβια διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται με την βιολογική αποσύνθεση σε Humus.

Παράλληλα συμβαίνει και ισχυρή ορυκτοποίηση με μετατροπή των υδροξειδίων των μετάλλων σε σουλφίδια, ανθρακικά, πυριτικά και φωσφορικά άλατα. Η αποσάθρωση δρα αντίστροφα. Διαβρώνει το υλικό και σχηματίζει πολλές ευδιάλυτες ουσίες. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ αποσάθρωσης και γήρανσης. Η φυσική αποσάθρωση που οφείλεται στο οξυγόνο και το CO<sub>2</sub>, επιδρά με μείωση του pH, διάλυση στερεών λόγω ανθρακικού οξέος και οξείδωση.

Η βιολογική αποσάθρωση οδηγεί σε οξείδωση των οργανικών ουσιών προς CO<sub>2</sub> και των οργανικών αζωτούχων σε οργανικές ενώσεις που περιέχουν και θείο.

Τα στραγγίσματα αφορούν όλες τις ευδιάλυτες ουσίες που σχηματίστηκαν κατά τη γήρανση και τα διαλυτά προϊόντα της γήρανσης και της αποσάθρωσης.

Οι ποσότητες τους εξαρτώνται από τη διεισδυτικότητα του νερού και ευνοείται η δημιουργία τους από μεγάλους ύψους στρώματα απορριμμάτων.

Η αλληλεπίδραση των φυσικοχημικών και βιολογικών φαινομένων που εξελίσσονται στη μάζα των απορριμμάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του χώρου διάθεσης. [23]

### 1.7.9 Οικιακή ξήρανση

Ως ξήρανση ορίζεται κυρίως η αφαίρεση μικρών σχετικά ποσοτήτων νερού από στερεά ή ημιστερεά υλικά. Στις διεργασίες ξήρανσης είθισται να δίνεται έμφαση στο αποξηραμένο τελικό προϊόν και, στις περισσότερες περιπτώσεις, η ξήρανση επιτυγχάνεται με αφαίρεση υγρασίας σε θερμοκρασίες κατώτερες του σημείου βρασμού, ενώ στην εξάτμιση η αφαίρεση υγρασίας γίνεται στο σημείο βρασμού του διαλύματος. [13]

Όσον αφορά στην οικιακή ξήρανση πρόκειται για μία αναδυόμενη τεχνολογία διαχείρισης οικιακών απορριμάτων με πολλαπλά οφέλη. Η αποδοτική αφαίρεση της υγρασίας οδηγεί σε υψηλή μείωση της μάζας και του όγκου ενώ παράγεται ένα ανανεώσιμο τελικό προϊόν (ξηρή βιομάζα) το οποίο μπορεί να διαχειριστεί ευκολότερα και αποδοτικότερα για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί εθνικά και ευρωπαϊκά και ιδιαίτερα στην εκτροπή των βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων από τους ΧΥΤΑ.

Αναλυτικά τα οφέλη από τη χρήση ενός συστήματος οικιακής ξήρανσης είναι:

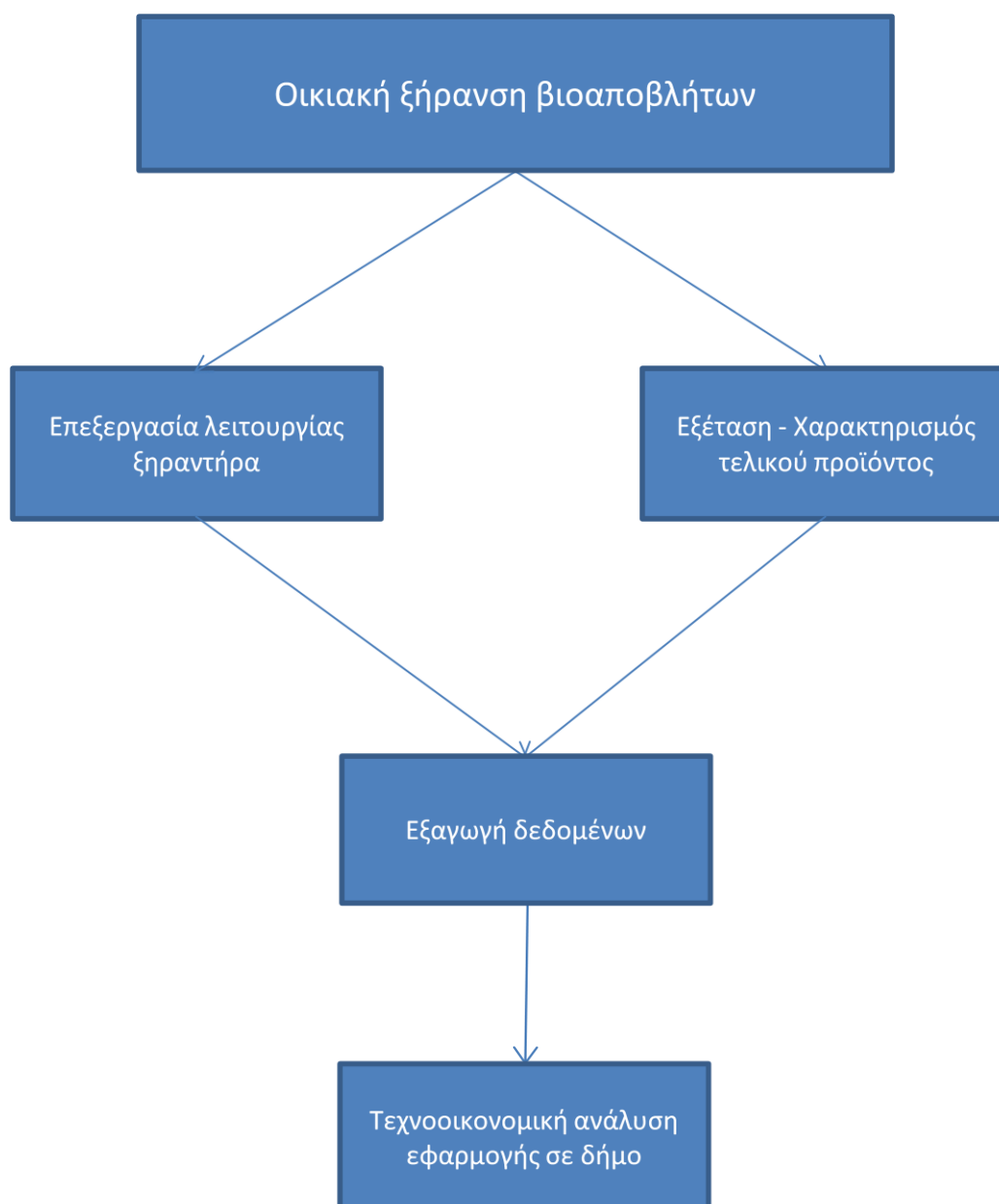
- Η εκτροπή σημαντικής ποσότητας βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων από τους ΧΥΤΑ συμβάλλοντας στους εθνικούς στόχους
- Η συμβολή στην εφαρμογή συστημάτων διαλογής βιοαποβλήτων στην πηγή, τα οποία θεωρούνται η πλέον αποτελεσματική τεχνική όσον αφορά στην αειφόρο διαχείριση των ΑΣΑ
- Η ευαισθητοποίηση των πολιτών ως προς τα περιβαλλοντικά θέματα προσφέροντας τους την ευκαιρία άμεσης συμμετοχής στην προσπάθεια της προστασίας του περιβάλλοντος
- Η δημιουργία ενός ποιοτικού «καθαρού» υλικού το οποίο μπορεί να εκμεταλλευθεί ποικιλοτρόπως ανάλογα τον τρόπο επεξεργασίας του. Ειδικότερα το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό παραγωγής κόμποστ, πέλλετ, βιοκαυσίμων και πράσινης ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης, μέσω των διεργασιών μετατροπής της βιομάζας σε βιοκαύσιμα και θερμική επεξεργασία
- Η αύξηση του θετικού περιβαλλοντικού αντικτύπου μέσω της συμβολής στην αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης του πλανήτη
- Η μείωση του αριθμού των δρομολογίων των απορριματοφόρων οδηγώντας σε σημαντική βελτίωση του υπάρχοντος συστήματος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις μεσογειακές χώρες, καθώς και στις χώρες της νότιας Ευρώπης όπου οι κλιματικές συνθήκες απαιτούν συχνότερη συλλογή των ευκολότερα αποδομήσιμων απορριμάτων

- Η μείωση του κόστους συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ ως αποτέλεσμα της αντίστοιχης μείωσης των δρομολογίων των απορριματοφόρων
- Η μείωση του κόστους απόρριψης των ΑΣΑ (φόροι απόρριψης οι οποίοι πληρώνονται από τους Δήμους στο διαχειριστή του ΧΥΤΑ) καθώς τα επίπεδα κόστους είναι ανάλογα της απορριπτέας ποσότητας. [14]

## 2. Πειραματικό μέρος

### 2.1 Μεθοδολογία διπλωματικής

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής περιελάμβανε αρχικά την ξήρανση βιοαποβλήτων για 3 κύκλους με τη βοήθεια του συστήματος ξήρανσης Smart Cara CS10, η λειτουργία του οποίου μελετήθηκε. Στη συνέχεια το τελικό ξηρό προϊόν από κάθε κύκλο υπέστη επεξεργασία και ανάλυση. Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν διενεργήθη ένας τεχνοοικονομικός σχεδιασμός για την περίπτωση εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος στο δήμο Νέας Σμύρνης. Το παρακάτω διάγραμμα ροής είναι αντιπροσωπευτικό.





## 2.2 Περιγραφή συστήματος ξήρανσης

Για τους σκοπούς του πειράματος αυτού χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ξήρανσης Smart Cara CS10 της εταιρίας Magiccara



Εικόνα 16: Σύστημα Ξήρανσης Smart Cara

Πρόκειται για ένα σύστημα ξήρανσης το οποίο με τη χρήση υψηλής θερμοκρασίας και κυκλοφορίας του αέρα ξηραίνει αποτελεσματικά τα βιοαπόβλητα μειώνοντας σημαντικά τον όγκο και τη μάζα τους. Αποτελείται από την ηλεκτρονική συσκευή στην οποία είναι ενσωματωμένο το λογισμικό του συστήματος, με το οποίο αναγνωρίζει κάθε φορά τον όγκο και το επίπεδο υγρασίας του τοποθετηθέντος υλικού και προσαρμόζει ανάλογα την ένταση και τη διάρκεια της λειτουργίας του. Επίσης το σύστημα διαθέτει ένα αποσπώμενο καλάθι στο οποίο απορρίπτονται τα απορρίματα και στο οποίο υπάρχει ένας αναδευτήρας αποτελούμενος από τρεις λεπίδες. Ο αναδευτήρας περιστρέφεται με 6-8 στροφές ανά λεπτό με σκοπό την ομοιόμορφη θέρμανση του υλικού. Τέλος ο αέρας που εξέρχεται από το σύστημα διέρχεται μέσα από φίλτρα ενεργού άνθρακα τα οποία αποσπούν τις δυσάρεστες οσμές.[15]



Εικόνα 17: Φίλτρα ενεργού άνθρακα του συστήματος Smart Cara

Η λειτουργία του αποτελείται από τρία στάδια: την ξήρανση, τον τεμαχισμό και τη ψύξη. Αρχικά ξηραίνεται το υλικό μέχρι τη σημαντική μείωση της υγρασίας του, στη συνέχεια τεμαχίζεται περαιτέρω και τέλος ψύχεται για την ασφαλή ανάκτησή του.

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι τα εξής:

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά συστήματος Smart Cara [16]

Ιδιότητα	Περιγραφή
Μοντέλο	CS10
Διαστάσεις (mm)	270x300x350
Βάρος (kg)	9
Τάση (V)	220
Μέγιστη ισχύς (kW)	0.5
Διάρκεια λειτουργίας (h)	2-6
Μέγιστη χωρητικότητα υλικού (kg)	1

### 2.3 Πειραματική διαδικασία

Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα του καινοτόμου συστήματος Smart Cara στη μείωση της μάζας και του όγκου διατροφικών απορριμάτων μέσω ξήρανσης.

Το σύστημα λειτούργησε για τρεις κύκλους, συγκεκριμένα για μονομελή, διμελή και τριμελή οικογένεια, σε καθημερινή βάση για οκτώ ώρες. Το υπόστρωμα για κάθε κύκλο ήταν καθορισμένης σύστασης και χρησιμοποιούνταν φρέσκα τεμαχισμένα διατροφικά απορρίματα. Το δείγμα τοποθετείτο κάθε φορά εντός του καλαθιού και αφήνετο να ξηραθεί. Πριν και μετά την τοποθέτηση κάθε δείγματος γινόταν η μέτρηση του όγκου. Τις πρώτες δύο ώρες του πειράματος λάμβανε χώρα μέτρηση της μάζας ανά 10 λεπτά ενώ μετά το πέρας των δύο ωρών η μέτρηση γινόταν ανά μία ώρα. Κάθε μέρα εισαγόταν νέα ποσότητα δείγματος πάνω στην ποσότητα του ξηραμένου υλικού, που αντιστοιχούσε στις ποσότητες κάθε κύκλου. Η διαδικασία λάμβανε τέλος όταν ήταν πια αδύνατη η ποσότητα νωπού υλικού. Την τελευταία μέρα κάθε κύκλου το υλικό που υπήρχε στον αντιδραστήρα αφήνετο να ξηραθεί κατά τον ίδιο τρόπο μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους του.

Μετά το τέλος κάθε κύκλου το υλικό συλλέγεται και οδηγείται σε μύλο άλεσης για την επεξεργασία του και το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό του.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου συστήματος και η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του υλικού. Ειδικότερα περιγράφονται τα όργανα μέτρησης, οι αναλυτικές μέθοδοι για τη διεξαγωγή των πειραματικών αναλύσεων και οι μέθοδοι υπολογισμού των αποτελεσμάτων.







Εικόνα 18: Πληρωμένος κάδος με νωπό υλικό και με το τελικό ξηρό υλικό για του τρεις κύκλους







## 2.4 Πειραματική μέθοδος







### 2.4.1 Αρχική σύσταση υποστρώματος


Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε για κάθε κύκλο διαμορφώθηκε με βάση την παρατήρηση των διατροφικών συνηθειών 25 οικιών του Δήμου Παπάγου-Χολαργού στα πλαίσια της υλοποίησης του ευρωπαϊκού προγράμματος Life+ με το ακρωνύμιο DRYWASTE σε συνδυασμό με στοιχεία από τη βιβλιογραφία που αφορούν σε προδιαλεγμένα απόβλητα τροφών σε νοικοκυριά. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται το ημερήσιο πρότυπο μείγμα αποβλήτων τροφών συναρτήσει του αριθμού των μελών οικογένειας και η ποσοστιαία σύσταση του προτύπου μείγματος που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 9: Ημερήσιο πρότυπο μείγμα αποβλήτων τροφών συναρτήσει του αριθμού των μελών οικογένειας

	1μελής	2μελής	3μελής	4μελής	Φωτογραφία
Πατάτα (g)	124	249	372	498	
Κρεμμύδι (g)	22	43	66	86	
Μαρούλι (g)	12	23	36	46	
Πιπεριά (g)	3	8	9	16	

<b>Πράσινα σαλάτας (g)</b>	7	12	21	24	
<b>Πράσο (g)</b>	3	8	9	16	
<b>Λάχανο (g)</b>	14	27	42	54	
<b>Ντομάτα (g)</b>	10	20	30	40	
<b>Πορτοκάλι (g)</b>	20	40	60	80	
<b>Μπανάνα (g)</b>	47	93	141	186	

Μήλο (g)	39	79	117	158	
Λεμόνι (g)	7	14	21	28	
Μακαρόνια (g)	55	110	160	220	
Ψωμί (g)	13	25	39	50	
Κρέας (χοιρινό) (g)	27	54	81	108	
Τυρί (g)	7	16	21	37	

Σύνολο (g)	410	821	1230	1642	
------------	-----	-----	------	------	--



Πίνακας 10: Σύσταση του προτύπου μείγματος διατροφικών απορριμμάτων

Υλικό	Ποσοστό (%)
Πατάτα	30.24%
Κρεμμύδι	5.37%
Μαρούλι	2.93%
Πιπεριά	0.73%
Πράσινα Σαλάτας	1.71%
Πράσσο	0.73%
Λάχανο	3.41%
Ντομάτα	2.44%
Πορτοκάλι	4.88%
Μπανάνα	11.46%
Μήλο	9.51%
Λεμόνι	1.71%
Μακαρόνια	6.59%
Ρύζι	6.83%
Ψωμί	3.17%
Κοτόπουλο	2.44%
Χοιρινό	3.17%
Ψαρί	0.98%
Τυρί	1.71%
Σύνολο	100.00%

#### 2.4.2 Προσδιορισμός μείωσης μάζας

Για τον προσδιορισμό της μάζας αρχικά προσδιορίστηκε το βάρος του καλαθιού και στη συνέχεια προσδιοριζόταν το βάρος κάθε στοιχείου του δείγματος καθώς και το συνολικό τελικό βάρος πριν τη ξήρανση. Για τη μέτρηση της μάζας κάθε φορά γινόταν προσωρινή διακοπή του συστήματος έτσι ώστε να ζυγιστεί το βάρος του καλαθιού και του δείγματος. Με το πέρας των οκτώ ωρών διακόπτετο η λειτουργία του συστήματος οριστικά. Την επόμενη μέρα εισήγετο νέα ποσότητα δείγματος ίδιας σύστασης και μάζας και επαναλαμβάνονταν η διαδικασία. Η διαδικασία αυτή συνεχιζόταν μέχρι την πλήρωση του καλαθιού του ξηραντήρα και τη σταθεροποίηση του υλικού.



Εικόνα 19: Ζυγός ακριβείας

#### 2.4.3 Προσδιορισμός όγκου δείγματος

Ο προσδιορισμός του όγκου του δείγματος λάμβανε χώρα κάθε φορά πριν την έναρξη της ξήρανσης και συγκεκριμένα πριν και μετά την τοποθέτηση του υλικού. Το καλάθι του συστήματος θεωρήθηκε κυλινδρικό με διάμετρο 17cm, άρα επιφάνεια ίση με  $226,87 \text{ cm}^2$  και ύψος 13 cm οπότε ο συνολικός κενός όγκος του καλάθιού υπολογίστηκε ίσος με  $2949,25 \text{ cm}^3$ .

Πριν την τοποθέτηση του υλικού καταγράφετο το ύψος από την επιφάνεια του ξηραμένου υλικού σε 3 σημεία και ομοίως μετά την τοποθέτηση του δείγματος. Ο υπολογισμός του όγκου του υλικού γινόταν λοιπόν σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$V = A * (H - h)$$

Όπου:

A = η επιφάνεια του καλάθιού

H = το ύψος του κενού καλάθιού δηλαδή 13 cm.

h = το μετρούμενο ύψος κάθε φορά.

#### 2.4.4 Προσδιορισμός ενεργειακής κατανάλωσης

Ο προσδιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικής συσκευής η οποία τοποθετείται στη πρίζα από την οποία αντλούσε ηλεκτρικό ρεύμα το σύστημα. Η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης γινόταν ανά μία ώρα.





Εικόνα 20: Μετρητής καταναλισκόμενης ενέργειας

#### 2.4.5 Άλεση ξηρού υλικού

Μετά το τέλος κάθε κύκλου το ξηρό υλικό συλλέγεται και οδηγείται σε μύλο άλεσης ώστε η κοκκομετρία του δείγματος να είναι κατάλληλη για την πραγματοποίηση των φυσικοχημικών αναλύσεων.



Εικόνα 21: Άλεσμένο ξηρό υλικό των τριων κύκλων

## 2.4.6 Προσδιορισμός φυσικοχημικών χαρακτηριστικών

Οι φυσικοχημικές αναλύσεις χαρακτηρισμού του ξηρού υλικού ήταν οι εξής:

Πίνακας 11: Απαιτούμενος εξοπλισμός και αντιδραστήρια για κάθε φυσικοχημική παράμετρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ
<b>TN</b>	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Ζυγός ακριβείας	Διάλυμα $C_7H_6O_3 / H_2SO_4$ Στερεό $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$ Στερεό $K_2SO_4 - CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ Διάλυμα NaOH Διάλυμα $H_3BO_3$ Διάλυμα $H_2SO_4$ Δείκτης
<b>TKN</b>	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Ζυγός ακριβείας	Στερεό $K_2SO_4 - CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ Διάλυμα NaOH Διάλυμα $H_2SO_4$ Διάλυμα $H_3BO_3$ Δείκτης
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Συσκευή ανάδευσης	Διάλυμα $H_2SO_4$ Διάλυμα $H_3BO_3$ Διάλυμα KCl Διάλυμα MgOH
<b>VS-Υγρασία</b>	Ξηραντήρας με silica gel Φούρνος ξήρανσης Ζυγός ακριβείας	
<b>TOC</b>	Συσκευή TOC Shimadzu	
<b>pH</b>	Πεγάμετρο	
<b>Αγωγιμότητα</b>	Αγωγιμόμετρο	

## 2.4.7 Προσδιορισμός υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας ενός δείγματος αρχικά ζυγίζοταν ποσότητα ίση με 5 g σε ζυγό ακριβείας. Στη συνέχεια η ποσότητα αυτή τοποθετείτο σε πύρινη κάψα σε φούρνο ξήρανσης στους  $105^\circ C$  για 24 ώρες. Μετά την αφαίρεση του δείγματος από το φούρνο και την παραμονή του για 30 λεπτά σε ξηραντήρα, ζυγίζοταν εκ νέου ώστε να προσδιοριστεί η ποσότητα της υγρασίας που είχε απομακρυνθεί.

Η ποσοστιαία υγρασία υπολογίστηκε από τη διαφορά μάζας πριν και μετά τη ξήρανση στους  $105^\circ C$  (ASTM 2004):

$$\text{Ποσοστό Υγρασίας} = \frac{m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}}}{m_{\text{αρχ}}} * 100$$

Όπου:

$m_{\text{αρχ}}$  = η συνολική αρχική μάζα (βάρους δείγματος και κάψας)

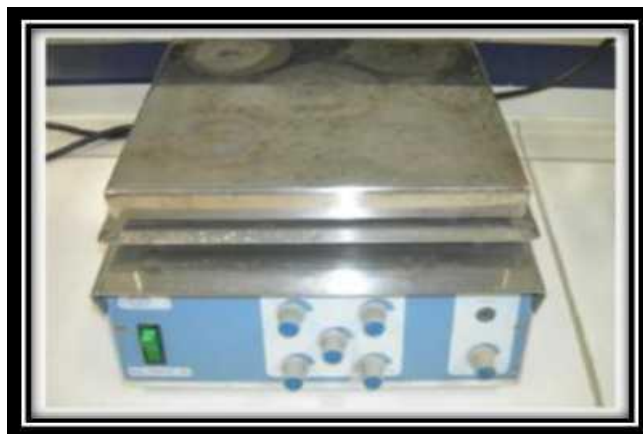
$m_{\text{τελ}}$  = η συνολική τελική μάζα (βάρος δείγματος και κάψας)



Εικόνα 22: Φούρνος ξήρασης

#### 2.4.8 Προσδιορισμός pH/Αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας ζυγίζονταν 2 g δείγματος και αναμειγνύονταν με 40 ml απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια πραγματοποιείτο ανάδευση των διαλυμάτων για 30 λεπτά, μετά τα οποία αφήνονταν σε ηρεμία για διάστημα μίας ώρας με σκοπό την κατακάθιση των στερεών αδιαλύτων ουσιών.



Εικόνα 23: Συσσκευή Ανάδευσης

Στη συνέχεια ο προσδιορισμός του pH και της αγωγιμότητας πραγματοποιείτο με χρήση της συσκευής METTLER TOLEDO MPC227.



Εικόνα 24: Πεχάμετρο METTLER TOLEDO MPC227

#### 2.4.9 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%) / (TKN) (%) / αμμωνιακών (N-NH<sub>4</sub>) (%) και νιτρικών (N-NO<sub>3</sub>) (%) κατά Kjeldahl

##### Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%)

Η μέθοδος προσδιορισμού αποτελείται από τη χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε βασίζεται στην τροποποιημένη κατά Kjeldahl μέθοδο προσδιορισμού αζώτου η οποία περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

Αρχικά πραγματοποιείται η χώνευση όπου το οργανικό άζωτο και το ελεύθερο αμμώνιο μετατρέπονται σε άλας θειικού αμμωνίου παρουσία θειικού οξέος και διοξειδίου του τιτανίου. Τα νιτρικά και νιτρώδη ανάγονται σε αμμωνιακά με τη χρήση σαλικυλικού οξέος και θειοθειικού νατρίου. Έπειτα πραγματοποιείται απόσταξη της αμμωνίας και προσδιορισμός της με τη μέθοδο της τιτλοδότησης. Ακολουθεί αναλυτικότερη παρουσίαση της παραπάνω μεθόδου με ακριβείς αναφορές στο είδος και την ποσότητα των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιήθηκαν.

##### ➤ Χώνευση

Αρχικά έγινε η παρασκευή του καταλύτη με ανάμειξη 200g θειικού καλίου (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 6g θειικού χαλκού (CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O) και 6g οξειδίου του τιτανίου (Ti<sub>2</sub>O). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία των δειγμάτων ώστε να τοποθετηθούν στη συσκευή Gerhardt.



Εικόνα 25: Συσκευή Gerhardt KJELDATHERM

Σε δύο φιάλες χρησιμοποιήθηκαν τυφλά δείγματα (20 ml θειικού οξέος ( $H_2SO_4$ ) και 20 ml σαλικυλικού οξέος ( $C_7H_6O_3$ ) ενώ στις υπόλοιπες έξι φιάλες προστέθηκαν 0,5g από το κάθε δείγμα (3 επαναλήψεις για το καθένα) μαζί με την προαναφερθείσα ποσότητα θειικού και σαλικυλικού οξέος. Οι φιάλες παρέμειναν στη συσκευή χώνευσης για 24 ώρες (επάωση). Μετά το πέρας των 24 ωρών προστέθηκαν σε κάθε φιάλη 2,5g  $Na_2S_2O_3$  και μετά από 45 λεπτά προστέθηκαν 5,5g καταλύτη. Έπειτα οι φιάλες παρέμειναν στη συσκευή για 2 ώρες στους  $400^{\circ}C$  για την ολοκλήρωση της χώνευσης.

Κατά τη χώνευση, οι νιτρο-ενώσεις που σχηματίζονται σε όξινο περιβάλλον από την αντίδραση του σαλικυλικού οξέος με το περιεχόμενο νιτρικό άζωτο του κάθε δείγματος, ανάγονται σε αμινο-ενώσεις υπό τη θέρμανσή του με το θειοθειικό νάτριο. Στη συνέχεια το μίγμα θερμαίνεται περίπου στους  $400^{\circ}C$  και πραγματοποιείται η χημική αποσύνθεση του δείγματος. Το υλικό που απομένει τελικά στη φιάλη κάθε δείγματος είναι ένα διάλυμα θειικού αμμωνίου.

#### ➤ Απόσταξη

Στη συνέχεια αφότου οι φιάλες είχαν έλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, τοποθετήθηκαν στη συσκευή απόσταξης VaroDest όπου και έλαβε χώρα η απόσταξή τους.



Εικόνα 26: Συσκευή απόσταξης Vapodest

➤ Τιτλοδότηση

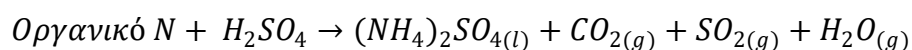
Τέλος κατά τη φάση της τιτλοδότησης έγινε προσθήκη 25 ml βορικού οξέος ( $H_3BO_4$ ) καθώς και 3-4 σταγόνες δείκτη στο αποσταγμένο διάλυμα το οποίο στη συνέχεια τιτλοδοτήθηκε με διάλυμα θειικού οξέος ( $K_2SO_4$ ) 0,1N. Μέσω της τιτλοδότησης καθορίζεται η ποσότητα της περιεχόμενης αμμωνίας, και συνεπώς η ποσότητα του περιεχόμενου αζώτου. Η ογκομέτρηση συνεχίζεται μέχρι τη μεταβολή του χρώματος του αποστάγματος από πράσινο σε βιολετί.



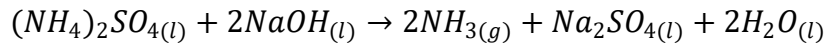
Εικόνα 27: Πριν και μετά την τιτλοδότηση κατά τη μέθοδο προσδιορισμού του αζώτου των δειγμάτων

Αναλυτικά οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του πειράματος είναι οι εξής:

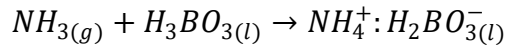
- Χώνευση



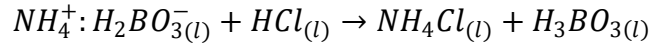
- Απόσταξη



- Συλλογή αποστάγματος



- Τιτλοδότηση



Η περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο (mg/g) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$TN (\%) = \frac{(v_{\Delta} - v_T) \times c_{(H^+)} \times M_N}{m} \times \frac{100 + \%Y_{\Xi.B.}}{100}$$

Όπου:

$V_{\Delta}$ : ο όγκος (ml) του θειικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε για την τιτλοδότηση του δείγματος

$V_T$ : ο όγκος (ml) του θειικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε για την τιτλοδότηση του τυφλού δείγματος

$C_{(H^+)}$ : η συγκέντρωση (mol/l) των  $H^+$  σε θειικό οξύ ίση με 0,05

$M_N$ : το μοριακό βάρος (g/mol) του αζώτου το οποίο είναι ίσο με 14,0067

$m$ : η μάζα (g) του ξηραμένου στερεού δείγματος

$\%Y_{\Xi.B.}$ : η υγρασία του δείγματος (%) σε ξηρή βάση

#### Προσδιορισμός TKN (%)

Για τον προσδιορισμό των TKN πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία με αυτήν του προσδιορισμού του ολικού αζώτου με τη διαφορά ότι στη φάση της επώασης δεν έγινε προσθήκη σαλικυλικού οξέος και ούτε προσθήκη  $Na_2S_2O_3$  στο τέλος αυτής. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την τιτλοδότηση του αποσταγμένου διαλύματος και τον προσδιορισμό του χρησιμοποιούμενου θειικού οξέος.

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε TKN(%) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$TKN (\%) = \frac{(v_{\Delta} - v_T) \times c_{(H^+)} \times M_N}{m} \times \frac{100 + \%Y_{\Xi.B.}}{100}$$

Όπου:

$V_{\Delta}$ : ο όγκος (ml) του θειικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε για την τιτλοδότηση του δείγματος

$V_T$ : ο όγκος (ml) του θειικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε για την τιτλοδότηση του τυφλού δείγματος

$C_{(H^+)}$ : η συγκέντρωση (mol/l) των  $H^+$  σε θειικό οξύ ίση με 0,05

$M_N$ : το μοριακό βάρος (g/mol) του αζώτου το οποίο είναι ίσο με 14,0067

$m$ : η μάζα (g) του ξηραμένου στερεού δείγματος

$\%Y_{\Xi.B.}$ : η υγρασία του δείγματος (%) σε ξηρή βάση

### Προσδιορισμός αμμωνιακών (NH<sub>4</sub>-N) (%)

Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών προστέθηκαν 5 g δείγματος με 50 ml KCl σε κωνικές φιάλες και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στη συσκευή ανάδευσης για 1 ώρα. Μετά το πέρας της μίας ώρας έγινε προσθήκη 5 ml διαλύματος μαζί με 6 ml οξειδίου του μαγνησίου (MgOH) και 2-3 σταγόνες από τον δείκτη octane εντός ειδικών φιαλών. Έπειτα ακολούθησε η διεργασία της απόσταξης σε κάθε φιάλη χωριστά και τέλος αφού προστέθηκαν 25 ml βορικού οξέος (H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>) καθώς και 3-4 σταγόνες δείκτη στο αποσταγμένο διάλυμα, πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση με χρήση διαλύματος θεικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,1N.

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε αμμωνιακά (NH<sub>4</sub>-N) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$(\text{NH}_4 - \text{N}) (\%) = \frac{V_{\Delta} \times C_{(\text{H}^+)} \times M_N}{m} \times \frac{100 + \%Y_{\text{E.B.}}}{100}$$

Όπου:

V<sub>Δ</sub>: ο όγκος (ml) του θεικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε για την τιτλοδότηση του δείγματος

C<sub>(H<sup>+</sup>)</sub>: η συγκέντρωση (mol/l) των H<sup>+</sup> σε θεικό οξύ ίση με 0,05

M<sub>N</sub>: το μοριακό βάρος (g/mol) του αζώτου το οποίο είναι ίσο με 14,0067

m: η μάζα (g) του ξηραμένου στερεού δείγματος

%Y<sub>EB</sub>: η υγρασία του δείγματος (%) σε ξηρή βάση

### Προσδιορισμός νιτρικών N-NO<sub>3</sub> (%)

Στον υπολογισμό του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TN) μετράται το σύνολο του οργανικά δεσμευμένου αζώτου, του αζώτου σε μορφή αμμωνίας NH<sub>3</sub> και του αζώτου σε μορφή αμμωνιακών NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Για τον προσδιορισμό των νιτρικών στο δείγμα χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$N - \text{NO}_3 (\%) = \text{TN} (\%) - \text{TKN} (\%)$$



#### 2.4.10 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα TOC (%)

Για τον προσδιορισμό της επί της εκατό περιεκτικότητας (%) ολικού οργανικού άνθρακα TOC χρησιμοποιήθηκε η συσκευή TOC της εταιρείας Shimatzu η οποία λειτουργεί στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (ΜΠΕΤ) του Ε.Μ.Π.. Η ποσότητα του ολικού οργανικού άνθρακα είναι ίση με την αρχική ποσότητα του δείγματος εφόσον αφαιρέσουμε την τελική τέφρα του.



Εικόνα 28: Συσκευή Shimatzu (TOC)

Ποσότητα δείγματος, το οποίο είχε ξηρανθεί στους  $105^{\circ}$ , ίση με 40 mg τοποθετήθηκε σε ειδική πορσελάνινη κάψα και στη συνέχεια με χρήση ειδικού φούρνου (Solid Sample Module SSM 5000A) θερμάνθηκε στους  $900^{\circ}$  C. Στη θερμοκρασία αυτή έγινε καύση του οργανικού άνθρακα και τα καυσαέρια αυτής οδηγήθηκαν στην κεντρική μονάδα TOCVCSH.



Εικόνα 29: Φούρνος (Solid Sample Module SSM 500A)



Εικόνα 30: Κεντρική μονάδα TOCVCSH

Με τη βοήθεια της μονάδας αυτής υπολογίστηκε η μάζα του οργανικού άνθρακα από το CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την καύση. Το ποσοστό του οργανικού άνθρακα δίνεται από τον τύπο:

$$TOC (\%) = \frac{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}}{2} * 100$$

Όπου:

m<sub>1</sub> : η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του πρώτου δείγματος (mg)

m<sub>2</sub> : η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του δεύτερου δείγματος (mg)

M<sub>1</sub>: η αρχική μάζα του πρώτου δείγματος (mg)

M<sub>2</sub>: η αρχική μάζα του δεύτερου δείγματος (mg)

#### 2.4.11 Προσδιορισμός πτητικών στερεών VS (%)

Για τον υπολογισμό του περιεχόμενου οργανικού φορτίου ενός στερεού δείγματος πραγματοποιείται καύση του σε υψηλή θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για την ακρίβεια χρησιμοποιήθηκε κλίβανος σε θερμοκρασία λειτουργίας 550° C, με χρόνο παραμονής των στερεών τις 4 ώρες. Η εκτίμηση του περιεχόμενου οργανικού φορτίου έγινε μέσω του υπολογισμού της απώλειας βάρους πριν και μετά την καύση. Κατά την καύση πραγματοποιείται οξείδωση των οργανικών με αποτέλεσμα η απώλεια βάρους που μετράται αποτελεί στην ουσία μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα στερεά, παρόλο που κατά την καύση απομακρύνονται μερικές φορές και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά του δείγματος.



Εικόνα 31: Φούρνος υψηλών θερμοκρασιών

Μετά την καύση το δείγμα τοποθετήθηκε σε ξηραντήρα (με silica gel) για μία ώρα προκειμένου να έλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια μετρήθηκε η μάζα του.

Ο υπολογισμός του ποσοστού των πτητικών στερεών VS γίνεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$VS (\%) = \frac{(m_2 - m_3) \times 100}{m_2 - m_1}$$

Όπου:

$m_1$ : η μάζα (g) της κάψας

$m_2$ : η μάζα (g) της κάψας και του περιεχόμενου δείγματος πριν την καύση

$m_3$ : η μάζα (g) της κάψας και του περιεχόμενου υπολείμματος μετά την καύση και την παραμονή στον ξηραντήρα

#### 2.4.12 Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών και αναγωγικών σακχάρων

Τα σάκχαρα είναι μία από τις βασικές ομάδες βιομορίων. Αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των οργανικών ουσιών στη Γη, ενώ είναι η πλέον σημαντική πηγή ενέργειας για τους ζωντανούς οργανισμούς. Τα σάκχαρα είναι χημικές ενώσεις του άνθρακα που περιέχουν υδρογόνο και οξυγόνο με αναλογία ατόμων 2:1 και έχουν το γενικό τύπο  $C_n(H_2O)_n$ . Για το λόγο αυτό τα σάκχαρα ονομάζονται και υδατάνθρακες. Οι υδατάνθρακες ανάλογα με την ικανότητά τους να διασπώνται ή όχι σε άλλους υδατάνθρακες διακρίνονται αντίστοιχα α) σε διασπώμενα σάκχαρα και β) σε απλούς υδατάνθρακες ή απλά σάκχαρα ή μονοσακχαρίτες. Τα διασπώμενα σάκχαρα με τη σειρά τους διακρίνονται σε ολιγοσακχαρίτες και πολυσακχαρίτες

ανάλογα, με τον αριθμό των απλών σακχάρων από τα οποία αποτελούνται και τα οποία μπορούν να σχηματίσουν κατά τη διάσπασή τους. [24]

Στα υδατοδιαλυτά σάκχαρα ανήκουν σάκχαρα όπως φρουκτάνια, σουκρόζη, γλυκόζη και φρουκτόζη, ενώσεις οι οποίες αποθηκεύονται ως αποθέματα στα φυτά. Τα επίπεδα των υδατοδιαλυτών σακχάρων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το εξωτερικό περιβάλλον του φυτού. [25]

Επίσης ορισμένα σάκχαρα εμφανίζουν αναγωγικό χαρακτήρα ο οποίος οφείλεται στην παρουσία χαρακτηριστικών ομάδων που είναι γνωστές για τις αναγωγικές τους ιδιότητες, όπως π.χ. η αλδεϋδομάδα  $-CH=O$ . Συνεπώς τα σάκχαρα αυτά μπορούν να ανιχνευθούν και να αναλυθούν με τη βοήθεια ορισμών αντιδραστηρίων όπως είναι τα αντιδραστήρια των Fehling και Benedict. Τα αντιδραστήρια αυτά οξειδώνουν και συνεπώς δίνουν θετική αντίδραση με τις αλδεΐδες και τις  $\alpha$ -υδροξυκετονες. Όσοι σάκχαρα αντιδρούν λοιπόν με τα παραπάνω αντιδραστήρια ανήκουν στα αναγωγικά σάκχαρα. [26]

Για την εκχύλιση υδατοδιαλυτών σακχάρων χρησιμοποιήθηκαν κωνικές φιάλες στις οποίες προστέθηκαν 2,5 g από το κάθε δείγμα και 100 ml νερό. Οι κωνικές φιάλες τοποθετήθηκαν για μία ώρα σε υδατόλουτρο σε θερμοκρασία  $50^{\circ}C$ , σκεπασμένες με αλουμινόχαρτο ώστε να μη χαθούν οι υδρατμοί λόγω εξάτμισης με ανάδευση ανά 8 λεπτά.



Εικόνα 32: Υδατόλουτρο στους  $50^{\circ}C$

Ακολούθησε διήθηση και θέρμανση του εναπομείναντος στερεού στη συνέχεια στους  $80^{\circ}C$  μέχρι την επόμενη ημέρα όταν και ζυγίστηκε.



Εικόνα 33: Διάταξη διήθησης

Το ποσοστό των ολικών υδατοδιαλυτών σακχάρων προέκυψε από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{soluble (\%)} = \left( \frac{m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}}}{m_{\text{αρχ}}} \right) \cdot 100$$

Όπου:

$m_{\text{αρχ}}$  = η αρχική μάζα του δείγματος

$m_{\text{τελ}}$  = η αρχική μάζα του δείγματος

Η διήθηση για κάθε δείγμα έλαβε χώρα 2 φορές. Την πρώτη φορά μετρήθηκε ο όγκος του διηθήματος που προέκυψε και φυλάχθηκε μία ποσότητα αυτού και τη δεύτερη φορά έγινε το ίδιο για το έκπλυμα. Τα δείγματα των διηθημάτων και εκπλυμάτων μετρήθηκαν στη συνέχεια στο φωτόμετρο για τον προσδιορισμό των αναγωγικών σακχάρων και της γλυκόζης.

#### 2.4.13 Μέτρηση αμύλου

Το άμυλο είναι ένας πολυσακχαρίτης που αποτελείται από επαναλαμβανόμενες μονάδες γλυκόζης. Είναι η κύρια εφεδρική ουσία των φυτών και εναποτίθεται σε μεγάλες ποσότητες στα σπέρματα (δημητριακά) και στους βολβούς (πατάτες). Εμφανίζεται με δύο μορφές, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Η αμυλόζη αποτελεί το 20-30% του αμύλου και σχηματίζεται από μονάδες γλυκόζης (250-300\_ γραμμικά διατεταγμένες, ενώ η αμυλοπηκτίνη αποτελεί το υπόλοιπο ποσοστό του αμύλου και εμφανίζει διακλαδώσεις ανά 25 περίπου μονάδες γλυκόζης.

Για τη μέτρηση του αμύλου έγινε χρήση του Megazyme total starch kit.



Εικόνα 34: Megazyme total starch kit

Αρχικά ζυγίστηκαν 100 mg δείγματος από τα δείγματα που είχαν εκχυλιστεί για ολικά διαλυτά σάκχαρα. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν εντός ειδικών φιαλιδίων στα οποία έγινε προσθήκη 0.2 mL διαλύματος αιθανόλης 80%. Στη συνέχεια προστέθηκαν 2 mL KOH και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο για 20 λεπτά.

Με το πέρας των 20 λεπτών προστέθηκαν 8 mL buffer (sodium acetate), 0.1 mL α-αμυλάση και 0.1 AMG αμυλάση. Τα προκύπτοντα δείγματα τοποθετήθηκαν εντός υδατόλουτρου σε θερμοκρασία 50° C για 30 λεπτά. Τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν στις 3000 στροφές για 15 λεπτά. Το υπερκείμενο υγρό κάθε δείγματος συλλέχθηκε και μετρήθηκε στο φωτόμετρο.

#### 2.4.14 Μέτρηση κυτταρίνης-ημικυτταρίνης

Η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη είναι ενώσεις οι οποίες βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Η κυτταρίνη είναι ένας πολυσακχαρίτης που αποτελείται από 8000 – 12000 επαναλαμβανόμενες ομάδες γλυκόζης. Είναι δηλαδή ένας γλυκοζίτης με Μ.Β. περίπου 1-2000000. [25]

Για τη μέτρηση κυτταρίνης-ημικυτταρίνης χρησιμοποιήθηκε ποσότητα 300 mg για κάθε δείγμα 2 φορές από την ποσότητα δείγματος που είχε επεξεργαστεί για τον υπολογισμό των υδατοδιαλυτών σακχάρων.

Η ποσότητα αυτή τοποθετήθηκε σε κωνική φιάλη στην οποία προστέθηκαν στη συνέχεια 3 ml θεικού οξέος H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (72%). Τα δείγματα που προέκυψαν μεταφέρθηκαν στο θάλαμο επώασης για μία ώρα.





Εικόνα 35: Συσκευή επώασης

Με την παρέλευση της μίας ώρας έγινε προσθήκη 84 ml απιονισμένου  $H_2O$  και το δείγμα τοποθετήθηκε στην αποστείρωση για 2.5 ώρες.

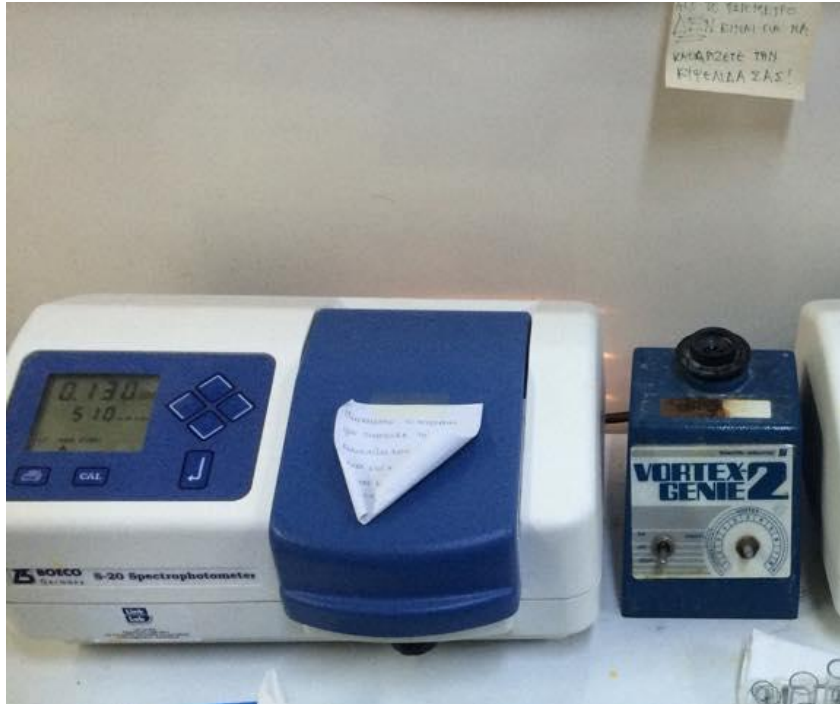


Εικόνα 36: Συσκευή Αποστείρωσης

Το pH του δείγματος ήταν χαμηλό οπότε έγινε προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου  $CaCO_3$  μέχρι η τιμή του pH να βρίσκεται μεταξύ 5-5.5. Το προκύπτον διάλυμα αφέθηκε να ηρεμήσει ώστε να κατακαθίσει το ίζημα και στη συνέχεια συλλέχθηκε ποσότητα του υπερκείμενου υγρού.

#### 2.4.15 Μέτρηση δειγμάτων στο φωτόμετρο

Όλα τα υγρά δείγματα που συλλέχθηκαν μετρώνται στο φωτόμετρο. Τα υγρά δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν είναι τα διηθήματα, τα εκπλύματα και το υπερκείμενο υγρό από τη μέτρηση κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Σε όλα τα διηθήματα πραγματοποιείται αραιώση 1:10 ενώ στα εκπλύματα δε χρειάζεται αραιώση.



Εικόνα 37: Φωτόμετρο (μέτρηση απορρόφησης στα 510 nm)

➤ Μέτρηση ολικών αναγωγικών σακχάρων (TRS)

Για τη μέτρηση αυτή χρησιμοποιούνται 250  $\mu$ L δείγματος. Στην ποσότητα αυτή προστίθενται 250  $\mu$ L DNS και αφήνονται μετά προς βρασμό για 5 λεπτά. Μετά το βρασμό προστίθενται 2 mL απιονισμένου νερού και μετρώνται τα προκύπτοντα δείγματα στο φωτόμετρο σε μήκος κύματος 540 nm. Η συγκέντρωση των αναγωγικών σακχάρων προκύπτει από την συγκεκριμένη καμπύλη προσδιορισμού βάσει του φωτομέτρου:

$$CTRS \text{ (mg/ml)} = [(1,6058 \cdot ABS_{mean}) \cdot D]$$

Όπου:

ABS<sub>mean</sub>: ο μέσος όρος απορρόφησης των δειγμάτων στο φωτόμετρο

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στα δείγματα

➤ Μέτρηση γλυκόζης

Για τη μέτρηση της γλυκόζης χρησιμοποιούνται 100  $\mu$ L δείγματος και 2 mL διαλύματος σακχάρου. Τα δείγματα που προκύπτουν μεταφέρονται στο



υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 37° C για διάστημα 15 λεπτών. Έπειτα μετρώνται στο φωτόμετρο σε μήκος κύματος 510 nm.

Αντίστοιχα η συγκέντρωση της γλυκόζης προκύπτει από την παρακάτω καμπύλη προσδιορισμού:

$$C_{\text{glucose}} (\text{mg/ml}) = [(0,9909 \cdot \text{ABSmean} - 0,0466) \cdot D]$$

Όπου:

ABSmean: ο μέσος όρος απορρόφησης των δειγμάτων στο φωτόμετρο

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στα δείγματα

[12]

Η συγκέντρωση της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης προκύπτει στη συνέχεια από τον παρακάτω αλγόριθμο:

$$Total_{\text{glucose}} (\text{mg}) = C_{\text{glucose}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) \cdot \text{Final Volume} (\text{ml})$$

$$g \text{ glucose}/100 g \text{ solid} = Total_{\text{glucose}} (\text{mg}) \cdot 100 / \text{Initial Solid Weight}$$

$$g \text{ glucose}/100 g \text{ dry} = \left[ \left( \frac{g}{100} g \text{ solid} \right) \cdot 100 - \% \text{soluble} \right] / 0,897$$

Στη συνέχεια αφαιρείται από την ποσότητα της υπολογιζόμενης γλυκόζης η ποσότητα της γλυκόζης του αμύλου:

$$net \text{ g glucose}/100 g \text{ dry} = (g \text{ glucose}/100 g \text{ dry}) - (g \text{ glucose}/100 g \text{ dry})_{\text{starch}}$$

Η ποσότητα λοιπόν κυτταρίνης-ημικυτταρίνης στο ξηρό δείγμα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$g \text{ cellulose}/100 g \text{ dry} = net \text{ g glucose}/100 g \text{ dry} \cdot 0,9$$

Όπου:

ABSmean: ο μέσος όρος απορρόφησης των δειγμάτων στο φωτόμετρο

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στα δείγματα

Final Volume = 86.73 ml (προκαθορισμένη τιμή)

Initial Solid Weight: η αρχική μάζα του δείγματος

(%) Soluble = το ποσοστό υδατοδιαλυτών σακχάρων

0.9 = 162/180 = Mr glucose/ Mr starch

0.897 = συντελεστής διόρθωσης γλυκόζης

Για το άμυλο αντίστοιχα ο αλγόριθμος υπολογισμού του ήταν ο εξής:

$$C_{\text{glucose(blank)}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = 1,8135 \cdot \text{ABS}_{\text{mean(blank)}} - 0,0221$$

$$\text{Totalglucose (mg)} = [C_{\text{glucose (mg/ml)}} - C_{\text{glucose(blank) (mg/ml)}}] \cdot \text{Volume(ml)}$$

Η ποσότητα τελικά του αμύλου ήταν:

$$\text{starch/100 g dry} = \text{Totalglucose (mg)} \cdot 0,9 \cdot 100 / \text{Initial Dry Solid}$$

Όπου:

ABS<sub>mean</sub>: ο μέσος όρος απορρόφησης των δειγμάτων στο φωτόμετρο

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στα δείγματα

Volume = 10.40 ml (προκαθορισμένη τιμή)

Initial Solid Weight: η αρχική μάζα του δείγματος

(%) Soluble = το ποσοστό υδατοδιαλυτών σακχάρων

$$0.9 = 162/180 = M_r \text{ glucose} / M_r \text{ starch} [12]$$

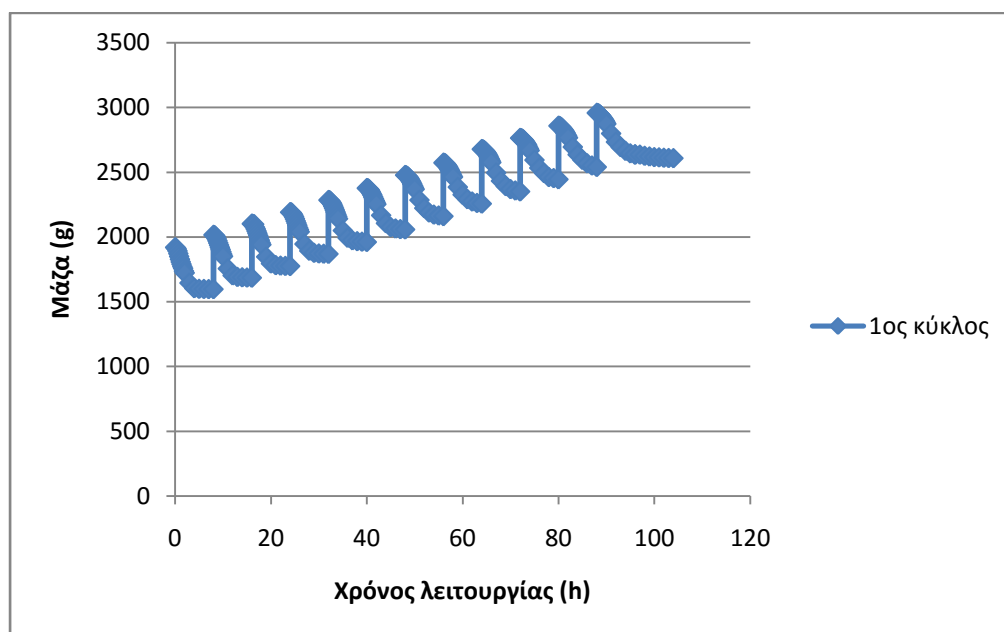
### 3. Πειραματικά αποτελέσματα

#### 3.1 1<sup>ος</sup> κύκλος ξήρανσης

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα του 1<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης. Η ποσότητα που απορριπτόταν κάθε φορά ήταν σταθερή και ίση με 410 g νωπού υλικού το οποίο υπόκειται σε ξήρανση για 8 ώρες ημερησίως. Η διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι τη μη δυνατότητα προσθήκης νέου υλικού. Το υλικό που είχε απομείνει την τελευταία ημέρα στον κάδο απόρριψης αφέθη για ξήρανση μέχρι τη μη παρατήρηση απώλειας μάζας.

##### 3.1.1 Προσδιορισμός μεταβολής μάζας

Για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μάζας του δείγματος πραγματοποιήθηκαν ζυγίσεις του κάδου με το υλικό ανά 10 λεπτά για τις πρώτες 2 ώρες και ανά μία ώρα για τις επόμενες 6 ώρες λειτουργίας. Την τελευταία ημέρα οι ζυγίσεις πραγματοποιούνταν ανά μία ώρα. Με βάση τις μετρήσεις μάζας προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που απεικονίζει τη μεταβολή της μάζας του υλικού καθ'όλη τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης, ο οποίος διήρκεσε 13 ημέρες.



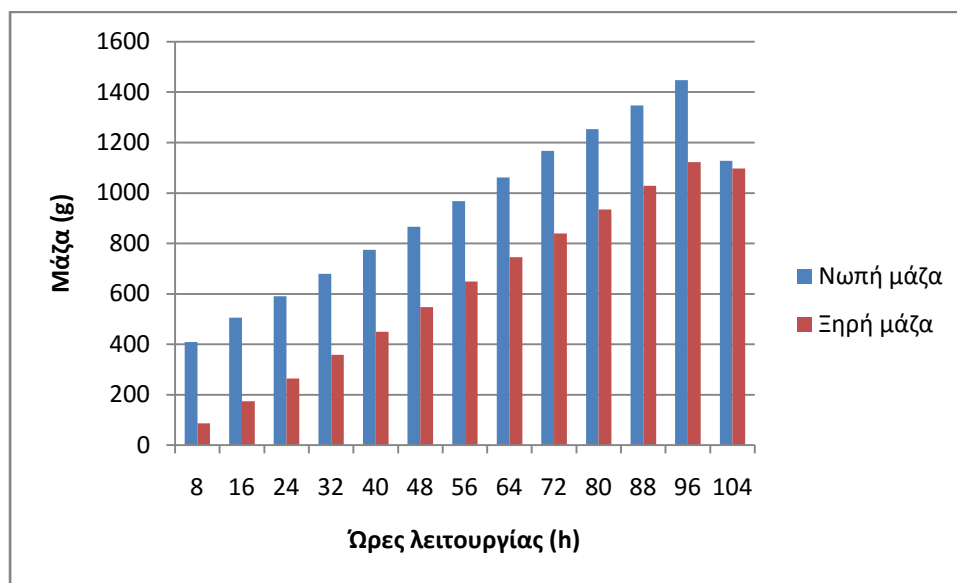
Διάγραμμα 1: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η συνολική ποσότητα της μάζας που υπόκειται σε ξήρανση κάθε ημέρα, η ποσότητα που παρέμενε στον ξηραντήρα μετά το πέρας της ξήρανσής της και η μείωση μάζας που επιτυγχάνετο κάθε φορά.

Πίνακας 12: Ποσότητα εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας

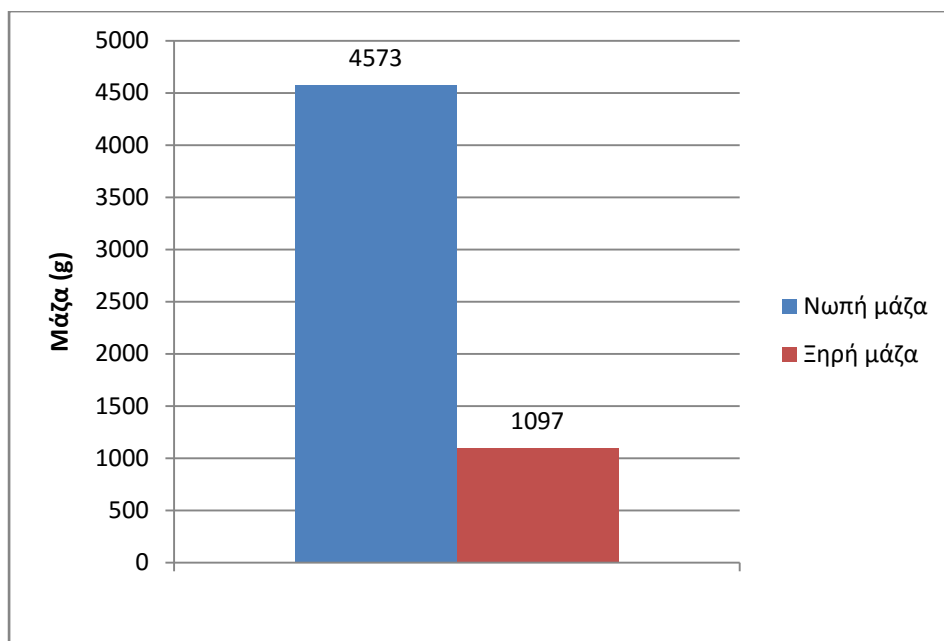
Ώρες ξήρανσης	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας
8	409	86	323
16	505	174	331
24	591	264	327
32	680	358	322
40	774	450	324
48	866	547	319
56	967	649	318
64	1062	746	316
72	1167	840	327
80	1253	934	319
88	1347	1029	318
96	1447	1123	324
104	1128	1097	31

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 2: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Επίσης στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που προστέθηκε στον ξηραντήρα και η ποσότητα ξηρού υλικού που τελικά προέκυψε.



Διάγραμμα 3: Συνολική μεταβολή μάζας

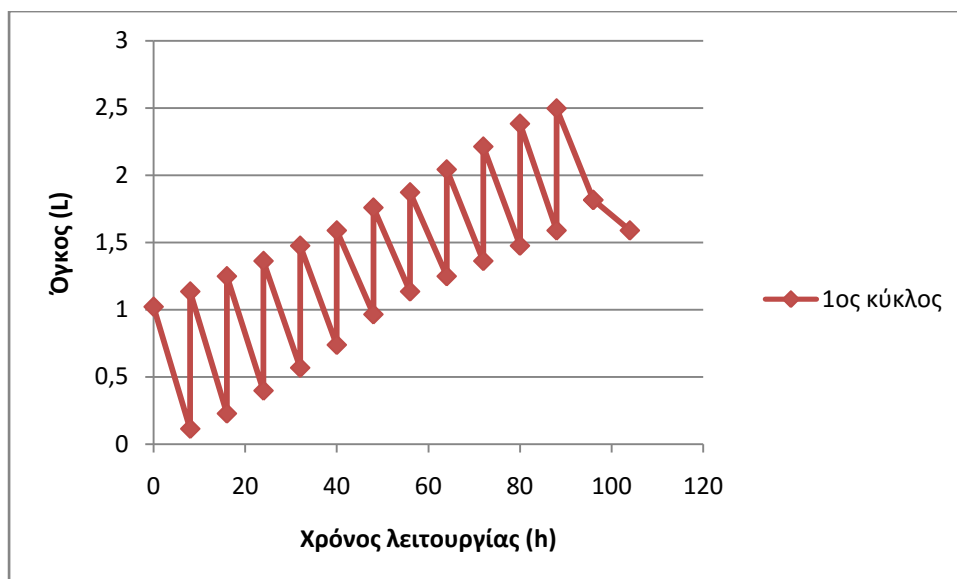
Συνεπώς για τον υπολογισμό του ποσοστού μείωσης μάζας για τον 1<sup>ο</sup> κύκλο βάσει του παρακάτω τύπου προκύπτει:

$$\frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \times 100 = 76,01 \%$$

### 3.1.2 Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Για τον προσδιορισμό του όγκου του υλικού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μετά την προσθήκη νωπού υλικού και πριν την έναρξη της ξήρασης και μετά το πέρας της ξήρασης.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του όγκου του δείγματος καθ'όλη τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> κύκλου ξήρασης.



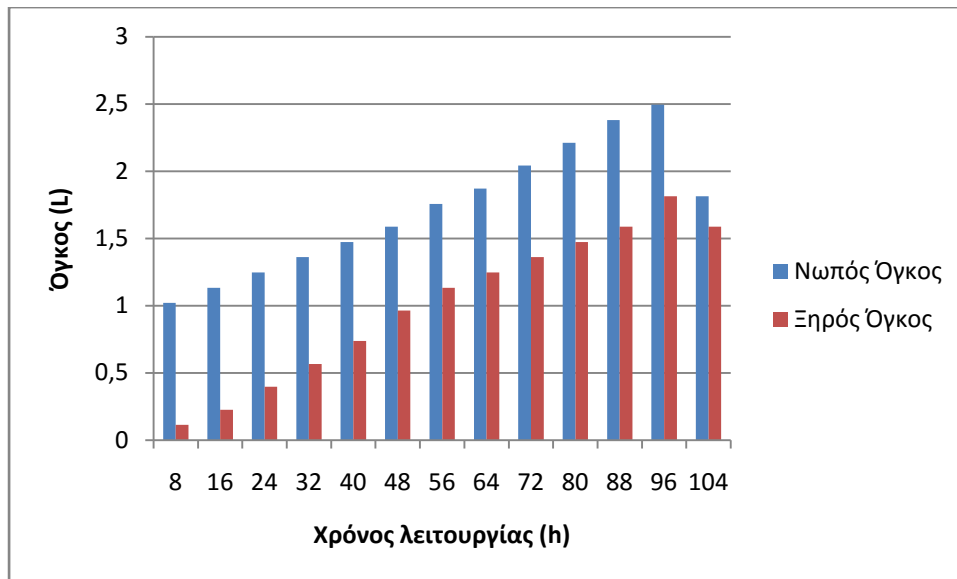
Διάγραμμα 4: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ο όγκος νωπού υλικού που διαχειριζόταν κάθε φορά η συσκευή, ο όγκος του ξηρού υλικού που απέμεινε και η μείωση του όγκου που επιτυγχάνετο.

Πίνακας 13: Όγκος εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας

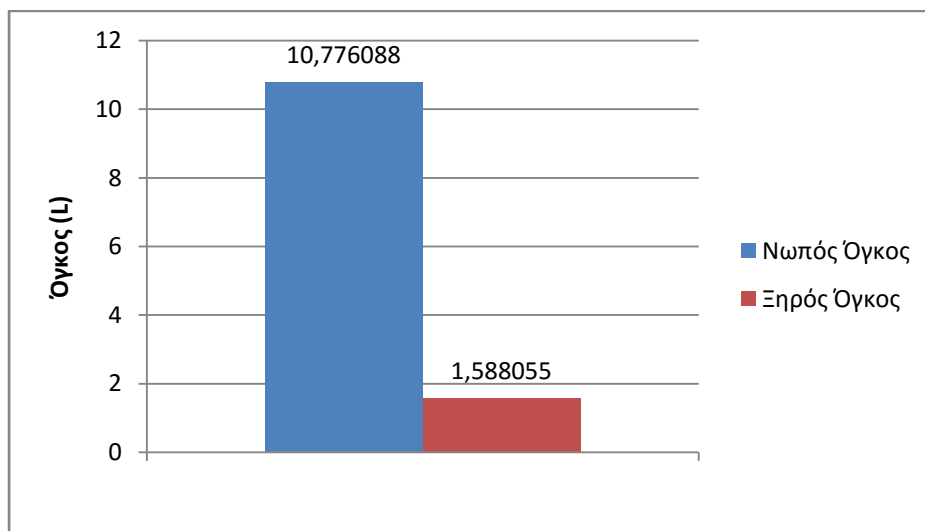
Ώρες λειτουργίας	Όγκος νωπού (L)	Όγκος ξηρού (L)	Μείωση όγκου
8	1,020893	0,113433	0,90746
16	1,134325	0,226865	0,90746
24	1,247758	0,397014	0,850744
32	1,36119	0,567163	0,794028
40	1,474623	0,737311	0,737311
48	1,588055	0,964176	0,623879
56	1,758204	1,134325	0,623879
64	1,871636	1,247758	0,623879
72	2,041785	1,36119	0,680595
80	2,211934	1,474623	0,737311
88	2,382083	1,588055	0,794028
96	2,495515	1,81492	0,680595
104	1,81492	1,588055	0,226865

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Επίσης στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που προστέθηκε και ο όγκος του ξηρού υλικού που απέμεινε.



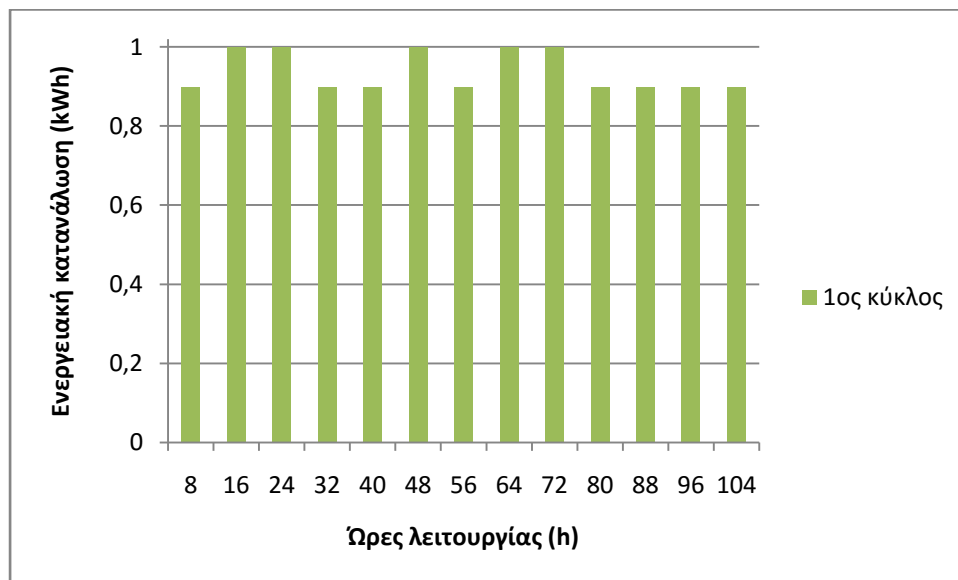
Διάγραμμα 6: Συνολική μεταβολή όγκου

Τελικά η μείωση του όγκου για τον 1<sup>ο</sup> κύκλο που επετεύχθη με τη χρήση της συσκευής υπολογίστηκε:

$$\frac{(\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού})}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \times 100 = 85,26\%$$

### 3.1.4 Ενεργειακή κατανάλωση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος για όλη τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> κύκλου.



Διάγραμμα 7: Ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ημέρα λειτουργίας

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση για τον 1<sup>ο</sup> κύκλο υπολογίστηκε ίση με 12,2 kWh. Η συνολική ποσότητα υλικού που χρησιμοποιήθηκε κατά τον κύκλο αυτό ήταν ίση με 4573 g συνεπώς προκύπτει ότι:

$$\text{Συνολική ενεργειακή κατανάλωση} = 2,688 \text{ kWh/kg}$$



### 3.1.5 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων τελικού ξηρού υλικού

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων επί του ξηρού υλικού.

Πίνακας 14: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικού ξηρού υλικού

Παράμετρος	Τιμή
Υγρασία (%)	1,573
Πτητικά στερεά (VS) (%)	79,491
pH	4,59
Αγωγιμότητα (μS)	1726,5
TOC (%)	55,485
TN (%)	1,435
TKN (%)	0,887
NH <sub>4</sub> -N (%)	0,158
N-NO <sub>3</sub> (%)	0,548

### 3.1.6 Ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων του ξηρού υλικού

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον ποσοτικό προσδιορισμό των υδατοδιαλυτών σακχάρων, των αναγωγικών σακχάρων, της γλυκόζης, της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης και του αμύλου στο τελικό ξηρό υλικό.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα βιοχημικών αναλύσεων

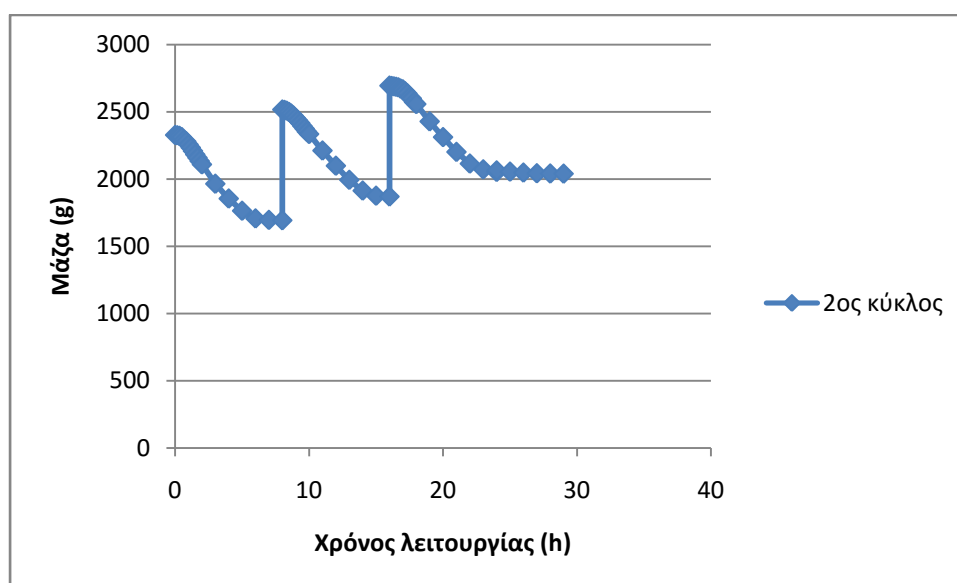
Αποτελέσματα (%)	
Υδατοδιαλυτά σάκχαρα	29,34
Αναγωγικά σάκχαρα	4,76
Γλυκόζη	0,39
Κυτταρίνη και ημικυτταρίνη	14,126
Άμυλο	32,734

## 3.2 2<sup>ος</sup> κύκλος ξήρανσης

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα του 2<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης. Η ποσότητα που απερρίπτετο σε αυτόν τον κύκλο κάθε φορά ήταν σταθερή και ίση με 821 g νωπού υλικού το οποίο υπόκειτο σε ξήρανση για 8 ώρες ημερησίως. Η διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι τη μη δυνατότητα προσθήκης νέου υλικού. Το υλικό που είχε απομείνει την τελευταία ημέρα στον κάδο απόρριψης αφέθη για ξήρανση μέχρι τη μη παρατήρηση απώλειας μάζας.

### 3.2.1 Προσδιορισμός μεταβολής μάζας

Για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μάζας του δείγματος πραγματοποιήθηκαν ζυγίσεις του κάδου με το υλικό ανά 10 λεπτά για τις πρώτες 2 ώρες και ανά μία ώρα για τις επόμενες 6 ώρες λειτουργίας. Την τελευταία ημέρα οι ζυγίσεις πραγματοποιούνταν ανά μία ώρα. Με βάση τις μετρήσεις μάζας προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που απεικονίζει τη μεταβολή της μάζας του υλικού καθ'όλη τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης, ο οποίος διήρκησε 4 ημέρες.



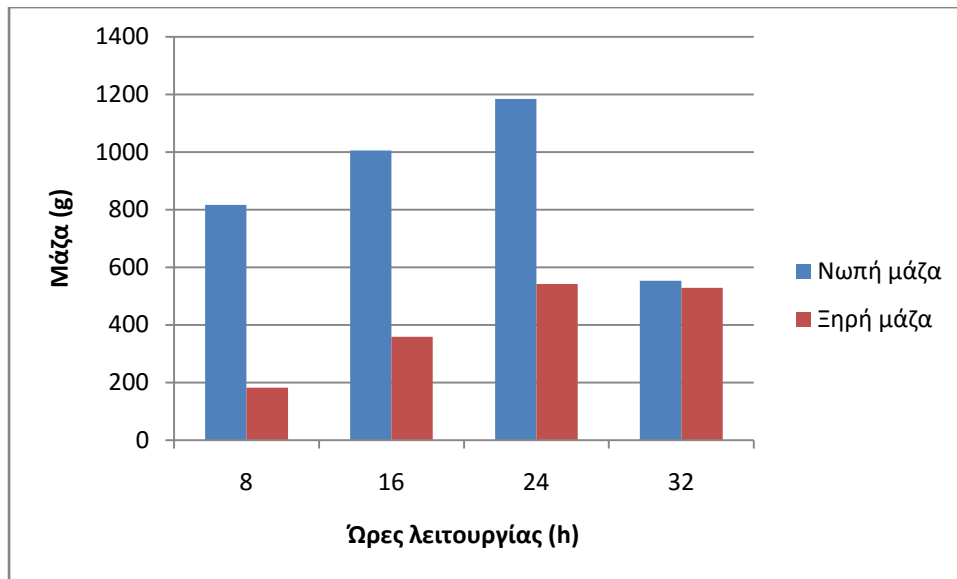
Διάγραμμα 8: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η συνολική ποσότητα της μάζας που υπόκειται σε ξήρανση κάθε ημέρα, η ποσότητα που παρέμενε στον ξηραντήρα μετά το πέρας της ξήρανσής της και η μείωση μάζας που επιτυγχάνετο κάθε φορά.

Πίνακας 16: Ποσότητα εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας

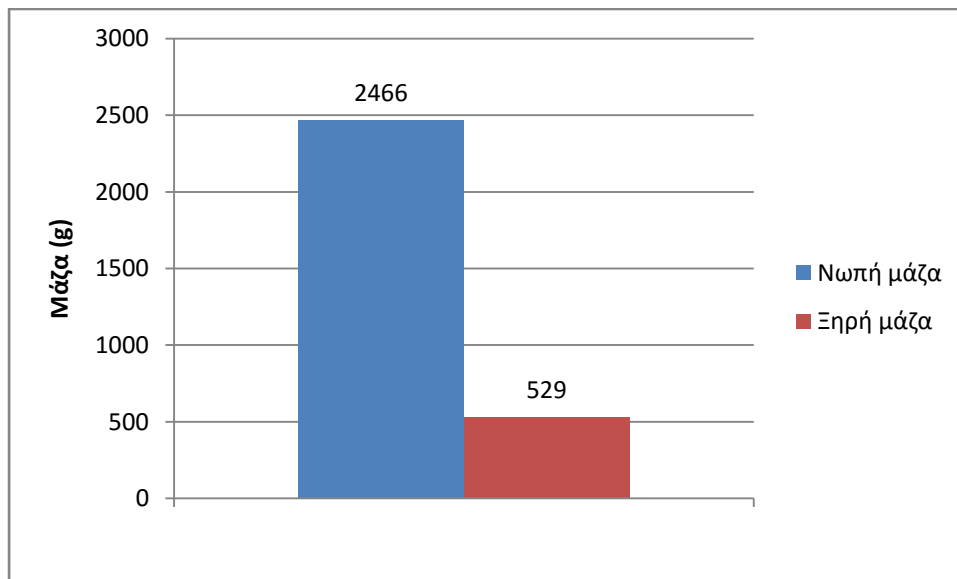
Ώρες ξήρανσης	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας
8	817	182	635
16	1006	359	647
24	1184	542	642
32	553	529	24

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 9: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Επίσης στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που προστέθηκε στον ξηραντήρα και η ποσότητα ξηρού υλικού που τελικά προέκυψε.



Διάγραμμα 10: Συνολική μεταβολή μάζας

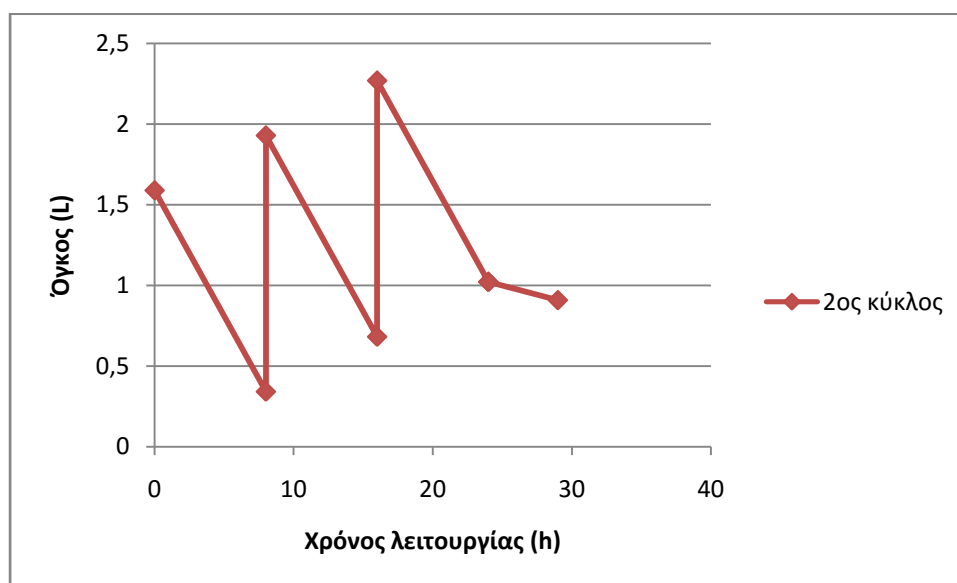
Συνεπώς για τον υπολογισμό του ποσοστού μείωσης μάζας για τον 2<sup>ο</sup> κύκλο βάσει του παρακάτω τύπου προκύπτει:

$$\frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \times 100 = 78,55 \%$$

### 3.2.2 Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Για τον προσδιορισμό του όγκου του υλικού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μετά την προσθήκη νωπού υλικού και πριν την έναρξη της ξήρανσης και μετά το πέρας της ξήρανσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του όγκου του δείγματος καθ'όλη τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης.



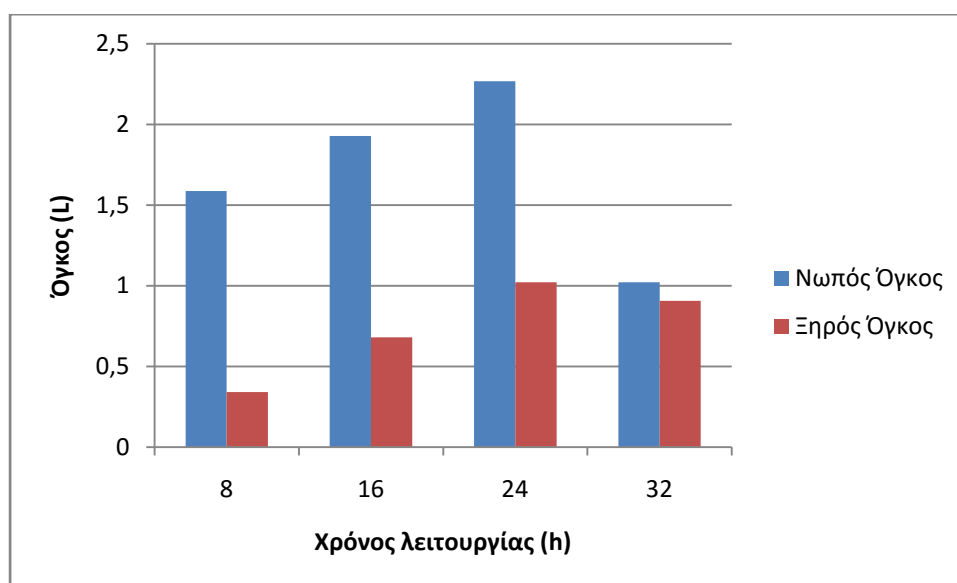
Διάγραμμα 11: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ο όγκος νωπού υλικού που διαχειριζόταν κάθε φορά η συσκευή, ο όγκος του ξηρού υλικού που απέμεινε και η μείωση του όγκου που επιτυγχάνετο.

Πίνακας 17: Όγκος εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας

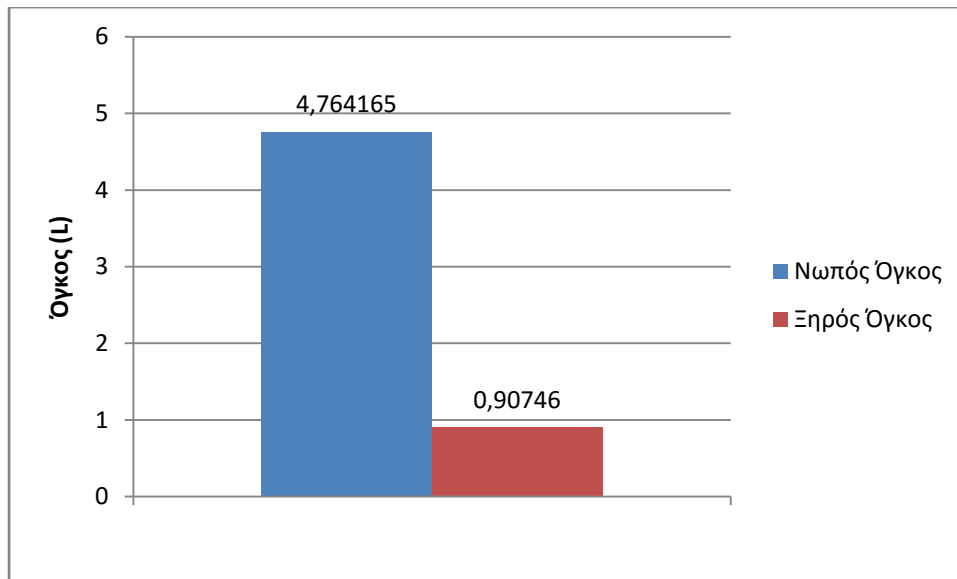
Ώρες λειτουργίας	Όγκος νωπού (L)	Όγκος ξηρού (L)	Μείωση όγκου
8	1,588055	0,340298	1,247758
16	1,928353	0,680595	1,247758
24	2,26865	1,020893	1,247758
32	1,020893	0,90746	0,113433

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα.



Διάγραμμα 12: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Επίσης στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που προστέθηκε και ο όγκος του ξηρού υλικού που απέμεινε.



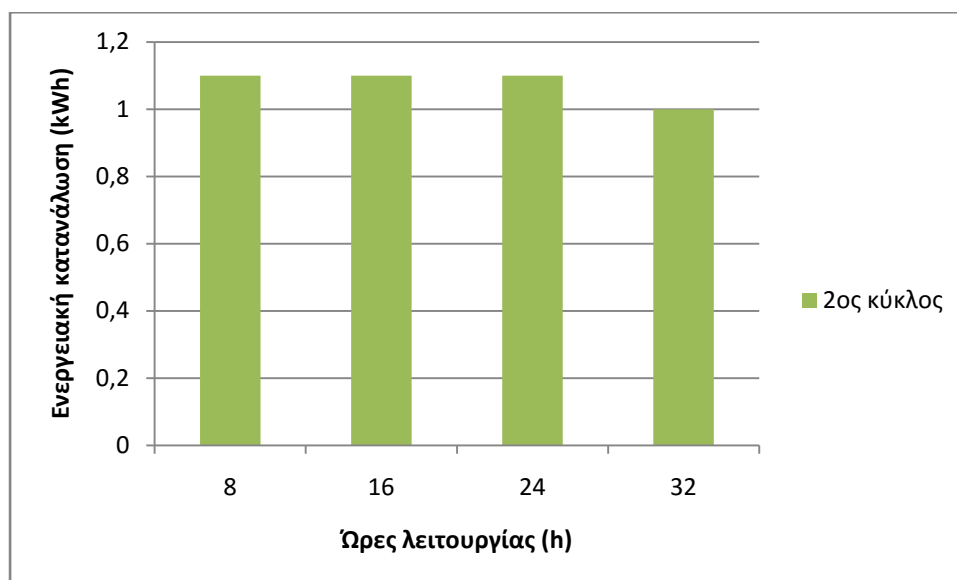
Διάγραμμα 13: Συνολική μεταβολή όγκου

Τελικά η μείωση του όγκου για τον 2<sup>ο</sup> κύκλο που επετεύχθη με τη χρήση της συσκευής υπολογίστηκε:

$$\frac{(\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού})}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \times 100 = 80,95 \%$$

### 3.2.3 Ενεργειακή κατανάλωση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος για όλη τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> κύκλου.



Διάγραμμα 14: Ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ημέρα λειτουργίας

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση για τον 2<sup>ο</sup> κύκλο υπολογίστηκε ίση με 4,3 kWh. Η συνολική ποσότητα υλικού που χρησιμοποιήθηκε κατά τον κύκλο αυτό ήταν ίση με 2466 g συνεπώς προκύπτει ότι:

$$\text{Συνολική ενεργειακή κατανάλωση} = 1,744 \text{ kWh/kg}$$

### 3.2.4 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων τελικού ξηρού υλικού

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων επί του ξηρού υλικού.

Πίνακας 18: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικού ξηρού υλικού

Παράμετρος	Τιμή
Υγρασία (%)	1,706
Πτητικά στερεά (VS) (%)	95,267
pH	4,725
Αγωγιμότητα (μS)	935
TOC (%)	53,705
TN (%)	1,293
TKN (%)	0,839
NH <sub>4</sub> -N (%)	0,137
N-NO <sub>3</sub> (%)	0,454

### 3.2.5 Ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων του ξηρού υλικού

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον ποσοτικό προσδιορισμό των υδατοδιαλυτών σακχάρων, των αναγωγικών σακχάρων, της γλυκόζης, της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης και του αμύλου στο τελικό ξηρό υλικό.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα βιοχημικών αναλύσεων

Αποτελέσματα (%)	
Υδατοδιαλυτά σάκχαρα	32,96
Αναγωγικά σάκχαρα	9,19
Γλυκόζη	0,13
Κυτταρίνη και ημικυτταρίνη	10,818
Άμυλο	44,09

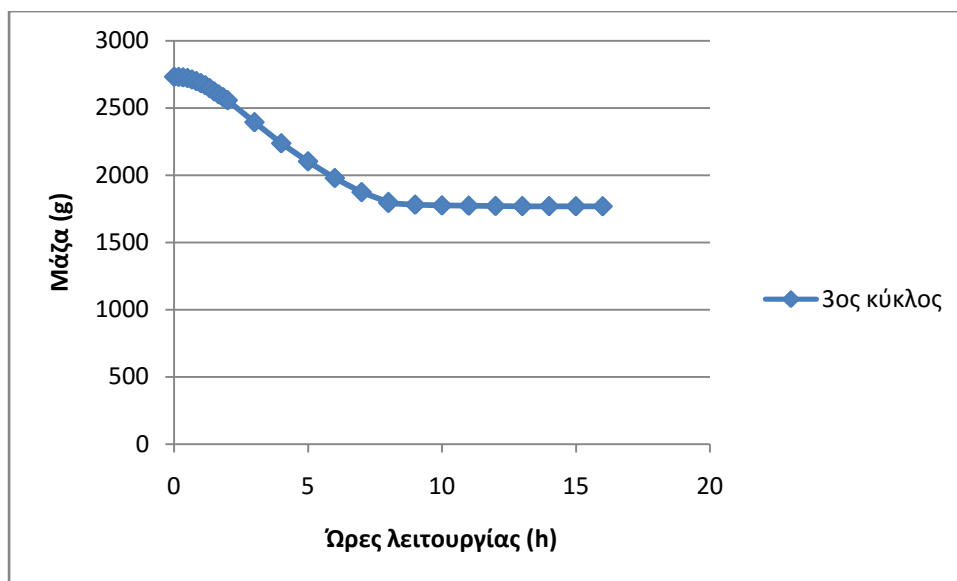
### 3.3 3<sup>ος</sup> κύκλος ξήρανσης

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα του 3<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης. Η ποσότητα που απερρίπτετο σε αυτόν τον κύκλο κάθε φορά ήταν σταθερή και ίση με 1230 g νωπού υλικού το οποίο υπόκειτο σε ξήρανση για 8 ώρες ημερησίως. Η διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι τη μη δυνατότητα προσθήκης νέου υλικού. Το υλικό που είχε απομείνει την τελευταία ημέρα στον κάδο απόρριψης αφέθη για ξήρανση μέχρι τη μη παρατήρηση απώλειας μάζας.

#### 3.3.1 Προσδιορισμός μεταβολής μάζας

Για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μάζας του δείγματος πραγματοποιήθηκαν ζυγίσεις του κάδου με το υλικό ανά 10 λεπτά για τις πρώτες 2 ώρες και ανά μία ώρα για τις επόμενες 6 ώρες λειτουργίας. Την τελευταία ημέρα οι ζυγίσεις πραγματοποιούνταν ανά μία ώρα. Με βάση τις μετρήσεις μάζας προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που απεικονίζει τη μεταβολή της μάζας του υλικού καθ'όλη τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης, ο οποίος διήρκησε 2 ημέρες.





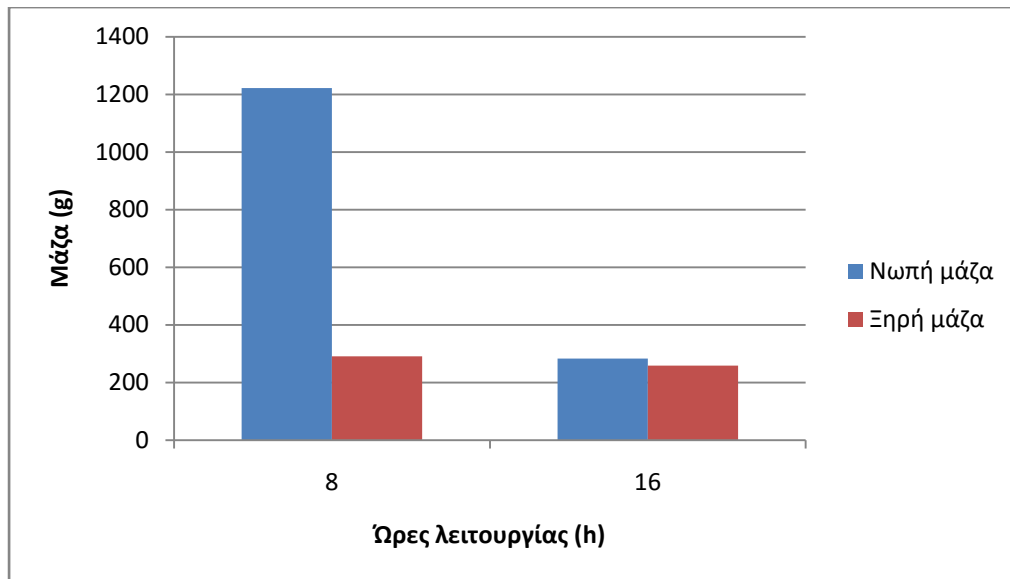
Διάγραμμα 15: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η συνολική ποσότητα της μάζας που υπόκειται σε ξήρανση κάθε ημέρα, η ποσότητα που παρέμενε στον ξηραντήρα μετά το πέρας της ξήρανσής της και η μείωση μάζας που επιτυγχάνετο κάθε φορά.

Πίνακας 20: Ποσότητα εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας

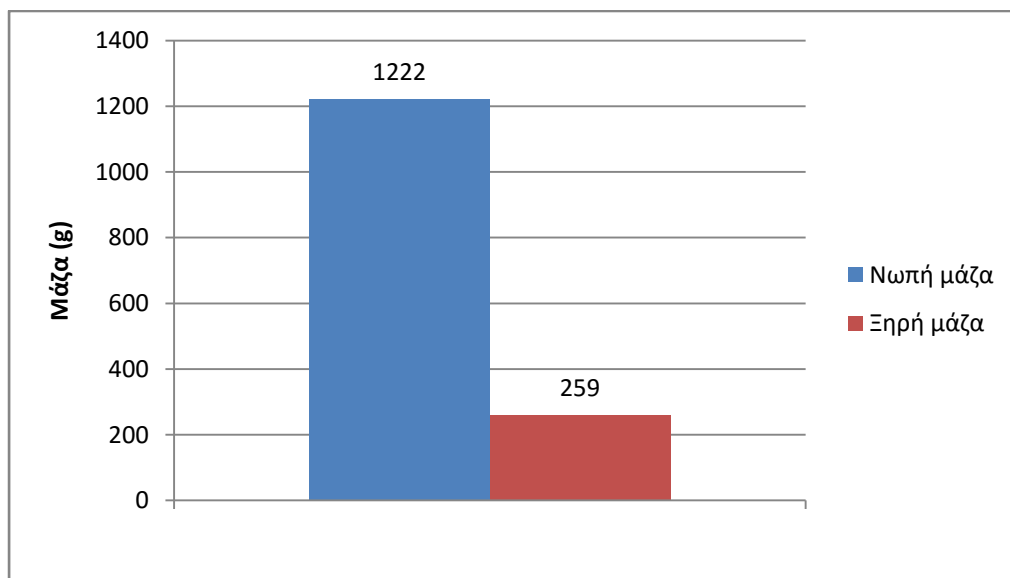
Ώρες ξήρανσης	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας
8	1222	291	931
16	283	259	24

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 16: Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Επίσης στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που προστέθηκε στον ξηραντήρα και η ποσότητα ξηρού υλικού που τελικά προέκυψε.



Διάγραμμα 17: Συνολική μεταβολή μάζας

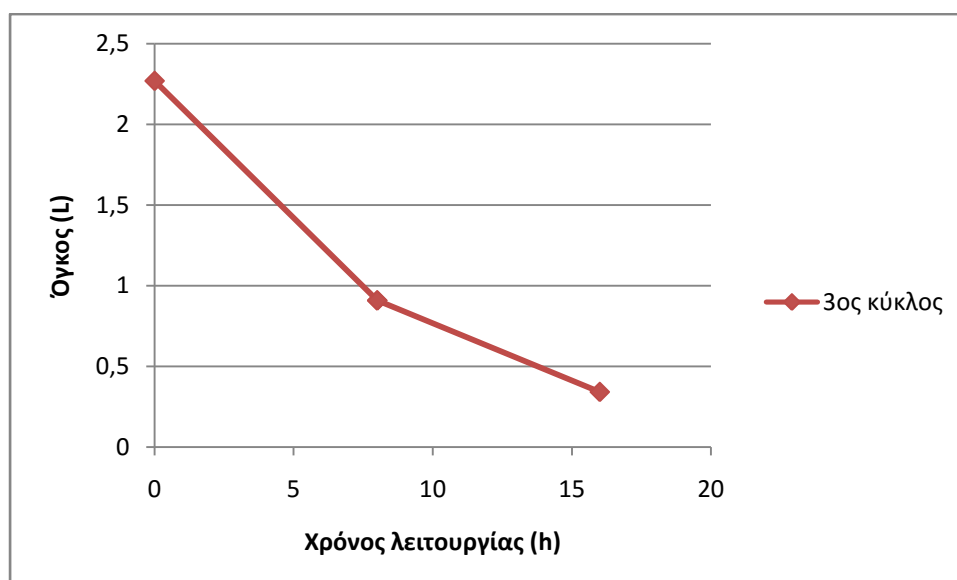
Συνεπώς για τον υπολογισμό του ποσοστού μείωσης μάζας για τον 3<sup>ο</sup> κύκλο βάσει του παρακάτω τύπου προκύπτει:

$$\frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \times 100 = 78,81 \%$$

### 3.3.2 Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Για τον προσδιορισμό του όγκου του υλικού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μετά την προσθήκη νωπού υλικού και πριν την έναρξη της ξήρανσης και μετά το πέρας της ξήρανσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του όγκου του δείγματος καθ'όλη τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> κύκλου ξήρανσης.



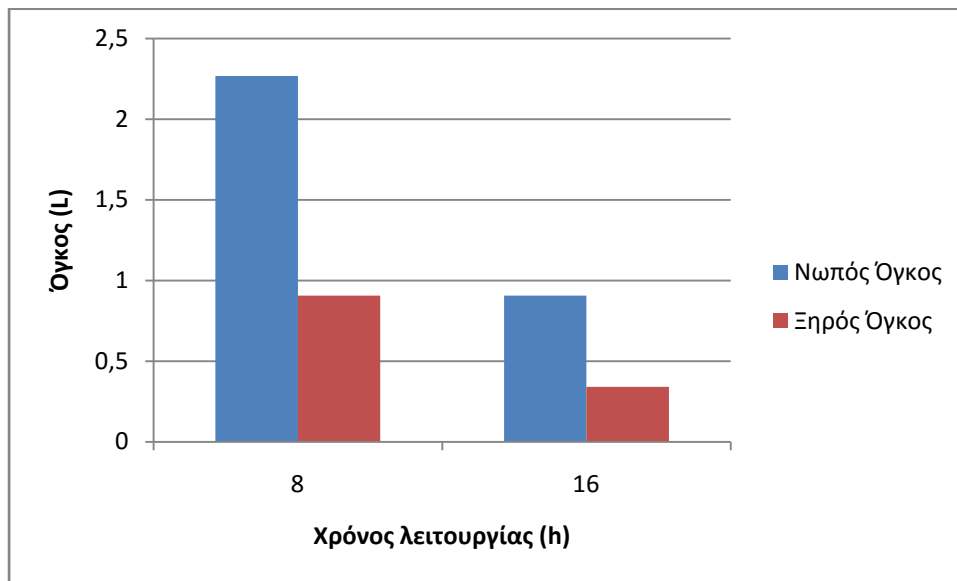
Διάγραμμα 18: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ο όγκος νωπού υλικού που διαχειριζόταν κάθε φορά η συσκευή, ο όγκος του ξηρού υλικού που απέμεινε και η μείωση του όγκου που επιτυγχάνετο.

Πίνακας 21: Όγκος εισαχθέντος νωπού υλικού και τελικού ξηρού υλικού για κάθε ημέρα λειτουργίας

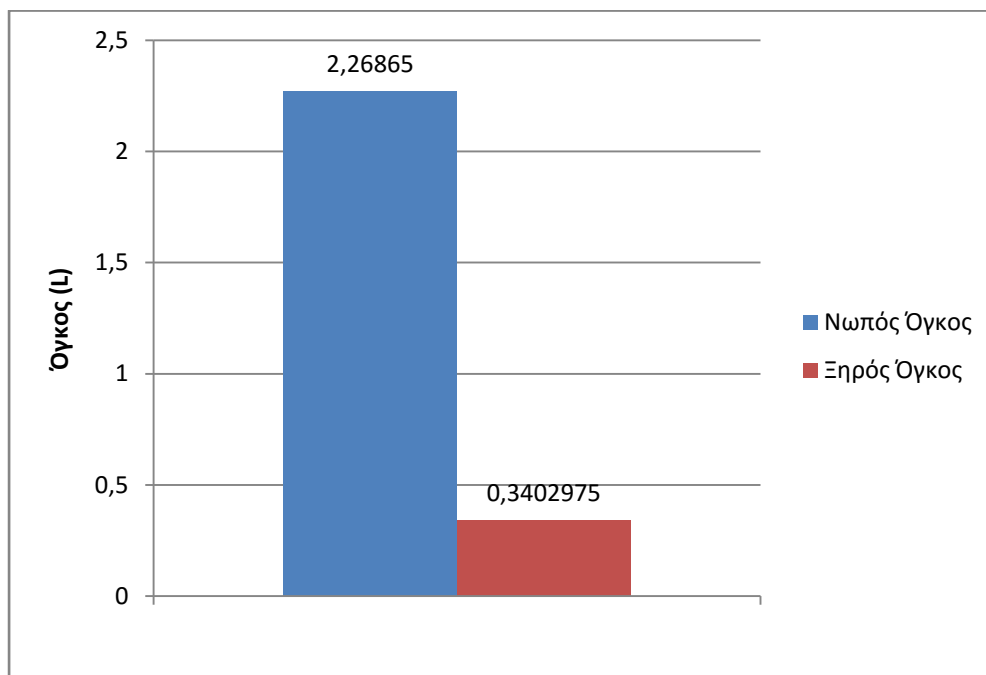
Ώρες λειτουργίας	Όγκος νωπού (L)	Όγκος ξηρού (L)	Μείωση όγκου
8	2,26865	0,90746	1,36119
16	0,90746	0,340298	0,567163

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα.



Διάγραμμα 19: Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας

Επίσης στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που προστέθηκε και ο όγκος του ξηρού υλικού που απέμεινε.



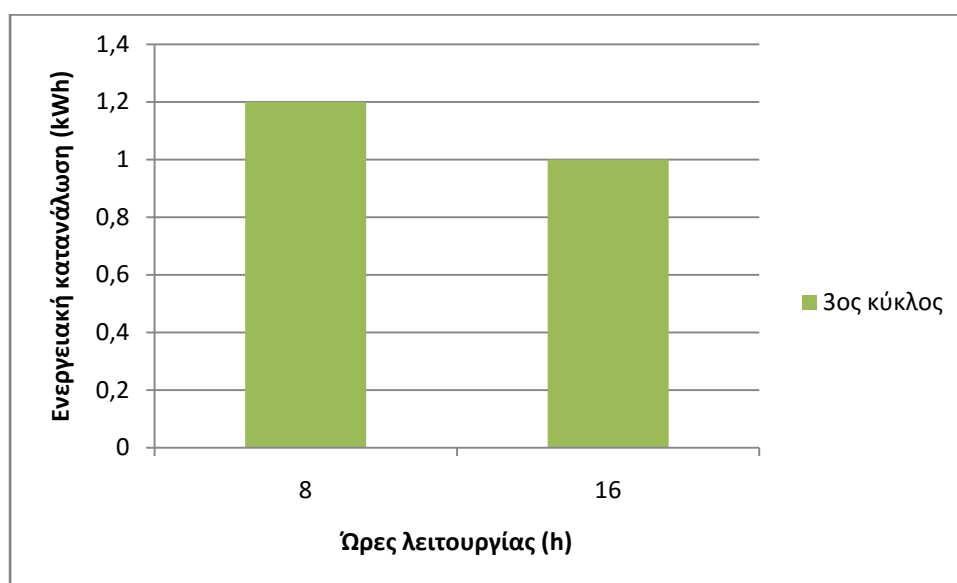
Διάγραμμα 20: Συνολική μεταβολή όγκου

Τελικά η μείωση του όγκου για τον 3<sup>ο</sup> κύκλο που επετεύχθη με τη χρήση της συσκευής υπολογίστηκε:

$$\frac{(\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού})}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \times 100 = 85 \%$$

### 3.3.3 Ενεργειακή κατανάλωση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος για όλη τη διάρκεια του 3<sup>ου</sup> κύκλου.



Διάγραμμα 21: Ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ημέρα λειτουργίας

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση για τον 3<sup>ο</sup> κύκλο υπολογίστηκε ίση με 2,2 kWh. Η συνολική ποσότητα υλικού που χρησιμοποιήθηκε κατά τον κύκλο αυτό ήταν ίση με 1222 g συνεπώς προκύπτει ότι:

$$\text{Συνολική ενεργειακή κατανάλωση} = 1,8 \text{ kWh/kg}$$

### 3.3.4 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων τελικού ξηρού υλικού

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων επί του ξηρού υλικού.

Πίνακας 22: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικού ξηρού υλικού

Παράμετρος	Τιμή
Υγρασία (%)	2.456
Πτητικά στερεά (VS) (%)	81.145
pH	4.84
Αγωγιμότητα (μS)	785.33
TOC (%)	55.525
TN (%)	1.407
TKN (%)	0.753
NH <sub>4</sub> -N (%)	0.148
N-NO <sub>3</sub> (%)	0.654

### 3.3.5 Ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων του ξηρού υλικού

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον ποσοτικό προσδιορισμό των υδατοδιαλυτών σακχάρων, των αναγωγικών σακχάρων, της γλυκόζης, της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης και του αμύλου στο τελικό ξηρό υλικό.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα βιοχημικών αναλύσεων

Αποτελέσματα (%)	
Υδατοδιαλυτά σάκχαρα	26.79
Αναγωγικά σάκχαρα	5.83
Γλυκόζη	0.39
Κυτταρίνη και ημικυτταρίνη	11.521
Άμυλο	42.96

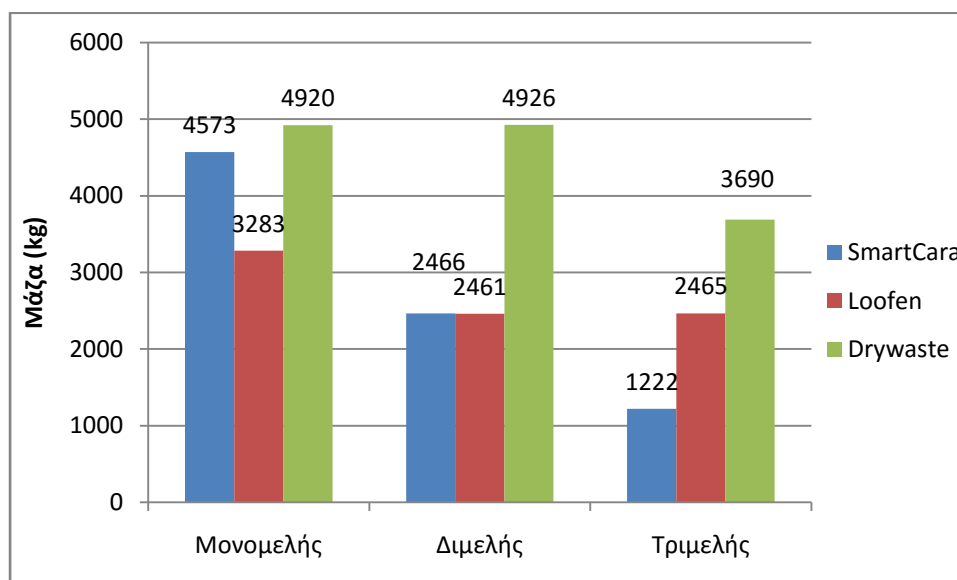
### 3.4 Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή γίνεται σύγκριση μεταξύ των πειραματικών αποτελεσμάτων του συστήματος Smart Cara, του εμπορικού συστήματος Loofen και του συστήματος Drywaste το οποίο κατασκευάστηκε και αναπτύχθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Τα συστήματα αυτά λειτουργήσαν με τις ίδιες συνθήκες όπως και στην παρούσα διπλωματική εργασία (ίδια αρχική σύσταση υποστρώματος και ίδια πειραματική διαδικασία) με αποτέλεσμα να είναι δύνατη η άμεση σύγκριση της αποδοτικότητας των τριων συστημάτων. [27],[28]

Ωστόσο επειδή διαπιστώθηκε ότι ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν διαφορετικός από τον προβλεπόμενο για το σύστημα θεωρήθηκε σκόπιμη και η διεξαγωγή τριων συμπληρωματικών δοκιμαστικών πειραμάτων (ένα για κάθε κύκλο) για τον προσδιορισμό της μείωσης μάζας, της μείωσης όγκου και της ενεργειακής κατανάλωσης για να υπάρξει και μία σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο τρόπων λειτουργιών.

#### 3.4.1 Διαχειρισθείσα ποσότητα υλικού

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθεται η συνολική ποσότητα υλικού που να διαχειρισθεί η κάθε συσκευή σε κάθε κύκλο μέχρι την πλήρωσή της.



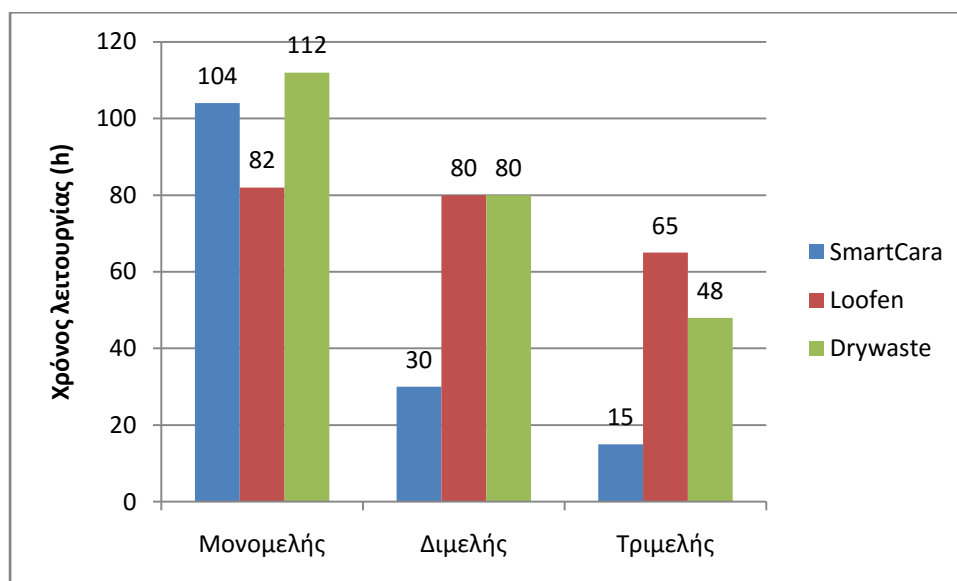
Διάγραμμα 22: Συνολική διαχειρισθείσα ποσότητα κάθε κύκλου σε κάθε σύστημα ξήρασης

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό το σύστημα Drywaste υπερτερεί σημαντικά των άλλων δύο συστημάτων με αποτέλεσμα η πλήρωσή του να γίνεται πιο αραιά και να μη χρειάζεται η απόρριψη του τελικού ξηρού υλικού με μεγάλη συχνότητα. Επίσης

σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα το σύστημα Drywaste μπορεί να διαχειρισθεί και ποσότητα που αντιστοιχεί σε τετραμελή οικογένεια, το οποίο δεν ισχύει για τα άλλα δύο συστήματα.

### 3.4.2 Χρόνος λειτουργίας

Παρακάτω παρατίθεται ο χρόνος λειτουργίας για κάθε κύκλο έκαστου συστήματος, δηλαδή από την έναρξη της διεργασίας μέχρι και το τέλος της το οποίο ήταν όταν δεν παρατηρείτο πλέον καμία μεταβολή στη μάζα του ξηρού υλικού.



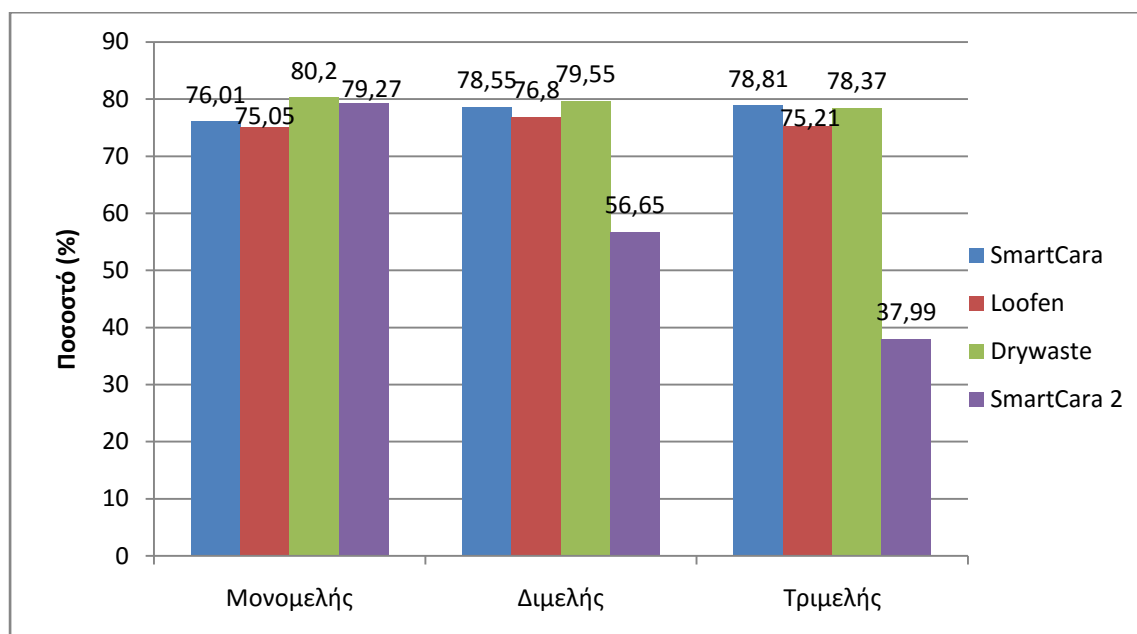
Διάγραμμα 23: Χρόνος λειτουργίας κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης

Όπως είναι φυσιολογικό το σύστημα Smart Cara χρειάστηκε λιγότερο χρόνο σε σχέση με το σύστημα Drywaste το οποίο βέβαια οφείλεται και στο γεγονός ότι μπορούσε να διαχειρισθεί μικρότερη ποσότητα υλικού. Το σύστημα Loofen παρατηρείται ότι χρειάστηκε μεγάλο χρόνο για κάθε κύκλο σε σχέση με την ποσότητα που είχε να διαχειρισθεί.



### 3.4.3 Ποσοστό μείωσης μάζας νωπού υλικού

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας που τελικά επετεύχθη για το υπό ξήρανση υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε κύκλο.



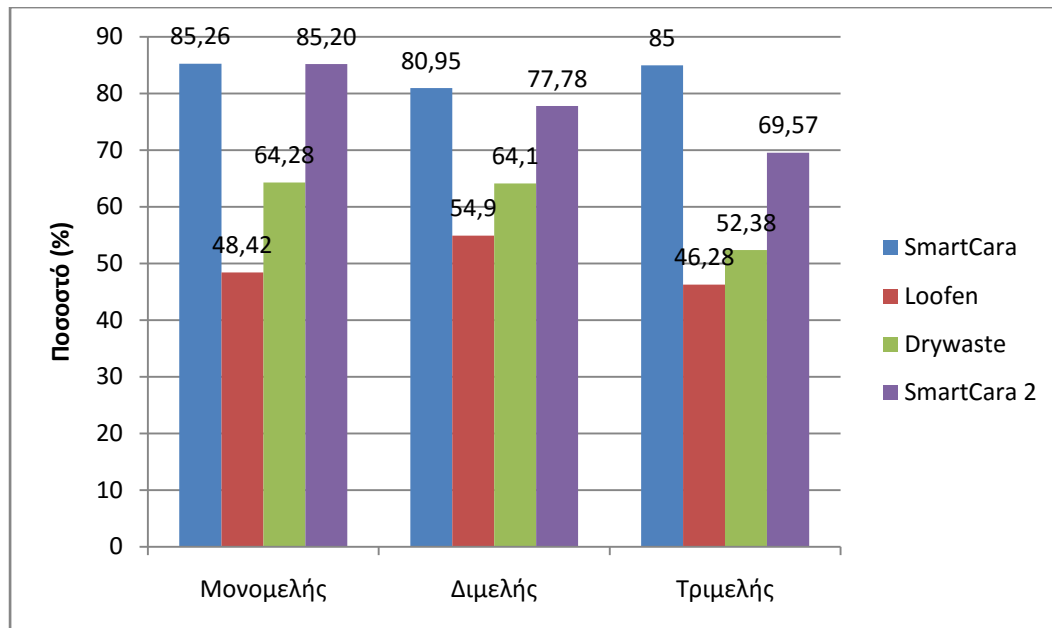
Διάγραμμα 24: Ποσοστό μείωσης μάζας κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης

Παρατηρείται ότι το τελικό ποσοστό μείωσης μάζας κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα και για τα τρία συστήματα ωστόσο και σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα Drywaste υπερτερεί. Επίσης παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στο ποσοστό μείωσης μάζας που επιτυγχάνεται όταν το σύστημα Smart Cara αφέθηκε να λειτουργήσει αδιάκοπα.

Για το σύστημα Smart Cara φαίνεται ότι το ποσοστό μείωσης μάζας αυξάνεται με κάθε κύκλο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ξηρή μάζα που παρέμενε στους πρώτους δύο κύκλους δυσχέραινε την κυκλοφορία του αέρα εντός του αντιδραστήρα με αποτέλεσμα να μην γίνεται εύκολα η ξήρανση.

### 3.4.4 Ποσοστό μείωσης όγκου νωπού υλικού

Παρακάτω παρατίθεται η μείωση του όγκου που επετεύχθη για τον όγκο της συνολικής ποσότητας νωπού υλικού που ετέθη προς ξήρανση και για τους τρεις κύκλους.

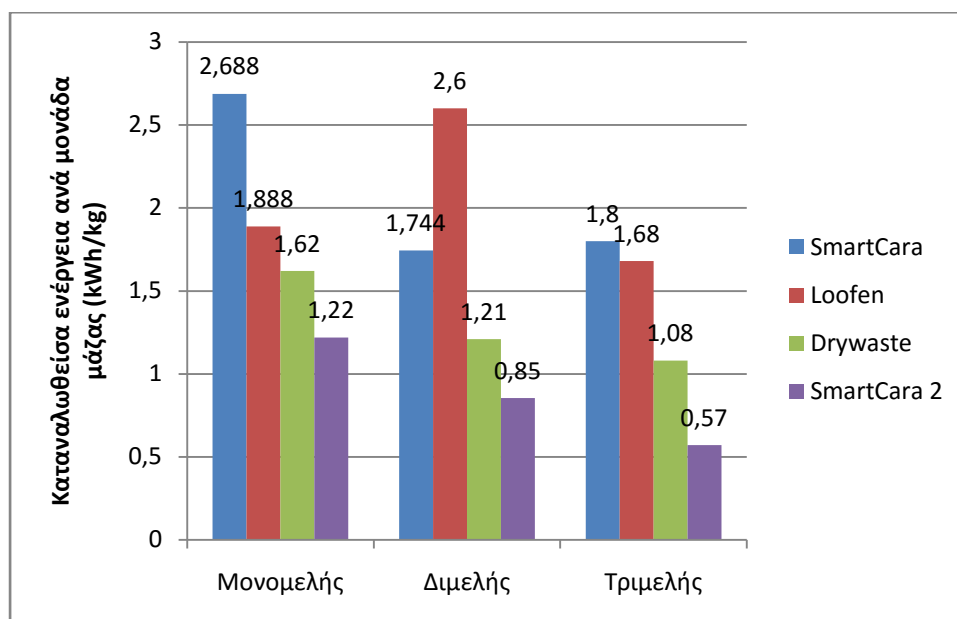


**Διάγραμμα 25: Ποσοστό μείωσης όγκου κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης**

Όπως φαίνεται το σύστημα Smart Cara υπερτερεί σημαντικά των άλλων δύο σε αυτήν την παράμετρο και με τους δύο τρόπους λειτουργίας. Η σημαντική μείωση του όγκου που επετεύχθη με τη συσκευή Smart Cara είναι αξιοσημείωτη, ιδιαίτερα αν αναλογιστεί κανείς τα οφέλη που θα προέκυπταν από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος στη μεταφορά των απορριμάτων.

### 3.4.5 Ενεργειακή κατανάλωση ανά κιλό νωπού υλικού

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθεται η ενεργειακή κατανάλωση ανά κιλό νωπού υλικού που σημειώθηκε για κάθε έναν από τους τρεις κύκλους στα τρία συστήματα.



Διάγραμμα 26: Ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα μάζας κάθε κύκλου για κάθε σύστημα ξήρανσης

Και σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα Drywaste υπερτερεί σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα καθώς χρειάστηκε τη λιγότερη ποσότητα ενέργειας για κάθε κιλό νωπού υλικού. Μάλιστα η διαφορά μεταξύ του συστήματος Smart Cara και του Drywaste είναι αρκετή, ενώ με το σύστημα Loofen αν και υπάρχουν διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση σε κάθε κύκλο, και στις δύο περιπτώσεις κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα. Είναι φανερό ότι ο τρόπος που λειτούργησε το σύστημα κατά τη διάρκεια των πειραμάτων επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση. Μάλιστα παρατηρείται ότι η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος είναι σημαντικά μικρότερη των άλλων δύο όταν αφήνεται να λειτουργήσει αδιάκοπα.

### 3.4.6 Φυσικοχημικές παράμετροι

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών αναλύσεων για τις φυσικοχημικές παραμέτρους κάθε κύκλου, ο μέσος όρος αυτών καθώς και ο μέσος όρος των αντίστοιχων των άλλων δύο συστημάτων.

Πίνακας 24: Μέσος όρος τιμών φυσικοχημικών παραμέτρων του τελικού ξηρού υλικού για κάθε σύστημα ξήρανσης

Παράμετρος	1 <sup>ος</sup> κύκλος	2 <sup>ος</sup> κύκλος	3 <sup>ος</sup> κύκλος	M.O.	Loofen	Drywaste
Υγρασία (%)	1,5730	1,7060	2,4560	<b>1,91167</b>	8,27	5,28
VS (%)	79,4910	95,2670	81,1450	<b>85,30100</b>	90,325	95,01
pH	4,5900	4,7250	4,8400	<b>4,7183</b>	5,58	4,96
Αγωγιμότητα ( $\mu$ S)	1726,5000	935,0000	785,3300	<b>1148,9433</b>	4700	2210
TOC (%)	55,4850	53,7050	55,5250	<b>54,9050</b>	47,58	53,16
TN (%)	1,4350	1,2930	1,4070	<b>1,3783</b>	2,58	1,23
TKN (%)	0,8870	0,8390	0,7530	<b>0,8263</b>	2,52	1,16
NH <sub>4</sub> -N (%)	0,1580	0,1370	0,1480	<b>0,1477</b>	3,07	0,07
N-NO <sub>3</sub> (%)	0,5480	0,4540	0,6540	<b>0,5520</b>	0,06	0,07

### 3.5 Εφαρμογή συστήματος ξήρασης σε δήμο

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος σε κλίμακα ενός δήμου και τα οφέλη που μπορεί να αποφέρει. Για τη μελέτη του προβλήματος αυτού χρησιμοποιήθηκε η περίπτωση ενός τυπικού δήμου της Αθήνας και συγκεκριμένα ο δήμος Νέας Σμύρνης.

Ο δήμος Νέας Σμύρνης ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Νοτίου Τομέα Αθηνών της Περιφέρειας Αττικής. Έχει συνολική έκταση περίπου 3524 στρέμματα και συνορεύει βόρεια με τους δήμους Αθηναίων και Μοσχάτου-Ταύρου, ανατολικά με τους δήμους Δάφνης-Υμηττού και Αγίου Δημητρίου, δυτικά με το δήμο Μοσχάτου-Ταύρου και νότια με το δήμο Παλαιού Φαλήρου.

Ο δήμος Νέας Σμύρνης έχει κυρίως οικιστικό χαρακτήρα, εκτός από τα πολεοδομικά κέντρα (στο κέντρο του Δήμου και επί της Λεωφ. Συγγρού) και τα τοπικά κέντρα γειτονιάς όπου αναπτύσσονται εμπορικές και διοικητικές λειτουργίες κυρίως με μικρές επιχειρήσεις.

Ο συνολικός πληθυσμός του δήμου ανέρχεται σε 73076 μόνιμους κατοίκους (Πηγή ΕΛ. ΣΤΑΤ. 2011). Χαρακτηρίζεται από μεγάλη πυκνότητα κατοίκησης (20737 άτομα/τ.χλμ.). Ο συνολικός αριθμός των νοικοκυριών του δήμου Νέας Σμύρνης είναι 31847 νοικοκυριά, ενώ το μέσο μέγεθος νοικοκυριού είναι 2,27 μέλη/νοικοκυριό (Πηγή ΕΛ. ΣΤΑΤ. 2011).

#### 3.5.1 Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης Α.Σ.Α.

Ο δήμος Νέας Σμύρνης είναι υπεύθυνος για τη συλλογή των στερεών αποβλήτων του συνόλου του δήμου. Λειτουργούν προγράμματα χωριστής συλλογής ρευμάτων αποβλήτων (συσκευασίες, γυαλί, χαρτί, φορητές ηλεκτρικές στήλες, λαμπτήρες, ΑΗΗΕ, κα.) ενώ η μεγαλύτερη ποσότητα των σύμμεικτων αποβλήτων μεταφέρεται στην ΟΕΔΑ Φυλής.

Σύμφωνα με στοιχεία ζυγολογιών του ΕΔΣΝΑ (για τα έτη 2011-2014), οι ποσότητες των αστικών στερεών αποβλήτων του δήμου Νέας Σμύρνης που οδηγούνται στην ΟΕΔΑ Φυλής (συμπεριλαμβανομένου του υπολείμματος από το ΚΔΑΥ) για τα έτη 2011-2014, είναι οι εξής.

Λαμβάνοντας υπόψη την άνω παραγωγή Α.Σ.Α. για το έτος 2014 (26.976 tn/έτος) και δεδομένου του μόνιμου πληθυσμού του δήμου που ανέρχεται σε 73.076 μόνιμους κατοίκους, προκύπτει ότι η μέση παραγωγή είναι περίπου 1,01 kg/day (369 kg/year).

Όσον αφορά στα βιοαπόβλητα συλλέγονται και διατίθενται με το ρεύμα των σύμμεικτων Α.Σ.Α στην ΟΕΔΑ Φυλής.

### **3.5.2 Παραγόμενες ποσότητες βιοαποβλήτων**

Στο δήμο Νέας Σμύρνης δεν έχει πραγματοποιηθεί κάποια μελέτη για την εξακρίβωση της σύστασης των Α.Σ.Α. Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της ποιοτικής σύστασης σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη της Αναθεώρησης του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Ιούλιος 2014) σύμφωνα με την οποία το οργανικό κλάσμα των Α.Σ.Α. αποτελεί το 44,3%, δηλαδή η ποσότητά τους ανέρχεται σε 11870 tn/έτος.

Επίσης για την εκτίμηση της ποσότητας των βιοαποβλήτων στο κλάσμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τη μελέτη του ΕΠΠΕΡΑΑ. Σύμφωνα λοιπόν με τη μελέτη αυτή το ποσοστό των βιοαποβλήτων στο οργανικό κλάσμα των Α.Σ.Α. ανέρχεται σε 86%, το 76% των οποίων αφορά σε βιοαπόβλητα οικιών. Τελικά το ποσοστό λοιπόν των βιοαποβλήτων που παράγονται από οικίες αντιστοιχεί σε 28,95% επί του συνόλου των Α.Σ.Α. δηλαδή σε 3436,365 tn/έτος.

### **3.5.3 Υφιστάμενο κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων**

Τα βιοαπόβλητα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω συλλέγονται και διατίθενται μαζί με το ρεύμα των σύμμεικτων Α.Σ.Α. στην ΟΕΔΑ Φυλής. Το κόστος για τη μεταφορά των Α.Σ.Α. ανέρχεται σε 156 ευρώ/tn ενώ το τέλος ταφής τους ανέρχεται σε 45 ευρώ/tn. Το τέλος ταφής ωστόσο αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια βάσει της νέας νομοθεσίας και πρόκειται να φτάσει τα 100 ευρώ/tn έως το 2020. [35]

Το συνολικό κόστος τελικά για τη διαχείριση των βιοαποβλήτων αντιστοιχεί σε 696.136,365 ευρώ. Παρατηρείται λοιπόν ότι απαιτείται ένας εναλλακτικός τρόπος διαχείρισης βιοαποβλήτων ώστε πέρα από περιβαλλοντικά οφέλη να προκύψουν και οικονομικά οφέλη.

### **3.5.4 Τρόπος εφαρμογής συστήματος ξήρανσης**

Το σύστημα ξήρανσης μελετήθηκε για 3 περιπτώσεις και συγκεκριμένα για μονομελή, διμελή και τριμελή οικογένεια. Οι ποσότητες που αντιστοιχούσαν σε κάθε περίπτωση ήταν 410, 821 και 1230 g/day οι οποίες ωστόσο στην περίπτωση του δήμου Νέας Σμύρνης παρατηρείται ότι δεν συμφωνούν με τις παραγόμενες ποσότητες των αντίστοιχων οικογενειών. Συνεπώς οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση προέκυψαν με βάση τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων για τα πειραματικά δεδομένα των δύο τρόπων λειτουργιών και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος τους.

Ενδεικτικά προέκυψαν:

- Για μονομελή οικογένεια μείωση μάζας 81,24% , μείωση όγκου 88,36% και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 1,3 kWh/kg
- Για διμελή οικογένεια μείωση μάζας 73,48% , μείωση όγκου 82,34% και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 1,06 kWh/kg
- Για τριμελή οικογένεια μείωση μάζας 65,73% , μείωση όγκου 76,32% και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 0,82 kWh/kg
- Για τετραμελή οικογένεια μείωση μάζας 57,97% , μείωση όγκου 77,3% και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 0,58 kWh/kg
- Για πενταμελή οικογένεια μείωση μάζας 64,28% , μείωση όγκου 50,28% και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 0,35 kWh/kg

Θεωρήθηκε επίσης ότι το σύστημα ξήρανσης θα χρησιμοποιείτο από όλα τα νοικοκυριά κάθε οικογένειας και με βαθμό επιτυχίας 70%, ο οποίος ισοδυναμεί με το ποσοστό των βιοαποβλήτων που θα κατέληγε στον ξηραντήρα.

Ο ξηραντήρας θεωρήθηκε ότι θα έχει μία διάρκεια ζωής 10 ετών με αρχικό κόστος 300 ευρώ, άρα το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 30 ευρώ ανά ξηραντήρα, ενώ το κόστος συντήρησής του θεωρήθηκε ότι θα είναι 5% επί του αρχικού του κόστους. Το κόστος της απαιτούμενης ενέργειας προέκυψε με βάση τη θεωρητική κατανάλωση κάθε οικογένειας και με βάση τα τιμολόγια της ΔΕΗ. Ελήφθη επίσης υπόψιν το κοινωνικό τιμολόγιο της ΔΕΗ το οποίο ισχύει από το 2010 και το οποίο χρησιμοποιεί το 9,73% των νοικοκυριών στην Ελλάδα, ποσοστό το οποίο θεωρήθηκε ότι ισχύει και για το δήμο Νέας Σμύρνης. [33]

Για τον υπολογισμό του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε το κόστος που προκύπτει καθαρά από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και στο οποίο περιλαμβάνονται το κόστος παροχής ρεύματος, το κόστος μεταφοράς και διανομής, το Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων (ΕΤΜΕΑΡ) και οι χρεώσεις Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ). [36]

Συνεπώς το τελικό κόστος όπως διαμορφώθηκε για κάθε οικογένεια ήταν 0,153 ευρώ/kWh και με βάση το κοινωνικό τιμολόγιο ήταν:

- Για μονομελή οικογένεια 0,091 ευρώ/kWh
- Για διμελή οικογένεια 0,103 ευρώ/kWh
- Για τριμελή οικογένεια 0,103 ευρώ/kWh
- Για τετραμελή οικογένεια 0,149 ευρώ/kWh
- Για πενταμελή οικογένεια 0,149 ευρώ/kWh

Η ποσοστιαία μείωση του κόστους στη συλλογή και μεταφορά των απορριμάτων θεωρείται ότι θα είναι ίση με την αντίστοιχη ποσοστιαία μείωση του όγκου των απορριμάτων λόγω ξήρανσης.

Επίσης το κόστος συλλογής και μεταφοράς σύμμεικτων ΑΣΑ καθορίζεται κυρίως από την παρουσία οικιακών βιοαποβλήτων σε αυτά καθώς ο μεγάλος βαθμός βιοαποδόμησής τους καθιστά επιτακτική τη συχνή συλλογή τους ειδικά σε θερμά κλίματα. Για το λόγο αυτό θεωρείται ότι η εκτροπή των βιοαποβλήτων από τα υπολειπόμενα σύμμεικτα ΑΣΑ θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους αυτού καθώς θα υπάρχει ένα νέο και βελτιστοποιημένο σχέδιο συλλογής και μεταφοράς τους. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης θεωρήθηκε ότι η μείωση του κόστους που θα υπάρξει θα είναι της τάξης του 15%.

Τέλος η τιμή της βιομάζας που προκύπτει θεωρήθηκε ίση με 50 ευρώ ανά τόνο.[32],[34]



Τα αποτελέσματα που προκύπτουν τελικά είναι τα εξής:

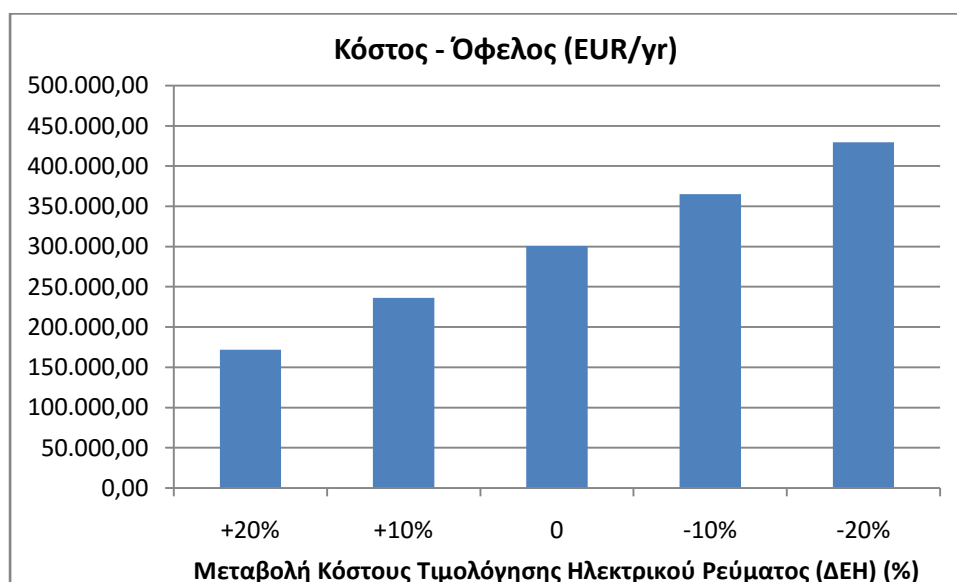
Πίνακας 25: Αποτελέσματα τεχνοοικονομικού σχεδιασμού για την περίπτωση της εφαρμογής του συστήματος Smart Cara στο δήμο Νέας Σμύρνης

		ΕΥΡΩ/τόνο	Όφελος	Κόστος
<b>Κόστος κεφαλαίου</b>	Κόστος κεφαλαίου για εξαγορά και εγκατάσταση ξηραντήρα σταθμισμένη για θεωρητική διάρκεια ζωής 10 χρόνων	957,37		524.480
<b>Λειτουργικό κόστος</b>	Ενεργειακή κατανάλωση συστήματος	129,02		693.765,26
	Κόστος συντήρησης (5% του κόστους κεφαλαίου)	48,77		262.240
<b>Συνολικό Ετήσιο Κόστος</b>				<b>1.480.485,26</b>
<b>Εξοικονόμηση από συλλογή, μεταφορά και διάθεση</b>	Εξοικονόμηση από συλλογή και μεταφορά βιομάζας	120,84	649.780,18	
	Εξοικονόμηση από συλλογή και μεταφορά υπολειπόμενων ΑΣΑ	23,40	505.457,14	
	Εξοικονόμηση από κόστος διάθεσης	100,00	537.726,74	
<b>Κέρδος</b>	Πώληση ξηρής βιομάζας	50,00	88.205,40	
<b>Συνολικό ετήσιο όφελος</b>			<b>1.781.169,46</b>	
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ</b>	<b>300.684,2</b>			

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση ευαισθησίας για τη μελέτη της εξάρτησης του τελικού οφέλους από τη μεταβολή ορισμένων καθοριστικών παραμέτρων όπως είναι:

- το κόστος τιμολόγησης του ηλεκτρικού ρεύματος
- το ποσοστό επιτυχίας εκτροπής των βιοαποβλήτων
- το κόστος του ξηραντήρα

Για το κόστος τιμολόγησης του ηλεκτρικού ρεύματος μελετήθηκε η περίπτωση μεταβολής του θετικά και αρνητικά κατά 10 και 20%. Για το τελικό ετήσιο όφελος προέκυψε ότι αυξάνεται στο 121,4%, δηλαδή στα 365.092,75 ευρώ, και στο 142,8%, δηλαδή στα 429.501,3 ευρώ με μία μείωση του κόστους του ρεύματος κατά 10 και 20% αντίστοιχα. Ομοίως το ετήσιο όφελος μειώνεται στο 78,6%, δηλαδή στα 236.275,65 ευρώ, και στο 57,2%, δηλαδή στα 171.876,1 ευρώ, για μία αύξηση της τιμής του ρεύματος κατά 10 και 20% αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό ραβδόγραμμα.

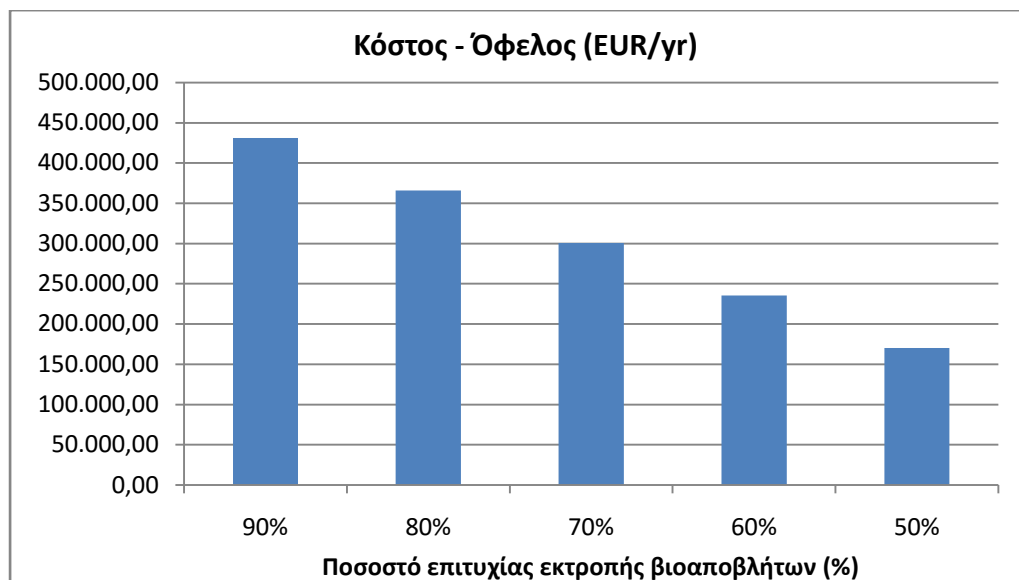


Διάγραμμα 27: Μεταβολή κόστους-οφέλους συναρτήσει της μεταβολής του κόστους τιμολόγησης ηλεκτρικού ρεύματος

Όμοίως για το ποσοστό επιτυχίας εκτροπής των βιοαποβλήτων μελετήθηκε η περίπτωση μεταβολής του θετικά και αρνητικά κατά 10 και 20%. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έγινε η παραδοχή πως δεν επηρεάζονται οι λειτουργικές συνθήκες ξήρανσης, δηλαδή μεταβάλλοντας την ποσότητα που καταλήγει στον ξηραντήρα δε μεταβάλλεται αντίστοιχα η ενεργειακή κατανάλωση.

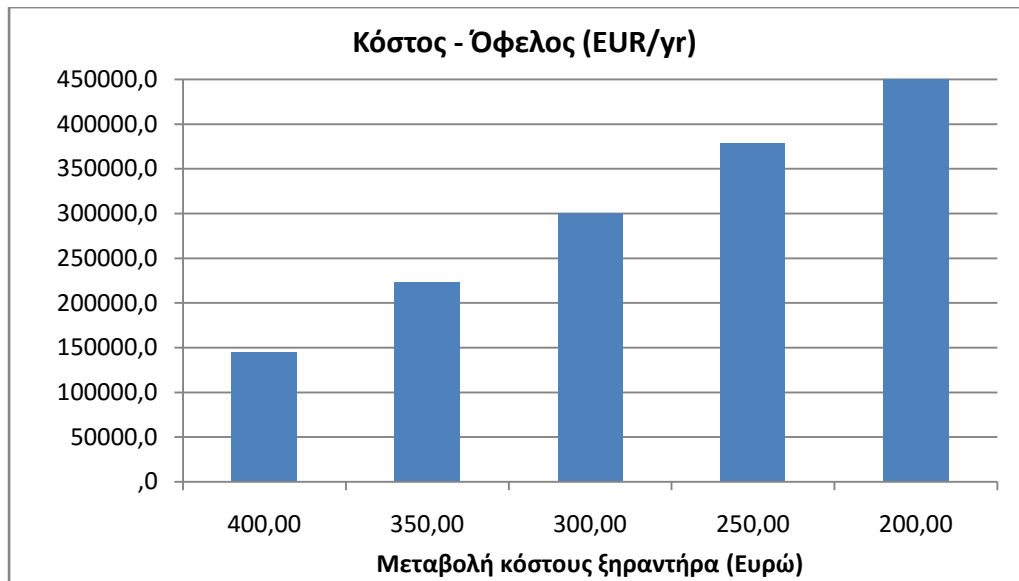
Για το τελικό ετήσιο όφελος προέκυψε ότι αυξάνεται στο 121,7%, δηλαδή στα 365.844,06 ευρώ, και στο 143,3%, δηλαδή στα 431.003,91 ευρώ με μία αύξηση του

ποσοστού εκτροπής κατά 10 και 20% αντίστοιχα. Ομοίως το ετήσιο όφελος μειώνεται στο 78,3%, δηλαδή στα 235.524,34 ευρώ, και στο 56,7%, δηλαδή στα 170.364,49 ευρώ, για μία μείωση του ποσοστού εκτροπής κατά 10 και 20% αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά απεικονίζονται στο παρακάτω ραβδόγραμμα.



**Διάγραμμα 28:** Μεταβολή κόστους-οφέλους συναρτήσει της μεταβολής του ποσοστού επιτυχίας εκτροπής βιοαποβλήτων

Τέλος για το κόστος της συσκευής ξήρανσης μελετήθηκε η περίπτωση αύξησης και μείωσής του κατά 50 και 100 ευρώ. Για το τελικό ετήσιο όφελος προέκυψε ότι αυξάνεται στο 125,9%, δηλαδή στα 378.646,70 ευρώ, και στο 151,9%, δηλαδή στα 456.609,2 ευρώ με μία μείωση του κόστους κατά 50 και 100 ευρώ αντίστοιχα. Ομοίως το ετήσιο όφελος μειώνεται στο 74,1%, δηλαδή στα 222.721,70 ευρώ, και στο 48,1%, δηλαδή στα 144.759,2 ευρώ, για μία αύξηση του κόστους κατά 50 και 100 ευρώ αντίστοιχα αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό ραβδόγραμμα.



Διάγραμμα 29: Μεταβολή κόστους-οφέλους συναρτήσει της μεταβολής του κόστους του ξηραντήρα

#### 4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των παραπάνω εργαστηριακών δοκιμών οδήγησαν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων ως προς την αποδοτικότητα του συστήματος ξήρανσης SmartCara.

Αρχικά το σύστημα λειτούργησε για 3 κύκλους και επί 8 ώρες καθημερινά μέχρι την πλήρη σταθεροποίηση του τελικού υλικού. Η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που διαχειρίστηκε κατά τους 3 κύκλους ήταν ίση με 8.261 g η οποία είναι ελαφρά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που διαχειρίστηκε το σύστημα Loofen (8.209 g) αλλά αρκετά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη του Drywaste (13.536 g).

Η μείωση μάζας που επετεύχθη κατά μέσο όρο και για τους 3 κύκλους βρέθηκε ίση με 77,79% η οποία είναι σημαντική και κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα ωστόσο με τα συστήματα ξήρανσης Loofen και Drywaste.

Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του συστήματος ξήρανσης σε σχέση με τα άλλα δύο αποτελεί η επιτυγχανόμενη μείωση όγκου. Η μείωση όγκου που επετεύχθη με το σύστημα SmartCara κατά μέσο όρο για τους 3 κύκλους ήταν ίση 83,74% αρκετά μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη των άλλων δύο (49,87% για το Loofen και 60,25% για το Drywaste). Η σημαντική αυτή μείωση όγκου που επιτυγχάνεται μπορεί να αποφέρει και σημαντικό όφελος στην εξοικονόμηση από τη συλλογή και μεταφορά των απορριμάτων σε πιθανή εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος.

Η μέση τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης για το σύστημα με τον τρόπο που λειτούργησε βρέθηκε ίση με 2,08 kWh/kg η οποία είναι παρόμοια με την αντίστοιχη του συστήματος Loofen (2,05 kWh/kg) αλλά αρκετά υψηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη του Drywaste (1,3 kWh/kg).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τρόπος που λειτούργησε το σύστημα ξήρανσης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν διαφορετικός από τον προβλεπόμενο. Από τα συμπληρωματικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε το συμπέρασμα ότι η μείωση της μάζας που επιτεύχθηκε ήταν αρκετά χαμηλότερη (57,91% κατά μέσο όρο) ωστόσο η μείωση του όγκου αν και ήταν χαμηλότερη (77,52% κατά μέσο όρο) παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα. Η ενεργειακή κατανάλωση ήταν επίσης σημαντικά μικρότερη (0,88 kWh/kg κατά μέσο όρο), παράμετρος πολύ σημαντική όπως φάνηκε και από τον τεχνοοικονομικό σχεδιασμό για το δήμο της Νέας Σμύρνης.

Όσον αφορά στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του συστήματος η τελική υγρασία του υλικού βρέθηκε κατά μέσο όρο ίση με 1,92% σημαντικά μικρότερη των άλλων δύο συστημάτων (8,27% και 5,28%). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την αποδοτικότητα του συστήματος ως προς την ξήρανση του υλικού. Επίσης το υλικό που προέκυψε είχε αρκετά μικρότερη συγκέντρωση TN, TKN και NH<sub>4</sub>-N σε σύγκριση

πάντα με το αντίστοιχο των άλλων δύο συστημάτων, το οποίο υποδηλώνει ότι υπήρχε λιγότερο έντονη μικροβιακή δραστηριότητα του υλικού. Αντίστοιχα το μικρότερο pH που εμφανίζει το υλικό αποδίδεται στην μικρότερη συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων. Όσον αφορά στον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) το υλικό βρέθηκε να έχει μεγαλύτερη μέση τιμή (54,9%) το οποίο δείχνει ότι τα δείγματα ήταν πλούσια σε οργανική ύλη. Το υλικό βρέθηκε φτωχότερο σε συγκέντρωση πτητικών στερεών σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα (85,3%) ενώ η αγωγιμότητα υπήρξε αρκετά χαμηλότερη σε σύγκριση με το υλικό των άλλων δύο συστημάτων (1149  $\mu\text{S}$  έναντι 4200 και 2210  $\mu\text{S}$ ). Τέλος από τις αναλύσεις που διενεργήθηκαν για τον προσδιορισμό παραμέτρων του υλικού, όπως αναγωγικά σάκχαρα, κυταρρίνη και ημικυταρρίνη, άμυλο κ.λ.π., εξήχθη το συμπέρασμα ότι το υλικό ενδέχεται να μπορεί να υποστεί βιοκατάλυση για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Επιπλέον των πειραματικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε και ένας τεχνοοικονομικός σχεδιασμός για την αξιολόγηση μίας πιθανής εφαρμογής του συστήματος Smart Cara CS10 σε έναν τυπικό δήμο της Αττικής και συγκεκριμένα στο δήμο Νέας Σμύρνης. Προέκυψε λοιπόν βάση και κάποιων παραδοχών ότι το όφελος που θα είχε ένας τέτοιος δήμος από την εφαρμογή αυτού του συστήματος λόγω της εξοικονόμησης από τη συλλογή, μεταφορά και διάθεση των απορριμάτων καθώς και από το κέρδος της αξιοποίησης της προκύπτουσας βιομάζας θα ήταν 300.684,2 ευρώ, παρά το κόστος της αγοράς και λειτουργίας του συστήματος. Μάλιστα από μία ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η εφαρμογή αυτού του συστήματος ξήρανσης θα ήταν συμφέρουσα ακόμα και με τη μεταβολή κάποιων παραμέτρων, όπως το κόστος παροχής ενέργειας, το κόστος του συστήματος και το ποσοστό επιτυχίας εκτροπής των βιοαποβλήτων.

## 5. Βιβλιογραφία

1. Βαλαβανίδης Α., Βλαχογιάννη Θ., (2015), «Αστικά Στερεά Απόβλητα και Ρύπανση του Περιβάλλοντος, Τάσεις στη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων στις Ευρωπαϊκές Χώρες και στην Ελλάδα», [Ηλεκτρονικό], Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.chem.uoa.gr/scinews/Reports/PDF/MUNICIPAL%20WASTE-PDF-WEBSITE-CHEM-UOA-20-3-2015.pdf>
2. <http://www.biowaste.gr/site/general/organic-waste/>
3. Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, (2006), «Το νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα», [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: [www.eedsa.gr](http://www.eedsa.gr)
4. Δίκαιο και Εκδόσεις της ΕΕ, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://eur-lex.europa.eu>
5. Περιβαλλοντική Πολιτική, Νομοθεσία, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.waste2bio.eu>
6. Walter Leal Filho, Marina Kovaleva, (2015), «Food Waste and Sustainable Food Waste Management in the Baltic Sea Region»
7. European Environment Agency, (2013), «Managing municipal solid waste – a review of achievements in 32 European countries»
8. ΥΠΕΚΑ, (2015), «Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων»
9. ΕΠΠΕΡΑΑ, (2012), «Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογή στην Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων»
10. U.S. EPA, (2002), «Solid Waste Management: A Local Challenge with Global Impacts»
11. Ανακύκλωση, απόβλητα και φυσικοί πόροι στην Ευρώπη: αποκαλυπτικά στοιχεία, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.econews.gr>
12. Εγχειρίδιο ΜΠΕΤ
13. Καραπάντσιος Θ., «Ξήρανση» , [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.eng.auth.gr>
14. DRYWASTE LIFE, (2008), «Ανάπτυξη και επίδειξη ενός καινοτόμου συστήματος οικιακής ξήρανσης για την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων στην πηγή» , [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.uest.gr>
15. Smartcara, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.smartcaraeurope.com>

16. MagicCara, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.gpnm.org>
17. Τεχνικές Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.eedsa.gr>
18. Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.ecorec.gr>
19. Παραγωγή Βιοαερίου – Αναερόβια Χώνευση, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.agroenergy.gr/>
20. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2006), «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα / Η περίπτωση της Αττικής», [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://library.tee.gr>
21. Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.ekt.gr>
22. Μουστάκας Κ., (2011), «Αεριοποίηση / Υαλοποίηση αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
23. Υγειονομική ταφή απορριμάτων, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.xyta-artas.gr>
24. Βιοχημεία, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://ebooks.edu.gr>
25. Julian Pietragalla, Alistair Pask, «Water Soluble carbohydrate content», [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.plantstress.com>
26. Βιομόρια και άλλα μόρια, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://ebooks.edu.gr>
27. Μπάβα Νικολέττα, (2014), «Διερεύνηση της επίδρασης της διεργασίας της ξήρανσης στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των οικιακών διατροφικών απορριμάτων», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα
28. Πεζούλας Ιωάννης, (2014), «Τεχνικές και Διεργασίες Ξήρανσης του Βιοαποδομήσιμου Κλάσματος των Απορριμάτων», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα
29. Κομποστοποίηση, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://ecoballa.com>
30. Αναερόβια Χώνευση, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.engaia.gr>
31. Υγειονομική ταφή, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.monoiso.gr>
32. Ελληνική Στατιστική Αρχή, (2011), «Απογραφή Πληθυσμού – Κατοικιών 2011», [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.statistics.gr>



33. Κοινωνικό τιμολόγιο ΔΕΗ, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<http://www.dikaiologitika.gr>
34. ΕΠΤΑ, (2015), «Σχέδιο Αποκεντρωμένης Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων Δήμου Νέας Σμύρνης»
35. Άρθρο 43, Νόμος 4042/2012
36. Τιμολόγιο ΔΕΗ, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:  
<https://www.dei.gr>