



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**«ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΓΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΣΤΕΡΕΑ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΙΟΝΤΑ»**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Υποβληθείσα στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου
Πολυτεχνείου**

ΥΠΟ

ΤΣΙΟΔΡΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

**Για την απόκτηση του Τίτλου του Διδάκτορα της Σχολής Χημικών Μηχανικών
του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου**

Επιβλέπων

ΒΛΥΣΙΔΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2019

Στην οικογένεια μου

Ευχαριστίες

Η διεξαγωγή καθώς και η περαίωση μιας διδακτορικής διατριβής αποτελεί μια σκληρή απαιτητική αλλά ταυτόχρονα εποικοδομητική εργασία. Φθάνοντας στην ολοκλήρωση της συγγραφής της παρούσας διατριβής συνειδητοποίησα ότι τίποτα δεν είναι ακατόρθωτο αρκεί να πιστέψεις στον εαυτό σου καταφέροντας πολλά περισσότερα από αυτά που πιστεύεις ότι μπορείς. Κατά την διάρκεια του ταξιδιού αυτού των 6 χρόνων κατάφερα να ολοκληρώσω ακόμα ένα μεγάλο στόχο μου και να πραγματοποιήσω ένα ακόμα όνειρό μου.

Ο κύριος Βλυσίδης Απόστολος ο οποίος ήταν ο επιβλέπων καθηγητής μου, μου έδωσε το εισιτήριο για την εισαγωγή μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο Τμήμα Μηχανικών Χημικών, δίνοντάς μου παράλληλα και την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα άλλα δύο μέλη της επιτροπής παρακολούθησης της πορείας της διδακτορικής μου διατριβής, τον καθηγητή κ. Εμμανουήλ Κούκιο και την καθηγήτρια κ. Αγγελική Μουτσάτσου για τις πολύτιμες συμβουλές τους ώστε η διατριβή μου να φτάσει στην τελική της μορφή. Η εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2012 και ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2019 στο εργαστήριο «Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας». Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους, που χωρίς την καθοριστική συμβολή τους, αλλά και την υποστήριξη τους συντέλεσαν ευχάριστα στην επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Απόστολο Βλυσίδα, για τη συνεχή και πολύτιμη συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου (Διοικητικό Προσωπικό, Υποψήφιους Διδάκτορες, διπλωματικούς) για την άψογη συνεργασία αλλά και υποστήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ όμως το οφείλω στους γονείς μου, τον σύζυγό μου Χρήστο και στον γιό μου Κωνσταντίνο-Βασίλειο για την αντοχή, τη συμπαράσταση αλλά και την υποστήριξη που μου έδωσαν όλο αυτό το διάστημα.

Περίληψη

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει σαν στόχο την ανάπτυξη δυναμικού μοντέλου συγκομποστοποίησης υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου, όπως φύλλα, πυρήνα καθώς επίσης και κασίγαρο.

Η κομποστοποίηση είναι μια σύνθετη βιολογική διαδικασία αποδόμησης των στερεών οργανικών υπολειμμάτων ή αποβλήτων με αερόβιες εξώθερμες βιο-αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κυρίως από βακτήρια και μύκητες και δευτερευόντως από πρωτόζωα και μετάζωα. Ο έλεγχος μιας τέτοιας διαδικασίας πραγματοποιείται με μετρήσεις πεδίου και με εργαστηριακές αναλύσεις. Οι παράμετροι που πρέπει να καταγράφονται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ημερησίως είναι οι ακόλουθοι: (1) το pH, (2) η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), (3) η ικανότητα κατιονικής ανταλλαγής (CEC), (4) η ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC), (5) η υγρασία του υποστρώματος (M), (6) η περιεκτικότητα σε χουμικά οξέα, (7) η περιεκτικότητα σε φουλβικά οξέα (FA), (8) η περιεκτικότητα σε Χουμίνες, (H), (9) η περιεκτικότητα σε αμμωνιακό άζωτο, (10) η περιεκτικότητα σε νιτρικό άζωτο, (11) η θερμοκρασία (T), (12) η φυτοτοξικότητα (GI), (13) η περιεκτικότητα σε λιπαρές ενώσεις (FOG), (14) ο ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου (OUR). Η μεταβολή των τιμών αυτών των παραμέτρων εξαρτάται κυρίως από το είδος του υποστρώματος και τη χρονική συντεταγμένη της κομποστοποίησης.

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η διερεύνηση κατά πόσο υπάρχει χρονική αλληλεπίδραση των προαναφερομένων παραμέτρων μεταξύ τους. Για την διερεύνηση τέτοιων αλληλοσυσχετίσεων σε μια τόσο σύνθετη βιολογική διαδικασία απαιτείται η δημιουργία δυναμικών μοντέλων που θα βασίζονται στις ημερήσιες μετρήσεις των προαναφερομένων παραμέτρων. Για την δημιουργία των μαθηματικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η θεωρία των χρονοσειρών (time series analysis) καθώς και η τεχνική της ανάλυσης υπολοίπων (residual statistical analysis), αξιοποιώντας τα αναλυτικά αποτελέσματα από δείγματα που ελήφθησαν κατά την εξέλιξη μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας συγκομποστοποίησης υγρών και στερεών αποβλήτων ενός ελαιοτριβείου τριών φάσεων διάρκειας τεσσάρων μηνών.

Απο το σύνολο των δυναμικών μοντέλων που προέκυψαν μόνο δύο αποδείχθηκαν ικανοποιητικά ως προς την ικανότητά τους να προβλέπουν τις πραγματικές μετρήσεις. Τα δύο αυτά μοντέλα αφορούσαν (1) την αφομοίωση των λιπαρών συστατικών του υποστρώματος και (2) την παραγωγή χουμικών και φουλβικών οξέων.

Συγκεκριμένα η αφομοίωση των λιπαρών ουσιών (FOG) εξαρτάται από την μεταβολή της απορρόφησης οξυγόνου (UOR) και το pH, της ικανότητας συγκράτησης νερού (WHC) σύμφωνα με την σχέση:

$$FOG_t = -1.953 \ln(OUR)_{t-6} + 0.014 * (WHC)_{t-5} - 0.170 * pH_{t-2} + 2.291.$$

Το μοντέλο έδωσε μια ικανοποιητική συσχέτιση πρόβλεψης 91% της αφομοίωσης λιπαρών ουσιών.

Ενώ για την μεταβολή των χουμικών και φουλβικών ενώσεων οι δυναμικές συσχετίσεις έδωσαν τις εξισώσεις με μια ικανοποιητική συσχέτιση κατά 86% και 89% αντίστοιχα:

$$FA_t = 3.15 (pH)_{t-1} - 0.0185 (WHC)_{t-2} + 0.4739 (N-NH4)_{t-4} - 16.197$$

$$HA_t = 53.617 / (pH)_t + (FA)_t / (1.232(FA)_t - 0.447) - 7.29$$

Για την κατασκευή των δυναμικών μαθηματικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η θεωρία των χρονοσειρών σε συνδυασμό με την θεωρία της στατιστικής ανάλυσης των υπολοίπων. Η ικανοποιητικότητα των μοντέλων ελέγχθηκε με το X^2 test.

ABSTRACT

Composting is a complex biological process of degradation of organic molecules, with aerobic exothermic bio-reactions mainly carried out by bacteria and fungi.

Control of such a process is carried out by field measurements and by laboratory analyses. The number of analyses at a minimum is based on the measurement of thirteen at least parameters such as (1) the pH, (2) the electrical conductivity (EC), (3) the cationic exchange capacity (CEC), (4) the Water Holding Capacity (WHC), (5) the Moisture of substrate (M), (6) the Humic Acids content (HA), (7) the Fulvic Acids content, (8) the Humins content (H), (9) the Ammonium content, (10) the Temperature (T), (11) the Phytotoxicity, (12) the Fat-Oil-Grease content (FOG), (13) the Oxygen Utilisation Rate (OUR). The change in the values of these parameters depends mainly on the kind of substrate and the duration of composting procedure. There is a significant interrelation of the parameters between them. Therefore, to control such a complex biological process, dynamic models are required that will correlate the interrelation time all of the above parameters upon the lag time during the composting of substrate..

An attempt to create such dynamic mathematical models has been attempted in this work. The collected of the results from an industrial scale co-composting process using the liquid and solid wastes, as substrate, from an III phase Olive Oil Mill. From the serious dynamic models that were created, only the two following dynamic models, of FOG reduction and HA increasing, gave inadequate predicting results.

Particularly, FOG_t assimilation depends mainly on the $(OUR)_{t-6}$ and secondary on the pH_{t-2} and the $(WHC)_{t-5}$ according to the following dynamic relation:

$$FOG_t = -1.953 \ln(OUR)_{t-6} + 0.014 * (WHC)_{t-5} - 0.170 * pH_{t-2} + 2.291.$$

Where t represents the present time and t-n is the lag time of n days

The model gave a regration coefficient of $r^2=91\%$ between predicted and observed measurments.

Also for humic and fulvic compounds the dynamic correlations gave the following equations with a satisfactory correlation of $r^2=86\%$ and $r^2=89\%$, respectively:

$$FA_t = 3.15 (pH)_{t-1} - 0.0185 (WHC)_{t-2} + 0.4739 (N-NH_4)_{t-4}$$

$$HA_t = 53.617 / (pH)_t + (FA)_t / (1.232 (FA)_{t-0.447}) - 7.29$$

For the creation of dynamic mathematical models, the theory of time series was used in conjunction with the theory of statistical residual data analysis. The adequate of the models was tested using the X^2 test.



Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικό Μέρος

1.1. Ελαιουργική Τεχνολογία.....	19
1.1.1. Ελαιοκομία: Συλλογή και Αποθήκευση.....	19
1.1.2. Ελαιουργείο-Γενική περιγραφή.....	20
1.1.3. Παραγωγική διαδικασία: Μηχανολογικός εξοπλισμός – Τύποι ελαιουργείων.....	21
1.1.4. Σύνθεση ελαιοκάρπου.....	30
1.1.5. Κατανάλωση νερού στο ελαιουργείο.....	31
1.2. Απόβλητα Ελαιουργείων	32
1.2.1. Ποσοτική παραγωγή αποβλήτων.....	32
1.2.2. Ισοζύγια μάζας σύμφωνα με την διεργασία εξαγωγής του.....	33
1.2.3. Ποιοτική σύσταση αποβλήτων.....	35
1.2.4. Συμπεράσματα για την ποιοτική σύσταση των αποβλήτων.....	36
1.3. Μέθοδοι Επεξεργασίας και Αξιοποίησης Υγρών Αποβλήτων Ελαιουργείου.....	37
1.3.1. Διάθεση των αποβλήτων ελαιουργείου.....	37
1.3.2. Ερευνητικές προσπάθειες επεξεργασίας των αποβλήτων.....	39
1.3.2.1. Απλές μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων ελαιουργείου (φυσικές – φυσικοχημικές).....	40
1.3.2.1.1. Σηπτικές δεξαμενές (απορροφητικοί βόθροι).....	40
1.3.2.1.2. Καθίζηση με απλή φυσικοχημική επεξεργασία.....	41
1.3.2.1.3. Εφαρμογή στο έδαφος	43
1.3.2.1.4. Άρδευση ελαιώνων ή χωραφιών.....	43
1.3.2.1.5. Αποτέφρωση.....	45
1.3.2.1.6. Συμπύκνωση.....	45
1.3.2.1.7. Συμπύκνωση δια λιμνάσεως.....	46
1.3.2.2. Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων.....	50
1.3.2.2. 1. Αερόβια βιολογική επεξεργασία.....	50
1.3.2.2. 2. Αναερόβια βιολογική επεξεργασία.....	51
1.3.2.2. 3 Συγκομποστοποίηση.....	57
1.3.2.2. 4 Λιπασματοποίηση υγρής φάσης	58
1.3.2.2. 5 Επεξεργασία με μηχανικά μέσα.....	59
1.3.2.2.6 Βιοτεχνολογικές μέθοδοι	60
1.3.2.3. Μέθοδοι ανάκτησης παραπροϊόντων από απόβλητα ελαιουργείου (έμμεσος μερικός καθαρισμός).....	61
1.3.2.3.1 Παραλαβή αντιοξειδωτικών ενώσεων.....	61
1.3.2.3.2 Παραλαβή φυσικών χρωστικών.....	61
1.3.2.3.3 Παραγωγή μικροβιακής πρωτεΐνης.....	61
1.3.2.3.4 Παραγωγή στερεών καυσίμων.....	62
1.3.2.3.5 Βιομεθανοποίηση.....	62
1.3.2.3.6 Αξιοποίηση αποβλήτων με χημική σύνθεση	63
1.3.3. Συμπεράσματα	63
1.3.4. Η ολοκληρωμένη μέθοδος αντιρρύπανσης.....	65
1.4. Νομοθετικό Πλαίσιο.....	67
1.5. Κομποστοποίηση.....	72
1.5.1 Φάσεις κομποστοποίησης.	73
1.5.2 Ο ρόλος των παραμέτρων στην κομποστοποίηση.....	76
1.5.2.1 Ο ρόλος των μικροοργανισμών.....	76
1.5.2.2. Ο ρόλος των περιβαλλοντικών παραμέτρων	77
1.5.2.3.. Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος.....	78
1.5.2.4.. Ο αερισμός της μάζας.....	79
1.5.2.5. Η θερμοκρασία.....	79
1.5.2.6..Η υγρασία.....	79
1.5.2.7.. Ο λόγος C/N.....	80
1.5.2.8. Οι τιμές του pH.....	80
1.5.2.9.. Θρεπτικά συστατικά.....	80

1.5.2.10. Φυτοθρεπτικότητα- Φυτοτοξικότητα.....	81
1.5.2.11. Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	81
1.5.2.12. Συγκέντρωση λιπαρών ουσιών	81
1.5.2.13. Συγκέντρωση Χουμικών και Φουλβικών Ενώσεων.....	82
1.5.3. Προϊόν κομποστοποίησης- Κόμποστ.....	83
1.5.4. Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ στην Ελληνική γεωργία.....	87
1.5.4.1. Οφέλη του κόμποστ.....	87
1.5.5. Συστήματα κομποστοποίησης.....	88
1.6. Δυναμικά Μοντέλα.....	89
1.6.1. Μοντέλα πρόβλεψης.....	89
1.6.2. Ανάλυση χρονοσειρών.....	90
1.6.3. Βασικά χαρακτηριστικά χρονοσειράς.....	91
1.6.4 Τα στάδια εύρεσης του μοντέλου.....	93
1.6.5. Κριτήρια για την επιλογή του μοντέλου.....	94
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Πειραματικό Μέρος</u>	
2.1. Πειραματική μεθοδολογία.....	97
2.2 Πειραματικές μέθοδοι αναλύσεων.....	104
2.2.1 Μέτρηση της υγρασίας (M)	104
2.2.2. Μέτρηση τέφρας (Ash%), Οργανικής Ύλης (OM%) και περιεκτικότητας σε οργανικό άνθρακα (TOC%).....	105
2.2.3. Μέτρηση pH και αγωγιμότητας.....	106
2.2.4. Μέτρηση της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας (CEC, Cation Exchange Capacity)	106
2.2.5. Μέτρηση Υδατοχωρητικότητας (WHC%, Water Holding Capacity)	107
2.2.6. Μέτρηση της φυτοτοξικότητας- φυτοθρεπτικότητας.....	107
2.2.7. Μέτρηση συγκέντρωσης χουμικών (HA) και φουλβικών (FA) οξέων.....	108
2.2.8. Αναπνευσιόμετρο-μέτρησης ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου.....	112
2.2.9. Μέτρηση Οργανικού N με την μέθοδο Kjeldahl.....	113
2.2.10. Προσδιορισμός Ορθοφωσφορικών PO_4^{3-} -P (ΜΕΘΟΔΟΣ SnCl ₂)	113
2.2.11. Προσδιορισμός Λιπαρών ουσιών σε compost.....	114
2.2.12. Προσδιορισμός χρώματος.....	114
2.2.13 Κοκομετρική Ανάλυση.....	116
2.3. Ανάπτυξη των δυναμικών Μοντέλων.....	119
2.4. Μοντέλο ρυθμού αφομοίωσης των λιπαρών ουσιών.....	120
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πειραματικά Αποτελέσματα.....</u>	125
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Επεξεργασία-Συζήτηση Πειραματικών Αποτελεσμάτων.....</u>	143
4.1 Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων.....	143
4.2 Συζήτηση πειραματικών αποτελεσμάτων.....	146
4.3. Δυναμικό μοντέλο αφομοίωσης λιπαρών.....	151
4.4. Δυναμικά μοντέλα για τις συγκεντρώσεις HA και FA.....	157
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα.....</u>	165
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βιβλιογραφικές Αναφορές.....</u>	169
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Παραρτήματα.....</u>	180
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα.....	182
Πίνακας 1. Πειραματικά αποτελέσματα κύριου Πειράματος.....	184
Πίνακας 2. Πειραματικά αποτελέσματα Πειράματος 2.....	186
Πίνακας 3. Πειραματικά αποτελέσματα Πειράματος 3.....	188
Πίνακας 4. Πειραματικά αποτελέσματα Πειράματος 4.....	189
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Επίλυση μαθηματικού μοντέλου αφομοίωσης των λιπαρών ενώσεων.....	190
<u>Περιεχόμενα Διαγραμμάτων</u>	
Διάγραμμα 1.1. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο με υδραυλικό πιεστήριο (κλασικού τύπου).....	25
Διάγραμμα 1.2. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο φυγοκεντρικού τύπου 3 φάσεων.....	26
Διάγραμμα 1.3. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο	

φυγοκεντρικού τύπου 2 φάσεων.....	28
Διάγραμμα 1.4. Ισοζύγια μάζας για τη συνολική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου με πίεση.....	33
Διάγραμμα 1.5. Ισοζύγια μάζας για τη συνολική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου.....	34
Διάγραμμα 1.6. Ισοζύγια μάζας για τη συνολική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου.....	
με φυγοκέντριση 2 φάσεων.....	34
Διάγραμμα 1.7. Διάγραμμα ροής συμπύκνωσης δια λιμνάσεως.....	49
Διάγραμμα 1.8. Ολοκληρωμένη αξιοποίηση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων Ευρωπαϊκές χώρες σε mg/L.....	65
Διάγραμμα 1.9. Κατηγορίες παραμέτρων ελέγχου κομποστοποίησης.....	73
Διάγραμμα 2.1. Διαδικασία ημερήσιας δειγματοληψίας και αναλύσεων.....	101
Διάγραμμα 2.2. Ολοκληρωμένη διαχείριση κομποστοποίησης.....	103
Διάγραμμα 2.3.Χρωματικές διαφορές χουμικών- φουλβικών.....	110
Διάγραμμα 2.4.Εργαστηριακό Αναπνευστόμετρο.....	112
Διάγραμμα 3.1 Μεταβολή θερμοκρασίας.....	125
Διάγραμμα 3.2. Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου.....	126
Διάγραμμα 3.3.: Μεταβολή της περιεκτικότητας λιπαρών σε σχέση με την μεταβολή της θερμοκρασίας.....	127
Διάγραμμα 3.4.Μεταβολή της περιεκτικότητας σε Λιπαρές ουσίες κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	127
Διάγραμμα 3.5.: Μεταβολή της Υγρασίας (g/L) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	128
Διάγραμμα 3.6: Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε διάστημα 100 ημερών.....	129
Διάγραμμα 3.7: Ικανότητα Συγκράτησης Νερού (WHC%).....	130
Διάγραμμα 3.8.: Ελεύθερος Χώρος για Αέρα (%).....	131
Διάγραμμα 3.9.: Συγκέντρωση Οργανικών Στερεών (g/L).....	132
Διάγραμμα 3.10.:Μεταβολή των TKN (mg/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	132
Διαγραμμα 3.11.Μεταβολή της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC, mS/cm) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	132
Διάγραμμα 3.12.Μεταβολή του Νιτρικού Αζώτου (mg/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	133
Διάγραμμα 3.13.Μεταβολή της Συγκέντρωσης Αμμωνιακού Αζώτου (mg/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	134
Διάγραμμα 3.14.Μεταβολή της Κατιονική Ιοντοεναλλακτική Ικανότητα (CEC, meq/100 ml) κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.....	135
Διάγραμμα 3.15.Μεταβολή Συγκέντρωσης Χουμινών (g/Kg) κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.....	135
Διάγραμμα 3.16. Μεταβολή Συγκέντρωσης Φουλβικών οξέων FA (g/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	136
Διάγραμμα 3.17.Μεταβολή Συγκέντρωσης Χουμικών οξέων HA (g/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	137
Διάγραμμα 3.18.Μεταβολή Φυτοθρεπτικότητας (%) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	137
Διάγραμμα 3.19.Μεταβολή της περιεκτικότητας ολικών στερεών (g/L) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	138
Διάγραμμα 3.20 Μεταβολή της Τέφρα (g/L) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	139
Διάγραμμα 3.21.Ελάττωση Όγκου Σωρού (%)κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	139
Διάγραμμα 3.22.Κατανομή % w/w των κόκκων του πυρηνόξυλου κατά την έναρξη και το τέλος της κομποστοποίησης.....	140
Διάγραμμα 3.23 Χρωματική Πυκνότητα -κορεσμός του προϊόντος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	140
Διάγραμμα 4.1 Συσχέτιση της συγκέντρωσης λιπαρών ουσιών με τη διάρκεια κομποστοποίησης σε ώρες.....	154
Διάγραμμα 4.2 Συσχέτιση του λόγου t-FOG με τη διάρκεια κομποστοποίησης σε ώρες.....	154
Διάγραμμα 4.3 Συσχέτιση ρυθμού αφομοίωσης λιπαρών ουσιών με το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου.....	155
Διάγραμμα 4.4.Συσχέτιση πραγματικού ρυθμού αφομοίωσης λιπαρών ουσιών με το προβλεπόμενο σύμφωνα με το μοντέλο.....	156

Διάγραμμα 4.5. Συγκέντρωση χουμικών και φουλβικών ενώσεων.....	159
Διαγράμματα 4.6. Αλληλοσυσχέτιση παραμέτρων με τις συγκεντρώσεις HA και FA.....	161
Διαγράμματα 4.7 Προβλέψεις και παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης HA και FA (g / Kg) για τη νέα χρονική περίοδο.....	162
Διάγραμμα 5.1. Συμπερασματική υπόθεση μεταβολής χουμικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	167

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1.1. Το εσωτερικό δύο ελαιουργείων φυγοκεντρικού τύπου στη Λέσβο.....	27
Εικόνα 1.2. Δεξαμενές αποθήκευσης ελαιολάδου σε ελαιοτριβείο στα Χανιά.....	29
Εικόνα 1.3. Αποθήκευση πυρήνα σε ελαιοτριβείο στα Χανιά.....	30
Εικόνα 1.4. Συλλογή κατσίγαρου σε ανοικτές δεξαμενές (εξατμισιοδεξαμενές).....	37
Εικόνα 1.5 Ανάδευση και αερισμός του υλικού.....	75
Εικόνα 1.6.. Η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης.....	77
Εικόνα 1.7. Παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν.....	78
Εικόνα 1.8. Τυπική κατηγοριοποίηση των μοντέλων πρόβλεψης.....	90
Εικόνα 1.9 Σχηματισμοί που προκύπτουν από την ύπαρξη μη στασιμότητας σε μια χρονοσειρά.....	92
Εικόνα 1.10. Διάγραμμα ροής της διαδικασίας πρόβλεψης μοντέλου.....	94
Εικόνα 2.1. Μονάδα κομποστοποίησης.....	97
Εικόνα 2.2 Δημιουργία σωρών κομποστοποίησης.....	98
Εικόνα 2.3. Ανάδευση σειραδιού κόμποστ.....	99
Εικόνα 2.4. Μορφή Αρχικού στερεού υποστρώματος.....	102
Εικόνα 2.5 Μορφή τελικού προϊόντος.....	103
Εικόνα 2.6. Χημική σύσταση των Χουμικών.....	108
Εικόνα 2.7. Χημική σύσταση των φουλβικών.....	109
Εικόνα 2.8 Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIELab σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων L*,C*και h	115

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.1. Ποσοστό προϊόντων κατά την ελαιοπαραγωγή με βάση τον εισαγόμενο καρπό.....	33
Πίνακας 1.2. Ποιοτική σύσταση στερεών αποβλήτων (πυρήνα).....	35
Πίνακας 1.3. Ποιοτική σύσταση υγρών αποβλήτων (κατσίγαρος)	35
Πίνακας 1.4. Όρια για τη διάθεση του κατσίγαρου σε υδάτινους αποδέκτες σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες σε mg/L.....	70
Πίνακας 1.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος κόμποστ με ικανοποιητικές εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες.....	86
Πίνακας 2.1: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των Στερεών αποβλήτων του ελαιοτριβείου.....	100
Πίνακας 2.2. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των Υγρών αποβλήτων του ελαιοτριβείου.....	100
Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας μαθηματικών μοντέλων συσχέτισης των παραμέτρων κομποστοποίησης με το χρόνο εξέλιξης της διεργασίας.....	146
Πίνακας 4.2 Δυναμική αλληλοσυσχέτιση παραμέτρων.....	149
Πίνακας 4.3 Αφομοίωση των FOG και η παράλληλη μεταβολή των παραμέτρων pH, WHC, OUR.....	153
Πίνακας 4.4. Επίπεδα της παλινδρόμησης με υπολειμματική ανάλυση για το μοντέλο των FOG.....	158
Πίνακας 4.5. Επίπεδα της παλινδρόμησης με υπολειμματική ανάλυση για το μοντέλο HA.....	158
Πίνακας 4.6. Επίπεδα της παλινδρόμησης με υπολειμματική ανάλυση για το μοντέλο FA.....	158

Εισαγωγή

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κομποστοποίηση είναι μια πολύπλοκη βιολογική διαδικασία αποδόμησης (σταθεροποίησης) οργανικών υποστρωμάτων, με αερόβιες εξώθερμες βιο-αντιδράσεις που πραγματοποιούνται από μικτές καλλιέργειες μικροοργανισμών αποτελούμενες κυρίως από βακτήρια και μύκητες (θερμόφιλη φάση), αλλά και δευτερευόντως από πρωτόζωα και μετάζωα (μεσόφιλη φάση). Παράλληλα με την αποσύνθεση των οργανικών υποστρωμάτων λαμβάνουν χώρα και βιοαντιδράσεις σύνθεσης νέων οργανικών μορίων (π.χ. χουμικών ενώσεων) τα οποία εμπλουτίζουν το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης προσδίδοντάς του ιδιότητες εδαφοβελτιωτικές που πολλές φορές αποτελούν και τον επιδιωκόμενο τελικό σκοπό της κομποστοποίησης. Ελάχιστες προαπαιτήσεις επιτυχούς κομποστοποίησης ενός οργανικού υποστρώματος είναι: (α) η περιεκτικότητα οργανικού άνθρακα (TOC) να είναι μεγαλύτερη από 22%, (β) η αναλογία TOC/TKN (ολικό οργανικό άζωτο) να είναι μικρότερη 30/1, (γ) η αναλογία TOC/TP (ολικό φώσφορο) να είναι μικρότερη από 500/1 και τέλος (δ) η υγρασία (M) του υποστρώματος να είναι $35\% < M < 55$ σε υγρή βάση.


Μία κομποστοποίηση συνήθως ακολουθεί την παρακάτω χρονική εξέλιξη: (α) πρώτα αρχίζουν να αποδομούνται οι λιπαρές ενώσεις (FOG). Ο ρυθμός αποδόμησης είναι αργός γιατί, ανάλογα με την συγκέντρωσή τους, τα FOG αποτελούν σοβαρό παρεμποδιστικό παράγοντα βιολογικών δράσεων, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του υποστρώματος να μην μπορεί να ξεπεράσει τους 45°C. (β) Όταν η περιεκτικότητα των FOG ελαττωθεί κάτω από το 1% των ολικών στερεών, τότε ξεκινά η μαζική αποδόμηση όλου του οργανικού υποστρώματος με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να ανέλθει στη θερμόφιλη περιοχή (πάνω από 60°C). Επειδή θερμοκρασίες (T) μεγαλύτερες των 60°C αποτελούν παράγοντα παρεμπόδισης των βιοαντιδράσεων, πρέπει το υπόστρωμα να ψύχεται και αυτό επιτυγχάνεται είτε με παροχή ψυχρού αέρα είτε με ανάδυσή του. Στη θερμόφιλη αυτή φάση επικρατούν σχεδόν αποκλειστικά τα βακτήρια και το 50% του υποστρώματος οξειδώνεται ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε κυτταρική μάζα μικροοργανισμών. (γ) Καθώς ο προς αφομοίωση οργανικός άνθρακας ελαττώνεται, η θερμοκρασία του υποστρώματος αναλόγως ελαττώνεται ώσπου αυτή πέφτει στην μεσόφιλη περιοχή (T < 45°C), οπότε στο οικοσύστημα της κομποστοποίησης αρχίζουν να συμμετέχουν και μικροοργανισμοί πρωτοζωϊκής φύσεως. Εάν μάλιστα η θερμοκρασία κατέλθει κάτω από 35°C τότε αρχίζουν να συμμετέχουν και μετάζωα. Τέλος (δ) όσο η θερμοκρασία προσεγγίζει την θερμοκρασία περιβάλλοντος τότε αρχίζουν να αναπτύσσονται βιοαντιδράσεις οι οποίες αξιοποιούν τα προϊόντα των βιοαντιδράσεων των προηγούμενων φάσεων (κυτταρίνες, αμινοξέα, λιγνίνες κ.ά.) παράγοντας χουμικά προϊόντα (χουμίνες, φουλβικά οξέα και χουμικά οξέα). Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε χουμικά τόσο αυξάνεται και η φυτοθρεπτικότητα του τελικού προϊόντος της χουμοποίησης. Επομένως η συνολική διαδικασία που περιέχεται με τον όρο «κομποστοποίηση» περιλαμβάνει (α) την φάση της «απολάδωσης», (β) την φάση την θερμόφιλης αποδόμησης

(κομποστοποίηση), (γ) την φάση της μεσόφιλης αποδόμησης (σταθεροποίηση) και (δ) την φάση της χουμοποίησης με συνολική διάρκεια τουλάχιστον 70 ημερών.

Ο έλεγχος της χρονικής εξέλιξης μιας τέτοιας πολύπλοκης σύνθετης βιολογικής διεργασίας πραγματοποιείται συνήθως με μετρήσεις πεδίου καθώς και με εργαστηριακές αναλύσεις δειγμάτων. Στις συνηθισμένες μετρήσεις πεδίου περιλαμβάνονται: (1) το pH, (2) η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), (3) η υγρασία (M), η θερμοκρασία (T). Στις συνηθισμένες εργαστηριακές αναλύσεις δειγμάτων περιλαμβάνονται: (1) η κατιονική ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC), (2) η ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC), (3) η περιεκτικότητα λιπαρών ενώσεων (FOG), (4) η περιεκτικότητα αμμωνιακού αζώτου (N-NH₄), (5) η περιεκτικότητα νιτρικού αζώτου (N-NO₃), (6) η Φυτοτοξικότητα (GI), (7) ο ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου (UOR), (8) η περιεκτικότητα σε χουμικές ενώσεις (HC), (9) η περιεκτικότητα σε χουμικά οξέα (HA), (10) η περιεκτικότητα σε φουλβικά οξέα (FA) και τέλος (11) το οργανικό περιεχόμενο του υποστρώματος (OM) ή της τέφρας του (Ash). Οι μετρήσεις πεδίου μπορούν να καταγράφονται συνεχώς με όργανα πεδίου (on line) ενώ οι εργαστηριακές αναλύσεις, επειδή απαιτούν αρκετό χρόνο, γίνονται συνήθως μία φορά την ημέρα (στην καλύτερη περίπτωση) έως μία φορά την εβδομάδα.

Το ερώτημα που τίθεται είναι το εξής: *έχοντας τα ημερήσια αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων σε μία τυχαία χρονική στιγμή της εξέλιξης της κομποστοποίησης ενός υποστρώματος, πως θα μπορούσε να προβλεφθεί η περαιτέρω χρονική εξέλιξη της διαδικασίας.*

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με την απάντηση του παραπάνω ερωτήματος προσπαθώντας να δημιουργήσει δυναμικά μοντέλα χρονικής αλληλοσυσχέτισης των παραμέτρων που επηρεάζουν και επηρεάζονται από την διεργασία.



Κεφάλαιο 1
Θεωρητικό Μέρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικό Μέρος

1.1. Ελαιουργική Τεχνολογία

1.1.1. Ελαιοκομία: Συλλογή και Αποθήκευση

Η ελαιοκομία είναι ο κλάδος της δενδροκομίας που ασχολείται αποκλειστικά με την καλλιέργεια και αξιοποίηση της ελιάς. Στον κύκλο της ελαιοκομίας περιλαμβάνεται η μελέτη της ζωής του δέντρου, ώστε να γίνει η καλύτερη επιλογή για καλλιέργεια, η μελέτη του εδάφους, ώστε να γίνει περισσότερο αποδοτικό το δέντρο, η φυτοπαθολογία του δέντρου για να βρεθεί καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης των ασθενειών, της συλλογής του καρπού και της αξιοποίησής του.

Η ελαιοκομία αρχίζει με την επιλογή του κατάλληλου είδους ελιάς που θα φυτέψουμε και την ειδική καλλιέργεια του εδάφους. Όλα τα εδάφη δεν είναι κατάλληλα για κάθε είδους ελιάς. Το σωστό κλάδεμα βοηθάει επίσης στην καλύτερη απόδοση των δέντρων και στην καλύτερη προφύλαξή τους από τις αρρώστιες, αφού μ' αυτό τον τρόπο τα δέντρα ραντίζονται και παρακολουθούνται καλύτερα. Σημαντικό τομέα αποτελεί η καταπολέμηση των ασθενειών του δέντρου, που στηρίζεται σε γενικές αρχές, μια και οι ασθένειες της ελιάς είναι κοινές αλλά και σε ειδικές παρατηρήσεις που αποβλέπουν στην αντιμετώπιση ειδικών καταστάσεων που αφορούν μια συγκεκριμένη περιοχή ή και ένα συγκεκριμένο δέντρο.

Η επεξεργασία του καρπού της ελιάς (ελαιουργία) ξεκινά με τη συλλογή της. Αυτό επιτυγχάνεται με τους παρδοσιακούς τρόπους κούνημα ή τίναγμα του δέντρου, με ραβδισμό και τέλος συλλογή με τα χέρια από το έδαφος.

Η συλλογή του ελαιόκαρπου μπορεί να πραγματοποιηθεί, εκτός από τις προαναφερόμενες μεθόδους είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό αυτών, ανάλογα με το μέγεθος του φυλλώματος, τη διαμόρφωση του εδάφους κ.α. Σημαντικό ρόλο παίζει η απομακρύνση των ξερών κλαδιών, φύλλων, των αγκαθιών, αλλά και των πετρών. Η συλλογή με τα μηχανικά μέσα δεν εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα, παρά τις δοκιμές που έχουν γίνει σε όλες τις ελαιοπαραγωγικές χώρες. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έδωσε η ανέμη, συσκευή ελληνικής επινόησης από πλαστικό, που κινείται με πεπιεσμένο αέρα. Μετά την συγκομιδή η καθαρή ποσότητα των ελαίων τοποθεείται σε ξύλινα κυβώτια για την πιο εύκολη μεταφορά τους στο ελαιουργείο. Τα κατάλληλα κιβώτια για την μεταφορά τους είναι ξύλινα ύψους 15 περίπου εκατοστών, με διάτρητο πυθμένα κατά προτίμηση από καλάμια στηριγμένα εγκάρσια με πήχεις από ξύλο.

Η σωστή αποθήκευση του ελαιοκάρπου αποτελεί βασικό παράγοντα για τη βιομηχανία ελαιολάδου.

- α) Η ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας από την αναπνοή του
- β) Η παραγωγή ενζύμων (λιπάση, λιποξειδάση)

➤ γ) Η ενεργοποίηση των μικροβιακών πληθυσμών που προέρχονται απ' το έδαφος

αποτελούν παραμέτρους που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγω των αλλοιώσεων που μπορεί να δημιουργήσουν κατά την μακροχρόνια αποθήκευση του ελαιοκάρπου.

Τα μικρόβια παίζουν σημαντικό ρόλο στην αυτόματη ζύμωση του ελαιοκάρπου και ο ανεπαρκής αερισμός έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Για τον περιορισμό της ζημιάς-αλλοίωσης του ελαιοκάρπου κατ' ελάχιστον, στο διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της συγκομιδής και της επεξεργασίας, η αποθήκευση χρειάζεται να γίνεται υπό κατάλληλες συνθήκες όπως:

α) χαμηλή θερμοκρασία (7-8 °C)

β) χαμηλή σχετικά υγρασία

γ) επαρκή αερισμό.

Κατά γενικό κανόνα η σωστή αποθήκευση του ελαιοκάρπου μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση κιβωτίων για διάστημα 15 ημερών ή για ένα μήνα χωρίς σοβαρές απώλειες. Επίσης μπορεί να απλωθεί σε πλακόστρωτα, σε στρώματα πάχους 8-10 εκ., παρέχοντας έτσι την σωστή κυκλοφορία του σωστού αέρα. Υπο αυτές τις συνθήκες μπορεί να διατηρηθεί σε καλή κατάσταση για μία περίοδο 8-10 ημερών.

1.1.2. Ελαιουργείο-Γενική περιγραφή

Τα ελαιουργεία χαρακτηρίζονται συνήθως ως μικρές εποχιακές αγροτοβιοτεχνικές εγκαταστάσεις στις οποίες γίνεται η εξαγωγή του ελαιόλαδου από τον ελαιοκάρπο. Θα μπορούσε κανείς να πεί ότι είναι οι απόγονοι των παραδοσιακών ελαιοτριβείων. Στην εποχή μας λειτουργούν παραδοσιακά καθώς και τεχνολογικώς εξελιγμένα ελαιοτριβεία.

Από την αρχαιότητα ακόμη, για τη σύνθλιψη του ελαιοκάρπου και εξαγωγή του ελαίου, χρησιμοποιούσαν βασικά δύο οριζόντιες πλάκες σαν τροχούς, ανάμεσα στις οποίες έβαζαν τον ελαιοκάρπο. Η υπερκείμενη πλάκα περιστρεφόταν με κεντρικό άξονα τον οποίο έβαζαν σε κίνηση εργάτες. Αργότερα, τη μία πλάκα τροχό, την αντικατέστησαν με μία ή περισσότερες μυλόπετρες, που η κίνηση τους γινόταν με άξονα χάρη στη μυϊκή δύναμη εργατών ή ενός αλόγου ή και χάρη σε μηχανικό κινητήρα. Οι μυλόπετρες ήταν τοποθετημένες μέσα σε ένα μεγάλο και πλατύ δοχείο σαν λεκάνη, όπου γυρίζοντας συνέθλιβαν τον ελαιοκάρπο, που μετατρέποταν έτσι σε πολτό. Έπειτα τοποθετούσαν τον πολτό μέσα σε ειδικούς σάκους (σπυρίδες) και στην συνέχεια μετέφεραν για ισχυρή συμπίεση στα ελαιοπιεστήρια. Το λάδι έτσι όπως έβγαινε καθαριζόταν μέσα σε δεξαμενές ή ειδικά δοχεία. Τα ελαιοτριβεία σήμερα χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη κλίμακα καθώς αντικαταστάθηκαν από τις σύγχρονες εγκαταστάσεις ελαιουργείων.

Τα ελαιουργεία με τις σύγχρονες εγκαταστάσεις, όπου χρησιμοποιούνται νεώτερες μέθοδοι είναι εξοπλισμένα με κυρίως παραγωγικά μηχανήματα καθώς και με διάφορα άλλα βοηθητικά, τα οποία είναι

συνήθως εγκατεστημένα σε μία αίθουσα εκτάσεως 150-250 m². Το κάθε ελαιουργείο διαθέτει επίσης χώρους για αποθήκευση του ελαιόκαρπου, του παραγόμενου ελαιόλαδου, του ελαιοπυρήνα, διαφόρων υλικών, καθώς επίσης και ιδιαίτερο, συνήθως, χώρο για την εγκατάσταση θέρμανσης του νερού επεξεργασίας.

1.1.3. Παραγωγική διαδικασία: Μηχανολογικός εξοπλισμός – Τύποι ελαιουργείων

Τα στάδια επεξεργασίας του ελαιόκαρπου σε ένα ελαιουργείο καθώς και ο μηχανολογικός εξοπλισμός τους είναι τα παρακάτω:

• Παραλαβή ελαιόκαρπου

Συνήθως πραγματοποιείται με την παραλαβή είτε από τις αποθήκες των παραγωγών είτε από τα ελαιόφυτα με το φορτηγό αυτοκίνητο που διαθέτει το ελαιουργείο. Εν συνεχεία ακολουθεί ζύγιση και σειρά για επεξεργασία.

• Τροφοδοσία-Αποφύλλωση ελαιόκαρπου



Από τη λεκάνη τροφοδοσίας ο ελαιόκαρπος, δια μέσου μεταφορικής ταινίας ή αναβατόριου ή ατέρμονα κοχλία φτάνει στα ειδικά μηχανήματα αποφύλλωσης. Ο ατέρμονας κοχλίας μειονεκτεί έναντι των άλλων συστημάτων γιατί συνθλίβει τον καρπό. Η σύνθλιψη των ελαιοφύλλων μαζί με τον καρπό δίνει πικρίζουσα γεύση στο λάδι, διότι το εμπλουτίζει με χλωροφύλλη και γενικά επιδρά αρνητικά στη διατήρηση της ποιότητάς του.

• Έκπλυση ελαιόκαρπου

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά του λαδιού (άρωμα, οξύτητα, γένυση) επηρεάζονται αρκετά από την παρουσία ξένων σωμάτων τα οποία μπορεί να βρίσκονται στην ελαιόμαζα (χώμα, πέτρες κ.α.), ενώ παράλληλα υπάρχει πιθανότητα να προκαλεί σοβαρή φθορά ακόμα και στα μηχανήματα. Η αργιλική σκόνη κολλά στον καρπό, απομακρύνεται δύσκολα και στη διάρκεια της αποθήκευσης διαποτίζεται με λάδι που ταγγίζει εύκολα. Έτσι η διεργασία της έκπλυσης πρέπει να γίνεται με κάθε σχολαστικότητα και προσοχή αλλά και εφαρμόζοντας όλους τους απαραίτητους κανόνες υγιεινής για την επίτευξη του καλύτερου αποτελέσματος.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πλυντήρια διαφόρων τύπων. Ένας συνηθισμένος τύπος αποτελείται από ένα τύμπανο, χωρισμένο κάποτε σε διαμερίσματα, που καθώς περιστρέφεται αργά, εμβαπτίζεται μέχρι ενός σημείου σε μία δεξαμενή γεμάτη νερό. Η δεξαμενή είναι ορθογώνια και κατασκευάζεται από φύλλα λευκοσιδήρου. Το τύμπανο παρουσιάζει ελαφριά κλίση προς τα κάτω και σε ορισμένους τύπους πλυντηρίων το νερό διοχετεύεται υπό πίεση κατά τον άξονα του τύμπανου, ακολουθώντας αντίθετη διεύθυνση με τη διεύθυνση που έχει ο ελαιόκαρπος. Το νερό αφού έρθει σε πρώτη επαφή με τον ελαιόκαρπο φεύγει από τις τρύπες του τύμπανου και μαζεύεται στη δεξαμενή.

Έχει αποδειχτεί ότι η έκπλυση πρέπει να γίνεται όταν οι ελιές έρχονται από τον ελαιώνα με τρόπο που να τις απαλλάσσει από το χώμα, τις πρόσθετες ουσίες και από τα περισσότερα μικρόβια. Η έκπλυση όμως πρέπει να είναι τέλεια, γιατί διαφορετικά αντί να απαλλαγεί ο καρπός από τα μικρόβια μολύνεται περισσότερο, ιδιαίτερα όταν το νερό δεν ανακυκλοφορεί.

• Πολτοποίηση ελαιόκαρπου (άλεση-ομοιογενοποίηση)

Είναι το πρώτο κύριο στάδιο της εξαγωγής του λαδιού και έχει πολύ μεγάλη σημασία τόσο για την απόδοση όσο και για την ποιότητά του. Η δυσκολία έγκειται στο ότι ο καρπός αποτελείται από:

- α) στερεές ουσίες (πυρήνας, σάρκα και ενδοσπέρμιο),
- β) υγρές ουσίες (λάδι και φυτικά υγρά)
- γ) πολύ ελαστικές ουσίες (φλοιός)

Κατά καιρούς έγιναν προσπάθειες να αποχωριστεί ο πυρήνας πριν από το άλεσμα και να πιεστεί η πολτοποιημένη μάζα χωριστά. Η μέθοδος αυτή πρακτικά αποδείχτηκε ανεφάρμοστη λόγω του μεγάλου κόστους και της δυσκολίας που παρουσιάζει η πίεση της σάρκας απαλλαγμένης από τα θρύμματα του πυρήνα. Ο πυρήνας είναι απαραίτητος γιατί:

- α) μειώνει την ελαστικότητα του πολτού
- β) λειτουργεί ως μάζα αποστραγγίσεως από την οποία θα περάσει το λάδι και τα φυτικά υγρά
- γ) κατανέμεται ομοιόμορφα η πίεση

Η σύνθλιψη του καρπού (άλεση και ομοιογενοποίηση) γινόταν στο παρελθόν σε πέτρινους ελαιόμυλους που είχαν δύο ή περισσότερους αλεστές. Τέτοιοι μύλοι εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται και σήμερα. Οι αλεστές τους είναι από γρανίτη, έχουν σχήμα κυλινδρικό με μεγάλη διάμετρο και στενή επιφάνεια περιστροφής, Ο τύπος αυτός έχει ιταλική προέλευση. Υπάρχουν αλεστές σε σχήμα κόλουρου κώνου. Η μεγαλύτερη βάση έχει διάμετρο 1,25-1,40 m και η μικρότερη 0,18-0,38 m, χρησιμοποιείται στην Ισπανία και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το άλεσμα του ελαιόκαρπου με τους πέτρινους μύλους, ανεξάρτητα από το σχήμα τους, δεν βασίζεται μόνο στη σύνθλιψη του καρπού, αλλά και στην επιταχυνόμενη ομοιογενοποίηση. Για το σκοπό αυτό οι μυλόλιθοι περιστρέφονται ταυτόχρονα γύρω στον ιστό που είναι στερεωμένος στη μέση της λεκάνης αλλά και γύρω στον άξονά τους. Η στροφή γύρω στον άξονα γίνεται με την ολίσθησή του πάνω στην ελαιόμαζα και ευθύνεται αποκλειστικά για την ομοιογενοποίηση.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έγινε δυνατό να χρησιμοποιηθούν στα σύγχρονα ελαιουργεία μηχανήματα με μεταλλικά θραυστήρια, όπως σφυρόμυλοι, κυλινδροθραυστήρες κ.α.

Οι κυλινδροθραυστήρες χρησιμοποιούνται για την αδρή λειοτρίβηση του ελαιόκαρπου και για το λόγο αυτό μπορούν να θεωρηθούν ως βοηθητικά μηχανήματα στην άλεση του καρπού. Χρησιμοποιούνται μόνο στην περίπτωση που ο ελαιόκαρπος επεξεργάζεται σε δύο στάδια (υποβάλλεται σε δύο πιέσεις) πριν την πρώτη πίεση, για την λειοτρίβηση και την προετοιμασία του ελαιοπολτού. Στην περίπτωση της επεξεργασίας του ελαιόκαρπου με την τεχνική της μίας μόνο πίεσης, η χρήση του κυλινδροθραυστήρα απαιτεί συμπλήρωση της άλεσης σε λίθινο ελαιόμυλο.

Οι σφυρόμυλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αδρή και για την λεπτή λειοτρίβηση του ελαιόκαρπου. Γενικά όμως χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του ελαιοπολτού (μέσα στον οποίο δεν είναι ορατά τα μικρά και γυαλιστερά τεμαχίδια του φλοιού) προκειμένου να συμπιεστεί, αφού προηγουμένως περάσει από τον μαλακτήρα.

Συμπερασματικά, οι κυλινδροθραυστήρες προσφέρονται για την κατεργασία του ελαιόκαρπου σε δύο στάδια, ενώ οι σφυρόμυλοι για κατεργασία σε ένα στάδιο. Γενικά, αν και εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος, υπάρχει το μειονέκτημα του ότι ορισμένες φορές το λάδι εμπλουτίζεται με ίχνη μετάλλου που προέρχεται από την επιφάνειά τους.

• Μάλαξη ελαιοζύμης

Αποτελεί το βασικότερο στάδιο επεξεργασίας σε όλα ανεξαρτήτως τα συστήματα παραλαβής λαδιού. Η μάλαξη γίνεται σε ειδικά συγκροτήματα, γνωστά στην ελαιοβιομηχανία σαν θερμομαλακτήρες.

Μέσα στους μαλακτήρες (κάθετης διάταξης) η ανάμιξη γίνεται με περιστρεφόμενο έλικα και η μάλαξη διαρκεί 25-30 λεπτά περίπου υπό μέγιστη θερμοκρασία 300 °C, που επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία θερμού νερού μέσα στα διπλά τοιχώματά τους. Υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή, βοηθά τα οξειδωτικά φαινόμενα και προδιαθέτει το λάδι σε διάφορες αλλοιώσεις (αλλαγή χρώματος, καταστροφή πτητικών συστατικών), έτσι είναι επιβεβλημένη η ύπαρξη αυτόματου θερμοστάτη. Οι επιφάνειες εξάλλου του μαλακτήρα πρέπει να είναι ανοξειδώτες, καθώς ίχνη μετάλλου επιταχύνουν την οξείδωση κατά την αποθήκευση του ελαίου. Η διαδικασία της θερμομάλαξης αποσκοπεί:

- α) στην πλήρη καταστροφή της οργάνωσης των ιστών του ελαιόκαρπου
 - β) στη συνένωση των σταγονιδίων του ελαίου μικρής διαμέτρου με μεγάλες σταγόνες που απομακρύνονται εύκολα από τον ελαιοπολτό στη διάρκεια της συμπίεσης
 - γ) στη διατάραξη των κολλοειδών συστημάτων ελαίου και φυτικών υγρών με την παρέμβαση θρυμμάτων ενδοσπερμίου
 - δ) στον αποχωρισμό ενός ποσοστού ελαίου με την απορροή μέσα από τα τοιχώματα του μαλακτήρα.
- Το λαμβανόμενο προϊόν εμφανίζει μικρή οξύτητα.

• Εξαγωγή ελαιόλαδου

Μετά τη μάλαξη, ο ελαιοπολτός οδηγείται προς τα μηχανήματα παραλαβής του ελαιόλαδου. Η παραλαβή γίνεται με πίεση ή με φυγοκέντριση 3 και πιο προσφάτως 2 φάσεων. Τριανταπέντε χρόνια πριν, η διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου με πίεση ήταν σχεδόν η μοναδική μέθοδος με την οποία πραγματοποιείτο η εξαγωγή ελαιόλαδου. Η φυγοκεντρική διεργασία 3 φάσεων παρουσιάστηκε τη δεκαετία του '70, με στόχο να αυξηθεί η επεξεργαζόμενη ποσότητα, η απόδοση της διεργασίας εξαγωγής καθώς και η μείωση της χειρωνακτικής εργασίας. Ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης διεργασίας είναι η αυξημένη ποσότητα υγρών αποβλήτων η οποία παράγεται λόγω της αυξημένης κατανάλωσης νερού (1,25 – 1,75 φορές περισσότερο νερό απ' ότι στην εξαγωγή με πίεση). Η αποτυχία ανάπτυξης μιας κατάλληλης τεχνολογίας επεξεργασίας τελικών υδατικών αποβλήτων έδωσε τη δυνατότητα σε κατασκευαστές να αναπτύξουν τη φυγοκεντρική διεργασία 2 φάσεων, η οποία χρησιμοποιεί μόνο νερά πλυσίματος (και όχι στην καθ' εαυτή διεργασία) και παραδίδει ελαιόλαδο ως

υγρή φάση και ένα πολύ “υγρό”, εύπλαστο ελαιοπυρήνα ως την ημιστερεά φάση, κάνοντας χρήση μιας περισσότερο αποτελεσματικής τεχνολογίας φυγοκέντρισης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρεις βασικές μέθοδοι εξαγωγής του ελαιόλαδου.

1) Με πίεση της ελαιοζύμης σε υδραυλικά πιεστήρια

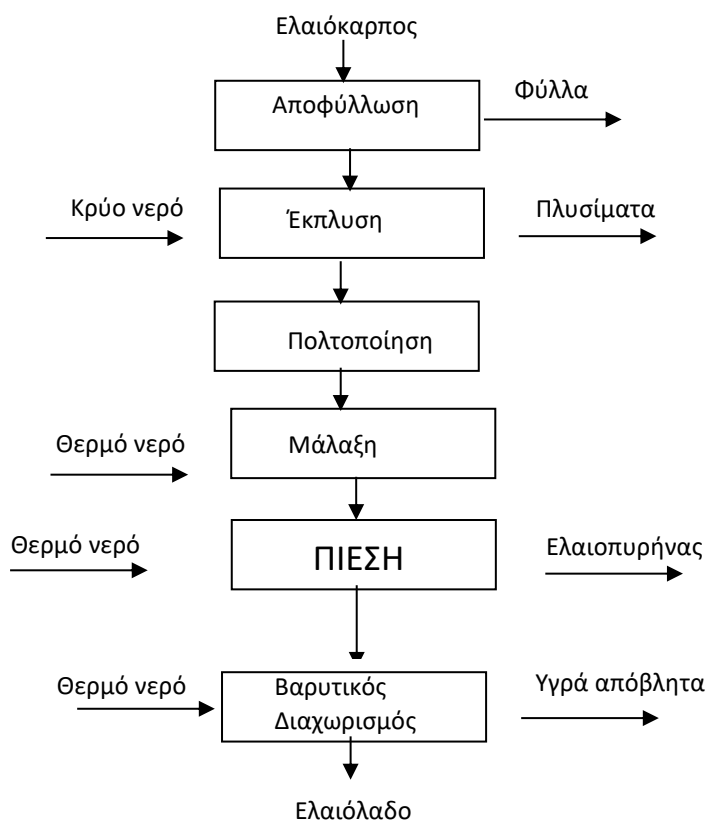
Ο Άγγλος μηχανικός Joseph Braham επινόησε το υδραυλικό πιεστήριο, η λειτουργία του οποίου βασίστηκε στην "υδροστατική" αρχή του Pascal. Το συγκεκριμένο σύστημα εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1820 ενώ μετά από 45 χρόνια εφαρμόστηκε και στην Ελλάδα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υδραυλικών πιεστηρίων (12", 14", 16", τετραέμβολα των 8" κ.λ.π).

Ο ελαιοπολτός τοποθετείται στα ελαιοδιαφράγματα (πλαστικά-nylon- ή από κοκκοφοίνικα) με την βοήθεια ειδικού δοσοδότη. Εν συνεχεία τοποθετούνται σε κινητές λεκάνες που έρχονται στην κατάλληλη υποδοχή του πιεστηρίου. Η ωριμότητα καθώς και ο τύπος του ελαιοκάρπου αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν πιέσεις στις οποίες μπορεί να εκτίθεται ο ελαιοπολτός. Οι συγκεκριμένες πιέσεις σταδιακά μπορεί να φθάσουν ακόμα και τα 300-500 Kg/cm².

Με την μέθοδο της διπλής συμπίεσης ο ελαιοπολτός υπόκειται σε διαδοχική πίεση σε δύο πιεστήρια για διάστημα 2 ωρών. Το πρώτο πιεστήριο χρησιμοποιεί περίπου τη μισή πίεση σε σχέση με το δεύτερο. Η δυναμικότητα τέτοιου είδους πιεστηρίων μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 500 Kg ελαιοπολτού ανά πίεση. Με την συμπίεση του ελαιοπολτού επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός της υγρής φάσης (που συνθέεται από το λάδι, τα φυτικά υγρά και τα νερά της έκπλυσης) από την στερεά φάση (κομμάτια από τη σάρκα, τον φλοιό, το ξυλώδες τμήμα και το ενδοσπέρμιο). Ο ελαιοπολτός απομακρύνεται μετά την πίεση και τα ελαιοδιαφράγματα γεμίζουν με την επόμενη παρτίδα.

Η χαμηλή θερμοκρασία αποτελεί βασικό παράγοντα για την σωστή ολοκλήρωση της διεργασίας της πίεσης η οποία συνδέεται άμεσα με την εξαγωγή ελαιόλαδου υψηλής ποιότητας. Εντούτοις, για την άριστη ποιότητα του ελαιολάδου δεν αρκεί μόνο η διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας αλλά και η εφαρμογή των συνθηκών υγιεινής κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Εάν το πιεστήριο δεν διατηρείται καθαρό κατά τη διεργασία, αυτό έχει επιπτώσεις στην ποιότητα του εξαγόμενου ελαιόλαδου, η οποία χαρακτηρίζεται ως κατώτερη λόγω της επαφής του με παλαιά και ήδη οξειδωμένα σωματίδια. Η διεργασία της πίεσης με υδραυλικά πιεστήρια χαρακτηρίζεται δαπανηρή εξαιτίας των απαιτήσεων σε χειρωνακτική εργασία αλλά και υλικών για τους ελαιοδιαχωριστήρες.

Η διαδικασία που ακολουθείται, σε ένα κλασικού τύπου ελαιουργείο αποδίδεται στο επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα 1.1. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο με υδραυλικό πιεστήριο (κλασικού τύπου)

2) Με φυγοκέντριση σε φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες 3 φάσεων

Η σύγχρονη αυτή μέθοδος διαχωρισμού του ελαιόλαδου από τον ελαιοπολτό ήρθε να αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό την παραδοσιακή μέθοδο των υδραυλικών πιεστηρίων. Η λειτουργία τους βασίζεται στη φυγόκεντρο δύναμη που επιτυγχάνει ικανοποιητικό διαχωρισμό του ελαιοπολτού και παραλαβή του ελαιόλαδου, λόγω της διαφοράς στο ειδικό βάρος τους (Niaounakis and Halvadakis, 2004).

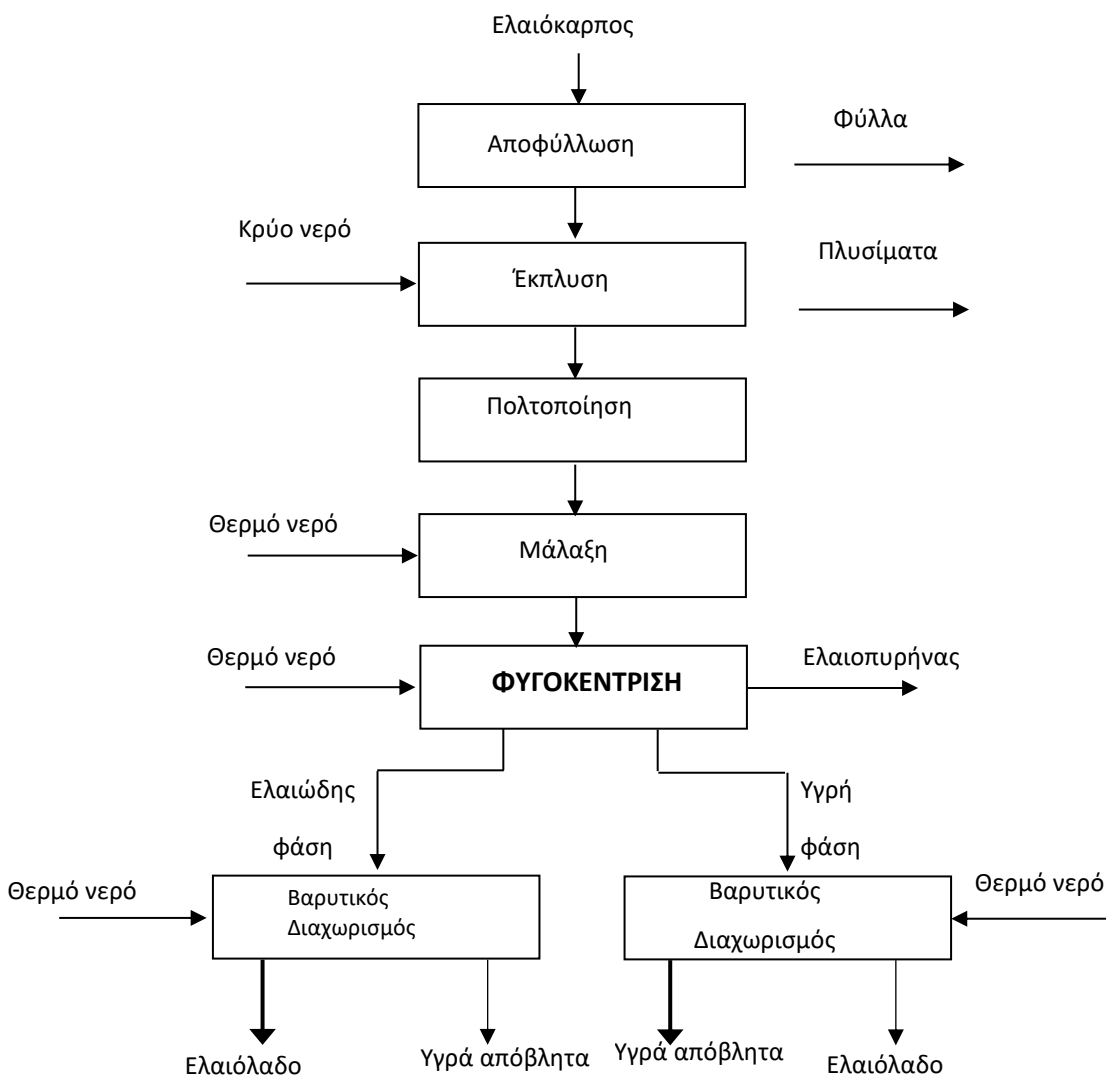
Η συσκευή αποτελείται από ένα πολύστροφο τύμπανο που στερεώνεται σε κατακόρυφο άξονα ο οποίος κινείται χάρη στο σύστημα ατέρμονα και οδοντωτού τροχού. Κατά την περιστροφική κίνηση του άξονα και του τυμπάνου, αναπτύσσονται φυγοκεντρικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα το διαχωρισμό της υγρής φάσης (ελαιόλαδο-νερό) από τη στερεά φάση (ελαιοπυρήνα). Πριν τη φυγοκέντριση είναι απαραίτητη η αραίωση του ελαιοπολτού με νερό. Υπάρχουν διάφοροι τύποι φυγοκεντρικών διαχωριστήρων, συνήθως οριζόντιοι ή και κάθετοι (DECANTERS) τριών φάσεων (ελαιόλαδο-ελαιοπυρήνα-νερά κατεργασίας ή φυτικά υγρά).

Στα μειονεκτήματα της διεργασίας αυτής συγκαταλέγονται:

- τα αυξημένα ποσά υγρών αποβλήτων τα οποία παράγονται λόγω της αυξημένης χρήσης νερού (1,25 ως 1,75 φορές περισσότερο σε σχέση με τη διεργασία πίεσης)
- η απώλεια πολύτιμων συστατικών (π.χ. φυσικών αντιοξειδωτικών) στην υδατική φάση
- προβλήματα διάθεσης της υδατικής φάσης

Υπήρξε κοινή πρακτική η ανακύκλωση του αποκτώμενου και ανεπεξέργαστου υγρού αποβλήτου στη διεργασία της εξαγωγής ελαιόλαδου. Το συγκεκριμένο υγρό απόβλητο, που περιέχει τα νερά κατεργασίας καθώς και νερά που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορα στάδια της διεργασίας, μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση των απαιτήσεων για φρέσκο νερό. Ωστόσο, λόγω της οξειδωτικής φύσης του, επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του παραγόμενου ελαιόλαδου και σχεδόν δεν χρησιμοποιείται πλέον.

Η διαδικασία που ακολουθείται σε ένα φυγοκεντρικού τύπου ελαιουργείο, περιγράφεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 1.2. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο φυγοκεντρικού τύπου 3 φάσεων

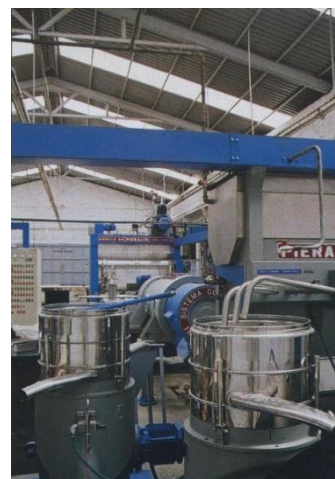
3) Με φυγοκέντριση σε φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες 2 φάσεων



Η φυγοκεντρική διεργασία 2 φάσεων, σε αντίθεση με την τριφασική φυγοκέντριση χρησιμοποιεί νερά μόνο κατά το πλύσιμο, και όχι στη καθ'εαυτή διεργασία. Για το λόγο αυτό έχουμε την παραγωγή μόνο δύο φάσεων: την υγρή, δηλαδή το ελαιόλαδο, και την ημιστερεή, τον υγρό ελαιοπυρήνα που είναι πολύ πιο υγρός σε σχέση με εκείνον που παράγεται μέσω της διεργασίας 3

Εικόνα 1.1. Το εσωτερικό δύο ελαιουργείων φυγοκεντρικού τύπου στη Λέσβο

φάσεων. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσέλκυσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε περιοχές όπου η προμήθεια νερού είναι περιορισμένη αλλά και η ποσότητα των υδατικών αποβλήτων πρέπει να είναι μειωμένη (Cayuela, M, et al 2006). Η συγκεκριμένη διεργασία, σε σύγκριση με την τριφασική δεν χρησιμοποιεί νερό εκτός από το στάδιο έπλυσης, έχοντας σαν αποτέλεσμα την αποφυγή παραγωγής υδατικών αποβλήτων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εξοικονόμηση νερού και τα απόβλητα έκπλυσης δεν είναι ιδιαίτερα μολυσμένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν γενικά για άρδευση.

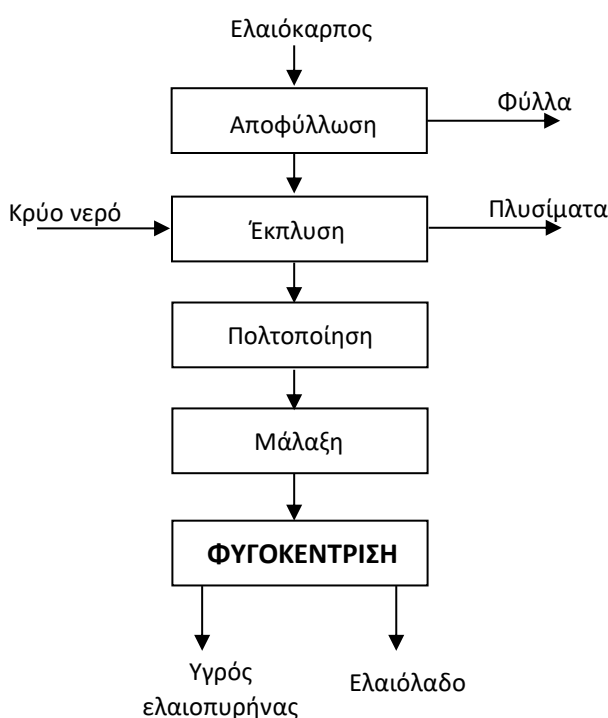


Επιπλέον η κατασκευή του φυγοκεντρικού διαχωριστή 2 φάσεων είναι λιγότερο πολύπλοκη και φθηνότερη σε σχέση με τον διαχωριστή 3 φάσεων, με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο αξιόπιστη η λειτουργία του. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι κατά τη διάρκεια της διεργασίας 3 φάσεων, υπάρχει η πιθανότητα ανάμειξης του διαχωριζόμενου ελαίου με νερό, κάτι το οποίο στην διφασική διαδικασία δεν συμβαίνει. Οι πτητικές ενώσεις από τα νερά κατεργασίας μπορούν να προκαλέσουν κολλώδεις εναποθέσεις στον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (Alfano, et al. 2008). Ένα ακόμα πλεονέκτημα που παρορυσιάζει η διφασική διεργασία αφορά την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, λόγω της μειωμένης κατεργαζόμενης ποσότητας, αφού δεν προστίθεται περαιτέρω ποσότητα νερού για την παραγωγή του ελαιοπυρήνα. Στο σημείο αυτό μπορεί να προστεθεί και το κόστος λειτουργίας το οποίο είναι χαμηλότερο από της τριφασικής λειτουργίας. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα όμως εναπόκειται στην υψηλής ποιότητας παραγομένου ελαιόλαδου με τη μέθοδο αυτή. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει υψηλότερη οξειδωτική σταθερότητα και καλύτερα οργανοληπτικά συστατικά.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης διεργασίας παρά το γεγονός ότι δεν παράγει καθ'εαυτό υγρά απόβλητα, συνδυάζει τα απόβλητα που παράγονται με τον ελαιοπυρήνα με αποτέλεσμα τη σύσταση μίας ενιαίας ημιστερεής φάσης. Αυτό δυστυχώς διπλασιάζει το ποσό των "στερεών" προς διάθεση αποβλήτων, χωρίς την δυνατότητα κομποστοποίησης ή αποτέφρωσης χωρίς κάποιας (ακριβούς)

προ-επεξεργασίας. Το παραγόμενο ημιστερεό απόβλητο λόγω της υγρασίας σε συνδυασμό με τα σάκχαρα και τα λεπτόκοκκα στερεά που περιέχει, εμφανίζει μία υψηλή πυκνότητα (σαν ζύμη) η οποία δυσκολεύει τη μεταφορά, αποθήκευση και διαχείρισή του. Δεν μπορεί να στοιβαχθεί και πρέπει να διατηρείται σε μεγάλες τεχνητές λίμνες. Επίσης η παραγωγή του ελαιολάδου μειώνεται κατά 7%.

Τα ημιστερεά απόβλητα τα οποία παράγονται χαρακτηρίζονται από υψηλό COD και αποτελούν ένα νέο τύπο αποβλήτου, το οποίο δεν έχει ακόμη κατηγοριοποιηθεί πλήρως. Η επικερδής αξιοποίηση των αποβλήτων από πυρηνελαιουργεία καθίσταται αδύνατη. Ένα βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζει η διεργασία αυτή αποτελεί η διάθεση των υγρών αποβλήτων στα πυρηνελαιουργεία. Ο υγρός ελαιοπυρήνας απαιτεί ξήρανση πριν την επεξεργασία του, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη και ακριβή η εξαγωγή του απομένουτος ελαίου.



Διάγραμμα 1.3. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο φυγοκεντρικού τύπου 2 φάσεων

• Τελικός διαχωρισμός - Καθαρισμός ελαιόλαδου

Ανεξάρτητα από την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή του ελαίου από τον ελαιοπολτό, ο τελικός διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά και τα νερά έκπλυσης, αποτελεί κύριο παράγοντα, ο οποίος πραγματοποιείται πάντα με κατακόρυφους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες (Gomez, et.al., 2003).

Παράμετροι που επηρεάζουν τον τελικό διαχωρισμό- καθαρισμό αποτελούν : η θερμοκρασία, το ιξώδες της υγρής φάσης, η διαφορά ειδικού βάρους των συστατικών της υγρής φάσης, το σχήμα και οι διαστάσεις των ελαιοσταγονιδίων. Υπάρχει περίπτωση το τελικό ελαιόλαδο μετά τον διαχωρισμό να

είναι θολό, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη φυσαλίδων, αέρα γαλακτώματα ελαίου καθώς και φυτικών υγρών που σχηματίζονται με την παρεμβολή γαλακτωματοποιητών ή δηλαδή διάφορων μεγαλομοριακών συστατικών της ελαιόμαζας μέσα στη μάζα του ελαίου. Για το καλύτερο αποτέλεσμα και την αποφυγή του θολώματος, το προϊόν διηθείται σε ειδικά φίλτρα κυτταρίνης.

Η αποθήκευση, τέλος, του ελαιόλαδου γίνεται σε γυάλινα, πήλινα, λευκοσιδηρά δοχεία, σε δεξαμενές κατασκευασμένες από μπετόν και σε πλαστικά δοχεία (με ειδικές όμως προδιαγραφές στην κατασκευή των πλαστικών).



Εικόνα 1.2. Δεξαμενές αποθήκευσης ελαιολάδου σε ελαιοτριβείο στα Χανιά

• Παροχή θερμού νερού

Για τη θέρμανση του απαιτούμενου νερού (θέρμανση-αραίωση του ελαιοπολτού, προσθήκη ζεστού νερού στους ελαιοδιαχωριστήρες καθαρισμού), τα ελαιουργεία διαθέτουν κύκλωμα παραγωγής και παροχής ζεστού νερού. Χρησιμοποιείται κοινός λέβητας με ειδικό καυστήρα, που καταναλώνει ελαιοπυρήνα (πυρηνόξυλο), όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία της τροφοδοσίας καυστήρα ελαιουργείου στη Σάμο.



Εικόνα 1.3. Αποθήκευση και καύση πυρήνα σε ελαιοτριβείο στη Σάμο

1.1.4. Σύνθεση ελαιόκαρπου

Από την εγκατάσταση ενός ελαιουργείου:

- Παραλαμβάνονται το ελαιόλαδο και ο ελαιοπυρήνας
- Αποβάλλονται τα φύλλα των ελαιοδέντρων
- Απορρέουν ως υγρά βιομηχανικά απόβλητα τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου προσυζημένα με το νερό κατεργασίας (πλύση ελαιόκαρπου, αραίωση ελαιοζύμης, πρόσθετο νερό διαχωριστήρων, καθαρισμός ελαιουργείου κ.λ.π)

A) Ελαιόκαρπος

Η σύσταση του ελαιόκαρπου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως: την περιοχή προελεύσεως, το έδαφος, τον τρόπο καλλιέργειας, το βαθμό ωριμότητας, την καρποφορία των ελαιοδέντρων, των προσβολών από το δάκο.

Για παράδειγμα ο προσκομιζόμενος από τα ελαιουργεία του νομού Ηρακλείου ελαιόκαρπος έχει περίπου την παρακάτω σύνθεση:

- | | |
|-----------------------|--------|
| 1. Φύλλα ελαιοδέντρων | 3-5% |
| 2. Ελαιόλαδο | 20-28% |
| 3. Ελαιοπυρήνας | 35-45% |
| 4. Φυτικά υγρά | 30-40% |

B) Ελαιοπυρήνας

Η σύσταση του ελαιοπυρήνα ποικίλλει ανάλογα με τη σύσταση της πρώτης ύλης και τις συνθήκες της βιομηχανικής επεξεργασίας (Khayer, Chowdhurg, 2013).



Ο παραλαμβανόμενος από την κατεργασία ελαιοπυρήνας είναι το 35-45% του αρχικού βάρους του ελαιόκαρπου και έχει συνήθως την παρακάτω σύνθεση:

1. Έλαιο (πυρηνέλαιο)	6-12%
2. Υγρασία	20-30%
3. Πρωτεΐνες	8-10%
4. Υδατάνθρακας	20-30%
5. Υγρασία ελαιοπ/νων (φυγοκεντρικών)	40-55%

Γ) Φυτικά υγρά

Περίπου το 30-40% του αρχικού βάρους του ελαιόκαρπου είναι τα φυτικά υγρά του καρπού, τα οποία τελικά απορρέουν ως απόβλητα προσαυξημένα με το νερό που προστίθεται στις διάφορες φάσεις κατεργασίας. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι το pH τους κυμαίνεται μεταξύ 3 και 4. Σε πολύ γενικές γραμμές, τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου αποτελούνται από:

1. Νερό	83%
2. Οργανικές ουσίες	15%
3. Ανόργανες ουσίες	2%

1.1.5. Κατανάλωση νερού στο ελαιουργείο

Το νερό που καταναλώνεται σε ένα ελαιουργείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το πλύσιμο του ελαιόκαρπου, καθώς επίσης και στο αλεστικό στην περίπτωση μόνο που ο ελαιόκαρπος είναι ξηρός. Η ελαιοζύμη μπορεί να αραιωθεί με την χρήση του νερού αυτού καθώς και να πλυθούν τα ελαιοπανα (στα πιεστήρια) με το νερό από το ελαιουργείο. Επιπλέον χρήση του νερού αυτού πραγματοποιείται στον ελαιοδιαχωριστήρα, κατά το διαχωρισμό του ελαιομούστου αλλά και γενικότερα στον καθαρισμό αλλά σε μικρές ποσότητες.

Οι καταναλώσεις νερού στις διάφορες φάσεις κατεργασίας του ελαιόκαρπου ποικίλουν και εξαρτώνται από:

- Τη φύση και την κατάσταση του ελαιόκαρπου
- Τη μέθοδο κατεργασίας καθώς και
- Τις συνήθειες και την τακτική του ελαιουργείου.

Μεγάλες διακυμάνσεις παρουσιάζονται στην πλύση του ελαιόκαρπου, όπου είναι δυνατόν να έχουμε μία κατανάλωση από 0 ως 130% επί του αρχικού βάρους. Συνήθως στα ελαιουργεία για λόγους οικονομίας αποφεύγουν τη μεγάλη κατανάλωση νερού κυρίως στο πλύσιμο του ελαιόκαρπου, καθώς και στις άλλες φάσεις όπου η προσθήκη νερού είναι απαραίτητη.

1.2. Απόβλητα Ελαιουργείων

Η όποια προσπάθεια, συνολικής προσέγγισης και παρουσίασης των διαφόρων πλευρών της ελαιουργικής βιομηχανίας και του ελαιολάδου γενικότερα, δεν θα μπορούσε να μη θίξει το τεράστιο πρόβλημα των αποβλήτων που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία απόκτησης του ελαιολάδου.

Τελευταία υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την επεξεργασία και διάθεση αυτών των αποβλήτων για λόγους γενικότερης περιβαλλοντικής ευαισθησίας αλλά και ειδικότερους λόγους που συνδέονται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά παραγωγής του ελαιολάδου όπως εντατικοποίηση των καλλιεργειών, επίδραση της τεχνολογίας παραγωγής (φυγοκεντρικά-κλασικά ελαιουργεία), μεγάλη διασπορά των ελαιουργείων, μικρή δυναμικότητα παραγωγής, αυξημένο κόστος για τις μέχρι σήμερα γνωστές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων κ.λ.π. (Γεωργακαράκος, κ.αλ.2013).

Οι ελαιοπαραγωγικές χώρες και ιδιαίτερα οι Μεσογειακές - Ισπανία, Ιταλία, Τυνησία, Γαλλία, Ελλάδα, Τουρκία κ.λ.π - συνειδητοποιούν καθημερινά το μέγεθος του προβλήματος και αναζητούν λύσεις. Ας σημειωθεί ότι ακόμα και τεχνολογικά προηγμένες χώρες όπως οι Η.Π.Α ασχολούνται διεξοδικά με το συγκεκριμένο θέμα.

1.2.1. Ποσοτική παραγωγή αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων είναι γνωστά και σαν κατσίγαροι, απόνερα, μούργα, λιόζουμα κ.λ.π. ανάλογα με την τοποθεσία. Η μέση σύνθεση των αποβλήτων των ελαιουργείων είναι:

- 80-95% νερό
- 5-15% στερεά

Από τα στερεά το 85-90% είναι οργανικά ενώ τα υπόλοιπα είναι αδρανή συστατικά και ανόργανα άλατα. Βέβαια η σύνθεσή τους μεταβάλλεται ανάλογα με την ποικιλία του καρπού, την ωριμότητά του, τις συνθήκες καλλιέργειας (άρδευση, λίπανση, κ.λ.π). Το νερό, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αποτελείται από το νερό που προστίθεται κατά την έκθλιψη της ελιάς, το νερό κατά το διαχωρισμό του ελαιολάδου και τέλος το νερό που χρησιμοποιείται για την πλύση του ελαιόκαρπου, που αποτελεί το 10-20% του συνολικού όγκου του κατσίγαρου.

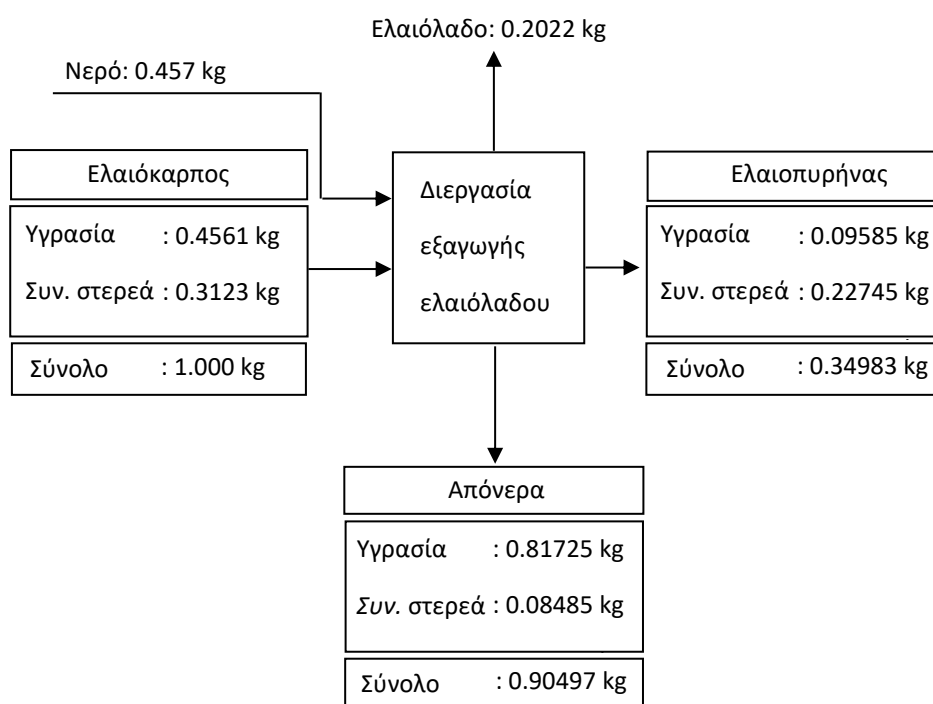
Η τελική σύνθεση και ποσότητα των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από τον τύπο του ελαιουργείου. Στα φυγοκεντρικά 3 φάσεων, εκτός από την προσθήκη νερού στους κατακόρυφους διαχωριστήρες - τους οποίους συναντάμε και στα κλασικά ελαιουργεία - απαιτείται και συνεχής προσθήκη μιας επιπλέον ποσότητας νερού. Έτσι έχουμε μια φυσιολογική αραιώση των περιεχόμενων συστατικών όμως και μια αύξηση της παραγόμενης ποσότητας αποβλήτων ανά όγκο καρπού. Στα φυγοκεντρικά 2 φάσεων, αντί για υγρά απόβλητα έχουμε αυξημένη παραγωγή ελαιοπυρήνα. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, ο οποίος παρουσιάζει την ποσότητα ελαιολάδου και αποβλήτων ανά Kg επεξεργασμένου ελαιόκαρπου:

Πίνακας: 1.1. Ποσοστό προϊόντων κατά την ελαιοπαραγωγή με βάση τον εισαγόμενο καρπό

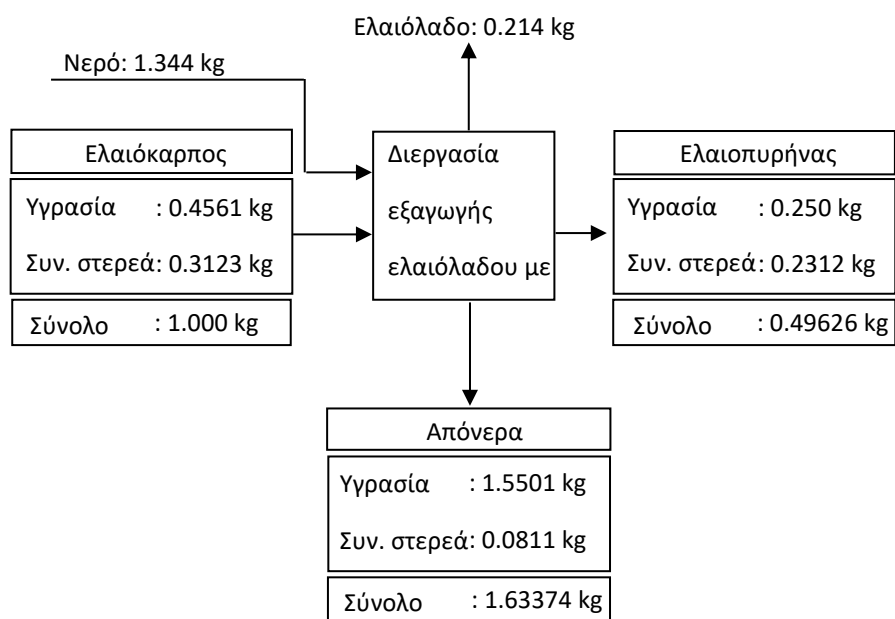
Προϊόν	Πίεσης	3-φάσεων	2-φάσεων
Ελαιόλαδο	0,214 ± 0,002	0,212 ± 0,002	0,2 ± 0,05
Υγρά απόβλητα	0,92 ± 0,25	1,67 ± 0,07	
Ελαιοπυρήνας	0,323 ± 0,022	0,462 ± 0,035	0,8 ± 0,05

1.2.2. Ισοζύγια μάζας σύμφωνα με την διεργασία εξαγωγής του ελαιολάδου

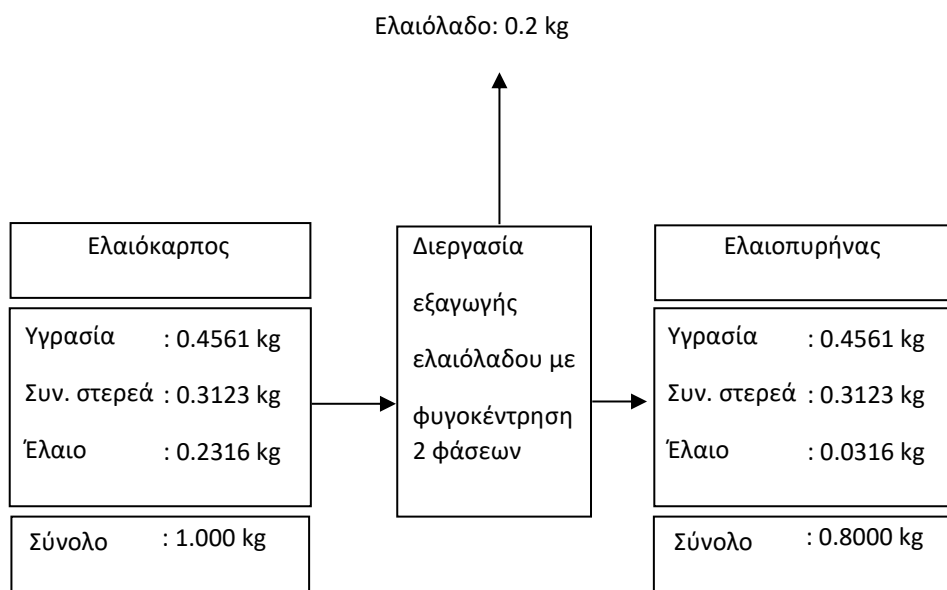
Στα παρακάτω τρία διαγράμματα πραγματοποιούνται αναλυτικοί υπολογισμοί των ποσοτήτων συνολικών αποβλήτων που λαμβάνονται, από όλους τους τύπους ελαιουργείων, ανά μονάδα μάζας ελαιόκαρπου (Vlyssides et.al.2008).



Διάγραμμα 1.4. Ισοζύγια μάζας για τη συνολική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου με πίεση



Διάγραμμα 1.5. Ισοζύγια μάζας για τη συνολική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου με φυγοκέντρωση 3 φάσεων



Διάγραμμα 1.6. Ισοζύγια μάζας για τη συνολική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου με φυγοκέντρωση 2 φάσεων

1.2.3. Ποιοτική σύσταση αποβλήτων

Τα χαρακτηριστικά της σύστασης του *ελαιοπυρήνα*, σε σχέση με τη διεργασία μέσω της οποίας προέκυψε, παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1.2. Ποιοτική σύσταση στερεών αποβλήτων (πυρήνα)

Παράμετροι	Διεργασία με πίεση	Διεργασία φυγ/σης 3 φάσεων	Διεργασία φυγ/σης 2 φάσεων
Υγρασία, %	27,21 ± 1,048	50,23 ± 1,935	56,80 ± 2,188
Λίπη και έλαια, %	8,72 ± 3,254	3,89 ± 1,449	4,65 ± 1,736
Πρωτεΐνες, %	4,77 ± 0,024	3,43 ± 0,017	2,87 ± 0,014
Ολικά σάκχαρα, %	1,38 ± 0,016	0,99 ± 0,012	0,83 ± 0,010
Κυτταρίνη, %	24,14 ± 0,283	17,37 ± 0,203	14,54 ± 0,170
Ημικυτταρίνη, %	11,00 ± 0,608	7,92 ± 0,438	6,63 ± 0,366
Τέφρα, %	2,36 ± 0,145	1,70 ± 0,105	1,42 ± 0,088
Λιγνίνη, %	14,18 ± 0,291	10,21 ± 0,209	8,54 ± 0,175
Ολικό άζωτο (κατά Kjeldahl), %	0,71 ± 0,010	0,51 ± 0,007	0,43 ± 0,006
Φόσφορος υπό μορφή P ₂ O ₅ , %	0,07 ± 0,005	0,05 ± 0,004	0,04 ± 0,003
Φαινολικές ενώσεις, %	1,146 ± 0,06	0,326 ± 0,035	2,43 ± 0,15
Κάλιο υπό μορφή K ₂ O, %	0,54 ± 0,045	0,39 ± 0,033	0,32 ± 0,027
Ασβέστιο υπό μορφή CaO, %	0,61 ± 0,059	0,44 ± 0,043	0,37 ± 0,036
Ολικός άνθρακας, %	42,90 ± 3,424	29,03 ± 2,317	25,37 ± 2,025
Λόγος C/N	60,79 ± 5,352	57,17 ± 5,033	59,68 ± 5,254
Λόγος C/P	588,0 ± 51,25	552,9 ± 48,20	577,2 ± 50,31

Τα χαρακτηριστικά της σύστασης των *υγρών αποβλήτων*, ανάλογα με τη διεργασία μέσω της οποίας προέκυψαν, παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1.3. Ποιοτική σύσταση υγρών αποβλήτων (κασιγάρος)

Παράμετροι	Διεργασία με πίεση	Διεργασία φυγ/σης 3 φάσεων
Ολικά στερεά, g/L	99,70 ± 28,85	63,5 ± 24,4
Ολικά αιωρούμενα στερεά, g/L	4,51 ± 3,27	2,8 ± 2,2
Ολικά πτητικά στερεά, g/L	87,20 ± 27,57	57,37 ± 21,96
Τέφρα, g/L	9,69 ± 2,58	6,13 ± 2,44
Ολικός οργανικός άνθρακας, g/L	64,11 ± 10,79	39,82 ± 6,47
Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl, g/L	1,15 ± 0,21	0,76 ± 0,13
Ολικός φώσφορος υπό μορφή P ₂ O ₅ , g/L	0,87 ± 0,14	0,53 ± 0,084
pH	4,50 ± 0,60	4,8 ± 0,8
BOD ₅ , g/L	68,71 ± 12,64	45,5 ± 8,2
COD, g/L	158,18 ± 32,63	92,5 ± 17,5
Ειδικό βάρος, g/cm ³	1,05 ± 0,06	1,048 ± 0,033
Αγωγιμότητα, mmhos/cm	18,00 ± 5,00	12 ± 4
Ολικά σάκχαρα, g/L	25,86 ± 8,30	16,06 ± 0,64
Λίπη και έλαια, g/L	2,80 ± 1,03	1,64 ± 0,64
Πολυαλκοόλες, g/L	4,75 ± 1,77	3,19 ± 1,22
Γλυκερόλη, g/L	0,10 ± 0,04	0,062 ± 0,023
Ολικές πρωτεΐνες, g/L	28,30 ± 9,95	17,91 ± 6,88
Οργανικά οξέα, g/L	4,88 ± 2,41	3,21 ± 1,23
Ολικές φαινολικές ενώσεις, g/L	17,15 ± 4,55	10,65 ± 4,08

Φαινολικά οξέα, g/L	0,48 ± 0,18	0,28 ± 0,1
Ταννίνες, g/L	6,74 ± 2,94	4,01 ± 1,54
Πηκτίνες, g/L	3,25 ± 1,42	2,15 ± 0,76
Κάλιο υπό μορφή K ₂ O, g/L	3,77 ± 0,39	2,37 ± 0,21
Νάτριο υπό μορφή Na ₂ O, mg/L	405,81 ± 95,30	243 ± 62
Ασβέστιο υπό μορφή CaO, mg/L	382,11 ± 51,40	271 ± 34
Σίδηρος υπό μορφή FeO, mg/L	48,32 ± 7,64	32 ± 5
Μαγνήσιο υπό μορφή MgO, mg/L	74,00 ± 17,29	50 ± 9
Πυρίτιο υπό μορφή SiO ₂ , mg/L	28,62 ± 4,40	18 ± 4
Ολικό θείο, mg/L	101,43 ± 14,27	63 ± 12
Ολικό χλώριο, mg/L	219,48 ± 43,21	124 ± 23
Μαγγάνιο, mg/L	18,24 ± 2,02	12 ± 2
Ψευδάργυρος, mg/L	19,68 ± 3,89	12 ± 3
Χαλκός, mg/L	10,50 ± 1,34	6 ± 1

1.2.4. Συμπεράσματα για την ποιοτική σύσταση των αποβλήτων

Ο κασίγαρος χαρακτηρίζεται ως ένα υγρό σκούρου χρώματος, θολό, χαρακτηριστικής οσμής, πλούσιο σε οργανικά και ανόργανα υλικά, διαλυμένα στην υδάτινη φάση. Επιπλέον περιέχει κολλοειδή υλικά, πηκτίνες, ταννίνες, σάκχαρα, οργανικά οξέα, ανόργανα άλατα και υπολείμματα μαλακών φυτικών ιστών του ελαιοπολτού, που του προσδίδουν τη μορφή γαλακτώματος.

Το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων αποτελείται από νερό. Το ποσοτικά σημαντικότερο μέρος του οργανικού κλάσματος καταλαμβάνουν τα σάκχαρα, με κυριότερα τη γλυκόζη, φρουκτόζη, μαννόζη, γαλακτόζη, ξυλόζη και αραβινόζη. Το περιεχόμενο σάκχαρο είναι αυτό που καθιστά τον κασίγαρο πλούσιο θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Χαμηλή είναι η περιεκτικότητα σε άζωτο, ενώ μικρό ποσοστό μόνο είναι πρωτεϊνικής φύσεως. Περιέχονται επίσης αμμωνιακό, νιτρικό και άλλης φύσης οργανικό άζωτο. Μεγάλο ποιοτικό ενδιαφέρον, αν και ποσοτικά υποδεέστερο, παρουσιάζουν τα οργανικά οξέα όπως οξικό, οξαλικό, φουμαρικό, γλυκερικό, μαλονικό, γαλακτικό, μαλικό, τρυγικό και κιτρικό, καθώς και οι πολυφαινόλες εφόσον προσδίδουν χαρακτηριστική υψηλή τοξικότητα. Η φυτοτοξική δράση των υγρών αποβλήτων δεν είναι εξειδικευμένη, ενώ είναι ιδιαίτερα βλαβερή για φυτά με επιφανειακό ριζικό σύστημα, καθώς και φυτά που βρίσκονται σε βλαστητική φάση. Εξίσου σημαντικές είναι οι πολυαλκοόλες, όπως η γλυκερίνη και η μανιλόζη, λιπαρές ουσίες καθώς και ίχνη γλυκοζιδίων και ελαιοκυανίνης (Vlyssides et.al. 1998).

Τέλος, το κλάσμα των ανόργανων αλάτων περιλαμβάνει κυρίως άλατα του K, ακόμα φωσφορικά άλατα του Ca και σε μικρά ποσοστά άλατα Na και Mg, χλωριούχα και θειικά καθώς και ίχνη βαρέων μετάλλων. Τα K, Mg, P παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, εφόσον συνιστούν πολύτιμα λιπαντικά στοιχεία (Paredes, 1999, Otlés and Selek, 2012).

Συγκριτικά με το το BOD₅ των αστικών λυμάτων το οποίο είναι 300-400 ppm τα απόβλητα των ελαιουργείων είναι ιδιαίτερος βεβαρημένα όταν το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο αγγίζει υψηλές τιμές όπως (40.000-80.000 ppm) (Vlyssides, et.al 2002,2003). Η επικινδυνότητα των συγκεκριμένων αποβλήτων δεν χαρακτηρίζεται μόνο από το υψηλό BOD₅ αλλά και από άλλους παράγοντες όπως το πολύ υψηλό COD, τα πολλά αιωρούμενα στερεά ενώ το pH προσεγγίζει όξινες τιμές (4-6). Πα-

ρουσιάζουν μεγάλη τοξικότητα για τα φυτά και τους υδρόβιους οργανισμούς, η οποία οφείλεται σε συστατικά από φαινολικές ενώσεις, οργανικά οξέα, ταννίνες κ.λ.π, ενώ παρατηρούμε και υψηλό βαθμό αγωγιμότητας (8-23 mhos/cm). Άξια αναφοράς είναι και η ικανοποιητική περιεκτικότητα σε χρωστικές (2-3 Kg/m³), που αποτελούν ένα πολύτιμο σχετικά εμπορικό προϊόν, αλλά και ίσως το πιο δύσκολα αποικοδομούμενο και απομακρυνόμενο συστατικό των αποβλήτων (Vlyssides, et.al.1999).

Τα ελαιουργικά απόβλητα κατατάσσονται στην κατηγορία των πιο βεβαρημένων με το υψηλότερο ρυπαντικό φορτίο λόγω:

- Της περιεκτικότητας σε οργανικές ουσίες των οποίων η αποικοδόμηση απαιτεί μεγάλες ποσότητες οξυγόνου έχοντας σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της συγκέντρωσής του στα νερά και την προβληματική συνέχιση της ζωής των υδρόβιων οργανισμών.
- Του χαμηλού pH το οποίο διευκολύνει τη διάβρωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και τη διείδυση των αποβλήτων στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.
- Της υψηλής περιεκτικότητάς του σε χρωστικές που δύσκολα βιοαποικοδομούνται.
- Των πτητικά οργανικών οξέων και στις φαινόλες, ουσίες γνωστές για την φυτοτοξικότητά τους.

1.3 Μέθοδοι Επεξεργασίας και Αξιοποίησης Υγρών Αποβλήτων Ελαιουργείου

1.3.1 Διάθεση των αποβλήτων ελαιουργείου

Η παραγωγή του ελαιόλαδου, ενός καθόλα χρήσιμου και υψηλής αξίας προϊόντος, παρουσιάζει όπως είναι φυσικό ολοένα μεγαλύτερη άνθηση κυρίως μάλιστα στις χώρες της Μεσογείου. Ο γιγαντισμός της βιομηχανίας παραγωγής ελαιόλαδου, ωστόσο, επέφερε την αναπόφευκτη συμβολή στην καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος. Έτσι, τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων (γνωστά και σαν απόνερα, λιόζουμα, κατσίγαροι κ.λ.π), λόγω της φυσικής τους σύνθεσης αλλά κυρίως λόγω της αυξανόμενης ποσότητας και ανεξέλεγκτης διάθεσής τους, άρχισαν να επιβαρύνουν το φυσικό περιβάλλον με συνεχώς αυξανόμενη ένταση και σε καθημερινά μεγαλύτερη έκταση. Βασικοί αποδέκτες της μόλυνσης που προκαλούν τα απόβλητα των ελαιουργείων στο φυσικό περιβάλλον είναι:

α) Το υδάτινο περιβάλλον: όπου συγκαταλλέγονται κυρίως οι χείμαρροι (58,3%) και σπανιότερα



άλλα ποτάμια ή ρυάκια (5,3%) ή και λίμνες (0,038%), αποτελούν τους άμεσους αποδέκτες ενώ τα υπόγεια νερά και η θάλασσα είναι οι τελικοί αποδέκτες στις περισσότερες περιπτώσεις. Στο υδάτινο περιβάλλον, τα απόβλητα, με τα σάκχαρα τους, συντελούν στην ανάπτυξη μεγάλου αριθμού μικροοργανισμών, οι οποίοι καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου. Το σχηματιζόμενο γαλάκτωμα στην επιφάνεια των νερών εμποδίζει την οξυγόνωσή τους και τα ιζήματα εντείνουν τις ασφυκτικές συνθήκες για τα υδρόβια ζώα και ψάρια. Ακόμα, οι μικροοργανισμοί παράγουν τοξικές ουσίες (φαινόλες), καθίστανται έτσι παθογόνοι για υδρόβια ζώα και ανθρώπους (θάνατος ψαριών στον Καρτερό Κρήτης).

β) Το έδαφος: ακάλυπτο ή καλυμμένο με διάφορες φυτείες αποτελεί τον δεύτερο από πλευράς συχνότητας αποδέκτη αποβλήτων (19,8%). Στην περίπτωση αυτή είναι πιθανή (λόγω ύπαρξης πολυφαινολών και λιπαρών οξέων), είτε η πρόκληση φυτοτοξικότητας σε διάφορα είδη φυτών που βρίσκονται σε βλαστική δραστηριότητα, είτε η μόλυνση του υδάτινου περιβάλλοντος, επιφανειακού και υπογείου, με διήθηση. Καθοριστικά για την κατάληξη των τοξικών και ρυπαντικών συστατικών σε ρυάκια, λίμνες, υπόγειους υδροφορείς, ακόμα και στη θάλασσα, είναι το ανάγλυφο και η υδατοπερατότητα του εδάφους. Συχνά αναφέρονται ορατές ρυπάνσεις πηγών, γεωτρήσεων, αρδευτικών δικτύων κ.α.

γ) Οι χώνες: αποτελούν το σπανιότερο είδος αποδέκτη, οι οποίες είναι ειδικές κοιλότητες αγνώστου μεγέθους και σχήματος που σχηματίζονται μέσα στα ασβεστολιθικά πετρώματα, απ' όπου σχεδόν πάντοτε τα απόβλητα οδηγούνται σε υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

Παρά το γεγονός ότι πραγματοποιούνται προσπάθειες από όλες σχεδόν τις ελαιοπαραγωγικές χώρες για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων από τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων στο περιβάλλον, χαρακτηρίζονται σε μεγάλο βαθμό περιστασιακές, μεμονωμένες και ασυντόνιστες. Έτσι, όποια συμπεράσματα έχουν προκύψει, πολλά από τα οποία είναι πράγματι αξιόλογα, εκφράζουν μονομερή αντιμετώπιση. Αλλά και αυτά δεν έχουν αξιοποιηθεί, ώστε να οδηγήσουν σε κάποιες εφαρμόσιμες και ορθολογικές λύσεις των προβλημάτων αυτών. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την ανεπάρκεια της νομοθεσίας, έχει οδηγήσει στο οξύτατο πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος από

τα απόβλητα των ελαιουργείων. Ενδεικτικό της κατάστασης που επικρατεί είναι ότι σε όλες τις μεσογειακές χώρες:

- Ο τριπλασιασμός της παραγωγής ελαιόλαδου τα τελευταία 35 χρόνια οδήγησε στην παράλληλη αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων
- Η μη εφαρμογή της αποτελεσματικής μεθόδου επεξεργασίας τους που να λύνει αποτελεσματικά το πρόβλημα μέσα στις οικονομικές δυνατότητες των ελαιουργείων
- Καθίσταται προβληματική η συνολική και εφαρμόσιμη νομοθετική ρύθμιση του θέματος τόσο για τη διάθεσή τους όσο και για τον καθορισμό των "ανεκτικών ορίων" των ρύπων
- Οι μειωμένες βροχοπτώσεις των προηγούμενων ετών επιδείνωσαν τη ρύπανση των χειμάρρων που κατά κανόνα δέχονται τα απόβλητα των περισσότερων ελαιουργείων
- Τα φυγοκεντρικού τύπου ελαιουργεία διαδίδονται ευρύτατα, με παράλληλη αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων ανά μονάδα βάρους επεξεργαζόμενου ελαιόκαρπου
- Όλα σχεδόν τα ελαιουργεία ρίχνουν τα απόβλητά τους, χωρίς έστω στοιχειώδη επεξεργασία, στην πλησιέστερη θάλασσα, λίμνη, ποταμό, ή χείμαρρο

Τόσο το εντεινόμενο οικολογικό πρόβλημα, όσο και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης στη γεωργία των στερεών υπολειμμάτων και υγρών αποβλήτων του ελαιουργείου, επιβάλλουν την εξεύρεση και εφαρμογή λύσεων. Έτσι όχι μόνο θα περιοριστεί η ρύπανση, αλλά θα εξοικονομηθεί πιθανόν και ενέργεια.

1.3.2 Ερευνητικές προσπάθειες επεξεργασίας των αποβλήτων

Το πρόβλημα κατεργασίας και αξιοποίησης υγρών αποβλήτων ελαιουργείων έγινε προσπάθεια να αντιμετωπιστεί με διάφορες μεθόδους, άλλες περισσότερο και άλλες λιγότερο αποδοτικές. Όπως είναι φυσικό, οι Μεσογειακές χώρες είναι αυτές από τις οποίες μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες γύρω από την επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείου, λόγω της παραγωγής τους σε ελιές και ελαιόλαδο. Ταυτόχρονα παρά το γεγονός ότι δεν διαθέτουν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη τεχνολογία επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών, είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν το ειδικό αυτό πρόβλημα με μεθόδους οι οποίες είτε βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο είτε είναι αποδοτικότερες και βρίσκονται σε εξέλιξη.

Στις παρακάτω παραγράφους γίνεται μια περιγραφή των σπουδαιότερων ερευνητικών προσπαθειών που έχουν καταγραφεί, είτε σε επίπεδο εργαστηριακό, είτε σε επίπεδο πιλοτικής μονάδας (pilot plant). Οι συγκεκριμένες προσπάθειες που παρουσιάζονται και συζητούνται στις επόμενες ενότητες έχουν επιλεγεί για τη σημασία τους και την αντιπροσωπευτικότητά τους, όσον αφορά την πλήρη κάλυψη των εναλλακτικών τεχνολογιών διαχείρισης των αποβλήτων ελαιουργείων.

1.3.2.1. Απλές μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων ελαιουργείου

(φυσικές – φυσικοχημικές)

Στις παρακάτω ενότητες εξετάζονται μερικές μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων, οι οποίες είναι από τις πλέον συνηθισμένες, απλές και μέτριας αποδοτικότητας μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου.

1.3.2.1.1. Σηπτικές δεξαμενές (απορροφητικοί βόθροι)

Η παραδοσιακή αυτή μέθοδος πιθανά αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο επεξεργασίας αποβλήτων ελαιοτριβείων στην Ελλάδα. Αρχικά τα απόβλητα τοποθετούνται σε μια δεξαμενή η οποία λειτουργεί σαν λιποσυλλέκτης και δεξαμενή καθίζησης (η χρήση της οποίας θεωρείται προαιρετική). Στη συνέχεια πραγματοποιείται ζύμωση μέσα σε υπόγειες σηπτικές (δηλαδή αναερόβιες) δεξαμενές. Στην είσοδο και την έξοδο της δεξαμενής τοποθετούνται ειδικοί σωλήνες σχήματος ταφ και τα λύματα ρέουν βραδέως και ομοιόμορφα σε όλο της το μήκος. Ο πυθμένας και τα τοιχώματα της δεξαμενής κατασκευάζονται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα, επιχρίονται με ισχυρή τσιμεντοκονία και είναι απόλυτα υδατοστεγή. Πολλές φορές προστίθεται ασβέστης μέσα στη δεξαμενή, για την καλύτερη εξουδετέρωση της οξύτητας των αποβλήτων αλλά και την ταυτόχρονη αύξηση της ιζηματοποίησης του υλικού.

Υπάρχει ένα προαιρετικό βήμα το οποίο περιλαμβάνει την περαιτέρω επεξεργασία σε απορροφητικό υγρό. Η απορροφητική επιφάνεια των βόθρων εξαρτάται κυρίως από την απορροφητική ικανότητα του εδάφους. Η απόσταση μεταξύ των απορροφητικών βόθρων λαμβάνεται ίση προς το τριπλάσιο της διαμέτρου τους. Η τελική διάθεση πραγματοποιείται σε φυσικούς αποδέκτες όπως ρυάκια και χείμαρροι.

Γενικότερα, η παραπάνω μέθοδος δεν συνιστάται για την οριστική αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων από την διάθεση των αποβλήτων στο περιβάλλον, διότι η εφαρμογή της έχει ως αποτέλεσμα την ποιοτική βελτίωση μέρους της ποσότητας των αποβλήτων. Επιπλέον πρόβλημα το οποίο δημιουργείται είναι ότι το άδεισμα της δεξαμενής πραγματοποιείται με βυτίο του οποίου η εκκένωσή του θα μεταφέρει τη ρύπανση σε κάποια άλλη περιοχή. Όσον αφορά τους απορροφητικούς βόθρους, αυτοί, εξαιτίας της λιπαρότητας των ελαιουργικών αποβλήτων, χάνουν πολύ γρήγορα την απορροφητικότητά τους και ουσιαστικά μετατρέπονται σε σηπτικές δεξαμενές με τα προβλήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Επίσης με τους απορροφητικούς βόθρους, εάν γίνουν σε ασβεστολιθικά εδάφη με μεγάλες ρωγμές, κινδυνεύει να ρυπανθεί ο υπόγειος υδάτινος ορίζοντας.



Εικόνα 1.4. Συλλογή κασιόγρου σε ανοικτές δεξαμενές (εξατμισιοδεξαμενές)

1.3.2.1.2. Καθίζηση με απλή φυσικοχημική επεξεργασία

Η μέθοδος αυτή αποτελεί κυρίως τμήμα της υπεδάφιας διάθεσης με βόθρο, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν αυτοτελής μέθοδος. Η φυσικοχημική επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείου αφορά την προσθήκη αλκαλικών διαλυμάτων π.χ. βάσεων όπως $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και KOH .

Η απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού αντιστοιχεί στη δυνατότητα αφαίρεσης, με πρακτικά αποδεκτές διεργασίες για διαχωρισμό στερεάς-υγρής φάσης, του αιωρούμενου υλικού και του κολλοειδούς υλικού που συσσωματώνονται σε θρόμβους μετά από ιζηματοποίηση. Για καλή ιζηματοποίηση με υδροξείδιο του ασβεστίου απαιτείται κατάλληλη δόση για ανύψωση του pH πάνω από 10,6. Αποτέλεσμα της καλής ιζηματοποίησης είναι το αρχικό πήξιμο του συνολικού όγκου των αποβλήτων. Διαχωρισμός του πηγματος αυτού με καθίζηση οδηγεί σε μια φάση ιλύος και σε μια φάση διαυγασμένου υπερκείμενου υγρού. Ο όγκος της ιλύος όμως είναι μεγαλύτερος από τον όγκο του υπερκείμενου υγρού και μετά από καθίζηση 24 h αναφέρονται όγκοι ιλύος 60-80% του όγκου των αποβλήτων. Υπάρχουν λοιπόν σημαντικά προβλήματα διαχείρισης της ιλύος που προκύπτει κατά τη φυσικοχημική επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείου με υδροξείδιο του ασβεστίου.

Το κύριο μέρος της διάταξης για την φυσικοχημική επεξεργασία είναι ένα δοχείο 200 L στο οποίο παρασκευάζεται γαλάκτωμα υδροξειδίου του ασβεστίου περιεκτικότητας 5% σε στερεά. Το συγκεκριμένο δοχείο είναι εξοπλισμένο με σύστημα ανάδευσης βαρέος τύπου κατάλληλου για πυκνόρρευστα υγρά και η εκροή από αυτό γίνεται με κατάλληλη σωλήνωση στον πυθμένα του ενώ η παροχή ρυθμίζεται με κατάλληλο άνοιγμα μιας βάνας. Το τμήμα ταχείας ανάδευσης αποτελείται από ένα δοχείο 200 L το οποίο είναι εξοπλισμένο με αναδευτήρα ρυθμιζόμενων στροφών. Η παροχέτευση των αποβλήτων στο δοχείο ταχείας ανάμιξης εξασφαλίζεται με περισταλτική αντλία ενώ η τροφοδότηση

από το δοχείο ταχείας ανάμιξης προς τη δεξαμενή βραδείας ανάμιξης γίνεται με βαρύτητα. Η δεξαμενή βραδείας ανάμιξης φέρει διάταξη ανάδευσης με 4 πτερύγια και δυνατότητα ρύθμισης των στροφών. Η είσοδος του θρομβωμένου μικτού υγρού από τη δεξαμενή βραδείας ανάμιξης στη δεξαμενή καθίζησης γίνεται από κατάλληλο άνοιγμα που βρίσκεται στο διαχωριστικό τοίχωμα των δύο δεξαμενών.

Η δόση υδροξειδίου του ασβεστίου που πρέπει να χρησιμοποιηθεί είναι 4,2-4,9 g Ca(OH)₂/ lt φρέσκων αποβλήτων. Το pH του μικτού υγρού κατά την βραδεία ανάμιξη είναι στην περιοχή 10,7-11,0. Η βραδεία ανάμιξη γίνεται επί 30-45 min με ταχύτητα περιστροφής της διάταξης με τα πτερύγια 40-45 rpm. Ο χρόνος παραμονής του μικτού υγρού στη δεξαμενή καθίζησης είναι περίπου 8-12 h. Το ύψος του υπερκείμενου διαυγασμένου κλάσματος στο τέλος της καθίζησης είναι 30-40% του συνολικού ύψους της στήλης υγρού στη δεξαμενή καθίζησης. Η ισχύς του υπερκείμενου υγρού σε όρους COD είναι 34-42 g/L και η απόδοση της φυσικοχημικής επεξεργασίας, όταν σαν επεξεργασμένη εκροή θεωρείται το διαυγασμένο υπερκείμενο υγρό, είναι στην περιοχή 31-39%.

Ο μεγάλος σχετικά όγκος του κλάσματος της ιλύος μετά από απλή καθίζηση είναι ο κυριότερος λόγος για τον οποίο δεν λειτουργούν αποδοτικά οι εγκαταστάσεις φυσικοχημικής επεξεργασίας με υδροξείδιο του ασβεστίου. Είναι φανερό ότι για αποδοτική λειτουργία απαιτείται αντίστοιχη πρόβλεψη για τη διαχείριση των πολύ μεγάλων όγκων ιλύος που παράγονται, σε σχέση με τον όγκο των αποβλήτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία.

- Ένα δεύτερο σενάριο διαχείρισης της ιλύος είναι η αφυδάτωσή της μέχρι τελικής περιεκτικότητας σε στερεά στην περιοχή 20%, οπότε ο όγκος της θα μειωνόταν στην περιοχή 10-15% του όγκου των αποβλήτων και θα ήταν δυνατή η αποθήκευσή της, καθώς και η μεταφορά της με μέσα μεταφοράς στερεόμορφων υλικών για τελική αξιοποίηση ή διάθεση. Συγκεκριμένα η μερική αφυδάτωση του πήγματος θρόμβων της δεξαμενής βραδείας ανάμιξης μπορεί να γίνει με παροχέτευση του μίγματος σε τσαντίλες στράγγισης τυριού. Μετά από στράγγιση 12 h, ο όγκος των στερεών που μπορεί να κατακρατήσει κάθε τσαντίλα ανέρχεται περίπου στο 10-16% του συνολικού όγκου των αποβλήτων. Η αφυδατωμένη αυτή ιλύς μπορεί να υποβληθεί σε ξήρανση και εκχύλιση κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο που γίνεται η ξήρανση του ελαιοπυρήνα και η εκχύλισή του για παραλαβή πυρηνέλαιου. Έχει μάλιστα υπολογισθεί απόδοση σε πυρηνέλαιο ίση με 10% περίπου. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι η αφυδατωμένη ιλύς έχει οικονομική αξία και το θέμα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης για την οικονομική σκοπιμότητα ενός τέτοιου σεναρίου επαναχρησιμοποίησης (Schumann, et.al.1993).

- Ένα δεύτερο σενάριο διαχείρισης είναι η μερική πύκνωση της ιλύος σε κατάλληλης διατάξεις πύκνωσης μέχρι τελικής περιεκτικότητας σε στερεά στην περιοχή 5-8% και η αναερόβια επεξεργασία της μαζί με την περίσσεια ιλύ από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, είτε η αναερόβια επεξεργασία της εκτός ελαιοκομικής περιόδου σε αναερόβιους αντιδραστήρες οι οποίοι επεξεργάζονται κατά τη διάρκεια της ελαιοκομικής περιόδου το υπερκείμενο υγρό από τη φυσικοχημική προεπεξεργασία. Συγκεκριμένα, αν το κλάσμα ιλύος από τη δεξαμενή καθίζησης τροφοδοτηθεί επί 20 συνεχείς ημέρες σε μια δεξαμενή πάχυνσης από το ένα της μέρος και από το άλλο της άκρο παραλειφθεί το υπερκείμενο υγρό, αυτό έχει μικρή σχετικά περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά (1,5-3,6 g/L). Αφού

η μερικά συμπυκνωμένη ιλύς παραμένει επί 6 μήνες στη δεξαμενή πάχυνσης, κατόπιν αρχίζει η τροφοδοσία του αναερόβιου αντιδραστήρα. Η τροφοδότηση γίνεται εκτός ελαιοκομικής περιόδου και διαρκεί περίπου 80 ημέρες και δεν παρουσιάζει προβλήματα από την τροφοδότηση της ιλύος αλλά αντίθετα ο αντιδραστήρας βρίσκεται σε κατάσταση ενεργού χώνευσης εκτός ελαιοκομικής περιόδου για να δεχθεί με μικρότερα προβλήματα αρχικής εκκίνησης τα απόβλητα της επόμενης ελαιοκομικής περιόδου (Sharma, et.al 1997).

1.3.2.1.3. Εφαρμογή στο έδαφος

Για την απλή αυτή μέθοδο διάθεσης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων υπάρχει σημαντική ερευνητική εμπειρία στην Ελλάδα. Συνοπτικά αναφέρεται ότι η μέθοδος συνίσταται στην ελεγχόμενη διαδοχική εφαρμογή του κατσίγαρου σε χέρσο έδαφος, υπό αερόβιες συνθήκες η οποία οδηγεί στον εμπλουτισμό του εδάφους με αζωτοδεσμευτικούς αλλά και βακτηριακούς πληθυσμούς, η δράση των οποίων προσδίδει στο έδαφος την ικανότητα δέσμευσης μοριακού αζώτου δαπανώντας το οργανικό φορτίο του κατσίγαρου. Παράλληλα πραγματοποιείται παραγωγή εδαφο-σταθεροποιητικών πολυμερών χάρις στα οποία βελτιώνεται εντυπωσιακά η δομή του εδάφους. Το έδαφος καθίσταται επισχετικό (suppressive) έναντι εδαφογενών μυκήτων του ριζικού συστήματος και τέλος αποδομούνται σταδιακά τα φυτοτοξικά συστατικά του κατσίγαρου.

Η κατ' επανάληψη εφαρμογή κατσίγαρου στο έδαφος συνοδεύεται από τους ενδεδειγμένους χειρισμούς και έχει σαν συνέπεια την προοδευτική βελτίωση των φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

Η σε πρώτη φάση ελκυστική εικόνα που εμφανίζει η συγκεκριμένη μέθοδος, έχει μειονεκτήματα εάν σκεφτούμε ότι χρειάζεται κατάλληλος και σχετικά μεγάλος χώρος, καθώς και ότι η διάθεση πρέπει να γίνεται μακριά από κατοικημένες περιοχές αφού οι οσμές από τις σήψεις και οι ίδιες σηπτικές εγκαταστάσεις είναι απόλυτα σίγουρο ότι θα ενοχλήσουν τους περίοικους και τη δημόσια υγεία. Σε συνδυασμό με την πιθανότητα μόλυνσης του υπεδάφους και ίσως και των υδροφόρων οριζόντων, είναι απαραίτητη περισσότερη διερεύνηση και αυστηρή προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες.

1.3.2.1.4. Άρδευση ελαιώνων ή χωραφιών

Πολλές μελέτες έχουν γίνει για τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των αποβλήτων στη λίπανση καλλιεργειών, επειδή ακριβώς η περιεκτικότητά τους σε λιπαντικά στοιχεία είναι αξιόλογη. Η υψηλή περιεκτικότητα σε K καθώς και η σημαντική παρουσία N, P και Mg καθιστούν το υλικό αυτό πολύ καλό λίπασμα. Επιπλέον το υψηλό ποσοστό σε οργανικό υλικό ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών εδάφους, οι οποίοι βελτιώνουν τις φυσικοχημικές του ιδιότητες και αυξάνουν την ικανότητα κατακράτησης νερού και ανόργανων στοιχείων (Nicolardot, et.al.1986).

Τα χαμηλά επίπεδα pH (3-6) καθιστούν τα λιάζουμα ακατάλληλα για χρήση χωρίς την προεπεξεργασία τους. Συγκεκριμένα η άρδευση μπορεί να γίνει απ' ευθείας σε αλκαλικά και ασβεστολιθικά εδάφη ή να προηγηθεί εξουδετέρωση των αποβλήτων (με ασβέστη κόστους κάτω του 2-3% επί του παραγόμενου λαδιού), που έχει σαν αποτέλεσμα και τη μερική καθίζηση των στερεών των αποβλήτων

που η συλλογή τους θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτη ύλη μεθόδων αξιοποίησης των αποβλήτων .

Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί, με διάφορες παραλλαγές, στην Ισπανία, Γαλλία και Ιταλία, χώρες δηλαδή που έχουν έντονο πρόβλημα νερού. Η ισπανική μέθοδος περιλαμβάνει την απομάκρυνση των υπολειμμάτων λαδιού και άλλων αιωρούμενων με φυγοκέντριση. Ακολουθεί εξουδετέρωση των φυγοκεντρισμένων αποβλήτων με διάλυμα 0,2% CaO (που έχει pH μεγαλύτερο του 7). Τα εξουδετερωμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται για την άρδευση καλλιεργειών αραποσιτιού (1,27 L/m²), σιταριού (1,16 L/m²) και ελιάς (100 με 150 L/δένδρο).

Σε αντίθεση με την Ισπανία, στην Γαλλία και Ιταλία η αραιώση των αποβλήτων γίνεται με νερό. Σύμφωνα με βιβλιογραφία η άρδευση αλκαλικών και ασβεστούχων εδαφών μπορεί να πραγματοποιηθεί με αραιώση 1 μέρους αποβλήτων με 9 μέρη νερού. Υπάρχει δυνατότητα άρδευσης ελαιώνων με τα αραιωμένα απόβλητα. Εναλλακτικά, σε περίπτωση που πρόκειται να γίνει άρδευση γεωργικών εκτάσεων με τα αραιωμένα απόβλητα, η άρδευση πρέπει να γίνει τουλάχιστο 45 μέρες πριν από την σπορά ώστε να υπάρχει αρκετό διάστημα για την αποικοδόμηση των φυτοτοξικών συστατικών.

Γενικά διακρίνονται τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της άρδευσης:

Πλεονεκτήματα:

– Χάρη στην υψηλή λιπαντική αξία των αποβλήτων, τα κέρδη του εδάφους σε λιπαντικά στοιχεία είναι αξιόλογα: 5-5,6 Kg οργανικού αζώτου, 6,5-20 Kg φωσφόρου (σε μορφή P₂O₅) και 35-100 Kg καλίου (σε μορφή K₂O) ανά στρέμμα αρδευόμενης γης.

– Στην περίπτωση ασβεστολιθικών εδαφών, η άρδευση με τα όξινα απόβλητα ελαιοτριβείων θα έχει καλή υποδοχή από το αλκαλικό έδαφος.

Μειονεκτήματα:

– Συνήθως, υπάρχει σημαντική αντίσταση του κοινού στη χρήση (έστω και επεξεργασμένων) υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων για άρδευση.

– Η μέθοδος απαιτεί μεγάλες εκτάσεις για την διάθεση αποβλήτων, δεδομένου ότι η μέγιστη ποσότητα αποβλήτων είναι μόνο 10 m³ ανά στρέμμα (για απόνερα φυγοκεντρικών ελαιοτριβείων).

– Η υψηλή αλατότητα (8-18 mmhos/cm) οδηγεί σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος, ενώ και η περιεκτικότητα σε πολυφαινολικές ενώσεις προκαλεί τον κίνδυνο της μόλυνσης του γεωργικού εδάφους από φυτοτοξικές ουσίες, ειδικά όταν δεν τηρηθεί το απαιτούμενο διάστημα των 45 ημερών μεταξύ τελευταίας άρδευσης και σποράς.

– Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών στους οποίους συνήθως προκύπτουν τα απόβλητα, οι απαιτήσεις των φυτών σε νερό είναι εξαιρετικά χαμηλές.

– Η άρδευση του εδάφους δεν πρέπει να επαναλαμβάνεται για περισσότερο από 2 χρόνια και η εφαρμογή πρέπει να γίνεται στο ενδιάμεσο των σειρών των δέντρων.

Η μέθοδος αυτή προτείνεται από διάφορους ερευνητές και υπηρεσίες και έχει ερευνηθεί σε βάθος κυρίως στη Γαλλία δίνοντας πολύ καλά πειραματικά αποτελέσματα. Σαν μια πρώτη ή μια προσωρινή

λύση διάθεσης των λιόζουμων η άρδευση θεωρείται κατάλληλη, στη χειμερινή ανάπαυση των ελαιώνων και με δόσεις μέχρι 10 m³ ανά στρέμμα (Narri, Barberis, 1993). Ωστόσο, πολύ πιο ευνοϊκό θα ήταν να αρδεύσουμε τα λιόζουμα όπως και άλλα λύματα μετά την απορρύπανση τους από το βιολογικό τους φορτίο με ταυτόχρονη παραγωγή π.χ. του χρήσιμου μεθανίου.

Γενικά είναι σχεδόν βέβαιο ότι μια άρδευση λιόζουμων σε ελαιώνες μετά από τους πρώτους δισταγμούς των ελαιοπαραγωγών και αναγνωριζόμενης της λιπασματικής της απόδοσης θα τύχει ευμενούς αποδοχής. Η τοξικότητα απαλείφεται με τον περιορισμό των ποσοτήτων, ενώ πολλοί γεωργοί έχουν παρατηρήσει ότι και τα χημικά λιπάσματα σε μεγάλες δόσεις "καίνε" τα φυτά. Σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος, η άρδευση καθίσταται ιδιαίτερα ελκυστική λύση.

1.3.2.1.5. Αποτέφρωση

Η μέθοδος της αποτέφρωσης έχει αναπτυχθεί και δοκιμαστεί στην Ιταλία. Αρχικά εισάγονται τα υγρά απόβλητα υπό πίεση 7 με 8 atm, με τη μορφή νέφους, σε ειδικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης. Στον αποτεφρωτήρα αναπτύσσεται θερμοκρασία η οποία φτάνει ακόμα και τους 1.000 °C με την καύση μίγματος βενζίνης-αέρα ή πετρελαίου ή μεθανίου. Στη συνέχεια αφαιρείται η παραγόμενη τέφρα (2 % της μάζας των υγρών αποβλήτων) από κωνικές θυρίδες που βρίσκονται στο κάτω μέρος του χώρου καύσεως. Τα καυσαέρια αφού υποβληθούν σε συμπληρωματική καύση, αποβάλλονται μέσω καπνοδόχου στην ατμόσφαιρα (με γραμμική ταχύτητα 4 m/sec). Η τοποθέτηση ειδικού φίλτρου καθίσταται απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και κατ' επέκταση για τη συγκράτηση των εκπεμπόμενων λεπτών σωματιδίων τέφρας.

Δυστυχώς η συγκεκριμένη μέθοδος καθίσταται απαγορευτική λόγω του ότι χαρακτηρίζεται ενεργοβόρος (σε τιμές του 1983, οι απαιτήσεις σε καύσιμα ανέρχονται σε 93 Kg βενζίνης ή 97 Kg πετρελαίου ή 109 m³ μεθανίου), ενώ παράλληλα θεωρείται και δαπανηρή. Ένα επιπλέον μειονέκτημα είναι η δημιουργία των προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά τη διάρκεια της αποτέφρωσης. Όπως προαναφερθηκε για το λόγο αυτό απαιτείται η τοποθέτηση ειδικού φίλτρου.

1.3.2.1.6. Συμπύκνωση

Η μέθοδος αυτή έχει προταθεί από Σουηδούς ερευνητές για την αντιμετώπιση προβλημάτων επεξεργασίας ανάλογων προβλημάτων σε συγκεντρωμένα ελαιουργεία στο SFAX της Τυνησίας, παράλληλα έχει δοκιμαστεί και στην Ισπανία. Τονίζεται ότι σημαντική αυτογνωσία έχει αναπτυχθεί και στην Ελλάδα (συμπύκνωση δια λιμνάσεως), όπως θα αναφερθούμε διεξοδικά παρακάτω.

Η συμπύκνωση συνίσταται στην απομάκρυνση του εμπεριεχόμενου στα απόβλητα νερού είτε με φυσικές μεθόδους είτε με τεχνικούς. Οι φυσικές μέθοδοι βασίζονται στη φυσική εξάτμιση μέσα σε αβαθείς δεξαμενές (λίμνες), οι οποίες είναι στεγανοποιημένες ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση των υπόγειων υδάτων, σε περίπτωση υδατοπερατών γεωλογικών υποστρωμάτων (Roletto, 1985). Τεχνικές μέθοδοι, που περιλαμβάνουν την απόσταξη με βρασμό των ελαιοζουμιών.

Με την μεθοδο της συμπύκνωσης τα απόβλητα οδηγούνται σε υδατοστεγείς ανοιχτές λεκάνες βάθους 1,2-1,5 m στις οποίες και παραμένουν για 3,5 μήνες για την αποτελεσματικότερη μείωση του BOD₅. Ένα σημαντικό βήμα αποτελεί η προσθήκη ασβέστη ο οποίος οδηγεί στην διευκόλυνση της

κατακρήμνισης των στερεών συνιστωσών των αποβλήτων. Τονίζεται επίσης ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών αυτών είναι έτσι επιλεγμένα ώστε να εκμεταλλεύονται με βέλτιστο τρόπο τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες και να επιταχύνουν τον ρυθμό εξάτμισης.

Η υψηλή περιεκτικότητα του ιζήματος που προκύπτει από την συγκεκριμένη διαδικασία, σε Κ και Ρ, το καθιστά ικανό για την κατ'ευθείαν εναπόθεσή του ως λίπασμα. Επιπλέον πλεονέκτημα του παραγόμενου ιζήματος είναι η μετατροπή του σε βελτιωτικό εδάφους ύστερα από αερόβια μικροβιακή ζύμωση, μόνο του ή με άλλα αγροτικά υπολείμματα (composting).

Σε άλλες συνθήκες μπορεί να προκύψει ένα ομογενές προϊόν, το οποίο να χρησιμοποιηθεί σαν στερεό καύσιμο με υψηλό θερμαντικό δυναμικό λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε έλαιο και οργανικές ουσίες. Επιπρόσθετα με κατάλληλη οργάνωση της διάταξης και ελέγχου των παραμέτρων μπορεί να επανακτηθεί το ελαιόλαδο σε ποσοστό 0,1-0,3% καθώς επίσης και μεγάλο ποσοστό του νερού, το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στο ελαιουργείο.

1.3.2.1.7. Συμπύκνωση δια λιμνάσεως

Για την εφαρμογή της μεθόδου κατασκευάστηκαν δύο δεξαμενές. Στη δεξαμενή Α έγινε η πρωτογενής επεξεργασία ενώ στη δεξαμενή Β έγινε η δευτερογενής επεξεργασία.

Συγκεκριμένα, αμέσως μετά την έξοδο των ελαιοζουμιών από τον διαχωριστήρα, 15 m³ μεταφέρονται στη δεξαμενή Α όπου προστίθεται 0,5% υδρασβέστιο (5 g/L), γίνεται μηχανική ανάδευση για 30 min και στη συνέχεια αφήνονται για 48 ώρες. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση 10-15% των ολικών στερεών και 42,8% των λιπαρών ουσιών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντικατάσταση της υδρασβέστου με CaO έτσι ώστε να υπάρχει και δέσμευση νερού των ελαιοζουμιών και αύξηση θερμοκρασιών μειώνοντας το χρόνο παραμονής στη δεξαμενή Β. Στη συνέχεια 10 m³ ελαιοζουμιών μεταφέρεται από τη δεξαμενή Α στη δεξαμενή Β, προσθέτοντας 5 g/L ουρία, η οποία σαν πηγή αζώτου διορθώνει την τιμή C/N περίπου στο 30. Και πάλι είναι απαραίτητη η μηχανική ανάδευση για 30 min. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρησιμοποίηση (NH₄)₂SO₄ ή KNO₃, σαν πηγή αζώτου διότι έτσι εμπλουτίζεται το υπόστρωμα σε Κ.

Για να επιτευχθεί καλύτερη αερόβια ζύμωση μετά το τέλος της εξάτμισης του νερού γίνεται προσθήκη φύλλων ελιάς ή άλλου υλικού έτσι ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός έως τον πυθμένα. Για να διαπιστωθεί η ποιοτική μετατροπή των ελαιοζουμιών, έγιναν δειγματοληψίες σε δύο διαφορετικά βάθη 60 cm και 10 cm από την επιφάνεια, ώστε να διερευνηθεί ο βαθμός βιοαποικοδόμησης. Η συχνότητα με την οποία έγιναν οι δειγματοληψίες ήταν κάθε 20 μέρες την ίδια πάντα ώρα και κατά τη διάρκεια 6 μηνών (Μαρίνος, 1991).

Τα υποστρώματα Α και Β δεν παρουσιάζουν καμιά φυτοτοξικότητα στη φύτευση των σπόρων μαρουλιού, σε συγκέντρωση κεκορεσμένων υδατικών διαλυμάτων και δίνουν αύξηση του ποσοστού φύτευσης των σπόρων μαρουλιού. Το ποσοστό μείωσης του ρυπαντικού φορτίου είναι σημαντικότερο

για τις δεξαμενές που υπέστησαν χημική επεξεργασία και μικροβιακή δράση σε μικρό χρονικό διάστημα 2-3 μηνών.

Εφαρμογή της μεθόδου

Βασική προϋπόθεση της μεθόδου είναι κάθε μονάδα ελαιοτριβείου να διαθέτει μια ελάχιστη απαιτούμενη έκταση (που μπορεί εκ των προτέρων να υπολογισθεί ακριβώς), η οποία πρέπει να απέχει μια συγκεκριμένη απόσταση από τον πλησιέστερο οικισμό και το ελαιουργείο. Στην περιοχή αυτή προτείνεται η δημιουργία συστήματος λυματοστασιών, δηλαδή τεχνητών λιμνών που διαμορφώνονται συνήθως με αναχώματα και εκσκαφικές εργασίες και οι οποίες αποτελούν σηπτικές φυσικές δεξαμενές, όπου ο καθαρισμός των αποβλήτων γίνεται με μεικτή αερόβια-αναερόβια αποικοδόμηση.

Η απαίτηση της αερόβιας οξειδωσης σε οξυγόνο, ικανοποιείται από τεχνητό αερισμό, που μπορεί να γίνει είτε με κατάλληλες υποβρύχιες σωληνώσεις είτε με επιφανειακούς αεριστήρες είτε τέλος με περιστρεφόμενα πτερύγια.

Τα βάθη των λυματοστασιών κυμαίνονται από 0,6 μέχρι 2,4 m, με καταλληλότερο βάθος κοντά στα 1,1 m έως 1,2 m. Οι απώλειες εξάτμισης υπολογίζονται γενικά σε 0,6 με 1 m ετησίως για περιοχές με ψυχρότερο κλίμα και 3 m ετησίως για θερμότερες περιοχές. Γενικά, το σύνολο των απωλειών νερού κυμαίνεται από 20% τον χειμώνα έως 80% κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Το σύστημα λυματοστασιών περιλαμβάνει:

- ✓ Δεξαμενή συγκράτησης ελαιωδών μορίων (λιποσυλλέκτης). Η κατασκευή του λιποσυλλέκτη αποσκοπεί στη συγκράτηση των υπολειμμάτων ελαίου (decantation) που διαφεύγουν από τους διαχωριστήρες ή από τα πλυντήρια του ελαιόκαρπου του ελαιοτριβείου. Το λάδι που συγκεντρώνεται απομακρύνεται περιοδικά με τη βοήθεια επιφανειακών αντλιών. Τα υλικά κατασκευής περιλαμβάνουν σκυρόδεμα με ισχυρή αντιδιαβρωτική επάλειψη ή τσιμεντοκονία. Εναλλακτικά, ο λιποσυλλέκτης δύναται να είναι όλος μεταλλικός.
- ✓ Δεξαμενή παρασκευής διαλύματος υδρασβέστου. Προβλέπεται μεταλλική κατασκευή εξοπλισμένη με δοχείο υποδοχής της ασβέστου και ηλεκτροκίνητο μηχανισμό ανάδευσης. Η αρχή λειτουργίας στηρίζεται στη συνεχή παροχή νερού, στη διάλυση ποσότητας ασβέστου και στην υπερχειλίση και μεταφορά της υδρασβέστου στη δεξαμενή εξουδετέρωσης. Να σημειωθεί ότι, αντί νερού, μπορούν εναλλακτικά να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας απόβλητα. Στα 975 περίπου λίτρα αποβλήτων που προέρχονται από την κατεργασία ενός τόνου ελαιόκαρπου, έχει υπολογισθεί ότι απαιτείται ποσότητα 3,07 Kg υδρασβέστου, δηλαδή Ca(OH)_2 . Με βάση το γεγονός ότι 56,08 g ασβέστου (CaO) αντιστοιχούν σε 74,08 g υδρασβέστου, υπολογίζεται ότι απαιτούνται 2,32 Kg ασβέστου ανά τόνο ελαιόκαρπου. Για εξασφάλιση τυχόν απωλειών, συνιστάται συνολικά η προσθήκη 5 Kg ασβεστίου για την επεξεργασία ενός τόνου αποβλήτων.
- ✓ Δεξαμενή εξουδετέρωσης της οξύτητας των αποβλήτων. Στο τμήμα αυτό του συστήματος επιτυγχάνεται η εξουδετέρωση της οξύτητας των αποβλήτων που επιτυγχάνεται με προσθήκη γάλακτος ασβεστίου και με ηλεκτροκίνητο αναδευτήρα. Η δεξαμενή

κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα, επάλειψη των τοιχωμάτων με ισχυρή τσιμεντοκονία ή άλλο αντιδιαβρωτικό υλικό. Θα πρέπει, προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότερη εξουδετέρωση των αποβλήτων, να ελέγχεται η ενεργός οξύτητα (pH) του διαλύματος, η οποία θα πρέπει να κυμαίνεται από 6 έως περίπου 6,5 πριν να διοχετευθούν τα λύματα στην επόμενη δεξαμενή. Η προσθήκη πηγής αζώτου υπό μορφή ουρίας ή θειικής αμμωνίας θα ήταν θεμιτή. Η απαιτούμενη ποσότητα θα πρέπει να υπολογίζεται σε κάθε μονάδα με τέτοιο τρόπο ώστε η αναλογία άνθρακα (C) προς άζωτο (N) να είναι 1:30 στο τελικό προϊόν.

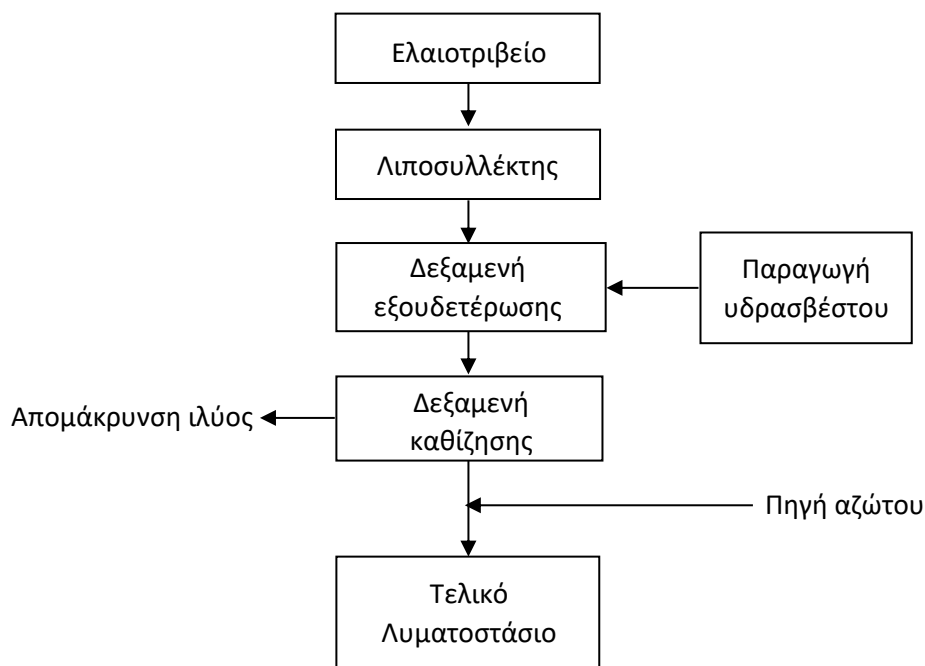
- ✓ Δεξαμενή καθίζησης των στερεών υπολειμμάτων και οργανικών ενώσεων ασβεστίου (σαπωνοποίηση). Στη δεξαμενή καθίζησης πραγματοποιείται, αμέσως μετά την εξουδετέρωση, η καθίζηση των στερεών υπολειμμάτων καθώς επίσης και των οργανικών ενώσεων του ασβεστίου. Η δεξαμενή πρέπει να κατασκευασθεί με οπλισμένο σκυρόδεμα και ισχυρή επάλειψη τσιμεντοκονίας. Ο απαιτούμενος ελάχιστος χρόνος παραμονής του εξουδετερωμένου αποβλήτου είναι 1 h 30' με 2 h. Για μονάδες μέσου δυναμικού, συνιστάται χρόνος παραμονής 3-3,5 h.
- ✓ Δεξαμενή συσσώρευσης τελικών υγρών αποβλήτων προς αεροεξάτμιση (κύριο λυματοστάσιο). Η ιλύς που συγκεντρώνεται στη δεξαμενή καθίζησης απομακρύνεται περιοδικά με ειδική επιφανειακή αντλία ή με άλλο ανάλογο σύστημα. Η ιλύς διατίθεται σε κλίνες ξήρανσης ή σε δεξαμενές χώνευσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την επόμενη ελαιουργική περίοδο σαν λίπασμα. Τονίζεται ότι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την ξήρανση της ιλύος είναι 6 μήνες.

Ο σχεδιασμός του κύριου λυματοστάσιου γίνεται με βάση την προβλεπόμενη ετήσια απορροή υγρών αποβλήτων. Για παράδειγμα, σε υπολογιζόμενη μέγιστη ετήσια απορροή 780.000 λίτρων αποβλήτων, με λειτουργικό βάθος λυματοστάσιου 1,2 m και απώλειες απορρόφησης και εξάτμισης 0,3 m, υπολογίζεται συνολικό βάθος 1,5 m. Η συνολική επιφάνεια που θα καλύπτει το λυματοστάσιο φθάνει τα 520 m². Ανάλογα βέβαια με τη δυναμικότητα του ελαιουργείου και λαμβάνοντας υπ' όψη ελαιοκομικές περιόδους με ιδιαίτερα μεγάλη ελαιοπαραγωγή, συνιστάται η κατασκευή λυματοστάσιου 1.000 m². Συνιστάται επίσης η αδιαβροχοποίηση της δεξαμενής που μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλο σκυρόδεμα ή επικαλύψεις με αργιλούχα εδάφη. Η διαμόρφωση του τελικού αναχώματος του λυματοστάσιου συνοδεύεται με διχτυωτό σύρμα ύψους τουλάχιστον 1,7 m, για λόγους προστασίας ανθρώπων και ζώων.

Η ποσότητα των φύλλων που παράγεται κατά το στάδιο της αποφύλλωσης του ελαιόκαρπου θα πρέπει να καίγεται σε μικρές ποσότητες ή αυτά να μεταφέρονται και να θάβονται σε στρώσεις με προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου μεταξύ των στρώσεων. Στη δεύτερη περίπτωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βελτιωτικό εδάφους κατά την επόμενη ελαιουργική περίοδο. Ο παραγόμενος ελαιοπυρήνας θα πρέπει να απομακρύνεται από τον χώρο του ελαιουργείου και να μεταφέρεται σε

πυρηνελαιουργεία σε τακτά χρονικά διαστήματα. Κρίνεται απαραίτητη η συχνή αφαίρεση της παραγόμενης ιλύος, με σύγχρονη διάθεσή της σε κλίνες ξήρανσης ή υπεδάφια κάλυψη (θάψιμο).

Η μέθοδος της συμπύκνωσης αλλά και της συμπύκνωσης δια λιμνάσεως παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος της συμπύκνωσης δια λιμνάσεως έχει ήδη αναπτυχθεί στην Ελλάδα και χαρακτηρίζεται η πλέον οικονομικότερη σε σύγκριση με όλες τις εξεταζόμενες μεθόδους και μάλιστα με μεγάλη διαφορά. Η μέθοδος της λίμνασης (που είναι σχεδόν ταυτόσημη με τις εξεταζόμενες μεθόδους συμπύκνωσης) είναι πιο οικονομική όταν το γέμισμα της δεξαμενής με ελαιοζούμια μπορεί και γίνεται με απλή σωλήνωση ροής με τη βαρύτητα. Ο σχετικά μικρός όγκος αποβλήτων ανά ελαιουργείο επιτρέπει την επεξεργασία τους σε δεξαμενές λογικών διαστάσεων. Η τεχνογνωσία που εφαρμόζεται είναι απλούστατη στη χρήση της καθώς υπάρχουν και ελάχιστα περιθώρια λάθους χειρισμών.



Διάγραμμα 1.7. Διάγραμμα ροής συμπύκνωσης δια λιμνάσεως

Από την άλλη πλευρά η μέθοδος της συμπύκνωσης, προσφέρεται για ξηροθερμικές κλιματολογικές συνθήκες όπου θα ευνοείται η ταχεία εξάτμιση του νερού, δεν θεωρείται ιδανική για την Ελλάδα όπου το πρόβλημα διάθεσης των αποβλήτων ελαιοτριβείων δημιουργείται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να βρεθεί απαραίτητη έκταση σε μικρή απόσταση από τα ελαιουργεία, ώστε το κόστος μεταφοράς να παραμείνει χαμηλό. Ένα επιπλέον πρόβλημα που δημιουργείται είναι οι οσμές που παράγονται κατά τη λίμναση των εκροών. Με τη λίμναση έχουμε την πιθανή ανάπτυξη εντόμων ενώ παράλληλα είναι πολύ πιθανός ο κίνδυνος μόλυνσης των υδροφόρων

οριζόντων. Τέλος, είναι δυνατόν να προκληθούν και ατυχήματα, εάν η πρόσβαση του κοινού είναι απρόσκοπτη.

1.3.2.2.. Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων

Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται μέθοδοι που βασίζονται στην αερόβια και αναερόβια βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου. Αναφέρεται ενημερωτικά ότι ένα στοιχείο (π.χ. περιεχόμενο σε οργανικό ρύπο) οξειδώνεται όταν χάνει ηλεκτρόνια, ενώ ένα στοιχείο (π.χ. διαλυμένο στοιχειακό οξυγόνο) δέχεται ηλεκτρόνια και ανάγεται. Το είδος του αποδέκτη ηλεκτρονίων (ή η παρουσία ή μη στοιχειακού οξυγόνου) καθορίζει τον τύπο του καταβολισμού των οργανικών ρύπων των αποβλήτων (Γεωργακάκης, κ.αλ.1991).

1.3.2.2. 1. Αερόβια βιολογική επεξεργασία

Κατά την αερόβια επεξεργασία (η οποία απαιτεί την παρουσία ελεύθερου οξυγόνου διαλυμένου μέσα στα υγρά απόβλητα), τα αερόβια βακτηρίδια χρησιμοποιούν στοιχειακό οξυγόνο (O_2) σαν αποδέκτη ηλεκτρονίων και οξειδώνουν τους οργανικούς ρύπους με τα ακόλουθα τελικά προϊόντα:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- νερό (H_2O)
- νέο κυτταρικό υλικό (περισσότερα βακτηρίδια)
- θειούχες ρίζες (SO_4^{2-})
- αζωτούχες ρίζες (NO_3^-)
- αμμωνία (NH_3)
- διάφορα μη διασπάσιμα οργανικά υλικά

Από την ανωτέρω λίστα συνάγεται ότι η παραγωγή δύσσομων αερίων είναι σχεδόν μηδαμινή. Πράγματι, η μέθοδος της αερόβιας οξείδωσης των οργανικών ρύπων είναι η κύρια διεργασία αυτοκαθαρισμού των φυσικών επιφανειακών υδάτων.

Κατά την αερόβια βιολογική επεξεργασία ελευθερώνεται σημαντική ποσότητα ενέργειας από τη βιολογική μετατροπή του οργανικού άνθρακα. Επειδή το σύνολο αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέου κυτταρικού υλικού αλλά και θερμότητας, αναπτύσσονται γρήγορα πολυάριθμοι μικροοργανισμοί, γεγονός που τελικά επιταχύνει τον ρυθμό της βιοαποικοδόμησης των οργανικών υδάτινων ρύπων. Από την άλλη πλευρά, η αυξημένη αυτή παραγωγή κυτταρικού υλικού σημαίνει αυξημένη παραγωγή λάσπης (Pichler, Kogel-Knabner, 2000).

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς ότι περισσότερες οργανικές ουσίες δύνανται να διασπαστούν με αερόβια παρά με αναερόβια βιοεπεξεργασία. Επίσης, τα τελικά προϊόντα της αερόβιας οξείδωσης είναι ενεργειακά πιο σταθερά, μπορούν επομένως να διατεθούν χωρίς περαιτέρω δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Πάντως, η αερόβια επεξεργασία συνιστάται για την αποικοδόμηση αραιών

λυμάτων που έχουν σχετικά μικρά ρυπαντικά φορτία: δηλαδή BOD₅ μικρότερο από 500 mg/L ή το πολύ μέχρι 3.000 mg/L για αεριζόμενες δεξαμενές.

Το τεράστιο ρυπαντικό φορτίο που περιέχεται στα πολύ βεβαρημένα ελαιουργικά απόβλητα καθιστά την χρήση του βιολογικού καθαρισμού δύσκολη. Βέβαια η μείωση του οργανικού φορτίου του συγκεκριμένου τύπου απόβλητων μπορεί να αγγίξει ακόμα και το 50% ή και περισσότερο, τα τοξικά τους συστατικά (φαινολικές ενώσεις και πολλά πτητικά λιπαρά οξέα) δεν υπόκεινται σε βιοδιάσπαση και παραμένουν ουσιαστικά απρόσβλητα. Αντιθέτως, οδηγούνται μαζί με το υπόλειμμα σε φυσικούς αποδέκτες ή απορροφητικούς βόθρους, καθιστώντας αυτή την μέθοδο επικίνδυνη για το περιβάλλον.

Εντούτοις τα συστήματα βιολογικού καθαρισμού, έχουν υψηλότατο κόστος κατασκευής και λειτουργίας. Παράλληλα δεν εξασφαλίζουν τη σταθεροποίηση της βιολογικής διαδικασίας (δεξαμενές ενεργοποιημένης βιομάζας) ή προκαλούν απόφραξη της εγκατάστασης (αερόβιοι βιολογικοί ηθμοί ή βιοδίσκοι). Επιπρόσθετα, εμφανίζουν το μειονέκτημα ενός σχετικά μεγάλου χρονικού διαστήματος για την εκάστοτε έναρξη της βιολογικής ζύμωσης και της μη δυνατότητας παραμονής της εγκατάστασης επί μακρόν σε συνθήκες λειτουργίας μη συνεχούς ροής.

1.3.2.2. 2. Αναερόβια βιολογική επεξεργασία

Η αναερόβια βιολογική επεξεργασία, που αποτελεί την αρχαιότερη μέθοδο επεξεργασίας αποβλήτων, προέρχεται από μια εποχή κατά την οποία οι γνώσεις περί την μικροβιολογία ήταν σχεδόν ανύπαρκτες. Σήμερα η μέθοδος εφαρμόζεται στα περισσότερα από τα βεβαρημένα (από πλευράς οργανικού ρυπαντικού φορτίου) γεωργο-βιομηχανικά απόβλητα και κυρίως σ' εκείνα που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων.

Σε περίπτωση απουσίας στοιχειακού οξυγόνου σαν διαλυμένο οξυγόνο μέσα στα απόβλητα, η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται αναερόβια (Χίου, κ.αλ.2001). Τα αναερόβια βακτηρίδια καταφέρνουν να οξειδώσουν οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας σαν αποδέκτες ηλεκτρονίων ουσίες άλλες από το οξυγόνο, όπως θειικές ρίζες (SO₄²⁻), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και άλλες οργανικές ενώσεις.

Η αναερόβια αποικοδόμηση ολοκληρώνεται σε δύο κυρίως στάδια στο καθένα από τα οποία δρά διαφορετική ομάδα μικροοργανισμών:

1) Στο πρώτο στάδιο δραστηριοποιούνται αναερόβια και επαμφοτερίζοντα οξεοπαραγόνα βακτήρια τα οποία επιτελούν υδρόλυση και ζύμωση των σύνθετων οργανικών ενώσεων, με παραγωγή απλών οργανικών οξέων.

2) Στο δεύτερο στάδιο δραστηριοποιούνται μεθανοπαραγόνα αναερόβια βακτήρια και μετατρέπουν τα απλά οργανικά οξέα του προηγούμενου σταδίου σε μεθάνιο (CH₄) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Παράλληλα, άλλες ομάδες αναερόβιων βακτηρίων παράγουν άλλες αναγωγικές ενώσεις όπως υδρόθειο (H₂S) και αμμωνία (NH₃).

Τα τελικά προϊόντα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- μεθάνιο (CH₄)
- νερό (H₂O)
- υδρόθειο (H₂S) και μερκαπτάνες (από την οξείδωση του SO₄⁻²)
- αμμωνία (NH₃)
- αέριο άζωτο (N₂)
- διάφορα οργανικά υλικά που έχουν υποστεί αναγωγή, και
- περισσότερα βακτηρίδια

Μερικά από τα τελικά προϊόντα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι εξαιρετικά δύσσομα π.χ. υδρόθειο και μερκαπτάνες. Μια σημαντική διαφορά της αναερόβιας από την αερόβια επεξεργασία, συνίσταται στο γεγονός ότι ένα μεγάλο τμήμα της χρησιμοποιούμενης ενέργειας εμφανίζεται με την μορφή τελικών προϊόντων, με αποτέλεσμα η παραγωγή νέου κυτταρικού υλικού να είναι χαμηλή ενώ το σύνολο των αέριων προϊόντων (βιοαέριο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ενέργειας. Στον κατωτέρω πίνακα φαίνεται η τυπική σύνθεση του βιοαερίου:

Σύνθεση	Περιεκτικότητα (%)
Μεθάνιο (CH ₄)	65-70
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	25-30
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	2-4
Άζωτο (N ₂)	1
Υδρογονάνθρακες (C _x H _y)	0-1,5
Οξυγόνο (O ₂)	0-0,03

Επίσης, τονίζεται ότι η αναερόβια επεξεργασία είναι μια διαδικασία αρκετά πιο βραδύρυθμη σε σχέση με την αερόβια. Ο συνήθης απαιτούμενος χρόνος συγκρατήσεως των αποβλήτων προς επεξεργασία κυμαίνεται από 10 σε 30 ημέρες. Επειδή η αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων παράγει μικρή ποσότητα κυτταρικού υλικού, η παραγωγή ιλύος είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη της αερόβιας αποικοδόμησης.

Ολοκληρωμένη επεξεργασία και αξιοποίηση των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου μετά από καθίζηση

Το εργαστήριο της Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας ΕΜΠ σε συνεργασία με την Ένωση Παραγωγικών Συνεταιρισμών Πεζών Ηρακλείου, ασχολήθηκε με την αναερόβια χώνευση των αποβλήτων από 6 φυγοκεντρικού τύπου ελαιουργεία (1983-1986). Τα βήματα της έρευνας, που έγινε τόσο σε εργαστηριακό όσο και σε πιλοτικό επίπεδο, ήταν τα παρακάτω:

Αρχικά τα συνολικά υγρά απόβλητα του ελαιουργείου οδηγούνται στη δεξαμενή επίπλευσης ή αποθήκευσης, η χωρητικότητα της οποίας ισοδυναμεί με τη μέγιστη ημερήσια ποσότητα των αποβλήτων. Το στάδιο αυτό είναι σημαντικό λόγω του ότι από εδώ παραλαμβάνεται το σύνολο της

ποσότητας του ελαιόλαδου που διαφεύγει της παραγωγικής διαδικασίας, ενώ παράλληλα γίνεται ποιοτικός αλλά και ποσοτικός έλεγχος των αποβλήτων και αν χρειάζεται, ρύθμιση του pH και κροκίδωση με την προσθήκη υδρασβέστου και ανατάραξη.

Στη συνέχεια το απόβλητο οδηγείται σε δεξαμενή φυσικής καθίζησης από οπλισμένο σκυρόδεμα, χωρητικότητας 250 m³, με κωνικό πυθμένα όπου αποθηκεύεται μέχρι την επεξεργασία του. Κατά την παραμονή του σχηματίζονται δύο ευδιάκριτες φάσεις, το υπερκείμενο υγρό και το ίζημα, στα 2/3 και στο 1/3 περίπου του βάθους αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός αυτός κλιμακώνεται σταδιακά και φτάνει ένα μέγιστο μετά από 10 ημέρες περίπου παραμονής μέσα στη δεξαμενή και μετά τη δέκατη ημέρα πρακτικά σταματά η δημιουργία ιζήματος. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια της παραμονής είναι δυνατόν να σχηματισθεί στην επιφάνεια μια οσμηρή στοιβάδα, γι' αυτό η δεξαμενή καλύπτεται.

Ο φυσικός διαχωρισμός σε υπερκείμενο υγρό και ίζημα, ακολουθείται και από αντίστοιχη μείωση του βιολογικού φορτίου στο υπερκείμενο υγρό (COD 55.000 mg/L για το υπερκείμενο υγρό, ενώ για το ίζημα 123.000 mg/L). Επίσης ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει την αντιμετώπισή τους με διαφορετικό τρόπο, με στόχο πάντα την οικονομικότερη σε εφαρμογή επεξεργασία.

- Το υπερκείμενο υγρό κλάσμα οδηγείται σε κατακόρυφη (ύψος 5 m) κυλινδρική δεξαμενή αναερόβιας μεσόφιλης (μέχρι 35° C) βιολογικής ζύμωσης (upflow βιοαντιδραστήρας). Στο στάδιο αυτό δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης του pH (με προσθήκη υδρασβέστου) με ειδικά συστήματα καθώς και η προσθήκη θρεπτικών (για τη ρύθμιση της σχέσης C/N). Ο αντιδραστήρας περιέχει πληρωτικό υλικό από δακτυλίους πολυαιθυλενίου για την προσκόλληση και τη συγκράτηση των μικροβιακών κυττάρων και συγκράτηση του χρόνου παραμονής των διερχόμενων υλικών μέχρι του επιπέδου των 5 ημερών.

- Το υδαρές ίζημα οδηγείται σε μια οριζόντια και κυλινδρική δεξαμενή αναερόβιας μεσόφιλης (μέχρι 35° C) βιολογικής ζύμωσης (βιοαντιδραστήρας σταθερής κλίνης). Και εδώ με ειδικά συστήματα μπορεί να γίνει ρύθμιση του pH και προσθήκη θρεπτικών. Ο βιολογικός αντιδραστήρας είναι οριζόντιος κύλινδρος με εγκάρσια διαφράγματα όπου εξασφαλίζεται εμβολοειδής ροή. Τα εξερχόμενα υγρά από τον βιοαντιδραστήρα ιζήματος προβλέπεται να επιστρέφουν στην αρχική δεξαμενή διαχωρισμού αποθήκευσης ή να αποθηκεύονται χωριστά, ενώ το υπερκείμενο υγρό καταλήγει στη δεξαμενή αποθήκευσης των τελικών υγρών.

- Το παραγόμενο στους βιοαντιδραστήρες βιοαέριο, εκλύεται από το πάνω μέρος τους και οδηγείται σε αεριοφυλάκιο (όπου γίνεται μέτρηση και ανάλυση) και συνέχεια σε καυστήρα όπου καίγεται με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.

Σημειώνεται ότι και στους δύο βιοαντιδραστήρες, επιλέχθηκε η μεσόφιλη περιοχή (35° C) έναντι της πιο αποδοτικής αλλά ευαίσθητης θερμοφιλης (55° C) και της ψυχρόφιλης (15-20° C) που αποδίδει παρόμοια αλλά απαιτεί αύξηση του χρόνου παραμονής και του μεγέθους των εγκαταστάσεων. Για την διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα των 35° C, ο αντιδραστήρας περιβάλλεται με σερπαντίνα όπου κυκλοφορεί νερό θερμότερο κατά 1-2° C από τη θερμοκρασία του εσωτερικού του αντιδραστήρα (Μπαλής, κ.α.1991).

Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα απόβλητα οδηγούνται σε δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία αποτελείται από 3 διαμερίσματα χωρητικότητας 300 m³ το καθένα, από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εκεί υφίστανται επιφανειακό αερισμό για αποφυγή δυσάρεστων οσμών. Ακολουθώς αντλούνται σε εδαφικό φίλτρο στο οποίο επιτυγχάνεται:

- περαιτέρω βιολογική αποικοδόμηση από βακτήρια του εδάφους και μείωση του ανόργανου φορτίου (ειδικά το N και ο P είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων),
- σημαντικός αποχρωματισμός και τέλος
- εμφάνιση λιπασματικών ιδιοτήτων του τελικού υγρού.

Αναερόβια επεξεργασία φυσικοχημικά προεπεξεργασμένων αποβλήτων ελαιουργείου

Το 1991 ο Τσώνης, παρουσιάζει μια συγκριτική πειραματική μελέτη για την αναερόβια επεξεργασιμότητα αποβλήτων ελαιουργείου που περιέχουν τα αιωρούμενα στερεά τους και αποβλήτων από τα οποία έχουν αφαιρεθεί τα αιωρούμενα στερεά. Επίσης εξετάζεται η δυνατότητα ταχύρρυθμης αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων από τα οποία έχουν αφαιρεθεί τα αιωρούμενα στερεά καθώς και η δυνατότητα απ' ευθείας τροφοδότησης των αποβλήτων που προκύπτουν μετά από φυσικοχημική επεξεργασία σε ένα σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας.

Χρησιμοποιούνται δύο αναερόβια συστήματα:

Το πρώτο είναι ένα πειραματικό σύστημα μεγάλης εργαστηριακής κλίμακας που αποτελείται από δύο μονάδες συμβατικού τύπου. Ο μη αναδεδυόμενος αντιδραστήρας είναι ένα απλό πλαστικό βαρέλι συνολικής χωρητικότητας 125 L που φέρει στην οροφή του δύο ανοίγματα σφραγισμένα με ελαστικά πώματα από τα οποία διέρχονται σωληνώσεις τροφοδότησης με απόβλητα, παραλαβής της εκροής και εξόδου του βιοαερίου. Ο αναδεδυόμενος αντιδραστήρας είναι ένα πλαστικό βαρέλι χωρητικότητας 110 L του οποίου η οροφή είναι ανοιχτή και σφραγίζεται αεροστεγώς με ένα καπάκι κατάλληλου σχεδιασμού.

Το δεύτερο, δηλαδή το ταχύρρυθμο αναερόβιο σύστημα, είναι μια μονάδα τύπου επαφής που αποτελείται από ένα διαμέρισμα χώνευσης (γυάλινη φιάλη 4 L) στην οροφή του οποίου είναι προσαρμοσμένη η διάταξη καθίζησης (αποιεϊδές διαχωριστικό χωνί). Από το ελαστικό πώμα του στομίου του διαχωριστικού χωνιού διέρχονται τρεις σωληνώσεις που αντιστοιχούν στην έξοδο του παραγόμενου βιοαερίου και στην εξωτερική σύνδεση της περιοχής βιοαερίου του διαμερίσματος καθίζησης με το άνω μέρος του χώρου χώνευσης.

Τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται λαμβάνονται μέσα σε πλαστικά βαρέλια 200 L από το ρεύμα του διαχωριστήρα φυτικών υγρών-λαδιών του ελαιοτριβείου και αποθηκεύονται μέχρι τη χρησιμοποίησή τους σε θαλάμους κατάψυξης (-20° C).

Ο διαχωρισμός των αιωρούμενων στερεών από τα απόβλητα γίνεται με μια διεργασία που περιλαμβάνει αρχικά κατάψυξη και ελεγχόμενη απόψυξη και ακολουθεί προσεκτικός σιφωνισμός του διαυγασμένου υγρού. Από το θάλαμο κατάψυξης γίνεται μεταφορά στο θάλαμο συντήρησης (0-4° C). Κατά τη μεταφορά αυτή μεσολαβεί μια ενδιάμεση παραμονή των βαρελιών επί 1 ημέρα στο ανοιχτό

περιβάλλον για απόψυξη. Μετά από την παραμονή των βαρελιών επί 5-10 ημέρες στο θάλαμο συντήρησης παρατηρείται στρωμάτωση του περιεχομένου τους σε μια ζώνη αιωρούμενου υλικού στον πυθμένα, σε μια επιφανειακή ζώνη που περιέχει σημαντικές συγκεντρώσεις σε λίπη και έλαια και σε μια ενδιάμεση ζώνη που είναι απαλλαγμένη από την παρουσία αιωρούμενου υλικού και λιπών και ελαίων και παρουσιάζει χαρακτηριστική διαύγεια (Jougaiphy, et.al.2005). Απόβλητα χωρίς αιωρούμενα στερεά προκύπτουν μετά από προσεκτικό σιφωνισμό διαυγασμένου υγρού από την ενδιάμεση ζώνη.

Επίσης χρησιμοποιούνται απόβλητα που προκύπτουν μετά από ιζηματοποίηση φρέσκων αποβλήτων ελαιοτριβείου με υδροξείδιο του ασβεστίου και στράγγιση του θρομβωμένου μικτού υγρού.

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ των διαφορετικών τρόπων αφαίρεσης αιωρούμενων στερεών βρίσκεται στο γεγονός ότι κατά τη φυσικοχημική επεξεργασία με υδροξείδιο του ασβεστίου παραλαμβάνεται διαυγασμένο υγρό με υψηλή αλκαλικότητα.

Κατά την αναερόβια χώνευση ολικών αποβλήτων (μέση τιμή του COD: 84,1 g/L και των αιωρούμενων στερεών: 2,4 g/L) καθώς και αποβλήτων που προκύπτουν από τα παραπάνω απόβλητα μετά από κατάψυξη, ελεγχόμενη απόψυξη και προσεκτικό σιφωνισμό του διαυγασμένου μέρους τους (μέση τιμή του COD: 47,5 g/L και των αιωρούμενων στερεών: 1,4 g/L) σε αναδεδυόμενο και μη αναδεδυόμενο αντιδραστήρα συμβατικού τύπου και σταθερού όγκου που τροφοδοτείται μια μόνο φορά κάθε μέρα σε επίπεδα οργανικής φόρτισης 2,1-2,3 Kg COD/m³·d, υπολογίστηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- Για τα ολικά απόβλητα, η μέση αφαίρεση COD είναι 71,0% για λειτουργία με ανάδευση και 69,3% χωρίς ανάδευση.
- Για τα χωρίς αιωρούμενα στερεά απόβλητα, οι αντίστοιχες τιμές είναι 67,2% και 64,8%.

Φαίνεται ότι κάτω από συνθήκες ανάδευσης επιτυγχάνεται ελαφρά μόνο βελτίωση στην απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού, ωστόσο η μέση απόδοση κυμαίνεται στην περιοχή 65-71% και η περιοχή αυτή των τιμών μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια, σαν μια σχεδιαστική παράμετρος για την αναμενόμενη αφαίρεση από τον συγκεκριμένο τύπο υποστρωμάτων και για υδραυλικούς χρόνους παραμονής των αποβλήτων στον αναερόβιο αντιδραστήρα μεγαλύτερους από 20 d.

Ο σχεδιασμός της εργαστηριακής ταχύρρυθμης μονάδας προβλέπει ανακυκλοφορία στερεών και απαγωγή του κύριου όγκου του παραγόμενου βιοαερίου (που εκλύεται στη φιάλη χώνευσης) δια μέσου μιας εξωτερικής σωλήνωσης επικοινωνίας προς την οροφή της περιοχής καθίζησης, όπου αντιστοιχεί ο χώρος του βιοαερίου. Η ανακυκλοφορία υγρού από την εξωτερική σωλήνωση επικοινωνίας βοηθά στον διαχωρισμό του βιοαερίου και συγχρόνως εξασφαλίζει καλές συνθήκες ανάμιξης στο χώρο χώνευσης και η ανακυκλοφορία στερεών από τη βάση του τμήματος καθίζησης εξασφαλίζει σημαντική συγκέντρωση βιομάζας στο χώρο χώνευσης.

Η τροφοδότηση της ταχύρρυθμης μονάδας επί 30 d με αραιωμένα φρέσκα απόβλητα χωρίς αιωρούμενα στερεά (μέση τιμή του COD: 21,8 g/L), σε μέσο επίπεδο οργανικής φόρτισης 22,5 Kg COD/m³·d, έχει σαν αποτέλεσμα μέση αφαίρεση οργανικού υλικού σε όρους COD έως 55 %.

Παρατηρείται σε σχέση με τους συμβατικούς αντιδραστήρες, μικρότερη απόδοση αφαίρεσης COD καθώς και το ότι γίνεται αραιώση 1:2 στα απόβλητα πριν την τροφοδότησή τους στην ταχύρρυθμη μονάδα. Ο χρόνος παραμονής στη φιάλη χώνευσης είναι της τάξης των 18 h που είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με τους χρόνους παραμονής 21-40 d των συμβατικών αναερόβιων αντιδραστήρων μεγάλου εργαστηριακού μεγέθους.

Συγκριτική μελέτη της αναερόβιας επεξεργασίας για την περίπτωση που τροφοδοτούνται απόβλητα χωρίς αιωρούμενα στερεά, τα οποία έχουν προκύψει μετά από φυσικοχημική προεπεξεργασία με υδροξείδιο του ασβεστίου (pH 10,5-10,8) και μετά από διεργασία κατάψυξης-ελεγχόμενης απόψυξης (pH 4,8-5,2) έδειξε ότι η παρουσία αλκαλικότητας στα φυσικοχημικά προεπεξεργασμένα απόβλητα δεν έχει επιπτώσεις στην απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού για τις περιοχές τιμών των λειτουργικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική μελέτη.

Μετά την περιγραφή των δύο παραπάνω ερευνητικών προσπαθειών, στα γενικότερα πλαίσια της μεθόδου αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας ελαιουργικών αποβλήτων, αναφέρονται τα κυριότερα τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου.

Παρατηρείται ικανοποιητική μείωση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων, που μπορεί να φθάσει έως και 75-80% ως ποσοστό περιοριζόμενου COD. Επίσης σημαντική φαίνεται να είναι και η μείωση των φαινολών του αρχικού υποστρώματος που φθάνει έως και 65-75%. Η σημαντική ποσότητα του βιοαερίου (έως και 1,6 L ανά γραμμάριο διασπόμενου οργανικού άνθρακα) που παράγεται, μπορεί με κατάλληλη χρήση να συμβάλλει στη σύντομη απόσβεση της απαιτούμενης αρχικής επένδυσης. Έτσι, μέρος της παραγόμενης ενέργειας μπορεί άνετα να χρησιμοποιηθεί για ανάγκες της ίδιας της μονάδας και το υπόλοιπο, είτε για κίνηση μηχανημάτων και οχημάτων, είτε για ανάγκες θερμοκηπίων, χοιροστασιών ή άλλων μονάδων που λειτουργούν πλησίον της αναερόβιας εγκατάστασης. Κατ' αυτόν τον τρόπο ενισχύονται οι αναπτυξιακές πρωτοβουλίες της περιοχής όσο και ο τεχνολογικός εκσυγχρονισμός των μονάδων. Το υπόλειμμα της αναερόβιας ζύμωσης, που στις περισσότερες των περιπτώσεων περιέχει ένα πολύ χαμηλότερο BOD₅, θεωρείται πολύ κατάλληλο βελτιωτικό εδάφους (άρδευση-λίπανση). Η αναερόβια επεξεργασία χαρακτηρίζεται ως μια πλέον κατάλληλη διαδικασία για την αποικοδόμηση λυμάτων με υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων (BOD₅ μεγαλύτερο από 1.000 mg/L), σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες ευδοκούν τα μεσόφιλα βακτηρίδια (35-40° C).

Λόγω της μειωμένης περιεκτικότητας των αποβλήτων σε αποδέκτες ηλεκτρονίων (άλλων του ελεύθερου οξυγόνου) δεν είναι δυνατή η οξειδωση των οργανικών ρύπων. Συνεπώς τα απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί αναερόβια επεξεργασία ευρίσκονται σε πιο ασταθή μορφή από εκείνα της αερόβιας επεξεργασίας. Η αναερόβια επεξεργασία ελαιοζουμιών, αν και φαίνεται θεωρητικά ότι είναι μια υποσχόμενη μέθοδος, εν τούτοις επί του παρόντος εμφανίζει σοβαρές δυσκολίες όσον αφορά την πρακτική εφαρμογή της. Προβλήματα που πρέπει να εξεταστούν και να διερευνηθούν διεξοδικά είναι, το κόστος της απαιτούμενης επένδυσης, ο χρόνος συγκράτησης των αποβλήτων, καθώς και η περαιτέρω διάθεση των ήδη καθαρισμένων υγρών.

1.3.2.2. 3 Συγκομποστοποίηση

Πρόκειται για μια μέθοδο, η οποία αξιοποιεί τη θερμότητα που εκλύεται κατά τη θερμοφιλή φάση της αερόβιας χώνευσης στερεών οργανικών υλικών. Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στη συνεχή ή διακοπτόμενη αναπλήρωση με κατσίγαρο ή άλλο απόβλητο υψηλού οργανικού φορτίου, των εξατμιζόμενων ποσοτήτων νερού. Με άλλα λόγια, από το ένα μέρος το ζυμούμενο στερεό υπόστρωμα εφοδιάζεται με οργανικό υλικό που διατηρεί την μικροβιακή δράση και κατά συνέπεια και την θερμοκρασία σε υψηλά επίπεδα και από το άλλο μέρος επιταχύνεται η διαδικασία εξάτμισης του περιεχόμενου νερού στον κατσίγαρο, λόγω της επιμήκυνσης της θερμοφιλής φάσης και της θερμότητας που εκλύεται. Μετά την ολοκλήρωση της θερμοφιλής φάσης και της φάσης ωρίμανσης, προκύπτει ένα ποιοτικά πολύ αξιόλογο λίπασμα με την αξιοποίηση του οποίου, μπορεί να υποστηριχθεί η οικονομική βιωσιμότητα της μεθόδου.

Η θεωρητική αυτή παραδοχή υποβλήθηκε σε πειραματικό έλεγχο, σε ζυμωτήρα κυβικού σχήματος, ωφέλιμου όγκου 0,620 m³. Ο ζυμωτήρας έφερε διπλά ξύλινα τοιχώματα με ενδιάμεση μόνωση, επενδεδυμένα στην εσωτερική τους πλευρά με λεπτό φύλλο ανοξειδωτού χάλυβα. Το κατώτερο μέρος του έχει διαμορφωθεί σε χοάνη που κατέληγε σε κρουνό παραλαβής των στραγγισμάτων. Για τη διευκόλυνση της στράγγισης και του αερισμού στο άνω μέρος του κώνου είχε τοποθετηθεί διάτρητο ψευδοπάτωμα από ανοξειδωτο χάλυβα. Η παροχή αέρα είχε ρυθμιστεί στο 0,5 m³/min και ο έλεγχος της θερμοκρασίας γινόταν μέσω θερμομέτρου επαφής, το οποίο ήταν έτσι ρυθμισμένο, ώστε όταν η θερμοκρασία έφθανε στους 58° C, να ανοίγει η βαλβίδα παροχής αέρα από το αεριοφυλάκιο του αεροσυμπιεστή.

Σαν στερεό υλικό πληρώσεως χρησιμοποιήθηκε εκχυλισμένος ελαιοπυρήνας για τους εξής λόγους:

- είναι προϊόν των ελαιοτριβείων
- αποτελείται από τεμαχίδια που έχουν τις επιθυμητές διαστάσεις
- το υλικό είναι αρκετά ανθεκτικό, δηλαδή δεν αποσαθρώνεται εύκολα και προσφέρεται για παρατεταμένη ζύμωση

παρατεταμένη ζύμωση

- διαβρεχόμενο δεν διογκώνεται σημαντικά και κατά συνέπεια ευνοείται η δημιουργία και η διατήρηση καλού πορώδους στη ζυμούμενη βιομάζα

- έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία και είναι αρκετά γνωστές οι συνθήκες οι οποίες ευνοούν τη θερμοφιλή χώνευση του υλικού αυτού.

Για την πλήρωση του ζυμωτήρα χρειάστηκαν 345 Kg πυρηνόξυλου (υγρασίας 27,3%) το οποίο πριν μεταφερθεί δέχθηκε 170 Kg λιόζουμων. Η τιμή του λόγου C/N διορθώθηκε στο 30 περίπου με την προσθήκη της αναγκαίας ουρίας στην ποσότητα του κατσίγαρου κατά την αρχική διαβροχή. Μετά την είσοδο του συστήματος στη θερμοφιλή φάση το ζυμούμενο υλικό διαβρεχόταν κατά διάφορα χρονικά διαστήματα επιφανειακά με γνωστές ποσότητες κατσίγαρου, δηλαδή μέχρι να σημειωθεί μικρή εκροή στραγγίσματος. Η συχνότητα εφαρμογής ρυθμιζόταν ανάλογα με την θερμοκρασιακή συμπεριφορά του συστήματος.

Κατά τη θερμοφιλή φάση της κομποστοποίησης οποιουδήποτε οργανικού υλικού, συμπεριλαμβανομένου και του πυρηνόξυλου, είναι γνωστό ότι παράγονται φυτοτοξικές ουσίες, σε βαθμό που απαγορεύουν τη χρησιμοποίηση του προϊόντος για σημαντικό χρόνο μετά το πέρας της φάσης αυτής. Για την ασφαλή χρησιμοποίηση του προϊόντος απαιτείται κατά κανόνα μια περίοδος ωρίμανσης. Για την ωρίμανση του υλικού απαιτήθηκε χρόνος 12 και πλέον μηνών. Στο διάστημα αυτό το υλικό παρέμενε στο ύπαιθρο χωρίς να δέχεται οποιοδήποτε χειρισμό. Το τελικό προϊόν είναι ελεύθερο φυτοτοξικότητας και παρουσιάζει όλες εκείνες τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα καλό εδαφοβελτιωτικό εδάφους.

1.3.2.2. 4 Λιπασματοποίηση υγρής φάσης

Τα πειραματικά ευρήματα του συστήματος διαχείρισης του κατσίγαρου με τη μέθοδο της εφαρμογής στο έδαφος και πιο συγκεκριμένα, η διαπίστωση της έντονης δράσης την οποία ασκεί ο κατσίγαρος προς την κατεύθυνση του εμπλουτισμού του εδάφους με αζωτοδεσμευτικούς μικροοργανισμούς, οδήγησαν στην προσέγγιση αυτή. Επιχειρήθηκε να διαμορφωθεί πειραματικά ένα σύστημα που θα επέτρεπε την εγκατάσταση και δράση ενός αμοιβαία συμβατού μικτού μικροβιακού πληθυσμού, ανάλογου με αυτόν που επικρατεί εμπλουτιστικά στο έδαφος, με την προσδοκία ότι θα σταθεροποιούσε τον κατσίγαρο και ταυτόχρονα θα δέσμευε όπως και στο έδαφος ατμοσφαιρικό άζωτο.

Μετά από μια σειρά προκαταρκτικών πειραμάτων, υιοθετήθηκε σαν σύστημα ανάμιξης και ανταλλαγής αερίων ο ζυμωτήρας τύπου Stahlermatic Biowheel του οίκου IBERO της Γερμανίας. Η συσκευή ήταν χωρητικότητας 30 L και έφερε αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας του pH. Ο ωφέλιμος όγκος ρυθμίστηκε στα 26 L. Χρησιμοποιήθηκε πυκνός κατσίγαρος με pH 5,3. Το εμβόλιο συνίστατο από μικτό μικροβιακό πληθυσμό ο οποίος επιλέχθηκε στο εργαστήριο εφαρμόζοντας ένα πρόγραμμα εμπλουτισμού με έδαφος που είχε μακρά ιστορία χειρισμών με κατσίγαρο.

Σε πρώτη φάση ο κατσίγαρος αφού διορθωθεί το pH του στο 7, οδηγείται σε αερόβιο αντιδραστήρα δύο βαθμίδων που έχει εγκατασταθεί ένας αμοιβαία συμβατός κύρια αζωτοδεσμευτικός μικροβιακός πληθυσμός. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής παρακολουθήθηκε:

- η πορεία δέσμευσης μοριακού αζώτου με τη μέθοδο αναγωγής ακετυλενίου
- η τυχόν παραγωγή πολυσακχαριδίου, και
- το επίπεδο φυτοτοξικότητας

Επιπλέον εφαρμόστηκε ένα πρόγραμμα απομόνωσης σε καθαρή καλλιέργεια των μελών της μικροβιακής κοινότητας που παρουσίαζαν τους πλέον επιθυμητούς χαρακτήρες.

Με την προσθήκη κατσίγαρου εκδηλώθηκε έντονη αζωτοδεσμευτική δραστηριότητα, η οποία μειώθηκε προοδευτικά προφανώς λόγω εξάντλησης του υποστρώματος. Όταν στο τέλος της περιόδου προστέθηκε φρέσκος κατσίγαρος, αφού είχε αφαιρεθεί προηγουμένως αντίστοιχος όγκος ζυμούμενου υλικού, η ικανότητα αζωτοδέσμευσης ανακτήθηκε σχεδόν αμέσως. Παράλληλα διαπιστώθηκε σχηματισμός και συσσώρευση ιξώδους υλικού (πολυσακχαρίδια) το οποίο μετέβαλλε τα χαρακτηριστικά ροής του υλικού. Έτσι, περί το τέλος της περιόδου, ο κατσίγαρος είχε μετατραπεί σε

πυκνόρρευστο υγρό. Η φυτοτοξικότητα του κασίγαρου μολονότι δεν μηδενίστηκε στη διάρκεια του πειράματος, μειώθηκε σημαντικά. Στις χαμηλές μάλιστα αραιώσεις (12,5%) παρατηρήθηκε ευεργετική επίδραση στη βλάστηση του *Lepidum sativum* (Vallini, et.al.1993).

Το παχύρρευστο υλικό που προκύπτει με την ολοκλήρωση της φάσης αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υγρή λίπανση με ή χωρίς αραιώση ανάλογα με το έδαφος και τις υπάρχουσες καλλιέργειες, Υπάρχει επίσης η δυνατότητα, εναλλακτικά ή συμπληρωματικά ανάλογα με τις προσφερόμενες τεχνολογικές δυνατότητες, να γίνει κροκίδωση και παραλαβή του παραγόμενου πολυσακχαριδίου κατά την πρώτη φάση για περαιτέρω αξιοποίησή του. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως κροκιδωτικό ακετόνη ή άλλο ανακτήσιμο υλικό. Στις περιπτώσεις που το υλικό μετά την αρχική φάση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για υγρή λίπανση, η κροκίδωση μπορεί να γίνει απλά με CaO και το διαχωριζόμενο υγρό κλάσμα να οδηγηθεί σε ταμιευτήρες για άρδευση και υδρολίπανση. Το ίζημα προσφέρεται για συγκομποστοποίηση ή μπορεί να εφαρμοστεί στο έδαφος σαν μεταπλαστικό.

1.3.2.2. 5 Επεξεργασία με μηχανικά μέσα

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων ελαιοτριβείων που αποτελείται από:

- 1) χώρους ανάδευσης με συστήματα ειδικών πτερυγίων που μπορεί να είναι φυγοκεντρικές, φιλτροπρέσες κ.α.
- 2) δεξαμενές καθίζησης για τη δημιουργία ιζήματος.
- 3) μονάδα υπερδιήθησης για την εξ ολοκλήρου αφαίρεση των στερεών υπολειμμάτων.
- 4) μονάδα αντίστροφης ώσμωσης.

Στο πειραματικό ελαιουργείο του Ινστιτούτου Υποτροπικών και Ελιάς (1989-90) έγιναν δοκιμές φυγοκέντρησης των απόνερων των ελαιουργείων. Τα απόβλητα οδηγούνται σε πειραματικό φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (DECANTER) οριζόντιου άξονα, τριών φάσεων με δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης του τυμπάνου και του κοιλία. Μετά από δοκιμαστικές φυγοκεντρίσεις σε διαφορετικές ταχύτητες επιτυγχάνεται ο επιθυμητός διαχωρισμός των στερεών και του ελαιόλαδου.

Η μείωση της περιεκτικότητας των απόνερων σε αδιάλυτα στερεά και λάδι φθάνει το 84% κατ' όγκο και το 75% κατ' όγκο αντίστοιχα. Εξάλλου σε ανάλογες δοκιμές επεξεργασίας απόνερων κατευθείαν από φυγοκεντρικό συγκρότημα, η ποσότητα στερεών και ελαιόλαδου που παραμένει τελικά στα απόνερα φαίνεται να είναι η ίδια με την περίπτωση χρησιμοποίησης απόνερων από το διαχωριστήρα, καθιστώντας μη απαραίτητη την χρησιμοποίηση διαχωριστήρων των απόνερων.

Ένα από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος της μηχανικής επεξεργασίας αποβλήτων είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης καθώς και τα λειτουργικά έξοδα. Επιπλέον μόνο με την προϋπόθεση εκμετάλλευσης των φαινολών ή και άλλων οργανικών ουσιών που παράγονται στα διάφορα στάδια αυτής της μεθόδου, είναι δυνατόν να επιτευχθούν συμφέροντες οικονομικοί όροι για την εγκατάσταση παρόμοιων μονάδων.

Αντιθέτως η μείωση του COD μπορεί να αγγίξει ακόμα και το 99%, γεγονός το οποίο καθιστά την προαναφερόμενη μέθοδο αρκετά ενδιαφέρουσα κυρίως για μονάδες σχετικά μεγάλης δυναμικότητας.

1.3.2.2.6 Βιοτεχνολογικές μέθοδοι

Τελευταία αποκτά μεγάλη σημασία, για την επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων, η χρησιμοποίηση νεώτερων βιοτεχνολογικών τεχνικών. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην τροφοδότηση των αποβλήτων, σε τακτικά χρονικά διαστήματα, με μίγμα αερόβιων και αναερόβιων βακτηριδίων των γενών:

- Pseudomonas
- Bacillus
- Escherichia
- Nitrobacteria

Τα παραπάνω βακτηρίδια έχουν την δυνατότητα να διατηρούνται σε ανενεργή μορφή έως ότου ενεργοποιηθούν με τη βοήθεια ειδικών βιοαντιδραστήρων και αναμιχθούν τελικά με τα απόβλητα. Οι μέθοδοι αυτοί βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό επίπεδο στην Γαλλία, Μεγάλη Βρετανία αλλά και Γερμανία, με την ελπίδα βέβαια ότι σε σύντομο χρονικό διάστημα θα μπορούν να εφαρμοστούν σε ευρεία βιομηχανική κλίμακα (Finstein, et.al.1999).

1.3.2.3. Μέθοδοι ανάκτησης παραπροϊόντων από απόβλητα ελαιουργείου (έμμεσος μερικός καθαρισμός)

Οι μέθοδοι αυτές ερευνήθηκαν αρχικά γιατί είναι πολύ δελεαστική η παραγωγή χρήσιμων προϊόντων από άχρηστα απόβλητα. Πράγματι, τα απόβλητα μπορούν να υποστούν βιολογική ή και άλλη επεξεργασία, ώστε πέρα από την αποικοδόμηση να προκύψει και αξιοποίησή τους (Forster, et.al.1993).

Συνοπτικά θα μπορούσαν να αναφερθούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- ☞ Παραλαβή αντιοξειδωτικών ενώσεων
- ☞ Παραλαβή φυσικών χρωστικών
- ☞ Παραγωγή μικροβιακής πρωτεΐνης
- ☞ Παραγωγή στερεών καυσίμων
- ☞ Βιομεθανοποίηση
- ☞ Αξιοποίηση αποβλήτων με χημική σύνθεση

1.3.2.3.1 Παραλαβή αντιοξειδωτικών ενώσεων

Η ελαιουργία αποτελεί μια διεργασία, η οποία πέρα από τα βασικά προϊόντά της δημιουργεί παραπροϊόντα η αξιοποίηση των οποίων θα μπορούσαν να αποδώσουν επιπλέον εισόδημα. Αναφερόμαστε σε ορισμένες εμπορεύσιμες ενώσεις που υπάρχουν στα απόβλητα των ελαιουργείων και στα στερεά υπολείμματα τα οποία, αν χρησιμοποιηθούν σωστά. Οι φαινολικές ενώσεις χαρακτηρίζονται ως αντιοξειδωτικές ουσίες οι οποίες προσδίδουν τη δυνατότητα να εμποδίζουν ή να καταπολεμούν τη χημική επίθεση κυτταρικού DNA από οξειδωτικές ρίζες. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη φαρμακευτική βιομηχανία. Τα πιο εμπορεύσιμα αντιοξειδωτικά παραπροϊόντα, που βρίσκονται στον ελαιοπολτό, είναι η τυροσόλη, η υδροξυ-τυροσόλη και η ελαιοευρωπεΐνη.

1.3.2.3.2 Παραλαβή φυσικών χρωστικών

Οι φυσικές χρωστικές που αποτελούν ίσως τα πιο "ενοχλητικά" συστατικά των αποβλήτων των ελαιουργείων, γιατί είναι πολύ δύσκολο να απομακρυνθούν με τις κλασικές μεθόδους καθαρισμού, θα μπορούσαν μετά την ανάκτησή τους από τα απόβλητα, να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανίες (κυρίως τροφίμων) αντί των συνθετικών ουσιών που θεωρούνται επικίνδυνες. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανάκτησή τους είναι περιληπτικά η εξής:

- 1) αραίωση των αποβλήτων,
- 2) θείωση, ώστε να μην οξειδωθούν οι χρωστικές,
- 3) υπερδιήθηση που δίνει το συμπύκνωμα (θολό, παχύρρευστο υγρό, το 1/5 του αρχικού όγκου) και το διήθημα (τα 4/5 του αρχικού όγκου, περιέχει ζάχαρα, ανθοκυάνες, ανόργανα άλατα, βιταμίνες, αμινοξέα κ.λ.π.),
- 4) εξάτμιση σε κενό ή αντίστροφη ώσμωση του διηθήματος, για την συμπύκνωση των χρωστικών,
- 5) ξήρανση με εκνέφωση (spray drying), όπου λαμβάνεται τελικά το εμπορεύσιμο υλικό, καθώς βέβαια και άλλα χρήσιμα συστατικά.

Οι απαιτήσεις πολυδάπανων εγκαταστάσεων αλλά και η εποχιακή λειτουργία των ελαιουργείων καθιστούν αβέβαιο και απρόβλεπτο το μέλλον μιας τέτοιας εφαρμογής.

1.3.2.3.3 Παραγωγή μικροβιακής πρωτεΐνης

Η υψηλή περιεκτικότητα των ελαιουργικών αποβλήτων σε ανόργανα άλατα (έως και 8%, όταν οι ελιές βρίσκονται σε καλή κατάσταση) και σε αφομοιώσιμο οργανικό άνθρακα, τα καθιστούν πρόσφορο υπόστρωμα ανάπτυξης μικροοργανισμών. Έτσι με ρύθμιση της αναλογίας τους C/N, τα απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μικροβιακής πρωτεΐνης από κατάλληλο

μικροοργανισμό (μύκητες, ζυμομύκητες, βακτήρια κ.λ.π.), ο οποίος επιλέγεται ανάλογα με τις ιδιότητες που επιθυμούμε να έχει το τελικό προϊόν.

Πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο, η οποία διερευνάται σε εργαστηριακό επίπεδο σε όλες σχεδόν τις ελαιοπαραγωγικές χώρες και που σε ορισμένες περιπτώσεις (Ισπανία) η μελέτη της έχει προχωρήσει σε κλίμακα δοκιμαστικής βιομηχανικής εγκατάστασης και μάλιστα με οικονομικά αποτελέσματα. (Vlyssides et al. 1997). Το λαμβανόμενο προϊόν είναι πολύ πλούσιο σε πρωτεΐνες (έως 45%) και χρησιμοποιείται σαν πρόσθετο ζωοτροφών όπως τα ιχθυάλευρα, πτηνάλευρα, οστεάλευρα κ.λ.π. Περιοριστικός παράγοντας σε αυτή τη μέθοδο αποτελεί η πιθανή τοξικότητα ορισμένων συστατικών για κάποιους μικροοργανισμούς. Επίσης, αρνητικά σημεία είναι η ταχεία αποικοδόμηση των σακχάρων του ελαιοκάρπου κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης που προηγείται της έκθλιψης και η ύπαρξη μεγάλων διακυμάνσεων των σακχάρων στα λιόζυμα (1-8%) που δεν εξασφαλίζουν τη σταθερότητα της παραγωγής.

1.3.2.3.4 Παραγωγή στερεών καυσίμων

Η ταυτόχρονη ζύμωση των αποβλήτων ελαιουργείου με άλλα αγροτικά ή δασικά υπολείμματα οδηγεί στην παραγωγή στερεών καυσίμων. Πράγματι, τα απόνερα μπορούν να υποβοηθήσουν τη ζύμωση αγροτικών ή δασικών υπολειμμάτων χαμηλής πυκνότητας, ώστε να επιτευχθεί ένα προϊόν ομογενές και επιδεκτικό σχηματοποίησης σε τεμάχια σφαιρικής ή κυβικής μορφής (Vlyssides, 2017). Στην Ισπανία λειτουργεί εγκατάσταση παραγωγής καυσίμων με θερμαντική ικανότητα 4.500 kcal/Kg περίπου. Σαν πρώτες ύλες χρησιμοποιούν:

- ελαιουργικά απόβλητα.....40%
- βιομάζα δάσους.....40%
- αστικά απόβλητα.....20%

Επίσης συνηθίζεται η χρήση ως καυσίμων, των στερεών υπολειμμάτων των δεξαμενών καθίζησης, που λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε λάδι (10-20%) και οργανική ουσία έχουν ένα υψηλό θερμαντικό δυναμικό όμοιο με αυτό του πυρηνόξυλου.

1.3.2.3.5 Βιομεθανοποίηση

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στον καθαρισμό των αποβλήτων ελαιουργείου με αναερόβια βιολογική επεξεργασία, η οποία έχει ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενη ενότητα. Σύμφωνα με πειραματικά στοιχεία, τα απόβλητα ενός φυγοκεντρικού ελαιουργείου που οδηγούνται σε δεξαμενή αναερόβιας ζύμωσης (αφού προηγουμένως γίνει ρύθμιση της αναλογίας C/N) με χρόνο υδραυλικής συγκράτησης 5 ημέρες, καθαρίζονται με αποδοτικότητα 75-80% (ως ποσοστό περιοριζόμενου BOD). Ταυτόχρονα όμως, παράγονται έως και 1,6 m³ βιοαερίου ανά Kg περιοριζόμενου BOD. Έτσι, η αναερόβια

επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείου που επεξεργάζεται 50 tn ελαιόκαρπο την ημέρα παράγοντας περίπου 50 tn υγρών αποβλήτων, είναι δυνατό να αποφέρει 1280 m³ βιοαερίου ή 850 m³ μεθανίου που ισοδυναμεί με 768 L πετρελαίου την ημέρα (Vlyssides, et.al. 2007).

Θεωρητικά η ενέργεια που παράγεται υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του ελαιουργείου και της εγκατάστασης βιομεθανοποίησης. Ωστόσο θα πρέπει να διερευνηθεί το κόστος της απαιτούμενης επένδυσης, με μια εκτενέστερη οικονομική μελέτη, ώστε να αξιολογηθεί ο χρόνος απόσβεσης και τα οφέλη μιας τέτοιας εγκατάστασης.

1.3.2.3.6 Αξιοποίηση αποβλήτων με χημική σύνθεση

Η μέθοδος προτείνει την αξιοποίηση των δευτερευόντων, εκτός ελαιόλαδου, συστατικών που περιέχουν τα απόβλητα των ελαιουργείων, όπως σκουαλένιο, στερόλες, τριτερπενοειδείς αλκοόλες και τοκοφερόλες (Israilidis et al. 1997).

Η χημική ημισύνθεση περιλαμβάνει πλήρη χημική επεξεργασία:

- εστεροποίηση παρουσία μεθανόλης και καυστικού καλίου
- αποχρωματισμό με ειδικό φιλτράρισμα
- υδρόλυση προς σκουαλένιο ή και β-σιτοστερόλη (ουσίες που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία φαρμάκων και καλλυντικών).

Γενικά, η μέθοδος κρίνεται ως οικονομικά ασύμφορη.

1.3.3 Συμπεράσματα

Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, γίνεται κατανοητό ότι στις ημέρες μας έχει επιτευχθεί πλέον η αφύπνιση του τεχνικού κόσμου όσον αφορά το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων ελαιουργείου. Η αφύπνιση αυτή ξεκινάει από τη συνειδητοποίηση της υψηλής ρυπαντικής δύναμης των συγκεκριμένων αποβλήτων που τα κατατάσσει ανάμεσα στα πιο ρυπογόνα, με ολοένα αυξανόμενη επιρροή στην ισορροπία του φυσικού περιβάλλοντος.

Ακόμα, σημαντικό ρόλο προς την κατεύθυνση της αφύπνισης έχει παίξει το γεγονός ότι η αξιοποίηση του οργανικού περιεχομένου των υγρών αποβλήτων της ελαιουργίας μπορεί να αποδώσει ένα αποταμίευμα ενέργειας της τάξεως του 10-15% ως προς το παραγόμενο ελαιόλαδο. Πόσο σημαντική είναι η εξοικονόμηση αυτή φαίνεται απλά από την ποσοτική της ερμηνεία: ισοδυναμεί με την παγκόσμια παραγωγή των τελευταίων 100 ετών σε ελαιόλαδο ή μεθερμηνευόμενο σε ισοδύναμο πετρελαίου αντιστοιχεί περίπου στις ανάγκες της τελευταίας δεκαετίας για τη χώρα μας, δηλαδή σε σημερινό συνάλλαγμα της τάξεως των 20 δισεκατομμυρίων δολαρίων ή τριών έως τεσσάρων προϋπολογισμών του κράτους (Woodbury and Breslin, 1992).

Οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες που έχουν ήδη γίνει - αλλά και αυτές που βρίσκονται σε εξέλιξη - έχουν σαν βασικό τους σκοπό να συμβάλλουν στη διαμόρφωση ολοκληρωμένης λύσης του ιδιαίτερου προβλήματος ρύπανσης που προκαλούν τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων, με την ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας που επιδιώκουν:

1) Την ικανοποιητική μείωση του οργανικού τους φορτίου, ικανή να επιτρέψει την αποβολή τους, χωρίς προβλήματα, στο περιβάλλον.

2) Την αξιοποίηση των τόσο "πλούσιων" συστατικών που περιέχουν.

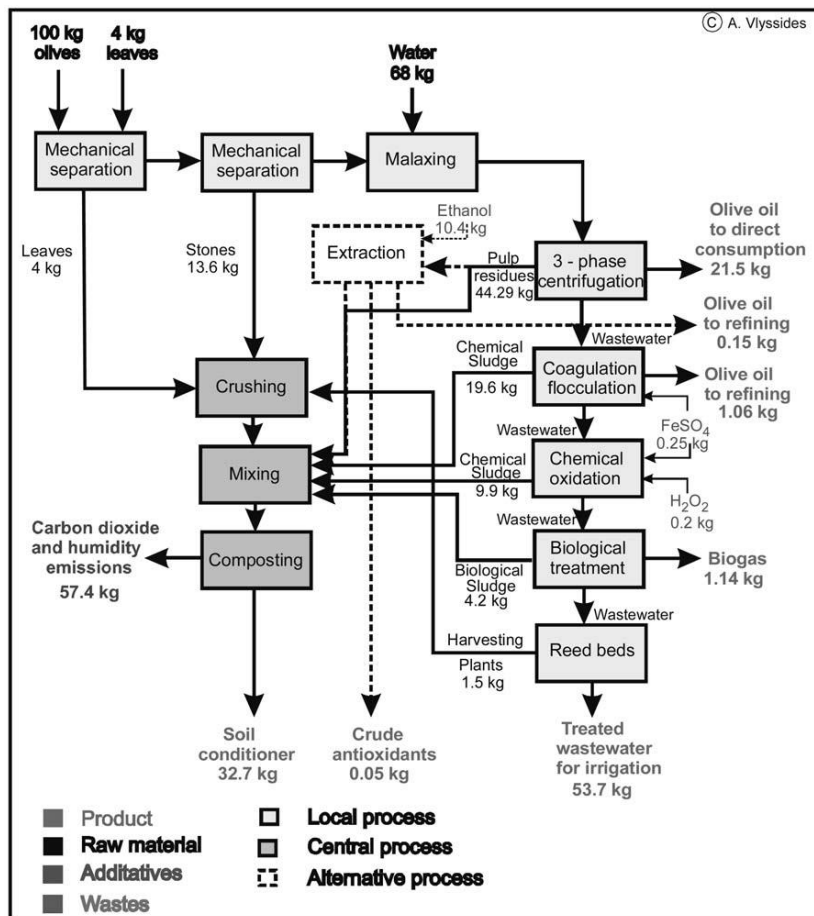
Το πρόβλημα της επεξεργασίας των αποβλήτων των ελαιουργείων έχει απασχολήσει το σύνολο σχεδόν των σχετικών Ευρωπαϊκών ερευνητικών φορέων την τελευταία δεκαετία και κυρίως τα εργαστήρια των Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία). Μέχρι σήμερα, τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό, έχουν πραγματοποιηθεί πολλά σχετικά ερευνητικά προγράμματα τόσο με Εθνική όσο και με Κοινοτική χρηματοδότηση. Τα αποτελέσματα των προγραμμάτων αυτών είναι (εν γένει) αμφιλεγόμενα, αν και ορισμένες προτεινόμενες μέθοδοι έχουν αποδώσει ιδιαίτερα ικανοποιητικούς βαθμούς καθαρότητας στα επεξεργασμένα απόβλητα (Mbuligwe, et.al. 2007). Το σύνολο όμως των προτεινόμενων μεθόδων παρουσιάζει αδυναμίες ως προς την ολοκληρωτική εφαρμογή τους, που συνίστανται στα εξής:

- κάποιες από τις μεθόδους είναι οικονομικά ασύμφορες (αν σκεφτεί κανείς ότι είναι πολύ πιο εύκολο για τον ιδιοκτήτη ενός ελαιουργείου να "πετάξει" απλώς το απόβλητο)
- κάποιες άλλες δεν προσφέρουν επαρκή και περιβαλλοντικώς αποδεκτά αποτελέσματα
- κάποιες άλλες βρίσκονται σε αρχικά στάδια μελέτης, οπότε απαιτείται η πιλοτική τους μελέτη (pilot plant) πριν εφαρμοστούν.

Θα πρέπει να ληφθεί επίσης υπόψη το γεγονός ότι μια συνεργασία μεταξύ περισσότερων ελαιουργείων θα καθιστούσε ίσως πιο εφικτή την πρακτική εφαρμογή μιας μεθόδου και θα της έδινε περισσότερες πιθανότητες οικονομικής επιβίωσης. Πράγματι, με μια τέτοια συνεργασία (συνεταιρισμοί) εξασφαλίζεται η οικονομική δυνατότητα δημιουργίας μεγαλύτερων εγκαταστάσεων, οι οποίες θα παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων με το μικρότερο δυνατό κόστος ή ακόμη καλύτερα με το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος. Μια τέτοια εγκατάσταση θα πρέπει να στηρίζεται στην εφαρμογή της πιο αξιόλογης μεθόδου, ή ακόμα καλύτερα, να συνδυάζει στοιχεία από περισσότερες μεθόδους. Μία προτεινόμενη λύση στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

1.3.4. Η ολοκληρωμένη μέθοδος αντιρρύπανσης

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, στη συμβατική διεργασία εξαγωγής ελαιόλαδου 3 φάσεων υπάρχει η προσθήκη ενός σταδίου αφαίρεσης των ελαιοπυρήνων πριν το στάδιο της μάλαξης. Αυτό οδηγεί σε 50% μείωση του προστιθέμενου νερού και μια επακόλουθη 50% μείωση των παραγόμενων αποβλήτων με όλα τα πλεονεκτήματα της διεργασίας 3 φάσεων και εν μέρει εκείνης των 2 φάσεων. Επίσης, υπάρχει 1,5 αύξηση της παραγωγικής ικανότητας του ελαιουργείου και μία 50% μείωση στερεών αποβλήτων με συνακόλουθη μείωση της ποσότητας ελαιόλαδου η οποία απορροφήθηκε από αυτά.



Διάγραμμα 1.8. Ολοκληρωμένη αξιοποίηση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων

Ο απομονωμένος ελαιοπυρήνας που παρήχθη μέσω της διεργασίας εξαγωγής 3 φάσεων είναι κατάλληλος για αποτελεσματική εξαγωγή των εμπορεύσιμων αντιοξειδωτικών. Μία ολοκληρωμένη μέθοδος εξαγωγής τέτοιων προϊόντων αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. με χρήση αιθανόλης ως διαλύτη. Η περαιτέρω χρήση του βασίζεται στην τιμή των αντιοξειδωτικών προϊόντων και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο παρουσιάζεται ως εναλλακτική διεργασία στο διάγραμμα.

Τα παραγόμενα απόβλητα είναι 50% λιγότερα από εκείνα που παράγονται με τη συμβατική διεργασία 3 φάσεων όμως το ρυπαντικό τους φορτίο είναι 1,2-1,5 φορές μεγαλύτερο. Τα απόβλητα επεξεργάζονται με εφαρμογή οξειδωτικής μεθόδου Fenton ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO}\cdot$). Η διεργασία

αυτή αποδείχθηκε αποτελεσματική για τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων και την αποτοξικοποίησή τους. Μετά την εφαρμογή αυτή, η συμβατική βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων είναι εφικτή και οικονομική (Poincelot RP, 1972). Επίσης, περαιτέρω επεξεργασία των αποβλήτων με κλίνες καλάμου είναι δυνατό να τα καθιστούν πλήρως ανακυκλώσιμα.

Τα στερεά απόβλητα της προτεινόμενης μεθόδου είναι οι λάσπες που παράγονται στη φυγοκέντριση (με ή χωρίς αιθανόλη), οι οργανικές λάσπες από την οξειδωτική διεργασία, εκείνες που παράγονται από τη βιολογική επεξεργασία, τα φύλλα των ελαιόδεντρων, οι πυρήνες του ελαιόκαρπου και το υπόλειμμα από τις κλίνες. Τα παραπάνω στερεά απόβλητα συλλέγονται, αναμιγνύονται, πέζονται και οδηγούνται σε μονάδα κομποστοποίησης για την παραγωγή οικολογικού εδαφοβελτιωτικού με πολύ καλές θρεπτικές ιδιότητες.

Στο διάγραμμα παρουσιάζονται τα ισοζύγια μάζας όλων των προϊόντων και παραπροϊόντων της προτεινόμενης μεθόδου. Τα κύρια πλεονεκτήματά της είναι:

- Υφίσταται μηχανικός διαχωρισμός των πυρήνων πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου
- Με τη χρήση των πυρήνων μόνο ως υλικό κομποστοποίησης, το τελικό προϊόν έχει 40% περισσότερο άζωτο και φώσφορο.
- Η αποτοξικοποίηση των αποβλήτων επιτυγχάνεται με χρήση μιας διαδικασίας οξείδωσης Fenton ακολουθούμενη από μία συμβατική βιολογική επεξεργασία (αερόβιες κλίνες καλάμου).
- Οι αποτοξικοποιημένες χημικές λάσπες είναι πιο συμβατές για τη διαδικασία κομποστοποίησης λόγω της παρουσίας περισσότερων βιοδιασπώμενων ουσιών.

Η οικονομική μελέτη της προτεινόμενης μεθόδου δείχνει ότι υπάρχει ένα ελάχιστο κόστος ανά τόνο παραγόμενου ελαιόλαδου, το οποίο αντιστοιχεί σε παραγωγική ικανότητα του ελαιουργείου ίση με 1400 τόνους/έτος. Σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα, αυτή είναι η παραγωγική ικανότητα 3-4 ελαιουργείων. Ως αποτέλεσμα, είναι προτιμώμενο να κατασκευάζεται μία κοινή μονάδα επεξεργασίας για τη διαχείριση των αποβλήτων 3-4 ελαιουργείων, λαμβάνοντας υπόψη την παραγωγική ικανότητα καθενός καθώς και την απόσταση μεταξύ τους.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα, δεν υπάρχει όμοιο ελάχιστο μέγεθος για μονάδα κομποστοποίησης, και όσο μεγαλύτερη κατασκευαστεί, τόσο φθηνότερο θα είναι το παραγόμενο τελικό προϊόν.

Η προτεινόμενη τεχνολογία εφαρμόστηκε σε βιομηχανικό μέγεθος από την εταιρία ΟΙΚΟΟΡΓΑΝΙΚΗ ΙΚΕ στην βιομηχανική περιοχή της Αλεξανδρούπολης. Η μονάδα αποτελείται από:

- 1) μια μονάδα οξείδωσης με χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου και αλάτων θειικού υποσιδήρου,
- 2) ένα σύστημα συγκομποστοποίησης υπολειμμάτων πυρήνα και φύλλων με τα οξειδωμένα υγρά απόβλητα που παρήχθησαν στο πρώτο στάδιο (Vlyssides et.al. 2004, 2009).

Στη βιομηχανική αυτή μονάδα πραγματοποιήθηκαν όλες οι ερευνητικές διαδικασίες που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.



1.4. Νομοθετικό Πλαίσιο

Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων έχουν υψηλό οργανικό και τοξικό ρυπαντικό φορτίο. Τα ελαιοτριβεία χαρακτηρίζονται ως μικρές εποχιακές επιχειρήσεις (λειτουργούν τρεις μήνες περίπου το χρόνο) και εξ αυτού του λόγου τα κοστολόγιά τους αποτρέπουν την εφαρμογή ειδικευμένων τεχνικών για την επεξεργασία των αποβλήτων τους. Εντούτοις όμως η απαίτηση της Πολιτείας για καθαρό περιβάλλον έχει επιβάλει αυστηρές

νομοθετικές προδιαγραφές τις οποίες τα ελαιοτριβεία πρακτικά αδυνατούν να εφαρμόσουν.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ειδικές διατάξεις σχετικά με την απόρριψη των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου. Οι βασικές αρχές για την διαχείριση αυτών με βάση το Νόμο 1650/86 « Για την Προστασία του Περιβάλλοντος » σύμφωνα με τον οποίο, οι ιδιοκτήτες ελαιοτριβείου υποχρεούνται να παρέχουν μια μελέτη εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η επικαιροποιημένη εγκύκλιος ΥΜ / 5784 / 23-1-1992 (αριθ 4419 / 23-10-1992) αναφέρεται στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν λόγω της διάθεσης των λυμάτων των ελαιοτριβείων, στην ανάγκη για μια αποτελεσματική προ-επεξεργασία καθώς επίσης και στην φροντίδα που απαιτείται, προκειμένου να αποφευχθεί η διάθεση σε διάφορους υδάτινους πόρους. Η νομοθετική κατάσταση στην Ελλάδα (Νόμοι 1650/86 και 3010/2002) δεν επιτρέπει την εφαρμογή των αποβλήτων ελαιοτριβείου μη επεξεργασμένου ελαιόλαδου στην επιφάνεια του εδάφους. Κάθε νομός είναι υπεύθυνος για την υιοθέτηση κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης των λυμάτων των ελαιοτριβείων ενθαρρύνοντας διαφορετικές προσεγγίσεις της διαχείρισης των αποβλήτων.

Όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη νομοθεσία η οποία να καθορίζει τη διαχείριση των αποβλήτων αυτών, γι' αυτό το λόγο και δεν καθορίζονται οριακές τιμές λυμάτων σε εθνικό επίπεδο αλλά έχουν εκδοθεί για πολλούς νομούς σε περιφερειακό επίπεδο. Η Πολιτεία πρότεινε εφαρμόσιμες τεχνικά και βιώσιμες οικονομικά διαδικασίες για την επεξεργασία των αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Έτσι καθόρισε μονοδιάστατα και ανελαστικά μια τεχνική, σύμφωνα με την οποία θα δίδονται οι άδειες λειτουργίας των ελαιοτριβείων. Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την εξουδετέρωση των αποβλήτων με ασβέστη και την παροχέτευσή τους σε ανοικτές αβαθείς δεξαμενές (λαγκούνες) ώστε αυτά να εξατμιστούν δια λιμνάσεως. Τα εναπομείναντα στερεά θα μπορούν να εναποθέτονται στις χωματερές. Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής καθορίστηκε από τη Διεύθυνση Περιβάλλοντος του Υπουργείου Υγείας.

Με την εφαρμογή 15 ετών της υποχρεωτικής αυτής διατάξεως διάθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων και την κατασκευή περίπου 400 αβαθών δεξαμενών σε όλη την Ελλάδα, οδηγούμαστε σε κάποια επιβαρυντικά για το περιβάλλον συμπεράσματα. Ένα από αυτά είναι ότι απαιτούνται τεράστιες εκτάσεις. Ο χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων εκεί δεν είναι επαρκής για την εξάτμισή τους. Τα υγρά απόβλητα δεν είναι βιοαποικοδομήσιμα λόγω της τοξικότητάς τους και αυτό οδηγεί στη δυσκολία καθαρισμού – απομάκρυνσής τους. Οι παραπάνω λόγοι συντελούν στη δημιουργία

αναερόβιων διεργασιών έχοντας σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών στις γύρω περιοχές. Το υψηλό κόστος στεγανοποίησης δεξαμενών ωθεί την κατασκευή αυτών σε αργιλικά εδάφη, στα οποία τις περισσότερες φορές δημιουργούνται ρωγμές με αποτέλεσμα τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα. Η φύση αποτελεί μια αλυσίδα που κάθε κομμάτι της επηρεάζεται από ένα άλλο. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω τα απόβλητα ελαιοτριβείων δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία όμως αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Γεωργακαράκος, 2013 και Λουκάκος, 2010).

Η σημαντικότερη ελληνική νομοθεσία που αφορά τα ελαιοτριβεία είναι:

↳ **ΝΟΜΟΣ ΥΠ. ΑΡΙΘΜ. 1650/86:** «Για την προστασία του περιβάλλοντος» (ΦΕΚ 160/Α/16-10-86). Σκοπός του νόμου είναι η θέσπιση θεμελιωδών κανόνων και η καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών για την προστασία του περιβάλλοντος, έτσι ώστε ο άνθρωπος, ως άτομο και ως μέλος του κοινωνικού συνόλου, να ζει σε ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον, μέσα στο οποίο να προστατεύεται η υγεία του και να ευνοείται η ανάπτυξη της προσωπικότητάς του.

↳ **ΝΟΜΟΣ ΥΠ. ΑΡΙΘΜ. 2516/97:** «Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 159/Α/8-8-97). Σύμφωνα με το άρθρο 2 τα ελαιοτριβεία νοούνται ως Βιομηχανία ή Βιοτεχνία. Επιπλέον, στο άρθρο 18, παράγραφος 2, αναφέρεται ότι : «Για την χορήγηση νέας άδειας λειτουργίας αόριστης χρονικής ισχύος απαιτείται να έχει εξασφαλιστεί προηγουμένως η πλήρης συμμόρφωση των φορέων προς τις κείμενες διατάξεις περί προστασίας του περιβάλλοντος και υγιεινής των εργαζομένων και περιοίκων....»

↳ **ΝΟΜΟΣ ΥΠ. ΑΡΙΘΜ. 2244/94:** «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». Σύμφωνα με αυτό τον νόμο, καθορίζονται οι οικονομικοί και τεχνικοί όροι που απαιτούνται για την πώληση στη ΔΕΗ ή την ιδιοκατανάλωση της ενέργειας που παράγεται από την αξιοποίηση της βιομάζας.

↳ **ΚΥΑ 69269/5387/90 :** «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθορισμός περιεχομένου ειδικών περιβαλλοντικών μελετών (ΕΠΜ) και λοιπές συναφείς διατάξεις, σύμφωνα με τον Ν. 1650/86» (ΦΕΚ 678Β/25-10-90). Σύμφωνα με την απόφαση αυτή, τα ελαιοτριβεία εντάσσονται στην Β΄ κατηγορία δραστηριοτήτων, και αναφέρονται οι πιθανές επιπτώσεις των ελαιοτριβείων στην γενική τους μορφή .

↳ **ΚΥΑ 10537/93 :** «Καθορισμός αντιστοιχίας της κατάταξης των βιομηχανικών – βιοτεχνικών δραστηριοτήτων της ΚΥΑ 69269/90 με την αναφερόμενη στις πολεοδομικές ή άλλες διατάξεις διάκριση των δραστηριοτήτων σε χαμηλή, μέση και υψηλή όχληση» (ΦΕΚ 139Β/11-3-93). Σύμφωνα με το άρθρο 1, τα ελαιοτριβεία κατατάσσονται στην κατηγορία των βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, στην ομάδα βιομηχανία τροφίμων και στις υποομάδες μέσης όχλησης, αν η δυναμικότητά τους υπερβαίνει τους 50t ελαιόκαρπου/ημέρα. Τα περισσότερα ελαιουργεία που η δυναμικότητά τους δεν ξεπερνά τους 20 t ελαιόκαρπου/ημέρα χαρακτηρίζονται χαμηλής όχλησης.

↳

↳ **ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ Ε1β/221 :** «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων» (ΦΕΚ 138/Β/24-12-1965). Η Διάταξη αυτή του Υπουργείου Υγείας και Πρόνοιας, θέτει

ουσιαστικά το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να κινούνται οι βιομηχανίες όσον αφορά την επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων τους (ορισμός, γενικοί όροι, φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά αποβλήτου, όροι διάθεσης, μέθοδοι, αδειοδοτήσεις, κυρώσεις) .

☞ Μια σημαντική οδηγία εφαρμογής της Υ.Δ. Ε1β/221 που κοινοποιήθηκε με την εγκύκλιο του ΥΚΥ με αριθμό Α5/4690/ΕΓΚ.62/26-4-80, αναφέρει τους όρους για τη χορήγηση άδειας διαθέσεως λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων, τον τρόπο ανανέωσης προσωρινής άδειας διαθέσεώς τους και στοιχεία για τον έλεγχο αποδόσεως των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Στο παράρτημα 1 της Οδηγίας υπάρχει ενδεικτικός πίνακας με τα προτεινόμενα χαρακτηριστικά ποιοτικών παραμέτρων, για τον έλεγχο των βιομηχανικών αποβλήτων κατά κλάδο και είδος βιομηχανίας. Έτσι στην κατηγορία Βρώσιμα Λίπη και Έλαια του κλάδου Τροφών και Ποτών, οι τακτικοί ποιοτικοί παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται είναι το BOD 5 , και το COD, τα αιωρούμενα στερεά, τα διαλυμένα στερεά, τα λίπη, τα έλαια και το pH ενώ οι συμπληρωματικοί παράμετροι είναι το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), τα θειικά και τα θειούχα κατά περίπτωση. Επίσης σημαντικότερες Οδηγίες Εφαρμογής της Υ.Δ. Ε1β/221/65 αποτελεί η εγκύκλιος του ΥΥΠ&ΚΑ με αρ. ΥΜ/2985/29-5-1991 και η εγκύκλιος του ΥΥΠ&ΚΑ με αρ. ΥΜ/5784/23-1-1992 και αρ. 4419/23-10-1992.

☞ **ΟΔΗΓΙΑ 2006/12/ΕΚ** για τα στερεά απόβλητα: Τονίζει ότι βασικός στόχος κάθε ρύθμισης στον τομέα της διαχείρισης των αποβλήτων πρέπει να είναι η προστασία της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από τις επιβλαβείς επιδράσεις που προκαλούνται από τη συγκέντρωση, τη μεταφορά, την επεξεργασία, την εναποθήκευση και την απόθεση των αποβλήτων. Στα παραρτήματα που ακολουθούν, αναφέρονται οι κατηγορίες των αποβλήτων καθώς και οι εργασίες διάθεσης και αξιοποίησης των αποβλήτων, πάντα με τρόπο που να μη θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και χωρίς να χρησιμοποιούνται διαδικασίες ή μέθοδοι που μπορούν να βλάψουν το περιβάλλον.

☞ **ΟΔΗΓΙΑ 2004/35/ΕΚ** σχετικά με την περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημίας: Προώθηση της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Στα παραρτήματα γίνεται αναφορά στα μετρήσιμα δεδομένα που καθορίζουν τις σημαντικά δυσμενείς μεταβολές σε σχέση με την αρχική κατάσταση, θεσπίζει κοινό πλαίσιο που πρέπει να τηρείται προκειμένου να επιλέγονται τα καταλληλότερα μέτρα για να εξασφαλίζεται η αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημίας και κατηγοριοποιούνται οι δραστηριότητες όπου βρίσκεται πεδίο εφαρμογής η συγκεκριμένη οδηγία.

Στη συνέχεια δίνονται τα επιτρεπτά όρια που επικρατούν σε Ευρωπαϊκές χώρες για τη διάθεση των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων σε διάφορους αποδέκτες. Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρόλο που τα απόβλητα αυτά αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για τις Μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δεν υπάρχει κοινή πολιτική για την αντιμετώπισή τους και ούτε βέβαια κοινά όρια για τη διάθεσή τους σε διάφορους αποδέκτες.

Πίνακας 1.4. Όρια για τη διάθεση του κασιόγαρου σε υδάτινους αποδέκτες σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες σε mg/l

	Διάθεση σε επιφανειακά νερά			Διάθεση στη θάλασσα		Διάθεση στο αποχετευτικό σύστημα		
	Ελλάδα	Ιταλία	Κροατία	Ελλάδα	Κροατία	Ελλάδα	Ιταλία	Κροατία
<i>pH</i>	6-9	5,5-9,5	6,5-8	6-9	6,5-8	6-9	5,5-9,5	5-9,5
<i>BOD</i>	40	<40	25	40	25	500	<250	250
<i>COD</i>	1	<160	125	120	125	1000	<500	700
<i>Ολικά αιωρούμενα στερεά</i>	40	<80	3	50	35	500	<200	80
<i>Λίπη και έλαια</i>	5		25	5	25	40	100	
<i>Φαινόλες</i>	0,5	<0,5	0,1	0,5	0,1	5	<1	10

Το πιο σημαντικό βήμα που έχει γίνει μέχρι σήμερα στην ελληνική νομοθεσία για τα Απόβλητα των Ελαιοτριβείων, αποτελεί η εγκύκλιος του ΥΠ&ΚΑ με αρ. **ΥΜ/5784/23-1-1992** και αρ. **4419/23-10-1992** η οποία αναφέρει αναλυτικά: «Έχοντας υπόψη τα προβλήματα που δημιουργούνται στο περιβάλλον από τη διάθεση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων», σας γνωρίζουμε τα εξής:

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με χημική μέθοδο (εξουδετέρωση με υδράρβεστο και χημική κροκίδωση) βρίσκει εφαρμογή μόνο σε χαμηλά ποσοστά και αποτελεί μια μέθοδο μείωσης του οργανικού και χημικού ρυπαντικού φορτίου. Ακόμα και με πλήρη σχεδόν απόδοση των εγκαταστάσεων δεν προσεγγίζει τα επιθυμητά επίπεδα, όπως προβλέπεται από την Υ.Δ.Ε1β/221/65 και τις σχετικές εγκυκλίους.

Η προαναφερόμενη μέθοδος αποτελεί μια κλασσική και ευρέως διαδεδομένη μέθοδο μείωσης της ρύπανσης. Υπάρχουν και άλλες παραλλαγές αυτής καθώς επίσης και συμπληρωματικές όπως για παράδειγμα διάφορα κροκιδωτικά υλικά, συνδυασμός με αναερόβια βιολογική επεξεργασία.

Η συγκεκριμένη μέθοδος βρίσκει εφαρμογή στο χειρισμό επιβαρυσμένων αλλά και δύσκολων αποβλήτων γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητο πέραν της υψηλής αποδοτικότητας και λειτουργικότητας, να είναι και τεχνικό – οικονομικώς συμφέρουσα όσον αφορά τις μικρές επιχειρήσεις (ελαιοτριβεία). Στα πλαίσια αυτά στρέφονται και οι ερευνητικές μελέτες που έγιναν και γίνονται και που οπωσδήποτε τα αποτελέσματα θα συνεκτιμηθούν και θα γίνουν οι ανάλογες νομοθετικές ρυθμίσεις (εγκύκλιοι, τροποποιήσεις Υγειονομικών Διατάξεων κ.λ.π).

Ο τελικός αποδέκτης των επεξεργασμένων αποβλήτων θα καθορίζεται πάντοτε στα πλαίσια της Υ.Δ.Ε1β/221/65 και της εγκυκλίου με αρ. οικ. ΥΜ 2985/29-5-91 και οπωσδήποτε θα λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές συνθήκες. Η θάλασσα και γενικότερα οι υδάτινοι αποδέκτες θα πρέπει να

αποφεύγονται και να αποτελούν μόνο την αναπόφευκτη λύση, μετά τον αποκλεισμό όλων των άλλων δυνατών πεδίων τελικής διάθεσης (υπεδάφιας, επιφανειακά στο έδαφος κ.λ.π).

↳ **ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΥΠ' ΑΡΙΘΜΟΝ 1180:** « Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγόμενων εις τα της λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνών, πάσης φύσης μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει» (ΦΕΚ 293/τ.α./6-10-1981).

Το Προεδρικό αυτό Διάταγμα το οποίο αποτελεί την προγενέστερη μορφή του Ν. 1650/86, του νόμου πλαισίου για το περιβάλλον δίνει ορισμούς όπως για το «περιβάλλον», τη «ρύπανση», τη «μόλυνση» κ.λ.π. Μεταξύ άλλων το Διάταγμα αυτό καθορίζει με το άρθρο 3 τις «κατευθυντήριες τιμές, εκ των οποίων θα καθορίζονται εκάστοτε τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπής ρυπαινουσών ουσιών δι' έκαστο υδάτινο αποδέκτη, αναλόγως της χρήσεως και της αφομοιωτικής ικανότητας αυτού, συμφώνως προς τας εκάστοτε ισχύουσας υγειονομικάς διατάξεις».

1.5. Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται ως μια εξώθερμη αερόβια βιολογική διαδικασία μετατροπής των οργανικών αποβλήτων σε ένα ομοιογενές και διαθέσιμο βιοαποικοδομήσιμο οργανικό υλικό (BOM). Στο σημείο αυτό αξίζει να υπογραμμιστεί ότι το πλήθος των προϊόντων προς κομποστοποίηση είναι αρκετά μεγάλη. Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα στα οποία εντάσσονται τα υπολείμματα καλλιεργειών, στερεά και υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Επίσης οργανικά απόβλητα καθώς και απόβλητα αστικών δραστηριοτήτων τα οποία αναφέρονται σε ιλύες αστικών λυμάτων, οργανικό κλάσμα στερεών αστικών αποβλήτων, φυτικά απορρίμματα. Στα βιομηχανικά απόβλητα ζωικής αλλά και μεικτής προέλευσης εντάσσονται τα υπολείμματα σφαγείων, πτηνοτροφείων, κονσερβοποιείων και απορρίμματα ζωοτροφών (Hassen et al. 2001). Άλλα διάφορα υπολείμματα, απορρίμματα, όπως απόβλητα χαρτοβιομηχανίας, άλγη-φύκια, πριονίδια, λάσπη καθαρισμού καναλιών.

Η βιολογική αυτή διαδικασία ολοκληρώνεται σε διάστημα περίπου 6 μηνών. Η διαδικασία της βιοαποικοδόμησης μπορεί να ερμηνευθεί ως το άθροισμα σύνθετων μεταβολικών διεργασιών, οι οποίες εκτελούνται από μια ποικιλία διαφορετικών ειδών μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα. Οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί παρουσία οξυγόνου, αλλά και άλλων συνθηκών όπως θερμοκρασία, περιεκτικότητα σε υγρασία, σωστή αναλογία C / N, καθώς και η φύση των φρέσκων οργανικών υλικών, (Mustin 1987;Tuomela 2000;) δημιουργούν τη δική τους βιομάζα (Mangkoedihardjo, 2006).

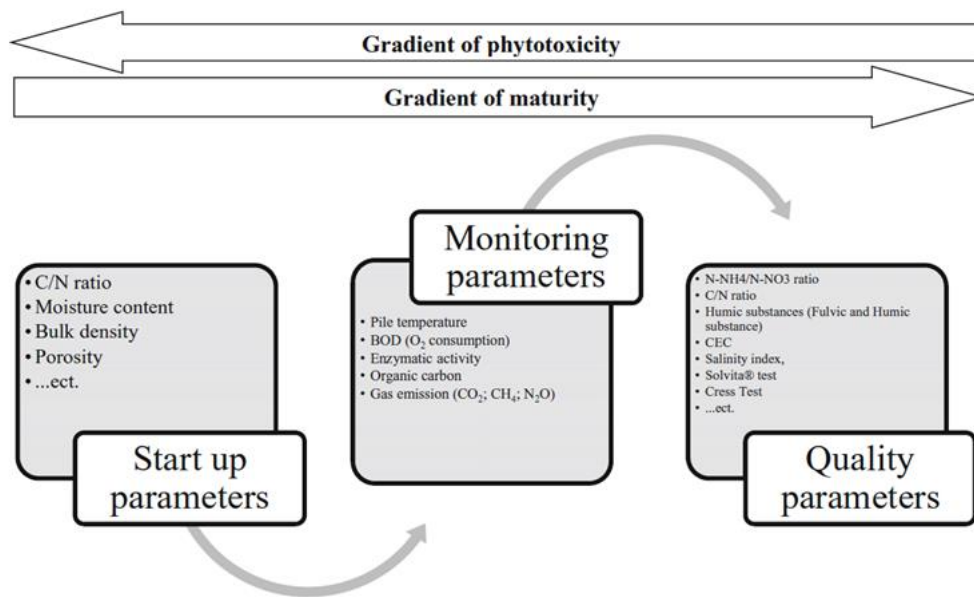
Το τελικό προϊόν μιας τέτοιας αποσύνθεσης χαρακτηρίζεται ως μια χουμοειδής ουσία, η οποία βρίσκει επιτυχή εφαρμογή ως παράγοντας εμπλουτισμού του εδάφους ή ως οργανικό λίπασμα (Changa, et al. 2003). Η λιπασματοποίηση ενισχύει το βιολογικό αερόβιο μετασχηματισμό οργανικής ύλης που περιλαμβάνει το σχηματισμό των χουμικών ουσιών και τη δημιουργία ενός σταθερού προϊόντος που ονομάζεται κομποστ (AntizarLadislao et al. 2006). Τα οργανικά υπολείμματα μπορούν να συμβάλλουν στην ανασύσταση των εδαφών. Τα λιπάσματα τα οποία παρασκευάζονται από τα διάφορα οργανικά απόβλητα διαφέρουν ως προς την ποιότητα και τη σταθερότητά τους, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη σύνθεση των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λιπασμάτων (Ayuso et.al.1996).

Όταν αναφερόμαστε σε ένα σταθερό προϊόν εννοούμε ένα προϊόν το οποίο θα έχει αποκλείσει μια μορφή σχετικά αδρανής, χωρίς έντονη μικροβιακή δραστηριότητα καθώς επίσης και διάσπαση των πολύπλοκων οργανικών μεγάλο-μορίων σε πιο σταθερά οργανικά και ανόργανα συστατικά. Επιπλέον συμπεριλαμβάνεται και η δυσάρεστη οσμή που μερικά οργανικά υλικά αναδύουν, μείωση ή καλύτερα ολική καταστροφή κάθε είδους παθογόνου για τον άνθρωπο μικροβιακού φορτίου. Όσον αφορά τις καλλιέργειες, το προϊόν θα έχει μειωμένη έως μηδαμινή φυτοτοξική δράση του οργανικού φορτίου, καθώς επίσης θα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορες καλλιέργειες καλύπτοντας έτσι ανάγκες σε οργανικό λίπασμα αλλά και την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία που απαιτεί την ανάκτηση κέρδους από τα απορρίμματα (Ferrer, 2001).

1.5.1 Φάσεις κομποστοποίησης.

Η διαδικασία της κομποστοποίησης χωρίζεται σε δύο φάσεις, τη φάση της αποσύνθεσης και τη φάση της χουμοποίησης. Η συνολική διάρκειά της κυμαίνεται από 2 έως 6 μήνες ανάλογα πάντα από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται αλλά και τις καιρικές συνθήκες. Στη φάση της αποσύνθεσης κυρίαρχο ρόλο παίζει η μικροβιακή δραστηριότητα η οποία οδηγεί στην αποσύνθεση του μεγαλύτερου μέρους του βιοαποικοδομήσιμου υλικού και τη σταθερότητα του οργανικού υπολείμματος (Adani et al., 1999). Διαφορετικά είδη μικροοργανισμών είναι ενεργά σε διαφορετικές στιγμές στο σωρό του κόμποστ. Τα βακτήρια έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στη διαδικασία της αποσύνθεσης και είναι τα πρώτα που αναλαμβάνουν δράση στο σωρό, χρησιμοποιώντας γρήγορα τα εύκολα αφομοιώσιμα θρεπτικά συστατικά της αποσύνθεσης (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και σάκχαρα), γρηγορότερα από κάθε άλλο τύπο μικροοργανισμών (Γαζή, 2004).

Η κάθε μια από αυτές διαδραματίζει το δικό της ρόλο στην όλη διαδικασία της κομποστοποίησης λαμβάνοντας υπόψιν και τις παραμέτρους που λαμβάνουν χώρα σε κάθε φάση. Οι διαφορετικές παράμετροι αποτελούν τον κεντρικό άξονα των βιολογικών διεργασιών καθώς και της ποιοτικής αξιολόγησης του λιπάσματος. Στο παρακάτω διάγραμμα εικονίζονται οι παράμετροι αλλά και οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται αυτοί.



Διάγραμμα 1.9. Κατηγορίες παραμέτρων ελέγχου κομποστοποίησης

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα η βασική εναρκτήρια παράμετρος είναι η σύσταση της πρώτης ύλης. Για μια σωστή διαδικασία κομποστοποίησης είναι απαραίτητη προϋπόθεση η ύπαρξη σωστής αναλογίας άνθρακα C/ αζώτου N, περιεκτικότητα υγρασίας καθώς και το σωστό πορώδες για την καλύτερη και γρηγορότερη αποσύνθεση των υλικών (Choi 1999). Η περιεκτικότητα του συστήματος σε οξυγόνο είναι εξίσου υψηλή στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης. Όπως

προαναφέρθηκε το πρώτο στάδιο της διαδικασίας της κομποστοποίησης είναι αυτό της αποσύνθεσης το οποίο με την σειρά του διασπάται σε τρεις επιπλέον φάσεις:

- ↳ Μεσόφιλη
- ↳ Θερμόφιλη
- ↳ Ψυχρόφιλη

Η μεσόφιλη φάση θεωρείται η σημαντικότερη διότι αποτελεί τον κύριο άξονα εξέλιξης της κομποστοποίησης λόγω της ανάπτυξης μικροοργανισμών οι οποίοι βοηθούν στην βιοαποικοδόμηση των οργανικών συστατικών (Tuomela M. 2000). Η φάση αυτή ολοκληρώνεται σε διάστημα περίπου 20-25 ημερών, εξαρτάται βέβαια και από συγκεκριμένες παραμέτρους όπως θερμοκρασία, C/N αναλογία, pH και περιεκτικότητα σε υγρασία. Τα μεσόφιλα βακτήρια πρωταγωνιστούν στη μεσόφιλη φάση, πολλαπλασιάζονται γρήγορα, καθώς χρησιμοποιούν τις απλές διαθέσιμες οργανικές ενώσεις (Kaiser 1983 and Mustin 1987). Τα ποσοστά άνθρακα και αζώτου στα υλικά λιπασματοποίησης παίζουν σημαντικό ρόλο. Ο άνθρακας αποτελεί κύρια πηγή ενέργειας αλλά και στοιχειώδες συστατικό των μικροοργανισμών. Ενώ το άζωτο αποτελεί κύριο συστατικό για την σύνθεση αμινοξέων, πρωτεϊνών και νουκλεϊνικών οξέων. Κατά τη διάρκεια των ενεργών φάσεων αερόβιας ζύμωσης, οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν 15 έως 30 φορές περισσότερο άνθρακα από το άζωτο (Larsen,2000).

Η θερμοκρασία αυξάνεται ραγδαία από θερμοκρασία περιβάλλοντος στους 42°C (Hassen et.al 2001). Επιπλέον το pH μειώνεται λόγω των οργανικών οξέων τα οποία απελευθερώνονται κατά την αποικοδόμηση υδρογονανθράκων και λιπιδίων από μικροοργανισμούς. Η άνοδος της θερμοκρασίας αλλά και η βιοαποικοδόμηση εξαρτάται άμεσα από τη σύνθεση της οργανικής ύλης, αλλά και από τα συστατικά που αποτελούν το θρεπτικό υπόστρωμα όπως για παράδειγμα τα σάκχαρα. Η απότομη ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει αναερόβιες συνθήκες με αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας του υλικού σε οξυγόνου (Michel and Reddy, 1998). Η παρακάτω εικόνα 1.5 απεικονίζει τη διαδικασία της αναστροφής και παράλληλα αερισμού του υλικού. Ο αερισμός λαμβάνει χώρα μετά το πέρας των πρώτων ημερών της διαδικασίας. Είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την ανάπτυξη των θερμόφιλων βακτηρίων.

Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 45°C οι μεσόφιλοι πληθυσμοί αντικαθίστανται και από τα θερμόφιλα βακτήρια όπως το γένος *Bacillus* (Lungisa, 2006). Η θερμόφιλη φάση περιλαμβάνει θερμό-ανθεκτικούς και θερμοφιλικούς μύκητες. Η έκλυση θερμότητας είναι αποτέλεσμα κυρίως της μικροβιακής δραστηριότητας η οποία εξαρτάται άμεσα από τη μάζα των οργανικών συστατικών, αγγίζοντας μέσα σε λίγες ημέρες και τους 65°C (Barje, et.al.2012). Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται επίσης και στην ύπαρξη ακτινομυκήτων, οι οποίοι αποικοδομούν τις οργανικές ενώσεις ανεβάζοντας τη θερμοκρασία. Παρατηρείται επίσης αύξηση του pH>8 λόγω της αποικοδόμησης των μικροοργανισμών σε πρωτεΐνες και εκλύεται αμμωνία. Πάνω από 65°C η υποβάθμιση της οργανικής ύλης επιβραδύνεται. Μόνο τα ένζυμα που απελευθερώθηκαν στο προηγούμενο στάδιο, εξακολουθούν να συμβάλλουν στην υποβάθμιση (Alberti, 1984 and Mustin, 1987).

Η θερμοφιλή φάση απαιτεί συνεχή παρακολούθηση λόγω της απότομης αύξησης της θερμοκρασίας που μπορεί να προκαλέσει αναερόβιες συνθήκες με αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας του υλικού σε οξυγόνο και κατά συνέπεια την αναστολή της μικροβιακής δράσης. Με το σωστό αερισμό του υλικού (αναστροφή του υλικού) η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά και έτσι επαναφέρεται σταδιακά η επιτάχυνση της μικροβιακής δραστηριότητας. Με αυτό τον τρόπο όλα τα ευαφομοίωτα υλικά καταναλώνονται και η μικροβιακή δραστηριότητα αρχίζει να μειώνεται σταδιακά.

Κατά τη θερμοφιλή φάση οι περισσότερες πηγές αζώτου αποικοδομούνται ταχύτατα και αυτό έχει σαν συνέπεια την παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας (Chafetz,et.al.1996)Α. Ο δεύτερος κύριος ανασταλτικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την όλη εξέλιξη, εκτός από το οξυγόνο, είναι η μείωση του ρυθμού διαθεσιμότητας άνθρακα. Σε αυτή την περίπτωση αναφερόμαστε σε χαμηλό λόγο C / N, πράγμα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα σχετικά υψηλότερες εκλύσεις αζώτου στην ατμόσφαιρα. Οι θερμοφιλοί μύκητες έχουν την ικανότητα να αποικοδομούν την ημικυτταρίνη και την κυτταρίνη. Οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα επικρατούν καταναλώνοντας την υπολειπόμενη κυτταρίνη. Οι μεσόφιλοι αλλά και οι θερμοφιλοί μικροοργανισμοί μπορούν να χαρακτηριστούν ως καλοί αποικοδομητές της κυτταρίνης. Όσον αφορά την λιγνίνη η αποικοδόμησή της έχει γίνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (<50°C) όταν πλέον επικρατούν οι λιγνολυτικοί μύκητες.



Εικόνα 1.5 Ανάδευση και αερισμός του υλικού

Το στάδιο αυτό αποτελεί ένα κομβικό αλλά και μεταβατικό στάδιο από τη θερμοφιλή στην ψυχρόφιλη φάση της κομποστοποίησης. Η πτώση της θερμοκρασίας η οποία ξεκινά μετά τη δωδέκατη εβδομάδα είχε ως αποτέλεσμα την αρχή της εξάντλησης οργανικών συστατικών. Επιπλέον κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, ο λόγος C / N των διαφορετικών ρυθμών τείνει να σταθεροποιείται. Στο τέλος του 3^{ου} μήνα της διαδικασίας της κομποστοποίησης, οι μέσες θερμοκρασίες μέσα στα διάφορα κοιλώματα σηματοδότησαν μια πραγματική πτώση με τιμές που αγγίζουν ακόμα και τους 30°C.

1.5.2 Ο ρόλος των παραμέτρων στην κομποστοποίηση

1.5.2.1 Ο ρόλος των μικροοργανισμών

Ο κύκλος του αζώτου αλλά και του άνθρακα πραγματοποιείται μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας μικροοργανισμών οι οποίοι παράλληλα παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην διεργασία της κομποστοποίησης. Κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού, ο άνθρακας ενσωματώνεται στην βιομάζα των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην αποσύνθεση. Η οξείδωση των οργανικών ενώσεων έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (Agnew, Leonard, 2003). Πολλές ενώσεις είναι εύκολα αποικοδομήσιμες, ενώ άλλες είναι περισσότερο ανθεκτικές όπως η λιγνίνη, οι πολυφαινόλες κλπ.

Πολλά είδη μικροοργανισμών εμπλέκονται στον κύκλο του αζώτου. Κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού απελευθερώνεται το άζωτο σε ανοιγμένη μορφή, που εμπεριέχεται στις πρωτεΐνες, στα αμινοξέα και άλλες αζωτούχες οργανικές ενώσεις και παράγεται αμμωνία (αμμωνιοποίηση). Έπειτα μέσω των χημειολιθότροφων βακτηρίων Nitrosomonas sp., nitrobacter κλπ, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα και τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα (νιτροποίηση).

Η κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται από μια συνεχή αλληλουχία μικροβιακών δραστηριοτήτων, κατά τις οποίες το περιβάλλον που δημιουργείται από μια ομάδα μικροοργανισμών που αντικαθιστούν τα μεσόφιλα, τα οποία πεθαίνουν όταν η θερμοκρασία αγγίζει τους 45°C. Το συγκεκριμένο είδος βακτηρίων έχει τη δυνατότητα να επιβιώνει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με άλλα όπως οι ακτινομύκητες και οι μύκητες.

Οι μύκητες οι οποίοι συναγωνίζονται με τα βακτήρια για τη διαθέσιμη τροφή, παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της κομποστοποίησης, καθώς ο σωρός γίνεται ξηρότερος, αφού οι μύκητες είναι ικανοί να ανεχθούν περιβάλλοντα με χαμηλά ποσοστά υγρασίας καλύτερα από ότι τα βακτήρια. Οι μύκητες έχουν την ικανότητα να διασπών τις σύνθετες ενώσεις κάτω από κανονικές έως μέτριες θερμοκρασίες, όχι όμως και τις πολύ υψηλές. Κάποιοι τύποι μυκήτων έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε άζωτο από ότι τα βακτήρια. Τα πιο κοινά γένη μυκήτων είναι αυτά των *Penicillium* και *Aspergillus*. Τα βακτήρια και οι μύκητες που συμμετέχουν στην αποσύνθεση του υλικού μπορούν να ταξινομηθούν ως μεσόφιλοι και θεرمόφιλοι (Albuquerque, 2006).

Σ' αυτό το σημείο, ενεργοποιούνται οι θεرمόφιλοι οργανισμοί οι οποίοι προτιμούν θερμοκρασίες μεταξύ 45 και 70°C και παράγουν ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από ότι οι μεσόφιλοι, έτσι ώστε η θερμοκρασία που παρατηρείται αρκεί για να σκοτώσει τα περισσότερα παθογόνα και ζιζάνια. Αυτό συμβαίνει όταν οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό του σωρού είναι μεγαλύτερες από του περιβάλλοντος και ο σωρός δεν αναδεδύεται ή δεν παρέχεται σε αυτόν τεχνικά αέρας. Όσο υπάρχουν πηγές θρεπτικών και ενέργειας οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν τη δράση της αποδόμησης του υποστρώματος. Όταν όμως αρχίζουν να εξαντλούνται, οι θεرمόφιλοι οργανισμοί πεθαίνουν έχοντας σαν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του σωρού. Έτσι οι μεσόφιλοι οργανισμοί κυριαρχούν και

πάλι μέχρι τη στιγμή που θα έχουν χρησιμοποιηθεί όλες οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας (Gray, et.al.1971).

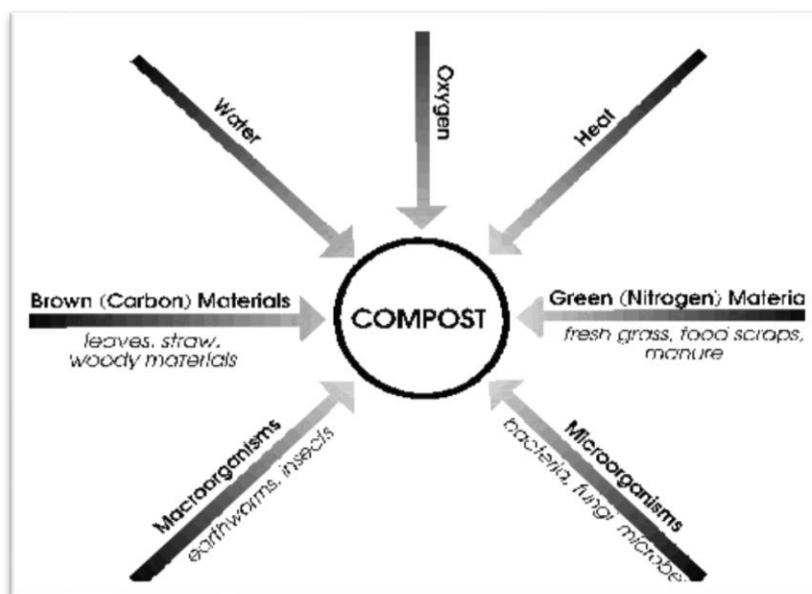


Εικόνα 1.6.. Η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης

1.5.2.2. Ο ρόλος των περιβαλλοντικών παραμέτρων

Μια ολοκληρωμένη διαδικασία κομποστοποίησης στηρίζεται στην παρουσία κατάλληλων πληθυσμών μικροοργανισμών. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την δραστηριότητά τους είναι αυτές που καθορίζουν τόσο το ρυθμό και την έκταση της διεργασίας, όσο και την ποιότητα του παραγόμενου τελικού σταθεροποιημένου οργανικού προϊόντος (compost) (Azim, et.al. 2018). Οι σημαντικότεροι παράγοντες όπως απεικονίζονται και στο παρακάτω σχήμα είναι: Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος

1. Ο αερισμός της μάζας
2. Η θερμοκρασία
3. Η υγρασία
4. Ο λόγος C/N
5. Οι τιμές pH
6. Φυτοτοξικότητα- φυτοθρεπτικότητα



Εικόνα 1.7. Παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν

1.5.2.3.. Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος

Μια ολοκληρωμένη διεργασία κομποστοποίησης απαιτεί σωστή προετοιμασία του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων προς κομποστοποίηση. Υλικά πλούσια σε αναλογία άνθρακα αζώτου είναι το πρώτο βήμα για την έναρξη μιας κομποστοποίησης. Η ταχύτητα αποσύνθεσης επηρεάζεται άμεσα από την ανάμειξη και την αναλογία διαφόρων ειδών υλικών. Η επίτευξη ιδανικού μίγματος είναι περισσότερο θέμα εμπειρίας παρά επιστημονικής ακρίβειας. Η ιδανική αναλογία είναι περίπου 3 μέρη υλικών πλούσια σε άνθρακα προς 1 μέρος πλούσιο σε άζωτο. Υπερβολική ποσότητα άνθρακα επιβραδύνει την αποσύνθεση ενώ τα πολλά αζωτούχα μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστες οσμές. Ο άνθρακας αποτελεί πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς ενώ αντίστοιχα το άζωτο πρωτεϊνών.

Η σωστή αναλογία της οργανικής μάζας που προορίζεται για κομποστοποίηση συνίσταται από στερεά ουσία, νερό και αέρια (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα), είναι πολύ σημαντική για την εξέλιξη της διεργασίας και την ποιότητα του προϊόντος (Azim, et.al 2014).

Η κοκκομετρία αποτελεί έναν επιπλέον σημαντικό παράγοντα για τη σωστή διεργασία. Η μικροβιακή μετατροπή του οργανικού κλάσματος σε κόμποστ επηρεάζεται αρκετά από τον λόγο επιφάνεια / όγκο των κόκκων. Η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού έχει ως αποτέλεσμα, ένα καλύτερο και πιο ομοιογενές υπόστρωμα ικανό- απαραίτητο για την μικροβιακή δράση. Μια κοκκομετρική σύσταση του υλικού αποτελούμενη από τεμαχίδια με διάμετρο λίγων χιλιοστών μέχρι και πέντε εκατοστών περίπου θεωρείται ικανοποιητική. Η μικροβιακή δράση επηρεάζεται σημαντικά από την περιεχόμενη υγρασία αλλά και συγκέντρωσης οξυγόνου.

Στην περίπτωση που το παρεχόμενο οξυγόνο και υγρασία πέσουν κάτω από ένα επιθυμητό όριο ο μικροβιακός μεταβολισμός επιβραδύνεται ή αναστέλλεται έχοντας σαν αποτέλεσμα την επιβράδυνση ή διακοπή της διεργασίας της κομποστοποίησης (Mondini, et.al. 2004).

1.5.2.4.Ο αερισμός της μάζας

Η αερόβια διεργασία βασίζεται στην παρουσία οξυγόνου η οποία θεωρείται σημαντική τόσο για τους μικροοργανισμούς όσο και για τη διάσπαση των οργανικών ουσιών σε μια αερόβια διεργασία όπως η κομποστοποίηση. Γι' αυτό το λόγο η παροχή του οξυγόνου στο σωρό πρέπει να γίνεται είτε τεχνικά με τη χρήση δυναμικών συστημάτων αερισμού είτε μέσω του γυρίσματος του υλικού. Ο ρόλος του αερισμού είναι απαραίτητος γιατί παρέχει οξυγόνο και βοηθάει τον αερόβιο μεταβολισμό, ελέγχει την θερμοκρασία και ταυτόχρονα απομακρύνει την υγρασία και τα αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού όπως το διοξείδιο του άνθρακα κλπ.

Ο συνεχής αερισμός του σωρού οδηγεί στη μείωση των παραγόμενων οσμών. Είναι επίσης γνωστό ότι η συχνή ανάδευση του υλικού έχει επίδραση στις παραγόμενες οσμές, οι οποίες γίνονται όλο και πιο ήπιες λόγω της αποτροπής ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών. Έχει παρατηρηθεί επίσης, ότι οι εντονότερες οσμές εμφανίζονται στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης και αμέσως μετά την πραγματοποίηση κάθε γυρίσματος (Saer, 1993).

1.5.2.5. Η θερμοκρασία

Η σημαντικότερη παράμετρος για την εξέλιξη της κομποστοποίησης είναι η θερμοκρασία διότι από τα επίπεδα αυτής εξαρτάται η μικροβιακή δράση. Οι ρυθμοί ανάπτυξης του μικροβιακού πληθυσμού εξαρτάται από τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και ανάλογα το επίπεδό της, σε κάθε φάση, αναλαμβάνει δράση διαφορετικό είδος μικροβιακού πληθυσμού (Vlyssides,et.al. 1996). Με βάση την εξέλιξη των θερμοκρασιών η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα στάδια: Το μεσόφιλο (αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης) στο οποίο η θερμοκρασία έχει αυξητική τάση με τιμές έως 40-50°C, το θερμόφιλο, στο οποίο η θερμοκρασία φτάνει ή ξεπερνά τους 65°C και έπειτα ακολουθείται η πτώση της θερμοκρασίας και τέλος η ωρίμανση όπου αρχίζει συνήθως μετά την 8-12η εβδομάδα κομποστοποίησης (Bertoldi,et.al.1983).

Για γρήγορους ρυθμούς κομποστοποίησης οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>60°C) καλό είναι να αποφεύγονται, καθώς εμποδίζουν την μικροβιακή δραστηριότητα ή και επιφέρουν το θάνατο σε αρκετούς τύπους μικροοργανισμών. Αν η θερμοκρασία του σωρού είναι κάτω από τους 20°C, τότε η μικροβιακή δραστηριότητα είναι χαμηλή, ενώ όταν υπερβαίνει τους 20°C αρχίζει να αυξάνεται καθώς οι ρυθμοί της ενζυμικής δραστηριότητας διπλασιάζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας ανά 10°C (Bernal,et.al.2009).

1.5.2.6. Η υγρασία

Όπως προαναφέρθηκε για τη σωστή λειτουργία της κομποστοποίησης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο η υγρασία και το οξυγόνο. Οι μικροβιακοί πληθυσμοί χρειάζονται νερό για τις φυσιολογικές τους λειτουργίες, ενώ η υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας για τη μεταφορά πολλών μικροβίων και τη διευκόλυνση του αποικισμού των αποβλήτων. Επίσης το νερό είναι απαραίτητο για την διαλυτοποίηση των θρεπτικών συστατικών και κατ' επέκταση της αφομοίωσής τους.

Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι η βέλτιστη μικροβιακή δραστηριότητα επιτυγχάνεται με τη μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό, η οποία όμως δεν περιορίζει την διάχυση του οξυγόνου. Ανάλογα με το

είδος των αποβλήτων, η μικροβιακή δραστηριότητα χρειάζεται ένα ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται από 40-70%. Ποσοστό υγρασίας κάτω από 35-40% αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την μικροβιακή δραστηριότητα (Paraskeva and Diamadoroulos,2006).

1.5.2.7.Ο λόγος C/N

Η αναλογία C/N χαρακτηρίζεται ως δείκτης της βιοδιαθεσιμότητας των ουσιών που προσλαμβάνουν τα μικρόβια. Η μέτρηση σχετίζεται με την αναλογία του άνθρακα και του αζώτου που απαντάται στους ίδιους μικροοργανισμούς. Συνήθως οι μικροοργανισμοί περιέχουν 50%C, 5%N και 0,25-1%P.

Υψηλή αναλογία C/N εμποδίζει την ανάπτυξη των οργανισμών που αποσυνθέτουν το υλικό του σωρού, ενώ χαμηλή αναλογία C/N επιταχύνει την μικροβιακή αύξηση και την αποσύνθεση των αποβλήτων. Η βέλτιστη αναλογία C/N είναι ανάμεσα στο 25-40 αλλά οι τιμές εξαρτώνται από το είδος του υποστρώματος (Kumar, 2010, Larsen, et.al.2000).

1.5.2.8. Οι τιμές του pH

Ως ορισμός του pH μιας ουσίας δίνεται η μέτρηση της αλκαλικότητας ή οξύτητας της αναλογίας με την συγκέντρωση των ιόντων του υδρογόνου. Οι οργανικές ενώσεις που μπορούν να κομποστοποιηθούν έχουν pH από 3 έως 11 ενώ οι βέλτιστες τιμές βρίσκονται μεταξύ 5,5 και 8,0 (Rynk,1992).

Τα βακτήρια όπως και οι μύκητες μπορούν να επιβιώσουν σε συγκεκριμένες τιμές pH, μεταξύ 6,0 και 7,5 και 5,5 με 8,0 αντίστοιχα. Όταν οι τιμές pH πέφτουν κάτω από 6,0 οι μικροοργανισμοί και ιδιαίτερα τα βακτήρια, πεθαίνουν με συνέπεια την καθυστέρηση της αποσύνθεσης.

Κατά τα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης σχηματίζονται οργανικά οξέα και το υπόστρωμα γίνεται όξινο, με την τιμή του pH να κυμαίνεται γύρω στο 5. Το όξινο περιβάλλον δίνει στους μύκητες τις κατάλληλες συνθήκες για να βοηθήσουν στην αποσύνθεση των αποβλήτων. Εν συνεχεία αναλαμβάνουν δράση οι μικροοργανισμοί οι οποίοι βοηθούν στη διάσπαση των οξέων οδηγώντας τις τιμές του pH σε ουδέτερο με βασικό εύρος, 7 με 8,5. Η αύξηση του pH αυξάνει και το ρόλο των βακτηρίων στην κομποστοποίηση. Η παραμονή του Ph σε όξινα επίπεδα αντικατοπτρίζει ένα μη ώριμο προϊόν (ή ένα προϊόν εν εξελίξει) (Kostov, et.al.1994).

1.5.2.9. Θρεπτικά συστατικά

Η κομποστοποίηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια αλυσίδα με κάθε κρίκο να εξαρτάται από τον άλλο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πρωταγωνιστικό ρόλο παίζουν οι μικροοργανισμοί για τη δράση των οποίων απαραίτητη είναι η συγκέντρωση και η αναλογία θρεπτικών συστατικών, όπως άνθρακας (C), άζωτο (N), φώσφορος (P) και κάλιο (K). Ο άνθρακας παίζει διπλό ρόλο. Αποτελεί βασική πηγή ενέργειας αλλά και απαραίτητο συστατικό για τη σύνθεση πρωτεϊνών σε συνδυασμό με το άζωτο, για το σχηματισμό κυττάρων και εξασφάλιση της αναπαραγωγής τους (Chowdhury, et.al. 2014). Κατά γενικό κανόνα τα δύο αυτά θρεπτικά συστατικά αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες για μια αποτελεσματική αποσύνθεση.

Τα άλλα δύο συστατικά το κάλιο και ο φώσφορος αποτελούν τη βάση για την κυτταρική διαίρεση και το μεταβολισμό. Οι μικροοργανισμοί επίσης χρειάζονται ιχνοστοιχεία, όπως βόριο, κοβάλτιο, σίδηρο, μαγνήσιο, μολυβδένιο, σελήνιο, νάτριο, ψευδάργυρο. Αν και αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι βασικά για τη διατήρηση της ζωής τους, συγκεντρώσεις έστω λίγο μεγαλύτερες από ενδεικνυόμενες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.

Ακόμα και αν υπάρχουν τα απαραίτητα θρεπτικά σε επαρκείς ποσότητες, η χημική τους σύσταση μπορεί να μην τα καθιστά απαραίτητα σε ορισμένους ή όλους τους μικροοργανισμούς. Η ικανότητα της χρησιμοποίησης των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από τα ένζυμα του κάθε μικροοργανισμού (Lina Baeta-Hall, et.al. 2005).

1.5.2.10. Φυτοθρεπτικότητα- Φυτοτοξικότητα

Ο χαρακτηρισμός του τελικού προϊόντος ως ώριμου και έτοιμου για εμπορική χρήση, εξαρτάται από το βαθμό σταθερότητας ή ωριμότητας, γεγονός που συνεπάγεται μια σταθερή ύλη από την οποία απουσιάζουν φυτοτοξικές ενώσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αναπτυχθεί η μέθοδος της φυτοτοξικότητας, η οποία είναι μια απλή και γρήγορη βιοδοκιμή σε φυτά μετρώντας τη φύτευση του *Lepidiumsativum*, κοινώς κάρδαμο, που παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη σε υδατικά εκχυλίσματα του κόμποστ. Κατά τη διαδικασία της φυτοτοξικότητας μετράται η επί τοις εκατό βλαστικότητα, όπως και το μήκος της ρίζας του κάθε σπόρου. Μη τοξικό χαρακτηρίζεται ένα προϊόν το οποίο εμφανίζει δείκτη ωριμότητας >80%. Το τεστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του τέλους την ενεργούς φάσης της κομποστοποίησης, αλλά όχι για να δώσει αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με το ρυθμό της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών. Η τοξικότητα στα φυτά οφείλεται στην αμμωνία αλλά και σε άλλες ενώσεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης, όπως το οξείδιο του αιθυλενίου, τα οργανικά οξέα. Έχει αποδειχθεί ότι το οξικό οξύ σε ποσότητες μεγαλύτερες των 300ppm είναι τοξικό για την ανάπτυξη των φυτών. Γενικότερα η φυτοτοξικότητα δεν προέρχεται μόνο από μια ένωση αλλά από τη συνδυαστική επίδραση αρκετών οργανικών ενδιάμεσων προϊόντων της αποσύνθεσης (Helfrich, et.al.1998).

1.5.2.11. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Με την αγωγιμότητα (EC) εκφράζουμε τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο οργανικό υλικό μας ή στο υπόστρωμα μας. Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν αποτελεί μειονέκτημα για τη διαδικασία του Composting αλλά απαιτεί, ιδιαίτερη προσοχή ως προς την ποσότητα που θα εφαρμοστεί κατά στρέμμα ή ως προς την αναλογία συμμετοχής του στην παρασκευή υποστρωμάτων (Chowdhury, et.al, 2016).

1.5.2.12. Συγκέντρωση λιπαρών ουσιών

Κατά την αρχή της θερμοφιλικής φάσης, το απόβλητο μετατρέπεται από ένα υδρόφοβο σε ένα υδρόφιλο υπόστρωμα. Κατά τη διάρκεια της ίδιας φάσης, το CO₂ δημιουργείται σε μεγάλες ποσότητες λόγω της έντονης αναπνοής των διαφόρων μικροοργανισμών που υπάρχουν στο κομπόστ. Μια

κατηγορία αυτών των μικροοργανισμών έχει την ικανότητα να μετατρέπει βιολογικά ανασταλτικές ενώσεις, όπως οι λιπαρές ουσίες, σε λιγότερο τοξικές ενώσεις. Η παρουσία έχει την ικανότητα να απενεργοποιεί τη διαδικασία κομποστοποίησης που αναστέλλει την εξάτμιση του νερού (δηλ. μειώνει την ικανότητα του συστήματος να εξατμίζει την περίσσεια υγρασία που παράγεται υπό βιολογική οξείδωση με οργανικό άνθρακα). Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μείωση της συγκέντρωσης των λιπαρών ουσιών αποτελεί βασικό παράγοντα για την εξέλιξη της διαδικασίας, η οποία περιέχει υψηλά βρώσιμα ελαιώδη υποστρώματα. Από την άλλη πλευρά, δεν υπάρχει καμία ακριβής ανάλυση των μετρήσεων on-line των FOGs κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

1.5.2.13. Συγκέντρωση Χουμικών και Φουλβικών Ενώσεων

Εξίσου σημαντικοί παράγοντες για την εξέλιξη μιας κομποστοποίησης είναι οι χουμικές ουσίες. Αποτελούν πολύ σημαντικά συστατικά της οργανικής ύλης του εδάφους (χούμο) που επηρεάζουν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες και βελτιώνουν τη γονιμότητα του εδάφους. Οι χουμικές ουσίες αποτελούνται από τρία συστατικά: τα χουμικά που είναι το αδιάλυτο στο νερό συστατικό της οργανικής ύλης (OM) για όλες τις κλίμακες pH, τα φουλβικά οξέα (FA) που είναι το διαλυτό συστατικό του OM σε ισχυρές αλκαλικές συνθήκες και τα χουμικά οξέα (HA) που είναι το αδιάλυτο συστατικό σε ισχυρά όξινη κατάσταση. Κατά τη διάρκεια της περιόδου κομποστοποίησης (θερμόφιλη και μεσόφιλη) οι αρχικές ποσότητες χουμικών ουσιών εμπλουτίζονται με τις κυτταρικές μεμβράνες των μικροοργανισμών θανάτου. Σήμερα, κατά τη διάρκεια της περιόδου ωριμότητας (μεσοφιλική περίοδος) αναπτύσσεται ο βιο-μετασχηματισμός των χουμικών ουσιών σε χουμικά οξέα που διέρχονται από φουλβικά οξέα. Η περίοδος της ωρίμανσης ξεκινά όταν τα φουλβικά οξέα αρχίζουν να βιο-μετασχηματίζονται σε χουμικά οξέα (Senn, et.al,1973). Η περίοδος εμβολιασμού είναι η σημαντικότερη περίοδος μιας διαδικασίας κομποστοποίησης, διότι, προκειμένου να παραχθεί ένα εμπορεύσιμο προϊόν κομποστοποίησης τα χουμικά οξέα όσο το δυνατόν περισσότερο είναι ο στόχος μιας επιτυχημένης διαδικασίας κομποστοποίησης.

Οι χουμίνες αποτελούν το κλάσμα των χουμικών ουσιών που δεν είναι διαλυτές ούτε σε αλκαλικό περιβάλλον (υψηλό pH) αλλά ούτε και σε όξινο περιβάλλον (χαμηλό pH). Τα σύμπλοκα χουμίνης θεωρούνται μακροοργανικά (πολύ μεγάλα), επειδή τα μοριακά τους βάρη (MW) κυμαίνονται από περίπου 100.000 έως 10.000.000. Σε σύγκριση, τα μοριακά βάρη των υδατανθράκων (σύνθετα σάκχαρα) κυμαίνονται από περίπου 500 έως 100.000. Οι χημικές και φυσικές ιδιότητες των χουμινών είναι μόνο εν μέρει κατανοητές. Οι χουμίνες που υπάρχουν στο έδαφος είναι οι πιο ανθεκτικές στην αποσύνθεση (αργή έως τη διάσπαση) όλων των χουμικών ουσιών. Ορισμένες από τις κύριες λειτουργίες των χουμινών στο έδαφος είναι η βελτίωση της χωρητικότητας του εδάφους, η βελτίωση της δομής του εδάφους, η διατήρηση της σταθερότητας του εδάφους, η λειτουργία του ως συστήματος ανταλλαγής κατιόντων και γενικότερα η βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους. Λόγω αυτών των σημαντικών λειτουργιών, το humin είναι ένα βασικό συστατικό των εύφορων εδαφών (Velasco, et.al.2004).

1.5.3. Προϊόν κομποστοποίησης- Κόμποστ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το ώριμο κόμποστ χαρακτηρίζεται ως ένα υλικό στο οποίο η βιολογική δραστηριότητα είναι πολύ αργή. Όλα τα εύκολα αποικοδομούμενα υλικά έχουν διασπασθεί αφήνοντας μόνο τις πολύπλοκες οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομούνται εύκολα. Η «ωρίμανση» και η «σταθερότητα» του κόμποστ αποτελούν δύο διαφορετικές ιδιότητες αν και η διαφορά είναι πολύ λεπτή (Amir 2005). Η σταθερότητα ορίζεται με βάση την βιοδιαθεσιμότητα του οργανικού υλικού. Αυτό σημαίνει ότι συνδέεται με το ρυθμό της αποσύνθεσης, δηλαδή το ρυθμό της μικροβιακής δραστηριότητας (Bernal et al., 1998, Chen 2003, Grigatti 2004, Castaldi et al. 2005, Adani et al. 2006). Η ωρίμανση του κόμποστ είναι άρτια συνδεδεμένη με την καταλληλότητά του για την ανάπτυξη των φυτών. Από τον παραπάνω ορισμό της ωρίμανσης του υλικού, αναμένεται ως λογική συνέπεια ότι η ανάπτυξη των φυτών θα ήταν ο καταλληλότερος δείκτης της ωρίμανσης του υλικού. Όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει, γιατί οι δοκιμές σε φυτά είναι χρονοβόρες, για να έχουν χρησιμότητα ως βασική δοκιμή αξιολόγησης ενός κόμποστ (Bernal et al. 2009). Επίσης το τελικό προϊόν μπορεί να χαρακτηριστεί ώριμο όταν δεν αναπτύσσει θερμότητα κατά την ανάδευση και όταν δεν δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες κατά την αποθήκευσή του. Άλλοι παράγοντες που εμπλέκονται στη φυτοτοξικότητα και οδηγούν στην αναστολή της βλάστησης και της φυτικής ανάπτυξης είναι τα ιχνοστοιχεία, τα βαρέα μέταλλα, η αμμωνία, το CO₂ (Σκιαδά, 2011).

Στο σημείο αυτό αξίζει να υπογραμμιστεί ότι ο καλύτερος δείκτης ωριμότητας του λιπάσματος παραμένει η φυτοτοξικότητα. Οι Tiquia και Tam (1998) επιβεβαιώνουν σε αρκετές μελέτες, ότι το σταθερό λίπασμα δεν είναι απαραίτητος και ώριμο, καθώς μπορεί ακόμα να έχει ανασταλτική ή φυτοτοξική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού υλικού και το επίπεδο των φορέων μόλυνσης προσδιορίζουν την ποσότητα της οργανικής ύλης σε σχέση με τα άλλα συστατικά. Ως πηγή οργανικής ύλης, το κόμποστ έχει σημαντική επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Το κόμποστ συχνά αναφέρεται και ως «βελτιωτικό εδάφους». Σε περίπτωση που το προϊόν αυτό διαθέτει υψηλή περιεκτικότητα σε χουμικές ενώσεις θεωρείται κατάλληλο για να συγκρατήσει, αλλά και να διατηρήσει την υγρασία του εδάφους για μεγάλο χρονικό διάστημα σε επίπεδο ικανό ώστε τα φυτά να μπορούν να τροφοδοτηθούν σε περίοδο ανομβρίας. Μέσω της διαδικασίας αυτής αποθηκεύονται και προσλαμβάνονται θρεπτικές ουσίες, καθώς επίσης και ιχνοστοιχεία για μεγάλο χρονικό διάστημα, απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον περιέχει νιτρικό αμμώνιο και άλλες αζωτούχες ουσίες οι οποίες είναι ανταλλάξιμες με άλλες ουσίες του εδάφους (Wichuk and McCartney 2013). Η οργανική ύλη του εδάφους μεταβάλλει επίσης διάφορα σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως την κατιονική ιοντοεναλλακτική ικανότητα και το pH. Επιπλέον, επειδή τα περισσότερα τροφοδοτικά υλικά περιέχουν και ποσότητες από μικρο- και μακρο-θρεπτικά συστατικά φυτών, η προσθήκη κόμποστ σε ποσότητες αρκετά μεγαλύτερες από αυτές των λιπασμάτων, συνήθως εξασφαλίζει ικανοποιητικά επίπεδα θρεπτικών συστατικών απαραίτητα για την ανάπτυξη του φυτού (Roman et al. 2015). Η αλατότητα του εδάφους μπορεί επίσης να επηρεαστεί, ανάλογα με τα

χαρακτηριστικά του κόμποστ. Η αύξησή της έχει αρνητική επίδραση διότι αποτρέπει τη βλάστηση των σπόρων και μειώνει την ανάπτυξη του φυτού ή την απόδοση της καλλιέργειας. Το μαύρο χρώμα που προσδίδεται και στο έδαφος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και διατήρηση αυτής σε επίπεδα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών.

Η προσθήκη κόμποστ σε οποιοδήποτε έδαφος απαιτεί την παρέλευση αρκετών ετών πριν παρατηρηθούν αλλαγές στις φυσικές του ιδιότητες. Αντίθετα από τις χημικές ιδιότητες οι οποίες μπορούν να προσδιορισθούν σχετικά εύκολα, ο ποσοτικός προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων είναι περισσότερο δύσκολος (Lasaridi, et.al.2006). Παρόλο που το κόμποστ χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό, συχνά απαιτούνται σχετικά μεγάλες ποσότητες για την βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Το κόμποστ μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών και ιδιαίτερα του αζώτου και του φωσφόρου. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή των ανώριμων λιπασμάτων στο έδαφος επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα, όπως η φυτοτοξικότητα, ο ανταγωνισμός για το οξυγόνο μεταξύ μικροβιακής βιομάζας καθώς και η ανεπάρκεια αζώτου σε ρίζες / σπόροι (Go'mez-Brand'o'n et al., 2008). Επιπλέον η εφαρμογή του κόμποστ επηρεάζεται και από τις καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα ο συνδυασμός των ανόργανων λιπασμάτων και του κόμποστ έχει αποδειχθεί ότι είναι μια εναλλακτική λύση για την εφαρμογή του κόμποστ την περίοδο της άνοιξης. Η βελτιστοποίηση της μικροβιακής δραστηριότητας αλλά και η κατακράτηση νερού με τη χρήση του κόμποστ δικαιολογούν την αύξηση αποδοτικότητας των ανόργανων λιπασμάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί την άνοιξη ο καιρός είναι πιο ψυχρός με αποτέλεσμα η μικροβιακή δράση να είναι μειωμένη (Simard et al., 1996).

Όσον αφορά το έδαφος προφυλάσσεται από διαβρώσεις οι οποίες πιθανότατα προκαλούνται από δυνατές βροχές αλλά και ανέμους. Τα αμμώδη και τα πηλώδη εδάφη βελτιώνονται και γίνονται πιο παραγωγικά. Αυτό είναι ένα ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης του κόμποστ διότι αποτρέπει την απαίτηση για προσθήκη χημικής λίπανσης, το ράντισμα καθώς και άλλες τέτοιες πρακτικές. Τα οργώματα, σκαλίσματα και τα βοτανίσματα γίνονται ευκολότερα λόγω της ύπαρξης λιγότερων αγριόχορτων και συνεπώς λιγότερη δουλειά (Gigliotti, et.al.2012).

Η ωρίμανση του λιπάσματος αποτελεί το πιο ουσιώδες κριτήριο τόσο για την ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων όσο και την εμπορία - χρήση των λιπασμάτων στη γεωργία ως οργανική λίπανση. Το κόμποστ για να θεωρηθεί ώριμο θα πρέπει να πληροί κάποιες προδιαγραφές. Οι παράγοντες που σηματοδοτούν την ωρίμανση του λιπάσματος χαρακτηρίζονται ως δείκτες ωριμότητας και σταθερότητας και περιλαμβάνουν μια μεγάλη γκάμα παραμέτρων όπως: η αναλογία άνθρακα-αζώτου (C/N), μικροβιακή δραστηριότητα, δείκτη βλάστησης, κατιοντική ιοντοεναλλακτικότητα (CEC), περιεκτικότητα σε χουμικές και φουλβικές ενώσεις, διαλυμένη οργανική ύλη, $\text{NH}_4\text{-N}$ και $\text{NO}_3\text{-N}$. αναλογίες του $\text{NH}_4\text{-N} = \text{NO}_3\text{-N}$, (Harada και Inoko 1980, Zucconi et al. 1981, Iglesias- Jimenez και Pe'rez-Garc'aa 1992). Ο Pérez-García (1991) υποστηρίζει ότι σε ένα ώριμο κόμποστ μια τιμή CEC μεγαλύτερη από τα 60 meq.100 g⁻¹ οργανικής ύλης θεωρείται ικανοποιητική. Άλλοι παράγοντες που προσδιορίζουν την ωριμότητα είναι το pH οι τιμές του οποίου κυμαίνονται μεταξύ 7-9, η

περιεκτικότητα σε υγρασία 45-55%, ο λόγος C/N πρέπει να είναι περίπου 12:1 ενώ ο λόγος HA/FA θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 2,5 (Charnay 2005).

Στον παρακάτω πίνακα 1.5. φαίνονται τιμές που θεωρούνται ικανοποιητικές για ένα καλό προϊόν κόμποστ.

Πίνακας 1.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος κόμποστ με ικανοποιητικές εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες

Παράμετρος	Ποιοτικά χαρακτηριστικά προϊόντος	
Οπτική εμφάνιση	Όλο το υλικό είναι σκούρο καφετί. Το αρχικό υλικό δεν είναι πλέον ορατό. Η δομή είναι μίγμα συσσωματωμάτων και φυτοχώματος λεπτού και μέσου μεγέθους	
Οσμή	Φυτοχόμα από τη δασική έκταση χωρίς καμία οσμή αμμωνίας ή αναερόβια οσμή	
Φυσικά χαρακτηριστικά	Υγρασία (%)	45,65%
	Μέγεθος (mm)	Όλοι οι κόκκοι είναι μικρότεροι από 5mm
	Φαινομενική πυκνότητα (g/L)	645g/L
Εδαφοβελτιωτικό	Ικανότητα συγκράτησης νερού(%)	248,7%
	Δείκτης θρεπτικότητας (%)	180%
Θρεπτικά χαρακτηριστικά	Λόγος C/N	17,97
	Ολική οργανική ύλη (%)	85,8%
	Τέφρα(%)	14,2%
	Οργανικός άνθρακας (%)	49,76%
	Ολικό άζωτο (%db)	2,77% ξηρή βάση
	Νιτρικό άζωτο (%)	Λιγότερο από 20% του ολικού αζώτου
	Νιτρώδες άζωτο (mg/Kg)	0 mg/Kg ξηρή βάση
	Θειούχες ενώσεις (mg/Kg)	0 mg/Kg ξηρή βάση
	Αμμωνιακό άζωτο (mg/Kg)	0 mg/Kg ξηρή βάση
	Ολικός φώσφορος (mg/Kg)	1780 mg/Kg ξηρή βάση
	Ph	7.8
	Κατιονική ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC) (meq/100g)	52meq/100g
	Περιεκτικότητα σε χουμικά οξέα (% db)	14.2% ξηρή βάση
	ΟλικόCa (mg/Kg db)	3.25 g/100g ξηρή βάση
	Ολικό Cu (mg/Kg db)	26.7 mg/Kg ξηρή βάση
	Ολικό Zn(mg/Kg db)	49.7 mg/Kg ξηρή βάση
	ΟλικόMn(mg/Kg db)	135 mg/Kg ξηρή βάση
	Ολικό K (%db)	2.26% ξηρή βάση
	Fe (g/Kg)	2.6 g/Kg ξηρή βάση
	Ολικό (%)	0.45% ξηρή βάση
	Pb	Δεν ανιχνεύεται
	Cd	Δεν ανιχνεύεται
	Ni	Δεν ανιχνεύεται
	Hg	Δεν ανιχνεύεται
	Cr	Δεν ανιχνεύεται
	Ανταλλάξιμο Na(meq/100g)	2,76meq /100g
	ΑνταλλάξιμοCa(meq/100g)	30.29 meq /100g
	Ανταλλάξιμο Mg(meq/100g)	5.25 meq /100g
	ΑνταλλάξιμοMn(meq/100g)	46.8 meq /100g
	Ανταλλάξιμο K(meq/100g)	17.6 meq /100g
	Ανταλλάξιμο Cu(meq/100g)	3.6 meq /100g
	Ανταλλάξιμο Zn(meq/100g)	20.6 meq /100g
	Ανταλλάξιμο Fe(meq/100g)	446 meq /100g
	Επί τις % ανταλλάξιμο Na (ESP) (%)	0.05%
	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm)	2200mS/cm
	Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά	Heterotrophic Plate Count (CFU/gdw)
Δείκτης ωριμότητας (%)		>50%
Δείκτης σταθερότητας (mg O ₂ / Kg d.c-hour.)		<100 mg O ₂ / Kg dry compost-hour.

1.5.4. Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ στην ελληνική γεωργία

Οι ανάγκες της ελληνικής γεωργίας σε κομπόστ και ιδιαίτερα στη νότια και νησιωτική Ελλάδα είναι αυξημένες λόγω του ξηροθερμικού κλίματος αυτών των περιοχών και των απαιτητικών, σε οργανική ουσία καλλιεργειών που γίνονται σε αυτές. Συνήθως δεν επαρκεί η ζωική κοπριά για να καλύψει τις συγκεκριμένες ανάγκες. Τη λύση, λοιπόν, έρχεται να δώσει η παρασκευή ώριμου κομπόστ από τα πάσης φύσεως οργανικά υπολείμματα των περιοχών αυτών: λ.χ. υπολείμματα καλλιεργειών, γεωργικών βιομηχανιών, αστικών αποβλήτων, ακόμη και ιλύος βιολογικών καθαρισμών. Η ποιότητα του κομπόστ και ιδιαίτερα η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία (που είναι απαραίτητη), καθώς και η περιεκτικότητά του σε βαρέα μέταλλα (που πρέπει να είναι περιορισμένη) παίζει καθοριστικό ρόλο τόσο στην αναλογία προσθήκης του στο έδαφος, όσο και σε ποια καλλιέργεια μπορεί να προστεθεί ή όχι. Οι ποσότητες των κύριων θρεπτικών στοιχείων (N,P,K) και ιδιαίτερα του αζώτου (N) που το φυτό απορροφά από το έδαφος ετησίως μπορούν να είναι ένας τρόπος για τον υπολογισμό της ποσότητας του κομπόστ που προστίθεται κατά στρέμμα το χρόνο. Συνιστάται η ποσότητα αζώτου που προστίθεται με κομπόστ για την κάλυψη των αναγκών του φυτού, να μην υπερβαίνει την αναγκαία ποσότητα. Κι' αυτό για να αποφεύγονται διάφορα προβλήματα τόσο για το φυτό όσο και το περιβάλλον (Karpetanios, et.al.1993).

1.5.4.1. Οφέλη του κόμποστ

Το ώριμο κομπόστ σύμφωνα με την βιβλιογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους και υποκατάστατο λιπασμάτων σε καλλιεργούμενα εδάφη και δασικές εκτάσεις. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό υποστρωμάτων για την ανάπτυξη κηπευτικών-ανθοκομικών και καλλωπιστικών φυτών αλλά και καλλιέργειας μανιταριών. Πρόσθετα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση του κόμποστ αναφέρονται στην θρέψη των φυτών, στην προστασία των εδαφών από τη διάβρωση και στην καταστολή φυτοπαθογόνων του εδάφους. Η παρεμποδιστική ικανότητα παρουσίας μυκήτων οι οποίοι έχουν την ικανότητα να τρέφονται από το οργανικό χούμους στα φυτά αποτελεί κύριο παράγοντα χρήσης του (Amir, 2006).

Το κόμποστ εμφανίζει κάποια πολύ σημαντικά οφέλη, ένα από τα κυριότερα είναι ότι το έδαφος στο οποίο έχει προστεθεί κόμποστ γεμίζει από μικροσκοπικά κανάλια και πόρους που συγκρατούν τον αέρα, την υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά με αποτέλεσμα να κάνουν το έδαφος πιο εύφορο. Επιπλέον περιέχει πολλούς ωφέλιμους οργανισμούς που μπορούν να προστατέψουν τα φυτά από ασθένειες και παράσιτα. Τέτοιοι μικροοργανισμοί είναι βακτήρια, μύκητες, έντομα, σκουλήκια και έτσι υπάρχει περισσότερη υποστήριξη της ανάπτυξης υγιών φυτών. Τα βακτήρια στο κόμποστ διασπούν τα οργανικά όπως επίσης μετατρέπουν το άζωτο από τον αέρα σε θρεπτικά συστατικά για το φυτό. Τα σκουλήκια και τα έντομα τρυπώνοντας μέσα στο έδαφος το κρατούν καλά αεριζόμενο. Έτσι με αυτούς τους οργανισμούς και μικροοργανισμούς που επικρατούν στο κόμποστ, το μετατρέπουν σε ένα φυσικό

λίπασμα, πράγμα που οδηγεί στη μείωση ή την εξάλειψη συνθετικών λιπασμάτων. Έτσι ενθαρρύνεται ένα υγιές ριζικό σύστημα Houot (2002).

Το κόμποστ έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σαν φάρμακο – λίπασμα για το έδαφος αλλά και γενικότερα για φυτά και καλλιέργειες. Σε αυτό περιλαμβάνεται ένα πλήρες φάσμα απαραίτητων θρεπτικών συστατικών για τα φυτά που συχνά απουσιάζουν από τα συνθετικά λιπάσματα. Σε αντίθεση με τα συνθετικά λιπάσματα έχει τη δυνατότητα να απελευθερώνει θρεπτικές ουσίες ανά μήνες ή χρόνια. Το κόμποστ στο έδαφος, ρυθμίζει τόσο τα οξέα όσο και αλκαλικά στοιχεία επιτυγχάνοντας τα βέλτιστα επίπεδα του pH στη βέλτιστη περιοχή για τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά.

Ένα υγιές έδαφος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την προστασία των υδάτων. Το κόμποστ αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό και να μειώνει την απορροή. Οι απορροές ρυπαίνουν το νερό με την έκπλυση του εδάφους από τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα σε κοντικά ρεύματα. Τέλος το κόμποστ μπορεί να καταστείλει τις επιβλαβείς ασθένειες και τα παράσιτα που θα μπορούσαν να εισχωρήσουν σε ένα φτωχό χώμα.

1.5.5. Συστήματα κομποστοποίησης

Η διεργασία της κομποστοποίησης μπορεί να λαβει χώρα μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες ή σε ανοιχτά συστήματα (σειράδια). Όταν συμβαίνει σε αντιδραστήρα χαρακτηρίζεται ως κλειστό σύστημα, ενώ όταν συμβαίνει έξω από αυτόν ανοιχτό. Η ανοιχτού τύπου γίνεται με το σύστημα των σειραδιών όπως και στη δική μας περίπτωση. Υπάρχουν και τα μικτά συστήματα στα οποία γίνεται συνδυασμός των ανοιχτών και κλειστών συστημάτων. Στα ανοιχτά συστήματα συγκαταλέγονται τα σειράδια και οι σταθεροί αεριζόμενοι σωροί.

Στα ανοιχτά συστήματα, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ανοιχτούς χώρους, χωρίς να απαιτείται η χρήση σοβαρού μηχανολογικού εξοπλισμού. Οι βασικοί μηχανισμοί που ακολουθούνται και στα δύο συστήματα είναι παρόμοιοι, ο εξοπλισμός όμως που χρησιμοποιείται διαφέρει σημαντικά. Στην περίπτωση των σειραδιών το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των σταθερών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες.

Στη μέθοδο των σειραδιών το μίγμα προς κομποστοποίηση τοποθετείται σε μακριές παράλληλες γραμμές, γνωστές ως σειράδια. Τα σειράδια απλώνονται συνήθως σε ανοιχτό χώρο και μόνο σε περιοχές με υψηλή βροχόπτωση καλύπτονται από κάποιο στέγαστρο. Η κομποστοποίηση με την μέθοδο αυτή βασίζεται στον φυσικό αερισμό των σειραδιών, ο οποίος επιτυγχάνεται με συχνή αναμόχλευση του σωρού επιτυγχάνοντας έτσι:



- Αερισμό του σωρού και παροχή οξυγόνου στους μικροοργανισμούς ώστε ο σωρός να μην καταστεί αναερόβιος.
- Καταστροφή των συσσωματωμάτων των οργανικών

ουσιών που παρατηρούνται εξαιτίας της έκλυσης υγρασίας κατά την κομποστοποίηση. Τα συσσωματώματα αυτά γίνονται με τον χρόνο πρακτικά αδιαπέραστα ως προς τον αέρα δημιουργώντας ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες.

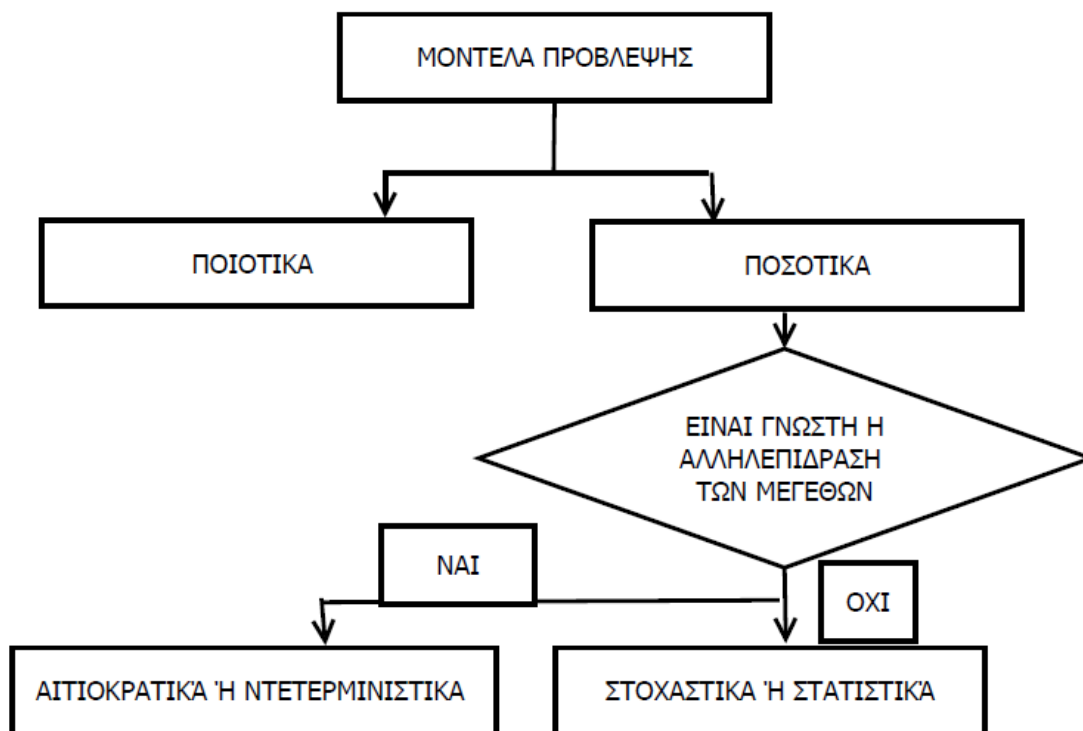
- Συνεχής ανάμιξη των υλικών για την καλύτερη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα και τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού.

Η θερμοκρασία στο κέντρο του σειραδίου, μπορεί να φτάσει και τους 65°C και διατηρείται σταθερή μέχρι και 10 ημέρες. Τον χειμώνα οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 55-60°C. Οι θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια του σειραδίου είναι χαμηλότερες και τείνουν να εξισωθούν με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

1.6. ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

1.6.1. Μοντέλα πρόβλεψης

Υπάρχουν δύο μέθοδοι πρόβλεψης: οι ποιοτικές και οι ποσοτικές με κύρια διαφορά τους το γεγονός ότι οι πρώτες στηρίζονται σε αυθαίρετες υποκειμενικές προβλέψεις, ενώ οι ποσοτικές βασίζονται σε μαθηματικά και στατιστικά μοντέλα. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα κύριο πλεονέκτημα των ποσοτικών μεθόδων διότι παρέχουν καθολική ισχύ για το συγκεκριμένο πάντα πρόβλημα. Οι υποκατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι ποσοτικές είναι οι αιτιοκρατικές ή ντετερμινιστικές καθώς επίσης και οι στοχαστικές ή στατιστικές μέθοδοι. Στις αιτιοκρατικές μεθόδους, η σχέση που διέπει το φαινόμενο είναι πλήρως γνωστή (Abraham & Ledolter, 2008) αποτελώντας χαρακτηριστικό παράδειγμα τα διάφορα μοντέλα, των οποίων η εύρεση βασίζεται σε ισοζύγια μάζας (Lauwers et al, 2013). Σε αντίθεση με τα στατιστικά μοντέλα όπου υπεισέρχεται πάντα ο όρος του σφάλματος, λόγω της παρουσίας μεταβλητών που δεν μπορούν να ελεγχθούν. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πειράματα στα οποία υπεισέρχεται το σφάλμα του πειραματιστή, το οποίο ως μεταβλητή δεν είναι ελέγξιμη. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται συνοπτικά η κατηγοριοποίηση των μοντέλων πρόβλεψης.



Εικόνα 1.8. Τυπική κατηγοριοποίηση των μοντέλων πρόβλεψης

Όσον αφορά τις βιολογικές διεργασίες, τα ντετερμινιστικά μοντέλα παρέχουν και ερμηνεύουν πληροφορίες σχετικά με τον μηχανισμό με τον οποίο πραγματοποιείται μια βιολογική δράση. Η πολυπλοκότητά τους, καθώς και η απαίτηση υψηλής θεωρητικής γνώσης του φαινομένου, το οποίο εξετάζεται τόσο με μαθηματική όσο και υπολογιστική εμβάθυνση, δημιουργεί ένα μειονέκτημα χρήσης του. Αντίθετα τα στοχαστικά μοντέλα, και ειδικότερα αυτά που βασίζονται σε ανάλυση παλινδρόμησης, παρουσιάζουν το πλεονεκτήματα της απόκτησης αποτελεσμάτων με εύκολο και γρήγορο τρόπο.

1.6.2. Ανάλυση χρονοσειρών

Η αξιοποίηση των ιστορικών δεδομένων, των παρελθοντικών δηλαδή τιμών του μεγέθους που εξετάζεται αποτελεί συνήθως τον κατάλληλο τρόπο εύρεσης του κατάλληλου στοχαστικού μοντέλου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται η ανάλυση των χρονοσειρών. Η ανάλυση αυτών στηρίζεται σε δύο παραμέτρους: στην κατανόηση και την ερμηνεία του τρόπου μεταβολής μιας μεταβλητής στο χρόνο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της. Με άλλα λόγια, ως χρονοσειρά ορίζεται η αλληλουχία ποσοτικών παρατηρήσεων μιας μεταβλητής, οι οποίες λαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα. (Box et al, 2016). Αν θεωρήσουμε ως x_n την τελευταία τιμή της μεταβλητής που λαμβάνουμε σε n χρόνο, τότε η χρονοσειρά απεικονίζεται μαθηματικά ως:

$$\{x_t\}_{t=1}^n = \{x_1, \dots, \dots, x_n\} \quad (1)$$

Με τον τρόπο αυτό είναι σαφές ότι το σύστημα ή η διεργασία που εξετάζεται μελετάται δυναμικά, καθώς παρατηρείται πως εξελίσσεται με το χρόνο. Στα τεχνικά προβλήματα ο χρόνος αυτός στον οποίο λαμβάνεται η τιμή της μεταβλητής αποτελεί τον χρόνο δειγματοληψίας. Βέβαια, στις περισσότερες των

περιπτώσεων δεν αρκεί η πληροφορία μιας και μόνο χρονοσειράς, καθώς σημασία δεν έχει μόνο πως το μέγεθος που εξετάζεται (εξαρτημένη μεταβλητή) επηρεάζεται από προηγούμενες τιμές της ίδιας μεταβλητής (ανεξάρτητη μεταβλητή) σε συγκεκριμένους χρόνους, οι οποίοι καλούνται υστερήσεις (time lags). Η παραπάνω διαδικασία καλείται αυτοσυσχέτιση (autocorrelation). Πρακτικά παρουσιάζει ενδιαφέρον πως η εξαρτημένη μεταβλητή επηρεάζεται από μία ή περισσότερες άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές για διάφορες υστερήσεις και η διαδικασία τότε αναφέρεται ως ετεροσυσχέτιση (cross-correlation). Στην πράξη οι δύο διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά για την εύρεση ενός μοντέλου.

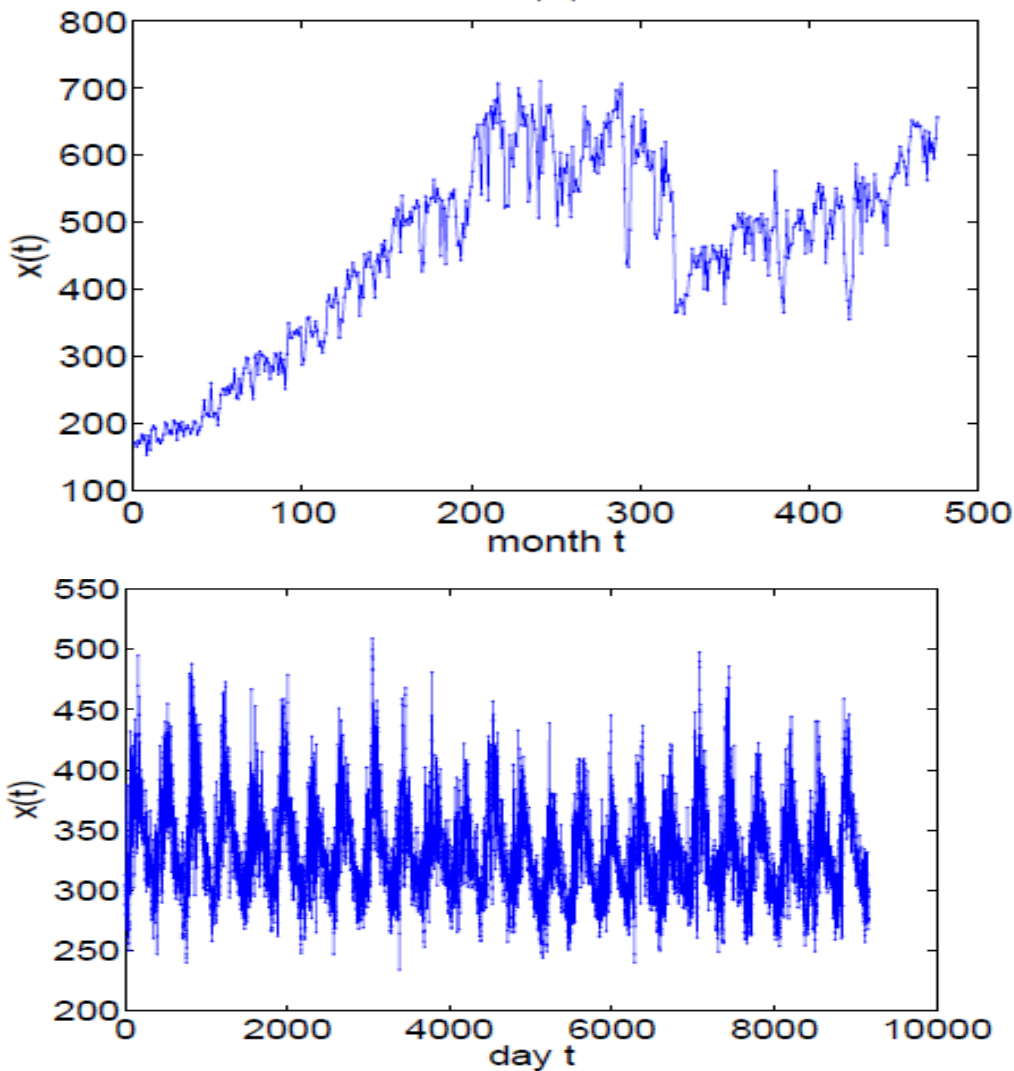
1.6.3. Βασικά χαρακτηριστικά χρονοσειράς

Χαρακτηριστικές καταστάσεις των χρονοσειρών είναι οι εξής. (Cryer and Chan, 2008):

1) Η Στασιμότητα (stationarity)

Οι αμετάβλητες τιμές της χρονοσειράς με το χρόνο προσδίδουν τον ορισμό της στασιμότητας. Ως στάσιμη χρονοσειρά μπορεί να θεωρηθεί ο μέσος και η διασπορά μιας χρονοσειράς ενώ υπάρχει διακύμανση των τιμών. Σε αντίθεση με την μη στάσιμη συμπεριφορά η οποία περιλαμβάνει μεγάλες διακυμάνσεις στο χρόνο και σε αυτή την κατηγορία περιέχονται διάφοροι σχηματισμοί όπως οι τάσεις (trends), η περιοδικότητα ή εποχικότητα κ.α.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.9 α.η τάση (πάνω) παρατηρείται όταν υπάρχει αργή μετακίνηση του μέσου με το χρόνο ενώ στην περιοδικότητα υπάρχει ένα μοτίβο το οποίο επαναλαμβάνεται περιοδικά. Όταν η επανάληψη αυτή συνδέεται με συγκεκριμένες εποχές του χρόνου η περιοδικότητα καλείται εποχικότητα. Τέτοια διαγράμματα χρονοσειρών είναι πολύ χρήσιμα καθώς μπορούν να αποδώσουν τις ιδιαιτερότητες ενός συστήματος ή μιας διεργασίας. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι και σε αυτή την περίπτωση η ύπαρξη μη στασιμότητας σε ένα σύστημα για μεγάλες χρονικές περιόδους δυσχεραίνει τη διαδικασία της πρόβλεψης, καθώς ο μέσος δεν διατηρείται σταθερός και για αυτό το λόγο πολλές φορές απαιτείται πρώτα η απαλοιφή τέτοιων σχημάτων πριν την ανάλυση της χρονοσειράς. Για το σκοπό αυτό αναφέρονται διάφορες τεχνικές στην βιβλιογραφία. Σε κάθε περίπτωση η απαλοιφή τέτοιων σχηματισμών πραγματοποιείται εφόσον δεν αφορούν την δυναμική του συστήματος που εξετάζεται.



Εικόνα 1.9 α/β. Σχηματισμοί που προκύπτουν από την ύπαρξη μη στασιμότητας σε μια χρονοσειρά

2) Η Αιτιοκρατία (determinism) και στοχαστικότητα (stochasticity)

Με βάση την κατάταξη που αφορά τα μοντέλα, η ίδια λογική ακολουθείται και για τις χρονοσειρές. Σε κάθε φυσικό πρόβλημα ενυπάρχουν πάντα διακυμάνσεις που οφείλονται στην τυχαιότητα, συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί με την γενικότερη έννοια του όρου ότι όλες οι χρονοσειρές είναι στοχαστικές. Η μεγαλύτερη πρόκληση στην ανάλυση πραγματικών χρονοσειρών είναι ο εντοπισμός του αιτιοκρατικού μέρους του συστήματος που παράγει η χρονοσειρά. Όταν αυτό δεν έχει σημαντική συνεισφορά και ο θόρυβος είναι αυτός που καθορίζει την εξέλιξη του συστήματος, ακολουθείται η στατιστική περιγραφή του συστήματος, όπου οι μετρήσεις αντιμετωπίζονται πια ως ανεξάρτητες. Σε αντίθετη περίπτωση, τότε και το σύστημα είναι κυρίως αιτιοκρατικό με κάποιες στοχαστικές διαταραχές πολύ μικρής συνεισφοράς, οι προσεγγίσεις που ακολουθούνται αφορούν τα αιτιοκρατικά δυναμικά συστήματα και τότε είναι δυνατή η πρόβλεψη του συστήματος με μεγάλη ακρίβεια. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, απαιτείται προσεκτικός χειρισμός για την ερμηνεία ενός συστήματος ως στοχαστικού ή αιτιοκρατικού, καθώς ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις και μεθόδους επεξεργασίας.

3) Η Γραμμικότητα (linearity) και μη-γραμμικότητα (nonlinearity)

Στα γραμμικά συστήματα οι μεταβλητές του συστήματος αλληλεπιδρούν γραμμικά. Όταν οι τιμές της χρονοσειράς μπορούν να γραφτούν ως γραμμικός συνδυασμός των προηγούμενων παρατηρήσεων, το σύστημα είναι γραμμικό, ενώ όταν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει το σύστημα είναι μη γραμμικό. Συνήθως τα μη γραμμικά συστήματα παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς μπορεί να συνυπολογιστεί η συνδυασμένη επίδραση των προηγούμενων παρατηρήσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι τα στοχαστικά και τα αιτιοκρατικά συστήματα μπορεί να είναι γραμμικά ή μη γραμμικά. Πρακτικά βέβαια, τα αιτιοκρατικά συστήματα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως γραμμικά, καθώς έχουν απλές λύσεις. Αντίθετα τα στοχαστικά μοντέλα είναι δύσκολο να εξετασθούν ως μη γραμμικά, καθώς ο θόρυβος δεν επιτρέπει τον εντοπισμό πολύπλοκων σχέσεων και απαιτείται να έχει ορισθεί εξ αρχής μια συγκεκριμένη μη γραμμική μορφή που θέλουμε να ερευνήσουμε.

1.6.4 Τα στάδια εύρεσης του μοντέλου

Προκειμένου να βρεθεί το κατάλληλο μοντέλο πρόβλεψης, η διαδικασία που ακολουθείται αποτελείται από δύο στάδια, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Abraham and Ledolter, 2008). Στο πρώτο στάδιο, το στάδιο στησίματος του μοντέλου ή αλλιώς μοντελοποίηση, αξιοποιούνται ιστορικά δεδομένα για τον εντοπισμό ενός μοντέλου, καθώς και θεωρητικές γνώσεις που μπορούν να καθοδηγήσουν τον ερευνητή σε ορισμένες συσχετίσεις. Η ανάλυση και η εκτίμηση του μοντέλου γίνεται με διάφορες μεθόδους, μια εκ των οποίων είναι και η ανάλυση παλινδρόμησης. Ο έλεγχος του μοντέλου γίνεται σε αυτή την περίπτωση με την τιμή του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης (R^2). Εάν αυτός δεν είναι υψηλός (ικανοποιητικές τιμές του R^2 στην βιβλιογραφία αναφέρουν $>90\%$) το μοντέλο δεν έχει επάρκεια και η παραπάνω διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί. Βέβαια αξίζει να αναφερθεί ότι η τιμή αυτή δεν είναι απόλυτη καθώς κάθε σύστημα παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και πρέπει να συνυπολογιστούν διάφορα κριτήρια για την αποδοχή ή απόρριψη ενός μοντέλου. Στη συνέχεια, ακολουθεί το στάδιο της πρόβλεψης, όπου γίνεται περαιτέρω αξιολόγηση του μοντέλου, μέσω της σύγκρισης νέων πραγματικών δεδομένων και αυτών που υπολογίζονται από το μοντέλο. Η διαδικασία αυτή πρακτικά δεν γίνεται μόνο εδώ αλλά και κατά το στάδιο στησίματος του μοντέλου, ώστε ο ερευνητής να έχει καλύτερη εποπτεία για την πρόοδό του. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν διάφορα τεστ που πραγματοποιούν τη σύγκριση των δεδομένων, όπως για παράδειγμα στατιστικά εργαλεία που συγκρίνουν τους μέσους ή τις κατανομές των δειγμάτων, συναρτήσεις που πραγματοποιούν στατιστικούς ελέγχους κλπ. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από περιορισμούς αυτών, την ακρίβεια που επιζητείται κ.α. Τέλος, αφού εξεταστεί η εγκυρότητα του μοντέλου και θεωρηθεί αποδεκτό, αυτό πρέπει να ελέγχεται και να αναβαθμίζεται αν χρειαστεί, καθώς νέες συνθήκες μπορούν να μεταβάλλουν την υπάρχουσα κατάσταση.

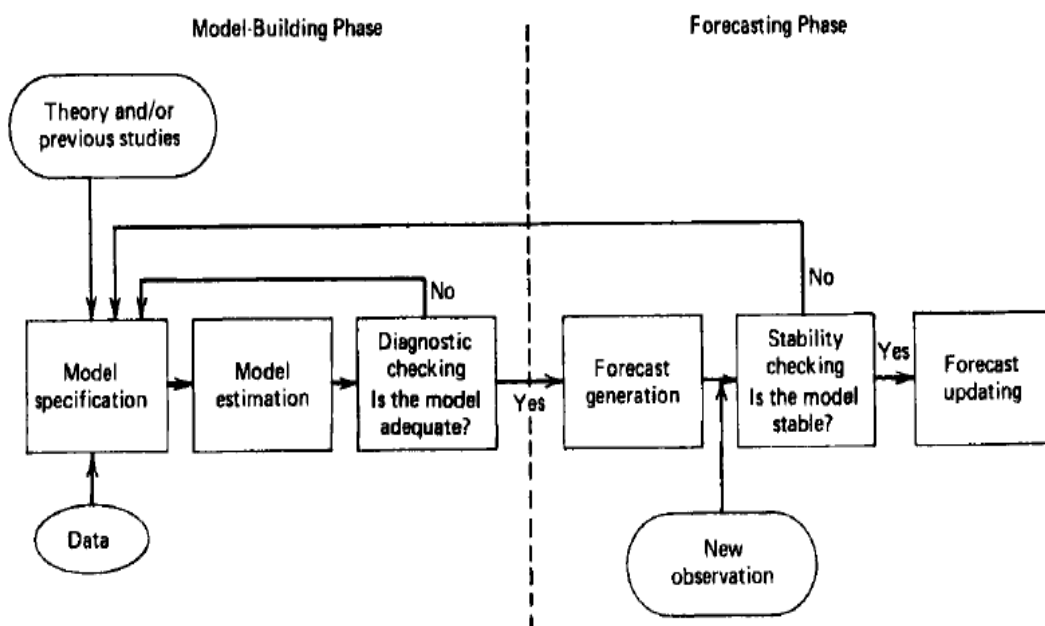
1.6.5. Κριτήρια για την επιλογή του μοντέλου

Πέρα από την αβεβαιότητα που υπάρχει στον μέλλον και η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως κίνδυνος για την απόρριψη ενός μοντέλου, πολλές φορές και η ανάλυση των παρατηρήσεων που αναφέρονται στο παρελθόν (ιστορικά δεδομένα) δεν είναι πάντα εύκολη. Σε πολλές περιπτώσεις είναι σχεδόν αδύνατος ο διαχωρισμός των χαρακτηριστικών και των σχέσεων που διέπουν τα δεδομένα από τις τυχαίες διακυμάνσεις της μεταβλητής (οι οποίες αναφέρονται με το γενικό όρο «θόρυβος»). Η μοντελοποίηση του θορύβου μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς λανθασμένες προβλέψεις. Έτσι, δικαιολογείται η προτίμηση των ερευνητών στα απλά μοντέλα πρόβλεψης. Εκτός από τον βαθμό πολυπλοκότητας, άλλοι λόγοι για την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής ενός μοντέλου είναι ο βαθμός ακρίβειας που επιζητείται, το κόστος της μεθόδου για την εύρεσή του, ο βραχυπρόθεσμος ή μακροπρόθεσμος ορίζοντας πρόβλεψης, καθώς και το πλήθος των δεδομένων που παρέχεται (Abraham and Ledolter, 2008).

Συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το μοντέλο παλινδρόμησης με τη μέθοδο των υπολοίπων. Ενώ υπάρχουν και άλλα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για ανάλυση χρονοσειρών (Cryer and Chan, 2008), η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε γιατί ικανοποιούσε τα παραπάνω κριτήρια. Συγκεκριμένα,

Είναι απλή στην κατανόηση και την χρήση της, συνεπώς με βάση όσα ειπώθηκαν παραπάνω, καθιστά την αναβάθμιση του μοντέλου εύκολη διαδικασία.

Παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συστήματος που εξετάζεται, η οποία κατά τη μοντελοποίηση μπορεί να ελέγχεται συνεχώς μέσω του R2 (Vlyssides et al, 2005)



Εικόνα 1.10. Διάγραμμα ροής της διαδικασίας πρόβλεψης μοντέλου

Το κόστος αφορά μόνο το λογισμικό που απαιτείται, το οποίο είναι χαμηλό. Η μέθοδος εφαρμόζεται και στο περιβάλλον του excel αλλά για μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούνται άλλα πακέτα όπως το OriginLab.

Ο ορίζοντας της πρόβλεψης δεν απαιτείται να είναι μακροπρόθεσμος.

Η ανάλυση χρειάζεται μικρό σχετικά πλήθος δεδομένων(π.χ. για 3 ανεξάρτητες μεταβλητές απαιτούνται εμπειρικά $180 \cdot 3 = 540$ μετρήσεις για κάθε μεταβλητή), τα οποία στηρίζονται σε αναλύσεις ρουτίνας (Vlyssides et al,2005)

Κεφάλαιο 2
Πειραματικό
Μέρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Πειραματικό μέρος

2.1. Πειραματική μεθοδολογία

Η ύπαρξη μιας μονάδας κομποστοποίησης σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από τα στερεά και υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων αποτέλεσαν τα κύρια κίνητρα για την έναρξη κομποστοποίησης από απόβλητα ελαιοτριβείου. Η πρώτη ύλη της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι τα υγρά και στερεά απόβλητα των ελαιοτριβείων καταλήγοντας στη δημιουργία ενός προϊόντος με προστιθέμενη αξία, γνωστό ως κόμποστ ή εδαφοβελτιωτικό.



Εικόνα 2.1. Μονάδα κομποστοποίησης

Η μονάδα η οποία χρησιμοποιήθηκε σαν πιλοτική έχει έδρα την Αλεξανδρούπολη και σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιεί τα απόβλητα διαφόρων ελαιοτριβείων του νομού Έβρου αλλά και των γειτονικών νομών.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι είχαν προηγηθεί αρκετές εργαστηριακές δοκιμές των πειραματικών αναλύσεων με μικρότερες ποσότητες πριν πραγματοποιηθεί η κομποστοποίηση στην πιλοτική μονάδα και ουσιαστικά σε μεγάλες ποσότητες βέβαια. Η πρώτη προσπάθεια έλαβε χώρα σε εργαστηριακό επίπεδο και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Το πρώτο μείγμα αποτελείτο από 4 κιλά ελαιοπυρήνα και 500 γραμμάρια φύλλων ελιάς (αναλογία 1:8 πυρήνα:φύλλα). Επιπλέον έγινε προσθήκη ουρίας για άζωτο και H_2O_2 καθώς επίσης και $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ για παροχή οξυγόνου. Το μείγμα τοποθετήθηκε σε αντιδραστήρα με ελεγχόμενη θερμοκρασία 50-55°C για διάστημα 5 εβδομάδων μετά το οποίο προστέθηκε ώριμο compost. Η υγρασία μειώθηκε από 45% όπου είχε διατηρηθεί αρχικά στο 35%. Μετά το πέρας των δύο μηνών το δείγμα άρχισε να ομογενοποιείται και να σκουρύνει το χρώμα. Η παρουσία μυκήτων τον δεύτερο μήνα ήταν ένα δείγμα ωρίμανσης. Την ίδια περίοδο σταμάτησε η προσθήκη H_2O_2 και $FeSO_4$ και ξεκίνησε η προσθήκη κατσίγαρου μετά από επεξεργασία Fenton αντικαθιστώντας το νερό. Καθημερινά γινόταν δειγματοληψία και ανάλυση των παραμέτρων που αναλύονται παρακάτω στο παρόν κεφάλαιο. (pH, υγρασία, ικανότητα συγκράτησης νερού, ηλεκτρική αγωγιμότητα, συγκέντρωση λιπαρών ουσιών, ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου, φυτοθρεπτικότητα, συγκέντρωση αμμωνιακών και νιτρικών ενώσεων, συγκέντρωση χουμικών και φουλβικών ενώσεων).

Η δημιουργία της πιλοτικής μονάδας στην Αλεξανδρούπολη αποτέλεσε κομβικό σημείο έναρξης της διαδικασίας της κομποστοποίησης σε μεγάλη κλίμακα. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στη βιομηχανική περιοχή της Αλεξανδρούπολης και συγκεκριμένα στην Οργανοχουμική Θράκης ΙΚΕ εταιρία παραγωγής κομποστοποιητικών προϊόντων, στην οποία δημιουργήθηκαν δέκα σειράδια των 100 τόνων μείγματος υγρών και στερεών αποβλήτων το καθένα (εικ2.2). Το σειράδια ήταν τριγωνικά με διαστάσεις 1.8 μέτρα ύψος και περίπου 4 μέτρα πλάτος. Η δημιουργία των τριγωνικών σειραδίων έγινε με βάση τον τρόπο ανάδευσης ο οποίος όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 2.3. ήταν μηχανικός.



Εικόνα2.2 .Δημιουργία σωρών κομποστοποίησης

Η αρχική πρώτη ύλη αποτελείται από το 90% των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου, το 1-2% των φύλλων ελιάς και το 8-10% από το ωριμασμένο κομπόστ. Το τελευταίο προστέθηκε με σκοπό την επαρκή παροχή των απαραίτητων μικροοργανισμών για εύκολη έναρξη της διαδικασίας. Επιπλέον, προστέθηκαν 27 Kg ουρίας ανά τόνο πρώτης ύλης για να μειωθεί ο λόγος C / N μέχρι περίπου την επιθυμητή αναλογία 20:1. Κάθε ημέρα, προστίθοντο 50 Kg προεπεξεργασμένου κόμποστ ανά τόνο πρώτης ύλης. Το υγρά απόβλητα (λιώζουμα) υπέστησαν χημική προεπεξεργασία με αντιδραστήρια Fenton όπως περιγράφεται από τους Vlyssides et al. 2007. Τόσο ο κατσίγαρος όσο και ο πυρήνας ελήφθησαν από ένα τυπικό ελαιοτριβείο ΙΙΙ φάσεων που λειτουργούσε στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης.

Η δειγματοληψία γινόταν καθημερινά από τρία διαφορετικά σημεία του σωρού (δύο άκρα και μέση του σειραδιού) και 40 – 50 cm από την επιφάνεια του σωρού. Η μέτρηση της θερμοκρασίας στο σωρό μετριόταν πριν γίνει η δειγματοληψία. Η ανάδευση των σειραδίων γινόταν μία φορά την ημέρα χρησιμοποιώντας ένα περιστρεφόμενο μηχανισμό όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 2.2. Η θερμοκρασία στο κομπόστ αρχικά μειώθηκε αμέσως μετά από ανάδευση. Ωστόσο, το παρεχόμενο

οξυγόνο έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της μικροβιακής δραστηριότητας η οποία ανακάττη την πτώση της θερμοκρασίας 2-3 ώρες μετά την εμφάνιση της ανάδευσης.

Η διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και η ανάλυση δειγματοληψίας συνεχίστηκαν για 4 μήνες. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε την επόμενη χρονιά πάλι για διάστημα περίπου 100 ημερών. Όπως φαίνεται από το παρακάτω πίνακα 2.1 με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων, η αρχική πρώτη ύλη περιλαμβάνει λίπη και έλαια 5% μια αρκετά μεγάλη ποσότητα. Η συγκέντρωση λιπαρών ουσιών αποτελεί ένα ανασταλτικό παράγοντα για την εξέλιξη της κομποστοποίησης. Οι πειραματικές αναλυτικές μέθοδοι ήταν στοχευμένες και η χρήση αυτών σε πειραματικά δεδομένα μεγάλης κλίμακας, αποτέλεσαν την έναρξη της δημιουργίας δυναμικών μοντέλων. Η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι άρτια συνδεδεμένη με την πορεία της περιεκτικότητας λαδιών η οποία σηματοδοτεί και την έναρξή της. Η καθοδική πορεία της περιεκτικότητας λαδιών αποτέλεσε ένα από τα βασικότερα αποτελέσματα των αρχικών πειραματικών δοκιμών. Τα πρώτα αποτελέσματα παρουσίασαν μια μείωση η οποία αντιστοιχεί σε 78% σε ξηρή βάση.

Το μείγμα των στερεών και υγρών αποβλήτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία της κομποστοποίησης έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.3. Ανάδευση σειραδιού κόμποστ

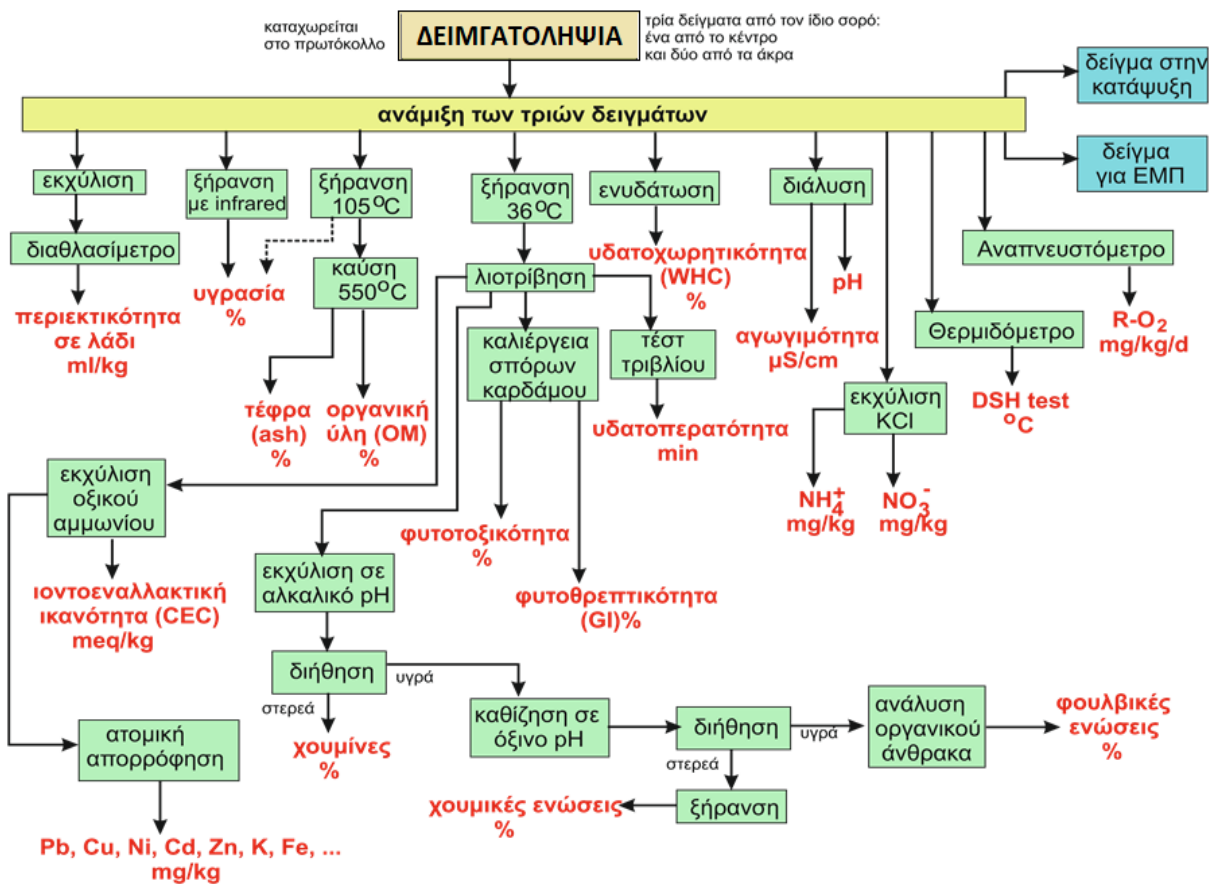
Πίνακας 2.1: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των Στερεών αποβλήτων του ελαιοτριβείου

Χαρακτηριστικά	
Υγρασία ,%	55,50
Λίπη και έλαια ,% of TS (total Solids)	4,85
Περιεκτικότητα σε Άζωτο ,% of TS	7,39
Ολικά Σάκχαρα, % of TS	2,13
Κυτταρίνη, % of TS	37,39
Ημικυτταρίνη , % of TS	17,04
Τέφρα, % of TS	3,66
Αιθέρα εκχύλισης , % of TS	8,61
Λιγνίνη, % of TS	21,97
Κατά Kjendahl περιεκτικότητα σε άζωτο, % of TS	1,093
Περιεκτικότητα σε Φώσφορο ως P ₂ O ₅ , % of TS	0,113
Περιεκτικότητα σε Κάλιο ως K ₂ O, % of TS	0,83
Περιεκτικότητα σε Ασβέστιο ως CaO, % of TS	0,95
Συνολική Περιεκτικότητα Άνθρακα, % of TS	56,13
C/N ratio	51,34
C/P ratio	1137

Πίνακας 2.2. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των Υγρών αποβλήτων του ελαιοτριβείου

Χαρακτηριστικά	
pH	4.2
BOD ₅ (mg/L)	25850
COD (mg/L)	80250
Ολικό Φώσφορο (mg/L)	870
Ολικό κατά Kjendahl άζωτο (mg/L)	1150
Συνολικές φαινολικές ενώσεις (TPC) (mg/L)	14250
Ολικά αιωρούμενα στερεά (mg/L) (TSS)	4580
Πηκτικά αιωρούμενα στερεά (mg/L)	4024

Κατά την εξέλιξη της κομποστοποίησης μέχρι τη φάση της χουμοποίησης μετριώνταν, σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους η θερμοκρασία, η υγρασία του σωρού, το pH και η αγωγιμότητα (EC) του εξεταζόμενου υποστρώματος, η περιεκτικότητά του σε οργανικά, τέφρα, άνθρακα, άζωτο και φώσφορο, η περιεκτικότητα σε λάδια, καθώς και η δυνατότητα συγκράτησης νερού (WHC). Κατά τη διάρκεια της χουμοποίησης η γκάμα των αναλύσεων αυξάνεται και συμπεριλαμβάνει εκτός από τις προαναφερόμενες μετρήσεις, τη συγκέντρωση των χουμικών (HA) και φουλβικών (FA) οξέων, την ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC), την φυτοτοξικότητά του (GI). Καθ όλη τη διάρκεια της εξέλιξης μετριέται και η κατανάλωση οξυγόνου καθώς και το χρώμα. Οι μετρήσεις αυτές αξιοποιήθηκαν, με στατιστικά μαθηματικά μοντέλα προσαρμογής, στον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ τους (Γσιόδρα και Βλυσίδης, 2015).



Διάγραμμα 2.1. Διαδικασία ημερήσιας δειγματοληψίας και αναλύσεων

Στο παραπάνω διάγραμμα 2.1. απεικονίζονται ο σχεδιασμός πειραματικών αναλυτικών μεθόδων από τη στιγμή της δειγματοληψίας. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί οι γρήγορες αναλύσεις όπως pH, EC, WHC, υγρασία και θερμοκρασία είναι και οι βασικές. Παράμετροι οι οποίες αποτελούν βασικό άξονα για την πορεία της κομποστοποίησης αλλά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν μια μελλοντική κατάσταση κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης έτσι ώστε να μπορούμε να επέμβουμε.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ						
1η Μέρα	2η Μέρα	3η Μέρα	4η Μέρα	5η Μέρα	6η Μέρα	7η Μέρα
Θερμοκρασία						
pH	Έναρξη φυτοθρεπτικότητας					Αποτελέσματα φυτοθρεπτικότητας
EC						
Υγρασία						
Έναρξη VSS	VSS					
Ρυθμός Κατανάλωσης Οξυγόνου			Αποτελέσματα ρυθμού κατανάλωσης			
Έναρξη WHC		Αποτελέσματα WHC				
Ξήρανση δείγματος	Έναρξη CEC	Αποτελέσματα CEC				
	Έναρξη μέτρησης χουμικών /φουλβικών	Αποτελέσματα μέτρησης χουμικών /φουλβικών				
	Περιεκτικότητα σε Φώσφορο					
	Περιεκτικότητα σε Άζωτο					

Η μορφή του αρχικού αλλά και του τελικού προϊόντος απεικονίζεται παρακάτω στην Εικόνα 2.4

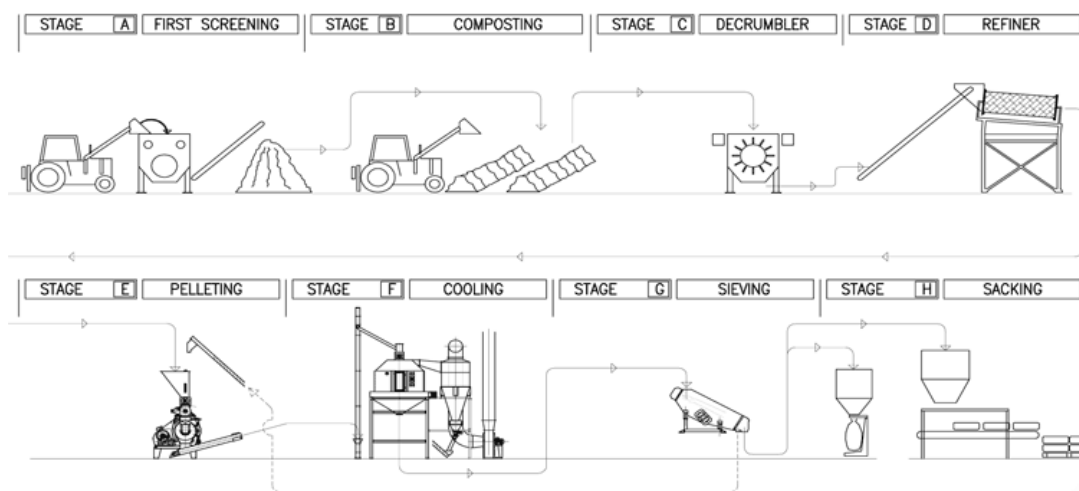


Εικόνα.2.4. Μορφή Αρχικού στερεού υποστρώματος



Εικόνα 2.5 Μορφή τελικού προϊόντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 2.2. απεικονίζεται μια ολοκληρωμένη διάταξη κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 2.2. Ολοκληρωμένη διαχείριση κομποστοποίησης

2.2 Πειραματικοί μέθοδοι αναλύσεων

Οι πειραματικές μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εξέλιξη της κομποστοποίησης αλλά και για την τελική αξιολόγηση του προϊόντος παρουσιάζονται αναλυτικά και με την σειρά που πραγματοποιήθηκαν.

2.2.1 Μέτρηση της υγρασίας (M)

Μέθοδος A (τυπική μέθοδος)

Εργαστηριακή πορεία:

- Ζυγίζουμε μία καθαρή πορσελάνινη κάψα και σημειώνουμε το βάρος της (c)
- Προσθέτουμε μία τυχαία ποσότητα compost στην πορσελάνινη κάψα και σημειώνουμε το συνολικό βάρος (a)
- Τοποθετούμε την κάψα με το compost στον ξηραντήρα σε θερμοκρασία 105°C. Κάθε ώρα βγάζουμε την κάψα από τον ξηραντήρα* και ζυγίζουμε το συνολικό της βάρος. Όταν το βάρος αυτό σταθεροποιηθεί το σημειώνουμε (b). Η σταθεροποίηση του βάρους μπορεί να επέλθει ακόμα και σε 24 ώρες. Επομένως η πλέον πρακτική μέθοδος είναι να τοποθετούμε την κάψα στον ξηραντήρα την μία ημέρα και να την ζυγίζουμε την επομένη την ίδια ώρα.

Υπολογισμοί:

Ο υπολογισμός της υγρασίας (M) του compost γίνεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Υγρασία σε ξηρή βάση (dry base): } M_{db} = \frac{(a-b)}{b-c} * 100,$$

$$\text{Υγρασία σε υγρή βάση (wet base): } M_{wb} = \frac{(a-b)}{a-c} * 100,$$

Το υγρό βάρος (mw) καθώς και το ξηρό βάρος (md) της συγκεκριμένης ποσότητας του compost υπολογίζεται σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\text{Υγρό βάρος: } mw = a - c, \text{ g}$$

$$\text{Ξηρό βάρος: } md = b - c, \text{ g}$$

*: κάθε φορά που η κάψα βγαίνει από το φούρνο των 105°C για ζύγισμα πρέπει να ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου, εντός γυάλινου ξηραντήρα, ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Μέθοδος Β

Η μέθοδος Α είναι η πλέον ακριβής (και σωστή) μέθοδος η οποία όμως απαιτεί μεγάλο χρόνο για τον υπολογισμό της υγρασίας του compost. Ακόμα και στη διάθεση απευθείας μιας ημέρας ώστε να αποφευχθούν οι συνεχείς μετρήσεις, απαιτείται στο τέλος ακόμα μία μέτρηση ώστε να επιβεβαιωθεί η συνολική απομάκρυνση της υγρασίας. Μία πολύ πιο γρήγορη μέθοδος προσδιορισμού της υγρασίας του compost βασίζεται στη συσκευή. Η συσκευή αυτή συμπεριλαμβάνει έναν ζυγό και μία συσκευή εξάτμισης με υπέρυθη ακτινοβολία. Στη συσκευή αυτή τοποθετείται μία τυχαία ποσότητα υγρού compost το βάρος της οποίας θεωρείται ως βάση των μετέπειτα μετρήσεων και κατόπιν ξεκινά η διαδικασία της ξήρανσης μέσω της συσκευής υπέρυθρων. Καθώς το compost ξηραίνεται η συσκευή μετρά το βάρος του συνεχώς και όταν σταθεροποιηθεί τότε η συσκευή εμφανίζει το αποτέλεσμα της υγρασίας σε υγρή βάση (M_{wb}). Η συσκευή αντιλαμβάνεται τη σταθεροποίηση του βάρους αυτόματα. Η διάρκεια της μέτρησης δεν ξεπερνά τη μισή ώρα.

2.2.2. Μέτρηση τέφρας (Ash%), Οργανικής Ύλης (OM%) και περιεκτικότητας σε οργανικό άνθρακα (TOC%).

Μετά τη μέτρηση της υγρασίας M_{db} μιας ποσότητας compost (a, g) σύμφωνα με την μέθοδο 1^A, όπως περιγράφηκε παραπάνω, η πορσελάνινη κάψα (βάρους c, g) τοποθετείται σε τεφροδόχο θερμοκρασίας 550°C για μία ώρα. Κατόπιν η κάψα με την τέφρα ψύχεται εντός γυάλινου ξηραντήρα σε θερμοκρασία δωματίου και σημειώνεται το βάρος της (d, g). Η τέφρα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$Ash = \left(\frac{d - c}{md - c} \right) * 100$$

Ενώ η επί τοις % Οργανική Ύλη του compost υπολογίζεται από τη σχέση

$$OM\% = (100 - Ash\%)$$

Η επί τοις % περιεκτικότητα του compost σε οργανικό άνθρακα υπολογίζεται από τη σχέση (Haug, 1993):

$$OM = \frac{(100 - Ash)}{1.8}$$

2.2.3. Μέτρηση pH και αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας απαιτείται διασπορά του compost στο νερό σε αναλογία 1:5. Λαμβάνονται 10g νωπού δείγματος compost και 50ml απιονισμένου νερού. Το μίγμα τοποθετείται σε ένα ποτήρι ζέσεως και αναδεύεται για περίπου 15 λεπτά. Στη συνέχεια το μίγμα αφήνεται να ηρεμήσει και με τη βοήθεια πεχαμέτρου και αγωγιμομέτρου μετράται το pH και η αγωγιμότητα του αιωρήματος αντίστοιχα (Thompson, 2001).

2.2.4. Μέτρηση της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας (CEC, Cation Exchange Capacity)

Σε ένα πλαστικό ογκομετρικό μπουκάλι των 50ml τοποθετείται 25g ξηρού κόμποστ και 35ml διάλυμα NH_4OAc και αφήνεται για 24h. Στη συνέχεια διηθείται με 200 ml διάλυμα NH_4OAc . Το εκχύλισμα ογκομετρείται και αποθηκεύεται στο ψυγείο για ανάλυση μετάλλων. Στη συνέχεια ακολουθεί διήθηση- ξέπλυμα του δείγματος με 100ml Ethanol και το διήθημα πετάγεται. Έπειτα ακολουθεί διήθηση με περίπου 240 ml NaCl . Ογκομετρείται τον προϊόν της διήθησης και χαρακτηρίζεται V1 (Burt, 1996). Το pH ρυθμίζεται στο 8 προσθέτοντας NaOH 1N (περίπου 20 ml (V2)) και τέλος ακολουθεί αραίωση 1:100 και 1:150 για τη μέτρηση αμμωνιακού αζώτου N-NH_4 . Στη πορεία το προεπεξεργασμένο δείγμα χωρίζεται σε 2 δοκιμαστικούς σωλήνες βάζοντας 10ml δείγματος, το οποίο δεν θα πρέπει να παρουσιάζει θολερότητα ή χρώμα. Ως τυφλό χρησιμοποιούνται 10 ml απιονισμένου νερού. Έπειτα και στους 3 δοκιμαστικούς σωλήνες προστίθεται μια σταγόνα (0.05ml) διαλύματος Rochelle, και 0.2 ml Nessler και αναδεύονται στο Vortex. Μετά από ακριβώς 12 λεπτά μετράται η απορρόφηση με το φασματοφωτόμετρο Hitachi 2000 σε μήκος κύματος 415 nm. Τέλος καταγράφεται η τιμή τόσο της απορρόφησης όσο και της συγκέντρωσης A των αμμωνιακών. Η τιμή A που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των αμμωνιακών στο σύνολο των στραγγισμάτων ($V_t = V_{\text{τελ}} = V_1 + V_2$) υπολογίζεται σε mmol N-NH_4 και κατόπιν ανάγεται ανά g δείγματος κομπόστας σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\{A * (\text{αραίωση}) * (V_t/100)\} / 14 = \text{mmolN}$$

όπου: A = συγκέντρωση αμμωνιακών

Η τιμή της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας της κομπόστας υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$CEC = \left(\frac{\text{mmol}}{25} \right) * 100 = \frac{\text{meq}}{100\text{g}} \text{compost}$$

2.2.5. Μέτρηση Υδατοχωρητικότητας (WHC%, Water Holding Capacity)

Τοποθετούνται 40g ξηρού δείγματος compost σε ένα ποτήρι ζέσεως με 100ml νερό το οποίο καλύπτεται αεροστεγώς με ταινία parafilm και αφήνεται για περίπου 48h μακριά από το φως. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, απομακρύνεται το υπερκείμενο νερό και σημειώνεται το βάρος W (g) του κορεσμένου σε νερό δείγματος (Ahn, et.al., 2008).

$$WHC = \frac{\{(W_s - W_1) + MC_1 \times W_1\}}{\{(1 - MC_1) \times W_1\}}$$

Όπου το MC_1 είναι η υγρασία του υγρού δείγματος

2.2.6. Μέτρηση της φυτοτοξικότητας- φυτοθρεπτικότητας

Η μέτρηση του Germination Index είναι αρκετά σημαντική διότι εκφράζει την τοξική δράση των αποβλήτων στα φυτά. Αποτελεί την πιο ευαίσθητη παράμετρο ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις τοξικών. Root elongation είναι εξίσου σημαντική μέτρηση η οποία παρουσιάζει την ποσότητα του νερού που βρίσκεται στις ρίζες καθώς επίσης και την ανάπτυξη των φυτών (Teaca and Bordirlau, 2008).

Αρχικά ζυγίσαμε 50ml κόμποστ σε ένα ποτήρι ζέσεως (baker) των 150ml και το τοποθετήσαμε στον φούρνο των 105°C για μια ημέρα για την απομάκρυνση της υγρασίας. Για τη συγκεκριμένη μέτρηση απαιτήθηκε αναλογία 1:2 δηλαδή 50ml compost σε 100ml νερού η οποία τοποθετήθηκε σε ένα ποτήρι ζέσεως και το αφήσαμε να αναδευτεί για περίπου 3h με ενδιάμεσες στάσεις. Στη συνέχεια ακολούθησε διήθηση για την απομάκρυνση στερεών. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούσαμε συνολικά 3 τρυβλία petri των 9 cm³ για τα control και 5 για τα compost. Στα τρυβλία τοποθετήσαμε 2 στρώσεις απορροφητικού χαρτιού, 10ml εκχύλισμα compost και 10 σπόροι κάρδαμου. Τα τρυβλία σφραγίστηκαν με ταινία parafilm τοποθετήθηκαν σε σκοτεινό μέρος για 7 ημέρες. Στις πρώτες 48 ώρες ελέγχεται η φυτοτοξικότητα, αν έχει φυτρώσει παραπάνω από το 50% των σπόρων το προϊόν δεν θεωρείται φυτοτοξικό. Την 7^η ημέρα μετρούσαμε τους σπόρους που φύτρωναν, καθώς και το μέγεθος των ριζών του. Ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης GI έγινε σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{\text{Άθροισμα φυτρωμένων σπόρων στο τυφλό}}{\text{Άθροισμα φυτρωμένων σπόρων στο κόμποστ}} / 100 = A$$

$$\frac{\text{Ο μέσος όρος του αθροίσματος του μήκους όλων των ριζών στο τυφλό}}{\text{μέσος όρος του αθροίσματος του μήκους όλων των ριζών στο κόμποστ}} * 100 = B$$

$$\frac{A * B}{100} = GI$$

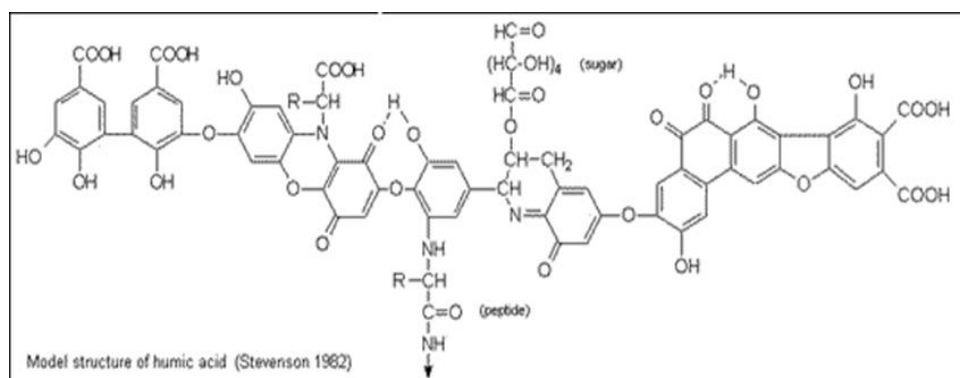
Επίσης μελέτες αναφέρουν ότι GI κοντά στο 150 % σημαίνει υψηλή φυτοθρεπτικότητα του προϊόντος (Kutsanedzie, et.al., 2012).

2.2.7. Μέτρηση συγκέντρωσης χουμικών (HA) και φουλβικών (FA) οξέων

Οι χουμικές και φουλβικές ενώσεις αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία οργανικής ύλης του εδάφους για την ουσιαστική συμβολή τους στην παγκόσμια γονιμότητα του εδάφους καθώς επίσης και της γεωργικής παραγωγής. Ο κύριος ρόλος τους είναι η προστασία την οποία προσφέρουν στο έδαφος από την υποβάθμιση και τη μόλυνσή του. Το κάθε λίπασμα διαφέρει ως προς τη συγκέντρωση του HA – FA κλάσματος το οποίο είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή απόδοσή του στο έδαφος. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των χουμικών και φουλβικών ενώσεων στο λίπασμα προσεγγίζοντας παράλληλα τις ικανότητες του εδάφους, τόσο αποτελεσματικότερη είναι η λίπανση του εδάφους (Plaza, et.al.2007).

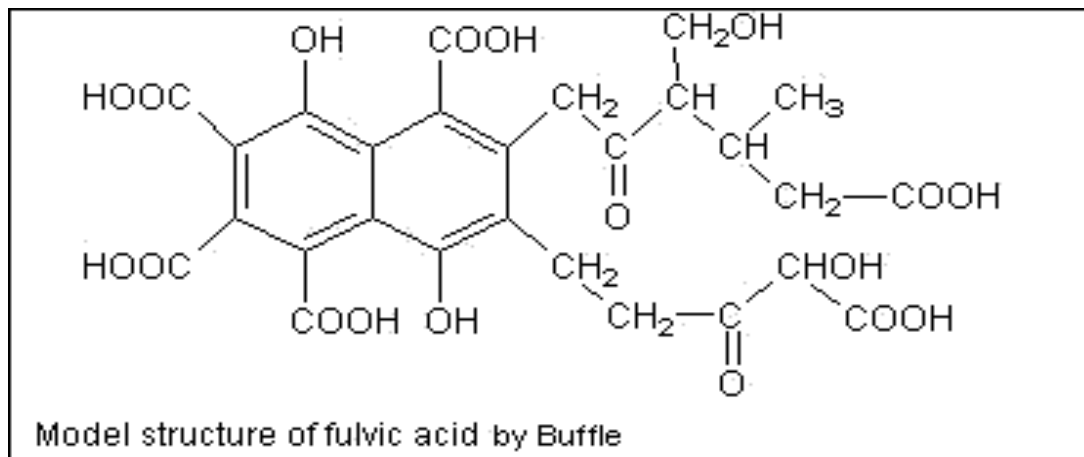
Τα χουμικά χαρακτηρίζαν για χιλιάδες χρόνια το σκούρο καφέ χρώμα του εδάφους. Αποτελούν την κύρια αιτία για το σκούρο χρώμα (καφέ κυρίως) στα φυσικά ποτάμια, εδάφη καθώς επίσης και στο λιγνίτη (φυσικό ορυκτό). Υπάρχουν διάφορες θεωρίες οι οποίες υποστηρίζουν ότι τα νεότερα αποθέματα οργανικής ύλης περιέχουν μικρές συγκεντρώσεις χουμικών, πράγμα το οποίο εξηγεί τη μετατροπή του κάρβουνου σε χουμικά.

Η συγκέντρωση χουμικών σε μετατρεπόμενο κάρβουνο ισοδυναμεί με 80%. Τα χουμικά είναι χαρακτηριστικά σε εδάφη ή σε νερά όπου παρουσιάζουν οργανική ύλη (Deiana, 1990). Τα χουμικά είναι μια σύνθεση αρωματικών μακρομορίων με αμινοξέα, σάκχαρα, πεπτίδια και αλειφατικές ενώσεις που εμπλέκονται στους δεσμούς μεταξύ των αρωματικών ομάδων (ICF, 2006). Η υποθετική χημική σύνθεση των χουμικών απεικονίζεται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6. Χημική σύσταση των Χουμικών

Η δομή των φουλβικών απεικονίζεται στην εικόνα 2.7 Όπως μπορεί κανείς να διακρίνει αποτελούνται από αρωματικές και αλειφατικές ενώσεις.

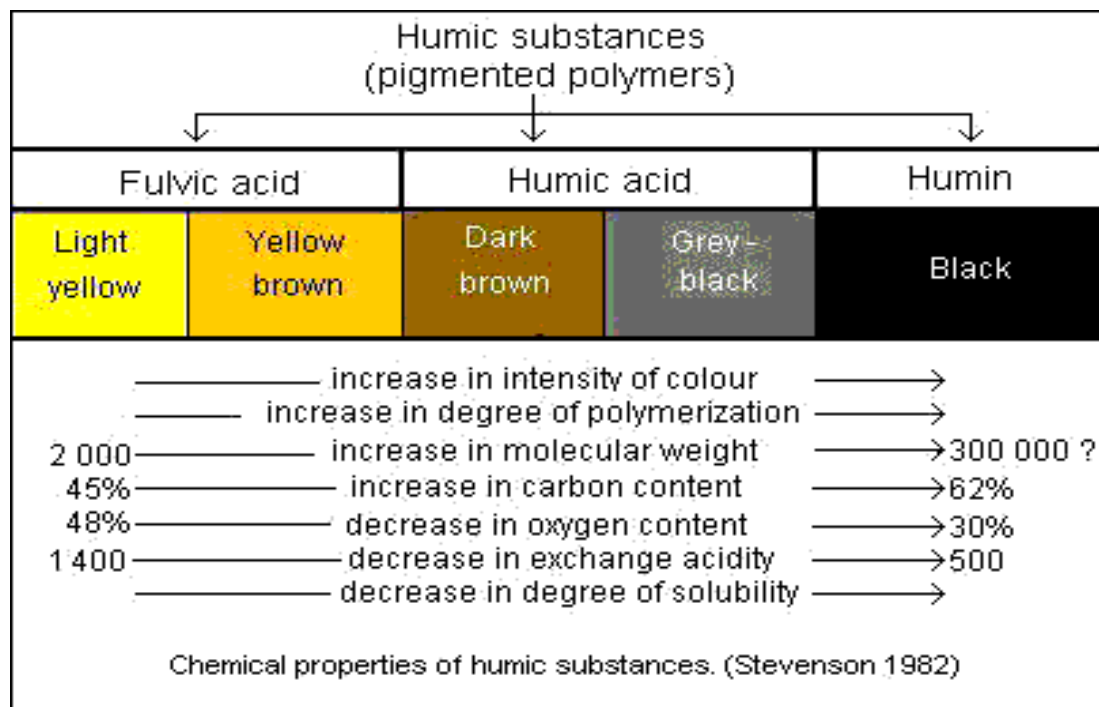


Εικόνα 2.7. Χημική σύσταση των φουλβικών

Η ανάλυση –μέτρηση των χουμικών συστατικών σε ένα δείγμα περνά από 3 στάδια τα οποία αποτελούν και τις 3 λειτουργίες στις οποίες μπορούν να διαιρεθούν τα χουμικά συστατικά. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι και οι τρεις μπορούν να πραγματοποιηθούν σε διάφορες τιμές pH. 1) αρχικά τα χουμικά δεν είναι διαλυτά στο νερό σε όξινο περιβάλλον, αλλά σε βασικό περιβάλλον (ICF, 2006). Με την προσθήκη HCl στο δείγμα έχουμε την παραγωγή 2 προϊόντων (το ίζημα και το υπερκείμενο). Το ίζημα είναι γνωστό ως Humic acids και έχει ένα σκούρο καφέ χρώμα. Η προσθήκη του οξέος έχει ως αποτέλεσμα το σκούρο χρώμα των χουμικών (Sugahara, et.al.1979). 2) το υπερκείμενο γνωστό ως Fulvic acids είναι το όξινο προϊόν και έχει χρώμα κίτρινο. 3) Η τελευταία λειτουργία αποτελεί ουσιαστικά το τελικό στάδιο της μεθόδου κατά την οποία έχουμε τα χουμικά προς ανάλυση. Το τελικό προϊόν των χουμικών είναι γνωστό ως χουμίνες και δεν είναι διαλυτό στο νερό σε κανένα pH.

Διαφορές μεταξύ χουμικών και φουλβικών

Οι διαφορές οι οποίες υπάρχουν μεταξύ των χουμικών και των φουλβικών αναφέρονται κυρίως στο μοριακό βάρος και στις διαφορετικές λειτουργίες τους οι οποίες μπορούν να συνδεθούν άμεσα με το διαφορετικό περιβάλλον στο οποίο μπορεί το καθένα να συμπεριφερθεί. Μια ακόμα διαφορά είναι η περίσσεια οξυγόνου η οποία στα χουμικά βρίσκεται στην κατασκευή του πυρήνα ενώ στα φουλβικά βρίσκεται στην λειτουργία του. Μια ακόμα χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ των φουλβικών και των χουμικών είναι το χρώμα. Τα Φουλβικά χαρακτηρίζονται από ένα ανοιχτό κίτρινο ή από ανοιχτό καφέ. Οι παραπάνω διαφορές γίνονται πιο κατανοητές παρατηρώντας το διάγραμμα 2.3.



Διάγραμμα 2.3. Χρωματικές διαφορές χουμικών- φουλβικών

Χαρακτηριστικά Χουμικών Τα οργανικά συστατικά (OM) παίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο μεταφέροντας τα διάφορα τοξικά ή ανόργανα συστατικά στο περιβάλλον. Τα χουμικά αποτελούν μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες των OM εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους. Ένα εκ των οποίων είναι η δυνατότητα που προσδίδουν στα φυτά έτσι ώστε να απορροφούν τα θρεπτικά απαραίτητα για την ανάπτυξη τους συστατικά (Velasco, M.I, et.al. 2004). Στο σημείο αυτό αξίζει να υπογραμμιστεί ότι τα θρεπτικά συστατικά για να απορροφηθούν από τα φυτά θα πρέπει να είναι διαλυτά στο νερό. Με την βοήθεια των χουμικών μπορούν απλά να συγκρατηθούν και να αποθηκευτούν, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα για τα φυτά (Cogger, 2000). Επίσης μειώνουν την ανάγκη για προσθήκη Αζώτου, βελτιώνουν την εδαφική δομή καθώς και τη δυνατότητα συγκράτησης νερού (Mayhew, 2004).

Μέθοδος μέτρησης Χουμικών και Φουλβικών

Ζυγίζονται 20g ξηρού δείγματος compost και τοποθετούνται σε κωνική φιάλη μαζί με 200 ml HCl 0.1N. Το μίγμα αναδεύεται για μία ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και κατόπιν διηθείται. Το διήθημα συλλέγεται και αποθηκεύεται στο ψυγείο για την ανάλυση των φουλβικών. Στο ίζημα προστίθεται διάλυμα NaOH 1N μέχρι το pH=7 και στη συνέχεια προστίθεται διάλυμα 0,1N NaOH μέχρι το pH=12 (περίπου απαιτούνται 200ml) και το μίγμα αφήνεται υπό ανάδευση για 24h. Κατόπιν ακολουθεί διήθηση και το ίζημα απορρίπτεται ενώ το υπερκείμενο υγρό αφού ρυθμιστεί σε pH=1 αφήνεται υπό ανάδευση για άλλες 24h. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας ακολουθεί διήθηση όπου

το παραλαμβανόμενο διήθημα προστίθεται στο αρχικό και και το σύνολο αναλύεται ως προς τον περιεχόμενο οργανικό άνθρακα μέσω της συσκευής μέτρησης TOC. Η μέτρηση αυτή σημειώνεται ως C_{FA} . Έπειτα προστίθεται στο ίζημα NaOH 0.1 N μέχρι τα 200ml και αφήνεται υπο ανάδευση για 15 λεπτά. Στη συνέχεια ακολουθεί διήθηση και μέτρηση του οργανικού άνθρακα (TOC) στο διήθημα. Η μέτρηση αυτή σημειώνεται ως C_{HA} .

$$HA = \left[\frac{CHA}{1000} \right] * \left[\frac{Vf}{dc} \right] * 1.49 * 100 : \text{όπου } 1.49 \text{ ο λόγος HA/C στο μόριο των χουμικών}$$

$$FA = \left[\frac{CFA}{1000} \right] * \left[\frac{Vh}{dc} \right] * 1.45 * 100 : \text{όπου } 1.45 \text{ ο λόγος FA/C στο μόριο των φουλβικών}$$

Όπου C_{HA} και C_{FA} είναι g άνθρακα από τις αναλύσεις TOC αντίστοιχα

Vf =όγκος των φουλβικών

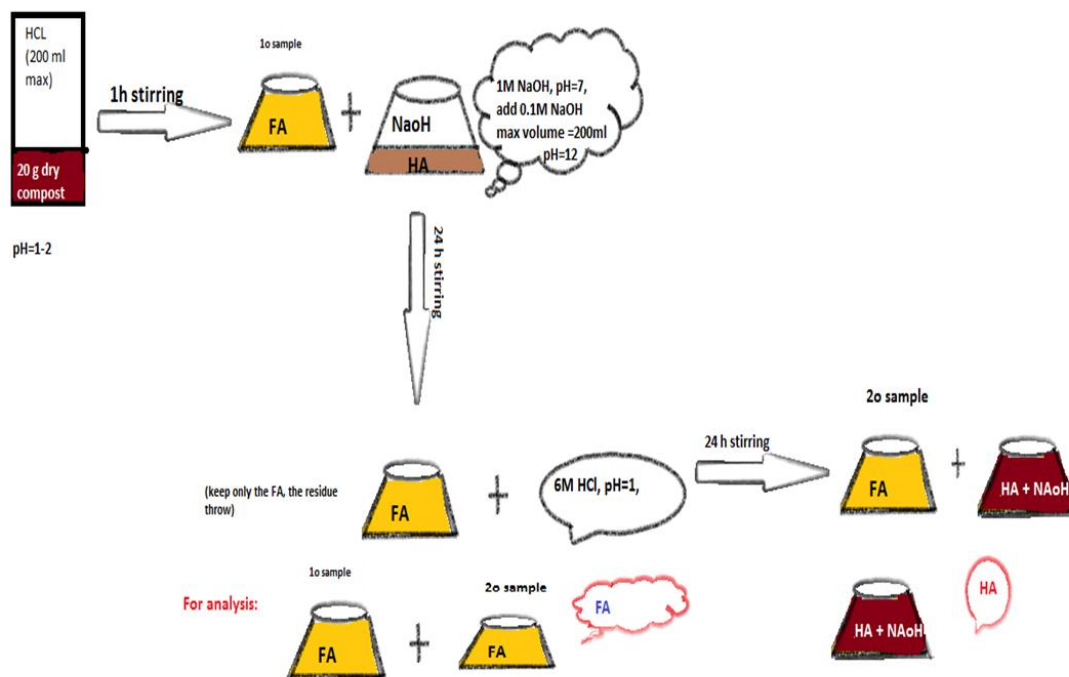
Vh =όγκος των χουμικών

dc = g ξηρής κομπόστας = 20 g

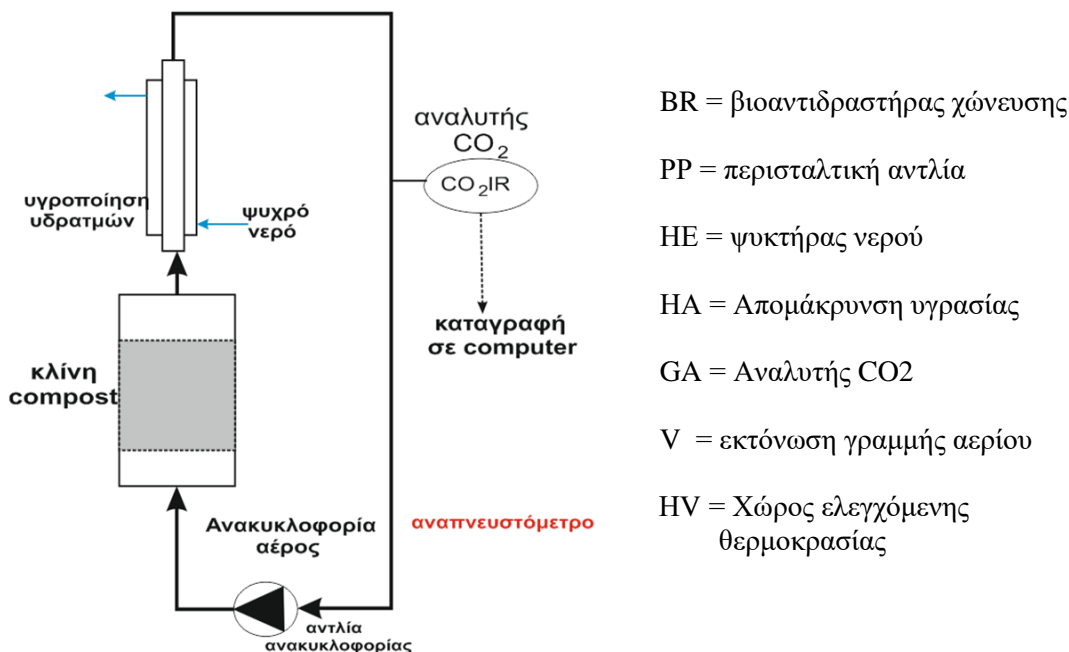
$MB_{HA} = 122.1213$

$MB_{FA} = 466.5262$

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του TOC (Cogger, 2000).



2.2.8. Αναπνευστόμετρο-μέτρησης ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου



Διάγραμμα 2.4. :Εργαστηριακό Αναπνευστόμετρο

Στον χωνευτήρα BR όγκου 2 L τοποθετούνται 150 ml υγρής κομπόστας. Ο χωνευτήρας τοποθετείται σε χώρο ελεγχόμενης θερμοκρασίας HV και η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 45°C. Αφού σφραγιστεί αεροστεγώς όλο το σύστημα του αναπνευστομέτρου (γραμμές και δοχεία) ώστε η απορρόφηση του οξυγόνου από την βιομάζα να γίνεται με διαλείπουσα διεργασία, τίθεται σε λειτουργία η αντλία θετικής εκτόπισης PP (περισταλτική αντλία) παροχής 7 L/h, η οποία ανακυκλοφορεί συνεχώς τον αέρα που περιέχεται στο αναπνευστόμετρο. Ο αέρας που ανακυκλοφορεί διέρχεται δια μέσου της βιομάζας εντός του χωνευτήρα και εξερχόμενος διέρχεται από κάθετο ψυκτήρα νερού ώστε η υγρασία που παρασύρθηκε από την βιομάζα να επιστρέφει στον χωνευτήρα BR. Κατόπιν ο αέρας διέρχεται από τον αφυγραντήρα HA με σκοπό την αφύγρανση του αέρα που ανακυκλοφορεί ώστε να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις του CO₂ στον αναλυτή αερίου GA που ακολουθεί. Ο αφυγραντής περιέχει CaCl₂ ως μέσον αφύγρανσης. Ο αναλυτής αερίου βασίζεται στις αρχές της θερμικής αγωγιμότητας και η μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ένα τυπικό διάγραμμα χρονικής μεταβολής της συγκέντρωσης του CO₂ παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας. Με δεδομένη την υπόθεση ότι για κάθε mol παραγόμενου CO₂ απορροφάται ένα mol οξυγόνου τότε το διάγραμμα απορρόφησης O₂ είναι ισοδύναμο της παραγωγής CO₂. Στο διάγραμμα αυτό η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει τον ρυθμό απορρόφησης οξυγόνου (g O₂/ Kg compost/d) (Iannoti, et.al.1994). Ένα κατάλληλο λογισμικό υπολογίζει την μεγαλύτερη κλίση και η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ως ο μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου.

2.2.9. Μέτρηση Οργανικού N με την μέθοδο Kjeldahl

Η πέψη χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό στοιχείων που δεν θα περάσουν σε αέρια φάση. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

Μεταφέρεται 0,1g ξηρού δείγματος στην ειδική φιάλη χώνευσης HACH των 100ml. Έπειτα προστίθενται 4ml πυκνού θεικού οξέος και τουλάχιστον δύο πυρήνες βρασμού. Η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 440°C και παραμένει το μείγμα για 4 λεπτά. Σε αυτό το σημείο δίνεται μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να μην εξατμισθεί όλη η ποσότητα του υγρού. Στη συνέχεια προστίθενται 20ml υπεροξειδίου του υδρογόνου χρησιμοποιώντας το ειδικό χωνί στην κορυφή του ψυκτήρα. Μετά την ολοκλήρωση της προσθήκης του υπεροξειδίου ο βρασμός συνεχίζεται μέχρι να φανούν λευκοί ατμοί και για 1 επιπλέον λεπτό. Κατόπιν αφαιρείται η φιάλη χώνευσης από τη συσκευή χρησιμοποιώντας ειδικά γάντια και αφήνεται να κρυώσει για 15 λεπτά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και έπειτα αφαιρείται ο ψυκτήρας. Κατόπιν το υγρό υπόλειμμα αραιώνεται μέχρι τα 100ml με απιονισμένο νερό. Πρέπει το τελικό διάλυμα να είναι διαυγές.

Τοποθετούνται 10ml του διαλύματος αυτού σε ένα ποτήρι ζέσεως και προστίθεται NaOH (3N) μέχρι το pH=8. Το τελικό διάλυμα αραιώνεται με νερό 1/5 και προστίθεται 1 σταγόνα διαλύματος Rochelle και 0,2ml αντιδραστήριου Nessler. Το διάλυμα ομογενοποιείται υπό ανάδευση στο Vortex και μετά μετρείται η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στο φασματοφωτόμετρο.

$$\%N = \frac{\alpha}{\beta} \cdot 10$$

Όπου α= mg NH₄-N (στα 100 ml προϊόντος πέψης)

Και β=0,1 g compost

2.2.10. Προσδιορισμός Ορθοφωσφορικών PO₄³⁻-P (ΜΕΘΟΔΟΣ SnCl₂)

Ο φώσφορος στα φυσικά νερά και στα απόβλητα βρίσκεται συνήθως με τη μορφή διαφόρων τύπων φωσφορικών. Αυτές οι μορφές συνήθως διακρίνονται σε ορθοφωσφορικά, σε συμπτυκνωμένα φωσφορικά (πύρο-, μετά- και πολυφωσφορικά) και οργανικά ενωμένα φωσφορικά. Ο προσδιορισμός του P ολοκληρώνεται σε δύο στάδια:

1. Μετατροπή της μορφής του P που μας ενδιαφέρει σε ευδιάλυτα ορθοφωσφορικά
2. Χρωματομετρικό προσδιορισμό των ευδιάλυτων ορθοφωσφορικών

Τα φωσφορικά που ανταποκρίνονται στις φωτομετρικές αναλύσεις χωρίς προκαταρκτική υδρόλυση ή οξειδωτική χώνευση του δείγματος αναφέρονται ως ορθοφωσφορικά. Τα κλάσματα των φωσφορικών που μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά μόνο με οξειδωτική αποσύνθεση του οργανικού υλικού, αναφέρονται ως οργανικά ή οργανικά ενωμένα φωσφορικά. Για τα συμπτυκνωμένα φωσφορικά προτιμάται ο όρος φωσφορικά υδρολυόμενα με οξύ, γιατί με όξινη υδρόλυση σε θερμοκρασία βρασμού του νερού μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η Std methods 4500 SnCl₂ για τον προσδιορισμό μόνο των ορθοφωσφορικών και όχι του ολικού P. Σε 50 ml αραιωμένου ή όχι δείγματος προσθέτουμε μια

σταγόνα δείκτη φαινολοφθαλείνης. Αν το δείγμα γίνει ροζ τότε προσθέτουμε H_2SO_4 1 N ώσπου το δείγμα να αλλάξει χρώμα. Αυτό συμβαίνει όταν το pH γίνει όξινο. Λαμβάνουμε 10 ml από το δείγμα. Προσθέτουμε αναδεύοντας 0,4 ml μολυβδαινικού αμμωνίου και 0,05 ml διαλύματος $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ (2 σταγόνες με το σιφόνι των 2 ml). Μετά από ανάδευση 10 λεπτών (όχι παραπάνω από 12 και πάντα ο ίδιος χρόνος) μετρώταν η απορρόφηση στα 705 nm (STD,2014).

Υπολογισμοί

Με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος που χρησιμοποιεί την καμπύλη αναφοράς, η περιεκτικότητα του δείγματος σε ppm P- PO_4 δίνεται απευθείας από το όργανο.

2.2.11. Προσδιορισμός Λιπαρών ουσιών σε compost

Ο προσδιορισμός των λιπών γίνεται μετά από καλή ομογενοποίηση του αρχικού δείγματος (πριν τη διήθηση) με εκχύλισή τους με εξάνιο. Σε διαχωριστική χοάνη προστίθενται 450ml εξανίου και κατάλληλη ποσότητα δείγματος. Ακολουθεί έντονη ανάδευση της χοάνης για δύο λεπτά. Ο όγκος του προς μέτρηση δείγματος εξαρτάται από τη περιεκτικότητα του κάθε δείγματος σε λίπη. Όσο περισσότερα λίπη έχει το προς προσδιορισμό δείγμα, τόσο μικρότερη ποσότητά του εκχυλίζεται, έτσι ώστε να μην κορεστεί το εξάνιο. Ο κορεσμός γίνεται αντιληπτός από τη δημιουργία τρίτης στοιβάδας μεταξύ του εξανίου και του αποβλήτου. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει ο όγκος του δείγματος να είναι γνωστός. Το εξάνιο παραλαμβάνεται και τοποθετείται στη φιάλη του περιστροφικού εξατμιστήρα, η οποία θα πρέπει να έχει προηγουμένως ξηραθεί και ζυγιστεί. Ακολουθεί εξάτμιση του εξανίου, ξήρανση της φιάλης για 2hr τουλάχιστον και ζύγισή της σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Οι υπολογισμοί γίνονται ως εξής:

$$\frac{g \text{ Λιπών}}{L} = \frac{(\text{Φιάλη Μετά} - \text{Φιάλη Πριν}) * 1000}{mL \text{ Sample}}$$

2.2.12. Προσδιορισμός χρώματος

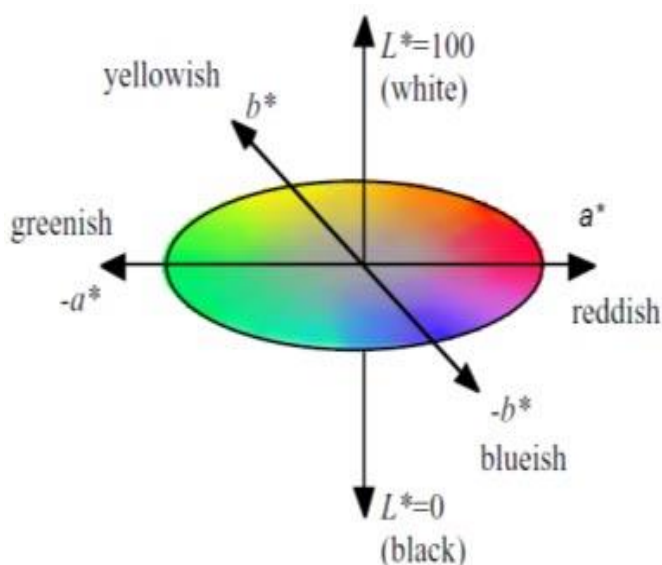
Η χρωματογραφία (colorimetry) είναι μια επιστήμη η οποία ασχολείται με τον ποσοτικό προσδιορισμό και τη φυσική περιγραφή της ανθρώπινης αντίληψης του χρώματος. Η χρωματογραφία σαν επιστήμη εμφανίστηκε το 1930 από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού CIE (Commission International De L' Eclairage) με τη διεξαγωγή πειραμάτων οπτικής. Τα χρωματομετρικά συστήματα της CIE είναι τα μόνα παγκοσμίως αποδεκτά για την μέτρηση του χρώματος, με συνέπεια όλα τα διεθνή πρότυπα να είναι βασισμένα σε αυτά που ορίζονται από αυτή (Morel, JL, 1982).

Η CIE 1964 πρότεινε το σύστημα CIELUV, το οποίο έχει σαν στόχο να ξεπεράσει την αντιληπτική μη γραμμικότητα του XYZ και YXY. Το σύστημα CIELUV λαμβάνεται μετά από τις xy συντεταγμένες οι οποίες μετασχηματίζονται σε μία ενιαία κλίμακα χρωματικότητας (Wyszecki and Stiles, 1982). Το CIELAB αποτελεί ένα περίπου ομοιόμορφο χρωματικό σύστημα οι τιμές του οποίου υπολογίζονται από μη-γραμμικούς μετασχηματισμούς των XYZ. Η συντεταγμένη L (lightness) φωτεινότητα είναι κοινή και στα δύο συστήματα. Η φωτεινότητα ορίζεται ως η αντιλαμβανόμενη λαμπρότητα μιας επιφάνειας σε σύγκριση με τη λαμπρότητα μιας τελείως λευκής επιφάνειας, κάτω από τις ίδιες συνθήκες φωτισμού. Κυμαίνεται από μέλαν έως λευκό και μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως μια

κλίμακα του 10 ή κλίμακα του 100. Έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μόνο την πληροφορία φωτεινότητας και λαμβάνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (άσπρο).

Η χρωματική πυκνότητα ή κορεσμός C^* (Saturation chroma) προσδιορίζει τη συγκέντρωση δηλαδή την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος ή διαφορετικά τη σχέση μεταξύ της εντονότητας και της φωτεινότητας της μελετώμενης απόχρωσης. Ο Albert Munsell το 1905 ποσοτικοποίησε την έννοια του κορεσμού, το οποίο πέτυχε αποδεικνύοντας ότι ο μέγιστος κορεσμός που μπορεί να παραχθεί σε επιφανειακές βαφές διαφέρει σημαντικά μεταξύ διαφορετικών χρωμών. Ο κορεσμός μπορεί να συμβολίζεται με διανύσματα με κατευθύνσεις προς τα έξω από το κέντρο του κύκλου της χροιάς, είτε σε όμοια οπτικά βήματα (και ως εκ τούτου σε ποικίλες αποστάσεις από το κέντρο), όπως στο σύστημα του Munsell ή κανονικοποιημένα προς τη δημιουργία μιας τακτικής κυκλικής διάταξης, όπως ένας παραδοσιακός χρωματικός κύκλος χρωμάτων (Khan et.al.2009).

Στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων οι συντεταγμένες a^* και b^* αποθηκεύουν τις πληροφορίες χρώματος χωρίς να υπάρχουν γι' αυτές κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του ερυθρού, ενώ οι αρνητικές, αποχρώσεις του πράσινου. Όσον αφορά τις τιμές του b^* οι θετικές του τιμές αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ οι αρνητικές του κυανού (Rossel et.al. 2006).



Εικόνα 2.8 Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIE Lab σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων L^* , C^* και h

Οι εξισώσεις οι οποίες ορίζουν αυτά τα συστήματα δίδονται παρακάτω :

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Όσον αφορά την απόχρωση προσδιορίζεται μέσω της χροιάς h (Hue angle) και μετράται σε μοίρες παίρνοντας τιμές 0^0 για το ερυθρό-πορφύρο, 90^0 για το κίτρινο, 180^0 για το κυανοπράσινο και 270^0 για το κυανό (Sharma et.al, 2004). Ανάλογα τις τιμές των συντεταγμένων a^* και b^* οι εξισώσεις είναι οι εξής:

$$h = \tan^{-1}(b^*/a^*), \text{ όταν } a^* > 0 \text{ και } b^* \geq 0$$

$$h = 0^\circ \text{ όταν } a^* = 0 \text{ και } b^* = 0$$

$$h = 90^\circ \text{ όταν } a^* = 0 \text{ και } b^* > 0$$

$$h = 180^\circ + \tan^{-1}(b/a) \text{ όταν } a^* < 0$$

$$h = 270^\circ \text{ όταν } a^* = 0 \text{ και } b^* < 0$$

$$h = 360^\circ + \tan^{-1}(b/a) \text{ όταν } a^* > 0 \text{ και } b^* < 0$$

Τα καθημερινά δείγματα που λαμβάνονταν τοποθετούνταν στο φούρνο των 105°C για 24 ώρες έτσι ώστε να απομακρυνθεί εντελώς η υγρασία του δείγματος. Έπειτα μια ποσότητα δείγματος υπέστη άλεση με μύλο επιτυγχάνοντας κατάλληλη κοκκομετρία ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάλυση χρώματος με τη χρήση του ενός χρωματομέτρου επιφανειών.

2.2.13 Κοκκομετρική Ανάλυση

Η απλούστερη και συνηθέστερη μέθοδος διαχωρισμού δειγμάτων κατά μέγεθος είναι η εκτέλεση κοκκομετρικής ανάλυσης με τη χρήση κοσκίνων δοκιμών. Μία πλήρης σειρά προτύπων κοσκίνων διατάσσεται κατά μέγεθος ανοιγμάτων σε στήλη με το μικρότερο άνοιγμα στη βάση και το μεγαλύτερο στην κορυφή. Η ανάλυση διεξάγεται με τοποθέτηση του δείγματος στο κόσκινο της κορυφής και ανακίνηση της στήλης μηχανικά για ορισμένο χρόνο. Αρχικά τοποθετείται στο φούρνο μια μικρή ποσότητα δείγματος για ξήρανση. Στη συνέχεια τοποθετείται στο πάνω κόσκινο με τη μεγαλύτερη διάμετρο. Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο σωματίδια απομακρύνονται και συγκρατούμενες μάζες σε κάθε κόσκινο μετατρέπονται σε κλάσματα μάζας ή ποσοστά μάζας επί τοις εκατό επί του ολικού δείγματος. Τα σωματίδια τα οποία διέρχονται το λεπτότερο κόσκινο συλλέγονται σε δίσκο στη βάση της στήλης.

Τα αποτελέσματα μίας κοκκομετρικής ανάλυσης διατάσσονται σε πίνακες ώστε να δείχνουν το κλάσμα της συγκρατούμενης μάζας σε κάθε κόσκινο συναρτήσει του μεγέθους της οπής (mesh) του κοσκίνου. Εφόσον τα σωματίδια οποιουδήποτε κοσκίνου διέρχονται δια του αμέσως υπεράνω αυτού κοσκίνου, χρειάζονται δύο αριθμοί για να καθορισθεί η τάξη μεγέθους της συγκρατούμενης μάζας. Ένας για το κόσκινο μέσα από το οποίο πέρασε κλάσμα της μάζας και ένας για το κόσκινο που συγκράτησε κλάσμα της μάζας. Έτσι έκφραση 14/20 σημαίνει «διαμέσου ανοίγματος 14 και επί ανοίγματος 20». Η ανάλυση που διατάσσεται κατά τον τρόπο αυτό σε πίνακα καλείται διαφορική ανάλυση. Το σύμβολο ΔΦ_n χρησιμοποιείται για το κλάσμα μάζας του ολικού δείγματος, που συγκρατείται από το κόσκινο n, όπου τα κόσκινα αριθμούνται κατά σειρά, αρχής γενομένης από την κορυφή της στήλης, ώστε το κόσκινο n – 1 είναι το αμέσως υπεράνω του κοσκίνου n. Το σύμβολο D_{pn} είναι η διάμετρος του σωματιδίου ίση με το άνοιγμα του κοσκίνου n.

Ο δεύτερος τύπος κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η αθροιστική ανάλυση. Η αθροιστική ανάλυση παράγεται από τη διαφορική ανάλυση με πρόσθεση των επιμέρους διαφορικών συγκρατούμενων μαζών, αρχής γενομένης από τη συγκρατούμενη μάζα στο κόσκινο με το μεγαλύτερο άνοιγμα.

Εάν το Φ ορίζεται από την εξίσωση:

$$\Phi = \sum \Delta\Phi_n \quad (3)$$

όπου $n = 1, 2, \dots, n$

Η αθροιστική ανάλυση είναι μία σχέση μεταξύ Φ και D_p , όπου D_p το μέγεθος των ανοιγμάτων του κοσκίνου n . Η ποσότητα Φ είναι το κλάσμα μάζας του δείγματος, που αποτελείται από σωματίδια μεγαλύτερα του D_p . Η τιμή του Φ για ολόκληρο το δείγμα είναι φυσικά η μονάδα.

Η παραγόμενη καμπύλη είναι γνωστή και ως κοκκομετρική καμπύλη. Πολλές φορές προσδιορίζεται η εκατοστιαία αναλογία του υλικού που παραμένει σε κάθε κόσκινο. Άθροιση των παραπάνω αριθμών και διαίρεση με 100 του αθροίσματος δίδει αριθμό που καλείται κοκκομετρικός συντελεστής ή συντελεστής λεπτότητας. Υψηλός συντελεστής λεπτότητας, σημαίνει μεγαλύτερη αναλογία κόκκων μεγαλύτερου μεγέθους. Για κοκκομετρική ανάλυση διατίθενται 3 σειρές από κόσκινα:

- Σειρά ελληνικών κοσκίνων. Τα ελληνικά κόσκινα είναι κυκλικής οπής με διαμέτρους 1,3,5,7,10,15,30,50,70 mm και ένα κόσκινο με τετραγωνική οπή και άνοιγμα 0,2 mm. Τα ελληνικά κόσκινα συμβολίζονται με το σύμβολο Φ που γράφεται πριν τον αριθμό του κοσκίνου.

- Σειρά γερμανικών κοσκίνων (DIN 4187 ή 4188). Τα γερμανικά κόσκινα είναι τετραγωνικής οπής και συμβολίζονται με το σύμβολο Φ που γράφεται πριν τον αριθμό του κοσκίνου.

- Σειρά αμερικανικών κοσκίνων (ASTM E11). Τα αμερικάνικα κόσκινα είναι τετραγωνικής οπής και συμβολίζονται με το σύμβολο No που γράφεται πριν τον αριθμό του κοσκίνου μέχρι το κόσκινο No 4, ενώ τα μεγαλύτερου ανοίγματος συμβολίζονται με το μέγεθος της βροχίδας σε ίντσες.

Οι ελληνικοί κανονισμοί δίδουν σε πίνακες τα συνιστώμενα κατώτερα και ανώτερα όρια του ποσοστού των αδρανών που διέρχονται από κάθε κόσκινο, καθώς και τα διαγράμματα κοκκομετρικής σύνθεσης.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Τόσον η διαφορική όσο και η αθροιστική ανάλυση είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογισθεί το εμβαδόν της επιφάνειας των σωματιδίων και το πλήθος των σωματιδίων ενός μίγματος. Εάν χρησιμοποιηθεί η διαφορική ανάλυση, γίνεται δεκτό ότι όλα τα σωματίδια σε ένα απλό κλάσμα είναι ισομεγέθη και το μέγεθος είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των διαστάσεων των ανοιγμάτων των δύο κοσκίνων, τα οποία ορίζουν το κλάσμα. Έτσι οι διαστάσεις των οπών των προτύπων κοσκίνων 10 και 14 είναι 0,1651 και 0,1168 cm αντίστοιχα και το 10/14 κλάσμα υποτίθεται ότι αποτελείται από ομοιόμορφα σωματίδια διαμέτρου $(0,1651 + 0,1168)/2 = 0,1410$ cm. Εάν χρησιμοποιηθεί αθροιστική ανάλυση, η γραφική παράσταση του Φ συναρτήσει του D_p εξετάζεται σαν συνεχής συνάρτηση και χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι διαφορικού-ολοκληρωτικού λογισμού. Στην περίπτωση της αθροιστικής ανάλυσης η υπόθεση ότι όλα τα σωματίδια ενός απλού κλάσματος είναι ισομεγέθη, δεν χρειάζεται.

Μεγέθη μικτών σωματιδίων:

Σε δείγμα ομοιόμορφων τεμαχιδίων διαμέτρου D_p ο ολικός όγκος των τεμαχιδίων είναι m/ρ_p όπου m και ρ_p είναι η ολική μάζα του δείγματος και η πυκνότητα των σωματιδίων, αντίστοιχα. Εφόσον ο όγκος του σωματιδίου είναι $a \cdot D_p^3$ ο αριθμός των σωματιδίων του δείγματος N είναι:

$$N = m/\rho_p / aD_p^3$$

Το ολικό εμβαδόν της επιφανείας των σωματιδίων είναι:

$$A = N \cdot (\text{επιφάνεια σωματιδίου}) = [m/\rho_p / aD_p^3] \cdot 6\beta D_p^2 = 6\lambda m/\rho_p D_p$$

Για να εφαρμοσθούν οι παραπάνω εξισώσεις σε μίγματα σωματιδίων που έχουν διάφορα μεγέθη και πυκνότητες, το μίγμα διαχωρίζεται σε κλάσματα με σταθερή το καθένα πυκνότητα και σταθερό κατά προσέγγιση μέγεθος. Το κάθε κλάσμα μπορεί τότε να ζυγισθεί ή τα σωματίδια να αριθμηθούν ένα προς ένα ή να μετρηθούν με μικροσκοπικές μεθόδους. Οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν έπειτα να εφαρμοσθούν σε κάθε κλάσμα και τα αποτελέσματα να προστεθούν.

Ειδική επιφάνεια μίγματος

Δεχόμαστε ότι η πυκνότητα του σωματιδίου ρ_p και οι συντελεστές σχήματος a και β είναι γνωστά και ότι τα μεγέθη αυτά είναι ανεξάρτητα της διαμέτρου των σωματιδίων. Εάν χρησιμοποιηθεί η διαφορική ανάλυση, η επιφάνεια των σωματιδίων κάθε κλάσματος υπολογίζεται από την εξίσωση (5) και τα αποτελέσματα για όλα τα κλάσματα προστίθενται, για να δώσουν την $A_{ολ}$, την ολική επιφάνεια μίας μονάδας μάζας του δείγματος,

$$A_{ολ} = 6\lambda/\rho_p \sum (\Delta\Phi_n/D_{\mu,n}) \quad (6)$$

Όπου, n = αριθμός των κοσκίνων

$D_{\mu,n}$ = αριθμητικός μέσος όρος των $D_{p,n}$ και $D_{p,n-1}$

Εάν χρησιμοποιηθεί η αθροιστική ανάλυση η εξίσωση (5) γράφεται διαφορετικά και η ολική επιφάνεια υπολογίζεται με ολοκλήρωση μεταξύ των ορίων $\Phi=0$ και $\Phi=1$ ή

$$A_{ολ} = 6\lambda/\rho_p \int (d\Phi/D_p) \quad (7)$$

Το εμβαδόν ανά μονάδα μάζας του δείγματος $A_{ολ}$ καλείται ειδική επιφάνεια.

Μέσο μέγεθος σωματιδίου

Ο μέσος όρος ή η αριθμητική μέση διάμετρος ορίζεται ως:

$$D_{ave} = \int D_p dN / N_w \quad (8)$$

Όπου, N_w = αριθμός σωματιδίων σε μία μονάδα μάζας του δείγματος (εξ. 4)

α) Για διαφορική ανάλυση $N_w = (1/a\rho_p) \sum (\Delta\Phi_n / D_n^3) \quad (9)$

β) Για αθροιστική ανάλυση $N_w = (1/a\rho_p) \int (d\Phi/D_p^3) \quad (10)$

Διάμεσος διάμετρος (median diameter)

Ορίζεται ως η διάμετρος που διαιρεί ολόκληρο τον αριθμό των σωματιδίων σε δύο ίσα πλήθη. Η μέση διάμετρος μάζας ορίζεται από την εξίσωση:

$$D_m = \int D_p d\Phi \quad (11)$$

Για μίγματα που αποτελούνται από ομοιόμορφα σωματίδια οι διάμεσοι διάμετροι είναι φυσικά όλοι ίδιοι. Για μίγματα όμως που περιέχουν σωματίδια διαφόρων μεγεθών, οι διάμεσοι διάμετροι μπορούν να διαφέρουν πολύ.

2.3. Ανάπτυξη των δυναμικών Μοντέλων

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η τεχνολογία της διαχείρισης αποβλήτων έχει αναπτυχθεί ικανοποιητικά και συνεχώς αναπτύσσεται. Στα πλαίσια της ανάπτυξης συμπεριλαμβάνεται και η μεγάλη προσπάθεια για τη βελτιστοποίηση των παραγόντων που θα μπορούσε βελτιώνοντας τη διαδικασία της κομποστοποίησης να αυξήσει την ποιότητα του τελικού προϊόντος- λιπάσματος. Ο επιτυχής έλεγχος του τελικού προϊόντος συμπεριλαμβάνει την αναλογία C / N, την προσθήκη χημικών ουσιών, διόγκωσης υλικού καθώς και τη στρατηγική αερισμού. Η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί επίσης να επηρεαστεί άμεσα από τη θερμοκρασία της διεργασίας, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου (Albuquerque, et, al, 2009).

Ο κύριος άξονας για την επιθυμητή ποιότητα του τελικού προϊόντος λιπασματοποίησης είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός, σε συνδυασμό με τον έλεγχο της διαδικασίας λιπασματοποίησης. Απαραίτητα αλλά και παράλληλα αποτελεσματικά, έχουν αποδειχθεί τα Μαθηματικά μοντέλα, τα οποία περιλαμβάνουν ένα σημαντικό εργαλείο για την πρόβλεψη της λειτουργίας της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Κύριο πλεονέκτημα αυτών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγοί για το σχεδιασμό αλλά και την αξιολόγηση των συνθηκών υπό τις οποίες θα επιτευχθεί η αναμενόμενη καλή ποιότητα του κομπόστ. Για το λόγο αυτό τα μαθηματικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την προσομοίωση και την πρόβλεψη των φυσικών και βιολογικών νόμων, που διέπουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Υπάρχει εύρος μαθηματικών μοντέλων που καλύπτουν διαφορετικούς τύπους υλικών κομποστοποίησης και έχουν προταθεί για να προβλέψουν τη χρονική αλλαγή της μικροβιακής μάζας, της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του οργανικού υποστρώματος, του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα (Vasiliadou, et, al, 2015). Ωστόσο, σχετικά λίγες είναι οι μελέτες μοντελοποίησης που έχουν διεξαχθεί για να προσομοιωστεί η διαδικασία της κομποστοποίησης των αποβλήτων ελαιοτριβείου. Μέχρι σήμερα, μελέτες περιορισμένης μοντελοποίησης (Vlyssides et al., 2009) έχουν διεξαχθεί με απώτερο σκοπό την περιγραφή των κύριων φυσικοχημικών και βιολογικών μηχανισμών που εμπλέκονται στη διαδικασία της κομποστοποίησης των αποβλήτων των ελαιοτριβείων.

Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τις τιμές των κινητικών παραμέτρων, οι οποίες θα μπορούσαν να περιγράψουν ταυτόχρονα την κομποστοποίηση των αποβλήτων ελαιοτριβείου με διαφορετικά υλικά. Επιπλέον, η κινητική του αδιάλυτου άνθρακα, βιομάζας, θερμοκρασίας, νερού, καθώς επίσης και του οξυγόνου αλλά και της εξέλιξης του διοξειδίου του άνθρακα δεν έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες δημοσιεύσεις για να προσομοιώσουν την κομποστοποίηση των τριών φάσεων ελαιοτριβείου στερεών αποβλήτων.

Για την επεξεργασία των δεδομένων ακολουθήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης υπολοίπων [1] η οποία συνοψίζεται στον παρακάτω αλγόριθμο:

Βήμα 1. Κάθε στήλη δεδομένων μιας παραμέτρου προσαρμόζεται σε μία γραμμική εξίσωση με τα δεδομένα του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου O_2 . Έτσι προκύπτει μία σειρά γραμμικών εξισώσεων παλινδρόμησης όλων των παραμέτρων με την παράμετρο O_2 π.χ. $O_2 = \alpha (EC) + \beta$. Μάλιστα χρησιμοποιούνται τρεις τύποι γραμμικών σχέσεων: πολυωνυμική 1ου βαθμού, λογαριθμική και εκθετική.

Βήμα 2. Για κάθε παράγοντα επιλέγεται η εξίσωση με τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 .

Βήμα 3. Από τις ανωτέρω εξισώσεις επιλέγεται αυτή με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 και με βάση την εξίσωση αυτή, υπολογίζονται οι προβλεπόμενες τιμές του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου (O_2)

Βήμα 4. Υπολογίζεται η διαφορά ΔO_2 των προβλεπόμενων τιμών (O_2) από τις πραγματικές O_2 ($\Delta O_2 = O_2 - (O_2)$)

2.4. Μοντέλο ρυθμού αφομοίωσης των λιπαρών ουσιών

Ο ρυθμός μείωσης των λιπαρών ενώσεων (FOG) κατά την κομποστοποίηση του πυρήνα σε βιοαντιδραστήρα ασυνεχούς λειτουργίας ακολουθεί την παρακάτω κινητική:

$$\frac{dy}{(L - y)} = k \cdot dt \Rightarrow$$

όπου $y = FOG_t$ (η συγκέντρωση των λιπαρών κατά την χρονική t) και

$L =$ η ωριακή τιμή της συγκέντρωσης των λιπαρών μετά από άπειρο χρόνο

Η επίλυση της παραπάνω σχέσης έχει ως εξής:

$$\frac{dy}{(L - y)} = k \cdot dt \Rightarrow \quad [1]$$

$$\int_0^y \frac{dy}{L - y} = \int_0^t k \cdot dt \quad [2]$$

Το δεύτερο μέλος της εξίσωσης (2) ολοκληρώνεται ως εξής:

$$\int_0^t k \cdot dt = k \cdot t \quad [3]$$

Το πρώτο μέλος της εξίσωσης (2) είναι της μορφής:

$$\int \frac{dy}{a + x} = I_n (a + x) \quad [4]$$

Αν στην (4) τεθεί $a = -L$ και $x = -y$ αυτή γράφεται:

$$-\int \frac{dy}{-L + y} = \int \frac{dy}{L - y} = I_n \cdot (a + x) \quad [5]$$

Το ορισμένο ολοκλήρωμα της εξίσωσης (5) στο διάστημα $0-y$ είναι:

$$\int \frac{dy}{L-y} = -\int \frac{dy}{-L+y} = \left| -I_n \cdot (L+y) \right|_0^y = -[I_n(-L+y)] + [I_n(-L+0)] = I_n \left(\frac{-L}{-L+y} \right) = I_n \left(\frac{L}{L-y} \right) = I_n \left(\frac{-L}{-L+y} \right) = I_n \left(\frac{L}{L-y} \right) \quad [6]$$

Από τις εξισώσεις (2), (3) και (6) προκύπτει:

$$I_n \left(\frac{L}{L-y} \right) = k \cdot t \Rightarrow \frac{L-y}{L} = e^{-k \cdot t} \Rightarrow y = (1 - e^{-k \cdot t}) \cdot L \quad [7]$$

Αντικαθιστώντας τα y και L με τα FOG_t και FOG_∞ αντίστοιχα λαμβάνουμε τη σχέση:

$$\frac{d(FOG)}{dt} = k(L - FOG_t) \quad [8]$$

ή μετά από ολοκλήρωσή της :

$$FOG_t = L \left(1 - e^{-kt} \right) \quad [9]$$

Η ολοκλήρωση και οι κατάλληλοι μετασχηματισμοί περιγράφονται στο παράρτημα 2.

Αν στην εξίσωση [9] αντικατασταθεί η βάση Νεπερείων λογαρίθμων e , με τη βάση των πραγματικών αριθμών (δηλαδή το δεκαδικό σύστημα) αυτή θα πάρει τη μορφή:

$$FOG_t = L \left(1 - 10^{-Kt} \right) \quad [10]$$

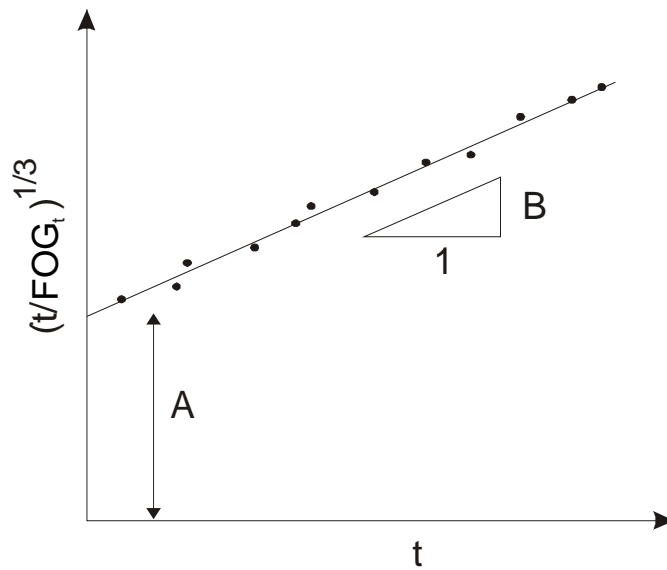
όπου $K=0.434k$

Η εξίσωση (10) είναι βασική για τον υπολογισμό του βαθμού μείωσης του FOG σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η λύση της εξίσωσης (10) δεν είναι εύκολη. Στο εργαστήριο μπορούν να μετρηθούν οι μεταβλητές FOG_t και t , παραμένουν όμως δύο ακόμη άγνωστοι, ο εκθετικός παράγοντας K και η σταθερά L . Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι για τη λύση της εξίσωσης (12) με τις οποίες υπολογίζονται κατά προσέγγιση οι παράμετροι K και L . Η περισσότερο πρακτική μέθοδος είναι του Thomas, η οποία είναι μία μέθοδος γραφική και χρησιμοποιείται ευρέως. Κατά την μέθοδο αυτή, που περιγράφεται αναλυτικά στο παράρτημα 2, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- α) Από τα εργαστηριακά αποτελέσματα, FOG_t και t , υπολογίζεται η παράσταση: $(t/ FOG_t)^{1/3}$
- β) Κατασκευάζεται γραφική παράσταση, σχήμα 1, με συντεταγμένες $(t/ FOG_t)^{1/3}$ και t
- γ) Από τη γραφική παράσταση του σχήματος 1, προσδιορίζονται οι τιμές A και B
- δ) Οι τιμές των K και L υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$K = 2.61 \frac{B}{A} \quad [11]$$

$$L = \frac{1}{6 \cdot A^2 \cdot B} \quad [12]$$



Γραφική λύση για τον προσδιορισμό των σταθερών K και L.

Είναι γνωστό ότι οι μετρήσεις του FOG στο εργαστήριο γίνονται σε σταθερή θερμοκρασία 20°C. Οι τιμές των παραμέτρων K και L όπως υπολογίστηκαν είναι ορθές για τη θερμοκρασία αυτή. Στην πράξη όμως η θερμοκρασία στις μονάδες βιολογικής αποδόμησης είναι διάφορη και μεταβάλλεται με τις καιρικές συνθήκες (χειμώνα-καλοκαίρι). Έτσι προκύπτει η ανάγκη υπολογισμού των K και L σε διάφορες θερμοκρασίες, T. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια των παρακάτω τύπων:

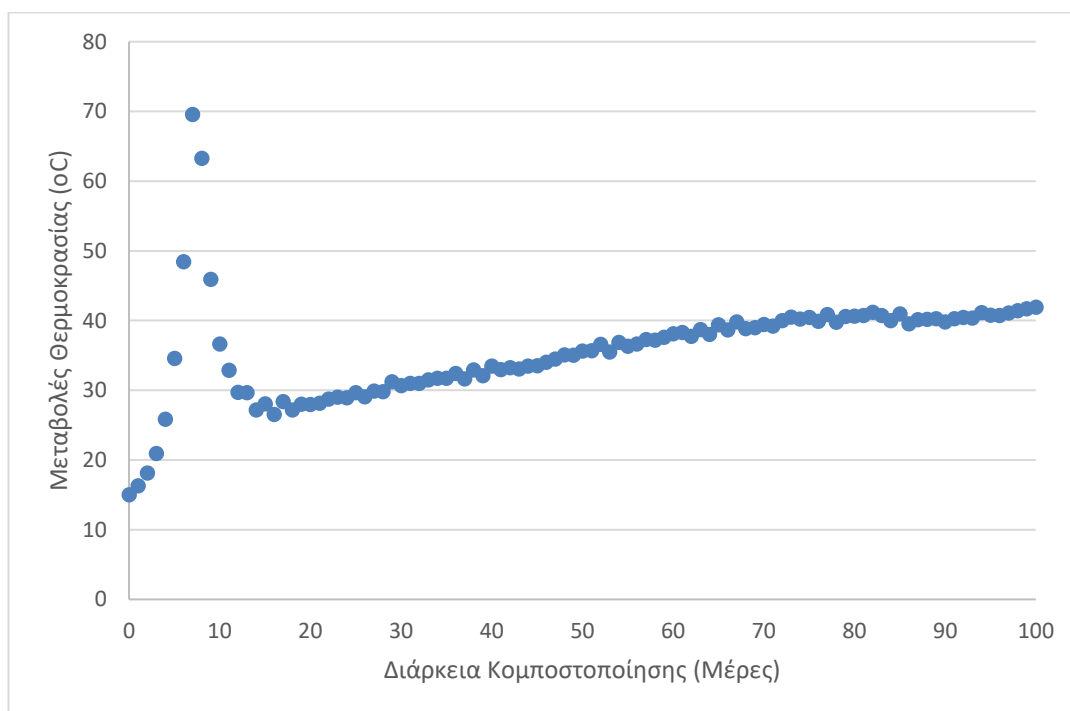
$$K_T = K_{20} \cdot 1.047^{(T-20)} \quad [13]$$

$$L_T = L_{20} \cdot 1.047^{(1+0.02(T-20))} \quad [14]$$

Κεφάλαιο 3
Πειραματικά
Αποτελέσματα

Κεφάλαιο 3: Πειραματικά αποτελέσματα

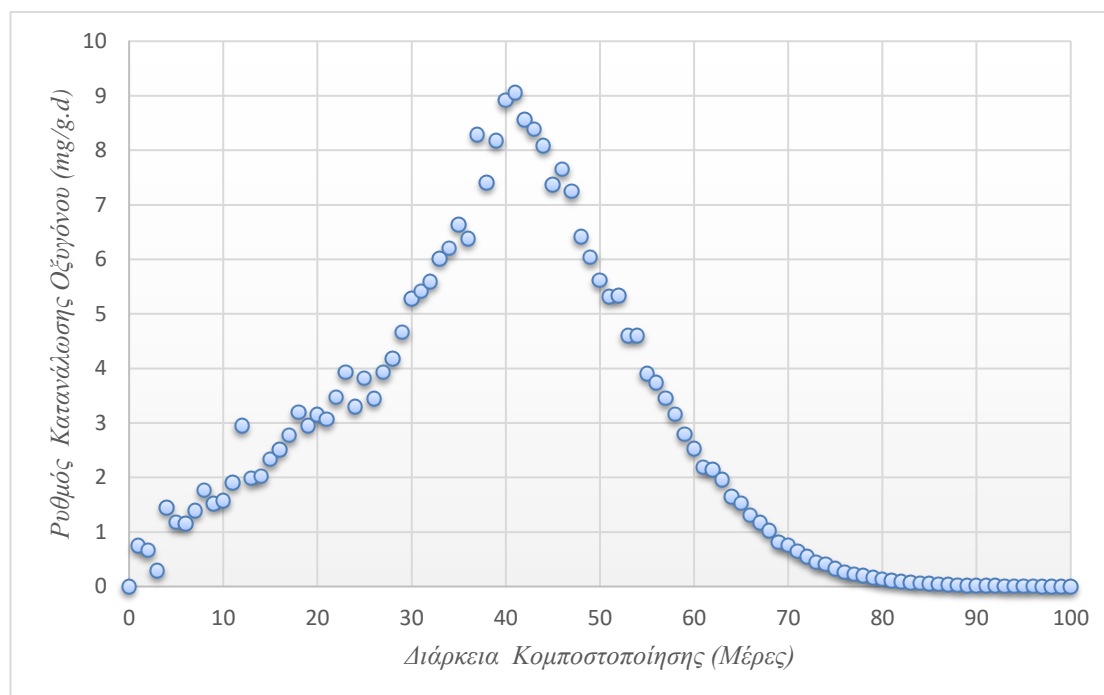
Οι παράμετροι ελέγχου στη θερμόφιλη φάση της κομποστοποίησης είναι: η θερμοκρασία (T), το pH, η περιεκτικότητα λιπαρών ουσιών (FOG) αλλά και ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (OUR). Η σταθεροποίηση των συγκεκριμένων αυτών παραμέτρων σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών σηματοδοτεί το γεγονός ότι το προϊόν είναι στη φάση της χουμοποίησης- κομποστοποίησης. Βέβαια μια ολοκληρωμένη σειρά πειραματικών αναλύσεων, η οποία περιλαμβάνει πέραν από τις βασικές παραμέτρους, τη μέτρηση των χουμικών – φυολβικών ενώσεων, δείκτη φυτοτοξικότητας-φυτοθρεπτικότητας αλλά και κατιοντικής ιοντοεναλλακτικής ικανότητας, συγκέντρωση ολικού αζώτου, φωσφόρου (Riffaldi, et.al.1986). Η δημιουργία του δυναμικού μοντέλου βασίστηκε στα πειραματικά αποτελέσματα τεσσάρων επαναληπτικών κομποστοποιήσεων. Τα αποτελέσματα του κύριου πειράματος βάσει του οποίου δημιουργήθηκε και το δυναμικό μοντέλο, παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα. Τα υπόλοιπα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών παρουσιάζονται στο παράρτημα 1.



Διάγραμμα 3.1 Μεταβολή θερμοκρασίας

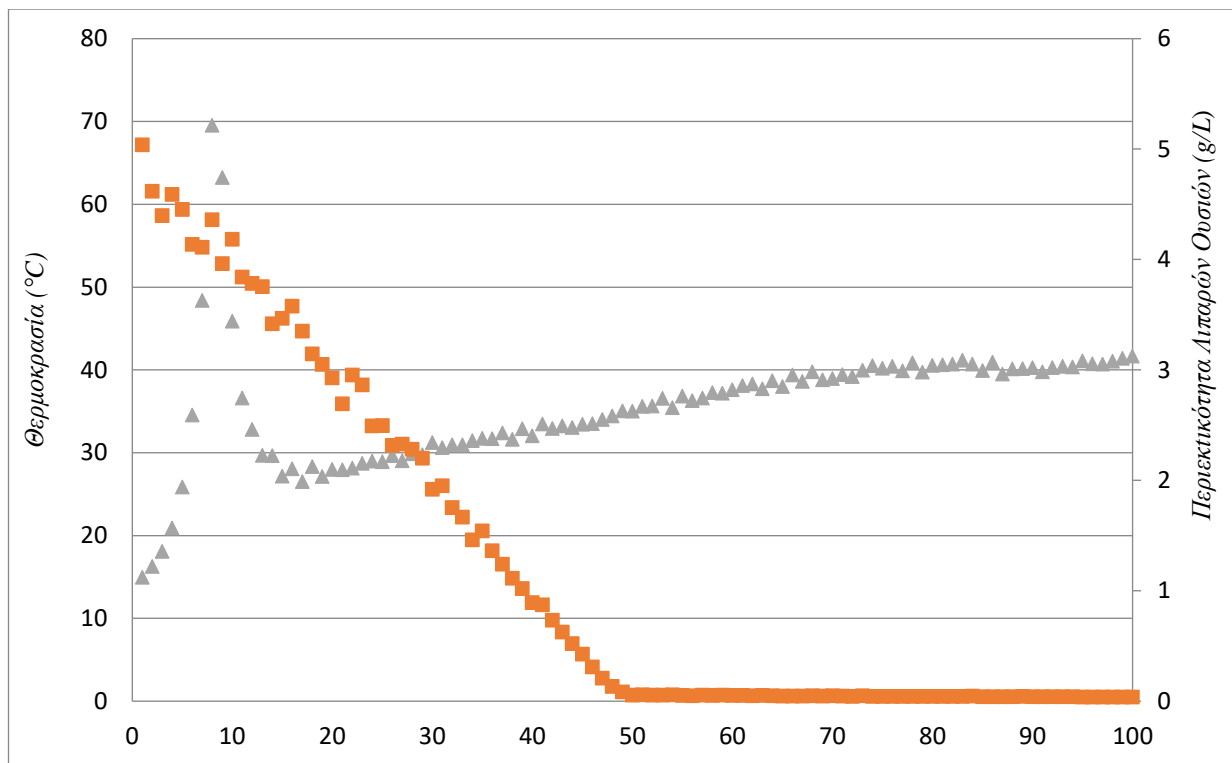
Η θερμοκρασία των σωρών μεταβάλλεται ανάλογα τη φάση στην οποία βρίσκεται το προϊόν. Στο διάστημα των πρώτων 20 ημερών η θερμοκρασία κυμαίνεται από 35 μέχρι 43°C. Μετά την 21^η ημέρα ξεκινά μια πρώιμη θερμόφιλη φάση η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των θερμόφιλων μικροοργανισμών. Κατά τη διάρκεια της θερμόφιλης φάσης η θερμοκρασία αγγίζει μέχρι και τους 60°C

όπου και διατηρείται για διάστημα περίπου 2 μηνών. Καθώς το προϊόν αρχίζει να χάνει την αρχική του δομή, μορφή και σύσταση, η θερμοκρασία μειώνεται διαμηνύοντας έτσι την έναρξη της φάσης της κομποστοποίησης – χουμοποίησης. Η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με συνεχή αερισμό. Αυτό βοηθά και στην ανάπτυξη των ακτινομηκύτων οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποικοδόμηση των πολυμερών αλλά και της κυτταρίνης και λιγνίνης (Bertoldi, 1983).

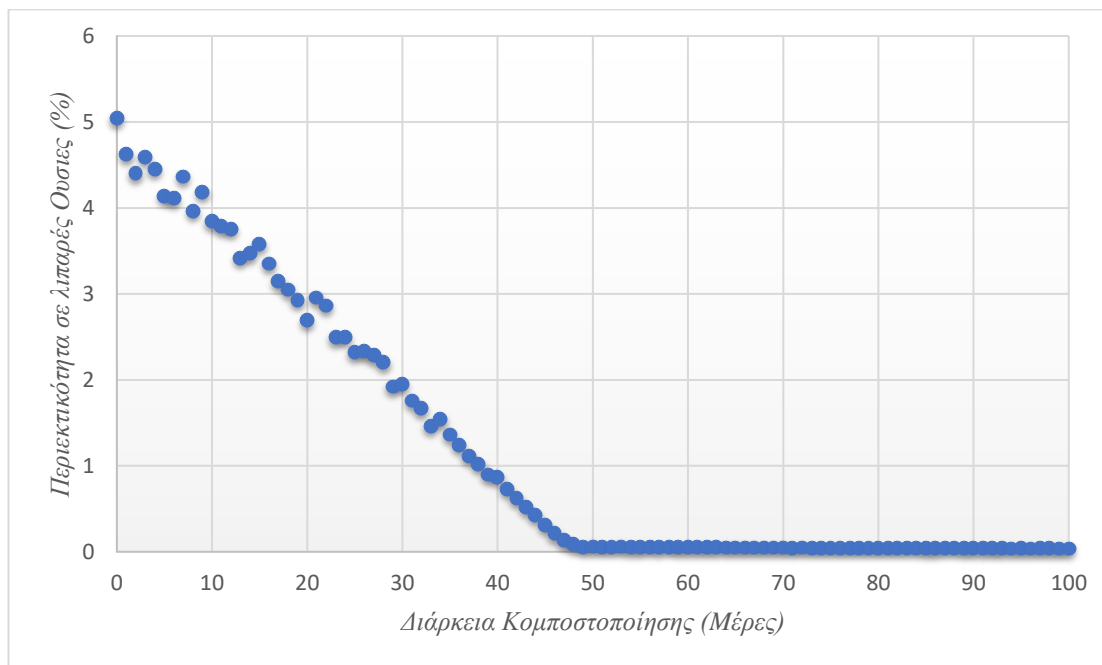


Διάγραμμα 3.2. Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου

Το οξυγόνο μέσα στο κόμποστ σχετίζεται άμεσα με τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται μέσα σε αυτό. Στην αρχή καθώς το κόμποστ ξεκινάει αναπτύσσεται ένας μεγάλος αριθμός. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας η οποία προμηνύει και την ωρίμανση του προϊόντος ο αριθμός των μικροοργανισμών μειώνεται καθώς επικρατούν αερόβιες συνθήκες. Αυτό διαπιστώνεται και από το διάγραμμα 3.2 όπου εμφανίζεται η συσχέτιση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου με το χρόνο. Αρχικά υπάρχει μια μηδενική κατανάλωση, αλλά η παράλληλη ανάπτυξη μικροοργανισμών οδηγεί σε μια ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου η οποία μετά τις 40 ημέρες αγγίζει την τιμή των 9,10 mg O₂/g.d.c./d. Η μικροβιακή δομή του συστήματος από βακτήρια σε πρωτόζωα παίζει σημαντικό ρόλο στην αυξητική πορεία της κατανάλωσης οξυγόνου. Η αύξηση αυτή της κατανάλωσης οξυγόνου αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει φυτοτοξικότητα, οπότε τα βακτήρια ρουφούν περισσότερο οξυγόνο (Adani, 2000).



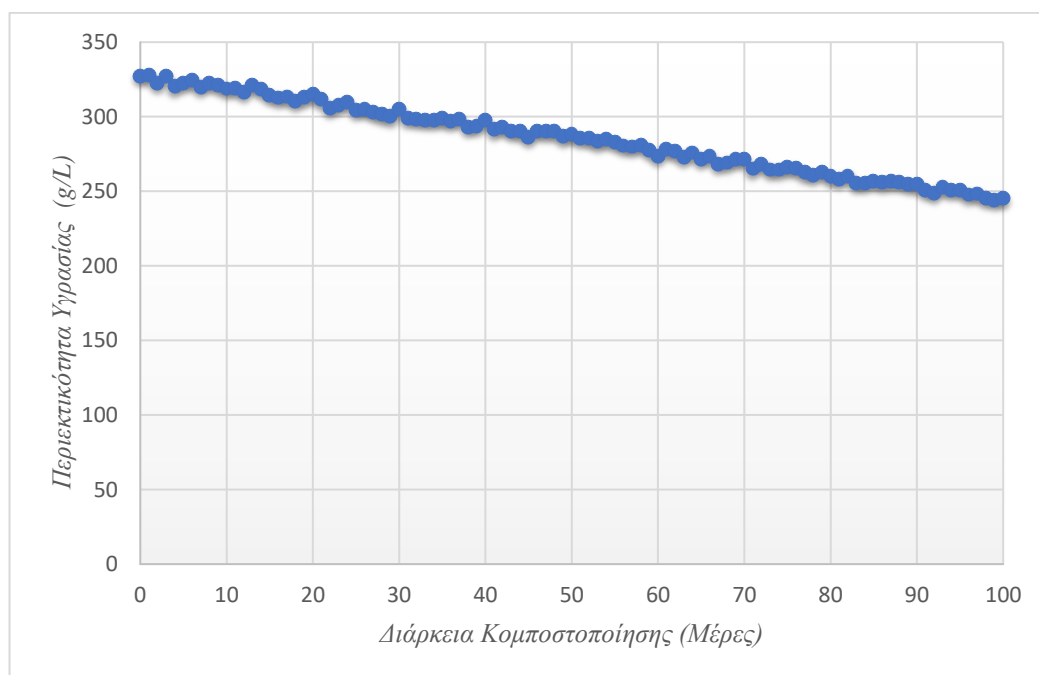
Διάγραμμα 3.3. Μεταβολή της περιεκτικότητας λιπαρών ουσιών σε σχέση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας



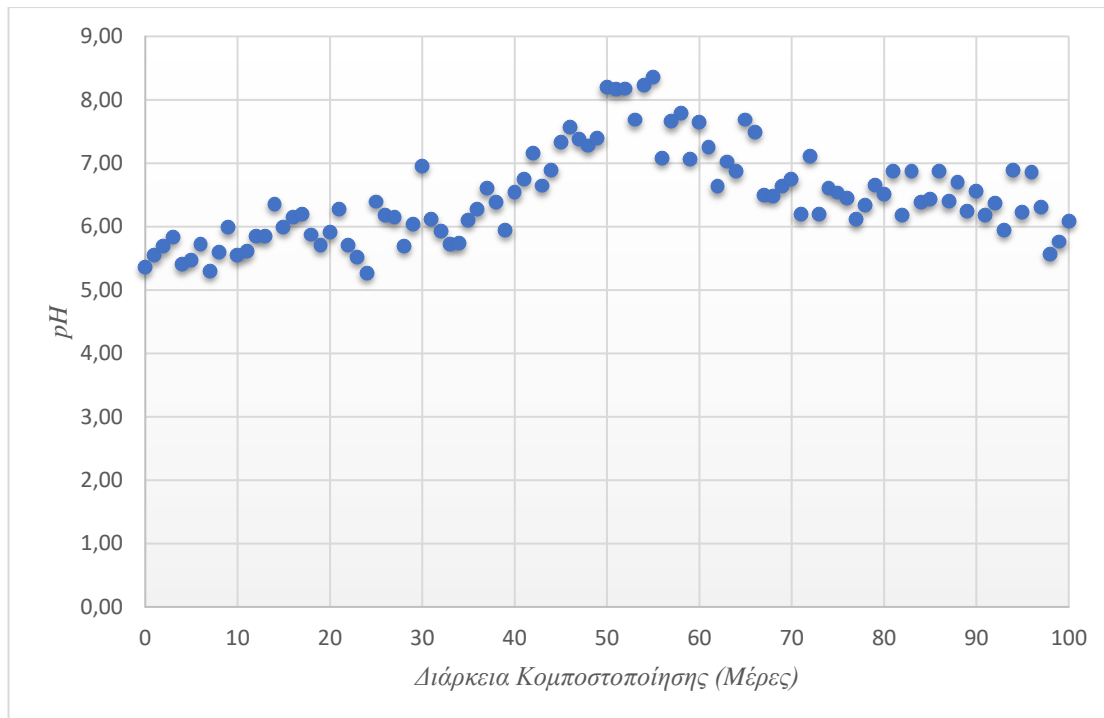
Διάγραμμα 3.4.: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε λιπαρές ουσίες κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Το διάγραμμα 3.4 απεικονίζει τη συσχέτιση της περιεκτικότητας λιπαρών ουσιών - ελαίων στο προϊόν σε σχέση με το χρόνο. Το αρχικό υλικό περιέχει μεγάλη συγκέντρωση σε ελαιόλαδο η οποία

αγγίζει το 5%. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από το διάγραμμα.3.3. Η περιεκτικότητα σε λάδια μειώνεται με την πάροδο του χρόνου φτάνοντας μετά από περίπου ένα μήνα σε μηδενικά επίπεδα. Η σταδιακή αυτή μείωση οφείλεται και στην υψηλή θερμοκρασία η οποία, όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα 3.3., διατηρείται για ένα διάστημα 20 ημερών κατά την θερμοφιλή φάση. Επίσης η περιεκτικότητα σε λάδια παρουσιάζει μια μεγάλη συσχέτιση με το χρόνο η οποία φτάνει και το 90%. Η μείωση αυτή απεικονίζεται καλύτερα και στο διάγραμμα. 3.3. Η συσχέτισή τους είναι αντιστρόφως ανάλογη, έτσι η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στη μείωση της περιεκτικότητας σε λάδια. Συμφωνώντας και με τις βιβλιογραφικές αναφορές (El Fels,et.al 2014). Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη των ακτινομυκητών οι οποίοι χρησιμοποιούν ως πηγή άνθρακα τα σάκχαρα, οργανικά οξέα, πολυσακχαρίτες, κυτταρίνες, ημικυτταρίνες, φαινολικές ενώσεις, καθώς επίσης και υδατάνθρακες. Όταν αρχίζουν και ελαττώνονται τα συστατικά αυτά τότε αρχίζει και η θερμοκρασία, στη φάση αυτή της ελάττωσης των ενεργειακών αποθεμάτων, μειώνεται και διατηρείται στα επίπεδα της μεσόφιλης φάσης για περίπου 60 ημέρες.



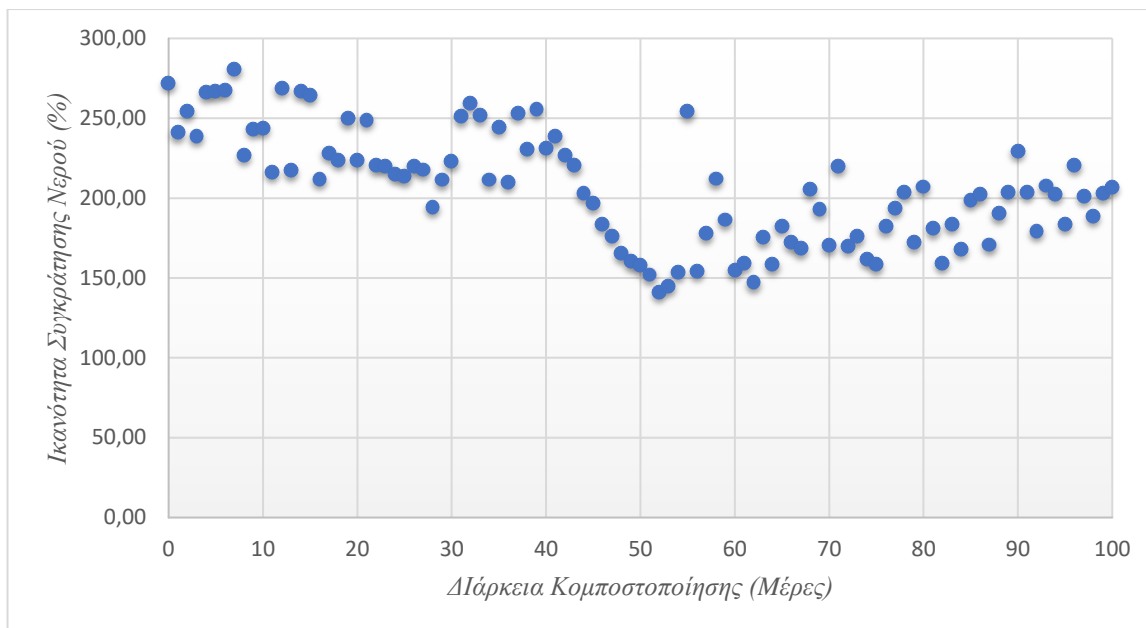
Διάγραμμα 3.5. Μεταβολή της Υγρασίας (g/L) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης



Διάγραμμα 3.6: Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε διάστημα 100 ημερών

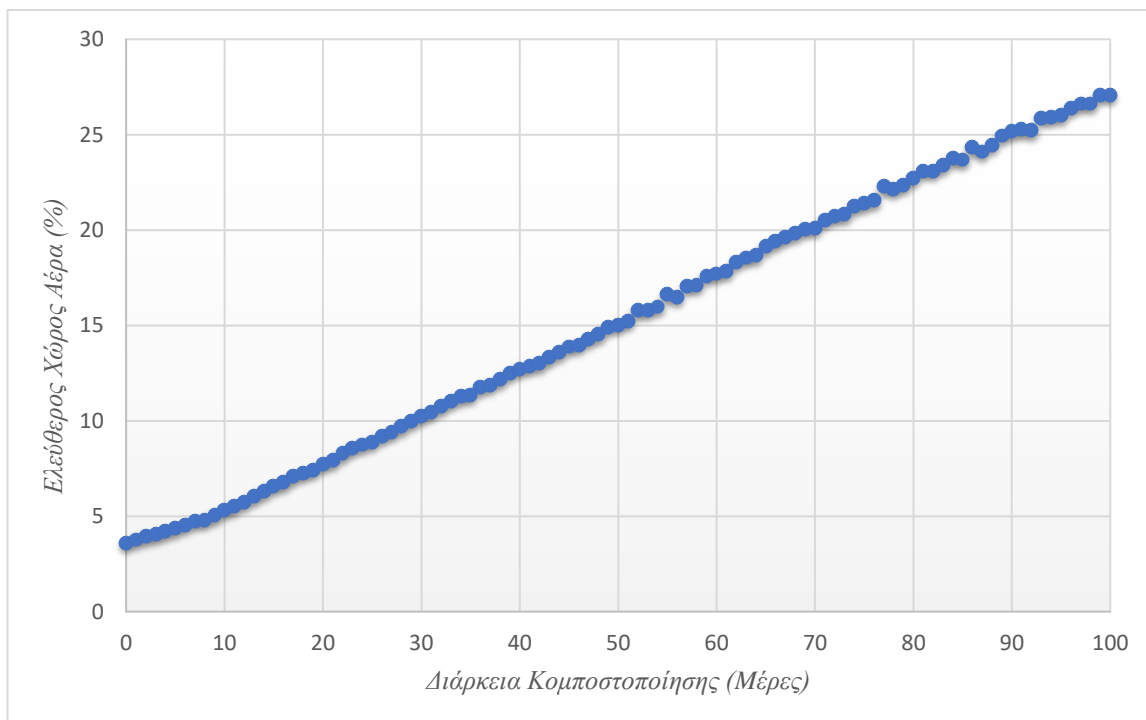
Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα 3.6. το pH ξεκινά από μια όξινη περιοχή (5-7) στην οποία διατηρείται για διάστημα 40 περίπου ημερών κάτι το οποίο οφείλεται στην πρώτη ύλη. Μετά από 2 περίπου μήνες στο στάδιο της θερμοφιλης περιοχής και περνώντας σιγά σιγά στην αλκαλική περιοχή το pH αυξάνεται και κυμαίνεται σε μια καθαρά αλκαλική περιοχή. Η σταθερή αυτή αύξηση οφείλεται στη μείωση των πτητικών οξέων, όπως επίσης και στη μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνία (Kutsanedzie, et.al.2012).

Η ρύθμιση του pH στο έδαφος παίζει πολύ μεγάλο ρόλο διότι συνδέεται άρτια με την προσρόφηση απαραίτητων για την ανάπτυξη των φυτών σε θρεπτικά συστατικά. Σε πολύ χαμηλά όρια <6 καθίσταται αδύνατη η προσρόφηση των P, K, S, Ca, Mg, M και B.

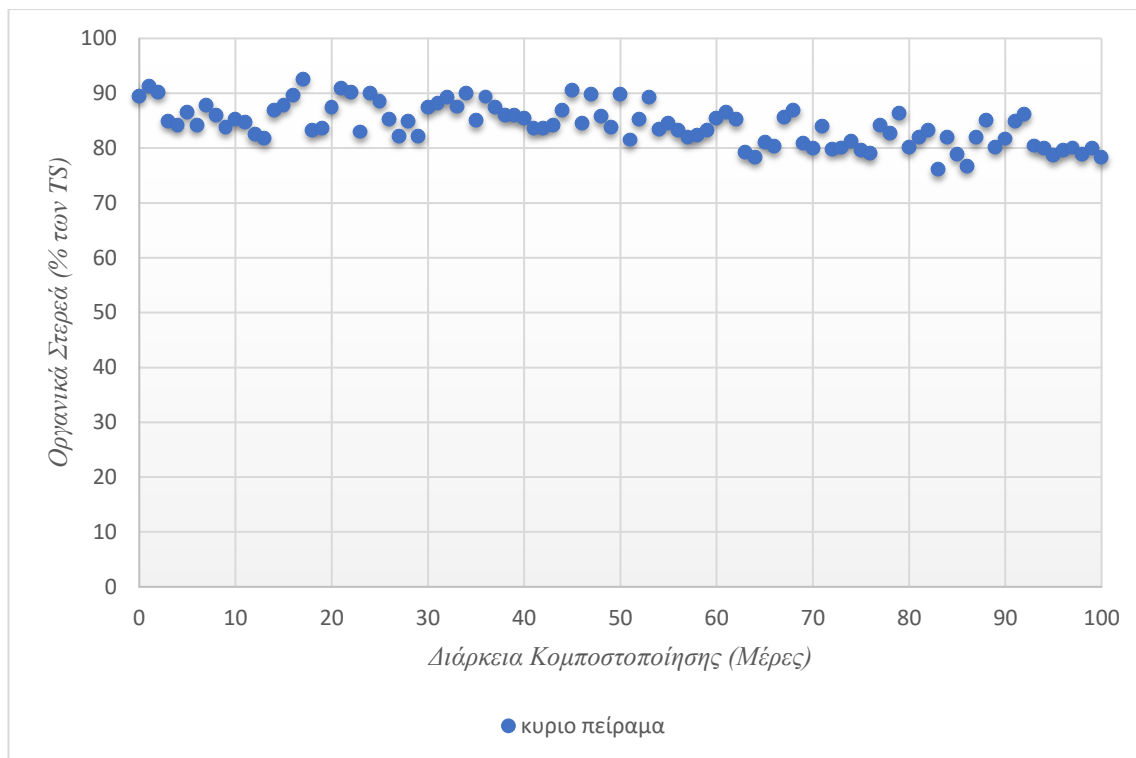


Διάγραμμα 3.7 Ικανότητα Συγκράτησης Νερού (WHC %)

Από το διάγραμμα 3.7. παρατηρούμε μια μείωση του WHC που ξεκινά από την τιμή 280% db και καταλήγει στην τιμή 200 % db. Η μείωση αυτή δικαιολογείται από το ότι ο ελεύθερος χώρος που υπάρχει στο κόμποστ αντιστοιχεί στο πορώδες, όπου το πορώδες ελαττώνεται με αποτέλεσμα να ελαττώνεται και η ικανότητα συγκράτησης νερού. Η σύγκριση μπορεί να γίνει παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα το οποίο απεικονίζει την αυξητική πορεία του ελεύθερου χώρου αέρα στο προϊόν.

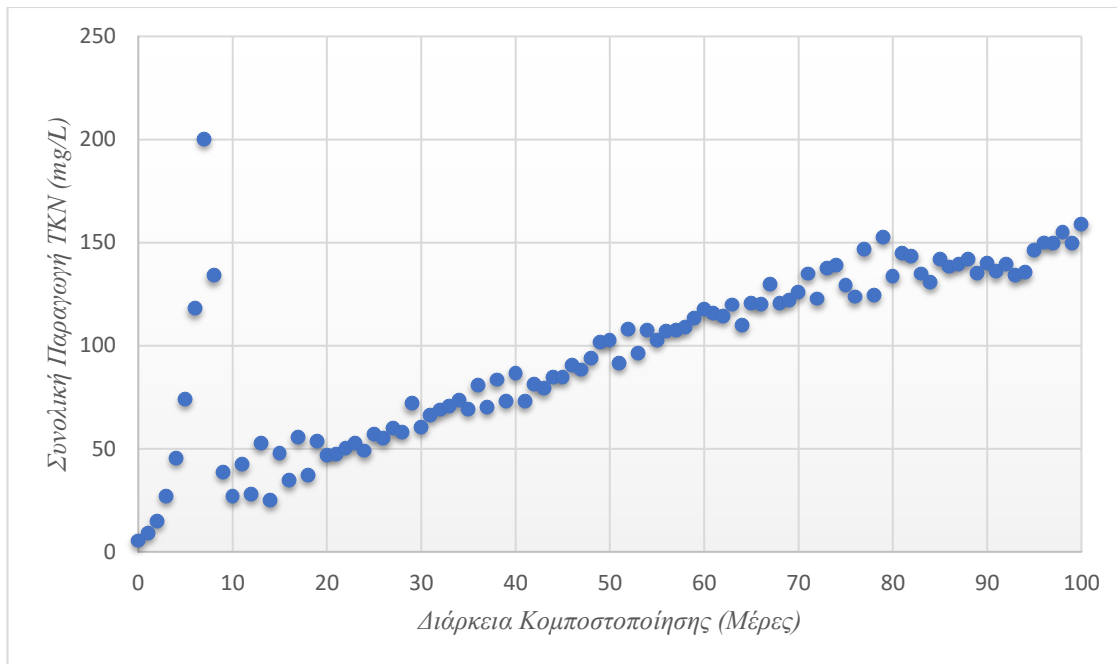


Διάγραμμα 3.8.: Ελεύθερος Χώρος για Αέρα (%)



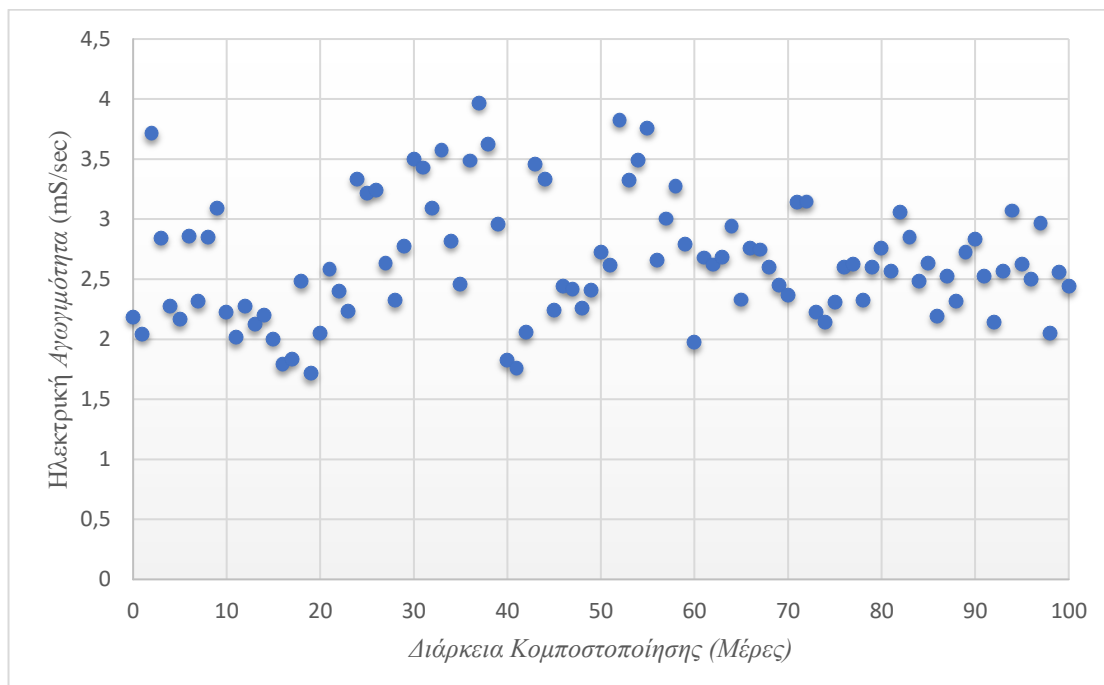
Διάγραμμα 3.9. Συγκέντρωση Οργανικών Στερεών (g/l)

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ένα μέρος της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε CO_2 , NH_3 , και νερό. Η απώλεια σε οργανικό άνθρακα συντελείται κατά την βιοοξείδωση του οργανικού άνθρακα προς CO_2 . Το CO_2 μπορεί να ελευθερωθεί με τη μορφή αερίου ή να είναι διαλυμένο σε υγρό σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ (H_2CO_3), όξινο ανθρακικό άλας (HCO_3^-) και ανθρακικό άλας (CO_3^{2-}). Το υπόλοιπο μέρος του οργανικού άνθρακα μετατρέπεται σε χουμικές ενώσεις. Η μείωση αυτή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.9., οφείλεται στο ότι τα οργανικά μετατρέπονται σε CO_2 και φεύγουν στην ατμόσφαιρα. Η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη του κομπόστ είναι χρήσιμη για την εκτίμηση της σταθερότητάς της και φυσικά χαρακτηριστικά (Benito et al. 2003). Οι μικροοργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στο σπάσιμο των χημικών δεσμών των οργανικών υλικών παρουσία οξυγόνου και υγρασίας, εκλύοντας θερμότητα.



Διάγραμμα 3.10. Μεταβολή των TKN (mg/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

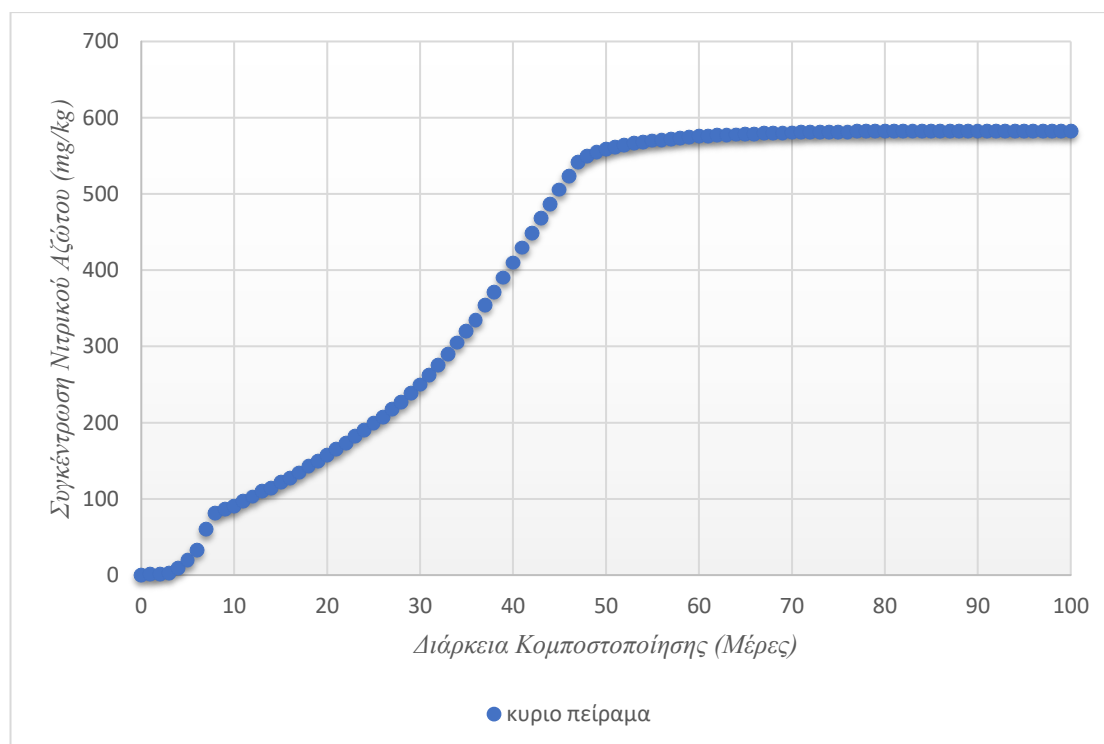
Στο παραπάνω διάγραμμα 3.10. παρατηρείται μια συνεχώς αυξανόμενη σταδιακή παραγωγή αζώτου από τα οργανικά στερεά λόγω αποδόμησης της λιγνίνης.



Διαγραμμα 3.11.: Μεταβολή της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC, mS/cm) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

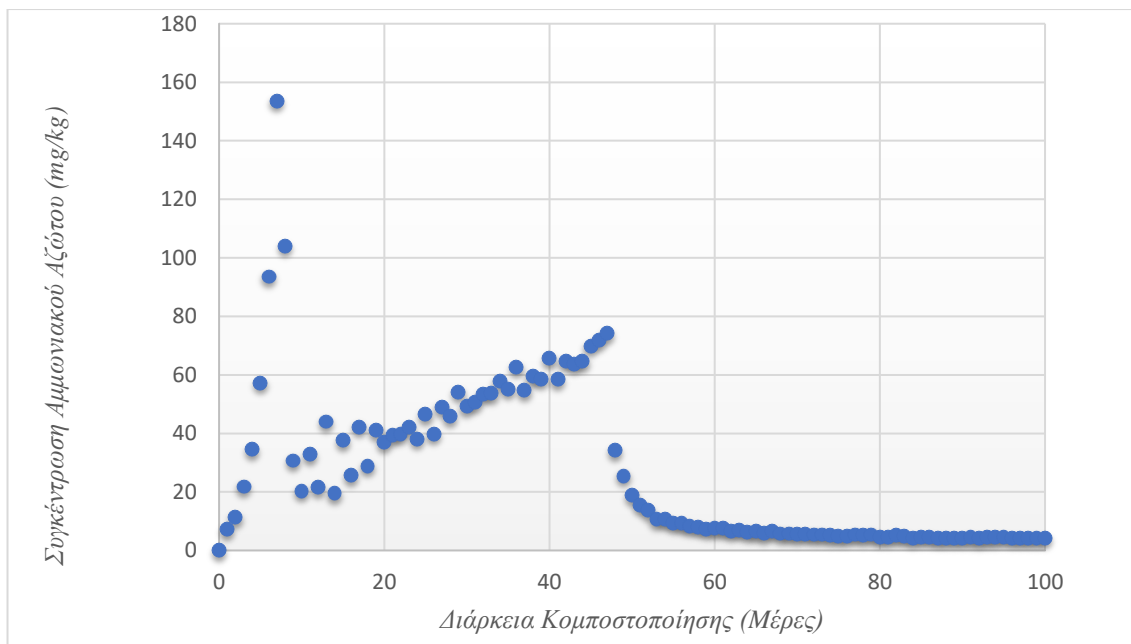
Κατά την έναρξη της κομποστοποίησης η τιμή της αγωγιμότητας ήταν 2 mS/cm φτάνοντας στο 2.6mS/cm στο τελικό προϊόν. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει μια αύξηση στο διάστημα των 2-4 μηνών.

Η αυξητική πορεία της αγωγιμότητας οφείλεται στην παραγωγή αμμωνιακών και πτώσής της στα αμμωνιακά, τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά και κατ' επέκταση τα νιτρικά μετατρέπονται σε άζωτο. Επίσης οφείλεται και στην αυξανόμενη περιεκτικότητα χουμικών ενώσεων, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να δεσμεύουν ιόντα (Inglesias-Jimenez and Alvarez, 1993).



Διάγραμμα 3.12.: Μεταβολή του Νιτρικού Αζώτου (mg/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

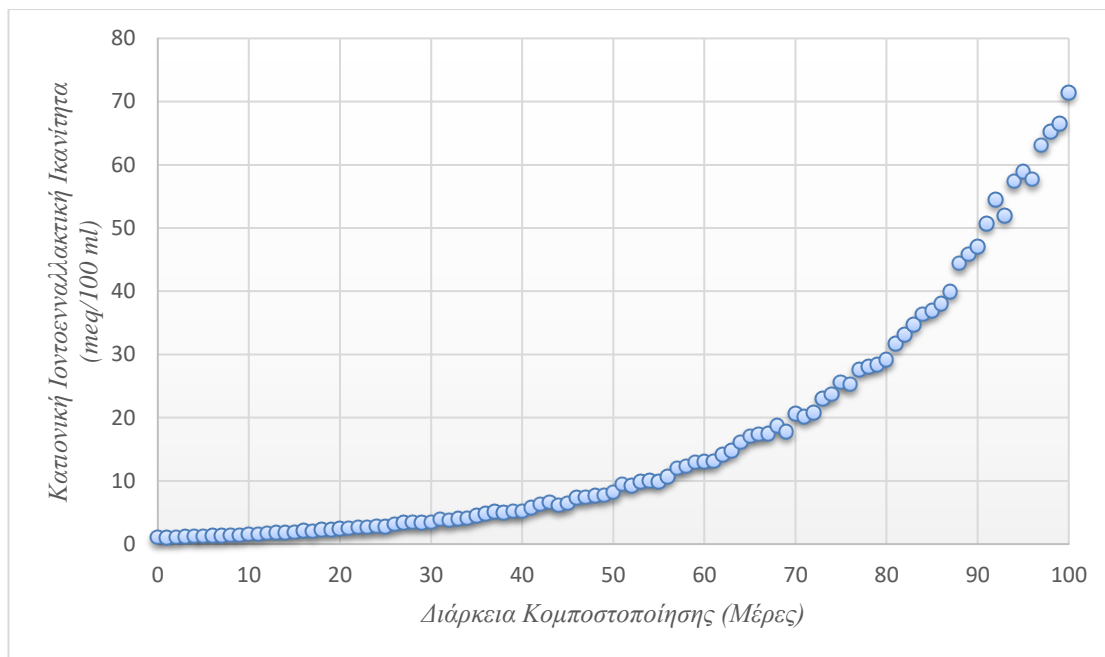
Η συγκέντρωση νιτρικού αζώτου όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα αυξάνεται απότομα από 0 mg/Kg μέχρι τα 2500 mg/Kg στο διάστημα των πρώτων 2 μηνών. Η αύξηση αυτή του νιτρικού αζώτου συνδέεται άμεσα με την αύξηση κατανάλωσης οξυγόνου η οποία αποτελεί κύριο παράγοντα για την νιτροποίηση. Κατά την φάση της νιτροποίησης γίνεται μετατροπή της αμμωνίας ή αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό άζωτο. Στην αρχή της κομποστοποίησης υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου κάτι το οποίο οφείλεται και στη φύση του αποβλήτου. Μετά το διάστημα αυτό διατηρεί μια σταθερή πορεία μέχρι και την ολοκλήρωση της διαδικασίας.



Διάγραμμα 3.13.: Μεταβολή της Συγκέντρωσης Αμμωνιακού Αζώτου (mg/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

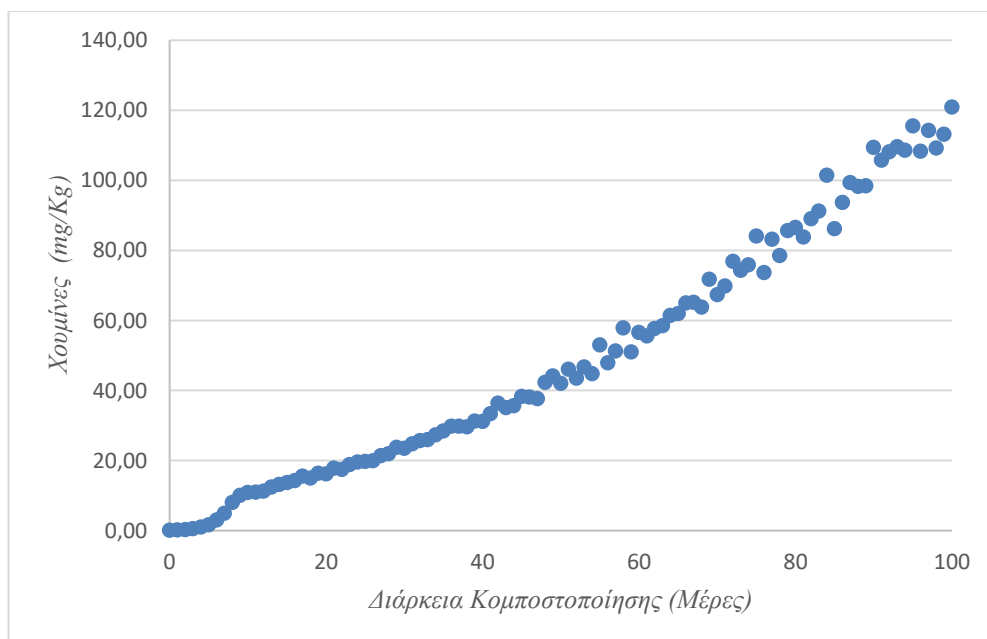
Σε σχέση με το νιτρικό, το αμμωνιακό άζωτο παρουσιάζει μια αυξομείωση απότομη το πρώτο διάστημα των 20 ημερών. Μετά το πέρας των ημερών αυτών αυξάνεται απότομα για διάστημα 20 ημερών και μετά ακολουθεί πορεία πτωτική, η οποία και σταθεροποιείται μετά τις 60 ημέρες σε μηδενικά επίπεδα.

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το νιτρικό άζωτο είναι ότι λειτουργεί σαν πηγή αζώτου για το φυτό. Χαρακτηριστική διαφορά του νιτρικού αζώτου με το αμμωνιακό, είναι η αύξησή του μετά το πέρας των πρώτων 40 ημερών, όπου η περιεκτικότητα του νιτρικού αζώτου παραμένει σταθερή μέχρι το τέλος, στα 600mg/L, ενώ το αμμωνιακό πέφτει σε μηδενικά επίπεδα (Wang, et.al.2009).

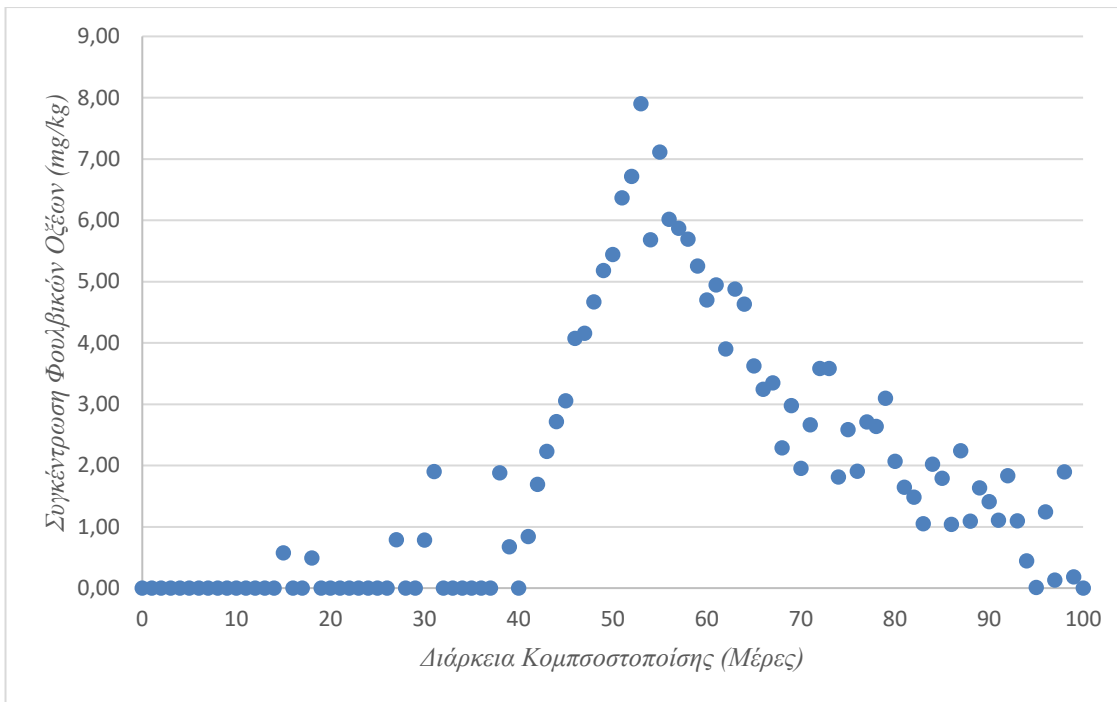


Διάγραμμα 3.14.: Μεταβολή της Κατιονικής Ιοντοεναλλακτικής Ικανότητας (CEC, meq/100 ml.) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Από το διάγραμμα 3.14. παρατηρούμε ότι τα CEC αυξάνονται κατά τη φάση της χουμοποίησης μετά από 100 περίπου ημέρες παίρνοντας τελική τιμή 75 meq/100 g d.c. Αυτή η αρχική αύξηση οφείλεται στην παραγωγή χουμικών οξέων. Η κατιονική ιοντοεναλλακτική ικανότητα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του κόμποστ καθώς είναι άρτια συνδεδεμένη με την φυτοθρεπτικότητα-γονιμότητα (Seal, et.al. 2011).

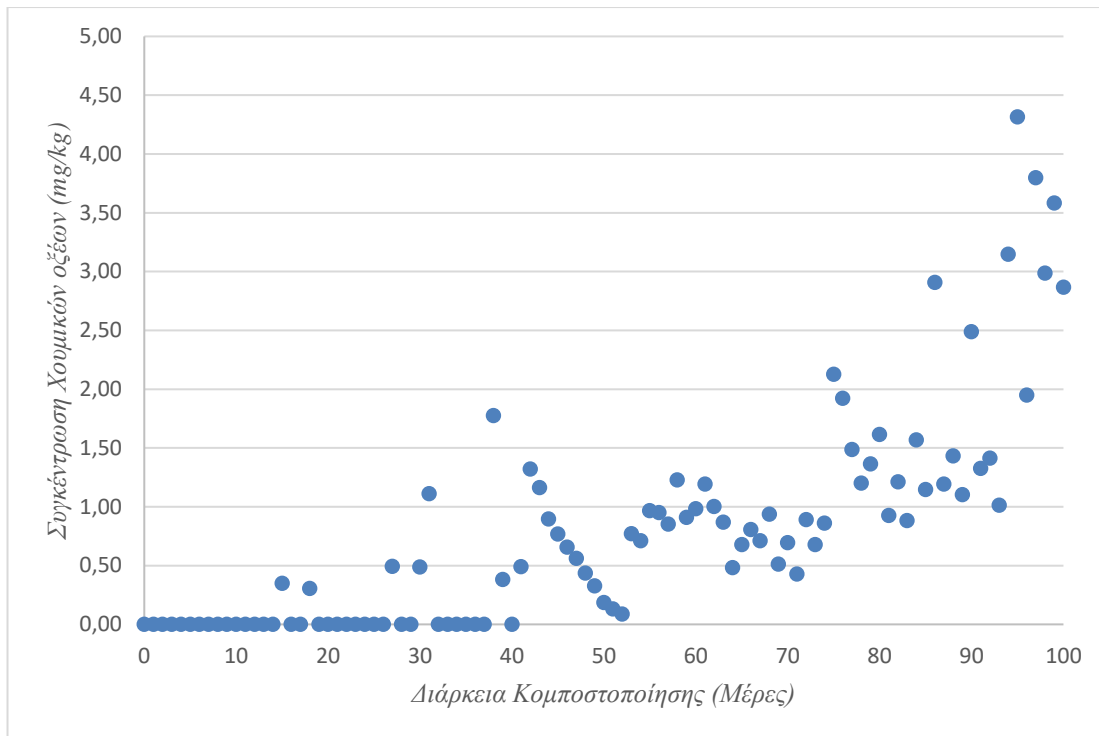


Διάγραμμα 3.15.: Μεταβολή Συγκέντρωσης Χουμινών (g/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης



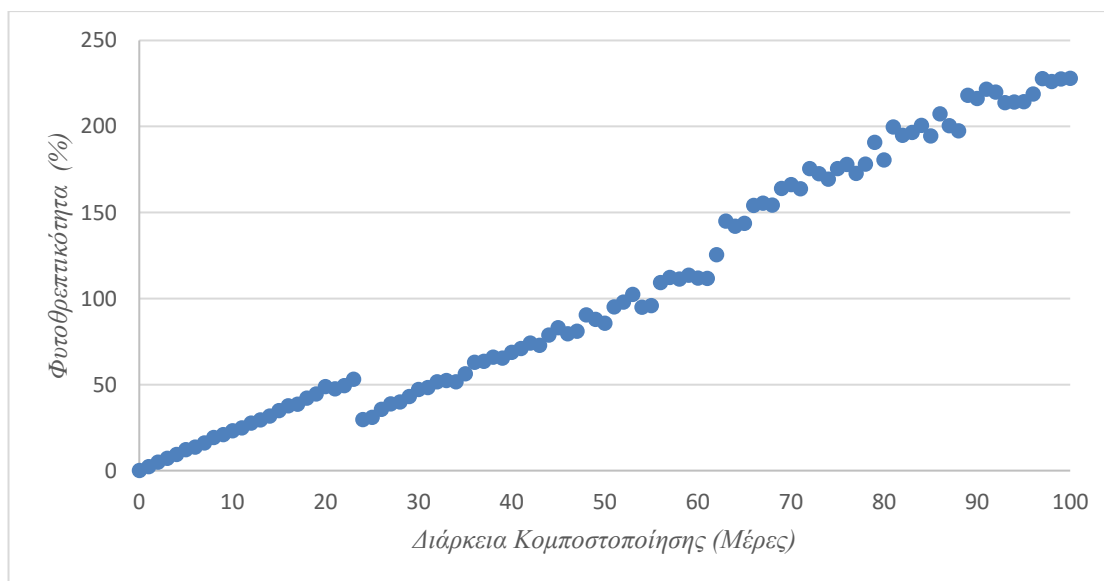
Διάγραμμα 3.16. Μεταβολή Συγκέντρωσης Φουλβικών οξέων FA (g/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Όσον αφορά την συγκέντρωση των φουλβικών ενώσεων, μειώνεται καθώς το προϊόν ωριμάζει. Παρουσιάζουν μια αντίστροφη εξέλιξη σε σχέση με την συγκέντρωση των χουμικών ενώσεων. Η συγκέντρωση των φουλβικών ενώσεων ξεκινά από περίπου 5g και φτάνει το τελικό προϊόν να έχει <1g. Αυτή η μείωση των φουλβικών οφείλεται στο ότι αυτά είναι υδατοδιαλυτά και δεν συγκρατούνται στην μάζα του κόμποστ. Αυτό το γεγονός αιτιολογείται και από το χρώμα το οποίο είναι αρκετά σκούρο καφέ (Bernal, 2008).



Διάγραμμα 3.17.: Μεταβολή Συγκέντρωσης Χουμικών οξέων HA (g/Kg) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

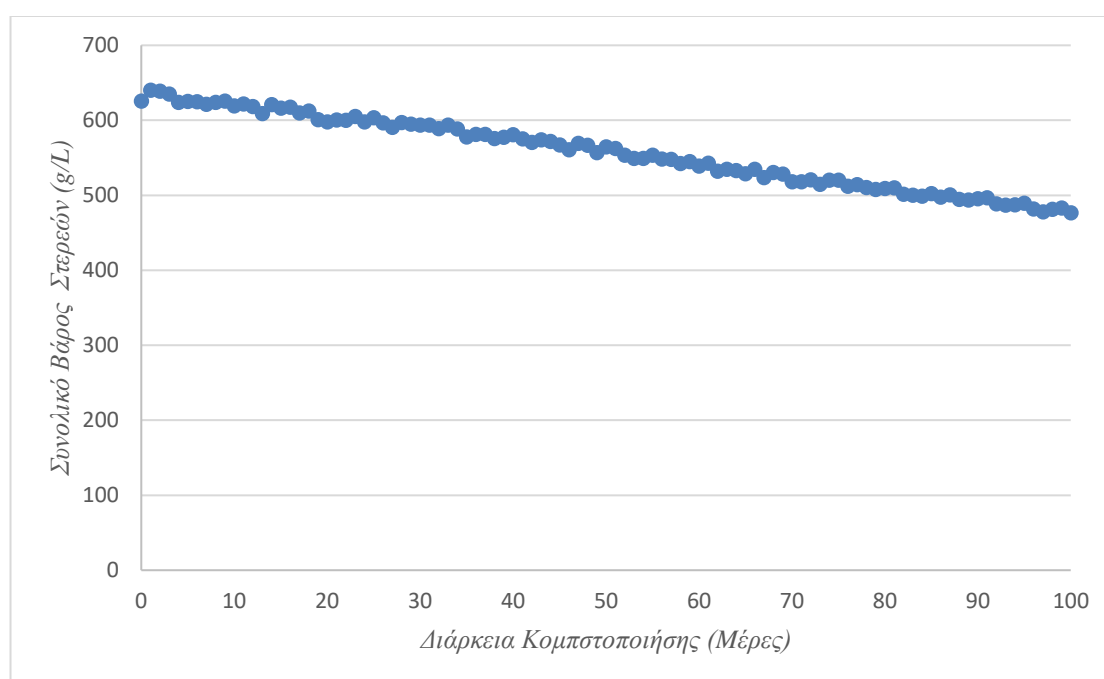
Από τις σημαντικότερες παραμέτρους που μελετάται πάντα κατά την πορεία και ειδικά στο τέλος κάθε κομποστοποίησης είναι η μελέτη των χουμικών και φουλβικών οξέων (Leifeld,2001). Σύμφωνα με το διάγραμμα 3.15 η συγκέντρωση των χουμικών ενώσεων αυξάνεται ξεκινώντας από το 0 και φτάνοντας στο τελικό προϊόν το 4.5. Η υψηλή συγκέντρωση χουμικών ενώσεων σε ένα προϊόν μπορεί να δικαιολογηθεί από το υψηλό pH αλλά και από το σκούρο προς μαύρο χρώμα.



Διάγραμμα 3.18.: Μεταβολή Φυτοθρεπτικότητας (%) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

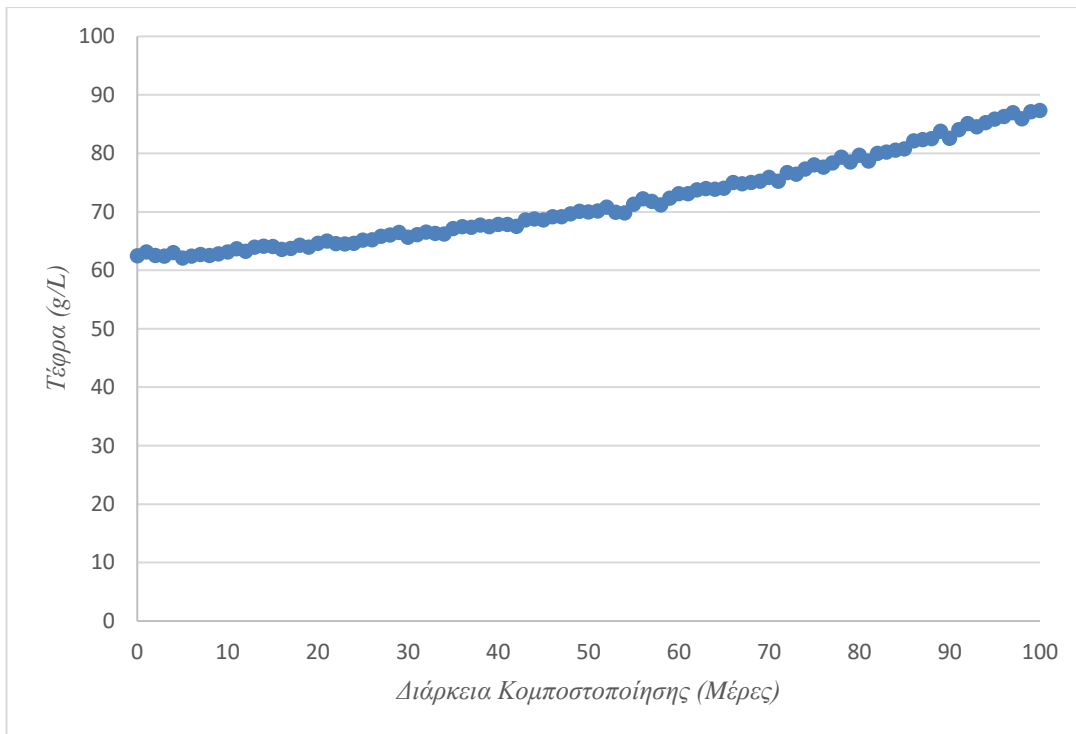
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το προϊόν παρουσιάζει αυξητική πορεία. Στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης θεωρείται βεβαια φυτοτοξικό. Μετά το πέρας των δύο μηνών κομποστοποίησης το προϊόν εξακολουθεί να θεωρείται ακόμα φυτοτοξικό λόγω του ότι ο δείκτης φυτοθρεπτικότητας είναι χαμηλός. Ο δείκτης φυτοθρεπτικότητας αρχίζει να αυξάνεται αγγίζοντας την τιμή <80% μετά τις 60 ημέρες, όταν το προϊόν αρχίζει να αλλάζει σύσταση.

Από την μελέτη του pH διαπιστώθηκε ότι κυμαίνεται σε αλκαλικά επίπεδα γεγονός που κάνει το κόμποστ να είναι φυτοθρεπτικό και όχι φυτοτοξικό. Αυτό φαίνεται και από τις τιμές που παίρνει που είναι πάνω από 80% , ξεκινώντας με την τιμή 0% και καταλήγοντας μετά από 100 ημέρες στην τιμή 250 %. Επίσης η αύξηση της φυτοθρεπτικότητας που φαίνεται και στο διάγραμμα 3.18. οφείλεται στο ότι το προϊόν βελτιώνεται και ωριμάζει.

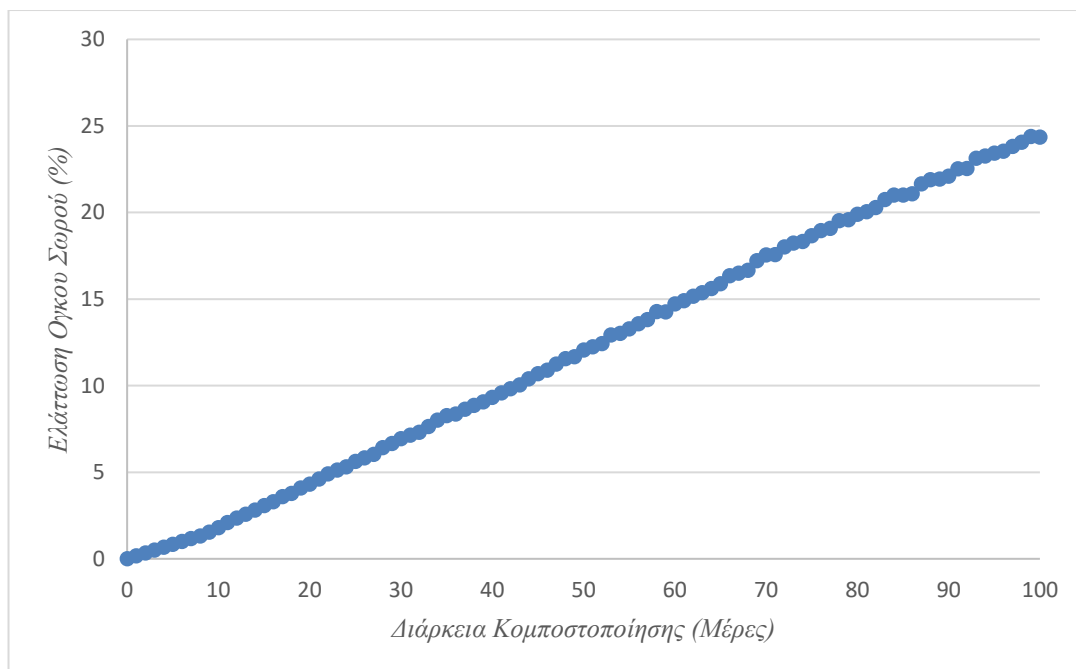


Διάγραμμα 3.19.: Μεταβολή της περιεκτικότητας ολικών στερεών (g/L) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

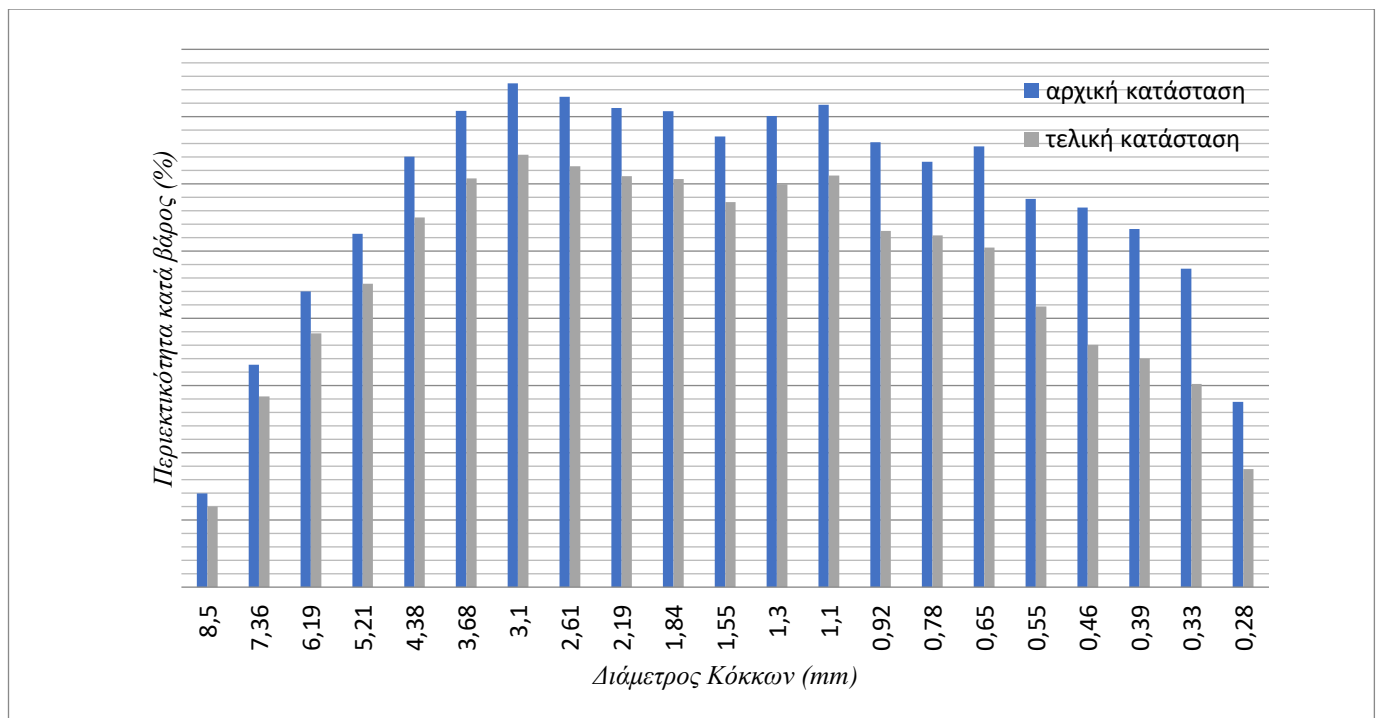
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας των ολικών στερεών καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η περιεκτικότητα των στερεών ξεκινά από τα 650 g/L και μετά από διάστημα 100 ημερών η μείωση είναι ίση με 20% περίπου.



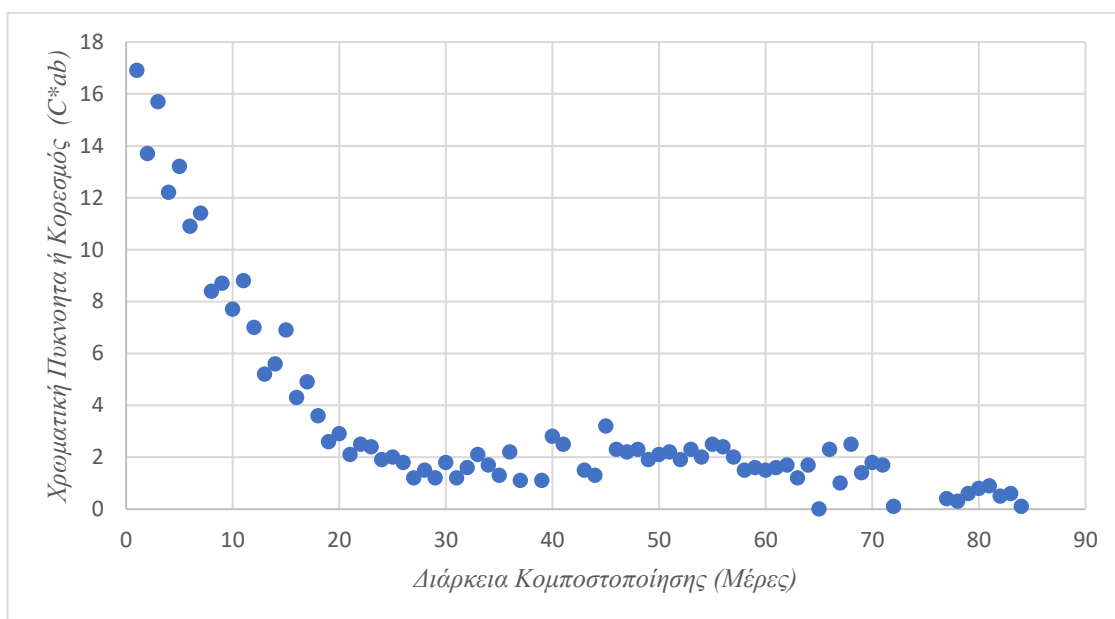
Διάγραμμα 3.20: Μεταβολή της Τέφρα (g/L) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης



Διάγραμμα 3.21.Ελάττωση Όγκου Σωρού (%) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης



Διάγραμμα 3.22.: Κατανομή % w/w των κόκκων του πυρηνόζυλου κατά την έναρξη και το τέλος της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 3.23.Χρωματική Πυκνότητα -κορεσμός του προϊόντος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Όσον αφορά το χρώμα του κόμποστ στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η εξέλιξη της χρωματικής πυκνότητας ή κορεσμού καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η χρωματική πυκνότητα ή κορεσμός C* (Saturation chroma) προσδιορίζει τη συγκέντρωση, δηλαδή την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος ή διαφορετικά τη σχέση μεταξύ της εντονότητας και της φωτεινότητας

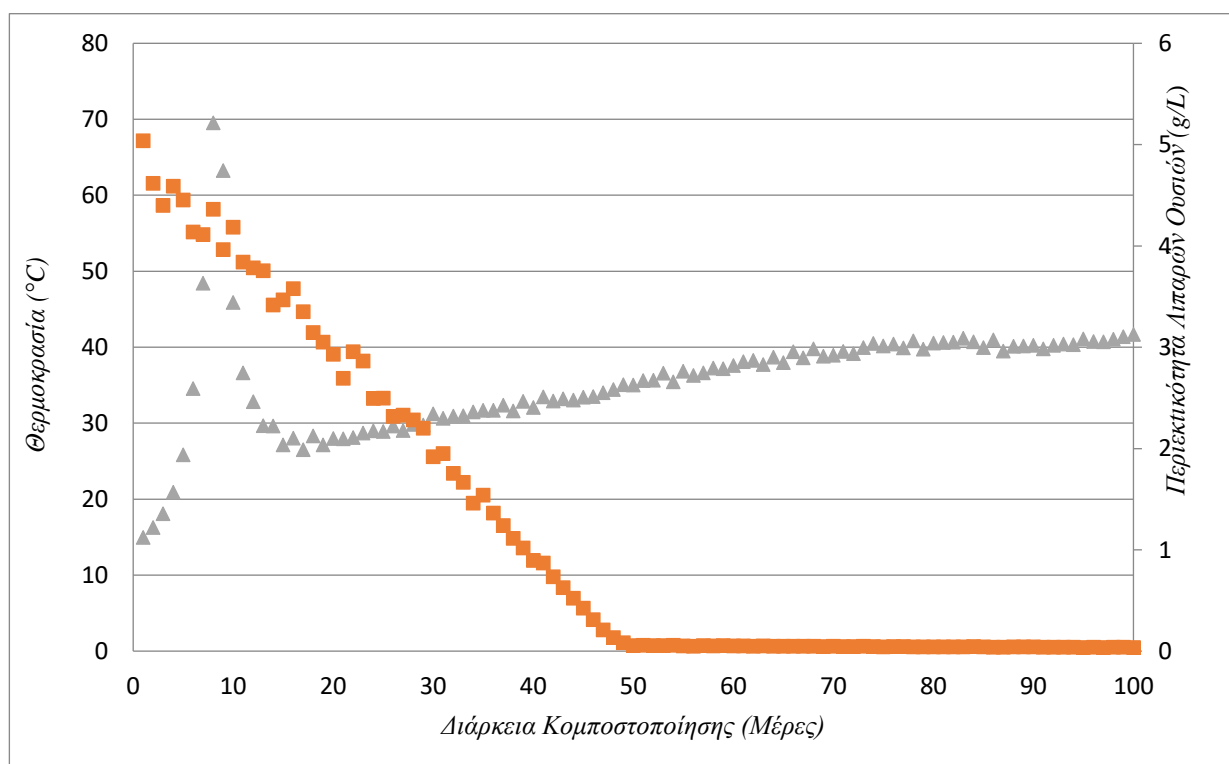
της μελετώμενης απόχρωσης. Όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα η χρωματική πυκνότητα ξεκινάει από ένα αρκετά υψηλό επίπεδο κορεσμού, το οποίο χαρακτηρίζει το ανοιχτό χρώμα του σειραδιού. Μετά το πέρας των 30 ημερών η χρωματική πυκνότητα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα δικαιολογώντας την πορεία ωρίμανσης του προϊόντος. Η χαμηλή χρωματική πυκνότητα μεταφράζεται ως σκούρο χρώμα και δικαιολογείται από την αύξηση περιεκτικότητας του δείγματος σε χουμικές ενώσεις. Η χρωματική πυκνότητα παρουσιάζει μια μείωση λογαριθμική της τάξεως 85,4%. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχικά υψηλή χρωματική πυκνότητα δικαιολογεί και την περιεκτικότητα των φουλβικών ενώσεων.

Κεφάλαιο 4
Επεξεργασία
Πειραματικών
Αποτελεσμάτων

Κεφάλαιο 4 : Επεξεργασία -Συζήτηση πειραματικών αποτελεσμάτων

4.1 Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κομποστοποίησης, η θερμοκρασία αυξήθηκε από 0°C σε 35°C. Ωστόσο, οι πρώτες 10 ημέρες παρουσίασαν μια απότομη αύξηση της θερμοκρασίας η οποία άγγιξε μέχρι και τους 80 ° C. Μετά τις πρώτες 15 ημέρες η μεταβολή της θερμοκρασίας παρουσιάζει πτωτική πορεία μέχρι και τους 2 μήνες της διαδικασίας, μετά το πέρας των οποίων διατηρείται σταθερή στους 35°C. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί την έναρξη της φάσης της χουμοποίησης – σταθεροποίησης. Η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας και η διατήρησή της σε υψηλά επίπεδα τις πρώτες 40 ημέρες είχαν σαν αποτέλεσμα την μείωση περιεκτικότητας σε λιπαρές ουσίες. Η περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες μειώθηκε από 5%, που ήταν η αρχική τιμή, σε 0,6% κατά τις πρώτες 40 ημέρες της κομποστοποίησης, συσχέτιση η οποία απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Η συγκέντρωση των χουμινών συνδέεται άμεσα με την αύξηση της παραγωγής κυτταρικής μάζας (ζωντανής και νεκρής) η οποία παρουσιάζει αυξητική πορεία μέχρι και τις 60 ημέρες. Παράλληλα αυξάνονται τα φουλβικά ενώ τα χουμικά οξέα παραμένουν σε σταθερά χαμηλά επίπεδα. Μετά τις 60 ημέρες η νεκρή κυτταρική μάζα συνεχίζει να αποτελεί υπόστρωμα για τη δημιουργία των χουμινών και να αυξάνεται η συγκέντρωσή τους. Η συγκέντρωση των χουμικών οξέων αυξάνεται ραγδαία με την ταυτόχρονα μείωση των φουλβικών οξέων (Khater, 2015).

Η υγρασία του υλικού της κομποστοποίησης ακολουθεί μια καθοδική πορεία ξεκινώντας βέβαια από υψηλό επίπεδο. Αποτελεί έναν παράγοντα ο οποίος παρατηρείτο συνεχώς αλλά και προσπαθούσε να διατηρηθεί σε επίπεδα ιδανικά για το κάθε στάδιο της διαδικασίας.

Το pH αναφέρεται στην οξύτητα ή αλκαλικότητα του κόμποστ και αποτελεί εξαιρετικά σημαντική παράμετρο για τη διεργασία της κομποστοποίησης. Το pH είναι αυτό που ρυθμίζει ποιά είδη μικροοργανισμών θα αναπτυχθούν κατά τη βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης. Έτσι οι βέλτιστες τιμές pH είναι 6-7,5 για βακτηριακή ανάπτυξη, ενώ οι μύκητες προτιμούν ένα περιβάλλον στην κλίμακα των 5,5-8,0. Η αύξηση του pH διαμηνύει την ύπαρξη αμμωνιακών στο υπόστρωμα. Όσο υπάρχουν λιπαρές ουσίες στο υπόστρωμα δεν υπάρχει δυνατότητα παραγωγής αμμωνιακών, διότι τα λιπαρά παρεμποδίζουν τις βιολογικές διαδικασίες αποδόμησης των οργανικών ενώσεων. Γι' αυτό το λόγο και η απομάκρυνσή τους αποτελεί σημαντικό παράγοντα, αλλά και καθοριστικό ρόλο για την αποτελεσματική διαδικασία της κομποστοποίησης, αλλά και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες μειώνεται στο διάστημα των πρώτων 40 ημερών. Διάστημα το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την μεταβολή πολλών παραγόντων σημαντικών για την κομποστοποίηση. Η σταθεροποίηση περιεκτικότητας λιπαρών ουσιών συνδέεται άμεσα με την αύξηση του pH και την ταυτόχρονη παραγωγή αμμωνιακών. Μετά τις 60 ημέρες έχουμε βέβαια μείωση του pH διότι βρισκόμαστε στη φάση της απονιτροποίησης.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ, όπου τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στη συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σε ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα ποικίλει και στα νούμερα και στους τύπους των ιόντων που περιέχονται στο διάλυμα και μπορεί να υποδείξει, εάν ένα προϊόν είναι φυτοτοξικό, όταν χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους. Η υπερβολική υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και συνεπακόλουθα την θρεπτική λήψη, αφού τα θρεπτικά συστατικά είναι διαλυμένα στο νερό και με αυτό μπορούν να μεταφερθούν. Αντιθέτως όμως, πολύ χαμηλά επίπεδα σε περιεκτικότητα άλατος ειδικά όπως το κάλιο, το ασβέστιο ή το μαγνήσιο μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ, όπου τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στη συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σε ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα ποικίλει και στα νούμερα και στους τύπους των ιόντων που περιέχονται στο διάλυμα και μπορεί να υποδείξει εάν ένα προϊόν είναι φυτοτοξικό όταν χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους. Η υπερβολική υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και συνεπακόλουθα τη θρεπτική λήψη, αφού τα θρεπτικά συστατικά είναι διαλυμένα στο νερό και με αυτό μπορούν να μεταφερθούν. Αντιθέτως όμως, πολύ χαμηλά επίπεδα σε περιεκτικότητα κατιόντων, ειδικά όπως του καλίου, του ασβεστίου ή του μαγνησίου μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας του εδάφους. Κατά την έναρξη της κομποστοποίησης η τιμή της αγωγιμότητας ήταν 2.2 mS/cm φτάνοντας στο 3.6mS/cm στο τελικό προϊόν. Η αυξητική πορεία της αγωγιμότητας οφείλεται στην παραγωγή αμμωνιακών και η πτώση της στα αμμωνιακά τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά και κατ' επέκταση τα νιτρικά μετατρέπονται σε άζωτο με διαδικασίες νιτροποίησης -απονιτροποίησης. Επίσης οφείλεται και

στην αυξανόμενη περιεκτικότητα χουμικών ενώσεων, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύουν ιόντα (Saviozzi, et.al.1988).

Η ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) μειώθηκε από 282% σε 144%. Πτωτική πορεία παρουσιάζει και ο ελεύθερος χώρος αέρα ο οποίος δικαιολογεί και την πτωτική πορεία της ικανότητας συγκράτησης νερού. Η αύξηση της συγκέντρωσης χουμικών οξέων (HA) και ταυτόχρονα η μείωση της συγκέντρωσης των φουλβικών (FA) έδειξε την αρχή του σταδίου εμβολιασμού. Η συγκέντρωση χουμικών οξέων (HA) αυξήθηκε από 0%, που είναι η αρχική τιμή, σε 5 g / Kg κατά τις τελευταίες 50 ημέρες λιπασματοποίησης. Όσον αφορά τη συγκέντρωση φουλβικών οξέων (FA), υπήρξε μείωση από 8 σε 0,8 g / Kg μετά τις 50 ημέρες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση και των φουλβικών αλλά και των χουμικών στο διάστημα των πρώτων 40 ημερών παρέμεινε μηδενική. Σταθερά ανοδική πορεία παρουσιάζουν και οι χουμίνες οι οποίες παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση τις πρώτες δέκα ημέρες και μετά αυξάνονται γραμμικά σε συνάρτηση με το χρόνο αγγίζοντας στις 100 ημέρες τα 50 g/Kg (Thomsen e.al.2002).

Η ιοντοεναλλακτική ικανότητα αυξήθηκε ραγδαία κατά την εξέλιξη της διεργασίας φτάνοντας τα 75 meq/100 g d.m.. Η αύξηση της κατιονικής ιοντοεναλλακτικής ικανότητας είναι συνάρτηση συγκράτησης θετικών ιόντων από το υπόστρωμα. Τέλος, οι μετρήσεις της φυτοτοξικότητας - φυτοθρεπτικότητας αποδεικνύουν ότι το προϊόν μετατρέπεται από φυτοτοξικό σε φυτοθρεπτικό (βιολογικός σε ένα ρυθμιστικό φυτικής ουσίας έδαφος) μετά το πέρας των 2 μηνών αγγίζοντας το 240% (Saharinen, 1998).

Όσον αφορά τη συνολική εικόνα του σωρού παρουσιάζει μια ραγδαία μείωση όγκου με τελική μείωση όγκου 25% του αρχικού.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται όλες οι παράμετροι σε συνάρτηση με το χρόνο. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, οι παράμετροι οι οποίοι μπορούν να μετρηθούν μόνο με το χρόνο είναι η συγκέντρωση λιπαρών ουσιών, ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου καθώς και η περιεκτικότητα σε χουμικές ενώσεις. Οι συσχετίσεις αυτές αποτέλεσαν κομβικό σημείο για τη δημιουργία των δυναμικών μοντέλων.

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας μαθηματικών μοντέλων συσχέτισης των παραμέτρων κομποστοποίησης με το χρόνο εξέλιξης της διεργασίας.

Συ -σχετιζόμενη παράμετρος	Εξισώσεις	R ²
Συγκέντρωση αφομοίωσης λιπαρών ουσιών	$y = -0,0984t + 4,0774$	0,8953
Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου	$y = 0,1745t + 0,3147$	0,8673
Περιεκτικότητα χουμικών ενώσεων (%db)	$y = 0,1398t - 12,774$	0,8174
Ικανότητα συγκράτησης νερού (%)	$y = -0,732t + 253,47$	0,7307
pH	$y = 0,0133t + 5,7736$	0,7543
Χρώμα	$y = -3,719\ln(t) + 16,107$	0,8549
Κατιοντική Ιοντοεναλλακτική ικανότητα (meq/100g)	$y = 1,024e^{0,0428t}$	0,7744
Περιεκτικότητα νιτρικού αζώτου (%db)	$y = 0,8924\ln(t) + 1,365$	0,7727
Περιεκτικότητα αμμωνιακού αζώτου (%)	$y = 0,453e^{0,0171t}$	0,727
Ρυθμός φυτοθρεπτικότητας (%)	$y = 2,0829t - 117,53$	0,7261
Περιεκτικότητα οργανικού άνθρακα	$y = -0,0803t + 52,968$	0,6478
Περιεκτικότητα Φουλβικών ενώσεων (%db)	$y = -0,822\ln(t) + 3,9347$	0,5697
Περιεκτικότητα οργανικών ουσιών	$y = -0,0738t + 94,218$	0,4812
Θερμοκρασία (°C)	$y = 0,0659t + 42,632$	0,0214
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm)	$y = 0,001t + 2,6757$	0,0033
Υγρασία (%)	$y = -0,0192t + 50,27$	0,0691

Όπως παρατηρείται και από τον παραπάνω πίνακα η δυνατότερη συσχέτιση είναι αυτή της συγκέντρωσης αφομοίωσης λιπαρών ουσιών με το χρόνο. Αξίζει όμως να υπογραμμιστεί ότι τα αποτελέσματα αυτά βασίστηκαν στο γεγονός ότι η πρώτη ύλη εκ φύσεως έχει συγκέντρωση λιπαρών ουσιών λόγω του ότι είναι απόβλητο ελαιοτριβείου. Η αρχική συγκέντρωση των λιπαρών ουσιών στο κόμποστ ήταν 5 g/L. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα βασικό παράγοντα.

4.2 Συζήτηση πειραματικών αποτελεσμάτων

Τα πρώτα αποτελέσματα ήταν καθοριστικά για τη δημιουργία του μοντέλου αλλά και την εξέλιξη του διδακτορικού. Ταυτόχρονα αποτέλεσαν κίνητρο για νέες μετρήσεις και συγκρίσεις παραμέτρων δίνοντας βάση σε παράγοντες όπως η συγκέντρωση λιπαρών ουσιών, ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου καθώς επίσης η περιεκτικότητα χουμικών και φουλβικών ενώσεων. Τα πρώτα μοντέλα δημιούργησαν και τις πρώτες συγκρίσεις παραμέτρων αλλά και συσχετίσεις μεταξύ αυτών.

Τα πειραματικά αποτελέσματα από ένα σύστημα εργαστηριακής κλίμακας συν-κομποστοποίησης υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου, χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία διαφόρων δυναμικών μοντέλων αλληλοσυσχέτισης των παραμέτρων σε διάφορες τιμές χρονικής υστέρησης (lag time). Τα αρχικά αποτελέσματα αποτέλεσαν τον κύριο άξονα της δημιουργίας των δυναμικών μοντέλων, σύμφωνα με τα οποία προσδιορίστηκαν οι πιο βασικοί παράγοντες (σύμφωνα με τη δική μας αξιολόγηση) μέσω τριών έως τεσσάρων παραμέτρων. Η διαδικασία διασταυρούμενης συσχέτισης βασίστηκε στη θεωρία προσαρμογής στοχαστικών μοντέλων πολυπαραγοντικής συσχέτισης με βάση τη

σταδιακή αφαίρεση των σταθερών καταλλήλων συσχετίσεων των παραγόντων. Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε από τον Ingels (Ingles 1980). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, δημιουργείται μια συσχέτιση πολλαπλών λειτουργιών μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής (π.χ. Περιεκτικότητα λιπαρών οξέων) και πολλαπλών ανεξάρτητων μεταβλητών (π.χ. Ρυθμός Απορρόφησης Οξυγόνου, pH και Ικανότητα Συγκράτησης Νερού), σε ένα πολύ-παραμετρικό σύστημα, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία βηματικής αφαίρεσης του ποσοστού συμμετοχής της καλύτερης συσχέτισης της κάθε παραμέτρου στο συνολικό αποτέλεσμα. Σε κάθε βήμα, χρησιμοποιώντας κάθε μία από τις πιθανές γραμμικές εξισώσεις, λαμβάνεται η καλύτερη συσχετισμένη παράμετρος και η επίδραση αυτής της εξίσωσης αντικαθίσταται από την τιμή αντιστοιχίας της κύριας εξετασθείσας παραμέτρου. Το τελικό μοντέλο θα μπορούσε να είναι δυναμικό, εάν ληφθούν υπόψη οι μετρήσεις από προηγούμενες ημερομηνίες των ανεξάρτητων μεταβλητών για την εκτίμηση της παρούσας τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής. Το δυναμικό μοντέλο, που προσδιορίστηκε για κάθε παράμετρο, επικυρώθηκε δύο φορές σε ένα σύστημα βιομηχανικής κλίμακας ανοικτού σωρού συνκομποστοποίησης στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων (OMSR, Olive Mill Solid Residue) με υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων (OMWW, Olive Mill WasteWaters), το οποίο περιγράφεται παρακάτω.

Το δυναμικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη αναπτύχθηκε από μετρήσεις που καταγράφηκαν σε χρονικά διαστήματα σε ίσες αποστάσεις. Αν η απόκριση στο χρόνο t υποδηλώνεται με Y_t , το μοντέλο θα περιέχει όρους της φόρμας:

$$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-n}$$

όπου το Y_{t-1} είναι η περίοδος δειγματοληψίας απόκρισης στο παρελθόν και το Y_{t-2} η απόκριση δύο περιόδων δειγματοληψίας στο παρελθόν και ούτω καθεξής. Επιπλέον, για τις μεταβλητές, X_j , οι οποίες δρουν ως είσοδοι στο μοντέλο, θα εμφανιστούν όροι του παρακάτω τύπου:

$$X_{j,t} > X_{j,t-1} \cup X_{j,t-2}, \dots X_{j,t-m}$$

όπου X_j, t είναι η τρέχουσα μέτρηση της μεταβλητής j κατά το χρόνο t . Η μορφή μοντέλου, η οποία είναι γραμμική στους συντελεστές, είναι:

$$Y_t = k_0 + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_n Y_n + k_{10} X_{1,t} + \dots + k_{1m} X_{1,t-m} + k_{20} X_{2,t} + \dots + k_{2n} X_{2,t-n} + \dots$$

Αυτό το μοντέλο είναι δυναμικό στατιστικό (στοχαστικό), επειδή οι ανεξάρτητες γραμμικές μεταβλητές του περιέχουν τιμές της χρονικής υστέρησής τους ($t-n$) (Hansen et al., 1980).

Η κατασκευή των μοντέλων συσχέτισης μίας παραμέτρου Y_t με τις άλλες παραμέτρους $X_{1,t}, X_{2,t}, \dots, X_{M,t}$ και των χρονικών υστερήσεών τους ($X_{1,t-1}, X_{1,t-2}, \dots, X_{1,t-n}, X_{2,t-1}, X_{2,t-2}, \dots, X_{2,t-n}, \dots$) με την προαναφερόμενη μέθοδο ανάλυσης υπολειμμάτων ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Επιλέγουμε την μεταβλητή $X_{m,t-n}$ που έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (R^2) με τη μεταβλητή Y_t μέσω μιας γραμμικής σχέσης της μορφής:

$$Y_t^* = b_0 + b_1 f(X_{m,t-n}) \quad (1)$$

όπου Y_t^* είναι η προβλεπόμενη τιμή της μεταβλητής Y_t , οι b_0 και b_1 είναι σταθερές του γραμμικού μοντέλου συσχέτισης και $X_{m,t-n}$ είναι μια μεταβλητή με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης (R^2).

Βήμα 2: Υπολογίζουμε μία νέα παράμετρο :

$$Z_{1,t} = Y_t - Y_t^* \quad (2)$$

όπου $Z_{1,t}$ είναι τα υπολείμματα της Y_t που δεν προβλέπονται από τη σχέση 1.

Βήμα 3: Επιλέγουμε την μεταβλητή $X_{m,t-n}^*$ που έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (R^{2*}) με τη μεταβλητή $Z_{1,t}$ μέσω μιας γραμμικής σχέσης της μορφής:

$$Z_{1,t}^* = b_{1,0} + b_{1,1} f(X_{m,t-n}^*) \quad (3)$$

Βήμα 4: Προσθέτουμε τη νέα, μετασχηματισμένη μεταβλητή στο μοντέλο παλινδρόμησης και παίρνουμε μία πιο ακριβή πρόβλεψη των τιμών Y_t μέσω των δύο ανεξαρτήτων παραμέτρων $X_{m,t-n}$ και $X_{m,t-n}^*$:

$$Y_t^{**} = (b_0 + b_{1,0}) + b_1 f(X_{m,t-n}) + b_{1,1} f(X_{m,t-n}^*) \quad (4)$$

Βήμα 5: Υπολογίζουμε τον συνολικό συντελεστή συσχέτισης σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$R_{\text{final}}^2 = R^2 + R^{2*} (1 - R^2) \quad (5)$$

Κάθε όρος της εξίσωσης εκφράζει τη συμμετοχή κάθε μεταβλητής στον τελικό συντελεστή συσχέτισης. Το τελικό R_{final}^2 είναι πάντα μεγαλύτερο από όλα τα προηγούμενα.

Βήμα 6: Υπολογίζουμε μία νέα παράμετρο:

$$Z_{2,t} = Y_t - Y_t^{**} \quad (6)$$

Όπου $Z_{2,t}$ αποτελεί το νέο στατιστικό υπόλειμμα που δεν προβλέπεται από τη σχέση (4)

Βήμα 7: Επιλέγουμε την μεταβλητή $X_{m,t-n}^{**}$ που έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (R^{2**}) με τη μεταβλητή $Z_{2,t}$ μέσω μιας γραμμικής σχέσης της μορφής:

$$Z_{2,t}^* = b_{2,0} + b_{2,1} f(X_{m,t-n}^{**}) \quad (7)$$

Ενώ η νέα μετασχηματισμένη σχέση «πρόβλεψης» για το Y_t έχει ως εξής:

$$Y_t^{***} = (b_0 + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_1 f(X_{m,t-n}) + b_{1,1} f(X_{m,t-n}^*) + b_{2,1} f(X_{m,t-n}^{**}) \quad (8)$$

Ο δε τελικός συντελεστής συσχέτισης δίδεται από τη σχέση:

$$R_{\text{final}}^2 = R^2 + R^{2*} (1 - R^2) + R^{2**} (1 - R^2) (1 - R^{2*}) \dots \quad (9)$$

Βήμα 8: Συνεχίζοντας με παρόμοιο τρόπο, εμπλουτίζουμε το δυναμικό μοντέλο με νέες παραμέτρους. Σταματούμε τη διαδικασία έως ότου φτάσουμε σε ένα ικανοποιητικό τελικό συντελεστή συσχέτισης.

Βήμα 9: Ελέγχουμε την αξιοπιστία του μοντέλου, δηλαδή κατά πόσο προβλέπει ικανοποιητικά τα πειραματικά αποτελέσματα, με τον ακόλουθο τρόπο:

A) Διενεργούμε μία σειρά νέων πειραμάτων και σημειώνουμε τις τιμές Y_t ενώ παράλληλα τις υπολογίζουμε μέσω του δυναμικού μοντέλου πρόβλεψης τις τιμές Y_t^* . Ο αριθμός των πειραμάτων N πρέπει να είναι τουλάχιστον 70.

B) Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση s^2 των τιμών $(Y_t - Y_t^*)^2$ η οποία διαθέτει $N-2$ βαθμούς ελευθερίας

Γ) Υπολογίζουμε το πειραματικό στατιστικό σφάλμα το οποίο έστω ότι έχει μία τυπική απόκλιση σ^2 και n βαθμούς ελευθερίας.

Για να είναι ικανοποιητικό το δυναμικό μοντέλο πρέπει η τιμή s^2/σ^2 να είναι μικρότερη από την πινακοποιημένη τιμή της κατανομής F^2 με βαθμούς ελευθερίας $N-2$ και n .

Πίνακας 4.2: Δυναμική αλληλοσυσχέτιση παραμέτρων

	pH	WHC %	FOG gr	UOR mg/g/dc	NH4N mg/gr d.c.	T °C	HA gr	FA gr	EC ms/cm	GI %	R ²	ΕΞΙΣΩΣΗ
pH		1/t-4									56,33%	$-2,71 \ln(\text{whc}) + 20,95$
FOG gr	3/t-2	2/t-5	1/t-6								88,46%	$-1,953 \ln(\text{UOR}) + 4,7583$
UOR mg/g/dc	3/t-2	2/t-2	1/t-2								92,55%	$-1,953 \ln(\text{UOR}) + 0,0141 * \text{whc} + 1,2972$
											93,93%	$-1,953 \ln(\text{UOR}) + 0,0141 * \text{whc} - 0,1701 * \text{ph} + 2,2915$
											78,82%	$-1,6805 * \text{FOG} + 6,54$
											81,58%	$-1,6805 * \text{FOG} - 0,0133 * \text{whc} + 9,9174$
											84,01%	$-1,6805 * \text{FOG} - 0,0133 * \text{whc} - 0,2956 * \text{ph} + 11,7713$
								4/t-3			86,97%	$-1,6805 * \text{FOG} - 0,0133 * \text{WHC} - 0,2956 * \text{ph} - 0,0338 * \text{EC} + 11,9385$
NH4N mg/gr d.c.	1/t-9	2/t-2									62,27%	$0,6215 * \text{ph} - 3,027$
											65,63%	$0,6215 * \text{ph} - 0,036 * \text{whc} - 2,2932$
						3/t-5					74%	$0,6215 * \text{ph} - 0,036 * \text{whc} + 0,0153 * \text{T} - 2,9588$
											77,81%	$0,6215 * \text{ph} - 0,036 * \text{whc} + 0,0153 * \text{T} + 0,1024 * \text{EC} - 3,2462$
HA gr	1/t-1	2/t-4									79,09%	$2,6792 * \text{ph} - 15,862$
											81,20%	$2,6792 * \text{ph} - 0,0146 * \text{whc} - 13,1322$
											97%	$2,6792 * \text{ph} - 0,0146 * \text{whc} + 0,7814 * \text{nh} - 14,3943$
FA gr	1/t-1			3/t-1							80,00%	$\text{HA} / (1,232(\text{HA}) - 0,447)$
							2/t-2				5,60%	$\text{HA} / (1,232(\text{HA}) - 0,447) + 53,617(\text{pH})$
											85,60%	$\text{HA} / (1,232(\text{HA}) - 0,447) + 53,617(\text{pH}) - 7,29$
GI %	2/t-2						1/t-6				61,49%	$13,551 * \text{ha} + 52,588$
											65,36%	$13,551 * \text{ha} + 12,382 * \text{ph} - 31,995$
											74,00%	$13,551 * \text{ha} + 12,382 * \text{ph} - 0,2746 * \text{whc} + 19,884$

4.3. Δυναμικό μοντέλο αφομοίωσης λιπαρών

Στην παρούσα μελέτη, ένα μαθηματικό μοντέλο πρώτης τάξης του ρυθμού αποικοδόμησης FOG δοκιμάστηκε σύμφωνα με την ακόλουθη έκφραση:

$$\frac{d(\text{FOG})}{dt} = -k \cdot ((\text{FOG}_0 - \text{FOG}_\infty) - \text{FOG}_t) \quad [1]$$

Όπου: FOG_t = οι συγκεντρώσεις των λιπαρών ουσιών (FOG) μετά από t χρόνο από την έναρξη της κομποστοποίησης, $g \cdot \text{Kg}^{-1}$

k = ρυθμός κινητικής αποικοδόμησης, h^{-1}

FOG_0 = Η αρχική συγκέντρωση των FOG's

FOG_∞ = Η υπολειπόμενη συγκέντρωση των FOG's μετά από πολύ καιρό κομποστοποίησης

Η ενσωμάτωση της εξίσωσης [1] χρησιμοποιώντας τα όρια $0 - \text{FOG}_t$ και $0 - t$ οδηγεί στην εξίσωση [2]:

$$\int_{\text{FOG}_0}^{\text{FOG}_t} \frac{d(\text{FOG})}{\text{FOG} - \text{FOG}_\infty + \text{FOG}_0} = - \int_0^t k \cdot dt \quad [2]$$

Επιλύοντας την εξίσωση της [3] λαμβάνεται:

$$\ln \left(\frac{\text{FOG}_\infty - \text{FOG}_0}{\text{FOG}_\infty - \text{FOG}_0 - \text{FOG}_t} \right) = -k \cdot t \quad [3]$$

Με τη μετατροπή της εξίσωσης [3] προκύπτει η παρακάτω εξίσωση [4]:

$$\text{FOG}_t = (\text{FOG}_\infty - \text{FOG}_0) \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) \quad [4]$$

Και με την αλλαγή λογαρίθμων:

$$\text{FOG}_t = (\text{FOG}_\infty - \text{FOG}_0) \cdot (1 - 10^{-K \cdot t}) \quad \text{όπου } K=0,434 \cdot k \quad [5]$$

Η σταθερά k εκφράζει τον ρυθμό αποικοδόμησης των FOGs. Το σταθερό FOG_∞ είναι τα υπολείμματα FOG που παραμένουν μετά από έναν άπειρο χρόνο κομποστοποίησης. Η επίλυση της εξίσωσης [5] αν και μόνο η μεταβλητή FOG_t μπορεί να μετρηθεί με εργαστηριακούς προσδιορισμούς, ενώ οι k και FOG_∞ πρέπει να εκτιμηθούν.

Η μέθοδος που προτάθηκε από τον Thomas (1950) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί:

$$F_1 = 1 - 10^{-Kt} \text{ and } F_2 = 2,3 \cdot K \cdot t \cdot \left(1 + \frac{2,3 \cdot K \cdot t}{6} \right)^{-3} \quad [6] \text{ and } [7]$$

Οι εξισώσεις [6] και [7] θα μπορούσαν να μετατραπούν σε σειρές ως εξής:

$$F_1 = (2,3 \cdot K \cdot t) \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot (2,3 \cdot K \cdot t) + \frac{1}{6} \cdot (2,3 \cdot K \cdot t)^2 - \frac{1}{24} \cdot (2,3 \cdot K \cdot t)^3 + \dots \right] \quad [8]$$

$$F_2 = (2,3 \cdot K \cdot t) \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot (2,3 \cdot K \cdot t) + \frac{1}{6} \cdot (2,3 \cdot K \cdot t)^2 - \frac{1}{21,6} \cdot (2,3 \cdot K \cdot t)^3 + \dots \right] \quad [9]$$

Οι τρεις πρώτοι όροι της παραπάνω σειράς εξισώσεων είναι παρόμοιοι και οι μικρές διαφορές που υπάρχουν για τους υπόλοιπους όρους επηρεάζουν ελάχιστα τα F_1 και F_2 . Επομένως θεωρείται $F_1 = F_2$ και η εξίσωση [5] θα μπορούσε να ξαναγραφεί χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις [6] και [7] και το αποτέλεσμα φαίνεται στην εξίσωση [10]:

$$FOG_t = (2,3 \cdot K \cdot t) \cdot \left[1 + \frac{2,3}{6} \cdot K \cdot t\right]^{-3} \quad [10]$$

Με την αναδιάταξη της εξίσωσης [10], λαμβάνεται η παρακάτω εξίσωση:

$$\left(\frac{t}{FOG_t}\right)^{1/3} = \frac{1}{2,3 \cdot K \cdot FOG_t^{1/3}} + \frac{2,3^{2/3}}{6 \cdot FOG_t^{1/3}} \cdot t \quad [11]$$

Η εξίσωση [11] είναι γραμμική με άξονες $(t / FOG_t)^{1/3}$ ant t . Η τομή των ευθειών γραμμών με κατακόρυφους άξονες καθορίζει την παράμετρο A όπου η κλίση της γραμμής καθορίζει την παράμετρο B . Οι παράμετροι A και B καθορίζονται από την εξίσωση [11] μέσω γραμμικής παλινδρόμησης και της σχέσης τους με τις σταθερές K και FOG_∞ δίνοντας τις εξισώσεις [12] και [13]:

$$A = (2,3 \cdot K \cdot (FOG_\infty - FOG_0))^{-1/3} \quad \text{and} \quad B = \frac{(2,3 \cdot K)^{2/3}}{6 \cdot (FOG_\infty - FOG_0)} \quad [12] \text{ and } [13]$$

Με την επίλυση των εξισώσεων [12] και [13], K και L_∞ αποκτούνται όπως φαίνεται παρακάτω:

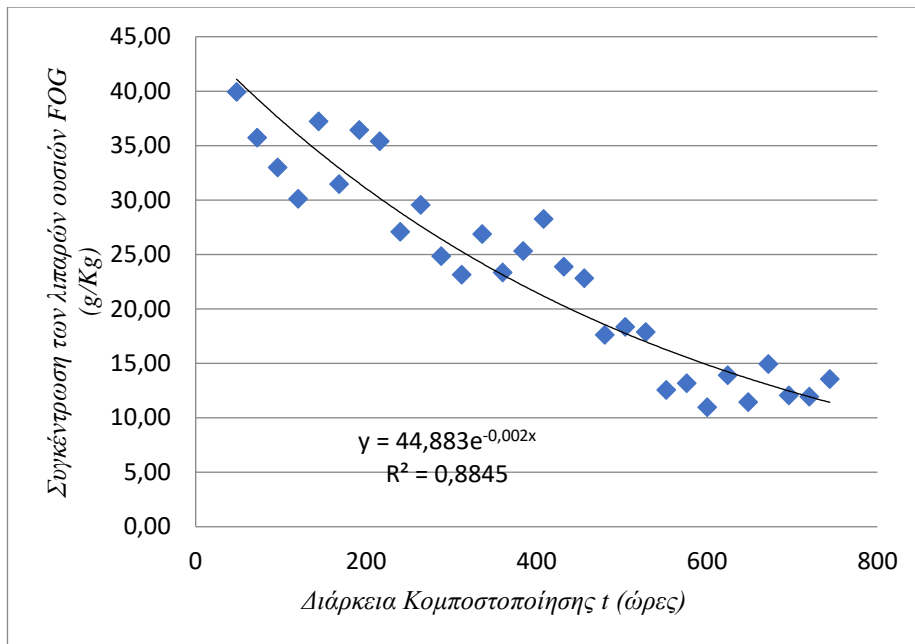
$$K = -2,61 \cdot \frac{B}{A} \quad \text{or} \quad k = -4,8387 \cdot \frac{B}{A} \quad [14]$$

$$FOG_\infty = \frac{1}{6 \cdot A^2 \cdot B} - FOG_0 \quad [15]$$

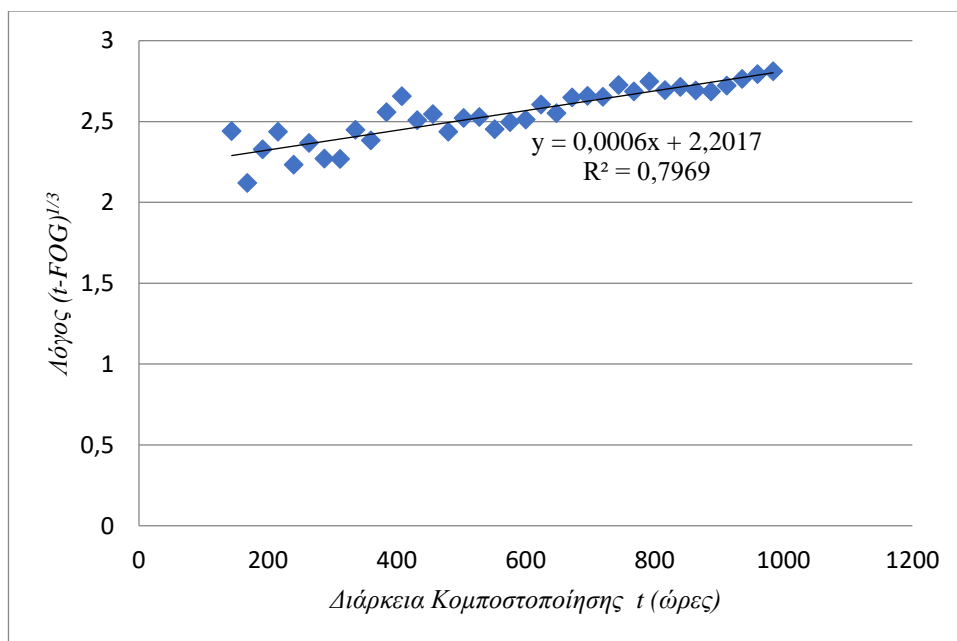
Η αφομοίωση των FOG και η παράλληλη μεταβολή των pH, WHC και OUR παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.3 Αφομοίωση των FOG και η παράλληλη μεταβολή των παραμέτρων pH, WHC, OUR

Time days	pH			WHC %			OUR mg/g/d			FOG %		
1	5,53	+/-	0,01	266,7	+/-	6,16	0,00	+/-	0,000	4,64	+/-	0,178
2	5,34	+/-	0,2	256,0	+/-	1,49	0,80	+/-	0,003	4,01	+/-	0,003
3	5,80	+/-	0,07	248,0	+/-	0,51	0,66	+/-	0,010	3,43	+/-	0,136
4	5,94	+/-	0,05	243,8	+/-	4,62	0,29	+/-	0,009	3,18	+/-	0,012
5	5,48	+/-	0,07	271,6	+/-	0,22	1,57	+/-	0,010	2,77	+/-	0,117
6	5,83	+/-	0,02	277,0	+/-	2,48	1,19	+/-	0,038	3,86	+/-	0,022
7	5,56	+/-	0	265,1	+/-	9,46	1,07	+/-	0,021	3,02	+/-	0,138
8	5,73	+/-	0,09	281,0	+/-	0,5	1,38	+/-	0,023	3,69	+/-	0,005
9	5,25	+/-	0,14	225,0	+/-	8,98	1,71	+/-	0,019	3,55	+/-	0,074
10	5,75	+/-	0,13	239,2	+/-	1,89	1,53	+/-	0,030	2,75	+/-	0,026
11	5,91	+/-	0	230,4	+/-	6,31	1,60	+/-	0,000	2,88	+/-	0,058
12	5,71	+/-	0,2	200,3	+/-	9,83	2,11	+/-	0,004	2,38	+/-	0,058
13	5,71	+/-	0,14	277,8	+/-	6,42	3,01	+/-	0,044	2,30	+/-	0,049
14	6,05	+/-	0,07	226,4	+/-	5,28	2,04	+/-	0,029	2,52	+/-	0,088
15	6,47	+/-	0,02	245,7	+/-	7,17	1,99	+/-	0,034	2,34	+/-	0,080
16	5,56	+/-	0,18	249,9	+/-	5,06	2,14	+/-	0,083	2,68	+/-	0,010
17	6,63	+/-	0,09	206,7	+/-	8,17	2,55	+/-	0,037	2,94	+/-	0,031
18	6,67	+/-	0,09	223,5	+/-	3,77	2,99	+/-	0,044	2,45	+/-	0,025
19	5,63	+/-	0,1	226,1	+/-	1,54	3,38	+/-	0,038	2,30	+/-	0,052
20	5,79	+/-	0,04	241,1	+/-	2,96	2,98	+/-	0,009	1,81	+/-	0,006
21	5,48	+/-	0,15	213,3	+/-	9,86	3,44	+/-	0,072	1,92	+/-	0,008
22	5,72	+/-	0,21	257,3	+/-	2,84	3,06	+/-	0,031	1,79	+/-	0,006
23	5,54	+/-	0,03	229,6	+/-	2,18	3,19	+/-	0,155	1,32	+/-	0,011
24	5,39	+/-	0,14	220,7	+/-	4,65	3,76	+/-	0,018	1,28	+/-	0,010
25	5,32	+/-	0,11	233,6	+/-	1,68	3,15	+/-	0,076	1,21	+/-	0,004
26	5,71	+/-	0,28	201,5	+/-	10,2	3,54	+/-	0,135	1,52	+/-	0,008
27	6,56	+/-	0,04	203,1	+/-	5,43	3,29	+/-	0,107	1,07	+/-	0,016
28	5,75	+/-	0,14	215,2	+/-	8,41	3,86	+/-	0,095	1,52	+/-	0,011
29	6,05	+/-	0,01	205,4	+/-	1,69	4,19	+/-	0,052	1,30	+/-	0,000
30	6,30	+/-	0,09	212,0	+/-	5,5	4,53	+/-	0,115	1,13	+/-	0,033
31	6,51	+/-	0,2	230,2	+/-	3,39	4,68	+/-	0,211	1,37	+/-	0,016
32	5,96	+/-	0,19	241,7	+/-	2,65	5,12	+/-	0,172	1,09	+/-	0,004
33	6,12	+/-	0,1	256,7	+/-	0,85	5,69	+/-	0,051	1,16	+/-	0,018
34	5,24	+/-	0,21	255,4	+/-	0,2	6,23	+/-	0,027	0,86	+/-	0,021
35	5,48	+/-	0,19	207,6	+/-	5,69	6,70	+/-	0,046	0,77	+/-	0,013
36	6,00	+/-	0,02	252,4	+/-	2,19	6,18	+/-	0,112	0,61	+/-	0,006
37	6,24	+/-	0,08	222,0	+/-	0,02	6,68	+/-	0,131	0,38	+/-	0,009
38	6,98	+/-	0,03	266,6	+/-	5,31	8,15	+/-	0,330	0,48	+/-	0,011
39	6,10	+/-	0,29	240,8	+/-	0,59	7,50	+/-	0,106	0,55	+/-	0,025
40	5,91	+/-	0,08	260,1	+/-	0,57	8,37	+/-	0,064	0,60	+/-	0,001
41	6,64	+/-	0,08	231,8	+/-	4,1	8,65	+/-	0,224	0,58	+/-	0,008



Διάγραμμα 4.1: Συσχέτιση της συγκέντρωσης λιπαρών ουσιών με τη διάρκεια κομποστοποίησης σε ώρες



Διάγραμμα 4.2: Συσχέτιση του λόγου $t-FOG$ με τη διάρκεια κομποστοποίησης σε ώρες

Από το παραπάνω διάγραμμα 4.2 προκύπτει:

$$A=2,2017$$

$$B=0,006$$

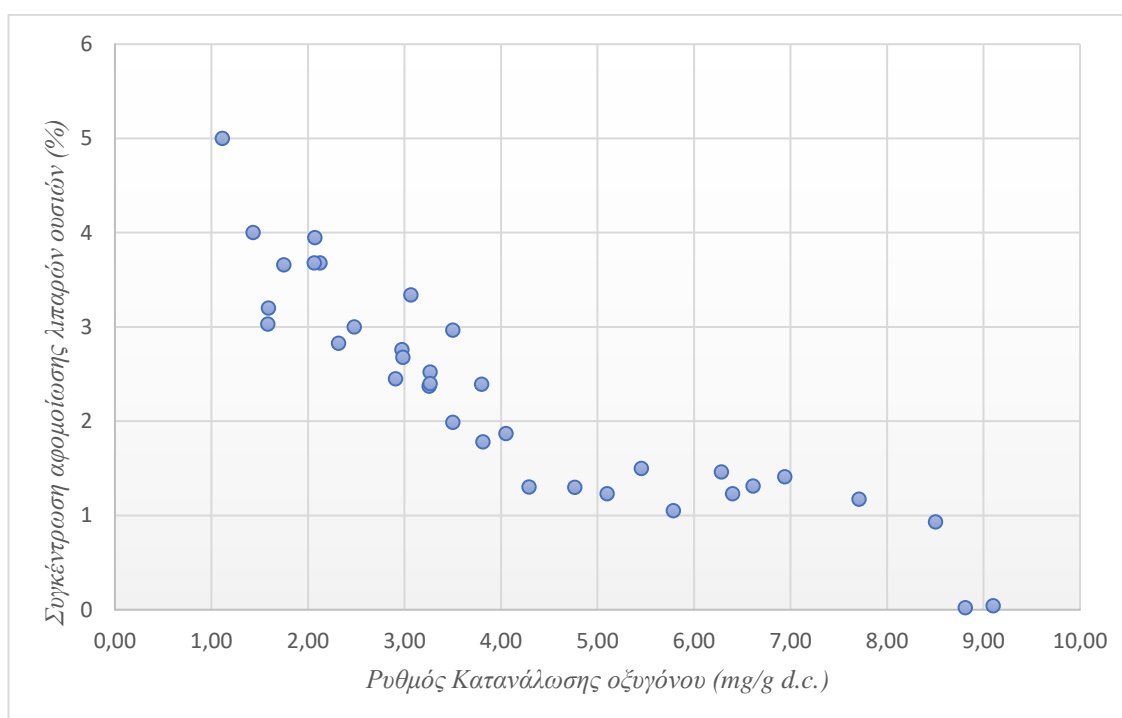
Και εξ αυτών σύμφωνα με τις σχέσεις [14] και [15] προκύπτουν:

Ρυθμός αφομοίωσης FOGs : $k = 0,013 \text{ g/g/h}$ και

Οριακή συγκέντρωση *FOGs* : $FOG_{\infty} = 5,49 \text{ g/Kg}$

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η συγκέντρωση αφομοίωσης λιπαρών ουσιών είναι η σημαντικότερη παράμετρος διότι παίζει καθοριστικό ρόλο στη σωστή εξέλιξη της διαδικασίας μιας κομποστοποίησης. Στο παραπάνω πίνακα 4.2. απεικονίζονται οι εξισώσεις των μοντέλων σύμφωνα με τα οποία προσδιορίζονται κάποιοι παράγοντες με άλλους σε ένα χρονικό διάστημα μέχρι και 10 ημερών νωρίτερα. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάζονται για την αφομοίωση λιπαρών ουσιών με ποσοστό συσχέτισης 93,93% καθώς και για τη συγκέντρωση χουμικών και φουλβικών ενώσεων, με ποσοστά συσχέτισεων 97% και 82% αντίστοιχα. Ικανοποιητικά είναι και τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση αμμωνιακών αλλά και για το δείκτη φυτοθρεπτικότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να δώσουν αποτελέσματα άμεσα, μερικοί από αυτούς ακόμα και στο πεδίο.

Από το διάγραμμα.4.1. παρατηρείται ότι η αύξηση του οξυγόνου οδηγεί στη μείωση της περιεκτικότητας των ελαίων και την έναρξη της τελικής φάσης της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 4.3.: Συσχέτιση ρυθμού αφομοίωσης λιπαρών ουσιών με το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου

Σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, η παρούσα τιμή της συγκέντρωσης αφομοίωσης λιπαρών ουσιών σε σωρό συγκομποστοποίησης υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιολιτριβείου, μπορεί να προβλεφθεί χρησιμοποιώντας τρεις παραμέτρους, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Το παρακάτω μοντέλο επικυρώθηκε δύο φορές σε ένα σύστημα κομποστοποίησης ανοιχτού τύπου σειραδιού.

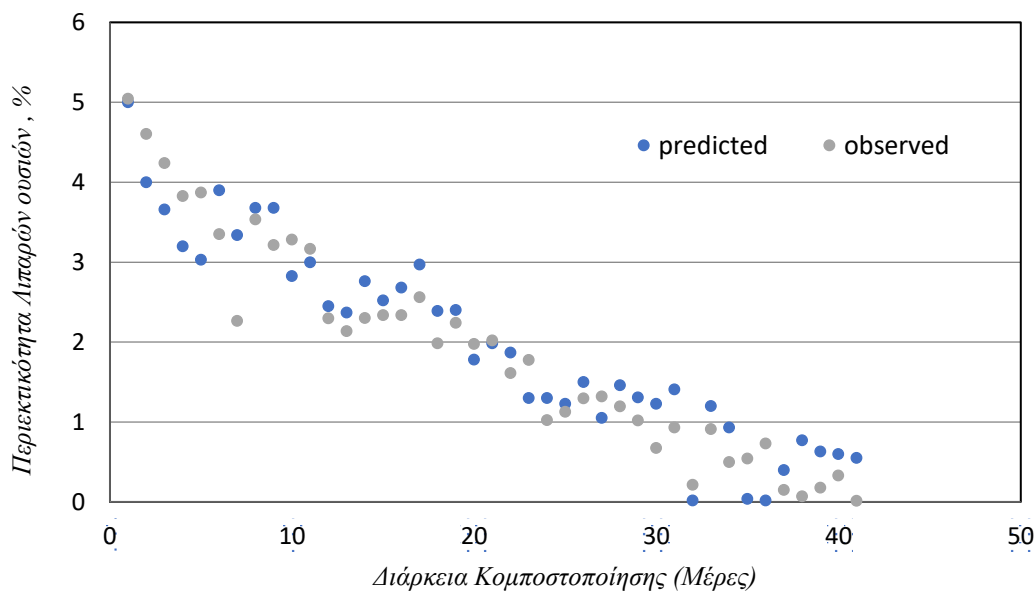
Πίνακας 4.4.: Επίπεδα της παλινδρόμησης με υπολειμματική ανάλυση για το μοντέλο των FOG

Επίπεδο	Βέλτιστη μεταβλητή	Χρονικό διάστημα	Ποσοστό συμμετοχής μεταβλητού% στον τελικό συντελεστή παλινδρόμησης R ²
1st	UOR	6 dayS	88.46 %
2nd	WHC, % of TS	5days	4.09 %
3rd	pH	2 days	1.38 %

Η τελική εξίσωση του ρυθμού αφομοίωσης λιπαρών ουσιών (FOG) δίνεται από την παρακάτω εξίσωση και απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

$$FOG = -1,953*\ln(OUR)_{t-6} + 0,0141*WHC_{t-1} - 0,1701*pH_{t-4} + 2,2915$$

Όπου t είναι η σημερινή ημέρα και t-n είναι το χρονικό διάστημα που έχει μεσολαβήσει από την σημερινή ημέρα μέχρι την ημέρα του τελικού παράγοντα.



Διάγραμμα 4.4.: Συσχέτιση πραγματικού ρυθμού αφομοίωσης λιπαρών ουσιών με το προβλεπόμενο σύμφωνα με το μοντέλο

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει την πραγματική αφομοίωση των λιπαρών ουσιών στο διάστημα των πρώτων 40 ημερών, καθώς και την προβλεπόμενη αφομοίωση μέσω του μοντέλου το οποίο περιεγράφηκε νωρίτερα. Η αφομοίωση λιπαρών ουσιών μπορεί να προβλεφθεί με το μοντέλο κατά 92%.

4.4. Δυναμικά μοντέλα για τις συγκεντρώσεις HA και FA

Στην αρχή της διαδικασίας κομποστοποίησης το προϊόν βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία σταδιακά αρχίζει να αυξάνεται και συνήθως το pH κυμαίνεται σε ελαφρώς όξινες περιοχές. Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν διαλυτές και εύκολα αποικοδομήσιμες πηγές άνθρακα, όπως μονοσακχαρίτες, άμυλο και λιπίδια, στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης. Η μείωση της τιμής του pH παρατηρείται λόγω του σχηματισμού οργανικών οξέων από αυτές τις ενώσεις κατά την αποικοδόμηση. Στο συγκεκριμένο στάδιο, το προϊόν θεωρείται ακόμα ανώριμο και περιέχει μεγαλύτερη κατανάλωση φωσφορικών οξέων απ' ότι χουμικών (Chen,et.al.1996). Καθώς η διαδικασία της λιπασματοποίησης εξελίσσεται, οι μικροοργανισμοί αρχίζουν να υποβαθμίζουν τις πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση αμμωνίας και την αύξηση του pH. Μετά την κατανάλωση των εύκολα αποικοδομήσιμων πηγών άνθρακα, οι ανθεκτικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη υποβαθμίζονται και μετασχηματίζονται εν μέρει σε χούμους (Tuomela,et.al 2000). Ο χούμους αποτελείται από χουμίνες, φουλβικά αλλά και χουμικά οξέα.

Οι χουμίνες υπάρχουν στο αρχικό υπόστρωμα και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης, κυρίως κατά τη θερμοφιλή περίοδο, αυξάνονται λόγω της προσθήκης υλικού από την υδρόλυση μικροοργανισμών θανάτου. Κατά την περίοδο ωρίμανσης, οι χουμίνες, εν μέρει μετασχηματίζονται βιολογικά σε φουλβικά οξέα. Η διαδικασία αυτή δεν είναι μια πολύ γνωστή βιολογική, αλλά χαρακτηρίζεται ως μια συνθετική που απαιτεί οξυγόνο και άζωτο. Μετά από αυτό, όταν τα φουλβικά οξέα αυξάνονται σε μια κρίσιμη συγκέντρωση, αρχίζει μια διαδικασία εμβολιασμού με ένα ταυτόχρονο μετασχηματισμό σε χουμικά οξέα. Αυτός ο μετασχηματισμός είναι μια συνθετική διαδικασία αποικοδόμησης των φωσφορικών οξέων, η οποία χρειάζεται περισσότερο άζωτο αλλά λιγότερο οξυγόνο. Έτσι, κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας κομποστοποίησης, η παραγωγή χουμικών οξέων περνά μέσα από την παραγωγή φουλβικού οξέος που προσλαμβάνει αζωτούχο άζωτο παράλληλα.

Προκειμένου να ελεγχθεί η λειτουργία και η αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων ρυθμών, διάφορες παράμετροι όπως η περιεκτικότητα σε λιπίδια (FOG,%), η περιεκτικότητα σε υγρασία (MC,%), (T, °C), το pH, ο ρυθμός πρόσληψης οξυγόνου (OUR, Kg NOH, περιεκτικότητα σε νιτρικό άζωτο (N-NO₃, g / Kg), ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC,%), ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, mS / cm)). Η περιεκτικότητα σε ανθρακικό οξύ (HA, g / Kg), η περιεκτικότητα σε φουλβικό οξύ (FA, g / Kg) και ο δείκτης βλάστησης (GI,%) μετρήθηκαν σε καθημερινή βάση. Όλες οι μετρήσεις που παρουσιάζονται είναι οι μέσες τιμές των εξεταζόμενων ρυθμών. Οι διακυμάνσεις των FA και HA χαρακτηρίζουν την εξέλιξη του σταδίου εμβολιασμού της κομποστοποίησης. Από όλες τις 13 ανεξάρτητες παραμέτρους μπορούν να μετρηθούν εύκολα και γρήγορα τα pH, EC, WHC και N-NH₄. Ωστόσο, για ακριβή μέτρηση του HA και του FA απαιτούνται πολλά δείγματα και τουλάχιστον μία ημέρα εργαστηριακής εξέτασης. Έτσι, ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι η συσχέτιση της εύκολης καθημερινής μετρούμενης λειτουργικής παραμέτρου pH, EC, WHC και N-NH₄ με τα HA και FA του αρχείου δεδομένων με

χρονική υστέρηση έως 10 ημέρες. Η συσχέτιση επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας την τεχνική που αναφέρθηκε παραπάνω, παλινδρόμηση με υπολειμματική ανάλυση. Η θεωρία αυτή ενισχύεται με τη δημιουργία του παρακάτω μοντέλου σύμφωνα με το οποίο αποδεικνύεται ότι υπάρχει ισχυρή αντίστροφη σχέση μεταξύ φουλβικών και χουμικών οξέων, καθώς και σαφή ένδειξη επίδρασης της N-NH₄ στην παραγωγή χουμικών οξέων. Η περιεκτικότητα σε χουμικά οξέα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το τελικό προϊόν της διαδικασίας εμβάπτισης, όπου οι ενώσεις φυσικής προέλευσης μετασχηματίζονται εν μέρει σε σχετικά αδρανείς χουμικές ουσίες (Aiken, et.al.1985).

Η προσπάθεια συσχέτισης περιελάμβανε τις εξισώσεις του τύπου: $Y = a + bX$, $Y = aebX$, $Y = a + b(\log X)$, $Y = a + b$.

Οι μεταβλητές που συσχετίζονται έντονα με τις συγκεντρώσεις HA είναι το pH, το WHC και το N-NH₄, ενώ για το HA είναι οι σημερινές τιμές της FA και του pH. Τα διαδοχικά επίπεδα ανάλυσης παλινδρόμησης για HA και FA παρουσιάζονται στους πίνακες 4.5. και 4.6.

Πίνακας 4.5. Επίπεδα της παλινδρόμησης με υπολειμματική ανάλυση για το μοντέλο HA

Επίπεδο	Βέλτιστη μεταβλητή	Χρονικό διάστημα	Ποσοστό συμμετοχής μεταβλητού% στον τελικό συντελεστή παλινδρόμησης R ²
1 ^η	pH	1 μέρα	70.6%
2 ^η	WHC, % of TS	2 μέρες	12.8%
3 ^η	N-NH ₄ , g/Kg	4 μέρες	5.6%

Πίνακας 4.6. Επίπεδα της παλινδρόμησης με υπολειμματική ανάλυση για το μοντέλο FA

Επίπεδο	Βέλτιστη μεταβλητή	Χρονικό διάστημα	Ποσοστό συμμετοχής μεταβλητού % στον τελικό συντελεστή παλινδρόμησης R ²
1 ^η	HA	Σήμερα	80.0%
2 ^η	pH	Σήμερα	5.6%

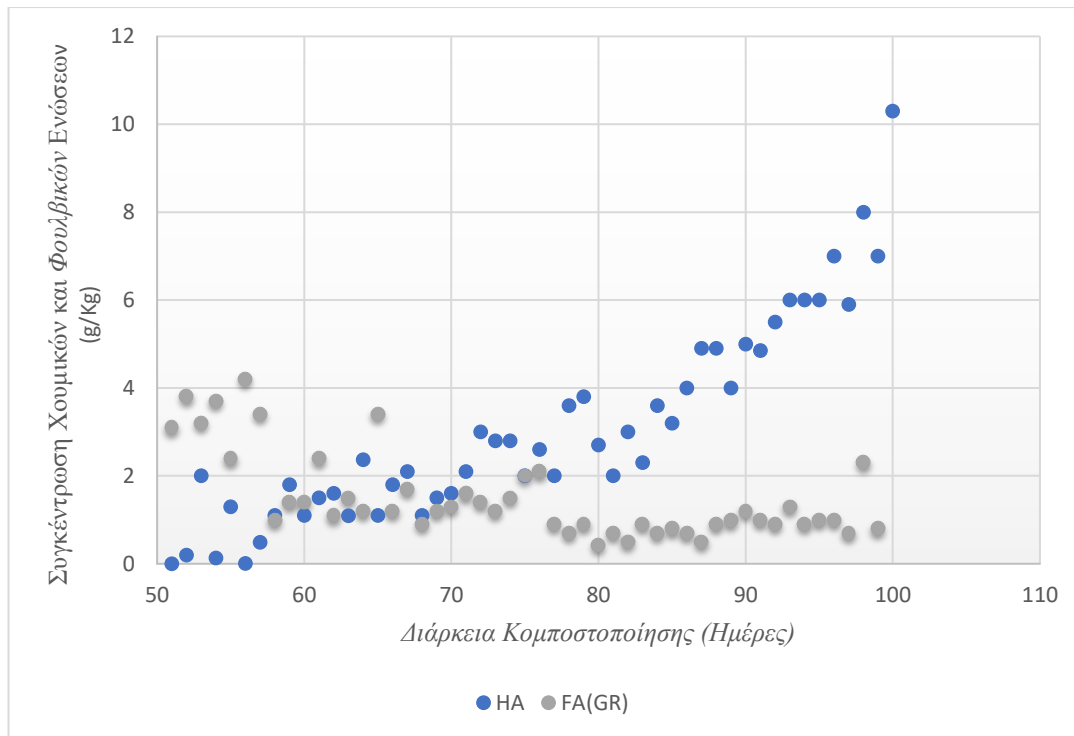
Σύμφωνα με τα δεδομένα κομποστοποίησης και τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω αναπτύχθηκαν οι εξισώσεις 1 και 2 για την πρόβλεψη των συγκεντρώσεων των HA και FA αντίστοιχα. Το R² για το μοντέλο HA είναι 89,0% ενώ το μοντέλο FA για το μοντέλο FA είναι 85,4%.

$$HA_t = 3.15 (pH)_{t-1} - 0.0185 (WHC)_{t-2} + 0.4739 (N-NH_4)_{t-4} - 16.197 \quad (R^2 = 89\%) \quad \text{Εξίσ.1}$$

$$FA_t = 53.617 / (pH)_t + (HA) / (1.232(HA)_{t-0.447}) - 7.29 \quad (R^2 = 85,4\%) \quad \text{Εξίσ.2}$$

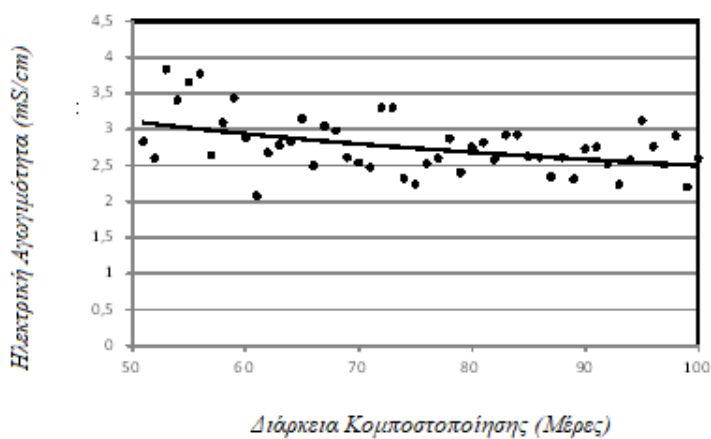
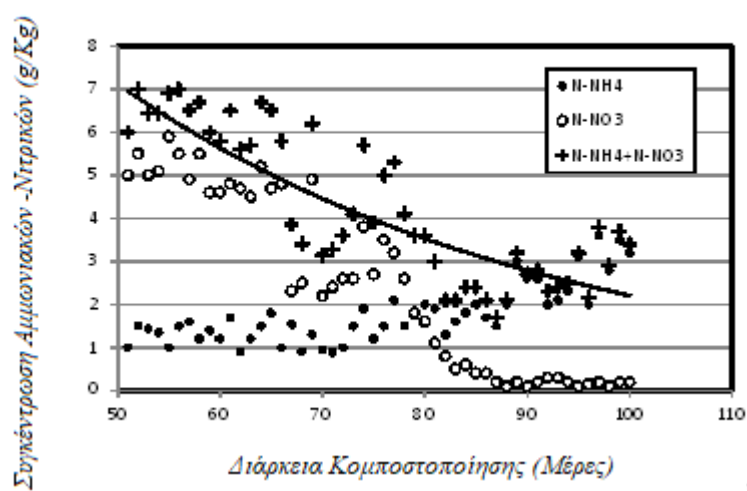
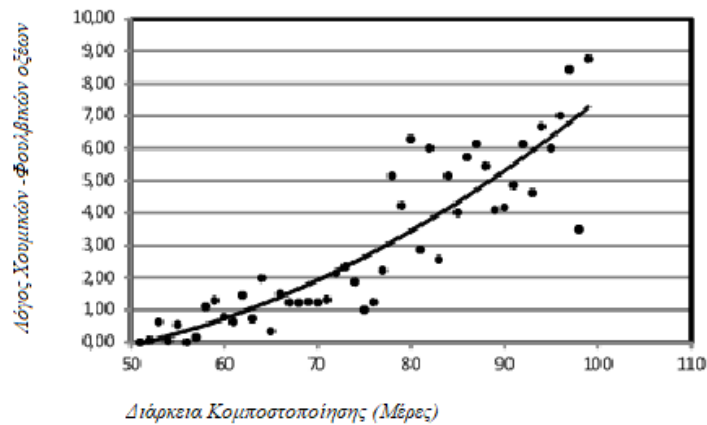
Όπου t είναι η σημερινή ημέρα και t-n είναι το χρονικό διάστημα που έχει μεσολαβήσει από τη σημερινή ημέρα μέχρι την ημέρα του τελικού παράγοντα.

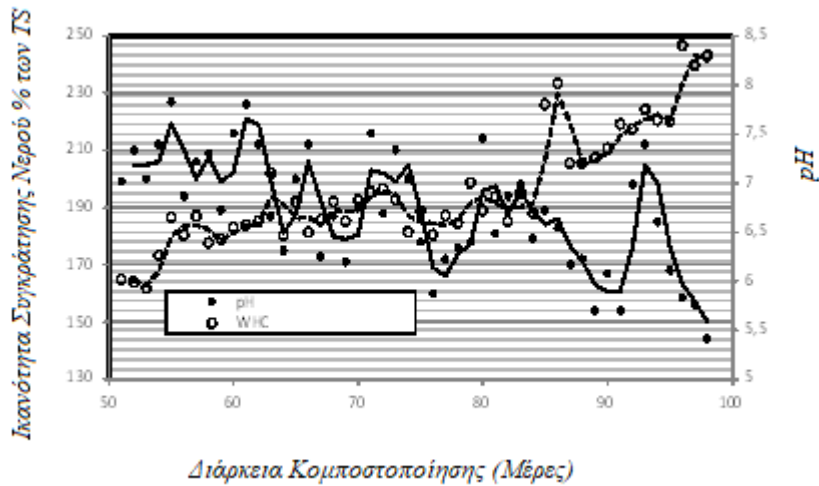
Ο συντελεστής συσχέτισης R² που υπολογίστηκε για τα προκύπτοντα μοντέλα δεν μπορεί να δώσει επαρκείς πληροφορίες για την επάρκειά του. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να προβλέψει πώς το μοντέλο θα αντιδράσει σε μια άγνωστη περιοχή δεδομένων. Προκειμένου να ελεγχθεί το μοντέλο, διεξήχθη δοκιμή X² για καταγραφή δεδομένων σε διαφορετική διαδικασία κομποστοποίησης σε διαφορετική χρονική περίοδο αλλά με το ίδιο αρχικό υπόστρωμα.



Διάγραμμα 4.5.: Συγκέντρωση χουμικών και φουλβικών ενώσεων

Τα πειραματικά αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται και στο παρακάτω διάγραμμα αποδεικνύουν ότι η συγκέντρωση των χουμικών οξέων είναι σχεδόν αυξημένη κατά την τελευταία φάση της περιόδου κομποστοποίησης. Ταυτόχρονα η συγκέντρωση των φουλβικών ενώσεων παρουσιάζει μείωση. Το διαγραμμα 4.5. (συγκέντρωση χουμικών και φουλβικών ενώσεων) δείχνει ότι η συγκέντρωση του χουμικού οξέος εμφανίζεται κατά την 50ή ημέρα της περιόδου κομποστοποίησης.

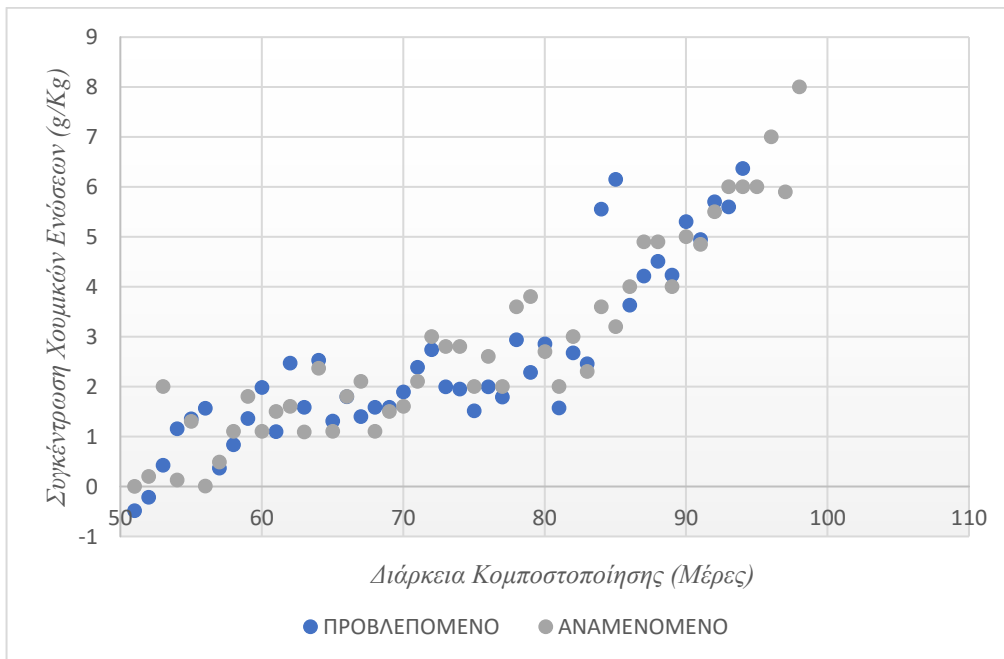


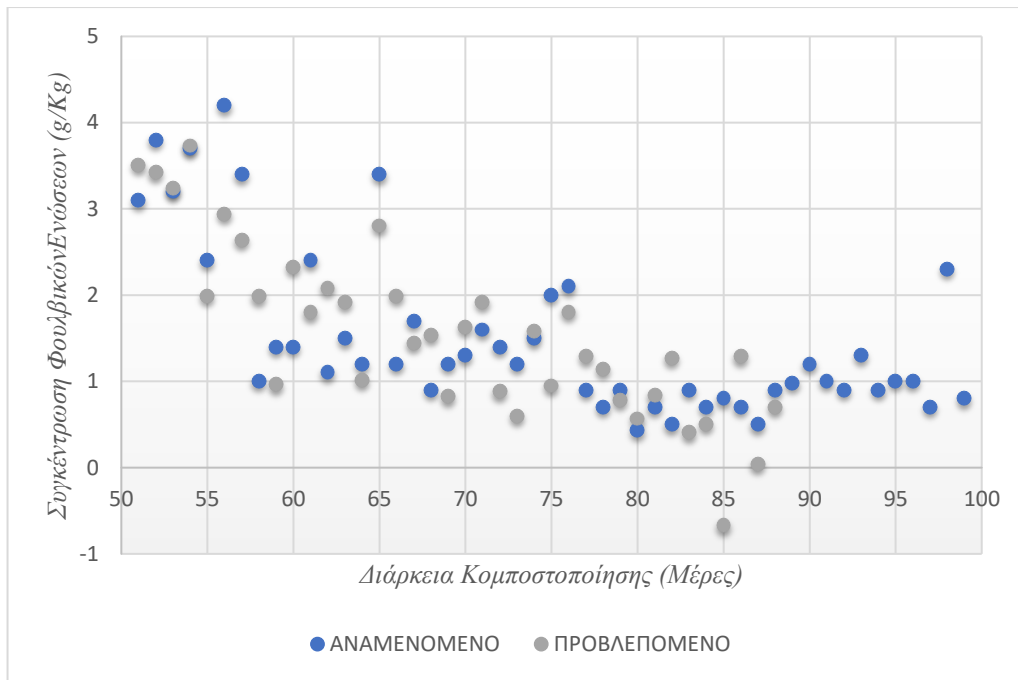


Διάγραμμα 4.6. Αλληλοσσχέτιση παραμέτρων με τις συγκεντρώσεις HA και FA

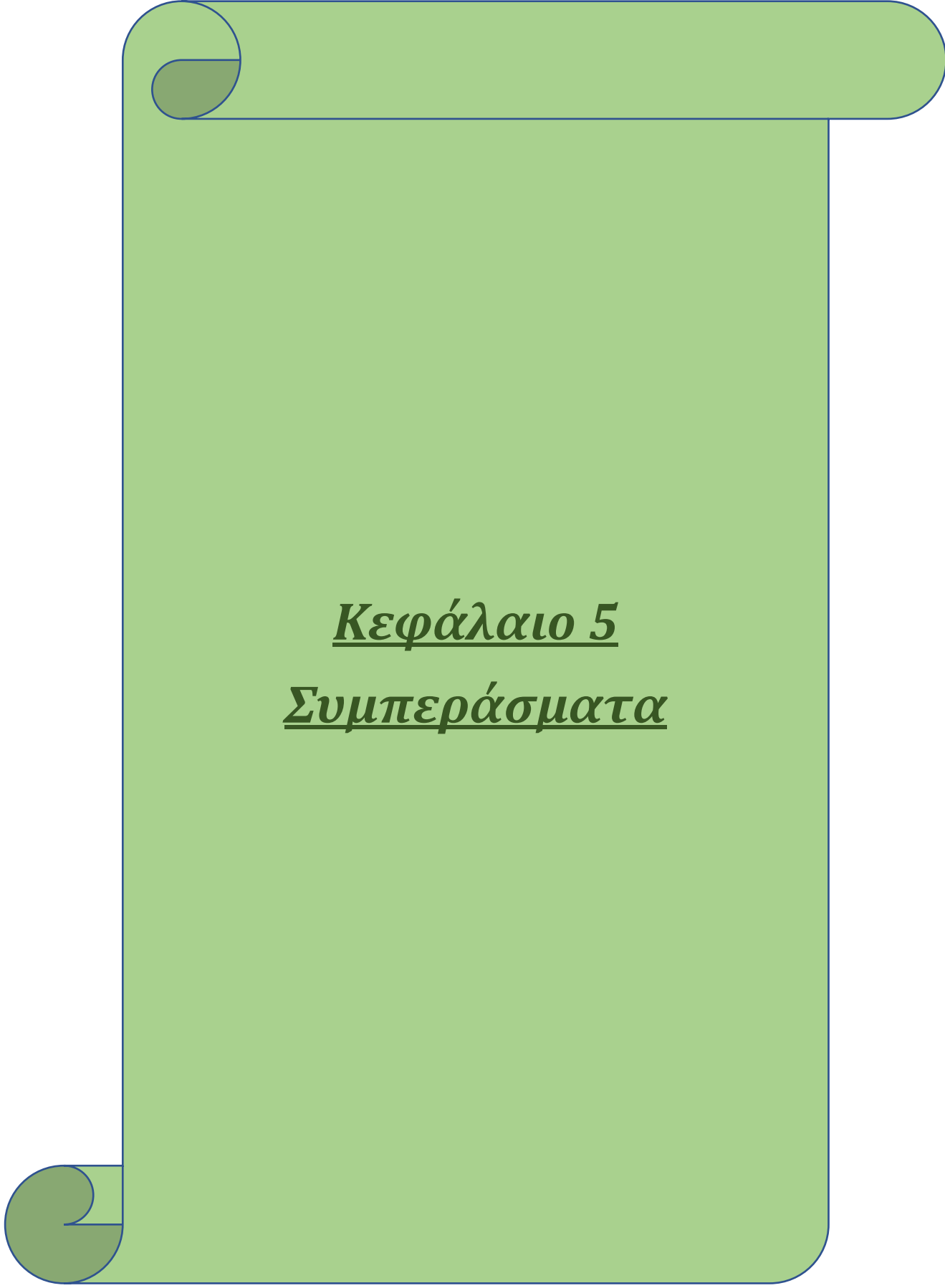
Το Διάγραμμα 4.6. συγκρίνει τις παρατηρούμενες τιμές με τις προβλεπόμενες τιμές του αναπτυγμένου μοντέλου για τη νέα περίοδο μελέτης. Πρόκειται για μια γραφική παράσταση των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων HA και FA (g / Kg) με βάση τα προηγούμενα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας του συστήματος. Το μοντέλο προβλέπει επαρκώς αυτές τις δύο παραμέτρους.

Η τιμή του χ^2 υπολογίστηκε ίση με 0,783 για τέσσερις βαθμούς ελευθερίας που αποκαλύπτει ότι το μοντέλο μπορεί να είναι ένα ικανοποιητικό εργαλείο πρόβλεψης γι' αυτή τη διαδικασία κομποστοποίησης.





Διάγραμμα 4.7' και 4.8.: Προβλέψεις και παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης ΗΑ και FA (g / Kg) για τη νέα χρονική περίοδο.



Κεφάλαιο 5
Συμπεράσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

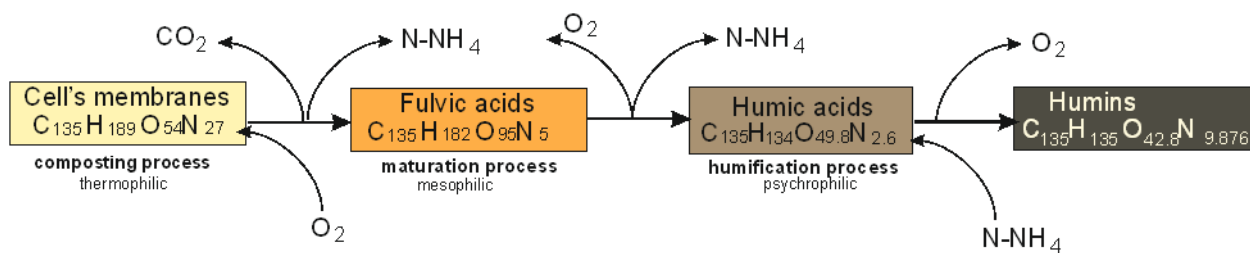
Ο απώτερος στόχος της κομποστοποίησης είναι η παραγωγή ενός χουμικού προϊόντος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βελτίωση του εδάφους και στη φυτική ανάπτυξη. Δύο όροι αναφέρονται στη βιβλιογραφία, ο όρος «σταθεροποίηση» και ο όρος «ωρίμανση». Αυτοί οι δύο δεν είναι συνώνυμοι μεταξύ τους. Η σταθεροποίηση είναι ένα στάδιο της αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας και μια λειτουργία της βιολογικής δραστηριότητας. Η ωρίμανση είναι μια όργανο-χημική κατάσταση του κόμποστ η οποία δείχνει την παρουσία ή απουσία φυτοτοξικών οργανικών οξέων. Η ωρίμανση σχετίζεται με τη φυτοτοξικότητα η οποία προκύπτει από ανόργανα χημικά και την αλατότητα του προϊόντος. Άλλοι παράγοντες που εμπλέκονται στη φυτοτοξικότητα και οδηγούν στην αναστολή της βλάστησης και της φυτικής ανάπτυξης είναι τα ιχνοστοιχεία, τα βαρέα μέταλλα, η αμμωνία, το CO₂ (Hart, Giannini, 1998).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι όροι "σταθερότητα του λιπάσματος" και "ωρίμανση του λιπάσματος" είναι δύο διαφορετικές έννοιες που συγχέονται τις περισσότερες φορές. Ο όρος ωριμότητα συχνά αξιολογείται μέσω της αισθητηριακής δραστηριότητας ή της δυνατότητας ανάπτυξης φυτών. Η ωριμότητα εκτιμάται καλύτερα με την ανάπτυξη των φυτών και με συνδυασμό πολλών άλλων προσδιορισμών. Από την άλλη πλευρά, η σταθερότητα μπορεί να προσδιοριστεί από τους ρυθμούς απορρόφησης O₂, το CO₂ που παράγεται ή τη θερμότητα που απελευθερώνεται ως αποτέλεσμα της μικροβιακής δραστηριότητας. Η χημική και φυσική σταθερότητα του κόμποστ καθορίζει τη διάρκεια ζωής και την εφαρμογή του λιπάσματος για διάφορες χρήσεις. Ένα σταθερό κομπόστ είναι αυτό που παρουσιάζει ένα προηγμένο βαθμό αποσύνθεσης οργανικής ύλης με αντίσταση στην περαιτέρω αποσύνθεση. Ένα σταθερό κομπόστ παρουσιάζει σταθερές τιμές ενός αριθμού δεικτών, όπως τα ποσοστά αναπνοής, ο μικροβιακός αριθμός και η βιομάζα, η οργανική ύλη, το περιεχόμενο, ο λόγος C / N και η θερμοκρασία αποθήκευσης (Avnimelech, et.al., 1996).

Κάτω από μια προσπάθεια μέτρησης των σημαντικότερων παραγόντων ανάπτυξης βιολογικών παραμέτρων, δημιουργήθηκε μια συσκευή, η οποία δίνει τη δυνατότητα μέτρησης του μέγιστου ποσοστού απορρόφησης οξυγόνου σε 2 ημέρες. Υπάρχει έντονη συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης οξυγόνου της θερμοκρασίας αλλά και της συγκέντρωσης λιπαρών ουσιών, καθώς και της περιεκτικότητας σε χουμικό οξύ, η οποία απεικονίζει το τελικό στάδιο της διαδικασίας κομποστοποίησης. Ο μέγιστος ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου επιτρέπει την πρόβλεψη και την παρακολούθηση της εξέλιξης της κομποστοποίησης. Αυτό είναι τόσο σημαντικό λόγω του γεγονότος ότι υπάρχει η δυνατότητα εξοικονόμησης χρόνου στην ανάλυση των δειγμάτων σε βιομηχανική εφαρμογή.

Στην αρχή της διαδικασίας κομποστοποίησης, το υπόστρωμα είναι συνήθως ελαφρώς όξινο και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος η οποία αρχίζει να αυξάνεται. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας παράλληλα με την αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου οδηγούν στην απότομη μείωση της περιεκτικότητας λιπαρών ουσιών. Οι πρώτες 40 ημέρες είναι καθοριστικές για την εξέλιξη της κομποστοποίησης. Οι αναπτυσσόμενοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν διαλυτές και εύκολα αποικοδομήσιμες πηγές άνθρακα, όπως μονοσακχαρίτες, άμυλο και λιπίδια, κατά το αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης. Παρατηρείται μία πτώση pH λόγω του σχηματισμού οργανικών οξέων από αυτές τις ενώσεις κατά την αποικοδόμηση. Σε αυτό το στάδιο, το λίπασμα είναι ανώριμο και περιέχει υψηλότερες ποσότητες FA από HA (Canet, et.al.1995). Καθώς η διαδικασία κομποστοποίησης συνεχίζεται, οι μικροοργανισμοί αρχίζουν να υποβαθμίζουν τις διαθέσιμες πρωτεΐνες και ως αποτέλεσμα έχουμε την απελευθέρωση αμμωνίου και την αύξηση του pH. Μετά την κατανάλωση των εύκολα αποικοδομήσιμων πηγών άνθρακα, οι ανθεκτικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη αποικοδομούνται και εν μέρει μετασχηματίζονται σε χούμο (Goyal, et.al.2005). Ο χυμός αποτελείται από χοιρίδια, φουλβικά οξέα και χουμικά οξέα. Οι χυμοί υπάρχουν στο αρχικό υπόστρωμα και κατά τη διάρκεια της περιόδου κομποστοποίησης, κυρίως στη θερμόφιλη περίοδο, αυξάνονται λόγω της προσφοράς νέων θρεπτικών ουσιών από την αυτόλυση νεκρών μικροοργανισμών.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου ωρίμανσης, οι χουμίνες μετασχηματίζονται εν μέρει σε φουλβικά οξέα. Αυτή δεν είναι μια πολύ γνωστή βιολογική διαδικασία. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι πρόκειται για μια συνθετική διαδικασία που απαιτεί οξυγόνο και άζωτο. Μετά από αυτό, όταν τα φουλβικά οξέα αυξάνονται μέχρι μια κρίσιμη συγκέντρωση, ξεκινάει η διαδικασία εμβάπτισης. Αυτή η διαδικασία (δηλαδή διαδικασία παραγωγής HA αποικοδόμησης HA) χρειάζεται περισσότερο άζωτο αλλά λιγότερο οξυγόνο. Έτσι, κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας κομποστοποίησης, η παραγωγή χουμικών οξέων περνά μέσα από την παραγωγή φουλβικών οξέων και την ανάληψη αμμωνιακού αζώτου όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Αυτή η θεωρία ενισχύεται με την παρούσα εργασία όπου αποδεικνύεται ότι υπάρχει ισχυρή αντίστροφη σχέση μεταξύ fulvic και τα χουμικά οξέα, καθώς και σαφής ένδειξη επίδρασης της N-NH₄ στην παραγωγή χουμικών οξέων. Η περιεκτικότητα σε χουμικά οξέα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το τελικό προϊόν της διαδικασίας εμβάπτισης, όπου οι ενώσεις φυσικής προέλευσης μετασχηματίζονται εν μέρει σε σχετικά αδρανείς χουμικές ουσίες. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι τα χουμικά οξέα αυξάνονται ελαφρά κατά τη διάρκεια της τελευταίας φάσης της περιόδου κομποστοποίησης. Αντίθετα, η συνεννόηση με το fulvic οξύ μειώθηκε κατά την ίδια περίοδο. Αυτό είναι προφανές από τα προηγούμενα σχήματα που δείχνουν ότι η συγκέντρωση του χουμικού οξέος εμφανίζεται μετά τις πρώτες 50 ημέρες της περιόδου κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 5.1. Συμπερασματική υπόθεση μεταβολής χουμικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Η μεθοδολογία της ανάλυσης παλινδρόμησης από υπολείμματα για την κατασκευή ενός δυναμικού μοντέλου αποδείχθηκε ικανοποιητική. Αξίζει να σημειωθεί ότι γι' αυτό το είδος κατασκευής μοντέλου δεν είναι απαραίτητο να διεξάγονται κουραστικά παραγοντολογικά πειράματα, αλλά αντίθετα οι συνήθεις προσδιορισμοί σε μια βιομηχανική εγκατάσταση επαρκούν. Τα μοντέλα που προκύπτουν από αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ισχυρά εργαλεία για τον έλεγχο της διαδικασίας σύνθεσης.

Κεφάλαιο 6
Βιβλιογραφικές
Αναφορές

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Adani F, Genevini P, Gasperi F, Tambone F (1999) Composting and humification. *Compost Sci Util* 7(1):24-33
- Adani F, Ubbiali C, Generini P (2006) The determination of biological stability of composts using the dynamic respiration index: the results of experience after two years. *Waste Manag* 26(1):41-48
- Adhikari R. (2009) *An Introduction Study on Time Series Modeling and Forecasting*. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., MacCarthy, P., (1985), An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. In: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., MacCarthy, P. (Eds.), *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water: Geochemistry, Isolation, and Characterization*, 1±9. Wiley, US
- Alfano G., C.Belli, G.Lustrato and Ranalli, 2008, "Pile composting of two phase centrifuged olive husk residues, Technical solutions and quality of cured compost", *Bioresource Technology* 99, 4694-4701.
- Agnew J, Leonard J (2003) The physical properties of compost. *Compost Sci Util* 11(3):238-264
- Ahn H, Richard T, Glanville T (2008) Laboratory determination of compost physical parameters for modeling of airflow characteristics. *Waste Manag* 28(3):660-670
- Albrecht R (2007) *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique*. Dissertation, Faculte des Sciences et Technique St Jerome, L'Universite Paul Cezanne, Marseille, France, p. 189
- Alburquerque J, Gonzalez J, Garcia D, Cegarra J (2006) Measuring detoxification and maturity in compost made from "Alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64(3):470-477
- Amir S (2005) *Contribution a la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost*, These de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomie, Institut National Polytechnique (ENSAT-INP), Toulouse, France, p. 341
- Amir, S., Hafidi, M., Lemee, L., Merlina, G., Guiesse, M., Pinelli, E., Revel, J.C., Bailly, J.R., Ambles, A., (2006) Structural characterization of humic acids, extracted from sewage sludge during composting by thermochemolysis-gas chromatography-mass spectrometry, *Process Biochemistry*, Vol.41,p.p.410-422
- Antizar-Ladislao B, Lopez-Real J, Beck A (2006) Investigation of organic matter dynamics during in-vessel composting of an aged coal-tar contaminated soil using fluorescence excitation-emission spectroscopy *Chemosphere* 64(5):839-847
- Avnimelech Y, Bruner M, Ezrony I, Sela R, Kochba M (1996) Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Sci Util* 4(2):13-20
- Ayuso M, Pascual J, Garcia C, Hernandez T (1996) Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci Plant Nutr* 42(1): 105-111
- Azim K, Ouyihya K, Amellouk A, Perissol C, Thami-Alami I and Soudi B (2014) Dynamic composting optimization through C/N ratio variation as a startup parameter. In: Rahmann, G. and Aksoy, U. (Eds.) *Building Organic Bridges*, Johann Heinrich von Thunen-Institut, Braunschweig, Germany, 3, Thunen Report, no. 20, pp. 787-790.
- Azim K, Soud B, Boukhari S, Perissol C, Raissos S. and Thami Alami I. (2018) Composting parameters and composting quality a literature review. *Org. Agr. :*(2):1-18
- Bampalioutas K., Vlysidis A., Lyberatos G., Vlyssides A., 2019. Detoxification and methane production kinetics from III-phase olive mill wastewater using Fenton reagents followed by anaerobic digestion, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94, 265-275

- Barampouti E, Mai S, Vlyssides A (2005) Dynamic modeling of biogas production in an UASB reactor for potato processing wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 106 :53-58.
- Batjes NH (1996) Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur J Soil Sci* 47:151-163
- Barje, F., El Fels, L., Hajjouji, H.E., Armir, S., Winterton, P., Hafidi, M.,(2012) Molecular behaviour of humic acid-like substances during co-composting of olive mill waste and the organic part of municipal solid waste, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol.(74), p.p.17-23
- Bernal, M.P., Albuquerque, J.A., Mora, R.,(2009), "1 Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review" *Bioresource Technology* Vol (100),p.p. 5444– 5453
- Bernal M, Navarro A, Sanchez-Monedero M, Roig A, Cegarra J (1998) Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol Biochem* 30(3):305-313
- Berhouex, P. M. (1975) Modeling Sewage Treatment Plant Input BOD DATA, *Journal Eng. Div. Proceedings of ASCE*, 101 (EE1): 127-138.
- Bidlingmaier W (1993) Odour emissions from composting plants. *Compost Sci Util* 1(4):64-68
- Box, G. E. P., and Jenkins, G. M., (1970) *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, Inc., San Francisco, Calif.
- Bouranis, D., Vlyssides, G. A., Drossopoulos, B. J., Economides, G. D., Mourafeti, B. and Drissis, G. D. (1997) Physicochemical Characteristics of a New Organic Soil Conditioner from Composted Sludges from a Pulp Deinking Process, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28(17&18), 1549-1564
- Burt, R., (1996) *Soil Survey Laboratory Methods Manual*, Soil Survey Investigations Report No. (42), Version 3.0, U.S. Department of Agriculture
- Canet R, Pomares F (1995) Changes in physical, chemical and physico-chemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia. *Bioresour Technol* 51(2-3):259-264
- Castaldi P, Alberti G, Merella R, Melis P (2005) Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Manag* 25(2):209- 213
- Cayuela M, Sanchez-Monedero M, Roig A (2006) Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. *Process Biochem* 41 (3):616—623
- Changa C, Wang P, Watson M, Hoitink H, Michel F (2003) Assessment of the reliability of a commercial maturity test kit for composted manures. *Compost Sci Util* 11(2): 125—143
- Charnay F (2005) *Compostage des dechets urbains dans les Pays en Developpement. Elaboration d'une demarche methodologique pour une production perenne de compost*. Dissertation, University of Limoges, p. 277
- Chefetz B, Hatcher P, Hadar Y, Chen Y (1996) Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *J Environ Qual* 25(4): 776
- Chen Y and Aviad T (1990) Effect of humic substances on plant growth. In MacCarthy P, Clapp CE, Malcolm RL, Bloom PR et al. (eds) *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings*, American Society of Agronomy, Madison, WI), pp 161-186.
- Chen Y, Magen H, Riov J (1994) Humic substances originating from rapidly decomposition organic matter: properties and effects on plant growth. In: Senesi N, Miano TM (eds) *Humic substances in the global environment and implication on human Health*. Elsevier Science B.V, London, pp 427-445
- Choi K (1999) Optimal operating parameters in the composting of swine manure with wastepaper. *J Environ Sci Health* 34(6): 975-987.
- Chowdhury, A., Akrotos, C.S., Vagenas, V.D., Pavlou, S., Olive mill waste composting: A review, *International Biodeterioration & Biodegradation* 85 (2013) 108e119

- Cogger, C., (2000) Soil management for small farms. Farminh West of the Cascades series of the Washignton State University Food and Farm connections Team EB1895: 1-24
- Cryer, D.J. and Chan, S.K. (2008) Time Series Analysis with applications in R&D, 2nd edn, Springer, London.
- De Bertoldi M, Vallini G, Pera A (1983) The biology of composting: areview. Waste Manag Res 1(1):157-176
- Deiana S, Gessa C, Manunza B, Rausa R, Seeber R (1990) Analytical and spectroscopic characterization of humic acids extracted from sewage sludge, manure, and worm compost. Soil Sci 150(1):419-424
- Delleur, J. W., Tao, P. C., and Kavvas, M. L., (1976) An Evaluation of the Practicality and Complexity of Some Rainfall and Runoff Time Series Models, Water Resources Research, 12 (5): 953-970.
- DiToro, M. D., (1975) Statistical Design of Equalization Basins. Journal Environm. Eng. Div. of ASCE, 101 (EE6): 917-933.
- DiToro, D.M., La Padula, J. E., and Watkins, J. P., (1981) Equalization-neutralization basin design, Journal Environm. Eng. Div. of ASCE, 107(EE1): 251-65
- Eklind Y, Kirchmann H (2000) Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover. Bioresour Technol 74(2):115-124
- El Fels L, Lemee L, Ambles A, Hafidi M (2014) Identification and biotransformation of lignin compounds during co-composting of sewage sludge-palm tree waste using pyroly- sis-GC/MS. Int Biodeterior Biodegradation 92:26-35
- Fang M, Wong J (1999) Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting. Environ Pollut 106(1):83-89
- Favoino E, Hogg D (2008) The potential role of compost in reducing greenhouse gases. Waste Manag Res 26(1):61-69
- Finstein MS, Strom PF, Hogan JA, Cowan RM (1999) Composting on Mars or the moon: I. Comparative evaluation of process design alternatives. Life Support Biosph Sci 6(3): 169-179
- Forster J, Zech W, Wurdinger E (1993) Comparison of chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. Biol Fertil Soils 16(2):93-99
- FCQAO (1994) Methods book for the analysis of compost. Compost information N°230. BGK ed.https://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Grundlagen_GS/Methods_ ook_2002.pdf (Accessed 23 February 2017)
- Gagnon B, Simard RR, Robitaille R, Goulet M, Rioux R (1997) Effect of composts and inorganic fertilizers on spring wheat growth and N uptake. Can J Soil Sci 77:487-495
- Gigliotti G, Proietti P, Said-Pullicino D, Nasini L, Pezzolla D, Rosati L, Porceddu P (2012) Cocomposting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality. Int Biodeterior Biodegradation 67:8-14
- Go´mez-Brando´n M, Lazcano C, Domi´nguez J (2008) The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. Chemosphere 70(3):436–444
- Gomez, A.G., Roig, A., Bernal, M.P., (2003) Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity, Bioresources, Technology, Vol.(83), p.p.59-64
- Goyal S, Dhull S, Kapoor K (2005) Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresour Technol 96(14): 1584-1591
- Gray K.R., Sherman and A. J Biddlestone 1971 b. A review of composting Part 2-The practical process. Process biochemistry
- Grigatti M (2004) Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. Bioresour Technol 91 (2): 163-169

- Grigatti M, Cavani L, Ciavatta C (2011) The evaluation of stability during the composting of different starting materials: comparison of chemical and biological parameters. *Chemosphere* 83(1):41-48
- Gunnerson, C., G., (1966) Optimization sampling intervals in tidal estuaries, *Journal Sanit.. Div. of ASCE*, 92: 103-125.
- Hagimura, S., Saitoh, T. and Yagihara, Y (1988) Application of Time Series Analysis and Modern Control Theory to Cement Plant. *Ann Inst. Statist. Math.* 40(3): 419-438.
- Hansen, L.J., Fiok, E.A. and Hovious, C.J. (1980) Dynamic modeling of industrial wastewater treatment plant. *Journal WPCF* 52: 1966-1975
- Harada Y, Inoko A, Tadaki M, Izawa T (1981) Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Sci Plant Nutr* 27(3): 357-364
- Hartz TK, Giannini C (1998) Duration of composting of yard wastes affects both physical and chemical characteristics of compost and plant growth. *Hort Science* 33, 7:1192-1196
- Hassen A, Belguith K, Jedidi N, CherifA, CherifM, Boudabous A (2001) Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresour Technol* 80(3):217-225
- Helfrich P, Chefetz B, Hadar Y, Chen Y, Schnabl H (1998) A novel method for determining phytotoxicity in composts. *Compost Sci Util* 6(3):6-13
- Hipel, K. W., McLeod, A. I., Lennox, W. C., (1977) *Advances in Box-Jenkins Modeling 1. Model Construction*, *Water Resources Research*, 13 (3): 567-575.
- Hirai M, Katayama A, Kubota H (1986) Effect of compost maturity on plant growth. *Biocycle* 27(4):58-61
- Houot S (2002) Gestion des déchets organiques hors effluents d'élevage et résidus de récoltes. In *Stocker du carbone dans les sols agricoles de France. Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable*, edited by INRA ed.148—152
- Huck, P. M., Farquhar, G. J., (1974) *Water Quality Models Using the Box-Jenkins Method*, *Journal Eng. Div. Proceedings of ASCE*, 100 (EE3): 733-752.
- Humenick, J. M., Jr, (1977) *Water and Wastewater Treatment, Calculations for Chemical and Physical Processes*. 1st edn, Marcel Dekker, Inc, New York and Basel.
- Iannotti D, Grebus M, Toth B, Madden L, Hoitink H (1994) Oxygen Respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *J Environ Qual* 23(6):1177
- ICF, (2006) *Humic Acids, Draft Technical Evaluation Report*, Compiled by ICF Consulting for the USADA national Organic Program, p.p.1-10
- Iglesias-Jimenez E, Alvarez C (1993) Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biol Fertil Soils* 16(4):313—318
- Iglesias-Jimenez E, Perez-Garcia V (1989) Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biol Waste* 27:115-142
- Iglesias-Jimenez E, Perez-Garcia V (1991) Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation exchange capacity. *Resour Conserv Recy* 6(1):45-60
- Ingels, R.M. (1980) How to use the computer to analyze test data, *Chem.Eng. Nov.* 145–156.
- Israilides, J. C., Vlyssides, G. A. Mourafeti, N. V., and Karvouni, G. (1997) Olive Oil Wastewater Treatment with the Use of an Electrolysis System, *Bioresource Technology*, 61, 163-170
- Jouraphy A, Amir S, El Gharous M, Revel J, Hafidi M (2005) Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *Int Biodeterior Biodegradation* 56(2):101—108

- Kaiser M (1983) L'analyse de la microbiologie du compost. 1ere partie. Compost information 12:9—13
- Kapetanios E, Loizidou M, Valkanas G (1993) Compost production from Greek domestic refuse. *Bioresour Technol* 44(1): 13—16
- Kaul, S. N., Gadkari, S. K., Deshpande, V. P., Chakardar, B. and Nandy, T. (1990) Design of equalization basin for wastewater treatment facility, *Indian J. Environ. Prot.* 10 (3): 170-174.
- Khan, M.A.I., Ueno, K., Horimoto, S., Komai, F., Someya, T., Inoue, K., Tanko, K., Ono, Y., (2009) CIELAB color variables as indicators of compost stability, *Waste management*, Vol. (29), p.p.2969-2975
- Khater E (2015) Some physical and chemical properties of compost. *International Journal of Waste Resources* 05(01)
- Khudenko, B. M., (1985) Development and Analysis of Equalization Basins, *J. Environ. Eng.*, 111 (6): 907-922.
- Kostov O, Petkova G, Van Cleemput O (1994) Microbial indicators for sawdust and bark compost stability and humification processes. *Bioresour Technol* 50(3):193—200
- Kumar M, Ou Y, Lin J (2010) Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Manag* 30(4):602—609
- Kutsanedzie, F., Rockson, G.N.K., Aklaku, E.D., Achio, S., (2012) Comparisons of Compost Maturity Indicators for two field scale composting systems, *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, Vol. (3), No.(4), p.p.713-720
- Larsen K, McCartney D (2000) Effect of C/N ratio on microbial activity and N retention: bench-scale study using pulp and paper Biosolids. *Compost Sci Util* 8(2):147—159
- Lasaridi K, Stentiford E (1998) A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Res* 32(12):3717—3723
- Lauwers, J., Appels, L., Thompson, I. P., Degreè, J. F., Van Impe, R., Dewil (2013), *Progress in Energy and Combustion Science*, 39, 383-402
- Lasaridi K, Protopapa I, Kotsou M, Pilidis G, Manios T, Kyriacou A (2006) Quality assessment of composts in the Greek market: the need for standards and quality assurance. *J Environ Manag* 80(1):58—65.5
- Leifeld J, Siebert S, Kogel-Knabner I (2001) Stabilization of composted organic matter after application to a humus-free Sandy Mining soil. *J Environ Qual* 30(2):602
- Lina Baeta-Hall, M. C. S. A. M., Lourdes Bartolomeu, Ana M. Anselmo, M. Fernanda Rosa, 2005, "Biodegradation of olive oil husks in composting aerated piles", *Bioresource Technology* 96, 69–78.
- Lungisa Mayende, Brendan S. Wilhelmi, Brett I. Pletschke, (2006), «Cellulases (CMCs) and polyphenol oxidases from thermophilic *Bacillus* spp. isolated from compost», *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2963–2966.
- MacInnes, D. C., Middleton, C. A. and Adamowski, K. (1978) Stochastic Design of Flow Equalization Basins. *Journal Eng. Div. Proceedings of ASCE*, 104 (EE6): 1278-1291
- McMichael, F.J., and Hunter, J. S., (1972) Stochastic Modeling of Temperature and Flows in Rivers, *Water Resources Research*, 8 (3): 87-98.
- Makan A, Assobhei O, Mountadar M (2013) Effect of initial moisture content on the in-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in Morocco. *Iranian J Environ Health Sci Eng* 10(1):3
- Mangkoedihardjo, S., (2006) Reevaluation of Maturity and Stability Indices for Compost, *Journal. Applied. Science. Environment. Management*, Vol. 10 (3) p.p.83-85
- Mayhew, L., (2004) Humic substances in biological agricultural systems. *Acres*, Vol (34), No (1&2).

- Mbuligwe S, Kassenga G, Kaseva M, Chaggu E (2002) Potential and constraints of composting domestic solid waste in developing countries: findings from a pilot study in DarEs-salaam, Tanzania. *Resour Conserv Recy* 36(1):45—59
- McKinley V, Vestal J (1985) Effects of different temperature regimes on microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Can J Microbiol* 31(10):919—925
- Michel F, Reddy C (1998) Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench-scale reactors. *Compost Sci Util* 6(4):6—14
- Mondini C, Fornasier F, Sinicco T (2004) Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biol Biochem* 36(10):1587—1594
- Morel JL (1982) L'évaluation de la maturité des composts urbains par une méthode colorimétrique. *Compost Information*, 10, 4—8.
- Murrill, P. W., Pike, R. W., and Smith, C. L. (1968) Development of Dynamic Mathematical Models, *Chem. Eng.* 9: 117-120.
- Murrill, P. W., Pike, R. W., and Smith, C. L. (1968) The Basis for Bode Plots, *Chem. Eng. Oct. 7: 177-182.*
- Mustin M (1987) *Le compost: La gestion de la matière organique.* Francois Dubusc, Paris. p. 954
- Nappi P, Barberis R (1993) Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Horti* 342:249— 256
- Navarro A, Cegarra J, Roig A, Garcia D (1993) Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. *Bioresour Technol* 44(3):203—207
- Niaounakis M. and Halvadakis C.P. (2004) *Olive Mill Waste Management.* Typothito-George Dardanos. Athens
- Nicolardot B, Chaussod R, Morel JL, Guckert A, Benistant D, Catroux G, Germon JC (1986) Appreciation simple de la maturité des composts urbains en relation avec les effets sur la production végétale. *Agronomie* 6:819—827
- Novorny, V. and Engle, J. A., Jr, (1974) Equalization Design Techniques for Conservative Substances in Wastewater Treatment Systems. *Water Res.*, 8: 325-332.
- Otles, S., Selek, I., (2012), Treatment of Olive Mill Wastewater and the use of polyphenols Obtained after treatment, *International Journal of food studies*, Volume, (1), p.p.58-100
- Papendick RI and Campbell GS (1981) Theory and measurement of water potential. In: Parr JF, Gardner WR and Elliott LF (eds.) *Water Potential Relations in Soil Microbiology*, SSSA special publication. Wis. U.S.A. Soil Sci Soc Am J: Madison, 9:1—22
- Paraskeva, P. & Diamadopoulos, E. (2006), Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Volume 81, pp 1475 – 1485.
- Paredes C., Bernal M.P., Roig A. & Cegarra J. & Sanchez-Monedero M.A.(1999), Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes, *Bioresources Technology*, Vol (67), p.p.111-115
- Patry, G. G. (1981) Design of Equalization basins through dynamic simulation, *Water Pollut. Res. J. Can.*, 15 (4): 319-338.
- Plaza, C., Senesi, N., Brunetti, G., Mondelli, D., (2007) Evolution of the fulvic acid fractions during co-composting of olive oil mill wastewater sludge and tree cuttings, *Bioresource Technology*, Vol (98), p.p. 1964-1971
- Pichler M, Kogel-Knabner I (2000) Chemolytic analysis of organic matter during aerobic and anaerobic treatment of municipal solid waste. *J Environ Qual* 29:1337—1344
- Poincelot RP (1972) Biochemistry and methodology of composting. *Connecticut Experiment Station Bull*, 727: 1— 38. <https://archive.org/details/biochemistrymeth00poin> (Accessed 17 February 2017).

- Quano, E. A. R., (1977) Developing a methodology for design of equalization basins, *Water Sewage Works*, 124 (11): 48-52.
- Reynolds, E., Gibbon, D. J., and Attwood, D. (1964) Smoothing Quality Variations in Storage Chests Holding Paper Stock, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 42: T 13.
- Riffaldi R, Levi-Minzi R, Pera A, de Bertoldi M (1986) Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Manag Res* 4(1):387-396
- Roletto E, Barberis R, Consiglio M, Jodice R (1985) Chemical parameters for evaluating compost maturity. *Biocycle* 26:46-47
- Roman P, Martinez MM and Pantoja A (2015) *Farmer's Compost Handbook: Experiences in Latin America*. FAO Rome. ISBN: 978-92-5-107845-7. <http://www.fao.org/3/a-i3388e.pdf> (Accessed 06 February 2017).
- Rossel, R.A.V., Minasny, B., Roudier, P., McBratney, A.B., (2006) Colour space models for soil science, *Geoderma*, Vol. (133), p.p. 320-337
- Rynk, R. 1992. *On-farm composting handbook (NRAES-54)*. Cooperative Extension. Ithaca, N.Y. p. 186
- Saharinen M (1998) Evaluation of changes in CEC during composting. *Compost Sci Util* 6(4):29-37
- Sanchez-Monedero M, Roig A, Paredes C, Bernal M (2001) Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresour Technol* 78(3):301- 308
- Saviozzi A, Levi-Minzi R, Riffaldi R (1988) Maturity evaluation of organic wastes. *Biocycle* 29:54-56 Scaglia B, Tambone F, Genevini P, Adani F (2000) Respiration index determination: dynamic and static approaches. *Compost Sci U* 8(2):90-98
- Seal, A., Bera, R., Chatterjee, A.K., Dolui, A.K., (2011), Evaluation of a new composting method in terms of its biodegradation pathway and assessment of compost quality, maturity and stability, *Archives of Agronomy and Soil Science*, p.p.1-18
- Schumann G, Soares H, Holden C, Switzenbaum M (1993) Relationship of traditional parameters of compost stability to turfgrass quality. *Environ Technol* 14(3):257-263
- Sharma V, Canditelli M, Fortuna F, Cornacchia G (1997) Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. *Energ Convers Manage* 38(5):453-478
- Speece, R. E., and LaGrega, M. D., (1976) Flow Equalization by use of Aeration Tank Volume, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 48(11): 2599-2608
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (2014), Method 4500 P-Phosphorus.
- Steel H, De La Pena E, Fonderie P, Willekens K, Borgonie G, Bert W (2010) Nematode succession during composting and the potential of the nematode community as an indicator of compost maturity. *Pedobiologia (Jena)* 53(3):181-190
- Strom PF (1985) Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Appl Environ Microbiol.* 50:4 899-905. <http://aem.asm.org/content/50/4/899.full.pdf+html> (Accessed 17 February 2017).
- Sugahara K, Harada Y, Inoko A (1979) Color change of city refuse during composting process. *Soil Sci Plant Nutr* 25(2):197- 208. doi:10.1080/00380768.1979.10433160 (Accessed 17 February 2017)
- Taylor, K.J. 1995. *Statistical Techniques for Data Analysis*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY
- Thomann, R. V. (1967) Time series analysis of water quality data. *Journal Sanit.. Div. of ASCE*, 93: 1-23.

Thomsen M, Lassen P, Dobel S, Hansen P, Carlsen L, Mogensen B (2002) Characterisation of humic materials of different origin: a multivariate approach for quantifying the latent properties of dissolved organic matter. *Chemosphere* 49(10): 1327-1337

Thomas, A.H. 1950. Graphical determination of B.O.D. curve constants. *Water Sewage Works* 97:123-124.

Tiquia, S. M. . Tam, N. F. Y. , Hodgkiss, I. J., (1996), «Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents microbial» *Bioresource Technology* 55, p.p.201-206.

Tiquia S, Tam N (1998) Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresour Technol* 65(1-2):43-49

Tiquia S, Tam N, Hodgkiss I (1997) Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. *Bioresour Technol* 62(1-2):37-42

Tsiodra, C., Lambrou, G., Vlyssides, G.A., and Vlysidis, A.A. (2017) Dynamic model of humic and fulvic compounds determination in compost. 5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Athens

Tsiodra, C., Lambrou, G., Seintis, G., and Vlyssides G.A. (2016) A novel respirometer for determination of compost stability. 4th Int Conf on Sustainable Solid Waste Management, Limassol, Cyprus

Tuomela M (2000) Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour Technol* 72(2):169-183

Vallini G, Pera A, Vadrighi M and Cecchi F (1993) Process constraints in source-collected vegetable waste composting. *Water Sci Technol*, 28, 2:229-236. https://www.researchgate.net/profile/Giovanni_Vallini/publication/263582162_Process_constraints_in_sourcecollected_vegetable_waste_composting/links/53e4cd4d0cf25d674e94ee0d.pdf (Accessed 17 February 2017).

Vasiliadou, I.A., Mukhtadirul Bari Chowdhury, A.K.Md., Akratos, C.A., Tekrlekopoulou, A.G., Pavlou, S., Vagenas, D.V., (2015), Mathematical modeling of olive mill waste composting process, *Waste Management*, Vol (43), p.p.61-71, Elsevier

Velasco, M.I., Campitelli, P.A., Ceppi, S.B., Havel, J., (2004) Analysis of humic acid from compost of urban wastes and soil by fluorescence spectrometry, *Agriscientia*, Vol. XXI (1), p.p 31-38

Veeken A, Nierop K, Wilde V, Hamelers B (2000) Characterisation of NaOH-extracted humic acids during composting of a biowaste. *Bioresour Technol* 72(1):33-41

Vlyssides, G. A., Bouranis, D., Loizidou, M. and Karvouni, G. (1996) Study of a demonstration plant for co-composting of olive oil processing wastewater and solid residue, *Bioresource Technology*, 56,187 - 193

Vlyssides G.A., Bouranis, L.D. and Loizidou M. (1997) A Mathematical Approach for Evaluation of Nutrient Elution Kinetics from Organic Soil Conditioners. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28(6-8): 509-520.

Vlyssides, G. A., Loizidou, M., Gimouhopoulos, K., and Zorpas, A. (1998) Olive oil processing wastes production and their characteristics in relation to olive oil extraction methods, *Fresenius Envir. Bull.*, 7, 308-313

Vlyssides, G. A., Loizidou, M., Zorpas, A. A. (1999) Characteristics of solid residues from olive oil processing as bulking material for co-composting with industrial wastewaters, *J. Environ. Sci. Health*, A34(3), 737-748

Vlyssides, G. A., Loizides, J. M., Karlis, K. P., and Simonetis, I. S. (2002) Olive Stone Oil Production Wastes and Their Characteristics, *Fresenius Envir. Bull.*, 11, No. 12b, 1114-1118

Vlyssides, A.G. (2003). IMPEL Olive Oil Project Report - CMA & NOA. Number Report 2003/3, Project Manager: M6ndez Miguel, Rome, Nov. 2003; number of pages, report: 33 and annexes: 61. European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law (IMPEL) (<http://europa.eu.int/comm/environment/impel>).

Vlyssides, A.G., Loizidou, M., & Karlis, P.K. (2004). Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products. *J. Clean. Prod.*, 12 (6), 603-611.

Vlyssides, A., Loukakis H., Mai S., Barampouti, E. M. and Karlis, P. (2007) Olive Mill Wastewater by Applying pH Related Fenton Oxidation Procedure, Fresenius Envir. Bull., 13(6):501-504

Vlyssides A., Barampouti E.M., Mai S. Physical characteristics of olive stone wooden residues: possible bulking material for composting process, Biodegradation (2008), 19 (2),209-214

Vlyssides, A, Mai S., and Barampouti, E. M. (2009) An integrated mathematical model for co-composting of agricultural solid wastes with industrial wastewater. Bioresource Technology, 100: 4797-4806.

Vlyssides , A., Lamprou, G., Vlysidis A., Tsiotra, C., Seintis G., Bampalioutas K. (2016) Anaerobic Digestion of olive mill wastewater after detoxification using Fenton reagents. 4th Int Conf on Sustainable Solid Waste Management. Limassol, Cyprus.

Vlyssides, G.A., Lamprou, K.G., and Vlysidis, A. (2017) Industrial case studies on the detoxification of OMWW using Fenton oxidation process followed by biological processes for energy and compost production. In Olive Mill Waste Recent Advances for Sustainable Management, 119–138

Vobrkov S, Vaverkova M, Adamcova D (2016) Enzyme production during composting of aliphatic-aromatic copolyesters in organic wastes. Environ Eng Sci. doi:10.1089/ees.2015.044

Wallace, A. T., and Zollman D. M. (1971) Characterization of time-varying organic loads. Journal Sanit.. Div. of ASCE, 97(SA3): 257-268.

Wallace, A. T., (1968) Analysis of Equalization Basins. Journal Sanit.. Div. of ASCE, 94(SA6): 1161-1173.

Wang, J., Zhou, Y., Dong, C., Shen, Q., Putheti, R., (2009) Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$ ratios on growth, nitrate uptake and organic acid levels of spinach (*Spinacia oleracea* L.), African Journal of Biotechnology, Vol (8), No(15), p.p.3597-3602

Wichuk K, McCartney D (2013) Compost stability and maturity evaluation—a literature review. J Environ Eng Sci 8(5):601- 620

Wolf, D., and Resnick, W., (1963) Residence Time Distribution in Real Systems, Industrial Engineering Chemistry-Fundamentals, 2 (4): 287-293.

Woodbury P, Breslin V (1992) Assuring compost quality: suggestions for facility managers, regulators, and researchers. Biomass Bioenergy 3(3-4):213-225

Wyszecki, G., W.S. Stiles, (1982), Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, (Second Edition) Wiley, New York (1982), ISBN: 978-0-471-39918-6

Ελληνική βιβλιογραφία

Γεωργακάκης Δ., Νταλής Δ. Κώνστας Στ. ανδ Ψαρουδάκης Ε. (1991) Προοπτικές Ολοκληρωμένης Επεξεργασίας-Αξιοποίησης των Υγρών Αποβλήτων Ελαιουργείων μετά από καθίζηση. Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Παράρτημα Κρήτης, Διεθνές Συμβούλιο Ελαιολάδου, Χανιά

Γεωργακαράκος Κ., (2013), «Επεξεργασία και αξιοποίηση υγρών λυμάτων ελαιουργείου», Πτυχική εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας

ΚΥΑ 10537/93, «Καθορισμός αντιστοιχίας της κατάταξης των βιομηχανικών-βιοτεχνικών δραστηριοτήτων της ΚΥΑ 69269/90 με την αναφερόμενη στις πολεοδομικές ή και σε άλλες διατάξεις διάκριση των δραστηριοτήτων σε χαμηλή μέση και υψηλή όχληση» (ΦΕΚ 139/Β/11-3-93), της 18ης Φεβρουαρίου 1993, Αθήνα, Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας

Μαρίνος Ε. (1991) Συμπύκνωση δια Λιμνάσεως. Πρακτικά Διεθνούς Σεμιναρίου «Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείου», Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Παράρτημα Κρήτης, Διεθνές Συμβούλιο Ελαιολάδου, Χανιά.

Μπαλής Κ., Χατζηπαυλίδης Ι. και Φλουρή Φ. (1991) Ολοκληρωμένο σύστημα Διαχείρισης των Υγρών Αποβλήτων Ελαιωτριβείων. Πρακτικά Διεθνούς Σεμιναρίου «Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείου», Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Παράρτημα Κρήτης, Διεθνές Συμβούλιο Ελαιολάδου, Χανιά.

Ντόλια Σ., (2007), «Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Νόμος 1650/86, «Για την προστασία του περιβάλλοντος», της 16 Οκτωβρίου 1986 (ΦΕΚ 160/Α/16-10-86), Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας

ΝΟΜΟΣ 2516/1997 (ΦΕΚ Α' 159/8.8.97) «Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων και άλλες διατάξεις», της 8ης Αυγούστου 1997, Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας

Νόμος 2244/94 (ΦΕΚ 168/7.10.1994), «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις», της 7ης Οκτωβρίου 1994, Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας

Οδηγία 2006/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Απριλίου 2006, για τα στερεά απόβλητα, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οδηγία 2004/35/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 21ης Απριλίου 2004, σχετικά με την περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημίας, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ποντίκης, Α.Κ. (2000) Ειδική Δενδροκομία Ελαιοκομία, Τρίτος Τόμος, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης Αθήνα.

Σκιαδά Β., (2011), «Μελέτη της μικροβιακής ποικιλότητας κατά τη συγκομποστοποίηση στερεών και υγρών αγροτοβιομηχανικών υποπροϊόντων με την χρήση μοριακών τεχνικών», Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.

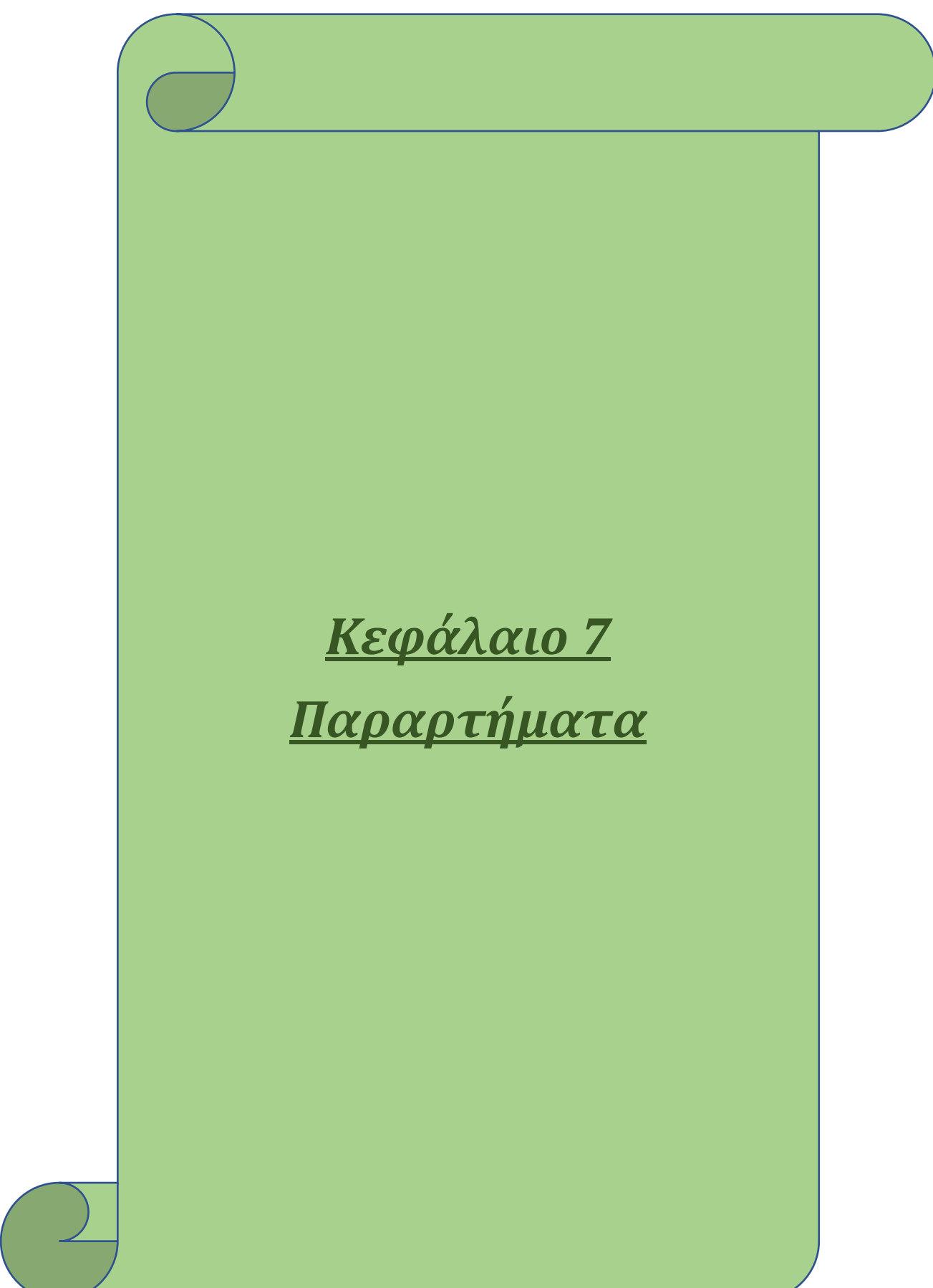
Τσώνης Σ.Π. (1995) Αναερόβια Επεξεργασία Φυσικοχημικά Προεπεξεργασμένων Φρέσκων Αποβλήτων Ελαιοτριβείων Πρακτικά 2ης Διεθνούς Έκθεσης και Συνεδρίου για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, HELECO '95, τόμος Ι, Αθήνα.

Τσώνης Σ.Π. (1991) Επαναχρησιμοποίηση Ιλύος από τη Φυσικοχημική Προεπεξεργασία Αποβλήτων Ελαιουργείων. Πρακτικά Διεθνούς Σεμιναρίου «Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείου», Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Παράρτημα Κρήτης, Διεθνές Συμβούλιο Ελαιολάδου, Χανιά.

ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ: Αριθ. 69269/5387/90 Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθορισμός περιεχομένου ειδικών περιβαλλοντικών μελετών (ΕΠΜ) και λοιπές συναφείς διατάξεις, σύμφωνα με το Ν. 1650/1986. (ΦΕΚ 678/Β/25-10-90), ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.

ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ: Αριθ. Ειβ 221/4565 Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων. (ΦΕΚ 138/Β/24-2-65), ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε

Χίου, Γ. Βλυσίδης, Α., Ζορπάς, Α., και Αράπογλου, Δ.,(2001), «Συσχέτιση φυσικοχημικών παραμέτρων κομποστοποιημένων υποστρωμάτων με τη φυτοτοξικότητα», Πτυχιακή εργασία Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας, Αθήνα.



Κεφάλαιο 7
Παραρτήματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Αναλυτικά πειραματικά αποτελέσματα

Πίνακας 1. Πειραματικά αποτελέσματα κύριου Πειράματος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Επίλυση μαθηματικού μοντέλου αφομοίωσης των λιπαρών ενώσεων

Απόδειξη των σχέσεων [11] και [12]

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί όλα τα πειραματικά δεδομένα και είναι απλή, ακριβής και σχετικά εύκολη. Βασικά η μέθοδος στηρίζεται στην ομοιότητα των δυο παρακάτω σχέσεων:

$$F_1 = 1 - 10^{-K \cdot t} \quad [15]$$

$$F_2 = (2,3K \cdot t) \cdot \left[1 + \left(\frac{2,3}{6}\right)K \cdot t\right]^{-3} \quad [16]$$

Οι εξισώσεις [15] και [16] μπορούν να αναπτυχθούν υπό μορφή σειρών ως ακολούθως:

$$F_1 = (2,3K \cdot t) \cdot \left[1 - \frac{1}{2}(2,3K \cdot t) + \frac{1}{6}(2,3K \cdot t)^2 - \frac{1}{24}(2,3K \cdot t)^3 + \dots\right] \quad [17]$$

$$F_2 = (2,3K \cdot t) \cdot \left[1 - \frac{1}{2}(2,3K \cdot t) + \frac{1}{6}(2,3K \cdot t)^2 - \frac{1}{21,6}(2,3K \cdot t)^3 + \dots\right] \quad [18]$$

Οι τρεις πρώτοι όροι των σειρών [17] και [18] είναι όμοιοι και η μικρή διαφορά στους μετέπειτα όρους επηρεάζει ελάχιστα την τιμή των F_1 και F_2 . Έτσι με αρκετά μεγάλη προσέγγιση μπορεί να γίνει δεκτό $F_1 = F_2$ οπότε από την [15] και [16] η εξίσωση $y = (1 - e^{-k \cdot t}) \cdot L$ του κειμένου μπορεί να γραφεί:

$$y = (2,3K \cdot t) \cdot \left[1 + \left(\frac{2,3}{6}\right)K\right]^{-3} \cdot L \quad [19]$$

Η εξίσωση [19] μπορεί να γραφεί με τη μορφή:

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{1/3} = \frac{1}{2,3 \cdot K \cdot L^{1/3}} + \frac{(2,3 \cdot K)^{2/3}}{6(L)^{1/3}} \cdot t \quad [20]$$

Η εξίσωση [20] είναι γραμμική σε συντεταγμένες $(t/y)^{1/3}$ και t και απεικονίζεται με την καμπύλη του σχήματος ΙΙ,1.

Η τομή της ευθείας με τον κάθετο άξονα προσδιορίζει την παράμετρο A και η κλίση της ευθείας την B . Τα A και B προσδιορίζονται από την εξίσωση [20]

$$A = (2,3 \cdot K \cdot L)^{-1/3} \quad [21]$$

$$B = \frac{(2,3 \cdot K)^{2/3}}{6 \cdot L^{1/3}} \quad [22]$$

Αν το $L^{1/3}$ υπολογιστεί από την [21] και η τιμή εισαχθεί στην [22] προκύπτει:

$$B = \frac{(2,3 \cdot K)^{2/3} \cdot A}{6 \cdot (2,3 \cdot K)^{-1/3}} = \frac{2,3 \cdot K \cdot A}{6} \text{ και } K = 2,61 \cdot B/A$$

Αν η τιμή του K αντικατασταθεί στην εξίσωση [21] τότε:

$$L = \frac{1}{6 \cdot A^2 \cdot B}$$