
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΣΥΝ-ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ ΚΑΙ
ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Παναγιώτης Ι. Χαζιράκης

Εξεταστική Επιτροπή
Επιβλέπων Καθηγητής: Ε. Γιδαράκος
Α. Οικονομόπουλος
Ε. Ψυλλάκη

ΧΑΝΙΑ 2007

Η Μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του διατμηματικού προγράμματος σπουδών «Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον Καθηγητή Γιδαράκο Ευάγγελο υπεύθυνο του εργαστηρίου «Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων» Τμήμα των Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την παραχώρηση του εργαστηρίου και του εργαστηριακού εξοπλισμού, την υποστήριξη και την επίβλεψη κατά την διάρκεια της εργασίας

Της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. Χανίων για την παραχώρηση των Πρώτων υλών αλλά και του χώρου για την παρασκευής και συντήρηση των σωρών.

Την Φλεμεντάκη Μαρία υπεύθυνη Κομποστοποίησης της Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων για την καθοδήγηση και την παραχώρηση του απαραίτητου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της εργασίας

Τον Αντωνογιώργο Κώστα υπεύθυνο του χημικού εργαστηρίου του Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων για την παραχώρηση του εργαστηρίου και την πολύτιμη βοήθεια του στο αναλυτικό μέρος της εργασίας

Την Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων για την παραχώρηση των πρώτων υλών για την διεξαγωγή της εργασίας

Τον Καθηγητή Σταυρουλάκη Γεώργιο, υπεύθυνο του Εργαστηρίου «Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών Πόρων», του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συνάδελφο Δρ. Γιαννή Απόστολο για την βοήθεια και την συμβολή του στην εκτέλεση και την συγγραφή αυτής της διατριβής

Με εκτίμηση
Παναγιώτης Ι. Χαζιράκης

<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	1
<i>1. Ιλύς – Αστικά Στερεά Απορρίμματα</i>	2
1.1. Γενικά στοιχεία Βιολογικής Ιλύος	2
1.1.1. Ορισμός ιλύος	2
1.1.2. Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	2
1.2. Γενικά στοιχεία για τα Αστικά Στερεά Απόβλητα	4
1.2.1 Ορισμός Α.Σ.Α.....	4
1.2.2. Χαρακτηριστικά των Α.Σ.Α.....	4
<i>2. Κομποστοποίηση</i>	6
2.1. Γενικά στοιχεία για την Κομποστοποίηση.....	6
2.2. Πεδία εφαρμογής Κομποστοποίηση	8
2.3. Τι ορίζεται ως Κόμποστ.....	8
2.4. Κομποστοποίηση ιλύος.....	9
2.5. Κομποστοποίηση Α.Σ.Α.	9
2.6. Συνκομποστοποίηση	12
2.7. Κομποστοποίηση μείγματος ιλύος ΑΣΑ.....	12
2.8. Περιγραφή της Κομποστοποίησης.....	12
2.9. Σταθεροποίηση του κόμποστ	13
2.10. Ωρίμανση του Κόμποστ	15
<i>3. Βασικές αρχές Κομποστοποίησης</i>	18
3.1. Οξυγόνο	18
3.2. Μέγεθος Σωματιδίων ή Κοκκώδες.....	19
3.3. Υγρασία.....	20
3.4. ΡΗ	21
3.5. Θερμοκρασία.....	22
3.6. Θρεπτικά στοιχεία.....	23
3.7. Μικροβιολογία	24
<i>4. Έλεγχος Τοξικότητας</i>	27
<i>5. Σκοπός και Διαδικασία</i>	31
5.1. Σκοπός.....	31
5.2. Διαδικασία.....	31
5.3. Παρασκευή δειγμάτων	35
5.4. Παρακολούθηση - Δειγματοληψία – Μεταφορά	36
5.6. Αναλύσεις	38
<i>6. Μέθοδοι ανάλυσης</i>	39
6.1. Θερμοκρασία.....	39
6.2. Υγρασία.....	39
6.3. pH.....	40
6.3. Πτητικά Στερεά.....	40

6.4. Οργανικός Άνθρακας.....	40
6.6. Ολικό Άζωτο και Αναλογία C/N.....	41
6.7. Βαρέα Μέταλλα	41
6.8. Έλεγχος Φυτοτοξικότητας	42
7. Αποτελέσματα	44
7.1. Σωροί Α - Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων	44
7.1.1. Θερμοκρασία σωρών Α	44
7.1.2. Υγρασία σωρών Α	46
7.1.3. pH σωρών Α.....	47
7.1.4. Οργανικός C σωρών Α.....	50
7.1.5. Ολικό N σωρών Α.....	51
7.1.6. Αναλογία C/N σωρών Α	52
7.1.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς Α.....	53
7.2. Σωροί Β - Ο.Κ.Α.Α. : Β.Ι. (2:1)	54
7.2.1. Θερμοκρασία σωρών Β.....	54
7.2.3. pH σωρών Β.....	55
7.2.4. Οργανικός C σωρών Α.....	56
7.2.5. Ολικό N σωρών Β.....	57
7.2.6. Αναλογία C/N σωρών Β	58
7.2.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς Β.....	59
7.3. Σωροί C - Ο.Κ.Α.Α. : Β.Ι. : Φ.Υ. (3:1:2)	60
7.3.1. Θερμοκρασία σωρών C.....	60
7.3.2. Υγρασία σωρών C.....	61
7.3.3. pH σωρών C.....	62
7.3.4. Οργανικός C σωρών C.....	62
7.3.5. Ολικό N σωρών C.....	64
7.3.6. Αναλογία C/N σωρών C	64
7.3.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς C	65
7.4. Σωροί D - Ο.Κ.Α.Α. : Β.Ι. : Φ.Υ. (4:1:2)	66
7.4.1. Θερμοκρασία σωρών D	66
7.4.2. Υγρασία σωρών D	67
7.4.3. pH σωρών D.....	68
7.4.4. Οργανικός C σωρών D.....	69
7.4.5. Ολικό N σωρών D.....	70
7.4.6. Αναλογία C/N σωρών D	70
7.4.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς D.....	71
7.5. Σύγκριση σωρών	72
7.7 Βαρέα μέταλλα.....	75
7.8 Έλεγχος Φυτοτοξικότητας	79
8. Τελικά συμπεράσματα.....	81
8.1. Συμπεράσματα για τις παραμέτρους επιρροής.....	81
8.2. Συμπεράσματα για τους σωρούς Α	82
8.3. Συμπεράσματα για τους σωρούς Β	82
8.4. Συμπεράσματα για τους σωρούς C	83
8.5. Συμπεράσματα για τους σωρούς D	83
8.6. Εφαρμογή κόμποστ στο έδαφος.....	83
Βιβλιογραφία – Αναφορές	85

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Αναπαράσταση της υγρής στοιβάδας μεταξύ υποστρώματος και αέρα στο κόμποστοποιούμενο υλικό, για τις περιπτώσεις α) βέλτιστης υγρασίας, β) υπερβολικής υγρασίας.[.].....	20
Διάγραμμα 2: Διακύμανση Θερμοκρασίας και pH σε σχέση με το χρόνο, φάσεις μικροβιακής δραστηριότητας: A= Μεσόφιλοι, B= Θερμόφιλοι, C= Ψύξη, D= Ωρίμανση[25].....	21
Διάγραμμα 3: Επίδραση της θερμοκρασίας στην αποικοδόμηση οργανικού άνθρακα [.].....	22
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα θανάτωσης του Σταφυλόκοκκου (Staphylococcus aureus) σε ουδέτερο διάλυμα, συναρτήσει του χρόνου και την θερμοκρασίας [.].....	26
Διάγραμμα 5: Σημεία μέτρησης θερμοκρασίας σε ένα σωρό	39
Διάγραμμα 6: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς A1, A2 και A3	45
Διάγραμμα 7: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό A1, A3 ανά ημέρα πειράματος.....	46
Διάγραμμα 8: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό A2, A3 ανά ημέρα πειράματος.....	47
Διάγραμμα 9: Διακύμανση pH για τους σωρούς A1,A2 και A3	48
Διάγραμμα 10: Περιεκτικότητα σωρών A1, A2 - A3 σε οργανικό άνθρακα (επί ξηρού δείγματος).	50
Διάγραμμα 11: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος ανά ημέρα για τους σωρούς A1, A2.	51
Διάγραμμα 12: Αναλογία C/N για τους σωρούς A1, A2, A3.....	52
Διάγραμμα 13: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς B1, B2, B3	54
Διάγραμμα 14: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό B1, B3	55
Διάγραμμα 15: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό B2, B3	55
Διάγραμμα 16: Διακύμανση pH για τους σωρούς B1,B2 και B3.....	56
Διάγραμμα 17: Περιεκτικότητα σωρών B1, B2, B3 σε οργανικό άνθρακα.....	56
Διάγραμμα 18: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος για τους σωρούς B1, B2, B3.....	57
Διάγραμμα 19: Αναλογία C/N για των σωρό B1,B2- B3.....	58
Διάγραμμα 20: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς C1, C2.....	60
Διάγραμμα 21: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό C1	61
Διάγραμμα 22: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό C2.....	61
Διάγραμμα 23: Διακύμανση pH για τους σωρούς C1 και C2.	62
Διάγραμμα 24: Περιεκτικότητα σωρών C1, C2 σε οργανικό άνθρακα.....	63
Διάγραμμα 25: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος για τους σωρούς C1, C2	64
Διάγραμμα 26: Αναλογία C/N για των σωρό C1,C2.....	65
Διάγραμμα 27: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς D1, D2	66

Διάγραμμα 28: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό D1.....	67
Διάγραμμα 29: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό D2.....	67
Διάγραμμα 30: Διακύμανση pH για τους σωρούς D1 και D2.....	68
Διάγραμμα 31: Περιεκτικότητα σωρών D1, D2 σε οργανικό άνθρακα επί ξηρού δείγματος. 69	
Διάγραμμα 32: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος για τους σωρούς D1, D2.....	70
Διάγραμμα 33: Αναλογία C/N για των σωρό D1,D2	70
Διάγραμμα 34: Μέση Θερμοκρασία για τους σωρούς A, B, C και D.....	72
Διάγραμμα 35: %Υγρασία για τους σωρούς A, B, C και D	73
Διάγραμμα 36: Διακύμανση pH για τους σωρούς A, B, C και D	73
Διάγραμμα 37: Περιεκτικότητα σε οργανικού άνθρακα για τους σωρούς A, B, C και D.....	74
Διάγραμμα 38: Περιεκτικότητα α σε άζωτο για τους σωρούς A, B, C και D	74
Διάγραμμα 39: Αναλογία άνθρακα – αζώτου για τους σωρούς A, B, C και D.....	74

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Σύνθεση Οικιακών Στερεών Αποβλήτων (μέσες τιμές κατά βάρος %) στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Χώρας (1997) [].....	5
Πίνακας 2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύνθεσης ΑΣΑ περιφέρειας Κρήτης (2003-2004) και Νομού Χανίων (2005-2006) [7,]	6
Πίνακας 3: Παράμετροι που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία για να ορίσουν την σταθεροποίηση του κόμποστ και ποσοστό εμφάνισης αυτών [9].	14
Πίνακας 4: Παράμετροι που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία για να ορίσουν την ωρίμανση του κόμποστ και ποσοστό εμφάνισης αυτών [9].	16
Πίνακας 5: Ενδεικτικές τιμές λόγου C/N διαφόρων οργανικών υλικών	24
Πίνακας 6: Κατηγορίες μεθόδων μέτρησης τοξικότητας στα κόμποστ με χρήση χερσαίων φυτών	28
Πίνακας 7: Οικογένειες φυτών που προτείνονται για έλεγχο φυτοτοξικότητας από τον OECD [46].....	29
Πίνακας 8: Οικογένειες φυτών που προτείνονται για έλεγχο φυτοτοξικότητας από της USEPE και USFDA [40].	30
Πίνακας 9: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Αχώνευτης Αφυδατωμένης Ιλύος”- Εργαστηριακές μετρήσεις	32
Πίνακας 10 Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Χώνευμένης Αφυδατωμένης Ιλύος”- Εργαστηριακές μετρήσεις	32
Πίνακας 11: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Οργανικού Κλάσματος - Είσοδος Κομποστοποίησης” - Εργαστηριακές μετρήσεις.....	33
Πίνακας 12: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Φυτικών Υπολειμμάτων” - Εργαστηριακές μετρήσεις	34

Πίνακας 13: Ονόματα σωρών και σύσταση αυτών κατά βάρος.....	36
Πίνακας 14: Βάρος υλικών σε κάθε σωρό	36
Πίνακας 15: Παράμετροι αναλύσεων και συχνότητα αυτών.	38
Πίνακας 16: Τιμές pH των αρχικών υλικών πριν την αναμιξή τους	47
Πίνακας 17: Συγκέντρωση Ca στους σωρούς και τα αρχικά υλικά	49
Πίνακας 18: Βαρέα μέταλλα και ασβέστιο, όπως μετρήθηκαν για κάθε σωρό μετά την παρασκευή του, αλλά και για αρχικά υλικά πριν την ανάμιξή τους σε σωρούς.....	76
Πίνακας 19: Βαρέα μέταλλα και ασβέστιο όπως μετρήθηκαν για κάθε σωρό στο τέλος του πειράματος	77
Πίνακας 20: Οριακές τιμές για τα βαρέα μέταλλα που ισχύουν στην ιλύ για χρήση της στην γεωργία.	78
Πίνακας 21: Ερμηνεία αποτελεσμάτων για τα δυο μετρούμενα ποσοστά Φυτοτοξικότητας .	79
Πίνακας 22: Ποσοστά αναστολής βλάστησης και αναστολή ανάπτυξης ρίζας όπως υπολογίσθηκαν για κάθε ένα σωρό σύμφωνα με το τεστ φυτοτοξικότητας.....	80

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Στάδια επεξεργασίας Α.Σ.Α. στο Εργοστάσιου Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) νομού Χανίων	11
Σχήμα 2: Διαδικασία δειγματοληψίας από σειράδιο κόμποστ με την μέθοδο του τετραμερισμού.	37

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία 50 χρόνια η συνεχής ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας έχει συμβάλλει στη σημαντική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου. Η άνοδος αυτή οδήγησε αναπόφευκτα, εκτός των άλλων, και στην αυξημένη κατανάλωση προϊόντων έχοντας σαν φυσική συνέπεια την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων, υγρών και στερεών. Η σωστή διαχείρισή τους και η περαιτέρω κατεργασία τους κρίνεται αναγκαία, καθώς η διαθεσή τους στο περιβάλλον έχει απαγορευτεί δια νόμου στις περισσότερες χώρες του πολιτισμένου κόσμου.

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια καινοτόμο, φιλική προς το περιβάλλον και οικονομική μέθοδο για την επεξεργασία του βίο - αποικοδομήσιμου μέρους των παραγόμενων απορριμμάτων. Βασίζεται στη βιολογική διάσπαση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων. Η μόνη διαφορά από τις διεργασίες αποσύνθεσης που πραγματοποιούνται στην φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, είναι, ότι στην κομποστοποίηση οι διεργασίες πραγματοποιούνται υπό ελεγχόμενες συνθήκες και σε μικρότερο χρόνο.

Η συνκόμποστοποίη αποτελεί μια συνήθης πρακτική της κομποστοποίησης, κατά την οποία δυο ή περισσότερα υλικά αναμειγνύονται και κόμποστοποιούνται ως ένα. Πετυχαίνεται με αυτόν τον τρόπο η βελτίωση των ποιοτικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του σύμμεικτου υλικού και ως επακόλουθα των ποιοτικών, χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετά τις παραμέτρους που επηρεάζουν την διεργασία της συνκομποστοποίησης μείγματος οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων, με αφυδατωμένη βιολογική ιλύς από την επεξεργασία των αστικών λυμάτων και φυτικών υπολειμμάτων. Για το σκοπό αυτό 8 σωροί (ανά 2 όμοιοι μεταξύ τους), των παραπάνω υλικών αναμείχθηκαν και αφέθηκαν να κόμποστοποιηθούν υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

1. Ιλύς – Αστικά Στερεά Απορρίμματα

1.1. Γενικά στοιχεία Βιολογικής Ιλύος

1.1.1. Ορισμός ιλύος

Γενικά ως βιολογική ιλύς ορίζεται το στερεό υπόλειμμα που προκύπτει κατά την επεξεργασία των Αστικών αποβλήτων συγκεκριμένα.

Σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986, σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους, κατά τη χρησιμοποίηση ιλύος από επεξεργασία καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία ορίζονται ως:

i) «ιλύς»:

α) η ιλύς που προέρχεται από σταθμούς καθαρισμού που επεξεργάζονται τα οικιακά ή αστικά λύματα και από άλλους σταθμούς καθαρισμού που επεξεργάζονται λύματα των οποίων η σύνθεση είναι παρόμοια με τη σύνθεση των οικιακών και αστικών λυμάτων,

β) η ιλύς που προέρχεται από σηπτικούς βόθρους και άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία των λυμάτων,

γ) η ιλύς που προέρχεται από σταθμούς καθαρισμού μη αναφερόμενους στα σημεία α) και β);

ii) «επεξεργασμένη ή χωνευμένη ιλύς»:

Η ιλύς που έχει υποστεί βιολογική, χημική ή θερμική επεξεργασία, με μακροχρόνια αποθήκευση ή με οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη διαδικασία ώστε να μειωθεί σημαντικά η ικανότητά της προς ζύμωση και ο κίνδυνος για την υγεία που προκαλεί η χρησιμοποίησή της.

1.1.2. Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Τα σημαντικότερα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι οργανικά συστατικά, ανόργανα συστατικά και αέρια.

Αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, παρουσιάζονται, όταν οι οργανικές ουσίες διοχετεύονται σε έναν υδάτινο φορέα, τότε οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα ή στο φορέα, τις χρησιμοποιούν σαν τροφές, καταναλώνοντας συγχρόνως το διαλυμένο οξυγόνο του φορέα. Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας είναι η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα. Εκτός από

το πρόβλημα αυτό, παρατηρείται ένα επιφανειακό αντιαισθητικό στρώμα από τα λιπίδια, η δημιουργία αφρών και ο άμεσος θάνατος οργανισμών από τις τοξικές ουσίες [1].

Οι κυριότερες κατηγορίες οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα απόβλητα είναι:

- Πρωτεΐνες (40–60%): Περιέχονται τόσο στα αστικά όσο και στα βιομηχανικά απόβλητα. Είναι μακρομοριακές ασταθείς ενώσεις αποτελούμενες κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, και άζωτο (σε ποσοστό 16%) που αποσυντίθενται εύκολα από τους μικροοργανισμούς. Όταν περιέχονται σε μεγάλες ποσότητες στα απόβλητα προκαλούνται έντονες δυσοσμίες λόγω της αποσύνθεσής τους.
- Υδρογονάνθρακες (25-50%): Περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, και οξυγόνο. Ορισμένοι (σάκχαρα) διασπώνται εύκολα από μικροοργανισμούς ενώ άλλοι (άμυλο) δυσκολότερα.
- Λιπίδια (10%): Περιέχονται στα αστικά απόβλητα αφού αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου, αλλά και στα νερά επιφανειακής απορροής από την έκπλυση των δρόμων (λάδια, πετρέλαια κλπ.).
- Επιφανειακά ενεργές ουσίες: Περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως συστατικά των απορρυπαντικών, των σαπουνιών κλπ. Είναι μακρομοριακές ενώσεις διαλυτές στη μάζα των αποβλήτων και δρουν στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού – αέρα δημιουργώντας αφρούς. Ορισμένες δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς, ενώ άλλες είναι παράλληλα και τοξικές.
- Φαινόλες: Περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα. Δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις (500 mg/l).
- Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα: Είναι τοξικές ενώσεις επικίνδυνες για όλες τις μορφές ζωής και καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα με τις απορροές γεωργικών περιοχών.

Η σύσταση της ιλύος που παράγεται σε κάθε μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων δεν είναι πάντα η ίδια. Οι περιεκτικότητες στα παραπάνω συστατικά διαφέρουν τόσο στην εμφανισή τους, όσο και την ποσοτητά τους. Διακυμάνσεις μπορούν να εμφανίζονται ακόμα και στην ημερήσια σύσταση της κάθε μονάδας επεξεργασίας.

1.2. Γενικά στοιχεία για τα Αστικά Στερεά Απόβλητα

1.2.1 Ορισμός Α.Σ.Α.

Αστικά Στερεά Απόβλητα (Α.Σ.Α.) είναι αυτά, που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απόβλητα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απόβλητα), των καθαρισμών οδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων, καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ.) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα αναφέρονται και ως Δημοτικά Στερεά Απόβλητα [2]. Σύμφωνα με την Οδηγία 1999/31/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης [3], ως αστικά απόβλητα ορίζονται "τα οικιακά απόβλητα καθώς και άλλα απόβλητα, τα οποία, λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά".

1.2.2. Χαρακτηριστικά των Α.Σ.Α.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η σύνθεση των οικιακών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα. Κατά κανόνα, οι ιλύες βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, τα υπολείμματα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και των κατεδαφίσεων και τα απόβλητα των νοσοκομείων δεν περιλαμβάνονται στα ΑΣΑ, δεδομένου ότι δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απόβλητα. Βέβαια, τα απόβλητα αυτά είναι πιο εύκολο να αναλυθούν, από την άποψη ότι, ανά κατηγορία αποβλήτων, έχουν μεγαλύτερο βαθμό ομοιομορφίας από ό,τι τα οικιακά απόβλητα.

Πίνακας 1: Σύνθεση Οικιακών Στερεών Αποβλήτων (μέσες τιμές κατά βάρος %) στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Χώρας (1997) [4]

Συστατικά Υλικά στα Οικιακά Στερεά Απόβλητα	Διακύμανση Μέσων Τιμών		Τυπική Τιμή	
	Πληθυσμός Ο.Τ.Α.>10000	Πληθυσμός Ο.Τ.Α.<10000	Πληθυσμός Ο.Τ.Α.>10000	Πληθυσμός Ο.Τ.Α.<10000
Οργανικά Υλικά				
Τροφικά	35 - 60	50 - 75	46	62
Υπολείμματα				
Χαρτί	15 - 25	12 - 20	20	16
Χαρτόνι				
Πλαστικά	7 - 15	3 - 10	8,5	7
Υφάσματα	4 - 8	2 - 6	5,0	3
Λάστιχα				
Δέρματα				
Ξύλα				
Απορρίμματα	-	-	1,5	1
Κήπων				
Ανόργανα Υλικά				
Γυαλί	2,5 - 16,0	2 - 12	4,5	2,5
Κουτιά Κασσίτερου	2,8 - 10,0	2 - 5	5,0	3,5
και Αλουμινίου				
Άλλα Μέταλλα				
Άλλα Αδρανή	2 - 12	2 - 20	3,0	1
(Χώμα, Τέφρα,				
κ.τ.λ.)				
Υπόλοιπα			6,5	4

Τελικά (και ουσιαστικά), το τι είναι ή τι δεν είναι ΑΣΑ είναι θέμα ορισμού ή σύμβασης. Ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων διαμορφώθηκε το 1993. Στη διαδικασία ενσωμάτωσης της νομοθεσίας της ΕΕ, τα κράτη μέλη συχνά υιοθετούν διαφορετικούς ορισμούς για την κατάρτιση των εθνικών καταλόγων [5, 6].

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης της σύνθεσης των απορριμμάτων στην Κρήτη σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, σε επίπεδο περιφέρειας για τα έτη 2003 – 2004 [7]. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζεται και η σύνθεση των απορριμμάτων για τον Νομό Χανίων για το έτος 2005-2006, σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το ίδιο εργαστήριο.

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύνθεσης ΑΣΑ περιφέρειας Κρήτης (2003-2004) και Νομού Χανίων (2005-2006) [7, 8]

	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την Περιφέρεια της Κρήτης (Ποσοστό %)	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τον Νομό Χανίων (Ποσοστό %)
ΑΔΡΑΝΗ	2,67	1,06
ΜΕΤΑΛΛΑ	3,51	5,88
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	1,44	2,51
ΓΥΑΛΙ	5,33	6,61
ΔΕΥΛ	5,24	12,62
ΧΑΡΤΙ	19,94	21,02
ΤΡΟΦ.	39,15	34,20
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ		
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	16,85	15,19
ΥΠΟΛΟΙΠΑ	5,87	0,88

2. Κομποστοποίηση

2.1. Γενικά στοιχεία για την Κομποστοποίηση

Η Κομποστοποίηση βασίζεται στην φυσική διεργασία που έχει ως αποτέλεσμα την αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας από μικροοργανισμούς. Η αποικοδόμηση πραγματοποιείται εφόσον παρέχεται στην οργανική μάζα υγρασία και επαρκής ποσότητα αέρα. Η διεργασία είναι ίδια με την αποικοδόμηση που συντελείται στην φύση, για παράδειγμα στα δασικά εδάφη ή στους αγρούς. Το γεγονός ότι η διεργασία πραγματοποιείται υπό ελεγχόμενες συνθήκες διαφοροποιεί την κομποστοποίηση από την φυσική αποικοδόμηση που πραγματοποιείται στην φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

Η κομποστοποίηση αποτελεί μέθοδο διαχείρισης του οργανικού μέρους των στερεών απορριμμάτων και αποσκοπεί στην βέλτιστη αποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος και την δημιουργία ενός τελικού προϊόντος, σταθερού, ιδανικό για αποθήκευση και για χρήση στο έδαφος, χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον.

Ο όρος κομποστοποίηση περιλαμβάνει την αερόβια διαδικασία, που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της οργανικής ύλης καθώς οι ανθρακούχες ενώσεις καταναλώνονται ως ενεργειακές πηγές από τους μικροοργανισμούς. Στην διαδικασία αυτή πραγματοποιούνται σημαντικές φυσικές, χημικές και μικροβιακές αλλαγές καθιστώντας το τελικό προϊόν εντελώς διαφορετικό από το αρχικό.

Η διαδικασία υποδιαιρείται σε διάφορα στάδια:

Αρχικά καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς, κυρίως βακτήρια, οι εύκολα διαθέσιμες πηγές άνθρακα και ενέργειας που περιλαμβάνουν τους διαλυτούς υδατάνθρακες, το άμυλο και τις διαλυτές πρωτεΐνες, με συνέπεια την ταχεία ανάπτυξη της μικροβιακής βιομάζας και την επακόλουθη αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού, την κατανάλωση παράλληλα οξυγόνου και την παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα, αμμωνίας, αμιδίων και άλλων πτητικών ουσιών που συνήθως προκαλούν δυσοσμία.

Έπειτα η κομποστοποίηση συνεχίζεται, σε έναν πιο αργό ρυθμό. Κατά την περίοδο αυτή οι λιγότερο εύκολα καταναλισκόμενοι υδατάνθρακες των κυτταρικών τοιχωμάτων, η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες, διασπώνται και μεταβολίζονται.

Στην συνέχεια η διαδικασία επιβραδύνεται κι άλλο, το υλικό αρχίζει να ψύχεται, καθώς οι άμεσα διαθέσιμες πηγές ενέργειας, αρχίζουν να εξαντλούνται. Παράλληλα τα παραπροϊόντα του μεταβολισμού συσσωρεύονται και αυξάνεται η συγκέντρωσή τους και για τους μικροοργανισμούς αφήνονται όλο και περισσότερο ανθεκτικές δομικά ενώσεις λιγνό-κυτταρίνης δύσκολα όμως αφομοιώσιμες.

Τελικά οι μόνες πηγές άνθρακα που απομένουν είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές: λιγνίνες και πολυφαινολικά παράγωγα, γνωστά ως χουμικά και φουλβικά οξέα. Το κόμποστ πλέον θεωρείται αερόβια σταθερό και εισέρχεται στο στάδιο της ωρίμανσης.

Οι χημικές και μικροβιολογικές δραστηριότητες συνεχίζονται αλλά σε έναν πολύ πιο αργό ρυθμό. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, το κόμποστ γίνεται λιγότερο φυτοτοξικό καθώς καταλυτικά ένζυμα και άλλες βιολογικά ενεργές ουσίες μετουσιώνονται και υποβαθμίζονται. Γενικά, υπάρχει μια συνεχής διαδοχή των μικροβιακών πληθυσμών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης.[9]

2.2. Πεδία εφαρμογής Κομποστοποίηση

Η χρήση της τεχνολογίας της κομποστοποίησης συμβάλει στην εφαρμογή της Οδηγίας 31/1999 για την υποχρεωτική μείωση των οργανικών ρύπων στους ΧΥΤΑ. Το κόμποστ συμβάλει στην προστασία των εδαφών από την εντεινόμενη διάβρωση τους, τον περιορισμό της ερημοποίησης που ήδη απειλεί τη νότιο Ευρώπη και τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ειδικότερα για την Ελλάδα οι υψηλές θερμοκρασίες όλο το χρόνο στην χώρα μας ενδείκνυνται για την κομποστοποίηση και ιδιαίτερα στην Κρήτη.

2.3. Τι ορίζεται ως Κόμποστ

Κόμποστ ορίζεται ως το στερεό υπόλειμμα που προκύπτει από την διαδικασία της κομποστοποίησης. Ο όρος περιγράφει κυρίως την οργανική ουσία στην οποία ενδέχεται να υπάρχουν ορισμένοι αδρανείς μολυσματικοί παράγοντες. Το κόμποστ χρησιμοποιείται κυρίως ως έδαφο-βελτιωτικό, και σε μικρή κλίμακα στην γεωργία ως λίπασμα είτε καθαρό είτε ως πρόσθετο σε αναλογία. Σε άλλες περιπτώσεις εναποτίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής ως αδρανές πλέον υλικό.

Ο Zucconi (1986) [10] όρισε το κόμποστ ως ένα σταθερό οργανικό υλικό που προκύπτει από μια ελεγχόμενη βίο-οξειδωτική διαδικασία (κομποστοποίηση).

Οι Legee και Thompson (1997) [11] όρισαν το κόμποστ ως το προϊόν της ελεγχόμενης βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών απορριμμάτων το οποίο έχει αποστειρωθεί και σταθεροποιηθεί σε τέτοιο βαθμό που είναι δυνατόν να αναπτυχθεί βλάστηση σε αυτό όταν χρησιμοποιηθεί στο έδαφος, το κόμποστ είναι κατά ένα μεγάλο βαθμό βιοαποικοδομημένη οργανική ύλη η οποία βρίσκεται στο στάδιο της χουμοποίησης.

Το 2^ο draft της E.E. working document για την βιολογική επεξεργασία των βιοαπορριμμάτων (2001), ορίζει το κόμποστ ως το σταθερό, αποστειρωμένο και χουμώδες υλικό, πλούσιο σε οργανική ύλη και ελεύθερο από δυσάρεστες οσμές που προκύπτει από την διαδικασία της κομποστοποίησης, βίο-απορριμμάτων που έχουν συλλεχθεί ξεχωριστά, και τα οποία συμμορφώνονται με τις απαριθμημένες περιβαλλοντικές ποιοτικές προτάσεις που δίνονται στο παράρτημα ΙΙΙ του εγγράφου.

Εδώ όμως αφήνεται να εννοηθεί ότι το υλικό το οποίο δεν πληρεί τα απαραίτητα ποιοτικά χαρακτηριστικά, δεν θα μπορεί να ορίζεται ως Κόμποστ. Για τα υλικά έχει περιληφθεί μια νέα κατηγορία ως σταθεροποιημένα βίοαπορρίμματα.

2.4. Κομποστοποίηση ιλύος

Η κομποστοποίηση της βιολογικής ιλύος ενδέχεται να παρουσιάσει ορισμένα προβλήματα, το βασικότερο από τα οποία εντοπίζεται στην περιεχόμενη υγρασία της, η οποία κυμαίνεται από 70 – 80%. Η παρουσία τόσης μεγάλης ποσότητας νερού επηρεάζει την κομποστοποίηση, διατηρώντας τις θερμοκρασίες σε χαμηλά επίπεδα.

Κατά κανόνα όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό της υγρασίας τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια που απαιτείται να βρίσκεται εκτεθειμένη στον αέρα, ή τόσο συχνότερη πρέπει να είναι η ανάδευση και ο αερισμός του υλικού.

Η αφυδατωμένη ξηρή ιλύς είναι ένα μη εύθραυστο υλικό καθόλου πορώδες σε σχέση με τα άχυρα ή τα απορρίμματα. Σε εφυδατωμένη κατάσταση, η πλαστική της υφή και μορφή, της επιτρέπει να συμπιέζεται κάτω από το ίδιο της το βάρος, μειώνοντας τα διάκενα μεταξύ των σωματιδίων που την αποτελούν.

Οι παραπάνω λόγοι κάνουν την κομποστοποίηση της ιλύος, χωρίς την προσθήκη ξένων υλικών τα οποία θα βελτίωναν τις φυσικές της ιδιότητες, δύσκολη και πολλές φορές αδύνατη.

Στην Αγγλία είναι αρκετά διαδεδομένη η συν-κομποστοποίηση με φυτικά υπολείμματα, ενώ σε άλλες χώρες χρησιμοποιούνται παραπροϊόντα της επεξεργασίας των ζαχαρότευλων.

2.5. Κομποστοποίηση Α.Σ.Α.

Η κομποστοποίηση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων αποτελεί μια μέθοδο η οποία τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει μελετηθεί αρκετά, ενώ μια πληθώρα τεχνολογιών έχει αναπτυχθεί γύρω από την βελτίωση τόσο καθαυτής της διεργασίας όσο και της προκατεργασίας της πρώτης ύλης. Ειδικότερα διαδικασίες διαχωρισμού, ελάττωσης του μεγέθους και προετοιμασίας των υλικών αλλά και βιολογικής επεξεργασίας αυτών πριν την κομποστοποίηση, αποτελούν τις κυριότερες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν και συνεχίζουν να μελετούνται και να βελτιώνονται μέχρι σήμερα. Ορισμένες από τις τεχνολογίες αυτές αναπτύχθηκαν αρχικά για άλλους σκοπούς και

στην συνέχεια υιοθετήθηκαν και προσαρμόσθηκαν για την επεξεργασία των Α.Σ.Α.[12].

Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε αρκετές χώρες τόσο σχετικά με τον έλεγχο της διεργασίας για την διερεύνηση των παραμέτρων της, φυσικών και χημικών, αλλά και για την ανάπτυξη μεθόδων έλεγχου των ιδιοτήτων αυτών. Ο Melis (2003) [13] αναφέρει ότι θερμοκρασιακά δεδομένα αποτελούν μια απλή και χρήσιμη μέθοδο για παρακολούθηση της διεργασίας της κομποστοποίησης χωρίς την ανάγκη προεπεξεργασίας του δειγμάτων

Στην Ελλάδα πιο συγκεκριμένα έχουν κατασκευαστεί τρεις μονάδες κομποστοποίησης Α.Σ.Α. οι οποίες αποτελούν μέρος εγκαταστάσεων μηχανικής διαλογής, ανακύκλωσης και κομποστοποίησης αστικών στερεών απορριμμάτων (Καλαμάτα, Χανιά, Αθήνα).

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η διαδικασία διαλογής, επεξεργασίας, ανακύκλωσης και κομποστοποίησης των Α.Σ.Α. στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) του νομού Χανίων.

2.6. Συνκομποστοποίηση

Η συνκομποστοποίηση αποτελεί την μέθοδο ανάμειξης δυο ή και περισσότερων υλικών σε κάποια αναλογία και την μετέπειτα βιολογική τους αποικοδόμηση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Ο λόγος που οδηγείται κάποιος στην διαδικασία αυτή είναι κυρίως η βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών των υλικών, τα οποία μόνα τους θα ήταν αδύνατο να βιοαποικοδομηθούν. Ένας άλλος παράγοντας που επιτάσσει την συνκομποστοποίηση είναι η αφθονία ορισμένων υλικών (απορριμμάτων) σε κάποιες περιοχές, όπως υπολείμματα ζαχαροκάλαμων, απορρίμματα πτηνοτροφικών ή κτηνοτροφικών μονάδων και ελαιουργείων[14]. Η ποιότητα και η σταθερότητα του κάθε κόμποστ από μείγματα υλικών ποικίλλει και εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται.[15, 16, 17].

2.7. Κομποστοποίηση μείγματος ιλύος ΑΣΑ

Η συνκομποστοποίηση στερεών αστικών απορριμμάτων και ιλύος από την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων άρχισε να μελετάται την δεκαετία του 80. Ο Ravin (1986) αναφέρει ότι συνδυασμοί κόμποστ και Α.Σ.Α. αξίζει να διερευνηθούν καθώς τα αρνητικά χαρακτηριστικά που είχαν το κάθε ένα από τα αναμειγνυόμενα υλικά, όπως ανομοιογένεια, υψηλή αλκαλικότητα, χαμηλή ικανότητα ιοντοανταλλαγής αλλά και υψηλά ποσά ρύπων, ήταν δυνατόν να ελαττωθούν, παρέχοντας ένα φτηνό και καθαρό προϊόν[18]. Επομένως η συνκομποστοποίηση βιολογικής ιλύος με αστικά στερεά απορρίμματα μπορεί να αποβεί σε μια επωφελής μέθοδος καθώς τα δυο υλικά ‘‘αλληλοσυμπληρώνονται’’ μεταξύ τους. Η βιολογική ιλύς είναι πλούσια σε οργανικό άζωτο και υγρασία, ενώ τα Α.Σ.Α. έχουν σχετικά υψηλό ποσοστό οργανικού άνθρακα.

2.8. Περιγραφή της Κομποστοποίησης

Η διαδικασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται σε δυο κύριες φάσεις. Στην πρώτη φάση, μικροοργανισμοί αποικοδομούν τα προς κομποστοποίηση υλικά σε απλούστερες ενώσεις, παράγοντας θερμότητα ως προϊόν της μεταβολικής τους δραστηριότητας. Το μέγεθος του κόμποστοποιούμενου σωρού ελαττώνεται σε αυτό το στάδιο.

Στην δεύτερη φάση, το κόμποστ θεωρείται ώριμο, οι μικροοργανισμοί εξαντλούν τα υπάρχοντα θρεπτικά υπολείμματα στον σωρό, η διαδικασία

επιβραδύνεται, και έτσι η παραγωγή θερμότητας σταδιακά ελαττώνεται και το κόμποστ ξηραίνεται και αποκτά εύθραυστη δομή. Όταν επέλθει αυτό το στάδιο το κόμποστ θεωρείται σταθερό ή ώριμο. Οποιαδήποτε μικροβιακή δραστηριότητα πλέον θα λαμβάνει χώρα σε πολύ αργούς ρυθμούς.

2.9. Σταθεροποίηση του κόμποστ

Γενικότερα στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει κάποιος διεθνώς αποδεκτός όρος για την σταθεροποίηση του κόμποστ.

Ο Legee και Thompson (1997) [11] έδωσαν δυο ορισμούς για τη σταθεροποίηση:

1. Αποτελεί ένα στάδιο της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης και μια λειτουργία της βιολογικής δραστηριότητας
2. Ο βαθμός της βιολογικής δραστηριότητας σε ένα υγρό, θερμό, και καλά αερισμένο δείγμα βιομάζας"

Ο Bernal et al. (1998) [19], αναφέρει σχετική σταθερότητα στη μικροβιακή δραστηριότητα της κομποστοποίησης.

Ο Stentiford (2000) [20], περιγράφει την σταθεροποίηση ως "... το πραγματικό σημείο που καταλήγει μια διαδικασία βίο διάσπασης, ο βαθμός αποσύνθεσης, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο η αντίδραση κομποστοποίησης έχει προοδεύσει'.

Η UK Composting Association (2001) [21], καθορίζει την σταθερότητα ως τον βαθμό βιολογικής αποσύνθεσης στο οποίο έχουν καταλήξει τα κομποστοποιούμενα υλικά'.

Οι Hue and Liu (1995) [22], την ορίζει σχετική σταθερότητα στη μικροβιακή δραστηριότητα και ως εκ τούτου στη δυσάρεστη παραγωγή μυρωδιών.

Ο McAdams και White (1996) [23], πρότειναν έναν θεωρητικό καθορισμό σταθερότητας ως ` το σημείο όπου εύκολα το διασπάσιμο υπόστρωμα είναι μειωμένο έτσι ώστε το ποσοστό αποσύνθεσής του δεν ελέγχει το γενικό ποσοστό αποσύνθεσης".

Το The Californian Compost Quality Council (2001) καθορίζει τη σταθερότητα ως ` ένα στάδιο ή μια κατάσταση της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης που συσχετίζεται παραμονή ορισμένων τύπων οργανικών ενώσεων και την επακόλουθη βιολογική δραστηριότητα στο υλικό'.

Ο Brewer και Sullivan (2001) [24], συσχέτισαν την σταθεροποίηση με τη μικροβιακή δραστηριότητα.

Σύμφωνα με έρευνα του The Waste and Resources Action Programme [9], αναφέρεται ότι «Σε όλη μας την βιβλιογραφική έρευνα, βρέθηκαν 49 αναφορές όπου παρουσιάζονται και προτείνονται ορισμοί για την σταθερότητα του κόμποστ επικαλούμενες 12 παραμέτρους είτε μεμονωμένες είτε και σε συνδυασμό». Οι παράμετροι αυτοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 καθώς και τα ποσοστά χρήσης των παραμέτρων αυτών για το ορισμό της σταθερότητας του κόμποστ.

Πίνακας 3: Παράμετροι που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία για να ορίσουν την σταθεροποίηση του κόμποστ και ποσοστό εμφάνισης αυτών [9].

	Παράμετρος Σταθερότητας	Ποσοστό (%)
1	Βιολογική δραστηριότητα ή αναπνοή	35
2	Βαθμός ή στάδιο της αποσύνθεσης	20
3	Δυσσομία – Έκλυση οσμών	14
4	Κατανάλωση αζώτου	8
5	Διαθεσιμότητα θρεπτικών	6
6	Φυτοτοξικότητα	4
7	Διαθέσιμος άνθρακας ή άλλες πηγές ενέργειας	2
8	Χρώμα	2
9	Διαλυτότητα βαρέων μετάλλων	2
10	Περιεκτικότητα σε ύδωρ	2
11	Κίνδυνοι περιβαλλοντικής υγείας	2
12	Σύσταση	2

Η βιολογική δραστηριότητα είναι η περισσότερο διαδεδομένη παράμετρος, επειδή η σταθερότητα αυξάνει όσο η βιολογική δραστηριότητα μειώνονται. Ο βαθμός, το σημείο, το στάδιο ή η κατάσταση της αποσύνθεσης είναι ο δεύτερος δημοφιλέστερος ορισμός, αλλά αυτό εξαρτάται ιδιαίτερα από το αρχικό υλικό και τη διαδικασία που χρησιμοποιούνται, επομένως, είναι ακατάλληλες για τον καθορισμό της σταθερότητας και για την περιγραφή ή την αξιολόγηση της ποιότητας των κόμποστ άγνωστης προέλευσης. Η έκλυση οσμών επίσης συχνά αναφέρεται αλλά δεν είναι υποκειμενική και κατάλληλη ως παράμετρος αναφοράς. Οι άλλες αναφερόμενες παράμετροι είναι έμμεσες ή δεν επιτυγχάνουν να ορίσουν με επιτυχία την σταθερότητα και την ωριμότητα.

Κατά συνέπεια η σταθερότητα καθορίζεται συνήθως είτε ως στάδιο στη διαδικασία κομποστοποίησης, είτε ως ποσοστό δραστηριότητας. Το στάδιο ή ο

βαθμός αποσύνθεσης είναι μια δύσκολα μετρούμενη ιδιότητα στα κόμποστ άγνωστης προέλευσης. Σαν επίσημη μέτρηση, το ποσοστό δραστηριότητας δεν ισχύει παγκοσμίως για όλα τα υλικά ή όλες τις διαδικασίες κομποστοποίησης, ως ακριβής προσδιορισμός του σταδίου ή της κατάστασης της αποσύνθεσης. Δεν υπάρχει καμία καθολική κλίμακα του σταδίου της διαδικασίας αποσύνθεσης. Η σταθερότητα σχεδόν πάντα μετράται και αναφέρεται ως ποσοστό δραστηριότητας που μετριέται ως κατανάλωση O_2 , η παραγωγή CO_2 ή ικανότητα αυτοθέρμανσης.

2.10. Ωρίμανση του Κόμποστ

Η ωριμότητα υπονοεί τις βελτιωμένες ιδιότητες ως αποτέλεσμα "παλαίωσης" ενός προϊόντος. Από αυτή την άποψη η ωριμότητα είναι η ίδια όπως όταν χρησιμοποιείται για να περιγράψει άλλα προϊόντα που βελτιώνονται με την ηλικία, π.χ. ούισκι, κρασί ή τυρί. Ποιο απλά η ωριμότητα είναι ένα μέτρο της ετοιμότητας ενός προϊόντος για τη χρήση.

Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την ωριμότητα πρέπει να αφορούν άμεσα την ικανότητα για το σκοπό αλλά πρέπει να είναι παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια της γήρανσης. Στην πράξη, η ωριμότητα αξιολογείται συνήθως από έναν συνδυασμό παραγόντων. Ένα τελικό προϊόν θεωρείται να είναι "ώριμο" όταν είναι έτοιμο για την προοριζόμενη χρήση του. Πρέπει σαφώς να γίνει κατανοητό ότι αυτό δεν καθιστά το προϊόν κατάλληλο για όλες τις πιθανές χρήσεις.

Ο Legee και Thompson (1997) [11], παρουσίασαν δύο ορισμούς για την ωριμότητα του κόμποστ

1. "Ένας όργανο-χημικός όρος του κόμποστ, ο οποίος δείχνει την παρουσία ή την έλλειψη οργανικών φυτοτοξικών χημικών ουσιών."
2. "Ο βαθμός στον οποίο ένα οργανικό υλικό περιέχει οργανικές φυτοτοξικές ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν καθυστερημένη βλάστηση σε σπόρους ή να εμποδίσουν την ανάπτυξη φυτών όταν χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα... δεν καταναλώνει πλέον το άζωτο ή το οξυγόνο... δεν είναι ιδιαίτερα ενεργό και δεν θα προκαλέσει τη μείωση του αζώτου στο χώμα με το οποίο αναμιγνύεται".

Πρόσφεραν επίσης τρεις ορισμούς για το ώριμο κόμποστ: `

1. Γενικά ένα σταθερό έως πολύ σταθερό λίπασμα με ελάχιστες ή καμία φυτοτοξικές χημικές ουσίες παρούσες.
2. Οποιοδήποτε οργανικό υλικό που έχει υποβληθεί σε μια βιολογική διαδικασία αποσύνθεσης και ταυτόχρονα αποστείρωσης ώστε να μειώσει περαιτέρω τα παθογόνα και είναι στο στάδιο της χουμοποίησης.
3. Το σημείο στο οποίο ένα λίπασμα δεν θα ενεργήσει επιβλαβώς όταν χρησιμοποιείται ως έδαφο-βελτιωτικό.

Σύμφωνα με έρευνα του The Waste and Resources Action Programme [9], αναφέρεται ότι «Σε όλη μας την βιβλιογραφική έρευνα, βρέθηκαν 44 αναφορές όπου παρουσιάζονται και προτείνονται ορισμοί για την ωρίμανση του κόμποστ επικαλούμενες 7 παραμέτρους είτε μεμονωμένες είτε και σε συνδυασμό». Οι παράμετροι αυτοί καθώς και τα ποσοστά χρήσης των παραμέτρων αυτών για τον ορισμό της σταθερότητας του κόμποστ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Παράμετροι που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία για να ορίσουν την ωρίμανση του κόμποστ και ποσοστό εμφάνισης αυτών [9].

Παράμετρος ωριμότητας	Ποσοστό(%)
1 Δυσμενή αποτελέσματα στα φυτά (συμπεριλαμβανομένων των θρεπτικών δυσαναλογιών και (C:N)	45
2 Βαθμός αποσύνθεσης	23
3 Βιολογική δραστηριότητα /αναπνοή	11
4 Γεωργικά οφέλη (σύσταση, διατήρηση ύδατος, απελευθέρωση θρεπτικών, καταστολή παθογόνων)	9
5 Οσμές	9
6 Παθογόνα	4
7 Χρώμα	2

Οι δυσμενείς συνέπειες στα φυτά, συμπεριλαμβανομένης της φυτοτοξικότητας, της ακινητοποίησης αζώτου και της θρεπτικής δυσαναλογίας είναι οι επικρατέστερες αναφερόμενες παράμετροι για τον ορισμό της Ωρίμανσης του κόμποστ. Ο συνδυασμός της βιολογικής δραστηριότητας και του βαθμού αποσύνθεσης είναι σε δεύτερη σειρά επικρατέστεροι παράμετροι.

Οι εκλύσεις οσμών αναφέρονται αλλά δεν αποτελούν βασική προϋπόθεση για την τυποποίησή του ως επαρκή μέθοδο δοκιμής της ωριμότητας του κόμποστ. Τα γεωργικά οφέλη και το χρώμα είναι έμμεσες ιδιότητες όχι απαραίτητως σχετικές με

μια διαδικασία γήρανσης. Η μείωση παθογόνων μπορεί να είναι μια σημαντική λειτουργία της διαδικασίας λίπανσης και η παρουσία παθογόνων μπορεί βεβαίως να έχει επιπτώσεις στην ικανότητα για το σκοπό χρήσης του κόμποστ. Εντούτοις η αποστείρωση πρέπει να έχει επέλθει κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων θέρμανσης, έτσι είναι αμφισβητήσιμο εάν πρέπει να θεωρηθεί ως παράμετρος ωριμότητας.

Είναι σαφές ότι η ωριμότητα καθορίζεται συνήθως από την άποψη της σταθερότητας και των δυσμενών αποτελεσμάτων στα φυτά, αλλά διαφορετικοί παράμετροι και κριτήρια ωριμότητας μπορούν να ληφθούν υπόψη για διαφορετικές τελικές χρήσεις του κόμποστ.

3. Βασικές αρχές Κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση βασίζεται σε μια φυσική διεργασία η οποία πραγματοποιείται από ζωντανούς μικροοργανισμούς κάτι ανάλογο με την διεργασία που πραγματοποιείται στην φύση. Για την επιβίωση των οργανισμών αυτών, ώστε να αποδώσουν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους, απαιτείται η ρύθμιση ορισμένων παραμέτρων φυσικών και χημικών. Οι παράμετροι αυτοί παρουσιάζονται παρακάτω.

3.1. Οξυγόνο

Η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε αερόβιες (παρουσία ελεύθερου οξυγόνου) ή σε αναερόβιες (απουσία ελεύθερου οξυγόνου) συνθήκες. Όμως, η αερόβια διαδικασία είναι γρηγορότερη (10 με 20 φορές πιο γρήγορη) από την αναερόβια. Κατά την αναερόβια διαδικασία παράγονται περισσότερες ενοχλητικές και δυσάρεστες οσμές λόγω των αερίων του υδρόθειου των αμινών και του μεθανίου που παράγεται από την απουσία του οξυγόνου και αποτελούν παραπροϊόντα της διεργασίας.

Μικροοργανισμοί, σημαντικοί για την κομποστοποίηση, απαιτούν περίσσια οξυγόνου ώστε να διασπάσουν τα οργανικά υλικά στον σωρό. Έπ' αυτού απουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου, επέρχεται αδρανοποίησή τους και αναερόβιοι μικροοργανισμοί αρχίζουν να δρουν. Αυτό συμβαίνει όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου στον αέρα μέσα στον σωρό μειωθεί κάτω του 5% (η περιεκτικότητα οξυγόνου στον αέρα είναι 21%). Για να υποβοηθηθεί η αερόβια μικροβιακή διεργασία, απαιτείται να υπάρχουν κενά μεταξύ των σωματιδίων του υλικού στα οποία, να εγκλωβίζεται επαρκής ποσότητα αέρα. Το οξυγόνο μπορεί να παρέχεται με το γύρισμα, το ανακάτεμα του σωρού, ή με την χρήση συστημάτων σωληνώσεων αερισμού μέσα σε αυτών.

Η ποσότητα του παρεχόμενου οξυγόνου εξαρτάται από:

- Το στάδιο της διαδικασίας – Το οξυγόνο είναι απαραίτητο να παρέχεται στα πρώτα στάδια της κομποστοποίησης, όχι όμως στο στάδιο της ωρίμανσης
- Το τύπο των υλικών που χρησιμοποιούνται – Τα υλικά με υψηλά ποσοστά αζώτου απαιτούν περισσότερο οξυγόνο
- Το μέγεθος των σωματιδίων του υλικού - Τα μικρού κοκκώδους υλικά (μικρότερα της 1 με 2 inches) συμπιέζονται ελαττώνοντας το διάκενο μεταξύ τους και επακόλουθα τον ελεύθερο χώρο για να κινείται σε αυτά ο αέρας.

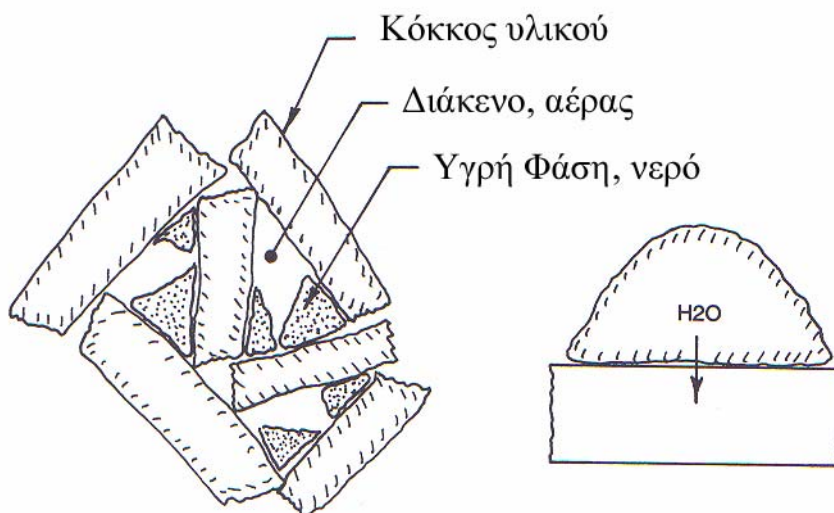
- Η υγρασία του υλικού - Τα υλικά με υψηλή υγρασία απαιτούν περισσότερη ποσότητα οξυγόνου.

Βέβαια στα παραπάνω πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο παρατεταμένος αερισμός του σωρού μπορεί να προκαλέσει την ξήρανσή του και επακόλουθα την διακοπή οποιασδήποτε διεργασίας σε αυτόν.

3.2. Μέγεθος Σωματιδίων ή Κοκκώδες

Το μέγεθος των υλικών επηρεάζει την διαδικασία της κομποστοποίησης. Τα μεγέθη των εισερχόμενων στο σωρό υλικών μπορούν να παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Όσο μικρότερα είναι τα τεμαχίδια του υλικού τόσο περισσότερο επιταχύνεται η διεργασία καθώς αυξάνεται η ενεργός επιφάνεια του υλικού. Άρα περισσότερη επιφάνεια είναι εκτεθειμένη στην μικροβιακή δραστηριότητα. Μικρότερα σωματίδια στο κόμποστ επιφέρουν επιπλέον, καλύτερη ανάμιξη μεταξύ των διαφόρων υλικών άρα παρέχεται ομογενοποίηση και μόνωση του κόμποστ [25].

Η ικανοποιητική μόνωση βοηθάει, στην διατήρηση της ιδανικής θερμοκρασίας στο σωρό. Ταυτόχρονα όμως πολύ μικρό μέγεθος σωματιδίων προκαλεί συμπίεση των υλικών απουσία διάκενων, στα οποία διαχέεται αέρας και νερό.

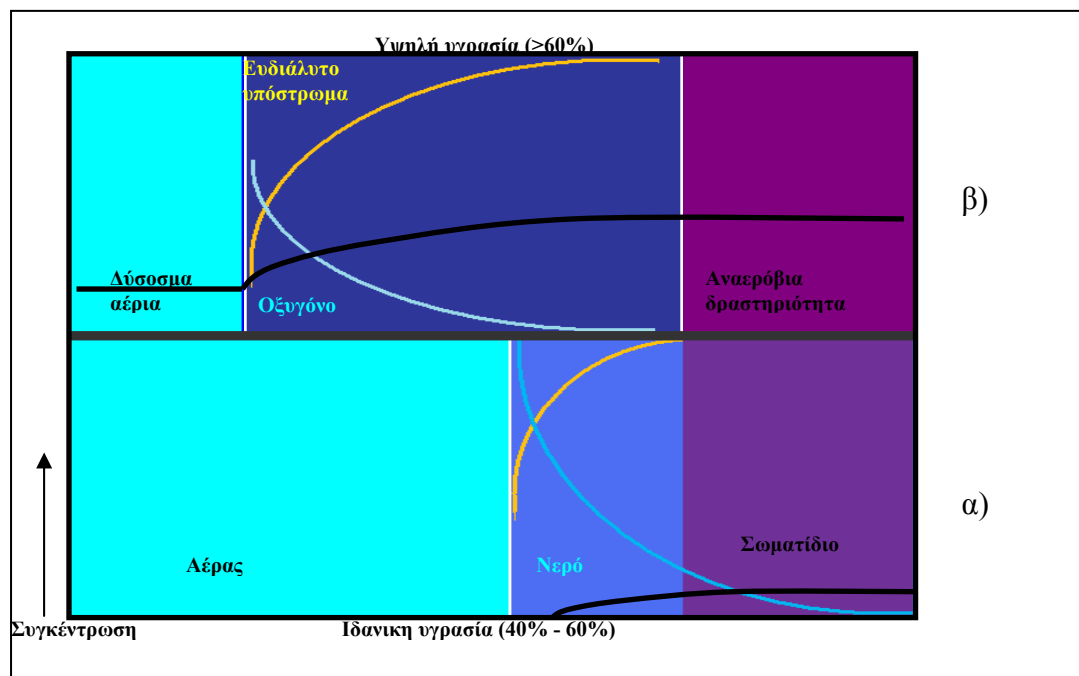


Εικόνα 1: Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής των στερεών, του αέρα και του νερού στον σωρό, καθώς και της κίνησης του νερού σε αυτόν [26].

3.3. Υγρασία

Η ποσότητα του νερού στο κόμποστοποιούμενο υλικό αποτελεί μια από τις βασικότερες παραμέτρους και επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα αλλά και τις υπόλοιπες πτυχές της διεργασίας, όπως θερμοκρασία, περιεχόμενο οξυγόνο, κ.α. Το νερό είναι απαραίτητο στους μικροοργανισμούς για τον μεταβολισμό τους, τον πολλαπλασιασμό τους, οι ίδιοι δε παράγουν μεγάλες ποσότητες νερού κατά την διάσπαση των οργανικών συστατικών του σωρού. Εάν το συσσωρευόμενο νερό είναι περισσότερο από αυτό που καταναλώνεται μέσω του αερισμού και της εξάτμισης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, τότε εμφανίζεται μειωμένη ροή αέρα και επικρατούν αναερόβιες συνθήκες [25]. Η ιδανική περιεκτικότητα υγρασίας έχει υπολογιστή στο 65% [27].

Το νερό μεταφέρει στοιχεία και ορισμένα θρεπτικά συστατικά στην μάζα του κόμποστ, μετατρέποντας τα φυσικά και χημικά διαθέσιμα στους μικροοργανισμούς. Στην περίπτωση που η υγρασία μειωθεί κάτω από 40%, δεν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στην αφομοιώσιμη υδατική φάση. Επακόλουθα, η μικροβιακή δραστηριότητα επιβραδύνεται και ταυτόχρονα η διαδικασία της κομποστοποίησης. Σε υγρασία κάτω του 20% δρουν ελάχιστοι μικροοργανισμοί[28].

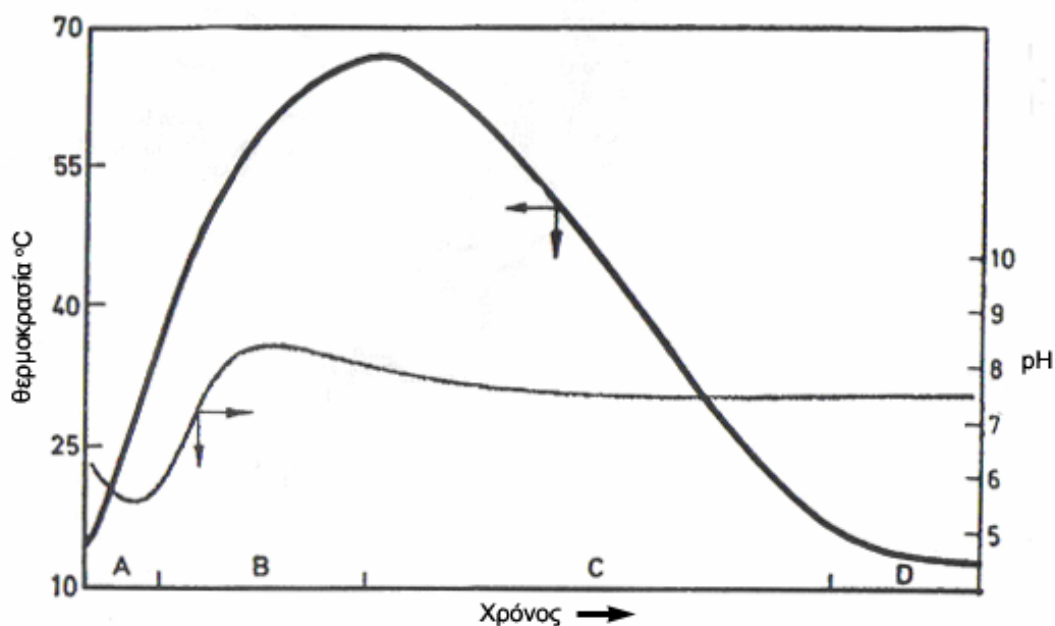


Διάγραμμα 1: Αναπαράσταση της υγρής στοιβάδας μεταξύ υποστρώματος και αέρα στο κόμποστοποιούμενο υλικό, για τις περιπτώσεις α) βέλτιστης υγρασίας, β) υπερβολικής υγρασίας.[29].

3.4. PH

Το pH εκφράζει την αλκαλικότητα ή την οξύτητα στην υγρασία του σωρού. Τα βακτήρια δρουν σε υψηλότερους ρυθμούς με pH 6 – 7,5 ενώ οι μύκητες παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών, μεταξύ 5,5 και 8 [30]. Εάν το pH πέσει κάτω του 6 οι μικροοργανισμοί και κυρίως τα βακτήρια πεθαίνουν και ο ρυθμός κομποστοποίησης ελαττώνεται [31]. Εάν το pH υπερβεί την τιμή 9 τότε το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία και παύει να είναι διαθέσιμο για τους μικροοργανισμούς [32].

Όπως και στην θερμοκρασία, έτσι και το pH παρουσιάζεται να ακολουθεί μια καμπύλη κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης. Όπως εμφανίζεται στο Διάγραμμα 2 το μεγαλύτερο μέρος της κομποστοποίησης πραγματοποιείται μεταξύ των τιμών 5,5 και 9 [25, 27]. Κατά το ξεκίνημα της κομποστοποίησης οργανικά οξέα παράγονται και το pH κυμαίνεται στο 5. Σε αυτήν την τιμή μύκητες ανθεκτικοί στο όξινο περιβάλλον παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση του pH.



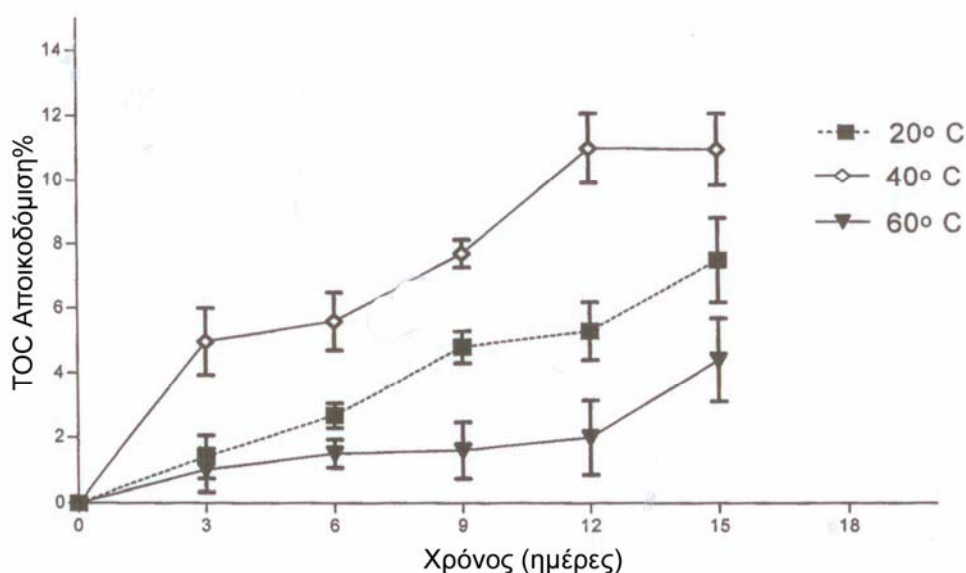
Διάγραμμα 2: Διακύμανση Θερμοκρασίας και pH σε σχέση με το χρόνο, φάσεις μικροβιακής δραστηριότητας: Α= Μεσόφιλοι, Β= Θερμόφιλοι, Γ= Ψύξη, Δ= Ωρίμανση[25]

3.5. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ουσιώδης παράμετρο για την παρακολούθηση της κομποστοποίησης στον σωρό. Η μεταβολή της θερμοκρασίας εξαρτάται από την θερμότητα που παράγεται κατά την δράση των μικροοργανισμών και αντισταθμίζεται με τον κατάλληλο αερισμό, την επιφανειακή ψύξη του σωρού και την εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας [33]. Οι πιο αποτελεσματικές θερμοκρασίες κομποστοποίησης κυμαίνονται μεταξύ 45 και 59°C. Κάτω των 20°C οι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται. Σε θερμοκρασίες άνω των 59°C ορισμένοι οργανισμοί πάλι αδρανοποιούνται ή και θανατώνονται με αποτέλεσμα μείωση του ρυθμού κομποστοποίησης [34, 35].

Οι μικροοργανισμοί τείνουν να παρουσιάσουν την μέγιστη απόδοση στην αποικοδόμηση των θρεπτικών υλικών, στα ανώτερα όρια αντοχής τους στην θερμοκρασία. Επακόλουθα ο ρυθμός δράσης τους αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, έως μια μέγιστη τιμή. Είναι αναγκαίο λοιπόν να ρυθμίζεται η θερμοκρασία στο μέγιστο δυνατά όριο επιβίωσης των μικροοργανισμών.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του ρυθμού αποικοδόμησης άνθρακα στο κόμποστ σε διαφορετικές θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 3: Επίδραση της θερμοκρασίας στην αποικοδόμηση οργανικού άνθρακα [36].

3.6. Θρεπτικά στοιχεία

Για να είναι αποτελεσματική η κομποστοποίηση, οι μικροοργανισμοί απαιτούν την ύπαρξη ορισμένων θρεπτικών στοιχείων, σε αφομοιώσιμη μορφή, στις κατάλληλες συγκεντρώσεις και στην σωστή αναλογία. Τα βασικά στοιχεία, αυτά δηλαδή που απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες, είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P) και το κάλιο (K). Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται τον άνθρακα ως πηγή ενέργειας. Καταναλώνουν επίσης τον άνθρακα και το άζωτο για την σύνθεση πρωτεϊνών, την δημιουργία νέων κυττάρων και των πολλαπλασιασμό τους. Το κάλιο και ο φωσφόρος είναι και αυτά ζωτικά, για την παραγωγή νέων κυττάρων, και τον μεταβολισμό. Όπως έχει διευκρινισθεί ο άνθρακας και το άζωτο είναι οι παράγοντες που μπορούν να οριοθετήσουν την διαδικασία της κομποστοποίησης σε ένα σύστημα [33].

Βέβαια η παρουσία και άλλων στοιχείων σε αφομοιώσιμη μορφή, είναι απαραίτητη για την επιβίωση των μικροοργανισμών καθώς μετέχουν σε διάφορα στάδια της μεταβολικής διαδικασίας, όμως οι ποσότητες που απαιτούνται είναι ελάχιστες. Τα κυριότερα μικροστοιχεία είναι: το βόριο, το ασβέστιο, το χλώριο, το κοβάλτιο, ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το μολυβδαίνιο, το σελήνιο, το θείο και ο ψευδάργυρος [30]. Η παρουσία των παραπάνω είναι ζωτική για τους μικροοργανισμούς σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, καθώς αν υπάρχουν σε υψηλότερα ποσά γίνονται τοξικές.

Ο λόγος C/N αποτελεί δείκτη της διαθεσιμότητας των οργανικών υλικών στα στοιχεία αυτά, για κομποστοποίηση. Η βέλτιστη αναλογία έχει βρεθεί από σειρά ερευνητών να είναι 35, ενώ και αναλογίες μεταξύ 25 και 70 δεν είναι απαγορευτικές, αλλά επιβραδύνουν σημαντικά την διαδικασία.

Για παράδειγμα, εάν τα απορρίμματα περιέχουν ένα μεγάλο ποσό ξυλώδους υλικού ή εφημερίδων, ο λόγος που προκύπτει είναι από 35/1 έως 40/1. Αντίθετα, τα λεγόμενα πράσινα απόβλητα, όπως τα φρέσκα αγριόχορτα, τα κλαδέματα, η κοπριά και απομεινάρια από την κουζίνα, περιέχουν σχετικά μεγάλα ποσοστά αζώτου. Η ανάμειξη των παραπάνω ειδών απορριμμάτων θα επιφέρει τις επιθυμητές αλλαγές στην τιμή του λόγου C:N και θα επιταχύνει την διαδικασία αποικοδόμησης. Στον παρακάτω Πίνακας 5 δίνονται ενδεικτικές τιμές των λόγων C:N για διάφορα είδη απορριμμάτων.

Πίνακας 5: Ενδεικτικές τιμές λόγου C/N διαφόρων οργανικών υλικών

Υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε N	C/N
Δραστική λάσπη	6/1
Χώμα	10/
Γρασίδι	112/1 -15/1
Υπολείμματα Τροφών	15/1
Κοπριά Πουλερικών	15/1
Χωνευμένη Λάσπη	16/1
Υπολείμματα Χλοοκοπής	19/1
Κοπριά Βοοειδών	20/1
Κοπριά Αλόγων	25/1
Φλούδες Πατάτας	25/1
Υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε C	C/N
Φρούτα	35/1
Φυλλώματα	40/1-80/1
Άχυρο	80/1
Φλοιός Δέντρου	100/1-130/1
Χαρτί	150/1-200/1
Ξύλο και Πριονίδι	100/1-500/1

3.7. Μικροβιολογία

Η κομποστοποίηση αποτελεί διεργασία πραγματοποιούμενη από μια πληθώρα μικροοργανισμών καθώς η δράση μιας ομάδας μικροοργανισμών δημιουργεί τις συνθήκες για να δράσει μια άλλη ομάδα και αντίστροφα.

Επακόλουθα, διαφορετικά είδη μικροοργανισμών δρουν στο κόμποστ σε διαφορετικούς χρόνους στον κάθε σωρό. Τα βακτήρια έχουν κύρια επίδραση στην διαδικασία της αποικοδόμησης και είναι τα πρώτα που ενεργοποιούνται στην σωρό, διασπούν αμέσως αποικοδομήσιμα θρεπτικά συστατικά όπως πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες και σάκχαρα, σε πολύ γρήγορους ρυθμούς σε σχέση με οποιονδήποτε άλλο μικροοργανισμό.

Οι μύκητες που συναγωνίζονται τα βακτήρια για τα θρεπτικά στοιχεία, παίζουν τον δικό τους ρόλο αργότερα στην διαδικασία της κομποστοποίησης, καθώς οι σωροί ξηραίνονται, οπότε και αναλαμβάνουν δράση. Είναι χαρακτηριστική η ικανότητα ορισμένων μυκήτων να αντέχουν και να δρουν σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας σε αντίθεση με τα βακτήρια.

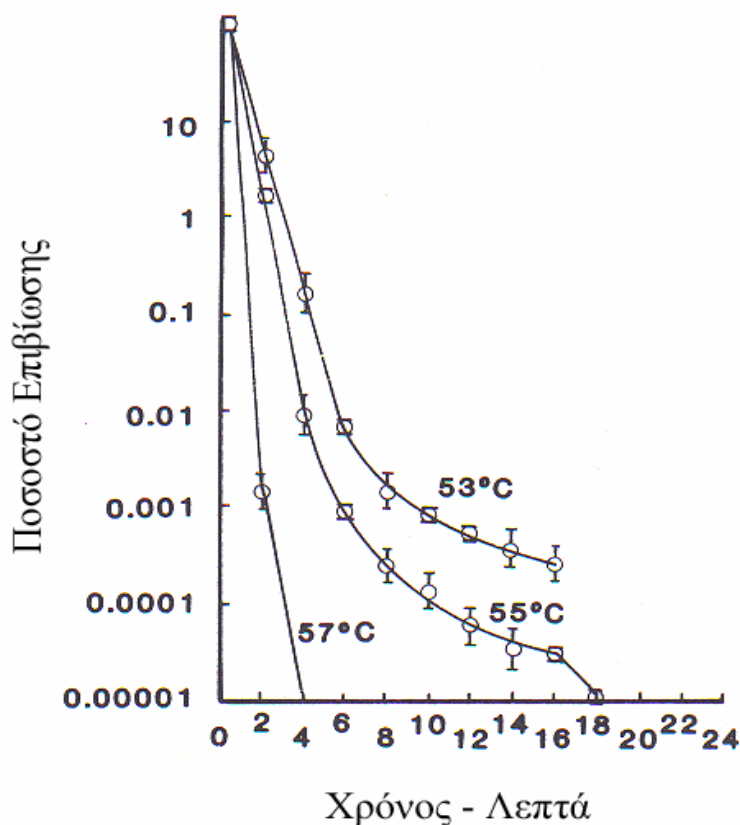
Ορισμένοι μύκητες παρουσιάζουν χαμηλότερη απαίτηση σε άζωτο από τα βακτήρια επιτρέποντας τους να διασπούν την κυτταρίνη, που τα βακτήρια δεν μπορούν.

Οι μακροοργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στην κομποστοποίηση. Σαπροφυτικοί και νηματώδη, ζώφια, σκαθάρια γαιοσκώληκες και άλλα, ελαττώνουν τον όγκο των κομποστοποιούμενων υλικών, κινούμενα μέσα στους σωρούς, μασώντας τα υλικά τους και σπάζοντας με το τρόπο αυτό την δομή των υλικών αυτών. Προκαλείται έτσι θρυμματισμός, και παρέχεται μεγαλύτερη επιφάνεια για την βακτηριακή δραστηριότητα.

Οι απαραίτητοι μικροοργανισμοί για το κόμποστ προϋπάρχουν στα περισσότερα οργανικά υλικά και φυτικά υπολείμματα, επακόλουθα δεν είναι αναγκαία η ξεχωριστή καλλιέργεια και προσθήκη τους στο σωρό.

Τα βακτήρια και οι μύκητες, σημαντικά συστατικά όπως προαναφέρθηκε για την κομποστοποίηση, κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες: τα μεσόφιλα και τα θερμόφιλα. Μεσόφιλοι μικροοργανισμοί ονομάζονται αυτοί που δρουν σε θερμοκρασίες μεταξύ 25 και 45°C, επικρατούν στα πρώτα στάδια της κομποστοποίησης σε όλη την μάζα του υλικού όταν οι θερμοκρασίες είναι ακόμα χαμηλές, καταναλώνουν το παρεχόμενο οξυγόνο μετατρέποντας τον οργανικό άνθρακα και παράγοντας ενέργεια [37].

Παραπροϊόντα των παραπάνω διεργασιών είναι η έκλυση θερμότητας, διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών. Θερμότητα παράγεται επίσης και από τον μεταβολισμό των οργανισμών αυτών. Όσο όμως έχουμε αύξηση της θερμότητας σε ένα σωρό και δεν υπάρχει κάποιος μηχανικός αερισμός και ανάδευση ώστε να αποβάλλεται η θερμότητα, οι οργανισμοί θανατώνονται ή και αδρανοποιούνται έως ότου να επέλθουν οι απαραίτητες συνθήκες θερμοκρασίας οξυγόνου και υγρασίας. Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζονται οι τυπικές θερμοκρασίες όπου δρουν οι μικροοργανισμοί κατά την φυσική κομποστοποίηση. Όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 45°C οι μεσόφιλοι οργανισμοί θανατώνονται ή αδρανοποιούνται. Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται ο ρυθμός θανάτωσης του Σταφυλόκοκκου (*Staphylococcus aureus*) σε ουδέτερο διάλυμα, ως προς το χρόνο και την θερμοκρασία



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα θανάτωσης του Σταφυλόκοκκου (*Staphylococcus aureus*) σε ουδέτερο διάλυμα, συναρτήσει του χρόνου και την θερμοκρασίας [38].

Σε θερμοκρασίες από 45°C έως 70°C ενεργοποιούνται οι θερμοφίλοι μικροοργανισμοί, πολλαπλασιάζονται με μεγάλους ρυθμούς και καταναλώνουν τα θρεπτικά για αυτούς συστατικά και αντικαθιστούν τους μεσόφιλους στην μάζα του κόμποστ. Οι θερμοφίλοι παράγουν ακόμα υψηλότερα ποσά θερμότητας από τους προκατόχους τους και οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στον σωρό είναι αρκετά υψηλές, ώστε να προκαλέσουν τον θάνατο των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών και των σπόρων τους.

Σε πολλές εγκαταστάσεις κομποστοποίησης επιδιώκεται μια μέση θερμοκρασία 55°C στο εσωτερικό του σωρού για πάνω από 72 ώρες, ώστε να επιτευχθεί πλήρης θανάτωση των παθογόνων και αποστείρωση του υλικού.

Οι θερμοφίλοι συνεχίζουν να αποικοδομούν το οργανικό υλικό όσο υπάρχει αφθονία θρεπτικών και ενέργειας. Όταν οι πηγές εξαντληθούν οι θερμοφίλοι μικροοργανισμοί πεθαίνουν και το κόμποστ αρχίζει να ψήχεται. Οι μεσόφिलοι

μικροοργανισμοί ενεργοποιούνται και δρουν έως ότου να καταναλώσουν με την σειρά τους όλα τα υπάρχοντα για αυτούς αποθέματα θρεπτικών και ενέργειας.

4. Έλεγχος Τοξικότητας

Ο έλεγχος της τοξικότητας ενός υλικού αποτελεί ένα πεδίο τεράστιο για να αναπτυχθεί αναλυθεί στα πλαίσια αυτής την εργασίας. Ειδικότερα στην περίπτωση του κόμποστ, το οποίο αποτελεί ένα μείγμα διαφορετικών υλικών, με συνεχώς νέες χρήσεις και πεδία εφαρμογής. Η αλληλεπίδραση των συστατικών του υλικού αυτού, με τα φυτά, τα ζώα, και κυριότερα με τον άνθρωπο διαφέρει σε κάθε περίπτωση, ενώ ο τρόπος που έρχεται σε επαφή, έμμεση ή άμεση, εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες κάθε φορά. Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να τονισθεί για το κόμποστ, είναι η μεταβλητότητά του καθώς στην σύστασή του περιλαμβάνονται ζωντανοί μικροοργανισμοί με αποτέλεσμα με την πάροδο του χρόνου, τα χαρακτηριστικά του να μεταβάλλονται.

Το ενδιαφέρον για την χρήση του κόμποστ στην γεωργία, τα τελευταία χρόνια έχει φέρει στο προσκήνιο την ανάγκη για την μέτρηση του οικοτοξικού κινδύνου στο υλικό αυτό. Έχουν δημιουργηθεί πολλά τεστ για τον οικοτοξικό έλεγχο του κόμποστ σε διάφορες εφαρμογές του, όμως ελάχιστες είναι οι διαθέσιμες πρότυπες μέθοδοι για περιβαλλοντικά εδαφικά δείγματα.

Καθώς κυριότερη χρήση του παραγόμενου κόμποστ αποτελεί η χρήση του στη γεωργία, ο έλεγχος της Φυτοτοξικότητάς του είναι ίσως από τις πιο κατάλληλες μεθόδους για την μέτρηση της αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον. Τα φυτά αναμφισβήτητα απαρτίζουν το πιο σημαντικό μέρος του οικοσυστήματος, και είναι τα πρώτα που έρχονται σε επαφή με το κόμποστ. Η ευαισθησία τους δε σε βλαβερές ουσίες τα κάνουν χρήσιμα ως δείκτες της τοξικότητας ενός υλικού.

Στην παγκόσμια βιβλιογραφία [39] εμφανίζονται και ερευνώνται ακόμα, αρκετές μέθοδοι βασισμένοι στην χρήση φυτών η σπόρων για τον έλεγχο της τοξικότητας του κόμποστ, ενώ οι παράμετροι που υπολογίζονται ποικίλουν. Σύμφωνα με τον Fletcher (1991) [40] τα τεστ με χρήση χερσαίων φυτών χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τις μετρούμενες παραμέτρους. Οι κατηγορίες και οι μετρούμενες παράμετροι αναλύονται στον Πίνακα 6

Πίνακας 6: Κατηγορίες μεθόδων μέτρησης τοξικότητας στα κόμποστ με χρήση χερσαίων φυτών

Όνομα Κατηγορίας	Μετρούμενες Παράμετροι
Βίο μεταμόρφωση (Biotransformation)	Αλλαγές στην χημεία του υλικού εξαιτίας των φυτών
Μεταφορά στην Τροφική αλυσίδα (Food Chain uptake)	Ποσότητες και συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών που εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα διαμέσου των φυτών
Φυτοτοξικότητας (Phytotoxicity)	Τοξικότητα και συνέπειες στην ανάπτυξη και επιβίωση των φυτών εξαιτίας των ρυπών
Παρακολούθηση (Sentinel)	Παρακολούθηση των ρυπών από παρατηρήσεις τοξικών συμπτωμάτων στα φυτά
Υποκατάσταση (Surrogate)	Instead of animal or human assay

Ο έλεγχος της Φυτοτοξικότητας έχει διερευνηθεί εκτενέστερα από τις υπόλοιπες κατηγορίες. Η U.S.E.P.A. (U.S. Environmental Protection Agency), η U.S.F.D.A.(U.S. Food and Drug Administration), και η OECD, επιμένουν ότι φυτικά τεστ πρέπει να χρησιμοποιούνται στον έλεγχο για χημικές ουσίες, ενώ τα μέχρι τώρα γνωστά αποτελέσματα της επίδρασης των χημικών στα φυτά καταγράφονται σε βάση δεδομένων γνωστή ως PHYTOTOX [41].

Η φυτοτοξικότητα ερμηνεύεται ως βλάστηση σπόρων, επιμήκυνση ριζών, ανάπτυξη βλαστών. Τα τεστ μπορούν να πραγματοποιηθούν σε γλάστρες, τριβλία πετρι (Petri dishes). Η φωτοσύνθεση, η αναπνοή, και η ενζυμική δραστηριότητα δεν υπολογίζονται στα συνήθη τεστ, αντίθετα ο πληθυσμός των σπόρων που έχουν βλαστήσει, η επίδραση στην επιμήκυνση του ριζικού συστήματος του φυτού και η ανάπτυξη του βλαστού αποτελούν τα κυριότερα πεδία που διερευνώνται στην φυτοτοξικότητα. [42, 43, 44, 45]

Ο OECD [46] (1984c) ανέπτυξε ένα κείμενο προτείνοντας μια μέθοδο στην οποία πραγματοποιείται ο έλεγχος της Φυτοτοξικότητας με την χρήση ενός μονοκοτυλήδονου και δυο δικοτυλήδων φυτών. Οι οικογένειες των φυτών που προτείνονται από τον OECD για την παραπάνω μέθοδο παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακας 7.

Πίνακας 7: Οικογένειες φυτών που προτείνονται για έλεγχο φυτοτοξικότητας από τον OECD [46].

Τάξη	Κοινό όνομα	Λατινική Ονομασία
1	Ryegrass	<i>Lolium perenne</i>
	Rice	<i>Oryza sativa</i>
	Oat	<i>Avena sativa</i>
	Wheat	<i>Triticum aestivum</i>
	Sorghum	<i>Sorghum bicolor</i>
2	Mustard	<i>Brassica alba</i>
	Rape	<i>Brassica napus</i>
	Radish	<i>Raphanus sativus</i>
	Turnip	<i>Brassica rapa</i>
	Chinese cabbage	<i>Brassica campestris</i> var. <i>chinesis</i>
3	Vetch	<i>Vicia sativa</i>
	Mungbean	<i>Phaseolus aureus</i>
	Red clover	<i>Trifolium pratense</i>
	Fenugreek	<i>Trifolium ornithopodioides</i>
	Lettuce	<i>Lactuca sativa</i>
	Cress	<i>Lepidium sativum</i>

Ορισμένα είδη φυτών προτείνουν και οι USEPA [47] και USDA τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Οικογένειες φυτών που προτείνονται για έλεγχο φυτοτοξικότητας από της USEPA και USDA [40].

	Κοινό όνομα	Λατινική Ονομασία
USEPA/FDA	Lettuce	Lactuca sativa
	Cabbage	Brassica oleracea
	Cucumber	Cucumis sativus
	Soybean	Glycine max
	Pinto bean	Phaseolus vulgaris
	Corn	Zea mays
	Oat	Avena sativa
	Ryegrass	Lotium perenne
	Tomato	Lycopersicon esculentum
	Carrot	Daucus carota
USEPA	Onion	Allium cepa
FDA	Wheat	Triticum aestivus L.

5. Σκοπός και Διαδικασία

5.1. Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της δυνατότητας συνκομποστοποίησης της ιλύος που παράγεται από την μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων του νομού Χανίων με το οργανικό κλάσμα των στερεών αστικών απορριμμάτων του νομού, η παρακολούθηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την διαδικασία αυτή και η μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος για περαιτέρω χρήση και εμπορία.

5.2. Διαδικασία

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, παρασκευάστηκαν τα παρακάτω μείγματα

- Ιλύς (χωνευμένη και αχώνευτη)
- Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων
- Φυτικά υπολείμματα

Η Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων του Νομού Χανίων έχει την δυνατότητα επεξεργασίας ενός μέρους της πρωτοβάθμιας ιλύος σε δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης. Στην έξοδο της εγκατάστασης παράγονται δυο ποιότητες ιλύος: Χωνευμένη ιλύς και αχώνευτη ιλύς. Η αναλογία παραγωγής των, δεν είναι σταθερή. Επίσης δεν υπάρχει ανάμιξη των δυο υλικών. Παραδοχές και εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν μόνο για εβδομαδιαία ή μηνιαία σύσταση.

Στους πίνακες 9 και 10 που ακολουθούν αναγράφονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της αχώνευτης και χωνευμένης ιλύος, πριν την ανάμιξή της σε σωρούς.

Πίνακας 9: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Αχώνευτης Αφυδατωμένης Ιλύος”- Εργαστηριακές μετρήσεις

Παράμετροι		Τιμές	Μέθοδος
Θερμοκρασία		17°C	
pH		6.9	
Υγρασία		84.35%	
DS (Στερεά)		15.65%	
VS (Πτητικά Στερεά)		72.07%	
Βαρέα Μέταλλα		mg/kg (DS)	
Κάδμιο (Cd)		4.47	EPA 3030F
Χαλκός (Cu)		258.96	EPA 3030F
Νικέλιο (Ni)		21.38	EPA 3030F
Μόλυβδος (Pb)		168.41	EPA 3030F
Χρώμιο Ολικό (Cr)		54.04	EPA 3030F
Ψευδάργυρος (Zn)		725.35	EPA 3030F
Αρσενικό (As)		<5	EPA 3030F
Υδράργυρος (Hg)		2.0	EN 1483
Θρεπτικά Συστατικά			
C/N	C	N	Για τον προσδιορισμό C/N: EuroEA3000 CHNS-O Analyser
	34.35%	4.32%	Για τον προσδιορισμό P: EPA 4500-P B-Merck Test Kit 086

Πίνακας 10 Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Χώνευμένης Αφυδατωμένης Ιλύος”- Εργαστηριακές μετρήσεις

Παράμετροι		Τιμές	Μέθοδος
Θερμοκρασία		18°C	
pH		6.83	
Υγρασία		74.09%	
DS (Στερεά)		25.91%	
VS (Πτητικά Στερεά)		87.85%	
Βαρέα Μέταλλα		mg/kg (DS)	
Κάδμιο (Cd)		5.00	EPA 3030F
Χαλκός (Cu)		301.66	EPA 3030F
Νικέλιο (Ni)		37.89	EPA 3030F
Μόλυβδος (Pb)		235.18	EPA 3030F
Χρώμιο Ολικό (Cr)		64.34	EPA 3030F
Ψευδάργυρος (Zn)		969.69	EPA 3030F
Αρσενικό (As)		<5	EPA 3030F
Υδράργυρος (Hg)		4.1	EN 1483
Θρεπτικά Συστατικά			
C/N	C	N	Για τον προσδιορισμό C/N: EuroEA3000 CHNS-O Analyser
	35.65%	7.01%	Για τον προσδιορισμό P: EPA 4500-P B-Merck Test Kit 086

Για τον παραπάνω λόγο στα πειράματα της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε μείγμα χωνευμένης και αχώνευτης ιλύος. (Με βάση την εβδομαδιαία εκτιμώμενη αναλογία, που προκύπτει από στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της εγκατάστασης)

Το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, λήφθηκε από την μονάδα μηχανικής διαλογής, ανακύκλωσης και κομποστοποίησης του Νομού Χανίων. Αποτελεί το οργανικό υπόλειμμα των απορριμμάτων, το οποίο εισέρχεται στην δεξαμενή κομποστοποίησης της μονάδας. Η σύσταση του παραπάνω υπολείμματος παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 11. Ενώ στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των Φυτικών Υπολειμμάτων που προστέθηκαν στους σωρούς κατά την παρασκευή τους.

Πίνακας 11: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Οργανικού Κλάσματος - Είσοδος Κομποστοποίησης” - Εργαστηριακές μετρήσεις

Παράμετροι		Τιμές	Μέθοδος
Θερμοκρασία		25°C	
pH		7,4	
Υγρασία		52.81%	
DS (Στερεά)		47.19%	
VS (Πτητικά Στερεά)		75.13%	
Βαρέα Μέταλλα		mg/kg (DS)	
Κάδμιο (Cd)		0.28	En 13650
Χαλκός (Cu)		26.56	En 13650
Νικέλιο (Ni)		37.63	En 13650
Χρώμιο Ολικό (Cr)		15.47	En 13650
Ψευδάργυρος (Zn)		140.39	En 13650
Ασβέστιο (Ca)		100.894,63	En 13650
Θρεπτικά Συστατικά			
C/N	C	N	Για τον προσδιορισμό C/N: EuroEA3000 CHNS-O Analyser
	36.33%	1.43%	Για τον προσδιορισμό P: EPA 4500-P B-Merck Test Kit 086

Πίνακας 12: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Φυτικών Υπολειμμάτων” - Εργαστηριακές μετρήσεις

Παράμετροι		Τιμές	Μέθοδος
Θερμοκρασία		25° C	
pH		5,9	
Υγρασία		52.41%	
DS (Στερεά)		47.58%	
VS (Πτητικά Στερεά)		72.70%	
Βαρέα Μέταλλα		mg/kg (DS)	
Κάδμιο (Cd)		0.64	En 13650
Χαλκός (Cu)		26.79	En 13650
Νικέλιο (Ni)		34.39	En 13650
Χρώμιο Ολικό (Cr)		14.85	En 13650
Ψευδάργυρος (Zn)		362.31	En 13650
Θρεπτικά Συστατικά			
C/N	C	N	Για τον προσδιορισμό C/N: EuroEA3000 CHNS-O Analyser
	37,30%	1.43%	Για τον προσδιορισμό P: EPA 4500-P B-Merck Test Kit 086

5.3. Παρασκευή δειγμάτων

Υλικά προς συν-κομποστοποίηση:

- -Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων (Ο.Κ.Α.Α)
- -Αφυδατωμένη Ιλύς (Α.Ι)
 - ο Αφυδατωμένη Χωνευμένη Ιλύς (Χ.Ω.)
 - ο Αφυδατωμένη Αχώνευτη Ιλύς (Α.Χ.)
- -Φυτικά Υπολείμματα (Φ.Υ)

Αναλογίες μιγμάτων:

- (Ο.Κ.Α.Α):(Α.Ι) = 2:1
- (Ο.Κ.Α.Α):(Α.Ι):(Φ.Υ) = 3:1:2
- (Ο.Κ.Α.Α):(Α.Ι):(Φ.Υ) = 4:1:2

Τα δείγματα των προς κομποστοποίηση υλικών αναμείχθηκαν σε σωρούς όγκου περίπου 1 m^3 και βάρους 100 kg σε οργανικό κλάσμα. Παρασκευάστηκαν οκτώ (8) σωροί, ανά δυο (2) με την ίδια σύσταση κατά βάρος.

Οι δυο πρώτοι σωροί A_1 και A_2 αποτελούνταν μόνο από οργανικό κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων χωρίς καμία προσθήκη άλλου υλικού.

Οι δυο σωροί B_1 και B_2 παρασκευάστηκαν με ανάμιξη δυο (2) μερών Ο.Κ.Α.Α. με ένα (1) μέρος Α.Ι.

Στην συνέχεια αναμείχθηκαν τρία (3) μέρη Ο.Κ.Α.Α. με ένα (1) μέρος Α.Ι. και δυο (2) μέρη Φ.Υ. και με την αναλογία αυτή παρασκευάστηκαν οι σωροί C_1 και C_2 .

Και τέλος αναμείχθηκαν τέσσερα (4) μέρη Ο.Κ.Α.Α. με ένα (1) μέρος Α.Ι. και δυο (2) μέρη Φ.Υ., έτσι προέκυψαν οι σωροί D_1 και D_2 .

Η σύσταση των παρασκευασθέντων σωρών παρουσιάζεται στον Πίνακα 13, ενώ το βάρος του κάθε σωρού αλλά και οι μάζες των υλικών που αναμείχθηκαν δίδονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 13: Ονόματα σωρών και σύσταση αυτών κατά βάρος

Όνομα Σωρού	Σύσταση Σωρών		
	Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων (Ο.Κ.Α.Α)	Αφυδατωμένη Ιλύς (Α.Ι.)	Φυτικά Υπολείμματα (Φ.Υ.)
A ₁ , A ₂	1	-	-
B ₁ B ₂	2	1	-
C ₁ , C ₂	3	1	2
D ₁ , D ₂	4	1	2

Πίνακας 14: Βάρος υλικών σε κάθε σωρό

Όνομα Σωρού	Βάρος Υλικών στους Σωρούς σε (kg)				
	Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων (Ο.Κ.Α.Α.)	Αφυδατωμένη Ιλύς (Χ.Ω.)	Αφυδατωμένη ή Χωνευμένη Ιλύς (Α.Χ.)	Φυτικά Υπολείμματα (Φ.Υ.)	Τελικό Βάρος Σωρών
A ₁ , A ₂	100	-	-	-	100
B ₁ B ₂	100	12	34	-	146
C ₁ , C ₂	150	16,5	33	100	282
D ₁ , D ₂	150	12,5	25	75	418

Οι σωροί αφέθηκαν να κόμποστοποιηθούν σε στεγασμένο, σκιερό και απάνεμο χώρο που παραχωρήθηκε από την Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. Χανίων, στις εγκαταστάσεις του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ.) του νομού Χανίων

5.4. Παρακολούθηση - Δειγματοληψία – Μεταφορά

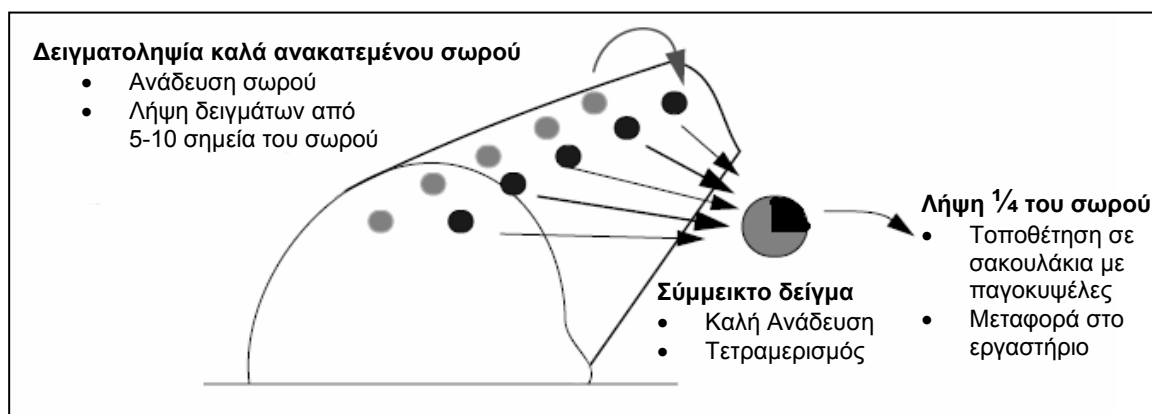
Οι σωροί παρακολουθούνταν για μια διάρκεια 17 εβδομάδων δηλαδή 120 ημέρες.

Δειγματοληψίες στους σωρούς πραγματοποιούνταν στα πρώτα στάδια της διεργασίας ανά τρεις ημέρες ενώ στην συνέχεια ανά μια εβδομάδα. Η ποσότητα του δείγματος που παραλαμβάνονταν για να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά των κόμποστοποιημένων σωρών, ανέρχονταν σε 1 Kg.

Για την παρούσα εργασία ακολουθήθηκαν οι μέθοδοι που προτείνονται από το «Principles and Practices: Compost Sampling for Lab Analysis» του Woods End Research Laboratory.

1. Κάθε σωρός χωρίστηκε σε 5 ζώνες δειγματοληψίας.
2. Σε κάθε ζώνη εφαρμόστηκε τομή όπως περιγράφεται στο Σχήμα 2.
3. Από την κάθε τομή λήφθηκαν 3 στιγμιαία δείγματα σε διαφορετικό βάθος όγκου 200-400 ml.
4. Τα 3 στιγμιαία δείγματα αναμίχθηκαν σε ένα σύμμεκτο δείγμα απ' όπου λήφθηκε δείγμα 200 ml με την μέθοδο των τετραμερισμών. Το υπόλοιπο των δειγματοληψιών επιστράφηκε στο σωρό.
5. Τα 5 δείγματα αναμίχθηκαν ώστε να ληφθεί τελικώς αντιπροσωπευτικό δείγμα του 1L.
6. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν προσωρινά σε σακούλες πολυπροπυλενίου, το οποίο και συστήνεται ως υλικό προσωρινής αποθήκευσης ώστε να αποφευχθεί αλλοίωση των δειγμάτων και λανθασμένες μετρήσεις.
7. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν άμεσα στο εργαστήριο όπου και αναλύθηκαν εντός 2 ωρών από τη δειγματοληψία.
8. Η αποθήκευση των δειγμάτων έλαβε χώρα στους 4°C.
9. Η θερμοκρασία των σωρών μετρήθηκε με φορητό θερμόμετρο Reotemp. Η ακίδα του θερμομέτρου είχε μήκος 50cm. Η θερμοκρασία μετρήθηκε σε 5 σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με το Σχήμα 2 , κατόπιν υπολογίστηκε ο μέσος όρος των 5 θερμοκρασιών, ο οποίος και σημειώθηκε.

Η παραπάνω διαδικασία δειγματοληψίας περιγράφεται σχηματικά στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Διαδικασία δειγματοληψίας από σειράδιο κόμποστ με την μέθοδο του τετραμερισμού.

Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο για εργαστηριακές μετρήσεις, λαμβάνεται δείγμα αντιπροσωπευτικό του σωρού (1g δείγματος είναι αντιπροσωπευτικό σε 1000Kg κόμποστ)[48].

5.5. Προκατεργασία

Τα δείγματα τοποθετούνταν σε σακούλες πολυπροπυλενίου και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου και αναλύθηκαν μέσα σε 2 ώρες από την δειγματοληψία.

Για τις στοιχειακές μετρήσεις C/N, μέρος του δείγματος 200 gr, αφού ξηραινόταν στους 100°C και γινόταν απομάκρυνση των ογκωδών τεμαχιδίων (γυαλί, πέτρες, κτλ) περνούσε από μύλο διαμέτρου 0,5 mm και φυλάσσονταν σε φυγοκεντρικούς σωλήνες από τεφλόν (Teflon).

5.6. Αναλύσεις

Αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα υλικά ξεχωριστά πριν την ανάμιξή τους, μετά την ανάμιξη σε σωρούς, κατά την κομποστοποίηση και μετά το τέλος της κομποστοποίησης.

Η συχνότητα των αναλύσεων ήταν διαφορετική για κάθε μετρούμενη παράμετρο.

Η θερμοκρασία μετριόταν σε καθημερινή βάση, ενώ η υγρασία, κάθε τρεις μέρες. Ο άνθρακας, το άζωτο, το pH μια φορά την εβδομάδα. Τα βαρέα μέταλλα τέλος μετρήθηκαν στην αρχή και στο τέλος του πειράματος. Η συχνότητα της κάθε μέτρησης παρουσιάζεται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Παράμετροι αναλύσεων και συχνότητα αυτών.

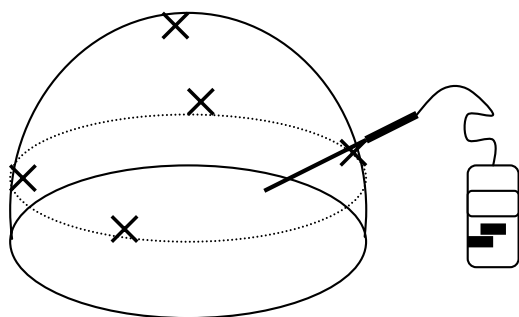
Μετρούμενη παράμετρος	Συχνότητα
Θερμοκρασία	1 – 2 ημέρες
Υγρασία / Στερεά	3 ημέρες
Τέφρα / Οργανικός Άνθρακας	1 εβδομάδα
Ολικό Άζωτο	1 εβδομάδα
pH	1 εβδομάδα
Βαρέα Μέταλλα	Αρχή και τέλος

6. Μέθοδοι ανάλυσης

Οι παρακάτω μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δειγμάτων των κομποστοποιούμενων υλικών και του τελικού προϊόντος.

6.1. Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του πειράματος γινόταν με θερμομέτρηση πέντε σημείων του σωρού από ηλεκτρονικό θερμόμετρο GMH1150 της GREISINGER electronicc, με βέργα GTF1200 NiCr-Ni (typ K), μήκους 50cm. Η τελική θερμοκρασία αποτελούσε τη μέση τιμή των 5 μετρήσεων.



Διάγραμμα 5: Σημεία μέτρησης θερμοκρασίας σε ένα σωρό

6.2. Υγρασία

Η σχετική υγρασία των στερεών δειγμάτων των κομποστοποιούμενων υλικών μετρήθηκε με βάση τις Οδηγίες EPA SW846 – Test Method 150.1.

1. Το δείγμα προς ανάλυση ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας (m_0)
2. Τοποθετήθηκε στον κλίβανο στους 105°C και αφυγράνθηκε για 1 ημέρα σε σταθερή θερμοκρασία
3. Το υπόλειμμα του δείγματος ζυγίστηκε (m_1) και η υγρασία υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\text{Υγρασία \%} = (m_0 - m_1)/m_0$$

6.3. pH

Το pH των στερεών δειγμάτων μετρήθηκε με βάση την Οδηγία της EPA 9040B του εγχειριδίου SW846 για τον έλεγχο στερεών αποβλήτων.

1. Το στερεό δείγμα ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας
2. Προστέθηκαν ml απιονισμένου νερού σε αναλογία 1 : 5 κ.Β.
3. Τα δείγματα αναδεύτηκαν για 20 min.
4. Το pH του διαλύματος μετρήθηκε με εργαστηριακό μετρητή pH

6.3. Πτητικά Στερεά

Τα ποσοστά πτητικών στερεών και τέφρας των στερεών δειγμάτων των κομποστοποιούμενων υλικών μετρήθηκαν με βάση τις Οδηγίες EPA SW846 – Test Method 160.4.

1. Το υπόλειμμα της ανάλυσης υγρασίας τοποθετήθηκε για 20min στον κλίβανο καύσης, ο οποίος είχε προθερμανθεί στους 550 °C.
2. Το υπόλειμμα της καύσης ζυγίστηκε (m_2) τα πτητικά στερεά υπολογίστηκαν από τον τύπο: $VS = (m_1 - m_2)/m_1$

6.4. Οργανικός Άνθρακας

Ο οργανικός άνθρακας των κομποστοποιούμενων υλικών και των τελικών προϊόντων υπολογίστηκε με βάση τα ερευνητικά προγράμματα του Πανεπιστημίου Cornell [49], και την εργασία των Jimenez et. al. 1991 [50], όπως επίσης και τις οδηγίες EPA SW846 – Modified Test Method 160.4.

Για τον υπολογισμό του οργανικού άνθρακα χρησιμοποιήθηκε ο τύπος :

$$C_{\text{ORGANIC}} = V.S./1,8$$

6.6. Ολικό Άζωτο και Αναλογία C/N

Το ολικό Άζωτο και η αναλογία C/N μετρήθηκε με βάση την μέθοδο En 13654-2 Soil improvers and growing media–Determination of nitrogen–part 2 : Dumas method σε στοιχειακό αναλυτή EuroEA3000 CHNS-O Analyser της Eurovector.

1. Το δείγμα αφού είχε προκατεργαστεί όπως περιγράφεται παραπάνω, ζυγίστηκε μέσα σε κάψουλες αλουμινίου σε ποσότητα 1 mg
2. Οι κάψουλες τοποθετήθηκαν μαζί με πρότυπα γνωστής περιεκτικότητας C/N σε στοιχειακό αναλυτή CHNS-O
3. Τα αποτελέσματα του C συγκρίθηκαν με αυτά που λήφθηκαν με την μέθοδο του οργανικού C.

6.7. Βαρέα Μέταλλα

Για τον υπολογισμό των Βαρέων Μετάλλων ακολουθήθηκε η μέθοδος En 13650 Soil improvers and growing media - Extraction of aqua regia soluble elements για την χώνευση των στερεών δειγμάτων.

1. Προκατεργασμένη ποσότητα 0,5 g του δείγματος ζυγίστηκε σε κωνική φιάλη των 250 ml με εσμίρισμα
2. Προστέθηκε 1 ml νερού και στην συνέχεια 21 ml HCl και 7 ml HNO₃
3. Το διάλυμα αφέθηκε να αντιδράσει για 16 ώρες σε επαγωγό
4. Στην συνέχεια το διάλυμα θερμάνθηκε σε κατάσταση REFLUX με ανάδευση για 2 ώρες. Μετά το πέρας του βρασμού αφέθηκε έως ότου φτάσει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
5. Στην συνέχεια διηθήθηκε και μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml, όπου και αραιώθηκε με απιονισμένο νερό σε όγκο 100 ml.

Τα βαρέα μέταλλα στα χωνευμένα διαλύματα μετρήθηκαν με αυτοματοποιημένο σύστημα ατομικής απορρόφησης με φλόγα ή φούρνο γραφίτη AAnalyst 700 της Perkin-Elmer σύμφωνα με τις επιμέρους Οδηγίες της EPA.

6.8. Έλεγχος Φυτοτοξικότητας

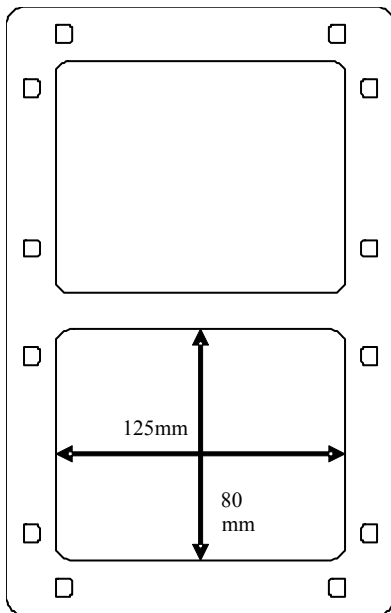
Μετά το τέλος της κομποστοποίησης στα δείγματα έλαβε χώρα έλεγχος φυτοτοξικότητας. Για τον προσδιορισμό αυτό χρησιμοποιήθηκε το κίτ PHYTOTOXKIT της Βελγικής εταιρίας MicroBioTests Inc.

Σε κάθε δείγμα κόμποστ πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις του τεστ φυτοτοξικότητας με τρία διαφορετικά είδη σπόρων. Οι σπόροι δοκιμάστηκαν με πρότυπο δείγμα χώματος για την δραστηριότητα τους.

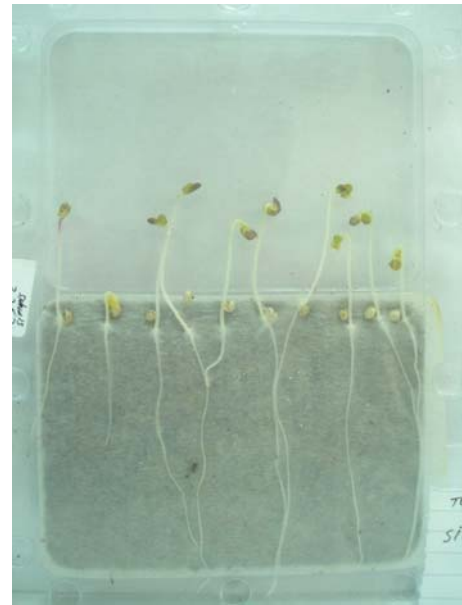
Οι σπόροι που δοκιμάστηκαν στα δείγματα κόμποστ, είναι το μονοκοτυλήδονο *Sorghum saccharatum* (Sorgho) και τα δικοτυλήδονα *Lepidium sativum* (garden cress) και *Sinapis alba* (mustard). Και τα τρία είδη σπόρων που προτείνονταν από το τεστ συνιστάται για την γρήγορη βλάστηση και ανάπτυξη των ριζών τους, επιτρέποντας τον έλεγχο της τοξικότητας μέσα σε τρεις ημέρες.

Τα δείγματα του κόμποστ και του πρότυπου χώματος τοποθετήθηκαν στο κάτω μέρος των διαφανών βάσεων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 2, προστέθηκε η απαραίτητη ποσότητα νερού καθώς και διηθητικό χαρτί και στην συνέχεια εναποτέθηκαν δέκα σπόροι του ίδιου είδους σε ευθεία γραμμή. Οι διαφανείς βάσεις κλείστηκαν και τοποθετήθηκαν κατακόρυφα σε θερμοθάλαμο στους 25° C για τρεις ημέρες. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τα τρία είδη σπόρων για κάθε δείγμα κόμποστ και το πρότυπο χώμα.

Μετά τις τρεις ημέρες το μήκος των βλαστών και των ριζών μετρήθηκε και υπολογίστηκαν τα ποσοστά φυτοτοξικότητας σε σχέση με το πρότυπο χώμα για κάθε δείγμα. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η διαφανής βάση στην οποία τοποθετήθηκαν τα εξεταζόμενα δείγματα κόμποστ για να εξεταστούν, ενώ στην Εικόνα 3 ένα από τα δείγματα με εξεταζόμενο πρότυπο χώμα μετά το πέρας των τριών ημερών.



Εικόνα 2: Διαφανής βάση για την φύτευση των εξεταζόμενων σπόρων



Εικόνα 3: Διαφανής βάση με πρότυπο χώμα και σπόρους. Διακρίνεται η ανάπτυξη των βλαστών και των ριζών σε διάστημα τριών ημερών

7. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των παραμέτρων της διεργασίας σε κάθε μείγμα σωρών, όπως μετρήθηκαν, παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

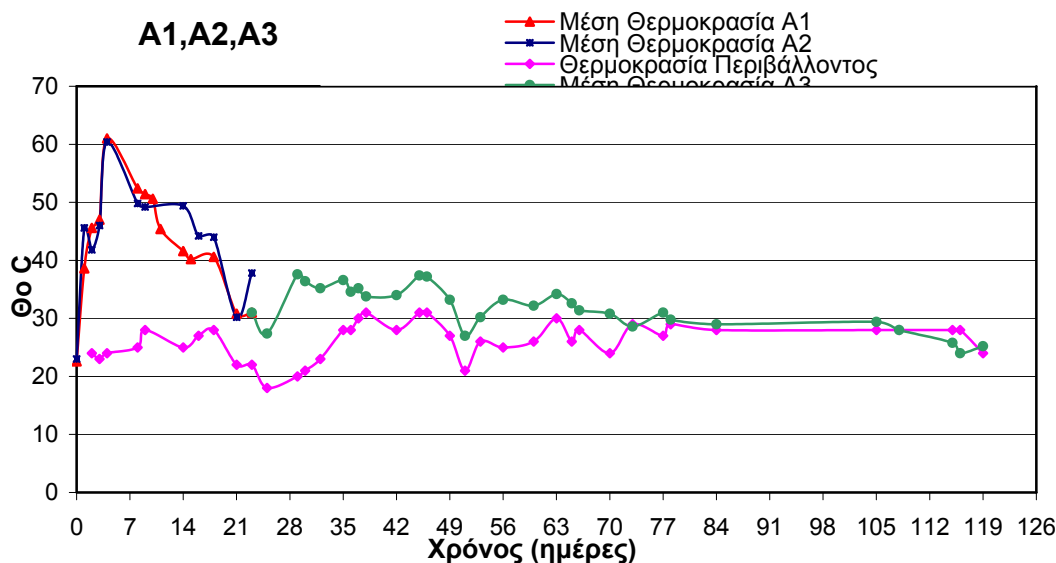
7.1. Σωροί Α - Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων

Οι σωροί Α1 και Α2 παρασκευάστηκαν από Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων. Το αρχικό τους βάρος ήταν 100 Kg το καθένα, η αναλογία οργανικού άνθρακα / αζώτου (C/N) ήταν αρχικά 26 και 23 αντίστοιχα, ενώ το pH τους 7,2 και 7,8, η δε υγρασία τους ρυθμίστηκε στο 55%.

7.1.1. Θερμοκρασία σωρών Α.

Όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω γραφήματα, η θερμοκρασία άρχισε να αυξάνεται αμέσως μετά το σχηματισμό των σωρών. Η ανάδευση και η προσθήκη νερού ήταν συχνές στα πρώτα στάδια της διαδικασίας, σχεδόν κάθε δυο ημέρες για τις δυο πρώτες εβδομάδες και στην συνέχεια μια φορά την εβδομάδα.

Αναλυτικότερα για τους Α1 και Α2 όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6, καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος (πριν την ανάμιξη των Α1 και Α2 σε ένα των Α3) οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι παρόμοιες και στους δυο σωρούς. Η μέγιστη θερμοκρασία που επιτεύχθηκε ήταν 61°C και 60°C αντίστοιχα, την τέταρτη ημέρα της κομποστοποίησης. Από την δεύτερη εβδομάδα και μετά, η θερμοκρασία και στους δυο σωρούς παρουσιάζει σταδιακή μείωση και μετά την πέμπτη εβδομάδα, ο σωρός Α3 παρουσίασε θερμοκρασία ίδια με αυτή του περιβάλλοντος.



Διάγραμμα 6: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς A1, A2 και A3

Η μεταβολή στην θερμοκρασία των σωρών οφείλεται στην κατανάλωση του οργανικού άνθρακα και του οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς που προϋπάρχουν στον κάθε σωρό. Τις πρώτες ημέρες οι μικροοργανισμοί που προϋπήρχαν στην μάζα των υλικών, αφού βρέθηκαν σε ιδανικές συνθήκες, άρχισαν να πολλαπλασιάζονται δημιουργώντας νέα κύτταρα και καταναλώνοντας τον άφθονο οργανικό άνθρακα και άζωτο των σωρών. Η κατανάλωση των οργανικών ενώσεων είχε ως παραπροϊόντα CO_2 , H_2O και θερμότητα.

Η παραγόμενη θερμότητα προκάλεσε την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας των σωρών. Το παραγόμενο CO_2 της διεργασίας, εκλυόταν στην ατμόσφαιρα διάμεσο των πόρων του υλικού. Ενώ το παραγόμενο H_2O μαζί με το περιεχόμενο νερό που προϋπήρχε στην μάζα των σωρών, εξατμιζόταν λόγω της θερμοκρασίας. Επακόλουθα, η υγρασία των σωρών ελαττωνόταν, με αποτέλεσμα να μην επικρατούν κατάλληλες συνθήκες για τους μικροοργανισμούς και να αναστέλλεται η δράση τους. Με την διόρθωση της υγρασίας η δράση τους αυτή αποκαθιστόταν.

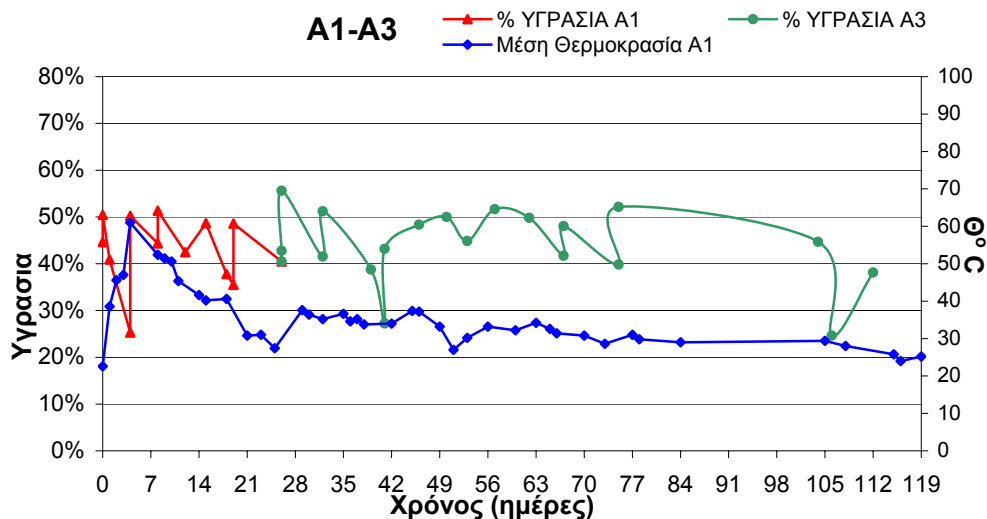
7.1.2. Υγρασία σωρών Α

Η υγρασία καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος αποτέλεσε μια από τις βασικότερες παραμέτρους παρακολούθησης της διαδικασίας της κομποστοποίησης στους σωρούς. Αποτέλεσε επίσης μαζί με τον αερισμό, τις μόνες παραμέτρους τις οποίες είχαμε την δυνατότητα να μεταβάλλουμε.

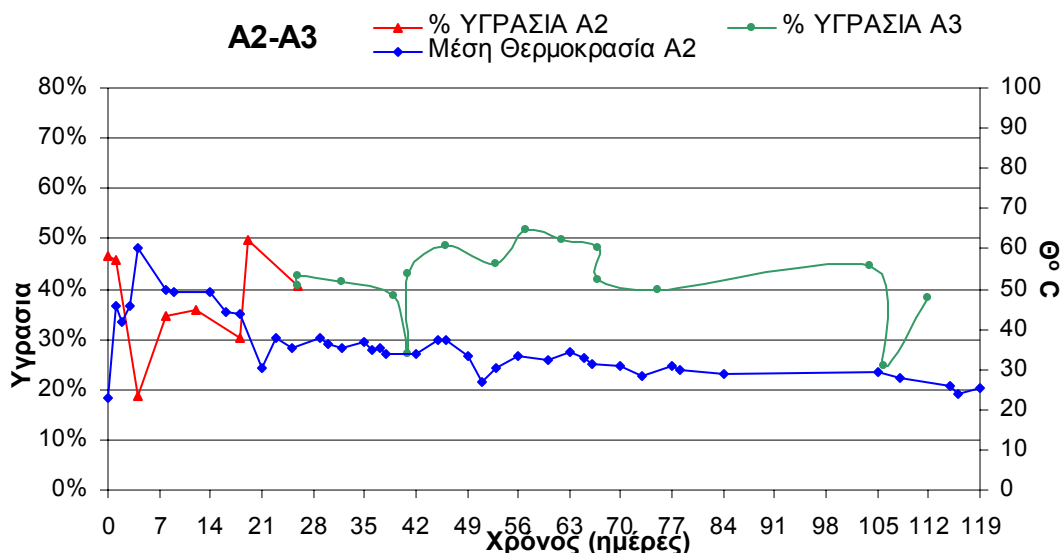
Μετά το πέρας των έξι εβδομάδων διαπιστώσαμε την δράση των σωρών σε διάφορες τιμές υγρασίας για την εύρεση της σχέσης της υγρασίας με άλλες παραμέτρους.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι υγρασίες που περιείχαν οι σωροί την συγκεκριμένη ημέρα και πριν από την προσθήκη νερού για την διόρθωσή της.

Τις πρώτες ημέρες της κομποστοποίησης ο ρυθμός μείωσης της υγρασίας ήταν υψηλός. Έτσι αναλυτικότερα στα Διαγράμματα 10 και 11 για τους σωρούς Α1 και Α2 αντίστοιχα, παρατηρούμε απότομη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας, από 45 σε 25%. Ο ρυθμός αυτός δεν διατηρήθηκε ο ίδιος και στην συνέχεια. Μετά την δεύτερη εβδομάδα, όπου και οι θερμοκρασίες στους σωρούς ήταν χαμηλές, το ποσοστό της υγρασίας δεν μεταβαλλόταν όπως στα πρώτα στάδια.



Διάγραμμα 7: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό Α1, Α3 ανά ημέρα πειράματος



Διάγραμμα 8: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό A2, A3 ανά ημέρα πειράματος

Η παρουσία της υγρασίας δημιουργούσε τις κατάλληλες συνθήκες για την ενεργοποίηση των μικροοργανισμών, οι οποίοι προκαλούσαν την ζύμωση και καταναλώναν τον οργανικό άνθρακα.

7.1.3. pH σωρών Α

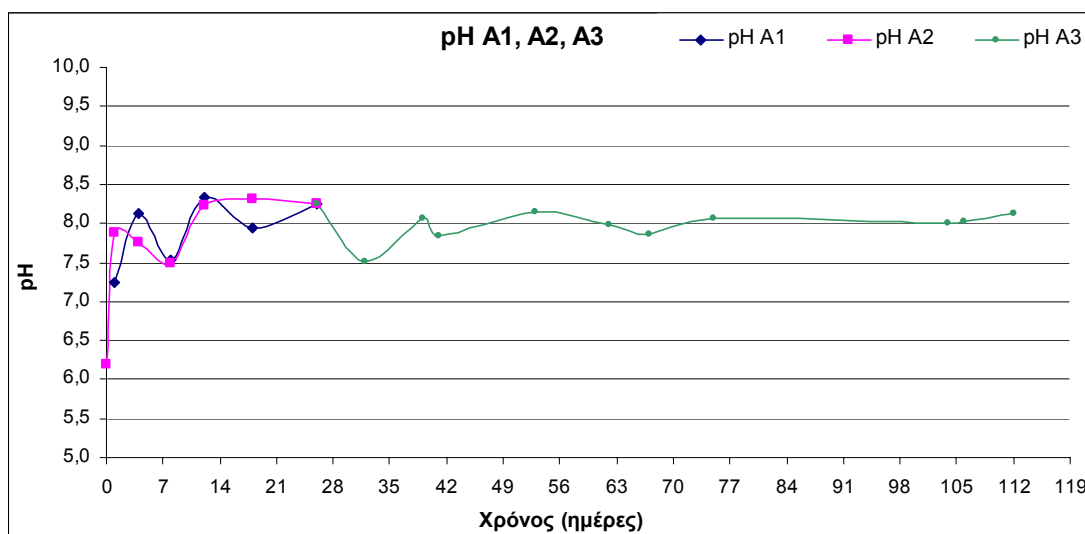
Το pH των πρώτων υλών για την παρασκευή των σωρών, κυμαινόταν κοντά στην τιμή 7,0. Εξαίρεση αποτέλεσε το pH των φυτικών υπολειμμάτων το οποίο ήταν 6,5. Αναλυτικά οι αρχικές τιμές που μετρήθηκαν στα υλικά πριν την αναμιξή τους παρουσιάζονται στο Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Τιμές pH των αρχικών υλικών πριν την αναμιξή τους

Αρχικό υλικό	Τιμή pH
Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων (Ο.Κ.Α.Α.)	7,4
Αφυδατωμένη Ιλύς (Α.Ι)	
Χωνευμένη Ιλύς (Χ.Ω.)	6,8
Αχώνευτη Ιλύς (Α.Χ.)	6,9
Φυτικά Υπολείμματα (Φ.Υ.)	5,9

Οι τιμές του pH κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης μεταβάλλονται εξαιτίας των αλλαγών στην χημική σύσταση των σωρών. Σε γενικές γραμμές στην αρχή της διεργασίας, η τιμή του pH πέφτει στην όξινη περιοχή λόγω του σχηματισμού οργανικών οξέων, στην συνέχεια γίνεται αλκαλικό καθώς τα οξέα καταναλώνονται ενώ παράγεται αμμωνία.[51]

Μετά την παρασκευή των σωρών A1 και A2 οι τιμές του pH ήταν 7,2 και 7,8 αντίστοιχα. Τις τρεις πρώτες ημέρες, στον A1 η τιμή αυξήθηκε στο 8,1 και επτά ημέρες αργότερα έφτασε την τιμή 8,3. Αντίθετα, στο σωρό A2 την πρώτη εβδομάδα της διαδικασίας, η τιμή του pH μειώθηκε από 8,1 σε 7,5, ενώ στην συνέχεια παρατηρήθηκε απότομη αύξηση, φτάνοντας το 8,2 όπου και σταθεροποιήθηκε για τρεις εβδομάδες. Στις 26 ημέρες οι δυο σωροί αναμείχθηκαν σε έναν A3, του οποίου η τιμή του pH ήταν 8,2, και στην συνέχεια του πειράματος το pH παρέμεινε κοντά στο 8,0. Το pH καθ' όλη την διάρκεια της διεργασίας για τους σωρούς A1 και A2 παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 9.



Διάγραμμα 9: Διακύμανση pH για τους σωρούς A1,A2 και A3

Στα στερεά αστικά απόβλητα ακετικό και λακτικό οξύ παράγονται κατά την αποθήκευση των υλικών. Σε απορρίμματα στα οποία γίνεται διαλογή στην πηγή, το pH μπορεί να φτάσει μέχρι το 4-5 [52]. Η περίοδος όμως που το pH βρίσκεται στην όξινη περιοχή, μπορεί να ελαττωθεί, εάν η θερμοκρασία του σωρού παραμείνει κάτω από 40°C έως ότου το pH ανέβει [53]. Η παροχή οξυγόνου παίζει σημαντικό ρόλο στην συγκέντρωση των οργανικών οξέων, καθώς αυξάνεται όταν η ποσότητα του παρεχόμενου οξυγόνου είναι μικρή. Πιθανότατα, λόγω του σχηματισμού των οξέων ως παραπροϊόντα αναερόβιων διεργασιών [51].

Ένας άλλος παράγοντας που δικαιολογεί τις τιμές του pH στην αλκαλική περιοχή είναι η υψηλή περιεκτικότητα των αρχικών υλικών σε ασβέστιο. Η συγκέντρωση του Ca στον κάθε σωρό, στην αρχή της διεργασίας όπως μετρήθηκε

σε ατομική απορρόφηση, μετά από χώνευση με βασιλικό ύδωρ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 17.

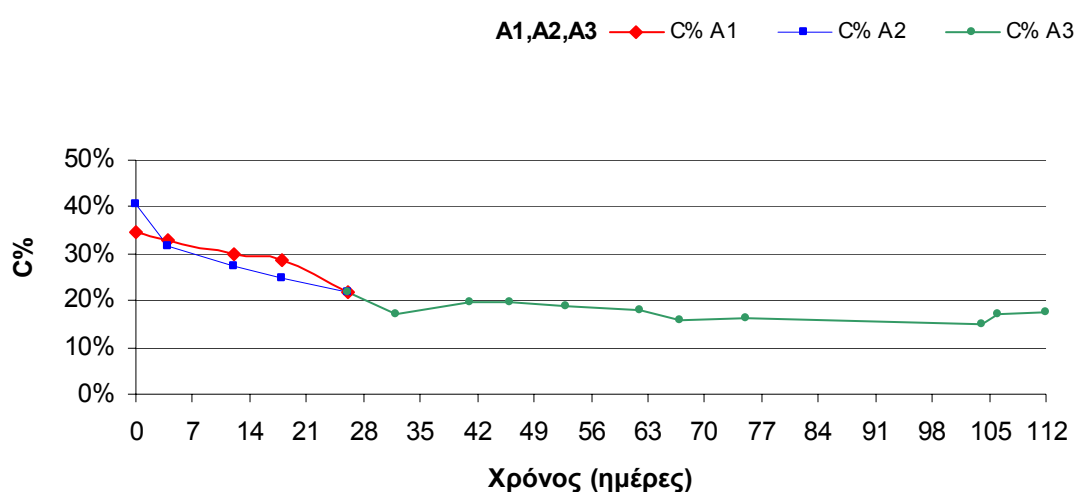
Πίνακας 17: Συγκέντρωση Ca στους σφρούς και τα αρχικά υλικά

Όνομα Σφρού	Ca σε mg/kg ξηρού δείγματος
A1	112.960,01
A2	88.829,24
B1	97.933,31
B2	143.753,68
C1	105.277,33
C2	75.301,43
D1	58.846,58
D2	89.573,06
O.K.A.A.	100.894,63
Φ.Υ.	75.635,81
BIX	Δ.μ.
BIA	Δ.μ.

7.1.4. Οργανικός C σωρών Α

Η περιεκτικότητα των σωρών σε οργανικό άνθρακα, αποτελεί την σημαντικότερη παράμετρο της διεργασίας της κομποστοποίησης, καθώς όσο ελαττώνεται η περιεκτικότητα του, τόσο ελαττώνεται και ο ρυθμός της διεργασίας.

Όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω γραφήματα η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα ελαττώθηκε αισθητά σε όλους τους σωρούς, κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης, όπως αναμενόταν. Η σταθεροποίησή του σε μια σταθερή τιμή, αποτέλεσε και την επιβεβαίωση της λήξης της διαδικασίας.



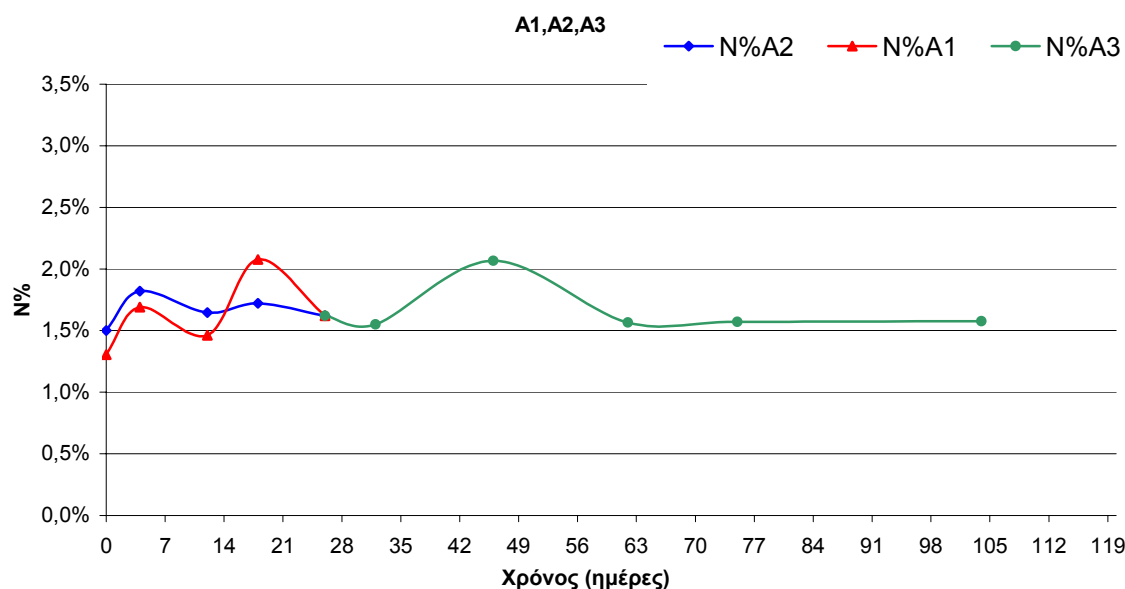
Διάγραμμα 10: Περιεκτικότητα σωρών A1, A2 - A3 σε οργανικό άνθρακα (επί ξηρού δείγματος).

Στους σωρούς A1 και A2, η τιμή του οργανικού άνθρακα στην αρχή της διαδικασίας ήταν 35 και 41% αντίστοιχα. Τις τρεις πρώτες εβδομάδες ελαττώνεται σταδιακά έως την τιμή 21,6%. Μετά την ανάμιξη των δυο σωρών σε έναν A3, οι μεταβολές είναι ελάχιστες, ενώ η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα σταθεροποιείται στο 15% μετά από 8 εβδομάδες ζύμωσης, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 10.

Ο βαθμός ελάττωσης της οργανικής μάζας ξεπέρασε το 58% που θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό.

7.1.5. Ολικό Ν σωρών Α

Το ολικό άζωτο παρουσίασε ελάχιστες μεταβολές στην συγκέντρωσή του στους σωρούς κατά την διάρκεια της διαδικασίας. Οι μεταβολές αυτές αντιστοιχούσαν σε αύξηση ή ελάττωση, ανάλογα με την σύσταση του σωρού και ήταν της τάξης του 1%.



Διάγραμμα 11: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος ανά ημέρα για τους σωρούς A1, A2

Για τους σωρούς A1 και A2 παρατηρήθηκε αρχική τιμή 1,2 και 1,5%, αντίστοιχα, η οποία σταθεροποιήθηκε στο 2,1 % μετά το πέρας της κομποστοποίησης όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 11.

Το ολικό άζωτο στους σωρούς επηρεάζεται από την δράση πρωτεολυτικών βακτηρίων και από την άνοδο της θερμοκρασίας (σε υψηλές θερμοκρασίες απομακρύνεται στην ατμόσφαιρα)[54]. Στην αρχή της διεργασίας, παρατηρήθηκε αύξηση την περιεκτικότητας του αζώτου στο σωρό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων οργανικού άνθρακα με την μορφή CO₂ και πτητικών οργανικών ενώσεων, που είχε ως επακόλουθο την γρήγορη ελάττωση της μάζας του σωρού και φαινομενικά την αύξηση του αζώτου [55]. Μόνο ένα μικρό ποσοστό από το οργανικό άζωτο του σωρού καταναλώνεται κατά την διεργασία και αυτό για την δημιουργία και τον πολλαπλασιασμό νέων κυττάρων, των μικροοργανισμών που δρουν στο κόμποστ. Αυτό το φαινόμενο είναι αναμενόμενο, σε κόμποστ πλούσια σε κυτταρίνες, ημί-κυτταρίνες και λυγνίνες [56]. Παρόμοια συμπεριφορά αζώτου έχει παρατηρηθεί σε αντίστοιχες εργασίες σε μείγματα

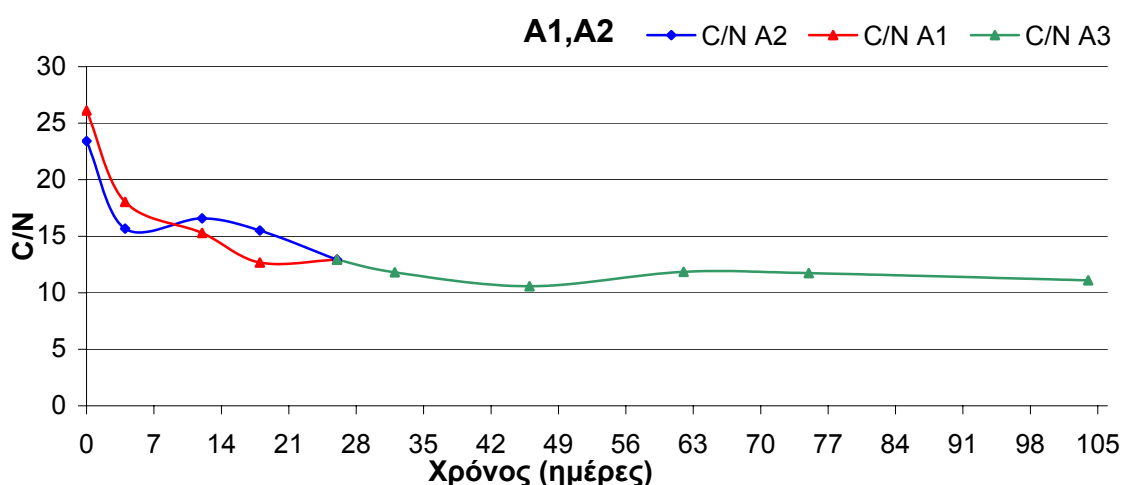
οργανικού κλάσματος αστικών απορριμμάτων (55%), με φυτικά υπολείμματα (15%) και υπολείμματα από την βιομηχανία καπνών(30%) [57].

7.1.6. Αναλογία C/N σωρών Α

Η αναλογία οργανικού άνθρακα και ολικού αζώτου παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες και αποτελεί σημαντική παράμετρο για την έναρξη, την συνέχεια και το τέλος της κομποστοποίησης. Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία η ελάττωσή της μπορεί να θεωρηθεί ως ένας αξιόπιστος δείκτης της ωρίμανσης του κόμποστ, ανταγωνιζόμενη άλλες μετρούμενες παραμέτρους ωρίμανσης [58], όπως η έκλυση CO₂ στο ώριμο κόμποστ, η συγκέντρωση του διαλυμένου οργανικού άνθρακα, ή η συγκέντρωση των χουμικών ουσιών [59].

Ο λόγος C/N επηρεάζει σημαντικά, την συνέχεια της κομποστοποίησης. Βασικό είναι όμως να είναι γνωστές οι ποσότητες των αποικοδομίσιμων από τους μικροοργανισμούς ποσοτήτων τους και όχι απλά των ολικών [60].

Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζεται η αναλογία C/N για τους σωρούς A1 και A2. Και οι δυο σωροί, στην αρχή της κόμποστοποίησης, έχουν αναλογία C/N κοντά στο 25. Η αναλογία αυτή όμως ελαττώνεται πολύ γρήγορα μέσα στην πρώτη εβδομάδα, φτάνοντας την τιμή 18 για τον A1 και 16 για τον A2. Στην συνέχεια ο ρυθμός της μείωσης της αναλογίας C/N ελαττώνεται και μέσα σε τρεις εβδομάδες πλησιάζει την τιμή 14. Μετά την ανάμιξη των δυο σωρών η αναλογία ελαττώνεται με πολύ αργούς ρυθμούς κοντά στο 11 όπου και παραμένει σταθερή.



Διάγραμμα 12: Αναλογία C/N για τους σωρούς A1, A2, A3

7.1.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς Α

Όπως παρουσιάζεται από τα διαγράμματα θερμοκρασίας και υγρασίας, η ζύμωση άρχισε από την πρώτη ημέρα φτάνοντας θερμοκρασίες των 60°C, παράλληλα η υγρασία ελαττώθηκε στο 25% μέσα σε τρεις ημέρες.

Η παρακολούθηση του οργανικού άνθρακα επιβεβαίωσε την δράση αυτή των μικροοργανισμών, οι οποίοι κατατάναλωσαν τις άφθονες, εύκολα αποικοδομήσιμες για αυτούς μορφές άνθρακα, ώστε να πολλαπλασιαστούν και να τραφούν. Η ελάττωση του C ήταν, από 34,5 σε 32,9% για τον Α1 και από 40,4 σε 31,6% για τον Α2. Το pH δεν παρουσίασε αξιόλογες μεταβολές καθώς παρέμεινε κοντά στο 8,0. Στο τέλος της δεύτερης εβδομάδας η θερμοκρασία είχε μειωθεί στους 32°C ενώ η ρύθμιση της περιεχόμενης υγρασίας των σωρών δεν επέφερε κάποιο αποτέλεσμα. Το pH βρισκόταν στην τιμή 8,2 ενώ στην αναλογία C/N είχε σημειωθεί πτώση στο 12,6 και 15,5 αντίστοιχα.

Κατά την μελέτη των παραπάνω παραμέτρων και δεδομένου ότι η μάζα των σωρών είχε ελαττωθεί κατά 40%, κρίθηκε αναγκαία η ανάμιξη των δυο σωρών σε ένα σωρό Α3 ώστε αυξάνοντας το μέγεθος του σωρού να επέλθει μικρότερη απαγωγή θερμότητας και πιθανότητα διατήρησης της δράσης των μικροοργανισμών σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

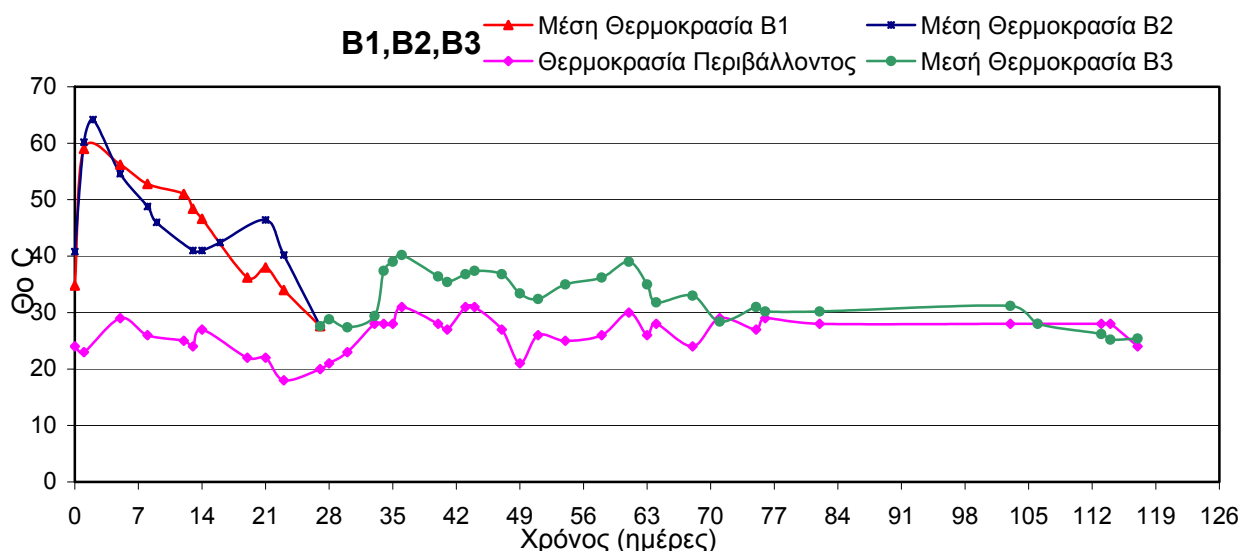
Η ανάμιξη όμως δεν παρουσίασε αξιόλογη αύξηση της θερμοκρασίας, πάνω των 40°C ενώ μετά τις 42 ημέρες οι μεταβολές των θερμοκρασιών ακολουθούσαν τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Και η αναλογία C/N σταθεροποιήθηκε στο 10.5

7.2. Σωροί Β - Ο.Κ.Α.Α. : Β.Ι. (2:1)

Οι σωροί Β1 και Β2, παρασκευάστηκαν από Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων και μείγμα Βιολογικής Ιλύος (Χωνευμένης και Αχώνευτης) σε αναλογία 2:1. Το αρχικό βάρος των σωρών ήταν 146 Kg και η υγρασία μετρήθηκε στο 65,5 για τον Β1 και 57,1% για τον Β2.

7.2.1. Θερμοκρασία σωρών Β

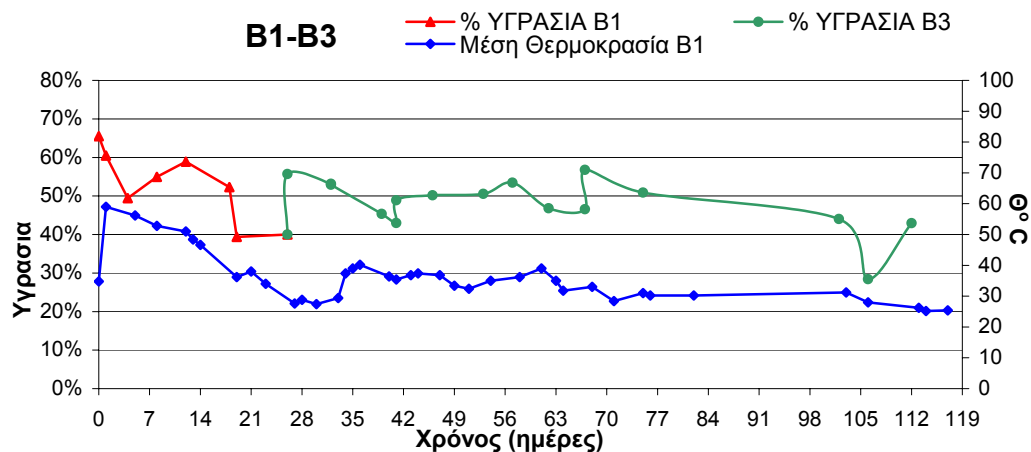
Οι σωροί Β1 και Β2, Διάγραμμα 13, παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά στα πρώτα στάδια της διαδικασίας. Η βασικότερη διαφορά τους εμφανίζεται στην μέγιστη θερμοκρασία που επιτεύχθηκε, αλλά και στην διατήρησή της για αρκετό χρονικό διάστημα. Στον σωρό Β1 ως μέγιστη θερμοκρασία μετρήθηκαν οι 59°C, που όμως διατηρήθηκαν για 14 ημέρες σε αντίθεση με τον σωρό Β2, όπου η μέγιστη θερμοκρασία ήταν οι 64°C, που διατηρήθηκε για 8 ημέρες.



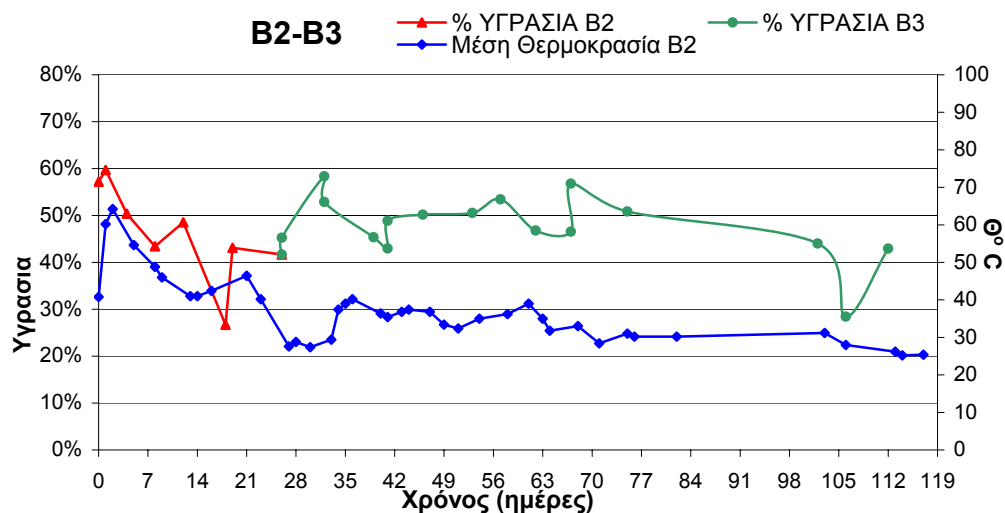
Διάγραμμα 13: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς Β1, Β2, Β3

7.2.2. Υγρασία σωρών B

Οι σωροί B1 και B2 διαγράμματα 14 και 15 αντίστοιχα, κατά την έναρξη του πειράματος είχαν τις υψηλότερες υγρασίες, έως και 65%. Στην συνέχεια, το ποσοστό αυτό άρχισε να μειώνεται και διατηρήθηκε κοντά στο 50%, όπου και δεν παρουσιάστηκαν ιδιαίτερες μεταβολές. Οι υψηλές αρχικές τιμές της περιεχόμενης υγρασίας στους σωρούς B1, B2 σε σχέση με τους A1 και A2, οφείλονται, στην μεγάλη περιεκτικότητά τους σε βιολογική ιλύς.



Διάγραμμα 14: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό B1, B3

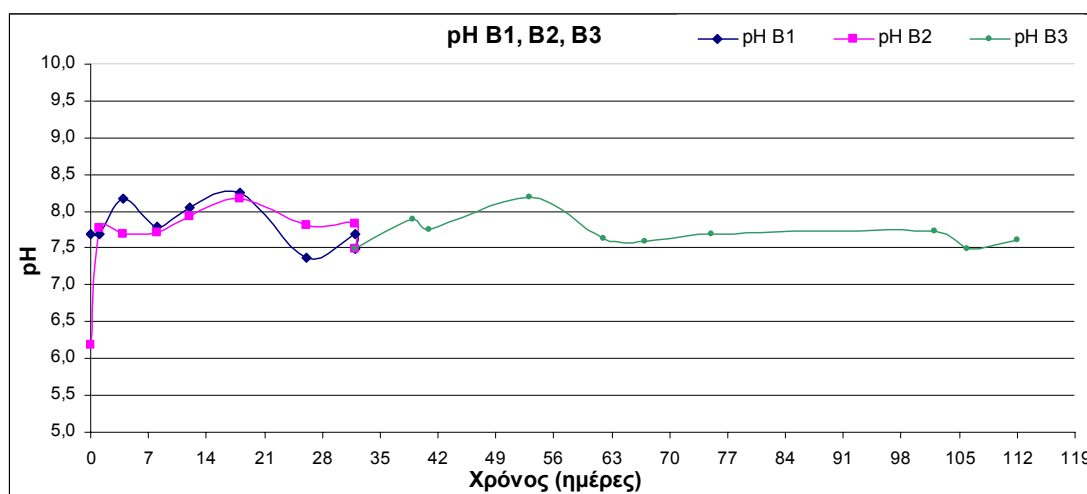


Διάγραμμα 15: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό B2, B3

7.2.3. pH σωρών B

Οι σωροί B1, B2 ξεκίνησαν να κόμποστοποιούνται με pH 7,6 και σταδιακά έφτασαν την τιμή 8,4 την τρίτη εβδομάδα της διεργασίας. Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 16, στην συνέχεια της κομποστοποίησης, το pH ελαττώνεται σταδιακά έως

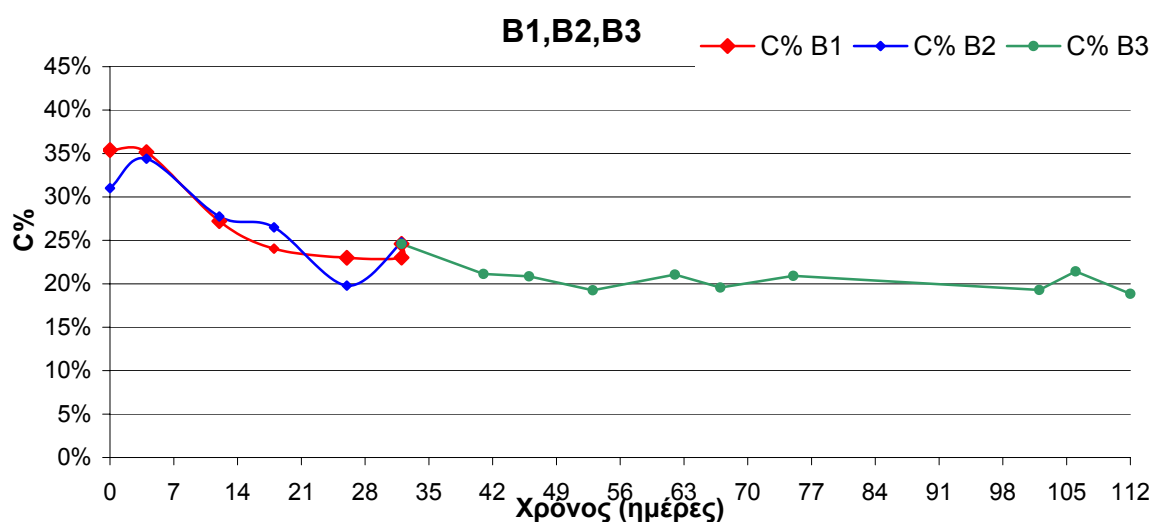
την τιμή 7,4 την 31^η ημέρα. Μετά την ανάμιξη των δυο σωρών παρατηρείτε σταδιακή και ομαλή αύξηση της τιμής του pH από 7,5 σε 8,2 ενώ στις 60 ημέρες σταθεροποιήθηκε στο 7,6.



Διάγραμμα 16: Διακύμανση pH για τους σωρούς B1, B2 και B3

7.2.4. Οργανικός C σωρών A

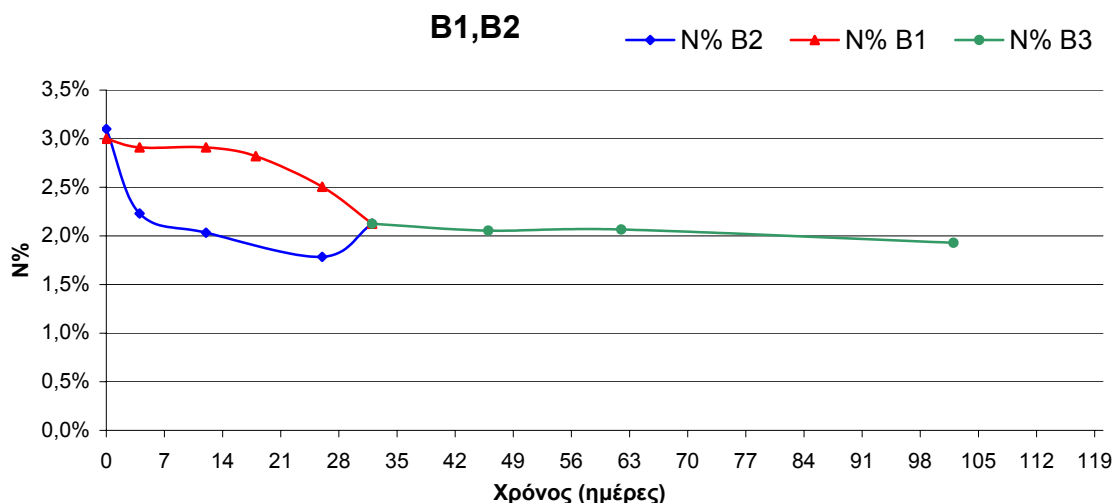
Οι B1 και B2 εμφάνισαν επίσης αρχικές τιμές άνθρακα της τάξης του 35%, οι οποίες σταθεροποιήθηκαν στο 20%, μετά το πέρας της κομποστοποίησης. Η σταθεροποίηση των σωρών αυτών όμως, πραγματοποιήθηκε σε συντομότερο διάστημα από τους A1, A2.



Διάγραμμα 17: Περιεκτικότητα σωρών B1, B2, B3 σε οργανικό άνθρακα

7.2.5. Ολικό Ν σωρών Β

Στους σωρούς B1 και B2, η αρχική τιμή του αζώτου, όπως εμφανίζεται στο Διάγραμμα 18, είναι 3,0 και 3,1% αντίστοιχα, η οποία ελαττώνεται στην τιμή 2,3 και 2,5%, πριν την ανάμειξη των δυο σωρών σε ένα, B3, ενώ στο τέλος του πειράματος καταλήγει στην τιμή 2,4%.



Διάγραμμα 18: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος για τους σωρούς B1, B2, B3

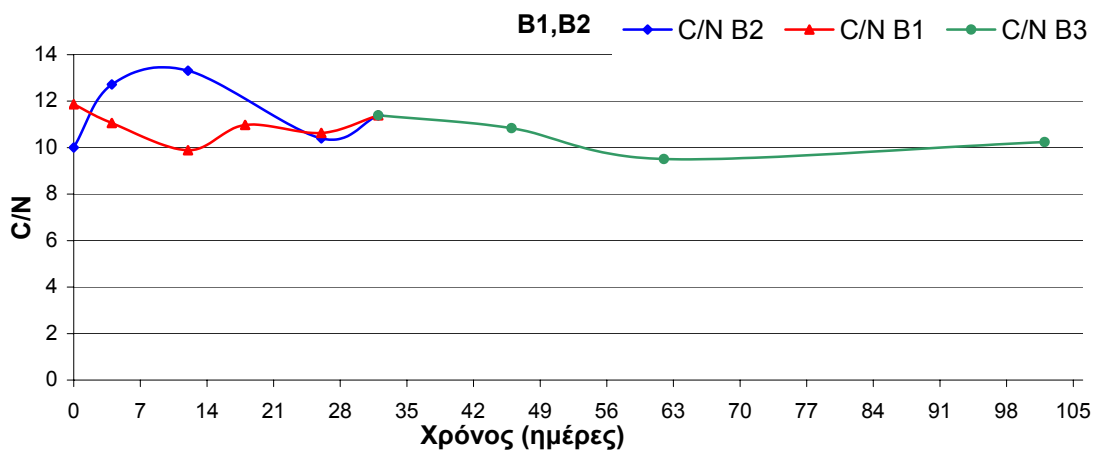
Στους σωρούς Β σε αντίθεση με τους σωρούς Α, C και D, όπου η αρχική περιεκτικότητα του αζώτου ήταν υψηλότερη, περίπου 3%, παρατηρήθηκε ελάττωση του ολικού αζώτου. Στην βιβλιογραφία [61, 62] αναφέρετε ότι η ελάττωση του οργανικού αζώτου εξαρτάται από τα υλικά του κόμποστ και την αναλογία C/N. Έτσι παρατηρείται σε κομποστοποίηση υλικών με χαμηλή αναλογία C/N να έχουμε υψηλότερες απώλειες σε N, ειδικότερα σε αλκαλικές συνθήκες. Το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία όπου και διαφεύγει στην ατμόσφαιρα [63]. Το αντίστροφο συμβαίνει στην περίπτωση όπου η αναλογία C/N είναι υψηλή: τότε το ποσοστό του αζώτου εμφανίζεται να παραμένει σταθερό ή και να αυξάνεται.

7.2.6. Αναλογία C/N σωρών B

Οι σωροί B1 και B2 έχουν πολύ μικρή αναλογία C/N με τιμές 12 και 10 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές οφείλονται στην υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο (3%) που εμφανίζεται σε μεγάλα ποσοστά στην βιολογική ιλύς, που προστέθηκε στον σωρό.

Ο σωρός B1, στις επόμενες τρεις εβδομάδες εμφανίζει μια σταδιακή πτώση της τιμής από 12 στο 10 και στην συνέχεια ανέρχεται στο 11. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στον μικρό ρυθμό κατανάλωσής του αζώτου τις πρώτες τέσσερις εβδομάδες και την απότομη κατανάλωσή του στις επόμενες δυο, όπως φαίνεται στο αντίστοιχο Διάγραμμα 18, ενώ ταυτόχρονα ο ρυθμός ελάττωσης του οργανικού άνθρακα είναι σταθερός.

Ο B2 παρουσιάζει μεγάλη κατανάλωση του αζώτου την πρώτη εβδομάδα, στην συνέχεια της διεργασίας η κατανάλωση του αζώτου είναι ελάχιστη, ενώ ο ρυθμός κατανάλωσης του οργανικού άνθρακα είναι σταθερός. Μετά την ανάμιξη των δυο σωρών παρατηρείται μικρή δραστηριότητα στον σωρό. Οι σωροί B1 και B2 κατά την αρχή της διεργασίας, παρουσίασαν την μικρότερη αναλογία C/N, 10 ο B1 και 12 ο B2. Αναλογίες τόσο μικρές δεν ενδείκνυνται για την διαδικασία της κομποστοποίησης. Η αναλογία C/N μεταξύ 25 και 30, θεωρείται ιδανική για την διαδικασία [64, 65].



Διάγραμμα 19: Αναλογία C/N για των σωρό B1, B2- B3

7.2.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς Β

Μετά τις πρώτες 16 ημέρες, η θερμοκρασία παρέμενε χαμηλή και παρ' όλους τους χειρισμούς (όπως διόρθωση της περιεχόμενης υγρασίας και οξυγόνου) δεν ξεπερνούσε τους 30°C. Θεωρήθηκε αναγκαία λοιπόν η ανάμιξη των δυο σωρών σε ένα σωρό Β3. Σκοπός της ανάμιξης αυτής, ήταν η αύξηση της κόμποστοποιούμενη μάζας και επακόλουθα η ελάττωση της απαγωγής θερμότητας στο περιβάλλον. Μετά την ανάμιξη, παρουσιάστηκε περιορισμένη δραστικότητα στον σωρό με την θερμοκρασία να ανεβαίνει έως τους 40°C και την αναλογία C/N σταθερή στο 10,6 ενώ μετά τις 70 ημέρες, οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας του σωρού ακολουθούσαν τις μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Η ανωτέρω παρατηρούμενη συμπεριφορά του σωρού συμπεραίνεται ότι οφείλεται στον μικρό βαθμό χουμοποίησης του μείγματος αυτού, καθώς τα χημικά χαρακτηριστικά (C/N) του δεν δημιούργησαν τις απαραίτητες συνθήκες για την ολοκλήρωση της κομποστοποίησης. Ο βαθμός ελάττωσης της οργανικής μάζας δεν ξεπέρασε το 39% και μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό ποσοστό

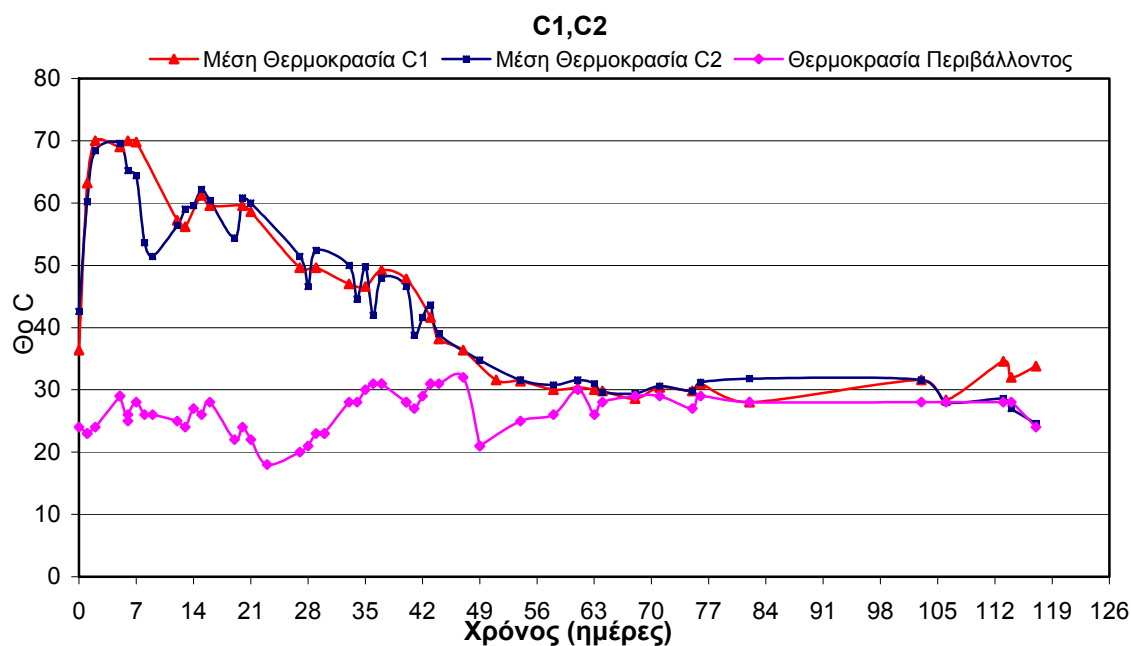
7.3. Σωροί C - Ο.Κ.Α.Α. : Β.Ι. : Φ.Υ. (3:1:2)

Για την παρασκευή των σωρών C1 και C2 αναμείχθηκαν Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων, μείγμα Βιολογικής Ιλύος (Χωνευμένης και Αχώνευτης) και Φυτικά Υπολείμματα σε αναλογίες 3:1:2 κατά βάρος. Οι αρχικές υγρασίες ανερχόταν σε 65 και 55% αντίστοιχα, το pH στο 7,5, ο οργανικός άνθρακας στο 39,5%, το άζωτο στο 1,5% και η αναλογία C/N στο 26.

7.3.1. Θερμοκρασία σωρών C

Οι σωροί C1 και C2 παρουσίασαν τις υψηλότερες θερμοκρασίες κατά την κομποστοποίησή τους. Τις πρώτες ημέρες, μετά την δημιουργία τους, η θερμοκρασία ανήλθε στους 70°C και διατηρήθηκε μια εβδομάδα, από την δεύτερη εβδομάδα η μέση θερμοκρασία έπεσε στους 60°C, ενώ σε διάστημα τριών εβδομάδων η θερμοκρασία κατέβηκε στους 40°C και στο τέλος του πειράματος σταθεροποιήθηκε στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

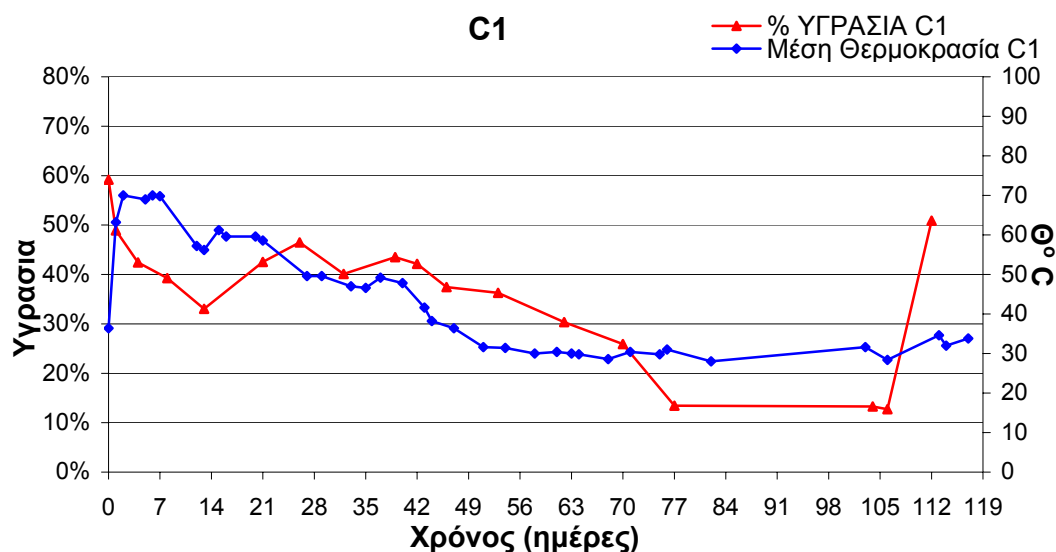
Οι υψηλές θερμοκρασίες οφείλονται στην ύπαρξη υψηλών ποσοτήτων οργανικού άνθρακα σε εύκολα αποικοδομήσιμη μορφή για τους μικροοργανισμούς. Όσο η περιεκτικότητα αυτή όμως ελαττώνεται, τόσο μειώνεται και η ένταση της διεργασίας και επακόλουθα η θερμοκρασία του σωρού.



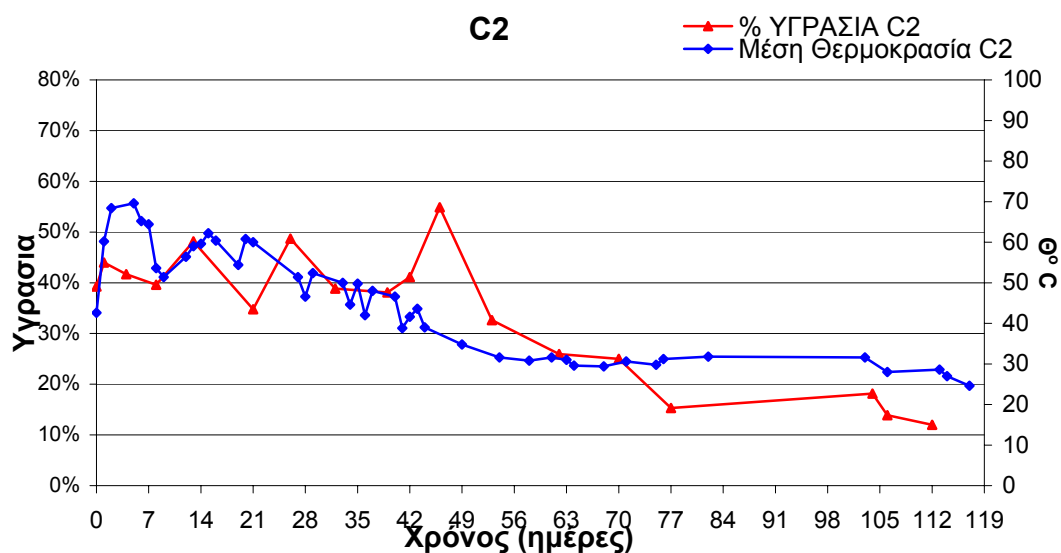
Διάγραμμα 20: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς C1, C2

7.3.2. Υγρασία σωρών C

Οι σωροί C1 και C2 (Διαγράμματα 21, 22 αντίστοιχα) αποτελούνται από οργανικό κλάσμα Α.Σ.Α., αφυδατωμένη ιλύς και φυτικά υπολείμματα σε αναλογίες 3:1:2. Μετά την ανάμιξή τους, και οι δυο σωροί παρουσιάζουν υγρασία 58%, η οποία ελαττώνεται σταδιακά. Μετά την χρονική διάρκεια των έξι εβδομάδων ανέρχεται στο 13%. Στην συνέχεια μετά από μια περίοδο τριών εβδομάδων, προστέθηκε νερό στον σωρό C1 και μελετήθηκε η συμπεριφορά του.



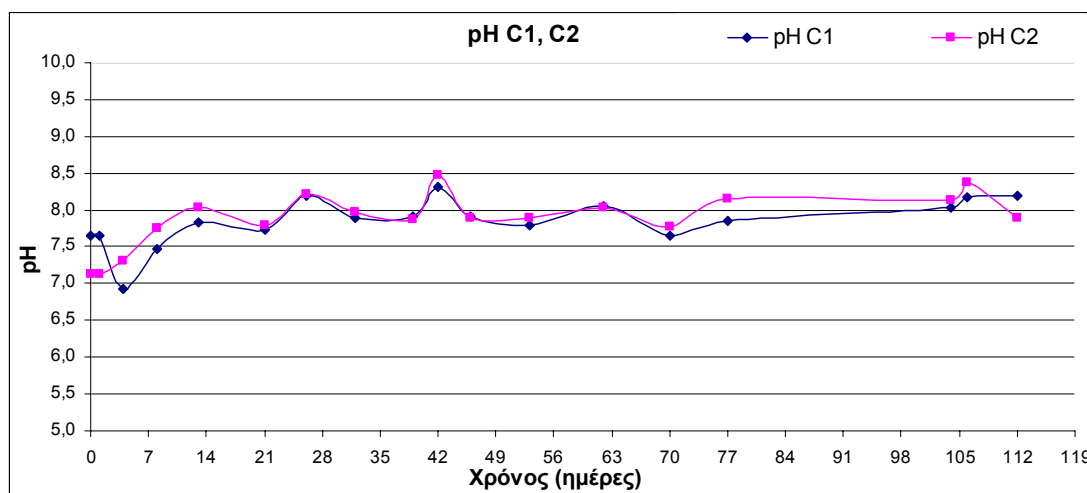
Διάγραμμα 21: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό C1



Διάγραμμα 22: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό C2

7.3.3. pH σωρών C

Για τους σωρούς C1 και C2 οι μεταβολές του pH είναι πιο έντονες. Αρχικά παρατηρείται άνοδος από την τιμή 7,0 στην τιμή 8,0 για τις πρώτες εβδομάδες, έως την τιμή 8,5, την 42^η ημέρα της κομποστοποίησης και στην συνέχεια πτώση έως την τιμή 8,0 μέχρι το τέλος της διεργασίας.



Διάγραμμα 23: Διακύμανση pH για τους σωρούς C1 και C2.

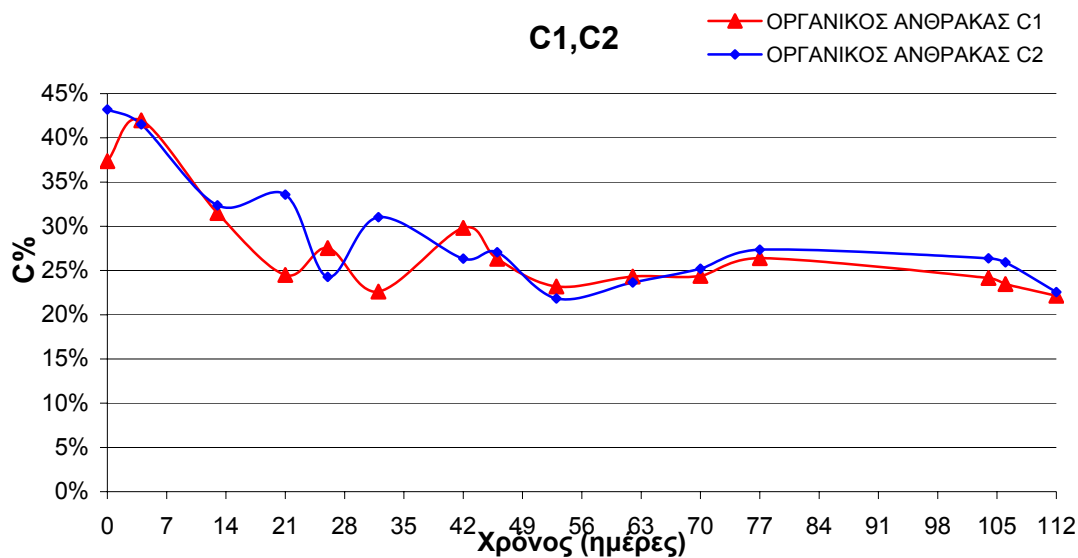
Κατά την διάρκεια της διεργασίας, η τιμή το pH αυξάνεται σε όλους τους σωρούς. Αυτό ίσως να οφείλεται στην παρουσία του οργανικού αζώτου, το οποίο υπάρχει σε υψηλά επίπεδα κυρίως στην βιολογική ιλύς. Το οργανικό άζωτο αμμωνιοποιείται, με αντίστοιχα αποτελέσματα στην συγκέντρωση της διαλυμένης αμμωνίας.

Ο Nakasaki et al. (1993) [66] εξέτασε την προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου σε κόμποστ απορριμμάτων με σκοπό να αποτρέψει το πρώτο στάδιο όπου το pH γίνεται όξινο. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι ο ρυθμός της αποικοδόμησης αυξήθηκε σε σχέση με αντίστοιχες περιπτώσεις, στις οποίες το pH δεν ρυθμιζόταν. Η ίδια ομάδα εξέτασε την εξάρτηση των μικροοργανισμών από το pH, παρατηρώντας, ότι η μεγαλύτερη δραστηριότητα των οργανισμών, επιτυχαινόταν σε τιμές μεταξύ 7 και 8.

7.3.4. Οργανικός C σωρών C

Οι C1 και C2 ξεκίνησαν με ποσοστό οργανικού άνθρακα κοντά στο 45%. Σταδιακά το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 22%. Το υψηλό ποσοστό του οργανικού

άνθρακα στους σωρούς αυτούς, αλλά και στους D1 και D2, οφείλεται στην προσθήκη των φυτικών υπολειμμάτων, σε αναλογίες Οργανικό κλάσμα Α.Σ.Α., Αφυδατωμένη ιλύς και Φυτικά υπολείμματα 3:1:2 για τους C1, C2, ενώ για τους D1, D2 οι αντίστοιχες αναλογίες ήταν 4:1:2.



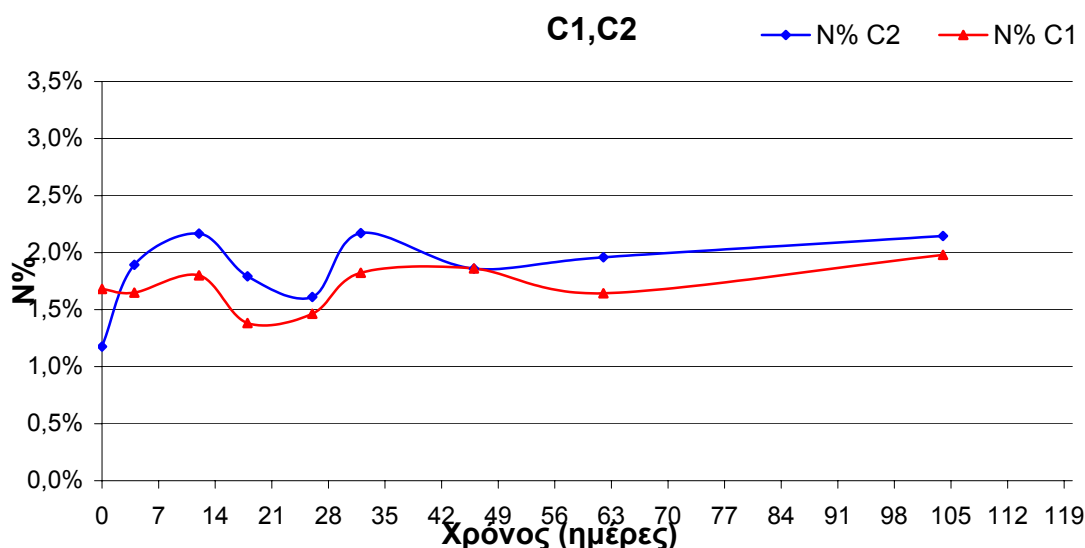
Διάγραμμα 24: Περιεκτικότητα σωρών C1, C2 σε οργανικό άνθρακα

Ο βαθμός ελάττωσης της οργανικής μάζας υπολογίστηκε στο 45%, που θεωρείται ένα αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό.

7.3.5. Ολικό N σωρών C

Στους σωρούς C και D, οι μεταβολές στην περιεκτικότητα του αζώτου είναι μικρότερες. Η κυριότερη όμως διαφορά τους από τους A και B είναι ότι κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης, η συγκέντρωση του αζώτου αυξάνεται, επιβεβαιώνοντας την βιβλιογραφία ότι σε σωρούς με υψηλό ποσοστό C/N, η περιεκτικότητα του αζώτου παρουσιάζει αύξηση [63].

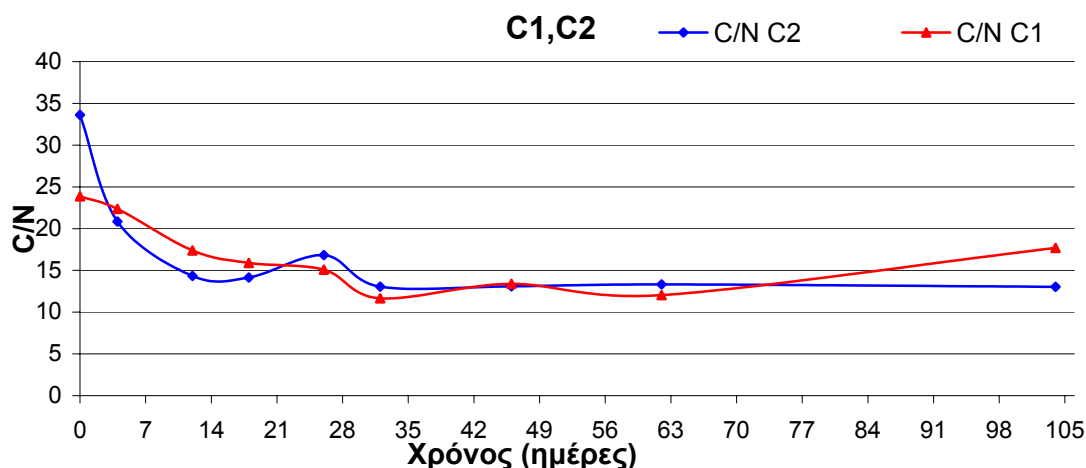
Αναλυτικότερα οι σωροί C1 και C2 εμφανίζουν αρχικές τιμές 1,5 και 1,3%, ενώ στο τέλος της διαδικασίας οι τιμές ξεπερνούν το 2%.



Διάγραμμα 25: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος για τους σωρούς C1, C2

7.3.6. Αναλογία C/N σωρών C

Οι σωροί C1 και C2 παρουσιάζουν την υψηλότερη αναλογία C/N από όσους παρασκευάστηκαν αυτό οφείλεται στον περιεχόμενο οργανικό άνθρακα από τα φυτικά υπολείμματα. Ξεκινούν την διεργασία με τιμές 34 και 24 αντίστοιχα, και μέσα σε πέντε εβδομάδες η τιμή αυτή ελαττώνεται σε 14, όπου και σταθεροποιείται έως το τέλος του πειράματος. Είναι γνωστό από την βιβλιογραφία ότι τιμές C/N μεταξύ 26 και 35 ενδεικνύονται για υψηλούς ρυθμούς κομποστοποίησης [67].



Διάγραμμα 26: Αναλογία C/N για των σωρό C1,C2

Και στους δυο σωρούς παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας με μέγιστη τιμή 59°C για τον B1 και 64°C για τον B2 στις τέσσερις πρώτες ημέρες. Ερμηνεύοντας τα παραπάνω στοιχεία, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για τους συγκεκριμένους σωρούς, η βέλτιστη υγρασία κυμαίνεται κοντά στην τιμή 59%.

7.3.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς C

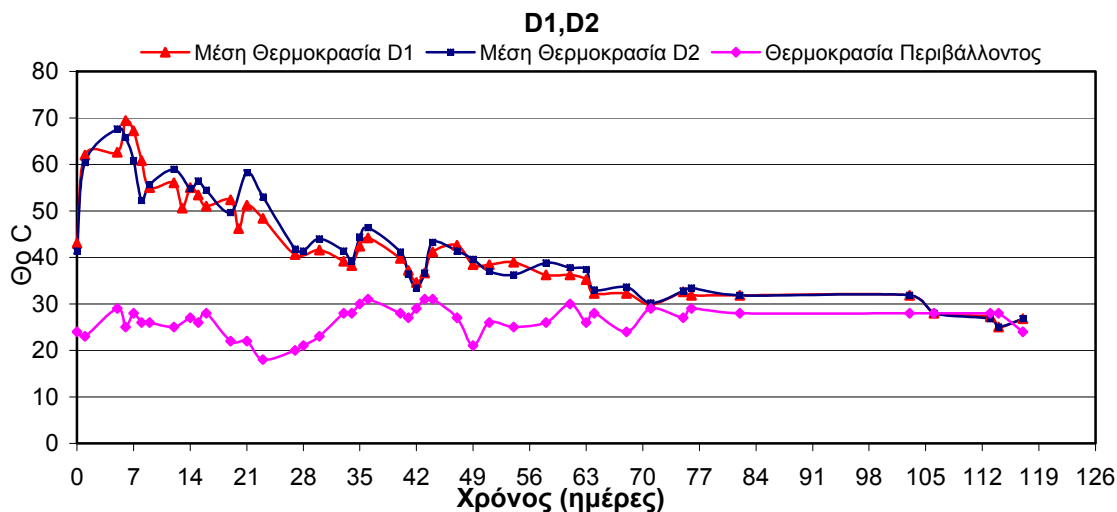
Μετά τις πρώτες 16 ημέρες η θερμοκρασία παρέμενε χαμηλή και παρ' όλους τους χειρισμούς (όπως διόρθωση της περιεχόμενης υγρασίας και οξυγόνου) δεν ξεπερνούσε τους 30°C. Θεωρήθηκε αναγκαία λοιπόν η ανάμιξη των δυο σωρών σε ένα σωρό B3. Σκοπός της ανάμιξης αυτής ήταν η αύξηση της κομποστοποιούμενης μάζας και επακόλουθα, η ελάττωση της απαγωγής θερμότητας στο περιβάλλον. Μετά την ανάμιξη παρουσιάσθηκε περιορισμένη δραστητικότητα στον σωρό, με την θερμοκρασία να ανεβαίνει έως τους 40°C και την αναλογία C/N σταθερή στο 10,6 ενώ μετά τις 70 ημέρες, οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας του σωρού ακολουθούσαν τις μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

7.4. Σωροί D - O.K.A.A. : B.I. : Φ.Υ. (4:1:2)

Οι σωροί D1 και D2, όμοια με τους σωρούς C, άρχισαν να ζυμώνουν αμέσως μετά την παρασκευή τους. Η συνθεσή τους, Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων, μείγμα Βιολογικής Ιλύος (Χωνευμένης και Αχώνευτης) και Φυτικά Υπολείμματα σε αναλογίες 4:1:2 κατά βάρος, παρείχε τις απαραίτητες συγκεντρώσεις σε οργανικό άνθρακα και άζωτο για να ξεκινήσει η διεργασία.

7.4.1. Θερμοκρασία σωρών D

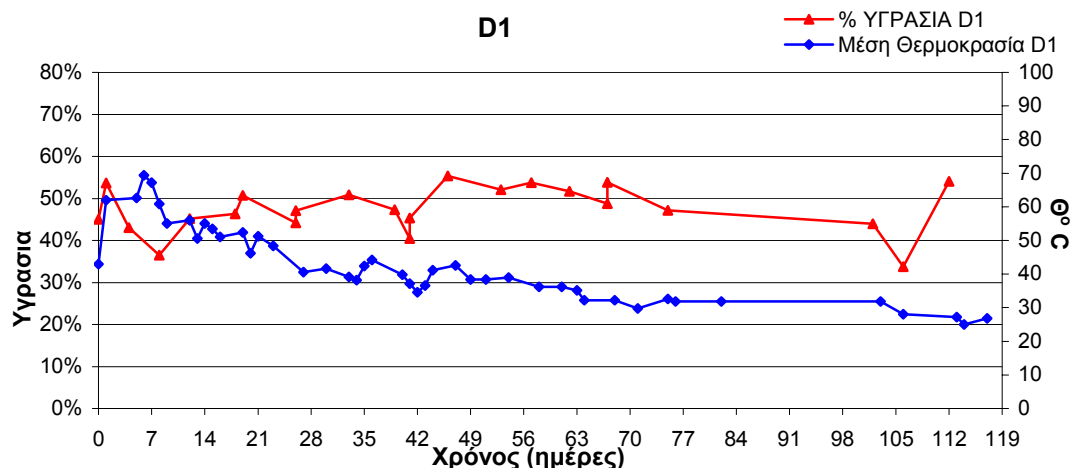
Οι σωροί D1 και D2 παρασκευάστηκαν με αναλογίες 4:1:2 σε οργανικό κλάσμα : αφυδατωμένη ίλύς και Φυτικά υπολείμματα. Την πρώτη εβδομάδα της κομποστοποίησης, η μέση θερμοκρασία του κάθε σωρού πλησίασε τους 70°C. Από την δεύτερη εβδομάδα και μετά, η μέση θερμοκρασία των σωρών μειώνεται ομαλά στους 50°C στην αρχή της τέταρτης εβδομάδας και στους 40°C την έβδομη εβδομάδα. Στο τέλος της διαδικασίας η θερμοκρασία στους δυο σωρούς είναι όμοια με αυτή του περιβάλλοντος όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 27.



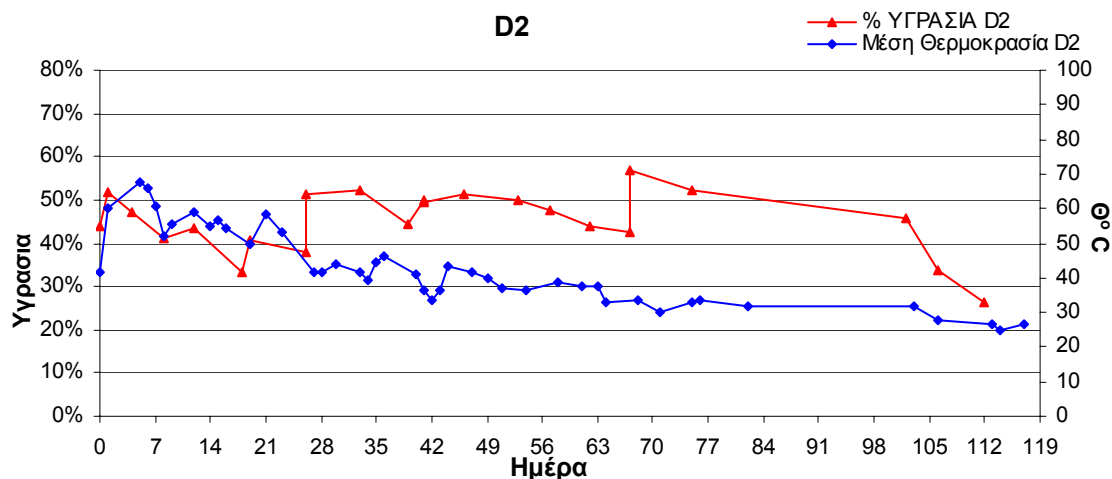
Διάγραμμα 27: Μέση Θερμοκρασία σε σχέση με την Θερμοκρασία Περιβάλλοντος για τους σωρούς D1, D2

7.4.2. Υγρασία σωρών D

Στους σωρούς D1 και D2, από την πρώτη ήδη ημέρα παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας με επακόλουθο την ανάλογη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας. Στη πρώτη εβδομάδα, όπου και οι θερμοκρασίες είχαν τιμές 65 – 70° C, η προσθήκη νερού και η ανάδευση ήταν απαραίτητες. Μετά το πέρας της δεύτερης εβδομάδας, η περιεχόμενη υγρασία των σωρών παρέμενε σε σταθερά επίπεδα (Διαγράμματα 28 και 29).



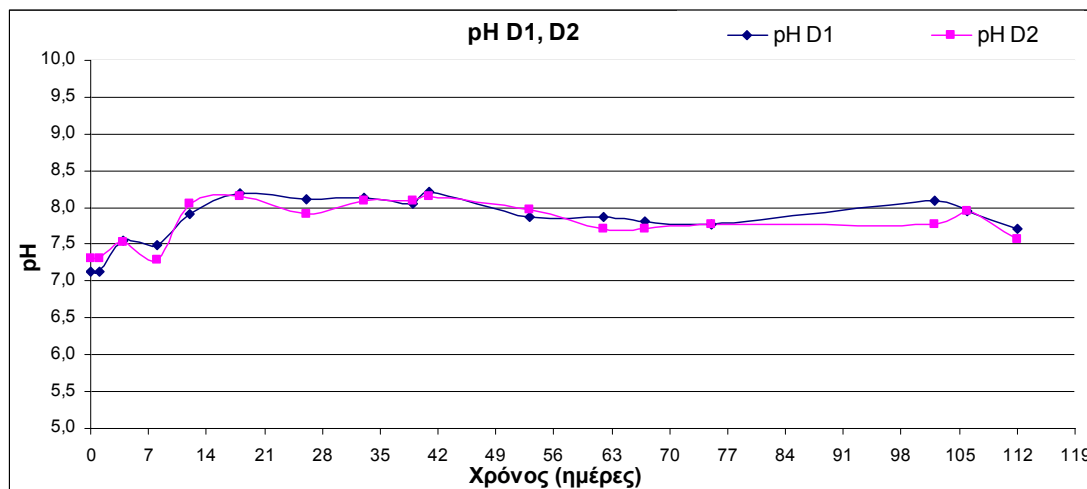
Διάγραμμα 28: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό D1



Διάγραμμα 29: Υγρασία και μέση θερμοκρασία για τον σωρό D2

7.4.3. pH σωρών D

Όμοια με τους C1 και C2, οι σωροί D1 και D2 παρουσιάζουν αρχικό pH της τάξης του 7,0 και εν συνεχεία άνοδο έως το 8,3 και σταθεροποίηση κοντά στο 8,0, έως το τέλος του πειράματος.

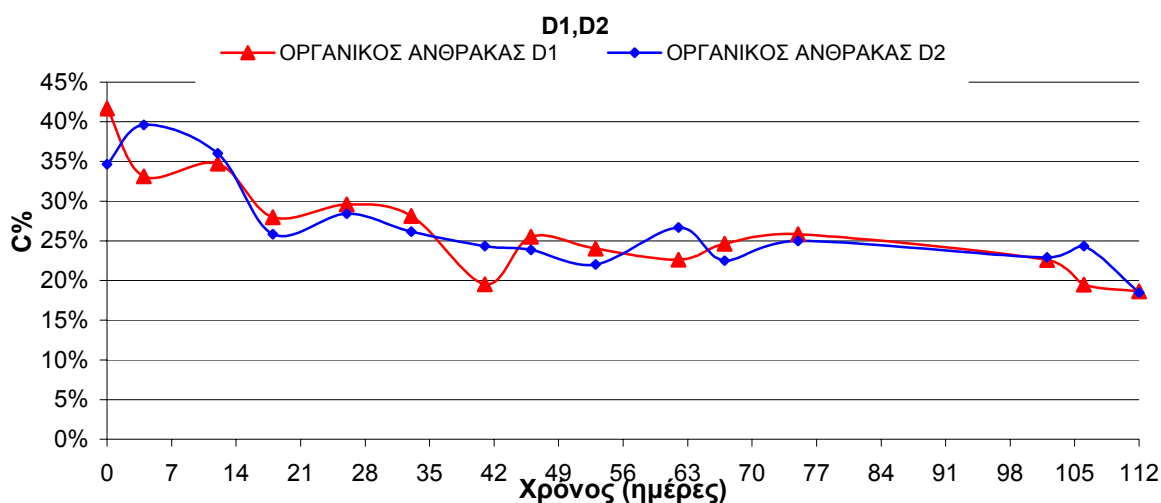


Διάγραμμα 30: Διακύμανση pH για τους σωρούς D1 και D2.

7.4.4. Οργανικός C σωρών D

Η ταχύτητα της κομποστοποίησης όπως εμφανίζεται στα γραφήματα των σωρών C και D, είναι υψηλότερη, με αποτέλεσμα η κομποστοποίηση να επέλθει σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα από ότι στους σωρούς A και B. Ο υψηλός αυτός ρυθμός ζύμωσης επιβεβαιώνεται και από τα προηγούμενα διαγράμματα της θερμοκρασίας και υγρασίας.

Η αρχική περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα για τους σωρούς D1 και D2 είναι 41,6 και 31,6% αντίστοιχα. Κατά την διάρκεια της διεργασίας παρατηρείται σταδιακή ελάττωση της περιεκτικότητας αυτής, φτάνοντας την έβδομη εβδομάδα να κυμαίνεται και για τους δυο σωρούς κάτω του 25%.

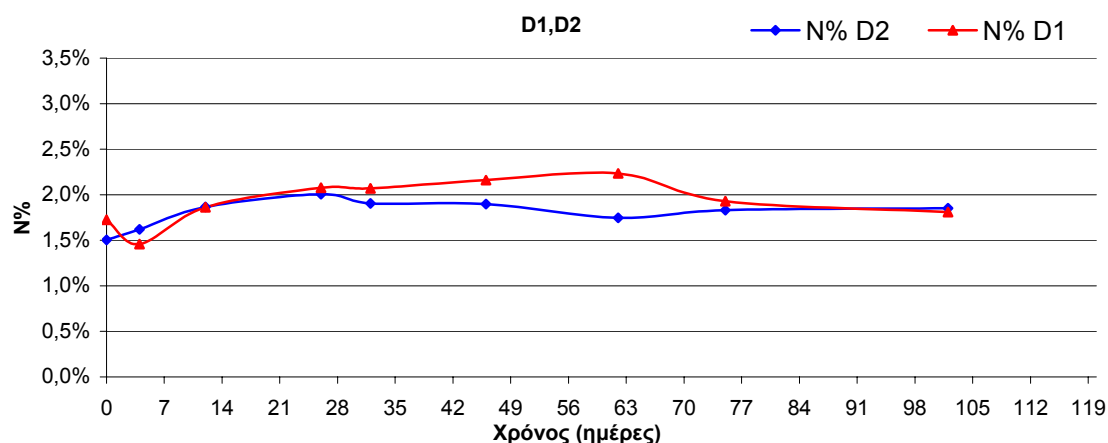


Διάγραμμα 31: Περιεκτικότητα σωρών D1, D2 σε οργανικό άνθρακα επί ξηρού δείγματος

Ο βαθμός ελάττωσης της οργανικής μάζας ξεπέρασε το 48% που θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό.

7.4.5. Ολικό N σωρών D

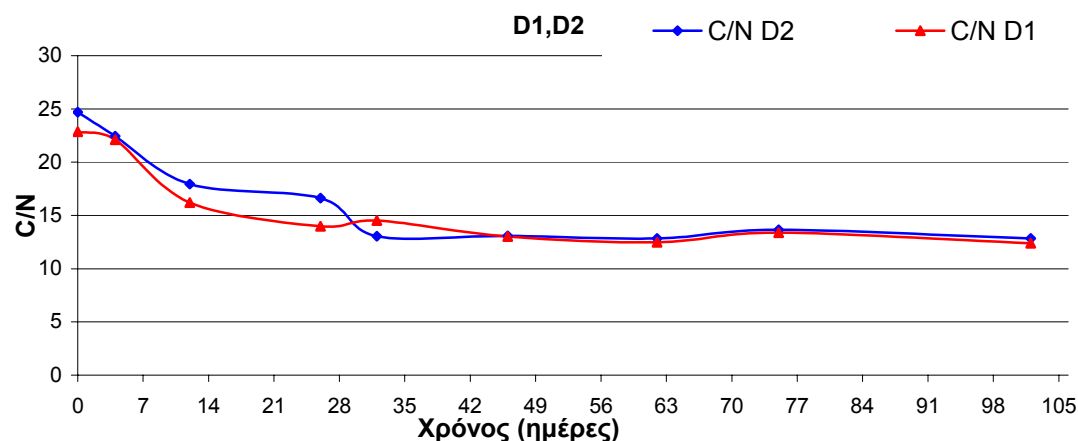
Οι τιμές του αζώτου στην αρχή της διεργασίας για τους σωρούς D1 και D2 ήταν 1,7 και 1,5 αντίστοιχα. Στα πρώτα στάδια της διεργασίας η τιμή παρουσίασε σταδιακή αύξηση φτάνοντας τα 2,0 και στην συνέχεια σταθεροποιήθηκε στην τιμή 1,8.



Διάγραμμα 32: Ποσοστό αζώτου επί ξηρού δείγματος για τους σωρούς D1, D2

7.4.6. Αναλογία C/N σωρών D

Οι σωροί D1 και D2 παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά με τους C1, C2. Οι αρχικές αναλογίες C/N ήταν 24 και 25 αντίστοιχα, οι οποίες στις επόμενες πέντε εβδομάδες έφτασαν την τιμή 14 όπου και σταθεροποιήθηκαν.



Διάγραμμα 33: Αναλογία C/N για των σωρό D1,D2

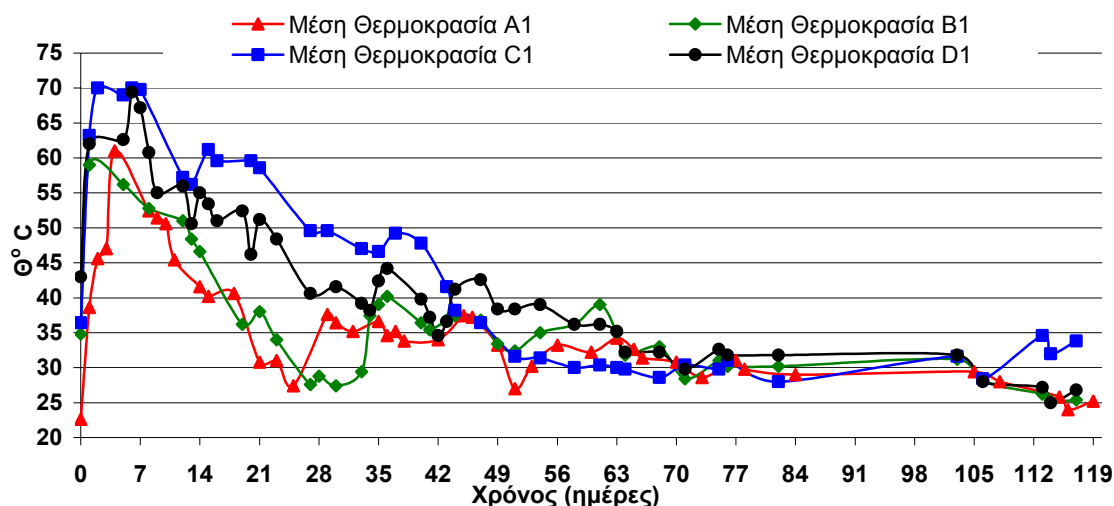
7.4.7. Σύνοψη της διεργασίας στους σωρούς D

Στην πρώτη εβδομάδα της κομποστοποίησης η θερμοκρασία πλησίαζε τους 70°C προκαλώντας την απότομη ελάττωση της υγρασίας. Επακόλουθα, η συνεχής ανάδευση και προσθήκη νερού ήταν απαραίτητη. Η αναλογία C/N από 24 μέσα σε 2 εβδομάδες σημείωσαν πτώση στο 17. Στις επόμενες εβδομάδες, όπως παρουσιάζεται από τα διαγράμματα θερμοκρασίας και αναλογίας C/N, η διεργασία συνεχίστηκε με πιο “ήπιους ρυθμούς” έως το τέλος της τέταρτης εβδομάδας. Στο στάδιο αυτό της κομποστοποίησης η αναλογία C/N σταθεροποιήθηκε στο 14. Η θερμοκρασία λάμβανε τιμές μικρότερες των 40°C.

7.5. Σύγκριση σωρών

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανή τα στάδια της διαδικασίας της κομποστοποίησης, τα οποία ήταν αναμενόμενα και περιγράφονται από την βιβλιογραφία. Το πρώτο στάδιο της θέρμανσης των σωρών, το δεύτερο της θερμοφίλης φάσης και το τρίτο της ψύξης των σωρών. Βέβαια η αρχή, η διάρκεια, η ένταση και το τέλος για κάθε στάδιο στο κάθε σωρό διαφέρει, ακόμα και σε αυτούς με την ίδια σύσταση. Ο λόγος των παραπάνω ανομοιοτήτων οφείλεται στα διαφορετικά χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του κάθε σωρού, όπως περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και άζωτο, pH, υγρασία.

Παρακάτω παρουσιάζονται σε διαγράμματα οι μεταβολές για την κάθε παράμετρο στους σωρούς A, B, C και D



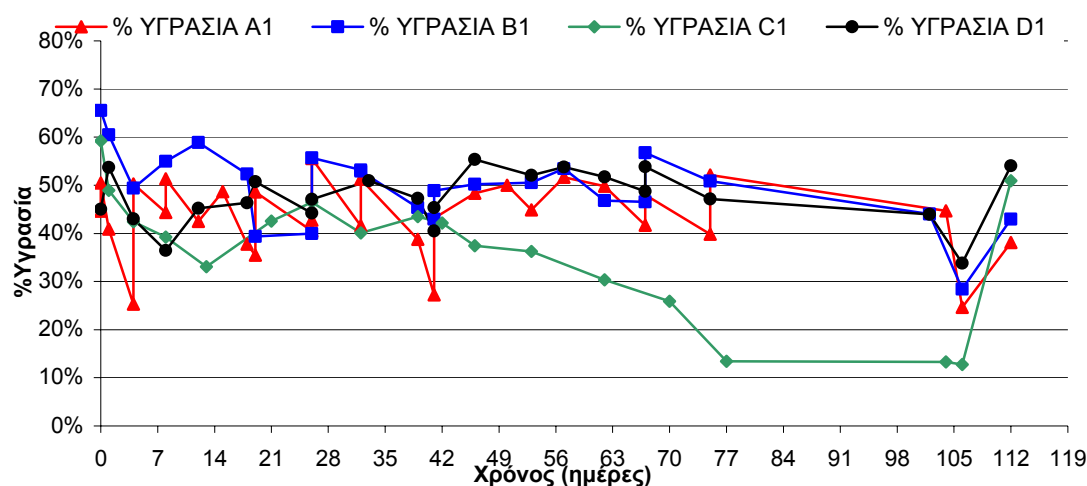
Διάγραμμα 34: Μέση Θερμοκρασία για τους σωρούς A, B, C και D

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα θερμοκρασίας, υγρασία, pH, οργανικού άνθρακα και αζώτου συμπεραίνουμε τα εξής:

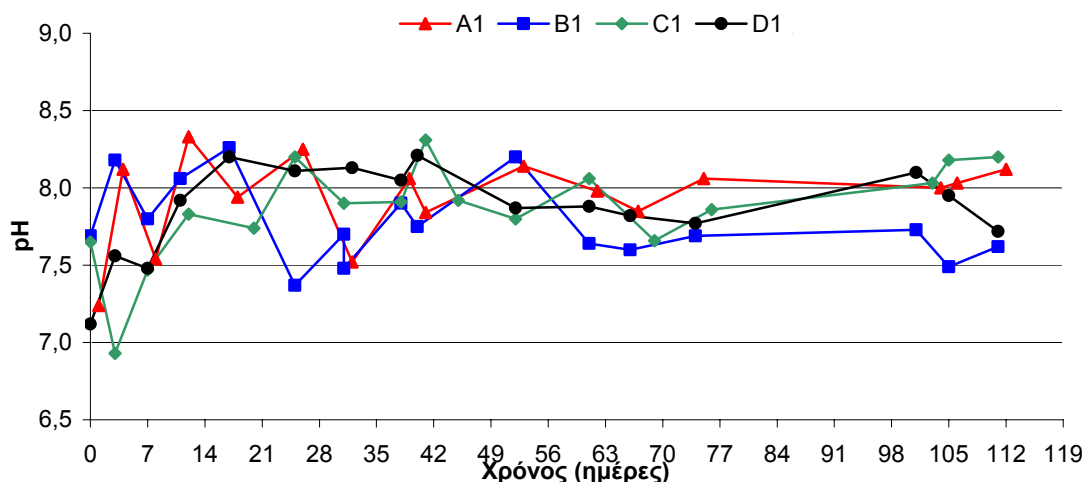
Οι σωροί C παρουσίασαν τις υψηλότερες θερμοκρασίες τόσο κατά τα πρώτα στάδια της διεργασίας, όσο και στην συνέχεια, διατηρώντας θερμοκρασίες υψηλότερες των 50° C για έξι εβδομάδες. Η παρουσία υψηλών ποσοστών οργανικού άνθρακα σε αναλογία με το άζωτο 26:1, το αλκαλικό pH και η υγρασία στο 55%, παρείχαν τις ιδανικές συνθήκες για τον πολλαπλασιασμό και την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που δρουν στην μάζα των σωρών. Όμοια αλλά με μικρότερη ένταση, οι σωροί D παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά, με υψηλές θερμοκρασίες

της τάξης των 70°C τις πρώτες δυο εβδομάδες και της τάξης των 55°C για τρεις εβδομάδες ακόμα. Και σε αυτούς τους σωρούς, το pH ήταν αλκαλικό, η υγρασία στο 55% ενώ το ποσοστό άνθρακα, αζώτου στο 24.

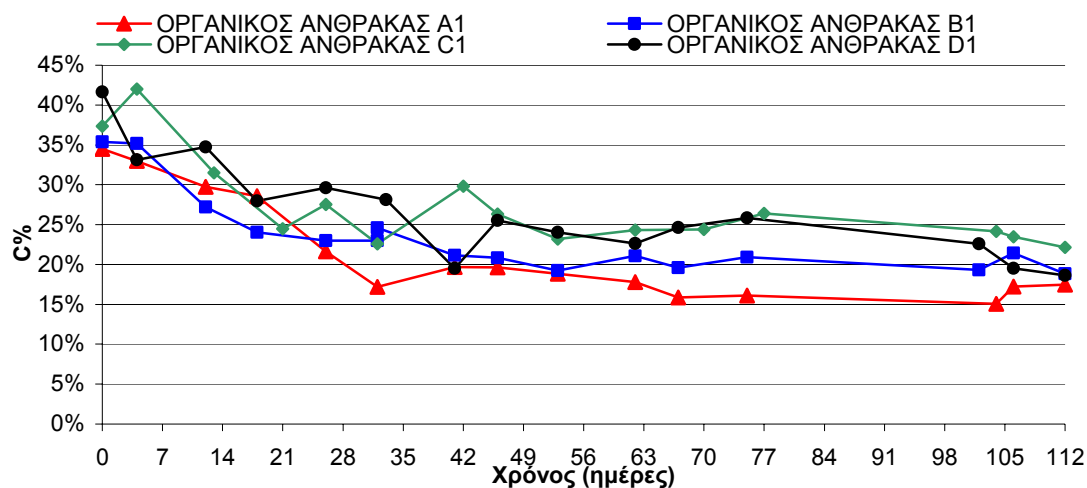
Οι σωροί Α παρουσίασαν χαμηλότερες θερμοκρασίες και για λιγότερο χρόνο σε σχέση με τους C και D, οι θερμοκρασίες τους δεν ξεπέρασαν τους 60°C. Η θερμόφιλη φάση διάρκεσε τρεις εβδομάδες και σε πέντε εβδομάδες έφτασαν στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το pH βρισκόταν σε όλες τις φάσεις κοντά στο 8 ενώ οι περιεκτικότητες σε οργανικό άνθρακα παρουσίασαν ομαλή σταδιακή μείωση όπως εξ άλλου παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 37



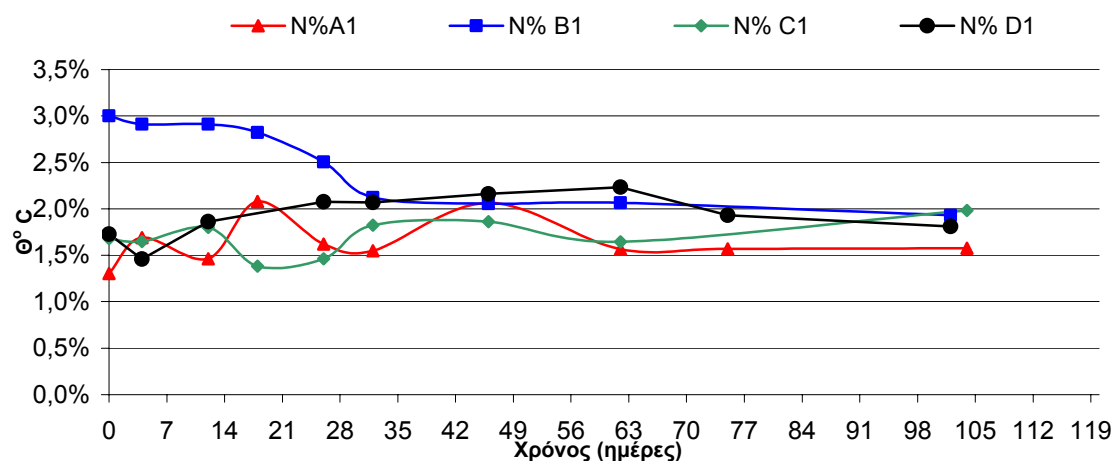
Διάγραμμα 35: %Υγρασία για τους σωρούς A, B, C και D



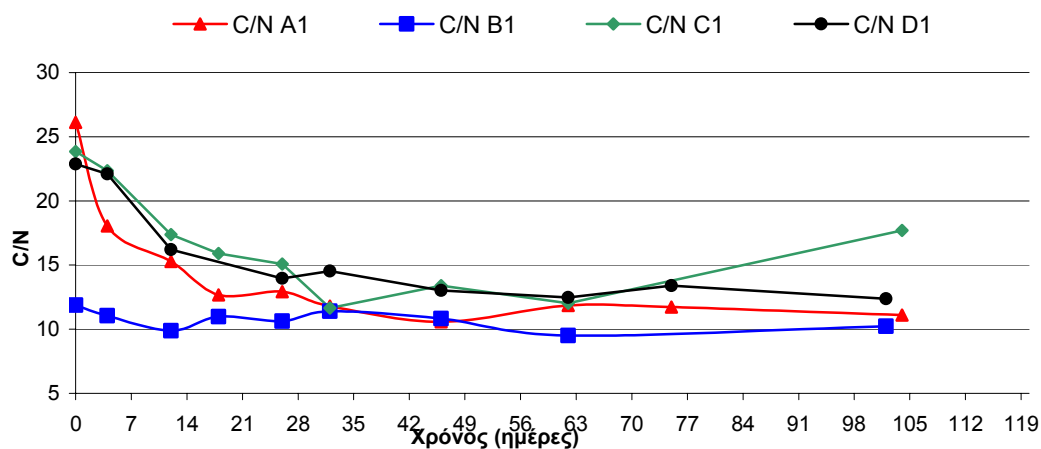
Διάγραμμα 36: Διακύμανση pH για τους σωρούς A, B, C και D



Διάγραμμα 37: Περιεκτικότητα σε οργανικού άνθρακα για τους σωρούς A, B, C και D



Διάγραμμα 38: Περιεκτικότητα σε άζωτο για τους σωρούς A, B, C και D



Διάγραμμα 39: Αναλογία άνθρακα - αζώτου για τους σωρούς A, B, C και D

7.7 Βαρέα μέταλλα

Η περιεκτικότητα των απορριμμάτων και συνεπώς του οργανικού υλικού που ανακτάται είναι στενά συνδεδεμένη με το είδος και τις ποσότητες των μετάλλων που βρίσκονται σε είδη ευρείας κατανάλωσης, με τις βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής, τις καταναλωτικές συνήθειες του πληθυσμού και τα πολιτιστικά δεδομένα της εκάστοτε κοινωνίας [68].

Μερικές συνήθειες χρήσεις των μετάλλων αυτών, τα οποία εμφανίζονται και στα προς κομποστοποίησης υλικά, αναφέρονται παρακάτω:

Cd: Μεταλλικές επιφάνειες, μπαταρίες, φυτοφάρμακα, μεταλλικά κράματα.

Cr: Βυρσοδεψεία, χρώματα, μεταλλικές επιφάνειες.

Ni: Μεταλλικές επιφάνειες, μελάνες, χρώματα, ηλεκτρόδια.

Pb: Υγρά καύσιμα, γυαλιά, κεραμικά, βερνίκια, μπαταρίες.

Cu: Μεταλλικές επιφάνειες, σκεύη, συνθετικά υφάσματα, κονσερβοποιία.

Zn: Μεταλλικές επιφάνειες, ηλεκτρολογικό υλικό, συνθετικά υφάσματα, ελαστικά.

Mn: Μεταλλικά κράματα, φυτοφάρμακα.

Οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων που θα καταλήξουν στο ανακτημένο από τα απορρίμματα οργανικό υλικό εξαρτώνται συνολικά από το σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων. Τα μέταλλα αυτά βρίσκονται στα απορρίμματα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αποτελούν συστατικά των ανόργανων ενώσεων της οργανικής ουσίας.

Οι αναφορές στην περιεκτικότητα των βαρέων μετάλλων αφορούν την ολική συγκέντρωσή τους στα δείγματα και όχι σε κάποια μορφή των συγκεκριμένων μετάλλων.

Από την παρατήρηση των μεταβολών της παρουσίας των μετάλλων προκύπτει αύξηση της περιεκτικότητάς τους, που οφείλεται στη μείωση του βάρους του κόμποστ. Η μείωση του βάρους οφείλεται στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης που έχει σαν αποτέλεσμα ένα σημαντικό της μέρος να καταλήγει στην ατμόσφαιρα σαν CO₂.

Σημειώνεται ότι οι αυξήσεις, κυρίως του ασβεστίου, αλλά και των άλλων μετάλλων πρέπει να οφείλονται κύρια στις υψηλές τους περιεκτικότητες, γεγονός που σημαίνει ότι σε μικρές μεταβολές αντιστοιχούν σημαντικές αυξομειώσεις.

Τονίζεται τέλος, ότι οι αυξομειώσεις εν μέρει οφείλονται και στο γεγονός ότι το κόμποστ αποτελεί ένα ετερογενές μίγμα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μικρές διαφορές από δείγμα σε δείγμα.

Τα βαρέα μέταλλα μετρήθηκαν για τα δείγματα στην αρχή της κομποστοποίησης και στο τέλος του πειράματος, δηλαδή στις δέκα εβδομάδες μετά την παρασκευή των σωρών. Τα αποτελέσματα των αρχικών σωρών μετρούμενα σε mg/Kg ξηρού δείγματος καθώς και των υλικών τα οποία αναμείχθηκαν για την παρασκευή των σωρών παραθέτονται στον παρακάτω Πίνακας 18, ενώ οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο τέλος της διεργασίας για κάθε σωρό παρουσιάζονται στον Πίνακας 19.

Να σημειωθεί ότι εκτός των βαρέων μετάλλων Zn, Cu, Ni, Cr, Cd, στα δείγματα μετρήθηκε ταυτόχρονα και περιεκτικότητα σε ασβέστιο το οποίο παρουσιάζεται στους ίδιους πίνακες με τα βαρέα μέταλλα.

Πίνακας 18: Βαρέα μέταλλα και ασβέστιο, όπως μετρήθηκαν για κάθε σωρό μετά την παρασκευή του, αλλά και για αρχικά υλικά πριν την ανάμιξή τους σε σωρούς.

Όνομα Σωρού	Βαρέα Μέταλλα σε mg/kg ξηρού δείγματος					
	Ca	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd
A1	112.960,01	38,89	33,81	38,39	11,63	0,11
A2	88.829,24	241,88	19,32	36,87	19,32	0,46
B1	97.933,31	338,30	43,22	41,47	18,48	0,53
B2	143.753,68	495,82	27,86	39,36	9,07	0,39
C1	105.277,33	457,52	64,00	21,37	24,38	0,10
C2	75.301,43	588,53	23,33	22,47	17,05	0,40
D1	58.846,58	243,44	5,09	22,94	51,04	0,37
D2	89.573,06	239,59	12,18	18,07	44,30	0,52
O.K.A.A.	100.894,63	140,39	16,90	37,63	15,47	0,28
Φ.Υ.	75.635,81	362,31	26,79	3,44	14,85	0,64
BIX	Δ.μ.	969,69	301,66	37,89	64,34	5,00
BIA	Δ.μ.	725,35	258,96	21,38	54,04	4,47

Πίνακας 19: Βαρέα μέταλλα και ασβέστιο όπως μετρήθηκαν για κάθε σωρό στο τέλος του πειράματος

Όνομα Σωρού	Βαρέα Μέταλλα σε mg/kg ξηρού δείγματος					
	Ca	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd
A3	174.037,82	448,25	63,27	31,14	27,29	0,60
B3	189.100,93	715,61	165,65	15,91	80,74	0,80
C1	141.287,53	236,17	10,54	25,20	47,13	0,36
C2	142.184,12	322,65	28,85	21,79	27,49	0,54
D1	155.638,05	526,50	54,59	22,71	64,30	0,45
D2	129.391,88	261,25	56,18	16,45	61,05	1,31

Τα συμπεράσματά μας από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, για τα βαρέα μέταλλα στην αρχή και στο τέλος της διεργασίας είναι τα εξής:

- Ο Ψευδάργυρος (Zn) σε όλους του σωρούς είναι αυξημένος στο τέλος της διεργασίας εκτός των C που εμφανίζεται ελαττωμένος.
- Ο Χαλκός (Cu) σε όλους του σωρούς είναι αυξημένος στο τέλος της διεργασίας εκτός των C που εμφανίζεται ελαττωμένος.
- Το Νικέλιο (Ni) παρουσιάζεται σε όλους τους σωρούς να μην μεταβάλλεται εκτός των B όπου παρατηρείται ελάττωση.
- Το Χρώμιο (Cr) και το Κάδμιο (Cd) παρουσιάζουν αύξηση στην συγκέντρωσή τους σε όλους τους σωρούς.

Το παρατηρούμενο αποτέλεσμα θεωρείται αναμενόμενο για τα μέταλλα Zn, Cu, Cr, Cd, αν αναλογιστούμε ότι κατά την διεργασία της κομποστοποίησης η μάζα του σωρού μειώνεται έως και 50%. Οι απώλειες αυτές οφείλονται κυρίως στην πτητικοποίηση ορισμένων ενώσεων, κυρίως του άνθρακα και του αζώτου, όχι όμως των βαρέων μετάλλων, τα οποία συμπυκνώνονται στην μάζα του σωρού. Όσων αφορά τις συγκεντρώσεις του νικελίου στα αρχικά και στα τελικά δείγματα παρατηρούμε ελάττωσή τους ταυτόχρονα με της ελάττωση της μάζας των σωρών. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται πιθανότατα στην απομάκρυνση του νικελίου δια μέσω των στραγγισμάτων από τους σωρούς [69].

Η συγκέντρωση του ασβεστίου που μετρήθηκε βρέθηκε αρκετά υψηλή. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος της διεργασίας δικαιολογούν εν μέρει τα μετρούμενα αλκαλικά pH στα δείγματα σε όλη την διάρκεια της κομποστοποίησης. Βέβαια, για την επιβεβαίωση αυτής της παραδοχής, είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση των ενώσεων του ασβεστίου οι οποίες εμφανίζονται στην μάζα του σωρού.

. Σύνοψη αποτελεσμάτων για τα Βαρέα μέταλλα

Στο “3^ο Draft Working Document on Sludge” της Ευρωπαϊκής Ένωσης (σχέδιο αναθεώρησης της Οδηγίας 86/278/EE) αναφέρεται ότι όταν η βιολογική ιλύς αναμειγνύεται με άλλα απορρίμματα ή παράγωγα, θα πρέπει οι περιορισμοί για τα χαρακτηριστικά της ιλύος, να καλύπτονται τόσο για την ιλύ πριν την ανάμειξή της, όσο και για το παραγόμενο μείγμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η ανάμειξη της ιλύος με άλλα απορριμματικά υλικά για την ελάττωση των υψηλών συγκεντρώσεων της σε ρύπους, να είναι απαγορευμένη. Οι οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων που ισχύουν και προτείνονται στη αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/EE παρουσιάζονται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20: Οριακές τιμές για τα βαρέα μέταλλα που ισχύουν στην ιλύ για χρήση της στην γεωργία.

Στοιχείο	Οριακή τιμή (mg/kg ξηρού δείγματος)	
	Οδηγία 86/278/EE	3 ^ο Draft Working Document on Sludge
Cd	20 – 40	10
Cr	-	1000
Cu	1000 -1750	1000
Hg	16 – 25	10
Ni	300 – 400	300
Pb	750 – 1200	750
Zn	2500 - 4000	2500

Συγκρίνοντας τις οριακές τιμές του Πίνακα 20, με αυτές στον Πίνακα 18 για τα μετρούμενα βαρέα μέταλλα στην αχώνευτη και χωνευμένη αφυδατωμένη ιλύς, και του Πίνακα 19 για τα παρασκευασθέντα κόμποστ, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Οι τιμές των βαρέων μετάλλων στην χωνευμένη και αχώνευτη ιλύ κυμαίνεται πολύ χαμηλότερα των απαιτούμενων οριακών τιμών.
- Οι τιμές των βαρέων μετάλλων για τα παραχθέντα κόμποστ πληρούν τις απαιτούμενες οριακές τιμές του Πίνακα 20 και τα κόμποστ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην γεωργία όσων αφορά την παράμετρο των βαρέων μετάλλων.

7.8 Έλεγχος Φυτοτοξικότητας

Κατά τον έλεγχο της Φυτοτοξικότητας υπολογίστηκαν δυο παράμετροι:

- Το ποσοστό αναστολής της βλάστησης των εξεταζόμενων σπόρων στα δείγματα κόμποστ, σε σχέση με την βλάστηση των ίδιων σπόρων στο πρότυπο χώμα.
- Το ποσοστό αναστολής της ανάπτυξης των ριζών των εξεταζόμενων σπόρων στα δείγματα κόμποστ, σε σχέση με την ανάπτυξη των ριζών των ίδιων σπορών στο πρότυπο χώμα

Πίνακας 21: Ερμηνεία αποτελεσμάτων για τα δυο μετρούμενα ποσοστά Φυτοτοξικότητας

Ποσοστό Αναστολής	Ερμηνεία Ποσοστού
1%	Ο αριθμός των σπόρων που έχουν βλαστήσει είναι ίδιος με αυτόν του πρότυπου χώματος ή η ανάπτυξη των ριζών στα εξεταζόμενα δείγματα είναι ίδια με την ανάπτυξη των ριζών στο πρότυπο χώμα
50%	Ο μισός αριθμός των σπόρων έχουν βλαστήσει σε σχέση με αυτόν του πρότυπου χώματος ή η ανάπτυξη των ριζών στα εξεταζόμενα δείγματα έχει ανασταλεί κατά 50% σε σχέση με την ανάπτυξη των ριζών στο πρότυπο χώμα
100%	Ο αριθμός των σπόρων που έχουν βλαστήσει είναι μηδενικός ή η ανάπτυξη των ριζών στα εξεταζόμενα δείγματα κόμποστ είναι μηδενική.

Επομένως όπως παρουσιάζεται στον παραπάνω Πίνακας 21 τιμές πάνω του 50% δεν είναι επιθυμητές και για τα δυο ποσοστά.

Για τα δείγματα στα οποία πραγματοποιήθηκε έλεγχος τοξικότητας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακας 22

Πίνακας 22: Ποσοστά αναστολής βλάστησης και αναστολή ανάπτυξης ρίζας όπως υπολογίσθηκαν για κάθε ένα σωρό σύμφωνα με το τεστ φυτοτοξικότητας.

Όνομα σωρού	Ποσοστό αναστολής βλάστησης %	Ποσοστό αναστολή ανάπτυξης ρίζας %
A3	100	100
B3	100	100
C1	19.20	17.23
C2	30.75	58.96
D1	23.07	60.77
D2	50.00	80.75

Όπως παρουσιάζεται στον παραπάνω Πίνακας 22, οι σωροί A3 και B3 παρουσιάζουν υψηλή αναστολή στην βλάστηση των σπόρων. Οι C1 και C2 αντίθετα παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με πολύ καλό ποσοστό βλάστησης, ενώ η ανάπτυξη των ριζών τους πλησιάζει αυτή των σπορών στο πρότυπο χώμα.

Οι D1 και D2 εμφάνισαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά η ανάπτυξη των ριζών στα δείγματα αυτά ήταν μικρότερη, με το D2 σωρό να εμφανίζει αναστολή στην ανάπτυξη των ριζών έως και 80%.

Οι υψηλές τιμές φυτοτοξικότητας στους σωρούς A3 και B3 δεν αποδεικνύουν ότι τα υλικά αυτά είναι ακατάλληλα για την ανάπτυξη των σπόρων. Για την αναίρεση αυτής της υπόθεσης, το πείραμα για τον έλεγχο της τοξικότητας συνεχίστηκε πέρα των τριών ημερών που αναφέρεται στην μέθοδο, στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας 25°C, οπότε μετά το πέρας της τέταρτης ημέρας είχαμε την βλάστηση των περισσότερων σπόρων.

8. Τελικά συμπεράσματα

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των προηγούμενων κεφαλαίων και συγκρίνοντας με την διεθνή βιβλιογραφία μπορούμε να συμπεράνουμε τα ακόλουθα:

8.1. Συμπεράσματα για τις παραμέτρους επιρροής

- Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας αποτελεί μια πρώτη ένδειξη της κατάστασης της διαδικασίας κομποστοποίησης. Μπορεί να μετρηθεί άμεσα, με απλή και χαμηλού κόστους διαδικασία, χωρίς την ανάγκη λήψης δείγματος και τη μεταφορά του στο εργαστήριο. Οι μετρήσεις μπορούν να είναι είτε μεμονωμένες, είτε συνεχείς. Ειδικότερα, στα πρώτα στάδια της διαδικασίας όπου οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι μεγάλες, η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του σωρού μπορεί να αποτελέσει και τη μόνη αναγκαία μετρούμενη παράμετρο.

Πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια του πειράματος ήταν δυνατός ο προσδιορισμός ανά πάσα στιγμή του σταδίου της διεργασίας από την μέτρηση της θερμοκρασίας στον κάθε σωρό.

- Η μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας του σωρού όπως και οι προσδιορισμοί, του οργανικού άνθρακα, του ολικού αζώτου, και του pH, αποτελούν μεθόδους χρονοβόρες, την ύπαρξη καταλλήλου εργαστηριακού εξοπλισμού αντιδραστηρίων και εξειδικευμένου προσωπικού. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων δε, εξαρτάται από παράγοντες όπως τα σφάλματα στην δειγματοληψία, την μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο, την συντήρηση μέχρι την ανάλυση αλλά και την αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων που θα αναλυθούν. Για το κόμποστ, το οποίο στα πρώτα στάδια της διεργασίας αποτελεί ένα ετερογενές μείγμα σε ποσότητες της τάξεως μερικών εκατοντάδων κιλών ή δεκάδων τόνων, η ανάγκη λήψης περισσοτέρων του ενός δείγματος την φορά είναι επιτακτική.

8.2. Συμπεράσματα για τους σωρούς Α

Το παραγόμενο υλικό που προκύπτει από το Οργανικό των Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων παρουσίασε:

- Ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ελάττωση του όγκο του
- Ελάττωση του οργανικού άνθρακα κατά 58%
- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων βρέθηκαν να είναι εντός των ορίων της ισχύουσας Ελληνικής και Ευρωπαϊκής νομοθεσίας
- Ο έλεγχος της φυτοτοξικότητας στον σωρό Α3 εμφάνισε μεγάλη αναστολή της ανάπτυξης των σπόρων. Το αποτέλεσμα αυτό όμως δεν αποδεικνύει ότι το υλικό που προέκυψε θεωρείται ακατάλληλο για την χρήση στην γεωργία.

8.3. Συμπεράσματα για τους σωρούς Β

Το παραγόμενο υλικό που προκύπτει από το Οργανικό Κλάσμα των Αστικών Απορριμμάτων και το μείγμα της Βιολογικής Ιλύος (Χωνευμένης και Αχώνευτης) σε αναλογία 2:1 παρουσίασε:

- Μικρά ποσοστά αναλογίας C/N στην αρχή της διεργασίας
- Μικρά ποσοστά ελάττωσης της οργανικής ουσίας 39%
- Ο σωρός δεν παρουσίασε υψηλές θερμοκρασίες κομποστοποίησης για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων βρέθηκαν να είναι εντός των ορίων της ισχύουσας Ελληνικής και Ευρωπαϊκής νομοθεσίας
- Και σε αυτόν το σωρό ο έλεγχος της φυτοτοξικότητας παρουσίασε υψηλή αναστολή στην βλάστηση. Επακόλουθα, η χρήση του συγκεκριμένου υλικού δεν ενδεικνύεται για καλλιέργεια. Προϋπόθεση αποτελεί η περαιτέρω έρευνα των αιτιών που προκαλούν την υψηλή αναστολή που διαπιστώθηκε.

8.4. Συμπεράσματα για τους σωρούς C

Το παραγόμενο υλικό που προκύπτει από το Οργανικό Κλάσμα των Αστικών Απορριμμάτων, μείγμα της Βιολογικής Ιλύος (Χωνευμένης και Αχώνευτης) και Φυτικά Υπολείμματα σε αναλογίες 3:1:2 κατά βάρος, παρουσίασε:

- Ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ελάττωση του όγκου του
- Ικανοποιητική ελάττωση του οργανικού άνθρακα κατά 45%
- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων βρέθηκαν να είναι εντός των ορίων της ισχύουσας Ελληνικής και Ευρωπαϊκής νομοθεσίας
- Ο έλεγχος της φυτοτοξικότητας έδειξε πολύ μικρή αναστολή στην ανάπτυξη των σπόρων. Πιο συγκεκριμένα οι σωροί C1 και C2 παρουσίασαν την μικρότερη τοξικότητα στα εξεταζόμενα είδη φυτών, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα από τα δείγματα A, B και D. Βέβαια, για την λήψη της τελικής απόφασης σχετικά με την χρήση του υλικού που παρασκευάστηκε, κρίνεται απαραίτητη η διενέργεια περαιτέρω ερευνητικών εργασιών, καθώς επίσης και η διεξαγωγή μεγάλης κλίμακας ελέγχων φυτοτοξικότητας σε ανάλογες καλλιέργειες.

8.5. Συμπεράσματα για τους σωρούς D

Το παραγόμενο υλικό που προκύπτει από το Οργανικό Κλάσμα των Αστικών Απορριμμάτων, μείγμα της Βιολογικής Ιλύος (Χωνευμένης και Αχώνευτης) και Φυτικά Υπολείμματα σε αναλογίες 4:1:2 κατά βάρος, παρουσίασε:

- Ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ελάττωση του όγκου του
- Ικανοποιητική ελάττωση του οργανικού άνθρακα κατά 48%
- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων βρέθηκαν να είναι εντός των ορίων της ισχύουσας Ελληνικής και Ευρωπαϊκής νομοθεσίας
- Στα τεστ φυτοτοξικότητας για τους σωρούς αυτούς λήφθηκαν αρκετά καλά αποτελέσματα, καθώς η μετρούμενη αναστολή του υλικού, τόσο στο πλήθος των βλαστών, όσο και στην επιμήκυνση των ριζών των σπόρων ήταν χαμηλή. Όπως αναφέρθηκε και για τους σωρούς C είναι απαραίτητη η εκτενέστερη μελέτη της φυτοτοξικότητας του υλικού σε μεγαλύτερη κλίμακα καλλιεργειών, πριν από κάθε χρήση του υλικού στην γεωργία.

8.6. Εφαρμογή κόμποστ στο έδαφος

Η προσθήκη κόμποστ στο έδαφος μπορεί να έχει θετική επίδραση σε μία μακρά σειρά χημικών, φυσικών και βιολογικών χαρακτηριστικών. Ειδικότερα για την Ελλάδα, η τεχνολογία και η χρήση του κόμποστ βρίσκεται ακόμα σε υβριδικό στάδιο σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Για την εδαφική εφαρμογή του κομποστ στη γεωργία, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και να διενεργούνται λεπτομερείς έλεγχοι σχετικά με απαραίτητες παραμέτρους, οι οποίες εξαρτώνται, από τις διάφορες χρήσεις:

- της ποιότητας του κόμποστ
- της ποσότητας εφαρμογής
- της περιεκτικότητας σε θρεπτικά
 - ο ιχνοστοιχεία,
 - ο βαρέα μέταλλα,
 - ο επιβλαβείς οργανικές ενώσεις,
 - ο παθογόνα κλπ.,
- του επίπεδου ωρίμανσης του κόμποστ (φρέσκο ή ώριμο κομπόστ),
- της χρονικής περιόδου εφαρμογής,
- της συχνότητας εφαρμογής,
- του βάθους ενσωμάτωσης στο έδαφος,
- του τύπου του εδάφους κ.ά.

Οι ενδεικνυόμενες χρήσεις του κομποστ, εξαρτώνται επίσης από τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και ποικίλουν από τη χρήση σε βιολογικά καλλιεργούμενα τρόφιμα, και γενικότερα σε καλλιέργειες παραγωγής τροφής και ζωοτροφών, έως τη χρήση για αποκατάσταση εδαφών και ως κάλυψη σε ΧΥΤΑ. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν νομοθετικοί περιορισμοί για τις επιτρεπόμενες χρήσεις με στόχο την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος[70].

Συνεπάγεται λοιπόν ότι περαιτέρω έλεγχοι είναι απαραίτητοι να πραγματοποιούνται στα κόμποστ που παρασκευάστηκαν και να εξετάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους για την κάθε εφαρμογή στο έδαφος.

Βιβλιογραφία – Αναφορές

- 1 Γιδάρακος, Ε., (2006). Επικίνδυνα Απόβλητα, Διαχείριση, Εξεργασία, Διάθεση. Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ. Θεσσαλονίκη.
- 2 Κοινή Υπουργική Απόφαση 69728/824/ΦΕΚ 358/17-5-1996, «Μέτρα και Όροι για την Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων»
- 3 Κοινοτική Οδηγία 1999/31/ΕΚ(«Περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων»)
- 4 Παναγιωτακόπουλος, Δ., Διερεύνηση Δυνατοτήτων Και Μηχανισμών Ανάκτησης Υλικών από Στερεά Απορρίμματα, Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, ΓΓΕΤ, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 1993
- 5 Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/ΦΕΚ 1016/17-11-1997, «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων» και «Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων»
- 6 Κοινοτική Οδηγία 1999/31/ΕΚ(«Περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων»).
- 7 Gidakos, E., Havas, G., Ntzamilis, P., (2006). Munisipal solid waste composition determinations supporting the intergrated solid waste management system in the island of Crete. Waste Management 26, 668-679
- 8 Mirkou, K., Giannis, A., Gidakos, E., (2006). Integrated Solid Waste Management for Energy Recovery in the Island of Crete. Proceeding of Venice Biomass and Waste to Energy Symposium
- 9 Assessment of options and requirements for stability and maturity testing of composts, Statistical Report on Test Methods (Section 9.7) by Phil Wallace, Enviros Ltd. Research Report by “Wrap- creating markets for recycled resources.”
- 10 Zucconi, F., De Bertoldi, M., Ferranti, M. P., L'Hermite, P., (1986). Compost: production, quality and use. Elsevier Appl. Sci., NY. 853 pp.
- 11 Leege, P.B. and Thompson, W.H. (1997) Test Methods for the Examination of Composting and Compost. The US Composting Council, 4424 Montgomery Avenue, Suite 102, Bethesda, Maryland 20814. USA
- 12 Tom L. Richard. Municipal Solid Waste composting: Physical and biological processing. Biomass and Bioenergy Vol. 3, Nos 34, pp. 163-180, 1992
- 13 Melis Pietro, Castaldi Paola. Thermal analysis for the evaluation of the organic matter evolution during municipal solid waste aerobic composting process, Thermochimica Acta 413 (2004) 209–214
- 14 Sneh Goyal , S.K. Dhull, K.K. Kapoor, Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, Bioresource Technology 96 (2005) 1584–1591
- 15 Poincelot, R.P., 1974. A scientific examination of the principles and practice of composting. Compost. Sci. 15, 24–31.

- 16 Gaur, A.C., Singh, G., 1995. Recycling of rural and urban wastes through conventional and vermicomposting. In: Tandon, H.L.S. (Ed.), *Recycling of Crop, Animal, Human and Industrial Wastes in Agriculture. Fertilizer Development and Consultation Organisation*, New Delhi, pp. 31–49.
- 17 Ranalli, G., Botturea, G., Taddei, P., Garavni, M., Marchetti, R., Sorlini, G., 2001. Composting of solid and sludge residues from agricultural and food industries. Bioindicators of monitoring and compost maturing. *J. Environ. Sci. Health* 36, 415–436.
- 18 Raviv, M., Chen, Y. & Inbar, Y. (1986) Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. In *Developments in Plant and Soil Sciences: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, eds Y. Chert & Y. Avnimelech. Martinus Nijhoff Publish, Dordrecht, pp. 257-287
- 19 Bernal M P; Paredes C; Sanchez-Monedero M A; Cegarra J (1998) Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 1998, 63 (1) 91-99.
- 20 Stentiford, E.; Lasaridi, K. (2000) Why and how to test composts for stability. *Waste Management.*, pp. 47-48 (Aug. 2000)
- 21 The Composting Association (2001) *Large-Scale Composting. A Practical Manual for the UK.*
- 22 Hue N V; Liu J (1995) Predicting Compost Stability. *Compost Science & Utilization* 3 (2):p8-15 1995.
- 23 McAdams, M.W.R.K.. White (1996) *Compost Stability Determination. Composting in the Carolinas – Proceedings of the 1996 Conference.* October 23-25, Myrtle Beach, South Carolina.
- 24 Brewer, L. J.; Sullivan, D. M. (2001) A quick look at quick compost stability tests. *BioCycle* vol. 42 (1): p.53-55.
- 25 Gray, K.R., K. Sherman, and A.J. Biddlestone. 1971b. A review of composting: Pan 2 - The practical process. *Process Biochemistry*. 6(10):22-28
- 26 *The Practical Handbook of Compost Engineering* page 234
- 27 Rynk, R., et al. 1992. *On-farm composting handbook*. Ithaca, NY: Cooperative Extension, Northeast Regional Agricultural Engineering Service
- 28 Haug, R.T. 1980. *Compost engineering principles and practice*. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science Publishers, Inc
- 29 Tom Richard, 2000, “Oxygen Transport in Compost.», *Cornel Waste Management Institute – Boyce Thompson Institute for Plant Research at Cornell University*
- 30 Boyd, R.F. 1984. *General microbiology*. Wirtz, VA: Time Mirror/Mosby College Publishing
- 31 Wiley, J.S. 1956. *Proceedings of the 11th industrial waste conference*. Purdue University, series 91, p. 334.
- 32 Rynk, R., et al. 1992. *On-farm composting handbook*. Ithaca, NY: Cooperative Extension, Northeast Regional Agricultural Engineering Service

- 33 Richard, T.L. 1992a. Municipal solid waste composting: Physical and biological processing. Biomass & Tarrytown, NY: Pergamon Press. 3(3-4):163-180
- 34 Finstein, M.S., EC. Miller, and PF. Strom. 1986. Waste treatment composting as a controlled system. As cited in: H.J. Rehm and G. Reed, eds.; W. Schonborn, vol. ed. Biotechnology: A comprehensive treatise in 8 volumes: Volume 8, microbial degradations. Weiheim, Germany: Verlagsangabe Ver. Chemie (VCH)
- 35 Strom, PF. 1985. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting. Applied Environmental Microbiology. 50(4): 899-905. As cited in: Richard, 1992a. Municipal solid waste composting: Physical and biological processing. Biomass & Bioenergy. Tarry-town, NY: Pergamon Press. 3(3-4): 163-180
- 36 Homoda, M.F., Adu Qdais, H.A., Newham, J., (1998). Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. Res. Cons. and Recycling. 23. 209-223.
- 37 Miller, F.C. 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Metting, F.B.J. (Eds). Soil microbial ecology. Marcel Dekker, New York, pp. 515-544.
- 38 Frosbiher, M., Hinsdill, R. D., Crabtree, K. T., and Goodheart, C.R. Fundamentals of Microbiology (Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1974)
- 39 Kapanen, A., Itavaara, M., (2001). Ecotoxicity Tests Compost Aplikations. Ecotoxicology and Environmental Safety 49, 1-16
- 40 Fletcher, J., Goruch, J., Lower, W., Lewis, W., Wang. W.,(1991) ” A brief overview of plant toxicity testing . In Plants for Toxicity Assessment” pp . 1-11. ASTM Publication Code Number (PCN)04-011150-16.ASTM, Philadelphia, PA.
- 41 Fletcher, J., Johnson, F., McFarlane, J. (1988). Database assessment of phytotoxicity data published on terrestrial vascular plants. Environ. Toxicol. Chem. 7, 615-622.
- 42 Boelens, J., De Wilde, B., and De Baere, L. (1996). Comparative study on biowaste definition: Effects on biowaste collection, compost process and compost quality. Compost Sci. Util. 4, 60-72
- 43 Campbell, A. G., Zhang, X., and Tripepi, R. R. (1995). Composting and evaluating a pulp and paper sludge for use as a soil amendment/mulch. Compost Sci. Util. 84, 84-95
- 44 Keeling, A. A., Griffiths, B. S., Ritz, K., and Myers, M. (1995). Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in media containing mixed garden-waste compost. Biosource Technol. 54, 279-284
- 45 Vermeulen, J., Huysmans, A., Crespo, M., Van Lierde, A., De Rycke, A., and Verstraete, W. (1993). Processing of biowaste by anaerobic composting to plant growth substrates. Water Sci. Technol. 27, 109-119
- 46 OECD (1984c). (Organization for Economic Cooperation and Development) Guideline 208: Terrestrial Plants, Growth Test. OECD Guidelines for Testing of Chemicals. OECD, Paris.

-
- 47 USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1989). Protocols for Short Term Toxicity Screening of Hazardous Waste Sites (Greene, J. C, Bartels, C. L., Warren-Hicks, W. J., Parkhurst, B. R., Linder, G., Peterson, S. A., and Miller, W. E.) USEPA Rep. 600/3-88-029
- 48 William, F., (1996). Compost sampling principles and practices. Woods End Research Laboratory.
- 49 Adams R.C., Maclean F.S., Dixon J.K., Bennet F.M., Martin G.I., Lough R.C., (1951), "The utilization of organic wastes in N.Z., Second interim report of the inter departmental committee.", New Zealand Engineering, 15, pp 396-424
- 50 Jimenez, I.E., Garcia, P.V., (1991). Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse compost. *Biores. Technol.* 41, 265-272
- 51 Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2003. Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: Gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost Science & Utilization* 11, 41-50.
- 52 Eklind, Y., Beck-Friis, B., Bengtsson, S., Ejlertsson, J., Kirchmann, H., Mathisen, B., Nordkvist, E., Sonesson, U., Svensson, B.H. & Torstensson, L. (1997). Chemical characterization of source-separated organic household waste. *Swedish Journal of Agricultural Research* 27, 167-178.
- 53 Smårs, S., Gustafsson, L., Beck-Friis, B. & Jönsson, H. (2002). Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. *Bioresource Technology* 84, 237-241.
- 54 Zorbas, A., Kapetanios, E., Vlyssides, A., Loizidou, M.(1997). Technical Report in Communitie and Municipality in Attica Region.
- 55 Bertran, E., Sort, X., Soliva, M., Trillas, I., (2004). Composting winery waste: sludges and grape stalks. *Bioresource Technol.* 95, 203–208.
- 56 Koßner, I., Stegmann, R., (2002). N-dynamics during composting – overview and experimental results. In: Insam, H., Riddech, N., Klammer, S. (Eds.), *Microbiology of Composting*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 143–154.
- 57 Said-Pullicino, D., Erriquens, G.F., Gigliotti, G., (2006), Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity, *BioresourceTechnology* (2006),
- 58 Iglesias, E.J., Perez, V.G., (1989). Evaluation of city refuse compst maturity: a review. *Biol. Wastes.* 27. 115-142.
- 59 Goyal, S., Dhull, S.K., Kapoor, K.K. (2005) Chemical and biological changes during composting of deferent organic wastes and assessment of compost maturity. *Biores. Technol.* 96. 1584-1591.
- 60 Gotaas, H.B., (1956). Composting –Sanitary disposal and reclamation of organic wastes. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- 61 Reddy, K.R., Kaleel, R., Overcash, M.R., Westerman, P.W., (1979). Anonpoint source model for land areas receiving animal wastes: ammonia volatilization. *Trans. ASAE* 22, 1398-1405

- 62 Sanchez - Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M.P.,(2001).Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.* 78, 301-308.
- 63 Knuth, D.T. (1970). Nitrogen-cycle ecology of solid waste composting. *Develop. Ind. Microbiol.* 11. 387-395
- 64 Fong, M., Wong, J.W.C., Wong, M.H., 1999. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. *Shanghai Environ. Sci.* 18 (2), 91–9
- 65 Waksman, S.A., (1938). *Humus*.Williams and Wilkins Co., Baltimore, MD.
- 66 Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., Kubota, H., 1993. Effects of pH control on composting of garbage. *Waste Management and Research* 11, 117–125.
- 67 Mote, C.R., Griffis, C.L., (1980). Variations in the composting process for different organic carbon sources. *Agr. Wastes.* 2. 215-223.
- 68 Καπετάνιος, Ε., (1992). Επεξεργασία στερών οργανικών αποβλήτων με την μέθοδο του Compost. Αθήνα.
- 69 Wanger, D.J., Bacon, G.D., Knocke, W.R., Switzenbaum, M.S.,(1990). Changes and variability in concentration of heavy metals in sewage sludge during composting. *Environmental Technology.* 11. 949-960
- 70 Lasaridi, K., Kouloubis, P., Skoulaxinou, S., Kanakopoulos D., Lolos G., (2002), *Compost Quality Requirements and Marketing: Greek and International Experiences*, EEDSA.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 1 Χώρος που παραχωρήθηκε από την ΔΕΔΙΣΑ για την τοποθέτηση των σωρών



Εικόνα 2 Κοντέινερ με οργανικό κλάσμα αστικών στερεών απορριμμάτων όπως μεταφέρθηκε στον χώρο παρασκευής των σωρών



Εικόνα 3 Μείγμα Βιολογικής Ιλύος (Χωνεμένης και Αχώνευτης) που παραχωρήθηκε από την Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων



Εικόνα 4 Μείγμα Οργανικού κλάσματος αστικών στερεών απορριμμάτων πριν την ανάμειξη του σε σωρούς



Εικόνα 5 Σωρός D με Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων, μείγμα Βιολογικής Ιλύος (Χωνεμένης και Αχώνευτης) και Φυτικά Υπολείμματα σε αναλογίες 4:1:2 κατά βάρος



Εικόνα 6 Σωρός D την δεύτερη ημέρα της διεργασίας. Παρατηρείτε στην κορυφή του σωρού οι ατμοί που εξέρχονται από αυτόν



Εικόνα 7 Χώρος που παραχωρήθηκε από την ΔΕΔΙΣΑ για την τοποθέτηση των σωρών



Εικόνα 8 Εσωτερικό του σωρού C πριν τον αερισμό. παρατηρείται το ξηρή εξωτερική επιφάνεια και η υγρασία στο εσωτερικό του



Εικόνα 9 Εσωτερικό του σωρού κατά τα πρώτα στάδια της διεργασίας, παρατηρούνται τα υπολείμματα του ανοικοδομημένου οργανικού υλικού.



Εικόνα 10 Συσκευή μέτρηση εσωτερικής θερμοκρασίας των σωρών



Εικόνα 11 Σωρός Β Οργανικό Κλάσμα Αστικών Απορριμμάτων και μείγμα Βιολογικής Ιλύος (Χωνεμένης και Αχώνευτης) σε αναλογία 2:1



Εικόνα 12 Μύκητες που αναπτιχθηκαν κατά την διάρκεια τις διεργασίας στον σωρό D

Έλεγχος Φυτοτοξικότητας



Εικόνα 13 Διαφανής βάση με πρότυπο χώμα και σπόρους *Lepidium sativum* (garden cress).



Εικόνα 14 Διαφανής βάση με πρότυπο χώμα και σπόρους *Sorghum saccharatum* (Sorgho)



Εικόνα 15 Διαφανής βάση με πρότυπο χρώμα και σπόρους *Sinapis alba* (mustard)



Εικόνα 16 Διαφανής βάση με κόμποστ από τον σωρό C και σπόρους *Sinapis alba* (mustard)



Εικόνα 17 Διαφανής βάση με κόμποστ από το σωρό D και σπόρους *Sorghum saccharatum* (Sorgho)



Εικόνα 18 Διαφανής βάση με κόμποστ από το σωρό D και σπόρους *Sinapis alba* (mustard)