

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΔΙΦΑΣΙΚΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΑΖΗΡΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

A.M. 1997050014

ΕΠΙΒΛΕΤΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :	ΜΑΝΤΑΖΒΙΝΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:	ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ
	ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ

Πρόλογος

Η πειραματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στο χώρο του αγροκήματος του Τ.Ε.Ι Κρήτης από τον Ιανουάριο μέχρι και τον Ιούνιο του 2004. Αξίζει να σημειωθεί πως από τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων εκπονήθηκαν δύο εργασίες οι οποίες δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό Biodegradation μέσα στο 2005. Υλοποιήθηκε υπό την εποπτεία του καθηγητή Δρ Ματζαβίνου Διονύσιου και την άμεση εποπτεία του καθηγητή Δρ Μανιού Θρασύβουλου, τους οποίους ευχαριστώ για την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν. Για τις σημαντικές του παρατηρήσεις θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Δρ Οικονομόπουλο Αλέξανδρο, μέλος της εξεταστικής επιτροπής. Τέλος, νιώθω υποχρεωμένος να ευχαριστήσω τους συνεργάτες του εργαστηρίου Τερζάκη Στέλιο και Μανιαδάκη Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, καθώς και όλους τους σπουδαστές που κατά την περίοδο εκείνη βρισκόταν στο εργαστήριο.

Επίσης ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ειδικά στις δύσκολες στιγμές.

Η διπλωματική αυτή εργασία είναι αφιερωμένη στη γιαγιά μου Ευθυμία Φακή που δεν πρόλαβε να τη δει ολοκληρωμένη. Λυπάμαι πραγματικά...

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
Περιεχόμενα	3
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 2 Γενικές Έννοιες	10
2.1 Η βιομηχανία παραγωγής ελαιολάδου	11
2.1.1 Γενικά	11
2.1.2 Παραγωγή ελαιολάδου σε διφασικό ελαιοτριβείο	14
2.1.3 Χαρακτηριστικά παραγόμενων αποβλήτων	16
2.2 Κομποστοποίηση	17
2.2.1 Ορισμός και γενικές έννοιες	17
2.2.2 Τεχνική της κομποστοποίησης	19
2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση	20
2.2.4 Η μικροβιολογία της κομποστοποίησης	24
Κεφάλαιο 3 Υλικά και μέθοδοι	27
3.1 Πρώτες ύλες	28
3.2 Μεθοδολογία και μέσα κομποστοποίησης	31
3.2.1 Μέθοδοι κομποστοποίησης	31
3.2.2 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κομποστοποίησης	32

3.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου	33
3.2.3.1 Γενικά	33
3.2.3.2 Εγκατάσταση των σειραδίων και διαδικασία αναστροφών	34
3.3 Μετρούμενες παράμετροι και μέθοδοι εργαστηριακών αναλύσεων	36
3.3.1 Μετρούμενες παράμετροι	36
3.3.2 Μέθοδοι εργαστηριακών αναλύσεων	37
3.3.2.1 Μέτρηση θερμοκρασίας	37
3.3.2.2 Μέτρηση O ₂ και CO ₂	37
3.3.2.2.1 Περιγραφή του μετρητή αερίων Gas Analyser 2000	38
3.3.2.3 Προσδιορισμός υγρασίας	39
3.3.2.4 Μέτρηση του Ph	40
3.3.2.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα	41
3.3.2.6 Οργανικός άνθρακας σε ξηρή βάση	41
3.3.2.7 Οργανική ουσία	41
3.3.2.8 Προσδιορισμός ολικού αζώτου	42
Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα και Συζήτηση	44
4.1 Στοιχεία πειραματικών κομποστοποιήσεων	45
4.1.1 Προεπεξεργασία των πρώτων υλών	45
4.2 Εγκατάσταση των σειραδίων	49
4.3. Μεταβολές θερμοκρασίας σειραδίων χώνευσης	53
4.4 Εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	58
4.5 Μεταβολές βασικών φυσικών και φυσικοχημικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	66
4.5.1 Μεταβολές φυσικών παραμέτρων	66

4.5.2 Μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων	70
4.5.3 Μικροβιακό φορτίο	72
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα	78
5.1. Μείγματα κομποστοποίησης	79
Παράρτημα	82
Βιβλιογραφία	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ελαιόλαδο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα της ελληνικής γης. Ειδικά στην περιοχή της Κρήτης είναι το πλέον αποδοτικό αγροτικό προϊόν, γεγονός που πιστοποιείται και από το μεγάλο αριθμό ελαιτριβείων που λειτουργούν στο νησί. Τα ελαιοτριβεία αυτά βρίσκονται απλωμένα σε όλη την έκταση του νησιού και βασίζονται στις τεχνολογίες πίεσης και φυγοκέντρωσης για την εξαγωγή του ελαιολάδου από τον καρπό. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα για τέσσερις περίπου μήνες ετησίως και τα παραγόμενα από αυτήν απόβλητα είναι γνωστά ως "κασίγαρος". Η διάθεση του κασίγαρου είναι προβληματική, καθώς απαιτείται κατάλληλη επεξεργασία τους για την εξάλειψη δυσάρεστων οσμών που τα συνοδεύουν και της υψηλής συγκέντρωσης οργανικής ύλης, που τα καθιστά τοξικά για τα περισσότερα εδάφη, ενώ δυσχεραίνεται από την ανάγκη διάθεσης μεγάλων ποσοτήτων σε μικρό χρονικό διάστημα, λόγω της φύσης του παραγόμενου προϊόντος.

Ένα επιπλέον πρόβλημα για τη διάθεση των αποβλήτων ελαιουργείου είναι η ανομοιογένεια που παρουσιάζουν αυτά ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής. Πράγματι, τα απόβλητα ελαιουργείων μπορεί να περιέχουν στερεά και υγρά μέρη ή μόνο ένα τύπο αποβλήτων, τον υδαρή ελαιοπυρήνα. Γίνεται φανερό πως τα απόβλητα της τελευταίας κατηγορίας παρουσιάζουν τις καλύτερες προοπτικές, αφού προσφέρεται η δυνατότητα ενοποιημένης προσέγγισης στην επεξεργασία τους. Τα απόβλητα αυτής της κατηγορίας παράγονται από ελαιοτριβεία φυγοκέντρωσης δύο φάσεων.

Τα διφασικά ελαιουργεία (επίσης γνωστά και ως «οικολογικά») παράγουν ένα ενιαίο ρεύμα αποβλήτων, τον υδαρή ελαιοπυρήνα, ένα υλικό με υφή παρόμοια με αυτή της αφυδατωμένης λυματολάσπης. Η αναλογία αποβλήτων και

παραγόμενου ελαιολάδου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή των άλλων τύπων ελαιουργείων, κάτι που σε συνδυασμό με την ενιαία φάση του παραγόμενου κατσίγαρου ενισχύει την άποψη πως η συγκεκριμένη διαδικασία παραγωγής είναι περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον. Η επεξεργασία του υλικού όμως είναι εξίσου δύσκολη με τα απόβλητα των άλλων τύπων ελαιουργείων, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης οργανικής ουσίας που παρατηρείται σε αυτά, όπως προαναφέρθηκε.

Στο σημείο αυτό εμφανίζεται η διαδικασία της κομποστοποίησης, μια βιολογική διαδικασία αποδόμησης οργανικών ουσιών με τη συμμετοχή αερόβιων μικροοργανισμών. Η κομποστοποίηση χρησιμοποιείται σε έναν μεγάλο αριθμό οργανικών υπολλειμμάτων για τη μείωση των συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας που περιέχουν με μεγάλη επιτυχία. Τα πλεονεκτήματά της είναι πολλαπλά, καθώς είναι σχετικά φθηνή μέθοδος, με χαμηλές απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό και μηχανήματα και επιπλέον οδηγεί στην παραγωγή οργανικού λιπάσματος, το οποίο μπορεί να διατεθεί στην αγορά ως εμπορικό προϊόν ή να επιστραφεί προς χρήση στις ελαιοκαλλιέργειες. Επιπλέον, η διαδικασία της κομποστοποίησης στα απόβλητα διφασικού ελαιουργείου απαιτεί την ύπαρξη οργανικού υλικού στερεής φάσης για να εξασφαλιστεί η παρουσία αέρα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Το υλικό αυτό μπορεί να καλυφθεί από τα οργανικά υπολλέμματα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία συλλογής του ελαιοκάρπου και αποτελούνται από φύλλα και κλαδοκάθαρα, δίνοντας αξιόλογη λύση στο πρόβλημα διάθεσης και αυτών των υπολλειμμάτων.

Παρά όμως τα πλεονεκτήματα που φαίνεται να παρουσιάζει η συγκεκριμένη προσέγγιση, παραμένει το πρόβλημα της πρακτικής εφαρμογής. Ο

αριθμός των διφασικών ελαιουργείων στην Κρήτη είναι μικρός, όμως η μετατροπή των ελαιουργείων διαφορετικού τύπου σε διφασικό είναι πραγματοποιήσιμη με μικρές και οικονομικές μετατροπές. Η κομποστοποίηση αποβλήτων τέτοιου τύπου από την άλλη μεριά δεν έχει δοκιμαστεί με επιτυχία.

Σκοπός λοιπόν της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη της επεξεργασίας αποβλήτων διφασικού ελαιουργείου με τη μέθοδο της κομποστοποίησης. Τα απόβλητα που μελετήθηκαν προέρχονται από το ελαιοτριβείο του Αγροτικού Συνεταιρισμού Παναγιάς και η διαδικασία της κομποστοποίησης πραγματοποιήθηκε στο χώρο του Τ.Ε.Ι Κρήτης, όπου γινόταν και η επεξεργασία των μετρήσεων. Η σημερινή διάθεση των αποβλήτων γίνεται κυρίως με την ταφή τους στη χωματερή του Δήμου ή με ελεύθερη απόρριψή τους στο περιβάλλον, ενώ μόνο ένα μικρό μέρος τους χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη και ως ζωοτροφή. Υπό το πρίσμα αυτό, η αξιοποίηση του κασίγαρου είναι ιδιαίτερα σημαντική για την περιοχή της Παναγιάς, αφού μπορεί να προσφέρει μια σημαντική ποσότητα εδαφοβελτιωτικών για τις καλλιέργειες της περιοχής, ενισχύοντας παράλληλα τη βιωσιμότητα του ελαιουργείου, αλλά και να συμβάλλει στη γενικότερη προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, η πιθανή γενίκευση της πρακτικής σε ολόκληρη την Κρήτη, δύναται να προσφέρει μια αξιόπιστη λύση σε ένα σημαντικό περιβάλλοντικό πρόβλημα, αυτό της διάθεσης των αποβλήτων των ελαιοτριβείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 Η βιομηχανία παραγωγής ελαιολάδου

2.1.1 Γενικά

Στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο κόσμο η εφαρμοζόμενη τεχνολογία εξαγωγής του ελαιολάδου από τον ελαιόκαρπο γίνεται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά με μεθόδους πίεσης ή φυγοκέντρισης. Η τελευταία είναι και η πιο διαδεδομένη μέθοδος στις μέρες μας. Τα ελαιουργεία που χρησιμοποιούν μεθόδους πίεσης ονομάζονται "κλασσικά", ενώ τα ελαιουργεία που χρησιμοποιούν μεθόδους φυγοκέντρισης ονομάζονται "φυγοκεντρικά" ή "συνεχή". Και στις δύο μεθόδους δεν χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες (διαλύτες) παρά μονάχα ζεστό και κρύο νερό .

Συγκεκριμένα στη χώρα μας υπάρχουν τρεις κατηγορίες ελαιοτριβείων τα κλασσικά ελαιουργεία πίεσης, τα φυγοκεντρικά τριών φάσεων και τα φυγοκεντρικά δύο φάσεων (ή "οικολογικά").

Κλασσικά ελαιουργεία: χρησιμοποιούνται υδραυλικά πιεστήρια για την έκθλιψη του ελαιοπολτού και την εξαγωγή τον ελαιολάδου.

Φυγοκεντρικά τριών φάσεων: εφαρμόζεται η μέθοδος της φυγοκέντρισης (decanter) του ελαιοπολτού, με ταυτόχρονη προσθήκη ζεστού νερού. Χρησιμοποιούνται δηλαδή διάφοροι τύποι φυγοκεντρικών διαχωριστήρων, τριών

φάσεων, δια των οποίων διαχωρίζεται η ελαιοζύμη σε ελαιόλαδο - ελαιοπυρήνα και νερά κατεργασίας με φυτικά υγρά (κατσίγαροι).

Φυγοκεντρικά δύο φάσεων: Χρησιμοποιείται φυγοκεντρικός διαχωριστήρας δύο φάσεων (DECANTER) που λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει στην υγρή φάση μόνο ελαιόλαδο και στη στερεά ελαιοπυρήνα μαζί με τα φυτικά υγρά του καρπού.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι ελαιοτριβείων, στοιχεία για τα απόβλητα που παράγει ο κάθε τύπος ελαιοτριβείου καθώς και προβλήματα που συνήθως παρουσιάζονται κατά τη διάθεσή τους.

Πίνακας 1 Τύποι ελαιουργείων, κατηγορίες αποβλήτων και προβλήματα διάθεσης τους

	Κλασσικά	Τριφασικά (φυγοκεντρικά)			Διφασικά
		Παλαιά	Νέα	Τρίτης γενιάς	
Σχέση: Κατσιγάρων /Ελαιόκαρπου	0,6	1,0	0,6	0,3	0,15
Περιεκτικότητα κατσιγάρων σε ολικά στερεά (οργανικά)	5 -6%	4% ή 10%	10 - 12%	10 - 12%	1%
Περιεκτικότητα ελαιοπυρήνας σε νερό (υγρασία)	22 - 24%	45 - 47%	48 - 53%	48 - 53%	58 - 65%
Διαβάθμιση προβλήματος διάθεσης κατσιγάρων	Μεγάλο	Πολύ μεγάλο	Μεγάλο	Μικρό	Πολύ μικρό
Διαβάθμιση μεγέθους εξατμισοδεξαμενής	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη	Μεγάλη	Μικρή	Πολύ μικρή
Διάθεση ελαιοπυρήνας	Χαμηλή τιμή	Χαμηλή τιμή	Χαμηλή τιμή	Χαμηλή τιμή	Αδιάθετη

2.1.2 Παραγωγή ελαιολάδου σε διφασικό ελαιοτριβείο

Τα ελαιοτριβεία δυο φάσεων, τα οποία διαχωρίζουν την ελαιοζύμη σε δυο μόνο στοιχεία το ελαιόλαδο (ελαιούχο χυμό) και την ελαιοπυρήνα, (μίγμα πυρήνας με υγρά απόβλητα) αντιπροσωπεύουν καινοτόμο τεχνολογία, που αναπτύχθηκε τα τελευταία 10 χρόνια. Η επεξεργασία του ελαιοκάρπου σε αυτού του τύπου ελαιοτριβεία, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγόμενης ποσότητας των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου (ΥΑΕ) μέχρι και 90%, σε σχέση με τα ελαιοτριβεία τριών φάσεων.

Επίσης υπάρχουν decanter που το ρεύμα των υγρών αποβλήτων και του ελαιοπυρήνα είναι ενιαίο δηλαδή, τα υγρά απόβλητα ενσωματώνονται στον πυρήνα. Έτσι από τα τρία ρεύματα (φάσεις) των αρχικών decanter που είναι το ελαιόλαδο, τα υγρά απόβλητα και ο ελαιοπυρήνας προκύπτουν τώρα δύο ρεύματα, το ελαιόλαδο και ο υδαρής ελαιοπυρήνας. Τα decanter αυτά ονομάζονται "διφασικά" (τα προηγούμενα ονομάζονται τριφασικά) και τα ελαιουργεία που λειτουργούν με τέτοια φυγοκεντρικά μηχανήματα ονομάζονται διφασικά ελαιουργεία. Τα τελευταία αν και δεν απαιτούν την προσθήκη νερού στο decanter, ωστόσο ο παραγόμενος ελαιοπυρήνας έχει μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (65-70%) (Καρατζάς, 2001).

Εκτός των όσων γράφτηκαν παραπάνω θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι υπάρχουν decanter που δεν παράγουν υγρά απόβλητα, αλλά, ενσωματώνουν τα τελευταία στον ελαιοπυρήνα. Σαν αποτέλεσμα ο πυρήνας που προκύπτει έχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας (65-70%). Όμως εξαιτίας της πολύ μεγάλης υγρασίας του ελαιοπυρήνα τα πυρηνελαιουργεία δεν μπορούν να επεξεργαστούν τον

πυρήνα καθώς απαιτείται μεγάλη δαπάνη ενέργειας για την ξήρανσή του, αλλά και μεγαλύτεροι ξηραντήρες. Επιπλέον υπάρχει μεγάλο πρόβλημα μεταφοράς του υδαρούς ελαιοπυρήνα καθώς η αυξημένη του υγρασία αυξάνει το κόστος μεταφοράς και απαιτεί ειδικά διαμορφωμένα μεταφορικά μέσα και απαιτεί ειδικά διαμορφωμένα μεταφορικά μέσα. Τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία που κάνουν χρήση αυτής της δυνατότητας των decanter όπου τα υγρά απόβλητα στα τελευταία ενσωματώνονται στον ελαιοπυρήνα ονομάζονται διφασικά (Καρατζάς, 2001).

Το κυριότερο όμως μειονέκτημα είναι η διάθεση της υγρής πυρήνας, καθώς είναι δύσκολη η μεταφορά της, ενώ είναι ελάχιστα τα πυρηνελαιουργεία στην Ελλάδα που μπορούν να την επεξεργαστούν για την παραγωγή πυρηνελαίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα υγρά απόβλητα σε κάθε είδους ελαιοτριβείου προέρχονται από :

- Το ακάθαρτο νερό και τα λύματα που προκύπτουν από τον καθαρισμό των χώρων, του μηχανικού εξοπλισμού και των χώρων υγιεινής (τουαλέτες) τον ελαιοτριβείου.
- Το ακάθαρτο νερό του πλυντηρίου του ελαιοκάρπου.
- Τα υγρά απόβλητα που παράγονται κατά την φυγοκέντρωση της ελαιοζύμης (στα φυγοκεντρικά ελαιουργεία).
- Τα υγρά απόβλητα που παράγονται στο στάδιο του ελαιοδιαχωρισμού του ελαιολάδου από τα φυτικά υγρά και/ ή τις προσμίξεις του (στα κλασσικά και στα φυγοκεντρικά ελαιουργεία).

2.1.3 Χαρακτηριστικά παραγόμενων αποβλήτων

Από την επεξεργασία του ελαιοκάρπου παραλαμβάνουμε, εκτός από το λάδι, ελαιοπυρήνα (λιοκόκκια) που συνίσταται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (εξωκάρπιο, σαρκώδες μεσοκάρπιο, αποξυλωμένο ενδοκάρπιο), λιοφύλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιοκάρπο, και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, γνωστά ως «κατσίγαροι», «λιόζουμα», ή «μούργες». Οι σχετικές μέσες ποσότητες ελαιολάδου, στερεών υπολειμμάτων και λιόζουμων που προκύπτουν από την επεξεργασία 100 Kg ελαιοκάρπου παρουσιάζονται παρακάτω (Φλουρή κ.α, 1994).

Τα φυτικά υγρά (πλην του λαδιού) που περιέχονται στον καρπό της ελιάς αποτελούν περίπου το 40 - 45 % του βάρους του. Συνήθως περιέχουν 17% στερεά τα οποία κατά 15% είναι οργανικά και 2% ανόργανα. Η σύνθεση αυτή ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία του ελαιοκάρπου, ανάλογα με την ωριμότητα του (εποχή) αλλά και ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής του (άρδευση, λίπανση, καλλιέργεια κ.λ.π.).

Τα απόβλητα των ελαιουργείων περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικών ουσιών, με αποτέλεσμα να καθίστανται τοξικά για τα περισσότερα εδάφη. Επιπλέον, η δυσάρεστη οσμή που αναδίδουν καθιστά δύσκολη την αποθήκευσή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα και απαιτεί την επεξεργασία τους πριν την απόθεση.

Πίνακας 2 Αναλογία παραγώγων και αποβλήτων που παράγονται από 100 kg ελαιοκάρπου

	Παράγωγα	Απόβλητα		
Ελαιοκάρπος	Ελαιόλαδο	Ελαιοπυρήνα	Ελαιόφυλλα	Ελαιόζουμα
100 kg	21 kg	35 - 45 kg	3 - 5 kg	65 - 175 kg

2.2 Κομποστοποίηση

2.2.1 Ορισμός και γενικές έννοιες

Η κομποστοποίηση οργανικών υλικών ορίζεται ως η βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης αυτών.

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική βιολογική διαδικασία αποδόμησης την οποία η παρέμβαση του ανθρώπου έχει εντατικοποιήσει και μεγιστοποιήσει την απόδοσή της. Η υποβοήθηση της φύσης από τον άνθρωπο στη γρήγορη βιολογική αποδόμηση των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων και η επιστροφή τους στους φυσικούς αποδέκτές τους και ιδιαίτερα το χώμα, είναι μπορεί να πει κανείς, μια αναγκαία παρέμβαση του ανθρώπου, σε αντιστάθμιση της προκαλούμενης από τον ίδιο μεγάλης παραγωγής προϊόντων και υπολειμμάτων και των συνεπειών τους, που είναι η υποβάθμιση των γεωργικών εδαφών και η ρύπανση και μόλυνση του περιβάλλοντος. Με αυτή την παρέμβαση,

η διατάραξη της ισορροπίας μειώνεται, μια και η γρήγορη αφαίμαξη ακολουθείται από μια γρήγορη και σωστή επιστροφή, που τείνει να εξασφαλίσει μια αειφόρο ανάπτυξη με την ανακύκλωση της οργανικής ύλης και την προστασία του περιβάλλοντος . Πέραν όμως από αυτή την ευεργετική γενικά, παρέμβαση του ανθρώπου, οι ανάγκες της Ελληνικής γεωργίας σε οργανικά υλικά εμπλουτισμού των καλλιεργούμενων εδαφών σε οργανική ουσία είναι αρκετά αυξημένες, δεδομένου ότι τα Ελληνικά εδάφη χαρακτηρίζονται γενικά από χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η οποία κυμαίνεται από 1-2,5%. Είναι φυσικό επομένως η παρέμβαση αυτή να μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία ιδιαίτερα σημαντική για την ελληνική γεωργία μέσα στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Στην περίπτωση μάλιστα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, ο ελλιπής εφοδιασμός των εδαφών τους με οργανική ουσία αποτελεί έναν από τους περιοριστικούς παράγοντες μεγιστοποίησης της παραγωγής τους, με αποτέλεσμα την ανάλογη συμβολή του στη διαμόρφωση του αυξημένου κόστους παραγωγής.

Στην ουσία η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία πολύπλοκα οργανικά μόρια διασπώνται με τη δράση μικροοργανισμών σε απλούστερες οργανικές ή και ανόργανες ενώσεις με ταυτόχρονη απελευθέρωση κυρίως CO_2 , υδρατμών και ενέργειας. Η διαδικασία είναι μικροβιακή, αερόβια και θερμόφιλη.

Η κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται μικροβιακή καθώς υπεύθυνοι για τη διαδικασία είναι ένας μεγάλος και ποικιλόμορφος πληθυσμός μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια, ζύμες, ακτινομύκητες κ.α.) καθώς και οργανισμών (γαιοσκώληκες κ.α.).

Οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στην κομποστοποίηση είναι κατά κύριο λόγο αερόβιοι. Αυτό έχει ως συνέπεια να είναι αναγκαία επαρκής ποσότητα οξυγόνου για τη γρήγορη, αποτελεσματική και χωρίς προβλήματα αποδόμηση της οργανικής ουσίας οπότε και η κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται ως αερόβια διαδικασία. Ως αερόβιες συνθήκες ορίζονται εκείνες όπου η περιεκτικότητα του οξυγόνου βρίσκεται πάνω από το 1%.

Η διαδικασία τέλος χαρακτηρίζεται θερμόφιλη καθώς κατά τη μικροβιακή αποδόμηση παραγεται ενέργεια με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των αποδομούμενων υλικών.

2.2.2 Τεχνική της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε σωρούς (σειράδια) τραπεζοειδούς διατομής. Πριν από τη διαμόρφωση των σωρών το προς αποδόμηση υλικό προετοιμάζεται με τον τεμαχισμό του και την προσθήκη υγρασίας και αζώτου αν είναι απαραίτητα. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η διαμόρφωση των άριστων όσο είναι δυνατών συνθηκών υγρασίας, θερμοκρασίας οξυγόνου και αζώτου για την ανάπτυξη της μικροχλωρίδας που προκαλεί την αποδόμηση του υλικού.

2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι οι παρακάτω:

Μικροχλωρίδα

Η μικροχλωρίδα που προκαλεί την αποδόμηση των οργανικών υλικών βρίσκεται ήδη σε αυτά προερχόμενη από το έδαφος, τον αέρα και το νερό και δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη σε αυτά πρόσθετου μικροβιακού μολύσματος.

Μέγεθος τεμαχιδίων

Το μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει σημαντικά τη μικροβιακή δραστηριότητα αφού ο πολυτεμαχισμός του σε μικρά τεμάχια αυξάνει την επιφάνεια η οποία είναι δυνατόν να προσβληθεί από τα εξωκυτταρικά ένζυμα των μικροοργανισμών αλλά ταυτόχρονα μειώνει και τα κενά στα οποία εγκλωβίζεται ο αέρας με αποτέλεσμα τη γρήγορη επικράτηση αναερόβιων συνθηκών. Επίσης το αρχικό μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει αναλογικά και την κοκκομετρική σύνθεση του τελικού compost το οποίο δεν είναι επιθυμητό να είναι σε κατάσταση σκόνης. Φαίνεται λοιπόν πως υπάρχει ένα βέλτιστο μέγεθος τεμαχιδίων το οποίο έχει προσδιοριστεί πειραματικά μεταξύ 1,5 και 7,5 cm περίπου.

Υγρασία

Το άριστο επίπεδο υγρασίας είναι διάφορο για κάθε κατηγορία υλικού και συνδέεται άμεσα με τις υδατικές ιδιότητές του. Με βάση το γεγονός πως το 30% των πόρων μεταξύ των τεμαχιδίων πρέπει να καταλαμβάνεται από αέρα ώστε να διατηρούνται οι αερόβιες συνθήκες γίνεται φανερό πως η περιεκτικότητα του υλικού σε νερό δεν πρέπει να ξεπερνάει το 70% του επιπέδου κορεσμού του. με βάση τα ανωτέρω για τα περισσότερα οργανικά υλικά η άριστη υγρασία κυμαίνεται από 45% (λεπτόκοκκα υλικά) έως 65% (χονδρόκοκκα υλικά) σε υγρή βάση.

Σχέση άνθρακα-αζώτου

Τα διάφορα οργανικά υπολείμματα έχουν συνήθως υψηλή αναλογία άνθρακα-αζώτου. Οι μικροοργανισμοί κατά την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων αφομοιώνουν το 1/3 περίπου του μεταβολιζόμενου άνθρακα και ο υπόλοιπος ελευθερώνεται ως CO_2 . Η περιεκτικότητα του μικροβιακού κυττάρου σε άνθρακα και άζωτο είναι 50% και 5% αντίστοιχα, που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο η σχέση άνθρακα-αζώτου στο μικροβιακό κύτταρο είναι 10/1. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει πως η ιδανική αναλογία C/N στο προς κομποστοποίηση υλικό είναι 30/1. Στην περίπτωση λοιπόν που η αρχική αναλογία C/N στο υλικό είναι πάνω από 30/1 είναι αναγκαία η προσθήκη ανόργανου αζώτου σε τέτοια ποσότητα που να ρυθμίζει την αναλογία C/N στο 30/1.

pH

Το pH του υλικού επηρεάζει άμεσα τη διαδικασία κομποστοποίησης καθώς ασκεί καθοριστικό ρόλο στο φάσμα των αναπτυσσόμενων οργανισμών, Ως

άριστο pH για την κομποστοποίηση θεωρείται εκείνο της ελαφρώς αλκαλικής περιοχής, καθώς ευνοεί τη δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζει την ανάπτυξη των μυκήτων. Η διόρθωση του pH του υλικού πάντως δεν θεωρείται απαραίτητη δεδομένου ότι με την έναρξη της χώνευσης ελευθερώνεται αμμωνία με αποτέλεσμα την άνοδο του pH στην ελαφρώς αλκαλική περιοχή και στη συνέχεια η ανάγκη αυτή καλύπτεται από την ίδια τη διαδικασία.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Με την ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζουμε τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο οργανικό υλικό που αποδομείται. Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν αποτελεί μειονέκτημα για τη διαδικασία της κομποστοποίησης αλλά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά το τελικό compost καθώς επηρεάζει την ποσότητα του υλικού που μπορεί να εφαρμοστεί κατά στρέμμα.

Θερμοκρασία

Με την έναρξη της διαδικασίας κομποστοποίησης λόγω της μικροβιακής δράσης όπως προαναφέρθηκε ελευθερώνεται ενέργεια. Τα εξωτερικά στρώματα του σωρού δρουν θερμομονωτικά στα εσωτερικά με αποτέλεσμα η απελευθέρωση ενέργειας να προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας του σωρού. Έτσι στα πρώτα δύο ή τρία εικοσιτετράωρα από την έναρξη της διαδικασίας η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί και τους 70 °C και να διατηρηθεί σε αυτό το επίπεδο για αρκετές ημέρες. Αργότερα όμως η θερμοκρασία πέφτει καθώς η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η επέμβαση οξυγόνωσης του υλικού η οποία γίνεται με το γύρισμα (ανακάτεμα) του σωρού.

Ως άριστη θερμοκρασία για τη μικροβιακή δραστηριότητα στους σωρούς του composting θεωρείται εκείνη μεταξύ των 50 και 65 °C.

Συνολικά μπορούμε να συνοψίσουμε τις συνθήκες εκείνες που ευνοούν την κομποστοποίηση στα παρακάτω φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υλικού:

- Υγρασία 55-65%
- Σχέση άνθρακα προς άζωτο 30 προς 1
- Το pH γύρω στο 7
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) κάτω από 2 mS/cm
- Οργανικά πτητικά στερεά πάνω από 70%.

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης η διατήρηση των παρακάτω παραμέτρων σε βέλτιστα επίπεδα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της διαδικασίας και της μείωσης του απαραίτητου χρόνου.

- Θερμοκρασία μεταξύ 55 και 65°C
- Υγρασία μεταξύ 50 και 60%
- Επαρκή αερισμό των υλικών

2.2.4 Η μικροβιολογία της κομποστοποίησης

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η κομποστοποίηση είναι μια καθαρά μικροβιακή διαδικασία στην οποία παίρνουν μέρος πλήθος μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αποδομούν τις μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις σε απλούστερες κυρίως μέσω του μεταβολισμού τους. Παρακάτω δίνεται μια παρουσίαση των μικροβιακών δραστηριοτήτων και εναλλαγών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Φάση 1^η

Στην πρώτη φάση της κομποστοποίησης έχουμε τη διάσπαση των απλούστερων μορίων όπως σάκχαρα κυρίως από βακτήρια που αποτελούν και το κυρίαρχο είδος μικροοργανισμού καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών είναι 15-35⁰ C (σε εξάρτηση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος) και για αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται ψυχρόφιλοι. Σε αυτές τις θερμοκρασίες συναντάμε και κάποιους μύκητες. Καθώς όμως οι διεργασίες της αποδόμησης προκαλούν απελευθέρωση ενέργειας με ταυτόχρονη άνοδο της θερμοκρασίας όπως προαναφέρθηκε, η φάση αυτή διαρκεί πολύ λίγο, ίσως και μόνο μια μέρα (εξαρτάται από το υλικό και τις συνθήκες).

Φάση 2^η

Στη φάση αυτή συνεχίζεται η διάσπαση των απλών μορίων σχεδόν αποκλειστικά από βακτήρια. Η θερμοκρασία έχει αυξηθεί και κυμαίνεται μεταξύ 35 και 55 °C. Οι μικροοργανισμοί που κυριαρχούν σε αυτή τη φάση λέγονται μεσόφιλοι. Η διάρκεια της φάσης αυτής ποικίλει από μερικές ώρες σε μερικές μέρες αλλά σε γενικές γραμμές είναι μεγαλύτερης διάρκειας από την πρώτη.

Φάση 3^η

Η θερμοκρασία έχει φτάσει πάνω από τους 55 °C και μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 80 °C. Τα είδη των βακτηρίων που ευδοκιμούν σε αυτές τις θερμοκρασίες ονομάζονται θερμόφιλα. Σε αυτές τις θερμοκρασίες δεν υπάρχουν μύκητες και ελάχιστοι ακτινομύκητες. αν αφήσουμε να συμβεί αυτό η πλειονότητα των μικροοργανισμών, ακόμα και των νεκρόφιλων βακτηρίων θα νεκρωθεί. Στη φύση όταν αυτό συμβαίνει έχουμε μια πτώση της θερμοκρασίας και μια καθυστέρηση της φαινομένου της κομποστοποίησης. Από την άλλη η πτώση της θερμοκρασίας όπως αυτή που παρατηρούμε στους σωρούς μπορεί να οφείλεται και άλλα φαινόμενα, όπως η έλλειψη υγρασίας ή αέρα (οξυγόνου). Για αυτούς τους λόγους όταν η θερμοκρασία πέφτει αναμοχλεύουμε το υλικό. Με αυτό τον τρόπο προσθέτουμε οξυγόνο και χαμηλώνουμε τη θερμοκρασία ενώ φέρνουμε στο κέντρο του σωρού όπου και γίνεται η διαδικασία αποδόμησης νέα υλικά. Αν και πάλι η θερμοκρασία δεν αυξηθεί μετά το γύρισμα τότε επαναλαμβάνουμε το γύρισμα του σωρού προσθέτοντας και νερό ώστε να αυξηθεί η υγρασία. Αν ούτε αυτό έχει αποτέλεσμα σημαίνει πως η φάση αυτή της διαδικασίας έχει ολοκληρωθεί και περνάμε στην επόμενη.

Φάση 4^η

Η φάση αυτή είναι μεσόφιλη και διαρκεί από μερικές μέρες έως μερικές εβδομάδες. Στη φάση αυτή εμφανίζονται μύκητες και ακτινομύκητες, οι οποίοι προσβάλλουν τα πλέον δύσκολα αποδομούμενα οργανικά μόρια όπως της κυτταρίνης.

Φάση 5^η

Η φάση αυτή ονομάζεται φάση ωρίμανσης και διαρκεί τυπικά από 8 μέχρι 12 εβδομάδες. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται είναι και πάλι μικροβιακής φύσης αλλά αρκετά πιο αργές από ότι στις προηγούμενες φάσεις και χωρίς εμφανή φυσικά αποτελέσματα όπως ήταν η αύξηση της θερμοκρασίας. Εδώ έχουμε την ολοκλήρωση της αποδόμησης των οργανικών μορίων και την παραγωγή ενός υλικού πλούσιου σε οργανική ουσία αλλά χωρίς την τοξική δράση που συνεπάγεται η πολύ μεγάλη συγκέντρωση αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Πρώτες ύλες

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του προγράμματος ήταν οι ακόλουθες:

- ♦ **Ελαιοπυρήνα διφασικού ελαιοτριβείου Αγροτικού Συνεταιρισμού Παναγιάς.**

Η ελαιοπυρήνα περιείχε και τα υγρά του καρπού όπως συμβαίνει σε όλα τα διφασικά ελαιοτριβεία. Δεν έγινε καμιά άλλη επέμβαση πριν την χρησιμοποίησή της (εικόνα 1).

- ♦ **Ροκανίδια λευκής ξυλείας.** Τα ροκανίδια προέρχονταν από ξυλουργικά εργοστάσια του Ηρακλείου και δεν έγινε και σ' αυτά καμιά πρόσθετη επέμβαση.

- ♦ **Κλαδοκάθαρα δένδρων.** Τα κλαδοκάθαρα προέρχονταν από θάμνους και τα δένδρα των πάρκων και των δενδροστοιχιών του Δήμου Ηρακλείου και δένδρα του Αγροκτήματος του ΤΕΙ. Πριν από τη χρησιμοποίησή τους θρυμματίστηκαν με ειδικό θρυμματιστή (εικόνα 2).

- ♦ **Φύλλα ελιάς.** Τα φύλλα ελιάς προέρχονταν από το ελαιοτριβείο του Συνεταιρισμού Παναγιάς, και ήταν σε προχωρημένο στάδιο αποδόμησης. Δεν έγινε και σ' αυτά καμιά πρόσθετη επέμβαση.

Εκτός των παραπάνω υλικών χρησιμοποιήθηκε και έδαφος από την περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε το πείραμα, δηλαδή από το αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου προκειμένου να μελετηθεί η επίδρασή του στην εξέλιξη της

κομποστοποίησης του τρίτου σειραδίου. Το έδαφος, πριν από τη χρησιμοποίησή του πέρασε από κόσκινο των 10 mm.

Εικόνα 3.1 Ελαιοπυρήνα διφασικού ελαιουργείου Αγροτικού Συνεταιρισμού Παναγιάς, φύλλα ελιάς και ροκανίδια λευκής ξυλείας από ξυλουργικό εργοστάσιο του Ηρακλείου



Εικόνα 3.1 Θρυμματιστής κλαδοκαθάρων με πετελαιοκινητήρα 27hp



3.2 Μεθοδολογία και μέσα κομποστοποίησης

3.2.1 Μέθοδοι κομποστοποίησης

Οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι κομποστοποίησης είναι οι παρακάτω:

Κομποστοποίηση σε σταθερά σειράδια

Στη μέθοδο αυτή ουσιαστικά τα υπολείμματα τοποθετούνται σε μακρόστενους σωρούς των οποίων οι διαστάσεις ποικίλουν αλλά συνήθως διατηρούνται μεταξύ 3 και 4 μέτρων στο πλάτος και 2 και 3 μέτρων στο ύψος. Ο έλεγχος της διαδικασίας βασίζεται στη θερμοκρασία η οποία ελέγχεται αυτόματα (μόμιμο σύστημα καταγραφής και ελέγχου συνδεδεμένο με υπολογιστή) ή χειρωνακτικά (με ειδικά θερμόμετρα). Όταν η θερμοκρασία ανεβεί πάνω από τους 65 με 70 °C τότε με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων αναμοχλεύουμε το σωρό προσθέτοντας αέρα στο σύστημα και πολύ συχνά υγρασία. Στην πράξη η αναστροφή των σωρών γίνεται χωρίς να καθορίζεται από τη θερμοκρασία σε τακτά χρονικά διαστήματα που ποικίλουν από δύο φορές την εβδομάδα έως και μια φορά κάθε δύο εβδομάδες.

Κομποστοποίηση σε αεριζόμενους σωρούς

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται προσπάθεια για μείωση της ανάγκης να αναδεύονται οι σωροί. Αυτό πραγματοποιείται με την προσθήκη αέρα στους σωρούς των υλικών με τη βοήθεια ανεμιστήρων οι οποίοι είτε προωθούν αέρα στο σωρό είτε τον απομακρύνουν (αναρόφηση) με αποτέλεσμα νέος αέρας να εισέρχεται στο σύστημα. Ο έλεγχος της ποσότητας του αέρα που εισέρχεται στο

σωρό καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Έχουν γίνει προσπάθειες προσθήκης και υγρασίας στο σωρό μαζί με τον αέρα χωρίς όμως ιδιαίτερη επιτυχία. Τα πλέον κοινά συστήματα είναι αυτά που φυσούν αέρα στο σωρό.

Κομποστοποίηση σε δοχεία

Είναι η πλέον καινούρια μέθοδος κομποστοποίησης όπου μέρος της διαδικασίας (συνήθως οι πρώτες 3 με 4 εβδομάδες που είναι και οι πιο ενεργές) λαμβάνει χώρα σε κλειστά δοχεία με πλήρη έλεγχο θερμοκρασίας, αερισμού και υγρασίας. Το σύστημα είναι αυτοματοποιημένο και έχει ως πλεονέκτημα τον πλήρη έλεγχο των παραγομένων οσμών και συνεπώς τη μείωση της ενόχλησης των περιοίκων.

3.2.2 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κομποστοποίησης

Στο παρόν πείραμα επιλέχθηκε η μέθοδος κομποστοποίησης με σειράδια λόγω των χαμηλών απαιτήσεων σε υλικοτεχνική υποδομή. Άλλωστε σκοπός του πειράματος ήταν η εξέταση του κατά πόσον είναι δυνατή η εφαρμογή της κομποστοποίησης σε ευρεία κλίμακα από τα ελαιουργεία της Κρήτης για την επεξεργασία των αποβήτων τους. Συνεπώς ήταν λογικό να χρησιμοποιηθεί η πλέον οικονομική και χαμηλή σε εξοπισμό μέθοδος. Επιπλέον στο χώρο του Τ.Ε.Ι. Κρήτης δεν υπάρχει πρόβλημα με τους περιοίκους όπως δεν θα υπάρχει και στους χώρους των ελαιουργείων, δεδομένου ότι ούτως ή άλλως η παραγωγή του ελαιόλαδου προκαλεί δυσάρεστες οσμές, οπότε οι επιπλέον οσμές από τη διαδικασία της κομποστοποίησης δεν αναμένεται να προκαλέσουν ιδιαίτερη όχληση.

3.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου

3.2.3.1 Γενικά

Για την κομποστοποίηση της ελαιοπυρήνας εφαρμόστηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μέθοδος της κομποστοποίησης σε σειράδια. Για την πιο αποτελεσματική μελέτη της διαδικασίας δημιουργήθηκαν τρία σειράδια με διαφορετικές αναλογίες σε ελαιοπυρήνα και διογκωτικά υλικά. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε ένα σειράδιο με ίσα μέρη ελαιοπυρήνας, φύλλων ελιάς και κλαδοκάθαρων καθώς και ένα με διπλάσια αναλογία κλαδοκάθαρων σε σχέση με την ελαιοπυρήνα και τα φύλλα ελιάς. Επίσης δημιουργήθηκε ένα σειράδιο με ελαιοπυρήνα και ροκανίδι λευκής ξυλείας σε αναλογία 1 προς 1,5. Τέλος περίπου δύο μήνες πριν το τέλος του πειράματος δημιουργήθηκε ένα σειράδιο με έδαφος από την περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα ώστε να προσδιοριστεί η επίδρασή του στη διαδικασία της κομποστοποίησης. Οι αναλογίες επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζονται αερόβιες συνθήκες στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό. Άλλωστε με τον ίδιο γνώμονα επιλέχθηκαν και τα διογκωτικά υλικά.

Τα σειράδια που δημιουργήθηκαν είχαν τριγωνική διατομή με διαστάσεις βάσης περίπου 2,5 m και ύψος 1,0 m περίπου, ενώ το μήκος και ο όγκος του κάθε σειραδίου ήταν ανάλογα με την προς κομποστοποίηση ποσότητα και φαίνονται σε παρακάτω κεφάλαιο.

3.2.3.2 Εγκατάσταση των σειραδίων και διαδικασία αναστροφών

Η εγκατάσταση των σειραδίων έγινε με τη βοήθεια φορτωτή πάνω σε πίστα από μπετόν. Η διαδικασία έγινε με την εναπόθεση στην πίστα των κλαδοκάθαρων σε στρώμα πάχους περίπου 20 cm και πλάτους 1,0 m και στη συνέχεια με την εναπόθεση πάνω από αυτά ενός ίδιου πάχους στρώματος φύλλων ελιάς. Τέλος σε αυτά τα δύο στρώματα τοποθετήθηκε ένα ίδιου πάχους στρώμα ελαιοπυρήνας. Η διαδικασία συνεχίστηκε μέχρι την επίτευξη του ύψους των 2,5 m. Για το σειράδιο με την αναλογία 1:1:2 για κάθε ένα στρώμα ελαιοπυρήνας και φύλλων ελιάς τοποθετούνταν δύο στρώματα κλαδοκαθάρων με τη σειρά που αναφέρθηκε παραπάνω. Τέλος το σειράδιο με το ροκανίδι λευκής ξυλείας δημιουργήθηκε με αντίστοιχο τρόπο τοποθέτησης. Μετά την εγκατάσταση ακολούθησε αναστροφή από ειδικό αναστροφέα ρυμουλκούμενο από μηχανικό τράκτορα (εικόνα 3). Με τον ειδικό αυτό αναστροφέα γινόνταν και οι αναστροφές των σειραδίων σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Οι αναστροφές των σειραδίων γίνονταν με βασικό κριτήριο την πτώση της θερμοκρασίας των σειραδίων και σε χρονικά διαστήματα που με τον καιρό μεγάλωναν όπως φαίνεται παρακάτω.

Εικόνα 3.3 Αναστροφές σειραδίων, πυμουλκούμενος από μηχανικό τράκτορα



Αμέσως μετά από κάθε αναστροφή γινόταν λήψη δείγματος από κάθε σειράδιο στο οποίο γινόταν οι εργαστηριακές αναλύσεις που παρουσιάζονται παρακάτω. Το δείγμα λαμβανόταν από διάφορα σημεία και βάθη του σειραδίου έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η όσο είναι δυνατόν μεγαλύτερη αντιπροσωπευτικότητά του. Ο εργαστηριακός αυτός έλεγχος είχε το διπλό σκοπό της παρακολούθησης της πορείας της κομποστοποίησης μέσω των μεταβολών των βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του μείγματος, αλλά και της συλλογής στοιχείων για μελλοντική χρήση.

Η ταχεία φάση της κομποστοποίησης εθεωρείτο ότι είχε ολοκληρωθεί όταν μετά από αναστροφή του σειραδίου η θερμοκρασία του δεν ξεπερνούσε τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος περισσότερο από 15-20°C.

3.3 Μετρούμενες παράμετροι και μέθοδοι εργαστηριακών αναλύσεων

3.3.1 Μετρούμενες παράμετροι

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν τόσο στα ενδιάμεσα δείγματα όσο και στα τελικά κόμποστ, είναι οι ακόλουθες:

- **Θερμοκρασία**
- **O₂ και CO₂**
- **Υγρασία %**
- **pH**
- **Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC (mS/cm)**
- **Οργανικός άνθρακας (C%) σε ξηρή βάση**
- **Οργανική ουσία**
- **Ολικό N%**
- **Σχέση C/N.**
- **Νιτρικό άζωτο (NO₃-N)**
- **Αμμωνιακό άζωτο (NH₄-N)**

3.3.2 Μέθοδοι εργαστηριακών αναλύσεων

3.3.2.1 Μέτρηση Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία κομποστοποίησης καταγραφόταν σε ημερήσια βάση με ηλεκτρονικό θερμόμετρο, σε βάθος 20 cm σε διάφορα σημεία σε κάθε σειράδιο. Η ημερήσια θερμοκρασία του κάθε σειράδιου προκύπτει ως ο μέσος όρος αυτών των μετρήσεων. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό θερμόμετρο με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου. Οι πίνακες που προέκυψαν από αυτές τις μετρήσεις δίνονται παρακάτω.

3.3.2.2 Μέτρηση O_2 και CO_2

Η μέτρηση της συγκέντρωσης O_2 και CO_2 μέσα στη χωνεύουσα μάζα του υλικού έγινε με τη με τη συσκευή προσδιορισμού αερίων Gas Analyser (GA) 2000. Οι μετρήσεις έγιναν σε καθημερινή βάση με την απορρόφηση ποσότητας αερίου μέσα από το σωρό χώνευσης.

Για το σκοπό αυτό σε κάθε σωρό προσαρμόστηκε το παρακάτω σύστημα, το οποίο έχει διαπιστωθεί ότι προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα: Μέσα στο σωρό τοποθετήθηκε γυάλινο χωνί ανεστραμμένο το άνοιγμα του οποίου κλείστηκε με υδρόφοβο βαμβάκι. Το ράμφος του χωνιού συνδέθηκε με πλαστικό σωλήνα ικανού μήκους ώστε να περισσεύει από το σωρό περίπου μισό μέτρο. Στο άκρο του πλαστικού σωλήνα προσαρμόστηκε λεπτός ελαστικός σωλήνας στο οποίο προσαρμοζόταν το άκρο του αναλυτή αερίων. Στα ενδιάμεσα των

μετρήσεων ο ελαστικός σωλήνας κλεινόταν με κατάλληλο σφιγκτήρα ώστε να αποφεύγεται η διαφυγή των αερίων του σωρού. Σε κάθε σωρό τοποθετήθηκαν χωνιά σε δύο διαφορετικά βάθη στα 15 και στα 30 cm περίπου. Στους σωρούς με τα κλαδοκάθαρα, οι οποίοι είχαν και μεγάλο μήκος τοποθετήθηκαν τέσσερα τέτοια χωνιά δύο σε μικρό και δύο σε μεγάλο βάθος σε διαφορετικά σημεία των σωρών, ενώ στους άλλους δύο σωρούς ένα σε μικρό και ένα σε μεγάλο βάθος έτσι ώστε οι μετρήσεις να αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα της συγκέντρωσης αερίων σε όλη τη μάζα του σωρού. Πριν από κάθε μέτρηση το μηχάνημα καλιμπραριζόταν με την αναρρόφηση ατμοσφαιρικού αέρα για περίπου 1 λεπτό, ενώ η κάθε μέτρηση παιρνόταν μετά από τουλάχιστον 90 δευτερόλεπτα αναρρόφησης αερίου από το σωρό και εφόσον η ένδειξη του αναλυτή είχε σταθεροποιηθεί.

3.3.2.2.1 Περιγραφή του μετρητή αερίων Gas Analyser 2000

Ο μετρητής αερίων Gas Analyser 2000 πρόκειται για ότι νεότερο υπάρχει σε συσκευές μέτρησης συγκέντρωσης αερίων για χρήση σε χωματερές. Η αναρρόφηση του αέρα γίνεται από αυτόματη ηλεκτροκίνητη εσωτερική αντλία και η καταγραφή των τιμών των αερίων γίνεται αυτόματα στην οθόνη.

Η συσκευή έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε μέγιστη θερμοκρασία 40°C. Για να αποφευχθεί οποιοδήποτε πρόβλημα και με δεδομένο ότι η θερμοκρασία στους σωρούς μπορεί να αγγίξει και τους 80°C, χρησιμοποιείται ένα απλό σύστημα ψύξης στο οποίο ο σωλήνας μεταφοράς αερίων περνά μέσα από

ένα δοχείο με νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με αποτέλεσμα τη γρήγορη ψύξη των αερίων.

3.3.2.3 Προσδιορισμός υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας στα δείγματα αποσκοπεί στο να εκτιμηθεί κατά πόσο η έλλειψη ή η περίσσεια νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία κομποστοποίησης. Όπως έχει επισημανθεί υγρασία κάτω από 45% δημιουργεί πρόβλημα στους μικροοργανισμούς που αποδομούν την οργανική ουσία, ενώ υγρασία πάνω από 70% δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες. Συνεπώς η διατήρηση της υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα αποτελεί βασικό παράγοντα για την ομαλή συνέχιση της διαδικασίας και επηρεάζει τις εργασίες κατά τις αναδεύσεις του σωρού (προσθήκη υγρασίας με ψεκασμό).

Η υγρασία υπολογίστηκε με τη μέθοδο της καύσης στους 105⁰C για 24 ώρες. Για το σκοπό αυτό τα δείγματα τοποθετούνται σε πυρίμαχες πορσελάνινες κάψες οι οποίες ζυγίζονται πριν την τοποθέτηση του δείγματος (τιμή Α), καθώς και μαζί με το δείγμα (τιμή Β). Οι κάψες στη συνέχεια τοποθετούνται σε φούρνο με θερμοκρασία 105 ⁰C για 24 ώρες. Μετά την εξαγωγή τους από το φούρνο οι κάψες αφήνονται να κρυώσουν έως ότου αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια ζυγίζονται εκ νέου (τιμή Γ). Η υγρασία υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Y(\%) = \frac{\Gamma - A}{B - A} \times 100$$

3.3.2.4 Μέτρηση του pH

Το pH μετριόταν σε δείγμα του υλικού αμέσως μετά από κάθε αναστροφή του σωρού σε υδατικό εκχύλισμα του δείγματος και με τη μέθοδο 1:1,5 κατ' όγκον. Η προετοιμασία του εκχυλίσματος γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Με προσθήκη υγρασίας στο δείγμα το φέρνουμε σε κατάσταση κορεσμού. Αυτή η κατάσταση ελέγχεται μακροσκοπικά (ουσιαστικά σταματάμε την προσθήκη νερού όταν το υλικό σταματά να το απορροφά). Όταν φέρουμε το υλικό σε κατάσταση κορεσμού γεμίζουμε τον κύλινδρο. Ο κύλινδρος αυτός έχει εσωτερική διάμετρο 42 mm, ύψος 58 mm και χωρητικότητα 80 cm³. Γεμίζουμε όμοιο κύλινδρο μέχρι τη μέση και στη συνέχεια τοποθετούμε τον ένα πάνω στον άλλο. Τοποθετούμε στους κυλίνδρους και πάνω στο υλικό βαρίδιο μάζας 1,385 kg. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση των δειγμάτων και την κατάληψη του όγκου μέσα στον κάτω κύλινδρο από υλικό χωρίς διάκενα αέρα. Στη συνέχεια κόβουμε με μαχαίρι ανάμεσα στους δύο κυλίνδρους και τοποθετούμε το περιεχόμενο του κάτω κυλίνδρου σε ποτήρι ζέσεως. Αποτέλεσμα όλης αυτής της διαδικασίας είναι να πάρουμε ακριβώς 80 cm³ υλικού κορεσμένου σε νερό. Στη συνέχεια προσθέτουμε 120 ml απιονισμένου νερού στο υλικό, ανακατεύουμε και διηθούμε με διηθητικό χαρτί. Στο εκχύλισμα που προκύπτει γίνεται μέτρηση του pH με ηλεκτρονικό πεχάμετρο.

3.3.2.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Στο εκχύλισμα που προκύπτει από τη μέθοδο 1: 1,5 κατ' όγκο όπως περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο, μετράμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα με ηλεκτρονικό αγωγιμόμετρο.

3.3.2.6 Οργανικός άνθρακας σε ξηρή βάση

Το οργανικό υλικό ξηραίνεται για 48 ώρες σε φούρνο ξήρανσης και στη συνέχεια αλέθεται σε εργαστηριακό μύλο. Τοποθετούμε σε πορσελάνινη κάψα 2 - 3 g δείγματος και υπολογίζουμε την υγρασία στους 105⁰C όπως αναφέρεται σε προηγούμενη παράγραφο. Στη συνέχεια το δείγμα καίγεται σε φούρνο καύσης στους 600⁰C για 16 ώρες. Έπειτα ζυγίζεται η τέφρα και υπολογίζεται το ποσοστό της ξηρής ουσίας το οποίο αποτελεί. Ο οργανικός άνθρακας υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$C\% = \frac{100 - \text{Τεφρα}\%}{1,8}$$

3.3.2.7 Οργανική ουσία

Για τον υπολογισμό της οργανικής ουσίας με βάση τον ολικό οργανικό άνθρακα χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Οργανική ουσία} = (\text{Οργανικός Άνθρακας } \%) \times (1,724)$$

Ο συντελεστής 1,724 προκύπτει από την παραδοχή ότι η οργανική ουσία των εδαφών περιέχει κατά μέσο όρο 58% οργανικό άνθρακα ($\frac{1}{0,58} = 1,724$)

3.3.2.8 Προσδιορισμός ολικού αζώτου

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου έγινε με τη μέθοδο Kjeldahl. Χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαστηριακά όργανα:

- Εστία πέψεως μικροkjeldahl με φιάλες πέψης των 30 ml.
- Αποστακτική συσκευή ατμού
- Δίλαιμες φιάλες των 250 ml
- Μικρομπουρέτα

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Πυκνό διάλυμα H_2SO_4
- Καταλύτης πέψης που αποτελείται από 10 gr K_2SO_4 , 1 gr $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0,1 gr Se
- Διάλυμα NaOH 40%
- Διάλυμα H_3BO_3 2%
- Δείκτης
- Διάλυμα HCl ή H_2SO_4 0,01N.

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό χωρίζεται σε δύο στάδια, την πέψη και την απόσταξη.

Η **πέψη** πραγματοποιείται με 50 - 100 mg λεπτοαλεσμένου υλικού, το οποίο τοποθετείται στη φιάλη πέψης μαζί με 100 mg καταλύτη και 1,5 ml H_2SO_4 . Το μείγμα θερμαίνεται σταδιακά επί 4 περίπου ώρες με τη θερμοκρασία ρυθμισμένη έτσι ώστε οι ατμοί του H_2SO_4 να συμπυκνώνονται στο πρώτο τρίτο του μήκους

της φιάλης πέψης. Η πέψη ολοκληρώνεται όταν το περιεχόμενο της φιάλης πάρει το χρώμα του πράσινου μήλου.

Η **απόσταξη** ξεκινά αφού το υλικό κρυώσει. Τότε τοποθετείται στη φιάλη απόσταξης που συνδέεται στη συσκευή απόσταξης. Στη συνέχεια αποστάζουμε NaOH μέσα από τη συσκευή και το απόσταγμα καταλήγει σε 20 ml διαλύματος βορικού οξέος. Η απόσταξη συνεχίζεται μέχρι το τελικό απόσταγμα να φτάσει σε όγκο 50 ml. Στη συνέχεια το απόσταγμα ογκομετρείται με το διάλυμα HCl ή 0,01N μέχρι να αποκτήσει ροζέ απόχρωση.

Σημειώνεται εδώ πως σε κάθε παρίδα δειγμάτων πραγματοποιείται και η μέτρηση δύο ή τριών τυφλών δειγμάτων.

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο (N%) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο

$$N\% = \frac{(A - B) \times 14}{\Xi B(gr)}, \text{ όπου}$$

A και B τα ml πυκνού διαλύματος HCl ή H₂SO₄ που καταναλώθηκαν κατά την τιτλοδότηση του αποστάγματος και του τυφλού αντίστοιχα και ΞB το ξηρό βάρος του δείγματος σε gr.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Στοιχεία πειραματικών κομποστοποιήσεων

4.1.1 Προεπεξεργασία των πρώτων υλών

Πριν από την εγκατάσταση των σειραδίων χώνευσης πραγματοποιήθηκαν στις πρώτες ύλες του πειράματος (ελαιοπυρήνα και διογκωτικά υλικά) μια σειρά αναλύσεων των φυσικοχημικών τους παραμέτρων. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

- Υγρασία
- pH
- ηλεκτρική αγωγιμότητα
- ολικός άνθρακας
- ολικό άζωτο
- σχέση άνθρακα- αζώτου (C/N)
- στερεά πτητικά
- νιτρικό άζωτο και
- ολικά κολοβακτηρίδια.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Από τα στοιχεία αυτών των μετρήσεων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η αυξημένη υγρασία της Ελαιοπυρήνας και το λεπτόκοκκο του υλικού απαιτούν διογκωτικά με χαμηλή υγρασία για να είναι δυνατή η παρασκευή μειγμάτων που η υγρασία τους να μπορεί να κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα για την κομποστοποίηση, που για την ελαιοπυρήνα είναι γύρω στο 50% σε υγρή φάση (Μανιός, 1980). Αυτό όμως θα πρέπει να ελέγχεται σε κάθε διαφοροποίηση της αναλογίας της Ελαιοπυρήνας προς τα διογκωτικά υλικά και βάσει αυτού να αποφασίζεται η προσθήκη ή όχι νερού κατά την εγκατάσταση των σειραδίων.
- Το pH όλων των πρώτων υλών κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα (όχι απαγορευτικά για την έναρξη της κομποστοποίησης) και ως εκ τούτου δεν απαιτείται καμιά διορθωτική παρέμβαση.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) όλων των πρώτων υλών, εκτός των φύλλων ελιάς, κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και ως εκ τούτου και στα τελικά κόμποστ των μειγμάτων τους η E.C. δεν μπορεί να διαμορφωθεί σε πολύ υψηλά επίπεδα. Η αυξημένη E.C. των φύλλων ελιάς οφείλεται στο ότι το υλικό αυτό βρισκόταν σε προχωρημένο στάδιο αποδόμησης.
- Η περιεκτικότητα των πρώτων υλών σε C και N και η μεταξύ τους σχέση, δίδουν το περιθώριο στη διαμόρφωση μειγμάτων κομποστοποίησης με τη σχέση C/N να κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα δηλαδή γύρω ή κάτω του 30/1.

- Η περιεκτικότητα των πρώτων υλών σε στερεά πτητικά (οργανική ουσία) κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα και ως εκ τούτου αναμένεται η παρασκευή κόμποστ με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.
- Ο αριθμός των ολικών κολοβακτηριδίων των πρώτων υλών κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα και δείχνει το μικροβιακό φορτίο τους. Πιο συγκεκριμένα στα φύλλα ελιάς και στην ελαιοπυρήνα υπάρχουν φαινολικές ουσίες με αντιβακτηριακή δράση, ενώ στα κλαδιά που έχουν μεγάλη ενεργή επιφάνεια και υγρασία ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών, αντίθετα με το ροκανίδι που είχε χαμηλό ποσοστό υγρασίας, που δεν συμβάλλει στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Πίνακας 4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών του πειρράματος (ελαιοπυρήνα και διογκωτικά υλικά)

Πρώτες ύλες	Υγρασία (%)	PH	Ε.С (mS/cm)	Ολικός C (%)	Ολικό N (%)	Σχέση C/N	Στερεά πτητικά (%)	NO ₃ -N ppm	Total Coliforms CFU/gr
Ελαιοπυρήνα	64,60	5,40	2,58	52,67	1,49	35,34	94,81	114,63	333,30
Φύλλα ελιάς	54,80	5,54	2,19	51,11	1,89	27,04	92,00	118,78	533,30
Κλαδοκάθαρα	35,00	6,54	1,76	51,59	1,27	40,62	92,86	-	780.000
Ροκανίδια	7,30	6,88	0,25	54,30	0,33	164,54	97,75	-	230,00
Χώμα (κλάσμα<10mm)	17,50	7,98	0,18	-	-	-	-	-	-

4.2 Εγκατάσταση των σειραδίων

Για τις ανάγκες του πειράματος εγκαταστάθηκαν τρία σειράδια με διαφορετικές αναλογίες σε ελαιοπυρήνα, φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα την ίδια ημέρα και συγκεκριμένα στις 20/1/2004. επίσης στις 6/5/2004 έγινε εγκατάσταση και ενός ακόμη σειραδίου με έδαφος από την περιοχή του αγροκτήματος του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου. παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι αναλογίες και οι επιμέρους λεπτομέρειες για κάθε σειράδιο.

Στο πρώτο σειράδιο η ελαιοπυρήνα αναμείχθηκε με φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα στην αναλογία 1 : 1 : 1 κατ' όγκον. Ο όγκος, το νωπό βάρος και η υγρασία των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν στο τρίτο σειράδιο φαίνονται στον πίνακα 4. Η προσθήκη των κλαδοκάθαρων στην παραπάνω αναλογία αποσκοπούσε στο να βελτιωθεί το πορώδες του μείγματος και επομένως οι αερόβιες συνθήκες σε σχέση με προηγούμενες πειραματικές διατάξεις. Η βελτίωση αυτή του πορώδους έδωσε την δυνατότητα να κρατηθεί σχετικά χαμηλά ο αριθμός των γυρισμάτων και οι αναστροφές να γίνονται κάθε 15 με 20 μέρες. Από το 5^ο γύρισμα και μετά, λόγω σημαντικής μείωσης της υγρασίας ήταν απαραίτητη η προσθήκη νερού κάθε φορά που γινόταν αναστροφή ώστε η υγρασία να διατηρηθεί στα βέλτιστα επίπεδα του 50 με 60% όπως αναφέρεται σε προηγούμενη παράγραφο. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 αναστροφές για την ολοκλήρωση της χώνευσης του σειραδίου και ο χρόνος που απαιτήθηκε έφτασε τις 161 μέρες.

Στο δεύτερο σειράδιο η ελαιοπυρήνα αναμείχθηκε με φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα στην αναλογία 1 : 1 : 2 κατ' όγκον. Ο όγκος το νωπό βάρος και η

υγρασία των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν στο τέταρτο σειράδιο φαίνονται στον πίνακα 5. Η αύξηση των διογκωτικών υλικών αποσκοπούσε στην ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση του πορώδους, ώστε να εξασφαλιστούν ακόμη καλύτερες αερόβιες συνθήκες. Σ' αυτό το σειράδιο βελτιώθηκαν οι αερόβιες συνθήκες αλλά οι ανάγκες σε νερό ήταν υψηλότερες από ότι στο προηγούμενο σειράδιο. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 αναστροφές στις ίδιες ημερομηνίες με το προηγούμενο σειράδιο και η χώνευση διήρκεσε ίδια περίοδο.

Στο τρίτο σειράδιο η Ελαιοπυρήνα αναμείχθηκε με ροκανίδια στην αναλογία 1 : 1,5 κατ' όγκον. Ο όγκος το νωπό βάρος και η υγρασία των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν στο πέμπτο σειράδιο φαίνονται στον πίνακα 6. Η χρήση των ροκανιδιών αποσκοπούσε στην εξασφάλιση των αερόβιων συνθηκών χωρίς την αύξηση της θερμογόνου δύναμης του μείγματος, δεδομένης της βραδύτητας αποδόμησης των ροκανιδιών. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 αναστροφές για την ολοκλήρωση της χώνευσης του σειράδιου στις ίδιες ημερομηνίες με τα δύο προηγούμενα σειράδια και η χώνευση διήρκεσε την ίδια περίοδο. Τα ροκανίδια είχαν τη χαμηλότερη υγρασία 7,30% από όλες τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τέταρτο σειράδιο αναμείχθηκε υλικό από το πρώτο σειράδιο (αναλογία 1:1:1) με χώμα στην αναλογία 1 : 3 κατ' όγκον. Ο όγκος το νωπό βάρος και η υγρασία των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο σειράδιο φαίνονται στον πίνακα 7. Η προσπάθεια αυτή αποσκοπούσε στο να διερευνηθεί κατά πόσο η προσθήκη του εδάφους θα συνέβαλε στην επίσπευση της πτώσης της θερμοκρασίας αλλά και την εξέλιξη της χώνευσης. Στο σειράδιο αυτό έγιναν δύο αναστροφές.

Πίνακας 4.2 Στοιχεία πρώτου σειραδίου με ελαιοπυρήνα, φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα σε αναλογία 1:1:1 κατ'όγκον

Πρώτες ύλες και μείγμα	Ογκος (m ³)	Νωπό βάρος (kg)	Ειδικό βάρος (kg/l)	Υγρασία (%)	Ξηρό βάρος (kg)
1. Ελαιοπυρήνας Συν/σμού Παναγιάς	4,20	4.200	1,001	64,60	1.487
2. Φύλλα Ελιάς	4,20	800	0,194	54,80	362
3 . Κλαδοκάθαρα	8,40	2.600	0,311	35,00	1.690
4. Μείγμα πριν την έναρξη της κομποστοποίησης	13,80	7.600	0,553	53,42	3.540

Πίνακας 4.3 Στοιχεία δεύτερου σειραδίου με αναλογία ελαιοπυρήνας, φύλλων ελιάς και κλαδοκάθαρων 1:1:2 κατ' όγκον

Πρώτες ύλες και μείγμα	Ογκος (m ³)	Νωπό βάρος (kg)	Ειδικό βάρος (kg/l)	Υγρασία (%)	Ξηρό βάρος (kg)
1. Ελαιοπυρήνας Συν/σμού Παναγιάς	4,20	4.200	1,001	64,60	1.487
2. Φύλλα Ελιάς	4,20	800	0,194	54,80	362
3 . Κλαδοκάθαρα	8,40	2.600	0,311	35,00	1.690
4. Μείγμα πριν την έναρξη της κομποστοποίησης	13,80	7.600	0,553	53,42	3.540

Πίνακας 4.4 Στοιχεία τρίτου σειραδίου με αναλογία ελαιοπυρήνας και ροκανιδιών λευκής ξυλείας 1:1,5

Πρώτες ύλες και μείγμα	Ογκος (m ³)	Νωπό βάρος (kg)	Ειδικό βάρος (kg/l)	Υγρασία (%)	Ξηρό βάρος (kg)
1. Ελαιοπυρήνας Συν/σμού Παναγιάς	3,60	3.600	1,001	64,60	1.274
2. Ροκανίδια	5,40	1.150	0,211	7,30	1.066
3. Μείγμα πριν την έναρξη της κομποστοποίησης	7,90	4.750	0,600	50,85	2.335

Πίνακας 4.5 Στοιχεία τέταρτου σειραδίου με έδαφου και υλικό από το πρώτο σειράδιο σε αναλογία 1:3 και ' όγκον

Πρώτες ύλες και μείγμα	Ογκος (m ³)	Νωπό βάρος (kg)	Ειδικό βάρος (kg/l)	Υγρασία (%)	Ξηρό βάρος (kg)
1. Υλικό από το πρώτο σειράδιο	0,60	336	0,560	63,00	124
2. Χώμα Κλάσμα <10mm	0,20	215	1,078	17,50	177
3. Μείγμα πριν την έναρξη της κομποστοποίησης	0,70	551	0,780	46,00	297

4.3. Μεταβολές Θερμοκρασίας σειραδίων χώνευσης

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας χώνευσης στο πρώτο σειράδιο που εγκαταστάθηκε στις 20/1/2004 με Ελαιοπυρήνα, Φύλλα Ελιάς και Κλαδοκάθρα σε αναλογία 1:1:1 κατ' όγκον. Η αρχική θερμοκρασία έφτασε τους 60 °C, ενώ πριν την πρώτη αναστροφή έφτασε και τους 70 °C. Στη συνέχεια όπως φαίνεται και στο διάγραμμα η θερμοκρασία άγγιξε κατά περιόδους και τους 75 °C. Η θερμοκρασία παρέμεινε πάνω από τους 65 °C, ανώτατο όριο των βέλτιστων θερμοκρασιών όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, για μια περίοδο 65 ημερών.

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας χώνευσης στο δεύτερο σειράδιο που εγκαταστάθηκε επίσης στις 20/1/2004 με Ελαιοπυρήνα, Φύλλα Ελιάς και Κλαδοκάθρα σε αναλογία 1:1:2 κατ' όγκον. Σε αυτό το σειράδιο παρατηρούνται επίσης υψηλές θερμοκρασίες που αγγίζουν τους 75 °C, αλλά η περίοδος παραμονής της θερμοκρασίας του σειραδίου άνω των 65 °C περιορίστηκε στις 25 ημέρες. Εξαίρεση αποτελεί μια περίοδος περίπου 15 ημερών ανάμεσα στο τέταρτο και το έκτο γύρισμα του σειραδίου, κατά την οποία η θερμοκρασία πρόσκαιρα έφτασε και πάνω από τους 70 °C.

Απο τη σύγκριση των μεταβολών της θερμοκρασίας στα δύο αυτά σειράδια προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις:

- Παρά το γεγονός ότι τα σειράδια εγκαταστάθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, η θερμοκρασία χώνευσης και στα δύο ανήλθε και διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το πορώδες

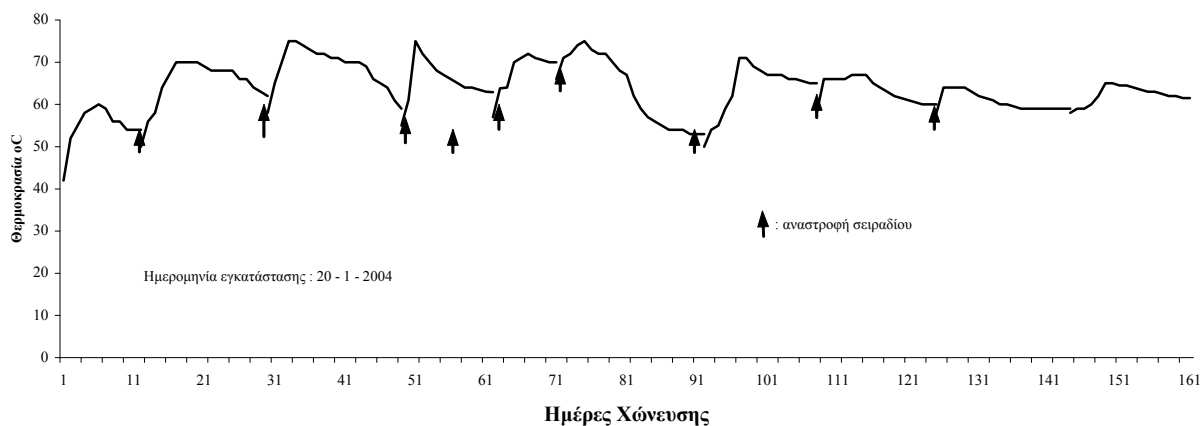
που διαμορφώθηκε με τα διογκωτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και κυρίως τα κλαδοκάθαρα επέτρεψε τη διατήρηση των αεροβίων συνθηκών παρά τις βροχοπτώσεις που δέχθηκαν τα σειράδια ειδικά τις πρώτες 60 ημέρες. Στη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας χώνευσης σημαντικό ρόλο επίσης έπαιξε και η μεγάλη θερμογόνος δύναμη της ελαιοπυρήνας που χρησιμοποιήθηκε.

- Η θερμοκρασία χώνευσης στο πρώτο σειράδιο ανήλθε και διατηρήθηκε σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στο δεύτερο και μάλιστα για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (67 ημέρες στο πρώτο σειράδιο και 25 στο δεύτερο). Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε δύο παράγοντες. Κατά πρώτον ο διπλασιασμός του αναλογομένου όγκου κλαδοκαθάρων στο δεύτερο σειράδιο σε σχέση με το πρώτο μείωσε το λόγο του όγκου της πλούσιας σε θερμογόνο δύναμη ελαιοπυρήνας και κατά συνέπεια την παραγόμενη θερμότητα. Κατά δεύτερον η αυξημένη διόγκωση του μείγματος, μειώθηκε η θερμομόνωση των εξωτερικών στρωμάτων του δεύτερου σειραδίου, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ευπάθειά του στις εξωτερικά χαμηλές θερμοκρασίες.
- Η πτώση της θερμοκρασίας στο δεύτερο σειράδιο μετά την άνοδο που ακολουθεί τις αναστροφές των σειραδίων είναι ταχύτερη σε σχέση με το πρώτο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί στους παράγοντες που αναφέρονται παραπάνω, δηλαδή τη μικρότερη θερμογόνο δύναμη του μείγματος και τη μειωμένη θερμομόνωση των εξωτερικών στρωμάτων του δεύτερου σειραδίου.
- Στο δεύτερο σειράδιο η διατήρηση της θερμοκρασίας χώνευσης στην άριστη περιοχή των 55 και 65 °C επιτυγχάνεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα στο πρώτο σειράδιο η θερμοκρασία

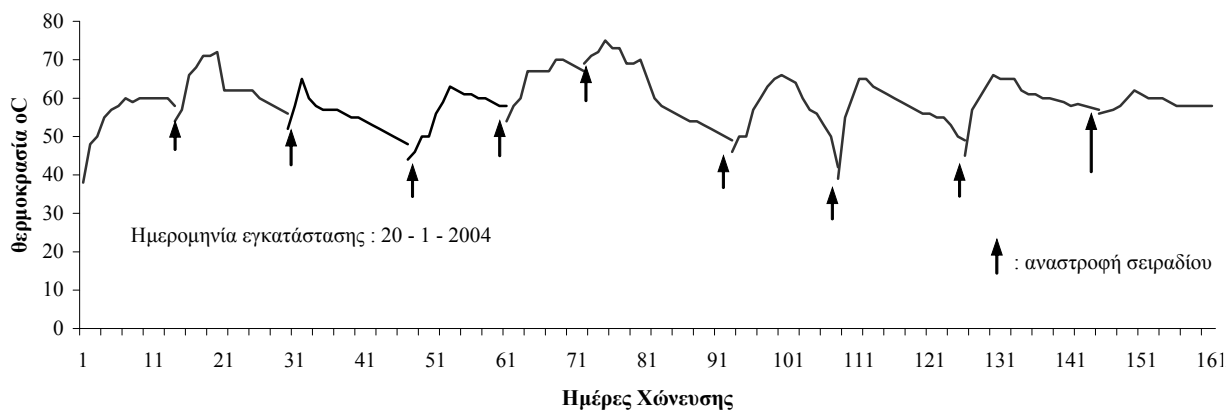
σταθεροποιείται σε αυτήν την περιοχή μετά τις 80 περίπου ημέρες χώνευσης και μέχρι το πέρας της διαδικασίας της κομποστοποίησης, ενώ στο δεύτερο σειράδιο η θερμοκρασία χώνευσης κυμαίνεται στην άριστη περιοχή μετά τις 25 ημέρες χώνευσης με εξαίρεση την περίοδο από την 70^η μέχρι και την 80^η ημέρα, περίοδο που όπως φαίνεται και παρακάτω συνδέεται με μείωση της υγρασίας σε όλα τα σειράδια. Η διαφορά αυτή οφείλεται βεβαίως στο διπλασιασμό της αναλογίας των κλαδοκάθαρων και τις προαναφερθείσες αλλαγές που επιφέρει αυτό.

Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας χώνευσης στο τρίτο σειράδιο που εγκαταστάθηκε επίσης στις 20/1/2004 με Ελαιοπυρήνα και Ροκανίδια σε αναλογία 1:1,5 κατ' όγκον. Σε αυτό το σειράδιο η θερμοκρασία διατηρήθηκε στην άριστη περιοχή των 55-65 °C σε όλη τη διάρκεια της ταχείας φάσης της κομποστοποίησης, χωρίς ακραίες τιμές προς τα επάνω, αλλά με πτώση της θερμοκρασίας και κάτω από τους 50 °C κατά τις περιόδους πριν την αναστροφή του σειραδίου. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η κάμψη της θερμοκρασίας χώνευσης μετά την αναμενόμενη άνοδο που ακολουθούσε κάθε αναστροφή ήταν ομαλή και σταδιακή. Τελικά η θερμοκρασία διαμορφώθηκε σε επίπεδα κάτω των 50 °C μετά από 4 μήνες.

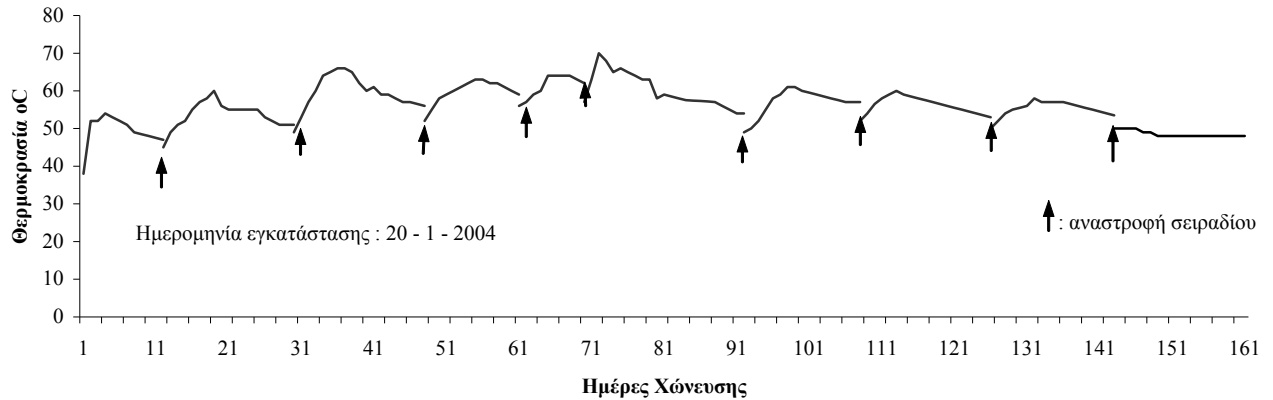
Σχήμα 4.1 Μεταβολές θερμοκρασίας στο πρώτο σειράδιο με ελαιοπυρήνα, φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα σε αναλογία 1:1:1 κατ' όγκον



Σχήμα 4.1 Μεταβολές θερμοκρασίας χώνευσης στο δεύτερο σειράδιο με ελαιοπυρήνα, φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα σε αναλογία 1:1:2 κατ' όγκον.



Σχήμα 4.3 Μεταβολές Θερμοκρασίας χώνευσης στο τρίτο σειράδιο με ελαιοπυρήνα και ροκανίδι λευκής ξυλείας σε αναλογία 1:1,5 κατ' όγκον.



Από την ανωτέρω ανάλυση των Θερμοκρασιών χώνευσης στα τρία σειράδια μπορούν να σημειωθούν τα ακόλουθα:

1. Τα κλαδοκάθαρα και τα φύλλα ελιάς ως διογκωτικά υλικά φαίνεται να βελτιώνουν σημαντικά τις αερόβιες συνθήκες στα σειράδια ώστε και σε υψηλά ποσοστά υγρασίας να μη σημειώνεται μείωση της δραστηριότητας των μικροοργανισμών της βιοαποικοδομητικής διαδικασίας.
2. Η αυξημένη αναλογία κλαδοκάθαρων στο δεύτερο σειράδιο το κατέστησε πιο ευαίσθητο στις μεταβολές της υγρασίας σε σχέση με το πρώτο όπως φαίνεται από την παροδική αύξηση της Θερμοκρασίας χώνευσης αυτού στη μέση της περιόδου της ταχείας φάσης κομποστοποίησης.
3. Στο δεύτερο σειράδιο με την αυξημένη αναλογία κλαδοκάθαρων μειώνονται οι ακραίες προς τα επάνω Θερμοκρασίες αλλά μειώνεται και η θερμόνωση του σειραδίου, με αποτέλεσμα τη γρήγορη κάμψη της Θερμοκρασίας από το μέγιστο που παρατηρείται μετά από κάθε αναστροφή.
4. Τα ροκανίδια λευκής ξυλείας στην αναλογία 1:1,5 κατ' όγκον ως διογκωτικό υλικό δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα από πλευράς διαμόρφωσης Θερμοκρασιών χώνευσης και διάρκειας κομποστοποίησης.

4.4 Εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Η μέτρηση των αερίων που συσσωρεύονταν στο σωρό εξυπηρέτησε για το πείραμα δύο σκοπούς. Από τη μια μεριά οι συγκεντρώσεις των αερίων που μετρήθηκαν έδινε μια ικανοποιητική εικόνα για την πρόοδο της διαδικασίας και τη χρονική τοποθέτηση των αναστροφών των σωρών, καθώς η αύξηση του CH_4 σημαίνει την οδήγηση της διαδικασίας σε αναερόβιες συνθήκες. Σε αυτό το σημείο τοποθετούνταν η αναστροφή ώστε να επιστρέψει η διαδικασία σε αερόβιες συνθήκες. Από την άλλη μεριά η μέτρηση των αερίων παρείχε τη δυνατότητα για την εξαγωγή κάποιων προκαταρκτικών στοιχείων σχετικά με τη συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου κατά την κομποστοποίηση των αποβλήτων διφασικού ελαιουργείου, καθώς και της επιρροής που έχει η αναλογία των υλικών που συγκομποστοποιούνται με την ελαιοπυρήνα στη συσσώρευση αυτών των αερίων. Τέλος, με τη μέτρηση των αερίων με χωνιά που ήταν και στην επιφάνεια αλλά και βαθιά στο σωρό έγινε μια εκτίμηση για τη βέλτιστη μέθοδο μέτρησης των αερίων και το πού συγκεντρώνεται η κύρια μάζα των αερίων αυτών. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η χρονική διακύμανση της συγκέντρωσης για τα αέρια O_2 , CO_2 και CH_4 . Σε καθένα από τα διαγράμματα φαίνεται η διακύμανση των συγκεντρώσεων στα χωνιά που ήταν τοποθετημένα σε μικρό και μεγάλο βάθος, καθώς και τα χωνιά που ήταν ανοιχτά και κλειστά ανάμεσα στις μετρήσεις. Οι διαφορές που εμφανίζονται από σωρό σε σωρό και από χωνί σε χωνί συζητιούνται παρακάτω.

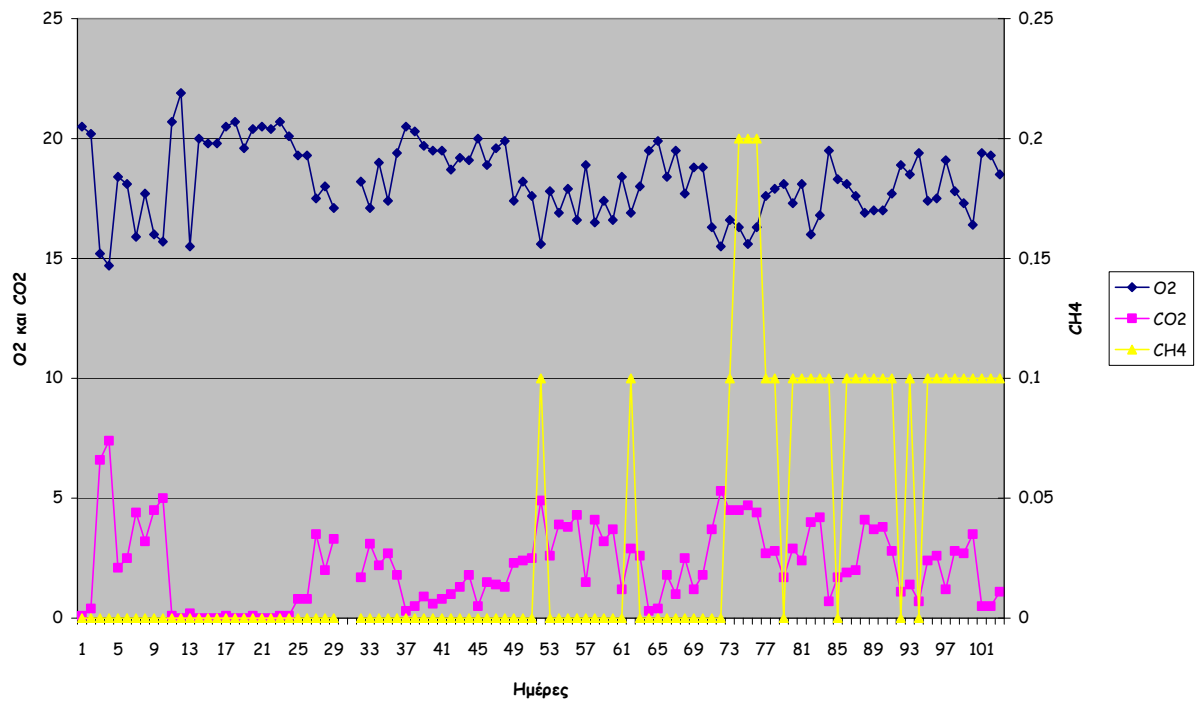
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα που ακολουθούν και οι τρεις σωροί παρουσιάζουν αντίστοιχη συμπεριφορά μετά τις αναστροφές με τις τιμές του CO_2

και CH_4 να παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις μετά τις αναστροφές και να πέφτουν με την πάροδο του χρόνου. Παρατηρείται όμως και μια ανομοιομορφία στις τιμές των αερίων. Μάλιστα για τους δύο πρώτους σωρούς οι τιμές είναι διαφορετικές και στα οκτώ χωνιά που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις. Με δεδομένο λοιπόν πως τα σειράδια αυτά είναι σχηματισμένα από τα ίδια υλικά και η διεργασία τους (αναστροφές, διαβροχή με νερό και περιβαλλοντικές συνθήκες) είναι η ίδια, ο μοναδικός λόγος για τη διαφορά που παρουσιάζουν στις τιμές των αερίων είναι η διαφορετική αναλογία των κλαδοκάθαρων που χρησιμοποιήθηκαν. Η μεγαλύτερη αναλογία κλαδοκάθαρων στο δεύτερο σωρό του προσδίδει μικρότερη πυκνότητα με αποτέλεσμα αφενός να επιτρέπεται μεγαλύτερη ροή αέρα στο κέντρο του σειραδίου και αφετέρου να συγκρατείται μεγαλύτερη ποσότητα αέρα στο σωρό. Με αυτό μπορούν να εξηγηθούν οι υψηλότερες τιμές O_2 και οι χαμηλότερες τιμές CH_4 που παρατηρούνται στο δεύτερο σειράδιο. Συγκεκριμένα στον πρώτο σωρό οι τιμές του O_2 ήταν κατά μέσο όρο 16,86 % του διοξειδίου του άνθρακα 3,83 % και του CH_4 0,25 %, ενώ για το δεύτερο σωρό οι αντίστοιχες τιμές ήταν 18,07 %, 2,39 % και 0,04 %. Αντίστοιχα για τον τρίτο σωρό ο μέσος όρος των μετρήσεων ήταν 16,35 % για το O_2 , 4,22 % για το CO_2 και 0,41 % για το CH_4 . Φαίνεται λοιπόν πως ο τρίτος σωρός με τα ροκανίδια λευκής ξυλείας έχει επίπεδα συγκέντρωσης οξυγόνου αντίστοιχα με τον πρώτο σωρό και επίπεδα μεθανίου σημαντικά μεγαλύτερα και από τους δύο σωρούς. Αντίστοιχα μεγαλύτερη είναι και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Το λεπτόκοκκο λοιπόν του υλικού (ροκανίδια) οδήγησε σε μικρότερη κυκλοφορία αέρα στο εσωτερικό του τρίτου σωρού και μεγαλύτερη παραγωγή μεθανίου.

Για τις μετρήσεις που προέκυψαν από τα επιφανειακά και σε βάθος εγκατεστημένα χωνιά υπάρχουν και στους τρεις σωρούς διαφορές και για τα τρία αέρια.

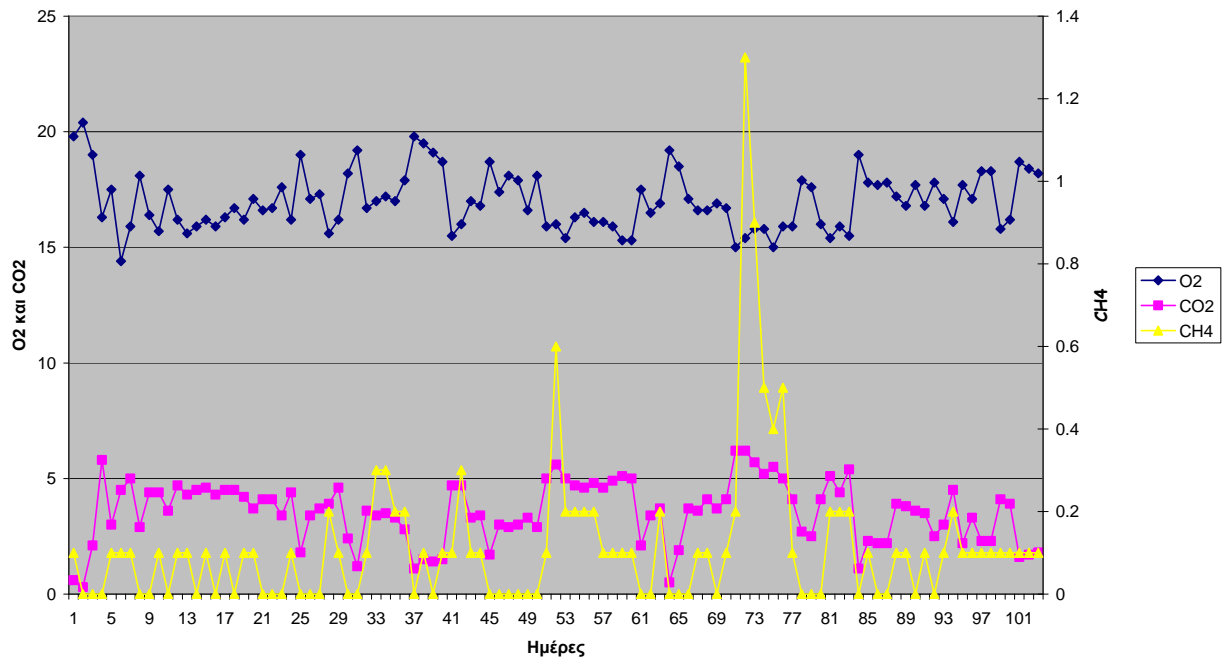
Όσον αφορά τις μετρήσεις με ανοιχτά και κλειστά χωνιά οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι σημαντικές και στα τρία αέρια από τα χωνιά που ήταν εγκατεστημένα κοντά στην επιφάνεια του σωρού μόνο για τους δύο πρώτους σωρούς, ενώ ο τρίτος εμφανίζει αντίστοιχες μετρήσεις και για τα δύο χωνιά που χρησιμοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα για τα δύο πρώτα σειράδια οι τιμές του O_2 και του CO_2 είναι για τους ανοιχτούς σωλήνες 17,03 % και 3,96 % αντίστοιχα, ενώ για τους κλειστούς 16,67 % και 3,89 %. Για το δεύτερο σωρό έχουμε 18,28 % για τους ανοιχτούς σωλήνες και 17,83 % για τους κλειστούς όσον αφορά το O_2 και 2,37 % και 2,4 % για το CO_2 για ανοιχτούς και κλειστούς σωλήνες αντίστοιχα. Από τις μετρήσεις αυτές φαίνεται ότι οι ανοιχτοί και οι κλειστοί σωλήνες δίνουν διαφορετική εικόνα για τους σωρούς. Παρόλο που δεν υπάρχει βιβλιογραφία για αντίστοιχες μετρήσεις μπορούν να γίνουν κάποιες υποθέσεις για το τι συμβαίνει σε κάθε περίπτωση. Είναι πιθανό λοιπόν στους κλειστούς σωλήνες να παγιδεύεται ατμοσφαιρικό οξυγόνο όπως μέσα στους πόρους του μείγματος. Αντίθετα στους ανοιχτούς σωλήνες επιτρέπεται η ελεύθερη ροή αερίων, ωθούμενη από τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο σωρό και τις εξωτερικές συνθήκες, με αποτέλεσμα οι σωλήνες να λειτουργούν σαν καμινάδες που συλλέγουν και αντλούν αέρια από μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με το σωλήνα, όπως υποθέτουμε ότι συμβαίνει με τους κλειστούς σωλήνες. Και οι δύο υποθέσεις φαίνονται λογικές, αλλά μπορεί να υποστηριχθεί και η διαφορετική προσέγγιση ότι οι ανοιχτοί σωλήνες πλησιάζουν περισσότερο την αληθινή κατάσταση του σωρού. Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαία περαιτέρω έρευνα.

Σχήμα 4.4 Σωρός 1:1:1. Χωνί 1 (Επιφάνειας και ανοιχτό)



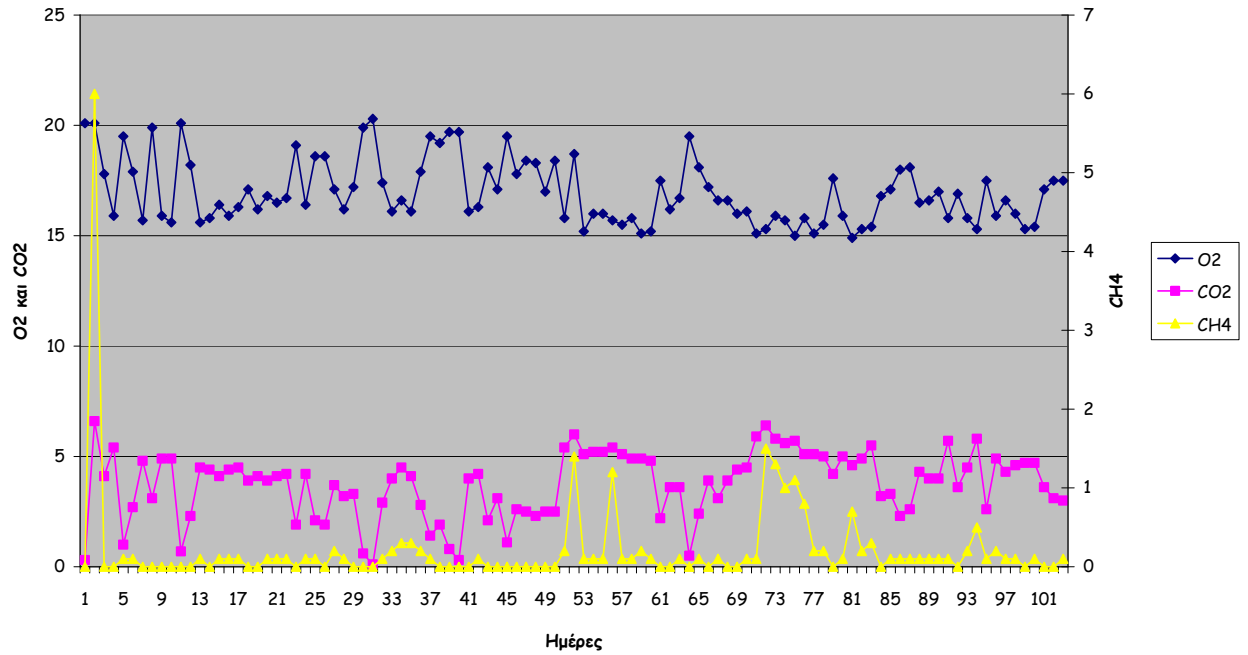
Σχήμα 4.5 Σωρός 1:1:1. Χωνί 2 (Πυρήνα και ανοιχτό)

2



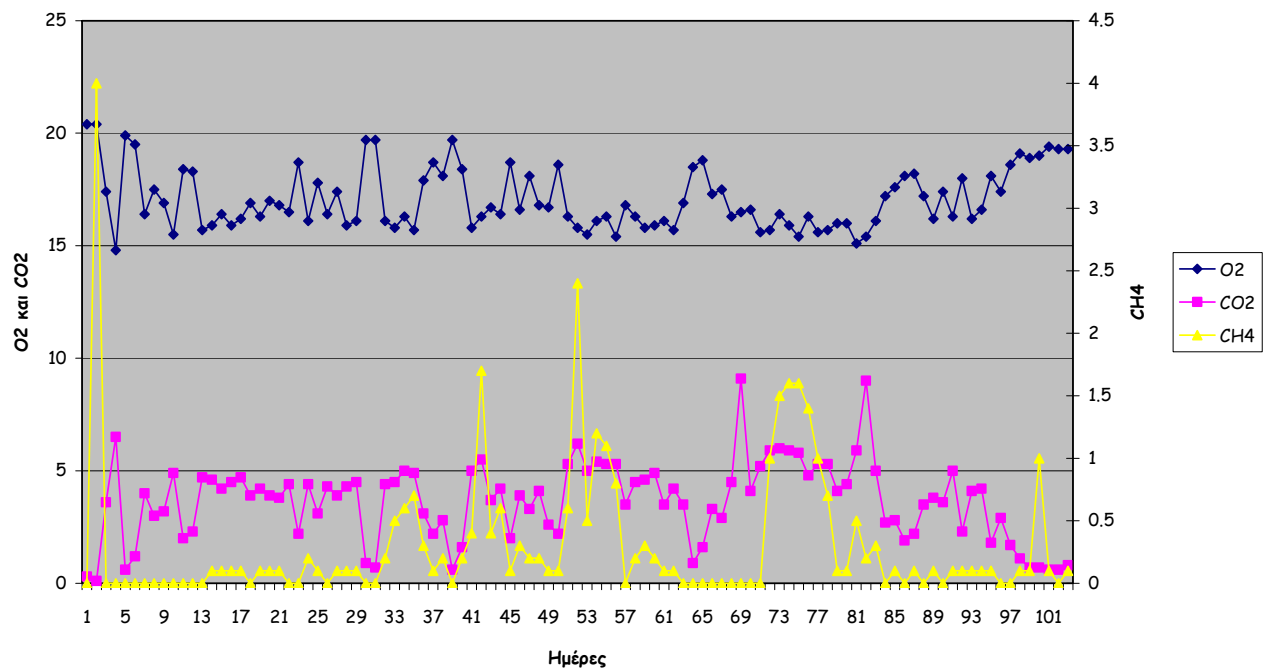
Σχήμα 4.6 Σωρός 1:1:1. Χωνί 1 (Επιφάνειας και κλειστό)

3

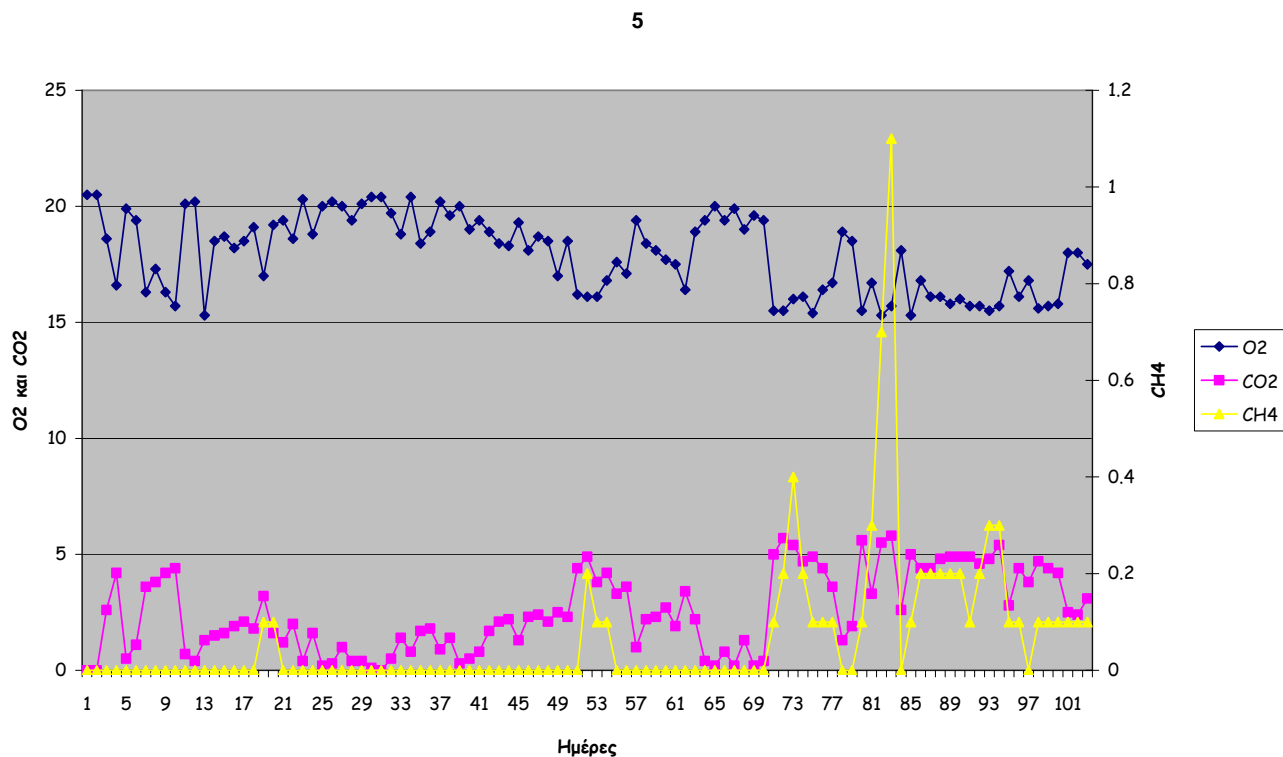


Σχήμα 4.7 Σωρός 1:1:1. Χωνί 1 (Πυρήνα και κλειστό)

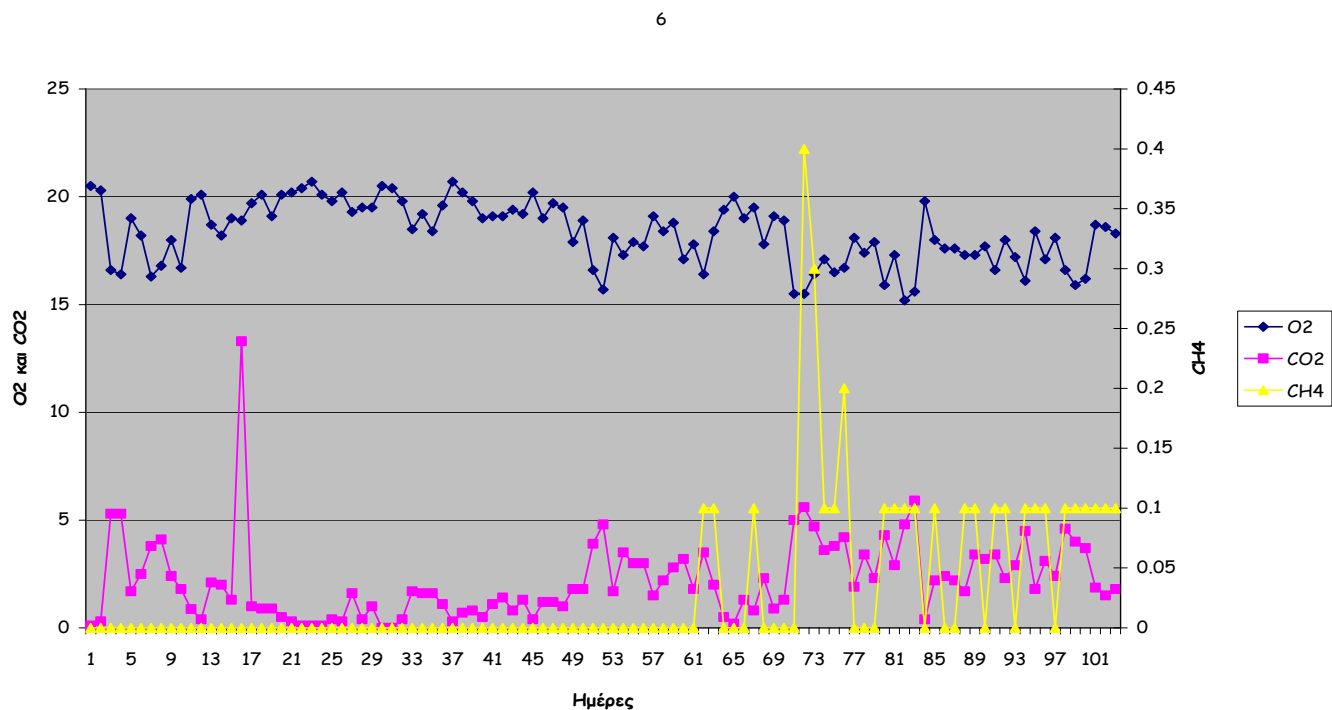
4



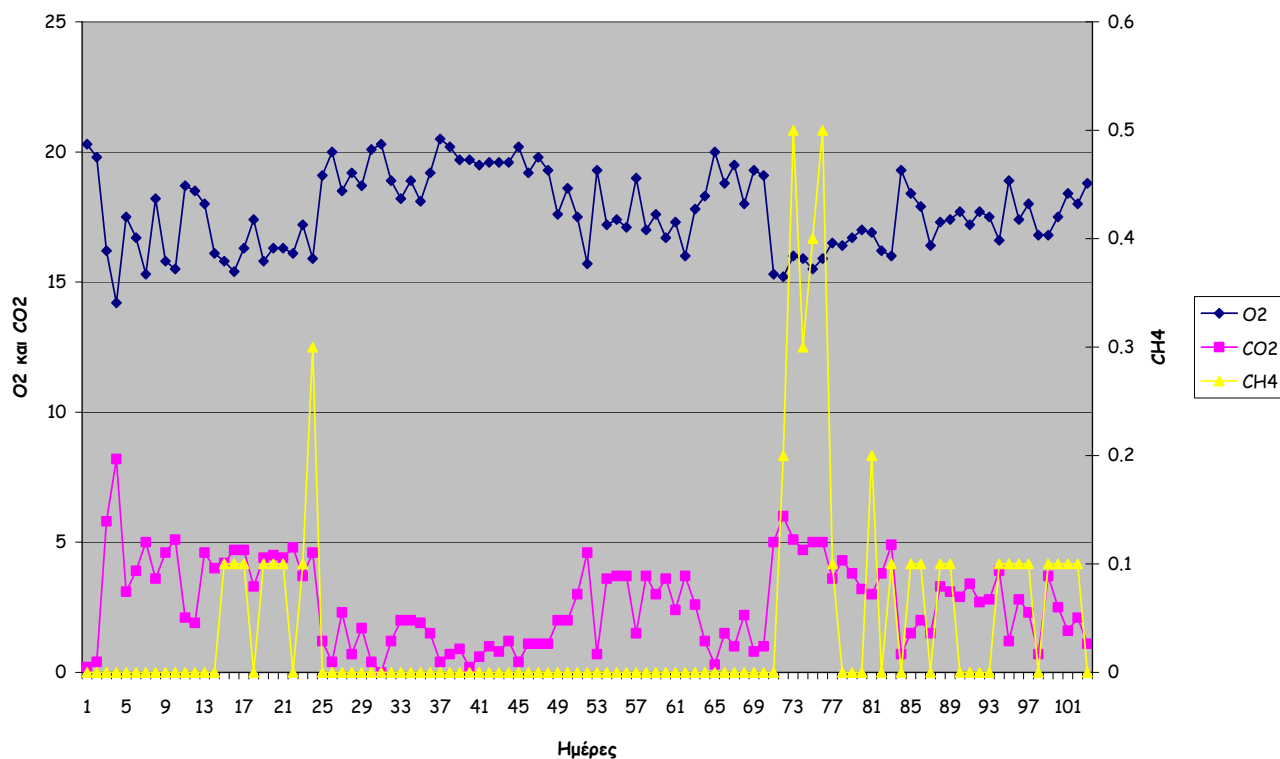
Σχήμα 4.8 Σωρός 1:1:2. Χωνί 5 (Επιφάνειας και ανοιχτό)



Σχήμα 4.9 Σωρός 1:1:2. Χωνί 6 (Πυρήνα και ανοιχτό)

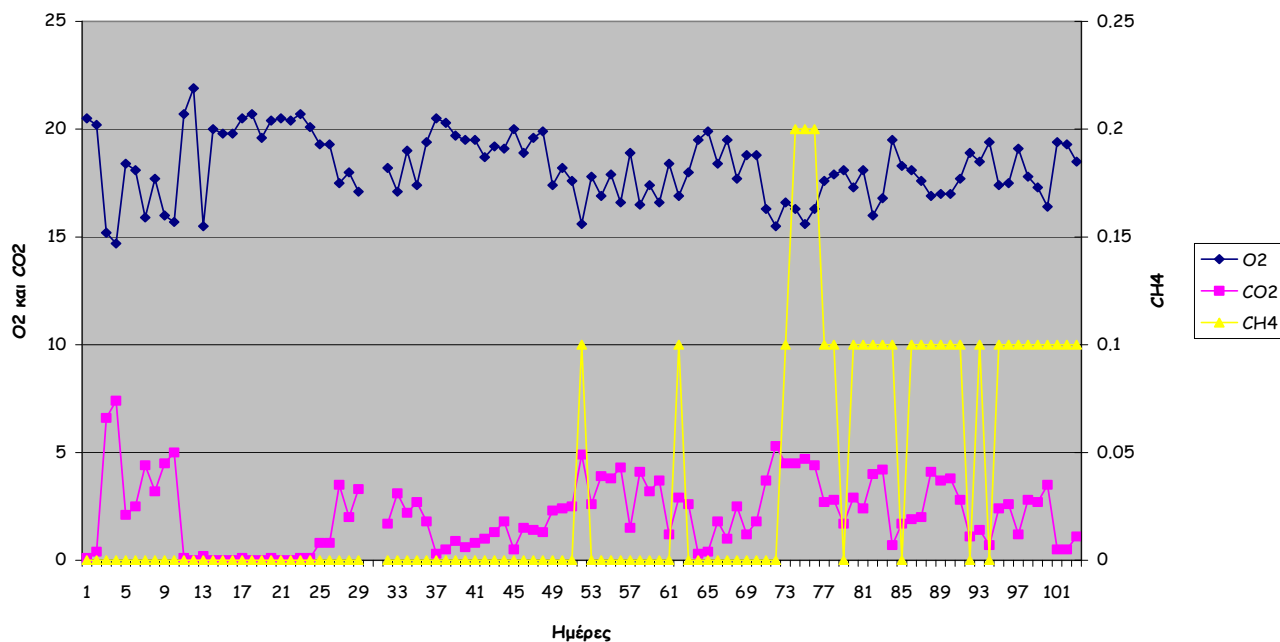


Σχήμα 4.10 Σωρός 1:1:2. Χωνί 7 (Επιφάνειας και κλειστό)

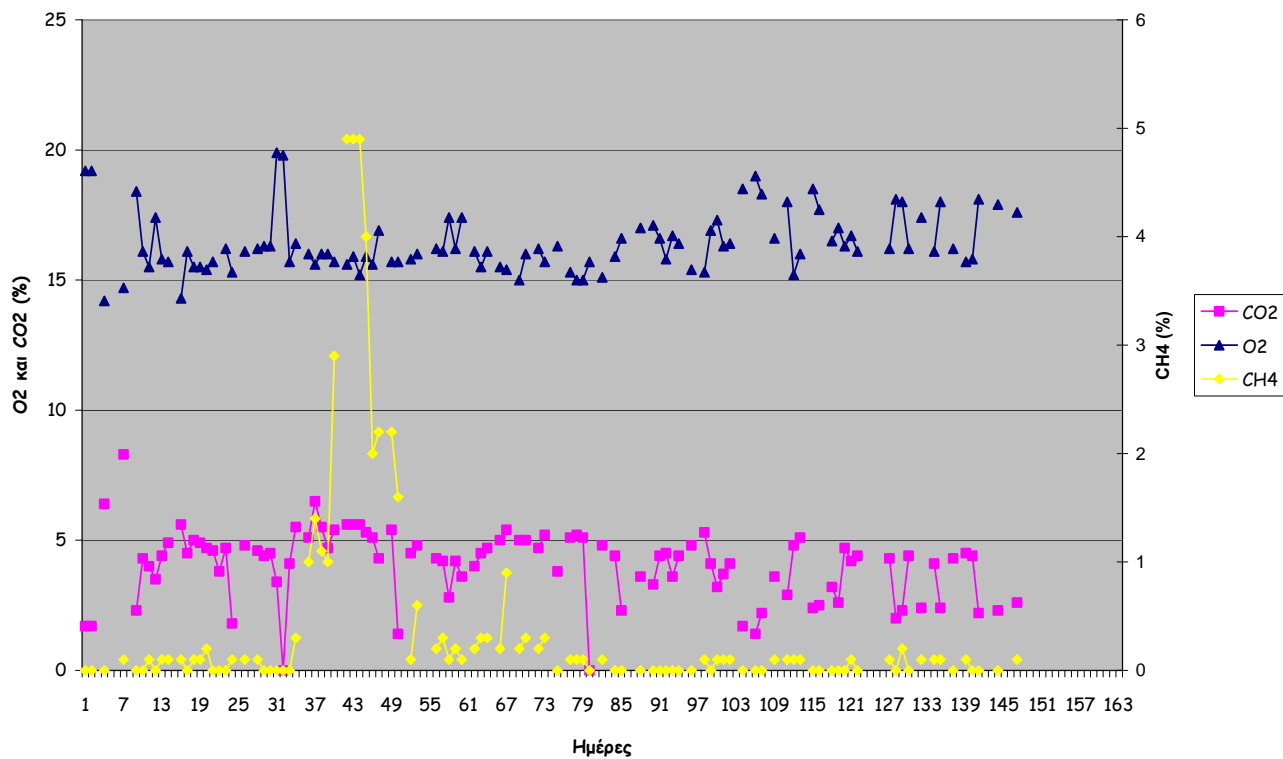


Σχήμα 4.11 Σωρός 1:1:2. Χωνί 8 (Πυρήνα και κλειστό)

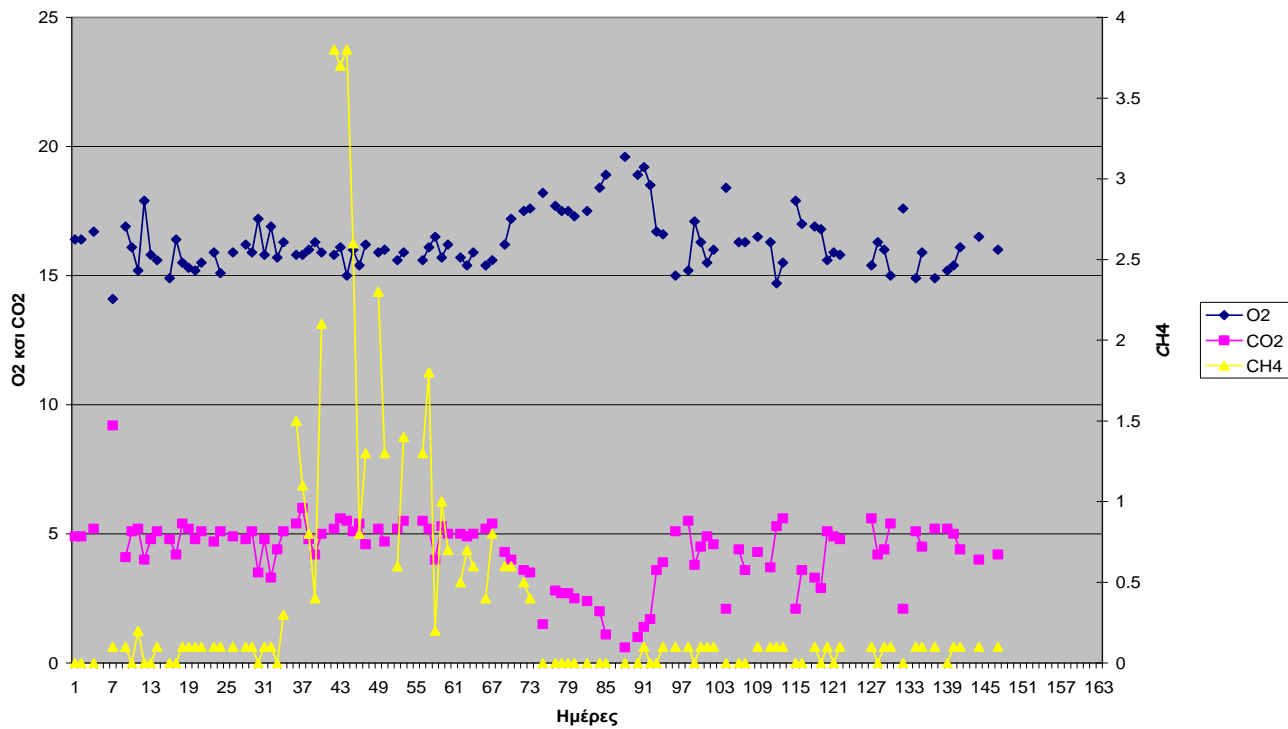
8



Σχήμα 4.12 Σωρός 1:1,5. Χωνί 9 (Πυρήνα και ανοιχτό)



Σχήμα 4.13 Σωρός 1:1,5. Χωνί 10 (Πυρήνα και κλειστό)



4.5 Μεταβολές βασικών φυσικών και φυσικοχημικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

4.5.1 Μεταβολές φυσικών παραμέτρων

Στους πίνακες 4.6,4.7,4.8 και 4.9 φαίνονται οι μεταβολές των φυσικών παραμέτρων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Από τα στοιχεία αυτά μπορούν να επισημανθούν τα ακόλουθα:

1. **Ο όγκος** των σωρών χώνευσης μειώθηκε και στα τέσσερα σειράδια. Η μείωση αυτή του όγκου είναι αναμενόμενη στη διαδικασία της κομποστοποίησης και οφείλεται στη γενική αποσάθρωση των υλικών και επομένως του μικροτεμαχισμού τους, με αποτέλεσμα την κατάληψη μικρότερου όγκου από τα υλικά. Επίσης οφείλεται και στην απώλεια οργανικού άνθρακα με τη μορφή CO_2 μέσω της μικροβιακής δραστηριότητας. Στην περίπτωση μας όμως η απώλεια του όγκου κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα, με την εξαίρεση του τέταρτου σειραδίου το οποίο όμως εγκαταστάθηκε πολύ αργότερα από τα υπόλοιπα.

Συγκεκριμένα

- η απώλεια του όγκου στο πρώτο σειράδιο με αναλογία υλικών 1:1:1 έφτασε το 80,10%, αφήνοντας τελικό όγκο υλικού μόλις 5,30 m³ από τον αρχικό όγκο των 24,95 m³.
- στο δεύτερο σειράδιο με αναλογία υλικών 1:1:2 η απώλεια ήταν ακόμη μεγαλύτερη και έφτασε το 84,90% με τελικό όγκο 2,08 m³ από τον αρχικό των 13,80 m³.

- στο τρίτο σειράδιο, αυτό που διαμορφώθηκε με ροκανίδι λευκής ξυλείας σε αναλογία 1:1,5 η απώλεια όγκου ήταν μικρότερη και έφτασε το 63,31%. Ο τελικός όγκος του τρίτου σειράδιου ήταν 2,89 m³ από αρχικό όγκο εγκατάστασης 7,90 m³.
- στο τέταρτο σειράδιο ο αρχικός όγκος των 0,70 m³ περιορίστηκε στα 0,65m³ και η συνολική απώλεια όγκου έφτασε μόλις το 6%.

Η μεγάλη απώλεια όγκου είναι ανεπιθύμητη φυσικά καθώς περιορίζει την ποσότητα του τελικού προϊόντος και κατά συνέπεια τα οικονομικά οφέλη της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Η μεγάλη αυτή απώλεια όγκου οφείλεται σε διάφορους παράγοντες κυριότερος εκ των οποίων λογίζεται η παρατεταμένη περίοδος κομποστοποίησης, η οποία οδήγησε σε μεγάλη απώλεια οργανικής ουσίας. Σημαντικός παράγοντας επίσης θεωρείται και το μεγάλο ύψος βροχόπτωσης κατά τη χειμερινή περίοδο που οδήγησε σε σημαντική απώλεια υλικού από όλους τους σωρούς εκτός από το τέταρτο σειράδιο το οποίο εγκαταστάθηκε κατά την εαρινή περίοδο και μετά το πέρας των έντονων βροχοπτώσεων.

2. Το νωπό βάρος των υλικών χώνευσης ακολούθησε τη μείωση του όγκου και μάλιστα σε τιμές ελαφρώς μεγαλύτερες του αντίστοιχου ποσοστού μείωσης του όγκου με εξαίρεση το τέταρτο σειράδιο όπου η διαφορά ήταν αισθητά μεγαλύτερη. Πιο συγκεκριμένα

- Στο πρώτο σειράδιο το αρχικό νωπό βάρος ήταν 16,250 kg, ενώ το τελικό 2,390 kg και το ποσοστό μείωσης έφτασε στο 85,31 %.
- Στο δεύτερο σειράδιο το αρχικό νωπό βάρος ήταν 7,6 kg και το τελικό 0,979 kg, ενώ το ποσοστό μείωσης 87,18 %.

- Στο τρίτο σειράδιο με αρχικό νωπό βάρος 4,75 kg και τελικό 0,917 kg η μείωση του νωπού βάρους των υλικών έφτασε στο 80,30 %, σημαντικά μεγαλύτερο από το 63,31 % που ήταν η μείωση του όγκου.
- Στο τέταρτο σειράδιο με αρχικό νωπό βάρος 0,551 kg και τελικό νωπό βάρος 0,412 kg το ποσοστό μείωσης έφτασε το 25,1 %, δηλαδή πολύ μεγαλύτερο από το 6 % που μειώθηκε ο όγκος.

3. Το ξηρό βάρος των υλικών χώνευσης παρουσίασε μείωση αντίστοιχη με αυτή του όγκου και του νωπού βάρους. Συγκεκριμένα

- Στο πρώτο σειράδιο το αρχικό ξηρό βάρος ήταν 7,114 kg και το τελικό 1,411 kg με ποσοστό μείωσης 79,72 % δηλαδή μόλις μικρότερο από το 80,10 % της μείωσης του όγκου και το 85,31 % της μείωσης του νωπού βάρους.
- Στο δεύτερο σειράδιο με αρχικό ξηρό βάρος 3,540 kg και τελικό 0,588 kg το ποσοστό μείωσης έφτασε το 83,45 %, και πάλι οριακά μικρότερο από τα 84,9 % και 87,18 % της μείωσης του και του νωπού βάρους αντίστοιχα.
- Στο τρίτο σειράδιο η μείωση ήταν αντίστοιχη της μείωσης του νωπού βάρους. Πράγματι, με αρχικό ξηρό βάρος 2,335 kg και τελικό 0,530 kg, το ποσοστό μείωσης διαμορφώθηκε στο 77,2%. Παρατηρούμε ότι υπάρχει σημαντική απόκλιση από το ποσοστό 63,31% μείωσης που παρουσίασε ο όγκος του σωρού ενώ από το 80,30 % της μείωσης του νωπού βάρους υπάρχει μικρή απόκλιση.
- Στο τέταρτο σειράδιο το αρχικό ξηρό βάρος ήταν 0,297 kg και το τελικό 0,247 kg. Έτσι το ποσοστό μείωσης είναι 16,88 %. Βλέπουμε πως

υπάρχει σημαντική απόκλιση τόσο από το 6 % της μείωσης του όγκου, όσο και από το 25,10 % της μείωσης του νωπού βάρους.

4. Η υγρασία των υλικών στους τρεις σωρούς χώνευσης που εγκαταστάθηκαν στις 20/1/2004 παρουσίασε διακυμάνσεις που σχετίστηκαν κυρίως με τις κλιματολογικές συνθήκες. Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου και υπήρχαν έντονες βροχοπτώσεις η υγρασία διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα, χωρίς όμως να φύγει από τη βέλτιστη περιοχή των 55-65 % με μοναδική εξαίρεση το δεύτερο γύρισμα στις 20/02/2004 όπου στα τρία σειράδια που ήταν εγκατεστημένα τότε ξεπέρασε οριακά το 65 %. Από το τέταρτο γύρισμα και μετά όμως η υγρασία άρχισε να πέφτει και να γίνεται αναγκαία η προσθήκη νερού σε κάθε αναστροφή των σωρών, αλλά και στις ενδιάμεσες περιόδους. Οι τιμές στους πίνακες δε φαίνεται να πέφτουν κάτω από τη βέλτιστη περιοχή αλλά πρέπει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις της υγρασίας στα υλικά γίνονταν μετά την αναστροφή των σειραδίων και κατά συνέπεια την προσθήκη νερού. Στο τέταρτο σειράδιο η υγρασία κυμάνθηκε στα χαμηλά επίπεδα του 40 έως 46 %, καθώς το σειράδιο αυτό εγκαταστάθηκε κατά τη θερινή περίοδο, στις 6/5/2004 και σε αυτό δεν έγινε καμμία προσθήκη νερού.

4.5.2 Μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων

Οι μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων των υλικών χώνευσης στα τέσσερα σειράδια φαίνονται στους πίνακες 8,9,10 και 11. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις.

1.Το pH ακολούθησε τη φυσιολογική πορεία της κομποστοποίησης οργανικών υλικών με σταδιακή άνοδο κατά τη διάρκεια της χώνευσης και κάμψη προς το τέλος. Κατά την εγκατάσταση των τριών πρώτων σωρών ήταν στην ελαφρώς όξινη περιοχή και συγκεκριμένα στο 5,76, 5,68 και 6,4 για τους σωρούς 1:1:1, 1:1:2 και 1:1,5 αντίστοιχα. Μετά το πρώτο γύρισμα ανήλθε στην ουδέτερη περιοχή και στη συνέχεια ανέβαινε συνέχεια για να λάβει τις μεγαλύτερες τιμές του κατά το έβδομο γύρισμα για το πρώτο και δεύτερο σειράδιο (με 8,80 και 8,65 αντίστοιχα) και στο όγδοο για το τρίτο με 8,57. Για τα επόμενα γυρίσματα η τιμή του pH έπεσε ελαφρά και στο τελικό compost η τιμή του διαμορφώθηκε στο 8,41 για το πρώτο σειράδιο, στο 8,47 για το δεύτερο και στο 8,40 για το τρίτο. Η άνοδος του pH κατά τη διάρκεια της χώνευσης οφείλεται στην ελευθέρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ και στη δημιουργία NH_4OH στη συνέχεια. Η πτώση προς το τέλος της διαδικασίας οφείλεται στη νιτροποίηση του NH_4OH . Στο τέταρτο σειράδιο το pH ξεκίνησε από υψηλές τιμές, καθώς εγκαταστάθηκε με υλικό σε προχωρημένο στάδιο χώνευσης και παρουσίασε αμέσως πτωτική τάση με αποτέλεσμα το pH του τελικού compost να διαμορφωθεί στο 8,36.

2.Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) και στα τρία πρώτα σειράδια παρουσίασε μεγάλες τιμές πριν την έναρξη της διαδικασίας χώνευσης. Στη συνέχεια παρουσίασε διάφορες διακυμάνσεις, για να διαμορφωθεί στα τελευταία γυρίσματα μια πτωτική τάση με αποτέλεσμα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα τελικά composts να είναι αρκετά χαμηλές. Οι διακυμάνσεις αυτές σχετίζονται πιθανότατα με αντίστοιχες διακυμάνσεις στη συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ που επηρεάζει και την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στο τέταρτο σειράδιο η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν σε χαμηλά επίπεδα ήδη από την εγκατάστασή του και συνέχισε την πτωτική πορεία στις τιμές της. Συνολικά η ηλεκτρική αγωγιμότητα και στα τέσσερα σειράδια κρατήθηκε σε χαμηλά επίπεδα και στα τελικά composts οι τιμές ήταν 1,43, 1,28, 1,00 και 1,06 mS/cm για το πρώτο, δεύτερο, τρίτο και τέταρτο σειράδιο αντίστοιχα.

3.Ο ολικός άνθρακας (C) και κατά συνέπεια η οργανική ουσία της σημείωσαν σταδιακά απώλεια όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της απώλειας οργανικής ουσίας ως CO_2 μέσω της μικροβιακής δραστηριότητας. Οι απώλειες του ολικού άνθρακα έφτασαν το 13,42 % για το πρώτο σειράδιο, το 10,40 % για το δεύτερο σειράδιο, το 9,15 % για το τρίτο και το 22,75 % για το τέταρτο.

4.Το ολικό άζωτο στα τρία πρώτα σειράδια για τα οποία και μετρήθηκε σημείωσε περίπου διπλασιασμό του ποσοστού του κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Συγκεκριμένα για το πρώτο σειράδιο από 1,35 % έφτασε στο 2,75 %. Για το δεύτερο σειράδιο το αρχικό ποσοστό του 1,36 % έφτασε το 2,55 % και για το τρίτο από 1,55 % διαμορφώθηκε στο 2,92 %. Η άνοδος αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης δεν

υπάρχουν απώλειες αζώτου από τη μικροβιακή δραστηριότητα. Σε συνδυασμό λοιπόν με την απώλεια οργανικής ουσίας και τη συμπύκνωση του υλικού των σωρών χώνευσης, η αρχική ποσότητα του αζώτου στο τελικό υλικό αντιπροσωπεύει μεγαλύτερο ποσοστό.

5. Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω η ταυτόχρονη μείωση του ολικού άνθρακα και η άνοδος του ποσοστού του αζώτου στο μείγμα είχαν ως αποτέλεσμα να μειωθεί η **σχέση C/N** στο μείγμα σε όλα τα σειράδια. Συγκεκριμένα

- Στο πρώτο σειράδιο η αρχική σχέση C/N ήταν στο 38,58, ενώ στο τελικό compost η σχέση αυτή έφτασε το 16,40, μια μείωση δηλαδή της τάξης του 57,49 %.
- Στο δεύτερο σειράδιο με αρχική σχέση C/N στο 37,83 και τελική στο 18,07 το ποσοστό μείωσης έφτασε το 52,22 %.
- Στο τρίτο σειράδιο η αρχική σχέση C/N ήταν στο 32,03 και η τελική στο 15,44, δηλαδή σημειώθηκε μείωση σε ποσοστό 51,79 %.

6. Τα στερεά πτητικά σε όλα τα σειράδια

4.5.3 Μικροβιακό φορτίο

Το μικροβιακό φορτίο του υλικών στους σωρούς χώνευσης μετρήθηκε με δείκτη την παρουσία των ολικών κολοβακτηριδίων. Στους πίνακες 8,9,10 και 11 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Από την παρατήρησή τους προκύπτουν τα παρακάτω.

Στα τρία πρώτα σειράδια αρχικά ανιχνεύθηκε μεγάλο μικροβιακό φορτίο που έφτασε τα 1.500.000 CFU/gr στο πρώτο σειράδιο, τα 1.900.000 CFU/gr στο δεύτερο και τα 8.000.000 CFU/gr στο τρίτο. Το υψηλό αυτό μικροβιακό φορτίο οφείλεται κυρίως στο προχωρημένο στάδιο αποδόμησης στο οποίο βρίσκονταν κατά την εγκατάσταση των σειραδίων τόσο τα κλαδοκάθαρα όσο και τα φύλλα ελιάς που χρησιμοποιήθηκαν ως διογκωτικά υλικά για τα δύο πρώτα σειράδια. Στο τρίτο το ροκανίδι λευκής ξυλείας που χρησιμοποιήθηκε έφερε ακόμη μεγαλύτερο μικροβιακό φορτίο

Με την έναρξη της αποικοδόμησης το μικροβιακό φορτίο μειώθηκε σταδιακά και έφτασε κατά την περίοδο που μειώθηκε και η υγρασία σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Κατά την περίοδο αυτή σημειώθηκε και στους τρεις σωρούς σημαντική πτώση της θερμοκρασίας χώνευσης όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο. Στη συνέχεια όμως η μικροβιακή δραστηριότητα επανήλθε σε κανονικά επίπεδα, κάτι που συνοδεύτηκε και από την άνοδο του μικροβιακού πληθυσμού για να ακολουθηθεί από νέα σταδιακή πτώση μέχρι τις τελικές χαμηλές τιμές των μικροβιακών φορτίων στα τελικά composts. Στα χαμηλότερα επίπεδα η ολική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων έφτασε στον πρώτο σωρό στα 30 CFU/gr, στο δεύτερο στα 2200 CFU/gr και στον τρίτο στα 265 CFU/gr. Στα αντίστοιχα τελικά composts οι τιμές ήταν 11.000 CFU/gr, 9.000 CFU/gr και 6.700 CFU/gr.

Στο τέταρτο σειράδιο που εγκαταστάθηκε στις 6/5/2004 η αρχική τιμή του μικροβιακού φορτίου ήταν χαμηλή, στα 18.000 CFU/gr σε σχέση με τους άλλους σωρούς και μετά από μια μικρή άνοδο έπεσε στο τελικό compost στα 6.500 CFU/gr.

Πίνακας 4.6 Μεταβολές φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης του πρώτου σειραδίου από ελαιοπυρήνα, φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα σε αναλογία 1:1:1 κατ' όγκον.

Ημερ/νία Δείγματο ληψίας	Στάδια κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου			Στοιχεία δειγμάτων								
		Όγκος (m ³)	Νωπό Βάρος (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Υγρασία (%)	pH	E.C (mS/cm)	Ολικός C (%)	Ολικό N (%)	Σχέση C/N	Στερεά πτητικά (%)	NO ₃ - N ppm	Total Coliforms CFU/gr
20-1-04	Εγκατάσταση	24,95	16.250	7.114	56,22	5,76	2,48	52,09	1,35	38,58	93,76	-	1.500.000
3-2-04	1 ^ο Γύρισμα	21,50	-	-	64,54	7,01	1,75	51,58	1,46	35,32	92,84	-	500.000
20-2-04	2 ^ο Γύρισμα	19,95	-	-	66,72	7,40	2,09	51,17	1,58	32,38	92,11	-	415.666
10-3-04	3 ^ο Γύρισμα	13,80	-	-	62,30	8,45	1,25	50,38	1,85	27,23	90,69	-	85.000
24-3-04	4 ^ο Γύρισμα	11,80	-	-	60,00	8,30	1,93	49,31	1,95	25,28	88,77	-	3.900
2-4-04	5 ^ο Γύρισμα	12,00	-	-	60,00	8,77	1,75	49,09	2,08	23,60	88,36	-	30
23-4-04	6 ^ο Γύρισμα	9,95	-	-	58,00	8,37	1,75	47,92	2,27	21,11	86,27	-	5.100
6-5-04	7 ^ο Γύρισμα	8,80	-	-	63,00	8,80	1,45	46,82	2,42	19,34	84,27	-	37.000
24-5-04	8 ^ο Γύρισμα	6,50	-	-	62,00	8,70	1,90	46,50	2,46	18,90	83,70	-	5.000
15-6-04	9 ^ο Γύρισμα	5,30	-	-	61,00	8,50	1,50	45,92	2,60	17,66	82,65	-	17.000
15-7-04	Τελικό compost	4,96	2.390	1.411	40,94	8,41	1,43	45,10	2,75	16,40	81,18	89	11.000
Απώλειες μεταξύ έναρξης και ολοκλήρωσης της χώνευσης (%)		80,10	85,31	79,72	-	-	-	13,42	-	57,49	13,41	-	-

Πίνακας 4.7 Μεταβολές φυσικοχημικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης του δευτέρου σειραδίου απο ελαιοπυρήνα, φύλλα ελιάς και κλαδοκάθαρα σε αναλογία 1:1:2 κατ' όγκον

Ημερ/νία Δείγματο ληψίας	Στάδια κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου			Στοιχεία Δειγμάτων								
		Όγκος (m ³)	Νωπό Βάρος (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Υγρασία (%)	PH	Ε.С (mS/cm)	Ολικός C (%)	Ολικό N (%)	Σχέση C/N	Στερεά Πτητικά (%)	NO ₃ - N ppm	Total Coliform s CFU/gr
20-1-04	Εγκατάσταση	13,80	7.600	3.540	53,42	5,68	2,57	51,46	1,36	37,83	92,63	-	1.900.000
3-2-04	1 ^ο Γύρισμα	11,40	-	-	62,95	7,40	1,85	51,20	1,38	37,10	92,16	-	1.725.000
20-2-04	2 ^ο Γύρισμα	9,80	-	-	67,68	7,33	1,80	51,04	1,55	32,92	91,89	-	650.666
10-3-04	3 ^ο Γύρισμα	7,10	-	-	64,40	8,50	1,50	50,50	1,60	31,56	90,90	-	76.000
24-3-04	4 ^ο Γύρισμα	6,84	-	-	58,50	8,46	1,48	50,52	1,62	31,18	90,86	-	3.200
2-4-04	5 ^ο Γύρισμα	5,20	-	-	60,00	8,57	1,53	50,11	1,89	26,51	90,20	-	3.000
23-4-04	6 ^ο Γύρισμα	4,50	-	-	61,00	8,35	1,48	49,27	2,02	24,39	88,68	-	22,00
6-5-04	7 ^ο Γύρισμα	3,00	-	-	63,50	8,65	1,56	48,71	2,10	23,19	87,68	-	73.000
24-5-04	8 ^ο Γύρισμα	2,80	-	-	65,00	8,53	1,60	47,07	2,35	20,09	84,73	-	3.500
15-6-04	9 ^ο Γύρισμα	2,20	-	-	63,10	8,50	1,30	46,90	2,45	19,14	84,82	-	14.800
15-7-04	Τελικό compost	2,08	979	588	39,92	8,47	1,28	46,10	2,55	18,07	82,98	100	9.000
-	-	84,90	87,18	83,45	-	-	-	10,40	-	52,22	10,42	-	-

Πίνακας 4.8 Μεταβολές φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης του τρίτου σειραδίου από ελαιοπυρήνα και ροκανίδια λευκής ξυλείας σε αναλογία 1:1,5 κατ'όγκον

Ημερ/νία Δείγματο ληψίας	Στάδια κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου			Στοιχεία Δειγμάτων								
		Όγκος (m ³)	Νωπό Βάρος (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Υγρασία (%)	pH	Ε.Σ (mS/cm)	Ολικός C (%)	Ολικό N (%)	Σχέση C/N	Στερεά πτητικά (%)	NO ₃ - N ppm	Total Colifor ms CFU/gr
20-1-04	Εγκατάσταση	7,90	4.750	2.335	50,85	6,40	1,89	49,65	1,55	32,03	89,38	-	8.000.0 00
3-2-04	1 ^ο Γύρισμα	7,40	-	-	66,03	7,00	1,64	49,50	1,58	31,32	89,10	-	12.000. 250
20-2-04	2 ^ο Γύρισμα	6,70	-	-	68,75	7,63	1,48	49,40	1,74	28,39	88,92	-	274.00 0
10-3-04	3 ^ο Γύρισμα	6,70	-	-	69,10	8,29	1,15	49,23	1,85	26,61	88,62	-	2.200
24-3-04	4 ^ο Γύρισμα	6,40	-	-	68,00	8,52	1,49	48,96	1,88	26,04	88,13	-	460
2-4-04	5 ^ο Γύρισμα	5,00	-	-	64,00	8,44	1,39	48,40	2,25	21,51	88,50	-	265
23-4-04	6 ^ο Γύρισμα	4,22	-	-	65,00	8,48	1,29	47,30	2,21	21,40	85,14	-	1100
6-5-04	7 ^ο Γύρισμα	3,90	-	-	64,00	8,20	1,45	46,58	2,30	20,52	83,84	-	136.00 0
24-5-04	8 ^ο Γύρισμα	3,35	-	-	65,00	8,57	1,36	45,55	2,32	19,63	81,99	-	2.600
15-6-04	9 ^ο Γύρισμα	3,05	-	-	65,00	8,45	1,20	45,44	2,61	17,40	81,79	-	10.800
15-7-04	Τελικό compost	2,89	917	530	42,19	8,40	1,00	45,10	2,92	15,44	81,18	91	6.700
Απώλειες μεταξύ έναρξης και ολοκλήρωσης της χώνευσης (%)													

Πίνακας 4.9 Μεταβολές φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης του τέταρτου σειραδίου με έδαφος και υλικό από το πρώτο σειράδιο σε αναλογία 1:3 κατ' όγκον.

Ημερ/νία Δείγματο Ληψίας	Στάδια κομποστοποίησης	Στοιχεία Σειραδίου			Στοιχεία δειγμάτων								
		Όγκος (m ³)	Νωπό Βάρος (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Υγρασία (%)	pH	E.C (mS/cm)	Ολικός C (%)	Ολικό N (%)	Σχέση C/N	Στερεά πηκτικά (%)	NO ₃ -N ppm	Total Coliforms CFU/gr
6-5-2004	Εγκατάσταση	0,70	551	297	46,00	8,58	1,47	28,62	-	-	51,50	-	18.000
24-5-04	1 ^ο Γύρισμα	0,68	-	-	42,00	8,40	1,79	26,28	-	-	47,30	-	22.000
15-6-04	2 ^ο Γύρισμα	0,67	-	-	41,50	8,38	1,45	22,33	-	-	40,21	-	8.300
15-7-04	Τελικό compost	0,65	412	247	40,00	8,36	1,06	22,10	-	-	39,78	-	6.500
<u>Απώλειες μεταξύ έναρξης και ολοκλήρωσης της χώνευσης (%)</u>		6,00	25,10	16,88	-	-	-	22,75	-	-	22,77	-	-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Μείγματα κομποστοποίησης

Από τις πειραματικές κομποστοποιήσεις αποδείχτηκε ότι η ελαιοπυρήνα που παράγεται από το διφασικό ελαιουργείο του Αγροτικού Συνεταιρισμού Παναγιάς είναι ένα υλικό που ενώ οδηγεί στην παραγωγή καλής ποιότητας κόμποστ παρουσιάζει δυσκολίες στη διαδικασία της κομποστοποίησης. Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται στο λεπτόκοκκο της υφής του και στην αυξημένη θερμογόνο του δύναμη.

Αποτέλεσμα των παραπάνω ιδιοτήτων της ελαιοπυρήνας είναι η εμφάνιση μιας σειράς προβλημάτων, όπως η εύκολη διαμόρφωση αναερόβιων συνθηκών, καθώς λόγω του λεπτόκοκκου του υλικού εμποδίζεται η γρήγορη ανανέωση του αέρα στον όγκο του σειραδίου. Σε αυτό επίσης συμβάλλει και ο σχηματισμός μεγάλων και σκληρών συσσωματωμάτων, πάλι εξαιτίας του λεπτόκοκκου του υλικού. Επίσης η μεγάλη θερμογόνος δύναμη του υλικού αυξάνει τη διάρκεια της θερμοφίλης φάσης της κομποστοποίησης, με άμεσες συνέπειες από τη μια μεριά την αύξηση του κόστους της διαδικασίας και από την άλλη μεριά τη μεγάλη απώλεια οργανικής ουσίας και κατά συνέπεια την αντίστοιχη μείωση της ποσότητας του τελικού παραγομένου κόμποστ.

Η αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων μπορεί να γίνει με την ανάμειξη της ελαιοπυρήνας με διογκωτικά υλικά, τα οποία μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών, το σχηματισμό συσσωματωμάτων και τον περιορισμό της διάρκειας της ταχείας φάσης της κομποστοποίησης. Τα διογκωτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν

πείραμα σκοπό είχαν να απαντήσουν στο ερώτημα ποια υλικά και σε τι αναλογίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν μαζί με την ελαιοπυρήνα ώστε να περιοριστούν τα προαναφερθέντα προβλήματα.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από το παρόν πείραμα και τη χρήση ως διογκωτικών υλικών κλαδοκαθάρων, φύλλων ελιάς και ροκανιδιού λευκής ξυλείας σε διάφορες αναλογίες φαίνονται παρακάτω.

Το μείγμα της ελαιοπυρήνας με τα μεσσαίας κοκκομετρίας ροκανίδι λευκής ξυλείας έδωσε τα πλέον ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς η θερμοκρασία χώνευσης δεν εμφάνισε ακραίες τιμές και είχε μια ομαλή διακύμανση στην άριστη περιοχή θερμοκρασιών κομποστοποίησης των 55-65°C. Ο περιορισμός των ακραίων τιμών υψηλών θερμοκρασιών είχε ως αποτέλεσμα και τον περιορισμό της ταχείας φάσης της κομποστοποίησης σε 4,5 μήνες σε σχέση με τους σχεδόν έξι μήνες των άλλων σωρών.

Επίσης στους σωρούς όπου χρησιμοποιήθηκαν ως διογκωτικά υλικά κλαδοκάθαρα και φύλλα ελιάς η χρησιμοποιούμενη αναλογία των υλικών έπαιξε σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά του υλικού κατά την κομποστοποίηση. Συγκεκριμένα στην αναλογία 1:1:1 εμφανίστηκαν ακραίες υψηλές θερμοκρασίες και η διατήρηση της θερμοκρασίας στην ιδανική περιοχή των 55-65°C περιορίστηκε σημαντικά. Οι υψηλές αυτές θερμοκρασίες είχαν ως αποτέλεσμα την παρατεταμένη διάρκεια της ταχείας φάσης της κομποστοποίησης και κατά συνέπεια τη μεγάλη απώλεια οργανικής ουσίας.

Στο δεύτερο σειράδιο, όπου το μείγμα διαμορφώθηκε με τα υλικά σε αναλογία 1:1:2 περιορίστηκαν οι ακραίες προς τα πάνω θερμοκρασίες αλλά και πάλι η θερμοκρασία έμεινε στην ιδανική περιοχή για μικρά διαστήματα, καθώς σημειωνόταν γρήγορη πτώση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα κατά το πρώτο διάστημα της διαδικασίας, μετά την άνοδο που σημειωνόταν μετά από κάθε γύρισμα.

Από τις παρατηρήσεις στα δύο σειράδια με τα κλαδοκάθαρα και τα φύλλα ελιάς φαίνεται πως μια ενδιάμεση αναλογία στα διογκωτικά υλικά πιθανόν να μπορούσε να φέρει περισσότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Προτείνεται λοιπόν η πειραματική διερεύνηση κομποστοποίησης ελαιοπυρήνας με χρήση διογκωτικών υλικών κλαδοκάθαρα και φύλλα ελιάς σε αναλογία 1:1,5.

Όσον αφορά τέλος την εμπορική διαχείριση της ελαιοπυρήνας η επιλογή των διογκωτικών υλικών είναι αναμενόμενο να επηρεάζεται και από τη διαθεσιμότητα των αντίστοιχων υλικών, το κόστος της απόκτησής τους (που μπορεί να επηρεάζεται από παράγοντες όπως κόστος αγοράς, μεταφοράς και τεμαχισμού) καθώς και από την ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ που καθορίζει τόσο την αποδοχή του υλικού από την αγορά όσο και την τιμή του, δηλαδή τη βιωσιμότητα της εμπορικής εκμετάλλευσης της ελαιοπυρήνας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Thrassyvoulos Manios Konstantinos Maniadakis, Maria Kalogeraki, Eirini Mari, Emmanouil Stratakis, Stelios Terzakis, Panagiotis Boytzakis, Yiannis Naziridis and Leonidas Zampetakis Biodegradation (2005) 00: 1-8
Efforts to explain and control the prolonged thermophilic period in two-phase olive oil mill sludge composting

Thrassyvoulos Manios, Konstantinos Maniadakis, Panagiotis Boutzakis, Yiannis Naziridis, Katia Lasaridi, George Markakis, Edward I. Stentiford (2004) greenhouse gases emission in a two-phase oil mill sludge windrow pile during composting

Manios T, Maniadakis K, Kalogeraki M, Mari E, Terzakis S, Magiatis P, Mikros E, Skaltsounis LA & Manios V (2004) : Co-composting of olive residuals and green waste on Crete. *Biocycle* 45: 67-70

Albuquerque JA, Gonzalez J, Garcia D & Cegarra J (2004)
Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresour. Technol.* 91: 195-200

Beaudin N, Caron RF, Legros R, Ramsay J & Ramsay B (1999) Identification of the key factors affecting composting of a weathered hydrocarbon-contaminated soil. *Biodegradation* 10(2) , 127 - 133

Garcia-Gomez A, Roig A, & Bernal MP (2003) Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. *Bioresource Technol* 86: 59-64.

Louloudis LP (1985) Socio-economic and environmental side effects of technological change: the case of olive oil mills in rural Greece, in *Economics of Ecosystems Management*, Hall D.O., Myers N. and Margaritis N.S. Eds.; Junk Publication, Dordrecht, Netherlands.

Manios T (2004). Evaluating the composting potential of different organic solid wastes from the island of Crete and the quality of the end product. *Environ Int* 29; 1079-1089.

Manios T, Maniadakis K, Frantzeskaki N, Stentiford EI, Manios V, Kritsotakis I & Dialynas G (2003) Pilot scale sewage sludge composting in the Island of Crete, Greece. *Biocycle* 44: 53-55.

Καρατζάς Ε. 2001 : Αξιολόγηση υγρών αποβλήτων ελαιουργείων, Μυτιλήνη

Μανιός Β. 2003 : Συγκομποστοποίηση στερεών υπολλειμμάτων και υγρών αποβλήτων ελαιοκαλλιέργειας και ελαιτριβείων. Πρακτικά ημερίδας «Αναπτυξη ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων ελαιουργείων με ανάκτηση φυσικών αντιοξειδωτικών και παραγωγή οργανικού λιπάσματος». Ηράκλειο, 30 Ιουνίου 2003.

Μανιός Θ. 2003 : Χουμοποίηση οργανικών υπολλειμμάτων. Σημειώσεις εργαστηρίου διαχείρισης στερεών υπολλειμμάτων και υγρών αποβλήτων, Σχολή Γεωπονίας, Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Φλουρή Φ. , Χατζηπαυλίδης Ι. Και Μπαλής Κ. , 1994 : η γεωργία αποδέκτης των αποβλήτων της : Η περίπτωση των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων. Πρακτικά Διεθνούς Διημερίδας «Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείων» Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Παράρτημα Κρήτης, Σητεία 16-17 Ιουνίου 1994.

