



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Π.Μ.Σ. ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ
“ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ ”
ΚΛΑΔΟΣ ΙΙΙ : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

« Αξιοποίηση των υπολειμμάτων ελαιουργίας »



Παναγιώτα Π. Κωνσταντάκου
Επιβλέπων Καθηγητής: Σέρκο Χαρουτουγιάν

Αθήνα 2010



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Π.Μ.Σ. ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

“ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ”

ΚΛΑΔΟΣ ΙΙΙ : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

« Αξιοποίηση των υπολειμμάτων ελαιουργίας »

Παναγιώτα Π. Κωνσταντάκου

Επιβλέπων Καθηγητής: Σέρκο Χαρουτουιάν

Αθήνα 2010



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

« Αξιοποίηση των υπολειμμάτων ελαιουργίας »

*Μελέτη της μετατροπής των ελαιοκλαδεμάτων σε οργανικό λίπασμα
μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης*

Μεταπτυχιακή Διατριβή
της
Παναγιώτας Π. Κωνσταντάκου

Τριμελής εξεταστική επιτροπή :

Επιβλέπων Καθηγητής: Χαρουτουριανό Σέρκο, Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλη: Παπαδάκης Ευάγγελος, Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου
Δυτικής Ελλάδας
Ταραντίλης Πέτρος, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου
Αθηνών

Αθήνα 2010



Περίληψη

Στόχος της διατριβής αυτής είναι η μελέτη της μετατροπής συγκεκριμένων οργανικών υλικών (ελαιοκλάδεμα, γρασιδί, φύκια), σε οργανικό λίπασμα μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης σε κλειστούς πειραματικούς κάδους.

Η κομποστοποίηση αποτελεί μία φυσική, βιολογική, αερόβια και θερμοφιλή διεργασία κατά την οποία, υπό ελεγχόμενες συνθήκες πραγματοποιείται μερική αποδόμηση των οργανικών υλικών, τα οποία μετατρέπονται σε ένα στερεό χουμικό προϊόν το κομπόστ (compost). Το κομπόστ που παράγεται είναι ένα αρκετά σταθερό προϊόν, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους ή/και οργανικό λίπασμα, χωρίς οποιοδήποτε ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Κατά την εκπόνηση της διατριβής, αρχικά μελετήθηκε η κομποστοποίηση ως προς την εξέλιξη της θερμοκρασίας, του αερισμού (επίπεδα οξυγόνου) και της υγρασίας σε τρεις πλαστικούς κάδους χωρητικότητας 400 L. Από αυτούς ο πρώτος πληρώθηκε με ελαιοκλάδεμα, ο δεύτερος με ελαιοκλάδεμα και γρασιδί, ενώ ο τρίτος με ελαιοκλάδεμα και φύκια. Τα οργανικά αυτά υλικά, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του πειράματος, προήλθαν από υπολείμματα κλάδευσης κατά την διαδικασία της ελαιοσυλλογής γειτονικού στο πανεπιστημιακό κτήριο κτήματος, από υπολείμματα κοπής γρασιδιού του περιβάλλοντα χώρου του ίδιου κτηρίου, ενώ τα φύκια συλλέχθηκαν από παραλία του νομού Αιτωλοακαρνανίας.

Μετά την παρέλευση 105 ημερών από την ημέρα πλήρωσης των τριών πρώτων κάδων, το πειραματικό μέρος εμπλουτίστηκε με έναν επιπλέον κάδο ίδιας χωρητικότητας, ο οποίος πληρώθηκε με ελαιοκλάδεμα. Στόχος ήταν η συγκριτική μελέτη της πορείας της κομποστοποίησης σε χειμερινή (12/02/10-31/05/10) και θερινή περίοδο (27/05/10-30/09/10), καθώς και η καταγραφή της διακύμανσης των παραμέτρων θερμοκρασίας, οξυγόνου και υγρασίας σε σχέση με τη μεταβολή των επικρατουσών περιβαλλοντικών συνθηκών τις δυο περιόδους αυτές. Στο περιεχόμενο των τεσσάρων κάδων προσδιορίστηκε το ποσοστό αζώτου, διαθέσιμου



φωσφόρου, καλίου και νατρίου. Μετρήθηκε επιπλέον ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και η οργανική ύλη (OM), γεγονός που βοήθησε τόσο στην αξιολόγηση της ποιότητας των τελικών προϊόντων, όσο και στη ρύθμιση της πορείας της κομποστοποίησης, αφού ο λόγος C/N που επιτυγχάνεται τελικά, αποτελεί έναν από τους καθοριστικότερους παράγοντες της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.

Τα κομπόστ που παρήχθησαν από τα ελαιοκλαδέματα και τα λοιπά οργανικά υλικά με τα οποία αυτά συγκομποστοποιήθηκαν, ήταν πλούσια στα κύρια θρεπτικά συστατικά (N, P, K) που απαιτούνται για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών. Επίσης παρουσίαζαν τα φυσικά χαρακτηριστικά του φυτοχώματος το οποίο πωλείται στο εμπόριο, όπως αποδομημένα, μη διακριτά οργανικά υλικά, οσμή χώματος και θερμοκρασία περιβάλλοντος και πληρούσαν τα τεστ ωριμότητας και σταθερότητας.

Στα υλικά και των τεσσάρων κάδων μετρήθηκαν οι αρχικές και οι τελικές ποσότητες άνθρακα και αζώτου, για να προσδιοριστούν τα ισοζύγια C και N, για να εκτιμηθεί και κατά πόσο η διαδικασία της κομποστοποίησης επιβαρύνει το περιβάλλον από πλευράς εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Τέλος, διενεργήθηκε τεχνοοικονομική μελέτη στην οποία εξετάζεται η σκοπιμότητα κατασκευής μονάδας αξιοποίησης ελαιοκλαδεμάτων, στόχος της οποίας θα είναι η παραγωγή τριών τελικών προϊόντων (φύλλα ελιάς, κομπόστ και πελλέτες). Στο πλαίσιο αυτό μελετήθηκαν τα βασικά οικονομικά κριτήρια και αξιολογήθηκε η βιωσιμότητα του εγχειρήματος αυτού.

Συμπερασματικά, στη διατριβή μελετήθηκε το σημαντικότερο πρόβλημα της αξιοποίησης της τεράστιας ποσότητας ελαιοκλαδεμάτων που συγκεντρώνονται κάθε χρόνο, δίνοντας μια ώθηση προς την κατεύθυνση της αξιοποίησης όλων των οργανικών υπολειμμάτων που πετούνται επιβαρύνοντας το φυσικό περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: κομποστοποίηση, οργανικά υπολείμματα, ελαιοκλαδέματα, γρασιδί, φύκια, οργανική ύλη, κομπόστ.



Summary

The object of this Master Thesis is the study of the conversion, within specific plastic composters (composting bins), of concrete organic matter (olive tree lops, grass, seaweeds) into an organic fertilizer through the composting process.

Composting can be defined as the natural, biological, aerobic and thermophilic activity during which, under checked conditions is realized partial decomposition of the organic matter, which is changed into a solid humic production, known as compost. The final product that is produced is sufficiently stable and it can be used as a soil improver or organic fertilizer, without any adverse environmental effects.

During this study, was initially studied the development of temperature, airing (levels of oxygen) and humidity inside three plastic buckets, capacity of 400 L. From these buckets the first one was filled with Olive Tree Lops (OTL), the second one with OTL plus grass while the third one with OTL plus seaweed. These organic materials, which were used for the experimental part of the study, were emanated from olive tree cutting process and from cutting grass, while the seaweeds were collected by a near beach.

Afterwards, 105 days from the day of fulfillment of three first buckets, at the experimental part was added an additional bucket of same capacity, which was filled with OTL. Aim of the creation of this fourth bucket, was to realize a comparative study of composting development between winter (12/02/10-31/05/10) and summer period (27/05/10-30/09/10), as well as the recording of fluctuation of parameters temperature, oxygen and humidity due to the change of prevailing environmental conditions between this two periods. At the materials of four buckets, were also realised chemical analyses as nitrogen, available phosphorous, potassium and sodium. In addition, the measurement of total organic carbon (TOC), as well as organic matter (OM), helped so much in the evaluation of quality of final products, what in the regulation of composting process, as C/N constitutes one from the most important factors of this process.



The composts which were produced from OTL composting and their co-composting with other organic materials were rich in the main nutritious components (N, R, K) which are required for the correct growth of plants. They presented also the natural characteristics of humus, as distinguishable organic materials, smell of earth and temperature of environment and they were filled the tests of maturity and stability.

Moreover, were measured the initial and final quantities of carbon and nitrogen in the materials of the four buckets, for the determination of C and N balances, and becomes possible the estimation of how much the composting process pollute the environment, from the side of greenhouse gases.

Was also mentioned a techno-economical proposal, in which was examined the expediency of the manufacture of an OTL exploitation unit, objective of which will be the production of three final products (olive leaves, compost and pelletes). Finally were studied basic economic criteria and were studied the viability of this undertaking.

Consequently, this diplomatic thesis studied the most important problem of exploitation of the enormous OTL quantity which is assembled each year, giving thus a impulse to the direction of exploitation of all organic wastes which contribute in the tax of our natural environment.

Keywords: composting, organic residues, olive tree lops, grass, seaweeds, organic matter, compost.



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Summary.....	6
Ευχαριστίες.....	14
Πρόλογος.....	16
Συντομογραφίες	18

Κεφάλαιο 1

Θεωρητικό Μέρος

1.1 Ιστορική αναδρομή	19
1.2 Ορισμός της κομποστοποίησης	20
1.3 Βασικές αρχές της κομποστοποίησης	22
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση.....	26
1.4.1 Μικροοργανισμοί	26
1.4.1.1 Αερόβια βακτήρια	26
1.4.1.2 Ακτινομύκητες	29
1.4.1.3 Μύκητες	29
1.4.2 Μακροοργανισμοί	30
1.4.2.1 Γαιοσκώληκες	31
1.4.2.2 Άλλοι ζωικοί οργανισμοί	32
1.4.3 Άλλοι παράγοντες	32



1.4.3.1	Αναλογία Άνθρακα : Αζώτου	32
1.4.3.2	Αερισμός	36
1.4.3.3	Υγρασία	37
1.4.3.4	Θερμοκρασία	39
1.4.3.5	Οξύτητα (pH)	40
1.4.3.6	Μέγεθος των υλικών	41
1.4.3.7	Όγκος του σωρού	41
1.5	Ειδική μεταχείριση ορισμένων οργανικών υλικών	41
1.6	Έλεγχος ωριμότητας του κομπόστ	43
1.7	Ιδιότητες του κομπόστ	44
1.8	Μέθοδοι κομποστοποίησης	48
1.8.1	Οικιακή κομποστοποίηση	49
1.8.2	Κομποστοποίηση με διαλογή στην πηγή	51
1.8.3	Μονάδα μηχανικής διαλογής	53
1.9	Συστήματα κομποστοποίησης	53
1.9.1	Γραμμικοί σωροί (Windrows composting).....	54
1.9.1.1	Γραμμικοί σωροί φυσικού αερισμού (Turned windrows composting)	55
1.9.1.2	Γραμμικοί σωροί τεχνητού αερισμού (Passively aerated windrows composting)	57
1.9.2	Εγκιβωτισμένοι σωροί (In- vessel composting).....	59
1.9.2.1	Εγκιβωτισμένοι σωροί σε δεξαμενές και σάκους (Aerated static pile and tunnel composting)	59



1.9.2.2	Εγκιβωτισμένοι σωροί σε κάδους οικιακής χρήσης (Home composting)	61
1.9.2.3	Εγκιβωτισμένοι σωροί σε κάδους με γαιοσκώληκες (Vermicomposting)	64
1.10	Γενικά χαρακτηριστικά ελαιοκλαδεμάτων	65
1.10.1	Παραγόμενες ποσότητες και χαρακτηριστικά ελαιοκλαδεμάτων...	66
1.10.2	Προηγούμενες ερευνητικές μελέτες	68
1.10.3	Σχεδιασμός - στόχοι της διατριβής	71

Κεφάλαιο 2

Πειραματικό μέρος

2.1	Σχεδιασμός πειραματικού μέρους	74
2.2	Προετοιμασία πειράματος.....	76
2.3	Αναλυτική περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	82
2.3.1	Μετρήσεις 1 ^{ης} ημέρας	84
2.3.2	Επόμενες μετρήσεις - Πρόοδος πειράματος	85
2.3.3	Προκατεργασία δειγμάτων κομπόστ και μέθοδοι μετρήσεων	87
2.4	Αποτελέσματα μετρήσεων λειτουργικών παραμέτρων	88
2.4.1	Αποτελέσματα καθαρού δείγματος ελαιοκλαδεμάτων (χειμερινό πείραμα)	89
2.4.2	Αποτελέσματα μίγματος ελαιοκλαδεμάτων με γρασίδι	91
2.4.3	Αποτελέσματα μίγματος ελαιοκλαδεμάτων με φύκια	94



2.4.4	Αποτελέσματα καθαρού δείγματος ελαιοκλαδεμάτων (θερινό πείραμα)	96
2.4.5	Συγκριτική μελέτη εξέλιξης θερμοκρασίας στα 4 δείγματα	98
2.4.6	Συγκριτική μελέτη εξέλιξης οξυγόνου στα 4 δείγματα	101
2.5	Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων	102
2.5.1	Μέτρηση του pH.....	102
2.5.2	Μέτρηση ολικού αζώτου	104
2.5.3	Μέτρηση του ολικού άνθρακα.....	106
2.5.4	Μέτρηση της οργανικής ύλης	108
2.5.5	Μέτρηση του λόγου C/N	109
2.5.6	Μέτρηση διαθέσιμου φωσφόρου	111
2.5.7	Μέτρηση ανταλλάξιμου καλίου	112
2.5.8	Μέτρηση ανταλλάξιμου νατρίου	114
2.6	Μετρήσεις αξιολόγησης ποιότητας τελικού προϊόντος	115
2.6.1	Μέτρηση κατανάλωσης οξυγόνου (Respiration Activity) στα τελικά προϊόντα	115
2.6.2	Πείραμα ωρίμανσης του κομπόστ με κάρδαμο.....	117
2.7	Γενική συζήτηση αποτελεσμάτων	120

Κεφάλαιο 3

Συνολική περιβαλλοντική αποτίμηση

3.1	Εισαγωγή	124
-----	----------------	-----



3.2 Ισοζύγιο Άνθρακα126

3.3 Ισοζύγιο Αζώτου127

Κεφάλαιο 4

Τεχνοοικονομική πρόταση κατασκευής και λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας

4.1 Αντικείμενο τεχνοοικονομικής πρότασης130

4.2 Μέθοδοι παραγωγής131

4.3 Συνοπτικό διάγραμμα ροής132

4.4 Εκτίμηση κόστους συγκέντρωσης ελαιοκλαδεμάτων133

4.5 Σχεδιασμός και Επιλογή Εξοπλισμού135

4.5.1 Αποφύλλωση135

4.5.2 Κομποστοποίηση137

4.5.3 Πελλετοποίηση139

4.6 Εκτίμηση Επενδυτικού & Λειτουργικού Κόστους140

4.6.1 Υπολογισμός Πάγιου Κόστους & Αρχικού Κεφαλαίου Κίνησης140

4.6.2 Υπολογισμός Λειτουργικού Κόστους141

4.7 Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης143

4.8 Χρόνος αποπληρωμής144

4.9 Αξιολόγηση επένδυσης144

4.10 Ανάλυση ευαισθησίας145

4.11 Συμπεράσματα Τεχνοοικονομικής πρότασης148



Κεφάλαιο 5

5.1 Κομποστοποίηση: παρούσα κατάσταση και προοπτικές	150
5.2 Γενικότερα συμπεράσματα	152
Βιβλιογραφία	154
Παράρτημα Α	159
Σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα	170



Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών με τίτλο : «Θετικές Επιστήμες στη Γεωπονία», Κλάδος III: “Μελέτη και Αξιοποίηση Φυσικών Προϊόντων”.

Για την πραγματοποίησή της θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλους, τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κ. Ευάγγελο Γ. Παπαδάκη, και τον Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Σέρκο Χαρουτουνιάν, οι οποίοι συνέβαλαν καθοριστικά στην πραγματοποίηση αυτής της προσπάθειάς μου. Τους ευχαριστώ για τις επισημάνσεις και τις διορθώσεις τους στην εργασία μου, ώστε αυτή να πάρει την καλύτερη δυνατή μορφή της. Στάθηκαν δίπλα μου με υπομονή και κατανόηση, στα όποια προβλήματα αντιμετώπισα μέχρι την ολοκλήρωση της μελέτης μου και ήταν πάντα κοντά μου σε κάθε μου βήμα.

Επίσης άξιοι ευχαριστιών είναι όλοι οι καθηγητές του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων αλλά και του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, που με εφοδίασαν με γνώσεις πάνω στον κλάδο του περιβάλλοντος και με δίδαξαν να αγωνίζομαι για το καλύτερο. Τους ευχαριστώ γιατί μέσα από τον αγώνα τους, με κατέστησαν ικανή να συντάξω τις παρακάτω σελίδες, αγγίζοντας έτσι, έστω στο ελάχιστο, μία ευαίσθητη παράμετρο της υποβάθμισης, που όχι μόνο σήμερα, αλλά επί αιώνες ολόκληρους δέχεται το φυσικό περιβάλλον.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Ακράτο και τον κ. Δημήτρη Βαγενά, καθηγητές του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για την σημαντική βοήθειά τους στις πειραματικές μετρήσεις της μελέτης, μέρος των οποίων πραγματοποίησα στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Συστημάτων του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων και τις παρατηρήσεις τους για την βελτίωσή της. Ευχαριστώ προσωπικά την Αθανασία Τεκερλεκοπούλου, λέκτορα του



Πανεπιστημίου Ιωαννίνων αλλά και τον Στέλιο Δέλλα, εργαστηριακό βοηθό του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την προσφορά και τη βοήθειά τους στις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων μου.

Τέλος, κρίνω απαραίτητο να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τους γονείς και την οικογένειά μου, που στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια και με στήριξαν με κάθε τρόπο, για να φτάσω ως εδώ. Τους ευχαριστώ βαθύτατα γιατί, ήταν αυτοί που πρώτοι από όλους με έμαθαν να αγωνίζομαι καθημερινά με υπομονή και τιμιότητα, έχοντας πάντα ως στόχους, τα όνειρά μου . . .



Πρόλογος

Τα απορρίμματα από τις αγροτικές εργασίες μετατρέπονται από πολύ παλιά σε χρήσιμο υλικό, που ονομάζεται κομπόστ. Σε κοινωνίες όπως η ινδική περισσότερο από το 90% των οργανικών απορριμμάτων στις αγροτικές περιοχές, μετατρέπονται ακόμη και σήμερα σε χρήσιμα υλικά και κυρίως σε κομπόστ, αφού τα οργανικά που περιέχονται στα απορρίμματα και δεν μπορούν να ανακυκλωθούν, είναι δυνατόν να κομποστοποιηθούν. Για παράδειγμα, τα υπολείμματα τροφών, τα ξερά φύλλα και τα απορρίμματα κήπων, τα υπολείμματα των αγροκαλλιεργειών, τα προϊόντα χαρτιού, οι λάσπες των υπονόμων και το ξύλο είναι υλικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν.

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, οι γεωργικά αναπτυγμένες χώρες καλούνται να αντιμετωπίσουν αφενός το πρόβλημα της μη ορθολογικής διαχείρισης των απορριμμάτων και αφετέρου την υποβάθμιση των καλλιεργήσιμων εδαφών τους.

Οι συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες απορριμμάτων που καταλήγουν στους Χ.Υ.Τ.Α., η ανάγκη διατήρησης της γονιμότητας των εδαφών αλλά και οι ανεπανόρθωτες καταστροφές του φυσικού περιβάλλοντος έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση μεθόδων αξιοποίησης των οργανικών απορριμμάτων με σκοπό την παραγωγή υψηλής ποιότητας τελικών προϊόντων, όπως οργανικά λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους μέσω της μεθόδου της θερμοφιλης βιοαποδόμησης, της λιπασματοποίησης ή αλλιώς της κομποστοποίησης. Την τελευταία δεκαετία η κομποστοποίηση κερδίζει διαρκώς έδαφος ως εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μορφές διάθεσης των οργανικών απορριμμάτων, δηλαδή, την ταφή και την καύση, και σήμερα θεωρείται ως η καταλληλότερη επεξεργασία για όλες σχεδόν τις κατηγορίες βιοδιασπώμενων απορριμμάτων. Σε όλες σχεδόν τις ευρωπαϊκές χώρες η χωριστή συλλογή των οργανικών υλικών είτε εφαρμόζεται ήδη, είτε πρόκειται να αρχίσει σύντομα, είτε σχεδιάζεται.

Από τη φύση της η κομποστοποίηση έρχεται να συμπληρώσει ένα σύνολο φυσικών διεργασιών που έχουν σοβαρά διαταραχθεί σε βάρος της ομαλής



λειτουργίας του οικοσυστήματος. Συνεπώς, πολύ εύστοχα ο βιολόγος Barry Commoner επισημαίνει ότι *«το μεγάλο λάθος του τρόπου ζωής μας και της σύγχρονης τεχνολογίας μας είναι ότι μετατρέψαμε τις κυκλικές διαδικασίες της φύσης σε ευθύγραμμες, στο τέλος των οποίων συσσωρεύονται τοξικά απόβλητα και απορρίμματα κάθε είδους»*.

Στη μεταπτυχιακή αυτή διατριβή μελετήθηκε η μετατροπή των ελαιοκλαδεμάτων, σε οργανικό λίπασμα μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Τα ελαιοκλαδέματα αποτελούν σημαντική οργανική βιομάζα η οποία μένει ανεκμετάλλευτη και που με τον υπάρχοντα τρόπο αξιοποίησης της (καύση), συντελεί στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Μαζί με τα ελαιοκλαδέματα συγκομποστοποιήθηκαν επίσης και άλλα οργανικά υλικά όπως το γρασίδι και τα φύκια.

Το πειραματικό μέρος της μελέτης πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και συγκεκριμένα στο Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων με τη χρήση πλαστικών πειραματικών κάδων κομποστοποίησης. Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, όσο και στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.



Συντομογραφίες Χρησιμοποιούμενων Όρων

- TOC: Total Organic Carbon
- OM: Organic Matter
- OTL: Olive Tree Lops



Κεφάλαιο 1

Θεωρητικό Μέρος

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Είναι πραγματικά δύσκολο να αποδώσουμε την έναρξη της τεχνικής της κομποστοποίησης σε ένα μεμονωμένο άτομο ή μία ομάδα ατόμων. Υπάρχουν αποδείξεις ότι στη Μεσοποταμία γινόταν χρήση της χωνεμένης κοπριάς 1.000 χρόνια πριν τη γέννηση του Μωυσή, ενώ οι αρχαίοι Ρωμαίοι, Έλληνες και οι φυλές του Ισραήλ γνώριζαν τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Η Βίβλος επίσης περιέχει αμέτρητες αναφορές για τη χρήση άχυρου, ενώ αναφορές δεν λείπουν και από τα κείμενα της Εκκλησίας κατά το Μεσαίωνα, την Αναγεννησιακή λογοτεχνία και τα έργα του Σαίξπηρ.

Το 1840 ο Γερμανός επιστήμονας Justus von Liebig απέδειξε ότι τα φυτά μπορούν να προσλάβουν ουσίες διαλυμένες στο νερό. Όμως τότε ο Liebig τότε αγνόησε τη σπουδαιότητα του χούμου, διότι αυτός ήταν αδιάλυτος στο νερό. Μετά την ανακάλυψη αυτή, η χρήση των χημικών λιπασμάτων αντικατέστησε τη χρήση μίγματος κοπριάς με άχυρα, αφού αυτό ήταν λιγότερο ελκυστικό σε σύγκριση με το χημικό λίπασμα.

Το 1905 ο Βρετανός γεωπόνος Sir Albert Howard πειραματίστηκε στην Ινδία για 30 χρόνια στην οργανική γεωργία και την κηπουρική. Διαπίστωσε δε ότι το καλύτερο οργανικό λίπασμα παράγεται από τρία μέρη φυτικού υλικού και ένα μέρος κοπριάς και συνέστησε την τοποθέτησή τους ανά στρώματα (το ένα πάνω στο άλλο) και στη συνέχεια την ανάδευσή τους (γνωστή ως μέθοδος Indore).

Σήμερα, η οργανική γεωργία γίνεται ολοένα και περισσότερο δημοφιλής, εξαιτίας των σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων που έχουν προκύψει από την αλόγιστη χρήση τοξικών και χημικών λιπασμάτων. Ως αποτέλεσμα, η αξία των



οργανικών λιπασμάτων αυτών παίζει έναν συνεχώς αυξανόμενο ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, την αποκατάσταση των εδαφών και την ανακύκλωση των ζυμώσιμων απορριμμάτων.

1.2 Ορισμός της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μία φυσική, βιολογική, αερόβια διαδικασία κατά την οποία, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, τα οργανικά υλικά μετατρέπονται σε στερεό χουμικό προϊόν, το κομπόστ. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης διάφοροι μικροοργανισμοί, όπως βακτηρίδια και μύκητες, διασπούν τα οργανικά υλικά σε απλούστερα. Η κομποστοποίηση ως αερόβια διαδικασία απαιτεί παρουσία οξυγόνου, για να επιτελέσουν το έργο τους οι μικροοργανισμοί [1]. Έτσι, η κομποστοποίηση αποτελεί μία εξειδικευμένη μορφή σταθεροποίησης των αποβλήτων, κατά την οποία οι συνθήκες υγρασίας και αερισμού ελέγχονται πλήρως ώστε να εξασφαλιστεί η ταχεία ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, ευνοϊκών για την ανάπτυξη και επικράτηση των θερμοφίλων μικροοργανισμών [2].

Ο ορισμός αυτός ουσιαστικά προσδιορίζει μία ελεγχόμενη βιοοξειδωτική διαδικασία, η οποία :

- i) Αφορά ετερογενή οργανικά υλικά σε στερεή κατάσταση,
- ii) Διέρχεται από μία αρχική φάση αποικοδόμησης, κατά την οποία αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες και παράγονται πρόσκαιρα φυτοτοξικές ουσίες, και
- iii) Οδηγεί σε μία κατάσταση σταθεροποίησης, το τελικό προϊόν της οποίας χαρακτηρίζεται ως ώριμο κομπόστ [3].

Το κομπόστ είναι ένα από τα καλύτερα καλυπτικά για το έδαφος και ένα από τα καλύτερα εδαφοβελτιωτικά. Μπορεί επίσης να αντικαταστήσει τη χρήση των χημικών λιπασμάτων. Επιπλέον,



- Η χρήση του βελτιώνει τη δομή και την υφή του εδάφους.
- Αυξάνει τον αερισμό του εδάφους και την ικανότητα του να συγκρατεί νερό.
- Κάνει πιο χαλαρά τα αργιλώδη εδάφη και βοηθάει τα αμμώδη να συγκρατούν περισσότερο νερό.
- Αυξάνει τη γονιμότητα του εδάφους και βοηθάει τις καλλιέργειες να αναπτύξουν υγιές ριζικό σύστημα.
- Η οργανική υλη που περιέχεται σε αυτό τροφοδοτεί τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι κρατάνε το έδαφος υγιές και ισορροπημένο. Έτσι, το άζωτο, το κάλιο και ο φώσφορος παράγονται με φυσικό τρόπο από τους μικροοργανισμούς.

Το κομπόστ είναι το τελικό προϊόν ενός σύνθετου διατροφικού πλέγματος ανάμεσα σε εκατοντάδες διαφορετικούς οργανισμούς (βακτήρια, σκουλήκια, έντομα και μύκητες). Όταν οι οργανισμοί αυτοί διασπασουν την οργανική υλη, απομένει ένα πλούσιο, εύφορο υλικό που αγαπούν τα φυτά. Η κομποστοποίηση είναι πιστή αντιγραφή του φυσικού τρόπου διάσπασης των οργανικών υλικών, όπως ακριβώς γίνεται στο έδαφος. Διασπώνται σιγά-σιγά από τους μικροοργανισμούς που ζουν στο έδαφος, δημιουργώντας αυτό που λέγεται "χούμος".

Με τη μέθοδο της κομποστοποίησης δίνεται η δυνατότητα να αξιοποιηθούν και άλλα στερεά απόβλητα, τα οποία θα μπορούσαν να συνεισφέρουν σημαντικά στη βελτίωση του κομπόστ. Τέτοια υλικά είναι:

- Ίλς βιολογικών καθαρισμών
- Απόβλητα ελαιοτριβείων, ελαιοπυρήνας
- Κτηνοτροφικά απόβλητα, κοπριές
- Κλαδιά δέντρων, θάμνων, ελιάς, οπωροφόρων, δεντροστοιχιών πόλεων
- Κορμοί δέντρων, δασικών ειδών, καμένων εκτάσεων
- Υπολείμματα της επεξεργασίας και τυποποίησης των τροφίμων
- Υπολείμματα της καλλιέργειας των θερμοκηπίων
- Φύλλα δέντρων, πευκοβελόνες, υπολείμματα γκαζόν



✿ Αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα όπως :

1. απόβλητα οινοποιείων, ζυθοποιείων
2. υπολείμματα εκκοκιστηρίων
3. υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας και κονσερβοποίησης φρούτων - λαχανικών
4. υγρά επεξεργασίας γάλακτος

✿ Οργανικό κλάσμα αστικών στερεών αποβλήτων

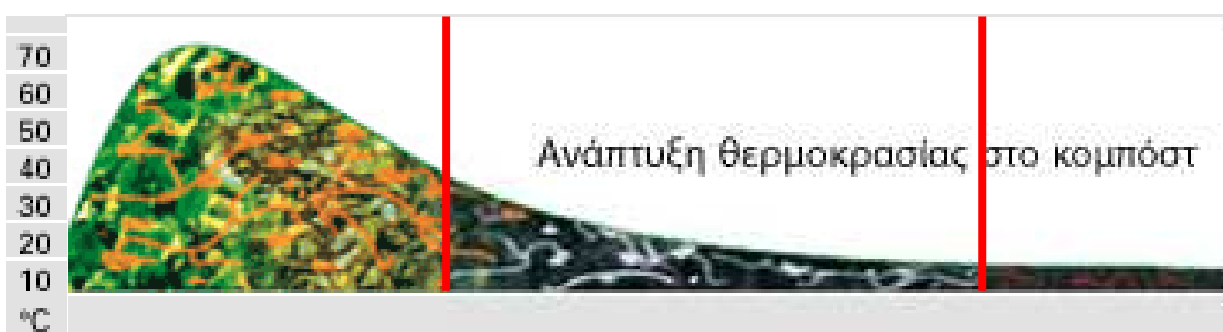
1.3 Βασικές αρχές της κομποστοποίησης

Τόσο ο ρυθμός όσο και η ένταση με την οποία πραγματοποιείται η βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης όσο και η διάρκειά της, είναι παράγοντες που εξαρτώνται είτε από τη φύση και τη διαθεσιμότητα των συστατικών που αποτελούν το υπόστρωμα ανάπτυξης ή από τη δράση μιας πολύπλοκης αλληλουχίας εξειδικευμένων μικροβιακών πληθυσμών. Έτσι, η ζώσα μικροβιακή μάζα πρέπει να θεωρηθεί ότι αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό κάθε σταδίου της πορείας της κομποστοποίησης.

Κατά την έναρξη της βιο-οξειδωτικής διαδικασίας παρατηρείται μία ταχεία άνοδος της θερμοκρασίας (Εικόνα 1.3.1). Η ένταση και η διάρκεια της φάσης αυτής εξαρτώνται από τη σύνθεση της οργανικής ύλης, και ιδιαίτερα από τα συστατικά που αποτελούν το θρεπτικό υπόστρωμα, όπως για παράδειγμα τα απλά σάκχαρα. Κατά τη φάση αυτή η αποικοδόμηση πραγματοποιείται από θερμοφιλά είδη βακτηρίων, η δράση των οποίων δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες (>60 °C) και τις αυξημένες τιμές του pH (>8). Ο μόνος παράγοντας, εκτός του οξυγόνου, που μπορεί κατά τη φάση αυτή να παίζει περιοριστικό ρόλο είναι η μείωση του ρυθμού διαθεσιμότητας των πηγών άνθρακα. Η θερμότητα που εκλύεται κατά την θερμοφιλή φάση είναι προϊόν της μικροβιακής δραστηριότητας η οποία όταν αναφέρεται σε μεγάλη μάζα οργανικών υλικών, αγγίζει σε λίγες μόνο ημέρες τους



70 °C. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις υλικών, όπως νωπές μάζες μαλλιού, βάμβακος ή σανού, σημειώνονται και εξώθερμες χημικές αντιδράσεις οι οποίες μπορούν να ανεβάσουν τη θερμοκρασία πάνω από τους 200 °C προκαλώντας ανάφλεξη.



Εικόνα 1.3.1 : Διάγραμμα τριών φάσεων κομποστοποίησης, φάση αποικοδόμησης (αριστερά)- φάση μετασχηματισμού (κέντρο), φάση ωρίμανσης (δεξιά).



Εικόνα 1.3.2 : Σωροί κομποστοποίησης κατά τη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης

Από σχετικές θερμιδομετρικές μελέτες βρέθηκε ότι η έκλυση θερμότητας σε νωπό άχυρο εμβολιασμένο με βακτηριακούς πληθυσμούς ($1,6 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$) εμφανίζεται



ένα μέγιστο της τάξης των 10^{-4} cal sec⁻¹ g⁻¹ ξηρού άχυρου στους 40 °C. Ένα δεύτερο μέγιστο της τάξης των 15×10^{-4} cal sec⁻¹ g⁻¹ παρατηρείται στους 60 °C και οφείλεται στους θερμοφίλους μικροοργανισμούς [3]. Είναι συνεπώς προφανές, ότι η μεταβολικά παραγόμενη θερμότητα από τους μικροοργανισμούς μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη θερμοκρασία του νωπού οργανικού υλικού.

Κατά τη θερμοφιλή φάση οι πηγές αζώτου αποικοδομούνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου και μάλιστα ταχύτατα. Τα γεγονόσ αυτό συνεπάγεται την παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας, τα οποία αυξάνουν την τιμή του pH σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Προοδευτικά, καθώς η διαθεσιμότητα των εύκολα αφομοιώσιμων πηγών άνθρακα μειώνεται, αυξάνεται ο ρόλος των θερμοφίλων μυκήτων, οι οποίοι αποικοδομούν την ημικυτταρίνη και την κυτταρίνη. Βέβαια, η λιγνίνη δεν αποικοδομείται σε θερμοκρασίες άνω των 65 °C, αλλά η αποικοδόμησή της συντελείται αργότερα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (<50 °C), όταν πλέον επικρατούν οι λιγνολυτικοί μύκητες.



Εικόνα 1.3.3 : Πειραματικός κάδος κομποστοποίησης στο εσωτερικό του οποίου φαίνονται τα στάδια της κομποστοποίησης (στο κάτω στρώμα το ώριμο κομπόστ ενώ πάνω τα νέα οργανικά υλικά που προστίθενται).

Οι θερμοφιλοί ακτινομύκητες είναι ένα ιδιαίτερο είδος των γενών *Thermoactinomyces*, *Streptomyces* και *Thermomonospora* που απαντώνται αρκετά



συχνά [4] και φαίνεται ότι ακολουθούν τα θερμοφιλα βακτήρια, των οποίων η ανάπτυξη εξαρτάται από τις συνθήκες του καλού αερισμού του κομπόστ. Το μέγιστο της θερμοκρασίας αύξησεως των ακτινομυκήτων είναι περίπου οι 70 °C. Οι ακτινομύκητες και οι μύκητες αποτελούν τους κύριους κυτταρινολυτικούς παράγοντες.

Στη φάση αυτή η θερμοκρασία των οργανικών μπορεί να φτάσει σε τόσο υψηλά επίπεδα, ώστε να καταστεί απαγορευτική η περαιτέρω μικροβιακή δράση. Όταν μειωθεί η θερμοκρασία, ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος μικροβιακής δραστηριότητας. Η αναστροφή του υλικού στο στάδιο αυτό μειώνει τη θερμοκρασία και επιταχύνει τη μικροβιακή δραστηριότητα. Τελικά, όλα τα διαθέσιμα ευαφομοιώτα υλικά καταναλώνονται και η μικροβιακή δραστηριότητα αρχίζει να μειώνεται προοδευτικά. Με την πτώση της θερμοκρασίας, οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί και κυρίως οι μύκητες που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, επικρατούν καταναλώνοντας την κυτταρίνη που έχει απομείνει και τελικά, τη λιγνίνη. Τα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται με βραδύ ρυθμό, ενώ οι παραγόμενες ποσότητες θερμότητας δεν μπορούν να αναπληρώσουν τις απώλειες. Έτσι, η θερμοκρασία του υλικού εξακολουθεί να μειώνεται.

Μετά το τέλος της θερμοφιλης φάσης, το υλικό έχει χάσει την αρχική του μορφή, δομή και σύσταση (Εικόνα 1.3.3) με αποτέλεσμα να έχει αποκτήσει τα χαρακτηριστικά του κομπόστ, που περιέχει όμως ένα σύνολο φυτοτοξικών ουσιών (λιπαρά οξέα μικρού μοριακού βάρους) μικροβιακής προέλευσης. Επομένως, δεν είναι ακόμα κατάλληλο για χρήση και χαρακτηρίζεται ως άωρο κομπόστ. Η ωρίμανση του άωρου κομπόστ είναι επίσης μια αργή βιο-οξειδωτική διαδικασία, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις υλικών μπορεί να διαρκέσει αρκετούς μήνες. Η φάση της ωρίμανσης δεν έχει την ένταση των προηγούμενων φάσεων και πραγματοποιείται από μία μικτή μεσόφιλη μικροβιακή χλωρίδα [3].



1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Παρότι οι αρχαίοι μας πρόγονοι γνώριζαν πως τα φυτικά υπολείμματα και η κοπριά ήταν χρήσιμα για την ανάπτυξη των φυτών και τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους, δεν γνώριζαν τον τρόπο με τον οποίο αυτά επιτυγχάνονταν. Οι γνώσεις μας για τη διεργασία της κομποστοποίησης αλλά και σχετικά με τους παράγοντες από τους οποίους αυτή εξαρτάται και επηρεάζεται, έχουν προέλθει από έρευνες των τελευταίων 50 περίπου ετών, δηλαδή είναι πολύ πρόσφατες σε σχέση με τα περισσότερα από 2.000 χρόνια που εφαρμόζεται η κομποστοποίηση.

Έτσι, κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης πραγματοποιείται με τη συμβολή :

- Μικροοργανισμών
- Μακροοργανισμών και
- Άλλων παραγόντων, όπως θερμοκρασία, αερισμός και υγρασία.

1.4.1 Μικροοργανισμοί

Οι μικροοργανισμοί, όπως τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ακτινομύκητες είναι οι κύριοι συντελεστές της κομποστοποίησης. Είναι δε γνωστοί και ως χημικοί αποικοδομητές, διότι μεταβάλλουν τη χημική σύσταση των οργανικών αποβλήτων.

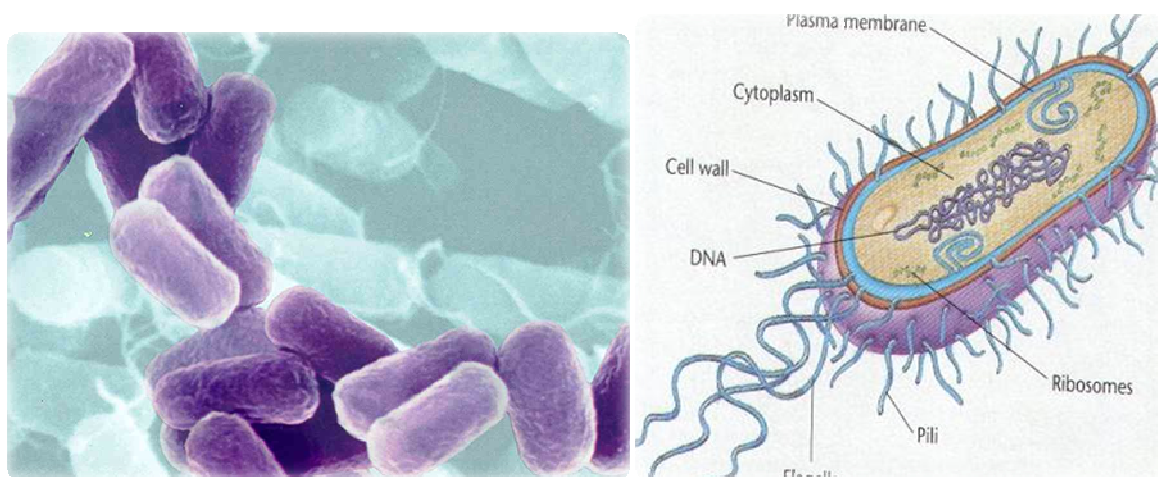
1.4.1.1 Αερόβια βακτήρια

Κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης ως σημαντικότεροι μικροοργανισμοί θεωρούνται τα αερόβια βακτήρια (Εικόνα 1.4.1). Αυτά έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας τον άνθρακα παράγοντας ταυτόχρονα διοξείδιο



του άνθρακα και νερό, ενώ χρησιμοποιούν το άζωτο για να συνθέσουν τις απαραίτητες πρωτεΐνες για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό τους.

Τα αερόβια βακτήρια παράγουν ενέργεια οξειδώνοντας την οργανική ύλη, με συνέπεια να αυξάνεται η θερμοκρασία του σωρού. Αξίζει όμως στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι, καθώς τα βακτήρια αποδομούν μεγάλο εύρος οργανικών ουσιών εκκρίνοντας θρεπτικά συστατικά, όπως άζωτο, φώσφορο και μαγνήσιο, οι συνακόλουθες μεταβολές των παραγόντων θερμοκρασίας, υγρασίας, οξύτητας και αερισμού του σωρού είναι δυνατόν να μειώσουν τον πληθυσμό τους ή/και να τα καταστήσουν εντελώς ανενεργά. Προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή επιβίωση των βακτηρίων αυτών απαιτούνται επίπεδα οξυγόνου μεγαλύτερα του 5% κατ' όγκο, ενώ σε μικρότερα επίπεδα αποθνήσκουν, και η διαδικασία της κομποστοποίησης μειώνεται έως και κατά 90%. Σε τέτοιες περιπτώσεις αναπτύσσονται και αναλαμβάνουν δράση τα αναερόβια βακτήρια, τα οποία παράγουν αμμωνία, οργανικά οξέα, υδρόθειο και πτωμαΐνες, προσδίδοντας δυσάρεστες οσμές, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι τοξικές για τα φυτά.



Εικόνα 1.4.1 : Βακτήρια (αριστερά) και δομή βακτηριακού κυττάρου (δεξιά)



Ωστόσο, υπάρχουν πολλά είδη αερόβιων βακτηρίων που σχετίζονται με τη διεργασία της κομποστοποίησης, ο πληθυσμός των οποίων ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί εντός του σωρού. Κυρίως διακρίνονται τρία είδη βακτηρίων: τα ψυχρόφιλα, τα μεσόφιλα και τα θερμόφιλα.

Τα ψυχρόφιλα βακτήρια έχουν την ιδιαιτερότητα να ευδοκιμούν σε θερμοκρασίες κάτω των 20 °C. Αυτά παρατηρούνται στο σωρό των οργανικών υλικών κατά την έναρξη της διεργασίας της κομποστοποίησης, διάστημα κατά το οποίο η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 25 °C. Σε σχέση με τα άλλα δύο είδη βακτηρίων, αυτά παράγουν το μικρότερο ποσό θερμότητας, το οποίο όμως είναι αρκετό για να αναπτυχθούν στο σωρό θερμοκρασίες κατάλληλες για να αναλάβουν δράση τα μεσόφιλα βακτήρια.

Όσον αφορά τα θερμόφιλα βακτήρια, αυτά δραστηριοποιούνται και αναλαμβάνουν δράση σε περιβάλλον με θερμοκρασιακό εύρος 45 με 70 °C. Αυτοί συνεχίζουν τη διαδικασία της αποικοδόμησης με ταχύτερους ρυθμούς, σε σχέση με εκείνους των μεσόφιλων μικροοργανισμών, αφού ανεβάζουν τη θερμοκρασία του σωρού στους 50–65 °C, στο οποίο για ένα μικρό χρονικό διάστημα σταθεροποιείται. Οι θερμοκρασίες οι οποίες αναπτύσσονται σε αυτό το στάδιο της κομποστοποίησης είναι ικανές να θανατώσουν τους περισσότερους μικροοργανισμούς αλλά και τους σπόρους των ζιζανίων [3].

Επιπλέον, η παραμονή των οργανικών για 72 περίπου ώρες στους 55 °C εξασφαλίζει την καταστροφή των παθογόνων και των σπόρων. Εάν η θερμοκρασία ξεπεράσει για μεγάλο χρονικό διάστημα τους 65 °C, το υπό κομποστοποίηση υλικό μπορεί να γίνει στείρο [5]. Οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί συνεχίζουν τη δραστηριότητά τους όσο οι απαιτούμενες πηγές άνθρακα και αζώτου βρίσκονται σε αφθονία. Σταδιακά όμως, καθώς αυτές οι πηγές φθίνουν, ο πληθυσμός των θερμόφιλων βακτηρίων αρχίζει να μειώνεται. Η μείωση αυτή συνοδεύεται από μία αντίστοιχη πτώση της θερμοκρασίας και αντικατάσταση των θερμόφιλων από μεσόφιλα βακτήρια, τα οποία συνεχίζουν την αποδόμηση της οργανικής ουσίας. Η πτώση της θερμοκρασίας δεν αποτελεί ένδειξη ότι η διεργασία της κομποστοποίησης έχει ολοκληρωθεί, αλλά ότι ξεκινά ένα νέο στάδιο.



1.4.1.2 Ακτινομύκητες

Η κατηγορία αυτή των μικροοργανισμών μελετάται ξεχωριστά από βακτήρια που προαναφέρθηκαν, επειδή λόγω της νηματοειδούς μορφής που παρουσιάζουν, της φυσιολογίας αλλά και του τρόπου αυξήσεως και πολλαπλασιασμού τους, συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο σε σύγκριση με τα τοπικά βακτήρια.

Οι ακτινομύκητες διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στη διαδικασία της κομποστοποίησης, λόγω της ικανότητάς τους να αποικοδομούν και να χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό ουσιών, μερικές από τις οποίες είναι από τις πιο ανθεκτικές στη μικροβιακή αποδόμηση, όπως η λιγνίνη και η κυτταρίνη. Σάκχαρα, οργανικά οξέα, πολυσακχαρίτες, κυτταρίνη, χιτίνη, ημικυτταρίνες, πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, ακόμη και καουτσούκ και φαινολικές ενώσεις, είναι μόρια που χρησιμοποιούνται από τους ακτινομύκητες ως πηγή άνθρακα. Έτσι, καθώς αποδομούν τις ενώσεις αυτές, ελευθερώνουν άνθρακα, άζωτο και αμμωνία που είναι διαθέσιμες προς πρόσληψη από τα φυτά.

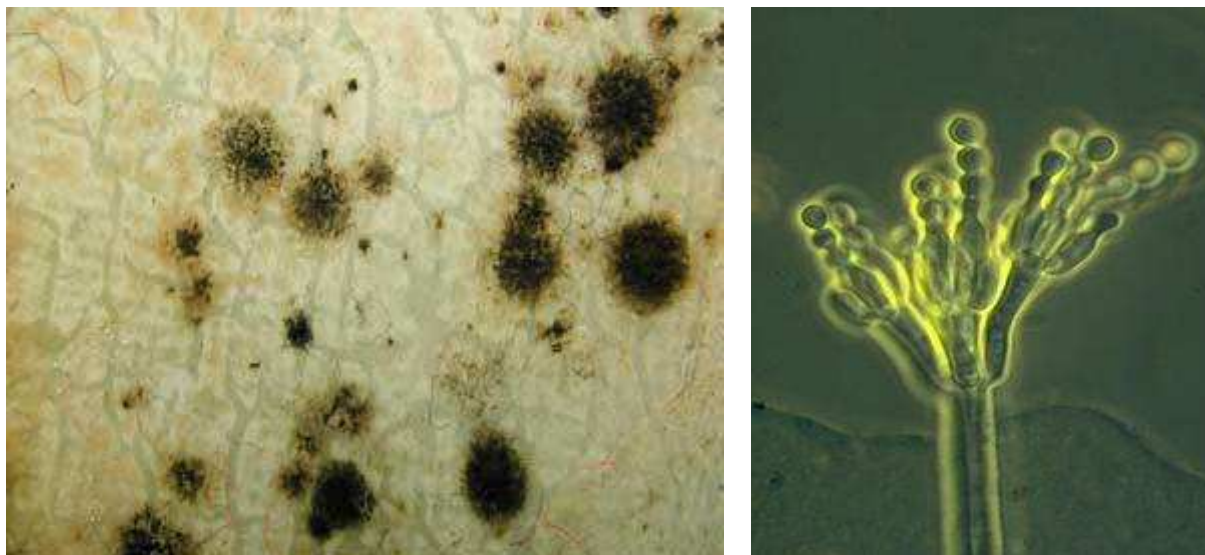
Οι περισσότεροι ακτινομύκητες που λαμβάνουν μέρος στην κομποστοποίηση, είναι μεσόφιλοι. Χαρακτηρίζονται από θερμοκρασία ανάπτυξης τους 25-30 °C και εμφανίζονται στα τελευταία στάδια της κομποστοποίησης, ενώ υπάρχουν και τα θερμόφιλα γένη των *Thermoactinomyces* και *Thermomonospora Streptomyces*.

1.4.1.3 Μύκητες

Οι μύκητες είναι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και συνεπώς της εξέλιξης της πορείας της κομποστοποίησης. Βασική λειτουργία τους είναι η αποδόμηση της κυτταρίνης και της λιγνίνης, η οποία ξεκινά μετά τη δράση των βακτηρίων. Οι μύκητες χαρακτηρίζονται από την προτίμησή τους στις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (μεταξύ 20 και 30 °C) και στις



εύκολα αποδομήσιμες οργανικές ουσίες. Έτσι, δραστηριοποιούνται κατά το τελικό στάδιο της κομποστοποίησης.



Εικόνα 1.4.2: Μύκητες

1.4.2 Μακροοργανισμοί

Στη μάζα του κομπόστ, που από μόνο του αποτελεί έναν ζωντανό οργανισμό, εκτός από τους μικροοργανισμούς, των οποίων ο ρόλος είναι σημαντικότερος, υπάρχουν και διακριτοί με γυμνό μάτι οργανισμοί, όπως οι γαιοσκώληκες και άλλοι μικροί ζωικοί οργανισμοί.

Οι οργανισμοί αυτοί αναφέρονται και ως φυσικοί αποικοδομητές, αφού μασούν και αλέθουν τα οργανικά απορρίμματα, μετατρέποντάς τα σε περισσότερο εύπεπτες μορφές για τους μικροοργανισμούς. Οι εκκρίσεις τους αποδομούνται από βακτήρια, γεγονός που ελευθερώνει περισσότερα θρεπτικά συστατικά στην οργανική ουσία. Επιπλέον, η κίνηση των μακροοργανισμών μέσα στο κομπόστ, επιτρέπει στον αέρα να εισέλθει στα ενδότερα στρώματα του σωρού ενισχύοντας την αερόβια, οξειδωτική δράση των βακτηρίων.



1.4.2.1 Γαιοσκώληκες

Οι γαιοσκώληκες (Εικόνα 1.4.3) αποτελούν τους πλέον βασικούς αποικοδομητές σε έναν σωρό οργανικών υλικών. Οι οργανισμοί αυτοί με τη βοήθεια μικρών χαλικιών που έχουν στο στομάχι τους, χωνεύουν την οργανική ουσία.



Τα περιττώματά τους είναι πλούσια σε ένζυμα, τα οποία με τη σειρά τους συμβάλλουν στην αποδόμηση της οργανικής ύλης αλλά και τη δράση των βακτηρίων. Επιπροσθέτως, τα περιττώματά τους περιέχουν θρεπτικά συστατικά, όπως άζωτο, ασβέστιο, μαγνήσιο και διαθέσιμη μορφή φωσφόρου. Συνεπώς, η παρουσία γαιοσκωλήκων αποτελεί μία καλή ένδειξη μικροβιακής δραστηριότητας και ποιότητας του παραγόμενου φυτοχώματος.

Εικόνα 1.4.3 : Γαιοσκώληκας από σωρό κομποστοποίησης

Συνηθισμένα είδη γαιοσκωλήκων που χρησιμοποιούνται στην κομποστοποίηση είναι τα "κόκκινα σκουλίκια", *Eisenia Fetida* και *Eisenia Andrei*, για τα οποία είναι γνωστό ότι περίπου 1 λίτρο βιομάζας σκουληκιών τρώνε 4 λίτρα μείγματος ανά ημέρα. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης και πολλαπλασιασμού των γαιοσκωλήκων είναι από 14 έως 27 °C. Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 7 °C οι γαιοσκώληκες παύουν να αναπαράγονται, αλλά συνεχίζουν να παράγουν μικρότερη ποσότητα χούμου, ενώ σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 40 °C θανατώνονται [4].



1.4.2.2 Άλλοι ζωικοί οργανισμοί

Εκτός από τους μικρο και μάκρο οργανισμούς, οι οποίοι λαμβάνουν ενεργό μέρος στη διαδικασία της κομποστοποίησης με καθοριστικό ρόλο, σημαντική θέση καταλαμβάνουν και τα ζώφια, που υποβοηθούν τη διεργασία της κομποστοποίησης. Παράδειγμα ζωφίων αποτελούν τα μυρμήγκια, οι σαρανταποδαρούσες, οι σκαραβαίοι, τα σαλιγκάρια, τα μυριόποδα αλλά και οι αράχνες. Αυτά (Εικόνα 1.4.4), αφενός μασούν τα φυτικά απορρίμματα και τρέφονται με μικροοργανισμούς (παθογόνους ή μη για τα φυτά) και αφετέρου μεταφέρουν με τα πόδια ή το σώμα τους μικροοργανισμούς σε όλο το σωρό [6].



Εικόνα 1.4.4: Μικροί ζωικοί οργανισμοί ως φυσικοί αποικοδομητές

1.4.3 Άλλοι παράγοντες

1.4.3.1 Αναλογία Άνθρακα: Αζώτου

Ο άνθρακας δίνει την απαραίτητη ενέργεια στους μικροοργανισμούς μέσω της οξείδωσής του και αποτελεί το σημαντικότερο συστατικό για τη σύνθεση των τοιχωμάτων των κυτταρικών δομών. Στην οξείδωση του άνθρακα σε CO₂, οφείλεται



το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας μάζας κατά την κομποστοποίηση αλλά και η χαρακτηριστική έκλυση θερμότητας.

Εκτός από το ποσοστό του άνθρακα στα απόβλητα, σημασία για την κομποστοποίηση έχει και η χημική του μορφή, αφού αυτή καθορίζει τη διαθεσιμότητά του, δηλαδή τη δυνατότητα των μικροοργανισμών να τον αφομοιώσουν. Κάποια φυσικά υλικά είναι περισσότερο ανθεκτικά στη μικροβιακή αποσύνθεση (πολύπλοκες μορφές κυτταρίνης, λινγίνη) και χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασπαστούν σε σχέση με απλούστερες οργανικές ενώσεις (σάκχαρα, πρωτεΐνες, λίπη). Για παράδειγμα, ο άνθρακας στα ξυλώδη υλικά δεν αποδομείται εύκολα, σε αντίθεση με την κοπριά. Από πρακτική άποψη, η διαθεσιμότητα του άνθρακα καθορίζει: Α) την καταλληλότητα των αποβλήτων ως πηγή άνθρακα για την κομποστοποίηση, Β) το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα και συνεπώς τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής τους στο σύστημα, και Γ) το ανώτατο όριο του λόγου άνθρακα προς άζωτο, (C/N), που δεν επιβραδύνει τη διεργασία.

Σημαντικότερος είναι και ο ρόλος του αζώτου για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο αποτελεί συστατικό του πρωτοπλάσματος και χωρίς αυτό οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν. Ωστόσο, η μικροβιακή δραστηριότητα, όπως η σύνθεση οργανικών οξέων, είναι εφικτή και απουσία αζώτου. Το άζωτο βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε διαθέσιμες μορφές στα υπολείμματα των φαγητών, στα απόβλητα των κήπων και πάρκων (ιδίως όταν αυτά περιέχουν γρασίδι), στη λάσπη των βιολογικών καθαρισμών και στις διάφορες κοπριές. Αντίθετα, έλλειμμα παρουσιάζεται στα ξυλώδη απορρίμματα, το χαρτί και διάφορα βιομηχανικά οργανικά απόβλητα. Για την κομποστοποίηση φτωχών σε άζωτο αποβλήτων η ενδεικνυόμενη λύση είναι η ανάμιξή τους με απόβλητα πλούσια σε άζωτο. Εναλλακτικά, μπορεί να προστεθεί άζωτο σε ανόργανη μορφή ως αζωτούχο λίπασμα.

Η ευνοϊκότερη αναλογία C:N για να ξεκινήσει η κομποστοποίηση είναι μεταξύ 25:1 και 35:1 (κατά βάρος). Εάν η αναλογία είναι μεγαλύτερη του 35:1, ο ρυθμός



ανάπτυξης των μικροοργανισμών και η έκλυση θερμότητας από το σωρό των οργανικών υλικών είναι μειωμένη με αποτέλεσμα η διαδικασία της κομποστοποίησης να πραγματοποιείται με αργούς ρυθμούς. Είναι γνωστό ότι ένας σωρός από φύλλα ή κλαδέματα δέντρων, χρειάζεται περισσότερο από ένα χρόνο για να παρουσιάσει μία εμφανή αποσύνθεση [7].

Αντίθετα, όταν η αναλογία C:N είναι μικρότερη από 20:1, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών αρχικά επιταχύνεται, με συνέπεια την αντίστοιχη αποδόμηση των οργανικών υλικών. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ταχεία εξάντληση του διαθέσιμου οξυγόνου, με συνέπεια την ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών, τη δημιουργία δύσοσμων αερίων και την αύξηση του pH. Το πλεονάζον άζωτο μετατρέπεται από τους μικροοργανισμούς σε αέρια αμμωνία, η οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξική για τους μικροοργανισμούς και μειώνει την ταχύτητα της κομποστοποίησης.

Είναι όμως δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η αναλογία C:N, εάν δεν είναι γνωστή η περιεκτικότητα των υλικών σε υγρασία. Μία κοινή πρακτική είναι η χρήση 25 - 50% κατ' όγκο υλικών που είναι πλούσια σε άζωτο [6].

Στον Πίνακα 1.4.1 παρουσιάζεται μία γενική αναλογία C:N διάφορων οργανικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κομποστοποίηση.



Πίνακας 1.4.1: Αναλογία Άνθρακα: Αζωτο διάφορων οργανικών υλικών

<i>Οργανικά Υλικά</i>	<i>Αναλογία C:N</i>
Φύλλα καλαμποκιού	50 - 100:1
Υπολείμματα φρούτων	19 - 35:1
Γρασίδι	12 - 25:1
Σανό	25:1
Πευκοβελόνες	60 - 100:1
Φύλλα	30 - 80:1
Κοπριά βοοειδών	20 - 25:1
Χαρτί	170 - 200:1
Πριονίδι	200 - 600:1
Φύκη	19:1
Άχυρο	40 - 100:1
Υπολείμματα λαχανικών	12 - 25:1
Ζιζάνια	25:1
Κλαδιά δέντρων	500 - 700:1

Η αναλογία C:N αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα για τη διαθεσιμότητα του αζώτου στα φυτά. Κατά την αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων παρατηρείται απώλεια άνθρακα λόγω παραγωγής και έκλυσης CO₂ και απώλεια αζώτου λόγω έκπλυσης, εξαέρωσης και απονιτροποίησης. Κάποια στιγμή η απώλεια του άνθρακα εξισώνεται με την απώλεια του αζώτου, οπότε η αναλογία C:N σταθεροποιείται σε τιμές που κυμαίνονται περίπου 12-15. Αυτό σημαίνει ότι τα φυτά προσλαμβάνουν από το κομπόστ τις απαιτούμενες ποσότητες αζώτου, ενώ συγχρόνως λαμβάνει χώρα η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας (οι αποσυνθετικοί μικροοργανισμοί ζουν αρμονικά με τους νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς).



Εάν η αναλογία C:N είναι μεγαλύτερη, τότε η αποσύνθεση είναι ακόμα σε εξέλιξη. Οι αποσυνθετικοί μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τον άνθρακα και το άζωτο του κομπόστ, για να καλύψουν τις ανάγκες τους, ενώ οι νιτροποιητικοί μικροοργανισμοί, που μετατρέπουν το άζωτο σε αφομοιώσιμες για το φυτό μορφές, είναι ανενεργοί. Στην περίπτωση αυτή τα φυτά προσλαμβάνουν ελάχιστη ποσότητα αζώτου από το κομπόστ.

Όταν η αναλογία C:N είναι μικρότερη, η περίσσεια αζώτου στο κομπόστ (όσο δεν συγκρατείται από τα μόρια του κομπόστ ή δεν απορροφάται από το φυτό) απομακρύνεται από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή νιτρικών αλάτων, αμμωνίας ή αζώτου [8].

1.4.3.2 Αερισμός

Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία και χρειάζεται παροχή αέρα για αναπλήρωση του οξυγόνου στη μάζα των υλικών που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Για να είναι αποτελεσματικός ο αερισμός τα υλικά πρέπει να έχουν τέτοια δομή, ώστε να υπάρχουν κενά ανάμεσα στα σωματίδια της μάζας που κομποστοποιείται για να μπορεί να εισχωρήσει εύκολα ο φρέσκος αέρας. Για το σκοπό αυτό συχνά προστίθενται διογκωτικά υλικά (άχυρο, τεμάχια ξύλου κ.α.), ιδίως όταν τα προς κομποστοποίηση υλικά δεν έχουν από μόνα τους κάποια δομή (π.χ. λάσπη βιολογικών καθαρισμών, κομμένο γρασίδι). Εάν το ποσοστό υγρασίας είναι πολύ υψηλό, το νερό καταλαμβάνει τον κενό χώρο ανάμεσα στα σωματίδια του κομπόστ και ο αερισμός του είναι δυσχερής.

Ο αερισμός των οργανικών υλικών είναι ένας σημαντικός παράγοντας αφού πολλοί μικροοργανισμοί, κυρίως τα αερόβια βακτήρια, χρειάζονται οξυγόνο σε ελάχιστη τιμή 10% v/v (κατά όγκο ποσοστό επί της αέριας μάζας που βρίσκεται εντός του σωρού) [9]. Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για να παράγουν ενέργεια οι μικροοργανισμοί, να αναπτύσσονται γρήγορα και να αποικοδομούν ταχύτερα την



οργανική ύλη. Ο φυσικός αερισμός επιτυγχάνεται όταν ο θερμός αέρας, που βρίσκεται στο εσωτερικό της οργανικής μάζας και είναι ελαφρύτερος, αναδύεται και αντικαθίσταται με φρέσκο, δροσερότερο αέρα από τα εξωτερικά στρώματα της οργανικής μάζας.

Ο αερισμός ενός σωρού κομποστοποίησης επηρεάζεται από τον άνεμο, την υγρασία και το πορώδες των υλικών. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης το πορώδες μειώνεται με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η κυκλοφορία του αέρα. Εάν μάλιστα η οργανική μάζα απαρτίζεται από υλικά μικρού μεγέθους, όπως γρασίδι, πριονίδι ή πευκοβελόνες ή η συγκέντρωση του νερού είναι αυξημένη, τότε η κυκλοφορία του αέρα ελαττώνεται σημαντικά.

Η περιεκτικότητα της οργανικής ύλης σε οξυγόνο μπορεί να ρυθμιστεί με τη χρήση απλών τεχνικών. Η πλέον απλή και εύχρηστη τεχνική αφορά το ανακάτεμα με ένα φτυάρι, μία φορά τη βδομάδα όταν ο καιρός είναι ζεστός [10]. Με τον τρόπο αυτό, η οργανική μάζα αφρατοποιείται και αυξάνεται το πορώδες της. Μία άλλη σημαντική τεχνική είναι η ανάμειξη με υλικά μεγαλύτερου μεγέθους, όπως άχυρο και κλαδιά, καθώς και η χρήση διάτρητων σωλήνων, που προεξέχουν του σωρού και στους οποίους εισέρχεται ο αέρας.

1.4.3.3 Υγρασία

Όπως προαναφέρθηκε, η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στην υγρασία και τον αερισμό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αποτελεσματικός αερισμός της μάζας του κόμποστ στο σωρό εξαρτάται από τα διάκενα ανάμεσα στα σωματίδιά του. Καθώς αυξάνει η υγρασία οι πόροι γεμίζουν με νερό με αποτέλεσμα τα διάκενα όπου μπορεί να κυκλοφορήσει ο αέρας να μειώνονται και σε τμήματα του σωρού να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Όμως, η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική διεργασία που κατά κύριο λόγο οφείλεται στη δράση των βακτηρίων, των οποίων η μεταβολική δραστηριότητα



πραγματοποιείται στην υγρή φάση. Θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο όριο υγρασίας για τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Ωστόσο, οι τεχνικές δυσκολίες και η οικονομική επιβάρυνση που συνεπάγεται ο επαρκής αερισμός ενός σωρού, θέτουν ένα ανώτατο όριο στο ποσοστό υγρασίας για τη βέλτιστη κομποστοποίηση. Η βέλτιστη υγρασία εξαρτάται εν μέρει από τη σύνθεση και τη φυσική δομή των υλικών. Έτσι μπορεί να είναι υψηλότερη για υλικά με γερή φυσική δομή (άχυρο, πριονίδι, ξερά φύλλα ή τεμαχίδια ξύλου), ενώ υλικά όπως το χαρτί, υπολείμματα φαγητού και γρασίδι, τα οποία τείνουν να χάνουν πολύ γρήγορα τον όγκο τους, πρέπει να έχουν χαμηλότερο ποσοστό νερού.

Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται το νερό για τις μεταβολικές τους λειτουργίες, ενώ η μικροβιακή δραστηριότητα λαμβάνει χώρα σε ένα λεπτό στρώμα νερού στην επιφάνεια της οργανικής ουσίας. Το ποσοστό υγρασίας για την άριστη λειτουργία των μικροοργανισμών κυμαίνεται μέσα στο σωρό σε 40 έως 60% κατά όγκο [10], ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει το 75% [9]. Εάν το ποσοστό υγρασίας είναι μικρότερο του 40%, τα βακτήρια μειώνουν τις μεταβολικές τους δραστηριότητες και αδρανοποιούνται. Εάν το ποσοστό υγρασίας είναι μεγαλύτερο από 60%, το νερό απομακρύνει το οξυγόνο από τους πόρους και δημιουργεί αναερόβιες για τα βακτήρια συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή, αναπτύσσονται αναερόβια βακτήρια, που προσδίδουν δυσάρεστες οσμές και παράγουν ανεπιθύμητες χημικές ενώσεις.

Όμως, το ιδανικό ποσοστό υγρασίας εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης. Για παράδειγμα, το άχυρο και τα στελέχη του καλαμποκιού για να αποδομηθούν χρειάζονται περισσότερη υγρασία σε σύγκριση με τα φύλλα, ενώ τα υπολείμματα φρούτων, λαχανικών και το γρασίδι συνήθως δεν χρειάζονται επιπρόσθετο νερό. Μία κοινή πρακτική είναι τα διάφορα υλικά να ανακατεύονται και να διαβρέχονται κατά διαστήματα, ώστε να είναι υγρά σαν ένα στυμμένο σφουγγάρι. Ορισμένα υλικά, όπως ξερά φύλλα, άχυρο και πριονίδι θα πρέπει να διαβρέχονται παρατεταμένα, διότι έχουν την ιδιότητα να διαχέουν το νερό ή να το απορροφούν μόνο επιφανειακά. Στην περίπτωση που το νερό είναι σε περίσσεια, ο σωρός πρέπει να αναστρέφεται ή να ανακατεύεται με ξερά, πλούσια σε άνθρακα



υλικά. Στον πίνακα 1.4.2 αναφέρονται ενδεικτικά τα ποσοστά υγρασίας ορισμένων οργανικών υλικών [9].

Πίνακας 1.4.2: Ποσοστό υγρασίας διαφόρων οργανικών υλικών (% κατά όγκο)

<i>Οργανικά Υλικά</i>	<i>Ποσοστό Υγρασίας (% κατά όγκο)</i>
Υπολείμματα φρούτων	87
Σανό	8 - 10
Γρασιδί	82
Κοπριά βοοειδών	67 - 87
Άχυρο	4 - 27
Πριονίδι	19 - 65
Φύλλα	38

1.4.3.4 Θερμοκρασία

Καθώς οι μικροοργανισμοί αποικοδομούν τα οργανικά συστατικά, στα απορρίμματα παράγεται θερμότητα, που εγκλωβίζεται στη μάζα του σωρού και ανεβάζει τη θερμοκρασία. Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, οι οποίοι παράγουν περισσότερη θερμότητα και αυξάνοντας τη θερμοκρασία σε έναν αλληλοενισχυόμενο κύκλο. Όμως όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 45-50 °C, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών αρχίζει να ελαττώνεται και όταν ξεπεράσει τους 75 °C πρακτικά μηδενίζεται. Έτσι, για να πετύχουμε το μέγιστο ρυθμό βιοαποδόμησης των οργανικών υλικών πρέπει να διατηρούμε τη θερμοκρασία σε ευνοϊκά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα.

Ένας άλλος ρόλος της θερμοκρασίας στην κομποστοποίηση αναφέρεται στο γεγονός ότι η έκθεση για κάποιο χρονικό διάστημα σε υψηλές θερμοκρασίες καταστρέφει πιθανούς παθογόνους για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά οργανισμούς. Πρέπει λοιπόν η θερμοκρασία να ρυθμίζεται σε τέτοια επίπεδα ώστε



αφ' ενός να μην παρεμποδίζεται η δραστηριότητα των ωφέλιμων μικροοργανισμών και αφ' ετέρου να καταστρέφονται αποτελεσματικά οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Μία θερμοκρασία γύρω στους 55 °C που θα διατηρείται για τουλάχιστον τρεις ημέρες σε όλη τη μάζα του σωρού, θεωρείται αρκετή για την καταστροφή των παθογόνων (USEPA, 1993).

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μπορεί επίσης να επηρεάσει την εξέλιξη της αποσύνθεσης. Οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα αναστέλλουν ή/και σταματούν προσωρινά τη μικροβιακή δράση, ενώ ο θερμός αέρας την άνοιξη και το καλοκαίρι τη διεγείρει. Στην περίπτωση που ο σωρός είναι εκτεθειμένος στον ψυχρό αέρα του χειμώνα και δεν είναι επιθυμητή η μείωση του ρυθμού αποδόμησης, η οργανική μάζα μπορεί να καλυφθεί με νάιλον ή λινάτσα ή να προστεθούν υλικά πλούσια σε άζωτο. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η θερμοκρασία του σωρού είναι μεγαλύτερη των 65 °C, η οργανική μάζα διαβρέχεται και ανακατεύεται με υλικά μεγάλης διαμέτρου πλούσια σε άνθρακα.

1.4.3.5 Οξύτητα (pH)

Η οξύτητα των οργανικών υλικών που κομποστοποιούνται επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και τη δράση των μικροοργανισμών. Τα βακτήρια προτιμούν ένα εύρος pH μεταξύ 6 και 7,5, ενώ οι μύκητες λειτουργούν εντός ενός μεγαλύτερου εύρους pH, που κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 8. Εάν η τιμή του pH μειωθεί σε επίπεδα χαμηλότερα του 6, τότε ο πληθυσμός των μικροοργανισμών, ιδίως των βακτηρίων, μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται και ο ρυθμός αποδόμησης.

Αντίθετα, όταν το pH ξεπεράσει το 9 το άζωτο της οργανικής μάζας μετατρέπεται σε αμμωνία και δεν είναι πλέον διαθέσιμο προς αφομοίωση από τους μικροοργανισμούς. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μείωση του ρυθμού αποδόμησης των οργανικών υλικών.



1.4.3.6 Μέγεθος των υλικών

Το μέγεθος των υλικών είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη δημιουργία μεγάλου πορώδους του μίγματος και τη διατήρηση ικανοποιητικών συνθηκών αερισμού και υγρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Τα προς κομποστοποίηση υλικά, κόβονται, τεμαχίζονται και θρυμματίζονται, ώστε να είναι ευκολότερη και ταχύτερη η αποδόμησή τους. Το βέλτιστο εύρος μεγέθους των υλικών είναι 1,5 - 5 cm, στο οποίο αυξάνεται η επιφάνεια επαφής με τους μικροοργανισμούς διευκολύνοντας το έργο τους. Τα υλικά δεν θα πρέπει να έχουν τη μορφή σκόνης, διότι συμπιέζονται και δυσχεραίνεται η κυκλοφορία του αέρα ανάμεσά τους.

1.4.3.7 Όγκος του σωρού

Ο όγκος που καταλαμβάνει η οργανική μάζα σχετίζεται με τη συγκράτηση της θερμότητας και τη διατήρηση υψηλής θερμοκρασίας σε αυτήν. Έτσι, οι διαστάσεις του σωρού δεν θα πρέπει να είναι μικρότερες από 1m (μήκος) x 1m (πλάτος) x 1m (ύψος) [6].

1.5 Ειδική μεταχείριση ορισμένων οργανικών υλικών

Υπάρχουν ορισμένα οργανικά υλικά που χρειάζονται είτε ειδική μεταχείριση πριν χρησιμοποιηθούν ή απαιτούνται σε μικρές ποσότητες σε στρώσεις κατά τη δημιουργία του σωρού. Τα υλικά αυτά επιβραδύνουν τη διεργασία της κομποστοποίησης ή/και υποβαθμίζουν την ποιότητα του παραγόμενου κομπόστ. Οι παρατηρήσεις γύρω από τις ιδιότητες και τη χρήση τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.4.3 [11].



Πίνακας 1.4.3: Ειδική μεταχείριση ορισμένων οργανικών υλικών

Οργανικά Υλικά	Παρατηρήσεις
Άρρωστα φυτά	Κλείσιμο σε πλαστικές σακούλες και ηλιοαπολύμανση έως ότου ξεραθούν. Έπειτα τοποθέτηση σε σωρούς θερμοκρασίας $>60^{\circ}\text{C}$ για μία εβδομάδα.
Ζιζάνια (αγριόχορτα)	Χρήσης τους όσο είναι χλωρά και δεν έχουν σχηματίσει σπόρους. Εναλλακτικά τοποθέτηση σε σωρούς θερμοκρασίας $>60^{\circ}\text{C}$ για μία εβδομάδα.
Γρασιδί	Εήραση προτού προστεθεί στο σωρό λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άζωτο και της πιθανής έντονης έκλυσης αμμωνίας.
Κλαδιά δέντρων και θάμνων	Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε λιγνίνη πρέπει να θρυμματιστούν και να αναμειχθούν με υλικά πλούσια σε άζωτο.
Πευκοβελόνες	Αποδομούνται αργά. Χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες.
Πριονίδι	Επιδρά αρνητικά στην κυκλοφορία του αέρα. Πρέπει να ανακατεύεται με υλικά πλούσια σε άζωτο.
Στάχτη ξύλου	Είναι πολύ πλούσια σε ανόργανα στοιχεία και χρησιμοποιείται σε μικρές ποσότητες.
Τσόφλια αυγών	Επειδή αποδομούνται αργά, πρέπει να θρυμματίζονται ή να κονιορτοποιούνται.
Τύρφη	Αποδομείται πολύ αργά και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να μουσκεύεται γιατί απορροφά πολύ νερό.
Φύλλα καρδιάς	Σε αυτά περιέχεται η ουσία juglone, η οποία είναι τοξική για τα φυτά. Βιοαποδομούνται σε 30 - 40 ημέρες ενώ θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες.
Χαρτόνι	Αποδομείται αργά, γι' αυτό θα πρέπει να κόβεται σε μικρά κομμάτια και να διαβρέχεται



1.6 Έλεγχος ωριμότητας του κομπόστ

Ένα κομπόστ που είναι ακόμα ζεστό μυρίζει αμμωνία και τα οργανικά υλικά από τα οποία αποτελείται είναι ακόμα ευδιάκριτα, τότε δεν είναι έτοιμο για χρήση και θεωρείται άωρο. Το κομπόστ είναι έτοιμο προς χρήση όταν έχει χρώμα σκούρο καφέ, είναι εύθραυστο και αφράτο και έχει τη μυρωδιά του χώματος. Τα οργανικά υλικά που αποτελούσαν το σωρό δεν θα πρέπει να είναι αναγνωρίσιμα, εκτός από κάποια κομμάτια ξύλου που αποδομούνται βραδύτερα. Η θερμοκρασία του ώριμου κομπόστ (Εικόνα 1.6.1) πρέπει να είναι ίδια με αυτή του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα στο ώριμο κομπόστ να είναι δυνατόν να συναντηθούν γαιοσκώληκες και διάφορα έντομα. Εάν το άωρο κομπόστ προστεθεί σε καλλιέργειες με το πότισμα των καλλιεργειών τα βακτήρια θα συνεχίσουν την αποδόμηση της οργανικής ουσίας, με αποτέλεσμα στο χώμα να αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες ικανές να κάψουν και να καταστρέψουν τις ρίζες των φυτών. Επιπλέον, οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν να χρησιμοποιούν το άζωτο της οργανικής ύλης για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό τους, παρεμποδίζοντας την πρόσληψη αζώτου από τα φυτά και επιβραδύνοντας την ανάπτυξή τους [12].



Εικόνα 1.6.1: Ωριμο κομπόστ



Το κομπόστ προκειμένου να συσκευαστεί θα πρέπει να είναι ξηρό και ώριμο. Εάν αποθηκευτεί υγρό, είναι δυνατόν να συνεχιστεί η αναερόβια αποδόμηση, με αποτέλεσμα την παραγωγή τοξικών ουσιών, όπως μεθάνιο, αιθανόλη και οξικό οξύ. Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος ανάπτυξης παθογόνων για τα φυτά μικροοργανισμών [13].

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το κομπόστ είναι ένα σταθερό προϊόν το οποίο δεν έχει καμία αρνητική επίδραση στα φυτά. Προκειμένου λοιπόν να ελέγχεται πλήρως η σταθερότητα και η καταλληλότητα ενός κομπόστ, έχουν οριστεί τέσσερις μέθοδοι εκτίμησης της ωριμότητας και της φυτοτοξικότητάς του. Σύμφωνα με τις μεθόδους αυτές για να είναι ένα ώριμο κομπόστ θα πρέπει να έχει:

- αναλογία χουμικών/φουλβικών οξέων μεγαλύτερη της μονάδας,
- αναλογία άνθρακα/αζώτου μεταξύ του 12-15,
- ποσοστό βλαστικότητας σπόρων του φυτού *Lepidium sativum* σε υδατικά εκχυλίσματα κομπόστ (1:5) μεγαλύτερο του 75%,
- κατανάλωση οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο κομπόστ μικρότερη από 150 mgO₂/kgVS/h [13].

1.7 Ιδιότητες του κομπόστ

Είναι δύσκολο να πιστέψει κανείς πόσο ωφέλιμο μπορεί να είναι το κομπόστ για το έδαφος. Ακόμα και όταν αυτό απλωθεί στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα απλό εδαφοκάλυμμα, πολύ πριν πραγματικά εισχωρήσει στο έδαφος, το κομπόστ συμβάλλει στην απώθηση των ζιζανίων, τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε συνθήκες ξηρασίας. Επιπλέον προστατεύει το έδαφος από τις βλαβερές συνέπειες του ανέμου και της καταρακτώδους βροχής.

Όταν πλέον η οργανική ύλη εισχωρήσει στο έδαφος τα αποτελέσματα είναι πραγματικά εκπληκτικά, αφού η δομή του εδάφους εξαρτάται αποκλειστικά από



την οργανική ύλη. Σε ένα υγιές έδαφος η οργανική ύλη και τα οργανικά μόρια προσκολλώνται σχηματίζοντας μικροσκοπικούς κόκκους μήκους ενός ή δύο χιλιοστών. Οι κόκκοι αυτοί συγκρατούνται από μυκηλιακές υφές, καθώς και από οργανικούς ιστούς που παράγονται από τρισεκατομμύρια βακτήρια. Έτσι, όσο περισσότερο κομπόστ προστίθεται στο έδαφος, τόσο καλύτερη είναι η διάρθρωση των κόκκων και των πόρων του και παράλληλα υπάρχει λιγότερη ανάγκη για πότισμα των φυτών σε περίοδο ξηρασίας.

Το κομπόστ αποτελεί επίσης μία πολύτιμη πηγή θρεπτικών συστατικών, όπως αζώτου (N) και φωσφόρου (P), τα οποία χρειάζονται τα φυτά για να αναπτυχθούν. Επιπλέον, το κομπόστ παρέχει στα φυτά κάλιο, νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο αλλά και σίδηρο, στοιχεία τα οποία απαιτούν τα φυτά ώστε να αναπτυχθούν και να καρποφορήσουν. Καθώς η οργανική ύλη αποσυντίθεται, τα ορυκτά συστατικά απελευθερώνονται και διατίθενται στα φυτά. Αυτή η αποσύνθεση γίνεται ταχύτερα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αυξημένη, οπότε και τα φυτά έχουν αυξημένες σε θρεπτικά συστατικά ανάγκες. Γενικά τα συστατικά αυτά απελευθερώνονται με σχετικά με αργό ρυθμό στο έδαφος, σε χρονικό διάστημα μηνών ή/και ετών. Αυτό συνεπάγεται λιγότερη ή/και μηδενική χρήση χημικών λιπασμάτων, τα οποία ως γνωστόν χρησιμοποιούνται αλόγιστα και ρυπαίνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Το κομπόστ είναι πλούσιο σε χουμικά οξέα, φουλβικά οξέα αλλά και χουμίνη, καθώς και σε πολυμερείς ενώσεις μικρότερου μοριακού βάρους, όπως πολυσακχαρίτες, λιγνίνες, φαινόλες και κινόνες [14]. Οι χουμικές ενώσεις ευνοούν τη δημιουργία διαλυτών οργανομεταλλικών συμπλόκων με κατιόντα και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, ειδικότερα του φωσφόρου [15].

Ένα κομπόστ βελτιώνει τόσο τη δομή όσο και την υφή του εδάφους, δημιουργώντας συσσωματώματα λόγω της χουμίνης που είναι αδιάλυτη σε οποιοδήποτε pH [14]. Τα συσσωματώματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν για περισσότερο χρόνο τις θρεπτικές ουσίες και την υγρασία στο έδαφος, καθώς έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν το νερό του ποτίσματος ή της βροχής. Επιπλέον, τα συσσωματώματα δημιουργούν ανοίγματα στο έδαφος επιτρέποντας στον αέρα να κυκλοφορεί ευκολότερα.



Εικόνα 1.7.1: Κοσκινισμένο ώριμο κομπόστ

Τα βακτήρια του κομπόστ συνεχίζουν να αποδομούν την οργανική ουσία και να απελευθερώνουν θρεπτικά συστατικά, ενώ τα αζωτοβακτήρια μετατρέπουν το άζωτο σε αφομοιώσιμη μορφή για τα φυτά. Αντίστοιχα, ορισμένοι μύκητες, βακτήρια, αράχνες, σκαραβαιοί, σαρανταποδαρούσες, γαιοσκώληκες κ.α. φιλτράρουν το έδαφος από τα φυτοφάρμακα και τα παρασιτοκτόνα, ενώ τρέφονται με επιβλαβείς μικροοργανισμούς που ενδεχομένως υπάρχουν σε αυτό. Έτσι το έδαφος εξυγιαίνεται και τα φυτά προφυλάσσονται από διάφορες ασθένειες και παράσιτα [16].

Τέλος, το κομπόστ ρυθμίζει το pH του εδάφους σε τιμές που επιτρέπουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στα φυτά. Συνοπτικά το κομπόστ διαθέτει τις παρακάτω ιδιότητες :

- εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία,
- βελτιώνει τη δομή και το πορώδες του εδάφους, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης για τις ρίζες,
- αυξάνει την κυκλοφορία του αέρα και τη διαπερατότητα των βαριών εδαφών, βελτιώνοντας τη στράγγισή τους,
- περιέχει ωφέλιμους μικροοργανισμούς και προϊόντα τους, καθώς και χημικές ενώσεις που προέρχονται από τα οργανικά υλικά (π.χ. αιθέρια έλαια), τα



οποία δρουν ανασταλτικά στην ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών [14],

- ρυθμίζει το pH του εδάφους [17].

Εκτός από τη βελτίωση της φυσικής δομής του χώματος, η χρήση του κομπόστ έχει τα ακόλουθα οφέλη:

- τροποποιεί τις ακραίες θερμοκρασίες στο χώμα, κρατώντας το πιο κρύο το καλοκαίρι και θερμότερο το χειμώνα,
- χρησιμοποιεί το νερό της βροχής ή της άρδευσης αποτελεσματικότερα, ώστε να χάνεται λιγότερη υγρασία λόγω της εξάτμισης και της απορροής, επειδή επιτρέπει την καλύτερη απορρόφηση του,
- αναπτύσσει τη βιολογική δραστηριότητα στο χώμα, η οποία συμβάλλει στην αποδοτικότερη θρεπτική λήψη ορισμένων ιόντων, ειδικότερα αργιλίου και σιδήρου,
- δίνει την ικανότητα αποθήκευσης (δηλαδή την ικανότητα αντίστασης στην αλλαγή του pH) στο χώμα, με άμεση συνέπεια, τα αποτελέσματα της χημικής, εντατικής καλλιέργειας να μην είναι τόσο κρίσιμα,
- λόγω της μεγάλης αποθηκευτικής ικανότητας κατιόντων, η προσθήκη του κομπόστ επιτρέπει την εκμετάλλευση των θρεπτικών ουσιών από τα φυτά για μια μακρύτερη χρονική περίοδο,
- μπορεί να επιτευχθεί μείωση των ζιζανίων με την προσθήκη τουλάχιστον πέντε εκατοστών (5cm) κομπόστ,
- μπορούν να μειωθούν τα αέρια του θερμοκηπίου. Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα οργανικά υλικά όταν υποβληθούν σε αναερόβιες συνθήκες παράγουν το μεθάνιο, που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου.



1.8 Μέθοδοι κομποστοποίησης

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, πετούνται κάθε χρόνο όλο και περισσότερα απορρίμματα. Μεταξύ του 1995 και 1998, η ποσότητα των απορριμμάτων που δημιουργήθηκαν αυξήθηκε κατά 15%. Εάν συνεχιστεί ο ίδιος ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων, έως το 2020, θα απορρίπτονται περίπου 45% περισσότερα σκουπίδια σε σχέση με το 1995. Στην Ελλάδα, μόνο στο ΧΥΤΑ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων) Άνω Λιοσίων καταλήγουν καθημερινά 5.500 τόνοι απορριμμάτων, ενώ τα προγράμματα ανακύκλωσης έχουν καθυστερήσει δραματικά σε όλη τη χώρα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εκδώσει οδηγία (31/1999) που καθορίζει ότι τα οργανικά στοιχεία των απορριμμάτων θα πρέπει να οδηγούνται προς κομποστοποίηση, χωρίς να καθορίζει τον τρόπο και τη μέθοδο της κομποστοποίησης που πρέπει να επιλεγεί.

Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει να επιλεγεί μία από τις τρεις μεθόδους - τεχνικές κομποστοποίησης. Η μία τεχνική αφορά τη δημιουργία εργοστασίων μεγάλου μηχανικού διαχωρισμού με τεράστιο κόστος. Στην Ελλάδα δημιουργήθηκαν δύο εργοστάσια κομποστοποίησης, ένα στα Άνω Λιόσια και ένα στην Καλαμάτα. Η δεύτερη τεχνική κομποστοποίησης είναι η διαλογή στην πηγή. Κατά τη μέθοδο αυτή τοποθετείται ένας ξεχωριστός κάδος δίπλα στους συμβατικούς και το κάθε νοικοκυριό ξεδιαλέγει τα οργανικά στην κουζίνα του και τα τοποθετεί στον ξεχωριστό αυτό κάδο από όπου στη συνέχεια ένα ειδικό όχημα περισυλλέγει τα οργανικά υπολείμματα και τα πηγαίνει στην ειδική μονάδα. Ο βασικός λόγος αποτυχίας της μεθόδου αυτής στην Ελλάδα είναι το πολύ μεγάλο κόστος. Η τρίτη μέθοδος είναι η οικιακή κομποστοποίηση, όπου ο πολίτης αναλαμβάνει να κάνει τη δουλειά του δήμου μηδενίζοντας το κόστος περισυλλογής και μετατροπής των οργανικών σε κομπόστ, μειώνοντας σημαντικά την ποσότητα των σκουπιδιών και εξισορροπώντας με εύκολο τρόπο τον όγκο των σκουπιδιών που παράγει.

Η κομποστοποίηση ως διαδικασία παραγωγής φυτοχώματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ποικίλους τομείς και επίπεδα. Είναι δυνατόν να εφαρμοστεί τόσο σε οικιακό, όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο για την παραγωγή κομπόστ





υψηλής ποιότητας, κατάλληλο για εφαρμογή σε καλλιέργειες αντί της συμβατικής λίπανσης. Έτσι, η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις διαφορετικές μεθόδους:

- με οικιακή κομποστοποίηση,
- με διαλογή στην πηγή των οργανικών υλικών (δημοτική κομποστοποίηση) και
- σε μονάδες μηχανικής διαλογής, όπου παράγεται κομπόστ από το σύνολο των οργανικών απορριμμάτων.

1.8.1 Οικιακή κομποστοποίηση

Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, ένα μεγάλο ποσοστό της τάξης του 50% αποτελείται από ζυμώσιμα υλικά (56%), δηλαδή υπολείμματα τροφών και άλλα οργανικά υλικά. Με τη βοήθεια της κομποστοποίησης το ποσοστό αυτό μπορεί να μειωθεί δίνοντας περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Έτσι, με την οικιακή κομποστοποίηση μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί έως και το 50% κατά βάρος των οργανικών απορριμμάτων εντός των οικιών, μέσω της χρήσης ειδικών πλαστικών κάδων, απλών ξύλινων ή πλαστικών κατασκευών. Ο κάδος κομποστοποίησης διατηρεί την υγρασία και κρατάει τα κατοικίδια ζώα και τα παράσιτα έξω από αυτόν. Ο κάδος μπορεί να είναι είτε πλαστικός είτε ξύλινος (στην περίπτωση της κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες προτιμάται ο ξύλινος κάδος, επειδή έχει μεγαλύτερη απορροφητικότητα και βοηθάει περισσότερο τις διεργασίες των σκουληκιών).

Επιπλέον, τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οικιακή κομποστοποίηση είναι:

-  Κομμένο γρασίδι και πράσινα υπολείμματα κήπου
-  Υπολείμματα λαχανικών & φρούτων



- ☞ Φύλλα δέντρων & λουλουδιών
- ☞ Κατακάθι και φίλτρα από καφέ και τσάι
- ☞ Τεμαχισμένο χαρτί (χαρτί χαμηλού βαθμού, μη αποδεκτό για την ανακύκλωση)
- ☞ Τσόφλια αυγών
- ☞ Υπολείμματα βοτάνων από ροφήματα

Ωστόσο, υπάρχουν και υλικά τα οποία δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην οικιακή κομποστοποίηση. Τέτοια υλικά είναι τα εξής:

- ☞ Κρέας, ψαριά, και πουλερικά
- ☞ Σάλτσες φαγητών
- ☞ Λαδιά και κάθε είδους λίπη
- ☞ Γαλακτοκομικά
- ☞ Κόπρανα κατοικίδιων ζώων
- ☞ Εύλα επεξεργασμένα τα οποία έχουν υποστεί χημική διεργασία
- ☞ Στάχτη και ξυλάνθρακας
- ☞ Ανόργανα στοιχεία (πλαστικό, μέταλλο, γυαλί, κτλ)

Η ποιότητα των αποβλήτων που τροφοδοτούν το σύστημα καθορίζει και την ποιότητα του παραγόμενου κομπόστ.



Εικόνα 1.8.1:

Κάδος οικιακής κομποστοποίησης



1.8.2 Κομποστοποίηση με Διαλογή στην Πηγή

Για τη διαλογή στην πηγή τα οργανικά απορρίμματα συλλέγονται χωριστά από τα νοικοκυριά και τοποθετούνται σε ειδικούς κάδους ή σακούλες. Η αποκομιδή τους γίνεται με ξεχωριστό σύστημα από την αποκομιδή των λοιπών αστικών στερεών αποβλήτων και μεταφέρονται σε ειδικές εγκαταστάσεις εξοπλισμένες κατάλληλα για την μετατροπή τους σε κομπόστ [18]. Επίσης κομποστοποίηση με διαλογή στην πηγή μπορεί να γίνει και στα πράσινα απορρίμματα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α), όπως το γρασίδι και τα κλαδέματα από πάρκα, δρόμους και γήπεδα. Τα πράσινα απορρίμματα των Ο.Τ.Α συλλέγονται χωριστά και μεταφέρονται με ανοιχτά οχήματα σε κατάλληλους χώρους, όπου τεμαχίζονται, ανακατεύονται με κοπριά και στη συνέχεια, μετατρέπονται σε κομπόστ.

Προκειμένου να παραχθεί το τελικό κομπόστ, προηγείται επεξεργασία των απορριμμάτων, η οποία αποτελείται από τη μηχανική επεξεργασία και έπειτα τη ζύμωση. Η μηχανική επεξεργασία περιλαμβάνει τη ζύγιση, τη διαλογή, τον τεμαχισμό και το κοσκίνισμα, προκειμένου η ετερογενής μάζα των απορριμμάτων να μετατραπεί σε ομογενή με λεπτή κοκκομετρία. Κατά τη διαδικασία αυτή από τη μάζα των υλικών απομακρύνονται όλα τα μεγάλα αντικείμενα, χαρτιά, μέταλλα, γυαλιά και πλαστικά.

Το κομπόστ το οποίο παράγεται από αυτόν τον τύπο κομποστοποίησης, ανάλογα με την ποιότητά του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καλλιέργειες, να δοθεί δωρεάν στους δημότες ή να πωληθεί, να χρησιμοποιηθεί σε δημόσιους χώρους (πάρκα, κήπους, γήπεδα) για τον εμπλουτισμό και την βελτίωση του χώματός τους ή τέλος να χρησιμοποιηθεί σε δασώδεις ή μη άμεσα εκμεταλλεύσιμες εκτάσεις για τη βελτίωση της ποιότητας τους εδάφους.

Η κομποστοποίηση με διαλογή στην πηγή, παρουσιάζει μία σειρά από οφέλη και πλεονεκτήματα που περιλαμβάνουν:



- βελτίωση και αναβάθμιση των εδαφών στα οποία θα προστίθεται το παραγόμενο κομπόστ,
- μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά 40 - 60% κατά βάρος, ανάλογα με το ποσοστό των οργανικών σε αυτά,
- αύξηση του χρόνου ζωής των Χ.Υ.Τ.Α αφού όλο και λιγότερα απορρίμματα θα προστίθενται σε αυτούς.

Η σειρά όμως αυτή των πλεονεκτημάτων συνοδεύεται από ένα πλήθος μειονεκτημάτων, τα οποία είναι:

- η ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών (σαλμονέλα, ηπατίτιδα κ.α) κατά την ανάμειξη των αστικών με τα νοσοκομειακά απορρίμματα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να εξαληφθεί πλήρως με τον κατάλληλο έλεγχο της θερμοκρασίας ζύμωσης, αφού σε θερμοκρασίες 65-70 °C που αναπτύσσονται κατά την αερόβια ζύμωση, οι παθογόνοι αυτοί μικροοργανισμοί καταστρέφονται,
- ο υψηλός χρόνος παραμονής για την παραγωγή του κομπόστ, αλλά και ο τεράστιος χώρος που είναι απαραίτητος για τη ζύμωση, απαιτεί τη δέσμευση μεγάλων εκτάσεων γης απαγορεύοντας την εναλλακτική χρήση τους,
- δυσοσμίες λόγω μη σωστής λειτουργίας και πραγματοποίησης της κομποστοποίησης,
- ανίχνευση βαρέων μετάλλων (κάδμιο, μόλυβδος, χαλκός κ.α) στο τελικό κομπόστ, λόγω της μη απομάκρυνσης τοξικών ή επικίνδυνων υλικών από τα οικιακά απορρίμματα. Μέσω της μηχανικής διαλογής δεν είναι δυνατή η πλήρης απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων. Όταν η περιεκτικότητα του κομπόστ σε βαρέα μέταλλα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, τότε το κομπόστ μπορεί χωρίς πρόβλημα να χρησιμοποιηθεί στη δασοπονία, την ανθοκομία και γενικά σε καλλιέργειες από τις οποίες δεν παράγονται καρποί ή προϊόντα προς βρώση,



- υψηλό κόστος επένδυσης για το διαχωρισμό των οργανικών με μηχανική διαλογή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω μειονεκτήματα δεν αφορούν την κομποστοποίηση των πράσινων απορριμμάτων από πλατείες και κήπους, αφού αυτά είναι αμιγώς οργανικά υλικά.

1.8.3 Μονάδα Μηχανικής Διαλογής

Μέσω μίας μονάδας μηχανικής διαλογής είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός των σύμμεικτων απορριμμάτων και η παραλαβή τεσσάρων κλασμάτων, από τα οποία παράγονται τελικώς τα παρακάτω εμπορεύσιμα κλάσματα που περιέχουν υλικά:

- κομποστοποίησης, για την παραγωγή κομπόστ υψηλής προστιθέμενης αξίας μετά από την ελεγχόμενη βιοαποδόμηση των οργανικών υλικών,
- παραγωγής καύσιμης ύλης RDF (Refuse Derived Fuel), το οποίο αποτελείται από μίγμα χαρτιού, πλαστικού και άλλων καύσιμων υλικών με τελική μορφή δεμάτων. Το καύσιμο αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας,
- σιδηρούχων μετάλλων, τα οποία οδηγούνται προς ανακύκλωση, και
- αλουμινίου, το οποίο επίσης οδηγείται προς ανακύκλωση [19].

1.9 Συστήματα κομποστοποίησης

Σήμερα, οι γνώσεις μας για το λειτουργικό ρόλο των μικροβιακών πληθυσμών έχουν προχωρήσει σε ικανοποιητικό βαθμό και προσφέρουν την απαραίτητη



θεωρητική βάση για την ανάπτυξη πρόσφορων μεθόδων κομποστοποίησης. Επιπλέον, τα τεχνολογικά μέσα προσφέρουν τη δυνατότητα ελέγχου της πορείας της κομποστοποίησης προς προεπιλεγμένες κατευθύνσεις, οι οποίες μπορεί να στοχεύουν είτε στην παραγωγή ενός τελικού προϊόντος με προκαθορισμένα χαρακτηριστικά ή στη βελτιστοποίηση της απόδοσης της λειτουργίας του συστήματος κομποστοποίησης, όταν αυτό χρησιμοποιείται ως σύστημα διαχείρισης οργανικών αποβλήτων [3].

Όλα τα συστήματα κομποστοποίησης έχουν ως κοινή αφετηρία και βασική προϋπόθεση τον ικανοποιητικό αερισμό του υποστρώματος. Στα παραδοσιακά συστήματα και στην οικιακή κομποστοποίηση, ο αερισμός γίνεται εμπειρικά με περιοδικές αναστροφές ή ανακάτεμα του σωρού. Στα σύγχρονα συστήματα ο αερισμός του υλικού εξασφαλίζεται είτε με περιοδικό ανακάτεμα ή με ενισχυμένη παροχή αέρα ή και με τους δύο τρόπους μαζί.

Τα σύγχρονα συστήματα κομποστοποίησης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που διατάσσονται τα οργανικά υλικά:

- α) σε συστήματα με τα οργανικά υλικά διατεταγμένα σε γραμμικούς σωρούς ή αλλιώς σειράδια (*in windrows*), και
- β) σε συστήματα με εγκιβωτισμένα τα οργανικά υλικά (*in - vessel*).

1.9.1 Γραμμικοί σωροί (*Windrows composting*)

Στα γραμμικά συστήματα το υλικό αποτίθεται σε σωρούς τριγωνικής, ημικυκλικής ή τραπεζοειδούς διατομής (Εικόνα 1.9.1) [20]. Ο τριγωνικός και ημικυκλικός τύπος πλεονεκτεί του τραπεζοειδούς, διότι εξασφαλίζει καλύτερες συνθήκες αερισμού. Οι σωροί διατάσσονται σε παράλληλες γραμμές στην επιφάνεια του εδάφους και ο χρόνος παραμονής τους εξαρτάται από την σύνθεσή του, την υγρασία, τον αερισμό κλπ.



Το σύστημα κομποστοποίησης με γραμμικούς σωρούς διακρίνεται σε δύο βασικούς τύπους, ανάλογα με τον τρόπο αερισμού με: α) φυσικό τρόπο αναστροφής που είναι γνωστός ως *turned windrows composting*, και β) τεχνητό τρόπο, γνωστός και ως *passively aerated windrows composting*.



Εικόνα 1.9.1: Γραμμικοί σωροί κομποστοποίησης

Στο σύστημα κομποστοποίησης σε γραμμικούς σωρούς πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων από τη βάση του σωρού. Τα στραγγίσματα πρέπει να συλλέγονται και να υποβάλλονται σε ενδεδειγμένους χειρισμούς (ανακύκλωση κατά τη διαβροχή του κομποστ, αερόβια επεξεργασία κ.α.), έτσι ώστε να αποφεύγεται η διήθησή τους σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

1.9.1.1 Γραμμικοί σωροί φυσικού αερισμού (Turned windrows composting)

Οι γραμμικοί σωροί έχουν ύψος 1 m για βαριά - πυκνά υλικά, όπως η κοπριά και τα υπολείμματα φρούτων και έως 4 m για ελαφριά υλικά, όπως τα φύλλα και τα κλαδιά. Το πλάτος είναι δυνατό να κυμαίνεται από 3-6 m. Η βάση πρέπει να χαρακτηρίζεται από μια μικρή κλίση και να είναι στρωμένη με τοιμέντο, πλαστικό



(μουσαμάς) ή τεμαχισμένα κλαδιά και πριονίδι, για να μη διηθούνται τα θρεπτικά συστατικά στο έδαφος. Επίσης, κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι σωροί θα πρέπει να σκεπάζονται με πλαστικό κάλυμμα ή με τεμαχισμένα κλαδιά και πριονίδι για να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας.

Ο αέρας διαχέεται από το εξωτερικό στρώμα του σωρού στο εσωτερικό με φυσικό τρόπο, ενώ ανά διαστήματα γίνονται αναστροφές του σωρού με μηχανική βοήθεια (Εικόνα 1.9.2). Οι αναστροφές αυτές επιτρέπουν αφενός στα υλικά που βρίσκονται στα εξωτερικά στρώματα του σωρού να μετακινηθούν στο εσωτερικό, όπου ο ρυθμός της αποδόμησης είναι ταχύτερος και αφετέρου να διατηρηθούν οι αερόβιες συνθήκες.

Εάν τα υλικά αποδομούνται γρήγορα, τότε τα γυρίσματα στο πρώτο διάστημα της κομποστοποίησης μπορεί να γίνονται κάθε δεύτερη μέρα και στη συνέχεια να περιοριστούν σε ένα γύρισμα την εβδομάδα.



Εικόνα 1.9.2: Αναστροφή και διαβροχή γραμμικών σωρών κομποστοποίησης

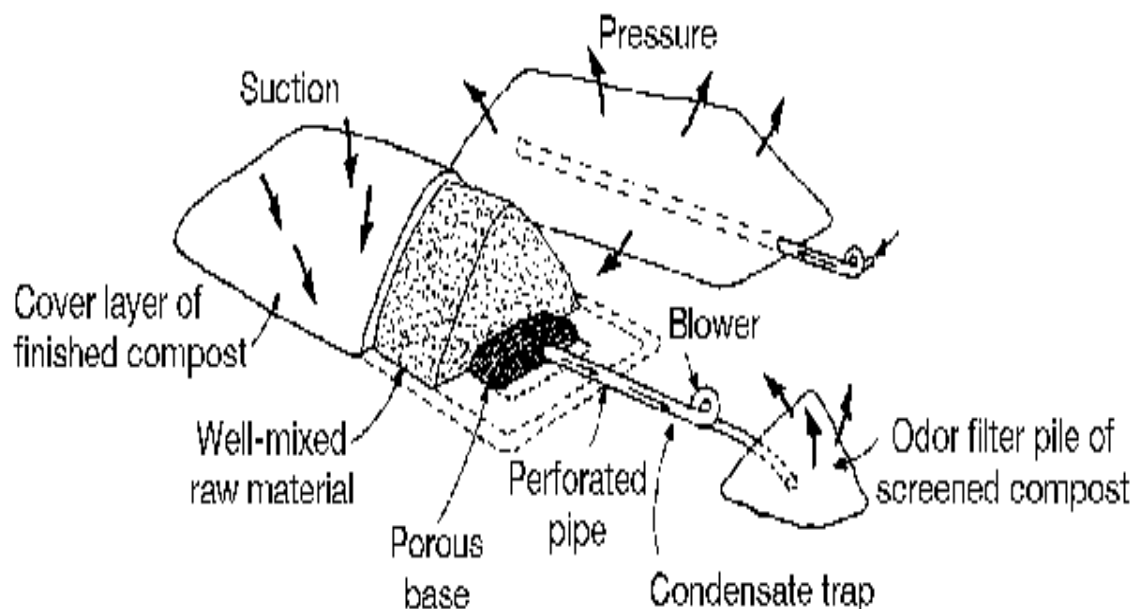
Κατά τη δημιουργία των γραμμικών σωρών πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη το είδος των οργανικών υλικών και το μέγεθος των σωρών. Εάν τα υλικά έχουν μεγάλη πυκνότητα ή ο σωρός είναι πολύ μεγάλος, στα εσωτερικά στρώματα μπορεί να δημιουργηθούν αναερόβιες συνθήκες και να απελευθερωθούν κατά τα το ανακάτεμα δυσάρεστες μυρωδιές. Όταν όμως τα υλικά έχουν μικρή πυκνότητα ή ο



σωρός είναι πολύ μικρός, παρατηρούνται απώλειες θερμότητας από το σωρό, ενώ δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν οι υψηλές θερμοκρασίες που θα θανάτωναν τους παθογόνους μικροοργανισμούς και τους σπόρους ζιζανίων. Το ύψος των σωρών μειώνεται ταχύτατα από την πρώτη κιόλας εβδομάδα της κομποστοποίησης, με αποτέλεσμα να συνηθίζεται η συνένωση δύο γειτονικών σωρών.

1.9.1.2 Γραμμικοί σωροί τεχνητού αερισμού (*Passively aerated windrows composting*)

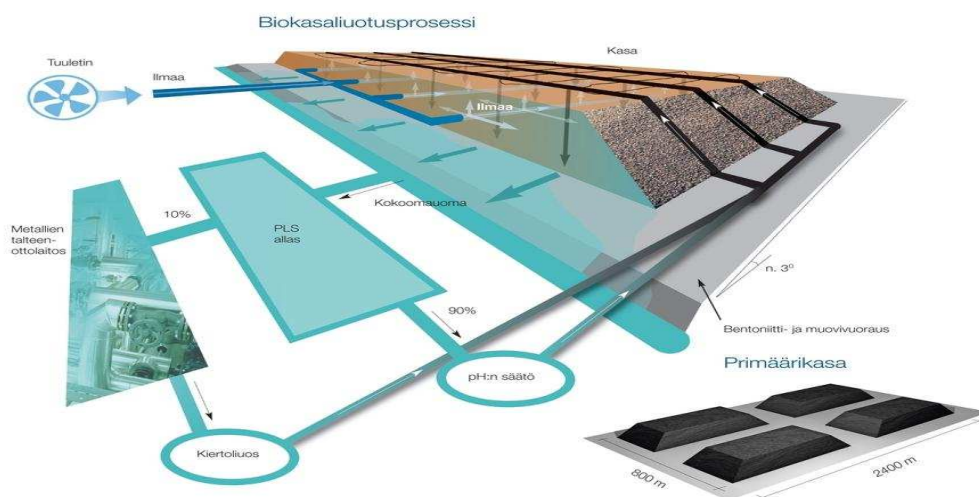
Το σύστημα αυτό ελαχιστοποιεί την ανάγκη για αναστροφή των γραμμικών σωρών, διότι ο αερισμός επιτυγχάνεται με διάτρητους αγωγούς (οπές με κάθετο προσανατολισμό) που υπάρχουν στη βάση τους [21].



Εικόνα 1.9.3: Αερισμός γραμμικού σωρού μέσω αναρρόφησης



Τα άκρα των αγωγών είναι ανοιχτά και από αυτά εισέρχεται αέρας ή συνδέονται με σύστημα αερισμού μέσω αναρρόφησης (Εικόνα 1.9.3) ή εμφύσησης (Εικόνα 1.9.4) [3]. Η υγρασία θα πρέπει να μετριέται συνεχώς, αφού ο κακός αερισμός είναι δυνατό να ξηράνει τα υλικά.



Εικόνα 1.9.4: Αερισμός γραμμικού σωρού μέσω εμφύσησης

Ο αερισμός μέσω εμφύσησης έχει το πλεονέκτημα να εξασφαλίζει ικανοποιητική θερμοκρασιακή κατανομή έως τα εξωτερικά στρώματα του σωρού. Έχει όμως το μειονέκτημα των αέριων εκπομπών στον περιβάλλοντα χώρο, οι οποίες στη θερμόφιλη κυρίως φάση, περιλαμβάνουν πτητικές ουσίες, αρκετές από τις οποίες μπορεί να έχουν δυσάρεστη οσμή. Κατά συνέπεια, πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση των συστημάτων αυτών κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, κατά τη χωροταξική τους τοποθέτηση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κατεύθυνση πνοής των ανέμων [3].

Τα μειονεκτήματα αυτά αντιμετωπίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό με την παραλλαγή του συστήματος αερισμού, όπου αντί για εμφύσηση έχουμε αναρρόφηση του αέρα. Ο αερισμός γίνεται με εξαναγκασμένη εισροή του αέρα από τον περιβάλλοντα χώρο στη μάζα του σωρού μέσω ενός συστήματος αναρρόφησης που έχει εγκατασταθεί στη βάση του. Τα οργανικά υλικά προϋποθέτουν καλή



αρχική ανάμειξη διότι δεν προβλέπονται γυρίσματα. Στη βάση των σωρών τοποθετείται σίτα και ακριβώς από πάνω τεμαχισμένα κλαδιά δένδρων για να διευκολύνεται η κυκλοφορία του αέρα και να μην κλείνουν οι οπές των αγωγών. Επιπλέον, οι σωροί καλύπτονται με διάφορα μονωτικά υλικά, όπως τεμαχισμένα κλαδιά, τύρφη ή ώριμο κόμποστ, για να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας. Οι γραμμικοί σωροί έχουν τις διαστάσεις του προηγούμενου συστήματος.

Στο τέλος της κομποστοποίησης όλο το υλικό ανακατεύεται με το υλικό που βρίσκεται στη βάση και κοσκινίζεται για να απομακρυνθούν τα ογκώδη υλικά. Ο μέσος απαιτούμενος χρόνος για την παραγωγή κόμποστ είναι οχτώ εβδομάδες [22].

1.9.2 *Εγκιβωτισμένοι σωροί (In – vessel composting)*

Σε αυτό το σύστημα κομποστοποίησης τα οργανικά υλικά τοποθετούνται σε μια δεξαμενή ή δοχείο, ανοιχτό ή κλειστό, με ή χωρίς σύστημα μηχανικής ανάμειξης. Το σύστημα in-vessel αναφέρεται επίσης ως aerated static pile composting, ενώ παραλλαγή του αποτελεί το σύστημα enclosed bag ή αλλιώς tunnel composting, όπου τα οργανικά υλικά βρίσκονται μέσα σε μεγάλους πλαστικούς σάκους.

1.9.2.1 *Εγκιβωτισμένοι σωροί σε δεξαμενές και σάκους (Aerated static pile and tunnel composting)*

Στην περίπτωση των τοιμεντένιων δεξαμενών και των μεγάλων πλαστικών σάκων, τα οργανικά υλικά υπόκεινται σε καλή αρχική ανάμειξη. Ο αερισμός επιτυγχάνεται με αγωγούς που βρίσκονται στη βάση του σωρού ή και περιμετρικά, στην περίπτωση της δεξαμενής. Εάν το σύστημα είναι κλειστό, αναπτύσσονται δυσάρεστες οσμές, λόγω έκλυσης αμμωνίας και άλλων πτητικών ουσιών. Τα αέρια



αυτά απομακρύνονται με αναρρόφηση από τους αγωγούς αερισμού και στη συνέχεια παγιδεύονται κατά την έξοδό τους από ειδικά φίλτρα ή από μια ποσότητα ώριμου κόμποστ.

Η δεξαμενή (Εικόνα 1.9.5) μπορεί να διαθέτει στο εσωτερικό της βραχίονες που φέρουν ατέρμονες κοχλίες για την μηχανική ανάμειξη των οργανικών υλικών ανά διαστήματα, καθώς και ένα σύστημα διαβροχής με νερό. Εάν η δεξαμενή διαθέτει σύστημα διαβροχής, θα πρέπει να έχουμε φροντίσει στη βάση της να υπάρχει σύστημα απομάκρυνσης των στραγγισμάτων.



Εικόνα 1.9.4: Κλειστές δεξαμενές κομποστοποίησης

Στην περίπτωση των πλαστικών σάκων, τα οργανικά υλικά τοποθετούνται με τη βοήθεια ενός εμβόλου ή ενός ατέρμονα κοχλία και δεν υπόκεινται σε ψεκάσμο με νερό.

Μετά από ένα διάστημα 4-8 εβδομάδων η οργανική μάζα απομακρύνεται από τη δεξαμενή ή το σάκο και τοποθετείται στον περιβάλλοντα χώρο για να ωριμάσει.



1.9.2.2 Εγκιβωτισμένοι σωροί σε κάδους οικιακής χρήσης (Home composting)

Ένας απλός και εύκολος τρόπος κομποστοποίησης είναι δυνατόν να εφαρμοστεί και στις οικίες, χρησιμοποιώντας ειδικούς κάδους που υπάρχουν στο εμπόριο ή κατασκευάζοντας έναν.

Οι κάδοι που διατίθενται στο εμπόριο είναι πλαστικοί με χωρητικότητα 300 - 600 L. Διακρίνονται σε κάδους κήπου που τοποθετούνται πάνω στο χώμα και στους περιστροφικούς κάδους που είναι δυνατόν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Στη βάση και περιμετρικά των κάδων κήπου (Εικόνα 1.9.7) βρίσκονται μικρά ανοίγματα που εξασφαλίζουν τον επαρκή αερισμό των οργανικών υλικών, ενώ στο πλάι και χαμηλά υπάρχει ένα πορτάκι από το οποίο απομακρύνεται το κόμποστ. Ο κάδος είναι δυνατόν να διαθέτει διάτρητη βάση. Στους κάδους αυτούς προστίθενται τεμαχισμένα τα υπολείμματα φρούτων και λαχανικών, φίλτρα καφέ, τσόφλια αυγών και χαρτοσακούλες, καθώς επίσης κλαδέματα και γρασίδι. Επειδή τα οικιακά οργανικά απορρίμματα είναι πολύ πλούσια σε άζωτο, ανά διαστήματα σκεπάζονται με πριονίδι, ενώ συνήθως σε εβδομαδιαία βάση αναδεύονται με ειδικά εργαλεία. Κατά τους θερμούς μήνες διαβρέχονται, για να διατηρείται η απαραίτητη για την σωστή πορεία της κομποστοποίησης υγρασία.



Εικόνα 1.9.7: Κάδος κομποστοποίησης υπολειμμάτων κήπου



Μετά από 4 έως 6 μήνες παραλαμβάνεται η πρώτη δόση κόμποστ από το πλαϊνό πορτάκι. Η υγρασία του κομπόστ είναι συνήθως υψηλή, αφού στη βάση του σωρού συγκεντρώνονται τα στραγγίσματα των οργανικών υλικών. Στη συνέχεια, αφήνεται για μία εβδομάδα σε μία άκρη του κήπου να ξεραθεί και να ωριμάσει.

Ο περιστροφικός τύπος κάδου (Εικόνα 1.9.8) δεν απαιτεί ανάμειξη με ειδικά εργαλεία, ούτε διαβροχή των υλικών με νερό. Χρειάζεται όμως να δημιουργηθούν στρώσεις με πριονίδι. Όταν γεμίσει, χρειάζεται περιστροφή ανά διαστήματα και χρόνο έξι ή περισσότερων μηνών για να αποδομηθούν τα υλικά και να ωριμάσει το κόμποστ. Ο τύπος αυτός μειονεκτεί του κάδου που τοποθετείται στον κήπο, γιατί σε αυτόν επικρατούν εύκολα αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες προσδίδουν τα γνωστά ανεπιθύμητα αποτελέσματα.



Εικόνα 1.9.8: Περιστροφικός κάδος κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση σε οικιακό επίπεδο είναι μια απλή μέθοδος αξιοποίησης των ζυμώσιμων οικιακών απορριμμάτων που όμως προϋποθέτει την εκπαίδευση των ενδιαφερόμενων στις βασικές αρχές της κομποστοποίησης και στους τρόπους επίλυσης ενδεχόμενων προβλημάτων (Πίνακας 1.9.1). Αποτελεί μια σημαντική μέθοδο μείωσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Τα οργανικά απορρίμματα αποτελούν το 40% με 60% κατά βάρος των σκουπιδιών της Ελλάδας. Από αυτά το 80% είναι δυνατόν να κομποστοποιηθεί. Με τον τρόπο αυτό, όχι μόνο



το κάθε νοικοκυριό μπορεί να διαχειριστεί το 30% με 50% του βάρους των σκουπιδιών του, αλλά συγχρόνως να αυξήσει το χρόνο ζωής των Χ.Υ.Τ.Α και να μειώσει το κόστος αποκομιδής και τελικής διάθεσης των απορριμμάτων έκαστου δήμου.

Πίνακας 1.9.1: Τρόποι επίλυσης ενδεχόμενων προβλημάτων

<i>Πρόβλημα</i>	<i>Πιθανή αιτία</i>	<i>Λύση</i>
Δυσάρεστες οσμές	Υπερβολική υγρασία Συμπίεση	Ανακατεύουμε τον σωρό προσθέτοντας ξερά υλικά (πριονίδι, ξερά χόρτα κλπ). Ανακατεύουμε τον σωρό ή μειώνουμε το μέγεθός του.
Μυρωδιά αμμωνίας	Πολλά πράσινα υλικά (άζωτο)	Προσθέτουμε ξερά υλικά
Χαμηλή θερμοκρασία σωρού	Πολύ μικρός σωρός Πολύ λίγη υγρασία Κακός αερισμός Κρύος καιρός	Μεγαλώνουμε τον σωρό προσθέτοντας υλικά. Καταβρέχουμε και ανακατεύουμε. Καλύπτουμε τον σωρό με χόρτα ή ένα πλαστικό.
Υψηλή θερμοκρασία σωρού	Πολύ μεγάλος σωρός Πολλά πράσινα υλικά (πλούσια σε άζωτο)	Μειώνουμε το μέγεθος του σωρού ή ανακατεύουμε πιο συχνά. Προσθέτουμε ξερά υλικά (πλούσια σε άνθρακα).
Τρωκτικά ή άλλα ζώα	Παρουσία υπολειμμάτων Κρέατος ή λίπη	Δεν ρίχνουμε υπολείμματα φαγητών. Καλύπτουμε τον σωρό με πριονίδι ή χώμα. Κλείνουμε καλά το καπάκι του κάδου



1.9.2.3 Εγκιβωτισμένοι σωροί σε κάδους με γαιοσκώληκες (*Vermicomposting*)

Για τα νοικοκυριά που δεν διαθέτουν κήπο, ενδείκνυται η χρήση κάδων με γαιοσκώληκες *Eisenia foetida* ή *Lumbricus rubellus* [23]. Οι κάδοι αυτοί συνήθως αποτελούνται από δοκούς στήριξης, έναν συλλέκτη στραγγισμάτων με βρυσάκι, τρία επίπεδα επεξεργασίας και το καπάκι (Εικόνα 1.9.10).

Στο πρώτο επίπεδο επεξεργασίας προστίθεται μία ποσότητα χώματος με γαιοσκώληκες και στη συνέχεια τα υπολείμματα των φρούτων και των λαχανικών. Οι γαιοσκώληκες μπορούν να καταναλώσουν καθημερινά ποσότητα ίση με το βάρος τους. Οι απεκκρίσεις τους είναι πολύ πλούσιες σε άζωτο, διαθέσιμο φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο και μαγνήσιο και ενισχύουν την ανάπτυξη και τη δράση των βακτηρίων και των ακτινομυκήτων. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης και αναπαραγωγής των γαιοσκωλήκων είναι 14-27 °C. Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 7 °C, οι γαιοσκώληκες σταματούν να αναπαράγονται, αλλά συνεχίζουν να παράγουν μικρότερη ποσότητα χούμου. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 40 °C θανατώνονται [6]. Για να προληφθεί η κατάσταση αυτή, ο σωρός διαβρέχεται με νερό κατά τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού δημιουργώντας ένα δροσερό περιβάλλον.



Εικόνα 1.9.10: Κάδος με χρήση γαιοσκωλήκων



Οι γαιοσκώληκες αρέσκονται στα φρέσκα οργανικά υλικά και γι' αυτό συναντώνται ως επί το πλείστον στα ανώτερα επίπεδα επεξεργασίας. Όμως σταδιακά γεμίζουν και τα τρία επίπεδα επεξεργασίας. Το κατώτερο επίπεδο που περιέχει τη χωνεμένη οργανική ουσία απομακρύνεται αμέσως μόλις γεμίσει το ανώτερο επίπεδο επεξεργασίας. Η χωνεμένη οργανική ουσία απλώνεται στον κήπο για λίγες ημέρες έως ότου στεγνώσει. Έτσι, παραλαμβάνεται ένα άριστης ποιότητας οργανικό λίπασμα.

1.10 Γενικά χαρακτηριστικά ελαιοκλαδεμάτων

Εδώ και χιλιετίες η ελιά το κατ' εξοχήν δέντρο του μεσογειακού χώρου, συνυπάρχει με τους λαούς της Μεσογείου, έχοντας συνδεθεί με την καθημερινότητα και τις συνήθειές τους και ξεπεράσει τα όρια του τοπίου, αφήνοντας τα ίχνη της σε όλους τους πολιτισμούς που αναπτύχθηκαν στα παράλια της. Η ελληνική παράδοση θεωρεί την ελιά ως θείο δώρο. Η μυθολογία αναφέρει ότι η ελιά φυτεύτηκε αρχικά στην Αθήνα από την θεά Αθηνά. Τα ελαιόδεντρα εκτιμούνταν στην αρχαιότητα ως πολύτιμα, προστατευόμενα από το Δία και την Αθηνά, ως σύμβολο ειρήνης, αλλά και ως διάκριση τιμής, όπως αυτά βρίσκονται στα γραπτά του Σοφοκλή, του Ηροδότου, του Πλάτωνα, του Αριστοτέλη και άλλων. Οποσδήποτε οι Έλληνες είναι ο πρώτος λαός που καλλιέργησε την ελιά στον ευρωπαϊκό μεσογειακό χώρο. Η ελιά προτιμά κλίματα εύκρατα χωρίς ακρότητες θερμοκρασίας (μέση ετήσια θερμοκρασία 16°C) και υγρασίας, με αποτέλεσμα να είναι ευρύτατα διαδεδομένη στη μεσογειακή ζώνη (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Τουρκία, Αλγερία, κ.λπ.). Είναι δέντρο αειθαλές, με φύλλα αντίθετα, λογχοειδή, δερματώδη, σκουροπράσινα πάνω, αργυρόχρωμα κάτω.

Ως ελαιοκλάδεμα χαρακτηρίζεται το προϊόν που προκύπτει από τη δενδροκομική διαδικασία, κατά την οποία αφαιρούνται τμήματα του δέντρου για την επίτευξη ισχυρού σκελετού σε κατάλληλο σχήμα και τη διατήρηση της



ισορροπίας μεταξύ βλάστησης και καρποφορίας. Κύριος στόχος του σύγχρονου κλαδέματος είναι η κατά το δυνατόν πρωιμότερη είσοδος των δέντρων στην καρποφορία (μικρή περίοδος νεανικότητας), έστω και εάν αυτό είναι σε βάρος της μακροβιότητας του δέντρου.

Η στερεά αυτή ύλη που προκύπτει από την κλάδευση του δέντρου της ελιάς καίγεται για να επιτευχθεί ο απόλυτος καθαρισμός του ελαιώνα από τα υπολείμματα της κλάδευσης κατά την διάρκεια της ελαιοσυλλογής. Η ελαιοσυλλογή πραγματοποιείται το Χειμώνα (από Νοέμβριο έως Φεβρουάριο), ενώ η καύση των κλαδεμάτων λαμβάνει χώρα την Άνοιξη.



Εικόνα 1.10.1: Αριστερά: ελαιόδεντρο, πάνω δεξιά: ελαιόκαρπος, κάτω δεξιά: ελαιοκλαδέματα

1.10.1 Παραγόμενες ποσότητες και χαρακτηριστικά ελαιοκλαδεμάτων

Παγκοσμίως έχει υπολογιστεί ότι ανά έτος, παράγονται μέσω της φωτοσύνθεσης περίπου 220 δισεκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας στον πλανήτη, με



ενεργειακό ισοδύναμο που αντιστοιχεί στο δεκαπλάσιο της σημερινής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 150.000.000 ελαιόδεντρα, λειτουργούν 2.800 ελαιοτριβεία και 500.000 οικογένειες ζουν από την καλλιέργεια της ελιάς. Η Ελλάδα είναι η τρίτη ελαιοπαραγωγός χώρα του κόσμου, μετά την πρώτη Ιταλία και πολύ κοντά στην δεύτερη Ισπανία. Οι ελαιώνες στην Ελλάδα καταλαμβάνουν περίπου το 15% της συνολικής καλλιεργούμενης γης (6 εκατ. στρέμματα), η οποία ανέρχεται σε 40 εκατ. στρέμματα. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ο αριθμός των συνολικά παραγόμενων ελαιοκλαδεμάτων στην χώρα μας ανέρχεται στους 3.000.000 τόνους ανά έτος.

Με βάση το πλήθος των ιδιοτήτων του φύλλου και του ξύλου, τα ελαιοκλαδέματα είναι κατάλληλα, μετά από σχετική επεξεργασία, για πολλές εφαρμογές και αποτελούν μία αξιόλογη φυσική πρώτη ύλη, που μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ενεργειακά αποδόσιμη.

Πίνακας 1.10.1 : Χημική σύσταση φύλλων και κλαδιών ελιάς (% ξηρής ουσίας)

	<i>Νωπά Φύλλα</i>	<i>Κλαδιά</i>
Ξηρή Ουσία	57,9	68,6
Ολικές Αζωτούχες Ουσίες	13,1	8,9
Τέφρα	6,1	8,5
Λιπαρές Ουσίες	7,3	6,1
Ca	1,2	-
P	0,1	-
Ινώδεις Ουσίες	17,7	28,9
Ελεύθερες Αζώτου Εκχυλισμένες Ουσίες	55,8	47,6

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κόστος και η θερμογόνος δύναμη των κλαδεμάτων και του ξύλου του ελαιόδεντρου, καθώς και του πυρηνόξυλου, ενός από τα σημαντικότερα παραπροϊόντα της ελιάς.



Πίνακας 1.10.2 : Κόστος και θερμογόνος δύναμη προϊόντων και παραπροϊόντων της ελιάς

Προϊόν	Θερμογόνος Δύναμη	Κόστος
Ελαιοκλάδεμα	3.200 kcal/kg	-
Συμπαγές ξύλο Ελιάς	3.500 – 4.000 kcal/kg	0,08 – 0,12 €/kg
Πυρηνόξυλο	3.500 – 4.000 kcal/kg	0,05 €/kg

1.10.2 Προηγούμενες ερευνητικές μελέτες

Η τεράστια ποσότητα των υπολειμμάτων ελαιουργίας και κυρίως των ελαιοκλαδεμάτων στη χώρα μας, έχει τα τελευταία χρόνια ενθαρρύνει τόσο σε πειραματικό όσο και σε πιλοτικό επίπεδο, την παραγωγή κομπόστ από τα υπολείμματα αυτά. Αρκετοί έχουν προσπαθήσει να αξιολογήσουν την ποιότητα του κομπόστ, το οποίο παράγεται από τα διάφορα υπολείμματα ελαιουργίας, όπως το πυρηνόξυλο, τα ελαιόφυλλα αλλά και τα ελαιοκλαδέματα.

Επιπλέον, στις περιοχές και χώρες των οποίων η οικονομία κατά βάση στηρίζεται στη γεωργία και κτηνοτροφία, η προσπάθεια για τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού λιπάσματος και εδαφοβελτιωτικού από τα υπολείμματα των καλλιεργειών τους, αποκτά ένα σημαντικό ενδιαφέρον, με αποτέλεσμα στις ελαιοπαραγωγικές χώρες Ελλάδα, Ιταλία και Ισπανία να έχουν γίνει πολλές αξιολογικές ερευνητικές προσπάθειες σε σχέση με τη σκοπιμότητα και σημαντικότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Στο ΤΕΙ Κρήτης η ερευνητική ομάδα του Δρ. Θ. Μανιού έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα με την αξιοποίηση των ελαιοκλαδεμάτων μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Έχει μελετήσει την συγκομποστοποίηση με άλλα οργανικά υπολείμματα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, όπως τα υπολείμματα οινοποιίας (στέμφυλα) και τα υπολείμματα των χοιροστασιών. Σε πειραματικό επίπεδο έχει αξιολογηθεί η συμπεριφορά των υλικών αυτών κατά τη διάρκεια της αποδόμησής



τους, η συμβατότητά τους σε μίγματα με άλλα υλικά, αλλά και η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Κατά την ποιοτική αξιολόγηση του τελικού κομπόστ έχουν μετρηθεί οι φυσικοχημικές παράμετροι (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών, συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, κ.λπ.) και έχουν διενεργηθεί βιολογικές αναλύσεις (παθογόνοι μικροοργανισμοί). Η έρευνά τους έχει συμπεριλάβει επίσης αγρονομική αξιολόγηση, κατά την οποία τα τελικά προϊόντα της κομποστοποίησης χρησιμοποιήθηκαν είτε ως εδαφολογικό είτε ως συστατικό υποστρώματος στην υπαίθρια καλλιέργεια ή την καλλιέργεια εντός θερμοκηπίων), κυρίως λαχανικών (ντομάτες, αγγούρια, κ.λπ.). Τα πειράματα της ομάδας απέδειξαν ότι όλα τα υλικά κομποστοποιήθηκαν επιτυχώς, ειδικά όταν αναμιχθηκαν με άλλα. Τέλος απεδείχθη ότι όταν οποιοδήποτε από το παραχθέντα κομπόστ χρησιμοποιηθεί σε αναλογία 30% κατ' όγκο (v/v), αυξάνει την απόδοση των καλλιεργειών, ενώ σε μεγαλύτερους όγκους παρουσιάζει φυτοτοξική συμπεριφορά εμποδίζοντας την ανάπτυξη των ριζών και των βλαστών [24].

Σημαντική έρευνα στον τομέα της κομποστοποίησης έχει πραγματοποιήσει η ερευνητική ομάδα του Verdonck O.F από το Πανεπιστήμιο της Ghent, του Βελγίου σε συνεργασία με την ομάδα του Δρ. Μανιού από το Ίδρυμα αμπελουργίας, φυτικών συγκομιδών και ανθοκομίας, της Κρήτης [25]. Η έρευνα αφορούσε τη διερεύνηση της μεταβολής της φυτοτοξικότητας των ελαιόφυλλων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε σωρούς και τη συσχέτισή της με τη συγκέντρωση οργανικών οξέων στη μάζα των υλικών. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν τέσσερις σωροί, στους οποίους ως πηγή αζώτου χρησιμοποιήθηκε η ουρία ή το νιτρικό αμμώνιο. Η φυτοτοξικότητα εκτιμήθηκε από την ανασταλτική επίδραση των δειγμάτων κομπόστ στη βλάστηση των σπόρων του μαρουλιού και συγκρίθηκε με τη φυτοτοξικότητα των καθαρών οργανικών οξέων και του αποστειρωμένου νερού. Διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση των οργανικών οξέων αυξήθηκε για περίπου 2 εβδομάδες κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης και έπειτα μειώθηκε σταδιακά. Η φυτοτοξικότητα του τελικού προϊόντος ήταν αντιστρόφως ανάλογη με τη συγκέντρωση των οργανικών οξέων.



Στο Πανεπιστήμιο της Μπολόνια της Ιταλίας η ερευνητική ομάδα του C. Ciavatta [26], μελέτησε τη σταθεροποίηση της οργανικής ουσίας σε δύο στατικούς σωρούς κομπόστ που προήλθαν από δημοτικά στερεά υπολείμματα (κλαδέματα). Η μελέτη αυτή περιλάμβανε την κομποστοποίηση των υπολειμμάτων για διάστημα 55 ημερών κατά τη διάρκεια τόσο του χειμώνα όσο και του καλοκαιριού. Ο βαθμός χουμοποίησης ήταν σταθερά αυξημένος στο κομπόστ που μελετήθηκε κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ ο μετασχηματισμός ήταν λιγότερο εμφανής κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Οι αναλύσεις των οργανικών εκχυλισμάτων από τους σωρούς και των δύο περιόδων έδειξαν μια καθορισμένη εξέλιξη της διαδικασίας χουμοποίησης, όχι μόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα αλλά και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Στην Ισπανία η ερευνητική ομάδα του A. Garcia-Gomez, έχει επίσης μελετήσει την κομποστοποίηση των υπολειμμάτων ελαιουργίας, αλλά το μεγαλύτερο ενδιαφέρον της εστιάστηκε στην αξιοποίηση του στερεού υπολείμματος που προκύπτει από την επεξεργασία της ελιάς. Σε έρευνα που πραγματοποίησαν για τη συγκομποστοποίηση του υπολείμματος αυτού με φύλλα ελιάς σε ανοιχτά σειράδια, μελετήθηκε ο ρυθμός αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης αλλά και η σχέση της με το CO₂ που απελευθερώνεται στη διάρκεια 10 ημερών μελέτης ενός δείγματος και τους δείκτες της βιολογικής δραστηριότητας. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν δύο μίγματα: ένα με 65% στερεού υπολείμματος ελαιοτριβείου και 35% φύλλα ελιάς και ένα δεύτερο με 74% του ιδίου υπολείμματος με 25% φύλλων ελιάς και ουρίας 1%. Τα αποτελέσματα για την απελευθέρωση CO₂ και στα δύο μίγματα υλικών ήταν ανάλογα με τη βιοδιάσπαση. Έτσι, αποδείχθη ότι και οι δύο αυτές παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση του βαθμού βιολογικής σταθερότητας των τελικών προϊόντων [27].

Στην Ιταλία η ερευνητική ομάδα του Claudio Baffi [28], μελέτησε την κομποστοποίηση των ελαιοκλαδεμάτων με άλλα γεωργικά αλλά κτηνοτροφικά υπολείμματα. Η σταθερότητα των 15 προϊόντων που παρήχθησαν στη μελέτη αυτή αξιολογήθηκαν με προσδιορισμό της α) δυναμικής διαπνοής, β) χημικής



χουμοποίησης και γ) θερμοσταθερότητας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η παράλληλη χρήση βιολογικών, χημικών και θερμοαναλυτικών μεθόδων μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στο διαχωρισμό των σταθεροποιημένων τελικών υλικών από τα μη σταθεροποιημένα, και παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες υγειονομικής φύσης για να αναπτυχθεί μία ορθή γεωργική πρακτική.

Στο Ισραήλ η ερευνητική ομάδα του Sharon Zmora [29], μέτρησε τις χημικές παραμέτρους τριών κομπόστ που προέκυψαν από τρεις διαφορετικούς τύπους υλικών: από δημοτικά στερεά απόβλητα (κλαδέματα), υπολείμματα βουστασιών και βιοστερεών. Η λιπασματοποίηση των υλικών αυτών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διαφορετικών διαδικασιών και συστημάτων κομποστοποίησης. Οι χημικές παράμετροι του κομπόστ συσχετίστηκαν με την ανάπτυξη σπόρων αγγουριού που σπάρθηκαν σε δείγματα κομπόστ από διαφορετικά στάδια της διαδικασίας. Στόχος ήταν ο προσδιορισμός της σημασίας του διαλυμένου οργανικού άνθρακα, στην εξέλιξη και πορεία της κομποστοποίησης των υλικών αυτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέτρηση του διαλυμένου οργανικού άνθρακα είναι μία απλή μέθοδος ελέγχου της ωριμότητας των τελικών προϊόντων της κομποστοποίησης.

Στο Πανεπιστήμιο της Huelva της Ισπανίας, η ερευνητική ομάδα του Agustín García Barneto [30] πραγματοποίησε μελέτη σύγκρισης της θερμικής αποικοδόμησης της βιομάζας ενός δέντρου (*Leucoccephala leucaena*) με δύο διαφορετικών επιπέδων ωρίμανσης κομπόστ, μέσω της μη ισοθερμικής θερμοβαρυσμετρικής ανάλυσης (TGA). Χρησιμοποίησαν κινητικές εξισώσεις για να περιγράψουν την αποδόμηση συστατικών όπως η σελουλόζη, η ημισελουλόζη και η λιγνίνη, υπολογίζοντας ένα σύνολο κινητικών παραμέτρων που την επηρεάζουν. Μέσω της διαδικασίας αυτής έγινε εφικτός ο προσδιορισμός της σύνθεσης των τριών δειγμάτων.

1.10.3 Σχεδιασμός και στόχοι της διατριβής

Στην παρούσα μελέτη κομποστοποίησης χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη τα ελαιοκλαδέματα που συγκομποστοποιήθηκαν με δύο οργανικά υλικά. Θα πρέπει να



σημειωθεί ότι τα υλικά αυτά δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς στον τομέα της κομποστοποίησης, αποτελούν όμως σημαντικά γεωργικά- φυσικά υπολείμματα και η μελέτη τους είναι ιδιαίτερα σημαντική για το περιβάλλον. Τα υλικά που μελετήθηκαν είναι:

- το κομμένο γρασίδι και
- τα φύκια.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της μελέτης αυτής, αποτελεί η παρακολούθηση και καταγραφή των σημαντικότερων φυσικοχημικών παραμέτρων (T, O₂, RH, K, Na, P, N, C:N) που επηρεάζουν την κομποστοποίηση κατά την διάρκεια δύο διαφορετικών χρονικών περιόδων. Στα πειράματα που υλοποιήθηκαν έγινε δυνατή η μελέτη και η σύγκριση του κομποστ που παρήχθη από ελαιοκλαδέματα κατά τη χειμερινή περίοδο με κομποστ από το ίδιο υλικό που παρήχθη κατά τη θερινή περίοδο. Στο πλαίσιο αυτό, καταγράφηκαν όλες οι τιμές των σημαντικότερων παραμέτρων και στη συνέχεια συγκρίθηκαν για να γίνουν διακριτές κάποιες από τις διαφοροποιήσεις στην πορεία της κομποστοποίησης μεταξύ των δύο περιόδων.

Επίσης, δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα για να είναι εμφανής τόσο η επίδραση του κάθε υλικού στην κομποστοποίηση, όσο και η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών σε αυτήν, λόγω των δύο διαφορετικών περιόδων πειραματισμού.

Ένα επιπλέον στοιχείο αφορά τη μελέτη της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας που τα υλικά ανέπτυξαν μέσα στους κάδους και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (T-Tenv). Με τον τρόπο αυτό αξιολογήθηκε ο βαθμός κατά τον οποίο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει τη θερμοκρασία των υλικών εντός των κάδων και συνεπώς την όλη πορεία της κομποστοποίησης. Δημιουργήθηκαν τα σχετικά διαγράμματα και προσδιορίστηκαν τα υλικά των οποίων η κομποστοποίηση εξελίσσεται χωρίς ιδιαίτερες παρεμβολές από άλλους εξωτερικούς παράγοντες.



Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν υλικά πλούσια τόσο σε άνθρακα (κλαδέματα) όσο και σε άζωτο (γρασίδι). Για τον λόγο αυτό έγινε προσπάθεια ώστε να προσδιοριστεί το κατά πόσο φιλική προς το περιβάλλον είναι η κομποστοποίηση ως διαδικασία αξιοποίησης της βιομάζας. Για μεγάλο χρονικό διάστημα (200 περίπου ημέρες) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις C και N και στα τέσσερα δείγματα, και έγινε προσδιορισμός των ισοζυγίων C και N, ώστε να αποδειχθεί η επίδρασή της στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η τεχνοοικονομική πρόταση η οποία είχε ως αντικείμενό της την κατασκευή μονάδας αξιοποίησης των ελαιοκλαδεμάτων για την παραγωγή τριών τελικών προϊόντων (φύλλων ελιάς, κομπόστ και πελλετών), αποτελεί ένα επιπλέον βήμα σε σύγκριση με άλλες παρόμοιες έρευνες. στόχος της ήταν η με τεχνοοικονομικά κριτήρια εξέταση και μελέτη βιωσιμότητας και σκοπιμότητάς ανάπτυξης μιας τέτοιας μονάδας σε βιομηχανικό πλέον επίπεδο.

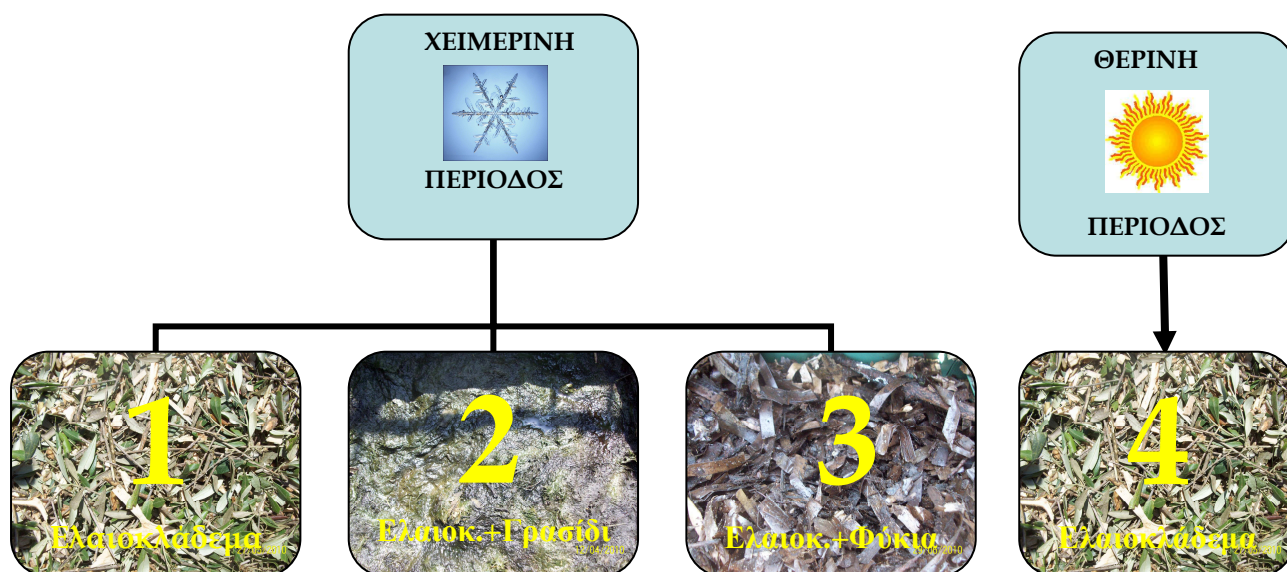


Κεφάλαιο 2

Πειραματικό Μέρος

2.1 Σχεδιασμός πειραματικού μέρους

Το συγκεκριμένο πείραμα αναφέρεται στη συγκομποστοποίηση ελαιοκλαδεμάτων σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους με δύο άλλα οργανικά υλικά. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν περιελάμβαναν τη μελέτη της μετατροπής των υλικών αυτών σε κομπόστ, μέσα σε τέσσερις πειραματικούς πλαστικούς κάδους κομποστοποίησης. Από τους κάδους αυτούς οι τρεις μελετήθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ ο ένας κατά τη θερινή περίοδο. Ο πρώτος κάδος περιείχε μόνο ελαιοκλάδεμα, ο δεύτερος ελαιοκλάδεμα μαζί με γρασιδί και ο τρίτος ελαιοκλάδεμα με φύκια. Ο τέταρτος κάδος πληρώθηκε μόνο με ελαιοκλάδεμα, ώστε να γίνει σύγκριση με τον αντίστοιχο της χειμερινής περιόδου (κάδος 1). Ο σχεδιασμός των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1.1: Σχηματική αναπαράσταση πειράματος χειμερινής & θερινής περιόδου



Στους τέσσερις κάδους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των λειτουργικών παραμέτρων (θερμοκρασίας, οξυγόνου, υγρασίας), ενώ παράλληλα έγιναν και χημικές αναλύσεις, ώστε να υπάρξουν στοιχεία αξιολόγησης μεταξύ τους.

Βασικός στόχος των πειραμάτων στους τρεις πρώτους κάδους ήταν να μελετηθεί η επίδραση των διαφορετικών υλικών στην εξέλιξη της κομποστοποίησης, αφού οι κάδοι περιείχαν διαφορετικά μίγματα οργανικών υπολειμμάτων. Σε κάθε κάδο μετρήθηκε η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και η υγρασία. Μέσω των μετρήσεων αυτών έγινε δυνατός ο εντοπισμός ποικίλων βασικών διαφοροποιήσεων που αφορούσαν την εξέλιξη των παραπάνω παραμέτρων, όσο και τη γενικότερη πορεία της κομποστοποίησης. Στον τέταρτο κάδο έγιναν οι ίδιες ακριβώς μετρήσεις. Ο κάδος αυτός, ο οποίος γεμίστηκε μόνο με ελαιοκλάδεμα, συγκρίθηκε με τον αντίστοιχο της χειμερινής περιόδου. Στην περίπτωση αυτή σκοπός του πειράματος ήταν να συγκριθεί η επίδραση των καιρικών συνθηκών και κυρίως της θερμοκρασίας στην πορεία της κομποστοποίησης, αφού οι δύο αυτοί κάδοι (κάδος 1 και κάδος 4), περιείχαν το ίδιο ακριβώς υλικό (μόνο ελαιοκλάδεμα).

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.1 για να προσδιοριστεί η ποιότητα των τεσσάρων παραγόμενων κομπόστ. Ένας επιπλέον στόχος των αναλύσεων αυτών ήταν ο προσδιορισμός των υλικών που δίνουν καλύτερης ποιότητας κομπόστ καθώς και την αξιολόγηση των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά την κομποστοποίηση

Μετά το τέλος των πειραματικών μετρήσεων έγιναν πειράματα φυτοτοξικότητας των τεσσάρων κομπόστ. Αυτό πραγματοποιήθηκε με φύτευση σε κάθε ένα από τα τέσσερα κομπόστ, σπόρων κάρδαμου. Το ποσοστό βλαστικότητας αλλά και το χρώμα των φύλλων αποτέλεσαν τους δείκτες ωριμότητας και σταθερότητας των τεσσάρων κομπόστ.



Πίνακας 2.1.1: Παράμετροι που μετρήθηκαν

<i>Παράμετρος</i>	<i>Χώρος Μέτρησης</i>	<i>Μέθοδος Μέτρησης</i>
<i>Θερμοκρασία</i>	Επιτόπου	Θερμόμετρο
<i>Οξυγόνο</i>	Επιτόπου	Οξυγονόμετρο
<i>Υγρασία</i>	Επιτόπου	Υγρασιόμετρο
<i>pH</i>	Εργαστήριο	Πεχάμετρο
<i>Ολικό Άζωτο (TKN)</i>	Εργαστήριο	Χώνευση - Απόσταξη
<i>Ολικός Φώσφορος</i>	Εργαστήριο	Χώνευση - Φωτομετρική
<i>Οργανική Ουσία</i>	Εργαστήριο	Καύση στους 550°C
<i>Ολικός Άνθρακας</i>	Εργαστήριο	Ποσοστό της οργ. ουσ.
<i>Αναλογία C : N</i>	Εργαστήριο	-
<i>Respiration Activity</i>	Εργαστήριο	Ρεσπιρομετρικές φιάλες
<i>Ανταλλάξιμο Κ</i>	Εργαστήριο	Φλωγοφωτόμετρο
<i>Ανταλλάξιμο Na</i>	Εργαστήριο	Φλωγοφωτόμετρο

2.2 Προετοιμασία πειράματος

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων της παρούσας διατριβής μελετήθηκε η εξέλιξη της θερμοκρασίας, του αερισμού και της υγρασίας στους τέσσερις πλαστικούς κάδους κομποστοποίησης. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου πληρώθηκαν οι τρεις κάδοι χωρητικότητας 400 L. Το περιεχόμενο του πρώτου κάδου ήταν θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα, του δεύτερου θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα αναμεμειγμένα με γρασίδι, ενώ του τρίτου θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα και φύκια. Κατά την 95^η ημέρα της κομποστοποίησης του χειμερινού πειράματος, στην πειραματική διαδικασία προστέθηκε ένας ακόμη κάδος ίδιου τύπου και χωρητικότητας, ο οποίος πληρώθηκε με θρυμματισμένα



ελαιοκλαδέματα, με στόχο την σύγκριση τόσο της εξέλιξης όσο και της πορείας της κομποστοποίησης μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου. Η μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του οξυγόνου έγιναν παράλληλα από την ίδια συσκευή, EMS 6/3 Series Data Logger (Εικόνα 2.1.2).



Εικόνα 2.2.1: Κάδοι κομποστοποίησης στην αυλή του Πανεπιστημιακού κτηρίου



Εικόνα 2.2.2: Συσκευή EMS 6/3 Series Data Logger



Η συσκευή αυτή διαθέτει τον αισθητήρα ΟΤΗ 1 (Oxygen/Temperature/Humidity Sensor), ο οποίος όταν είναι βυθισμένος στη μάζα του κομποστ έχει τη δυνατότητα να καταγράφει τη μέση τιμή των τριών ενδείξεων, σε οποιοδήποτε βάθος του κομποστ. Αρχικά το έδαφος στη διάτρητη βάση των κάδων σκάφτηκε, για να γίνει αφράτο και να παρέχει τη δυνατότητα εφοδιασμού των κάδων με μικροοργανισμούς από αυτό. Πάνω από το σκαμμένο έδαφος προστέθηκε παλιό, ώριμο κομποστ ώστε το νέο προς κομποστοποίηση υλικό να εμβολιαστεί με ήδη υπάρχοντες μικρο και μακρο οργανισμούς. Στις βάσεις των κάδων τοποθετήθηκαν μικρά κλαδάκια ελιάς, τα οποία επιτρέπουν τον καλό αερισμό στα χαμηλά στρώματα του κομποστ και στη συνέχεια σε κάθε κάδο προστέθηκαν τα αντίστοιχα για το γέμισμά του οργανικά υλικά.

Για το γέμισμα του πρώτου κάδου η ποσότητα ελαιοκλαδεμάτων θρυμματίστηκε πριν προστεθεί στον κάδο, προκειμένου η αποικοδόμηση του υλικού από τους μικροοργανισμούς της κομποστοποίησης να είναι ευκολότερη και ταχύτερη. Στον ίδιο κάδο προστέθηκε ποσότητα κοπριάς πουλερικών και ποσότητα ώριμου κομποστ, ως ενεργοποιητές, για την επιτάχυνση της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Τέλος, ο κάδος συμπληρώθηκε με θρυμματισμένο ελαιοκλάδεμα έως ότου γεμίσει.



Εικόνα 2.2.3 : Ελαιοκλαδέματα και γρασίδι προς κομποστοποίηση



Η διαδικασία πλήρωσης των άλλων δύο κάδων ήταν ίδια με εκείνη του πρώτου, με μόνη διαφορά το ότι στο δεύτερο κάδο τη μισή περίπου ποσότητα από τα οργανικά υλικά αποτέλεσε το γρασίδι, ενώ στον τρίτο τα φύκια. Ύστερα από 43 ημέρες ακολούθησε η ίδια διαδικασία, αφού ο όγκος των οργανικών είχε μειωθεί στα 2/3 (Πίνακας 2.2.1). Από τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα ελαιοκλαδέματα είχαν προέλευση από κτήμα γειτονικό στο πανεπιστημιακό κτήριο, το γρασίδι από τον κήπο του ίδιου κτηρίου, ενώ τα φύκια από ακτή του νομού Αιτωλοακαρνανίας.



*Εικόνα 2.2.4:
Διαδικασία τεμαχισμού των
ελαικλαδεμάτων*



*Εικόνα 2.2.5:
Ζύγισμα των προς
κομποστοποίηση υλικών*



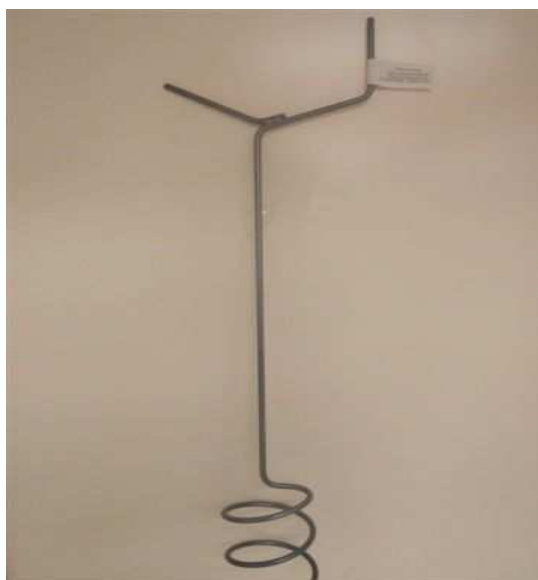
Πίνακας 2.2.1: Είδη και ποσότητα οργανικών απορριμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ανά κάδο

Οργανικά Υλικά	Ποσότητα σε kg
Κάδος 1 - Ημέρα 1	
Ελαιοκλάδεμα	41,700
Ώριμο κομπόστ	6,200
Κοπριά πουλερικών	2,460
Κάδος 1 - Ημέρα 2	
Ελαιοκλάδεμα	18,700
Κάδος 2 - Ημέρα 1	
Ελαιοκλάδεμα	45,200
Γρασίδι	60,100
Κομπόστ	6,200
Κοπριά πουλερικών	2,460
Κάδος 2 - Ημέρα 2	
Ελαιοκλάδεμα	15,600
Γρασίδι	20,100
Κάδος 3 - Ημέρα 1	
Ελαιοκλάδεμα	41,900
Φύκια	40,300
Κομπόστ	6,200
Κοπριά πουλερικών	2,460
Κάδος 3 - Ημέρα 2	
Ελαιοκλάδεμα	14,650
Φύκια	5,600



Κάδος 4 - Ημέρα 1	
Ελαιοκλάδεμα	65,400
Κομπόστ	6,200
Κοπριά πουλερικών	2,460
Κάδος 4 - Ημέρα 2	
Ελαιοκλάδεμα	20,100

Οι τέσσερις κάδοι τοποθετήθηκαν σε σημείο της αυλής του πανεπιστημιακού κτηρίου, το οποίο δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία από τις 10:00 έως και τις 19:00. Θεωρώντας ως ημέρα έναρξης την ημέρα πλήρωσης των κάδων, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, υγρασίας και οξυγόνου ξεκίνησαν αμέσως, συνεχίστηκαν τη 2^η ημέρα και μετά επαναλήφθηκαν κάθε 5 περίπου ημέρες. Αμέσως μετά τις μετρήσεις που γίνονταν τις πρωινές ώρες, πριν η θερμοκρασία των κάδων επηρεαστεί από τη θερμοκρασία του μεσημεριού, ακολουθούσε η διαβροχή των κάδων και ανάδευση της μάζας των υλικών με ειδικό εργαλείο (Εικόνα 2.2.6).



Εικόνα 2.2.6: Εργαλείο ανάδευσης του κομπόστ



Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης στους κάδους έγινε από τα βακτήρια, τους μύκητες αλλά και τους ακτινομύκητες, οι οποίοι αναπτύχθηκαν σε αυτήν. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στους κάδους δεν προστέθηκαν γαιοσκώληκες. Όμως γαιοσκώληκες παρατηρήθηκαν, πιθανότατα επειδή πέρασαν από τη διάτρητη βάση των κάδων στην οργανική μάζα, ύστερα από τη θερμοφιλή φάση της κομποστοποίησης.

2.3 Αναλυτική περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για τη σωστή δημιουργία ενός σωρού ή το γέμισμα ενός κάδου κομποστοποίησης αλλά και την εύρυθμη λειτουργία και αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αυτής, απαιτείται να ακολουθείται ένα βασικό πρωτόκολλο, μέσω του οποίου θα επιτευχθεί η επιτυχία της εκάστοτε προσπάθειας παρασκευής κομπόστ. Συνεπώς, για τη σωστή πλήρωση ενός κάδου κομποστοποίησης ή για τη δημιουργία ενός σωρού συνίσταται να ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

Για το γέμισμα ενός κάδου κομποστοποίησης:

1. Εντοπίζεται ένας χώρος στον οποίο ο κάδος θα δέχεται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία τις περισσότερες ώρες της ημέρας. Στον ίδιο χώρο απαιτείται και η ύπαρξη βρύσης για τις ανάγκες διαβροχής του κομπόστ.
2. Σκάψιμο σε βάθος περίπου 20 cm ώστε να φτιαχτεί ένα αυλάκι από χώμα πλάτους ίσου με αυτό του κάδου κομποστοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί.
3. Το χώμα στη βάση του κάδου θα πρέπει να είναι αφράτο ώστε μετά το πότισμα να επιτρέπει στα στραγγίσματα να απορροφούνται και όχι να λιμνάζουν.
4. Αφού τοποθετηθεί ο κάδος στο σκαμμένο αυλάκι, τα κενά μεταξύ κάδου και εδάφους κλείνονται με χώμα, ώστε η βάση του κάδου να θεωρείται πρακτικά μονωμένη.



5. Αρχικά στη διάτρητη βάση του κάδου τοποθετούνται κλαδάκια ελιάς, για να εξασφαλιστεί ο σωστός αερισμός στα χαμηλά στρώματα του σωρού.
6. Έπειτα δημιουργούνται στρώσεις με τεμαχισμένα οργανικά υλικά.
7. Η ορθή πρακτική πλήρωσης αναφέρεται στην εναλλασσόμενη προσθήκη των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κομποστοποίηση. Για παράδειγμα, τοποθετείται ένα στρώμα πράσινων απορριμμάτων, ένα στρώμα ξερών αγριόχορτων, πάλι πράσινα κ.λ.π. Η ποσότητα των πράσινων απορριμμάτων θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σύγκριση με τα ξυλώδη υλικά που τοποθετούνται στον κάδο, αφού τα δεύτερα παρουσιάζουν μικρότερο ρυθμό αποδόμησης.
8. Συνίσταται η πρώτη στρώση υλικών πάνω από τα κλαδάκια ελιάς να αποτελείται από ξερά αγριόχορτα, γρασιδι ή κλαδέματα κήπου.
9. Κατά τη δημιουργία των στρωμάτων, προσθέτονται στον όγκο των υλικών και χαρτί ή χάρτινους κυλίνδρους οι οποίοι επιτρέπουν τον καλύτερο αερισμό και την καλύτερη ρύθμιση της υγρασίας του όγκου του κομποστ.
10. Προκειμένου να αναπτυχθούν ταχύτερα οι μικροοργανισμοί στον όγκο του κομποστ, είναι χρήσιμο να προστεθεί ποσότητα κοπριάς από πουλερικά και ήδη ώριμο κομποστ από προηγούμενη κομποστοποίηση.

Για τη δημιουργία σωρού κομποστοποίησης:

1. Επιλέγεται ένα στεγνό κομμάτι γης που να σκιάζεται εν μέρει και να μην βρίσκεται συνεχώς κάτω από τον ήλιο.
2. Σκάψιμο σε βάθος περίπου 20 cm ώστε να φτιαχτεί ένα αυλάκι από χώμα γύρω στα 1,2-1,5 m πλάτος (το μήκος δεν έχει σημασία).
3. Αν ο σωρός κατασκευαστεί πάνω σε τοιμεντένια επιφάνεια, τότε απαιτείται η κατασκευή κλίσης 2% και η διάνοιξη φρεατίου συλλογής διασταλαζόντων.



4. Οι κατά μήκος πλευρές του σωρού πρέπει να βλέπουν προς βορά και νότο, έτσι ώστε να παίρνουν και οι δύο την ίδια ποσότητα ήλιου και να είναι ομοιογενής η ζύμωση.
5. Το ύψος του σωρού πρέπει να φτάνει τα 1,2-1,5 m και να στενεύει προς την κορυφή.
6. Ο σωρός κατασκευάζεται σε στρώματα.
7. Το πρώτο στρώμα φτιάχνεται με κλωνάρια διαμέτρου 2-4 cm, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή στράγγιση αλλά και ο επαρκής αερισμός.
8. Ακολουθεί ένα στρώμα 20 cm από άχυρα, αγριόχορτα και φρέσκα σκουπίδια κήπου.
9. Στην συνέχεια 2-3 cm οποιασδήποτε κοπριάς και προσθήκη ποσότητας ήδη ώριμου κομποστ.
10. Ακολουθεί στρώμα 3-5 cm φυτικών υπολειμμάτων.
11. Στρώμα από χώμα που δεν πρέπει να ξεπερνά σε πάχος τα 2,5 cm.
12. Μπορεί επίσης σε ένα στρώμα 10 cm, να προστεθεί φρέσκια πρασινάδα, χορτάρι, αγριόχορτα, απορρίμματα κουζίνας κ.α.
13. Όταν ο σωρός φτάσει σε ύψος το 1 m, δίνεται κλίση στις πλευρές του ώστε η κορυφή του να έχει πλάτος 60 cm.
14. Ο σωρός σκεπάζεται με υλικό που τον προστατεύει από την ξήρανση αλλά αφήνει τον αέρα να περάσει (π.χ. αποξηραμένα χόρτα, άχυρο, σε περίπτωση ανάγκης και χώμα).

2.3.1 Μετρήσεις 1^{ης} ημέρας

Μετά το γέμισμα του κάδου - ή τη δημιουργία του σωρού - ακολουθεί διαβροχή και ανακάτεμα του όγκου των προς κομποστοποίηση υλικών. Θεωρώντας ως 1^η ημέρα την ημέρα έναρξης του πειράματος κομποστοποίησης, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, υγρασίας και οξυγόνου ξεκινούν αμέσως. Εάν οι κάδοι και ο σωρός



κομποστοποίησης κατασκευαστούν κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών της ημέρας, είναι προτιμότερο οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων να πραγματοποιηθούν το απόγευμα, όταν τα υλικά θα έχουν αρχίσει να μαραίνονται και η θερμοκρασία του σωρού και οι λοιπές παράμετροι δεν θα επηρεάζονται από τη μέγιστη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που παρατηρείται κατά τις μεσημεριανές ώρες.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης ημέρας του πειράματος πραγματοποιούνται και μετρήσεις pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), ολικού Αζώτου (TKN), ολικού Φωσφόρου (TP), οργανικής ουσίας (OM), ολικού Άνθρακα (TC), πτητικών στερεών (VS), ολικών στερεών, αναλογίας C : N, νιτρικών (NO₃), νιτρωδών (NO₂), OUR, ανταλλάξιμου K, ανταλλάξιμου Na, Mn, Zn, Fe, Cu, B, Ca, Mg.

2.3.2 Επόμενες μετρήσεις – Πρόοδος πειράματος

Κατά την εξέλιξη του πειράματος της κομποστοποίησης η θερμοκρασία, η υγρασία και το οξυγόνο μετρούνται εάν όχι καθημερινά, τουλάχιστον κάθε 4-5 ημέρες. Σε εβδομαδιαία βάση πραγματοποιείται διαβροχή και καλή ανάδευση του κομποστ (πάντα μετά από την μέτρηση της συγκεκριμένης ημέρας). Σε διάστημα περίπου 8-10 ημερών από το γέμισμα των κάδων επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία γεμίματος τους, αφού ο όγκος των οργανικών υλικών μειώνεται αισθητά. Ανά 2 εβδομάδες (2 φορές το μήνα) θα πρέπει να πραγματοποιείται μέτρηση όλων των λοιπών παραμέτρων pH, EC, TKN, TP, OM, TC, VS, ολικών στερεών, C : N, NO₃, NO₂, K, Na, Mn, Zn, Fe, Cu, B, Ca, Mg, πλην του OUR το οποίο πρέπει να μετρηθεί την πρώτη μέρα, κατά την μέση του πειράματος και στο τέλος (3 φορές καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης).

Προκειμένου να παραληφθεί ένα σταθερό και ώριμο κομποστ η διάρκεια της κομποστοποίησης ποικίλει αφού επηρεάζεται από περιβαλλοντικές και τροφικές παραμέτρους. Άλλωστε η θερμοκρασία του περιβάλλοντος διαδραματίζει βασικό



ρόλο στην ταχύτητα των αντιδράσεων της κομποστοποίησης και συνεπώς στην αποδόμηση της οργανικής ύλης. Επίσης, η διάρκεια της κομποστοποίησης εξαρτάται από το είδος των υλικών που κομποστοποιούνται καθώς και από την ποσότητά τους στον όγκο των υλικών. Έτσι, ένα πείραμα κομποστοποίησης είναι δυνατόν να διαρκέσει από 4 μήνες έως και 3 χρόνια.

Ένα κομπόστ είναι ώριμο όταν :

- έχει τη μυρωδιά χώματος και όχι αμμωνίας ή οποιαδήποτε άλλη οσμή,
- δεν είναι ευδιάκριτα στον όγκο του, υλικά από τα οποία προήλθε,
- έχει σκούρο καφέ χρώμα,
- δεν παρουσιάζει ένδειξη θερμοκρασίας υψηλότερης από αυτή του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία θα πρέπει να είναι σταθερή και όχι μεταβαλλόμενη,
- η αναλογία των χουμικών/φουλβικών οξέων είναι μεγαλύτερη της μονάδας,
- η αναλογία άνθρακα : αζώτου κυμαίνεται σε τιμές 12 -15,
- η κατανάλωση του οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο κομπόστ είναι μικρότερη από 150 mgO₂/kgVS/h.

Η καταλληλότητα του κομπόστ για να χρησιμοποιηθεί σε καλλιέργειες είναι δυνατόν να ελεγχθεί με τον παρακάτω τρόπο:

Ένα βαθύ πιάτο ή γλαστράκι γεμίζεται με το υπό δοκιμή κομπόστ, κοσκινισμένο (κόσκινο με τρύπες διαμέτρου 6-7 cm), ώστε να έχουν απομακρυνθεί από αυτό οι πέτρες και τα άλλα υλικά. Σε αυτό φυτεύονται επιφανειακά σπόροι που φυτρώνουν γρήγορα, όπως κάρδαμο ή ρόκα, αφού προηγουμένως έχουν αφηθεί 8 ώρες στο νερό. Μετά από 3 ημέρες αρχίζουν να γίνονται ορατά τα φύτρα και μετά από 5 ημέρες να σχηματίζονται τα πρώτα φυλλαράκια. Αν τα φυλλαράκια αντί να πρασινίζουν γίνονται κίτρινα και μετά καφέ, σημαίνει ότι το κομπόστ δεν έχει χωνευτεί καλά και πρέπει να παραμείνει επιπλέον πριν χρησιμοποιηθεί [31].



Εικόνα 2.3.1: Στάδια ανάπτυξης φυτού *Lepidium sativum*

Η ωριμότητα του κομπόστ θα πρέπει να διαπιστωθεί σε υγρό κομπόστ. Κομπόστ το οποίο δεν έχει υγρασία, δεν αποτελεί σωστή ένδειξη ωρίμανσης αφού όταν ποτιστεί είναι δυνατόν οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στη μάζα του να επανενεργοποιηθούν και να ξεκινήσουν πάλι τη διαδικασία της αποδόμησης (αύξηση της θερμοκρασίας) με αποτέλεσμα το κάψιμο των φυτών.

2.3.3 Προκατεργασία δειγμάτων κομπόστ και μέθοδοι μετρήσεων

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του οξυγόνου δεν απαιτείται καμία προετοιμασία του δείγματος, αφού η μέτρησή τους γίνεται επιτόπου τοποθετώντας το όργανο μέτρησης στον όγκο του κομπόστ.

Η μέτρηση της υγρασίας του κομπόστ γίνεται με την τοποθέτηση δείγματος του κομπόστ (όχι ξηρού), σε φούρνο ξήρανσης για 24 ώρες στους 105 °C. Εάν χρειαστεί το δείγμα αφήνεται για 48 ώρες στο φούρνο για να βεβαιωθεί ότι δεν έχει πλέον απολέσει επιπλέον υγρασία.

Για τη μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν απαιτείται ιδιαίτερη προετοιμασία του δείγματος αφού σε αυτό προστίθεται ποσότητα απιονισμένου νερού σε συγκεκριμένη αναλογία και ακολουθεί η μέτρηση των παραμέτρων με πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο αντίστοιχα.



Η μέτρηση του ολικού αζώτου πραγματοποιείται σε δείγμα που έχει ξηρανθεί στους 65 °C και έχει τριφτεί και κοσκινιστεί με κόσκινο των 500 μm. Η μέτρηση γίνεται με τη μέθοδο Kjeldahl.

Για τη μέτρηση του ολικού φωσφόρου απαιτείται ένα επιμελώς ανακατεμένο δείγμα κομπόστ, στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στην ατμόσφαιρα για 3-5 ημέρες, ξήρανση στους 65 °C, τρίψιμο και κοσκίνισμα με κόσκινο των 500 μm. Ο προσδιορισμός ολικού φωσφόρου γίνεται με χώνευση του αρχικού δείγματος και προσδιορισμό των απελευθερωμένων ορθοφωσφορικών με χρωματομετρική μέθοδο.

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών και νιτρωδών δεν απαιτείται καμία προκατεργασία του δείγματος και η μέτρησή τους γίνεται χρωματομετρική μέθοδος καδμίου.

Ο προσδιορισμός της οργανικής ύλης των δειγμάτων πραγματοποιείται με καύση του δείγματος στους 550 °C και ο ολικός άνθρακας υπολογίζεται ως ποσοστό επί της οργανικής ουσίας.

Ο προσδιορισμός των K, Ca, Mg και Na πραγματοποιείται με τη χρήση φλωγοφωτόμετρου, ενώ ο προσδιορισμός των Mn, Zn, Fe, Cu, B με ατομική απορρόφηση.

Ο υπολογισμός του ρυθμού παραγωγής οξυγόνου (OUR) πραγματοποιείται με τη χρήση ρεσπιρομετρικών φιαλών.

Η ακριβής διαδικασία υλοποίησης όλων των παραπάνω χημικών αναλύσεων παρουσιάζεται σε παράρτημα στο τέλος της διατριβής.

2.4 Αποτελέσματα μετρήσεων των λειτουργικών παραμέτρων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αφορούν τα τέσσερα δείγματα των κάδων που πληρώθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, του οξυγόνου και της υγρασίας έγιναν σε όλους τους κάδους και τα δεδομένα που προέκυψαν αξιολογήθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Προκειμένου να γίνει δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας προηγήθηκε



μελέτη του κάθε κάδου ξεχωριστά και στη συνέχεια συσχέτιση και σύγκριση των τεσσάρων κάδων μεταξύ τους.

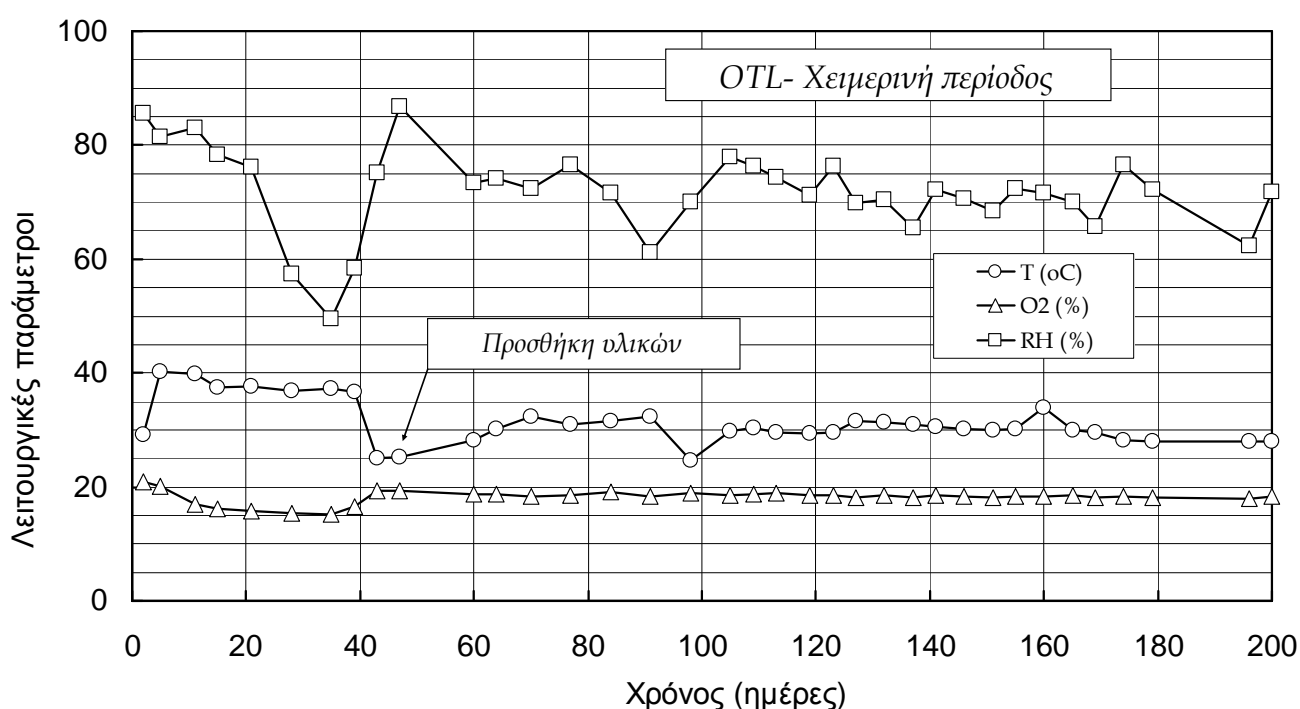
2.4.1 Αποτελέσματα καθαρού δείγματος ελαιοκλαδεμάτων (χειμερινό πείραμα)

Στον κάδο 1, ο οποίος πληρώθηκε μόνο με θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα, μετρήθηκαν ανά 4-5 ημέρες οι τρεις λειτουργικές παράμετροι (θερμοκρασία, οξυγόνο, υγρασία). Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν προέκυψε το διάγραμμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4.1, στο οποίο απεικονίζεται η εξέλιξη εκάστης παραμέτρου.

Παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία, ενώ ξεκίνησε από τους 29 °C περίπου την 1^η ημέρα, από τις πρώτες κιόλας ημέρες άγγιξε τους 40 °C, τιμή που ισοδυναμεί με τη μέγιστη που παρατηρήθηκε για τον κάδο αυτό. Το διάστημα αυτό που επικράτησε η πολύ υψηλή θερμοκρασία, στο σωρό του υλικού αναπτύχθηκαν ποικίλα βακτήρια. Στο διάστημα αυτό, που χαρακτηρίζεται και ως φάση αποικοδόμησης, οι μικροοργανισμοί μετέτρεψαν τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις (π.χ πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες) σε απλούστερες, δηλαδή σε σάκχαρα και αμινοξέα. Από την 40^η έως και την 100^η περίπου ημέρα η θερμοκρασία διατηρήθηκε σε επίπεδα μεταξύ των 30-40 °C, γεγονός που αποδεικνύει ότι το σύστημα είχε αρχίσει να λειτουργεί επαρκώς και η δράση των μικροοργανισμών ήταν ικανοποιητική. Κατά τη φάση αυτή, γνωστή και ως φάση μετασχηματισμού, οι μικροοργανισμοί που έδρασαν ήταν κατά βάση μύκητες. Οι μικροοργανισμοί αυτοί διέσπασαν την κυτταρίνη και ημικυτταρίνη σε απλούστερες οργανικές ενώσεις, ευκολότερα αποδομήσιμες από τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς της κομποστοποίησης. Επειδή κατά τη διάρκεια της 43^{ης} ημέρας έγινε προσθήκη νέου υλικού στον κάδο αφού ο όγκος των ήδη υπάρχοντων υλικών είχε μειωθεί στα 2/3, παρατηρήθηκε ξαφνική μείωση της θερμοκρασίας του σωρού. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται στην ανάδευση του σωρού, η οποία πραγματοποιήθηκε μετά την προσθήκη του νέου



υλικού. Μετά το σημείο αυτό η θερμοκρασία για ένα μικρό διάστημα αυξήθηκε και πάλι περίπου στους 35 °C και στη συνέχεια σταθεροποιήθηκε στους 30 °C. Το στάδιο κατά το οποίο η θερμοκρασία παρουσιάζεται μειωμένη και κυμαίνεται κάτω από τους 30 °C ονομάζεται φάση οικοδόμησης. Κατά την φάση αυτή τη δράση των μικροοργανισμών αντικαθιστούν οι μακροοργανισμοί, μέσω των οποίων επιτελούνται περίπλοκες αντιδράσεις πύκνωσης και πολυμερισμού. Έντομα,



Σχήμα 2.4.1: Εξέλιξη θερμοκρασίας, οξυγόνου και υγρασίας για τον κάδο 1

αραχνοειδή αλλά και γαισκοώληκες χρησιμοποιούν πλέον ως τροφή τις απλές ενώσεις που δημιούργησαν οι μικροοργανισμοί παράγοντας οργανική ουσία, η οποία χαρακτηρίζεται από χουμικά, φουλβικά και άλλα συστατικά. Μετά τη φάση αυτή η θερμοκρασία πλέον σταθεροποιείται και ουσιαστικά τελειώνει η διαδικασία της κομποστοποίησης και πλέον το κομπόστ αρχίζει να ωριμάζει. Κατά τη φάση αυτή, γνωστή ως φάση σταθεροποίησης, οι γαισκοώληκες και τα αρθρόποδα είναι οι



οργανισμοί που κατά κύριο λόγο δρουν, μετατρέποντας τις ενδιάμεσες ενώσεις της μάζας των υλικών σε τελικό προϊόν, το κομπόστ.

Μελετώντας το διάγραμμα παρατηρείται ότι, κατά την περίοδο των πρώτων 40 ημερών που παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες, η υγρασία παρουσίασε τις ελάχιστες τιμές της. Έτσι, συμπεραίνεται ότι η θερμοκρασία και η υγρασία είναι δύο παράμετροι που εξαρτώνται άμεσα η μία από την άλλη. Μη σωστά επίπεδα της μίας, είναι πιθανόν να επιφέρουν αρνητικά αποτελέσματα τόσο στην εξέλιξη της άλλης όσο και στην πορεία της κομποστοποίησης. Μετά το πέρας των 40 ημερών, όταν η θερμοκρασία άρχισε να κυμαίνεται σε χαμηλότερα από τα αρχικά επίπεδα, η διακύμανση της υγρασίας συνδέθηκε πλέον με τη συχνότητα των ποτισμάτων του υλικού.

Παράλληλα, με τις υψηλές θερμοκρασίες των πρώτων 40 ημερών, σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρήθηκε ότι επηρεάζεται και η περιεκτικότητα του όγκου των υλικών σε οξυγόνο. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της αυξημένης μεταβολικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών στο διάστημα αυτό. Στη συνέχεια, με τη μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο αυξήθηκε και τελικά σταθεροποιήθηκε στο 18% περίπου.

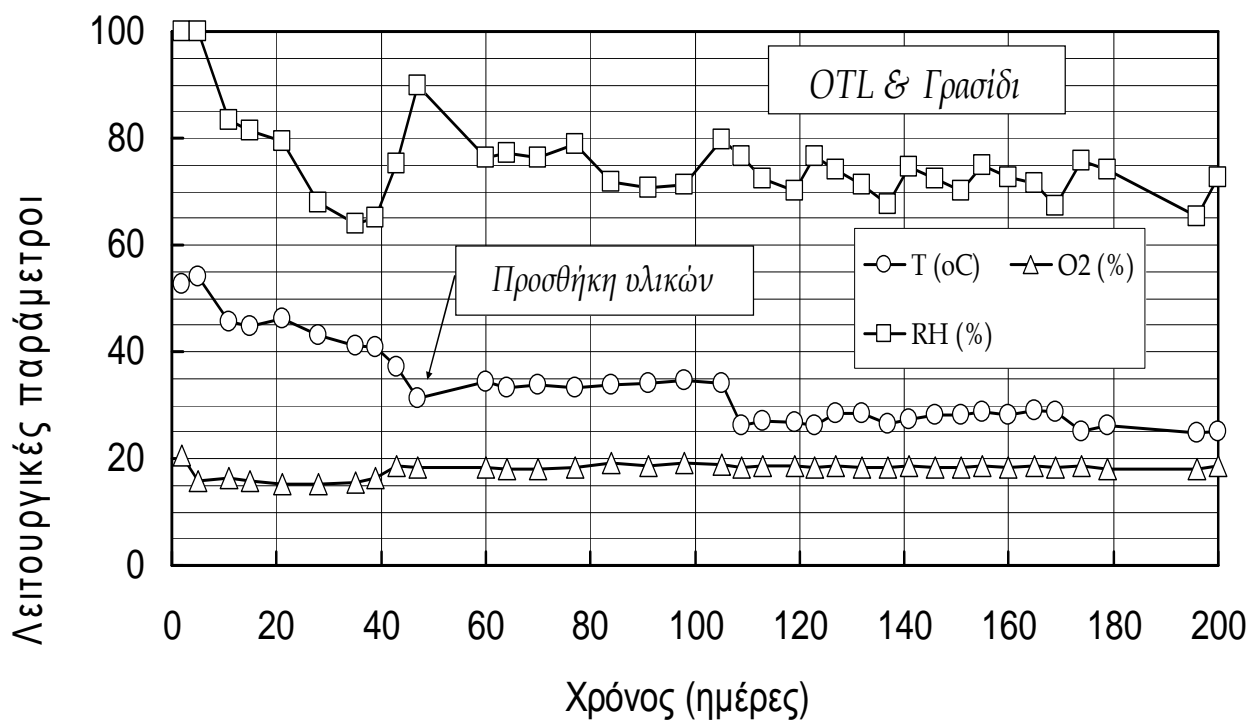
Στη μείωση του οξυγόνου είναι δυνατόν να συνέβαλε και ένας επιπλέον παράγον, η αυξημένη πυκνότητα των υλικών η οποία μεταβλήθηκε όταν μετά το πέρας των πρώτων ημερών τα υλικά άρχισαν να ξηραίνονται και να χάνουν τον αρχικό τους όγκο.

2.4.2 Αποτελέσματα μίγματος ελαιοκλαδεμάτων με γρασίδι

Για τον κάδο 2, ο οποίος πληρώθηκε με θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα και κομμένο γρασίδι, μετρήθηκαν επίσης οι τρεις λειτουργικές παράμετροι (θερμοκρασία, οξυγόνο, υγρασία) με την ίδια συχνότητα των 4-5 ημερών, όπως και στον κάδο 1. Από τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν δημιουργήθηκε το διάγραμμα



του Σχήματος 2.4.2, στο οποίο απεικονίζεται η εξέλιξη κάθε μιας από τις παραμέτρους αυτές.



Σχήμα 2.4.2: Εξέλιξη θερμοκρασίας, οξυγόνου και υγρασίας για τον κάδο 2

Συγκεκριμένα, την 2^η ημέρα η θερμοκρασία άγγιξε τους 52 °C, ενώ κατά την 5^η έφτασε την τιμή των 54 °C, η οποία αντιστοιχεί με τη μέγιστη που παρατηρήθηκε για τον κάδο αυτό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η υψηλή αυτή θερμοκρασία προέκυψε λόγω της παρουσίας γρασιδιού (υψηλά ποσοστά αζώτου) στο μίγμα των υλικών. Από τις μετρήσεις των πρώτων 40 ημερών παρατηρήθηκε ότι στο διάστημα αυτό πραγματοποιήθηκε η φάση της αποικοδόμησης στην οποία πρωτοστάτησαν τα βακτήρια διασπώντας τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις σε απλούστερες. Από την 1^η έως και την 100^η περίπου ημέρα η θερμοκρασία διατηρήθηκε σε επίπεδα μεταξύ 30-55 °C, γεγονός που απέδειξε ότι τα υλικά είχαν αρχίσει να αποδομούνται και η δράση των μικροοργανισμών ήταν πλέον ικανοποιητική. Η φάση αυτή του μετασχηματισμού επέτρεψε στους μύκητες να μεταβολίσουν τις ενώσεις της



κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης σε απλούστερες, ευκολότερα αποδομήσιμες ενώσεις. Κατά τη διάρκεια του διαστήματος αυτού, η πορεία της θερμοκρασίας ήταν φθίνουσα μέχρι που άρχισε να σταθεροποιείται στους 28 °C περίπου. Στις θερμοκρασίες κάτω των 30 °C έλαβε χώρα η φάση της οικοδόμησης, αφού η συνεχής κατανάλωση του υποστρώματος οδήγησε σε μείωση του ρυθμού αποικοδόμησης και της θερμοκρασίας. Κατά τη φάση αυτή οικοδομήθηκαν οι χουμικές ενώσεις (χουμικά, φουλβικά οξέα, χουμίνες), ενώ παράλληλα εισήλθαν στο σωρό έντομα, αραχνοειδή αλλά και οι κόκκινοι γαιοσκώληκες, ο ρόλος των οποίων ήταν σημαντικότερος για την παραγωγή των σταθερών χουμικών ενώσεων. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η ξαφνική μείωση της θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της 43^{ης} ημέρας της κομποστοποίησης, οφείλεται στην προσθήκη νέου υλικού στον κάδο λόγω μείωσης του όγκου των υλικών του στα 2/3. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται στην ανάδευση του σωρού που έγινε μετά την προσθήκη του νέου υλικού στον κάδο.

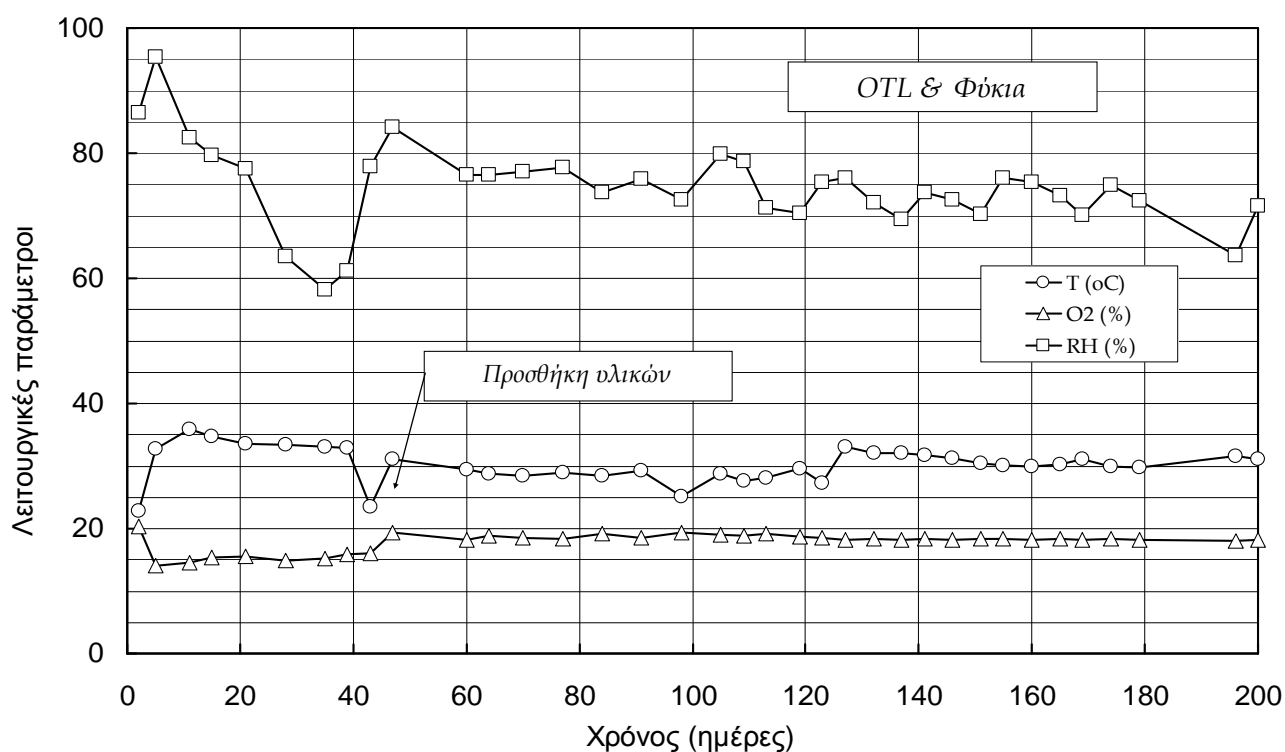
Μελετώντας το διάγραμμα παρατηρείται ότι κατά την περίοδο των πρώτων 40 ημερών που παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες (όπως και στο κάδο 1), η υγρασία παρουσίασε τις ελάχιστες τιμές της. Παρότι τα υλικά του συγκεκριμένου κάδου είχαν αρχικά πολύ μεγάλα ποσοστά υγρασίας (της τάξης του 100%), λόγω της πολύ μεγάλης περιεκτικότητας του γρασιδιού σε νερό, όταν έχασαν τη δική τους υγρασία, αυτή συνδέθηκε άμεσα με τη συχνότητα ποτίσματος του υλικού.

Και σε αυτόν τον κάδο (όπως και στον κάδο 1), οι υψηλές θερμοκρασίες των πρώτων 40 ημερών, συνδέθηκαν με την παράλληλη μείωση του οξυγόνου στον όγκο των υλικών. Το γεγονός αυτό δείχνει την αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών κατά το διάστημα αυτό. Στη συνέχεια, με τη μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο αυξήθηκε και τελικά σταθεροποιήθηκε στο 18% περίπου. Μια μείωση του οξυγόνου παρατηρήθηκε λόγω αυξημένης πυκνότητας των προς κομποστοποίηση υλικών μετά το γέμισμα του κάδου.



2.4.3 Αποτελέσματα μίγματος ελαιοκλαδεμάτων με φύκια

Στον κάδο αυτό τοποθετήθηκαν θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα μαζί με φύκια και προσδιορίστηκαν οι τρεις λειτουργικές παράμετροι (θερμοκρασία, οξυγόνο, υγρασία). Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.4.3 και απεικονίζουν την εξέλιξη για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους.



Σχήμα 2.4.3: Εξέλιξη θερμοκρασίας, οξυγόνου και υγρασίας για τον κάδο 3

Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία την 2^η ημέρα των μετρήσεων δεν αυξήθηκε αλλά εξακολούθησε να είναι ίση με αυτή του



περιβάλλοντος, περίπου στους 22 °C. Κατά την 11^η ημέρα της κομποστοποίησης μόνο άγγιξε την τιμή των 35 °C. Η μικρή αλλά και αργή αυτή αύξηση της θερμοκρασίας στα υλικά του συγκεκριμένου κάδου, θεωρήθηκε αποτέλεσμα της μεγάλης περιεκτικότητας των φυκιών σε νάτριο, η οποία εμπόδισε σε πολύ μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των μικροοργανισμών κατά τα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης. Η καθυστερημένη ανάπτυξη των βακτηρίων, που δρουν αρχικά στην κομποστοποίηση οδήγησε στη βραδεία αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς στην πολύ αργή αποικοδόμηση των προς κομποστοποίηση υλικών στον κάδο αυτό. Όπως και στους δύο προηγούμενους κάδους που μελετήθηκαν έτσι και σε αυτόν οι μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας καταγράφηκαν από την 1^η έως και την 40^η περίπου ημέρα, κατά τη φάση της αποικοδόμησης. Η θερμοκρασία στο διάστημα αυτό κυμάνθηκε από 22-36 °C.

Μείωση της θερμοκρασίας του σωρού παρατηρήθηκε και για τον κάδο αυτό λόγω της προσθήκης νέων υλικών κατά την διάρκεια της 43^{ης} ημέρας. Η μείωση αυτή εξηγήθηκε από την ανάδευση του σωρού, που πραγματοποιήθηκε ύστερα από την προσθήκη του νέου υλικού. Από την 40^η ημέρα και ύστερα η θερμοκρασία μετρήθηκε περίπου στους 30 °C, οπότε και επικράτησε η φάση του μετασχηματισμού. Έπειτα από την φάση αυτή, η θερμοκρασία κυμάνθηκε αντίστοιχα με αυτή του περιβάλλοντος, αυξημένη περίπου κατά 2-4 °C. Στο διάστημα αυτό οι απλές οργανικές ενώσεις μετατράπηκαν μέσω μακροοργανισμών, όπως έντομα, αράχνες, σκουλήκια και μυρμήγκια σε οργανική ύλη. Μετά τη φάση της οικοδόμησης, δράση ανέλαβαν οι γαιοσκώληκες και τα αρθρόποδα που σχημάτισαν την τελική σύσταση του κομποστ κατά την διάρκεια της φάσης της σταθεροποίησης.

Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και υγρασία του όγκου των υλικών δεν παρουσίασε ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με τις ίδιες παραμέτρους των κάδων 1 και 2. Στο διάστημα των πρώτων 40 ημερών παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες τιμές και για τις δύο παραμέτρους. Τέλος, παρατηρήθηκε μειωμένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο λόγω της αυξημένης μικροβιακής δραστηριότητας στην φάση της

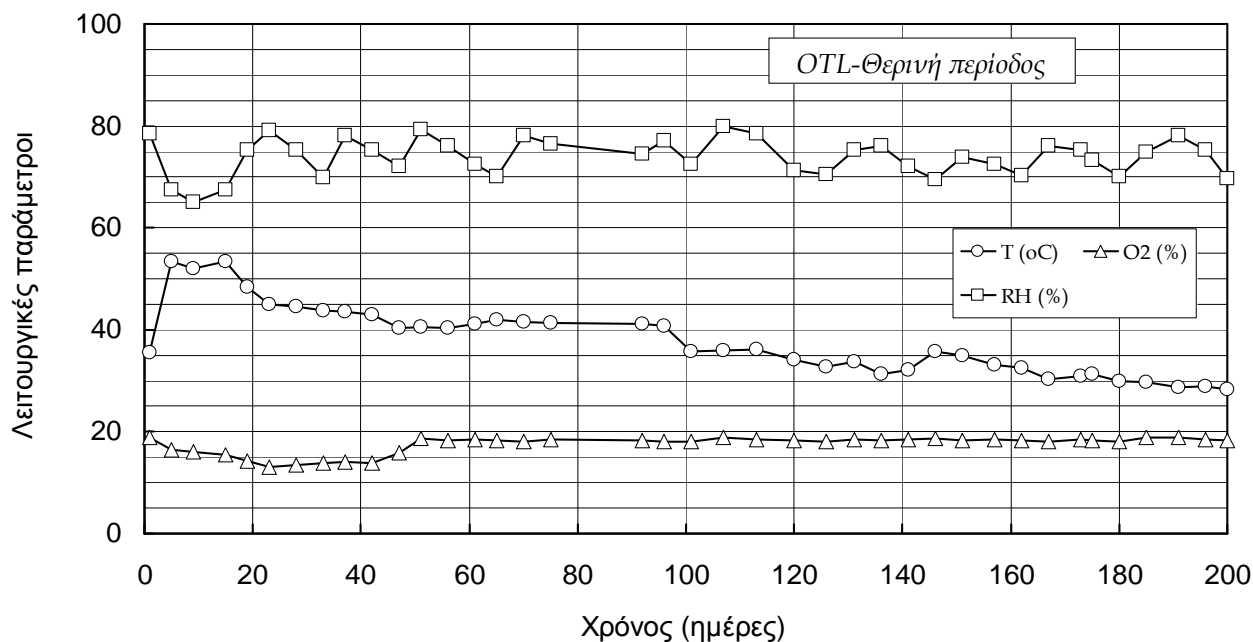


αποικοδόμησης ενώ η υγρασία μετά την ξήρανση των υλικών συνδέθηκε με τη συχνότητα ποτίσματος των υλικών του κάδου.

2.4.4 Αποτελέσματα καθαρού δείγματος ελαιοκλαδεμάτων (θερινό πείραμα)

Ο κάδος 4, που πληρώθηκε με θρυμματισμένα ελαιοκλαδέματα, αποτέλεσε το πείραμα της θερινής περιόδου. Προκειμένου να γίνει δυνατή η σύγκρισή του με τον αντίστοιχο του χειμερινού πειράματος (κάδος 1), προσδιορίστηκαν και σε αυτόν οι λειτουργικές παράμετροι της κομποστοποίησης (θερμοκρασία, οξυγόνο, υγρασία).

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν δημιουργήθηκε το διάγραμμα του Σχήματος 2.4.4, στο οποίο απεικονίζεται η εξέλιξη κάθε μιας από αυτές για το υλικό του κάδου 4.



Σχήμα 2.4.4: Εξέλιξη θερμοκρασίας, οξυγόνου και υγρασίας για τον κάδο 4



Όπως είναι εμφανές, τόσο η θερμοκρασία και το οξυγόνο, όσο και η υγρασία ακολουθούν ακριβώς την ίδια πορεία και εξέλιξη με εκείνη των τριών κάδων που μέχρι τώρα μελετήθηκαν. Το διάστημα των πρώτων 40 ημερών είναι εκείνο στο οποίο παρατηρούνται οι υψηλότερες θερμοκρασίες μεταξύ 35-53 °C, με τη μέγιστη (53 °C) να που καταγράφεται την 5^η ημέρα της κομποστοποίησης. Η υψηλές αυτές θερμοκρασίες επιτεύχθηκαν στο διάστημα αυτό ως απόρροια της έντονης μικροβιακής δραστηριότητας και της ταχείας μείωσης του όγκου των υλικών. Στη φάση αυτή της αποικοδόμησης, οι μεσόφιλοι οργανισμοί (βακτήρια και ορισμένοι μύκητες) άρχισαν την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, αυξάνοντας κατά πολύ τη θερμοκρασία των υλικών. Μετά το διάστημα αυτό η θερμοκρασία για έναν περίπου μήνα κυμάνθηκε μεταξύ 40-43 °C, οπότε άρχισε να επικρατεί η φάση του μετασχηματισμού. Στη φάση αυτή έδρασαν κατά κύριο λόγο οι ακτινομύκητες που μετέτρεψαν τη λιγνίνη και την κυτταρίνη σε απλές οργανικές ενώσεις.

Στη συνέχεια, η θερμοκρασία μειώθηκε κατά το στάδιο της οικοδόμησης και σταθεροποιήθηκε περίπου στους 35 °C. Κατά το διάστημα αυτό η θερμοκρασία διατηρήθηκε σε αρκετά υψηλό επίπεδο επειδή το πείραμα έλαβε χώρα το θέρος και επικρατούσαν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Τέλος, κατά το στάδιο της σταθεροποίησης το κομπόστ είχε θερμοκρασία ίδια με αυτή του περιβάλλοντος και οι γαιοσκώληκες και κάποια αρθρόποδα ήταν οι οργανισμοί που μεταβολίζοντας τις ενδιάμεσες οργανικές ενώσεις δημιούργησαν την τελική σύσταση του κομπόστ

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των υλικών σε οξυγόνο και την υγρασία, οι χαμηλότερες τιμές και των δύο παραμέτρων καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των πρώτων 40 ημερών, όταν η θερμοκρασία παρουσίαζε τις υψηλότερες τιμές της και η μικροβιακή δραστηριότητα ήταν ιδιαίτερα έντονη. Η μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο του όγκου των υλικών, παρατηρήθηκε λόγω της υψηλής κατανάλωσής του από τους μικροοργανισμούς που αναπτύχθηκαν στον όγκο των υλικών και λόγω της αύξησης της πυκνότητας των υλικών.



2.4.5 Συγκριτική μελέτη εξέλιξης θερμοκρασίας στα 4 δείγματα

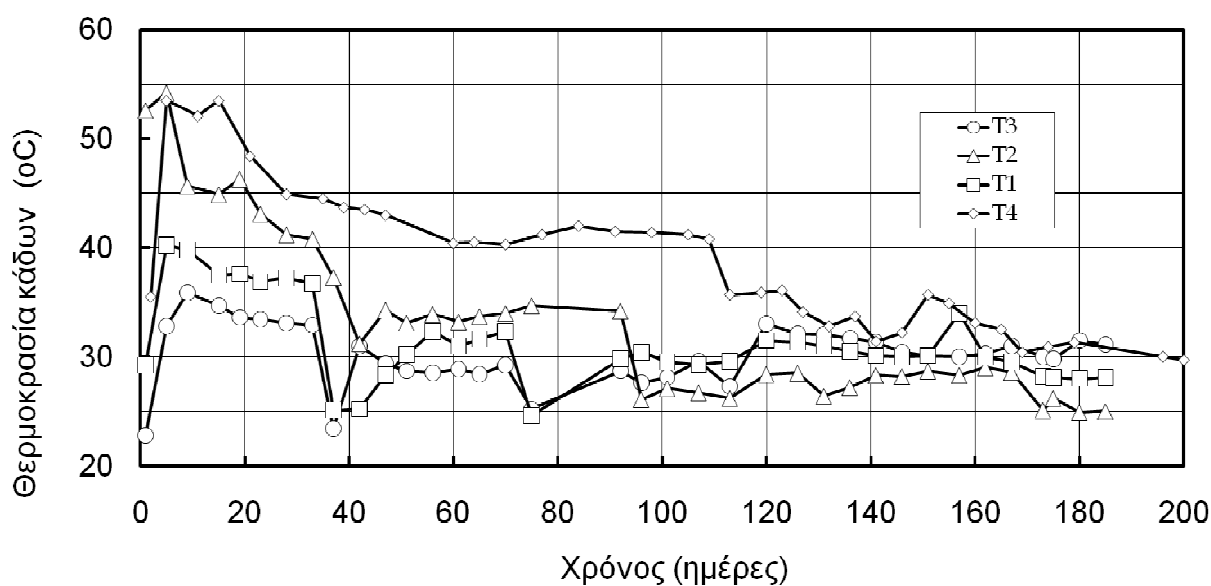
Παρατηρώντας τον τρόπο που διακυμάνθηκαν οι τιμές της θερμοκρασίας διαπιστώνεται ότι και για τα τέσσερα δείγματα μεταξύ της 1^{ης} και της 15^{ης} ημέρας, η θερμοκρασία αυξήθηκε απότομα κατά περίπου 10 °C. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της δράσης των μικροοργανισμών, οι οποίοι πολλαπλασιάστηκαν στο μεσοδιάστημα αυτό και αφετέρου στον ικανοποιητικά μεγάλο όγκο των προς κομποστοποίηση υλικών, ο οποίος διατήρησε την θερμότητα εντός των κάδων. Καθώς η αποδόμηση των οργανικών υλικών πραγματοποιούνταν κατά τη φάση κυρίως της αποικοδόμησης, η θερμοκρασία αυξήθηκε με σταθερό ρυθμό φτάνοντας τη μέγιστη τιμή της στους 54 °C κατά την 5^η ημέρα της κομποστοποίησης στον κάδο 2, ο οποίος ήταν πληρωμένος με ελαιοκλάδεμα και γρασίδι (υψηλά ποσοστά άζωτου). Στην συνέχεια, ακολούθησε μία βραδεία πτώση της θερμοκρασίας σε όλους τους κάδους. Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς η θερινή περίοδος άρχισε να επικρατεί και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξήθηκε αισθητά, η θερμοκρασία όλων των κάδων αυξήθηκε λόγω των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού, παρόλη την θερμοκρασιακή πτώση που μέχρι τότε είχε πραγματοποιηθεί. Σταθεροποίηση της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε για όλους τους κάδους σχεδόν από την 100^η ημέρα και έπειτα, περίπου στους 28 °C.

Στο Σχήμα 2.4.5 είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι η μέγιστες τιμές θερμοκρασίας καταγράφηκαν στον κάδο 4, ο οποίος πληρώθηκε και λειτούργησε κατά βάση τη θερινή περίοδο. Επομένως, η διαφοροποίηση αυτή στα επίπεδα θερμοκρασίας, σε σχέση με τους υπόλοιπους κάδους είναι λογική, αφού η αυξημένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, επηρέασε θετικά την πορεία της κομποστοποίησης στον κάδο αυτό. Αποτέλεσμα των υψηλότερων θερμοκρασιών στον κάδο 4, ήταν η ταχύτερη αποδόμηση των υλικών σε αυτόν, σε σύγκριση με το ρυθμό αποικοδόμησης των υλικών στους υπόλοιπους τρεις κάδους.

Επίσης, υψηλές θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν και στον κάδο 2, ο οποίος περιείχε ελαιοκλάδεμα και γρασίδι. Το γρασίδι, υλικό πλούσιο σε άζωτο επηρέασε



θετικά την αύξηση της θερμοκρασίας στον κάδο αυτό, η οποία έφτασε τους 54 °C την 5^η ημέρα της κομποστοποίησης. Η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας στον κάδο αυτό ταυτίζεται χρονικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και στους υπόλοιπους τρεις κάδους.

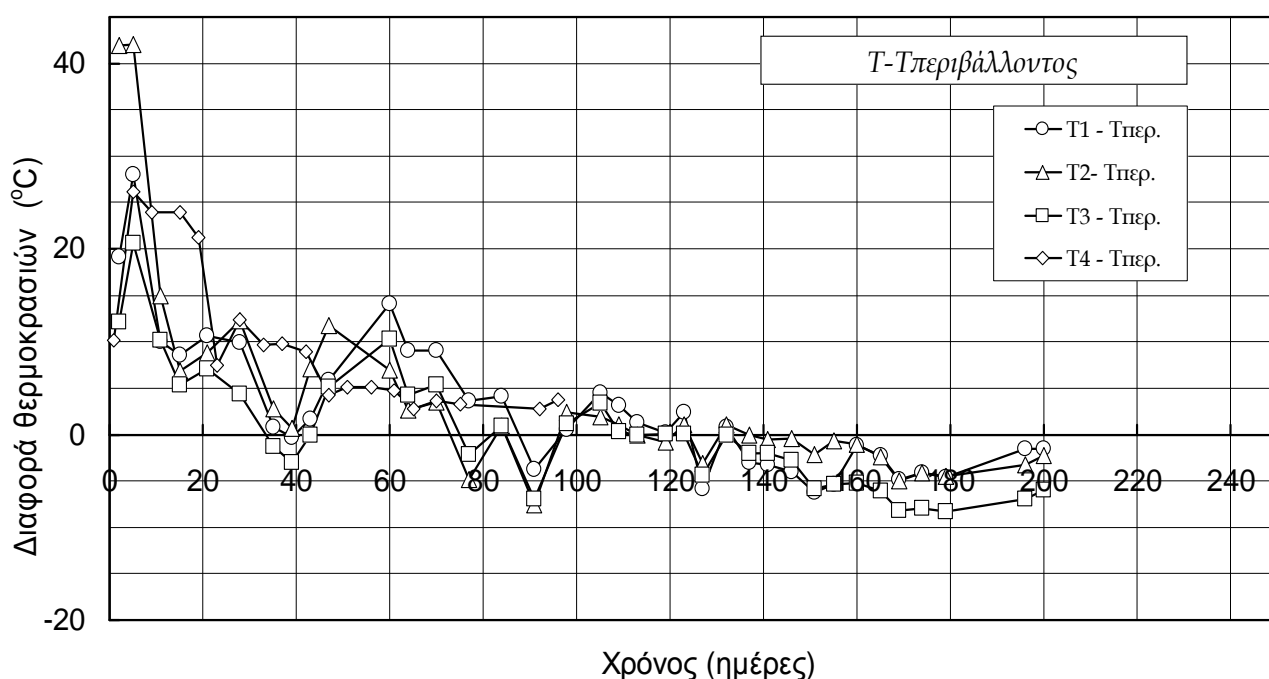


Σχήμα 2.4.5: Συγκριτικό διάγραμμα θερμοκρασιών 4 δειγμάτων

Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αλλά και ο μικρότερος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στον κάδο 3, ο οποίος περιείχε ελαιοκλάδεμα με φύκια. Η υψηλή περιεκτικότητα των φυκιών σε νάτριο αποτέλεσε έναν επιβραδυντικό παράγοντα για την αύξηση της θερμοκρασίας στον κάδο αυτό συντελώντας στη βραδεία αποδόμηση των υλικών του. Η μέγιστη θερμοκρασία στον κάδο έφτασε μόλις τους 35 °C για ένα μικρό χρονικό διάστημα, θερμοκρασία όχι ιδιαίτερα ικανή για την ταχεία και επαρκή αποικοδόμηση των υλικών.



Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρέασε άμεσα τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του κάδου και την εξέλιξη της κομποστοποίησης. Για τον λόγο αυτό, υπολογίστηκε σε κάθε μέτρηση της θερμοκρασίας, η διαφορά σε °C μεταξύ της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κάθε κάδου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Με τις τιμές που προέκυψαν από τις διαφορές των παραπάνω θερμοκρασιών, δημιουργήθηκε το διάγραμμα του Σχήματος 2.4.6.



Σχήμα 2.4.6: Συγκριτικό διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας κάδου - θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Σε αυτό είναι εμφανές ότι και για τους τέσσερις κάδους η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κάδου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος παρουσίασε την ίδια διακύμανση. Είναι δε φανερό ότι ο κάδος 2, είναι εκείνος που επηρεάστηκε λιγότερο από την εξωτερική θερμοκρασία, αφού σύμφωνα με το διάγραμμα, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών (42 °C). Πιθανότατα, η υψηλή περιεκτικότητά του σε άζωτο (λόγω του γρασιδιού), του

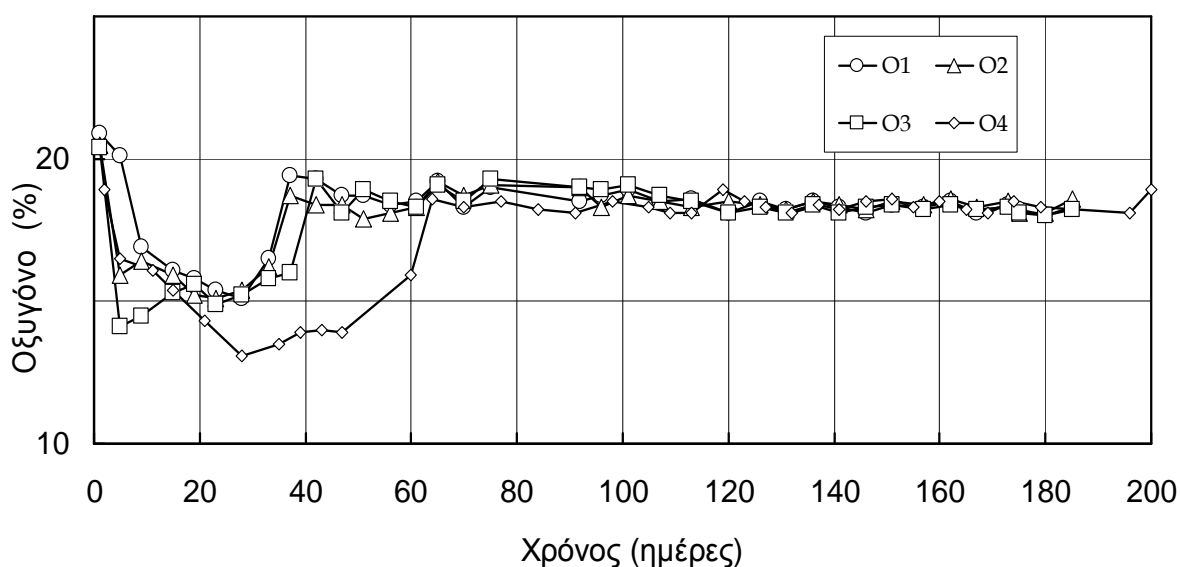


επέτρεψε να διατηρήσει την υψηλή του θερμοκρασία παρ' όλες τις χαμηλές θερμοκρασίες της χειμερινής περιόδου.

Τη μεγαλύτερη επίδραση από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος δέχτηκε ο κάδος 3, η θερμοκρασία του οποίου εκτός από ένα πολύ μικρό διάστημα στην αρχή της κομποστοποίησης, παρουσίασε μικρή διαφορά από εκείνη του περιβάλλοντος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις μη ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης της μικροβιακής μάζας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των φυκιών σε νάτριο και συνεπώς στη βραδεία ανάπτυξη της θερμοκρασίας στον όγκο των υλικών του κάδου αυτού.

2.4.6 Συγκριτική μελέτη εξέλιξης οξυγόνου στα 4 δείγματα

Η περιεκτικότητα των τεσσάρων κάδων σε οξυγόνο μετρήθηκε από την πρώτη ημέρα στην οποία προσδιορίστηκε ως ίση με την περιεκτικότητα του οξυγόνου στο περιβάλλον. Στη συνέχεια, η μέτρησή του πραγματοποιήθηκε κάθε 4-5 ημέρες παράλληλα με τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Η διακύμανση της υγρασίας για κάθε έναν από τους κάδους παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.4.7.



Σχήμα 2.4.7: Συγκριτικό διάγραμμα περιεκτικότητας σε οξυγόνο των τεσσάρων δειγμάτων



Ένας επιπλέον λόγος που αιτιολογεί τη μείωση της περιεκτικότητας του οξυγόνου αναφέρεται στο γεγονός ότι με το πέρασμα των ημερών και καθώς τα προς κομποστοποίηση υλικά χάνουν την υγρασία τους και αποδομούνται, η πυκνότητά τους μειώνεται με προφανές επακόλουθο τη μείωση του οξυγόνου. Η μελέτη της διακύμανσης των τιμών του οξυγόνου έδειξε ότι και στους τέσσερις κάδους η αρχική περιεκτικότητα του οξυγόνου (% κατ' όγκο) ήταν ίση με την περιεκτικότητα του αέρα στο περιβάλλον (20,3%). Όταν η διαδικασία της κομποστοποίησης προχωρούσε και η θερμοκρασία αυξήθηκε (λόγω της ανάπτυξης και της δράσης των μικροοργανισμών στον σωρό των υλικών), η κατανάλωση του οξυγόνου αυξήθηκε αισθητά. Η χαμηλότερη τιμή που μετρήθηκε ήταν το 13% κατά την 28^η ημέρα στον κάδο 4, στον οποίο καταγράφηκαν και οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της αυξημένης μεταβολικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών στον κάδο αυτό. Παρόλη τη βραδεία εξέλιξη της αποδόμησης στον κάδο 3 και σε αυτόν παρατηρήθηκε αρκετά χαμηλή τιμή οξυγόνου κατά τη διάρκεια της 5^{ης} ημέρας, γεγονός που αποδίδεται στη μορφή του υλικού, αφού ο κάδος περιέχει φύκια τα οποία από τις πρώτες κιόλας ημέρες δημιούργησαν συμπαγή συσσωματώματα εμποδίζοντας τον αερισμό της μάζας των υλικών.

2.5 Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων

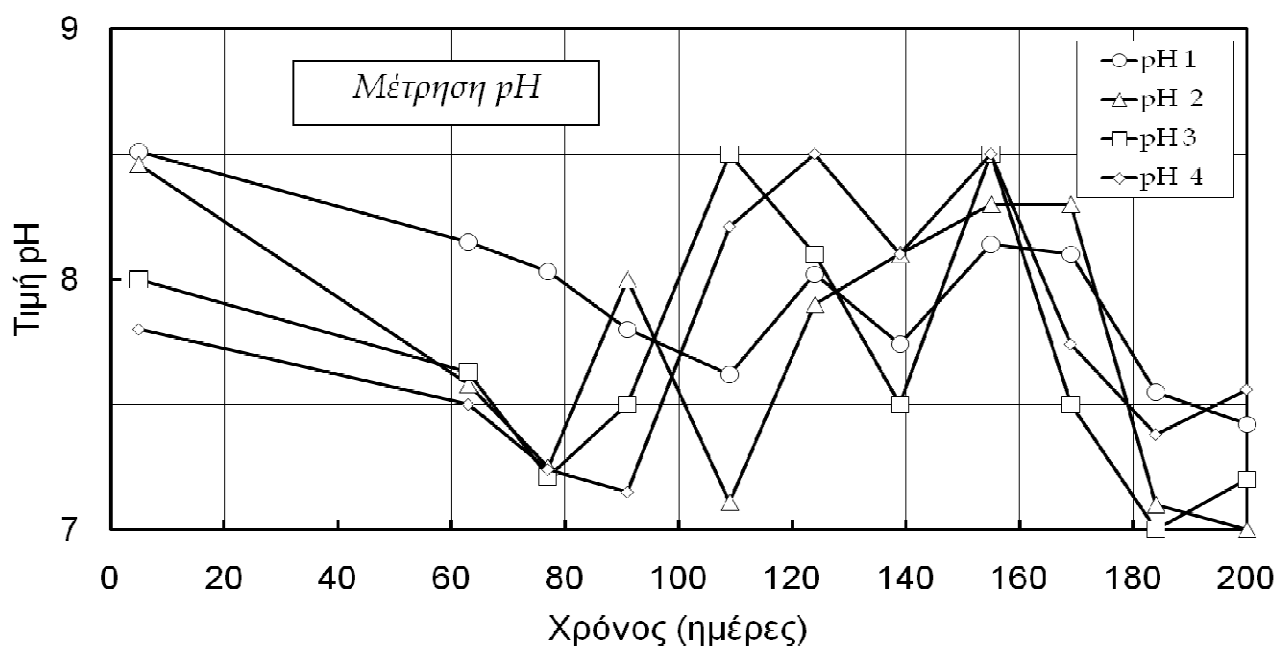
2.5.1 Μέτρηση του pH

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες ο οποίος είναι πολύ χρήσιμος για τη διάγνωση και επίλυση ορισμένων λειτουργικών προβλημάτων κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι το pH των υλικών. Η βέλτιστη τιμή του εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά των εμπεριεχομένων μικροοργανισμών. Όπως έχει αποδειχτεί οι βέλτιστες τιμές pH για την ανάπτυξη και τη δράση των



βακτηρίων κομαινονται από 6 ως 7.5, ενώ για τους μύκητες από 5.5 ως 8. Όταν για παράδειγμα η τιμή του pH πέσει κάτω από 6, επιβραδύνεται η διαδικασία της κομποστοποίησης. Στην περίπτωση αυτή, ο επιπλέον αερισμός μπορεί να αποτελέσει μια λύση αυτού του προβλήματος, αλλά σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να είναι χρήσιμη η προσθήκη ασβεστίου ή άλλου χημικού πρόσθετου για την επαναφορά του pH στην ιδανική τιμή του. Βέβαια, καλό είναι να αποφεύγονται τιμές άνω του 8 οι οποίες είναι δυνατόν να προκαλέσουν εκπομπή ανεπιθύμητης αέριας αμμωνίας.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.5.1), παρουσιάζεται η διακύμανση του pH ανά υλικό σε έκαστο από τους τέσσερις κάδους που πληρώθηκαν.



Σχήμα 2.5.1: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών pH των υλικών των τεσσάρων κάδων

Με την έναρξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης και για το διάστημα των 80 περίπου πρώτων ημερών, παρατηρήθηκε και για τους τέσσερις κάδους, μείωση της τιμής του pH. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη δράση των μικροοργανισμών, οι οποίοι κατά τη φάση της αποικοδόμησης παράγουν οξέα μέσω της διάσπασης των σύνθετων οργανικών ενώσεων σε απλούστερες ευκολότερα αποδομήσιμες μορφές.



Μεταξύ της 80^{ης} και 120^{ης} ημέρας παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση της τιμής του pH και για τα τέσσερα υλικά. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη φάση του μετασχηματισμού που επικρατεί κατά το χρονικό διάστημα αυτό, το pH της μάζας των υλικών μετατρέπεται σε αλκαλικό και είναι δυνατή η απελευθέρωση NH₃ (σε περίπτωση περίσσειας N). Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι μεγαλύτερη αύξηση του pH παρατηρήθηκε στον κάδο με τα ελαιοκλαδέματα και το γρασίδι (κάδος 2). Το γεγονός αυτό εξηγείται από το ότι η υψηλή περιεκτικότητα της μάζας των υλικών αυτών σε άζωτο, ευνόησε την έκλυση NH₃ και συνεπώς τη δημιουργία αλκαλικού pH.

Κατά τη φάση της οικοδόμησης (120^η -160^η ημέρα) παρατηρείται ελαφρά μείωση του pH για όλα τα υλικά, η οποία όμως συνοδεύεται από την άμεση αύξησή του κατά την 155^η περίπου ημέρα της κομποστοποίησης. Το γεγονός αυτό συνδέεται με τη δράση πλέον των μακροοργανισμών στη μάζα των κομποστοποιήσιμων υλικών. Αυτοί μέσω πολύπλοκων αντιδράσεων πύκνωσης και πολυμερισμού μετατρέπουν τις απλές οργανικές ενώσεις σε χουμικές, όπως για παράδειγμα σε χουμικά οξέα, φουλβικά οξέα και χουμίνη. Έτσι μειώνεται παροδικά η τιμή του pH.

Τέλος, κατά τη φάση της σταθεροποίησης το pH μειώνεται αισθητά και για τους τέσσερις κάδους λόγω της μη παραγωγής οξέων, αφού κατά τη φάση αυτή η δράση των μακροοργανισμών δεν είναι ιδιαίτερα έντονη. Η υψηλότερη τελική τιμή pH (τιμή τελικών προϊόντων) μετρήθηκε για τους κάδους 1 & 4, οι οποίοι περιείχαν μόνο ελαιοκλάδεμα. Η χαμηλότερη τιμή pH μετρήθηκε στον κάδο 3, αφού σε αυτόν η αποικοδόμηση ήταν ιδιαίτερα βραδεία με αποτέλεσμα η παραγωγή οξέων να συνεχιστεί μέχρι και τα τελευταία στάδια της κομποστοποίησης.

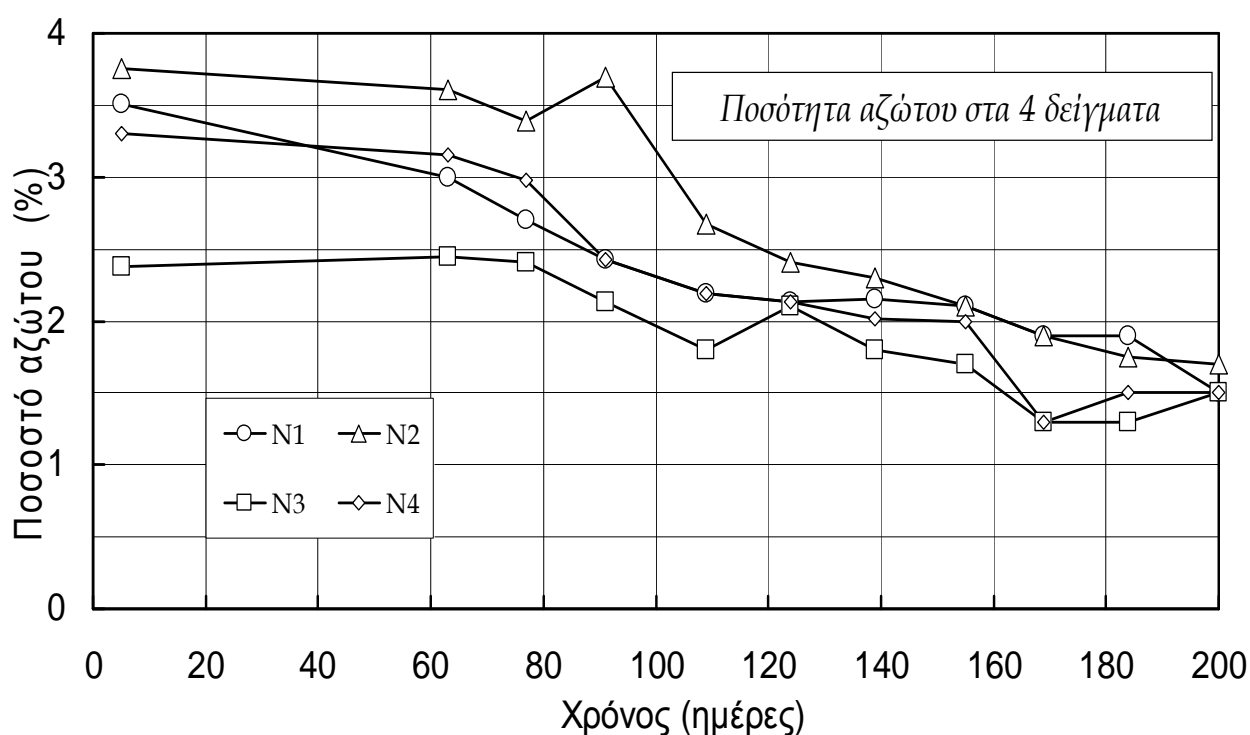
2.5.2 Μέτρηση του ολικού αζώτου

Το άζωτο αποτελεί βασικό συστατικό του πρωτοπλάσματος, χωρίς την παρουσία του οποίου ο πολλαπλασιασμός των μικροοργανισμών είναι αδύνατος. Ωστόσο, η μικροβιακή δραστηριότητα (π.χ. σύνθεση οργανικών οξέων) είναι εφικτή



και απουσία αζώτου.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του ολικού αζώτου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης, γνωστή και ως μέθοδο Kjeldahl. Το ποσοστό αζώτου στα τέσσερα υλικά προσδιορίστηκε ανά 15 περίπου ημέρες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδωσαν τη δυνατότητα δημιουργίας του διαγράμματος του Σχήματος 2.5.2, στο οποίο απεικονίζεται η διακύμανση των τιμών αζώτου σε κάθε έναν από τους τέσσερις κάδους.



Σχήμα 2.5.2: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών N των υλικών των τεσσάρων κάδων

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν η μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου μετρήθηκε στον κάδο 2, ο οποίος ήταν πληρωμένος με ελαιοκλάδεμα και γρασιδί. Η υψηλή περιεκτικότητα του γρασιδιού σε άζωτο ήταν αυτή που κατέστησε το μίγμα του κάδου αυτού ως το πλουσιότερο σε άζωτο, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κάδους. Ικανοποιητικά ήταν τα ποσοστά αζώτου για τους κάδους που πληρώθηκαν με ελαιοκλαδέματα (κάδοι 1 & 4), ενώ ο κάδος με το μίγμα



ελαιοκλαδέματος και φυκιών (κάδος 3) ήταν εκείνος που παρουσίασε τα χαμηλότερα ποσοστά αζώτου.

Οι υψηλότερες τιμές αζώτου παρατηρήθηκαν και για τα τέσσερα υλικά στην αρχή της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Καθ' όλη όμως τη διάρκεια της παρουσίασαν πτωτική τάση λόγω της αυξημένης κατανάλωσης του υποστρώματος και επομένως και του αζώτου από τους μικροοργανισμούς, ιδιαίτερα στη φάση της αποικοδόμησης. Η αποικοδόμηση του αζώτου οδήγησε στην ταχεία ανάπτυξη της μικροβιακής μάζας στον όγκο των υλικών καθώς και στην αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς σε γρήγορες συνθήκες αποδόμησης της οργανικής ύλης.

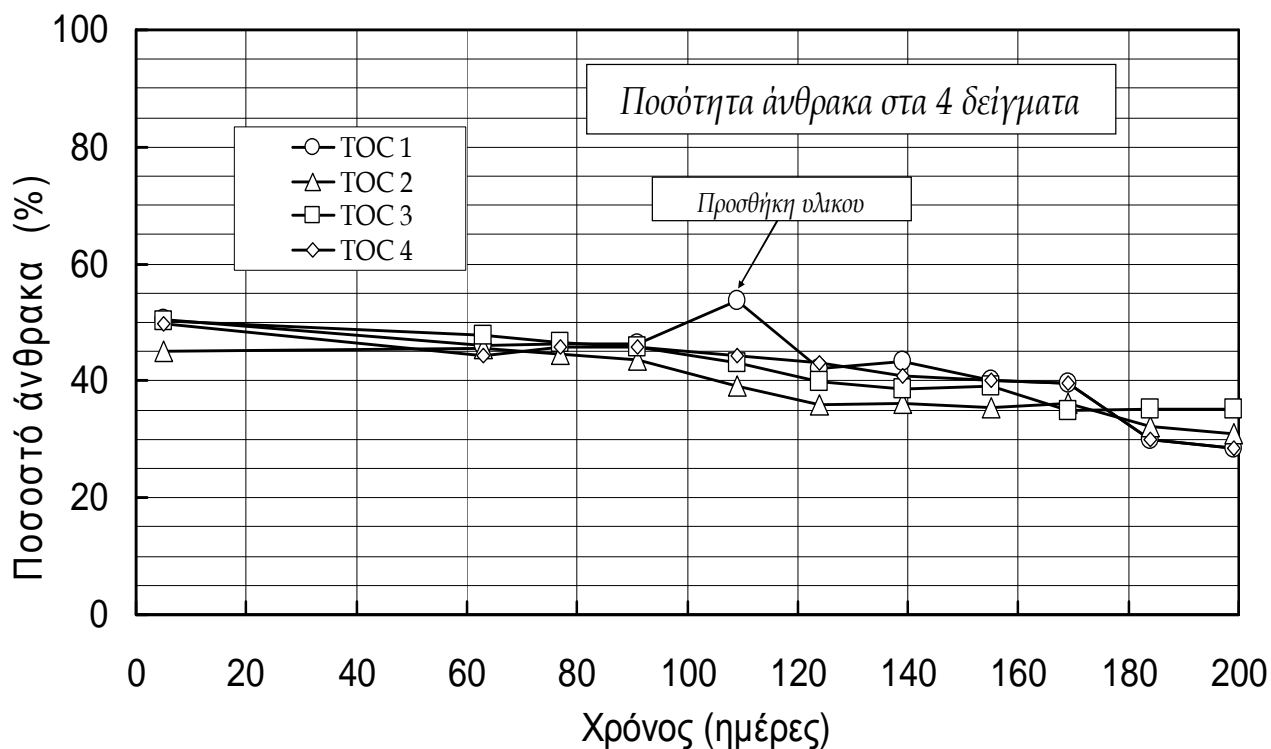
Μείωση των ποσοστών του αζώτου είναι δυνατόν να επήλθε και λόγω απομάκρυνσης του από τη μάζα των υλικών ως αμμωνία NH_4 , κατά τη φάση του μετασχηματισμού.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η προσωρινή αύξηση του αζώτου που παρατηρήθηκε στους κάδους λόγω της προσθήκης των νέων, φρέσκων υλικών κατά την 45^η ημέρα της κομποστοποίησης. Η αύξηση αυτή ήταν εντονότερη στον κάδο 2 (ελαιοκλάδεμα-γρασίδι), αφού το γρασίδι που προστέθηκε στον κάδο, περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου, σε σύγκριση με τα υλικά που προστέθηκαν στους υπόλοιπους κάδους.

2.5.3 Μέτρηση του ολικού άνθρακα

Ο άνθρακας είναι το στοιχείο που δίνει μέσω της οξείδωσής του την απαραίτητη ενέργεια στους μικροοργανισμούς κατά το μεταβολισμό τους. Επίσης είναι το σημαντικότερο συστατικό στη δημιουργία των τοιχωμάτων των κυττάρων και των διαφόρων κυτταρικών δομών.

Ο προσδιορισμός του άνθρακα πραγματοποιήθηκε κάθε 15 περίπου ημέρες, ως ποσοστό επί της οργανικής ουσίας που περιεχόταν στα τέσσερα υλικά. Οι μετρήσεις ήταν αρκετά συχνές ώστε να υπάρξει δυνατότητα ελέγχου της εξέλιξης του καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων



Σχήμα 2.5.3: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών C των υλικών των τεσσάρων κάδων

για τα ποσοστά ολικού άνθρακα των τεσσάρων υλικών, συγκεντρώθηκαν στο διάγραμμα του Σχήματος 2.5.3.

Μελετώντας τα δεδομένα των μετρήσεων του άνθρακα στα τέσσερα υλικά παρατηρείται ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά του προσδιορίστηκαν στην αρχή της κομποστοποίησης. Το ποσοστό άνθρακα και στα τέσσερα δείγματα μειώθηκε από τη δεύτερη κιόλας μέτρηση, αφού κατά τη φάση της αποικοδόμησης και του μετασχηματισμού τα βακτήρια αλλά και οι μύκητες αποδόμησαν μέσω σύνθετων αντιδράσεων τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις (κυτταρίνες, λιγνίνες, ημικυτταρίνες) σε απλούστερες μορφές οργανικών ενώσεων.

Καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης το ποσοστό του άνθρακα και στα τέσσερα δείγματα μειώθηκε σταδιακά, λόγω της συνεχούς αποικοδόμησής του από τους διάφορους μικροοργανισμούς και μακροοργανισμούς αλλά και της οξείδωσης και της απομάκρυνσής του από τη μάζα των υλικών προς το περιβάλλον υπό τη



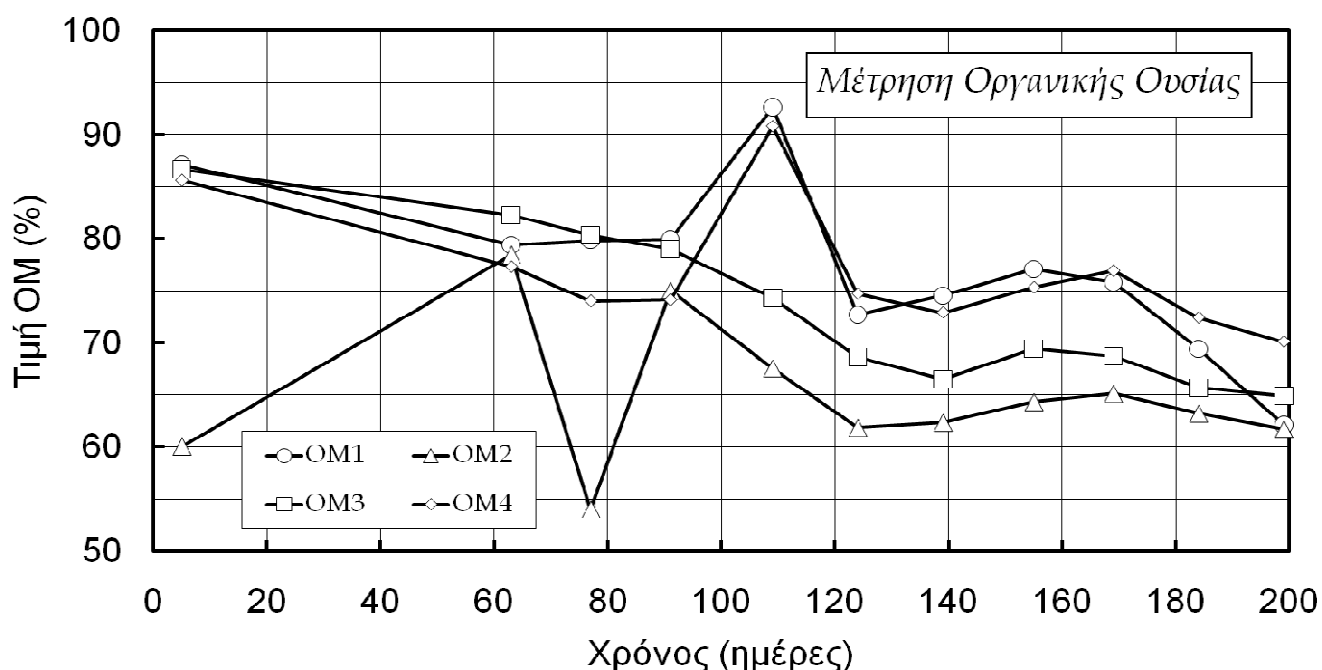
μορφή του CO₂ αλλά και του CH₄.

Μια προσωρινή αύξηση του ποσοστού άνθρακα στα δείγματα που παρατηρήθηκε κατά την 45^η περίπου ημέρα της κομποστοποίησης οφείλεται στην προσθήκη νέου υλικού στους κάδους, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της μάζας των υλικών σε άνθρακα. Μετά την ημέρα αυτή το ποσοστό άνθρακα άρχισε και πάλι να μειώνεται, καθώς συνεχίστηκε η αποδόμηση των οργανικών ενώσεων προς παραγωγή κομποστ.

2.5.4 Μέτρηση Οργανικής Ύλης

Η οργανική ύλη αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ελέγχου της ποιότητας ενός κομποστ, αφού είναι εκείνη που προσδίδει σ' αυτό μία σειρά σημαντικών στοιχείων όπως η βελτίωση του πορώδους, η συγκράτηση των θρεπτικών κ.α. Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε και για τα τέσσερα υλικά ανά 15 ημέρες. Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων δημιουργήθηκε το διάγραμμα του Σχήματος 2.5.4 όπου καταγράφεται η διακύμανσή της σε όλους τους κάδους καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Παρατηρείται ότι στα αρχικά στάδια της διαδικασίας αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από τα βακτήρια (που πρώτα λαμβάνουν μέρος στην κομποστοποίηση) το ποσοστό της οργανικής ουσίας μειώνεται με αργό ρυθμό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι μικροοργανισμοί αυτοί κατά βάση μεταβολίζουν τους πολυσακχαρίτες και τις πρωτεΐνες σε απλούστερες ενώσεις, δηλαδή σε σάκχαρα και αμινοξέα. Μεταξύ όμως των φάσεων του μετασχηματισμού και της οικοδόμησης καθώς πλέον δρουν οι μακροοργανισμοί, η παραγωγή των χουμικών ενώσεων (χουμικών και φουλβικών οξέων, χουμίνης κ.α) αυξάνεται. Έτσι, αυξάνονται και οι τιμές της οργανικής ύλης και στα τέσσερα υλικά των κάδων.



Σχήμα 2.5.4: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών OM των υλικών των τεσσάρων κάδων

Τέλος, κατά τη φάση της σταθεροποίησης παρατηρείται μια μικρή μείωση στις τιμές της παραμέτρου αυτής, επειδή κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής οι ενδιάμεσες ενώσεις της οργανικής ουσίας μετατρέπονται από τους γαιοσκώληκες και τα αρθρόποδα που αναπτύσσονται στη μάζα των υλικών σε τελικό προϊόν της διαδικασίας, το κομπόστ.

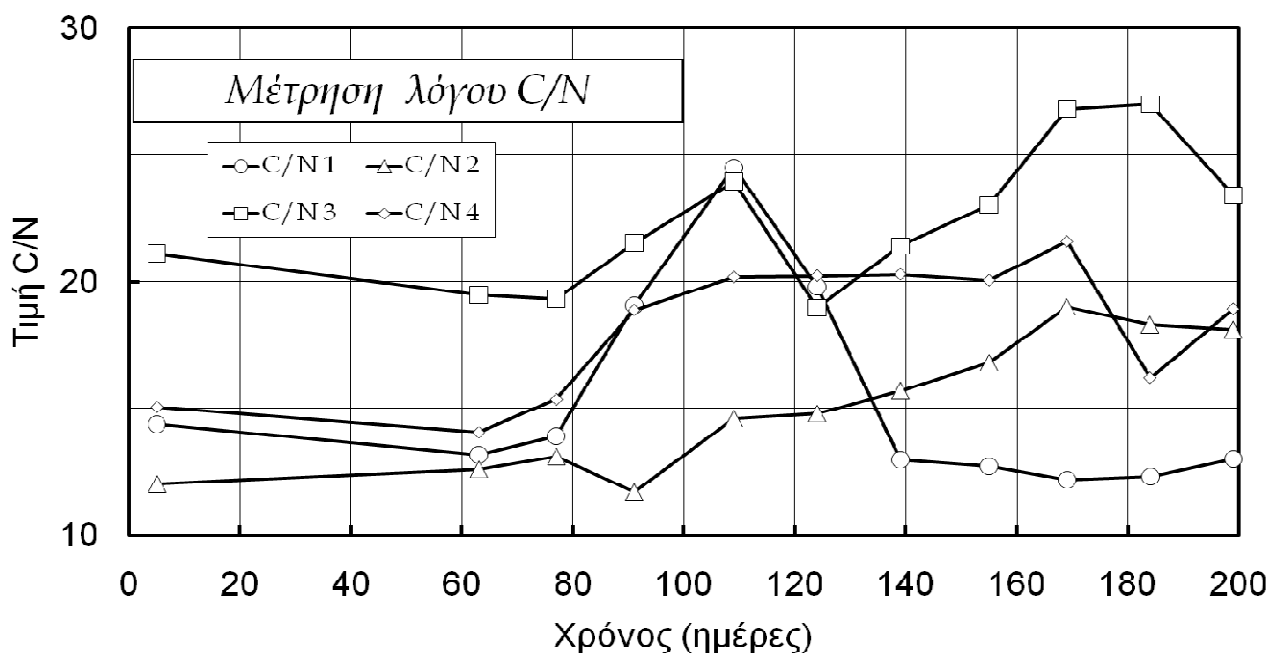
2.5.5 Μέτρηση του λόγου C/N

Ο λόγος C/N χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός υλικού ως υπόστρωμα κομποστοποίησης. Εμπειρικά αποτελέσματα στον τομέα της κομποστοποίησης έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι μία τιμή του λόγου C/N μεταξύ 25 και 35 θεωρείται ως η βέλτιστη για τα περισσότερα είδη υλικών. Εάν ο λόγος διαφοροποιηθεί από τις τιμές αυτές, το όλο σύστημα χάνει σε απόδοση.

Ο προσδιορισμός του λόγου C/N για τα υλικά των τεσσάρων κάδων έγινε μέσω μετρήσεων του C και του N, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ανά 15 ημέρες.



Αφού υπολογίστηκε ο λόγος C/N για κάθε έναν από τους κάδους ήταν πλέον δυνατή η μελέτη της διακύμανσής του, καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Έτσι, στο διάγραμμα του Σχήματος 2.5.5 απεικονίζεται η εξέλιξη του λόγου και για τα τέσσερα υλικά.



Σχήμα 2.5.5: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών C/N των υλικών των τεσσάρων κάδων

Αρχικά στη φάση της αποικοδόμησης ο λόγος C/N κυμαίνεται μεταξύ 15-25, τιμές που χαρακτηρίστηκαν ως ιδανικές για την ορθή και ταχεία εξέλιξη της κομποστοποίησης. Έπειτα, κατά τη φάση του μετασχηματισμού, όταν η δράση των μυκήτων έγινε πολύ έντονη και ο ρυθμός αποικοδόμησης του υποστρώματος αυξήθηκε σημαντικά, παρατηρείται μεγάλη αύξηση του λόγου C/N. Το γεγονός αυτό προκλήθηκε λόγω της ευκολότερης και συνεπώς ταχύτερης αφομοίωσης των ενώσεων N σε σύγκριση με εκείνες του C. Έτσι, οι μειωμένες ποσότητες αζώτου και αρκετά υψηλότερες άνθρακα οδήγησαν σε αύξηση του λόγου στη φάση αυτή.

Κατά τη φάση της οικοδόμησης παρατηρήθηκε μείωση του λόγου, αφού η δράση των εντόμων και των γαισκοωλήκων μετέτρεψε την οργανική ύλη σε ενδιάμεσες απλούστερες ενώσεις διασπώντας τον C και μειώνοντας το λόγο C/N.



Οι υψηλότερες τιμές του λόγου αυτού καταγράφηκαν για τον κάδο 3, ο οποίος περιείχε ελαιοκλάδεμα και φύκια (χαμηλό ποσοστό σε άζωτο), ενώ οι υψηλότερες τιμές του σημειώθηκαν για τα υλικά του κάδου 2, που περιείχε ελαιοκλάδεμα και γρασίδι (υψηλότερο ποσοστό αζώτου). Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα αφού υψηλό ποσοστό αζώτου συνεπάγεται μικρή τιμή του λόγου C/N, ενώ υψηλό ποσοστό άνθρακα οδηγεί σε αυξημένες τιμές του ίδιου λόγου.

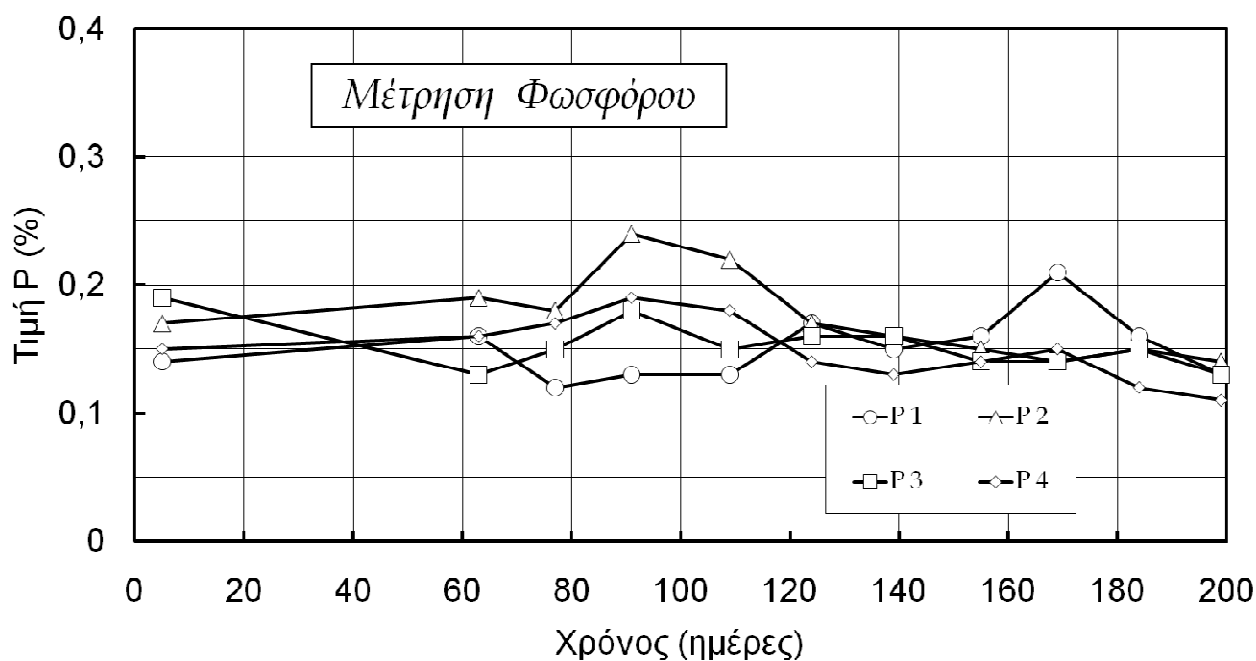
2.5.6 Μέτρηση του διαθέσιμου φωσφόρου

Η μέτρηση του διαθέσιμου φωσφόρου όπως και των λοιπών χημικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε με συχνότητα 15 περίπου ημερών. Και για τα τέσσερα δείγματα τα αποτελέσματα των αναλύσεων απεικονίζονται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.5.6.

Οι τιμές για το φώσφορο μεταβλήθηκαν ελάχιστα καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό του στη μάζα των υλικών δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την εξέλιξη των λοιπών παραμέτρων ή των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται η κομποστοποίηση.

Το μίγμα του κάδου 2 (ελαιοκλάδεμα – γρασίδι) ήταν εκείνο που χαρακτηρίστηκε ως το πλουσιότερο στο στοιχείο αυτό, ενώ το χαμηλότερο ποσοστό του μετρήθηκε στον κάδο 4 (μόνο ελαιοκλάδεμα).

Αξιζει όμως να επισημανθεί ότι κατά τη φάση του μετασχηματισμού παρατηρήθηκε μία παροδική αύξηση του ποσοστού του φωσφόρου και στα τέσσερα δείγματα. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής με τη διάσπαση της οργανικής ύλης του κομποστ, παράγονται χουμικές ουσίες και οργανικά οξέα. Οι χουμικές αυτές ουσίες αφενός σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με το ασβέστιο, ελευθερώνοντας έτσι το φώσφορο στο εδαφοδιάλυμα και αφετέρου διαλυτοποιούν τις αδιάλυτες μορφές του (φωσφορικά άλατα), επιδρώντας ευεργετικά στον εφοδιασμό των φυτών με φώσφορο.

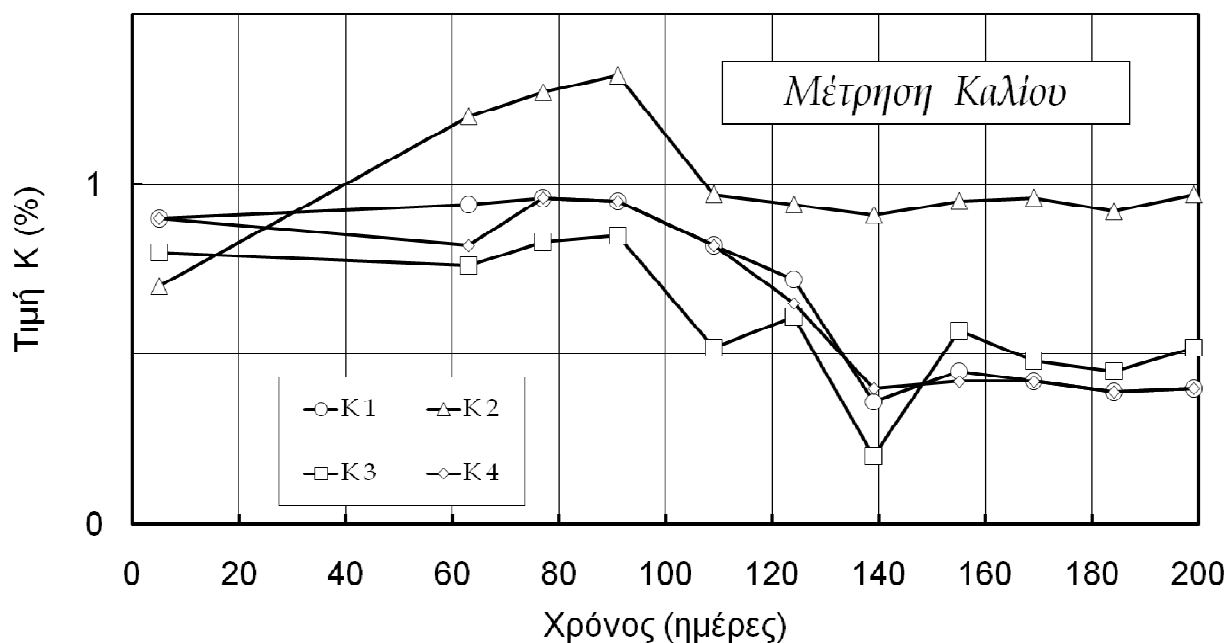


Σχήμα 2.5.6: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών P των υλικών των τεσσάρων κάδων

Στη συνέχεια, τα ποσοστά φωσφόρου μειώθηκαν και πάλι ελάχιστα, πιθανότατα λόγω της αύξησης του pH κατά την τελική φάση της σταθεροποίησης του κομποστ, αφού η αλκαλικότητα του pH προκαλεί δέσμευση από το ασβέστιο περισσότερου φωσφόρου, με αποτέλεσμα το να μην είναι διαθέσιμος κατά τη συγκεκριμένη φάση.

2.5.7 Μέτρηση του ανταλλάξιμου καλίου

Το κάλιο επίσης μετρήθηκε στα υλικά και των τεσσάρων κάδων. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό του, συγκεντρώθηκαν στο διάγραμμα του Σχήματος 2.5.7, το οποίο απεικονίζει τη διακύμανσή του στο κάθε υλικό κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.



Σχήμα 2.5.7: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών Κ των υλικών των τεσσάρων κάδων

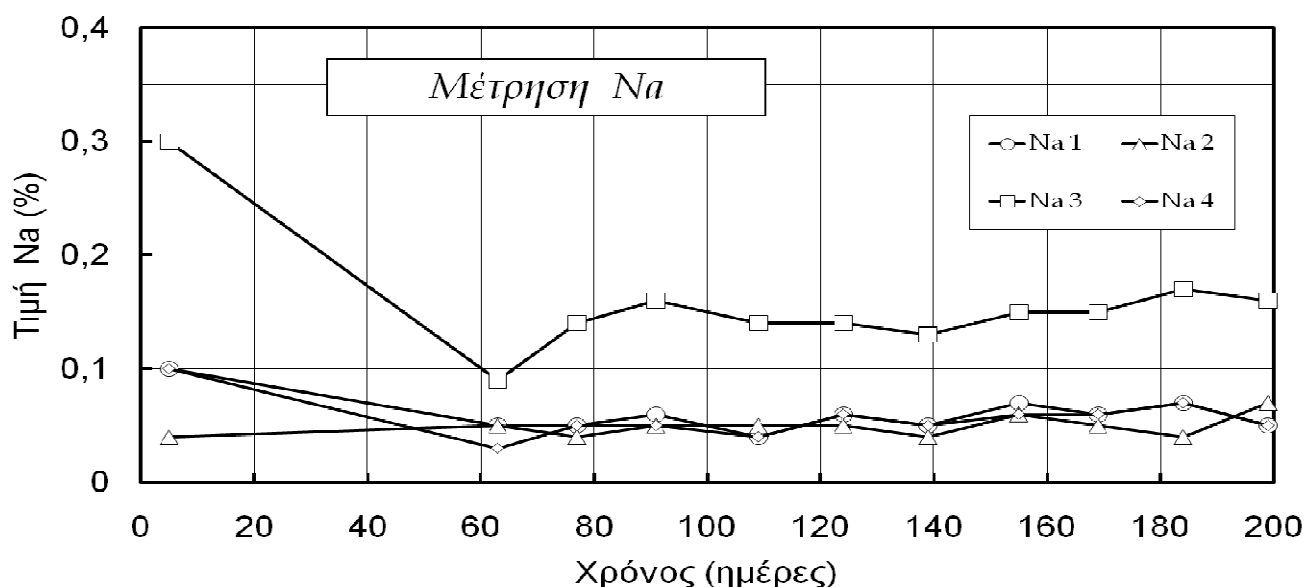
Οι αρχικές τιμές του Κ στα υλικά κυμάνθηκαν μεταξύ του 0,2-1,4%. Οι τιμές αυτές είναι θεωρητικά αναμενόμενες, αφού τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ιδιαίτερα πλούσια σε κάλιο. Η υψηλότερη συγκέντρωση καλίου βρέθηκε στον κάδο 2 (ελαιοκλάδεμα-γρασίδι) καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης έως και το τελικό προϊόν. Η χαμηλότερη αρχική συγκέντρωση καταγράφηκε στον κάδο 3 (ελαιοκλάδεμα-φύκια), ενώ τα τελικά κομπόστ με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν των κάδων 1 και 4, που προκύπτουν από την κομποστοποίηση των ελαιοκλαδεμάτων.

Οι φάσεις της αποικοδόμησης και του μετασχηματισμού χαρακτηρίζονται από την αυξητική πορεία των τιμών του καλίου και για τα τέσσερα υλικά, ενώ κατά τις φάσεις της οικοδόμησης και της σταθεροποίησης η περιεκτικότητα των υλικών σε κάλιο μειώθηκε έως ότου σταθεροποιήθηκε κατά μέσο όρο στο 0,5% περίπου.



2.5.8 Μέτρηση του ανταλλάξιμου νατρίου

Η χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό του νατρίου έδωσε πολύ σημαντικά αποτελέσματα από τα οποία δημιουργήθηκε το διάγραμμα του Σχήματος 2.5.8, το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διακύμανση του νατρίου στα τέσσερα υλικά των κάδων καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



Σχήμα 2.5.8: Συγκριτικό διάγραμμα τιμών Na των υλικών των τεσσάρων κάδων

Όπως ήταν αναμενόμενο η υψηλότερη περιεκτικότητα σε νάτριο καταγράφηκε στον κάδο 3, ο οποίος περιείχε ελαιοκλάδεμα μαζί με φύκια. Τα φύκια λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς τους σε νάτριο, ήταν το υλικό που θεωρήθηκε ότι δεν αποτελεί κατάλληλο υπόστρωμα για την κομποστοποίηση σε πειραματικό επίπεδο. Τα υψηλά ποσοστά νατρίου, δεν ευνόησαν την ανάπτυξη της μικροβιακής μάζας στο όγκο των υλικών. Έτσι, η αποικοδόμηση ήταν ιδιαίτερα βραδεία αφού η θερμοκρασία στον κάδο αυτό δεν ξεπέρασε τους 35 °C και το νάτριο αποτέλεσε ένα σημαντικό περιοριστικό παράγοντα της διαδικασίας της κομποστοποίησης στον κάδο 3.

Όσον αφορά τη διακύμανσή του νατρίου κατά την εξέλιξη της αποικοδόμησης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες τιμές του καταγράφηκαν



στις πρώτες μετρήσεις, δηλαδή στην αρχή της κομποστοποίησης. Έπειτα από τις μετρήσεις αυτές, η τιμή μειώθηκε ελάχιστα για τον κάθε κάδο, προφανώς λόγω της έκπλυσής του κατά το πότισμα των υλικών. Η διακύμανση των τιμών ήταν πάρα πολύ μικρή, ιδιαίτερα για τους κάδους 1, 2 και 4, των οποίων η περιεκτικότητα σε νάτριο ήταν εξ αρχής πάρα πολύ μικρή.

2.6 Μετρήσεις αξιολόγησης ποιότητας τελικού προϊόντος

2.6.1 Μέτρηση κατανάλωσης οξυγόνου στα τελικά προϊόντα

Η διαδικασία της κομποστοποίησης αποτελεί εκτός των άλλων μία διαδικασία άμεσα εξαρτώμενη από τα σωστά επίπεδα αερισμού και συνεπώς από τον επαρκή αερισμό του όγκου των υλικών. Οι μικροοργανισμοί αλλά και οι μακροοργανισμοί, οι οποίοι δρουν στη μάζα των υλικών κατά την διάρκεια της αποσύνθεσής τους, κατά την πλειοψηφία τους χαρακτηρίζονται ως αερόβιοι οργανισμοί. Έτσι, καθ' όλη τη διάρκεια της αποικοδόμησης αποσυνθέτουν τα οργανικά υλικά καταναλώνοντας μεγάλες ποσότητες οξυγόνου, γεγονός που δικαιολογεί τα ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά οξυγόνου στον όγκο των υλικών κατά τη φάση της αποικοδόμησης.

Συνεπώς, μια υψηλή περιεκτικότητα του κομποστ σε οξυγόνο είναι δυνατόν να συνδυαστεί με τη μη έντονη δράση των μικροοργανισμών, ενώ αντίθετα η συνεχής και ανεπτυγμένη δραστηριότητά τους χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά οξυγόνου στο κομποστ.

Η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς, αλλά και η σταθεροποίησή του στον όγκο των υλικών, αποτελούν στοιχεία τα οποία αποδεικνύουν τη σταθερότητα του κομποστ και συνεπώς την καταλληλότητά του για χρήση στις καλλιέργειες.



Για τον έλεγχο των τεσσάρων διαφορετικών κομποστ μετρήθηκε σε εργαστηριακό επίπεδο μία παράμετρος ιδιαίτερα σημαντική, η κατανάλωση οξυγόνου από τη δράση μικροοργανισμών. Έτσι είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ποσότητα του οξυγόνου που οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν από τη μάζα των υλικών στα τέσσερα τελικά κομποστ. Η μέτρησή της πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ρεσπιρομετρικών φιαλών μέσω των οποίων καταγράφηκαν τα επίπεδα κατανάλωσης του οξυγόνου. Οι ρεσπιρομετρικές φιάλες διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία 35 °C για διάρκεια επτά ημερών και η κατανάλωση του οξυγόνου υπολογίστηκε μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας που καταγράφηκε χωριστά για κάθε ρεσπιρομετρική φιάλη, χρησιμοποιώντας τις αρχές του νόμου των ιδανικών αερίων. Περίπου 50 g από κάθε κομποστ προστέθηκαν σε κάθε μία από τις φιάλες αντίστοιχα και ακολούθησε προσθήκη ποσότητας νερού, ικανής να καλύψει κατά 100% την υδατοχωρητικότητα εκάστου κομποστ. Η μικροβιακή δραστηριότητα -και η σταθερότητα- των τεσσάρων κομποστ προσδιορίστηκαν από την ποσότητα του O₂ που καταναλώθηκε κατά την διάρκεια 7 ημερών. Οι μετρήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από άποψη νομοθεσίας είναι εκείνες της 4^{ης} και της 7^{ης} ημέρας και παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2.6.1).

Πίνακας 2.6.1: Κατανάλωση Οξυγόνου από μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια 7 ημερών

	<i>Κατανάλωση Οξυγόνου (g O₂/kg dw)</i>	
	Κατανάλωση την 4 ^η ημέρα	Κατανάλωση την 7 ^η ημέρα
Κάδος 1	4,57	5,97
Κάδος 2	3,63	5,25
Κάδος 3	4,95	6,51
Κάδος 4	6,50	5,12

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission, 2001), στα σταθεροποιημένα κομποστ θα πρέπει να παρουσιάζεται κατανάλωση οξυγόνου μικρότερη από 10 g O₂/kg ξηρής ύλης μετά από την 4^η ημέρα της μέτρησης [32].



Από τις παραπάνω μετρήσεις αποδείχθηκε ότι τα τέσσερα κομπόστ παρουσίασαν κατανάλωση οξυγόνου μεταξύ 5-6,5 g O₂/kg ξηρής ύλης. Η χαμηλότερη κατανάλωση μετρήθηκε για τον κάδο 4 (ελαιοκλάδεμα μόνο), ενώ η υψηλότερη για τον κάδο 3 (ελαιοκλάδεμα- φύκια), τα υλικά του οποίου έχει αποδειχθεί και από προηγούμενες μετρήσεις ότι παρουσιάζουν τη βραδύτερη αποικοδόμηση σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κάδους. Αποδείχτηκε συνεπώς ότι, και τα τέσσερα κομπόστ ήταν σταθεροποιημένα και επομένως έτοιμα για χρήση σε οποιαδήποτε καλλιέργεια. Η σταθερότητα των τεσσάρων κομπόστ ελέγχθηκε επιπλέον και με πείραμα με φύτεμα κάρδαμου.

2.6.2 Πείραμα ωρίμανσης του κομπόστ με κάρδαμο

Ο καθορισμός του χρονικού σημείου ολοκλήρωσης της διαδικασίας της κομποστοποίησης είναι ένα δύσκολο και πολυμελετημένο θέμα. Για τον καθορισμό του χρονικού αυτού σημείου χρησιμοποιούνται οι όροι «ωριμότητα» και «σταθερότητα». Οι όροι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν επί σειρά ετών ως περίπου ταυτόσημοι, όμως σήμερα αναγνωρίζεται πως εκφράζουν διαφορετικές έννοιες [33]. Συγκεκριμένα, ως «ώριμο» ορίζεται το απαλλαγμένο από φυτοτοξικές ουσίες προϊόν, ενώ ως «σταθερό» αυτό στο οποίο πρακτικά οι διεργασίες έχουν σταματήσει.

Για την εκτίμηση της σταθερότητας και της ωριμότητας υπάρχουν ορισμένες απλές μέθοδοι και μια ποικιλία εργαστηριακών μεθόδων που συχνά απαιτούν ειδικό εργαστηριακό εξοπλισμό και έμπειρο προσωπικό. Για μικρές μονάδες οι πρακτικότεροι τρόποι είναι η παρακολούθηση της εξέλιξης της θερμοκρασίας (για την σταθερότητα) και οι δοκιμές φυτοτοξικότητας, που γίνονται συνήθως με σπορά σπόρων κάρδαμου στο έτοιμο προϊόν [34], καθώς και με εμπειρικά κριτήρια όπως η μυρωδιά και η υφή.

Επιπλέον είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν η εξέλιξη της τιμής του pH και άλλοι βιοχημικοί δείκτες. Να σημειωθεί πως ένα ανώριμο κομπόστ εφόσον



χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα φυτοτοξικότητας στα φυτά.

Όπως διαπιστώνεται η βλαστική ικανότητα των σπόρων πριν πραγματοποιηθεί η σπορά, έτσι θα πρέπει να εξετάζεται εάν ένα κομπόστ έχει ωριμάσει και είναι πλέον δυνατή η χρησιμοποίησή του. Τα καλά αποτελέσματα ενός τεστ ωρίμανσης σε κομπόστ εξαρτώνται από τον τρόπο που φτιάχτηκε το μίγμα των οργανικών ουσιών, εάν σε αυτό προστέθηκαν ενισχυτικές ουσίες αλλά και ο τρόπος με τον οποίο διεξήχθη η κομποστοποίηση στο διάστημα των τριών, τεσσάρων ή έξι μηνών, που αυτή πραγματοποιήθηκε.

Σε σύγκριση με πολύπλοκες αναλυτικές μεθόδους ένα απλό τεστ είναι το πείραμα με σπόρους από κάρδαμο (*Lepidium sativum*). Οι σπόροι του φυτού αυτού χρησιμοποιούνται επειδή φυτρώνουν γρήγορα και έχει αποδειχθεί πως αποτελούν δείκτη ακραίων καταστάσεων όπως το pH, ο χούμος, οι θρεπτικές ουσίες κ.λ.π.



Εικόνα 2.6.1: Κοσκινισμένο κομπόστ (αριστερά) – Σπόροι κάρδαμου σε νερό (δεξιά)

Για την πραγματοποίηση του πειράματος αυτού χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μικρές γλάστρες (μία για κάθε κομπόστ) στις οποίες τοποθετήθηκαν ποσότητες κοσκινισμένου κομπόστ (Εικόνα 2.6.1). Ακολούθησε ελαφρά διαβροχή και στη συνέχεια φύτεμα των σπόρων, οι οποίοι έπειτα σκεπάστηκαν με μικρή επίσης ποσότητα κοσκινισμένου κομπόστ (Εικόνα 2.6.2). Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν σε



σχετικά ζεστό μέρος και σκεπάστηκαν με διαφανές πλαστικό, για να μην χάσουν την υγρασία τους.



Εικόνα 2.6.2 : Τέσσερα διαφορετικά κομπόστ στα οποία έχουν φυτευτεί σπόροι κάρδαμου

Μετά την πάροδο τριών ημερών παρατηρήθηκε ότι άρχισαν να γίνονται ορατά τα φύτρα και μετά από 5 ημέρες σχηματίστηκαν τα πρώτα φύλλα (Εικόνα 2.6.3)



Εικόνα 2.6.3 : 5^η ημέρα φύτεματος κάρδαμου – εμφάνιση πρώτων πράσινων φύλλων



Σε καμία από τις τέσσερις γλάστρες δεν παρατηρήθηκαν κίτρινα φύλλα. Το χρώμα των φύλλων ήταν πράσινο, γεγονός που απέδειξε ότι τα κομπόστ και των τεσσάρων κάδων ήταν πλέον ώριμα [31].

2.7 Γενική συζήτηση αποτελεσμάτων

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών μετρήσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν, ήταν δυνατόν να διεξαχθούν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Η κλειστού τύπου κομποστοποίηση (σε πλαστικούς κάδους) αποτελεί μια θερμοφιλή διαδικασία κατά την οποία επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι ενδεικτικές της έντονης μικροβιακής δραστηριότητας και της ταχείας αποδόμησης των οργανικών υλικών σε πειραματική κλίμακα. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικές περιόδους (χειμερινή – θερινή), κατά τις οποίες η επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Το πείραμα των τριών κάδων, το οποίο πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου χαρακτηρίστηκε από έντονη επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στη θερμοκρασία των υλικών εντός των κάδων. Η επίδραση αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη μικρή επιβράδυνση στην εξέλιξη της κομποστοποίησης. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος της θερινής περιόδου επέδρασε θετικά στη διατήρηση της θερμότητας εντός του κάδου (κάδος 4) με συνέπεια την ταχύτερη ολοκλήρωση της διαδικασίας σε σύγκριση με τους άλλους τρεις κάδους. Ως συμπέρασμα των παραπάνω προκύπτει ότι η κομποστοποίηση σε πειραματικό επίπεδο κατά τους ψυχρούς μήνες της χειμερινής περιόδου απαιτεί περισσότερο χρόνο για να δώσει το τελικό προϊόν.



- Οι μεταβολές της περιεκτικότητας σε οξυγόνο ήταν αντιστρόφως ανάλογες με τη μικροβιακή δραστηριότητα. Γενικά, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο κυμάνθηκε σε ευνοϊκά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα (12-17% κατ' όγκο) γεγονός που εξασφαλίστηκε από τη δομή των υλικών στους κάδους αλλά και από τη συχνότητα αερισμού τους.
- Πρέπει να επισημανθεί ότι μετά από κάθε μέτρηση ακολουθούσε η διαβροχή των υλικών αλλά και το ανακάτεμά τους με ειδικό εργαλείο. Έτσι το ποσοστό υγρασίας κυμάνθηκε σε πλαίσια 50-70% κατ' όγκο, τα οποία διασφαλίζουν την ομαλή δραστηριότητα και τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών.
- Η διακύμανση των τιμών στις φυσικοχημικές αναλύσεις ήταν αναμενόμενη, αφού σε κάθε κάδο χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά οργανικά υπολείμματα και σε διαφορετικές αναλογίες. Έτσι, η τιμή του pH στα δείγματα κυμάνθηκε μεταξύ 7-8. Οι τιμές αυτές δεν είναι απαγορευτικές για τη χρήση του κομπόστ, αφού μετά την ανάμιξή του με άλλο χώμα, έχει την ιδιότητα να ρυθμίζει το pH του εδάφους μέσω της συμβολής των χουμικών του κλασμάτων και την παράλληλη έκλυση CO₂ [14].
- Τα εδάφη με επίπεδα ολικού αζώτου μεγαλύτερα του 0,3% κατά βάρος, θεωρούνται πλούσια σε άζωτο [23]. Οι τιμές αζώτου στα δείγματα κυμάνθηκαν μεταξύ του 1,5-3,5%, επίπεδα που ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών. Το υψηλότερο ποσοστό αζώτου όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρήθηκε στον κάδο 2 (ελαιοκλάδεμα-γρασιδί), λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του γρασιδιού σε άζωτο. Αντίστοιχα το μικρότερο ποσοστό σε αυτό μετρήθηκε στον κάδο 4 (ελαιοκλάδεμα-φύκια), αφού τα φύκια περιέχουν πολύ μικρή ποσότητα αζώτου. Όμως δέντρα τα οποία λιπαινόνται με πολύ μεγάλες ποσότητες αζώτου, παρουσιάζουν μεγάλη βλαστική ανάπτυξη εις βάρος των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των καρπών τους. Στην περίπτωση αυτή το κομπόστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρή ποσότητα αφού ανακατευτεί πολύ καλά με το χώμα.
- Ο ολικός άνθρακας των δειγμάτων μετρήθηκε μεταξύ 28-50% κατά βάρος, όταν μία επαρκής ποσότητα οργανικής ύλης για το έδαφος κυμαίνεται μεταξύ 5-8%



κατά βάρος [35]. Τα κομποστ με υψηλή περιεκτικότητα σε ολικό άνθρακα είναι επιθυμητά λόγω των θετικών επιδράσεών τους, αφού:

- A) προάγουν τη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων των εδαφικών κόκκων, βελτιώνοντας το πορώδες και τις εξαρτώμενες από αυτό ιδιότητες (περατότητα από ρίζες, αερισμός, υγρασία).
- B) αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης νερού και ανταλλαγής κατιόντων (ECE) λόγω των χουμικών και των φουλβικών οξέων, που διαθέτουν πολλές καρβοξυλικές (-COOH) και υδροξυλικές (-OH) ομάδες [14].
- Γ) προστατεύουν από την έκπλυση ή άλλου είδους απώλειες ή δέσμευση θρεπτικών στοιχείων (αζώτου, φωσφόρου) και
- Δ) μειώνουν σημαντικά την τοξικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε περίσσεια στο εδαφικό διάλυμα (Al^{3+} , Mn^{2+} στα όξινα, Ca^{2+} στα αλκαλικά), ενώ απελευθερώνουν το φώσφορο [11].

■ Με δεδομένο ότι σε ένα ώριμο κομποστ η αναλογία άνθρακα προς άζωτο κυμαίνεται μεταξύ 12-15 [8], θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα κομποστ που παρασκευάστηκαν και εμφάνισαν τιμές μεταξύ 12-20, ικανοποιούν τις ιδιότητες ενός ώριμου και σταθερού κομποστ και συνεπώς, εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα του αζώτου στα φυτά.

■ Ο διαθέσιμος φώσφορος στα δείγματα μετρήθηκε μεταξύ των 1.000 - 4.000 ppm (0,1-0,4%), τιμές που υπερβαίνουν κατά πολύ τις επαρκείς ποσότητες φωσφόρου, οι οποίες κυμαίνονται στα 25 ppm (μg/g εδάφους) για τα δέντρα και 30 ppm για τα λαχανικά [35]. Έτσι τα παραγόμενα κομποστ θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε μικρές ποσότητες, αφού τα υψηλά επίπεδα φωσφόρου επιταχύνουν την ωρίμανση των καρπών. Στα ανόργανα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7,5, το ασβέστιο δεσμεύει περισσότερο από 50% του φωσφόρου, με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμος [35].

■ Οι τιμές επάρκειας του καλίου για τα δέντρα είναι τα 250 ppm και για τα λαχανικά τα 300 ppm. Οι τιμές καλίου στα δείγματα κυμάνθηκαν μεταξύ των 4.000 - 13.000 ppm (0,4-1,3%). Οι τιμές αυτές ήταν αναμενόμενες καθώς τα οργανικά υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν πλούσια σε κάλιο [35]. Το



κάλιο συμμετέχει σε σημαντικές χημικές αντιδράσεις των φυτών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις προάγουν τη φωτοσύνθεση, αυξάνουν την αντοχή των φυτών σε ασθένειες που οφείλονται σε μύκητες και νηματώδεις, αντοχή στην ξηρασία και στις χαμηλές θερμοκρασίες [8]. Ενώ οι πολύ υψηλές τιμές Κ στα ανόργανα εδάφη επηρεάζουν αρνητικά την πρόσληψη ασβεστίου από τα φυτά, η οργανική ουσία παίζει ρυθμιστικό ρόλο εξαιτίας των χηλικών ιδιοτήτων των χουμικών ενώσεων, που σχηματίζουν οργανικά σύμπλοκα με τα ιόντα ασβεστίου, σιδήρου και αργιλίου [35]. Έτσι, η διαθεσιμότητα του ασβεστίου δεν επηρεάζεται αρνητικά.

- Τέλος η συγκέντρωση του νατρίου στα δείγματα ήταν υψηλή, εμφανίζοντας τιμές που κυμάνθηκαν μεταξύ των 500 - 2.000 ppm (0,05-0,2%), ενώ η συγκέντρωσή του στο έδαφος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 46 ppm [35]. Οι υψηλότερες τιμές νατρίου παρατηρήθηκαν στον κάδο 3, ο οποίος περιείχε ελαιοκλάδεμα και φύκια. Οι υψηλές αυτές τιμές νατρίου παρεμπόδισαν την ανάπτυξη της μικροβιακής μάζας και καθυστέρησαν την κομποστοποίηση στον κάδο αυτό, καταστρέφοντας τα κολλοειδή του κομπόστ, τα οποία συμβάλλουν στην καλή δομή του εδάφους, στο πορώδες, στη συγκράτηση ουσιών κ.α.



Κεφάλαιο 3

Συνολική περιβαλλοντική αποτίμηση

3.1 Εισαγωγή

Η διαδικασία της κομποστοποίησης ως μέθοδος αξιοποίησης οργανικών υλικών και υπολειμμάτων έχει κατά κύριο λόγο χαρακτηριστεί ως μία ουδέτερη όσον αφορά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος διεργασία. Θεωρήθηκε ως μία διαδικασία φιλική προς το περιβάλλον, μέσω της οποίας δεν εκλύονται σε ικανές ποσότητες αέρια που να ευθύνονται για σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως για παράδειγμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αέρια που χαρακτηρίζονται για την σημαντική συνεισφορά τους στο φαινόμενο αυτό παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Αέριο	Συνεισφορά (%)
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	48
Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	18
Μεθάνιο (CH ₄)	17
Υπεροξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	6
Άλλα αέρια και όζον	11

Σε έρευνα που έχει ήδη πραγματοποιηθεί για το σκοπό αυτό, στο Τμήμα γεωργικής και εφαρμοσμένης μηχανικής βιοσυστημάτων, από την ερευνητική ομάδα της Suzelle Barrington [36], έχει προσδιοριστεί η επίδραση της πηγής του C στην απώλεια του N με αεριοποίηση κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Ο προσδιορισμός αυτός πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση τεσσάρων συλλεκτών αερίων, κάθε ένας σε τρία διαφορετικά επίπεδα υγρασίας. Η ποσότητα του άνθρακα σε κάθε συλλέκτη μετρήθηκε με την μέθοδο του BOD₅. Τέλος,



μετρήθηκαν, οι αρχικές και τελικές ποσότητες των C και N και ακολούθησε η ανάλυση της μάζας των υλικών, για να εκτιμηθούν οι απώλειές τους σε C και N. Το πείραμα απέδειξε ότι τα επίπεδα υγρασίας και αερισμού δεν έχουν καμία επίδραση στις απώλειες C και N. Η απώλεια σε N συσχετίστηκε όχι μόνο με τη διαθεσιμότητα του C, αλλά και τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η συσχέτιση που έγινε μεταξύ τους έδειξε ότι το 85% του αρχικού συνολικού N ήταν διαθέσιμο για τη μικροβιακή αποδόμηση και ότι το 70% του διαθέσιμου C χάθηκε ως CO₂ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κομποστοποίησης.

Σύμφωνα με άλλη μελέτη στην Ισπανία, στο Τμήμα αγροχημείας και περιβάλλοντος από την ερευνητική ομάδα του M.A. Bustamante, μελετήθηκε η βιωσιμότητα της ανακύκλωσης των στερεών αποβλήτων οινοποιίας μέσω συγκομποστοποίησης με ζωικά λιπάσματα. Επίσης αξιολογήθηκε η ποιότητα των τελικών αποκτηθέντων προϊόντων. Στα πλαίσια του πειράματος μετρήθηκαν διάφορες παράμετροι όπως pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, οργανική ουσία, υδροδιαλυτός άνθρακας, υδροδιαλυτές πολυφαινόλες, διαφορετικές μορφές αζώτου (οργανικό άζωτο, αμμώνιο και νιτρικό άλας) καθώς και οι δείκτες χουμοποίησης και του δείκτη βλάστησης. Παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση του N αυξάνεται κατά τη διάρκεια της βιο-οξειδωτικής φάσης, πιθανόν ως επίδραση της μείωσης του όγκου των κομποστοποιήσιμων υλικών. Στη συνέχεια τόσο το άζωτο όσο και ο άνθρακας ακολουθούν την ίδια πορεία εξέλιξης παρουσιάζοντας σημαντική μείωση, λόγω αποδόμησης σε απλούστερες χημικές ενώσεις ή έκλυσής τους προς το περιβάλλον [37].

Στη Γερμανία, η ερευνητική ομάδα του Martin Kranert, μέσω μετρήσεων σε πειραματικό επίπεδο απέδειξε ότι, οι απώλειες του N από τη μάζα των προς κομποστοποίηση υλικών υπό τη μορφή αμμωνίας NH₃, είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τις απώλειες του C προς το περιβάλλον υπό την μορφή CO₂ [38].



3.2 Ισοζύγιο Άνθρακα

Στα πειράματα της συγκεκριμένης έρευνας μετρήθηκαν οι τιμές C και N από την αρχή έως το τέλος της διαδικασίας της κομποστοποίησης, για ένα διάστημα περίπου 200 ημερών. Τα υλικά που προστέθηκαν στους κάδους ήταν υλικά πλούσια σε άζωτο (γρασιδί) αλλά και σε άνθρακα (ελαιοκλαδέματα) και συνεπώς υπήρξε σωστή αναλογία C:N σε όλα τα μίγματα των υλικών.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της αποδόμησης της οργανικής ύλης, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 3.2.1, ο οποίος συγκεντρώνει όλα τα στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη του άνθρακα στο υλικό του κάθε κάδου.

Πίνακας 3.2.1: Εξέλιξη ποσοστού άνθρακα στα υλικά των τεσσάρων κάδων

	Κάδος 1	Κάδος 2	Κάδος 3	Κάδος 4
Συνολική αρχική & ενδιάμεση ποσότητα υλικών (kg)	23,8	30,56	41,5	32,3
% TOC αρχικά	50,52	45,1	50,24	49,7
kg C στην αρχική ποσότητα υλικών	12,02	13,78	20,83	16,05
Συνολική τελική ποσότητα υλικών (kg)	15	24,5	22	24,2
% TOC τελικά	28,4	30,9	35,2	28,4
kg C στην τελική ποσότητα υλικών	4,26	7,57	7,74	6,87
Απώλεια C σε kg	7,76	6,21	13,09	9,18
% απώλεια	64,55	45,06	37,15	57,19

Αναλυτικότερα παρατηρείται ότι, σε όλα τα υλικά υπάρχει μείωση του ποσοστού του C από 35 έως και 65%. Μεγαλύτερη απώλεια καταγράφηκε για τους κάδους, που περιείχαν μόνο ελαιοκλάδεμα (κάδοι 1 και 4), ενώ η μικρότερη χαρακτήρισε τον κάδο 3 που περιείχε ελαιοκλάδεμα και φύκια.

Επίσης είναι δυνατόν να θεωρηθεί πως το ποσοστό C μειώθηκε σε κάθε κάδο, λόγω της αποικοδόμησης του υλικού από τους μικροοργανισμούς και τους



μακροοργανισμούς της κομποστοποίησης. Οι οργανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν καθ' όλη τη διάρκεια της αποδόμησης τον C ως πηγή ενέργειας, για τις μεταβολικές τους δραστηριότητες.

Το 55-75% όλων των φυτικών υπολειμμάτων ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως CO₂, αν και παρατηρούνται διαφορετικοί ρυθμοί απελευθέρωσης από τα διάφορα οργανικά υλικά που ενσωματώνονται στο έδαφος. Γενικά όσο περισσότερος C χάνεται στην ατμόσφαιρα από το οργανικό υπόστρωμα, τόσο λιγότερος C σταθεροποιείται στον χούμο του τελικού προϊόντος. Το μεγαλύτερο μέρος του υπολειμματικού C ενσωματώνεται στο νέο χούμο υπό τη μορφή πεπτιδίων και πολυσακχαριτών. Επομένως η μείωση στα ποσοστά C οφείλεται και στην απομάκρυνσή του από τη μάζα των υλικών, υπό τη μορφή CO₂ και CH₄ προς το περιβάλλον. Τα αέρια αυτά αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, λόγω της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το γεγονός αυτό καθιστά την κομποστοποίηση ως μία όχι και τόσο ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο αξιοποίησης των οργανικών υπολειμμάτων, αφού μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν πως δεν το επηρεάζει αρνητικά.

Με τον τρόπο αυτό, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του αιώνα μας, είναι δυνατόν να επιβαρύνεται ακόμη και από την απλή αυτή διαδικασία, η οποία απελευθερώνει τον C που περιέχεται στα υλικά της, υπό τη μορφή CH₄ και CO₂ στην ατμόσφαιρα.

3.3 *Ισοζύγιο Αζώτου*

Παράλληλα με τις μετρήσεις C πραγματοποιήθηκαν και οι μετρήσεις N στα τέσσερα υλικά των κάδων. Στον Πίνακα 3.3.1 παρουσιάζεται η διακύμανση αζώτου για κάθε ένα από αυτά, σε όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



Πίνακας 3.3.1: Εξέλιξη ποσοστού άνθρακα στα υλικά των τεσσάρων κάδων

	<i>Κάδος 1</i>	<i>Κάδος 2</i>	<i>Κάδος 3</i>	<i>Κάδος 4</i>
<i>Συνολική αρχική & ενδιάμεση ποσότητα υλικών (kg)</i>	<i>23,8</i>	<i>30,56</i>	<i>41,5</i>	<i>32,3</i>
<i>% N αρχικά</i>	<i>3,51</i>	<i>3,75</i>	<i>2,38</i>	<i>3,3</i>
<i>kg N στην αρχική ποσότητα υλικών</i>	<i>0,83</i>	<i>1,13</i>	<i>1</i>	<i>1,07</i>
<i>Συνολική τελική ποσότητα υλικών (kg)</i>	<i>15</i>	<i>24,5</i>	<i>22</i>	<i>24,2</i>
<i>% N τελικά</i>	<i>1,5</i>	<i>1,7</i>	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>
<i>kg N στην τελική ποσότητα υλικών</i>	<i>0,22</i>	<i>0,42</i>	<i>0,62</i>	<i>0,36</i>
<i>Απώλεια N σε kg</i>	<i>0,60</i>	<i>0,71</i>	<i>0,62</i>	<i>0,71</i>
<i>% απώλεια</i>	<i>72,89</i>	<i>62,83</i>	<i>62</i>	<i>66,35</i>

Συγκεκριμένα, και στους τέσσερις κάδους η περιεκτικότητά τους σε N μειώθηκε σημαντικά. Η μείωση του N ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με την απώλεια του C, αφού η απώλεια των υλικών σε άζωτο άγγιζε το 62 με 73%. Η σημαντικότερη μείωση N παρατηρήθηκε, όπως και για τον C, στους κάδους 1 και 4 (ελαιοκλάδεμα), ενώ η μικρότερη απώλεια καταγράφηκε για τους κάδους 2 και 3 (γρασίδι και φύκια αντίστοιχα).

Όμως, το ποσοστό μείωσης του αζώτου δεν παρουσίασε πολύ μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των τεσσάρων δειγμάτων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η απώλεια σε άζωτο δικαιολογείται από την απομάκρυνσή του από τον όγκο του κομποστ υπό τη μορφή αέριας αμμωνίας (NH₄) προς το περιβάλλον. Η αμμωνία παράγεται από τα βακτήρια, που δρουν κατά τη φάση της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η αμμωνία ως αέριο που εκλύεται από τη διαδικασία της κομποστοποίησης δεν επιβαρύνει αρνητικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού δεν συμπεριλαμβάνεται στα αέρια εκείνα με συνεισφορά στο φαινόμενο.



Είναι επίσης δυνατόν η μείωση του αζώτου από την μάζα των υλικών να προήλθε από την απομάκρυνσή του κατά το πότισμα των υλικών, αφού η βάση των κάδων δεν ήταν κλειστή και ήταν σε άμεση επαφή με το έδαφος.

Επιπλέον, μία μικρή μείωση ενδεχομένως να προήλθε από την κατανάλωσή του από τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι με αυτό κάλυψαν την αναπαραγωγική και μεταβολική δραστηριότητά τους.



Κεφάλαιο 4

Τεχνοοικονομική πρόταση κατασκευής και λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας

4.1 Αντικείμενο τεχνοοικονομικής πρότασης

Η πρόταση αυτή αποτελεί μία τεχνοοικονομική προσέγγιση για σχεδιασμό και κατασκευή μονάδας ολοκληρωμένης διαχείρισης ελαιοκλαδεμάτων στο Δημοτικό Διαμέρισμα Βασιλακίου του Νομού Λακωνίας. Ως προϊόν στοχεύεται η δημιουργία τριών τελικών προϊόντων, τα οποία είναι: α) φύλλα ελιάς, β) βιολίπασμα, γ) πελλέτες, τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα για εκχύλιση ή ζωοτροφή, για καλλιέργειες ή εδαφοβελτιωτικά και για την παραγωγή ενέργειας. Ως πρώτη ύλη θα χρησιμοποιηθούν τα ελαιοκλαδέματα που παράγονται στην περιοχή του Δημοτικού Διαμερίσματος. Η αγορά των προϊόντων θα είναι εγχώρια, απευθυνόμενη κυρίως στην Πελοπόννησο. Παρά ταύτα, η δυναμικότητα, η παραγωγική διαδικασία και η αγορά είναι παράμετροι προς σχεδιασμό και αριστοποίηση.

Το πλήθος των ελαιοκλαδεμάτων που παράγεται στα πλαίσια του Δημοτικού Διαμερίσματος αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό της εθνικής παραγωγής και πρόκειται να διαχειριστούν αποκλειστικά από τη μονάδα ολοκληρωμένης διαχείρισης ελαιοκλαδεμάτων, που θα κατασκευαστεί στην περιοχή. Έτσι, σύμφωνα με πρόσφατες καταγραφές του Δήμου Κροκεών, στον οποίο υπάγεται το Δημοτικό Διαμέρισμα Βασιλακίου, καταγράφηκαν σε αυτό περίπου 300.000 ελαιόδεντρα (καταγραφή του 1991 για τα παραγωγικά δέντρα). Επιπροσθέτως, από τα ελαιόδεντρα αυτά παράγονται 2.100 τόνοι/έτος ελαιοκάρπου, καθώς και ποσότητα ελαιόλαδου ίση με 420 τόνοι ετησίως. Επομένως, για τα συγκεκριμένα δεδομένα προκύπτει ότι η αναλογία ελαιοκάρπου : ελαιόλαδο είναι περίπου ίση με 5:1, ενώ η



αναλογία ελαιοκάρπου : κλαδέματα είναι ίση με 1:3. Τέλος όσον αφορά την αναλογία ελαιοδέντρων : κλαδέματα, αυτή ισούται με 50:1.

Επιπλέον, από στατιστικά στοιχεία και εμπειρικές μετρήσεις προκύπτει ότι από κάθε ελαιοδέντρο παράγονται 15 - 25 κιλά κλαδέματος, ανάλογα πάντα με την ηλικία του, αφού από δέντρα μεγαλύτερης ηλικίας είναι αναμενόμενο να προκύπτει μεγαλύτερο ποσοστό βιομάζας. Έτσι, η ποσότητα ελαιοκλαδεμάτων που παράγεται στα πλαίσια του Δημοτικού Διαμερίσματος, κατά μέσο όρο αγγίζει τους 6.000 τόνοι/έτος, (20 kg/ ελαιοδέντρο x 300.000 ελαιοδέντρα).

Από τα ελαιοκλαδέματα αυτά, μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισής τους, θα παράγονται τρία τελικά προϊόντα, τα οποία θα είναι: α) φύλλα ελιάς, β) βιολίπασμα - compost και γ) πελλέτες με διαφορετική μέθοδο παραγωγής.

4.2 Μέθοδοι Παραγωγής

Ως κύριες διεργασίες της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ελαιοκλαδεμάτων μπορούν να θεωρηθούν οι παρακάτω:

- **Αποφύλλωση** των κλαδεμάτων ελιάς και παραλαβή των φύλλων τους, να οδηγηθούν προς εκχύλιση ή παραγωγή ζωοτροφής.
- **Κομποστοποίηση** με άμεσο σκοπό την παραγωγή βιολιπάσματος - κομπόστ.
- **Πελλετοποίηση** για την παραγωγή πελλετών και την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας των ελαιοδέντρων

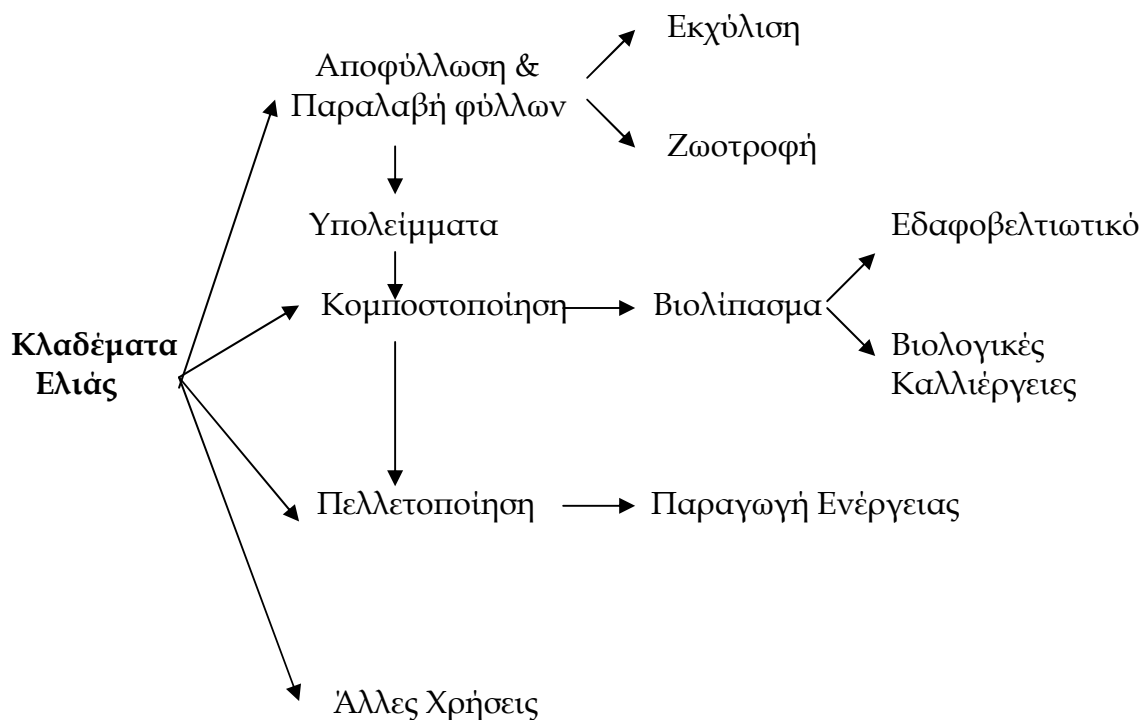


Εικόνα 4.2.1: Ελαιόφυλλα (αριστερά) - Κομπόστ (κέντρο) -



Πελλέτες (δεξιά)

Έτσι, το «οργανόγραμμα» της διαδικασίας που πρόκειται να λαμβάνει χώρα για την παραγωγή των τελικών προϊόντων είναι:



Σχήμα 4.2.1: Διάγραμμα παραγωγής τελικών προϊόντων

Ως άλλες χρήσεις μπορούν ενδεικτικά να αναφερθούν η πυρόλυση για την παραγωγή υδρολυτικών ελαίων, η ανθρακοποίηση για την παραγωγή κάρβουνου, η αεριοποίηση για την παραγωγή αερίου αλλά και η αλκοολική ζύμωση για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

4.3 Συνοπτικό διάγραμμα ροής

Καθεμία από τις παραγωγικές διαδικασίες μπορεί να διαχωριστεί σε επιμέρους στάδια. Αναλύοντας ξεχωριστά εκάστη έχουμε:



α) Αποφύλλωση Κλαδεμάτων

- α1. Ξήρανση ελαιοκλαδεμάτων κάτω από ειδικό στέγαστρο
- α2. Μηχανικός διαχωρισμός φύλλων - ξύλου
- α3. Αποθήκευση αποξηραμένων φύλλων - Συσκευασία
- α4. Απομάκρυνση υπολειμμάτων ξύλου από τον χώρο αποφύλλωσης προς κομποστοποίηση ή πελλετοποίηση
- α5. Σύστημα διάθεσης

β) Κομποστοποίηση

- β1. Τεμαχισμός - θρυμματισμός κλαδεμάτων
- β2. Δημιουργία σειραδίων κομποστοποίησης
- β3. Έλεγχος ύπαρξης βέλτιστων συνθηκών κομποστοποίησης (T, O₂, RH)
- β4. Συσκευασία ώριμου compost
- β5. Αποθήκευση
- β6. Σύστημα διάθεσης

γ) Πελλετοποίηση

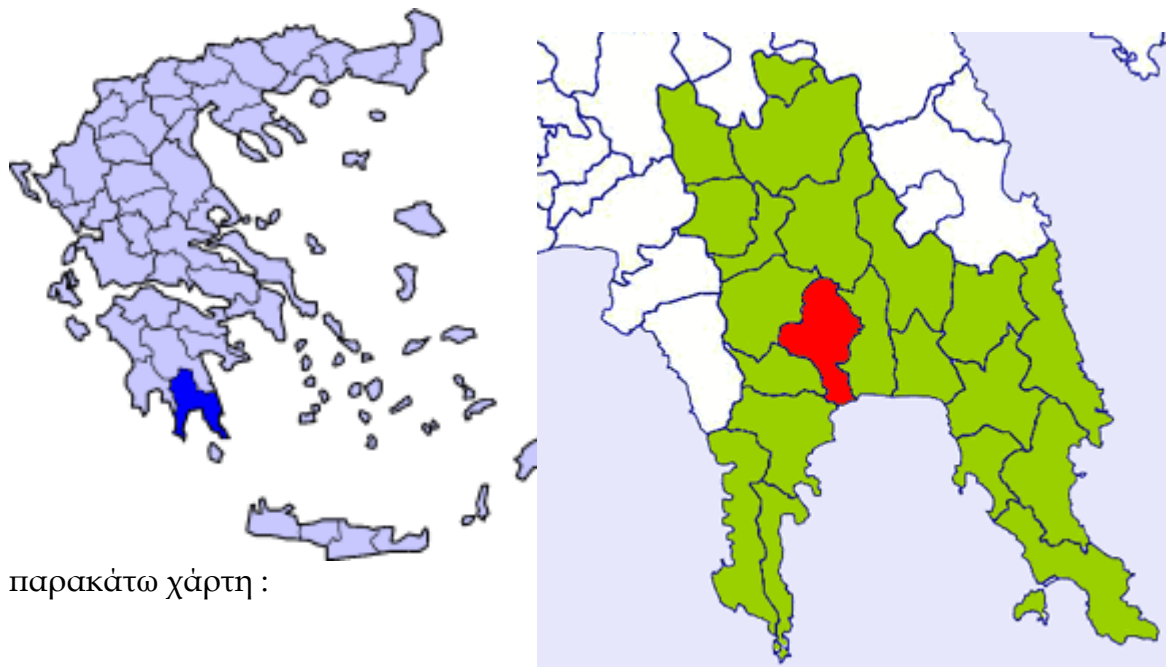
- γ1. Τεμαχισμός - θρυμματισμός κλαδεμάτων
- γ2. Πελλετοποίηση με τη χρήση μηχανής πελλετοποίησης
- γ3. Συσκευασία πελλετών
- γ4. Αποθήκευση
- γ5. Σύστημα διάθεσης

4.4 Εκτίμηση κόστους συγκέντρωσης ελαιοκλαδεμάτων

Προκειμένου να γίνει εφικτή η εκτίμηση του κόστους συγκέντρωσης των ελαιοκλαδεμάτων, έγινε ένας βασικός προσδιορισμός των μέσων διαδρομών που θα ακολουθούνται, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μεταφορά τους από τους γύρω



ελαιώνες στη μονάδα. Το Δημοτικό Διαμέρισμα Βασιλακίου υπάγεται στον Δήμο Κροκεών του Νομού Λακωνίας, που η έκτασή του οριοθετείται σύμφωνα με τον



παρακάτω χάρτη :

Σχήμα 4.4.1: Όρια δήμου Κροκεών





Σχήμα 4.4.2: Δημοτικό διαμέρισμα Βασιλακίου

Έτσι, προκειμένου να γίνει εκτίμηση του κόστους συγκέντρωσης των ελαιοκλαδεμάτων, ήταν αναγκαίο να υπολογιστούν οι μέσες διαδρομές. Θεωρήσαμε ότι, το κόστος για τη μεταφορά ενός τόνου κλαδεμάτων σε απόσταση ενός χιλιομέτρου είναι περίπου 0,15 €.

Η μέση χιλιομετρική απόσταση της μονάδας από τους ελαιώνες θα είναι 2 Km. Άρα ένα μέσο κόστος της μεταφοράς των ελαιοκλαδεμάτων στην μονάδα προκύπτει από τα παραπάνω ως εξής :

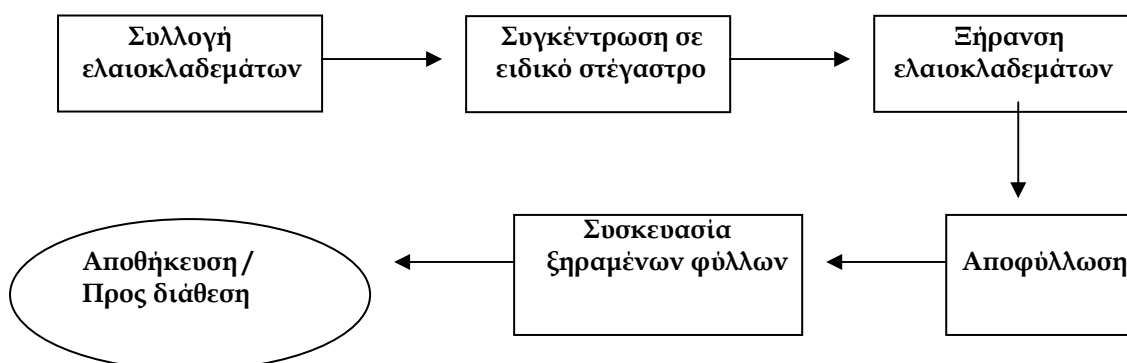
Μέσο Κόστος : $2 \text{ Km} \times 0.15 \text{ €} = 0.30 \text{ €/τόνο}$

4.5 Σχεδιασμός και Επιλογή Εξοπλισμού

4.5.1 Αποφύλλωση

Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστεί προκειμένου να γίνει εφικτή μία ολοκληρωμένη διαχείριση των ελαιοκλαδεμάτων είναι η μη συνεχής παραγωγή τους κατά την διάρκεια του έτους, αφού το χειμώνα η ποσότητά τους είναι η μέγιστη δυνατή, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες είναι από ελάχιστη έως μηδενική. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού και προκειμένου να αποφευχθούν περιστατικά έλλειψης και μη δυνατότητας παροχής στους αγοραστές των τελικών προϊόντων συνίσταται :

1. διατήρηση αποθέματος ικανού να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της αγοράς ανά πάσα ώρα και στιγμή, τόσο σε φύλλα και κόμποστ όσο και σε πελλέτες
2. ενίσχυση τους καλοκαιρινούς μήνες από υπολείμματα άλλων καλλιεργειών ή οργανικά υπολείμματα.



Σχήμα 4.5.1 : Διάγραμμα ροής διαδικασίας αποφύλλωσης

Για την ορθή ξήρανση των ελαιοκλαδεμάτων συνίσταται η συλλογή και η συγκέντρωσή τους κάτω από ειδικό στέγαστρο. Το στέγαστρο αυτό θα πρέπει να παρέχει στα κλαδέματα προστασία τόσο από την βροχή και την υγρασία, όσο και από την έκθεση τους στον ήλιο. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να είναι συγκεκριμένη, ώστε τα φύλλα να μην σαπίσουν και να μην κιτρινίσουν, αλλά να διατηρήσουν το πράσινο χρώμα τους ακόμα και όταν ξεραθούν. Την ξήρανση θα πρέπει οπωσδήποτε να ακολουθεί η αποφύλλωση των κλαδεμάτων, προκειμένου να επιτευχθεί διαχωρισμός των χρήσιμων φύλλων από το ξύλο των κλαδιών. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται μία κοινή συσκευή αποφύλλωσης.



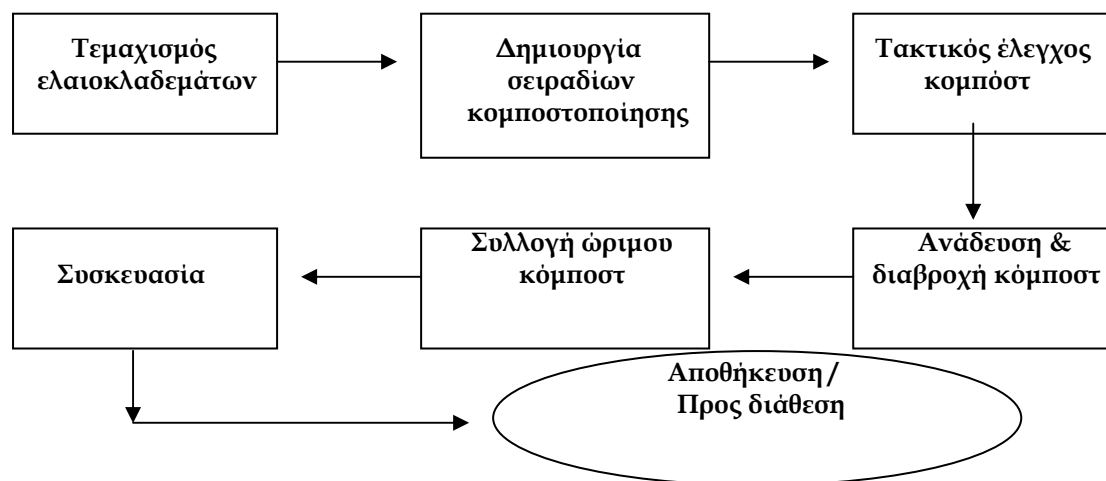
Εικόνα 4.5.1: Ενδεικτικό σύστημα αποφύλλωση σε εγκατάσταση ελαιοτριβείου (αριστερά) - Σύστημα ενσάκκισης (δεξιά)



Απαραίτητη είναι επίσης η συσκευασία των διαχωρισμένων και καθαρών φύλλων καθώς και η αποθήκευσή τους. Σε καμία περίπτωση τα αποξηραμένα φύλλα δεν θα πρέπει να έρθουν σε επαφή με υγρασία ή να βραχούν. Για τον λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης στον χώρο της μονάδας, ειδικών σάκων για την συσκευασία των φύλλων.

4.5.2 Κομποστοποίηση

Βασικός κανόνας για μία ορθή πρακτική κομποστοποίησης, είναι ο σωστός τεμαχισμός των κλαδεμάτων που θα αναμειχθούν στα σειράδια. Σημαντικότερα στοιχεία της διαδικασίας αυτής αποτελούν ο τεμαχιστής, μηχάνημα με την βοήθεια του οποίου, οποιοδήποτε κλάδεμα μπορεί να τεμαχιστεί σε μικρότερα κομμάτια, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η αποδόμησή του από τους μικροοργανισμούς της διαδικασίας της κομποστοποίησης.



Σχήμα 4.5.2 : Διάγραμμα ροής διαδικασίας κομποστοποίησης

Ο σωστός αερισμός των σειραδίων είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δύο μεθόδους : α) με απλή ανάδευση του σειραδίου ή β) τεχνητά, με την ενσωμάτωση



μέσα στο σειράδι διάτρητων σωλήνων μέσω των οποίων θα επιτυγχάνεται επαρκής αερισμός. Επομένως, ίσως μέρος του εξοπλισμού χρειαστεί να αποτελέσει ένας συγκεκριμένος αριθμός διάτρητων σωλήνων, ή ένα μηχάνημα για την ανάδευση των σειραδίων.

Για την δημιουργία ενός υγιούς κόμποστ, είναι απαραίτητη και η ύπαρξη ενός σημαντικού πλήθους οργάνων, μέσω των οποίων θα πραγματοποιούνται μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων σημαντικών για το τελικό προϊόν. Επιτακτική λοιπόν είναι η αγορά ειδικού θερμομέτρου, υγρασιόμετρου, πεχαμέτρου και O_2 καθώς και όργανο μέτρησης της σχετικής υγρασίας. Ζωτικής σημασίας για την σωστή πορεία της κομποστοποίησης είναι η σωστή αναλογία C:N. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η ύπαρξη οργάνων για την μέτρηση τόσο του άνθρακα όσο και του αζώτου. Απαραίτητη κρίνεται επίσης η αγορά συστήματος διαβροχής για την διατήρηση της σωστής υγρασίας στα σειράδια κομποστοποίησης. Τέλος απαιτείται η ύπαρξη μηχανήματος τυποποίησης του ώριμου κόμποστ σε σακιά αλλά και ειδικός χώρος αποθήκευσης του χύμα κόμποστ.

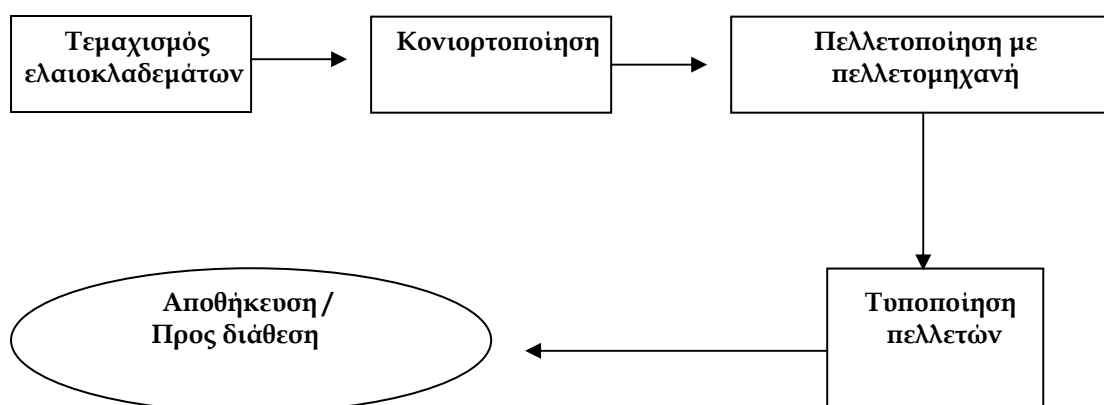


Εικόνα 4.5.2 : Σειράδια κομποστοποίησης



4.5.3 Πελλετοποίηση

Η πελλετοποίηση - όπως και η κομποστοποίηση - προκειμένου να πραγματοποιηθεί απαιτεί την ύπαρξη τεμαχιστή, για τον τεμαχισμό των κλαδεμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πελλέτας. Τα τεμαχισμένα κομματάκια ξύλου που προκύπτουν, θα πρέπει με την βοήθεια ενός "οδηγού" σωλήνα να οδηγούνται στην πελλετομηχανή, όπου θα πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός τους στο τελικό στερεό καύσιμο που είναι γνωστό ως πελλέτα. Τέλος για την σωστή συντήρηση αλλά και την μεταφορά των πελλετών, συστήνεται η τυποποίησή τους σε σάκους ή η αποθήκευσή τους σε ειδικά σιλό. Απαραίτητη είναι λοιπόν μία συσκευή τυποποίησης του τελικού προϊόντος.



Σχήμα 4.5.3: Διάγραμμα ροής διαδικασίας πελλετοποίησης



Εικόνα 4.5.3: Μηχανή πελλετοποίησης (αριστερά) - Πελλέτες (δεξιά)



4.6 Εκτίμηση Επενδυτικού & Λειτουργικού Κόστους

4.6.1 Υπολογισμός Πάγιου Κόστους & Αρχικού Κεφαλαίου Κίνησης

Η δημιουργία μιας μονάδας απαιτεί δαπάνες για την εκπόνηση μελετών, την αγορά ή ενοικίαση οικοπέδου και τη διαμόρφωσή του, για την αγορά και εγκατάσταση μηχανημάτων, διασυνδέσεων και εξαρτημάτων κ.α. Το σύνολο των δαπανών που απαιτούνται από την σύλληψη της ιδέας μέχρι την υλοποίησή της σε παραγωγική μονάδα και ακριβώς πριν τεθεί σε κανονική λειτουργία, αποτελούν το Κεφάλαιο Ίδρυσης.

Αυτό διακρίνεται σε πάγιο και αρχικό κεφάλαιο κίνησης. Το πάγιο κεφάλαιο αφορά δαπάνες για την κτήση ή κατασκευή του εξοπλισμού και την εγκατάστασή του, ενώ το αρχικό κεφάλαιο κίνησης αφορά δαπάνες που απαιτούνται ώστε να γίνει δυνατή η παραγωγή μέχρι του σημείου κανονικής λειτουργίας. Από το σημείο αυτό και πέρα, έχουμε συνήθως μόνο λειτουργικές δαπάνες και έσοδα από την πώληση των προϊόντων.

Όσον αφορά το πάγιο κεφάλαιο, C (ή πάγιο κόστος), αυτό διακρίνεται σε επιμέρους στοιχεία που δίνονται συνοπτικά κάτωθι:

<u>Εγκαταστάσεις και Μηχανήματα</u>	<u>Αξία (€)</u>
Μηχανή αποφύλλωσης	25.000
Μηχανή πελλετοποίησης	50.000
Τεμαχιστής ελαιοκλαδεμάτων	30.000
Μηχάνημα ανάδευσης σειραδίων κομποστοποίησης	40.000
Φορητό όχημα	70.000
Εγκαταστάσεις - Σωληνώσεις	80.000
Εξοπλισμός εργαστηρίου ποιοτικού ελέγχου	50.000
Μονάδα ενσάκκισης	80.000
Εξοπλισμός ασφάλειας - Ρουχισμός	2.000



<u>Εξοπλισμός γραφείων – Επίπλωση</u>	10.000
Σύνολο	437.000
 <u>Κτίρια - Γήπεδα</u>	
Γραφεία, εργαστήριο, αποθήκες & εξοπλισμός κτιρίων	300.000
Περίφραξη	3.000
<u>Οικόπεδο</u>	50.000
Σύνολο	353.000
 Γενικό Σύνολο	790.000
<u>Και 10% απρόβλεπτα</u>	79.000
 Συνολικό Πάγιο Κόστος, C	869.000

Το αρχικό κεφάλαιο κίνησης, IC, υπολογίζεται με προσεγγιστικό τρόπο ίσο με 156.000 € ως ποσοστό του πάγιου κεφαλαίου, C, σύμφωνα με τον τύπο:

$$IC = (0.05 - 0.30) C$$

Το Κεφάλαιο Ίδρυσης υπολογίζεται τώρα από το άθροισμα του Συνολικού Πάγιου Κεφαλαίου και του Αρχικού Κεφαλαίου Κίνησης οπότε ισούται με 1.025.000 €.

4.6.2 Υπολογισμός Λειτουργικού Κόστους

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση του λειτουργικού κόστους υπολογίστηκαν ξεχωριστά καθένα από τα στοιχεία του πίνακα που ακολουθεί.

Αξιζει να σημειωθεί ότι η τιμή των τριών τελικών προϊόντων στη χώρα μας είναι περίπου :



- για τα φύλλα → 2 €/ Kg
- για την πελλέτα → 150 € /τόνος
- για το κομπόστ → 0,16 € /lt

Στηριζόμενοι στο ότι η μονάδα μας είναι δυνατό να επεξεργαστεί 6.000 τόνους ελαιοκλαδέματα το χρόνο και γνωρίζοντας τις τιμές των τελικών της προϊόντων στην αγορά, είναι δυνατόν να θέσουμε τις τιμές των τελικών μας προϊόντων ίσες με το 60% των τιμών λιανικής που προαναφέρθηκαν, θεωρώντας τρία πιθανά σενάρια καθαρών κερδών. Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 4.6.1: Πιθανά σενάρια παραγωγής τελικών προϊόντων

	Φύλλα (Kg)	Compost (Kg)	Pellets (Kg)
Σενάριο 1	1.000	2.000	3.000
Σενάριο 2	500	2.500	3.000
Σενάριο 3	500	1.500	4.000



Πίνακας 4.6.2: Στοιχεία λειτουργικού κόστους - Περιγραφή κόστους επένδυσης

	Περιγραφή Κόστους	€/έτος
1	Πρώτες & Βοηθητικές Ύλες	600.000
2	Ενέργεια	30.000
3	Εργατικά	137.000
4	Συντήρηση	21.800
5	Έξοδα Διοίκησης	148.000
6	Ασφάλιστρα	8.700
7	Αποσβέσεις	57.700
8	Τόκοι - Χρεολύσια	-
9	Γενικά Έξοδα	
	(σενάριο 1)	50.000
	(σενάριο 2)	33.000
	(σενάριο 3)	33.300
	Λειτουργικό Κόστος, OC'	
	(σενάριο 1)	1.054.000
	(σενάριο 2)	1.037.300
	(σενάριο 3)	1.037.100

4.7 Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης

Ο ρυθμός επιστροφής της αρχικής επένδυσης, i_r , ορίζεται ως εξής :

$$i_r = K / (C + IC)$$

Μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών επενδύσεων, θα επιλεγεί εκείνη με το μεγαλύτερο i_r . Όταν εξετάζεται μεμονωμένα μία επένδυση το i_r πρέπει να είναι μεγαλύτερο από έναν ελάχιστο αποδεκτό ρυθμό επιστροφής που έχει καθοριστεί από την επιχείρηση. Από τα ανωτέρω δεδομένα για κάθε ένα από τα σενάρια υπολογίζεται ότι :

Σενάριο 1 : $i_r = 41,5$

Σενάριο 2 : $i_r = 5,0$

Σενάριο 3 : $i_r = 4,6$



4.8 Χρόνος αποπληρωμής

Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να ανακτηθεί το κεφάλαιο ίδρυσης από τα έσοδα που δημιουργούνται από την λειτουργία της εγκατάστασης. Πολύ απλά, ο χρόνος αποπληρωμής, τ , μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση :

$$\tau = (C + IC) / K$$

Έτσι, για κάθε ένα από τα σενάρια το ο χρόνος αποπληρωμής, υπολογίστηκε ίσος με:

Σενάριο 1 : $\tau = 2,4$

Σενάριο 2 : $\tau = 20,2$

Σενάριο 3 : $\tau = 21,9$

4.9 Αξιολόγηση επένδυσης

Σχετικά με την αξιολόγηση καθενός από τα παραπάνω σενάρια που εξετάστηκαν, παρατηρώντας τον Ρυθμό Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης, αλλά και το Χρόνο Αποπληρωμής για το κάθε σενάριο συμπεραίνεται ότι :

- Το Σενάριο 1 συμφέρει να υλοποιηθεί, γιατί με τα συγκεκριμένα δεδομένα παρουσιάζει απόδοση της τάξης του 41,5%. Το ποσοστό αυτό είναι υψηλότερο από το τρέχον προεξοφλητικό επιτόκιο, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επένδυση είναι βιώσιμη.
- Ο χρόνος αποπληρωμής για το Σενάριο 1, μπορεί να θεωρηθεί πλήρως ικανοποιητικός, αφού το σύνολο του εξοπλισμού της μονάδας είναι καινούριο.
- Η υλοποίηση του Σεναρίου 2 δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον, αφού η απόδοσή του είναι 5%, δηλαδή ίση με το τρέχον τραπεζικό επιτόκιο.



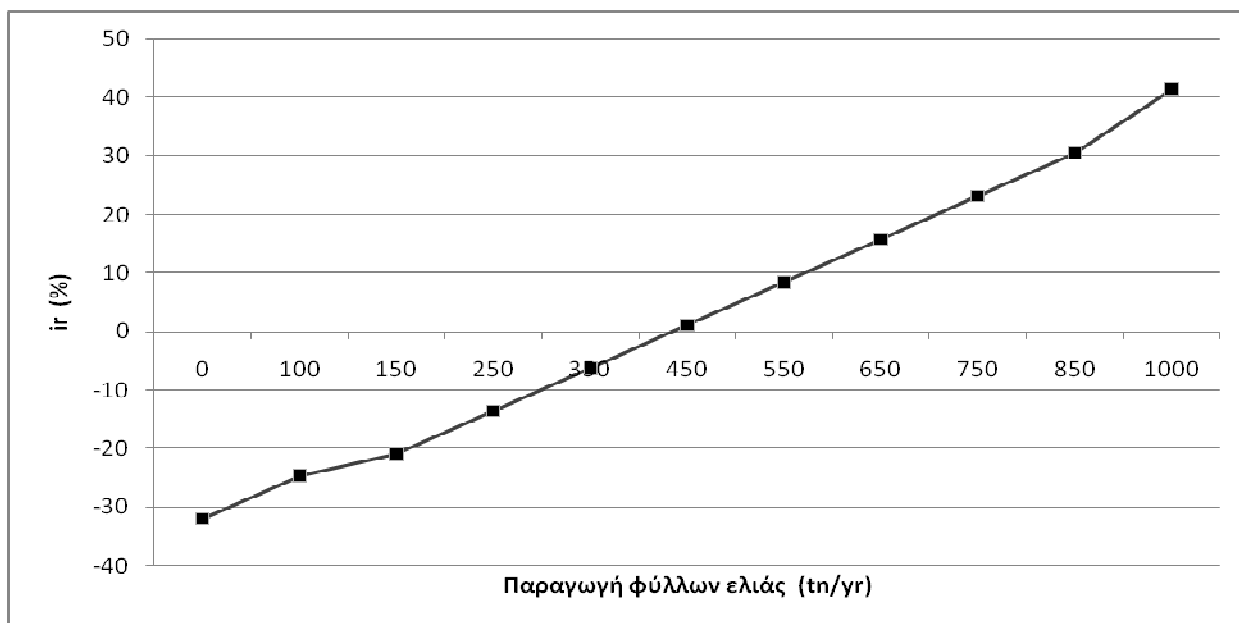
- Ο χρόνος αποπληρωμής για το Σενάριο 2 αυξάνεται κατά πολύ σε σχέση με αυτόν του Σεναρίου 1, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μείωση της παραγωγής φύλλων και η ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγής κομπόστ, δεν επιφέρει τα επιθυμητά οικονομικά αποτελέσματα και επομένως την κάλυψη βασικών αναγκών.
- Όσον αφορά το Σενάριο 3 αποτελεί ένα μη συμφέρον σενάριο από το οποίο συμπεραίνεται ότι η παραγωγή κομπόστ είναι οικονομικά αδιάφορη. Η υψηλή παραγωγή φύλλων φαίνεται να είναι αυτή που καθορίζει την βιωσιμότητα της μονάδας, αφού το κομπόστ λόγω της μικρής τιμής του δεν δίνει ιδιαίτερα έσοδα σε αυτήν.

4.10 Ανάλυση ευαισθησίας

Στο σημείο αυτό εξετάστηκε ο βαθμός αβεβαιότητας που είναι συνυφασμένος με την εκτίμηση της απόδοσης του επενδυτικού σχεδίου από τυχόν μεταβολές στις παραδοχές του βασικού σεναρίου.

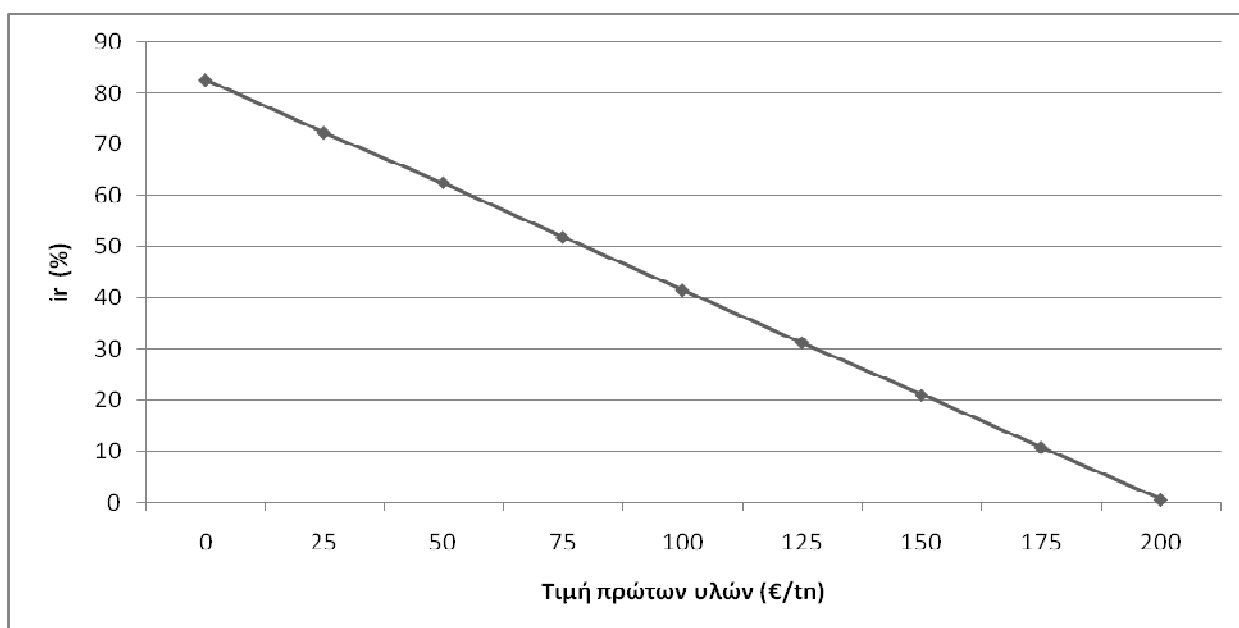
Για το σκοπό αυτό ο ρυθμός επιστροφής της αρχικής επένδυσης έχει υπολογιστεί για την περίπτωση τυχόν μεταβολών, στα βασικά μεγέθη ταμειακών ροών. Από όλα αυτά τα μεγέθη ως πλέον ευαίσθητο κρίνεται α) η τιμή των πρώτων υλών, β) οι ποσότητες παραγωγής για το καθένα από τα τελικά προϊόντα, και γ) το συνολικό πάγιο κόστος. Από αυτά προέκυψαν τα αποτελέσματα που ακολουθούν.

Το διάγραμμα του Σχήματος 4.10.1 που δημιουργήθηκε διατηρώντας σταθερές όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους και μεταβάλλοντας την ποσότητα παραγωγής *φύλλων*, αυξάνοντας μόνο αντίστοιχα την παραγωγή κομπόστ από τη μονάδα. Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται η παραγωγή φύλλων και αυξάνεται η παραγωγή ενός από τα δύο άλλα τελικά προϊόντα της μονάδας, μειώνεται σταδιακά και ο Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης, έως ότου μηδενιστεί για παραγωγή φύλλων ίση με 435 τόνους/έτος.



Σχήμα 4.10.1: Μεταβολή του Ρυθμού Επιστροφής σε σχέση με την ποσότητα παραγωγής φύλλων

Έτσι, συμπεραίνεται ότι, για να είναι εφικτή η βιωσιμότητα της μονάδας θα πρέπει η παραγωγή φύλλων να διατηρείται σε αρκετά υψηλό επίπεδο, σε αντίθεση με την παραγωγή κόμποστ (τελικό προϊόν με την χαμηλότερη τιμή) ή πελλετών.

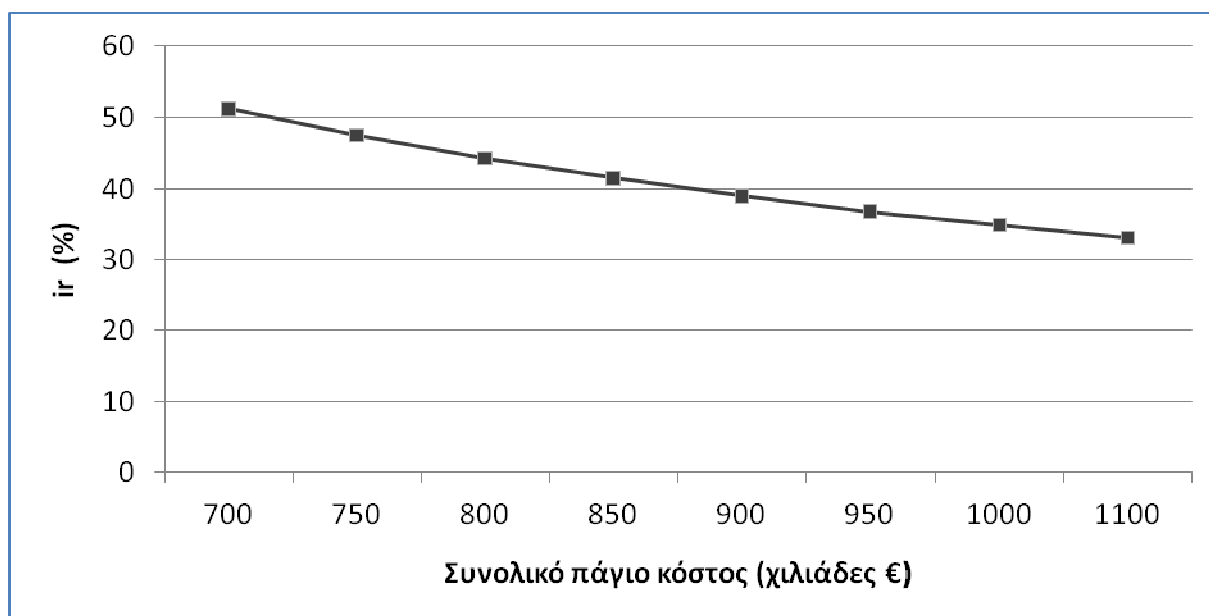


Σχήμα 4.10.2: Μεταβολή του Ρυθμού Επιστροφής σε σχέση με την τιμή πρώτων υλών



Για την δημιουργία του διαγράμματος του Σχήματος 4.10.2 μεταβάλλεται η τιμή των πρώτων υλών (ελαιοκλαδέματα) που δέχεται η μονάδα, διατηρώντας πάντα σταθερές όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους. Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι καθώς η τιμή των πρώτων υλών μειώνεται, ο Ρυθμός Επιστροφής της Αρχικής Επένδυσης αρχίζει να αυξάνεται σημαντικά.

Ωστόσο, για οιαδήποτε από τις τιμές της πρώτης ύλης ο Ρυθμός Επιστροφής της Αρχικής Επένδυσης εξακολουθεί να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικός και να ενθαρρύνει τη δημιουργία της συγκεκριμένης μονάδας.



Σχήμα 4.10.3: Μεταβολή του Ρυθμού Επιστροφής σε σχέση με το Συνολικό Πάγιο Κόστος

Το διάγραμμα του Σχήματος 4.10.3 δημιουργήθηκε θεωρώντας τις διαφορετικές τιμές για το Συνολικό Πάγιο Κόστος και διατηρώντας όλες τις λοιπές παραμέτρους σταθερές. Παρατηρώντας την ευθεία του διαγράμματος συμπεραίνεται ότι ο Ρυθμός Επιστροφής της Αρχικής Επένδυσης αυξάνεται καθώς το Συνολικό Πάγιο Κόστος παρουσιάζει μείωση.



4.11 Συμπεράσματα Τεχνοοικονομικής πρότασης

Από την ανωτέρω ανάλυση ευαισθησίας, είναι φανερό ότι, η προτεινόμενη επένδυση είναι αρκετά ευαίσθητη στη μεταβολή της τιμής των φύλλων. Είναι επίσης σαφές ότι μια μεταβολή στην τιμή των πρώτων υλών μεταβάλλει σημαντικά την αποδοτικότητα της επένδυσης.

Το ύψος του αναμενόμενου κέρδους θεωρείται αρκετά αξιόλογο και τα κριτήρια αξιολόγησης (Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης και Χρόνος Αποπληρωμής), συνηγορούν με βεβαιότητα για την περισσότερο λεπτομερή εξέταση του επενδυτικού σχεδίου, προς την κατεύθυνση της ανάληψης του εγχειρήματος.

Για τη δικαιολόγηση των παραπάνω απόψεων, αναφέρεται ενδεικτικά ότι το τυπικό Συνολικό Πάγιο Κόστος που καλύπτει την δυναμικότητα των 6.000 τόνων/έτος, είναι ίσο με 869.000 €, ενώ ένα τυπικό επίσης Αρχικό Κεφάλαιο Κίνησης για την συγκεκριμένη μονάδα, φτάνει τα 156.000 €. Το Λειτουργικό Κόστος της επένδυσης αυτής ακολουθώντας το βασικό σενάριο (Σενάριο 1), υπολογίζεται περί τα 1.054.000 €. Τα προβλεπόμενα έσοδα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά και εκτιμώνται σε 426.000 €, ενώ η απόδοση της μονάδας για το ίδιο σενάριο παρουσιάζεται εξαιρετικά θετική αφού, ο Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης εκτιμάται περί του 41,5 και ο Χρόνος Αποπληρωμής γίνεται ίσος με 2,4.

Αξιολογώντας τα παραπάνω αποτελέσματα απορρέει το συμπέρασμα ότι όσο η παραγωγή των φύλλων μειώνεται και αυξάνεται η παραγωγή της πελλέτας, τόσο μειώνεται σταδιακά ο Ρυθμός Επιστροφής της Αρχικής Επένδυσης. Επομένως είναι φανερό ότι η βιωσιμότητα της μονάδας προϋποθέτει την υψηλή παραγωγή φύλλων σε αντίθεση με την παραγωγή κομπόστ και πελλετών.

Επιπρόσθετα, καθώς η τιμή των πρώτων υλών τείνει να μειωθεί, ο Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης, παρουσιάζεται ιδιαίτερα ικανοποιητικός, αφού η απόδοση της μονάδας φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά. Παρατηρήθηκε επίσης ότι ο Ρυθμός Επιστροφής Αρχικής Επένδυσης αυξάνεται σταδιακά, καθώς το συνολικό Πάγιο Κόστος μειώνεται.



Συμπερασματικά, για να γίνει εφικτή η βιωσιμότητα της μονάδας Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Ελαιοκλαδεμάτων, η τιμή αγοράς των πρώτων υλών θα πρέπει να μην επιβαρύνει σημαντικά το κέρδος της μονάδας. Το μέγεθος παραγωγής για καθένα από τα τρία τελικά προϊόντα θα πρέπει να προσδιορίζεται ανάλογα με την προσφορά αυτού στα καθαρά κέρδη της μονάδας. Τέλος, είναι φανερό ότι είναι προτιμότερη η αυξημένη παραγωγή του τελικού προϊόντος με την υψηλότερη τιμή, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα φθηνότερα τελικά προϊόντα. Έτσι, η υλοποίηση του βασικού σεναρίου είναι δυνατόν να επιφέρει την άμεση απόσβεση των εγκαταστάσεων της μονάδας αλλά και την δημιουργία ιδιαίτερα ενθαρρυντικών κερδών.



Κεφάλαιο 5

Γενικά συμπεράσματα

5.1 Κομποστοποίηση: παρούσα κατάσταση και προοπτικές

Την τελευταία δεκαετία η κομποστοποίηση κερδίζει διαρκώς έδαφος ως εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μορφές διάθεσης των οργανικών υπολειμμάτων και σήμερα θεωρείται ως η καταλληλότερη επεξεργασία για όλες τις μορφές των βιοδιασπώμενων απορριμμάτων. Οι ποσότητες των οργανικών που μπορούν να κονιορτοποιηθούν δεν είναι γνωστές με ακρίβεια, αλλά υπάρχουν έγκυρες εκτιμήσεις για την Ευρώπη και τις Η.Π.Α. Η Ευρωπαϊκή Ένωση παράγει περίπου 2.5 δισεκατομμύρια τόνους απορριμμάτων ετησίως, τα οποία πρέπει με κάποιον τρόπο να αντιμετωπιστούν. Από αυτή την ποσότητα, περίπου το ένα εκατομμύριο τόνοι είναι αγροτικά υπολείμματα, τα οποία αποτελούν ιδανική πρώτη ύλη για κομποστοποίηση και παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής καλής ποιότητας κομπόστ.

Στον τομέα της επεξεργασίας των οργανικών υπολειμμάτων παρουσιάζεται μία Ευρώπη τριών ταχυτήτων. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν η Αυστρία, η Γερμανία η Δανία, Το Λουξεμβούργο, η Ολλανδία και το Βέλγιο. Οι χώρες αυτές έχουν χαράξει και εφαρμόσει πολιτική για τη χωριστή συλλογή και επεξεργασία των οργανικών από τα αστικά στερεά απορρίμματα. Οι περισσότερες καινοτομίες στο χώρο της κομποστοποίησης και πολλές σχετικές αποφάσεις της Ε.Ε προέρχονται από τις χώρες αυτές. Στη δεύτερη ομάδα ανήκουν η Αγγλία, η Ιταλία, η Σουηδία και η Φιλανδία. Οι χώρες αυτές έχουν χαράξει πολιτική για τη διαχείριση των οργανικών απορριμμάτων, αλλά δεν έχουν προχωρήσει πολύ στην εφαρμογή της. Στην τελευταία ομάδα η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιρλανδία, η Ισπανία και η Πορτογαλία, οι οποίες δεν έχουν ακόμα κατασταλαγμένη πολιτική στο θέμα. Κάποιες από αυτές και ορισμένες περιοχές της Ιταλίας έχουν υιοθετήσει συστήματα μηχανικής διαλογής



και ανακύκλωσης των αστικών στερεών απορριμμάτων και κομποστοποίηση του οργανικού υπολείμματος.

Η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών παραμέτρων και η αντίστοιχη χρήση οικονομικών εργαλείων έχουν μεταβάλλει τα οικονομικά στη διαχείριση των απορριμμάτων και οδηγούσαν στην πρόσφατη ανανέωση του ενδιαφέροντος για την κομποστοποίηση. Πολλοί χώροι ταφής έχουν κορεστεί και κλείσει από το τέλος της δεκαετίας του '80. Όσοι έχουν απομείνει αναμένεται να κορεστούν σε λίγα χρόνια, ενώ η εξεύρεση νέων χώρων γίνεται όλο και πιο δυσκολότερη. Η γη κοντά στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι δυσεύρετη και πανάκριβη ενώ οι προσπάθειες για μεταφορά των απορριμμάτων σε γειτονικούς νομούς συναντά ισχυρή δημόσια αντίδραση. Οι «πράσινοι» φόροι της ταφής των απορριμμάτων, π.χ Αγγλία και η αναμενόμενη ευρωπαϊκή οδηγία για την υγειονομική ταφή αναμένεται να αυξήσουν επιπλέον το κόστος της ταφής, ενώ για κάποιες κατηγορίες απορριμμάτων θα απαγορευτεί πλήρως η ταφή (απορρίμματα κήπων και πάρκων, λάσπη από βιολογικούς καθαρισμούς, περιορισμός στο ποσοστό των οργανικών στα απορρίμματα που προορίζονται για την ταφή κ.λ.π). Η καύση των απορριμμάτων ως εναλλακτική λύση δεν εμφανίζεται περισσότερο ελκυστική με βάση τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά κριτήρια (η παρουσία διοξινών στα αέρια της καύσης δημιουργεί ανησυχίες, ενώ στα στερεά υπολείμματα της καύσης θεωρούνται τοξικά απόβλητα και χρειάζονται ταφή σε ειδικούς χώρους). Επιπλέον, η καύση θεωρείται από πολλούς ως άσκοπη καταστροφή και απώλεια πολύτιμων πόρων, ενώ το επιχείρημα για την ανάκτησης ενέργειας δεν είναι πάντοτε πειστικό. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης που θα δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην αποφυγή και ελαχιστοποίηση την ανακύκλωσης και την κομποστοποίηση μοιάζει να είναι το καταλληλότερο για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προβλημάτων που σχετίζονται με τα απορρίμματα.

Επιπλέον, οι μοντέρνες εντατικές πρακτικές καλλιέργειας αφανίζουν τα οργανικά συστήματα του εδάφους με ρυθμούς πολύ μεγαλύτερους από τη φυσική τους αναπλήρωση. Στην Ευρώπη, όπου οι αγροτικές εκτάσεις καλλιεργούνται για περισσότερο από 3.000 χρόνια, η ένταση του προβλήματος αυξάνεται με γρήγορο



ρυθμό. Τα οργανικά συστατικά του εδάφους είναι απαραίτητα για τη γονιμότητα της γης. Η εξάντλησή τους οδηγεί σε φαινόμενα ερημοποίησης τα οποία ήδη εμφανίζονται σε κάποιες μεσογειακές περιοχές, συμπεριλαμβανόμενης και της Ελλάδας. Η διόρθωση της περιεκτικότητας των μεσογειακών εδαφών σε οργανικά συστατικά απαιτεί τεράστιες ποσότητες οργανικών εδαφοβελτιωτικών - κομπόστ. Η κομποστοποίηση μέσω μιας αερόβιας μικροβιακής διεργασίας μετασχηματίζει τα φρέσκα οργανικά συστατικά σε ένα βιοσταθεροποιημένο προϊόν, το κομπόστ, που είναι παρόμοια με τα φυσικά οργανοχουμικά συστατικά που υπάρχουν στο έδαφος. Η κομποστοποίηση μετασχηματίζει δραστικά τις διάφορες οργανικές ενώσεις, μετατρέποντας τις απλούστερες σε CO₂, και τις πιο σύνθετες σε δομές παρόμοιες με τα φυσικά χουμικά. Κατ' αυτή την έννοια η κομποστοποίηση εκπληρώνει με ιδανικούς τρόπους τους στόχους ενός κλειστού βιολογικού συστήματος: τα οργανικά υλικά εκτρέπονται από το ρεύμα των απορριμμάτων μειώνοντας έτσι σημαντικά τον όγκο τους, και επιστρέφουν στο έδαφος του οποίου βελτιώνουν τη σύσταση και τη γονιμότητα.

5.2 Γενικότερα συμπεράσματα

Η κομποστοποίηση εντός πλαστικών κάδων σε πειραματικό επίπεδο αποδείχτηκε ότι αποτελεί μία θερμοφιλή διαδικασία. Η πραγματοποίησή της κατά την θερινή περίοδο του έτους απαιτεί περίπου τρεις μήνες για να ολοκληρωθεί, ενώ η κατά τη χειμερινή περίοδο απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έως τη δημιουργία του τελικού προϊόντος.

Εάν εξαιρεθεί το τελικό δείγμα του κάδου 3 (ελαιοκλάδεμα- φύκια), στο οποίο τα αρχικά υλικά που προστέθηκαν σε αυτόν ήταν ακόμα διακριτά έως το τέλος της κομποστοποίησης, τα τρία υπόλοιπα τελικά προϊόντα εμφάνισαν κατά την παραλαβή τους από τους κάδους τα φυσικά χαρακτηριστικά του ώριμου κομπόστ,



γεγονός που απεδείχθη και με τις χημικές αναλύσεις, οι οποίες έδωσαν υψηλές τιμές στα θρεπτικά συστατικά.

Μέτρα για την αξιοποίηση των απορριμμάτων και συγκεκριμένα μέσω της κομποστοποίησης, προβλέπονται στο άρθρο 4 της Κ.Υ.Α. 29407/3508 (ΦΕΚ 1572 Α'/16-12-2002), με την οποία ενσωματώνεται στην εθνική μας νομοθεσία η Οδηγία 99/31/ΕΚ. Ειδικότερα, στο άρθρο αυτό αναφέρεται η προώθηση μέτρων για τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων κατά 25%, 50% και 65%, σε σχέση με το έτος 1995, μέχρι τα έτη 2010, 2013 και 2020, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι η ισχύουσα νομοθεσία δεν προβλέπει τον τρόπο και τη μέθοδο της κομποστοποίησης που πρέπει να εφαρμοστεί, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στα κράτη-μέλη της να προσαρμόσουν την Οδηγία στις δικές τους ανάγκες.

Για να πετύχει όμως η κομποστοποίηση ως μέθοδος διαχείρισης των βιοαποικοδομήσιμων απορριμμάτων πρέπει να ενταχθεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο ανακύκλωσης. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρειάζεται μία συνεχής ενημέρωση των πολιτών, κυρίως των μαθητών και των νέων ανθρώπων, πολιτική βούληση και επιστημονική υποστήριξη.

Τέλος, είναι επιτακτική ανάγκη να αποτελέσει συνείδηση όλων ότι η κομποστοποίηση, όπως και όλες οι μορφές ανακύκλωσης, είναι μία απλή καθημερινή συνήθεια που εάν μετατραπεί σε συλλογική μπορεί να αλλάξει το μέλλον ολόκληρου του πλανήτη.



Βιβλιογραφία

- [1] Srinath R. Iyengar and Prashant P. Bhave, 2006, "In vessel composting of household wastes", *Waste Management, Volume 26, Issue 10, Pages 1070-1080*,
- [2] Βαγενάς Δ., 2005, «Διαχείριση στερεών αποβλήτων», Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Κεφάλαιο 3 : Κομποστοποίηση"
- [3] Μπάλης Κ., 2001, «Θερμόφιλη βιοαποικοδόμηση οργανικών υλικών (Κομποστοποίηση)», *Proceedings of the International Symposium on Composting of Organic Matter*,
- [4] <http://www.vermiculturemanual.com/en/manual/concepts.html>
- [5] Κάρδαρη Σ., 2008, «Μελέτη της μετατροπής οργανικών απορριμμάτων σε οργανικό λίπασμα μέσω κομποστοποίησης», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μεταπτυχιακή Διατριβή
- [6] Vlyssides A.G., Loizides M., Karlis P.K., 2004, " Intergrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products", *Journal of Cleaner Production 12, 603-611*
- [7] Vitolo S., Petarca L. & B. Bresci, 1999, Treatment of olive oil industry wastes, *Bioresource Technology 67: 129-137*
- [8] Brady C. Nyle, Weil R. Ray, 2004 "Elements of the nature and properties of soils", *Environmental toxicology 23 (4) : 480-486*
- [9] Fogiel C. Andrew, 2003, "Composting on the farm", Department of Horticulture, Michigan State University, *International Journal of Food Science and Technology 42: 852-867*
- [10]http://www.healthgoods.com/Education/Environment_Information/Composting/backyard_composting_of_yard_waste



-
- [11] <http://www.extension.uiuc.edu/homecompost/materials.html>
- [12] <http://www.extension.uiuc.edu/homecompost/benefits.html>
- [13] Bertoldi M., et al., 1992, "The science of composting" Part 1, *European Commission International Symposium*
- [14] Pettit E. Robert, 2006, "Organic matter humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin", Texas A&M University
- [15] Αναλογίδης Δ., «Οργανοχημικά λιπάσματα», Γεωργία και Κτηνοτροφία, Τεύχος 9/2006
- [16] Niaoumakis M. & Halvadakis C.P., 2006, Olive processing waste management, *Literature Review and Patent Survey, 2nd edition, Elsevier Ltd., p.517*
- [17] Kapellakis I.E., Tsgarakis K.P., Crowther J.C., 2008, "Olive oil history, production and by-product management, *Review in Environmental Science and Biotechnology* 7: 1-26
- [18] http://www.recyclingsympraxis.gr/page/technologies/organic_waste
- [19] Ελευθεριάδης Χ., «Η νέα μονάδα μηχανικής διαλογής - κομποστοποίησης στερεών αστικών αποβλήτων στα Άνω Λιόσια », Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα 2001
- [20] Κανακόπουλος Δ., 2001, «Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης - Εξοπλισμός», (Κείμενα από την Δημερίδα και εργασίες Ανθρώπινου Δικτύου Διάδοσης της Ε & Τα Γνώσης «ΚΟΜΠΟΣΤ-NET»), Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών
- [21] Rynk Ed., Robert, 1992, "On- farm composting", Natural Resource, Agriculture and Engineering Service, Cooperative Extension, New York, NRAES
- [22] Masami Fukushima, Kanako Yamamoto, Keishi Ootsuka, Takeshi Komai, Toshihiro Aramaki, Shigeru Ueda, Shigekazu Horiya, 2008, "Effects of the maturity of wood waste



compost on the structural features of humic acids", *Bioresource Technology* 100 (2009) 791-797

[23] S. Zmora-Nahum, Y. Hadar, Y. Chen, 2007, "Physico-chemical properties of commercial composts varying in their source materials and country of origin", *Soil Biology & Biochemistry* 39 (2007) 1263-1276

[24] T. Manios, 2003, "The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete", *Environment International* 29 (2004) 1079- 1089

[25] V. I. Manios, P. E. Tsikalas, H. I. Siminis, O. Verdonck, 1988, "Phytotoxicity of Olive Tree Leaf Compost in Relation to the Organic Acid Concentration", *Biological Wastes* 27 (1989) 307-317

[26] C. Ciavatta, M. Govi, L. Pasotti & P. Sequi, 1992, "Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes", *Bioresource Technology* 43 (1993) 141-145

[27] A. Garcia-Gomez, A. Roig, M.P. Bernal, 2002, "Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity", *Bioresource Technology* 86 (2003) 59-64

[28] Claudio Baffi, Maria Teresa Dell' Abate, Antonio Nassisi, Sandro Silva, Anna Benedetti, Pier Luigi Genevini, Fabrizio Adani, 2006, "Determination of biological stability in compost: A comparison of methodologies", *Soil Biology & Biochemistry* 39 (2007) 1284-1293

[29] Sharon Zmora-Nahum, Omer Markovitch, Jorge Tarchitzky, Yona Chen, 2005, "Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity", *Soil Biology & Biochemistry* 37 (2005) 2109-2116



[30] Agustín García Barneto, José Ariza Carmona, Juan A. Conesa Ferrer, Manuel J. Díaz Blanco, 2009, “Kinetic study on the thermal degradation of a biomass and its compost: Composting effect on hydrogen production”.

[31] Άλκιμος Αναστάσιος, 2000, «Κομπόστ- Οικολογικό εργαστήριο χουμοποίησης της βιομάζας», Εκδόσεις Ψύχαλου, σελ. 65-66.

[32] Dimitrios P. Komilis, Ioannis S. Tziouvaras, 2009, “A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts”, *Waste Management* 29 (2009) 1504-1513

[33] Epstein E., 1997. The science of composting. Technomic publishing Co., Inc., Lancaster, PA, USA. pp. 109, 113, 126, 129.

[34] Manser A.G.R., Keeling A.A, Practical handbook of processing and recycling municipal wastes, Lewis Publishers, USA, 1996.

[35] Ασημακόπουλος Ι., 2005, «Εργαστηριακές ασκήσεις των μαθημάτων: Γονιμότητα εδάφους, Αναλύσεις φυτών και εδαφών - Αξιολόγηση αποτελεσμάτων, Λιπάσματα - Λιπάνσεις», Εργαστήριο Γεωργικής Χημείας και Εδαφολογίας, Γ.Π.Α.

[36] Suzelle Barrington, Denis Choiniere, Maher Trigui, William Knight, 2001, “Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses”, *Bioresource Technology* 83 (2002) 189-194

[37] M.A. Bustamante, C. Paredes, F.C. Marhuenda-Egea, A. Pérez-Espinosa, M.P. Bernal, R. Moral, 2008, “Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability”, *Chemosphere* 72 (2008) 551-557



[38] Martin Kranert, Ralf Gottschall, Christian Bruns, Gerold Hafner, 2009, "Energy or compost from green waste? - A CO₂ - Based assessment", *Waste Management* 30 (2010) 697-701



Παράρτημα Α

Μεθόδοι χημικών αναλύσεων

● Μέτρηση διαθέσιμου φωσφόρου

Προετοιμασία δείγματος

Το δείγμα ξηραίνεται αρχικά στους 65° C για τουλάχιστον 24h. Στη συνέχεια τρίβεται και κοσκινίζεται με κόσκινο 500 μm.

Διαδικασία πειραματικής μέτρησης

1. 0,50 gr από το παραπάνω δείγμα τοποθετούνται σε μικρές κάψες και καίγονται στους 500° C για 3,5 h. Αφήνονται να κρυσώσουν.
2. κωνικές φιάλες των 100 ml προετοιμάζονται, με χωνάκια και ηθμούς.
3. μέσα στις κάψες με τα καμένα δείγματα προστίθενται από 5 ml νιτρικό οξύ 65% στην καθεμία.
4. η κάθε κάψα αδειάζεται στον αντίστοιχο ηθμό.
5. αφού οι ηθμοί αδειάσουν μέσα στις φιάλες, οι φιάλες γεμίζονται μέχρι την χαραγή του λαιμού με απιονισμένο νερό.
6. το περιεχόμενό τους αδειάζεται σε πλαστικά με καπάκι μπουκαλάκια, ώστε το δείγμα να αποθηκευτεί για επόμενες μετρήσεις.
7. στη συνέχεια 2ml δείγματος από τα πλαστικά μπουκαλάκια ρίχνονται σε φιάλες των 50 ml.
8. προσθήκη 4-5 σταγόνων νιτροφαινόλης.
9. προσθήκη 10 ml απιονισμένου νερού
10. εξουδετέρωση της οξύτητας του δείγματος με NaOH 1M έως ότου το χρώμα γίνει κίτρινο σταθερό.



11. προσθήκη 10 ml ασκορβικού οξέος*.
12. ανάδευση και συμπλήρωση του όγκου με απιονισμένο νερό.
13. τα δείγματα αφήνονται σε ηρεμία για 30'.
14. η μέτρηση πραγματοποιείται με σπεκτοφωτόμετρο στα 880 nm.

Ο προσδιορισμός του φωσφόρου στο δείγμα, γίνεται με τη χρήση των παρακάτω τύπων:

$$C \text{ καμπύλης} = \frac{\text{μάρτυρας} - \text{ένδειξη}}{145,5}$$

$$P_{\text{mg/Kg}} = \frac{C \text{ καμπύλης} \times V_{\text{φιάλης}} \times V_{\text{εκχυλιστικού}}}{\text{gr δείγματος} \times \text{ml για ανάπτυξη χρώματος}}$$

όπου :

Vφιάλης = όγκος φιάλης στην οποία αναπτύχθηκε το μπλε χρώμα

Vεκχυλιστικού = φιάλη στην οποία έγινε η αρχική εκχύλιση

gr δείγματος = gr δείγματος που κάηκαν στο φούρνο

Για % περιεκτικότητα φωσφόρου στο δείγμα ισχύει:

$$P \% = \frac{P_{\text{mg/Kg}}}{10.000}$$

Αντιδραστήρια



* Ασκορβικό οξύ : 0,40 gr L-ascorbic acid σε φιάλη 100ml + 100 ml Murphry - Riley** για Φώσφορο

** Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου Murphry - Riley για Φώσφορο ισχύει:

1. κωνική του 1lt γεμίζεται μέχρι τη μέση περίπου με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια προστίθενται σιγά-σιγά 55,5 ml πυκνού θειικού οξέος. Ανάδευση και ηρεμία της φιάλης έως ότου να παγώσει.
2. σε άλλη φιάλη των 100ml τοποθετείται νερό μέχρι τη μέση και στη συνέχεια 4,8gr μολυβδενικού αμμωνίου. Καλή ανάδευση και συμπλήρωση μέχρι τα 100ml.
3. σε άλλη φιάλη των 100ml προστίθεται νερό μέχρι τη μέση και στη συνέχεια 0,11gr αντιμονιλοτρογικού κάλιο. Ανάδευση και συμπλήρωμα μέχρι τα 100ml.
4. αφού το διάλυμα θειικού οξέος έχει κρυώσει στην φιάλη του 1lt προστίθενται τα άλλα δύο διαλύματα που έχουν φτιαχτεί. Ανάδευση και συμπλήρωμα του όγκου του 1 lt με απιονισμένο νερό.
5. η αποθήκευση του συγκεκριμένου αντιδραστηρίου απαιτεί σκουρόχρωμη φιάλη, λόγω ευαισθησίας αυτού στο φως.



❁ Μέτρηση ολικού αζώτου

Προετοιμασία δείγματος

Το δείγμα ξηραίνεται αρχικά στους 65° C για τουλάχιστον 24h. Στη συνέχεια τρίβεται και κοσκινίζεται με κόσκινο 500 μm.

Διαδικασία πειραματικής μέτρησης

1. 0,50 gr δείγματος ζυγίζονται και τοποθετούνται σε καθέναν από τους σωλήνες της συσκευής Kjeldhal.
2. σε κάθε σωλήνα προστίθενται 20ml αντιδραστηρίου H₂SO₄ + Salicylic Acid*.
3. ακολουθεί ελαφρά ανάδευση και οι σωλήνες αφήνονται σε ηρεμία για 30'.

Διαδικασία καύσης

4. όταν τα δείγματα τοποθετούνται για καύση, προστίθενται 2 καταλύτες, οι οποίοι επιταχύνουν την διαδικασία. Έτσι, με το που τα δείγματα τοποθετηθούν για καύση σε κάθε σωλήνα τοποθετείται από 1 gr Sodium Thiosulfate DentaHydrate (θειώδες νάτριο). Όταν στους σωλήνες αρχίσει να φαίνεται καπνός τότε προστίθεται σε αυτούς από μία ταμπλέτα Kjeldhal (ταμπλέτες σεληνίου).
5. η καύση γίνεται στους 430° C για 1h.
6. μετά τη 1h τα δείγματα βγαίνουν από την καύση και αφήνονται να κρυώσουν.

Διαδικασία απόσταξης

7. ρύθμιση της συσκευής Kjeldhal τις εξής παραμέτρους :

▶ 30 ml H₂O



- ▶ 130 ml NaOH 7N (320 gr / 1lt H₂O)
- ▶ Distillation Time = 3min
- ▶ Delay = 10 sec

8. σε κωνικές φιάλες των 250 ml (τόσες όσες τα δείγματα), τοποθετούνται από 100 ml βορικό οξύ, H₃BO₃ 2%.
9. μετά την κάθε απόσταξη στην κωνική φιάλη προστίθενται 10-12 σταγόνες δείκτη** (μπλε).
10. Τιτλοδότηση γίνεται με HCl 0,05N έως ότου το περιεχόμενο της φιάλης γίνει πορτοκαλί.
11. τα ml που καταναλώνονται από την προχοίδα καταγράφονται για καθένα από τα δείγματα

Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται η % περιεκτικότητα του δείγματος σε N είναι ο εξής :

$$N\% = \frac{(\text{ml δείγματος} - 0,2) \times 0,05 \times 14 \times 100}{\text{βάρος δείγματος} \times 1000}$$

Αντιδραστήρια

* H₂SO₄ + Salicylic Acid : σε 1lt H₂SO₄ πυκνού 95-97% , ρίχνουμε 25 gr σκόνης Salicylic Acid (διατηρείται στην ατμόσφαιρα)

** Δείκτης Ολικού Αζώτου :

1. ζύγιση 0,35 gr bromcresol green.
2. προσθήκη τους σε ογκομετρική φιάλη των 250ml, αφού πρώτα έχουν προστεθεί σε αυτήν 10ml αλκοόλης (Ethanol absolute C₂H₅OH).



-
3. προσθήκη 10ml NaOH 0,1 N (1 gr σε 250 ml είναι 0,1 N).
 4. προσθήκη περίπου 150 ml νερό.
 5. προσθήκη 22 ml 1% aqueous ponceaw 4R (0,22 gr ponceaw σε 22 ml νερό).
 6. προσθήκη 0,75 gr nitrophenol αφού πρώτα έχει διαλυθεί με 5ml αλκοόλης Ethanol absolute C₂H₅OH.
 7. συμπλήρωμα μέχρι τη χαραγή των 250 ml με απιονισμένο νερό.



❖ Μέτρηση ολικού άνθρακα & οργανικής ουσίας

Προετοιμασία δείγματος

Το δείγμα ξηραίνεται αρχικά στους 65° C για τουλάχιστον 24h. Στη συνέχεια τρίβεται και κοσκινίζεται με κόσκινο 500 μm.

Διαδικασία πειραματικής μέτρησης

1. 5gr δείγματος ζυγίζονται και τοποθετούνται σε κάψες για καύση.
2. το δείγμα αφήνεται για καύση στους 105° C για 24 h.
3. μετά από τον χρόνο αυτό ακολουθεί καύση του δείγματος στους 400° C για περίπου 4h.
4. το δείγμα βγαίνει από τον φούρνο και στην συνέχεια τοποθετείται σε ξηραντήρα.
5. στη συνέχεια καταγράφεται η διαφορά βάρους του δείγματος (αρχικό βάρος - τελικό βάρος δείγματος).

Το % ποσοστό της οργανικής ουσίας δίνεται από τον τύπο :

$$\text{Οργανική ουσία} = \frac{(\text{αρχικό βάρος} - \text{τελικό βάρος δείγμ.}) \times 100}{\text{αρχικό βάρος}}$$

Ο % ολικός άνθρακας υπολογίζεται ως ποσοστό επί της οργανικής ουσίας σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Ολικός άνθρακας} = \text{Οργανική ουσία} \times 1,3$$



❁ Προσδιορισμός OUR

Διαδικασία πειραματικής μέτρησης [32]

1. ζύγιση 20-40 gr δείγματος (Υγρασία 50-60%).
2. τοποθέτησή τους μαζί με 50 ml NaOH 1N στην ειδική φιάλη (ξεχωριστές θέσεις).
3. η ειδική κεφαλή BOD κουμπώνεται και στη συνέχεια ενεργοποιείται.
4. καθημερινή εκτόνωση του συστήματος, ξεβιδώνοντας λίγο, την φιάλη.
5. η μέτρηση διαρκεί 7^η μέρες.
6. την 7^η μέρα προσθέτονται 6 ml NaOH και 50 ml H₂O.
7. μέτρηση του pH, το οποίο είναι γύρω στο 12.
8. με δυνατό οξύ (H₂SO₄ 11N) μείωση του pH στο 8,5.
9. έπειτα με αραιό οξύ (H₂SO₄ 0,1N) μείωση στο 4,5 (στο στάδιο αυτό μετράται η κατανάλωση του οξέος 0,1N για την μέτρηση του OUR).
10. η διαδικασία γίνεται 2-3 φορές για κάθε δείγμα.
11. στη συνέχεια λαμβάνονται τις τιμές από τις κεφαλές OUR και δημιουργούνται τα διαγράμματα για το O₂ και
12. ο υπολογισμός του OUR γίνεται με τη χρήση φύλλου Excell.



• Μέτρηση pH

Προετοιμασία δείγματος

Το δείγμα ξηραίνεται αρχικά στους 65° C για τουλάχιστον 24h. Στη συνέχεια τρίβεται και κοσκινίζεται με κόσκινο 500 μm.

Διαδικασία πειραματικής μέτρησης

1. στο κοσκινισμένο δείγμα γίνεται αραιώση 1:2 με νερό. Σε ορισμένα δείγματα τα οποία παρουσιάζουν υψηλή απορροφητικότητα σε νερό η αραιώση είναι 1:4.
2. τα διαλύματα αναδεύονται κάθε 10 min επί 1h.
3. έπειτα οδηγούνται προς μέτρηση με την χρήση πεχαμέτρου.
4. έκπλυση του ηλεκτροδίου του πεχαμέτρου με απεσταγμένο νερό.
5. ρύθμισή του πριν την εκτέλεση των μετρήσεων, με εμβάπτιση του ηλεκτροδίου σε ρυθμιστικό διάλυμα pH ίσου με 7 και θερμοκρασίας ίδιας με τα προς μέτρηση διαλύματα [35].



❁ Μέτρηση K και Na

Προετοιμασία δείγματος

Το δείγμα ξηραίνεται αρχικά στους 65° C για τουλάχιστον 24h. Στη συνέχεια τρίβεται και κοσκινίζεται με κόσκινο 500 μm.

Διαδικασία πειραματικής μέτρησης

1. 0,50 gr από το παραπάνω δείγμα τοποθετούνται σε μικρές κάψες και καίγονται στους 500° C για 3,5 h. Αφήνουμε να κρυώσουν.
2. Προετοιμασία κωνικών φιαλών των 100 ml, με χωνάκια και ηθμούς.
3. μέσα στις κάψες με τα καμένα δείγματα τοποθετούνται από 5 ml νιτρικό οξύ 65% στην καθεμία.
4. Η κάθε κάψα αδειάζεται στον αντίστοιχο ηθμό.
5. αφού οι ηθμοί αδειάσουν μέσα στις φιάλες, τις γεμίζουν μέχρι την χαραγή του λαιμού με απιονισμένο νερό.
6. έπειτα το περιεχόμενό τους μεταφέρεται σε πλαστικά με καπάκι μπουκαλάκια, ώστε να αποθηκευτεί για επόμενες μετρήσεις.
7. η μέτρηση K και Na πραγματοποιείται με τη χρήση φλογοφωτόμετρου.

Η τιμές για το K και το Na δίνονται από τον τύπο:

$$❁ \quad K, Na = \frac{\text{Ένδειξη φλογοφωτόμετρου} \times \text{Βάρος}}{\text{Όγκο}} \quad (1)$$

$$❁ \quad \% K, Na = \frac{\text{Αποτέλεσμα (1)}}{10.000}$$



Παράρτημα Β

Φωτογραφικό υλικό



Σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα

Γεννήθηκα το 1986 στη Σπάρτη Λακωνίας. Μεγάλωσα στο Βασιλάκι Λακωνίας όπου τελείωσα το δημοτικό, το γυμνάσιο και το λύκειο. Κατόπιν πραγματοποίησα τις σπουδές μου στο Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, από όπου αποφοίτησα το 2009, με βαθμό πτυχίου 8,3. Το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας ήταν: «Αξιοποίηση Γεωργικής Βιομάζας προς Παραγωγή Υλικών Υψηλής Προστιθέμενης Αξίας – Εφαρμογή στα Κλαδέματα Ελιάς», (βαθμός 10), στην οποία επιβλέποντας μου ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κος Παπαδάκης Ευάγγελος.

Μετά την απόκτηση του πτυχίου μου, μέχρι και σήμερα πραγματοποιώ την μεταπτυχιακή μου διατριβή στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, αφού το γενικότερο ενδιαφέρον μου για τα περιβαλλοντικά ζητήματα με ώθησε στην εγγραφή μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: «Θετικές Επιστήμες στη Γεωπονία», στον Κλάδο III: "Μελέτη και Αξιοποίηση Φυσικών Προϊόντων".

Γνωρίζω Αγγλικά (1st Certificate of Cambridge) και Γαλλικά σε ικανοποιητικό επίπεδο. Επίσης διαθέτω γνώσεις στη χρήση Η/Υ (πιστοποίηση E.C.D.L). Έχω παρακολουθήσει πολλά σεμινάρια αλλά και ημερίδες με θέματα εκπαιδευτικά και περιβαλλοντικά.

Δημοσιεύσεις & Παρουσιάσεις:

1. Κωνσταντάκου Π., «Αξιοποίηση Γεωργικής Βιομάζας προς Παραγωγή Υλικών Υψηλής Προστιθέμενης Αξίας – Εφαρμογή στα Κλαδέματα Ελιάς», *Διπλωματική Εργασία*, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Αγρίνιο, 2009.
2. Konstantakou, P.P. and V.G. Papadakis, "An Integrated Management and Exploitation of Agricultural Residues – Application to Olive Tree Lop", 18th



European Biomass Conference and Exhibition – From Research to Industry and Markets, Lyon, 3-7 May 2010.

3. Konstantakou, P.P., S.A. Haroutounian, and V.G. Papadakis, "Multilateral Exploitation of Olive Tree Lop – Techno-economical Analysis for Leave Extracts, Compost and Energy Pellet Production", Linnaeus Eco-Tech'10, Kalmar, Sweden, 22-24 November 2010.