



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Διπλωματική Εργασία
της Βασιλείας Λογοθέτη (Α.Μ. 211205)

Θέμα:

**" ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ
ΒΙΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤ "**

Τριμελής Επιτροπή:

Αναπλ. Καθηγήτρια Αικ. Λαζαρίδη (Επιβλέπουσα)

Επικ. Καθηγήτρια Αδ. Κυριακού

Αναπλ. Καθηγητή Κων. Αμπελιώτη

ΑΘΗΝΑ, 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Α' ΜΕΡΟΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

- 1.1 Οργανικά απόβλητα, ανάγκη για εκτροπή από ΧΥΤΑ και η αξιοποίηση τους
- 1.2 Σκοπός και δομή

Κεφάλαιο 2^ο:Θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων (ΒΑΑ) – Οδηγία 99/31/ΕΕ, Οδηγία 2008/98/ΕΚ, Ν.4042/12

Κεφάλαιο 3^ο: Κομποστοποίηση

- 3.1 Ορισμός – Διαδικασία κομποστοποίησης
- 3.2 Κεντρικά συστήματα κομποστοποίησης
- 3.3 Οικιακή κομποστοποίηση
- 3.4 Βασικές αρχές κομποστοποίησης
 - 3.4.1 Φυσικοχημικές αλληλεπιδράσεις κόμποστ και εδάφους (υγρασία, οξυγόνο και αερισμός, μέγεθος σωματιδίων, θερμοκρασία, C/N, ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, πτητικά στερεά)
 - 3.4.2 Βιολογικές- Μικροβιακές αλληλεπιδράσεις
- 3.5 Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής της οικιακής κομποστοποίησης (AKZ)

Κεφάλαιο 4^ο: Βιοσταθεροποίηση του κόμποστ

- 4.1 Ορισμός
- 4.2 Σημασία της βιοσταθεροποίησης του κόμποστ
- 4.3 Μέθοδοι προσδιορισμού της βιοσταθεροποίησης

Β' ΜΕΡΟΣ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κεφάλαιο 5^ο: Μεθοδολογία έρευνας

- 5.1 Προετοιμασία κομποστοποίησης σε κάδο και συλλογή κόμποστ των εγχώριων μονάδων παραγωγής
- 5.2 Διαχειριστικές πρακτικές για την διαδικασία της κομποστοποίησης και για τα δείγματα κόμποστ που συλλέχθηκαν
 - 5.2.1 Έναρξη διαδικασίας κομποστοποίησης
 - 5.2.2 Προετοιμασία εμβολίου με *Salmonella choleraesuis*
- 5.3 Πειραματικές μετρήσεις
 - 5.3.1 Μέτρηση της θερμοκρασίας

- 5.3.2 Μέτρηση της υγρασίας
- 5.3.3 Μέτρηση της οξύτητας
- 5.3.4 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας
- 5.3.5 Μέτρηση των πτητικών στερεών
- 5.3.6 Μέτρηση του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR)

Γ' ΜΕΡΟΣ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κεφάλαιο 6^ο: Αποτελέσματα έρευνας

- 6.1 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της οικιακής κομποστοποίησης
 - 6.1.1 Το θερμοκρασιακό προφίλ
 - 6.1.2 Η διακύμανση της οξύτητας
 - 6.1.3 Οι μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας
 - 6.1.4 Η ποσοστιαία διακύμανση της υγρασίας
 - 6.1.5 Τα πτητικά στερεά
- 6.2 Μετρήσεις του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR) κατά τη διάρκεια της οικιακής κομποστοποίησης
- 6.3 Μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων και του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR) σε δείγματα των εγχώριων μονάδων παραγωγής κόμποστ

Δ' ΜΕΡΟΣ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κεφάλαιο 7^ο: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Ε' ΜΕΡΟΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Ευχαριστίες

Η παρούσα ερευνητική εργασία εκπονήθηκε υπό την εποπτεία της τριμελούς επιτροπής των κ. Λαζαρίδη Αικ., κ. Κυριακού Αδ. και κ. Αμπελιώτη Κων., στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου για τη συνεχή καθοδήγηση και την ανιδιοτελή υποστήριξη τους. Το αμείωτο ενδιαφέρον και η δίψα τους για μια ολοκληρωμένη έρευνα, μου έδωσαν κουράγιο στην πραγματοποίηση αυτού του δύσκολου εγχειρήματος.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά την κ. Κώτσου Μ. και την κ. Χρόνη Χ. για τη στήριξη τους κατά τη διεξαγωγή των εντατικών πειραματικών διαδικασιών, όσο και για τις εποικοδομητικές τους συμβουλές.

Εκφράζω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους παραγωγούς κόμποστ, που μου δώρισαν δείγματα από τις μονάδες παραγωγής τους. Αν και παραμένουν ανώνυμοι μέσα στην έρευνα, χωρίς τη συνδρομή τους δεν θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί η εργασία αυτή.

Τέλος, ευχαριστώ όλα τα μέλη της οικογένειας μου για την αμέριστη ηθική και υλική συμπαράσταση, που ποτέ δε μου απαρνήθηκαν και χωρίς αυτή δε θα πραγματοποιούνταν η μελέτη μέσα σε αυτή τη κρίσιμη περίοδο.

Περίληψη

Παρότι έχει συνταχθεί σημαντικός αριθμός επιστημονικών αναφορών σχετικά με την αποτελεσματικότητα της οικιακής κομποστοποίησης και τη σημασία της βιοσταθερότητας των προϊόντων που προκύπτουν από αυτή, υπάρχουν ακόμη ερωτηματικά για το κατά πόσο πλήρης και έγκυρη είναι η ενημέρωση γύρω από αυτά. Ως προς αυτή τη κατεύθυνση πορεύτηκε η παρούσα έρευνα, με στόχο τη σύνοψη, την αποσαφήνιση και το φιλτράρισμα όλων των σχετικών επιστημονικών αναφορών σε οικιακό επίπεδο και ταυτόχρονα σε επίπεδο των εγχώριων μονάδων παραγωγής κόμποστ.

Η τοπική κοινωνία αντιλαμβάνεται το ολοένα και αυξανόμενο πρόβλημα της ποιοτικής διαχείρισης των ΑΣΑ κάνοντας πολύτιμες προσπάθειες μείωσης τους ξεκινώντας μέσα από το ίδιο το σπίτι. Οι παραγωγοί μικρών μονάδων κόμποστ από τη δική τους πλευρά αγωνίζονται για τη δημιουργία όλο και πιο ποιοτικών και ασφαλών κόμποστ, παρά την έλλειψη του ακριβού εργαστηριακού εξοπλισμού για μικροβιακές και φυτικοχημικές αναλύσεις.

Από την ανάλυση των δεδομένων της έρευνας επιβεβαιώνεται για ακόμη μια φορά ότι ο Ειδικός Ρυθμός Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR) και ο δείκτης DO σε συνδυασμό με τον προσδιορισμό και άλλων φυτικοχημικών παραμέτρων αποτελούν πράγματι αξιόπιστους δείκτες για την εκτίμηση της βιοσταθερότητας και συνεπώς της ποιότητας των κόμποστ. Τα αποτελέσματα αυτά μαζί με την νομοθετική αρχή *‘ο ρυπαίνων πληρώνει’* προβληματίζουν και αναδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και Περιβαλλοντική Εκπαίδευση πάνω στο κομμάτι της κομποστοποίησης στο άμεσο μέλλον.

Abstract

Although it has drawn significant number of scientific reports on the effectiveness of home composting and the importance of the biostability of the products resulting from this, there are still questions about the completion and the accuracy of information relevant to home composting.

Within this scope the current study was contacted in order to conclude make clear and filter all the relevant scientific references in domestic level and simultaneously in the local production unit's level regarding the production of composting.

The local community realizes the continuous and increasing problem of the qualitative administration of MSW, making intensive efforts for reducing them starting from the house itself.

Producers of small compost production units fight for the creation of more and more qualitative and safe compost, despite the lack of expensive laboratory equipment for microbial and chemical analysis.

The analysis of the survey data confirms that the SOUR and the index of DO_{12} in combination with the identification of other physicochemical parameters are indeed reliable indicators for assessing the biostability and therefore the quality of compost. These results together the law authority concern and highlight the need for further research and environmental education on the part of composting in the near future.

Α' ΜΕΡΟΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

1.1 Οργανικά απόβλητα, ανάγκη για εκτροπή από ΧΥΤΑ και η αξιοποίηση τους

Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται αυξημένη συνειδητοποίηση των προβλημάτων σχετικά με τις κλασικές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων. Οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων με την ταφή και την καύση, έχουν γίνει λιγότερο επιθυμητές λόγω της ρύπανσης που προκαλούν στην ατμόσφαιρα, στα υπόγεια ύδατα, αλλά και της έλλειψης κατάλληλων θέσεων για χώρους υγειονομικής ταφής. Σύμφωνα με τον Beffa (2002), η ένταξη των σχετικά υγρών βιοαποδομήσιμων αποβλήτων στη γενική ροή αποβλήτων για αποτέφρωση δεν συνιστάται. Ειδικότερα, η υψηλή περιεκτικότητα τους σε νερό δημιουργεί προβλήματα στους χώρους υγειονομικής ταφής, άλλοτε με την εκπομπή επικίνδυνων αερίων, είτε με πιθανές τοξικές ενώσεις στο έδαφος. Ωστόσο, με την εκτροπή του υγρού οργανικού κλάσματος πριν οδηγηθεί στους χώρους υγειονομικής ταφής, το υπόλοιπο τμήμα των αποβλήτων κρίνεται πιο σταθερό και ασφαλές για ταφή (Angelidaki *et al.*, 2003).

Η νομοθεσία, στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τείνει να εντάσσει στην στρατηγική της τη βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων (οικιακών, γεωργικών ή βιομηχανικών). Με αυτό τον τρόπο, διευκολύνεται η μεταφορά των μεταλλικών και θρεπτικών στοιχείων από τα απόβλητα αυτά στο έδαφος, κατά τους Angelidaki *et al.* (2003). Δεδομένης της συνεχιζόμενης αποσάθρωσης των εδαφών, ιδιαίτερα των μεσογειακών (Λαζαρίδη και Χαριτοπούλου, 2001), είναι απαραίτητη η ανακύκλωση και ο εμπλουτισμός του εδάφους σε χουμικά συστατικά μέσω της βιοαποδόμησης και της ανοργανοποίησης της οργανικής ύλης των αποβλήτων (Beffa, 2002). Γι' αυτό σήμερα, δεν νοούνται σύγχρονες πρακτικές επεξεργασίας αποβλήτων, δίχως να πραγματοποιείται διαλογή στην πηγή (για καθαρότητα των υλικών εισόδου) ή οποιαδήποτε διαχειριστική μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας, όπως η κομποστοποίηση, σε ατομικό, τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο, προκειμένου να αντιμετωπισθεί μέρος του οργανικού κλάσματος των πράσινων αποβλήτων (κήπων και πάρκων), των απορριμμάτων της κουζίνας, αλλά και των γεωργικών, βιομηχανικών βιοαποδομήσιμων αποβλήτων.

1.2 Σκοπός και δομή

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων μέτρησης του βαθμού βιοσταθεροποίησης μεταξύ της ποιότητας των κόμποστ που προήλθαν από οικιακά οργανικά απόβλητα στην Αττική και κομποστοποιήθηκαν στο τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών και σε κόμποστ των εγχώριων μονάδων παραγωγής. Η βιοσταθεροποίηση αυτών των κόμποστ μελετάται με βάση τις φυσικοχημικές αναλύσεις τους και μέσω του στατικού ελέγχου SOUR για την μικροβιακή αναπνευστική δραστηριότητα, με στόχο να αξιολογηθούν συγκριτικά τα αποτελέσματα τους με το πέρας της διαδικασίας κομποστοποίησης και της βιοσταθεροποίησης τους.

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκε στο χώρο του Εργαστηρίου «Βιολογίας, Βιοχημείας και Φυσιολογίας του Ανθρώπου και των Μικροοργανισμών» και στον υπαίθριο χώρο του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου προσδιορίστηκαν οι χημικές και φυσικές παράμετροι, καθώς εφαρμόστηκαν οι απαραίτητες μικροβιολογικές μέθοδοι.

Ειδικότερα, η εργασία αυτή αποτελείται από 4 μέρη, όπου στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται το κίνητρο, ο σκοπός της εργασίας και η θεωρητική προσέγγιση σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και την κομποστοποίηση τους. Το δεύτερο μέρος αναφέρεται στα υλικά και την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη έρευνα. Στο τρίτο μέρος περιγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων της έρευνας. Στη συνέχεια, ακολουθεί το τέταρτο μέρος με την συγκριτική επεξεργασία, την αξιολόγηση και συζήτηση των αποτελεσμάτων και γίνεται εκ νέου αναφορά στο σκοπό της εργασίας.

Κεφάλαιο 2^ο:Θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων (ΒΑΑ)

Σήμερα, με τις εξελίξεις στο πεδίο της ολοκληρωμένης διαχείρισης των αστικών στερεών και οργανικών αποβλήτων αναδύονται συνεχώς προκλήσεις για την επίταξη αειφορικών στρατηγικών μέσα από νέες νομοθετικές διατάξεις. Η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) σύμφωνα με τον Παναγιωτακόπουλο (2007) επιτυγχάνεται μέσω της μετατροπής των χαρακτηριστικών τους, με φυσικές (διαχωρισμός- διαλογή των ΑΣΑ, μείωση του όγκου ή μεγέθους τους), χημικές ή θερμικές (καύση, πυρόλυση και αεριοποίηση) ή και βιολογικές διεργασίες (κομποστοποίηση και αναερόβια χώνευση).

Ωστόσο, είναι πλέον γεγονός ότι οι αυξημένοι ρυθμοί παραγωγής στη χώρα μας οδήγησαν σε αυξημένες ποσότητες αστικών αποβλήτων, οι οποίες ανέρχονται σε περίπου 496 kg παραγόμενων αποβλήτων κατά κεφαλήν για το έτος 2011, όταν το 2000 παράχθηκαν 407 kg αποβλήτων ανά άτομο. Εξαίρεση αποτελεί το έτος 2010, το οποίο σημείωσε μεγαλύτερη παραγωγή αποβλήτων από το 2011, σε 521 κιλά ανά άτομο. Όσον αφορά την διαδικασία της κομποστοποίησης η Ελλάδα, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της Eurostat, ανήκει στις χώρες (π.χ. Ρουμανία, Κροατία, Σερβία, Τουρκία) με τις χαμηλότερες ενδείξεις κομποστοποίησης σε 14 kg κομπόστ ανά άτομο.

Κατά τη διαχείριση των ΑΣΑ με τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση τους, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο είχε εντοπίσει από παλιότερα σημαντικά προβλήματα με κύριο τη διάθεση τους στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ).

Με το Άρθρο 3 της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ και τη συμπληρωματική της ΚΥΑ 29407/3508/2002 τίθεται για πρώτη φορά στο προσκήνιο η ανάγκη για μείωση των Βιοαποδομήσιμων Αστικών Αποβλήτων (ΒΑΑ) στο 50% του συνολικού τους βάρους που προορίζονται για τους ΧΥΤΑ έως το 2013, σε σχέση με τα ΒΑΑ που είχαν παραχθεί το 1995. Ακόμη, μέχρι το 2020 στους ΧΥΤΑ να αποστέλλονται έως το 35% των ΒΑΑ, συγκριτικά με τα παραγόμενα ΒΑΑ του έτους βάσης 1995. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ορίζει με την παραπάνω οδηγία, ως «βιοαποδομήσιμο απόβλητο» οποιοδήποτε απόβλητο μπορεί να υποβληθεί σε αερόβια (κομποστοποίηση) ή αναερόβια (χώνευση) αποσύνθεση, όπως είναι τα απόβλητα της κηπουρικής, τα υπολείμματα τροφών και το χαρτί.

Λίγα χρόνια αργότερα, η νέα Οδηγία- Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ θωρακίζει με νέα μέτρα την προώθηση της βιώσιμης διαχείρισης των αστικών αποβλήτων, της προστασίας της

ανθρώπινης υγείας, τη μείωση των ΒΑΑ, της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού, της ιεραρχίας στη διαχείριση των αποβλήτων και της διαλογής στην πηγή (ΔσΠ) των ΒΑΑ. Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα των κήπων και πάρκων, τα απόβλητα των τροφών από σπίτια και εστιατόρια ή των εγκαταστάσεων μεταποίησης τροφίμων, τα χαρακτηρίζει πλέον ως «βιολογικά απόβλητα» και προτείνει την εκτροπή τους από τους ΧΥΤΑ, με τη χωριστή συλλογή τους στα πλαίσια της κομποστοποίησης και της χώνευσης των βιοαποβλήτων. Προϋποθέτει την επεξεργασία τους με τέτοιο τρόπο που να διασφαλίζεται ένα υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας και να παράγονται περιβαλλοντικώς ασφαλή υλικά για μεταγενέστερη χρήση.

Πρόσφατα, εισήχθηκε ο νέος Ν. 4042/2012 για την ποινική προστασία του περιβάλλοντος, ο οποίος βρίσκεται σε εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ και προωθεί μεταξύ άλλων την εκτροπή των βιοαποβλήτων και την κομποστοποίηση τους. Αναφέρεται για τη μετάβαση σε μια «Κοινωνία Ανακύκλωσης» με υψηλό επίπεδο αποδοτικότητας των πόρων και κρίνεται απαραίτητη η προετοιμασία έως το 2020, για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των υλικών αποβλήτων από τα νοικοκυριά σε ποσοστό κατ' ελάχιστον στο 50% κατά βάρος. Ειδικότερα, απαιτείται η χωριστή συλλογή των βιοαποβλήτων να ανέλθει στο 5% του συνολικού τους βάρους και στο 10% έως το 2020 σε εθνικό επίπεδο. Όσον αφορά τους οργανισμούς και τις επιχειρήσεις που διαθέτουν τα απόβλητα τους σε ΧΥΤΑ, αναμένεται από τον Ιανουάριο του 2014 να επιβαρυνθούν με ειδικό τέλος ταφής ανά τόνο αποβλήτων.

Θεωρητικά λοιπόν, η διαχείριση των αποβλήτων μπορεί να είναι αειφορική και αναπτυξιακή, δημιουργώντας ταυτόχρονα θετικές εξωτερικές οικονομίες στην βιομηχανία της διαχείρισης των ΑΣΑ, εφόσον δεν αλλοιώνει τη φυσιογνωμία των περιοχών διαχείρισης αποβλήτων και γίνεται συνολικά προς το συμφέρον της κοινωνίας. Επίσης, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η μετάβαση από τη λογική της διαχείρισης των αποβλήτων σε διαχείριση των πόρων. Ειδικότερα, η συνεχής ενημέρωση των πολιτών, η δραστηριοποίηση και η συμμετοχή τους στην εκπόνηση σχεδίων και προγραμμάτων, όπως ο Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων, μπορούν να δράσουν ως αρωγοί για τη συμμόρφωση τους με τους στόχους που θέτει η Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία.

Κεφάλαιο 3^ο: Κομποστοποίηση

3.1 Ορισμός – Διαδικασία κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική αερόβια βιολογική διαδικασία (Schulze 1960, Willson 1983, Stentiford *et al.* 1985) κατά την οποία ορισμένοι μικροοργανισμοί, κυρίως ετερότροφοι, αποσυνθέτουν οργανικές ουσίες. Η αποικοδόμηση γίνεται σε ελεγχόμενες συνθήκες ως προς τον αερισμό, την υγρασία, το pH, τη θερμοκρασία και το λόγο άνθρακα προς αζώτου (C/N) (Pace *et al.*, 1995, Παναγιωτακόπουλος, 2007). Σύμφωνα με τον Bari (1999) η βιοαποδόμηση των οργανικών αποβλήτων μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη αντίδραση:



Κατά την κομποστοποίηση οι μικροοργανισμοί τρέφονται με οργανική ύλη καταναλώνοντας οξυγόνο. Παράγονται σημαντικές ποσότητες θερμότητας, διοξειδίου του άνθρακα και αμμωνίας, το σταθεροποιημένο κόμποστ (σκούρο πλούσιο οργανικό μίγμα με υψηλό χουμικό περιεχόμενο σε υδατάνθρακες και πρωτεΐνες), ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται νερό, κυρίως σε αέρια μορφή (υδρατμοί). Η μάζα και ο όγκος του τελικού προϊόντος είναι δυνατόν να ελαττωθεί στο ήμισυ του αρχικού βάρους των οργανικών υλικών, λόγω των απωλειών σε νερό με τη μορφή υδρατμών και της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα (Pace *et al.*, 1995).

Στην πλειονότητα, η επιστημονική κοινότητα διακρίνει τέσσερα κύρια στάδια κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης: αρχικά το μεσόφιλο στάδιο, στη συνέχεια το θερμοφιλο, το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας και τέλος το στάδιο της ωρίμανσης (Bari, 1999, Beffa, 2002, Xiao *et al.*, 2009, Belyaeva *et al.*, 2012). Ο Polprasert (1996) αρκετά νωρίτερα, είχε διαφοροποιηθεί στην ταξινόμηση του, αναφερόμενος στην φάση υστέρησης, το χρονικό διάστημα δηλαδή της προσαρμογής των μικροοργανισμών στο νέο περιβάλλον της κομποστοποιήσιμης μάζας, και στο στάδιο ανάπτυξης, όπου ξεκινάει η αποικοδόμηση- οι οποίες φαίνεται να ταυτίζονται με το μεσόφιλο στάδιο που ανέλυσαν οι Beffa (2002) και Xiao *et al.* (2009).

Η διαδικασία, λοιπόν, της κομποστοποίησης διαιρείται στα ακόλουθα στάδια ανάλογα με τη θερμοκρασία:

α) **Το μεσόφιλο ή στάδιο ανάπτυξης:** σε αυτό το στάδιο οι μεσόφιλοι και θερμοάντοχοι μικροοργανισμοί (κυρίως βακτήρια) ξεκινούν την αποικοδόμηση των εύκολα αποδομήσιμων υδατανθράκων, πρωτεϊνών και σακχάρων παράγοντας ταυτόχρονα θερμότητα. Η ταχεία αύξηση της θερμότητας μέχρι αυτό το στάδιο αυξάνει και τη θερμοκρασία του μίγματος, από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος έως τους 50 °C (Beffa, 2002, Rebollido *et al.*, 2008, Chandna *et al.*, 2013). Παράλληλα, τα οξειδωτικά βακτήρια παράγουν απλά οργανικά οξέα με αποτέλεσμα να μειώνεται το pH της μάζας του μίγματος. Το στάδιο αυτό μπορεί να διαρκέσει από 24h μέχρι 48h.

β) **Το θερμοφιλό στάδιο:** Για θερμοκρασίες άνω των 40-45 °C αναστέλλεται η δραστηριότητα των μεσόφιλων μικροοργανισμών και αναλαμβάνουν πλέον οι θερμοφιλοι (βακτήρια και μύκητες) τη διάσπαση των πολυμερών (κυτταρινών, ημικυτταρινών και πρωτεϊνών). Η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνει μέχρι τους 60 °C, όπου αρχίζει να παύει η δράση των θερμοφίλων μικροοργανισμών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μικροβιακή αναστολή σημειώνεται στους 80-82°C (Finstain *et al.*, 1983, Beffa, 2002). Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από έντονους ρυθμούς αποδόμησης, το μεγάλο ποσοστό των διασπώμενων οργανικών συστατικών (λιπίδια, πρωτεΐνες και ημικυτταρίνες), τη μεταβολή του pH σε αλκαλικές τιμές, την απελευθέρωση του διοξειδίου του άνθρακα, του νερού και των αμμωνιακών ενώσεων. Με την έντονη αποδόμηση η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται σταδιακά και μπορεί να ανακάμψει επεμβαίνοντας είτε με αερισμό, διαβροχή ή και αναδεύσεις στο σύστημα. Έτσι, το στάδιο αυτό είναι δυνατόν να παραταθεί έως την 6^η με 8^η εβδομάδα της διαδικασίας κομποστοποίησης, όπου πλέον τα θρεπτικά συστατικά γίνονται περιοριστικός παράγοντας επιβίωσης των μικροοργανισμών.

γ) **Το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας:** Εφόσον επιτευχθεί η μέγιστη θερμοκρασία, έχουν πλέον διασπαστεί όλες οι οργανικές ενώσεις και συρρικνώνεται αισθητά η μεταβολική δραστηριότητα (παραγωγή θερμότητας) των θερμοφίλων μικροοργανισμών. Στο στάδιο αυτό έχουν εξουδετερωθεί όλοι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και το προϊόν αρχίζει πλέον να σταθεροποιείται (Hassen *et al.*, 2001, Fourti, 2013). Έτσι λοιπόν, η θερμοκρασία σταδιακά μειώνεται, αφού ο διαθέσιμος οργανικός άνθρακας γίνεται περιοριστικός παράγοντας για τη μικροβιακή δραστηριότητα, σε επίπεδο θερμοκρασίας περιβάλλοντος, όπως στο μεσόφιλο στάδιο.

δ) **Τέλος το στάδιο της ωρίμανσης:** Δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός στην επιστημονική κοινότητα μεταξύ του σταδίου σταθεροποίησης και του σταδίου ωρίμανσης. Στο στάδιο αυτό αδρανοποιούνται οι φυτοτοξικές ενώσεις, που πιθανότατα να εμπεριέχονται στο

σύστημα κομποστοποίησης, έχει πλέον εξαντληθεί το ταχέως διασπώμενο οργανικό υλικό, συνεπώς ο ρυθμός αντίδρασης επιβραδύνεται και η θερμοκρασία μειώνεται πάλι σε μεσόφιλες τιμές. Το pH επίσης μειώνεται και τείνει να προσεγγίσει αλκαλικές τιμές. Σύμφωνα, με τον Bari (1999) το στάδιο της ωρίμανσης είναι δυνατόν να διαρκέσει για μήνες, ανάλογα την επιθυμητή ποιότητα και την χρήση του προϊόντος, ή να είναι σύντομη μέσω μιας ελεγχόμενης δευτερογενούς διαδικασίας κομποστοποίησης. Οι Hassen *et al.* (2001) αναφέρουν ότι το στάδιο αυτό αρχίζει συνήθως μετά την 8-12^η εβδομάδα της κομποστοποίησης. Για τους Houot *et al.* (2012) η διαδικασία της ωρίμανσης φαίνεται να αποτελεί σημαντικό στάδιο για την αποικοδόμηση των οργανικών ρύπων και πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά στις μονάδες κομποστοποίησης.

Γενικά, η βιοαποικοδόμηση (βιοδιάσπαση ή βιοσταθεροποίηση) της οργανικής ύλης των ΑΣΑ μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε αναερόβιες συνθήκες (πολύ αργή διαδικασία και απουσία οξυγόνου) με ταυτόχρονη παραγωγή βιοαερίου, είτε σε αερόβιες συνθήκες (παρουσία οξυγόνου) όπου το τελικό προϊόν είναι, χωρίς δυσάρεστες οσμές, σταθεροποιημένο και στερεό υλικό, το κόμποστ.

Τέλος, οι Λαζαρίδη και Χαριτοπούλου (2001) και Hassen *et al.* (2001) επισημαίνουν ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης συμβάλλει ευεργετικά και αειφορικά στον κύκλο της οργανικής ύλης, αφού έτσι αντιμετωπίζεται το διαχειριστικό πρόβλημα των υπέρογκων αποβλήτων και αφετέρου εμποδίζεται το φαινόμενο της ερημοποίησης ιδιαίτερα των Μεσογειακών χωρών, όπου οι κλιματικές συνθήκες και οι πρακτικές καλλιέργειας μειώνουν την ποσότητα των οργανικών του εδάφους.

3.2 Κεντρικά συστήματα κομποστοποίησης

Υπάρχει πλήθος επιστημονικών προσεγγίσεων για την ταξινόμηση των συστημάτων κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές κλίμακες, είτε σε επίπεδο νοικοκυριού- μικρής κλίμακας οικιακή κομποστοποίηση, σε τοπικό επίπεδο, ακόμη και σε μεγαλύτερη κλίμακα όπως είναι η βιομηχανική ή η κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων μιας πόλης.

Για τα συστήματα μεγάλης κλίμακας συχνά γίνεται αναφορά σε **ανοιχτά και κλειστά συστήματα**, χωρίς ή με παρουσία αντιδραστήρα αντίστοιχα (Haug, 1993, Fitzpatrick *et al.*, 2005) όπως είχε καθιερωθεί και κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αι. Ο Haug (1993) τα διέκρινε με βάση τις χημικές και μηχανικές ιδιότητες τους, σε κλειστά συστήματα

(παρουσία αντιδραστήρα, μηχανικά ή εντός σωλήνα συστήματα) και σε ανοιχτά συστήματα (χωρίς αντιδραστήρα). Σύμφωνα και με τους Bari (1999) και Diaz *et al.* (2005) τα κλειστά έχουν κυβικό ή κυλινδρικό σχήμα, είτε είναι κάθετης ή οριζόντιας ροής των στερεών υλικών. Τα ανοιχτά συστήματα κατασκευάζονται από σειράδια (αερισμός με μηχανική περιστροφή) και στατικούς σωρούς (χωρίς σύστημα ανάδευσης, αερισμός μέσω διάτρητου σωλήνα).

Παράλληλα, οι Beffa (2002) και Williams (2005) αναφέρουν ότι η κομποστοποίηση μπορεί να επιτευχθεί σε πολλά διαφορετικά επίπεδα και με διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας, ξεκινώντας από μια απλή κομποστοποίηση στον κήπο ή με τη χρήση αυτοματοποιημένων κάδων κομποστοποίησης. Η κατάταξη τους τροποποιείται σε σχέση με του Haug (1993) όσον αφορά τα κλειστά συστήματα, και εν τέλει συνοψίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες συστημάτων κομποστοποίησης:

α) **στην υπαίθρια κομποστοποίηση με σωρούς ή σειράδια.** Το υλικό τοποθετείται σε σωρούς ή μεγάλες σειρές (σειράδια), με τραπεζοειδή μορφή ύψους 2-5m και πλάτος βάσης 4-8m. Τα σειράδια χαρακτηρίζονται από ένα υπόστρωμα που υπόκειται σε ανάδευση, σε αντίθεση με το σταθερό υπόστρωμα των στατικών σωρών (Haug, 1993). Τα σειράδια στην υπαίθρο δεν υφίστανται τεχνητό αερισμό, όπως οι στατικοί σωροί, αλλά εξαρτώνται από την οξυγόνωση και την διάχυση αέρα κατά τη μεταφορά της μάζας των υλικών, καθώς και από την ανάδευση τους. Λόγω λοιπόν, της χρήσης χαμηλής έντασης τεχνολογίας κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης σε σειράδια, αυτή η ανοιχτή μέθοδος τείνει να είναι και η πιο δημοφιλής στους αγρότες, καθώς δεν απαιτείται δαπανηρός εξοπλισμός (Fitzpatrick *et al.*, 2005).

β) **Σε μεγάλα κιβώτια, τάφρους κομποστοποίησης, εντός στεγασμένου ή κλειστού χώρου, είτε σε οικιακούς στατικούς κάδους χωρίς πυθμένα.** Στην περίπτωση αυτή η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα σε σχετικά κλειστούς χώρους, μέσα στους οποίους εκτελείται ανάδευση του υλικού ή εγκαθίσταται τεχνητό σύστημα παροχής αέρα. Ο αέρας μπορεί να διοχετεύεται τεχνητά στο κόμποστ ή και να αναρροφάται από αυτό, από το αυτοματοποιημένο σύστημα στα τοιχώματα των κιβώτιων, είτε να διακόπτεται από την οροφή που τα καλύπτει. Αυτή η μέθοδος κομποστοποίησης πραγματοποιείται σε μικρό χρονικό διάστημα, 6-8 εβδομάδες, και ακολουθεί στη συνέχεια το στάδιο της σταθεροποίησης έξω από τα κιβώτια/ τάφρους.

γ) Στην κομποστοποίηση με βιοαντιδραστήρες.

Ο βιοαντιδραστήρας είναι ένα τελείως κλειστό σύστημα, συνήθως με τη μορφή ενός περιστρεφόμενου τυμπάνου. Για να επιτευχθεί ένα ομοιογενές υλικό γίνονται αναδεύσεις στο εσωτερικό τμήμα του αντιδραστήρα, ή αναδεύεται κατά καιρούς έξω από τον αντιδραστήρα και επανατοποθετείται. Σε αυτή τη διαδικασία κομποστοποίησης, το κόμποστ αερίζεται πλήρως. Μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον φαίνεται να συγκεντρώνει ο συνδυασμός αυτής της μεθόδου κομποστοποίησης με την αναερόβια χώνευση. Πολύ υγρά και πλούσια σε θρεπτικά συστατικά υλικά, όπως τα απόβλητα της κουζίνας χωνεύονται αποτελεσματικότερα σε ζυμωτήρα, υπό αναερόβιες συνθήκες, χωρίς τον κίνδυνο των εκπομπών τοξικών και δυσάρεστων οσμών. Από το ζυμωτήρα προκύπτει λασπώδες υλικό (20-30% ολικά στερεά), το οποίο αναμιγνύεται με υλικά, όπως τα υπολείμματα ξύλου, και στη συνέχεια κομποστοποιείται περιστρεφόμενο με αυτόματο αερισμό. Αποτέλεσμα της μεθανοποίησης λοιπόν, είναι η παραγωγή βιοαερίου (μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα), που μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή οικιακής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

Εν κατακλείδι, η επιστημονική κοινότητα αναφέρεται σε ανοιχτά, κλειστά συστήματα κομποστοποίησης και στην οικιακή κομποστοποίηση με μικρές διαφοροποιήσεις ως προς την δεύτερη κατηγορία αντίστοιχα. Γίνεται μια σαφής διάκριση στα συστήματα των βιοαντιδραστήρων και των κλειστών στεγασμένων χώρων, μιας και η οικιακή κομποστοποίηση για τον Haug (1993) αποτελεί ένα κλειστό σύστημα, που όμως δεν εξελίσσεται μέσα σε ένα αυστηρά κλειστό σύστημα, όπως ο βιοαντιδραστήρας.

3.3 Οικιακή κομποστοποίηση

Η μικρής κλίμακας κομποστοποίηση σε επίπεδο νοικοκυριού βασίζεται στα μίγματα πράσινων αποβλήτων και υπολειμμάτων φαγητού (Favoino & Ragazzi, 1998). Ο Evans (2012) επεξηγεί ότι τα υπολείμματα τροφίμων είναι το πιο δύσκολο τμήμα των οικιακών αποβλήτων για τη διαχείριση των στερεών αστικών αποβλήτων, μιας και πρόκειται για αρκετά υγρά και βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα. Επίσης, η ανάμειξη τους με άλλα απόβλητα, υποβαθμίζει την απόδοση των ανακυκλώσιμων υλικών. Σύμφωνα με τη Joly (2011) η διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί πολύ εύκολα στον κήπο ή στο μπαλκόνι

ενός σπιτιού, εφόσον υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση του κομποστοποιητή.

Οι Rouse *et al.* (2008) αναφέρουν ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να διαρκέσει μόλις 2 μήνες, είτε να χρειαστούν τρεις και τέσσερις μήνες.

Ο κομποστοποιητής μπορεί να είναι ένας **απλός στατικός κάδος κομποστοποίησης, από ξύλο ή πλαστικό, χωρίς πυθμένα** (Βροντάνης, 2009), ή **ιδιοκατασκευή**, είτε ακόμη και μια **σύνθετη κατασκευή του εμπορίου με εσωτερικό περιστρεφόμενο άξονα** (Papadopoulos *et al.*, 2009).

Σε γενικές γραμμές, η οικιακή κομποστοποίηση είναι μια απλή και προσιτή διαδικασία ανακύκλωσης, που δεν απαιτεί αυξημένο κόστος εξοπλισμού, σε αντίθεση με τα κεντρικά συστήματα κομποστοποίησης. Οι Papadopoulos *et al.* (2009) απέδειξαν, με πρωτότυπους κομποστοποιητές σε επιλεγμένα νοικοκυριά της Ελλάδας τριών δήμων της Περιφέρειας της Αττικής, ότι πράγματι η οικιακή κομποστοποίηση με τους συγκεκριμένους κομποστοποιητές μπορεί να είναι λειτουργική, αποτελεσματική και να παράγει ασφαλές και υψηλής ποιότητας κόμποστ.

Παρόλα αυτά οι Adhikari *et al.* (2012) επισημαίνουν ότι υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το είδος των οργανικών αποβλήτων που μπορούν να κομποστοποιηθούν και για αυτό οι ιδιοκτήτες του κομποστοποιητή πρέπει να είναι προσεκτικοί με τα υπολείμματα των τροφών που προσθέτουν. Οικιακά απόβλητα όπως το κρέας, το ψάρι, τα έλαια και τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι πιθανόν να προσελκύσουν τρωκτικά. Κατά τους Beffa (2002) και Joly (2011) είναι απαραίτητη η αύξηση της θερμοκρασίας για την εξουδετέρωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Σύμφωνα, με τη Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Α.Ε. (Ο.Τ.Α.) υλικά που μπορούν να οδηγηθούν σε κομποστοποίηση είναι: τα λαχανικά, φρούτα, χορταρικά, φυτικά υπολείμματα, τσόφλια αυγών, η στάχτη από τζάκι, το χαρτί κουζίνας, πριονίδι, ακόμη και τα υπολείμματα καφέ ή βοτάνων από ροφήματα.

3.4 Βασικές αρχές κομποστοποίησης

Η εφαρμογή του κόμποστ ως εδαφοβελτιωτικό απαιτεί αρχικά την κατανόηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών αλληλεπιδράσεων που πραγματοποιούνται στο κόμποστ. Για τον Richard (2005) αυτές οι μεταβολές είναι αναμενόμενες και το μέγεθος τους ποικίλει λόγω των δυναμικών φυσικοχημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους και του βιολογικά ενεργού πορώδους.

3.4.1 Φυσικοχημικές αλληλεπιδράσεις

Κατά τους Bari (1999), Richard (1992, 2005) και Papadopoulos *et al.* (2009) ο ρυθμός της μικροβιακής αποικοδόμησης κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης μελετάται μέσα από την ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως είναι το ποσοστό υγρασίας, το οξυγόνο και ο αερισμός, το μέγεθος των σωματιδίων του υποστρώματος, η θερμοκρασία, ο λόγος άνθρακα προς το άζωτο (C/N), η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οξύτητα του υποστρώματος (pH) και τα πτητικά στερεά.

Ειδικότερα, για τη βέλτιστη αερόβια διαδικασία της κομποστοποίησης, η **υγρασία** του μίγματος είναι απαραίτητη αφενός για την ανάπτυξη (το νερό αποτελεί το 70-90% της μάζας ενός κυττάρου), μεταφορά και τις μεταβολικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών, αφετέρου για την παροχή σε οξυγόνο (Miller, 1989, Richard, 1992, Pace *et al.*, 1995). Για τους Singh *et al.* (2012) η απώλεια υγρασίας κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως ένας δείκτης του ρυθμού αποικοδόμησης, δεδομένου ότι η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάσπαση οδηγεί σε εξάτμιση. Η υγρασία θα πρέπει να διατηρείται σε ένα εύρος τιμών 40-65% (Fourti, 2013). Η υπερβολική υγρασία καλύπτει με νερό την πλειονότητα των πόρων μεταξύ των σωματιδίων του υποστρώματος, ώστε να περιορίζεται η μεταφορά του οξυγόνου και συνεπώς να μειώνονται οι ευκαιρίες για μικροβιακή δραστηριότητα (Kabore *et al.*, 2010). Συνεπώς, δεν ευνοείται η διάχυση του οξυγόνου στο εσωτερικό των πόρων και το καθαρό αποτέλεσμα είναι η αναερόβια αποσύνθεση στο εσωτερικό τους. Αντιθέτως, για υγρασία σε ποσοστό μικρότερο του 40-45% επιβραδύνεται η διαδικασία κομποστοποίησης, καθώς οι μικροοργανισμοί πεθαίνουν ή αδρανοποιούνται (Fourti, 2013). Σύμφωνα με τον Bari (1999), είναι δυνατόν να αφαιρεθεί μια σημαντική ποσότητα υγρασίας, όταν η κομποστοποίηση εξελίσσεται σε θερμοφιλες θερμοκρασίες, με αναγκαστικό αερισμό.

Οι Pace *et al.* (1995) επισημαίνουν ότι για την κομποστοποίηση καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες οξυγόνου ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων της διεργασίας. Με τον **αερισμό** παρέχεται **οξυγόνο** στους διάφορους μικροοργανισμούς, το οποίο το χρειάζονται για την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων (Bari, 1999). Επίσης, για τους Leton & Stentiford (1990) η παροχή αέρα απομακρύνει αέρια απόβλητα και διευκολύνει την κομποστοποίηση από τους μικροοργανισμούς. Με τη συχνή ανάδευση του υλικού περιορίζονται οι δυσάρεστες οσμές και ταυτόχρονα αυξάνεται ο ρυθμός της κομποστοποίησης (Defoer *et al.*, 2002). Μια ελάχιστη συγκέντρωση οξυγόνου 5% στο

εσωτερικό των πόρων της κομποστοποιήσιμης μάζας είναι απαραίτητη για την αερόβια κομποστοποίηση, ενώ σε ποσοστό συγκέντρωσης 18% είναι επιθυμητό κατά την ενεργό βιοαποικοδόμηση προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία μέσα σε καλά επίπεδα των 45-60°C (Leton & Stentiford, 1990). Συνήθως, στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης η περίσσεια της θερμότητας πρέπει να αφαιρείται μέσω του υψηλού ρυθμού αερισμού, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται κάτω από 60°C. Από την άλλη πλευρά, σε μεταγενέστερο στάδιο (στάδιο ωρίμανσης) δεν απαιτείται υψηλός ρυθμός αερισμού για να συνεχισθεί η αερόβια διαδικασία της βιοαποικοδόμησης. Τέλος, η ενεργός φάση της κομποστοποίησης, εκτός από την υγρασία και το διαθέσιμο οξυγόνο, επηρεάζεται και από τη ποσότητα των εύκολα αποδομήσιμων συστατικών (Lazcano *et al.*, 2008).

Παρόλα αυτά, ο ρυθμός της αερόβιας αποσύνθεσης επηρεάζεται και από **το μέγεθος των σωματιδίων** του οργανικού υποστρώματος. Το μέγεθος των σωματιδίων των υλικών θα πρέπει να είναι τόσο μικρό, ώστε να επιτρέπει τον αποτελεσματικό αερισμό και την εύκολη αποσύνθεση από τα βακτήρια, τους μύκητες και ακτινομύκητες. (Pace *et al.*, 1995, Polprasert, 1996, Richard, 2005). Ωστόσο, τα πολύ μικρά σωματίδια συμπιέζονται αφήνοντας ελάχιστο κενό χώρο, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται ο ρυθμός διάχυσης του οξυγόνου μέσα στο υλικό. Οι βέλτιστες συνθήκες κομποστοποίησης λαμβάνονται συνήθως με μεγέθη σωματιδίων που κυμαίνονται με μέση διάμετρο από 1/8-2 cm.

Η **θερμοκρασία** από την πλευρά της επηρεάζει με πολλούς τρόπους της διαδικασία της κομποστοποίησης. Καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι βιολογικές διεργασίες, καθώς και την εξέλιξη και διαδοχή των μικροβιολογικών κοινοτήτων (Mustin, 1987). Κατά την κομποστοποίηση η θερμοκρασία μπορεί να ποικίλει από μεσόφιλες τιμές κάτω των 40-50°C στα πρώτα στάδια κομποστοποίησης έως θερμόφιλες τιμές άνω των 50-60°C (Grewal *et al.*, 2006). Για θερμοκρασίες στους 55°C παρατηρείται μεγιστοποίηση της βιοαποικοδόμησης, ενώ η μικροβιακή ποικιλότητα μεγιστοποιείται στους 37°C (Saludes *et al.*, 2007). Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα προτείνει να διατηρείται η θερμοκρασία και σε θερμόφιλες θερμοκρασίες, επειδή σε αυτές καταστρέφονται οι περισσότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία είναι κάτω των 20°C, αφορά το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας, όπου παρατηρείται σημαντική μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας (Pace *et al.*, 1995).

Η θερμοκρασία, λοιπόν, μπορεί να μετρηθεί στο επίκεντρο, ή πλησίον αυτού, του σωρού του κόμποστ (Fuchs, 2010). Η αύξηση της είναι συνάρτηση της έντονης και εξώθερμης μεταβολικής θερμότητας κατά την αποικοδόμηση του μίγματος, αλλά και της

συσσώρευσης της θερμότητας λόγω της φυσικής μονωτικής ιδιότητας των οργανικών αποβλήτων (Beffa, 2002). Σε ψυχρά κλίματα, υψηλά υψόμετρα ή πολύ ξηρές συνθήκες, η διαδικασία μπορεί να επιβραδύνει είτε και να διακοπεί (Rouse *et al.*, 2008).

Επιπλέον, για τη διεργασία της κομποστοποίησης οι μικροοργανισμοί χρειάζονται **θρεπτικά στοιχεία**, όπως είναι ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Τον άνθρακα (C) τον χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας και για την ανάπτυξη τους, ενώ σε συνδυασμό με το άζωτο (N) συνθέτουν πρωτεΐνες για το κυτταρικό τοίχωμα και εξασφαλίζουν την αναπαραγωγή τους (Wang *et al.*, 2013). Η ιδανική **αναλογία C:N** είναι από 25:1 έως 30:1 και εξασφαλίζει συνήθως ότι όλες οι απαραίτητες θρεπτικές ουσίες είναι παρούσες σε επαρκείς ποσότητες (Kumar *et al.*, 2010). Ο λόγος C:N είναι λοιπόν ένας δείκτης βιοδιαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών για τους μικροοργανισμούς και αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ποιότητα του κόμποστ (Michel *et al.*, 1996). Όταν η αναλογία αυτή είναι χαμηλή, κάτω από 20:1, τότε ο διαθέσιμος άνθρακας αξιοποιείται πλήρως ενώ πιθανότατα αυξάνονται οι απώλειες σε άζωτο υπό την μορφή αερίων αμμωνίας (Pace *et al.*, 1995, Li *et al.*, 2008). Για C:N αναλογίες άνω των 40:1, το άζωτο δεν επαρκεί για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και η διαδικασία της κομποστοποίησης επιβραδύνεται σημαντικά.

Ο Bari (1999) αναφέρει ότι ο λόγος C:N μειώνεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, καθώς ο άνθρακας χάνεται με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, όσον αφορά το κάλιο και τον φώσφορο αυτά αποτελούν βασικά συστατικά για τη διαίρεση των κυττάρων και το μεταβολισμό τους.

Δείκτης για τη χρήση του κόμποστ είναι η **ηλεκτρική του αγωγιμότητα**. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί δείκτη του βαθμού αλατότητας του υλικού κομποστοποίησης, υποδεικνύοντας τις πιθανές επιπτώσεις φυτοτοξικότητας για την ανάπτυξη των φυτών. Για τη βελτίωση των γεωργικών εδαφών οι επιθυμητές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας του κόμποστ είναι μικρότερες των 4dSm (Evanylo, 2006, Kalamdhad & Kazmi, 2009, Singh *et al.*, 2012). Για υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας προτείνεται η περαιτέρω ωρίμανση του, προκειμένου να καταστεί ασφαλές για χρήση στα φυτά. Είναι γεγονός ότι οι υψηλές αρχικές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην κομποστοποιήσιμη βιομάζα οφείλονται στην απελευθέρωση των ιόντων αμμωνίας (Singh *et al.*, 2012). Να αναφερθεί ότι οι Rashad *et al.* (2010) έδωσαν πιο αυστηρά όρια με επιθυμητές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κάτω των 1.5mS/cm. Σε μεταγενέστερη φάση της κομποστοποίησης η μειωμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα πιθανότατα να οφείλεται στην εξάτμιση της αμμωνίας και στην καθίζηση των ανόργανων αλάτων. Σε

περιπτώσεις που προκαλούνται προβλήματα από την εφαρμογή στο έδαφος ενός κόμποστ με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, προτείνεται έκπλυση με άρδευση ή από τις φυσικές βροχοπτώσεις (Richard, 2005).

Ο Beffa (2002) αναφέρει ότι πραγματοποιούνται σημαντικές αλλαγές στην τιμή του pH καθ' όλη την διάρκεια της κομποστοποίησης. Σε όλα τα συγγράμματα Χημείας το pH ορίζεται ως το **μέτρο της οξύτητας ή αλκαλικότητας** του υλικού ανάλογα με την συγκέντρωση των ιόντων του υδροξωνίου (H_3O^+) σε ένα υδατικό διάλυμα. Στους 25°C , η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14. Σύμφωνα με τους Elklind *et al.* (1997) για οικιακά απόβλητα που έχουν υποστεί διαλογή στην πηγή, οι τιμές του pH ποικίλουν από 4,5 έως 6. Για τους Beck-Friis *et al.* (2001) αυτή η οξύτητα είναι αποτέλεσμα της παρουσίας μικρών αλυσίδων από οργανικά οξέα, κυρίως του γαλακτικού και του οξικού οξέος. Αυτά τα οξέα εμπεριέχονται στην αρχική κομποστοποιήσιμη ύλη και οι συγκεντρώσεις τους τείνουν να αυξάνονται στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης (Nakasaki *et al.*, 1993, Beck-Friis *et al.*, 2003). Επίσης, οι Beck-Friis *et al.* (2003) παρατηρούν ότι οι μικρές αλυσίδες των λιπαρών οξέων αποτελούν βασικό παράγοντα για την μεταβολή του pH στο κόμποστ, καθώς η παρουσία αυτών των αλυσίδων εμπίπτει σε όξινες συνθήκες, αντιθέτως με τις αλκαλικές συνθήκες που επικρατούν κατά την απουσία τους. Ωστόσο, χαμηλό pH φαίνεται να συμπίπτει με την επιβράδυνση της μικροβιακής δραστηριότητας, ενώ η αύξηση του pH αποτελεί έμμεσο δείκτη των υψηλών επιπέδων της μικροβιακής δραστηριότητας. Νωρίτερα, οι Beck-Friis *et al.* (2001) αναφέρουν πώς η μετάβαση από μεσόφιλες συνθήκες σε θερμοφίλες στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης αποτυπώνεται και με την αλλαγή του pH από όξινες τιμές των 4,5-5,5 σε αλκαλικές 8-9. Για τους Sundberg *et al.* (2004), οι τιμές του pH αυξάνονται σε 8-9 κατά την διάρκεια μιας πλήρους και επιτυχώς ανεπτυγμένης διαδικασίας κομποστοποίησης, αφού οι αερόβιοι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται καλύτερα σε αλκαλικές συνθήκες.

Λίγα χρόνια αργότερα, οι Singh *et al.* (2012) διαπίστωσαν ότι κατά την διαδικασία της νιτροποίησης, τα θερμοφιλά νιτροποιά βακτήρια μειώνουν το pH του κομποστοποιήσιμου υλικού, λόγω της απελευθέρωσης των ιόντων υδρογόνου. Καθώς η διαδικασία της κομποστοποίησης εξελίσσεται, τα οργανικά οξέα εξουδετερώνονται και το κομποστοποιήσιμο υλικό τείνει προς ένα ουδέτερο pH. Ο αερισμός γενικότερα τείνει να περιορίζει τα επίπεδα του CO_2 στο υλικό, το οποίο με την σειρά του τείνει να αυξήσει το pH. Είναι γεγονός ότι τα περισσότερα εθνικά πρότυπα, που καθορίζουν τα όρια του pH, αναφέρουν ότι πρέπει οι τιμές του να κυμαίνονται από 6.0-8.5 (κατά τους Kapetanios, 1990, και Hogg *et al.*, 2002) ή από 7-8.5 (για τους Maso & Blasi, 2008).

Όταν η διαδικασία της κομποστοποίησης έχει ξεκινήσει, είναι δύσκολο πλέον να υπολογισθεί άμεσα η μάζα του οργανικού υποστρώματος και συνεπώς δεν μπορεί να προσδιορισθεί ούτε η μάζα που έχει διασπαστεί σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό (Richard, 2011). Για τον λόγο αυτό πραγματοποιείται μια έμμεση εκτίμηση της οργανικής ύλης με τον υπολογισμό των πτητικών στερεών της αποδόμησης συναρτήσει της περιεκτικότητας σε τέφρα (Haug, 1993, Saludes *et al.*, 2007). Στη βιβλιογραφία, άλλοτε γίνεται αναφορά ως **ποσοστό περιεκτικότητας σε οργανικό υλικό** ή ως **πτητικά στερεά** και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της ταχύτητας της βιοαποικοδόμησης (Dell'Abate *et al.*, 2000, Komilis & Ham, 2003, Mondini *et al.*, 2006, Saludes *et al.*, 2007, Komilis & Kletsas, 2012), αλλά και για την εκτίμηση της σταθερότητας του κόμποστ (Benito *et al.*, 2003). Ουσιαστικά, τα πτητικά στερεά αποτελούν ένα μέτρο έκφρασης του βαθμού βιοαποικοδόμησης του αρχικού οργανικού υλικού. Τέλος, οι Paredes *et al.* (2002) υποστηρίζουν ότι η αποικοδόμηση του οργανικού υλικού σχετίζεται άμεσα με την αναπνοή των μικροοργανισμών.

3.4.2 Βιολογικές- Μικροβιακές αλληλεπιδράσεις

Κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών (βλέπε §3.1) παρατηρούνται μεταβολές στους πληθυσμούς των μικροοργανισμών. Για την διαδικασία αυτή συνεργάζονται τα αερόβια βακτήρια (π.χ. ακτινοβακτήρια) και οι μύκητες (Ryckeboer *et al.*, 2003, Gazi *et al.*, 2007, Chandna *et al.*, 2013, Steel *et al.*, 2013), ενώ εισβάλλουν και άλλοι οργανισμοί από το έδαφος, όπως τα πρωτόζωα, έντομα και γαιοσκώληκες (Βροντάνης, 2009). Η βιοποικιλότητα αυτή μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ποιότητα του ώριμου κόμποστ (Ishii *et al.*, 2000), καθώς ποικίλει ανάλογα με τη σύσταση των αρχικών υλικών του υποστρώματος, τη συχνότητα ανάδευσης του, τον αερισμό, την υγρασία και την θερμοκρασία του.

Με βάση την ανάπτυξη των μικροβιακών πληθυσμών στις διάφορες θερμοκρασίες, πλήθος επιστημονικών προσεγγίσεων (Ghazifard *et al.*, 2001, Hassen *et al.*, 2001, Beffa, 2002, Rebollido *et al.*, 2008, Fuchs, 2010, Partanen *et al.*, 2010, Chandna *et al.*, 2013) ταξινομούν τους μικροοργανισμούς στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) Αρχικά, στους **μεσόφιλους**, οι οποίοι αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες των 20-45⁰C στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης. Σύμφωνα με τον Ghazifard *et al.* (2001) πρόκειται για τα μεσόφιλα Gram αρνητικά βακτήρια (*Escherichia*, *Klebsiella*,

Aeromonas και *Alcaligenes*) και ελάχιστα Gram θετικά βακτήρια (*Enterococcus* και *Lactobacillus* spp.). Κατά τον Ryckeboer *et al.* (2003a) εμφανίζονται σε μικρότερο βαθμό οι μύκητες, ζύμες και στρεπτομύκητες. Γενικότερα όμως, οι Steel *et al.* (2013) επισημαίνουν ότι η μέγιστη μυκητιακή βιομάζα εντοπίζεται κατά την έναρξη της κομποστοποίησης, μειώνεται ραγδαία στο θερμόφιλο στάδιο, ενώ αυξάνεται πάλι κατά την ψύξη και ωρίμανση (σε $T < 45^{\circ}\text{C}$). Αυτό το στάδιο χαρακτηρίζεται από ελαφρά όξινο pH, που συντελεί στον πολλαπλασιασμό των μυκήτων, και από την ύπαρξη αρκετών και εύκολα διασπώμενων οργανικών ενώσεων (Rebollido *et al.*, 2008).

β) Όταν η θερμοκρασία αγγίζει τους 45°C αναστέλλεται η δράση των μεσόφιλων μικροοργανισμών. Ο Ghazifard *et al.* (2001) υποστηρίζει ότι τότε αναλαμβάνουν τα **θερμοάντοχα βακτήρια** (*Bacillus subtilis*, *B. polymyxa*, *B. pumilus*, *B. sphaericus*, *B. licheniformis*), **οι θερμοάντοχοι μύκητες** (*Cladosporium*, *Aspergillus*, *Absidia*, *Mucor* και *Rhizopus* spp.) και τα **πρώτα θερμόφιλα βακτήρια**.

γ) Στη συνέχεια, καθώς εξελίσσεται η διαδικασία της κομποστοποίησης, η θερμοκρασία ξεπερνά τους 60°C και τότε κυριαρχούν κυρίως **θερμόφιλα Gram θετικά βακτήρια**, όπως το *B. stearothermophilus*, *B. acidocaldarius*, *B. schleglii* (Ghazifard *et al.*, 2001, Steel *et al.*, 2013) και τα πρώτα **ακτινοβακτήρια** (Beffa, 2002, Partanen *et al.*, 2010). Σύμφωνα με τους Beffa (2002), Chopra (2004) και Velasco *et al.* (2004) τα ακτινοβακτήρια είναι μία από τις κύριες ομάδες, που ευθύνεται για την αποδόμηση της οργανικής ύλης στα τελευταία στάδια της διαδικασίας της κομποστοποίησης και στο θερμόφιλο στάδιο (στους $45\text{-}55^{\circ}\text{C}$). Γενικά, στο θερμόφιλο στάδιο οι μύκητες, ζύμες και στρεπτομύκητες φαίνεται να είναι πιο ευαίσθητοι, γι αυτό τον λόγο βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης (Barcenas-Moreno & Baath, 2009). Η κυριαρχία των *Bacillus* spp. ουσιαστικά σηματοδοτεί τη μετάβαση από το μεσόφιλο στο θερμόφιλο στάδιο. Για τον Fuchs (2010) η έντονη αύξηση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα της υψηλής μικροβιακής δραστηριότητας, η οποία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του υποστρώματος σε οργανικά. Εφόσον, υπάρχουν ακόμη πηγές θρεπτικών συστατικών οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν την αποδόμηση του υποστρώματος. Σε υψηλές θερμοκρασίες άνω των $40\text{-}45^{\circ}\text{C}$ εξαλείφονται οι περισσότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Οι Chandna *et al.* (2013) αναφέρουν ότι σε παραδοσιακές μεθόδους κομποστοποίησης, επιβίωσαν ορισμένα στελέχη παθογόνων βακτηρίων, που πιθανότατα να ήταν αποτέλεσμα του ανεπαρκούς αερισμού και της έλλειψης υψηλών θερμοκρασιών.

δ) Μόλις, αρχίζουν να εξαντλούνται οι περισσότερες οργανικές ενώσεις, συρρικνώνεται η μεταβολική δραστηριότητα και κατά συνέπεια τα θερμόφιλα βακτήρια πεθαίνουν. Η

θερμοκρασία τότε μειώνεται σε ένα ψυχρόφιλο θερμοκρασιακό εύρος, των 20-40⁰C, και επανεμφανίζονται τα **μεσόφιλα Gram αρνητικά βακτήρια** και οι **μύκητες**, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται τα ήδη υπάρχοντα ακτινοβακτήρια (Fuchs, 2010). Στο στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας έχουν εξουδετερωθεί οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, σε αντίθεση με τους μικροοργανισμούς που προάγουν την κομποστοποίηση και τείνουν να επαναποικίσουν το κόμποστ μετά το θερμόφιλο στάδιο.

ε) Τέλος, ακολουθεί το τελευταίο στάδιο της ωρίμανσης σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, περίπου 20⁰C, όπου τα παθογόνα βακτήρια έχουν εξουδετερωθεί στην πλειονότητα τους, σε αντίθεση με τους **μύκητες** (Ryckeboer *et al.*, 2003). Εδώ τα **ακτινοβακτήρια** διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της αποδόμησης της οργανικής ύλης, γιατί μπορούν να αποικίσουν τα οργανικά υλικά αμέσως μετά την δράση των βακτηρίων και μυκήτων (τα οποία έχουν αποσυνθέσει ήδη τα εύκολα κλάσματα), ώστε να αποδομήσουν τα πιο ανθεκτικά υπολείμματα, όπως η λιγνίνη των ξυλωδών τμημάτων (Beffa, 2002, Τσαπικούνης, 2002, Rebollido *et al.*, 2008). Επίσης, τα ακτινοβακτήρια έχουν την ικανότητα να ανταγωνίζονται άλλους οργανισμούς για την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, ενώ μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών λόγω της παραγωγής αντιβιοτικών, λυτικών ενζύμων (Rebollido *et al.*, 2008). Κατά τους Steger *et al.* (2007) τα ακτινοβακτήρια μπορούν να αποτελέσουν έναν σημαντικό δείκτη της ωριμότητας του κόμποστ, βασισμένο στις αλλαγές στη σύνθεση των ειδών και στην αύξηση της συμμετοχής τους στον μικροβιακό πληθυσμό στα τελευταία στάδια της κομποστοποίησης.

3.5 Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής της οικιακής κομποστοποίησης (AKZ)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (βλέπε §2) είχε ήδη επισημάνει την ανάγκη μετάβασης σε μια Κοινωνία Ανακύκλωσης, υποστηρίζοντας ότι για το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ, η διαλογή στην πηγή και η επεξεργασία τους μέσω της κομποστοποίησης ή/και της αναερόβιας χώνευσης φαίνεται να είναι οι πιο βιώσιμες επιλογές (European Commission, 2008). Πλέον τα συστήματα οικιακής κομποστοποίησης είναι γνωστά για τη διευκόλυνση τους στην διαχείριση των ΑΣΑ και αρκετά μετρήσιμα στοιχεία είναι διαθέσιμα για τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις συμπεριλαμβανομένων και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Adhikari *et al.*, 2013).

Οι Adhikari *et al.* (2010) στα αποτελέσματα της έρευνας τους διαπίστωσαν ότι η επί τόπου επεξεργασία των αστικών οργανικών αποβλήτων, με κομποστοποίηση στο σπίτι,

μπορεί να μειώσει το κόστος διαχείρισης των ΑΣΑ κατά 50% για τις πλούσιες χώρες της Ευρώπης, 37% για τις φτωχότερες χώρες της Ευρώπης και 34% για τον Καναδά.

Ο Επίτροπος Περιβάλλοντος Janez Potočnik σε πρόσφατη δήλωση του (European Commission, Brussels, Press Release, 15 July 2013) ανακοίνωσε ότι: «Είναι ηθικά και οικονομικά απαράδεκτο, αλλά ακόμη πιο τρομακτικό εάν σκεφτεί κανείς το πραγματικό μέγεθος των πόρων που απαιτούνται για την παραγωγή 89 εκατομ. τόνων τροφίμων ετησίως στην Ευρώπη. Υπάρχει κάποιο λάθος στο σύστημα των τροφίμων!». Ένας αυξανόμενος αριθμός επιστημονικών αναλύσεων αμφισβητεί την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα αυτών των σημερινών τάσεων παραγωγής και κατανάλωσης των τροφίμων, καθώς και την πάγια τακτική της υγειονομικής ταφής των οργανικών αποβλήτων τους.

Πράγματι με την οικιακή κομποστοποίηση αποτρέπεται ένα σημαντικό μέρος των ΑΣΑ από τη συλλογή, μειώνοντας τις οικονομικές, υλικές και ενεργειακές επενδύσεις για υποδομές και τη διαχείριση τους (Ligon & Garland, 1998, Rouse *et al.*, 2008). Ωστόσο, κατά τους Smith & Jasim (2009) η επίδραση της οικιακής κομποστοποίησης σχετικά με την εκτροπή των οικιακών αποβλήτων από την υγειονομική ταφή είναι ποσοτικά αβέβαιη. Στο τριετές ερευνητικό πρόγραμμα οικιακής κομποστοποίησης του Δημοτικού Συμβουλίου του Runnymede που πραγματοποιήθηκε στο δυτικό Λονδίνο, συμπέραναν ότι περίπου το 20% των νοικοκυριών που ενεπλάκησαν στην οικιακή κομποστοποίηση, αντιστοιχούσε σε ένα συνολικό ποσοστό εκτροπής των βιοαποδομήσιμων οικιακών αποβλήτων από τους ΧΥΤΑ ισοδύναμο με το 20%.

Κατά την οικιακή κομποστοποίηση, απαιτείται 18,6 φορές λιγότερη ενέργεια για τη μεταφορά των βιοαποβλήτων σε σύγκριση με την βιομηχανική κομποστοποίηση (Martínez-Blanco *et al.*, 2010), καθώς έχει εξεταστεί εκτενέστερα ολόκληρος ο κύκλος ζωής τους και στις 2 περιπτώσεις από τους Lleo *et al.* (2012). Ειδικότερα, για την οικιακή κομποστοποίηση απαιτείται λιγότερη χρήση γης και επιτρέπεται ο καλύτερος συντονισμός στον έλεγχο της διαδικασίας κομποστοποίησης. Επίσης, η παραγωγή του κόμποστ συμβάλλει ως εδαφοβελτιωτικό, στη δημιουργία καλύτερων συνθηκών για το ριζικό σύστημα των φυτών, στην παροχή θρεπτικών οργανικών συστατικών, στη βελτίωση της αποστράγγισης του εδάφους αλλά και στη μείωση της διάβρωσης του. Μάλιστα, ευνοεί την συγκράτηση της υγρασίας στο έδαφος, βελτιώνει και σταθεροποιεί το pH του εδάφους, καθώς και το εφοδιάζει με ωφέλιμους μικροοργανισμούς (Rouse *et al.*, 2008).

Για τους Andersen *et al.* (2012) η παραγωγή κόμποστ στο σπίτι εξοικονομεί πόρους από την αντικατάσταση των λιπασμάτων και της τύρφης με κόμποστ. Κατά τους

Adhikari *et al.* (2013) οι οικιακοί κάδοι κομποστοποίησης παράγουν υγρότερα κόμποστ, αλλά καταφέρνουν να παράγουν τουλάχιστον το μισό του μέσου όρου των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου συγκριτικά με τις εκπομπές των κεντρικών συστημάτων κομποστοποίησης.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες πτυχές στην οικιακή κομποστοποίηση που προκαλούν προβλήματα. Σύμφωνα, με τους Colón *et al.* (2010) και Martínez-Blanco *et al.* (2010) ανάλογα με την μέθοδο και τον χειρισμό του συστήματος κομποστοποίησης, η διαδικασία κομποστοποίησης μπορεί να παράγει πτητικές οργανικές ενώσεις, αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του αζώτου και μεθάνιο, τα οποία έχουν αρνητική επίδραση στην ατμόσφαιρα.

Επίσης, χαμηλής ποιότητας παραγόμενο κόμποστ μπορεί να περιέχει μη ορατούς τοξικούς ρύπους, όπως τα βαρέα μέταλλα, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν μακροπρόθεσμα τους αγρότες και τους καταναλωτές ρυπαίνοντας τα υπόγεια ύδατα και τις καλλιέργειες (Rouse *et al.*, 2008).

Γενικότερα, κατά την αποικοδόμηση των οικιακών οργανικών αποβλήτων δεν έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, ενώ το επιστημονικό ενδιαφέρον (IPCC, 2006, ICF Consulting, 2005) φαίνεται να επικεντρώνεται στη βραχυπρόθεσμη παραγωγή του μεθανίου και του υποξειδίου του αζώτου στα αναερόβια τμήματα κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης (Boldrin *et al.*, 2009).

Το ποσοστό των αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται από το είδος και την σύνθεση των αποβλήτων (οργανικά κουζίνας, απόβλητα κήπου), τον τύπο της τεχνολογίας (ανοιχτά και κλειστά συστήματα κομποστοποίησης, οικιακή κομποστοποίηση), την αποτελεσματικότητα του καθαρισμού των αερίων στα κλειστά συστήματα και την χρήση του κόμποστ (Boldrin *et al.*, 2009). Στην συγκριτική τους μελέτη συμπεράναν ότι από όλα τα συστήματα κομποστοποίησης, η οικιακή κομποστοποίηση έχει τις χαμηλότερες εκπομπές σε CO₂ ίσες με 139-215kg CO₂ tonne⁻¹ ww. Στα ανοιχτά συστήματα είναι υψηλότερες έως 413 kg CO₂ tonne⁻¹ ww, ενώ οι εκπομπές σε N₂O για την οικιακή κομποστοποίηση είναι περισσότερες (192-454 kg CO₂ tonne⁻¹ ww) από ότι στα ανοιχτά (25-178 kg CO₂ tonne⁻¹ ww) και τα κλειστά συστήματα (10-120 kg CO₂ tonne⁻¹ ww). Ως προς το CH₄ η οικιακή κομποστοποίηση έχει τις λιγότερες εκπομπές (0.8-2.2 kg CO₂ tonne⁻¹ ww) συγκριτικά με τα υπόλοιπα συστήματα κομποστοποίησης. Οι Smith & Jasim (2009) στην έρευνα τους ανίχνευσαν περιστασιακά μεθάνιο.

Λίγο αργότερα, οι Andersen *et al.* (2010, 2011) μέτρησαν υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις συχνά αναδευόμενες μονάδες οικιακής κομποστοποίησης,

κυρίως λόγω των υψηλών εκπομπών μεθανίου ίσως και 11 φορές περισσότερες σε σχέση με τις μονάδες κομποστοποίησης που δεν αναμιγνύονταν.

Κατά την ανάλυση της περιβαλλοντικής αξιολόγησης των Colón *et al.* (2010), ανιχνεύθηκαν κυρίως πτητικές οργανικές ενώσεις που συμβάλλουν κατά 97% στην φωτοχημική οξείδωση. Σε αρκετά μικρότερο βαθμό μετρήθηκαν και άλλοι αέριοι ρύποι που συνέβαλαν στην οξίνιση (πάνω από 32% που οφείλεται στην αμμωνία), στον ευτροφισμό (με 56% λόγω αμμωνίας) και στην υπερθέρμανση του πλανήτη (με 80% κυρίως λόγω του υποξειδίου του αζώτου). Στην έρευνα τους υπολόγισαν 83kg ισοδύναμων του CO₂/Mg υπολειμμάτων φρούτων και λαχανικών. Εκτιμούν ότι οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα μπορούν να κυμαίνονται από 30kg ισοδύναμων του CO₂/Mg υπολειμμάτων φρούτων και λαχανικών για το καλύτερο σενάριο έως 148kg ισοδύναμων του CO₂/Mg υπολειμμάτων φρούτων και λαχανικών για το χειρότερο σενάριο.

Οι Andersen *et al.* (2012) παρατήρησαν ότι η οικιακή κομποστοποίηση απέδωσε καλύτερα αποτελέσματα για αρκετές από τις πιθανές κατηγορίες επιπτώσεων (ιδίως στην οξίνιση, τον εμπλουτισμό με θρεπτικά συστατικά και την τοξικότητα μέσω του νερού), από ότι με την αποτέφρωση και την υγειονομική ταφή (Andersen *et al.*, 2012). Εξάιρεση αποτέλεσε η κατηγορία της υπερθέρμανσης του πλανήτη, σε συμφωνία με τους Colón *et al.* (2010), στην οποία η μέθοδος της αποτέφρωσης παρουσίαζε χαμηλότερες εκπομπές αερίων από την οικιακή κομποστοποίηση, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας, που υποκαθιστούσε την ζήτηση σε ενεργειακούς πόρους.

Μια άλλη πρόκληση για τα οικιακά απόβλητα αποτελεί για ορισμένους ο αργός ρυθμός της αποσύνθεσης τους συγκριτικά με τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης, ο οποίος σύμφωνα με τους Chanakya *et al.* (2007) ενδεχομένως να προσελκύσει έντομα και τρωκτικά, αλλά και να παραχθούν δυσάρεστες οσμές. Λόγω των δυσάρεστων οσμών οι Ruggieri *et al.* (2009) έρχονται σε αντίθεση με τους (Lleo *et al.*, 2012) και υποστηρίζουν ότι υπάρχει ανάγκη για ανοιχτούς χώρους εγκατάστασης των οικιακών κάδων, καθώς επίσης ο όγκος των αρχικών υλικών πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να ευνοείται ο αερισμός και η υγρασία των υλικών. Αντίθετα, για τους Füleky & Benedek (2010) η κομποστοποίηση αποτελεί μια έξυπνη πρακτική ανακύκλωσης, αφού μειώνει τη μάζα και τον όγκο των βιοαποβλήτων, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τυχόν οσμές τους.

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων του Ην. Βασιλείου (Defra, 2007) έχει ήδη επιτάξει ως μέγιστης σημασίας την ενσωμάτωση της οικιακής κομποστοποίησης στην εκτροφή των οικιακών αποβλήτων από την υγειονομική

ταφή και υποστηρίζει τις προτάσεις των τοπικών αρχών που συμπεριλαμβάνουν την οικιακή κομποστοποίηση στους στόχους των επιδόσεων της διαχείρισης των ΑΣΑ.

Τέλος, οι Lou & Nair (2009) έχοντας επανεξετάσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αναλύουν ότι οι εκπομπές από την αποσύνθεση των οικιακών αποβλήτων είναι σημαντικά υψηλότερες στους ΧΥΤΑ από ότι στους χώρους κομποστοποίησης. Αυτό συμβαίνει διότι η αναερόβια αποσύνθεση στους ΧΥΤΑ διευκολύνει την παραγωγή μεθανίου, το οποίο έχει 25 φορές μεγαλύτερη επίδραση σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα στην παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη. Η ανάκτηση της ενέργειας και οι κατάλληλες στρατηγικές στους χώρους υγειονομικής ταφής μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση αυτών των επιπτώσεων, με την οικιακή κομποστοποίηση να παραμένει ένα αποτελεσματικό και μη δαπανηρό μέσο για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι όλα τα απόβλητα πρέπει να κομποστοποιούνται ή να ανακυκλώνονται, καθώς μια ορισμένη μερίδα αποβλήτων αναπόφευκτα ενταφιάζεται. Η οικιακή κομποστοποίηση υιοθετεί μια πιο ενεργητική προσέγγιση στην διαχείριση των ΑΣΑ, με σκοπό την πρόληψη ή και ελαχιστοποίηση αυτών των αρνητικών επιπτώσεων σε πρώτη φάση.

Έτσι λοιπόν, η επιστημονική κοινότητα θεωρεί την οικιακή κομποστοποίηση των οργανικών αποβλήτων ως μια εφικτή εναλλακτική λύση ανακύκλωσης στην διαχείριση των ΑΣΑ, με ελάχιστες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις (Ligon & Garland, 1998, Defra, 2007, Rouse *et al.*, 2008, Lou & Nair, 2009, Colón *et al.* 2010, Füleky & Benedek, 2010, Martínez-Blanco *et al.*, 2010, Adhikari *et al.*, 2012, Andersen *et al.*, 2012). Οι χώρες θα πρέπει να συμπεριλάβουν στους στόχους τους τη μείωση των οργανικών οικιακών τους αποβλήτων που παράγονται και να εκτρέπουν ορισμένα απόβλητα σε κατάλληλα σχεδιασμένες εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων, ούτως ώστε να διασφαλίζεται συνολικά μια λειτουργική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Κεφάλαιο 4^ο: Βιοσταθεροποίηση του κόμποστ

4.1 Ορισμός

Συχνά στη βιβλιογραφία, η βιοσταθεροποίηση περιγράφεται από την αντίσταση του οργανικού υλικού του κόμποστ στην περαιτέρω ταχεία μικροβιακή αποδόμηση και μπορεί να μετρηθεί απευθείας από τα ποσοστά της αναπνευστικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών (Matteson & Sullivan, 2006, Eggen & Vethe, 2001, Sullivan & Miller, 2001, Hue & Liu, 1995). Κατά συνέπεια, ένα υλικό χαρακτηρίζεται ασταθές όταν

περιέχει υψηλό ποσοστό βιοαποδομήσιμων, το οποίο μπορεί να υποστεί υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα. Εάν το υλικό περιέχει κυρίως ανθεκτικές ουσίες, τότε αυτό δεν μπορεί να φιλοξενήσει υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα και θεωρείται σταθερό (Gomez *et al.*, (2006).

Επίσης, η βιοσταθεροποίηση αναφέρεται για κόμποστ, όπου ο ρυθμός απελευθέρωσης της θερμικής ενέργειας κατά την μικροβιακή αποδόμηση της οργανικής ύλης ισούται με τον ρυθμό της απώλειας της θερμικής ενέργειας που απελευθερώνεται στο περιβάλλον (Zmora-Nahum *et al.*, 2005).

Για τους Benito *et al.* (2003) η βιοσταθεροποίηση εκφράζει τον ρυθμό αποδόμησης της οργανικής ύλης στον βαθμό που εξαλείφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και ταυτόχρονα συνοδεύεται από τη μείωση των ασταθών ενώσεων. Νωρίτερα, οι Lasaridi & Stentiford (1996) είχαν ήδη αναλύσει ότι η βιοσταθεροποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης εξέλιξης της διαδικασίας κομποστοποίησης, αφού εκφράζει τον βαθμό στον οποίο έχει αποσυντεθεί η άμεσα βιοαποδομήσιμη οργανική ύλη.

Έτσι, λοιπόν για πολλούς ερευνητές η βιοσταθεροποίηση είναι στενά συνδεδεμένη με το ρυθμό της αποσύνθεσης του οργανικού υλικού, που εκφράζεται από την αναπνευστική δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο κόμποστ (Komilis & Tziouvaras, 2009, Gomez *et al.*, 2006, Zmora-Nahum *et al.*, 2005, Lasaridi & Stentiford, 1998, Iannotti *et al.*, 1993).

Σύμφωνα με τους Sanchez-Modenero *et al.* (2002) συχνά δημιουργείται σύγχυση μεταξύ των όρων σταθερού και ώριμου κόμποστ. Συχνά, η βιοσταθεροποίηση και η ωριμότητα αναφέρονται στην ποιότητα του κόμποστ (Bernal *et al.*, 2009, Moral *et al.*, 2009). Υποστηρίζουν ότι το κόμποστ είναι επαρκώς σταθεροποιημένο όταν ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου μειώνεται σε σημείο που δεν δημιουργούνται αναερόβιες και δύσοσμες συνθήκες, οι οποίες να παρεμβαίνουν στην αποθήκευση, εμπορία και στην χρήση του τελικού προϊόντος. Το σταθεροποιημένο κόμποστ δεν θα πρέπει να έλκει ζώδια, ούτε να ευνοεί την επανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών ή άλλα προβλήματα που προκύπτουν από την ατελή αποσύνθεση. Κατά τους Antil *et al.* (2013) το σταθερό κόμποστ χαρακτηρίζεται από θερμοκρασίες περιβάλλοντος, περιορισμένη παρουσία βακτηρίων και μυκήτων, καθώς και από αυξημένο πληθυσμό ακτινοβακτηρίων.

Αντίθετα, η ωριμότητα αφορά τον βαθμό αποδόμησης των φυτοτοξικών οργανικών ενώσεων και υπολογίζεται από τον δείκτη βλάστησης ή με βιολογικές δοκιμές σε φυτά (Gao *et al.*, 2010, Said-Pullicino *et al.*, 2007, Zmora-Nahum *et al.*, 2005). Με λίγα λόγια,

η ωριμότητα του κόμποστ αντανakλά την γεωργική αξία (καταλληλότητα και την ποιότητα) του κόμποστ για συγκεκριμένη τελική χρήση (Zmora-Nahum *et al.*, 2005, Sanchez-Modenero *et al.*, 2002, Brewer & Sullivan, 2001).

Τέλος, εάν το κόμποστ περιέχει κυρίως ανθεκτικές ενώσεις, τότε αυτό δεν διαθέτει πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη μικροβιακής δραστηριότητας και κατά συνέπεια θεωρείται σταθερό (Kalamdhad *et al.*, 2008).

4.2 Σημασία της βιοσταθεροποίησης του κόμποστ

Οι Seal *et al.* (2012) σε πρόσφατη έρευνα τους επισημαίνουν ότι η εφαρμογή μη κατάλληλου κόμποστ στο έδαφος, δίχως να είναι γνωστά τα αρχικά ποιοτικά του συστατικά (π.χ. η βιοσταθεροποίηση του), μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο τόσο για την υγεία των ανθρώπων (π.χ. Salmonella, Inbar *et al.*, 1990), όσο και για το περιβάλλον (Butler *et al.*, 2001). Επίσης, μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών λόγω των επιβλαβών παθογόνων μικροοργανισμών (π.χ. Pythium, Inbar *et al.*, 1990), που πιθανόν να εμπεριέχονται στο κόμποστ. Μάλιστα, οι Boulter-Bitzer *et al.* (2006) ήδη έχουν επισημάνει ότι οι δυνατότητες για την ευεργετική καταστολή των φυτοπαθογόνων από κόμποστ συνδέεται με την μελέτη της μικροβιακής δραστηριότητας και της δομής των μικροβιακών πληθυσμών κατά την διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης.

Ταυτόχρονα, οι Grigatti *et al.* (2012) μέσω της ανάλυσης τους με την πολλαπλή παλινδρόμηση απέδειξαν ότι πράγματι η βιοσταθεροποίηση του κόμποστ είναι ένας καλός δείκτης πρόγνωσης της ανάπτυξης των φυτών. Συγκεκριμένα, κατά τους Garcia *et al.* (1992) και Hirai *et al.* (1986) το κόμποστ θεωρείται ώριμο, όταν δεν παρατηρούνται αρνητικές επιδράσεις στα φυτά από την έλλειψη της βιοσταθεροποίησης του υλικού ή από την παρουσία φυτοτοξικών ενώσεων (οργανικά οξέα, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ή μεγάλη συγκέντρωση σε αμμωνία). Αν και η πλειονότητα της επιστημονικής κοινότητας (Gao *et al.*, 2010, Said-Pullicino *et al.*, 2007, Zmora-Nahum *et al.*, 2005) εξετάζουν την φυτοτοξικότητα στο στάδιο της ωρίμανσης, οι Tam & Tiquia (1994) και Mathur *et al.* (1993) το φυτοτοξικό κόμποστ το χαρακτηρίζουν ασταθές, εξαιτίας της περιεκτικότητας του σε αμμωνία, οργανικά οξέα και σε αιθυλενοξειδίο. Είναι δυνατόν να περιγραφεί δυνητικά, γρήγορα και αξιόπιστα η πιθανότητα της μακροχρόνιας τοξικής επίδρασης του κόμποστ στην ανάπτυξη των φυτών με την χρήση συνδυαστικών μετρήσεων της βιοσταθεροποίησης και της περιεχόμενης ποσότητας σε άζωτο (Cambardella *et al.*, 2003, Butler *et al.*, 2001).

Εν ολίγοις, η βιοσταθεροποίηση αποτελεί ένα από τα εργαλεία διασφάλισης της ποιότητας του κόμποστ και ίσως το πιο αμφιλεγόμενο (Lasaridi & Stentiford, 1998), μεταξύ άλλων όπως είναι τα χαμηλά επίπεδα παθογόνων μικροοργανισμών, η ωριμότητα, οι συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα, το οργανικό υλικό και τα συνολικά διαθέσιμα θρεπτικά (Tognetti *et al.*, 2007, Matteson & Sullivan, 2006). Μάλιστα, οι Baffi *et al.* (2007), ομοίως και οι Kalamdhad *et al.* (2008), διαπίστωσαν στις πειραματικές τους αναλύσεις ότι τα ασταθή υλικά εντοπίζονταν όπου υπήρχαν εύκολα βιοαποδομήσιμα και μη-χουμικά οργανικά κλάσματα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι ένα ασταθές κόμποστ περιέχει υψηλό ποσοστό βιοαποδομήσιμου υλικού (υψηλή αναλογία C:N), το οποίο μπορεί να διατηρεί υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα (Kalamdhad *et al.*, 2008, Gomez *et al.*, 2006). Η πρόταση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τον Beffa (1995), ο οποίος επισήμανε ότι η έντονη μικροβιακή δράση παίζει σημαντικό ρόλο στην βιοσταθεροποίηση του κόμποστ. Δεν είναι επιθυμητή η χρήση του ασταθούς κόμποστ, καθώς δεν ευνοεί τη διαθεσιμότητα σε άζωτο (δρα ως συσσωρευτής του αζώτου), περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών, λόγω ανταγωνισμού για οξυγόνο γύρω από τα ριζικά συστήματα των φυτών κατά την ταχεία μικροβιακή δραστηριότητα, και απελευθερώνει τοξικές ενώσεις (Bernal *et al.*, 2009, Iqbal Khan *et al.*, 2009, Kalamdhad *et al.*, 2008).

Για τους Boulter-Bitzer *et al.* (2006) και Francou *et al.* (2005) οι αρνητικές επιδράσεις στα φυτά, εκτός από τη μη ωρίμανση του κόμποστ, σχετίζονται και με την έλλειψη σταθερότητας του οργανικού υλικού του. Σύμφωνα με τους Adani *et al.* (2001) και Scaglia *et al.* (2000) η βιοσταθεροποίηση έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια για τον καθορισμό των επιπτώσεων από την βιολογική τους επεξεργασία. Εμμέσως, ο Stentiford (1993) συμφωνεί με την άποψη αυτή αναφέροντας ότι δεν είναι σημαντική μόνο για τον προσδιορισμό της ποιότητας του κόμποστ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παρακολούθηση της απόδοσης της διαδικασίας της κομποστοποίησης, αλλά και για την συγκριτική αξιολόγηση των διαφορετικών συστημάτων κομποστοποίησης.

Συνοψίζοντας, η σημασία της γνώσης του βαθμού βιοσταθεροποίησης του κόμποστ είναι μεγάλη, διότι συνδέεται με την ποιότητα του κόμποστ, την εκ νέου ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών, την δυνατότητα παραγωγής δυσάρεστων οσμών, τα υπολείμματα από την παραγωγή βιοαερίου, την φυτοτοξικότητα, την ανθρώπινη υγεία, την ικανότητα των φυτών να καταστείλουν ορισμένες ασθένειες και άλλες παραμέτρους,

όπως τον βαθμό διάχυσης και κατακράτησης του αέρα στο ριζικό σύστημα των φυτών και τη συγκέντρωση του αζώτου.

4.3 Μέθοδοι προσδιορισμού της βιοσταθεροποίησης

Στην αξιολόγηση της βιβλιογραφίας, ήταν γενικά αποδεκτό ότι ενώ μέχρι σήμερα έχουν προταθεί αρκετοί δείκτες και μέθοδοι για την εκτίμηση του βαθμού βιοσταθεροποίησης του κόμποστ, δεν υπάρχει κοινώς αποδεκτή μια ενιαία και αυτόνομη μέθοδος, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της σε κόμποστ που προέρχονται από διαφορετικά οργανικά υπολείμματα λόγω της ποικιλίας στη χημική τους σύσταση (Wichuk & McCartney, 2010, Iqbal Khan *et al.*, 2009, Mondini *et al.*, Gomez *et al.*, 2006, 2003a, Itavaara *et al.*, 2002, Sanchez-Modenero *et al.* 2002, Wu & Ma, 2002).

Γενικότερα, έχει προταθεί ο συνδυασμός των μεθόδων για την μέτρηση της βιοσταθεροποίησης, ο οποίος βασίζεται σε: *φυσικές* (θερμοκρασία, απαίτηση σε αερισμό, οσμές και χρώμα, οπτική πυκνότητα των υδατικών εκχυλισμάτων), *χημικές* (πτητικά στερεά, αναλογία C/N, COD, πολυσακχαρίτες, χουμικές ενώσεις, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, κ.ά.) και *βιολογικές παραμέτρους* (αναπνευστική δραστηριότητα των μικροοργανισμών μετρώντας την κατανάλωση σε O₂, παραγωγή σε CO₂ ή παραγωγή θερμότητας, ενζυμικές δραστηριότητες, περιεκτικότητα σε ATP, δραστικότητα αφυδρογονάσης, κ.ά.), χωρίς καμία ευρύτερη αποδοχή (Mondini *et al.*, 2004, Butler *et al.*, 2001, Wu *et al.*, 2000, Lasaridi & Stentiford, 1998, Iannotti *et al.*, 1994). Οι Smith & Hughes (2001) έδειξαν ότι και η δραστηριότητα των κυτταρινολυτικών μικροοργανισμών σε κόμποστ μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση του βαθμού της βιοσταθεροποίησης του.

Υπήρξε μια σημαντική προσπάθεια από τους επιστήμονες να υπολογίσουν την βιοσταθεροποίηση των κόμποστ χρησιμοποιώντας αερόβιους δείκτες που βασίζονται κυρίως στον ποσοτικό προσδιορισμό της αναπνευστικής μικροβιακής δραστηριότητας (Komilis & Kanellos, 2012, Gomez *et al.*, 2009, Adani *et al.*, Lasaridi & Stentiford, 1998).

Ο προσδιορισμός της αναπνευστικής δραστηριότητας, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα άμεσο, κατάλληλο, αξιόπιστο και επιστημονικά ορθό μέτρο εκτίμησης της μικροβιακής μεταβολικής δραστηριότητας (Gomez *et al.*, 2006, FCQAO, 1994), προκειμένου να προβλεφθεί η βιοσταθεροποίηση κατά την διάρκεια μιας αργής αποδόμησης ετερογενών

οργανικών αποβλήτων (Gomez *et al.*, 2009, Matteson & Sullivan, 2006). Ο ρυθμός έντασης της αναπνευστικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών είναι υψηλότερος όταν υπάρχουν διαθέσιμες μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης.

Οι κοινά αποδεκτές μέθοδοι άμεσης μέτρησης της αναπνευστικής μικροβιακής δραστηριότητας είναι: η μέτρηση της κατανάλωσης σε οξυγόνο (*Oxygen Uptake Rate*: ρυθμός πρόσληψης σε O_2) με διάφορους δείκτες (π.χ. τον ειδικό ρυθμό πρόσληψης οξυγόνου σε υδατικά εναιωρήματα κόμποστ *SOUR*, τον ειδικό ρυθμό πρόσληψης οξυγόνου σε ξηρά δείγματα κόμποστ *DSOUR* ή το απαιτούμενο οξυγόνο για 20 ώρες OD_{20} κατά Lasaridi & Stentiford, 1998) και η παραγωγή σε διοξείδιο του άνθρακα από τους μικροοργανισμούς (Komilis & Kanellos, 2012, Komilis & Kletsas, 2012, Guardia *et al.*, 2010, Gomez *et al.*, 2006, Zmora-Nahum *et al.*, 2005, Sullivan & Miller, 2001).

Η βιοσταθεροποίηση μπορεί επίσης να μετρηθεί και έμμεσα από τη θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη βιολογική και χημική δραστηριότητα του κόμποστ. Η μέτρηση όμως αυτή δεν μπορεί να συνδεθεί στενά με την αναπνευστική δραστηριότητα, δεδομένου ότι πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις σε δείγμα κόμποστ που δεν σχετίζονται με την αναπνοή είναι εξώθερμες (Gomez *et al.*, 2006).

Βασικό μειονέκτημα για την παρακολούθηση της κατανάλωσης σε O_2 είναι απαιτείται περισσότερος έλεγχος και επομένως πιο σύγχρονος εξοπλισμός, καθώς η διαδικασία αυτή είναι πιο ακριβή και χρονοβόρα συγκριτικά με την μέτρηση της παραγωγής σε διοξείδιο του άνθρακα. Για τον λόγο αυτό δεν διατίθεται ως στάνταρ εξοπλισμός στα περιβαλλοντικά εργαστήρια (Lasaridi & Stentiford, 1998). Ωστόσο, παραμένει η κοινά αποδεκτή μέθοδος για τον προσδιορισμό της μικροβιακής βιολογικής δραστηριότητας (Sanchez Arias *et al.*, 2012, Gomez *et al.*, 2005, Gea *et al.*, 2004, Adani *et al.*, 2001, Iannotti *et al.*, 1994, Iannotti *et al.*, 1993).

Αντιθέτως, οι μετρήσεις για την παραγωγή του CO_2 είναι περισσότερο διαδεδομένες στα εργαστήρια λόγω του απλού εξοπλισμού που απαιτεί και της άμεσης συσχέτισης που επιτυγχάνεται με την αερόβια αναπνευστική δραστηριότητα. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να υπολογισθεί ξεχωριστά το CO_2 που παρήχθηκε αερόβια από αυτό που προήλθε αναερόβια. Όσον αφορά την μέθοδο υπολογισμού της ενέργειας που απελευθερώνεται δεν είναι αρκετά ακριβής (Lasaridi *et al.*, 2000) και δεν μπορεί να συσχετίσει άμεσα την αναπνοή, μιας και αρκετές χημικές και βιοχημικές αλληλεπιδράσεις, που δεν αφορούν την αναπνοή, είναι επίσης εξώθερμες (Gomez *et al.*, 2006).

Η βάση αυτών των μεθόδων για την μέτρηση της αναπνοής είναι ότι σε ανώριμα κόμποστ η απαίτηση σε οξυγόνο είναι πολύ μεγάλη, καθώς παράγονται μεγάλα ποσά διοξειδίου του άνθρακα, εξαιτίας της έντονης ανάπτυξης των μικροοργανισμών, που είναι αποτέλεσμα των εύκολα βιοαποδομήσιμων ενώσεων του αρχικού υλικού (Gomez *et al.*, 2005). Το οξυγόνο ευθύνεται για την οξείδωση της οργανικής ύλης.

Ειδικότερα, για την μέθοδο που βασίζεται στην πρόσληψη O_2 , οι Adani *et al.* (2001) διακρίνουν δύο βασικές κατηγορίες: τις *δυναμικές* και τις *στατικές μεθόδους*. Οι δυναμικές χαρακτηρίζονται κυρίως από την συνεχή και επαρκή τροφοδοσία σε οξυγόνο στους μικροοργανισμούς (Komilis & Kanellos, 2012, Adani *et al.*, 2006, Gomez *et al.*, 2006, Gea *et al.*, 2004, Scaglia *et al.*, 2000) και είναι πιο αποδοτικές συγκριτικά με τις στατικές.

Για τους Gea *et al.* (2004) η δυναμική μέθοδος, που χρησιμοποίησαν για την μέτρηση της πρόσληψης σε O_2 , δεν έδωσε με ακρίβεια το απαιτούμενο οξυγόνο που χρειάστηκε για την βιοσταθεροποίηση του κόμποστ. Στη δυναμική μέθοδο, αντίθετα με άλλες, θα πρέπει παράλληλα να ελέγχεται η θερμοκρασία, η υγρασία και η τροφοδοσία σε οξυγόνο (Berthe *et al.*, 2007, Tremier *et al.*, 2005, Adani *et al.*, 2004, Scaglia *et al.*, 2000).

Αντιθέτως, οι στατικές δεν συμπεριλαμβάνουν συνεχή αερισμό αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε στερεά ή υγρά δείγματα μετρώντας διαφορές στην πίεση του O_2 ή με απευθείας μετρήσεις του στην αέρια φάση (Komilis *et al.*, 2011, Komilis & Tziouvaras, 2009, Adani *et al.*, 2006, Lasaridi & Stentiford, 1998). Σύμφωνα με τους Adani *et al.* (2003) οι δυναμικές μετρήσεις μπορούν να γίνουν άμεσα σε διάστημα μόλις 2 ημερών και σε συνθήκες παρόμοιες με της πραγματικής κλίμακας, ενώ οι στατικές διαρκούν συνήθως περισσότερο από 2 ημέρες. Σε αντίθεση με την αξιοπιστία της στατικής μεθόδου για την συγκέντρωση του O_2 , έρχονται οι Komilis & Kletsas (2012) και Scaglia *et al.* (2000, 2007) για τους οποίους η στατική μέθοδος που εφάρμοσαν φαίνεται να υποεκτίμησε την κατανάλωση του από τις βιομάζες των δειγμάτων τους και συνεπώς τον βαθμό βιοσταθεροποίησης τους κατά 2-2.5 μονάδες.

Οι Gomez *et al.* (2006) συγκέντρωσαν σε έναν πίνακα όλες τις μεθόδους διάφορων ερευνητών για την μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας, οι οποίες βασίζονται στην πρόσληψη σε οξυγόνο. Έτσι, γίνεται ξεκάθαρο ότι οι στατικές μέθοδοι γίνονται σε στερεά ή υγρά δείγματα κόμποστ, ενώ οι δυναμικές μόνο σε στερεά δείγματα. Επίσης, επισημαίνουν ότι σε υγρά ελαιώδη κόμποστ (δείκτες SOUR και OD_{20}) η διάχυση του οξυγόνου πραγματοποιείται χωρίς περιορισμούς σε όλη την επιφάνεια των σωματιδίων του κόμποστ, σε αντίθεση με τους περιορισμούς που συναντάται στα στερεά

δείγματα κόμποστ. Η υγρή διαδικασία λοιπόν, όπως η SOUR μέθοδος, αποτρέπει περιορισμούς σχετικά με την δομή, την υγρασία και την διάχυση του οξυγόνου. Ωστόσο, τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου SOUR είναι ότι δεν αντιπροσωπεύει τις πραγματικές συνθήκες του υλικού, άρα και την πραγματική μεταφερόμενη ποσότητα οξυγόνου, (Gomez *et al.*, 2006) και ότι η περιεκτικότητα σε ευδιάλυτη οργανική ύλη μπορεί να επηρεάζει τον δείκτη SOUR.

Ειδικότερα, οι Lasaridi & Stentiford (1998) από νωρίς είχαν παρουσιάσει τροποποιημένο το BOD (Biological Oxygen Demand - APHA, 1992) πρωτόκολλο σχετικά με το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο σε κόμποστ, προκειμένου να αντιμετωπιστούν πιθανά σφάλματα κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης στην μέθοδο SOUR για δείγματα κόμποστ που προήλθαν από την μονάδα βιολογικού καθαρισμού Thames Water στο Buckinghamshire. Περιλαμβάνει δύο στατικούς δείκτες: τον ειδικό ρυθμό- αλλιώς μέγιστο ποσοστό πρόσληψης οξυγόνου (SOUR: Specific Oxygen Uptake Rate) και το συνολικά απαιτούμενο οξυγόνο για 20 ώρες (OD₂₀: Oxygen Demand 20 hours).

Παρατήρησαν ότι η μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου (με SOUR τεστ) σε υδατικό εναιώρημα κόμποστ είχε περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη μέτρηση του σε στερεή μάζα κόμποστ (DSOUR: Dry Specific Oxygen Uptake Rate). Ένα από τα πλεονεκτήματα ήταν ότι η SOUR δοκιμή δεν επηρεάστηκε από μεταβολές στο δυναμικό κατακράτησης νερού από το υδατικό εκχύλισμα του κόμποστ, οι μικροοργανισμοί, το υπόστρωμα και το οξυγόνο παρουσίαζαν τις μέγιστες ταχύτητες αντιδράσεως, καθώς το φράγμα αερίου- υγρού δεν ευνοούσε την διάχυση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στην επιφάνεια των σωματιδίων του κόμποστ. Ωστόσο, επισημαίνουν ότι για τα σταθερά κόμποστ οι τιμές που προκύπτουν από τις δοκιμές SOUR και DSOUR φαίνεται να είναι παραπλήσιες, με την πρώτη να είναι πιο ευαίσθητη στις οποιεσδήποτε μεταβολές. Επίσης, διαπίστωσαν ότι οι δοκιμές για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο σε κόμποστ και οι οπτικές πυκνότητες των υδατικών εκχυλισμάτων τους γενικά δεν ήταν αξιόπιστες για την εκτίμηση του βαθμού σταθεροποίησης των κόμποστ (Lasaridi & Stentiford, 1998).

Εν κατακλείδι, σήμερα οι περισσότεροι επιστήμονες φαίνεται να επιλέγουν είτε τη στατική ή τη δυναμική μέθοδο για την εκτίμηση του βαθμού σταθεροποίησης μέσω της αναπνευστικής δραστηριότητας, προκειμένου να μελετήσουν την βιοδιασπασιμότητα των οργανικών αποβλήτων (Gomez *et al.*, 2005, Adani *et al.*, 2001, Lasaridi & Stentiford, 1998, Iannotti *et al.*, 1993). Μελέτες έχουν αναδείξει τον έλεγχο SOUR ως καλή ένδειξη της σταθερότητας του υλικού (Lasaridi & Stentiford, 1998), μιας και αφορά

υγρά εναιωρήματα κόμποστ στα οποία πραγματοποιείται πλήρης διάχυση του παρεχόμενου οξυγόνου σε όλη την επιφάνεια του δείγματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό δεδομένου ότι πλέον οι δείκτες μέτρησης της αναπνευστικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών θεωρούνται βασικές παράμετροι για τον προσδιορισμό της σταθερότητας του κόμποστ και κατά συνέπεια της ποιότητας του (Gomez *et al.*, 2006), όπως φαίνεται και στη συνέχεια της παρούσας έρευνας.

Β' ΜΕΡΟΣ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κεφάλαιο 5^ο: Μεθοδολογία έρευνας

5.1 Προετοιμασία κομποστοποίησης κάδου και συλλογή κόμποστ των εγχώριων μονάδων παραγωγής

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, για την έναρξη της διαδικασίας κομποστοποίησης συλλέχθηκε μίγμα οικιακών οργανικών αποβλήτων, που συνίστατο από τροφικά υπολείμματα δίχως έλαια (π.χ. κατάλοιπα από τσάι, μαρούλια, πράσα, φλοιούς αρακά, περδικάκι, μαϊντανό, μπρόκολα, μανταρίνια, ανανά, φλούδες από πατάτες, μπανάνες, μήλα, κυδώνια, πορτοκάλια, ακτινίδια), κλαδοκάθαρα, τριφύλλι, τσουκνίδες και θρυμματισμένα φύλλα (από ακακίες, λεύκες, ευκαλύπτους και λιγούστρα) σε αναλογία 1:2 αντίστοιχα. Τα τροφικά υπολείμματα συλλέχθηκαν από επιλεγμένα νοικοκυριά στην Αττική. Η κομποστοποίηση τους πραγματοποιήθηκε σε στατικό κάδο των 330lt με ανοιχτό πυθμένα, στον υπαίθριο χώρο του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών (Εικ.1). Ταυτόχρονα, η κομποστοποίηση παρακολουθήθηκε και σε τέσσερα πλαστικά δοχεία των 10lt καλυπτόμενα από μεμβράνη για τη διατήρηση της υγρασίας τους, τα οποία στη



Εικ.1 Ο στατικός κάδος κομποστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα στον υπαίθριο χώρο του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.

συνέχεια τοποθετήθηκαν μέσα σε θάλαμο με ελεγχόμενη θερμοκρασία του Εργαστηρίου «Βιολογίας, Βιοχημείας και Φυσιολογίας του Ανθρώπου και των Μικροοργανισμών».

Τέλος, η εγκατάσταση του αρχικού μίγματος στον στατικό κάδο και στα δοχεία πραγματοποιήθηκε την 27^η Φεβρουαρίου 2013.

Παράλληλα, συλλέχθηκαν δέκα δείγματα κόμποστ εγχώριων μονάδων παραγωγής σε Κρήτη και Αθήνα, για να μελετηθούν ως προς τη βιοσταθερότητα τους.

5.2 Διαχειριστικές πρακτικές για την διεξαγωγή της κομποστοποίησης σε κάδο και για τα δείγματα κόμποστ που συλλέχθηκαν

5.2.1 Έναρξη διαδικασίας κομποστοποίησης

Μετά την εγκατάσταση του οργανικού υλικού στον κάδο και στα τέσσερα πλαστικά δοχεία του εργαστηριακού θαλάμου πραγματοποιήθηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα: αναστροφή των υλικών, προκειμένου να διασφαλίζεται ο επαρκής αερισμός του υλικού και να διατηρηθεί η μικροβιακή δραστηριότητα. Επίσης, έγινε καταμέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και προσομοίωση της θερμοκρασίας του εργαστηριακού θαλάμου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος που εκτίθεντο ο κάδος. Με την αναστροφή των υλικών ορισμένες φορές χρειάστηκε διαβροχή του κάδου με νερό, ώστε να διατηρηθεί η υγρασία σε ένα εύρος τιμών 40-65% (Fourti, 2013). Σημειωτέον δε ότι κατά την τοποθέτηση του υλικού στο κάδο έγινε διαβροχή του με 10lt νερό, ενώ δύο από τα δοχεία του εργαστηρίου διαβρέχτηκαν με 300ml διαλύματος Ringers και τα άλλα δύο με 300ml διαλύματος Ringers που περιείχε *Salmonella choleraesuis* (σε συγκέντρωση $4,03 \times 10^9$ κύτταρα *Salmonellas choleraesuis* ανά 1ml διαλύματος Ringers), το οποίο αποτελούσε το εμβόλιο. Επίσης, την 10^η μέρα της κομποστοποίησης επαναλήφθηκε η διαβροχή στον κάδο με 2lt νερό.

Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν έξι δειγματοληψίες (βλέπε Πίν.5.1) από τα δοχεία του θαλάμου, δέκα προσθήκες οργανικών υλικών (την 7^η, 9^η, 14^η, 18^η, 22^η, 23^η, 28^η, 30^η, 31^η και 35^η ημέρα) και πέντε αναστροφές (την 7^η, 9^η, 14^η, 22^η και 30^η ημέρα) του υλικού του κάδου και του θαλάμου. Η διαδικασία της κομποστοποίησης ήταν σύντομη και διήρκεσε από την ημέρα της εγκατάστασης της έως την 5^η Απριλίου 2013 συνολικά 37 ημέρες.

Ημέρα κομποστοποίησης	Ημερομηνία δειγματοληψίας	Αναστροφή υλικού κάδου και δοχείων θαλάμου	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος στατικού κάδου (°C)	Παρατηρήσεις
1 ^η	27/02/2013	-	22,9	Εγκατάσταση, διαβροχή κάδου και δοχείων
3 ^η	01/03/2013	-	41,3	-
7 ^η	05/03/2013	1 ^η	29,1	Αναστροφή υλικού κάδου και δοχείων
14 ^η	12/03/2013	3 ^η	27,6	Αναστροφή υλικού κάδου και δοχείων
22 ^η	20/03/2013	4 ^η	26,9	Προσθήκη υλικών
29 ^η	27/03/2013	-	27,3	-

Πίν.5.1 Χρονική καταγραφή των δειγματοληψιών από τα δοχεία του εργαστηριακού θαλάμου κατά την κομποστοποίηση.

5.2.2 Προετοιμασία εμβολίου με *Salmonella choleraesuis*

Αρχικά, μια ημέρα πριν την εγκατάσταση των υλικών στον κάδο κομποστοποίησης και στα δοχεία του εργαστηριακού θαλάμου (όπου γίνεται προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών της κομποστοποίησης), επιστρώθηκε *Salmonella choleraesuis* σε τρυβλία με θρεπτικό υλικό NA (Nutrient Agar) μαζί με τετρακυκλίνη συγκέντρωσης 0,125% w/v της εταιρείας CALBIOCHEM. Στη συνέχεια, καλλιεργήθηκε με επώαση στους 37°C για 24 ώρες. Για την παρασκευή του εμβολίου, τα κύτταρα *Salmonellas choleraesuis* που αναπτύχθηκαν στα τρυβλία συλλέχθηκαν σε 300ml διαλύματος Ringers, έτσι ώστε η συγκέντρωση τους να είναι $4,03 \times 10^9$ κύτταρα *Salmonellas choleraesuis* ανά 1ml διαλύματος Ringers. Το εμβόλιο προστέθηκε στα 2 δοχεία του εργαστηρίου, ενώ τα άλλα δύο δοχεία διαβρέχτηκαν απλώς με 300ml Ringers προκειμένου να επιτευχθεί παρόμοιο ποσοστό υγρασίας στα δοκιμαστικά δοχεία και στο στατικό κάδο κομποστοποίησης.

5.3 Πειραματικές μετρήσεις

Για την παρούσα έρευνα ελήφθησαν συγκεκριμένες *φυσικοχημικές μετρήσεις-αναλύσεις* κατά το πειραματικό μέρος της: η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και εντός του υλικού του κάδου, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οξύτητα, η υγρασία και τα πτητικά στερεά του υλικού των δοχείων του θαλάμου. Επίσης, μετρήθηκε ο Ειδικός Ρυθμός Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR) για την μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας σε κάθε δειγματοληψία των δοχείων του εργαστηριακού θαλάμου.

Για τα δείγματα κόμποστ από τις εγχώριες μονάδες παραγωγής (μόνο από την Ελλάδα) πραγματοποιήθηκαν επίσης φυσικοχημικές μετρήσεις, για την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα, την οξύτητα, την υγρασία, τα πτητικά στερεά και τον δείκτη SOUR.

5.3.1 Μέτρηση της θερμοκρασίας

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του υλικού του κάδου κομποστοποίησης πραγματοποιήθηκαν σε καθημερινή συχνότητα, σε τρία σημεία πλησίον του πυρήνα του σωρού, σε βάθη 15, 35 και 75cm. Προσδιορίστηκαν με φορητό ψηφιακό θερμόμετρο, με βέργα μήκους 1m και ακρίβεια ενός δεκαδικού στοιχείου σε κλίμακα °C. Παράλληλα, καταγράφονταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες (π.χ. αυξημένη υγρασία, βροχόπτωση, καλοκαιρία).

5.3.2 Μέτρηση της υγρασίας

Για τον υπολογισμό του ποσοστού υγρασίας από τα δείγματα των δύο δοχείων του εργαστηρίου, των εγχώριων μονάδων παραγωγής και των 2 οικιακών χρησιμοποιήθηκε ζυγός με ακρίβεια 0,1g και θάλαμος ξήρανσης στους 105°C (FCQAO, 1994). Οι μετρήσεις για κάθε δείγμα ξεχωριστά έγιναν με 3 επαναλήψεις επίσης στο Εργαστήριο «Βιολογίας, Βιοχημείας και Φυσιολογίας του Ανθρώπου και των Μικροοργανισμών» του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών. Σε όλες τις περιπτώσεις η υγρασία υπολογίστηκε έμμεσα με τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους μετά την ξήρανση. Το αποτέλεσμα εκφράζεται ως % υγρασίας και αναφέρεται επί του νωπού βάρους του δείγματος. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία υπολογίζεται με ακρίβεια ενός δεκαδικού στοιχείου από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Ποσοστό υγρασίας} = [(M_{\text{νωπού}} - M_{\text{ξηρού}}) / (M_{\text{νωπού}} - M_{\text{κάνας}})] \quad (1),$$

όπου $M_{\text{κάψας}}$: το καθαρό βάρος της κάψας σε g, $M_{\text{νωπού}}$: το βάρος του νωπού δείγματος κόμποστ μαζί με το βάρος της κάψας σε g, $M_{\text{ξηρού}}$: το βάρος του ξηρού δείγματος μαζί με το βάρος της κάψας σε g.

Σε όλες τις περιπτώσεις η απώλεια βάρους υπολογίστηκε σε 10 ± 2 g νωπού δείγματος κόμποστ μετά από την ξήρανση τους για 24 ώρες στους 105°C .

5.3.3 Μέτρηση της οξύτητας

Η οξύτητα των δειγμάτων ελέγχθηκε βάσει των τιμών του pH. Αρχικά, δημιουργήθηκαν υδατικά διαλύματα σε κωνικές φιάλες, από 10 g δείγματος κόμποστ σε 100ml απιονισμένου νερού, τα οποία αναδεύτηκαν για λίγα λεπτά κατά FCQAO (1994). Στη συνέχεια, στο εργαστήριο του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό pH-μετρο (Εικ.3, pH 720/ WTW inoLab) για την λήψη των ψηφιακών τιμών της οξύτητας του κάθε δείγματος.



Εικ.2 και 3 Στην αριστερή φωτογραφία πραγματοποιείται η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός δείγματος κόμποστ και δεξιά η μέτρηση της οξύτητας του.

5.3.4 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η αγωγιμότητα, στο εργαστήριο του Χαροκόπειου, εκτιμήθηκε με ψηφιακό αγωγιμόμετρο (Εικ.2, LF330/SET, WTW) σε υδατικά διαλύματα (εντός κωνικών φιαλών) με 10 g δείγματος κόμποστ σε 100ml απιονισμένου νερού, τα οποία είχαν αναδευτεί για λίγα λεπτά προηγουμένως (FCQAO, 1994).

5.3.5 Μέτρηση πτητικών στερεών

Το σύνολο των οξειδωμένων πτητικών ενώσεων που παράγονται κατά τη καύση στους 550 ± 5 °C προέρχεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 99% από οργανικές ενώσεις. Με τον υπολογισμό του ποσοστού των πτητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου εκτιμάται έμμεσα το ποσοστό των οργανικών ουσιών κάθε δείγματος που εξαερώθηκε. Έχει διαπιστωθεί ότι μέρος της συγκέντρωσης των ανόργανων και του νερού μπορούν επίσης να εξαερωθούν, αλλά αυτό το ποσοστό είναι σχεδόν αμελητέο και επομένως δεν αποτελεί πειραματικό σφάλμα της μέτρησης των οργανικών.

Απαιτείται να προηγηθεί η ξήρανση των δειγμάτων (με τις τρεις επαναλήψεις ανά δείγμα) για 24 ώρες στους 105°C και αμέσως μετά να γίνει η καύση τους σε ειδικό κλίβανο (Nabetherm L5/P) στους 550 ± 5 °C για άλλες 24 ώρες (FCQAO, 1994, Haug, 1993, Tiquia, 2005). Στη συνέχεια, αφού αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου ζυγίζονται (Εικ.4). Η περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά εκφράζεται σε εκατοστιαίο ποσοστό επί του ξηρού βάρους και προσδιορίζεται με βάση την απώλεια βάρους των οργανικών από την ακόλουθη εξίσωση:

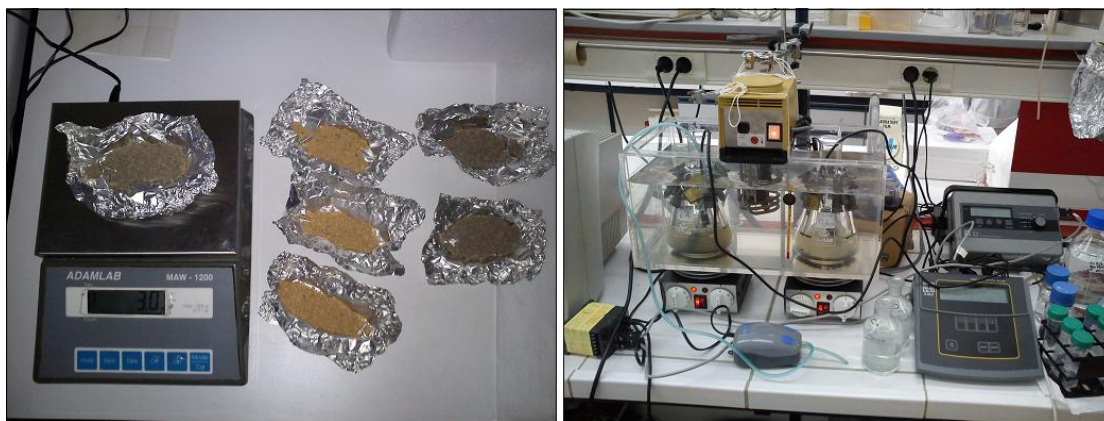
$$\text{Απώλεια κατά την καύση} = (\text{Μ.Ξ.Β.}/\text{Κ.Ξ.Β.} - \text{Μ.Β.}_{\text{μετά την καύση}} / \text{Κ.Ξ.Β.}) * 100 \quad [\%] \quad (2),$$

όπου Μ.Ξ.Β. : το μικτό βάρος δείγματος κόμποστ σε g, Κ.Ξ.Β. : το καθαρό ξηρό βάρος σε g και Μ.Β._{μετά την καύση- τέφρα} : το μικτό βάρος μετά την καύση στους 550°C σε g.

Ωστόσο, μόνο για τα δείγματα της προσομοίωσης των συνθηκών του κάδου κομποστοποίησης υπολογίστηκε και η μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει της περιεκτικότητας σε τέφρα κατά τους Haug (1993), Stentiford and Pereira- Neto (1985) από την παρακάτω εξίσωση, που αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό δείκτη του βαθμού βιοαποικοδόμησης:

$$\text{VS}_{\text{red}} = 100 * \left[1 - \frac{\text{VS}_f * (100 - \text{VS}_i)}{\text{VS}_i * (100 - \text{VS}_f)} \right] \quad (3),$$

όπου VS_{red} : η μείωση των πτητικών στερεών σε ποσοστό %, VS_i : η αρχική περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά και VS_f : η τελική περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά. Τα ποσοστά στο συγκεκριμένο πείραμα υπολογίστηκαν με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων, ενώ στην βιβλιογραφία εκφράζονται με την ακρίβεια του ενός δεκαδικού.



Εικ.4 και 5 Αριστερά μετριέται σε ζυγαριά το καθαρό ξηρό βάρος εγχώριων δειγμάτων κόμποστ μετά την καύση τους στους 550°C και δεξιά απεικονίζεται όλο το σύστημα που στήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου (SOUR).

5.3.6 Μέτρηση Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR)

Η μέτρηση αυτή αποτελεί μια εντελώς αυτοματοποιημένη διαδικασία (Εικ.5), που δεν παύει να χρειάζεται αυξημένη προσοχή τόσο στο καλιμπράρισμα των οργάνων όσο και κατά την εικοσιτετράωρη καταγραφή των μετρήσεων. Ειδικότερα, τέθηκε σε λειτουργία υδατόλουτρο στους 30°C (Stentiford, 2002), θερμοκρασία μικρότερη της βέλτιστης θερμοκρασίας για τη μικροβιακή δραστηριότητα σε κόμποστ (McKinley & Vestal, 1984). Μεγαλύτερες θερμοκρασίες προκαλούν προβλήματα στο σήμα που λαμβάνουν οι ανιχνευτές. Για την περίπτωση των δειγμάτων προσομοίωσης που κομποστοποιήθηκαν στον εργαστηριακό θάλαμο χρειάστηκαν δύο κωνικές φιάλες κάθε φορά στο λουτρό, μία για το εμβολιασμένο με *Salmonella choleraesuis* και μία για το άλλο δείγμα.

Σε κάθε φιάλη του 1L προστέθηκαν από 470ml απιονισμένου νερού, 15ml phosphate buffer (χωρίς NH_4Cl), 5ml CaCl_2 , 5ml FeCl_3 και 5ml MgSO_4 (APHA, 1992). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν 2,5g (υγρού βάρους) από το κάθε δείγμα των δοχείων του θαλάμου σε κάθε δειγματοληψία, ενώ για τα 2 οικιακά κόμποστ και τα 10 των εγχώριων μονάδων από 3g δείγματος ανά φιάλη. Έπειτα, οι φιάλες αναδεύονταν για λίγα λεπτά. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν οι κωνικές φιάλες στο υδατόλουτρο, όπου στη καθεμία τοποθετήθηκε ένας μαγνήτης ανάδευσης, το ηλεκτρόδιο- ανιχνευτής (YSI 52CE Dissolved Oxygen Meter και YSI 5100 Dissolved Oxygen Meter) του διαλυτού οξυγόνου και η αντλία αερισμού. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις καταγράφονταν αυτόματα σε φύλλο του Excel ανά σταθερά χρονικά διαστήματα για 24 συνεχόμενες ώρες (εκτελώντας αερισμό για 20min, οι μετρήσεις καταγράφονταν ανά 20sec για 15min, με

44 επαναλήψεις). Το λουτρό στηρίχθηκε πάνω σε δύο τράπεζες μαγνητικής ανάδευσης και οι δυο κωνικές φιάλες απαιτούνταν να κεντραριστούν με μία από αυτές τις τράπεζες αντίστοιχα (Lasaridi & Stentiford, 1998).

Στόχος λοιπόν της μέτρησης αυτής είναι να υπολογιστεί το μέγιστο ποσοστό κατανάλωσης οξυγόνου, στο οποίο μπορεί να εκτεθεί το κόμποστ υπό ιδανικές συνθήκες, όταν ο μόνος περιοριστικός παράγοντας είναι η ποσότητα του αφομοιώσιμου άνθρακα (Xiao *et al.*, 2009).

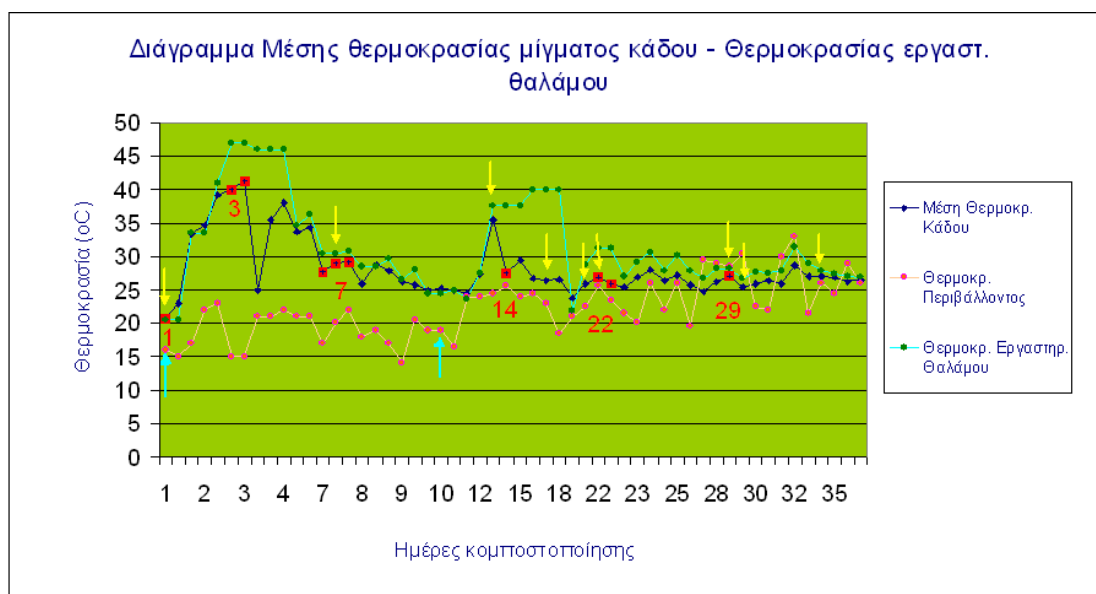
Γ' ΜΕΡΟΣ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κεφάλαιο 6^ο: Αποτελέσματα της έρευνας

6.1 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της οικιακής κομποστοποίησης

6.1.1 Το θερμοκρασιακό προφίλ

Από την 1η ημέρα (27^η Φεβρουαρίου 2013) της εγκατάστασης των οργανικών υλικών μέσα στο στατικό κάδο καταγράφηκαν οι θερμοκρασίες αυτών των υλικών σε βάθη 15, 35 και 70cm, καθώς και η θερμοκρασία περιβάλλοντος, μέχρι και την 37^η ημέρα (5^η Απριλίου 2013) που ολοκληρώθηκε η διαδικασία κομποστοποίησης. Στο Διάγρ.1.ι. παρουσιάζονται ο μέσος όρος των θερμοκρασιών που καταμετρήθηκαν από τα διαφορετικά βάθη του σωρού, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμοκρασία στον εργαστηριακό θάλαμο.



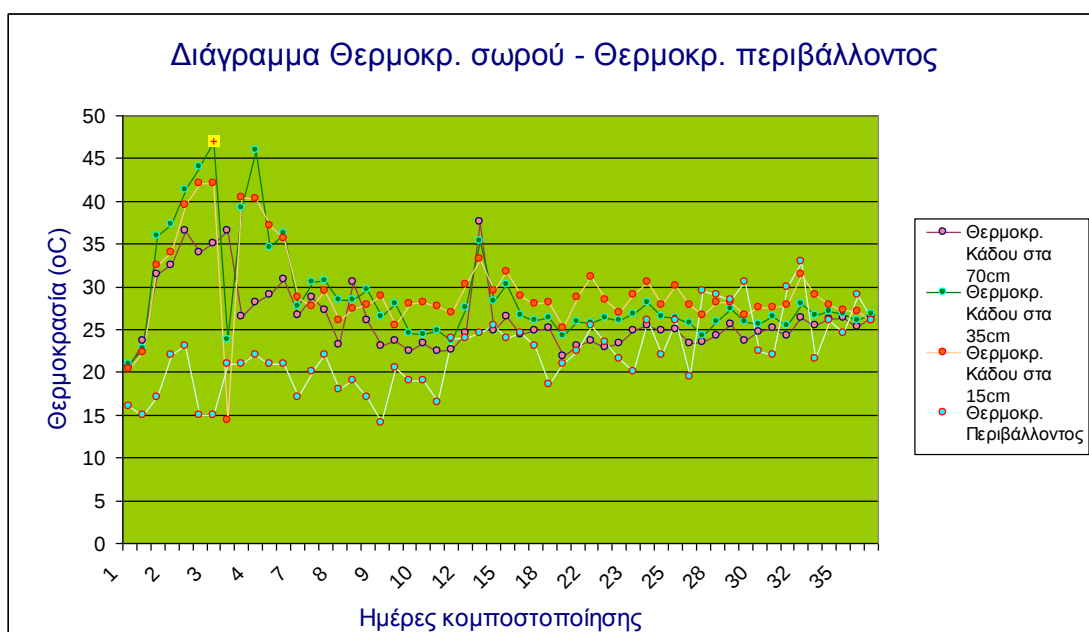
Διάγρ.1.ι. Γραφική παράσταση των καμπυλών διακύμανσης της θερμοκρασίας του σωρού από οργανικό μίγμα οικιακών (κουζίνας) οργανικών αποβλήτων και θρυμματισμένων φύλλων αναλογία 1:2 κατ'όγκο. Με κόκκινη σήμανση απεικονίζονται οι θερμοκρασίες στο κάδο (κατά τις ημέρες των δειγματοληψιών), με γαλάζια βέλη οι διαβροχές στο σωρού και με κίτρινα οι προσθήκες υλικών στον κάδο κομποστοποίησης.

Κατά τη διάρκεια των 2 πρώτων ημερών της διαδικασίας η θερμοκρασία του μίγματος (σωρού) αυξήθηκε σταδιακά με μέσο όρο από τους 21⁰C στους 40⁰C, με μέση θερμοκρασιακή μεταβολή 19⁰C, ως αποτέλεσμα της βιοαποικοδόμησης των οργανικών ενώσεων από τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς.

Οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί είχαν την τάση να πληθαίνουν αποικοδομώντας τις απλές ενώσεις, όπως είναι τα σάκχαρα, αμινοξέα και οι πρωτεΐνες (Fourti, 2013, Keener *et al.*, 2000).

Με το πέρασ των 48 πρώτων ωρών παρατηρείται η μετάβαση από το μεσόφιλο στο θερμόφιλο στάδιο, μιας και η μέση θερμοκρασία του σωρού ξεπερνά το θερμοκρασιακό όριο αντοχής των μεσόφιλων οργανισμών $\leq 45^{\circ}\text{C}$ (Barcenas-Moreno & Baath, 2009, Ghazifard *et al.*, 2001) φθάνοντας τους 47°C στο κεντρικό τμήμα- πυρήνα του σωρού. Στο Διάγρ.1.ii. αναπαριστώνται όλες οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν από τα διάφορα βάθη του σωρού.

Έτσι λοιπόν, την 3^η ημέρα (της μετάβασης στο θερμόφιλο στάδιο) της κομποστοποίησης πραγματοποιήθηκε η 2^η δειγματοληψία προκειμένου να εκτιμηθεί και ο ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (SOUR) από τους θερμοάντοχους μικροοργανισμούς. Η κορύφωση των 47°C του θερμόφιλου σταδίου κυμαίνεται μεταξύ των θερμοκρασιακών τιμών, όπως αναφέρονται στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία για το στάδιο αυτό (Beffa, 2002, Papadopoulos *et al.*, 2009).



Διάγρ.1.ii Γραφική παράσταση των καμπυλών διακύμανσης της θερμοκρασίας του σωρού εντός του κάδου κομποστοποίησης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Με την κίτρινη σήμανση απεικονίζεται η μέγιστη θερμοκρασία των 47°C στο θερμόφιλο στάδιο για την 3^η ημέρα της κομποστοποίησης.

Στη συνέχεια, μετά την 6^η ημέρα ξεκινά το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας (σταθεροποίησης) του μίγματος του σωρού και η μέση θερμοκρασία του μειώνεται

αισθητά στους 27.7°C λόγω της εξάντλησης των αρχικών οργανικών ενώσεων (άνθρακα και αζώτου) και το υλικό τείνει να σταθεροποιηθεί (Fourti, 2013). Στο σημείο αυτό έγιναν οι εξής χειρισμοί: προστέθηκε νέο οργανικό υλικό μέσα στον κάδο (οι ημέρες προσθήκης υλικών απεικονίζονται στο Διάγρ.1.ι.) προκειμένου να αυξηθεί η διαθέσιμη ποσότητα οργανικής ύλης για τους μικροοργανισμούς, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε και το 1^ο γύρισμα των υλικών ώστε να εμπλουτιστεί με οξυγόνο όλη η επιφάνεια του υλικού. Για τους Chandna *et al.* (2013) και Getahun *et al.* (2012) τα συχνά γυρίσματα για επαρκή αερισμό σε χαμηλές θερμοκρασίες αποτρέπουν την επιβίωση των παθογόνων βακτηρίων, όπως η *Salmonella*.

Αμέσως μετά τους χειρισμούς η μέση θερμοκρασία του κάδου δεν σημείωσε προσωρινά καμία αύξηση, αντιθέτως εξακολούθησε να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου μέχρι την 11^η ημέρα φθάνοντας στους 24.4°C, όπως ομοίως συνέβη και στο πείραμα της Fourti (2013).

Από την 12^η ημέρα παρατηρείται μικρή άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του σωρού φθάνοντας στους 37.6°C στο άνω τμήμα του σωρού την 13^η ημέρα, κατά την οποία πιθανότατα πραγματοποιείται μια δεύτερη και αρκετά σύντομη φάση του θερμόφιλου σταδίου.

Για τον Fuchs (2010) η έντονη αύξηση της θερμοκρασίας είναι συνέπεια της υψηλής μικροβιακής δραστηριότητας, η οποία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των οργανικών στο υπόστρωμα.

Γενικά για τις 2 φάσεις του θερμόφιλου σταδίου οι θερμοκρασίες δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλές, 45-47°C για την 1^η φάση και από 35-38°C για τη 2^η φάση, συγκρίνοντας τις με τους 45-60°C των Ghazifard *et al.* (2001) και Steel *et al.* (2013). Για τον λόγο αυτό έγιναν οι εξής χειρισμοί κατά τη διάρκεια των θερμόφιλων φάσεων: στον εργαστηριακό θάλαμο η θερμοκρασία διατηρήθηκε υψηλότερη από τη μέση θερμοκρασία του μίγματος (βλέπε Διάγρ.1.ι.) του σωρού προκειμένου να θανατωθούν ανθεκτικά (παθογόνα) στελέχη και να εξυγιανθεί το κόμποστ (Chandna *et al.*, 2013, Paillat *et al.*, 2005, Sundberg *et al.*, 2004).

Από την 14^η ημέρα η μέση θερμοκρασία του σωρού μειώνεται πάλι φθάνοντας τους 27.6°C και διατηρεί τη πτωτική της τάση μέχρι και την 21^η ημέρα. Πρόκειται για τη συνέχεια του σταδίου σταθεροποίησης του μίγματος, κατά το οποίο επανεμφανίζονται οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί για να αποικοδομήσουν τυχόν υπολείμματα σακχάρων, κυτταρινών και ημικυτταρινών (Keener *et al.*, 2000). Σύμφωνα με τον Haug (1993) μια τέτοια τάση μείωσης της θερμοκρασίας του σωρού αποτελεί ένδειξη της εξάντλησης των

διαθέσιμων οργανικών ενώσεων γεγονός που σηματοδοτεί το τέλος της διαδικασίας της κομποστοποίησης.

Στη συνέχεια, από την 22^η ημέρα η μέση θερμοκρασία του μίγματος του σωρού φαίνεται να ταυτίζεται όλο και περισσότερο με την θερμοκρασία περιβάλλοντος (Διάγρ.1.ii.) όπως διαπίστωσαν και οι Iqbal Khan *et al.* (2009) στο πείραμα τους. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος παρουσίασε άνοδο λόγω εποχικής διακύμανσης και η διαδικασία της κομποστοποίησης είχε πλέον εισέλθει στο στάδιο της ωρίμανσης.

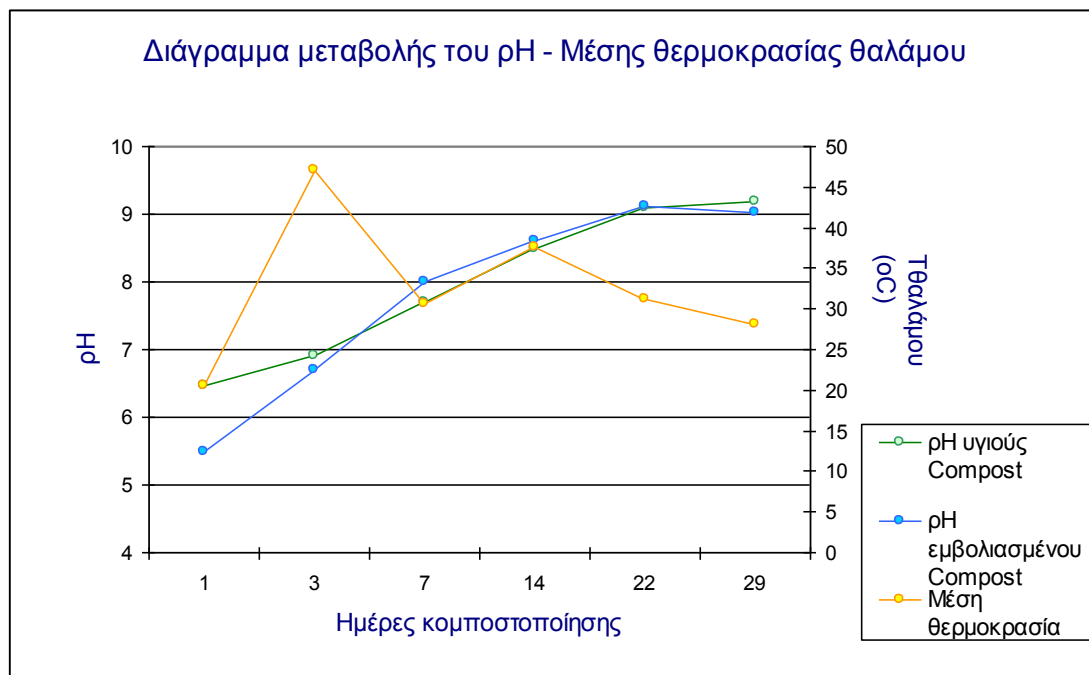
Από τις θερμοκρασιακές μεταβολές για το μίγμα του σωρού που προηγουμένως αναλύθηκαν εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεσόφιλο στάδιο διήρκεσε μόλις 2 ημέρες (από την 27^η έως την 28^η Φεβρουαρίου 2013), ενώ η πρώτη φάση του θερμόφιλου από την 2^η έως την 6^η ημέρα, για 4 ημέρες (από 28^η Φεβρουαρίου έως 4^η Μαρτίου 2013) και η δεύτερη φάση του από την 12^η έως 13^η ημέρα. Το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας (στάδιο σταθεροποίησης) ξεκίνησε την 7^η ημέρα (5^η Μαρτίου 2013) και διήρκεσε 16 ημέρες μέχρι την 21^η ημέρα (19^η Μαρτίου 2013). Τέλος, από την 22^η ημέρα, ο σωρός του κάδου «εισήλθε» στο τελευταίο στάδιο της ωρίμανσης για 14 ημέρες.

Οι μεταβολές του θερμοκρασιακού προφίλ του μίγματος στο κάδο κομποστοποίησης είναι οι αναμενόμενες, καθώς βρίσκονται μέσα στα όρια των θερμοκρασιακών μεταβολών για τους κάδους οικιακής κομποστοποίησης όπως έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Chroni *et al.*, 2009, Getahun *et al.*, 2012, Papadopoulos *et al.*, 2009). Ο λόγος που δεν παρατηρήθηκαν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 50⁰C, όπως η κορύφωση των 56⁰C των Papadopoulos *et al.* (2009) ή ακόμη και θερμοκρασίες άνω των 65⁰C (Smith & Jasim, 2009), ήταν επειδή ο όγκος των υλικών δεν ήταν αρκετός, όπως είχε παρατηρηθεί και από τους Li *et al.* (2013), προκειμένου να εμφανισθεί αυξημένη η μικροβιακή δραστηριότητα.

6.1.2 Η διακύμανση της οξύτητας

Στο Διάγρ.2 προβάλλονται οι διακυμάνσεις της οξύτητας των δειγμάτων Compost (-)A και του εμβολιασμένου Compost (+)A των 2 δοχείων του εργαστηριακού θαλάμου, όπως αυτές προσδιορίστηκαν κατόπιν των 6 δειγματοληψιών. Ειδικότερα, με την 1^η δειγματοληψία το εμβολιασμένο δείγμα Compost (+)A με *Salmonella choleraesuis* παρουσίασε πιο όξινες τιμές pH σε σχέση με το δείγμα Compost (-)A. Οι όξινες αυτές τιμές του pH στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης είναι αναμενόμενες σύμφωνα με τους Antil & Raj (2012), Haug (1993), Rashad *et al.*, (2010) και τους Smars *et al.*, 2002),

λόγω της παραγωγής απλών οργανικών οξέων που παράγονται από τη διάσπαση των σακχάρων και λιπών με οξειδωτικά βακτήρια (Sundbery & Jonsson, 2005).



Διάγρ.2 Γραφική παράσταση των καμπυλών μεταβολής της οξύτητας του οργανικού υλικού με το χρόνο κομποστοποίησης και την μέση θερμοκρασία του σωρού, με βάση τα 2 δείγματα: υγιές Compost (-)A και εμβολιασμένο Compost (+)A σε δοχεία εντός εργαστηριακού θαλάμου.

Στη συνέχεια, καθώς τα οργανικά οξέα έχουν διασπαστεί από τους μικροοργανισμούς και στα 2 δείγματα μετρήθηκαν κατά τη 2^η δειγματοληψία σχεδόν αλκαλικές τιμές, με τη τιμή 6.91 για το δείγμα Compost (-)A και 6,70 για το Compost (+)A υπό θερμοφίλες συνθήκες.

Στις δειγματοληψίες που ακολούθησαν κατά την 7^η και 14^η ημέρα της κομποστοποίησης, χρονικό διάστημα που συμπίπτει με το στάδιο της σταθεροποίησης (βλέπε §6.1), παρατηρήθηκε ένα εύρος αλκαλικών τιμών 7,69-8,60 της κλίμακας pH. Οι τιμές αυτές επίσης συμφωνούν με τις αλκαλικές τιμές pH των Anda *et al.* (2008), Antil & Raj (2012), Beffa (2002), Getahun *et al.* (2012), Smars *et al.* (2002) και Sundberg *et al.* (2004), αλλά και με τις τιμές της διαδικασίας κομποστοποίησης υπό φυσιολογικές συνθήκες των Hosseini & Aziz (2013).

Σημειώτέον δε, ότι οι τιμές του pH και των δύο δειγμάτων ήταν παραπλήσιες και αυξάνονταν σταδιακά μέχρι την 22^η ημέρα, γεγονός που ερμηνεύεται από τη σημαντική συρρίκνωση της μεταβολικής δραστηριότητας (μείωση παραγωγής θερμότητας από

θερμόφιλους μικροοργανισμούς) και το προϊόν τείνει πλέον να σταθεροποιηθεί (Antil & Raj 2012, Hassen *et al.* 2001, Fourti 2013).

Στο Διάγρ.2 είναι εμφανές ότι από την 22^η έως και την 29^η ημέρα της κομποστοποίησης τα pH των 2 δειγμάτων του εργαστηριακού θαλάμου διατηρήθηκαν σταθερά και άνω της τιμής 9.0 της κλίμακας pH έχοντας μια ελάχιστη απόκλιση μεταξύ τους. Αυτό το χρονικό διάστημα αποτελεί μέρος του σταδίου της ωρίμανσης, κατά το οποίο έχει εξαντληθεί το ταχέως διασπώμενο οργανικό υλικό και ο ρυθμός αντίδρασης επιβραδύνεται υπό θερμοφίλες συνθήκες και έτσι δικαιολογείται και η σταθερότητα των τιμών του pH. Οι υπεραλκαλικές αυτές τιμές του pH (8,0-9,0) συμφωνούν με τις τιμές της πλήρους ανεπτυγμένης διαδικασίας κομποστοποίησης των Anda *et al.* (2008), Antil & Raj (2012) και Sundberg *et al.* (2004).

Τέλος, μετά τον τερματισμό της διαδικασίας κομποστοποίησης το υλικό παρέμεινε στο κάδο κομποστοποίησης για ωρίμανση διάρκειας 11 μηνών. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στο ώριμο κόμποστ και διαπιστώθηκε ότι η τιμή pH ήταν 8.78, εντός των ορίων των τιμών που αποδέχονται τα περισσότερα εθνικά πρότυπα (6.0-8.5 κατά τους Hogg *et al.* 2002 και Kapetanios 1990, από 7,0-8,5 για τους Maso & Blasi 2008, ή με 5,0-9,0 για τον Cheung 2008).

Εν ολίγοις, για τις 3 πρώτες ημέρες της διαδικασίας κομποστοποίησης η μέση θερμοκρασία (θαλάμου) αυξήθηκε ραγδαία από τους 20⁰C στους 47⁰C, ενώ το pH των 2 δειγμάτων του θαλάμου ήταν αρκετά όξινο με τιμές από 5,5-6,91. Έπειτα, μετά την 3^η ημέρα και έχοντας φθάσει σε θερμοφίλες συνθήκες παρατηρείται αύξηση του pH, καθώς οι θερμοφιλοί μικροοργανισμοί έχουν διασπάσει τα οργανικά οξέα, και αύξηση της αλκαλικότητας από 7,69-9,12 μέχρι το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας (από την 7^η – 21^η ημέρα). Με την ολοκλήρωση του σταδίου της σταθεροποίησης ξεκινά η ωρίμανση (22^η – 29 η ημέρα), όπου το pH παραμένει σταθερό με υπεραλκαλικές τιμές από 9,03-9,12.

Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει (βλέπε §3.4.1) ότι το χαμηλό pH φαίνεται να συμπίπτει με την επιβράδυνση της μικροβιακής δραστηριότητας (Smars *et al.*, 2002), όπως συνέβη πριν το θερμοφιλό στάδιο της έρευνας μας, ενώ η αύξηση του αποτελεί έμμεσο δείκτη των υψηλών επιπέδων της μικροβιακής δραστηριότητας (Beck-Friis *et al.*, 2003).

Επίσης, οι Beck-Friis *et al.* (2001) επισήμαναν πώς η μετάβαση από μεσόφιλες συνθήκες σε θερμοφίλες στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης αποτυπώνεται και με

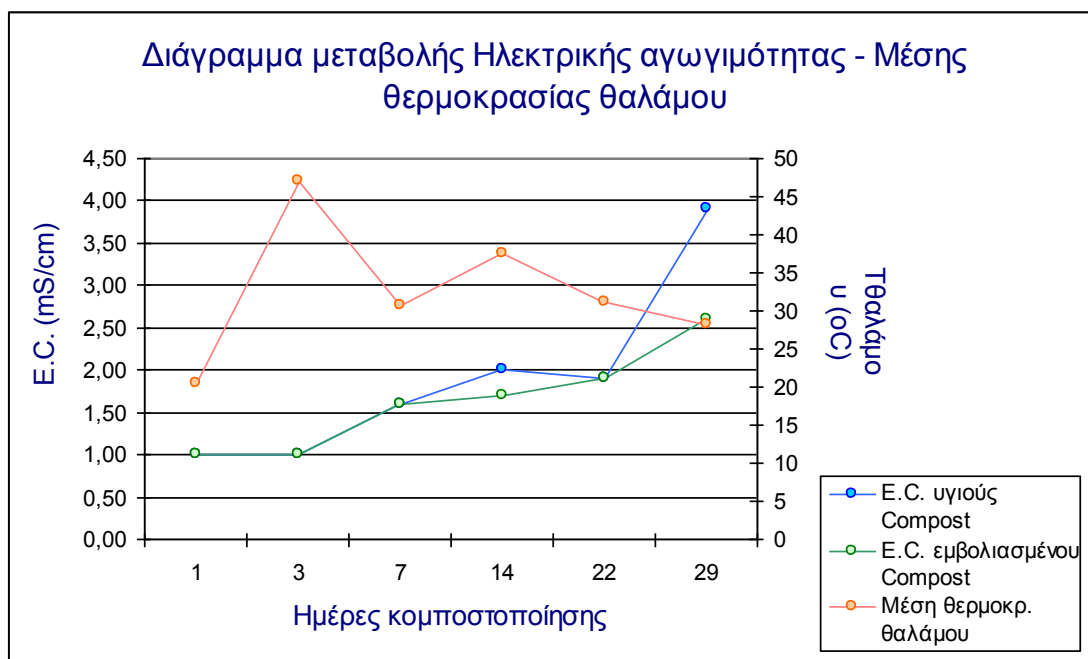
την αλλαγή του pH από όξινες τιμές (4,5-5,5) σε αλκαλικές (8,0-9,0), όπως αναλύθηκε προηγουμένως και στο πείραμα μας.

Το διάγραμμα μεταβολής της οξύτητας της παρούσας έρευνας έρχεται σε συμφωνία με το αντίστοιχο διάγραμμα των Anda *et al.* (2008) και με εξαιρέσεις του διαγράμματος των Antil & Raj (2012) για τις 37 πρώτες ημέρες μιας παρόμοιας διαδικασίας κομποστοποίησης που πραγματοποίησαν. Αντιθέτως, στην οικιακή κομποστοποίηση των Getahun *et al.* (2012) η μεταβολή του pH φαίνεται να έρχεται σε αντιδιαστολή με τη μεταβολή του στην υπό μελέτη κομποστοποίηση μας, καθώς στα αρχικά στάδια του πειράματος τους το pH ήταν υπεραλκαλικό και στη συνέχεια υπήρξε συνεχής μείωση του λόγω της παραγωγής οργανικών οξέων κατά την αποικοδόμηση, όπως συνέβη και στους Ahmed *et al.* (2007) και Zameer *et al.* (2010).

6.1.3 Οι μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Στο Διάγρ.3 απεικονίζονται οι διακυμάνσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο Compost (-)A και Compost (+)A. Διαπιστώνεται ότι κατά την διάρκεια των πρώτων 7 ημερών της διαδικασίας κομποστοποίησης οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ίδιες και στα δύο δείγματα, έχοντας αρχικά την ίδια χαμηλή τιμή των 1mS/cm κατά το μεσόφιλο στάδιο, ενώ στη συνέχεια αυξήθηκε εξίσου στα 1,6mS/cm κατά την πρώτη φάση του θερμοφίλου σταδίου. Να σημειωθεί ότι κατά το χρονικό αυτό διάστημα υπήρξε ταχεία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του σωρού στο κάδο κομποστοποίησης, καθώς από την 2^η ημέρα έγινε η μετάβαση από το μεσόφιλο στάδιο στο θερμοφίλο, με μέση θερμοκρασιακή μεταβολή 18,4⁰C (βλέπε §6.1).

Από την 7^η έως την 22^η ημέρα (στάδιο σταθεροποίησης) η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δείγματος Compost (-)A παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις τιμές του εμβολιασμένου δείγματος Compost(+)A. Αρχικά, το εμβολιασμένο δείγμα είχε σχεδόν σταθερές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας γύρω στα 1,6mS/cm για 7 ημέρες και στη συνέχεια την 22^η ημέρα αυξήθηκε ελαφρώς στα 1,9mS/cm. Αντίθετα, για το άλλο δείγμα η ηλεκτρική αγωγιμότητα άρχισε να σταθεροποιείται μετά την 14^η ημέρα, έχοντας πλέον εισέλθει και στο στάδιο της σταθεροποίησης και λίγο πριν ξεκινήσει το στάδιο της ωρίμανσης.



Διάγρ.3 Γραφική παράσταση των καμπυλών διακύμανσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του οργανικού υλικού συναρτήσει του χρόνου κομποστοποίησης και της μέσης θερμοκρασίας του σωρού στο κάδο, με βάση τα 2 δείγματα: υγιές Compost και εμβολιασμένο Compost σε δοχεία εντός εργαστηριακού θαλάμου.

Σύμφωνα με τους Hosseini & Aziz (2013) η αλατότητα αυξάνεται στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης (μέχρι το θερμόφιλο στάδιο), λόγω της αποικοδόμησης των πολύπλοκων δομών του κλάσματος από μικροοργανισμούς σε πιο απλές ενώσεις, όπως η αμμωνία και ο φώσφορος. Γι' αυτούς στο τέλος της κομποστοποίησης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται και τείνει να σταθεροποιηθεί με τιμές μικρότερες του 1 mS/cm κατά το στάδιο της ωρίμανσης, καθώς οι υδατοδιαλυτές ενώσεις (οργανικά οξέα) έχουν πλέον καταναλωθεί ως θρεπτικές ουσίες από τους μικροοργανισμούς, ενώ καθιζάνουν ή εξαερώνονται ορισμένες ενώσεις όπως η αμμωνία και τα ανόργανα άλατα. Για τους Getahun *et al.* (2012) η πτωτική τάση της αλατότητας μπορεί να οφείλεται στην έκπλυση και διάλυση των αλάτων με τη διαβροχή που πραγματοποιήθηκαν στους σωρούς κομποστοποίησης τους.

Σε αντίθεση με τους Hosseini & Aziz (2013) και Getahun *et al.* (2012) έρχονται τα αποτελέσματα της κομποστοποίησης των Antil & Raj (2012) και της παρούσας έρευνας μας, καθώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα από το θερμόφιλο στάδιο εμφάνιζε αυξητική τάση μέχρι και το στάδιο της σταθεροποίησης. Αυτό μπορεί οφείλεται σε μια δευτερογενή δράση των μικροοργανισμών με διάλυση των πιο σύνθετων αλάτων, φωσφορικών και οργανικών υλών (Lee *et al.*, 2002). Οι Antil & Raj (2012) επισημαίνουν ότι τόσο υψηλές

τιμές αλατότητας μπορούν να είναι ένδειξη της υψηλής περιεκτικότητας των αρχικών οργανικών αποβλήτων σε $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$.

Καθώς, εισέρχεται η διαδικασία της κομποστοποίησης στο στάδιο της ωρίμανσης την 22^η ημέρα, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξάνονται ραγδαία και στα δύο δείγματα από την αρχική τους τιμή των 1,9 mS/cm, σε 3,9 mS/cm για το υγιές δείγμα και 2,6 mS/cm για το εμβολιασμένο δείγμα την 29^η ημέρα της κομποστοποίησης, παραμένοντας μέσα στα επιθυμητά όρια (κάτω των 4 mS/cm για τους Evanylo 2006, Kalamdhad & Kazmi 2009, Singh *et al.* 2012) για την ασφαλή χρήση του κόμποστ ως εδαφοβελτιωτικό. Ωστόσο, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν σταθεροποιήθηκαν στο στάδιο αυτό, σε αντίθεση με τους Antil & Raj (2012), Hosseini & Aziz (2013) και Getahun *et al.* (2012). Φαίνεται ότι μια τέτοια συμπεριφορά της καμπύλης μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για το στάδιο της ωρίμανσης ταυτίζεται περισσότερο με την αντίστοιχη των Anda *et al.* (2008) που άγγιξε τα 3 mS/cm.

Στη παρούσα πειραματική διαδικασία οι τιμές που μετρήθηκαν για την ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν ξεπέρασαν το επιθυμητό όριο όπως προαναφέρθηκε, παρόλα αυτά τερματίστηκε η διαδικασία της κομποστοποίησης στις 37 ημέρες και το υλικό του σωρού παρέμεινε στο κάδο για περαιτέρω ωρίμανση. Μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος 11 μηνών, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ώριμου πλέον κόμποστ του κάδου υπολογίστηκε να έχει μια αρκετά καλή τιμή στα 2,4 mS/cm (Evanylo 2006, Singh *et al.* 2012).

6.1.4 Η ποσοστιαία διακύμανση της υγρασίας

Στο Διάγρ.4 παρουσιάζονται τα ποσοστά (%) του μέσου όρου της υγρασίας που μετρήθηκαν στα δείγματα των 6 δειγματοληψιών. Αναλυτικότερα, στο διάγραμμα αυτό αναπαριστώνται οι μεταβολές της υγρασίας του υγιούς δείγματος και του εμβολιασμένου συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας του υποστρώματος στον εργαστηριακό θάλαμο.

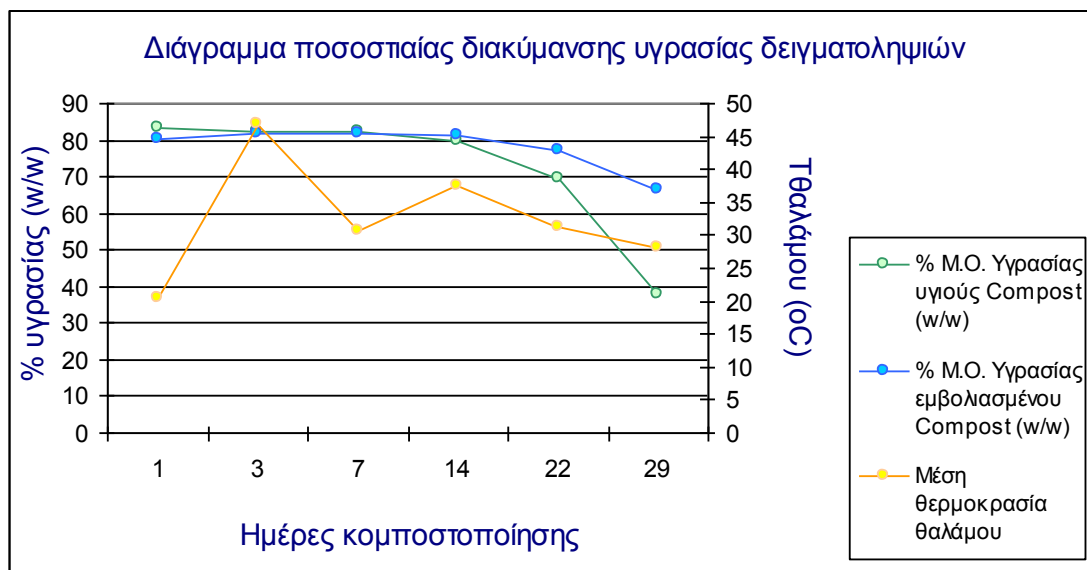
Αρχικά, για τη 1^η δειγματοληψία στο υγιές δείγμα καταγράφηκε αυξημένη υγρασία σε ποσοστό 83,12% και στο εμβολιασμένο δείγμα 80,40%. Να σημειωθεί ότι αυτή η δειγματοληψία έγινε την 1^η ημέρα της διαδικασίας κομποστοποίησης (ημέρα εγκατάστασης του υλικού στο κάδο) και προηγήθηκε η διαβροχή του υποστρώματος με 10L νερό. Επίσης, η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος έφθανε τους 16⁰C, ενώ υπήρχε αυξημένη υγρασία περιβάλλοντος.

Παρατηρήθηκε ότι ο μέσος όρος του ποσοστού υγρασίας για τη 1^η δειγματοληψία του υγιούς δείγματος ήταν ελαφρώς μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο του εμβολιασμένου δείγματος Compost, υπό μεσόφιλες συνθήκες. Το γεγονός αυτό ίσως να συνδέεται με το δείγμα καθεαυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά τη πειραματική διαδικασία, το οποίο ενδεχομένως λόγω της σύστασης (in situ) να περιείχε υψηλότερο ποσοστό υγρασίας συγκριτικά με το άλλο δείγμα.

Ακολούθησε η 2^η δειγματοληψία (1^η Μαρτίου 2013) με καλοκαιρία και μια μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος των 15⁰C. Δεδομένου ότι η διαδικασία κομποστοποίησης είχε εισέλθει πλέον στο θερμόφιλο στάδιο (έντονης μικροβιακής δραστηριότητας) με μέση θερμοκρασία υποστρώματος 41,3⁰C, η υγρασία μειώθηκε ελάχιστα και έτεινε να ταυτιστεί και στα 2 δείγματα σε ποσοστό περίπου 82%.

Την 7^η ημέρα (5^η Μαρτίου 2013) της κομποστοποίησης, κατά την οποία σημειώθηκε η έναρξη του σταδίου σταθεροποίησης, έγινε η 3^η δειγματοληψία και τα ποσοστά υγρασίας εξακολούθησαν να κυμαίνονται σε σταθερά επίπεδα (περίπου 82%), παρόλο που η μέση θερμοκρασία στο θάλαμο μειώθηκε στους 30,7⁰C. Για τη 4^η δειγματοληψία (12^η Μαρτίου 2013) μειώθηκε σε 79,81% για το υγιές και σε 81,13% για το εμβολιασμένο, καθώς η μέση θερμοκρασία του θαλάμου είχε μειωθεί στους 37,6⁰C. Να σημειωθεί ότι κατά 3^η, 4^η και 6^η δειγματοληψία (7^η, 14^η και 29^η ημέρα αντίστοιχα) πραγματοποιήθηκε γύρισμα του υποστρώματος (στο κάδο και στον εργαστηριακό θάλαμο), καθώς και προσθήκη νέων οργανικών υπολειμμάτων στο κάδο.

Αισθητές μεταβολές στα ποσοστά υγρασίας διαπιστώθηκαν στη 5^η δειγματοληψία (20^η Μαρτίου 2013) με την έναρξη του σταδίου ωρίμανσης, φθάνοντας σε ποσοστό 69,38% για το υγιές και 77,13% για το εμβολιασμένο δείγμα. Σύμφωνα με τον Fourti (2013) η υγρασία του κομποστοποιήσιμου κλάσματος θα πρέπει να διατηρείται σε ένα εύρος τιμών 40-65%, προκειμένου να αποφεύγεται η παρεμπόδιση της μεταφοράς του οξυγόνου απαραίτητο για την μικροβιακή δραστηριότητα (Kabore *et al.*, 2010). Για τους Hogg *et al.* (2002) και Kapetanios (1990) τα επιθυμητά επίπεδα υγρασίας κυμαίνονται από 43-53%, σε ποσοστό 50-60% κατά Gajalakshmi & Abbasi (2008), ενώ για τους Wang *et al.* (2013) μεταξύ των 40-60%. Υψηλότερο ποσοστό υγρασίας αυξάνει την αναερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και εμποδίζει την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία κομποστοποίησης (Das & Keener 1997, Fourti 2013).



Διάγρ.4 Γραφική παράσταση των καμπυλών διακύμανσης της υγρασίας του οργανικού υλικού με το χρόνο κομποστοποίησης και τη μέση θερμοκρασία του θαλάμου, με βάση το υγιές και εμβολιασμένο Compost των δύο δοχείων.

Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία διαπιστώθηκε ότι σχεδόν σε όλες τις δειγματοληψίες τα ποσοστά υγρασίας ήταν άνω του επιθυμητού ορίου (40-65%), με εξαίρεση την τελευταία δειγματοληψία, και για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν αρκετά γυρίσματα, ώστε να γίνεται καλύτερος αερισμός της μάζας του υποστρώματος και να επιταχυνθεί η διαδικασία.

Η υγρασία μειώθηκε ακόμη πιο πολύ με τη συνέχεια του σταδίου ωρίμανσης, όπως υπολογίστηκε με την 6^η (τελευταία) δειγματοληψία σ' ένα ποσοστό 66,46% για το εμβολιασμένο και 37,86% για το υγιές δείγμα. Αυτή η απώλεια υγρασίας για τους Singh *et al.* (2012) μπορεί να θεωρηθεί δείκτης του ρυθμού αποικοδόμησης και πιθανότατα προέρχεται από την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας που είχε αναπτυχθεί, η οποία οδήγησε και σε περαιτέρω εξάτμιση (Fourti 2013).

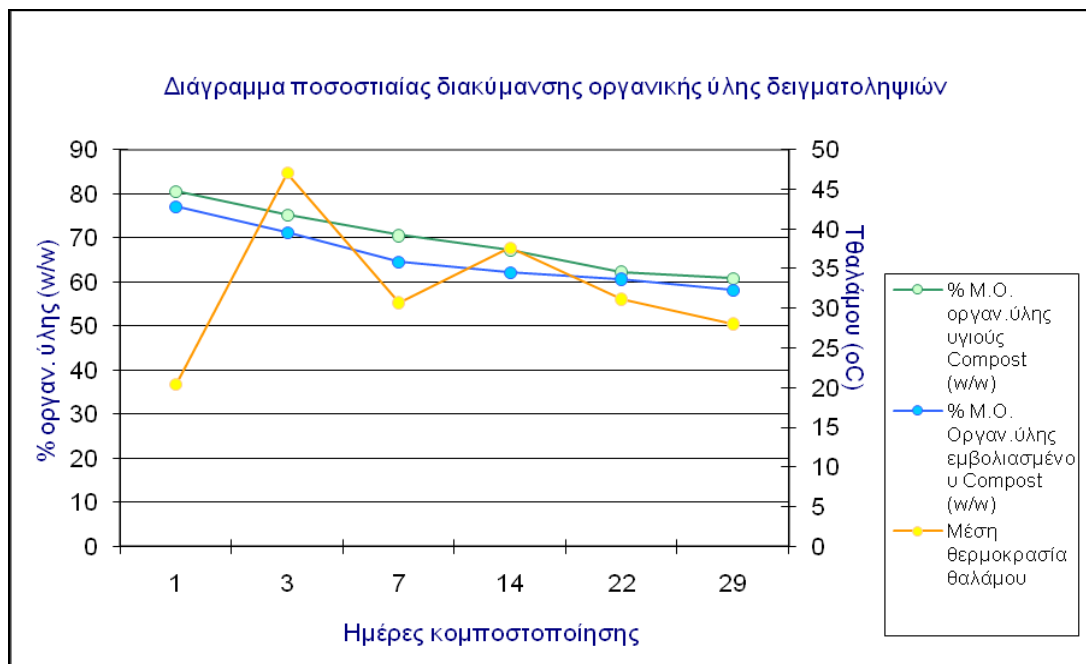
Να σημειωθεί ότι για το υγιές δείγμα η τελευταία δειγματοληψία έδωσε ποσοστό υγρασίας μικρότερο του 40-45% και αποτελεί ένδειξη επιβράδυνσης της διαδικασίας κομποστοποίησης, καθώς σε τόσο χαμηλά ποσοστά υγρασίας οι μικροοργανισμοί πεθαίνουν ή αδρανοποιούνται. Στο συγκεκριμένο δείγμα ήταν μεγάλος ο ρυθμός εξάτμισης και αυτό πιθανότατα οφείλεται σε αυξημένη δραστηριότητα που προηγήθηκε από τους μικροοργανισμούς και στην επακόλουθη αύξηση της θερμοκρασίας (Fourti 2013).

Εν ολίγοις, τα επίπεδα υγρασίας και για τα δύο δείγματα διατηρήθηκαν με περίπου ίδιες τιμές μεταξύ των ποσοστών 79-83% μέχρι και την ολοκλήρωση του σταδίου σταθεροποίησης, ενώ μειώθηκαν σημαντικά σε ποσοστό περίπου 66,5-77% με την έναρξη της διαδικασίας ωρίμανσης και ακόμη περισσότερο σε 37,86% για τη τελευταία δειγματοληψία του υγιούς δείγματος. Οι ποσοστιαίες διακυμάνσεις της υγρασίας στη παρούσα έρευνα φαίνεται να προσεγγίζουν σε γενικές γραμμές τις αντίστοιχες μεταβολές των Wang *et al.* (2013), ενώ οι τιμές είναι ιδιαίτερα αυξημένες σε σχέση με το εύρος των 15-44% (σε υγρή βάση) των Barrena *et al.* (2014).

6.1.5 Τα πτητικά στερεά

Κατά την ενεργό φάση της κομποστοποίησης ο οργανικός άνθρακας μειώνεται λόγω της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από τους μικροοργανισμούς. Αυτή η απώλεια σε οργανική ύλη ταυτόχρονα μειώνει το βάρος του σωρού (Bernal *et al.* 2009). Ομοίως, και στο Διάγρ.5 παρατηρείται ότι κατά το μεσόφιλο στάδιο (1^η ημέρα) και στα 2 δείγματα εξαυλώθηκε ένα ποσοστό οργανικών ενώσεων περίπου 19,48-22,97% με τη δράση των μεσόφιλων μικροοργανισμών. Στη συνέχεια, ακολούθησε η 2^η δειγματοληψία (θερμόφιλο στάδιο) κατά την οποία αυξήθηκε σημαντικά το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα σε ποσοστό 71-75% λόγω της έντονης δραστηριότητας των θερμόφιλων μικροοργανισμών, όπως αναλύθηκε από τους Hamoda *et al.* (1998), Tang *et al.* (2007) και στη § 6.1.1.

Να σημειωθεί ότι καθώς εισήλθε η διαδικασία της κομποστοποίησης στο στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας, το ποσοστό των πτητικών στερεών για το υγιές δείγμα εξακολούθησε να αυξάνεται αγγίζοντας το 70,51% της οργανικής ύλης, ενώ στο εμβολιασμένο δείγμα άρχισε να μειώνεται στο 64,53%. Από το στάδιο αυτό σηματοδοτείται πλέον μια πτωτική τάση του ρυθμού αποικοδόμησης της οργανικής ύλης, αφού έχουν εξαντληθεί οι διαθέσιμες πηγές άνθρακα από τους μικροοργανισμούς. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε ακόμη μία δειγματοληψία, όπου στο μεν εμβολιασμένο δείγμα αυξάνεται ελαφρώς το ποσοστό σε 62,15%, καθώς για το υγιές μειώνεται στο 67,07%.

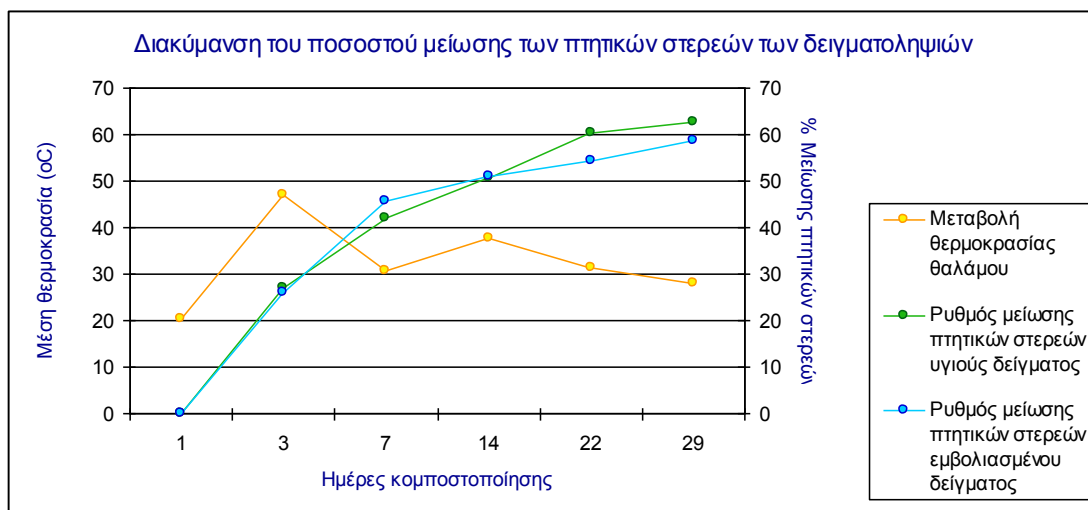


Διάγρ.5 Γραφική παράσταση των καμπυλών του ποσοστού οργανικής ύλης (πτητικών στερεών) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε συνάρτηση με τη μέση θερμοκρασία του θαλάμου, με βάση το υγιές και εμβολιασμένο Compost των δύο δοχείων

Τέλος, ακολουθούν η 5^η και 6^η δειγματοληψία κατά τη διάρκεια του σταδίου της ωρίμανσης, με την πλήρη αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και ελάχιστες πλέον μεταβολές στο ποσοστό των πτητικών στερεών διαπιστώνοντας μια μείωση από 62,18% σε 60,75% για το υγιές δείγμα και για το εμβολιασμένο από 60,75% σε 58,10%. Ομοίως διαπίστωσαν οι Fourti (2013) και οι Wang *et al.* (2013) στα πειράματά τους με την βιοδιασπασιμότητα της οργανικής ύλης του υλικού να έχει περιοριστεί σημαντικά κατά την ωρίμανση του, δείχνοντας τη σταθερότητα πλέον του κόμποστ.

Στη παρούσα έρευνα το ποσοστό της αποικοδομήσιμης οργανικής ύλης παρουσιάζει μια πτωτική τάση ιδιαίτερα με το πέρας του θερμόφιλου σταδίου στη καμπύλη μεταβολών των τιμών της κατά τη εξέλιξη της διαδικασίας κομποστοποίησης, όπως διαπιστώθηκε και στη διεθνή βιβλιογραφία (Hosseini & Aziz 2013, Wang *et al.* 2013).

Δεδομένου ότι η μείωση των πτητικών στερεών αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείκτη για το βαθμό βιοαποικοδόμησης (§ 5.3.5.), ο ρυθμός μείωσης τους αποτυπώθηκε στο ακόλουθο Διάγρ.6 και φαίνεται ότι συμφωνεί με την αυξητική τάση της καμπύλης των Antil & Raj (2012) και των Saludes *et al.* (2007). Επίσης, συμφωνούν και οι Benito *et al.* (2003) υποστηρίζοντας ότι η απώλεια της οργανικής ύλης αυξάνεται με τη πάροδο της διαδικασίας κομποστοποίησης, λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας των μικροοργανισμών σε εύκολα βιοδιασπώμενες ενώσεις.



Διάγρ.6 Γραφική παράσταση των καμπυλών του ποσοστού μείωσης των πτητικών στερεών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε συνάρτηση με τη μέση θερμοκρασία του θαλάμου, με βάση το υγιές και εμβολιασμένο Compost των δύο δοχείων.

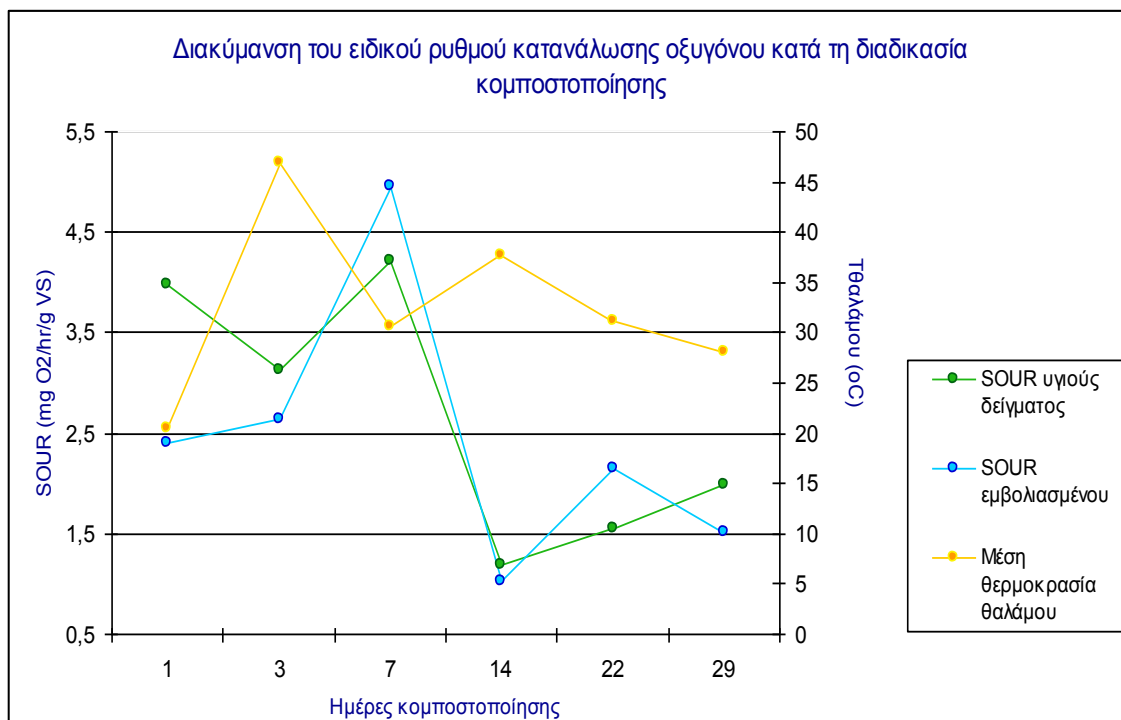
Σύμφωνα λοιπόν με το Διάγρ.6 κατά τη μετάβαση από το μεσόφιλο στο θερμόφιλο στάδιο το ποσοστό μείωσης των πτητικών αυξήθηκε σημαντικά περίπου σε 26%, ενώ μετά την έναρξη του σταδίου πτώσης της θερμοκρασίας αυξήθηκε λιγότερο. Συγκεκριμένα, η 3^η δειγματοληψία έδειξε μια αύξηση της τάξης του 16-19% και η 4^η του 5-9%. Τέλος, για το στάδιο της ωρίμανσης η αύξηση αυτή ήταν ακόμη πιο μικρή, από 3-9,5% για τη 5^η και 2,5-4,5% για την 6^η δειγματοληψία. Ο ρυθμός μείωσης των πτητικών συμφωνεί με την διαγραμματική παρουσίαση των Saludes *et al.* (2007), με εξαίρεση τα υψηλά ποσοστά μείωσης των πτητικών στερεών στο τελευταίο στάδιο της διαδικασίας κομποστοποίησης της παρούσας έρευνας (Παράρτημα 1).

6.2 Μετρήσεις του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR) κατά τη διάρκεια της οικιακής κομποστοποίησης

Οι μετρήσεις αυτές ως αυτοματοποιημένη διαδικασία πραγματοποιήθηκαν και στις 6 δειγματοληψίες, παίρνοντας καταμέτρηση του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από το υγιές και το εμβολιασμένο με *Salmonella choleraesuis* δείγμα ταυτόχρονα. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα της παρούσας ενότητας έχοντας απορρίψει για κάθε διάστημα μετρήσεως τις 4 πρώτες μετρήσεις.

Αρχικά, κατά την έναρξη της ενεργού φάσης κομποστοποίησης (1^η δειγματοληψία) καθώς το οργανικό υλικό διασπάται σε απλούστερες ενώσεις, ο ρυθμός κατανάλωσης σε

οξυγόνο αυξήθηκε σχεδόν εκθετικά φθάνοντας το μέγιστο βαθμό κατανάλωσης σε οξυγόνο (SOUR) της τάξεως των 3,97 mg O₂/g VS/hr για το υγιές και 2,41 mg O₂/g VS/h για το εμβολιασμένο μέσα στις πρώτες 4 ώρες, όπως φαίνεται στα **Διαγρ.8i-iv**. Στη συνέχεια μειώθηκε σημαντικά σε χαμηλά επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου κάτω του 1 mg O₂/g VS/hr.



Διάγρ.8 Γραφική παράσταση των καμπυλών του δείκτη SOUR και των 2 δειγμάτων συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Καθώς, αναπτύσσονταν οι μέγιστες θερμοφίλες θερμοκρασίες (47 °C) παρατηρήθηκε ανάλογη κατανάλωση οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς με τιμή ελαφρώς μικρότερη για το υγιές δείγμα (3,12 mg O₂/g VS/hr) και μεγαλύτερη (2,64 mg O₂/g VS/hr) για το εμβολιασμένο, για το ίδιο περίπου χρονικό διάστημα καταγραφής. Αμέσως μετά, η κατανάλωση άρχισε να μειώνεται σταδιακά διατηρώντας ωστόσο υψηλότερα επίπεδα πρόσληψης σε οξυγόνο από αυτά του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος της 1^{ης} δειγματοληψίας, γεγονός που εκδηλώνει πράγματι την αύξηση του πληθυσμού των μικροοργανισμών.

Ιδιαίτερα αυξημένη ήταν η κατανάλωση οξυγόνου κατά το στάδιο μετά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης του θερμοφίλου σταδίου στους 30,7 °C, όπως διαπίστωσαν και οι Gazi *et al.* (2007) στο αντίστοιχο στάδιο της έρευνας τους. Ειδικότερα, αυξήθηκε σε 4,22 mg O₂/g VS/hr για το υγιές και ακόμη περισσότερο σε 4,96 mg O₂/g VS/hr για το

εμβολιασμένο (**Διάγρ.8**) στις πρώτες 9 ώρες. Αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των θερμοφίλων μικροοργανισμών. Μετά, τη μέγιστη τιμή που σημειώθηκε για τον ειδικό ρυθμό αναπνευστικής δραστηριότητας, παρατηρήθηκε ότι οι επόμενες καταμετρήσεις ήταν με τιμές κάτω των 2 mg O₂/g VS/hr.

Στη συνέχεια έχοντας αποκτήσει πάλι σταθερά μεσόφιλες θερμοκρασίες στους 37,6 °C, ο δείκτης SOUR έπεσε σημαντικά σε 1,19 mg O₂/g VS/hr για το υγιές και 1,03 mg O₂/g VS/hr για το εμβολιασμένο δείγμα, μετά την 1^η ώρα της καταγραφής. Εξακολούθησε στη συνέχεια να είναι χαμηλός με τιμές μικρότερες του 1 mg O₂/g VS/hr μέχρι την ολοκλήρωση των καταγραφών, χωρίς να παρουσιάζονται ιδιαίτερες μεταβολές. Σύμφωνα με τους Lasaridi & Stentiford (1998) μετρήσεις κάτω του 1 mg O₂/g VS/hr μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένο προσδιορισμό του ρυθμού της αναπνευστικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών λόγω των περιορισμών σε οξυγόνο.

Ακολούθησε η έναρξη του σταδίου της ωρίμανσης όπου η αναπνευστική δραστηριότητα παρουσίασε ελαφρώς μια μικρή αύξηση στις πρώτες 3 ώρες, σε 1,55 mg O₂/g VS/hr και 2,14 mg O₂/g VS/hr, για το υγιές και εμβολιασμένο δείγμα αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή της αναπνευστικής δραστηριότητας έμμεσα υποδηλώνει την αύξηση του πληθυσμού των μικροοργανισμών. Μετά τη μέγιστη τιμή που σημειώθηκε και στα 2 δείγματα, η αναπνευστική δραστηριότητα διατηρήθηκε σε επίπεδα κάτω των 1,5 mg O₂/g VS/hr για περίπου 6,5 ώρες και με το πέρασ αυτών σε ακόμη πιο χαμηλές τιμές μικρότερες του 1 mg O₂/g VS/hr.

Επίσης, για το τελευταίο αυτό στάδιο πραγματοποιήθηκε αργότερα ακόμη 1 δειγματοληψία, που ήταν και η τελευταία για το πείραμα μας, καταγράφοντας ως μέγιστη αναπνευστική δραστηριότητα την τιμή 1,99 mg O₂/g VS/hr στο υγιές και 1,52 mg O₂/g VS/hr στο εμβολιασμένο δείγμα στις 3 πρώτες ώρες. Ακολούθησαν πάλι καταγραφές με τιμές αναπνευστικής δραστηριότητας μικρότερες του 1 mg O₂/g VS/hr. Αξιοσημείωτη είναι η ομαλότητα της καμπύλης SOUR στη γραφική παράσταση της τελευταίας δειγματοληψίας του **Διάγρ. 8xi-xii**.

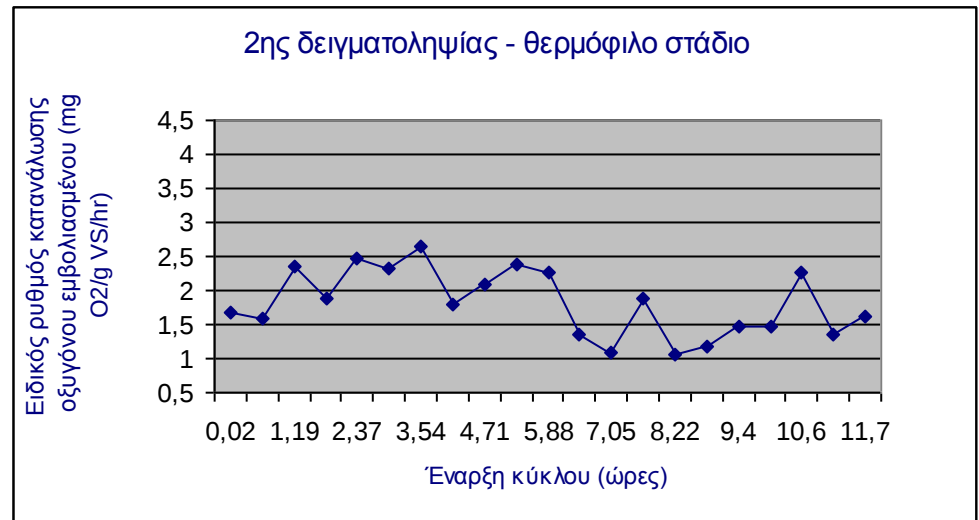
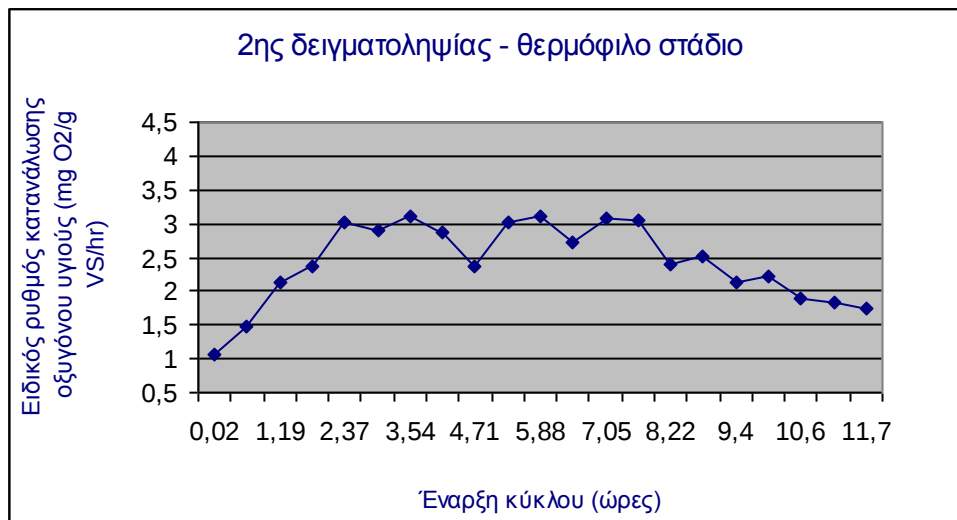
Πρέπει να αναφερθεί ότι στη διεθνή βιβλιογραφία τα αρκετά ώριμα και σταθερά βιοκόμποστ αντιπροσωπεύονται από τιμές SOUR κοντά στο 1 mg O₂/g VS/hr κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης (Lasaridi & Stentiford, 1998). Στη παρούσα έρευνα, οι τιμές στο στάδιο της ωρίμανσης κυμαίνονταν από 2,14 έως 1,52 mg O₂/g VS/hr, γεγονός που σημαίνει ότι το κόμποστ δεν είναι ακόμα 'σταθερό' και χρειάζεται περαιτέρω ωρίμανση. Οι Sanchez-Monedero *et al.* (2002) κατά τις 2 πρώτες εβδομάδες της κομποστοποίησης

τους κατέγραψαν τιμές από 3,10-5,89 mg O₂/g VS/hr και κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης ένα εύρος τιμών από 0,39-0,88 mg O₂/g VS/hr.

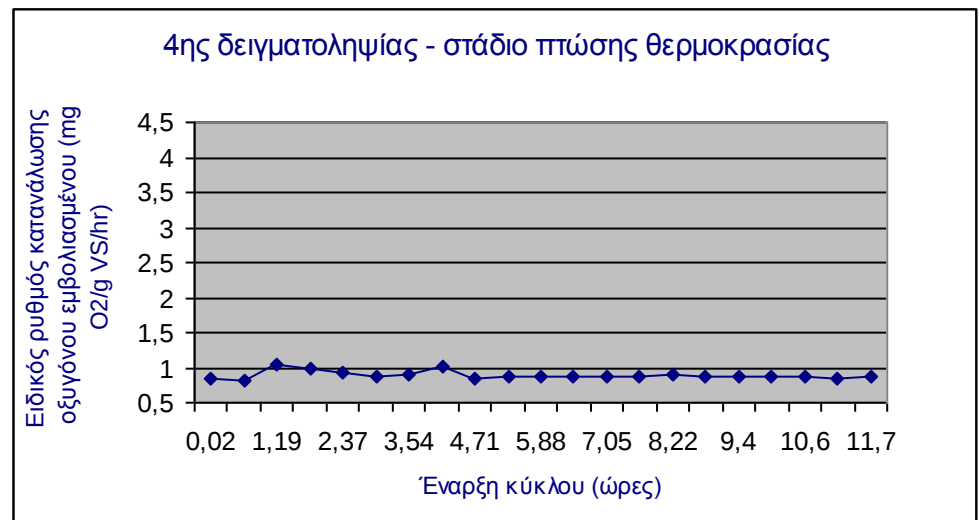
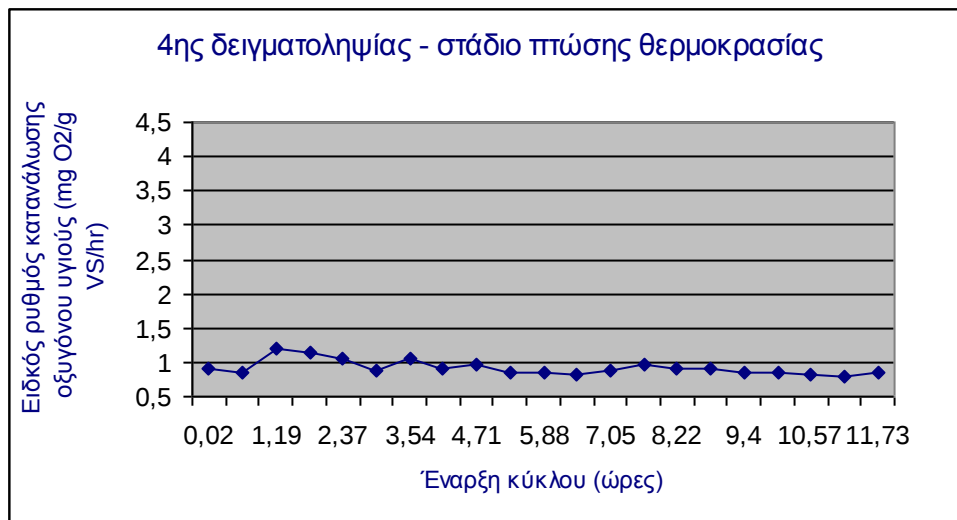
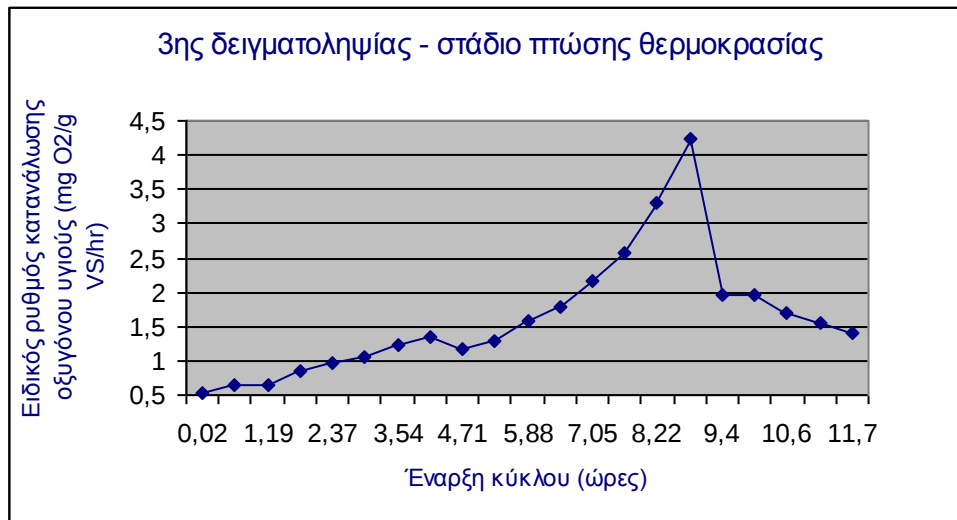
Σε αντίθεση με τη γραφική παράσταση SOUR των Chroni *et al.* (2009), οι τιμές του SOUR στη παρούσα πειραματική διαδικασία μετά τη μέγιστη τιμή της 13^{ης} ημέρας της κομποστοποίησης δεν ακολουθούν πτωτική τάση μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας ωρίμανσης (**Διάγρ.8**). Συγκεκριμένα, μετά τη 14^η ημέρα της κομποστοποίησης συμπεραίνεται μια πιθανή ανάκαμψη των μικροοργανισμών, δεδομένης της αύξησης της αναπνευστικής δραστηριότητας που συμπίπτει με το διάστημα μετά την ολοκλήρωση της 2^{ης} θερμόφιλης φάσης (βλέπε § 6.1.1). Παρόλα αυτά, φαίνεται ότι το **Διάγρ.8** ταυτίζεται καλύτερα με τη καμπύλη των Gazi *et al.* (2007) κατά τους οποίους διαπιστώθηκε αύξηση του αριθμού των ομάδων του πληθυσμού μετά το θερμόφιλο στάδιο, αν και κάποιες από αυτές μειώθηκαν πάλι προς το τέλος της περιόδου ωρίμανσης, γεγονός που υποδεικνύει την εξάντληση των συγκεκριμένων στρωμάτων σε οργανική ύλη.

Τέλος, στα **Διάγρ.9i-xii** αναπαριστώνται οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (DO₁₂, Dissolved Oxygen) για τις πρώτες περίπου 12 ώρες καταγραφής. Η διαφορά της μέτρησης αυτής με τη αυτή του δείκτη SOUR, εντοπίζεται στο ότι το διαλυτό οξυγόνο μετρά το συνολικό βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο που απαιτείται από το αιώρημα του κόμποστ, ενώ το SOUR αναφέρεται στο μέγιστο ποσοστό κατανάλωσης σε οξυγόνο για το ίδιο χρονικό διάστημα. Ουσιαστικά, ο δείκτης DO₁₂ δίνει ολοκληρωμένη τη πληροφορία για το κάθε διάστημα μετρήσεως (κύκλο) και συνεπώς για τη κατάσταση του οργανικού υλικού και τη σταθερότητα του. Το SOUR προτιμάται ως δείκτης της αναπνευστικής δραστηριότητας σε σχέση με τον DO₁₂, καθώς μπορεί να υπολογιστεί ευκολότερα και σχετίζεται άμεσα με το βαθμό βιοσταθεροποίησης του κόμποστ (Lasaridi & Stentiford, 1998).

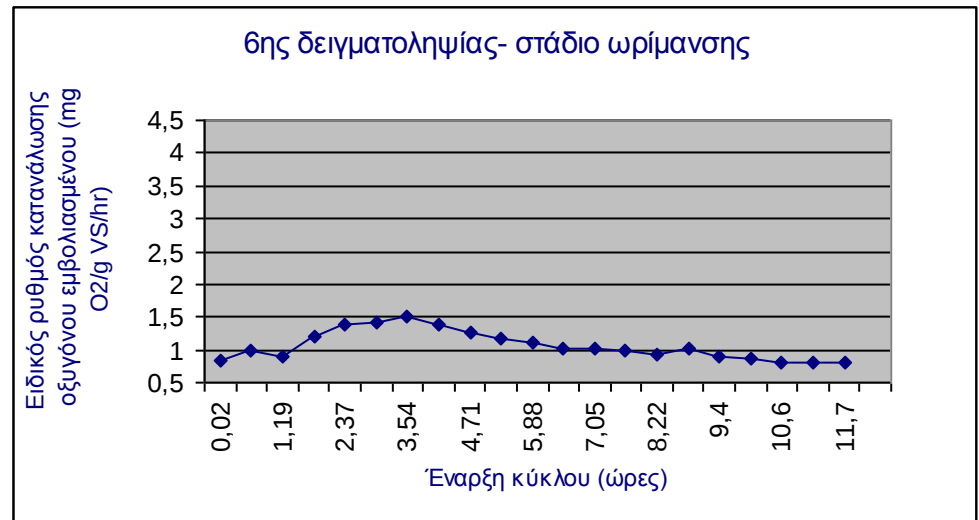
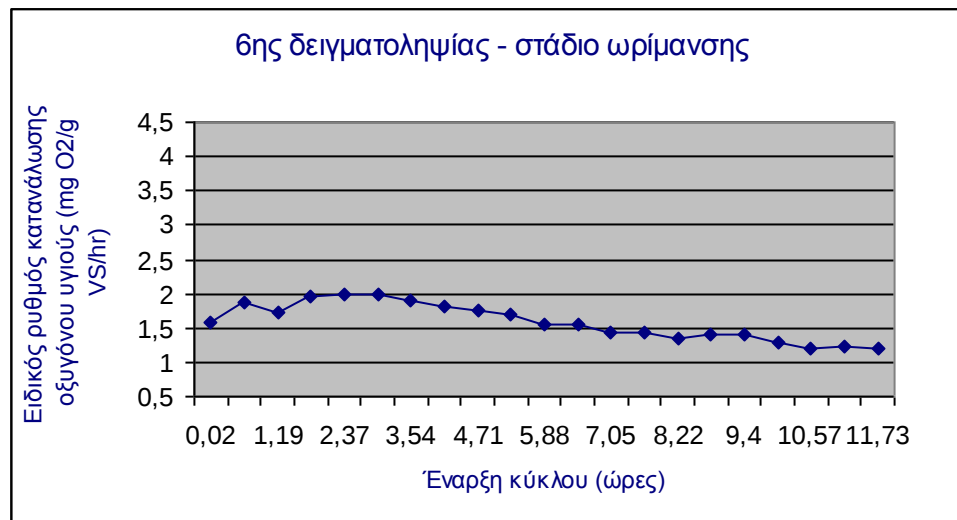
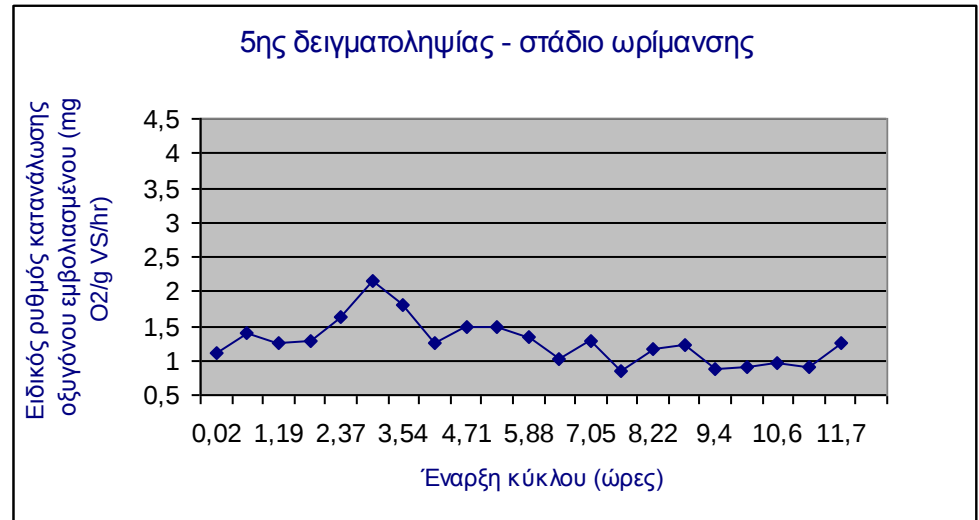
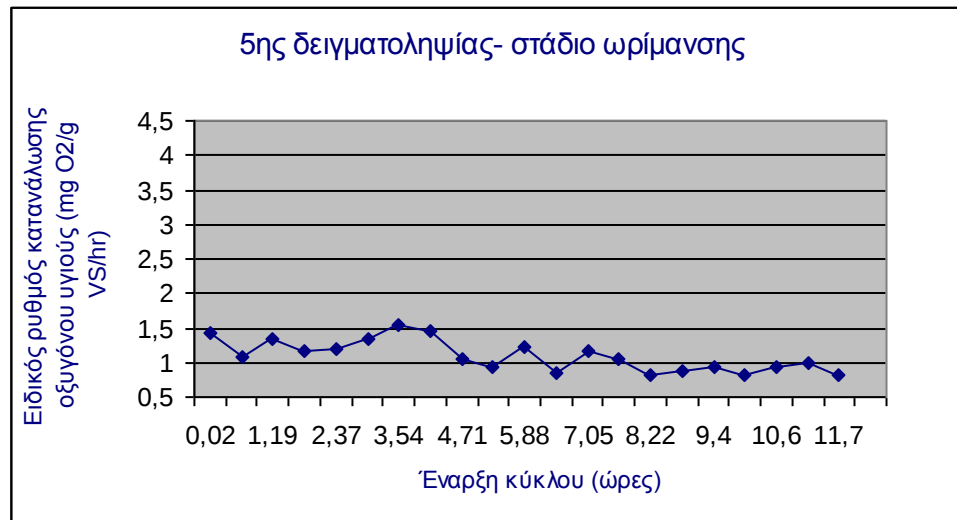
Επιπλέον, οι τάσεις των διακυμάνσεων του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου και της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου ήταν σχεδόν πανομοιότυπες στα **Διάγρ. 9i-xii**, γι αυτό εδώ δεν παρουσιάζονται εκτενώς. Ωστόσο λοιπόν, επιβεβαιώνουν ότι ο δείκτης SOUR δεν είναι ένας αυθαίρετος δείκτης εκτίμησης της βιοσταθερότητας. Ειδικότερα, οι διακυμάνσεις του DO₁₂ για τις καταγραφές των δειγμάτων του μεσόφιλου, θερμόφιλου και της 1^{ης} δειγματοληψίας κατά το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας ήταν ορατές και κυμαίνονταν μεταξύ των 1,5-7 mg O₂/ lt. Για την 4^η, 5^η και 6^η δειγματοληψία οι διακυμάνσεις στη συγκέντρωση του διαλυτού οξυγόνου δεν ήταν μεγάλες και κυμαίνονταν σε ένα εύρος τιμών από 4,89-7 mg O₂/ lt. Σε κάθε περίπτωση για τις 3



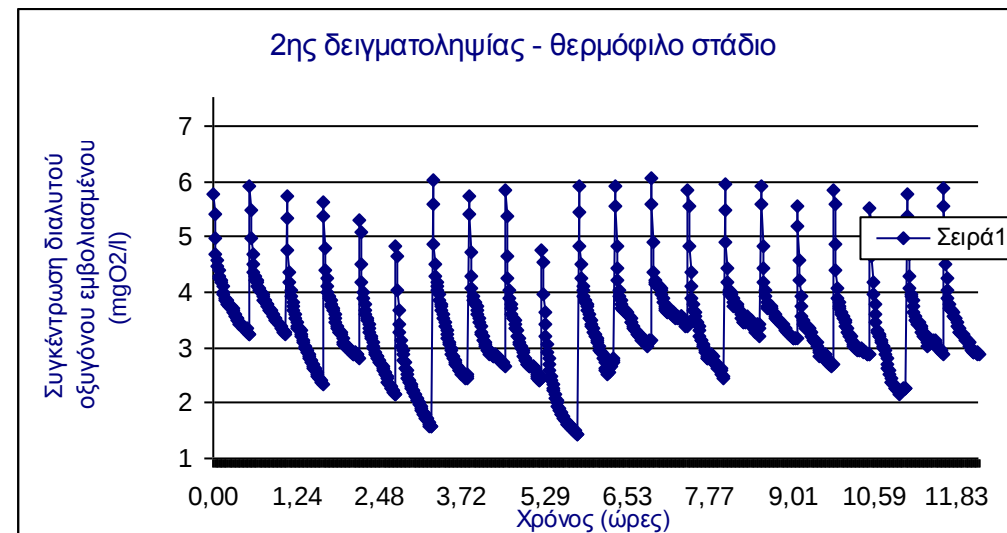
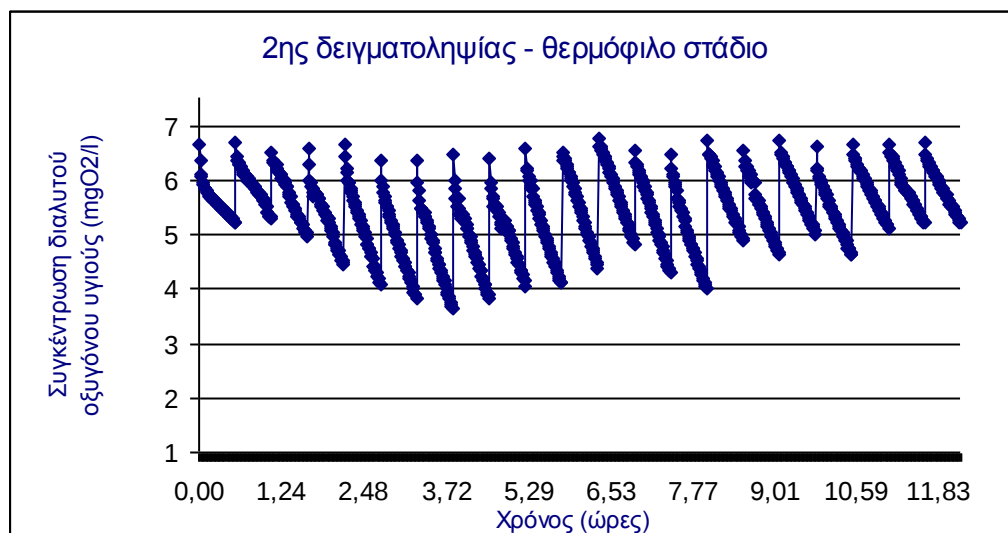
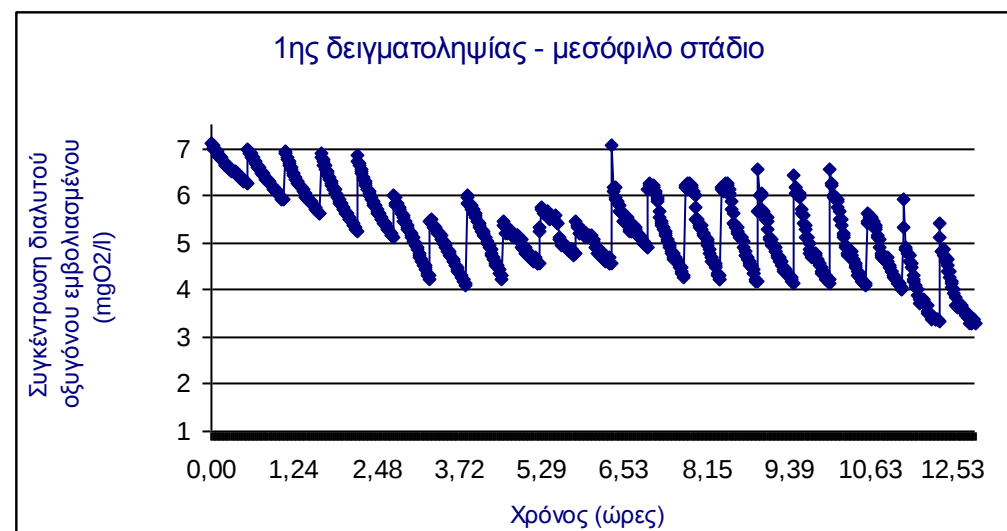
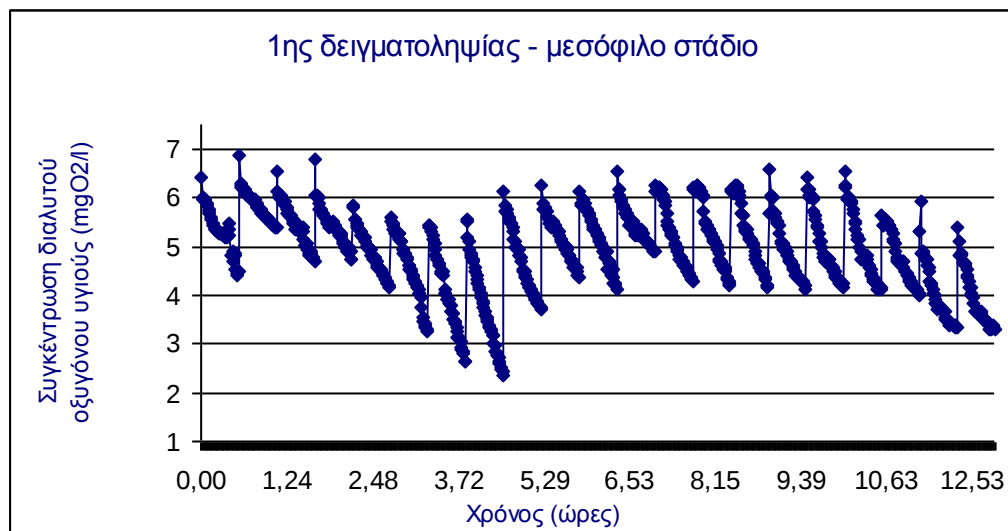
Διαγρ.8i-iv: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε υγιές και εμβολιασμένο δείγμα



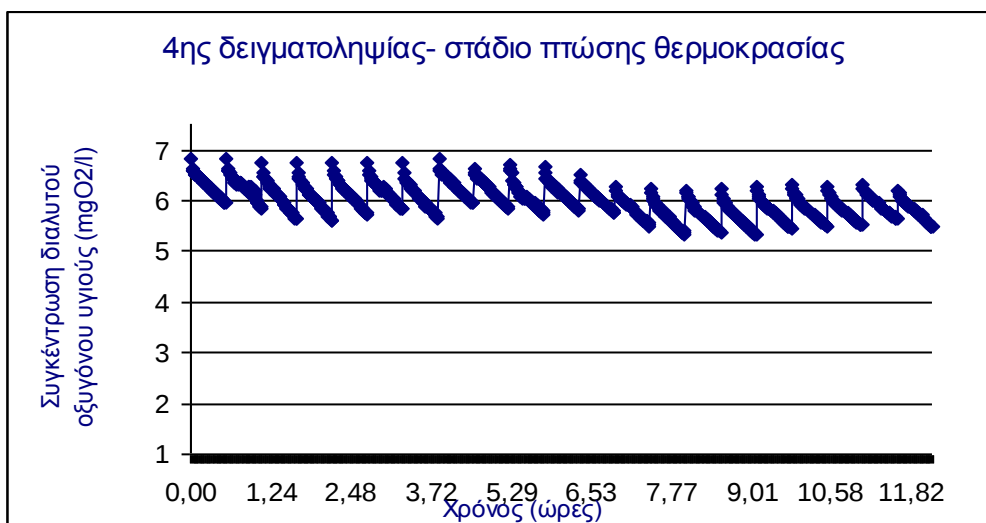
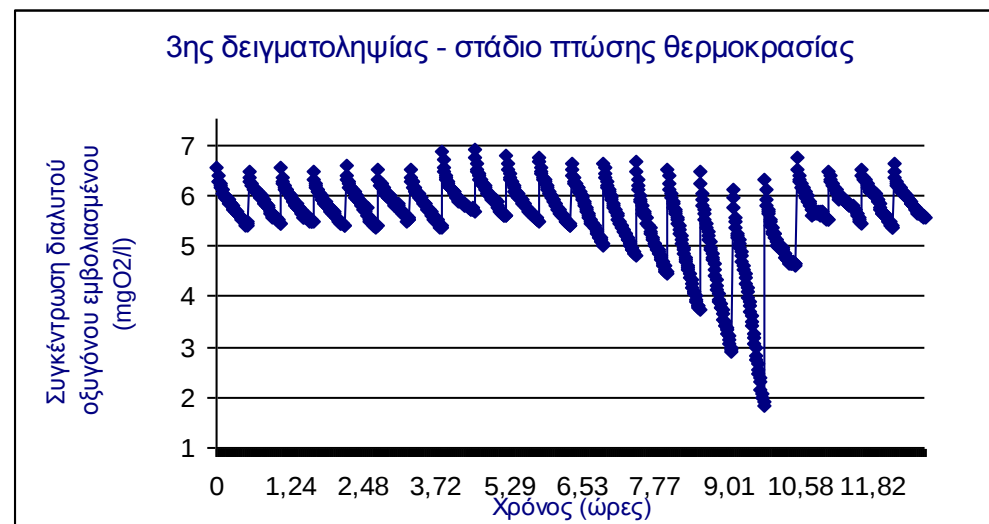
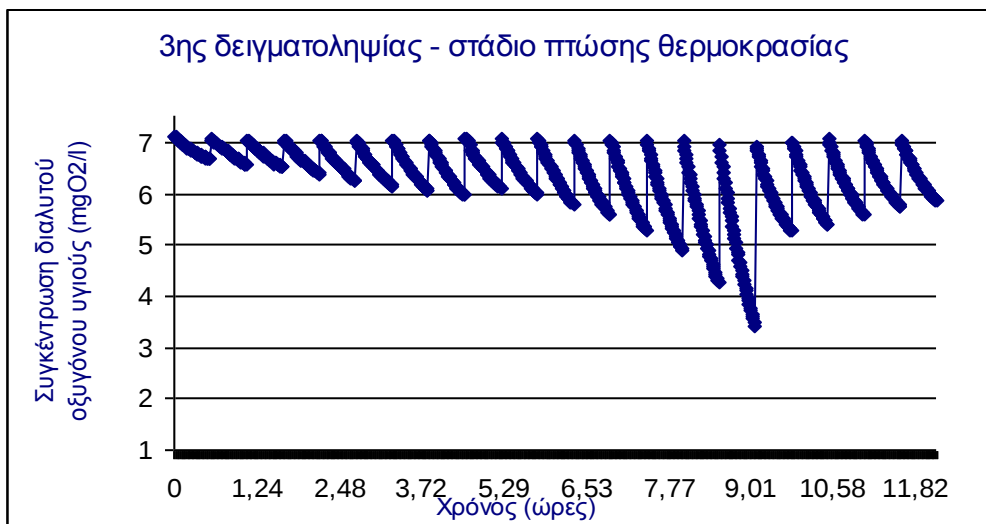
Διαγρ.8v-viii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε υγιές και εμβολιασμένο δείγμα



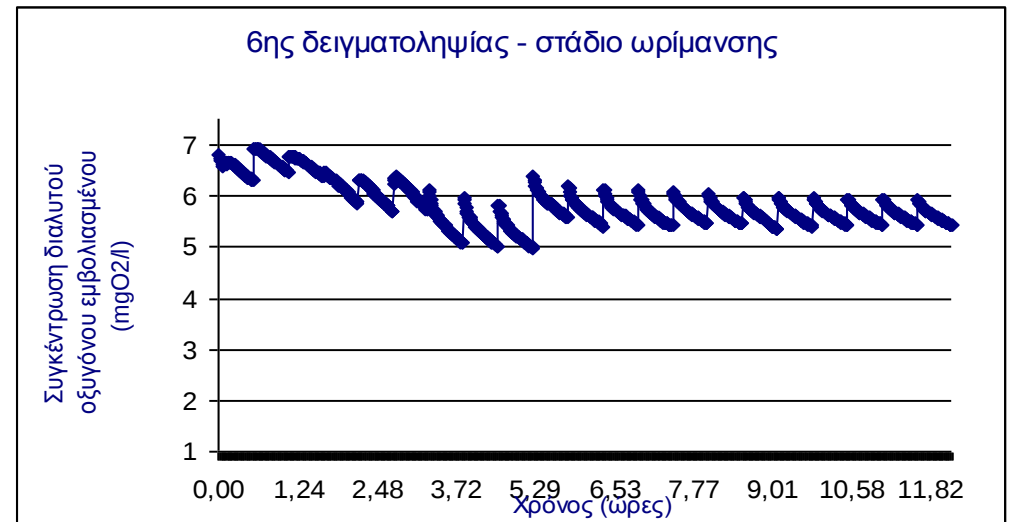
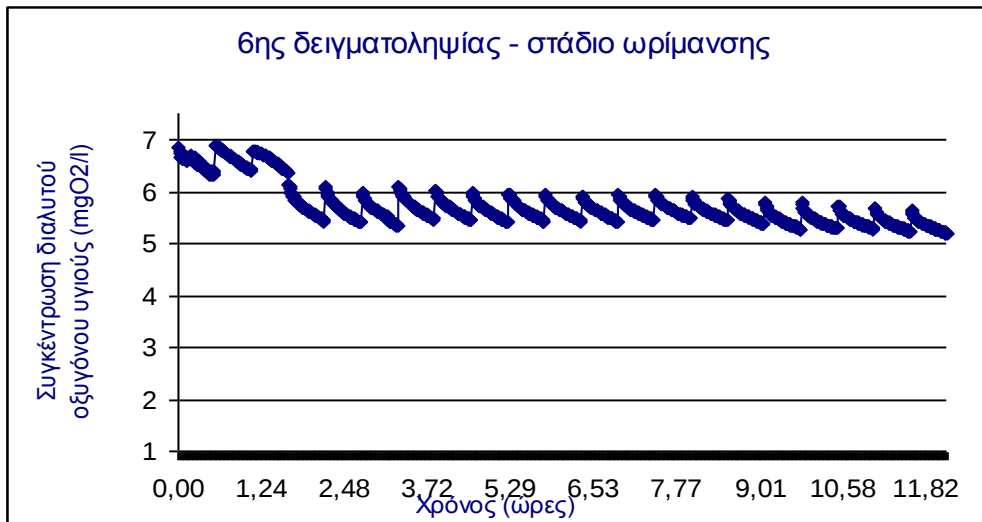
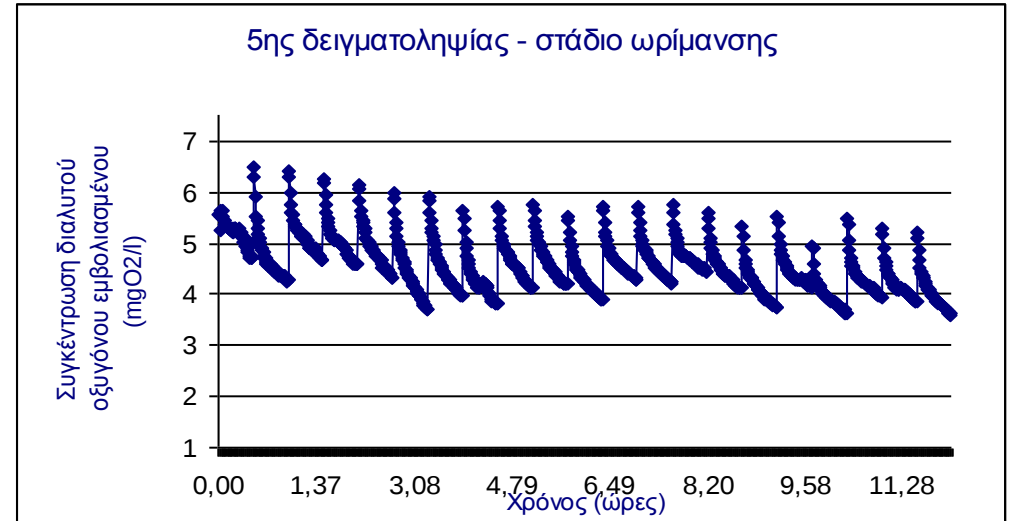
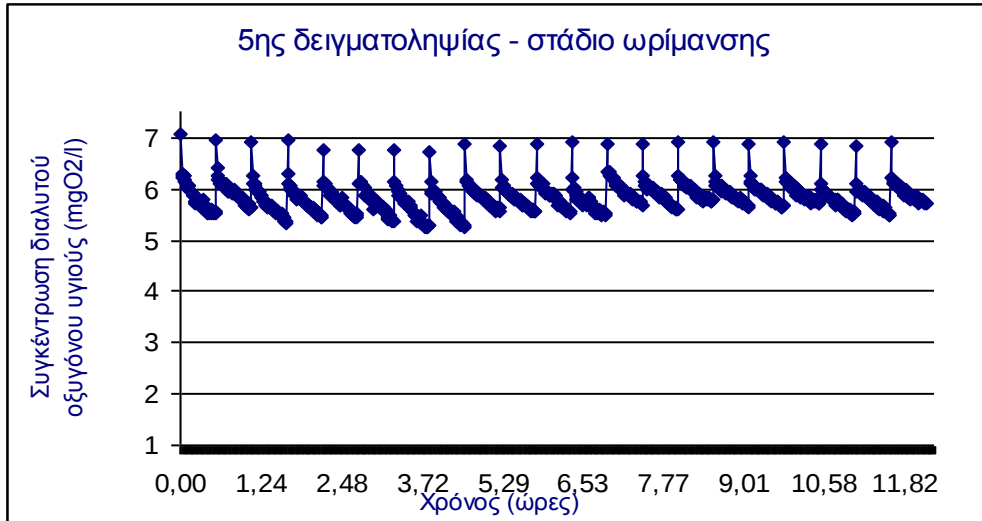
Διαγρ.8niv-xii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε υγιές και εμβολιασμένο δείγμα.



Διαγρ.9i-iv: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε υγρές και εμβολιασμένο δείγμα.



Διαγρ.9v-viii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε υγρές και εμβολιασμένο δείγμα.



Διαγρ.9vii-xii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε υγρές και εμβολιασμένο δείγμα.

πρώτες δειγματοληψίες οι καμπύλες του DO₁₂ φαίνεται να συμφωνούν με τη καμπύλη των Lasaridi & Stentiford (1998) για το χρονικό διάστημα των 12 πρώτων ωρών. Να επισημανθεί ότι στη παρούσα έρευνα υπήρξε καταγραφή του DO₁₂ για 20 ώρες για κάθε δείγμα των δειγματοληψιών, ωστόσο αποτελέσματα παρουσιάστηκαν μόνο για τις πρώτες 12 ώρες λόγω πειραματικών σφαλμάτων, που προέκυψαν από την επαναλαμβανόμενη απορύθμιση του μαγνητικού αναδευτήρα.

6.3 Μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων και του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (SOUR) σε δείγματα των εγχώριων μονάδων παραγωγής κόμποστ

Για τη μελέτη των 10 δειγμάτων που συλλέχθηκαν από τις μονάδες παραγωγής κόμποστ της Κρήτης, του Νομού Ηλείας και της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε και από 1 επαναληπτική μέτρηση για κάθε δείγμα. Μετρήθηκαν το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, ο μέσος όρος της υγρασίας και οι δείκτες DO₁₂ και SOUR. Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν στον συνοπτικό πίνακα στο Παράρτημα 2.

Στα **Διαγρ.9i-xx** και **Διαγρ.10i-xx** έχουν ομαδοποιηθεί με τέτοιο τρόπο τα δείγματα, ώστε να γίνεται ευκολότερη η σύγκριση μεταξύ των παρόμοιων τους φυσικοχημικών χαρακτηριστικών. Ειδικότερα, τα δείγματα 1 και 2 εμφανίζουν παρόμοια κατανάλωση σε οξυγόνο με ένα εύρος τιμών SOUR από 0,41-0,95 mg O₂/g VS/hr και 0,82-1,43 mg O₂/g VS/hr αντίστοιχα, DO₁₂ από 5,5-6,8 mg O₂/l και τιμές pH από 7,28-7,67. Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός κατανάλωσης για το δείγμα 1 μετρήθηκε στις πρώτες 6 ώρες με τιμή 0.95 mg O₂/g VS/hr και στην επαναληπτική μέτρηση σε 0,81 mg O₂/g VS/hr. Ενώ, για το δείγμα 2 μετρήθηκε στις πρώτες 4 ώρες με τιμή 1,12 mg O₂/g VS/hr και στην επαναληπτική μέτρηση σε 1,43 mg O₂/g VS/hr. Οι διαφορές στις ιδιότητες τους εντοπίστηκαν στη μεγάλη απόκλιση του μέσου όρου της υγρασίας τους κατά βάρος σε ποσοστό 20% και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τους από 0,4-6,82 mS/cm, καθώς η σύσταση των αρχικών οργανικών υλικών ήταν διαφορετική. Για το δείγμα 2 πρέπει να επισημανθεί ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ξεπερνά σημαντικά το αποδεκτό όριο τιμών των Evanylo (2006), Kalamdhad & Kazmi (2009) και Singh *et al.* (2012) κάτω των 4 mS/cm, καθώς προτείνεται περαιτέρω ωρίμανση του ώστε να καταστεί ασφαλές για χρήση ως εδαφοβελτιωτικό.

Για τα δείγματα 3 και 4 ο δείκτης SOUR κυμαινόταν μεταξύ των 0,17-1,22 mg O₂/g VS/hr και 0,24-0,64 mg O₂/g VS/hr αντίστοιχα, DO₁₂ από 6,0-7,1 mg O₂/l και τιμές pH από 7,09-9,65. Η μέγιστη τιμή 1,22 mg O₂/g VS/hr για το δείγμα 3 μετρήθηκε στις πρώτες 7 ώρες, σε αντίθεση με την επαναληπτική που μετρήθηκε αρκετά νωρίτερα στις 2 πρώτες ώρες με τη τιμή 0,2 mg O₂/g VS/hr. Να σημειωθεί ότι για το δείγμα αυτό τα διαγράμματα SOUR συναρτήσει του χρόνου παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις στο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου και είναι πιθανόν να υπάρχει πειραματικό σφάλμα κατά τη καταγραφή των μετρήσεων. Αυτές οι αποκλίσεις είναι ακόμη πιο ξεκάθαρες στις καμπύλες DO₁₂ των **Διαγρ.11v-vi**. Αντίθετα, για το δείγμα 4 δεν σημειώθηκαν ιδιαίτερες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών SOUR και DO₁₂, καταγράφοντας τη μέγιστη τιμή 0,64 mg O₂/g VS/hr στις πρώτες 3,5 ώρες και τη επαναληπτική τιμή 0,61 mg O₂/g VS/hr. Μικρές οι διαφορές του μέσου όρου της υγρασίας τους με απόκλιση περίπου 6% και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τους από 0,9 σε 2,6 mS/cm, καθώς η σύσταση των αρχικών οργανικών υλικών ήταν καθαρά φυτική σε περιεκτικότητα 100%.

Για τα δείγματα 5 και 6 ο δείκτης SOUR κυμαινόταν μεταξύ των 0,32-2,61 mg O₂/g VS/hr και 0,77-2,82 mg O₂/g VS/hr αντίστοιχα, DO₁₂ από 6,25-7,25 mg O₂/l και τιμές pH από 8,98-9,54. Η μέγιστη τιμή 1,67 mg O₂/g VS/hr για το δείγμα 5 μετρήθηκε στη πρώτη 1,5 ώρα και στην επαναληπτική με 2,61 mg O₂/g VS/hr. Για το δείγμα αυτό τα διαγράμματα SOUR και DO₁₂ συναρτήσει του χρόνου δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις κατά το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου, με εξαίρεση την απόκλιση στις τιμές των μέγιστων τιμών (**Διαγρ.11viv-x**). Αντίθετα, για το δείγμα 6 σημειώθηκαν ιδιαίτερες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών SOUR και DO₁₂, καταγράφοντας τη μέγιστη τιμή 2,41 mg O₂/g VS/hr και τη επαναληπτική τιμή 2,82 mg O₂/g VS/hr στις πρώτες 5,3 ώρες. Παρατηρήθηκαν διαφορές στο δείκτη DO₁₂ (**Διαγρ.11xi-xii**), στο μέσο όρο της υγρασίας τους με απόκλιση περίπου 21% και στη σύσταση των αρχικών οργανικών υλικών. Η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα ωστόσο ήταν παραπλήσια, με τιμή 1,0 mS/cm για το Δείγμα 5 και 1,2 mS/cm για το άλλο.

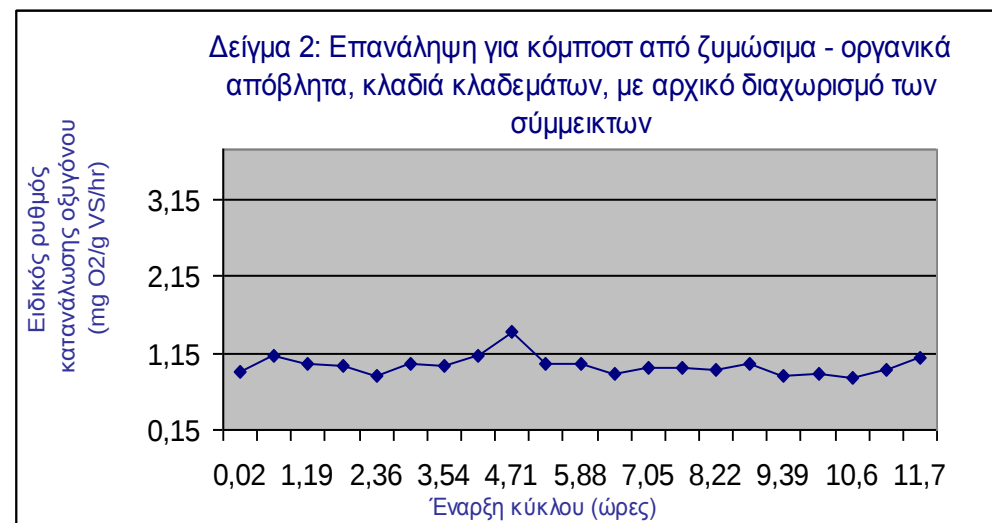
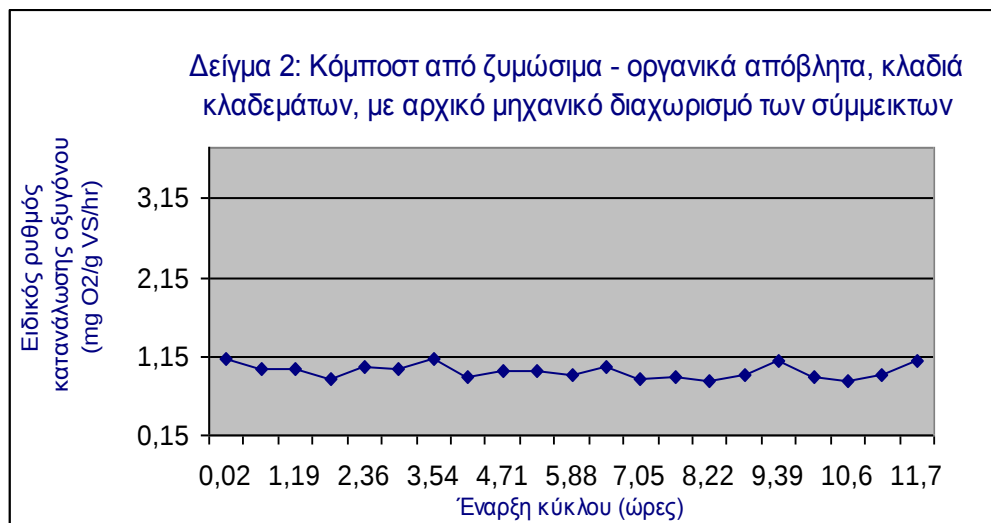
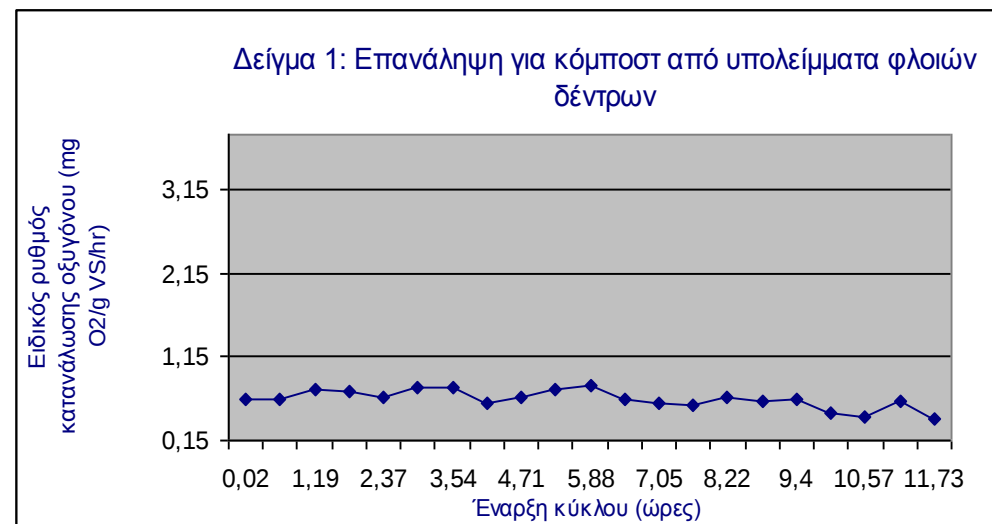
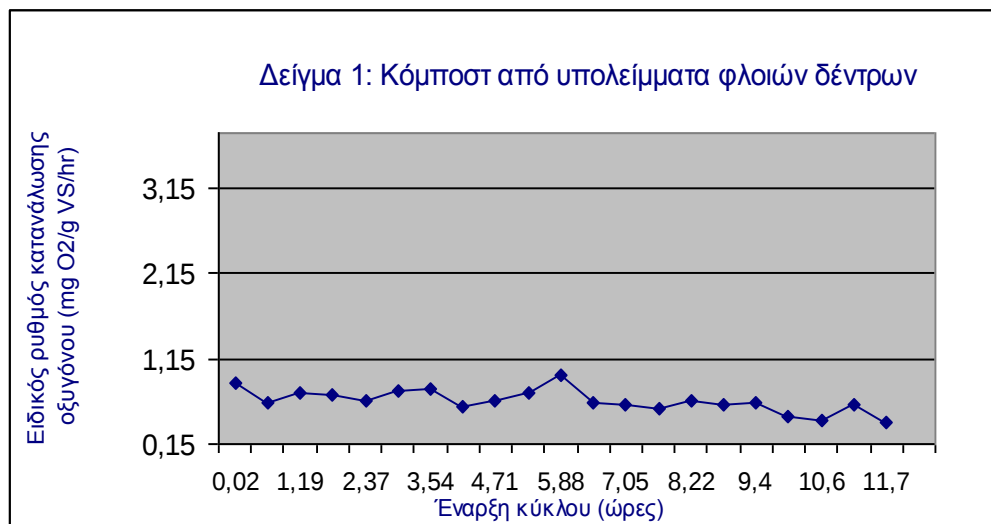
Στη συνέχεια, στα δείγματα 7 και 8 ο δείκτης SOUR βρισκόταν μεταξύ των 0,20-0,85 mg O₂/g VS/hr και 0,37-3,71 mg O₂/g VS/hr αντίστοιχα, DO₁₂ από 5,2-7,0 mg O₂/l και τιμές pH από 8,24-9,09. Καταγράφηκε η μέγιστη τιμή 0,85 mg O₂/g VS/hr για το δείγμα 7 και στην επαναληπτική με 0,72 mg O₂/g VS/hr στις πρώτες 3,5 ώρες. Παράλληλα, για το δείγμα 8 σημειώθηκαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών SOUR, καταγράφοντας τη μέγιστη τιμή 2,89 mg O₂/g VS/hr και τη επαναληπτική τιμή 3,71 mg O₂/g VS/hr στις

πρώτες 10 ώρες. Διαφορές παρατηρήθηκαν και στους δείκτες SOUR και DO₁₂ (**Διαγρ.11xiii-xvi**), στο μέσο όρο της υγρασίας τους με απόκλιση περίπου 22%, ενώ η σύσταση των αρχικών οργανικών υλικών ήταν παρόμοια και καθαρά ζωικής προελεύσεως. Η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα ωστόσο δεν ήταν παραπλήσια, με τιμή 3,4 mS/cm για το δείγμα 7 και 2,5 mS/cm για το άλλο.

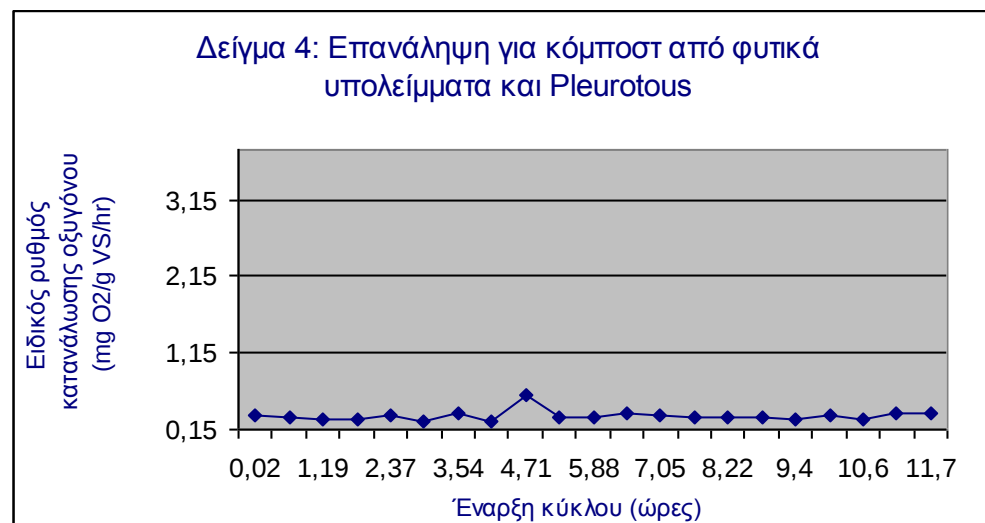
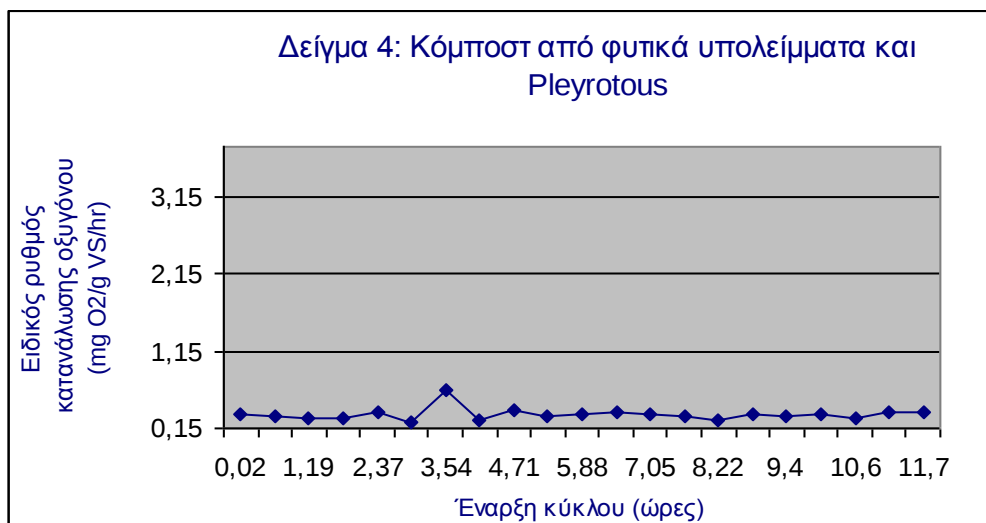
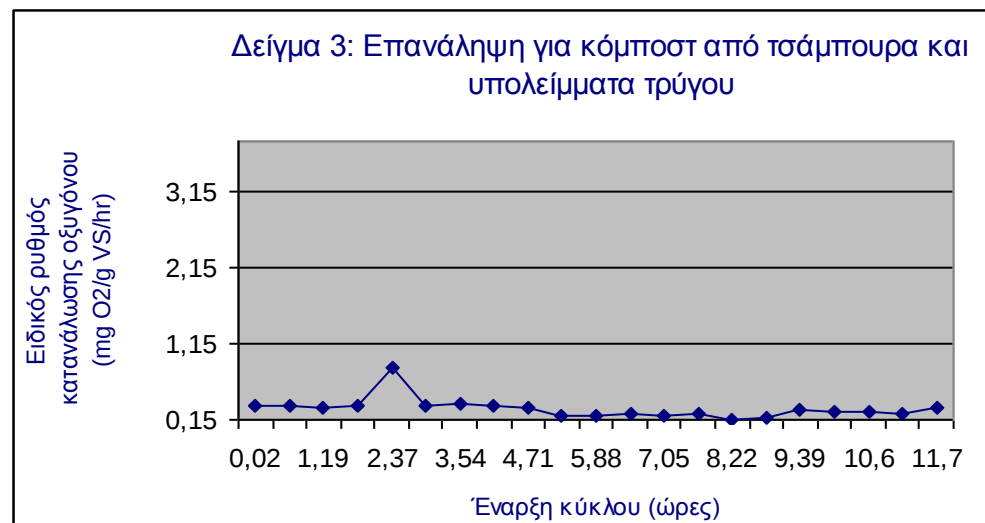
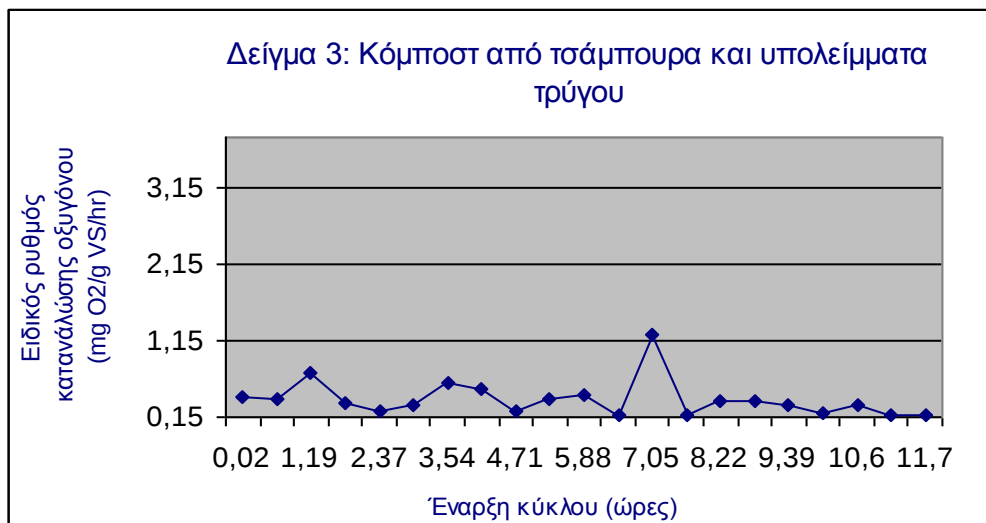
Τέλος, για τα δείγματα 9 και 10 ο δείκτης SOUR βρισκόταν μεταξύ των 0,21-0,91 mg O₂/g VS/hr και 0,23-0,82 mg O₂/g VS/hr αντίστοιχα, DO₁₂ από 2,7-7,0 mg O₂/l και τιμές pH από 8,45-9,28. Καταγράφηκε η μέγιστη τιμή 0,91 mg O₂/g VS/hr για το Δείγμα 9 και η επαναληπτική με 0,89 mg O₂/g VS/hr στις πρώτες 7,5 ώρες με αποκλίσεις γενικότερα μεταξύ των τιμών του SOUR. Παράλληλα, για το Δείγμα 10 σημειώθηκε η μέγιστη τιμή 0,82 mg O₂/g VS/hr και η επαναληπτική τιμή 0,71 mg O₂/g VS/hr στις πρώτες 6 ώρες. Παρατηρήθηκαν διαφορές στους δείκτες SOUR και DO₁₂ (**Διαγρ.11xvii-xviii**), στο μέσο όρο της υγρασίας τους με απόκλιση περίπου 18%, ενώ η σύσταση των αρχικών οργανικών υλικών ήταν διαφορετική αλλά φυτικής προελεύσεως. Στα **Διαγρ.11xviii-xx** διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις του δείκτη DO₁₂ για το δείγμα 10 ήταν οι χαμηλότερες (2,7-4,50 mg O₂/l) σε σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα δείγματα της αγοράς. Η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα ωστόσο ήταν παραπλήσια, με τιμή 1,6 mS/cm για το δείγμα 9 και 1,1 mS/cm για το δείγμα 10.

Να σημειωθεί ότι οι τάσεις των διακυμάνσεων του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου και της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου ήταν σχεδόν πανομοιότυπες σε όλα τα εγχώρια δείγματα κόμποστ που μελετήθηκαν. Ειδικότερα όμως, οι καμπύλες του SOUR των δειγμάτων 1, 2, 3, 4, 7, 9 και 10 δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές διατηρώντας τιμές κοντά στο επιθυμητό όριο του 1 mg O₂/g VS/hr, καθώς επίσης δε μεταβάλλονται ιδιαίτερα ούτε οι αντίστοιχες καμπύλες DO₁₂, γεγονός που υποδηλώνει έμμεσα ότι δεν υπάρχει έντονη μεταβολική δραστηριότητα και τα δείγματα τείνουν να είναι 'σταθερά'. Το δείγμα 3 αν και προέρχεται από οργανικά υπολείμματα της τρυγίσιμης περιόδου, δε φαίνεται τελικά να έχει ανεπιθύμητες τιμές SOUR για εδαφοβελτιωτική χρήση, όπως αναφέρουν οι Paradelo *et al.* (2012) για ορισμένες περιπτώσεις κόμποστ από σταφύλια που εμφανίζουν αυξημένα οργανικά οξέα και αιθανόλη.

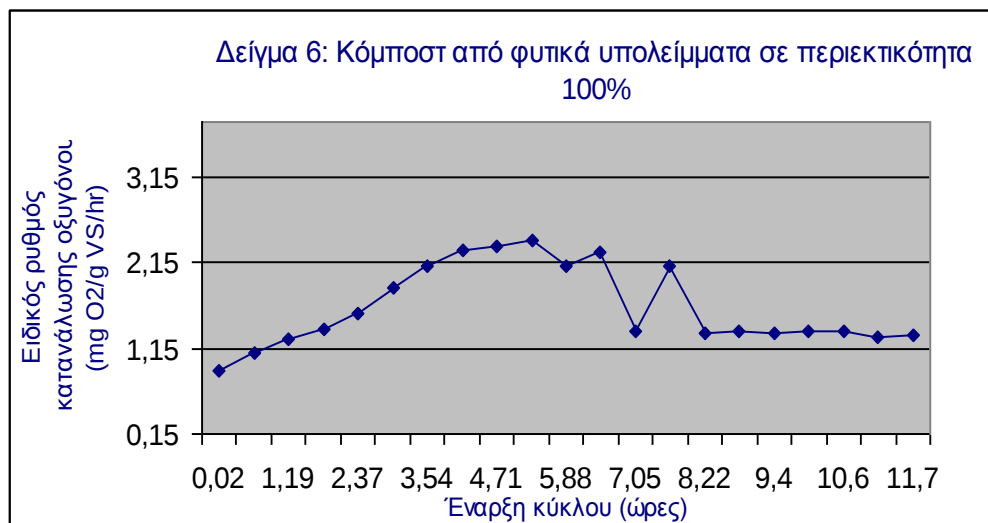
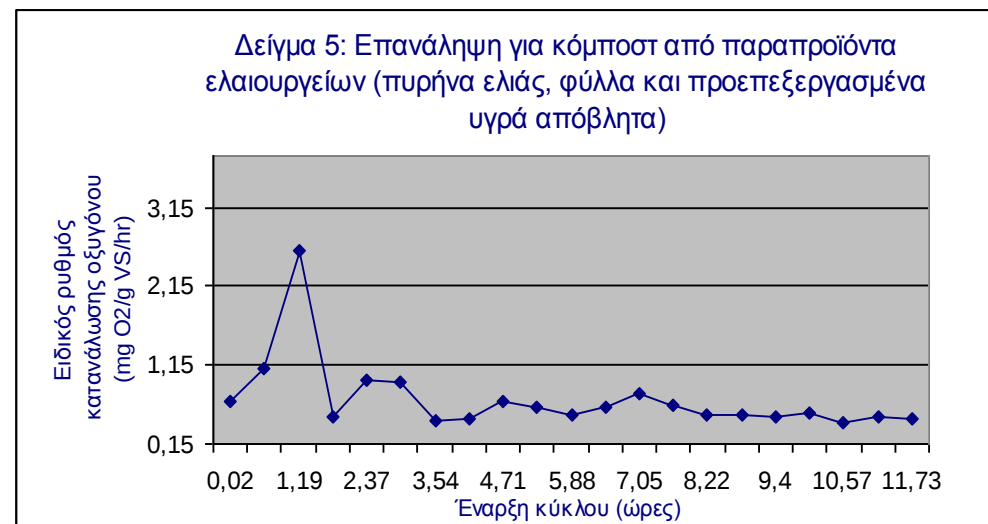
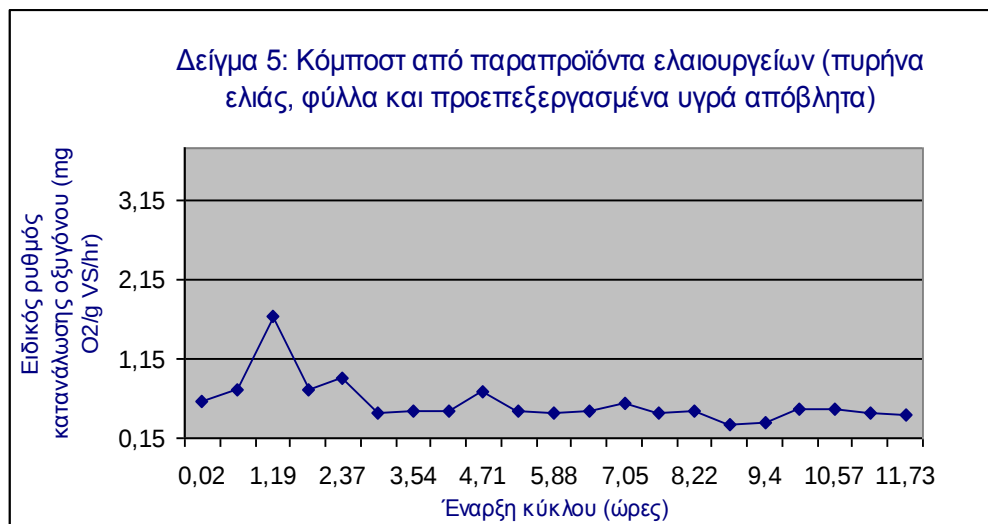
Αντιθέτως τα δείγματα 5, 6 και 8 εμφανίζουν ιδιαίτερα αυξημένους ειδικούς ρυθμούς κατανάλωσης με τιμές άνω του 1 mg O₂/g VS/hr και έντονες διακυμάνσεις στις τιμές DO₁₂ τους, συνεπώς υπάρχει έντονη μικροβιακή δραστηριότητα και πιθανότατα πρόκειται για μη σταθεροποιημένα κόμποστ (Lasaridi & Stentiford, 1998).



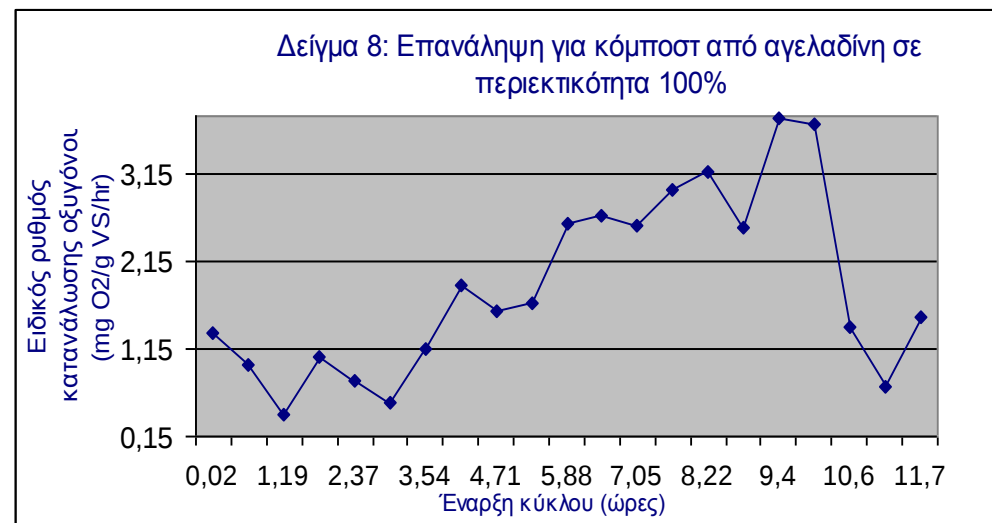
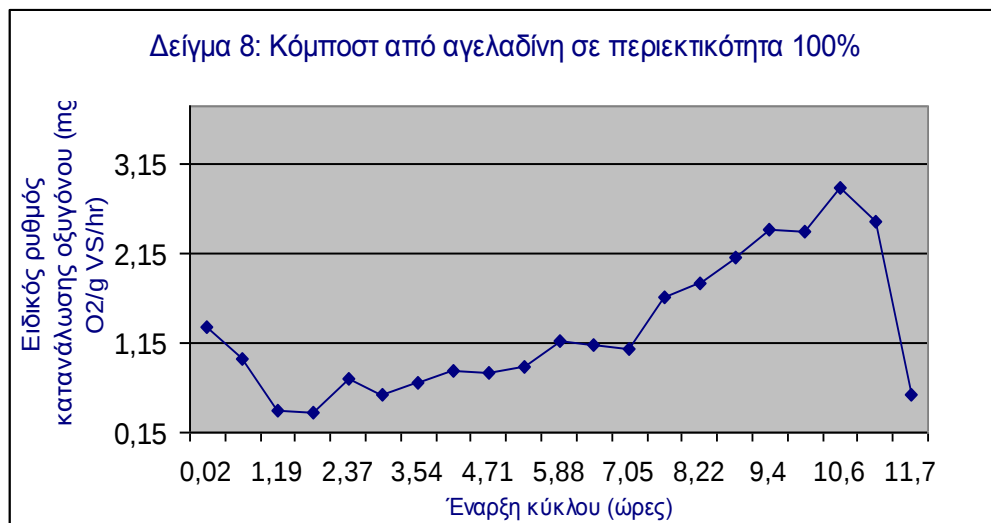
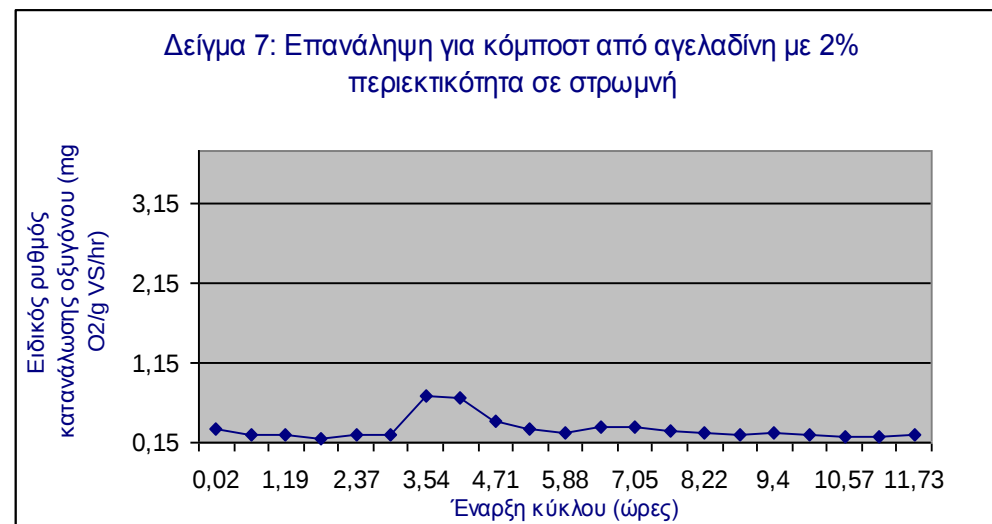
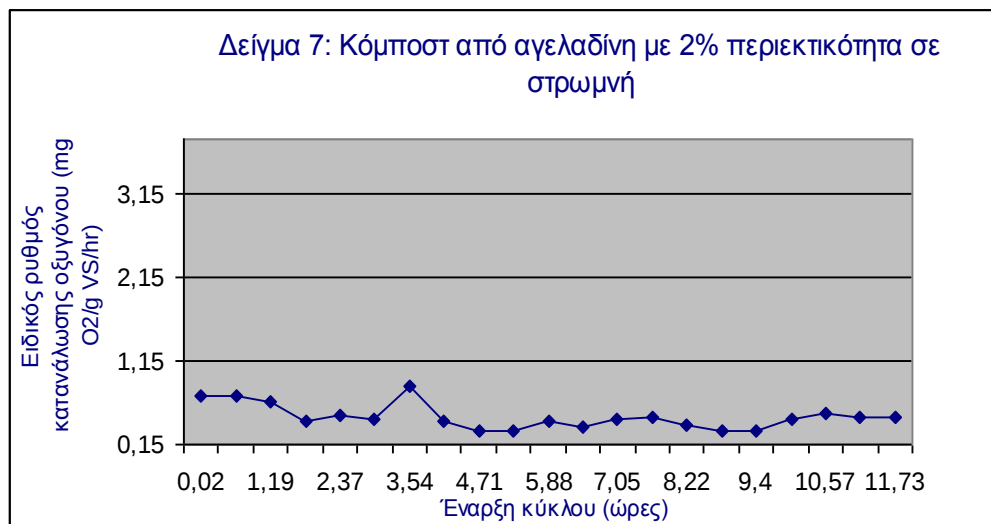
Διαγρ.10i-iv: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



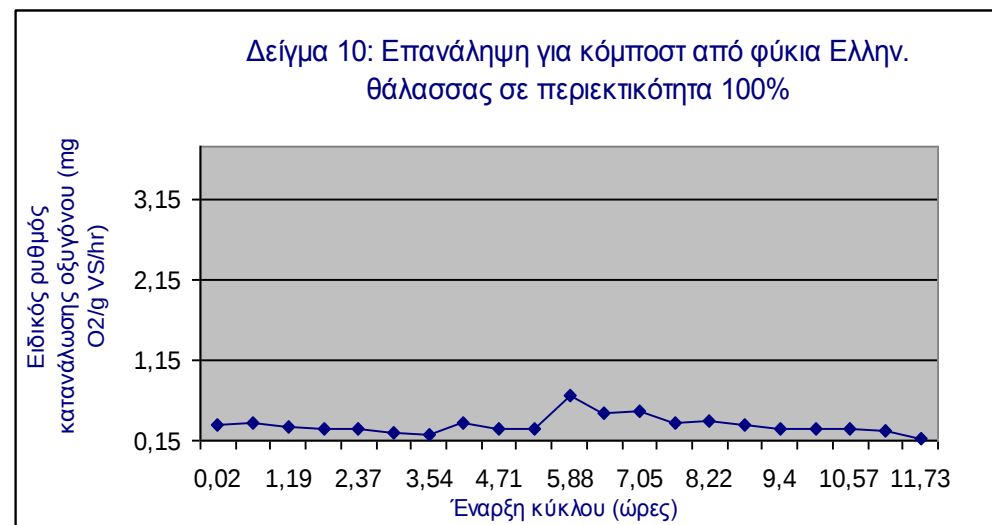
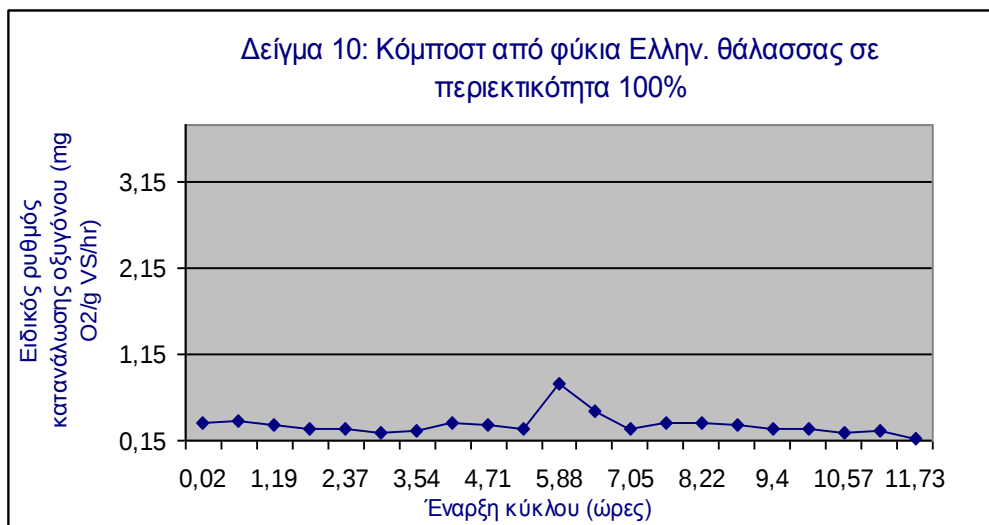
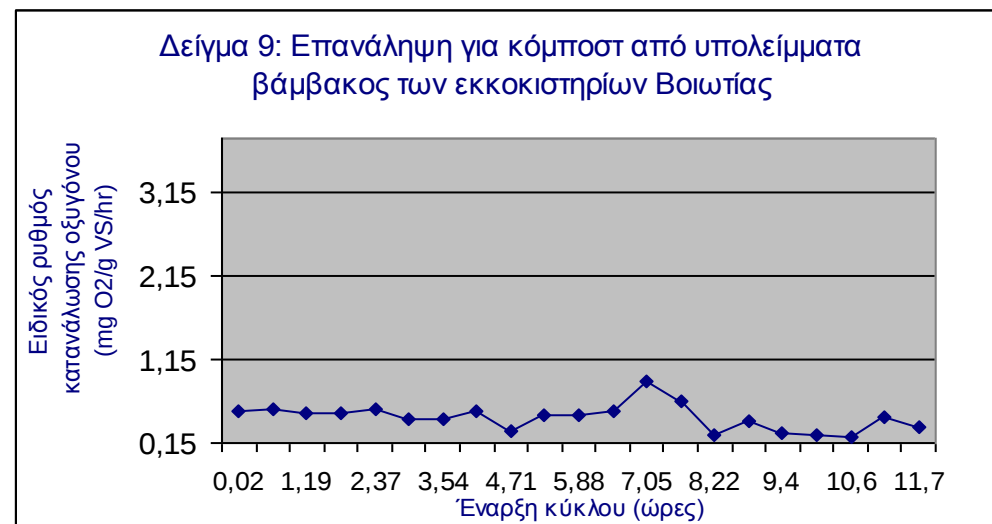
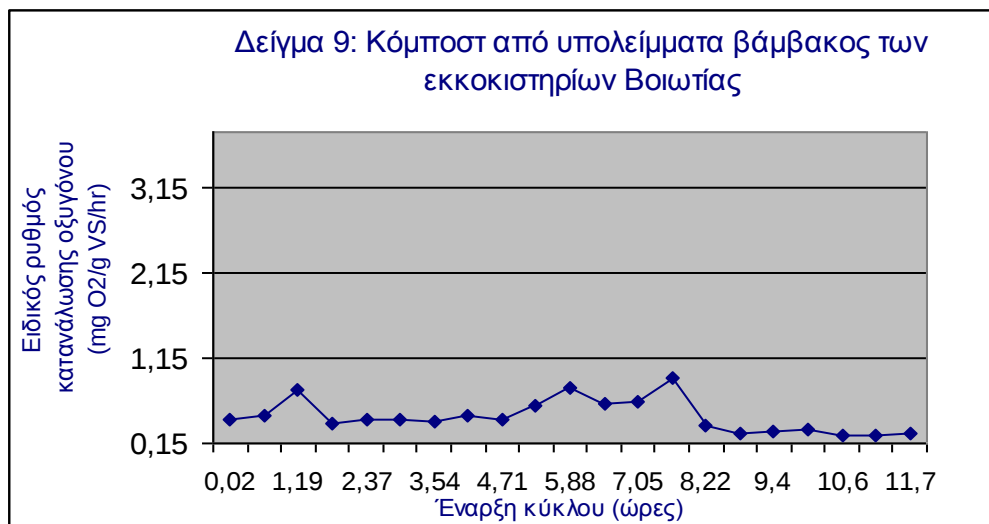
Διαγρ.10v-viii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



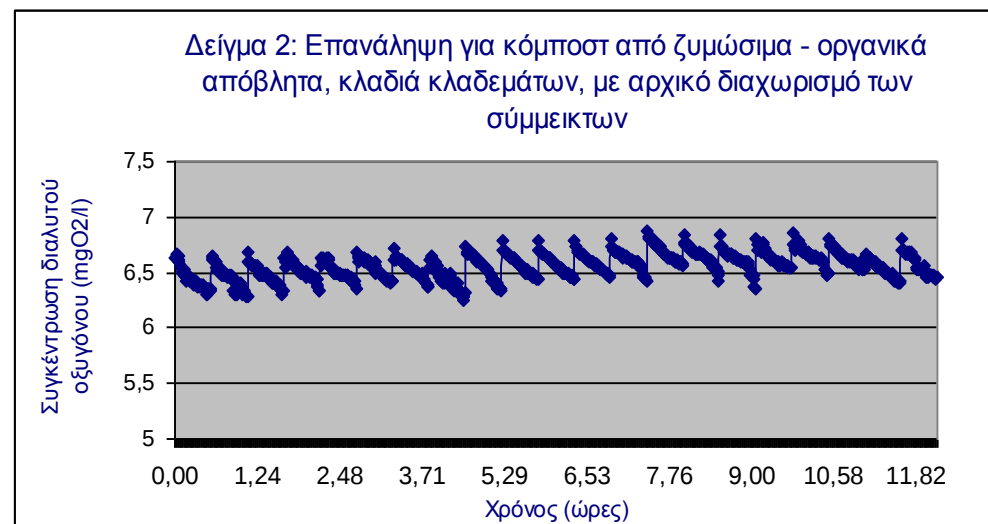
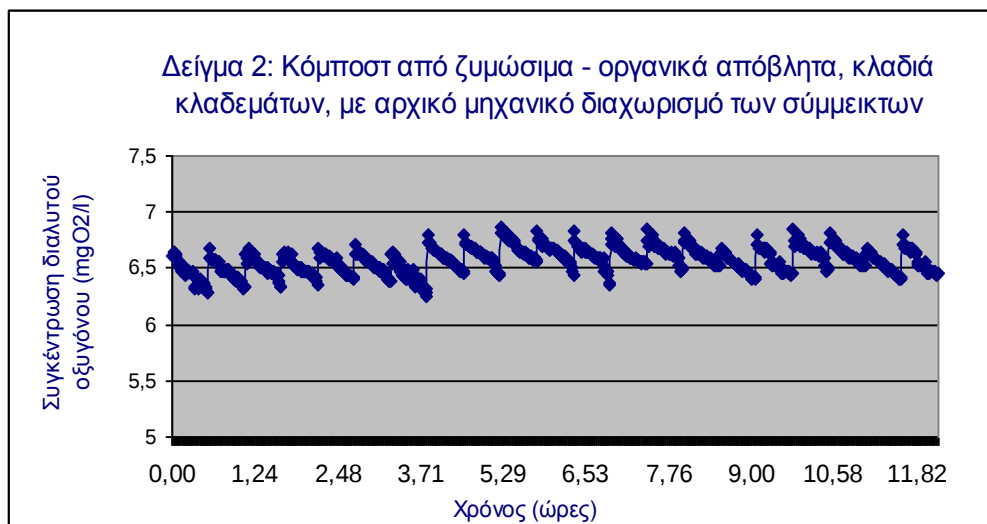
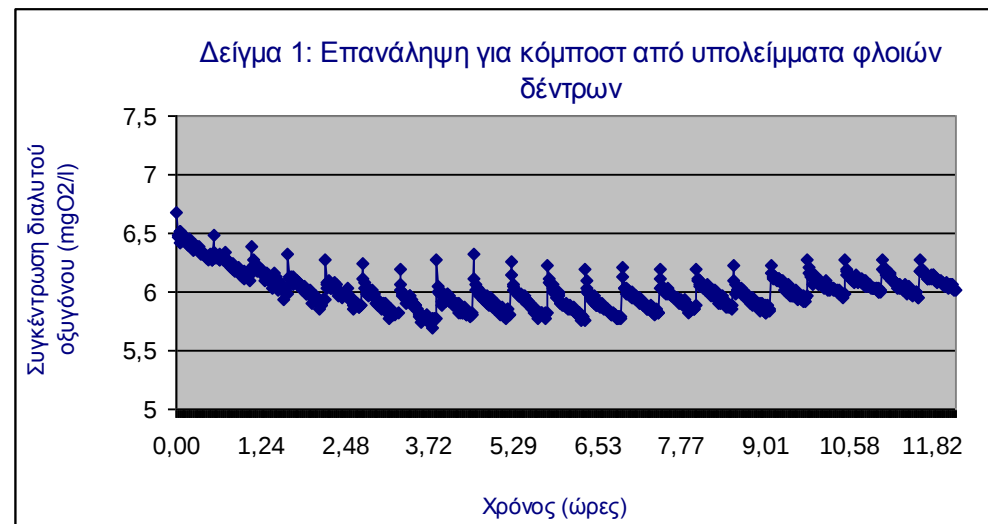
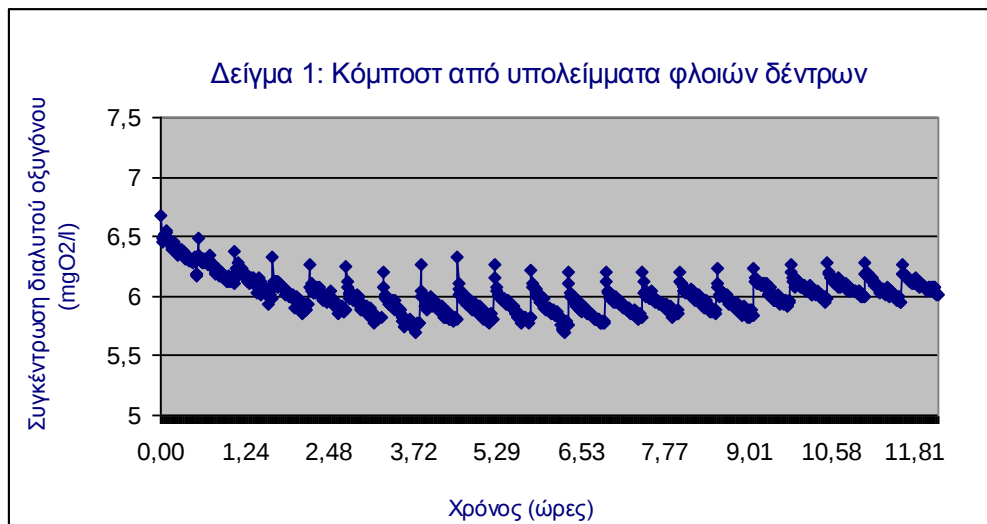
Διαγρ.10iv-xii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



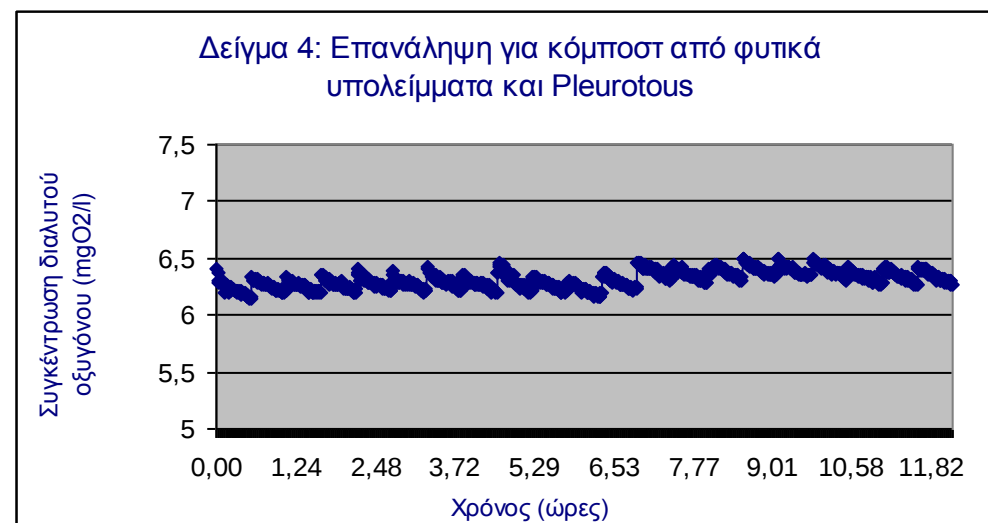
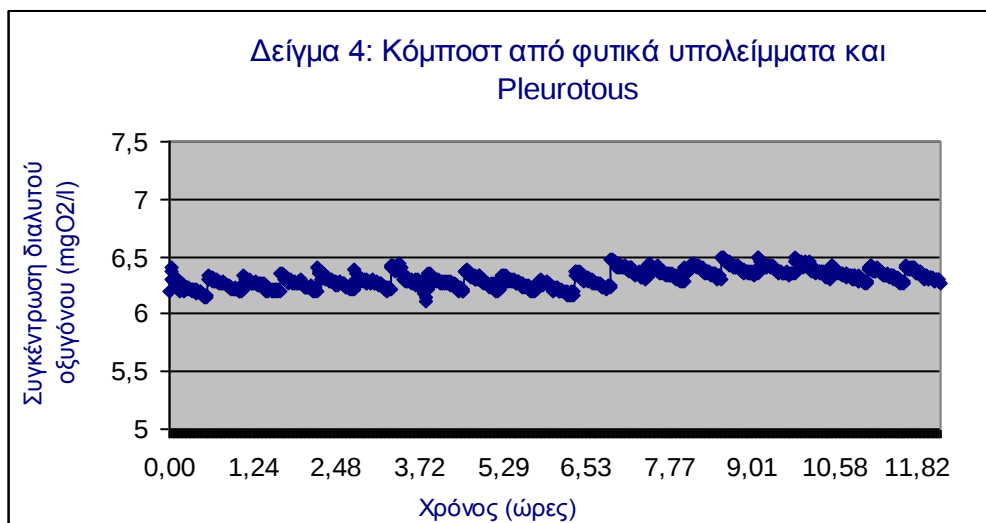
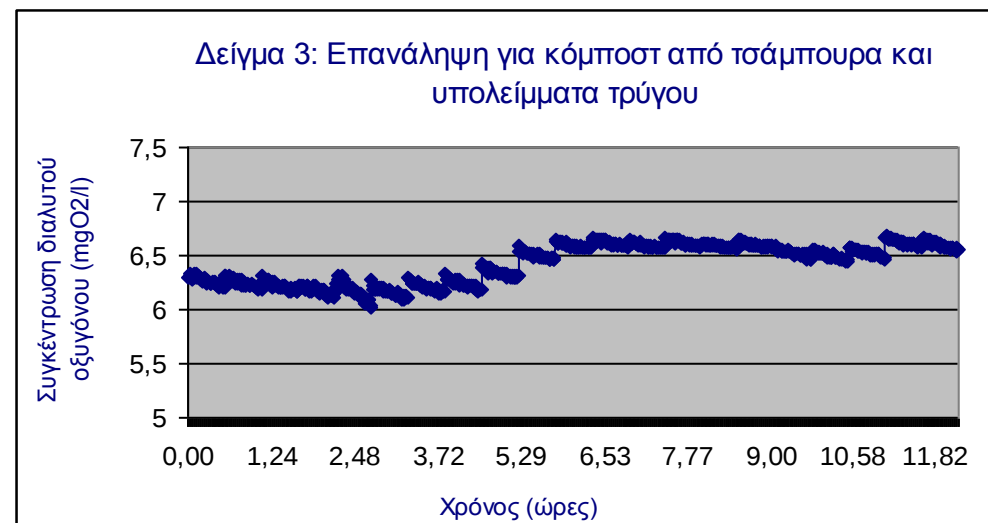
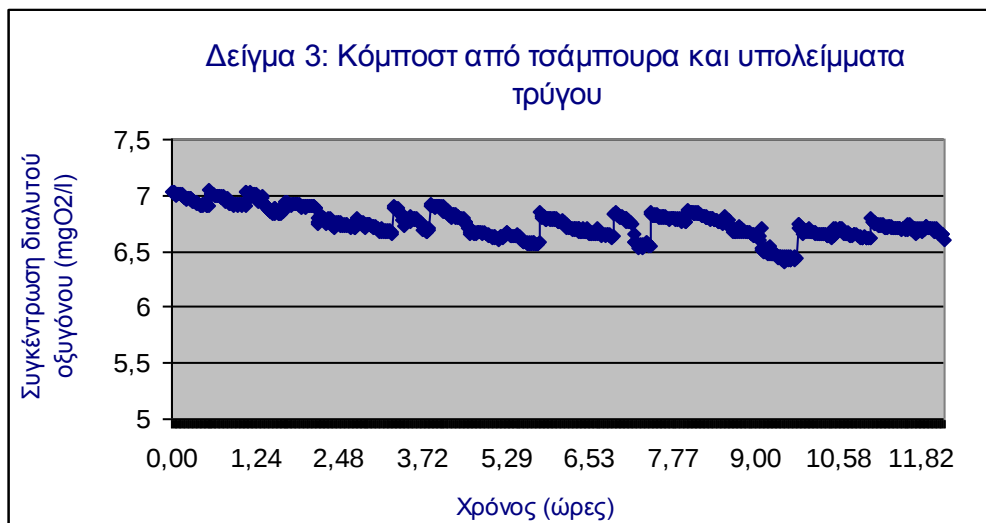
Διαγρ.10xiii-xvi: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



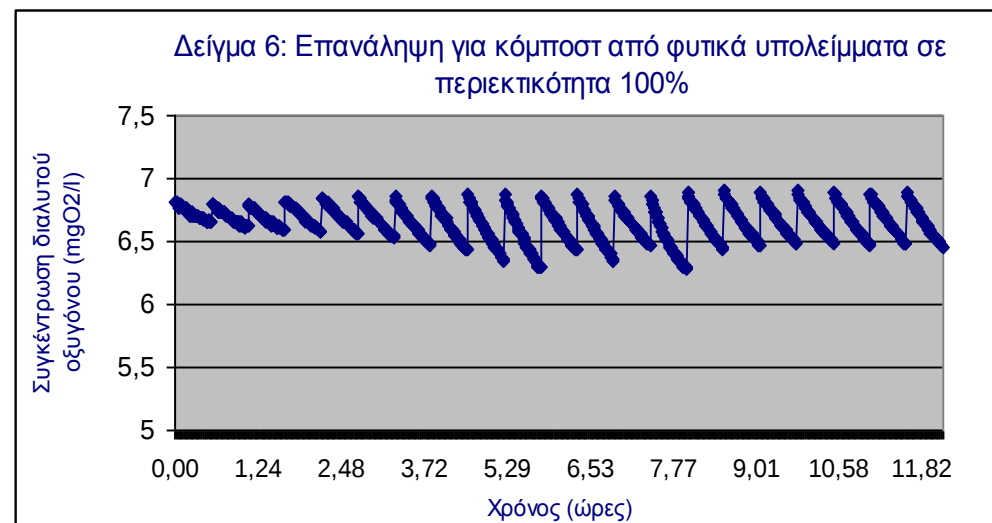
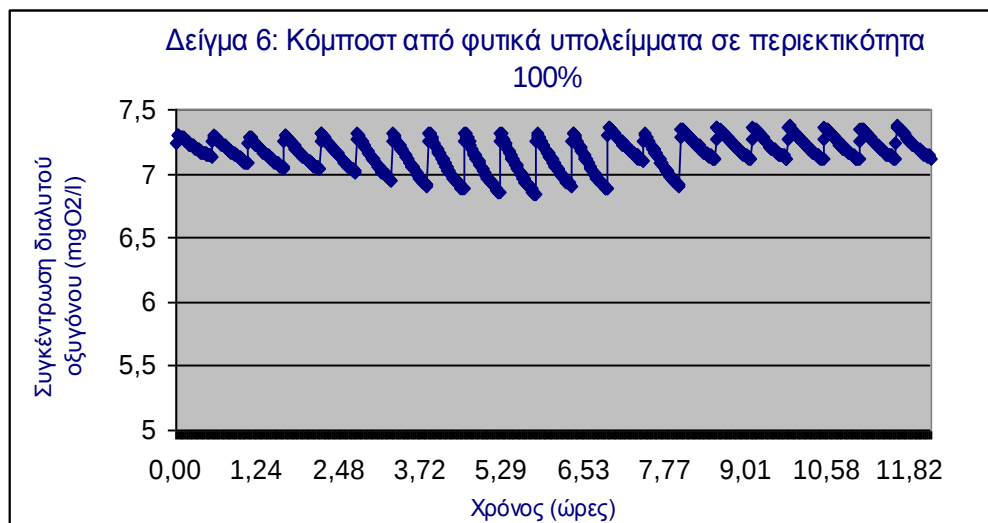
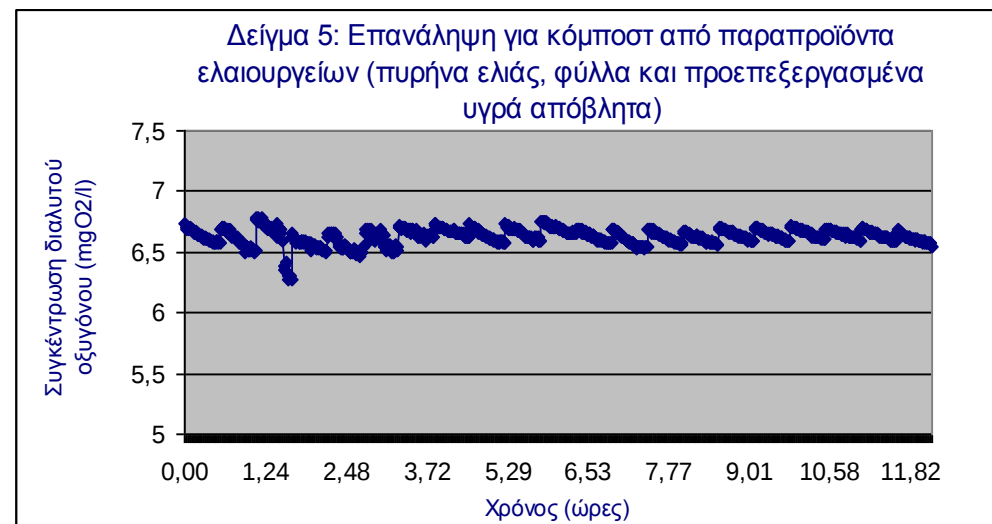
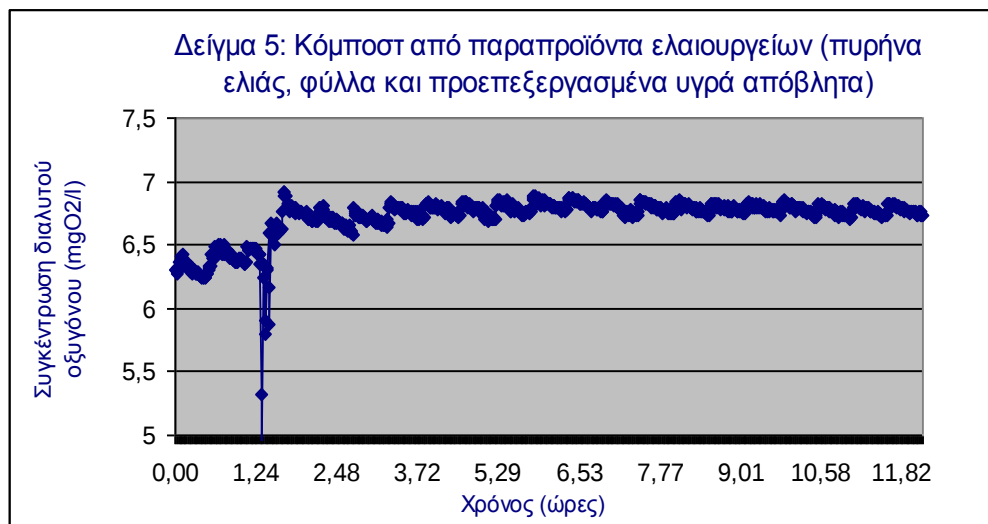
Διαγρ.10xvii-xx: Γραφική παράσταση της διακύμανσης του Ειδικού Ρυθμού Κατανάλωσης Οξυγόνου (σε mg O₂/g VS/hr) συναρτήσει του χρόνου (ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



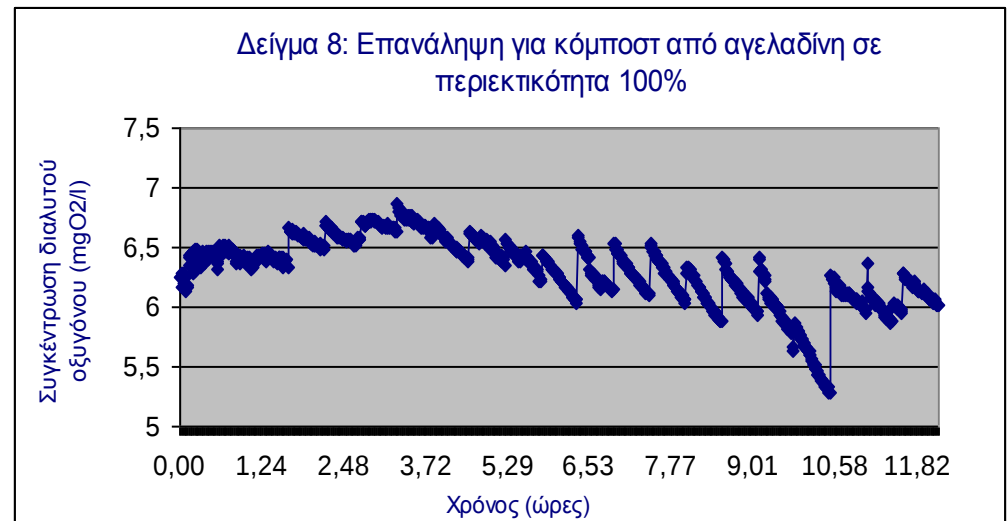
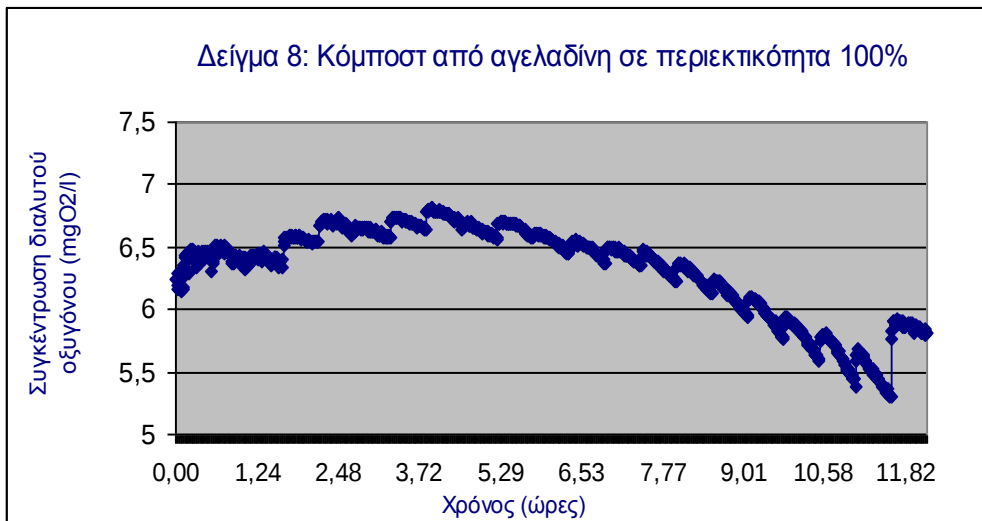
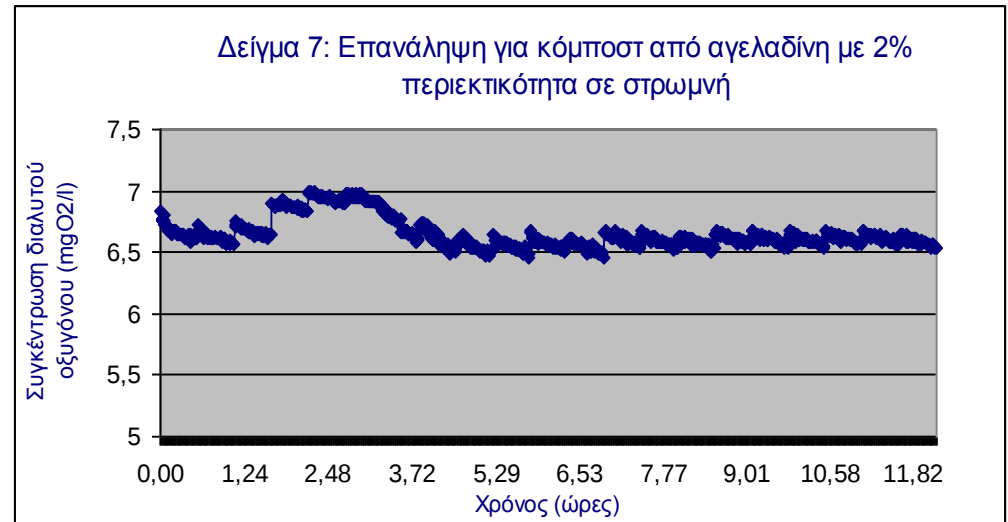
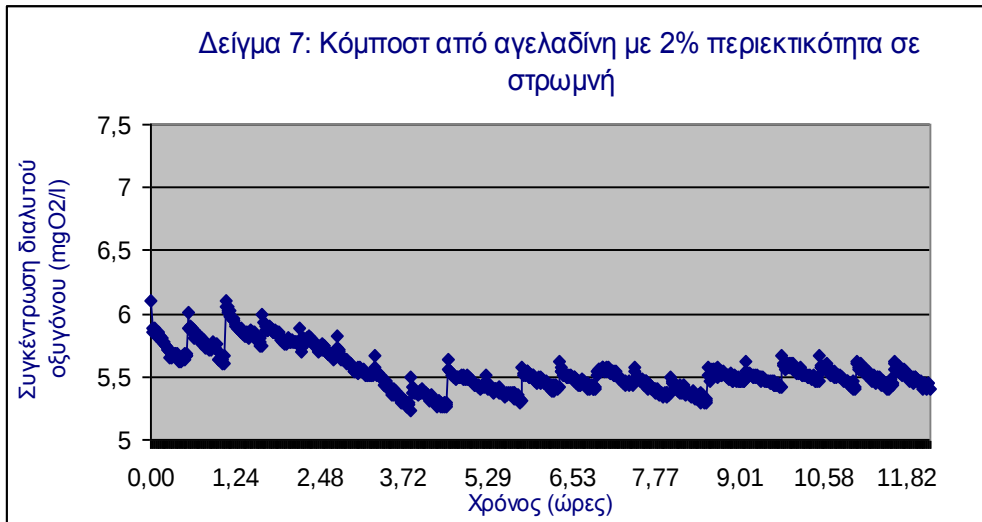
Διαγρ.11i-iv: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



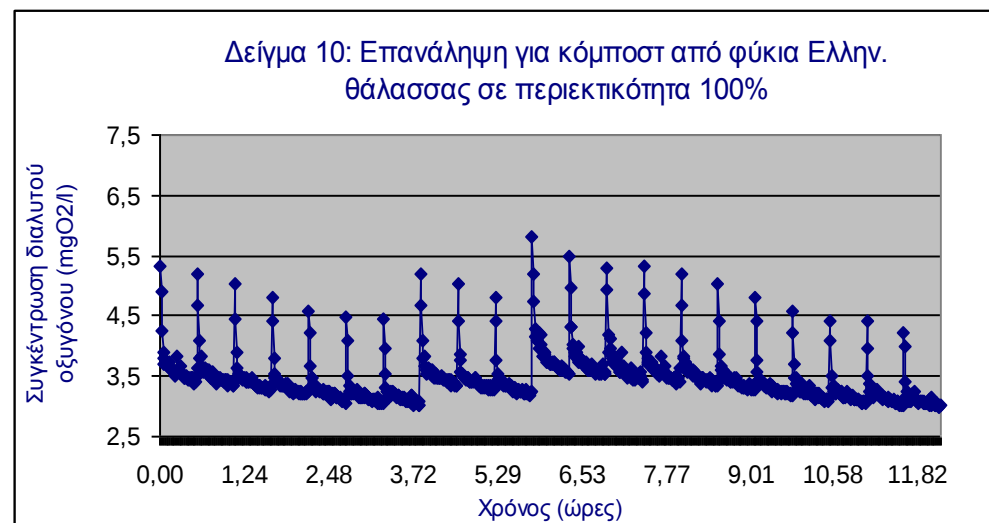
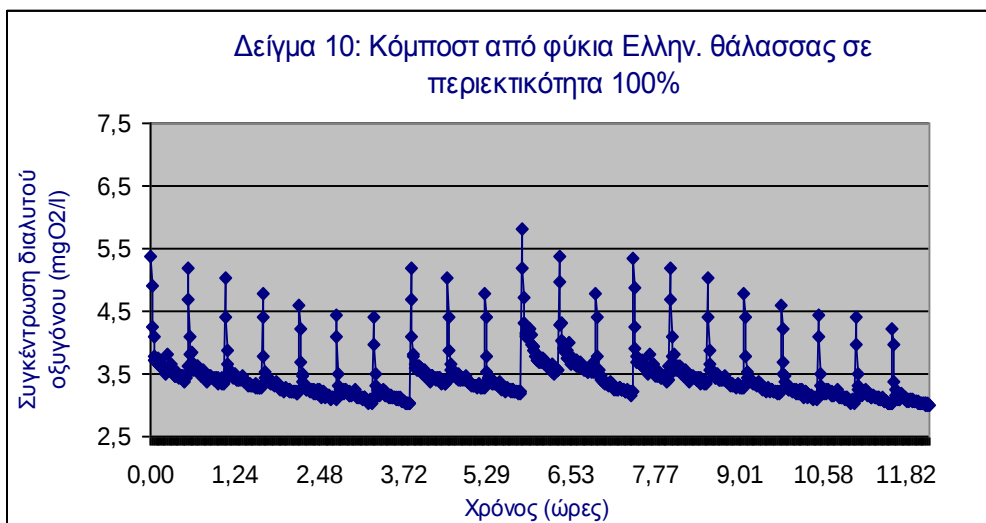
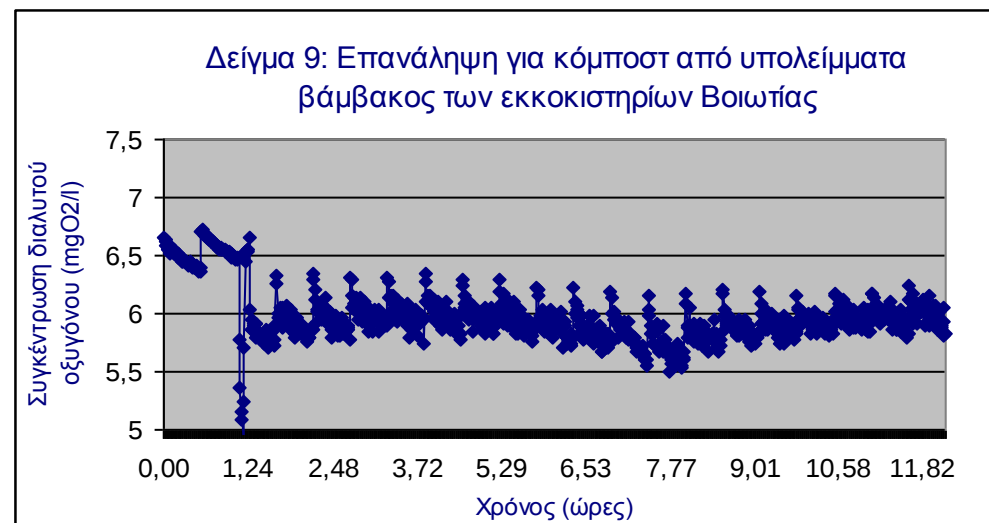
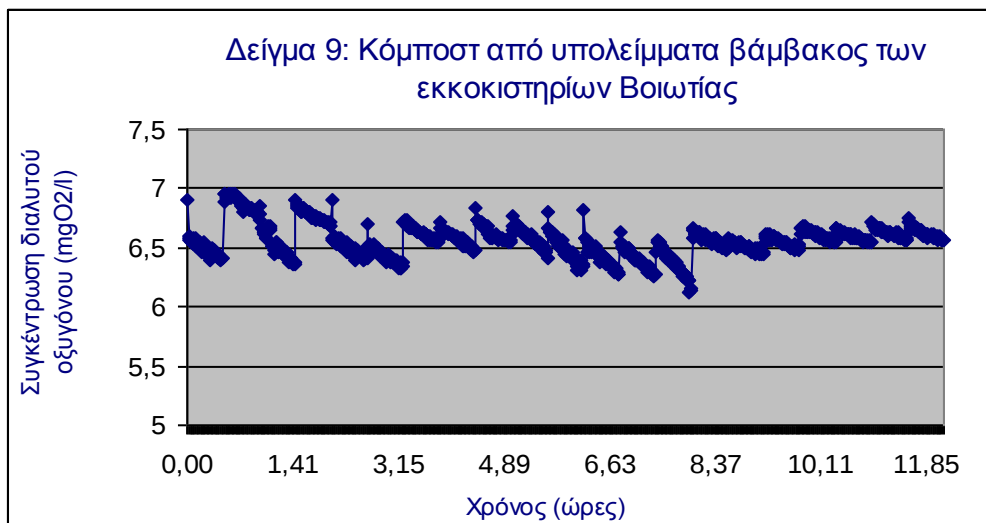
Διαγρ.11v-viii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



Διαγρ.11iv-xii: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



Διαγρ.11xiii-xvi: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.



Διαγρ.11xvii-xx: Γραφική παράσταση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου (σε mg O₂/ l) συναρτήσει του χρόνου καταγραφής (σε ώρες) σε δείγματα κόμποστ της αγοράς.

Δ' ΜΕΡΟΣ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κεφάλαιο 7^ο: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

1. Από το θερμοκρασιακό προφίλ της κομποστοποίησης που πραγματοποιήθηκε εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεσόφιλο στάδιο διήρκεσε μόλις 2 ημέρες (από την 27^η έως την 28^η Φεβρουαρίου 2013), ενώ η 1^η φάση του θερμόφιλου για 4 ημέρες (28^η Φεβρουαρίου έως 4^η Μαρτίου 2013) και η 2^η για 2 ημέρες (10^η έως 11^η Μαρτίου 2013). Το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας ή σταθεροποίησης διήρκεσε 16 ημέρες (5^η Μαρτίου έως 19^η Μαρτίου) και τέλος ο σωρός «εισήλθε» στο στάδιο της ωρίμανσης για 14 ημέρες.
2. Ο όγκος των αρχικών οργανικών οικιακών αποβλήτων μειώθηκε σημαντικά με τη πάροδο του χρόνου, ενισχύοντας τις ελπίδες για αποτελεσματική διαχείριση των οικιακών αποβλήτων μελλοντικά και ταυτόχρονα την ωφέλεια του παραγόμενου κόμποστ ως εδαφοβελτιωτικό.
3. Το pH, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα επίπεδα υγρασίας, τα πτητικά στερεά και το ποσοστό μείωσης των πτητικών, δεν ξεπέρασαν τα επιθυμητά όρια και στοιχεία όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία.
4. Οι τιμές του SOUR για το στάδιο της ωρίμανσης κυμαίνονταν από 2.14 έως 1.52 mg O₂/g VS/hr, γεγονός που σημαίνει ότι το κόμποστ δεν ήταν ακόμη 'σταθερό' και προτάθηκε περαιτέρω ωρίμανση του.
5. Για τα δείγματα των εγχώριων μονάδων παραγωγής κόμποστ οι φυσικοχημικές μετρήσεις ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια της διεθνούς βιβλιογραφίας, με εξαίρεση το ιδιαίτερα αυξημένο pH των δειγμάτων 3, 5, 8 και 10 και την αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα στο Δείγμα 2.
6. Τα δείγματα 1, 2, 3, 4, 7, 9 και 10 δεν παρουσίασαν μεγάλες μεταβολές στον ειδικό ρυθμό κατανάλωσης και διατηρούσαν τιμές κοντά στο επιθυμητό όριο του 1 mg O₂/g VS/hr. Επίσης, οι καμπύλες μεταβολής της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου δεν μεταβλήθηκαν ιδιαίτερα. Όλα αυτά συνηγορούν στο ότι δεν υπήρξε έντονη μεταβολική δραστηριότητα και τα δείγματα αυτά είναι 'σταθερά'.
7. Τέλος, τα δείγματα 5, 6 και 8 εμφάνισαν αρκετά αυξημένες τιμές SOUR άνω του 1 mg O₂/g VS/hr και έντονες μεταβολές στις αντίστοιχες καμπύλες DO₁₂, συνεπώς υπήρχε ακόμη μικροβιακή δραστηριότητα που κατανάλωνε μεγάλες ποσότητες οξυγόνου και άρα δεν αποτελούσαν ακόμη σταθερά κόμποστ.

Ε' ΜΕΡΟΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνικόγλωσση:

KYA 29407/3508/2002: «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων».

BPONTANHS, Π. και ΣΙΑ (2009): «Εγχειρίδιο Ανακύκλωσης Οργανικών Υλικών Παραγωγή Κομπόστας», ΟΙΚΙΑΚΗ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ Χρήση & Εφαρμογές: Συνήθη Υλικά, Εργαλεία, Συσκευές & Μηχανήματα, Αθήνα, σελ. 1-47.

ΛΑΖΑΡΙΔΗ, Κ. και ΧΑΡΙΤΟΠΟΥΛΟΥ, Ρ. (2001): «Πράσινα Απορρίμματα: Δυνατότητες και Προκλήσεις για την Τοπική Αυτοδιοίκηση», Δημερίδα και Εργασίες του Ανθρώπινου Δικτύου Διάδοσης της Ε&Τ Γνώσης «ΚΟΜΠΟΣΤ-NET» με την υποστήριξη της ΓΓΕΤ, Επιμέλεια: Λαζαρίδη, Κ. και Παυλόπουλος, Κ., «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, σελ. 71-83.

ΟΔΗΓΙΑ 1999/31/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ: «περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων», Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

ΟΔΗΓΙΑ 2008/98/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ: «για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών», Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Δ.Χ. (2007): «Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων», Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.

ΤΣΑΠΙΚΟΥΝΗΣ, Φ. (2002): «Ζιζάνια- Χρήσιμα Στοιχεία για την Βιολογία και Καταπολέμηση τους», Σταμούλη Α.Ε., σελ. 255.

Ξενόγλωσση:

ADANI, F., LOZZI, P. and GENEVINI, P.L. (2001): «Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products», Compost Science & Utilization, Vol.9(2), pp. 163-177.

ADANI, F., GIGLIOTTI, G., VALENTINI, F. And LARAIA, R. (2003): «Respiration index determination: a comparative study of different methods», Compost Science & Utilization, Vol. 9, pp.163-178.

ADANI, F., CONFALONIERI, R. and TAMBONE, F. (2004): «Dynamic respiration index as a descriptor of the biological stability of organic wastes», Journal of Environmental Quality, Vol.33(5), pp. 1866-1876.

- ADANI, F., UBBIALI, C. and GENERINI, P. (2006):** «The determination of biological stability of composts using the dynamic respiration index: the results of experience after two years», *Waste Management*, Vol.26, pp. 41-48.
- ADHIKARI, B.K., TREMIER, A. and BARRINGTON, S. (2012):** «Performance of five Montreal West Island home composters», *Environmental Technology*, Vol.33 (21), pp.2383-2393.
- ADHIKARI, B.K., TREMIER, A., MARTINZE, J. and BARRINGTON, S. (2010):** «Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: Perspective for Europe and Canada, Review», *Waste Management*, Vol.28(11), pp.1039-1053.
- ADHIKARI, B.K., TREMIER, A. and BARRINGTON, S. (2012):** «Performance of five Montreal West Island home composters», *Environmental Technology*, Taylor & Francis Group, Vol.33(21), pp.2383-2393.
- ADHIKARI, B.K., TREMIER, A., BARRINGTON, S., MARTINEZ, J. and DAUMOIN, M. (2013):** «Gas emissions as influenced by home composting system», *Journal of Environmental Management*, Vol.116, pp.163-171.
- AHMED, M., IDRIS, A. and OMAR, S.R.S. (2007):** «Physicochemical characterization of compost of the industrial tannery sludge», *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol.2(1), pp.81-94.
- ANDA, M., OMAR, S.R.S., SHAMSHUDDIN, J. nad FAUZIAH, C.I. (2008):** «Changes in Properties of Composting Rice Husk and Their Effects on Soil and Cocoa Growth», *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Taylor & Francis, Vol.39 (15-16), pp.2221-2249.
- ANDERSEN, J.K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H. and SCHEUTZ, C. (2010):** «Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste», *Waste Management*, Vol.30, pp.2475-2482.
- ANDERSEN, J.K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H. and SCHEUTZ, C. (2011):** «Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste», *Waste Management*, Vol.31, pp.1934-1942.
- ANDERSEN, J.K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T.H. and SCHEUTZ, C. (2012):** «Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment- modeling», *Waste Management*, Vol. 32, pp. 31-40.

- ANGELIDAKI, I., ELLEGAARD, L. and AHRING, B., K. (2003):** «Applications of the anaerobic digestion process. Review», *Advances in biochemical Engineering/Biotechnology*, Vol.82, pp.1-33.
- ANTIL, R.S., and RAJ, D. (2012):** «Chemical and microbiological parameters for the characterization of maturity of composts made from farm and agro-industrial wastes», *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol.58(8), pp. 833-845.
- ANTIL, R.S., RAJ, D., NARWAL, R.P. and SINGH, J.P. (2013):** «Evaluation of Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared from Organic Wastes and their Response to Wheat», *Waste and Biomass Valorization*, Vol.4(1), pp. 95-104.
- APHA (1992):** «Standard methods for examination of water and wastewater», 18th edition, APHA, AWWA, WPCF, Washington DC.
- BAFFI, C., DELL'ABATE, M.T., NASSISI, A., SILVA, S., BENEDETTI, A., GENEVINI, P.L. and ADANI, F. (2007):** «Determination of biological stability in compost: A comparison of methodologies», *Soil Biology & Biochemistry*, Vol.39, pp. 1284-1293.
- BARCENAS-MORENO, G. and BAATH, E. (2009):** «Bacterial and Fungal Growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities», *Soil Biol. Biochem.*, Vol.41, pp. 2517-2526.
- BARI, Q.H. (1999):** «Effect of Different Modes of Aeration on Composting of Solid Waste in a Closed System», *University of Hong Kong*, pp.13-16.
- BARRENA, R., FONT, X., GABARRELL, X. and SANCHEZ, A. (2014):** «Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability», *Waste Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.008>.
- BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., ARRIGO, N. and PALMA, R.M. (2003):** «Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost», *Biol. Fertil. Soils*, Vol.37, pp.184-189.
- BERNAL, M.P., ALBURQUERQUE, J.A. and MORAL, R. (2009):** «Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review», *Bioresource Technology*, Elsevier, Vol.100, pp.5444-5453.
- BERTHE, L., DRUILHE, C., MASSIANI, C., TREMIER, A. and MARTEL, J-L. (2007):** «Coupling a respirometer and a pycnometer, to study the biodegradability of solid organic wastes during composting», *Biosystems Engineering*, Vol.97 (1), pp.75-88.

- BECK-FRIIS, B., SMARS, S., JONSSON, H. and KIRCHMANN, H. (2001):** «Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes», *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol.78(4), pp.423-430.
- BECK-FRIIS, B., SMARS, S., JONSSON, H., EKLIND, Y. and KIRCHMANN, H. (2003):** «Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: Gaining an understanding of the emission dynamics», *Compost Science and Utilization*, Vol.11(1), pp.41-50.
- BEFFA, T. (2002):** «The Composting Biotechnology: A Microbial Aerobic Solid Substrate Fermentation Complex Process», Compaq Technologies International, Switzerland.
- BEFFA, T., BLANC, M., MARILLEY, L., LOTT FISCHER, J., LYON, P.-F. and ARAGNO, M. (1995):** «Taxonomic and Metabolic Diversity during Composting», In “The Science of Composting”, (Eds: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T.), Blackies Academic and Professional, Glasgow, Scotland, Vol.1, pp.149-161.
- BELYAEVA, O.N., HAYNES, R.J. and STURM, E.C. (2012):** «Chemical, Physical and Microbial Properties and Microbial Diversity in Manufactured Soils Produced from Co-composting Green Waste and Biosolids», *Waste Management*, Vol.32, pp.2248-2257.
- BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., ARRIGO, N. and PALMA, R.M. (2003):** «Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and the maturity of pruning waste compost», *Biol Fertil Soils*, Vol.37, pp.184-189.
- BERNAL, M.P., ALBURQUERQUE, J.A. and MORAL, R. (2009):** «Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review», *Bioresour. Technol.*, Vol.100, pp. 5444-5453.
- BOLDRIN, A., ANDERSEN, J.K., MOLLER, J., CHRISTENSEN, T.H. and FAVOINO, E. (2009):** «Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions», *Waste Management & Research*, Vol. 27, pp.800-812.
- BOULTER-BITZER, J.I., TREVORS, J.T. and BOLAND, G.J. (2006):** «A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens», *Applied Soil Ecology*, Vol.34, pp. 65-81.
- BREWER, L.J. and SULLIVAN, D.M. (2001):** «A quick look at quick compost stability tests», *Biocycle*, Vol.42, pp.53-55.
- BUTLER, T.A., SIKORA, L.J., STEINHILBER, P.M. and DOUGLAS, L.W. (2001):**

- «Compost age and sample storage effects of maturity indicators of biosolids compost», J. Environ. Qual., Vol.30, pp. 2141-2148.
- CAMBARDELLA, C.A., RICHARD, T.L. and RUSSEL, A. (2003):** «Compost mineralization in soil as a function of composting process conditions», Eur. J. Soil Biol., Vol.39, pp. 119-127.
- CHANAKYA, H.N., RAMACHANDRA, T.V., GURUPRASAD, M. and DEVI, V. (2007):** «Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas», Environmental Monitoring & Assessment, Vol.135, pp.129-139.
- CHANDNA, P., NAIN, L., SINGH, S. and CHANDER KUHAD, R. (2013):** «Assessment of Bacterial Diversity during Composting of Agricultural Byproducts», BMC Microbiology, Vol.13(1), pp.99.
- CHEUNG, H.N.B. (2008):** «Bacterial growth inhibition during composting of food waste: effects of organic acids», Applied Science in Environmental Systems Engineering, Master, University of Regina, Regina, pp.201.
- CHOPRA, S. (2004):** «Quantification and composition audit of waste generated at the early morning market in Vientiane», Lao PDR- M.Eng. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- CHRONI, C., KYRIACOU, A., MANIOS, T. and LASARIDI, K.E. (2009):** «Investigation of the microbial community structure and activity as indicators of compost stability and composting process evolution», Bioresource Technology, VOL.100, pp.3745-3750.
- COLON, J., MARTINEZ-BLANCO, J., GABARRELL, X., ARTOLA, A., SANCHEZ, A., RIERADEVALL, J. and FONT, X. (2010):** «Environmental assessment of home composting», Resources, Conservation & Recycling, Vol.54, pp.893-904.
- DAS, K. and KEENER, H.M. (1997):** «Moisture effect on compaction and permeability in composts», J. Environ. Eng., Vol.123, pp.275-281.
- DEFRA (Department of the Environment, Food and Rural Affairs) (2007a):** e-Digest Statistics About: Waste and Recycling. Available at:
<http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/waste>
- DELL'ABATE, M.T., BENEDETTI, A. and SEQUI, P. (2000):** «Thermal methods of organic matter maturation monitoring during a composting process», J. Therm. Anal. Calorimetry, Vol.61(2), pp.389-396.
- DIAZ, L., SAVAGE, G. and CHIUMENTI, A. (2005):** «Modern composting technologies. Variety is spice of in-vessel life», BioCycle, Vol.46, pp.40-46.

- DEFOER, N. and LANGEHHOVE, V. (2002):** «Odour emissions during Yard Waste Composting: Effect of turning Frequency, Microbiology of composting.
- EGGEN, T. and VETHE, O. (2001):** «Stability indices for different composts», *Compost. Sci. Util.*, Vol.9(2), pp. 27-37.
- EKLIND, Y., BECK-FRIIS, B., BENGTSSON, S., EJLERTSSON, J., KIRCHMANN, H., MATHISEN, B., NORDKVIST, E., SONESSON, U., SVENSSON, B.H. and TORSTENSSON, L. (1997):** «Chemical characterization of source-separated organic household waste», *Swedish Journal of Agricultural Research*, Vol.27, pp.167-178.
- EUROPEAN COMMISSION (2008):** «Green Paper on the Management of Bio-waste in the European Union».
- EVANS, T.D. (2012):** «Domestic food waste – the carbon and financial costs of the options», *Proceedings of the ICE-Municipal Engineer*, Vol.165 (1), pp.3-10.
- EVANYLO, G. (2006):** «Compost maturity and indicators of quality: laboratory analyses and onfarm tests», http://www.mawaterquality.org/industry_change/compost_school/Compost%20quality_Evanylo.pdf.
- FAVOINO, E. and RAGAZZI, R. (1998):** «Italian organic recovery systems: strategies and outcomes», *Warmer Bulletin*, Vol.70, pp.14-15.
- FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organisation) (1994):** «Methods Book for the Analysis of Compost», *Kompost-Information*, No.230, Bundesgutegemeinschaft Kompost e.V. (English translation by W. Bidlingmaier, University of Essen).
- FINSTEIN, M.S., MILLER, F.C., STORM, P.F., MCGREGOR, S.T. and PSARIANOS, K.M. (1983):** «Composting ecosystem management for waste treatment», *Bio/Technol.*, Vol.1, pp.347-353.
- FITZPATRICK, G.E., WORDEN E.C. and VENDRAME, W.A. (2005):** «Historical Development of Composting Technology during the 20th Century », *HorlTechnology*, Vol.15 (1), pp.48-51.
- FOURTI, O. (2013):** «The maturity tests during the composting of municipal solid wastes: Review», *Elsevier, Resources, Conservation and Recycling*, Vol.72, pp.43-49.
- FRANCOU, C., POITRENAUD, M. and HOUOT, S. (2005):** «Stabilization of Organic Matter During Composting: Influence of Process and Feedstocks», *Compost Science & Utilization*, Vol.13(1), pp. 72-83.
- FUCHS, J.G. (2010):** «Interactions Between Beneficial and Harmful Microorganisms: From the Composting Process to Compost Application», *Microbes at Work*, Springer, Chapter 11, pp.213-229.

- FULEKY, G. and BENEDEK, S. (2010):** «Chapter 12: Composting to Recycle Biowaste», Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science, Sustainable Agriculture Reviews, Vol.3, pp.319-346.
- GAO, M., LI, B., YU, A., LIANG, F., YANG, L. and SUN, Y. (2010):** «The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust», Bioresource Technology, Vol.101, pp.1899-1903.
- GARCIA, C.T., HERNANDEZ, F., COSTA, F. and PASCUAL, J.A. (1992):** «Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes», Germination experiments, J. Sci. Food Agric., Vol.59, pp. 313-319.
- GAJALAKSHMI, S. and Abbasi, S.A. (2008):** «Solid waste management by composting: state of the art», Cri. Rev. Environ. Sci. Technol., Vol.38, pp.311-400.
- GAZI, A.V., KYRIACOU, A., KOTSOU, M. and LASARIDI, K.E. (2007):** «Microbial Community Dynamics and Stability Assessment during Green Waste Composting», Global Nest Journal, Vol. 9(1), pp.35-41.
- GEA, T., BARRENA, R., ARTOLA, A. and SANCHEZ, A. (2004):** «Monitoring the biological activity of the composting process: oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI) and respiratory quotient (RQ)», Biotechnology Bioengineering, Vol.88, pp. 520-527.
- GETAHUN, T., NIGUSIE, A., ENTELE, T., VAN GERVEN, T. and VAN DER BRUGGEN, B. (2012):** «Effect of turning frequencies on composting biodegradable municipal solid waste quality», Resources, Conservation & Recycling, Vol.65, pp.79-84.
- GHAZIFARD, A., KASRA-KERMANSHAHI, R. and ETEMADI FAR, Z. (2001):** «Identification of thermophilic and mesophilic bacteria and fungi in Esfahan (Iran) municipal solid», Waste Management & Research, Vol.19, pp.257-261.
- GOMEZ, R.B., D'IMPORZANO, G., PONSÁ, S., GEA, T., ARTOLA, A., VAZQUEZ, F., SANCHEZ, A. and ADANI, F. (2009):** «In search of a reliable technique for the determination of the biological stability of the organic matter in the mechanical-biological treated waste», Journal of Hazardous Materials, Vol.162, pp.1065-1072.
- GOMEZ, R.B., LIMA, F.V. and FERRER, A.S. (2006):** «The use of respiration indices in the composting process: a review», Waste Management Resources, Vol.24, pp.37-47.
- GOMEZ, R.B., LIMA, F.V., GORDILLO BOLASELL, M.A., GEA, T. and FERRER, A.S. (2005):** «Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process», Bioresource Technology, Vol.96, pp. 1153-1159.

- GREWAL, S.K., RAJEEV, S., SREEVATSAN, S. and MICHEL, F.C. (2006):** «Persistence of Mycobacterium avium subsp paratuberculosis and other zoonotic pathogens during simulated composting, manure packing and liquid storage of dairy manure», Applied and Environmental Microbiology, Vol.72 (1), pp.565-574.
- GRIGATTI, M., GIORGIONI, M.E., PILOTTI, S. and CIAVATTA, C. (2012):** «Stability, Nitrogen Mineralization Capacity and Agronomic Value of Compost-Based Growing Media for Lettuce Cultivation», Journal of Plant Nutrition, Taylor & Francis Group, Vol.35, pp. 704-725.
- GUARDIA, A.D., MALLARD, P., TEGLIA, C., MARIN, A., LE PAPE, C., LAUNAY, M., BENOIST, J.C. and PETIOT, C. (2010):** «Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: Part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise», Waste Management, Vol.30, pp. 402-414.
- HAMODA, M.F., ABU QDAIS, H.A. nad NEWHAM, J. (1998):** «Evaluation of municipal solid waste composting kinetics», Resour. Conserv. Recycl, Vol.234, pp.209-223.
- HASSEN, A., BELGUITH, K., JEDIDI, N., CHERIF, A., CHERIF, M. and BOUDABOUS, A. (2001):** «Microbial characterization during composting of municipal solid waste», Bioresource Technology, Vol.80, pp.217-225.
- HAUG, R.T. (1993):** «The Practical Handbook of COMPOST ENGINEERING », Lewis Publishers, Boca Raton.
- HIRAI, M.F., KATAYAMA, A. and KUBOTA, H. (1986):** «Effect of compost maturity on plant growth», BioCycle, Vol.27, pp. 58-61.
- HOGG, D., FAVOINO, E., CENTEMERO, M., CAIMI, V., AMLINGER, F., DEVLIEDHER, W., BRINTON, W. and ANTLER, S. (2002):** «Comparison of Compost Standards within the EU, North America and Australia», The Waste and Resources Action Programme (WRAP), Oxon, ISBN 1-84405-003-3.
- HOSSEINI, S.M. and AZIZ, H.A. (2013):** «Evaluation of thermochemical pretreatment and continuous thermophilic condition in rice straw composting process enhancement», Bioresource Technology Elsevier, Vol.133, pp.240-247.
- HOUOT, S., VERGE-LEVIEL, C. and POITRENAUD, M. (2012):** «Potential Mineralization of Various Organic Pollutants During Composting», Soil Science Society of China, Elsevier, Pedosphere, Vol.22(4), pp.536-543.
- HUE, N.V. and LIU, J. (1995):** «Predicting compost stability», Compost. Sci. Util., Vol.3(2), pp. 8-15.

- IANNOTTI, D.A., GREBUS, M.E., TOTH, B.L., ELWELL, D.L., KEENER, H.M. and HOITINK, H.A.J. (1994):** «Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste», *Journal of Environmental Quality*, Vol.23, pp. 1177-1183.
- IANNOTTI, D.A., PANG, T., TOTH, B.L., ELWELL, D.L., KEENER, H.M. and HOITINK, H.A.J. (1993):** «A quantitative respirometric method for monitoring compost stability», *Compost Sci. Util.*, Vol.1, pp. 52-65.
- ICF Consulting (2005):** Determination of the Impact of Waste Management Activities on Greenhouse Gas Emissions: 2005 Update Final Report, Contract No. K2216-04-0006, Submitted to Environment Canada and Natural Resource Canada.
- IGBAL KHAN, M.A., UENO, K., HORIMOTO, S., KOMAI, F. TANAK, K., and ONO, Y. (2009):** «Physicochemical, including spectroscopic, and biological analyses during composting of green tea waste and rice bran», *Biol Fertil Soils*, Vol.49, pp. 305-313.
- INBAR, Y., CHEN, Y. and RADAR, Y. (1990):** «Humic substances formed during the composting of organic matter», *Soil Sci Soc. Am. J.*, Vol.54, pp. 1316-1323.
- IPCC (2006):** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, In: Waste Intergovernmental Panel on Climate Change, Vol.5.
- ISHII, K., FUKUI, M. and TAKII, S. (2000):** «Microbial succession during a composting process as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis», *Journal of Applied Microbiology*, Vol.89, pp.768-777.
- ITAVAARA, M., VENELAMPI, O., BIKMAN, M. and KAPANEN, A. (2002):** «Compost maturity- problems associated with testing», In: Insam, H., *et al.* (Eds.), *Microbiology of Composting*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 373-382.
- JOLY, E. (2011):** «Comparison of Home-Composting and Large-Scale Composting for Organic Waste Management in Quebec, Canada», TRITA LWR Degree Project, Water, Sewage and Waste, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden.
- KABORE, T.W.T., HOUOT, S., HIEN, E., KABORE, Z.P., HIEN, V. and MASSE, D. (2010):** «Effect of the raw materials and mixing ratio of composted wastes on the dynamic of organic matter stabilization and nitrogen availability in composts of Sub-Saharan Africa», *Bioresource Technology*, Vol.101, pp.1002-1013.
- KALAMDHAD, A.S. and KAZMI, A.A. (2009):** «Rotary drum composting of different organic waste mixtures», *Waste Mang.*, Vol.27, pp.129-137.

- KALAMDHAD, A.S., PASHA, M. and KAZMI, A.A. (2008):** «Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotary drum composter», *Resources Conservation & Recycling*, Vol.52, pp. 829-834.
- KAPETANIOS, E.G. (1990):** «Production of soil improvement materials and undertaking of heavy metals that are present in them, using clinoptilolite», Ph.D. Thesis, National Technical University of Athens, Greece.
- KEENER, H.M., DICK, W.A., HOITINK and H.A.J. (2000):** «Composting and beneficial utilization of composted by-product materials», In: Dick, W.A. (Ed.), *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, pp.315-341.
- KOMILIS, D.P. and HAM, R.K. (2003):** «The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes», *Waste Management*, Vol.23, pp.419-423.
- KOMILIS, D.P. and KANELLOS, D. (2012):** «A modified dynamic respiration test to assess compost stability: Effect of sample size and air flowrate», *Bioresource Technology*, Vol.117, pp. 300-309.
- KOMILIS, D.P. and KLETSAS, C. (2012):** «Static respiration indices to investigate compost stability: Effect of sample weight and temperature and comparison with dynamic respiration indices», *Bioresource Technology*, Vol.121, pp.467-470.
- KOMILIS, D.P., KONTOU, I. and NTOUGIAS, S. (2011) :** «A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity», *Bioresour. Technol.*, Vol.102, pp. 5863-5872.
- KOMILIS, D.P. and TZIOUVARAS, I.S (2009):** «A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts», *Waste Management*, Vol.29(5), pp.1504-1513.
- KUMAR, M., OU YAN, L. and LIN, J.G. (2010):** «Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio», *Waste Management*, Vol.30, pp.602-609.
- LASARIDI, K. and STENDIFORD, E.I. (1996):** «Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: principles and practice», In de Bertoldi, M. (Ed.), *The Science of Composting, Part 1*, Blakie Academic & Professional, London, UK, pp. 567-576.
- LASARIDI, K. and STENDIFORD, E.I. (1998):** «A simple respirometric technique for assessing compost stability», *Water Research*, Vol.32(12), pp.3717-3723.
- LASARIDI, K., STENDIFORD, E.I. and EVANS, T. (2000):** «Windrow composting of wastewater biosolids: process performance and product stability assessment», *Water Science and Technology*, Vol.42, pp. 217-226.

- LAZCANO, C., GOMEZ-BRANDON, M. and DOMINQUEZ, J. (2008):** «Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure», *Chemosphere*, Vol.72, pp.1013-1019.
- LEE, B.I., KIM, P.J. and CHANG, W.K. (2002):** «Evaluation of stability of compost prepared with Korean food waste», *Soil Sci Plant Nutr.*, Vol.48, pp.1-8.
- LETON, T.G. and STENTIFORD, E.I. (1990):** «Control of Aeration in Static Pile Composting», *Waste Management & Research*, Vol.8, pp.299-306.
- LI, X.J., ZHANG, R.H. and PANG, Y.Z. (2008):** «Characteristics of dairy manure composting with rice straw», *Bioresource Technology*, Vol.99, pp.356-367.
- LI, Q., WANG, X.C., ZHANG, H.H., SHI, H.L., HU, T. and NGO, H.H. (2013):** «Characteristics of nitrogen transformation and microbial community in an aerobic composting reactor under two typical temperatures», *Bioresource Technology*, Vol.137, pp.270-277.
- LLEO, T., ALBACETE, E., BARRENA, R., FONT, X., ARTOLA, A. and SANCHEZ, A. (2012):** «Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management», *Journal of Cleaner Production*, Vol.XXX, pp.1-7.
- LOU, X.F. and NAIR, J. (2009):** «The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions- A review», *Bioresource Technology*, Vol.100, pp.3792-3798.
- MARTINEZ-BLANCO, J., COLON, J., GABARRELL, X., FONT, X., SANCHEZ, A., ARTOLA, A. and RIERADEVALL, J. (2010):** «The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale», *Waste Management*, Vol.30, pp.983-994.
- MASO, M.A. and BLASI, A.B. (2008):** «Evaluation of composting as a strategy for managing organic wastes from a municipal market in Nicaragua», *Bioresource Technology*, Vol.99, pp.5120-5124.
- MATHUR, S.P., OWEN, G., DINEL, H. and SCHNITZER, M. (1993):** «Determination of compost biomaturity», I. Literature review, *Biol Agric Hortic*, Vol.10, pp. 65-85.
- MATTESON, T.L. and SULLIVAN, D.M. (2006):** «Stability Evaluation of Mixed Food Waste Composts», *Compost Science & Utilization*, Vol.14(3), pp. 170-177.
- MCKINLEY, V.L. and VESTAL, J.R. (1984):** «Biokinetic analysis of adaptation and succession: microbial activity in composting municipal sewage sludge», *Appl. Environ. Microbiology*, Vol.47(5), pp.933-941.
- MICHEL, F.C., FORNEY, L.J., HUANG, A.J.F., DREW, S., CZUPRENSKI, M., LINDEBERG, J.D. and REDDY, C.A. (1996):** «Effects of turning frequency, leaves to

grass mix ratio and windrow vs. pile configuration on the composting of yard trimmings», *Compost Sci. Util.*, Vol.4, pp.126-143.

MILLER, F.C. (1989): «Matric Water Potential as an Ecological Determinant in Compost, a substrate dense system», *Microb.Ecol.*, Vol.18, pp.59-71.

MONDINI, C., DELL' ABATE, M.T., LEITA, L. and BENEDETTI, A. (2003a): «An intergrated chemical, thermal, and microbiological approach to compost stability evaluation», *J. Environ. Qual.*, Vol.32, pp. 2379-2386.

MONDINI, C., FORNASIER, F. and SINICCO, T. (2004): «Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process», *Soil Biol. Biochem.*, Vol.36, pp. 1587-1594.

MONDINI, C., SANCHES-MONEDERO, M.A., SINICCO, T. and LEITA, L. (2006): «Evaluation of extracted organic carbon and microbial biomass as stability parameters in lingo-cellulosic waste composts», *J. Environ. Qual.*, Vol.35, pp.2313-2320.

MORAL, R., PAREDES, C., BUSTAMANTE, M.A., MARHUENDA-EGEA, F. and BERNAL, M.P. (2009): «Utilization of manure composts by high-value crops: safety and environmental challenges», *Bioresour. Technol.*, Vol.100, pp. 5454-5460.

MUSTIN, M. (1987): «Le compost, gestion de la matiere organique.», F.Dubusc Eds., Paris, pp. 954.

NAKASAKI, K., YAGUCHI, H., SASAKI, Y. and KUBOTA, H. (1993): «Effects of pH control on composting of garbage», *Waste Management and Research*, Vol.11(2), pp.117-125.

PACE, M.G., MILLER, B.E. and FARRELL-POE, K.L. (1995) : «The Composting Process», *Ag.Systems Tech. & Ed. Dept.*, Utah State University, Cooperative Extension.

PAILLAT, J.M., ROBIN, P., HASSOUNA, M. and LETERME, P. (2005): «Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting», *Atmospheric Environment*, Vol.36, pp.6833-6842.

PAPADOPOULOS, A.E., STYLIANOU, M.A., MICHALOPOULOS, C.P., MOUSTAKAS, K.G., HAPESHIS, K.M., VOGIATZIDAKI, E.E.I. and LOIZIDOU, M.D. (2009): «Performance of a new household composter during in-home testing», *Waste Management*, Vol. 29, pp.204-213.

PARADELO, R., MOLDES, A.B., GONZALEZ, D. and BARRAL, M.T. (2012): «Plant tests for determining the suitability of grape marc composts as components of plant growth media», *Waste Management & Research*, Vol.30(10), pp.1059-1065.

- PAREDES, C., BERNAL, M.P., CEGARRA, J. and ROIG, A. (2002):** «Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes», *Bioresource Technology*, Vol. 85, pp.1-8.
- PARTANEN, P., HULTMAN, J., PAULIN, L., AUVINEN, P. and ROMANTSCHUK, M. (2010):** «Bacterial diversity at different stages of the composting process», *BioMed Central Microbiology*, Vol.10, pp.94.
- POLPRASERT, C. (1996):** «Organic Waste Recycling: Technology and Management», Second Edition, Wiley, Chichester, pp.69-113.
- RASHAD, F.M., SALEH, W.D. and MOSELHY, M.A. (2010):** «Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices», *Bioresour. Technol.* 10115, pp.5952-5960.
- REBOLLIDO, R., MARTINEZ, J., AGUILERA, Y., MELCHOR, K., KOERNER, I. and STEGMANN, R. (2008):** «Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste», *Applied Ecology & Environmental Research*, Vol.6(3), pp.61-67.
- RICHARD, T.L. (2005):** «Compost », Iowa State University Ames IA USA.
- RICHARD, T.L. (2011):** «Determining Volatile Solids and Moisture Losses», *Science & Engineering*.
- ROUSE, J., ROTHENBERGER, S. and ZURBRUGG, C. (2008):** «Marketing Compost: A Guide for Compost Producers in Low and Middle-Income Countries», Eawag Aquatic Research,.
- RUGGIERI, L., GEA, T., ARTOLA, A. and SANCHEZ, A. (2009):** «Air filled porosity measurements by air pycnometry in the composting process: a review and a correlation analysis», *Bioresource Technology*, Vol. 100, pp.2655-2666.
- RYCKEBOER, J., MEGAERT, J., COOSEMANS, J., DEPRINS, K. and SWINGS, J. (2003):** «Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin», *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 94, pp.127-137.
- SAID-PULLICINO, D., ERRIQUENS, F.G. and GIGLIOTTI, G. (2007):** «Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity», *Bioresource Technology*, Vol.98, pp.1822-1831.

- SALUDES, R.B., IWABUCHI, K., KAYANUMA, A. and SHIGA, T. (2007):** «Composting of dairy cattle manure using a thermophilic-mesophilic sequence», *Biosystems Engineering*, Vol. 98, pp.198-205.
- SANCHEZ ARIAS, V., FERNANDEZ, F.J., RODRIQUEZ, L. and VILLASENOR, J. (2012) :** «Respiration indices and stability measurements of compost through electrolytic respirometry», *Journal of Environmental Management*, Vol.95, pp. S134-S138.
- SANCHEZ-MONEDERO, M.A., URPILAINEN, S.T., CABANAS-VARGAS, D.D., KAMILAKI, A. and STENTIFORD, E.I. (2002):** «Assessing the Stability and Maturity of Compost at Large-Scale Plants», *AIDIS, Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental Cancun, Mexico*, Vol.XXV(3).
- SCAGLIA, B., TAMBONE, F., GENEVINI, P.L. and ADANI, F. (2000):** «Respiration Index Determination: Dynamic and Static Approaches», *Compost Science & Utilization*, Vol.8(2), pp. 90-98.
- SCAGLIA, B., ERRIQUENS, F.G., GIGLIOTTI, G., TACCARI, M., CIANI, M., GENEVINI, P.L. and ADANI, F. (2007):** «Precision determination for the specific oxygen uptake rate (SOUR) method used for biological stability evaluation of compost and biostabilized products», *Bioresource Technology*, Elsevier, Vol. 98, pp.706-713.
- SCHULZE, K.L. (1960):** «Rate of Oxygen Consumption and Respiratory Quotients during the Aerobic Decomposition of a Synthetic Garbage», *Compost Sci.*, Vol. 1, pp. 36-40.
- SEAL, A., BERA, R., KUMAR CHATTERJEE, A. and KUMAR DOLUI, A. (2012):** «Evaluation of a new composting method in terms of its biodegradation pathway and assessment of compost quality, maturity and stability», *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol.58(9), pp. 995-1012.
- SINGH, W.R., DAS, A. and KALAMDHAD, A. (2012):** «Composting of Water Hyacinth Using a Pilot Scale Rotary Drum Composter», *Environ. Eng. Res.*, Vol. 17(2), pp.69-75.
- SMARS, S., GUSTAFSSON, L., BECK-FRIIS, B. and JONSSON, H. (2002):** «Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control», *Bioresource Technology Elsevier*, Vol.84, pp. 237-241.
- SMITH, D.C. and HUGHES, J.C. (2001):** «A simple test to determine cellulolytic activity as indicator of compost maturity», *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, Vol.32, pp. 1735-1749.

- SMITH, S.R. and JASIM, S. (2009):** «Small-scale home composting of biodegradable household waste: overview of key results from a 3-year research programme in West London», *Waste Management & Research*, Vol. 27, pp. 941-950.
- STEEL, H., BUCHAN, D., DE NEVE, S., COUVREUR, M., MOENS, T. and BERT, W. (2013):** «Nematode and microbial communities in a rapidly changing compost environment: How nematode assemblages reflect composting phases», *European Journal of Soil Biology*, Vol. 56, pp.1-10.
- STEGE, K., SJOGREN, A.M., JARVIS, A., JANSSON, J.K. and SUNDH, I. (2007):** «Development of compost maturity and Actinobacteria populations during full-scale composting of organic household waste», *J.Appl. Microbiol.*, Vol.103, pp.487-498.
- STENTIFORD, E.I. (2002):** «The Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) – the English practice, In: The Biological Treatment of Biodegradable Waste – Technical aspects», Brussels, 8-10 April, URL http://europa.eu.int/comm/environment/waste/eventspast/bio_programme.html (07/01/05).
- STENTIFORD, E.I. (1993):** «Diversity of composting systems», In *Science and Engineering of Composting*, Ohio University, ed. Hoitink, H.A.J. and Keener, H.M., pp. 95-110.
- STENTIFORD, E.I., PEREIRA-NETO, J.T., TAYLOR, P.L., MARA, D.D., LOPEZ REAL, J. and WITTER, E. (1985):** «Sanitation Potential of Composting for Sewage Sludge and Refuse in a Static Pile System», *Advances in Water Engineering*, Elsevier Applied Science Publishers.
- SULLIVAN, D.M. and MILLER, R.O. (2001):** «Compost quality attributes, measurements, and variability», In: Stoffella, P.J., Kath, B.A., (Eds.), *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*, Lewis Publishers, New York, pp. 97-120.
- SUNDBERG, C., SMARS, S. and JONSSON, H. (2004):** «Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting», *Bioresource Technology*, Vol. 95(2), pp.145-150.
- TAM, N.F.Y. and TIQUIA, S.M. (1994):** «Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique», *Resour Conserv Recycl*, Vol.11, pp. 261-274.
- TANG, J.-C., SHIBATA, A., ZHOU, A. and KATAYAMA, A. (2007):** «Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw», *J. Biosci. Bioeng.*, Vol.104, pp.321-328.

- TIQUIA, S.M. (2005):** «Microbiological parameters as indicators of compost maturity», Journal of Applied Microbiology, Vol.99, pp. 816-828.
- TOGNETTI, C., MAZZARINO, M.J. and LAOS, F. (2007):** «Improving the quality of municipal organic waste compost», Bioresource Technology, Vol.98, pp. 1067-1076.
- TREMIER, A., GUARDIA, A., MASSIANI, C., PAUL, E. and MARTEL, J.L. (2005):** «A respirometric method for characterizing the organic composition and biodegradation kinetics and the temperature influence on the biodegradation kinetics, for a mixture of sludge and bulking agent to be co-composted», Bioresource Technology, Vol.96(2), pp. 169-180.
- VELASCO, J., FIGUEROA, B., FERRERA, R., TRINIDAD, A. and GALLEGOS, J. (2004):** «CO₂ y dinamica de poblaciones microbianas en composta de estiercol y paja con aireacion».
- WANG, L., DUIAN, L.V., YAN, B. and ZHANG, Y. (2013):** «Fluorescence characteristics of dissolved organic matter during composting at low carbon/nitrogen ratios», Waste Management & Research, Vol. 31(2), pp.203-211.
- WILLIAMS, P.T. (2005):** «Waste Treatment and Disposal», Second Edition, WILEY: Chichester, pp.374.
- WILLSON, G.B. (1983):** «Forced Aeration Composting», Water Science & Technology, Vol.15 (1), pp169-180.
- WU, L. and MA, L.W. (2002):** «Relationship between compost stability and extractable organic carbon», J. Environ. Qual., Vol.31, pp. 1323-1328.
- XIAO, Y., ZENG, G.M., YANG, Z.H., SHI, W.J., HUANG, C., FAN C.Z. and XU, Z.Y. (2009):** «Continuous Thermophilic Composting (CTC) for Rapid Biodegradation and Maturation of Organic Municipal Solid Waste», Bioresource Technology, Vol.100, pp.4807-4813.
- ZAMEER, F.S., MEGHASHRI, S. and RAGHAVENDRA, B.R. (2010):** «Chemical and microbial dynamics during composting of herbal pharmaceutical industrial waste», European Journal of Chemistry, Vol.7(1), pp.143-148.
- ZMORA-NAHUM, S., MARKOVITCH, O., TARCHITZKY, J. and CHEN, Y. (2005):** «Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity», Soil Biology & Biochemistry, Vol.37, pp.2109-2116.

Χρήσιμοι σύνδεσμοι:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc240&plugin=0> , (Last update: 01.10.2013).

<http://www.dedisa.gr/> :Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Α.Ε. (Ο.Τ.Α).

www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html (18.05.11).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Ημέρα Κομποστοποίησης	Θερμοκρασία θαλάμου (οC)	pH υγιούς δείγματος	pH εμβολιασμένου δείγματος	E.C. υγιούς δείγματος	E.C. εμβολιασμένου δείγματος	M.O. υγρασίας (%) υγιούς	M.O. υγρασίας (%) εμβολιασμένου	M.O. μείωσης πτητικών (%) υγιούς	M.O. μείωσης πτητικών (%) εμβολιασμένου	SOUR υγιούς	SOUR εμβολιασμένου	Έναρξη κύκλου (ώρες) υγιούς	Έναρξη κύκλου (ώρες) εμβολιασμένου
1	20,5	6,46	5,50	1,00	1,00	83,12	80,40	80,52	77,03	3,97	2,41	4,12	4,12
3	47	6,91	6,70	1,00	1,00	82,51	81,90	75,14	71,24	3,12	2,64	3,54	3,54
7	30,7	7,69	8,00	1,6	1,60	82,31	81,61	70,51	64,53	4,22	4,96	8,81	9,4
14	37,6	8,48	8,60	2	1,70	79,81	81,13	67,07	62,15	1,19	1,03	1,19	1,19
22	31,2	9,09	9,12	1,9	1,90	69,38	77,13	62,18	60,57	1,55	2,14	3,54	2,95
29	28,1	9,18	9,03	3,9	2,60	37,86	66,46	60,75	58,10	1,99	1,52	2,95	3,54

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Δείγμα	1η μέτρηση SOURmax	2η μέτρηση SOURmax	1ος χρόνος καταγραφής (ώρες)	2ος χρόνος καταγραφής (ώρες)	Σύσταση & Συλλογή στοιχείων	pH	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ms/cm)	M.O. % υγρασίας (w/w)
1	0,95	0,81	5,88	5,88	100% Φυτικό. Υπολείμματα φλοιών δέντρων. Ηλικία άνω των 6 μηνών, μετά την ωρίμανση του. Δεν περιέχει τύρφη, pH= 7.7-4.5, E.C.= 1600-1800S/cm. Πιθανή η ύπαρξη χώματος σε ποσοστό μικρότερο του 2%, λόγω ανακατέματος που γίνεται με τη κουτάλα του φορτωτή. Προέλευση: Αχαρναί, Αττικής	7,28	0,4	49,52
2	1,12	1,43	3,54	4,71	100% Φυτικό. Οργανική Ουσία 40%, Θρεπτικά (N: 1,6%, K=10,9 g/kg, Ph=4,73g/kg, Ca=122g/kg), Ηλικία 1,5 ετών, Πυκνότητα= 600kg/m3, pH= 8, E.C. 6mS/cm, υγρασία=26,9%, C/N=15). Προέλευση: Χανιά, Κρήτης	7,67	6,82	20,89

Δείγμα	1η μέτρηση SOURmax	2η μέτρηση SOURmax	1ος χρόνος καταγραφής (ώρες)	2ος χρόνος καταγραφής (ώρες)	Σύσταση & Συλλογή στοιχείων	pH	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ms/cm)	M.O. % υγρασίας (w/w)
3	0,82	1,21	2,37	7,05	100% Φυτικό. Τσάμπουρα (σταφύλια) με τους σπόρους των σταφυλιών και άλλα μαλακά φυτικά υπολείμματα (φύλλα σταφυλιών, ό,τι φυτικό προέρχεται από αμπέλια). Ηλικία άνω των 6 μηνών, μετά την ωρίμανση του. Δεν περιέχει τύρφη, pH= 7.7-4.5, E.C.= 1600-1800S/cm. Πιθανότητα να υπάρχει λίγο χώμα σε ποσοστό μικρότερο του 2%, λόγω του ανακατέματος που γίνεται με την κουτάλα του φορτωτή. Προέλευση: Αχαρναί, Αττικής	9,65	0,9	44,17
4	0,64	0,61	3,54	4,71	100% Φυτικό. Υπόστρωμα για καλλιέργεια μανιταριών. Περιέχει υπολείμματα από Pleurotus και άλλα φυτικά υπολείμματα (συνήθως φύλλα δέντρων). Ηλικία άνω των 6 μηνών, μετά την ωρίμανση του. Δεν περιέχει τύρφη, pH= 7.7-4.5, E.C.= 1600-1800S/cm. Πιθανότητα να υπάρχει λίγο χώμα σε ποσοστό μικρότερο του 2%, λόγω του ανακατέματος που γίνεται με την κουτάλα του φορτωτή. Προέλευση: Αχαρναί, Αττικής	7,09	2,6	38,58
5	1,68	2,61	1,19	1,19	Αποκλειστικά από παραπροϊόντα ελαιουργείων (πυρήνα, φύλλα & προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα). Φυτικής προέλευσης χωρίς σπόρους ζιζανίων, ορμόνες, αντιβιοτικά, δεν εντοπίζονται υπολείμματα φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια της ελιάς. Υψηλό δείκτη βλαστικότητας GI 180 min. Δεν περιέχει παθογόνους (Salmonella απουσία σε 25gr, E.Coli < 10 μον./gr). 4 μήνες για τη σταθεροποίηση & 5 μήνες για την ωρίμανση. pH= 7.8, μ.ο. E.C.= 2200-2300 μS/cm. Προέλευση: Χανιά, Κρήτης	9,54	1,0	43,5
6	2,41	2,82	5,3	5,3	100% Φυτικό. Από φλοιούς δέντρων, κλαδέματα, άνθη, καλλιέργειες με ψυχανθή. Ηλικίας 2.5 ετών. Τύρφη δεν περιέχει. Προέλευση: Ν. Ηλείας	8,98	1,2	22,8

Δείγμα	1η μέτρηση SOURmax	2η μέτρηση SOURmax	1ος χρόνος καταγραφής (ώρες)	2ος χρόνος καταγραφής (ώρες)	Σύσταση & Συλλογή στοιχείων	pH	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ms/cm)	M.O. % υγρασίας (w/w)
7	0,85	0,72	3,54	3,54	Ζωϊκό. Αγελαδίνη με στρωμνή. Περιέχει σε μικρό ποσοστό στρωμνή, επειδή προέρχεται από φάρμα αγελάδων. Ηλικία άνω των 6 μηνών, μετά την ωρίμανση του. Δεν περιέχει τύρφη, pH= 7.7-4.5, E.C.= 1600-1800S/cm.	8,24	3,4	43,42
8	3,71	2,89	9,98	10,57	Ζωϊκό. Αγελαδίνη 100%. Από κτηνοτροφικές μονάδες. Προέλευση: Ρέθυμνο, Κρήτης	9,09	2,5	21,31
9	0,89	0,91	7,05	7,64	100% Φυτικό. Κλαδέματα με υπολείμματα βάμβακος (από εκκοκιστήρια). Από μονάδες εκκοκιστηρίων της Βοιωτίας. Ηλικία άνω των 6 μηνών, μετά την ωρίμανση του. Δεν περιέχει τύρφη, pH= 7.7-4.5, E.C.= 1600-1800S/cm. Πιθανότητα να υπάρχει λίγο χώμα σε ποσοστό μικρότερο του 2%, λόγω του ανακατέματος που γίνεται με την κουτάλα του φορτωτή. Προέλευση: Αχαρναί, Αττικής	8,45	1,6	50,63
10	0,71	0,82	5,88	5,88	100% Φυτικό. Από φύκια Posidonia Ελλην. Θάλασσας και επιλεγμένα προϊόντα γεωργίας και κτηνοτροφίας. Δεν περιέχει τύρφη. Βραβείο βιολογικού προϊόντος, ποιότητας A+, ιδανικό για γεωργία- κηπευτική και ολοκληρωμένη θρέψη. Προέλευση: Αθήνα	9,28	1,1	38,85