



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ Ι: ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ
ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΤΗ



ΟΝΟΜΑ: Πεζούλας Ιωάννης

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Λοϊζίδου Μαρία

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του Προπτυχιακού Διπλώματος Χημικού Μηχανικού, την περίοδο 2011 – 2012. Το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Με την ολοκλήρωση της συγγραφής, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π., κα. Λοϊζίδου Μαρία, για την ανάθεση της ερευνητικής αυτής μελέτης, καθώς και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της εργασίας αυτής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Χημικό Μηχανικό κ. Μαργαρίτη Μάρκο, του οποίου η συνεχής βοήθεια και καθοδήγηση ήταν καθοριστική τόσο για την διεξαγωγή των πειραμάτων όσο και για τη συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., τόσο για το φιλικό κλίμα εντός του εργαστηρίου όσο και για τη συνεργασία και τη συμπαράστασή τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	<u>iii</u>
<u>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</u>	<u>v</u>
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	<u>ix</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>xi</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</u>	<u>1</u>
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Νομοθετικό Πλαίσιο και Αρχές Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	3
1.3. Οργανικό Κλάσμα Αστικών Στερεών Αποβλήτων	12
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</u>	<u>15</u>
ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	15
2.1. Εισαγωγή	15
2.2. Ανάκτηση Υλικών: Επαναχρησιμοποίηση-Ανακύκλωση	17
2.2.1. Συστήματα Διαλογής	17
2.2.2. Διάθεση Ανακυκλωμένων Υλικών στην Αγορά	18
2.3. Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας	20
2.3.1. Γενικά	20
2.3.2. Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία	21
2.3.3. Μονάδες Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας	22
2.3.4. Βιολογική Ξήρανση	23
2.4. Θερμικές Μέθοδοι Επεξεργασίας	24
2.4.1. Γενικά	24
2.4.2. Αποτέφρωση-Καύση	26
2.4.3. Πυρόλυση	27
2.4.4. Αεριοποίηση	29

2.4.5. Αεριοποίηση/Υαλοποίηση με την τεχνική πλάσματος.....	29
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</u>	<u>31</u>
ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	31
3.1. Εισαγωγή.....	31
3.2. Μικροοργανισμοί Κομποστοποίησης-Φάσεις Ζύμωσης.....	32
3.3. Παράμετροι Κομποστοποίησης.....	34
3.3.1. Αρχική σύσταση οργανικού κλάσματος.....	35
3.3.2. Αερισμός του οργανικού υλικού.....	36
3.3.3. Θερμοκρασία.....	38
3.3.4. Υγρασία.....	39
3.3.5. Λόγος Άνθρακα/Αζώτου (C/N).....	40
3.4. Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης.....	41
3.4.1. Ανοιχτά Συστήματα Κομποστοποίησης.....	41
3.4.2. Κλειστά Συστήματα Κομποστοποίησης.....	46
3.5. Οικιακή Κομποστοποίηση.....	49
3.6. Οφέλη Κομποστοποίησης.....	51
3.7. Δυνατότητες Διάθεσης του Κομπόστ.....	52
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</u>	<u>55</u>
ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	55
4.1. Εισαγωγή.....	55
4.2. Πριονίδι-Ροκανίδι.....	55
4.3. Ζεόλιθος.....	56
4.3.1. Ο κλινοπιλόλιθος.....	57
4.4. Βερμικουλίτης.....	59
4.4.1. Δομή.....	59
4.4.2. Χρήσεις.....	60
4.5. Περλίτης.....	61

4.5.1. Χρήσεις.....	63
4.6. Το ώριμο κομπόστ ως πρόσθετο.....	64
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</u>	<u>65</u>
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	65
5.1. Εισαγωγή.....	65
5.2. Το πρότυπο σύστημα οικιακής κομποστοποίησης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων.....	65
5.3. Μεθοδολογία Μετρήσεων.....	67
5.3.1. Προσδιορισμός θερμοκρασίας.....	68
5.3.2. Προσδιορισμός υγρασίας.....	68
5.3.3. Προσδιορισμός pH.....	69
5.3.4. Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	69
5.3.5. Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS).....	70
5.3.6. Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).....	70
5.3.7. Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN).....	72
5.3.8. Προσδιορισμός νιτρικών.....	75
5.3.9. Προσδιορισμός αμμωνιακών.....	77
5.3.10. Προσδιορισμός αναλογίας C/N.....	79
5.3.11. Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων.....	79
5.3.12. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας.....	81
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</u>	<u>83</u>
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	83
6.1. Εισαγωγή.....	83
6.2. Χαρακτηρισμός πρώτης ύλης και σύνθεση υλικού τροφοδοσίας.....	84
6.3. Δειγματοληψία και ανάλυση υποστρώματος.....	86
6.4. Κύκλος Πειραμάτων.....	87
6.5. Σύγκριση Διαφορετικών Πειραματικών Κύκλων ως προς το λόγο C/N με σταθερή παράμετρο το πρόσθετο.....	118

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</u>	<u>181</u>
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	181
7.1. Εισαγωγή.....	181
7.2. Αξιολόγηση Κόμποστ.....	181
7.2.1. Βαρέα Μέταλλα.....	181
7.2.2. Οργανικοί Ρύποι.....	182
7.2.3. Παθογόνοι Μικροοργανισμοί.....	182
7.3 Αξιολόγηση μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων.....	183
7.4. Συμπεράσματα.....	196
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	<u>200</u>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το οργανικό κλάσμα των οικιακών απορριμμάτων είναι ένα σημαντικό ρυπαντικό φορτίο και χρήζει σωστής διαχείρισης. Η κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος με τον διαχωρισμό στην πηγή παραγωγής τους, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία χρήσιμου προϊόντος. Οι διεργασίες κομποστοποίησης όπως και ο αντιδραστήρας που χρησιμοποιούνται μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο τη μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος που προκύπτει από τα βιοαποδομήσιμα οικιακά απορρίμματα με τη χρήση πρότυπου κάδου κομποστοποίησης, ειδικά σχεδιασμένου από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και συγκεκριμένα από το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος της σχολής Χημικών Μηχανικών, καθώς και την παρακολούθηση των συνθηκών εξέλιξης της διαδικασίας της κομποστοποίησης κατά τη λειτουργία του κάδου. Μελετάται η συμπεριφορά των φυσικοχημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του παραγόμενου προϊόντος κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κάδου και μετά τη διακοπή λειτουργίας του, ενώ δίνεται έμφαση στην μελέτη των επιδράσεων που έχουν τα φυσικά ορυκτά όταν αυτά προστεθούν στο προς κομποστοποίηση μίγμα. Τέλος πραγματοποιείται μελέτη της επίδρασης του αρχικού λόγου C/N στο τελικό προϊόν.

Στο πρώτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται περιγραφή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας που προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αφορά στον τρόπο επεξεργασίας, διαχείρισης και τελικής διάθεσης των στερεών αποβλήτων και γίνεται αναφορά στη σύσταση και τις ιδιότητες του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τις μεθόδους που έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί μέχρι σήμερα και αφορούν στον τρόπο διαχείρισης και τελικής διάθεσης των στερεών αποβλήτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής περιγραφή της κομποστοποίησης αναφορικά με τους παράγοντες που την επηρεάζουν, λειτουργικά προβλήματα που πιθανό να αντιμετωπίσουμε, εγκαταστάσεις και συστήματα που υπάρχουν, δίνοντας έμφαση στην οικιακή κομποστοποίηση.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην διεργασία της κομποστοποίησης. Πραγματοποιείται περιγραφή στα διάφορα ορυκτά που χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσθετα για τις ανάγκες των πειραμάτων, σχετικά με τη δομή, τις ιδιότητες και τη χρήση των ορυκτών αυτών (ζεόλιθος, βερμικουλίτης, περλίτης). Τέλος γίνεται σύντομη αναφορά στο πριονίδι και το ώριμο κόμποστ ως πρόσθετα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας. Ταυτόχρονα αναπτύσσεται συζήτηση, αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων ξεχωριστά για κάθε αντιδραστήρα με τη βοήθεια συγκριτικών διαγραμμάτων. Στη συνέχεια ακολουθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων του παρόντος πειραματικού κύκλου με εκείνα προγενέστερων πειραματικών κύκλων με διαφορετική αρχική σύσταση υποστρώματος.

Στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται αξιολόγηση του παραγόμενου προϊόντος και εξάγονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το έκτο κεφάλαιο.

Συμπερασματικά στον πρότυπο κομποστοποιητή με αρχικό σταθερό λόγο $C/N=20$ η διεργασία της κομποστοποίησης εκτελέστηκε ικανοποιητικά και παράχθηκε υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό εντός προδιαγραφών, οι ιδιότητες του οποίου βελτιώνονται με την προσθήκη φυσικών ορυκτών. Ωστόσο μετά από σύγκριση με προγενέστερους κύκλους συμπεραίνουμε ότι ο βέλτιστος αρχικός λόγος C/N του υποστρώματος αντιστοιχεί στο 30.

ABSTRACT

The organic fraction of household waste is a significant pollutant load and requires proper management. The composting of the organic fraction by separating the source of production, can create useful product. The composting processes as well as the reactor used can significantly affect the quality of the final product.

The main focus of the following thesis is to study the properties of the product derived from the composting of household waste which took place inside a specifically designed by the National Technical University and in particular by the Laboratory Environmental Science and Technology School of Chemical Engineering, compost reactor, as well as the results obtained from a vast number of measurements. Four reactors were used in total and measurements were taken from all four reactors. The physical and chemical properties of the product were scrutinized during the composting process and after its removal from the reactor. Detailed analysis has been made on the effect of the C/N ratio and the minerals or sawdust used, identified as major components of the process.

The first chapter is a description of the initial environmental legislation set out by the European Union concerning the method of processing, handling and disposal of solid waste and refers to the composition and properties of the organic fraction of the waste.

The second chapter deals with the methods that have been studied and developed to date and focuses on the different ways in which the management and disposal of solid waste take place.

The third chapter is an extensive description of composting regarding the factors that affect it, the operational problems likely to confront and the facilities and systems in place, focusing on home composting.

The fourth chapter refers to the additional materials used in the composting process. There is a description of the various minerals used as additives for the purposes of the experiments on the structure, properties and use of those minerals (zeolite, vermiculite, perlite). Finally, there is a brief reference to the sawdust and the mature compost as additives.

The fifth chapter describes the experimental procedure followed and the methodology used to conduct the experimental part of this thesis.

In the sixth chapter, the results of the experimental procedure are presented. Simultaneously follows a discussion, evaluation and interpretation of results for each reactor using comparative diagrams and then a comparison of the results of this test cycle with those of previous experimental cycles with different initial substrate composition.

The seventh chapter gives an assessment of the product produced and exports the conclusions according to the sixth chapter.

Finally by the standard composter with initial fixed ratio $C / N = 20$ the composting process performed well and produced high quality compost within specifications, the properties of which are improved by the adding natural minerals. But after comparing with previous cycles we conclude that the optimal initial C / N ratio to the substrate corresponds to 30.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Ως περιβάλλον ορίζεται “το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα της ζωής, την υγεία των κατοίκων την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες”. Επιτακτική μοιάζει να είναι η ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας, με τα τόσα περιβαλλοντικά προβλήματα, για διαχείριση του περιβάλλοντος κατά αειφόρο τρόπο. Δηλαδή κατά τρόπο, ο οποίος θα ικανοποιεί τις ανάγκες των σημερινών γενεών, χωρίς να διακυβεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες.

Ένας από τους παράγοντες, που αποτελούν σημαντική επιβάρυνση για το περιβάλλον, είναι τα στερεά απόβλητα που παράγονται από κάθε μορφής παραγωγική ή καταναλωτική ανθρώπινη δραστηριότητα. Ο όγκος των απορριμμάτων που παράγουμε συνεχώς αυξάνει λόγω της αύξησης του ρυθμού ανάπτυξης, αλλά και της αλλαγής στα καταναλωτικά πρότυπα. Ταυτόχρονα, όμως, αυξάνεται και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης και γίνεται ολοένα και πιο έντονη η απαίτηση των πολιτών, για την ορθή διαχείρισή τους.

Τα στερεά απόβλητα εμφανίζουν μια εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία τύπων και ποσοτήτων που οφείλεται, αφενός στην πληθυσμιακή αύξηση σε παγκόσμια κλίμακα, αφετέρου, στην αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας, στο κατώφλι του 21^{ου} αιώνα. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων με τεχνικές και μεθόδους αντιρρύπανσης, αποτελεί βασική προτεραιότητα τόσο για τις αναπτυγμένες, όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι κοινές διεθνείς δράσεις προς την κατεύθυνση αυτή έχουν διατυπωθεί ήδη σε παγκόσμιο επίπεδο με τη Συνθήκη – Πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές (*Πρωτόκολλο Κιότο*). Παράλληλα με το βασικό στόχο της Συνθήκης, ο οποίος είναι η ‘σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες’, ενθαρρύνεται η δημιουργία μηχανισμών ‘καθαρής’ ανάπτυξης, συνιστώσα των οποίων αποτελούν οι εγκαταστάσεις περιβαλλοντικά αποδεκτής διαχείρισης κάθε μορφής και ποσότητας παραγόμενων αποβλήτων. [8]

Οι σύγχρονες τάσεις ολοκληρωμένης διαχείρισης στερεών αποβλήτων, προσανατολίζονται στη δημιουργία εγκαταστάσεων αξιοποίησης των διαφόρων ρευμάτων, διασφαλίζοντας, ή έστω, στοχεύοντας στην αποφυγή διάθεσης τους στο περιβάλλον, δηλαδή, στον υπόγειο, επίγειο και υπέργειο ορίζοντα, μέσω της ανεξέλεγκτης εναπόθεσής τους στις χωματερές (ΧΑΔΑ) ή ακόμα και σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ). Κύριοι πυλώνες ως προς τη σκοπιμότητα ανάπτυξης των εν λόγω εγκαταστάσεων αποτελούν, αφενός ο μετασχηματισμός των αποβλήτων σε αξιοποιήσιμο και περιβαλλοντικά ‘φιλικό’ προϊόν, αφετέρου, η διασφάλιση ότι, ο μετασχηματισμός αυτός δεν δρα επιβαρυντικά στο περιβάλλον.

Το μεγαλύτερο κλάσμα των στερεών αποβλήτων που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ αποτελούν τα βιοαποδομήσιμων στερεά απόβλητα, τα οποία ορίζονται ως τα απόβλητα που μπορούν να αποδομηθούν με αερόβιες ή αναερόβιες διεργασίες. Η σημαντικότητα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων έγκειται στην εκτροπή τους από τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ) και την παράλληλη αξιοποίησή τους. Κατά την εναπόθεση της ροής αυτής των αποβλήτων στους ΧΥΤΑ διαμορφώνονται συνθήκες αναερόβιας βιοαποδόμησης με τη συνεπακόλουθη εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων βιοαερίου (μίγμα οργανικών και ανόργανων αερίων) και την παραγωγή στραγγισμάτων βεβαρημένων με υψηλό οργανικό και ανόργανο φορτίο. Η διαδικασία αυτή διαρκεί αρκετά χρόνια μετά τη διάθεση των αποβλήτων. Το μείζον διαχειριστικό πρόβλημα αναφορικά με την ταφή των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων αποτελεί η εκπομπή βιοαερίου με υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο το οποίο περιλαμβάνεται στα χημικώς δραστικά αέρια θερμοκηπίου συμβάλλοντας στις κλιματικές αλλαγές. Συνεπώς, η εκτροπή τους από τους ΧΥΤΑ δύναται να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των επιπτώσεων στις κλιματικές αλλαγές [12]. Εκτός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκύπτει από τη διάθεση της ροής αυτής των στερεών αποβλήτων στους ΧΥΤΑ, η περιεχόμενη σε αυτά οργανική ουσία και τα θρεπτικά συστατικά δεν είναι πλέον αξιοποιήσιμα προς ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση.

Τα βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα διαθέτουν, στην πλειονότητά τους, επάρκεια κυρίως σε οργανική ουσία και λιγότερο σε θρεπτικά συστατικά. Εντούτοις, η μη σταθεροποιημένη οργανική ουσία σε συνδυασμό με ενδεχόμενη παρουσία ρυπογόνων στοιχείων (π.χ. συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, παθογόνοι μικροοργανισμοί), χρήζουν απαραίτητη την κατάλληλη επεξεργασία τους. Η αερόβια βιολογική επεξεργασία (κομποστοποίηση) των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων αποτελεί την πλέον απλή, ασφαλή και κατανοητή

τεχνολογία με την οποία μπορεί να επιτευχθεί τόσο η σταθεροποίηση του υποστρώματος όσο και η παραγωγή προϊόντος (κόμποστ) προστιθέμενης αξίας το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί ως υλικό για τη βελτίωση, κυρίως, των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους (π.χ. της υδατοϊκανότητας, του πορώδους, της φυσικής σταθερότητας) [11]. Επομένως, η κομποστοποίηση ενδέχεται να διαμορφώσει τις απαιτούμενες συνθήκες για την επεξεργασία, την ανάκτηση και ανακύκλωση των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων συντελώντας στη συντήρηση ή/και στην αποκατάσταση της ποιότητας των εδαφών αλλά και στην εκτροπή της ροής αυτής των αποβλήτων από τους ΧΥΤΑ, όπως επιτάσσει η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων συμβάλλοντας σε πληθώρα περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών οφελών. [7]

1.2 Νομοθετικό Πλαίσιο και Αρχές Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η περιβαλλοντική προστασία έχει καθοριστική σημασία για την ποιότητα ζωής των σημερινών και των μελλοντικών γενεών. Σημαντική πρόκληση αποτελεί ο συνδυασμός της λήψης μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος, με την συνεχιζόμενη οικονομική δραστηριότητα και μεγέθυνση κατά τρόπο μακροπρόθεσμο και ολοκληρωμένο.

Η Ευρωπαϊκή στρατηγική αναφορικά με τις προτεραιότητες και τις δράσεις για το περιβάλλον υλοποιείται με την υιοθέτηση των «Προγραμμάτων Δράσης για το Περιβάλλον» (ΠΔΠ). Στο πλαίσιο των ΠΔΠ η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) αναπτύσσει την πολιτική της ως προς τη διαχείριση των αποβλήτων, η υλοποίηση της οποίας προϋποθέτει τη θέσπιση Οδηγιών (Directives), Κανονισμών (Regulations) και Αποφάσεων (Decisions).

Στο πρώτο ΠΔΠ (1973–1976) τα απόβλητα αναγνωρίστηκαν ως πρόβλημα το οποίο χρήζει ελέγχου σε επίπεδο κοινότητας. Στο δεύτερο (1977–1981) και τρίτο ΠΔΠ (1982–86) τονίστηκε η ανάγκη για την πρόληψη, την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων καθώς και η ανάγκη για την ασφαλή διάθεση των μη-ανακυκλώσιμων υπολειμμάτων, ενώ στο τέταρτο ΠΔΠ (1987-1992) απαιτούνται ανάλογες δράσεις για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων κατά την παραγωγική διαδικασία με τη χρήση «καθαρών» τεχνολογιών. Στο πέμπτο ΠΔΠ (1993-2001) λαμβάνονται νέα μέτρα και μια ευρύτερη δέσμευση ένταξης της περιβαλλοντικής διάστασης σε άλλες πολιτικές με στόχο την αειφορία. Το έκτο και τρέχον ΠΔΠ (2001-2011) φέρει τον τίτλο «Περιβάλλον 2010:

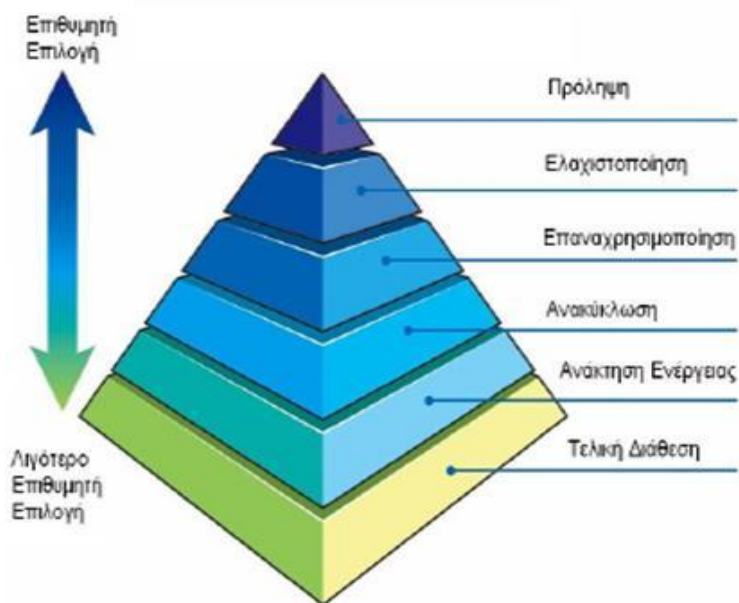
Το μέλλον μας, η επιλογή μας» και προωθεί την πλήρη ένταξη των απαιτήσεων προστασίας του περιβάλλοντος σε όλες τις πολιτικές και δράσεις της κοινότητας ενσωματώνοντας την περιβαλλοντική διάσταση της κοινοτικής στρατηγικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης εστιάζει στα εξής σημεία:

- Η πρόληψη είναι προτιμότερη από την λήψη διορθωτικών μέτρων.
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους.
- Ο ρυπαίνων πρέπει να πληρώνει το κόστος των μέτρων που θα ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος
- Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αποτελεί τμήμα των άλλων πολιτικών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Ολόκληρη η περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε. βασίζεται στην αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει". Σύμφωνα με αυτήν, ο ρυπαντής, είναι υπεύθυνος για τις επιπτώσεις και για την δαπάνη αποκατάστασης των ζημιών. Κατά συνέπεια, είναι ζητούμενο ο κάθε πολίτης να υποχρεούται να καλύπτει πλήρως την δαπάνη διαχείρισης των ΑΣΑ (Αστικά Στερεά Απόβλητα) που παράγει. Οι πληρωμές μπορεί να πραγματοποιηθούν με την μορφή επενδύσεων για να επιτευχθεί συμμόρφωση προς αυστηρότερα πρότυπα ή με τη μορφή φόρου επιβαλλόμενου στις επιχειρήσεις ή στους καταναλωτές που χρησιμοποιούν μη οικολογικά προϊόντα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με τις ισχύουσες Συνθήκες και βάσει των Αρχών της Βιώσιμης (αειφορικής) Ανάπτυξης, έχει υιοθετήσει την παρακάτω ιεράρχηση (η οποία έχει ενσωματωθεί και στην εθνική μας νομοθεσία) στον τομέα της διαχείρισης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Εικόνα 1.1):

1. Πρόληψη ή Μείωση στην πηγή
2. Ελαχιστοποίηση
3. Επαναχρησιμοποίηση
4. Ανακύκλωση
5. Ανάκτηση ενέργειας
6. Τελική διάθεση.



Εικόνα 1.1 Ιεράρχηση της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων όπως αυτή προτείνεται από την Ε.Ε. [19]

Τα δύο πρώτα μέτρα αποσκοπούν στην αποφυγή δημιουργίας αποβλήτων και τα δύο επόμενα στην αξιοποίησή τους εφόσον παραχθούν. Πριν από την τελική διάθεση επιβάλλεται επεξεργασία για μείωση του όγκου ή/και των αρνητικών επιπτώσεων (π.χ. διαλογή πριν την εδαφική διάθεση, κομποστοποίηση, ή καύση).

Η ιεράρχηση που φαίνεται να επικρατεί στην πράξη αφορά στα κριτήρια επιλογής εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης τα οποία είναι:

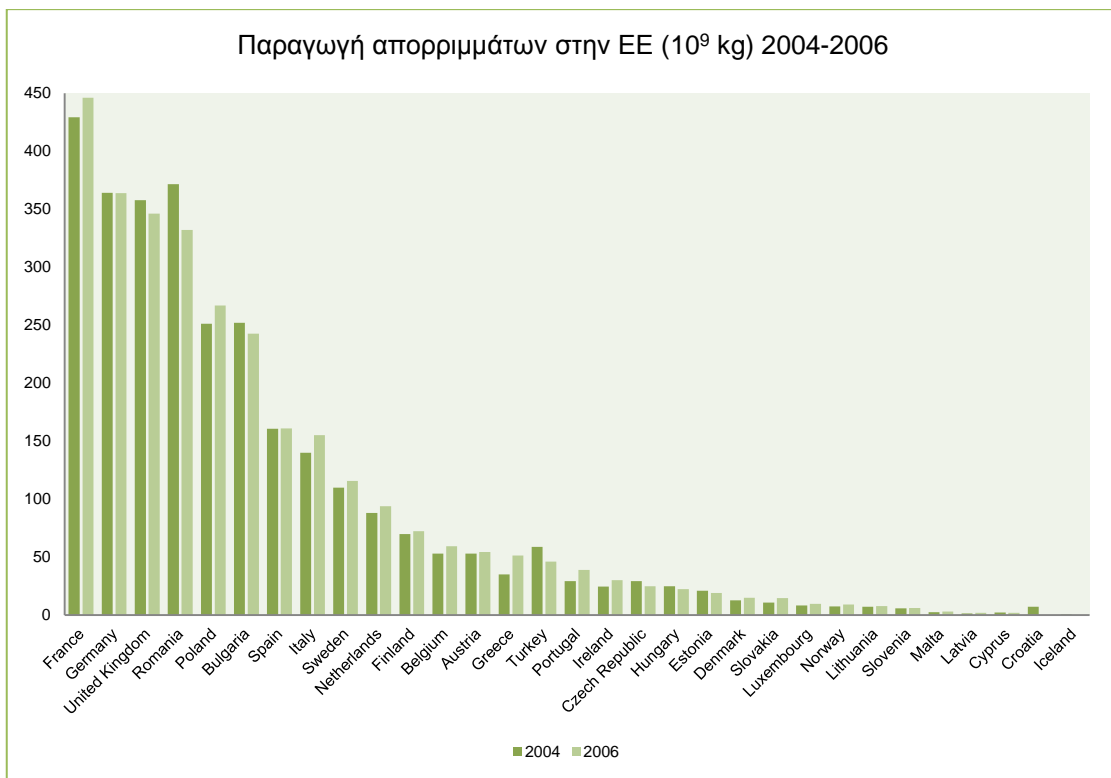
- 1) Κόστος
- 2) Κοινωνική αποδοχή και
- 3) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Σε Ευρωπαϊκό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν υιοθετηθεί κατά σειρά προτεραιότητας, σε ότι αφορά την ολοκληρωμένη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, οι ακόλουθες αρχές:

- **Αρχή της πρόληψης ή και μείωσης των παραγόμενων αποβλήτων**

Με την έννοια «Πρόληψη των απορριμμάτων» νοείται μια σειρά τεχνικών επιλογών και νομοθετικών-οικονομικών ρυθμίσεων, καθώς και ένα πλαίσιο κοινωνικής συμπεριφοράς και ενεργής συμμετοχής των πολιτών, με στόχο την ελάττωση της παραγωγής απορριμμάτων και κατά συνέπεια την μείωση του όγκου και του βάρους αυτών που καταλήγουν στους χώρους τελικής διάθεσης, σε όσο το δυνατόν πιο αρχικό στάδιο παραγωγής τους.

Οι δυνατότητες πρόληψης της δημιουργίας αποβλήτων εξαρτώνται από σειρά παραγόντων όπως η οικονομική ανάπτυξη, η έκταση στην οποία οι επιχειρήσεις έχουν ήδη υιοθετήσει βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση των αποβλήτων, κ.λ.π. Η πρόληψη μπορεί να επιτευχθεί μόνον εάν επηρεαστούν οι πρακτικές αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής: πώς σχεδιάζεται το προϊόν, πώς παράγεται, πώς διατίθεται στον καταναλωτή και πώς χρησιμοποιείται τελικά. Η δυσκολία της πρόληψης φαίνεται ξεκάθαρα στο Διάγραμμα 1.1. Σε όλες σχεδόν τις Ευρωπαϊκές χώρες παρατηρείται αύξηση της παραγωγής απορριμμάτων (δεδομένα 2006) σε σχέση με το 2004. Στην βέλτιστη περίπτωση κάποιες χώρες όπως η Ρουμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Βουλγαρία και η Τουρκία παρουσιάζουν μια μικρή μείωση στην παραγωγή.



Διάγραμμα 1.1 Παραγωγή απορριμμάτων στην ΕΕ [9]

Βασικό ζήτημα στην πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής παρθένων πρώτων υλών, της επεξεργασίας, μεταποίησης, μεταφοράς και χρήσης. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν – σε αρκετά παγιωμένη μορφή – μέθοδοι αναλύσεων κύκλου ζωής για τα κάθε είδους προϊόντα, κατασκευές κ.λ.π. Ήδη όμως έχουν ληφθεί αποφάσεις που υλοποιούνται είτε μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων (π.χ. LIFE), είτε μέσω θεσμοθέτησης τεχνικών προτύπων, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN). Σε ειδικές περιπτώσεις, η πρόληψη μπορεί να γίνεται μέσω περιορισμών ή απαγορεύσεων στην χρήση συγκεκριμένων ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων), ώστε να προλαμβάνεται σε μεταγενέστερο στάδιο η δημιουργία επικίνδυνων αποβλήτων. Άλλοι τρόποι συνεισφοράς στην πρόληψη, είναι τα προγράμματα οικολογικών ελέγχων, με παράλληλη θέσπιση κινήτρων ή και αντικινήτρων σε οικονομικούς φορείς του Δημόσιου ή του Ιδιωτικού τομέα (οικολογικό σήμα) και η ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράσουν προϊόντα που ρυπαίνουν λιγότερο.

- **Αρχή επαναχρησιμοποίησης των υλικών**

Με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει την δημιουργία αποβλήτων (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών) αλλά και για την δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και ανάκτησή τους.

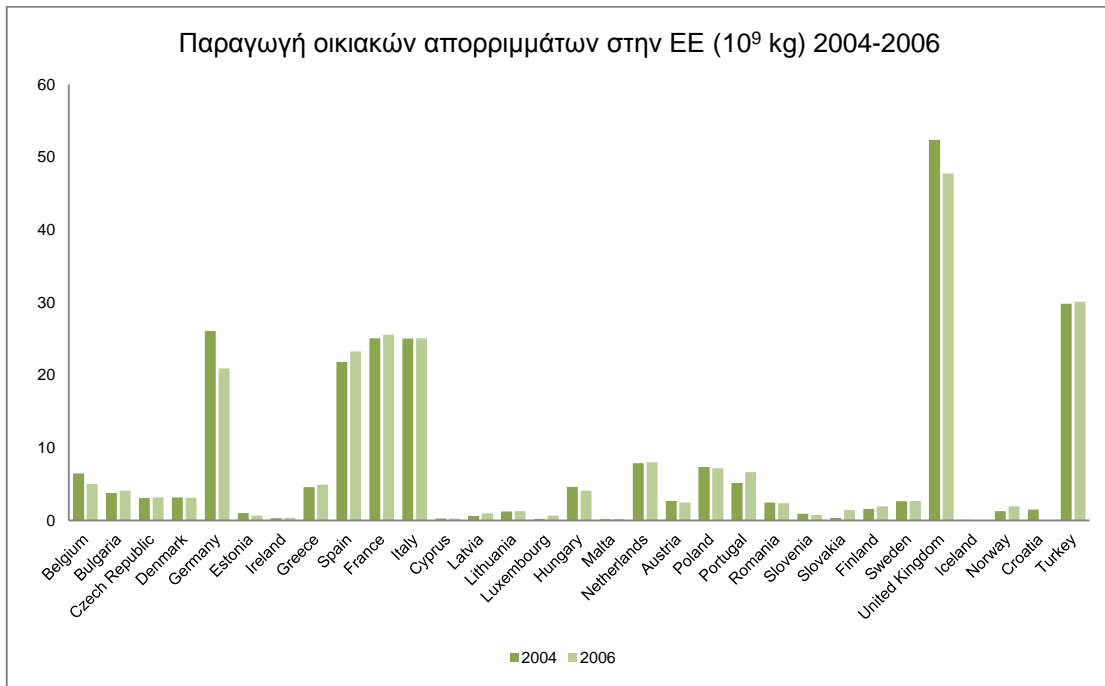
- **Αρχή ανακύκλωσης και αξιοποίησης των υλικών**

Η ανάκτηση από τα απορρίμματα αποτελεί τον πυρήνα κάθε ολοκληρωμένης πολιτικής διαχείρισής τους. Αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί την συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Σημαντική επίσης προϋπόθεση αποτελεί για την οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.

Στόχος της στρατηγικής είναι να μειωθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή μέχρι την τελική διάθεσή τους. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να αντιμετωπίζεται κάθε είδος αποβλήτων όχι μόνο ως

πηγή ρύπανσης που επιβάλλεται να μειωθεί, αλλά και ως ενδεχόμενος πόρος που προσφέρεται για εκμετάλλευση.

Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα με στοιχεία από την παραγωγή οικιακών απορριμμάτων σε χώρες της Ευρωπαϊκής κοινότητας. Όπως είναι άμεσα αντιληπτό, είναι επιτακτική η ανάγκη της αξιοποίησης των παραπάνω, εφόσον αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό του συνόλου των απορριμμάτων.



Διάγραμμα 1.2 Παραγωγή οικιακών απορριμμάτων στην ΕΕ [9]

- **Αρχή ανάκτησης ενέργειας**

Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών λόγω τεχνικών περιορισμών, θα πρέπει να οδηγούνται τα απόβλητα με σημαντικό θερμικό περιεχόμενο σε μονάδες θερμικής επεξεργασίας με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δεν δύναται να αξιοποιηθεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι ανάκτηση ενέργειας επιτυγχάνεται και με τη βιολογική επεξεργασία της οργανικής ύλης μέσω της αναερόβιας χώνευσης κατά την οποία επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση οργανικού υλικού με παράλληλη ανάκτηση ενέργειας.

- **Αρχή της ασφαλούς διάθεσης**

Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως η έσχατη λύση. Χρησιμοποιείται εκτενώς μιας

και είναι η οικονομικότερη λύση, αλλά οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να καταλήγουν σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα.

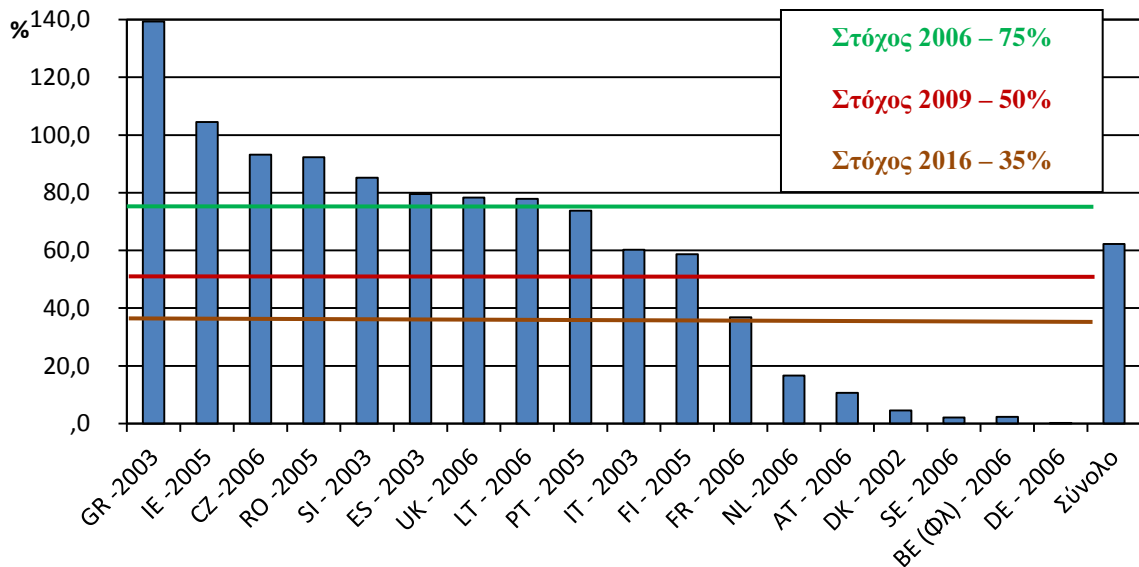
Πίνακας 1.1: Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων

Ιεράρχηση διαχείρισης	Νομοθεσία Ε.Ε.	Ελληνική Νομοθεσία
Γενικό πλαίσιο διαχείρισης	Οδηγία 2008/98/ΕΚ σχετικά με τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών	Αναμένεται η ενσωμάτωση της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο
	Προγενέστερη - Οδηγία 2006/12/ΕΚ	ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ Β 1016/17.11.97) «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων» ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ Β 1909/22.12.2003) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης
Πρόληψη & Ελαχιστοποίηση	Οδηγία 2008/1/ΕΚ σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC)	Ν. 2965/2001 (ΦΕΚ 68/Α`/11.3.2005) «Βιώσιμη ανάπτυξη Αττικής και άλλες διατάξεις» Ν. 3325/2005 (ΦΕΚ 270/Α`/23.11.2001) «Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών, βιοτεχνικών εγκαταστάσεων στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και άλλες διατάξεις» Σε μερική εναρμόνιση με την Οδηγία 96/61/ΕΟΚ προγενέστερη της Οδηγίας 2008/1/ΕΚ
Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση	Οδηγία 86/278/ΕΟΚ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία	ΚΥΑ 80568/4225/1991 (ΦΕΚ Β 641/7.8.91) «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων»
	Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ σχετικά με τον καθορισμό	ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211/Α`/5.10.2006) «Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης

	υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο	Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο».
	Αποφάσεις 2006/799/ΕΚ και 2007/64/ΕΚ περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και σε καλλιεργητικά μέσα αντίστοιχα	
Ανάκτηση Ενέργειας	Οδηγία 2000/76/ΕΚ σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων	ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ Β 759/06.06.2005) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων»
	Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ	Αναμένεται η ενσωμάτωση της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο
Τελική Διάθεση	Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ Β 1572/16.12.02) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων» ΚΥΑ 4641/232/2006 (ΦΕΚ Β 168/13-02-06) «Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών μικρών χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς, κατ' εφαρμογή του άρθρου 3 (παρ.4) σε συνδυασμό με το άρθρο 20 (παράρτημα Ι) της υπ' αριθμ. 29407/3508/2002 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για υγειονομική ταφή των αποβλήτων» (Β' 1572)»

Στην Ε.Ε. έχει διαπιστωθεί η ανάγκη και η σημαντικότητα για τη χάραξη κοινής πολιτικής στα Κράτη Μέλη για τη διαχείριση του βιοαποδομήσιμου οργανικού κλάσματος των αποβλήτων. Προς αυτή την κατεύθυνση βαδίζει η Ε.Ε. με τη σύνταξη της Πράσινης

Βίβλου με την προοπτική διαμόρφωσης νομοθετικού διατάγματος σχετικά με τη διαχείριση των βιοαπορριμμάτων.

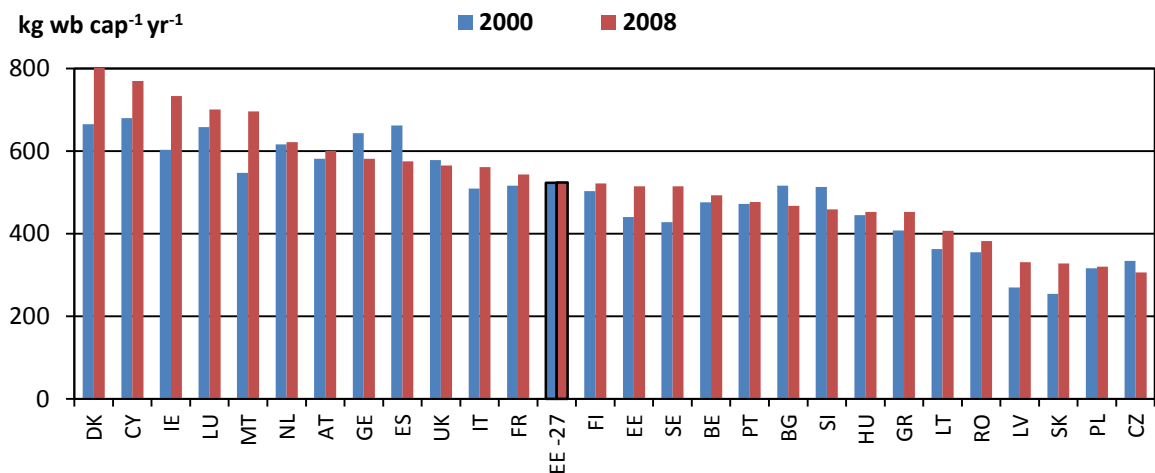


Διάγραμμα 1.3: Ποσοστό διάθεσης βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων σε ΧΥΤΑ στις χώρες της Ε.Ε. με βάση τη συνολική ποσότητα που είχαν παραχθεί το 1995 [21]

Σκοπός της Πράσινης Βίβλου είναι να διερευνηθούν λύσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη της διαχείρισης των βιοαπορριμμάτων. Μεταξύ των λύσεων που προτείνονται για τη διαχείριση τους, πέραν της πρόληψης, είναι η διαλογή (στην πηγή ή στα σύμμικτα), η αναερόβια ζύμωση και η κομποστοποίηση, η αποτέφρωση και η υγειονομική ταφή. Παράλληλα τονίζεται ότι τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις κατά τόπους συνθήκες, όπως είναι η πυκνότητα πληθυσμού, οι υποδομές και το κλίμα, καθώς και από τις αγορές των αντίστοιχων προϊόντων (π.χ. ενέργεια, προϊόντα κομποστοποίησης). Η Ε.Ε. προκειμένου να υποστηρίξει τα Κράτη Μέλη στις μελλοντικές νομοθετικές υποχρεώσεις τους θα παρέχει τα κριτήρια, με βάση τα οποία θα γίνει η προώθηση για την αναγνώριση της βέλτιστης περιβαλλοντικά επιλογής αναφορικά με τη διαχείριση των αστικών οργανικών αποβλήτων. Είναι επομένως εμφανής η ιδιαίτερη βαρύτητα που δίνεται στη βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων με έμφαση στην κομποστοποίηση και τον καθορισμό ελάχιστων απαιτήσεων διαχείρισης καθώς και ποιοτικών κριτηρίων προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλό επίπεδο προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. [7]

1.3 Οργανικό Κλάσμα Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Ως Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) ορίζονται όλα τα απόβλητα τα οποία συλλέγονται από τους δήμους και τις κοινότητες. Συνεπώς, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα τα οποία λόγω της φύσης ή της σύνθεσής τους είναι παρόμοια με τα οικιακά όπως απόβλητα από εμπορικές και συναφείς δραστηριότητες, κτίρια γραφείων και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία, κυβερνητικά κτίρια)[22]. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται επίσης ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.) και απόβλητα κήπων, φύλλα, κλαδιά, κηπευτικά, καθώς και απόβλητα από καθαρισμό δρόμων [15]. Η παραγωγή ΑΣΑ διαφοροποιείται μεταξύ των χωρών (Διάγραμμα 1.4) , ενώ σημαντικές διακυμάνσεις παρουσιάζονται τόσο μεταξύ των διαφορετικών πηγών παραγωγής αποβλήτων όσο και με βάση το πληθυσμιακό εύρος.



Διάγραμμα 1.4: Μέση κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΣΑ στα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. [9]

Τα ΑΣΑ περιέχουν διαφορετικές ροές υλικών όπως τα ζυμώσιμα, το χαρτί, το ξύλο, τα υφάσματα, τα πλαστικά, τα μέταλλα, το γυαλί κ.α. Η ποσοστιαία σύνθεση των παραπάνω ροών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως οι συνθήκες ζωής του πληθυσμού, το βιοτικό επίπεδο, οι καταναλωτικές συνήθειες καθώς και το επίπεδο της τεχνολογικής προόδου της εκάστοτε χώρας [16]. Το μεγαλύτερο μέρος, σε ποσοστό, της σύστασης των ΑΣΑ αποτελείται από βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα. Ανάλογα με τις μεθόδους διαχείρισης που εφαρμόζονται στην εκάστοτε χώρα και περιοχή το βιοαποδομήσιμο οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ υπόκειται σε διαχωρισμό στην πηγή ή/και σε διαχωρισμό από τα σύμμικτα αστικά απόβλητα, όπου παρουσιάζονται υψηλότερα επίπεδα σε προσμίξεις αδρανών (π.χ. πλαστικά, γυαλί, πέτρες) και υψηλότερες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα και οργανικούς ρυπαντές [10]. Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές των

φυσικοχημικών ιδιοτήτων των ΑΣΑ συμπεριλαμβανομένων των βιοαποδομήσιμων οργανικών ροών. Ταυτόχρονα, στον Πίνακα 1.3 παρατίθεται η στοιχειακή ανάλυση των οργανικών και ανόργανων αποβλήτων των ΑΣΑ που προέρχονται από οικιακά απόβλητα.

Πίνακας 1.2: Ιδιότητες συγκεκριμένων βιοαποδομήσιμων ροών των ΑΣΑ [14]

Παράμετρος	Εφημερίδες	Χαρτιά	Πράσινα	Τροφικά
K (%)	0.35	0.29	2.27	4.18
Ca (%)	0.01	0.10	0.42	0.43
Mg (%)	0.02	0.04	0.21	0.16
NH ₄ -N (mg	4	61	149	205
NO ₃ -N (mg	4	218	490	4278
SO ₄ -S (mg	159	324	882	855
P (mg kg ⁻¹)	44	295	3500	4900
B (mg kg ⁻¹)	14	28	88	17
Zn (mg kg ⁻¹)	22	177	20	21
Mn (mg kg ⁻¹)	49	15	56	20
Fe (mg kg ⁻¹)	57	396	451	48
Cu (mg kg ⁻¹)	12	14	7.7	6.9
Ni (mg kg ⁻¹)	-	-	9.0	4.5

Πίνακας 1.3: Στοιχειακή ανάλυση των συστατικών των ΑΣΑ (% dm) [13],[14]

Είδος Αποβλήτου		C	H	O	N	S
Οργανικά	Τροφικά					
	Λαχανικά	49.06	6.62	37.55	1.68	0.20
	Μαγειρεμένο κρέας	59.59	9.47	2.65	1.02	0.19
	Τηγανητά λίπη	73.14	11.54	14.82	0.43	0.07
	Πράσινα					
	Γρασίδι	46.18	5.96	36.43	4.46	0.42
	Φύλλα	52.15	6.11	30.34	6.99	0.16
	Κορμοί	50.12	6.40	42.26	0.14	0.08
	Αειθαλής θάμνοι	48.51	6.54	40.44	1.71	0.19
	Λουλούδια	46.65	6.61	40.18	1.21	0.26
	Ξύλο και φλοιός	50.46	5.97	42.37	0.15	0.05
	Χαρτί και προϊόντα					
	Ανάμικτο χαρτί	43.41	5.82	44.32	0.25	0.20
	Εφημερίδες	49.14	6.10	43.03	0.05	0.16
	Χαρτόνι συσκευασίας	43.73	5.70	44.93	0.09	0.21
Άχρηστη	37.87	5.41	42.74	0.17	0.09	
Πλαστικά	60.00	7.20	22.80	-	-	
Υφασμα	55.00	6.60	31.20	4.60	0.15	
Ελαστικά-λάστιχα	78.00	10.00	-	2.00	-	
Ανόργανα	Γυαλί	0.5	0.1	0.4	<0.1	-
	Μέταλλα	4.5	0.6	4.3	<0.1	-
Αστικά Στερεά Απόβλητα		15-30	2-5	12-24	0.2-1.0	0.02-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

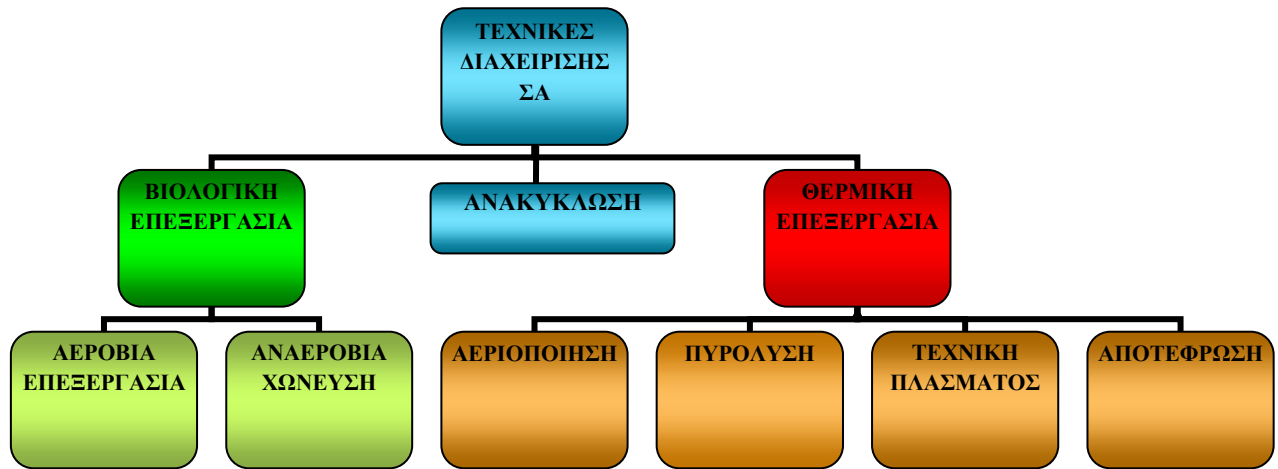
2.1 Εισαγωγή

Το φαινόμενο της αστυφιλίας σε συνδυασμό με την τρομερή βιομηχανική αλλά κυρίως τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών οδήγησε στην αλματώδη αύξηση της ποσότητας των στερεών αποβλήτων γεγονός που αποτελεί σήμερα, ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας. Τα απορρίμματα δημιουργούν σημαντικά υγειονομικά προβλήματα, τόσο από άποψη της υγιεινής του περιβάλλοντος, όσο και της δημόσιας υγείας και επιδημιολογίας. Στην Ελλάδα, το θέμα των απορριμμάτων έχει προσλάβει εκρηκτική διάσταση, εξαιτίας της έλλειψης, μέχρι πρόσφατα, περιβαλλοντικής ευαισθησίας και της απουσίας ολοκληρωμένης πολιτικής για τη διαχείριση τους.

Συνεπώς χιλιάδες τόνοι απορριμμάτων καταλήγουν ετησίως σε ακατάλληλες χωματερές με αποτέλεσμα να συντελούνται περιβαλλοντικά εγκλήματα όσον αφορά τη μόλυνση και τη ρύπανση. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των αστικών αποβλήτων. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αστικών αποβλήτων λοιπόν, περιλαμβάνει την εφαρμογή προγραμμάτων για τη βελτιστοποίηση του συστήματος συλλογής, τον περιορισμό της παραγωγής αποβλήτων, την διαλογή στην πηγή, την ανακύκλωση των διαχωρισθέντων υλικών, την εφαρμογή συστημάτων μεταφόρτωσης για την αύξηση της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος, τη χρήση μεθόδων επεξεργασίας με στόχο την ενεργειακή αξιοποίηση ή την επαναχρησιμοποίηση των υλικών και τη διάθεση του τελικού υπολείμματος σε σύγχρονους χώρους υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

Σύμφωνα και με όσα ορίζει η ΚΥΑ 29407/3508 για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, δεν επιτρέπεται η διάθεση σε ΧΥΤΑ αποβλήτων που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία. Σύμφωνα με την ίδια ΚΥΑ, ως επεξεργασία ορίζονται οι φυσικές, θερμικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της διαλογής, που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, προκειμένου να περιοριστούν ο όγκος ή οι επικίνδυνες ιδιότητές τους, να διευκολυνθεί η διακίνησή τους ή να βελτιωθεί η ανάκτηση χρήσιμων υλών. Κατά συνέπεια, ως επεξεργασία εννοείται η διαλογή στην πηγή (συσκευασιών, οργανικών, πράσινων, επικίνδυνων οικιακών κ.α.), η μηχανική διαλογή, η

μεταφόρτωση και η δεματοποίηση, καθώς και όλες οι τεχνολογίες θερμικής, φυσικής, χημικής και βιολογικής επεξεργασίας.



Σχήμα 2.1 Τεχνικές διαχείρισης Στερεών Απορριμμάτων [23]

Η σύγχρονη απάντηση που οδηγεί στην αειφόρο διαχείριση των απορριμμάτων είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των στερεών αποβλήτων με στόχο να αναζητηθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων, ώστε το τελικό σύστημα να είναι περιβαλλοντικά αποτελεσματικό – οικονομικά εφικτό – κοινωνικά αποδεκτό.

Θα πρέπει να επισημάνουμε, πως δεν υπάρχει βέλτιστη τεχνολογία για το σύνολο των περιπτώσεων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, καθώς κάθε μία από αυτές παρουσιάζει μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους αρμόδιους φορείς (ΦοΔΣΑ) που θα κληθούν να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν τα έργα. Κρίσιμη παράμετρος σχεδιασμού είναι η ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αλλά και ο βαθμός ανάπτυξης της αγοράς για την αξιοποίηση των προϊόντων (π.χ. RDF, Compost, ανακυκλώσιμα υλικά). Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας που θα επιλεγεί, τόσο από οικονομική (βιωσιμότητα της μονάδας, απαιτούμενο κόστος επεξεργασίας ή και διάθεσης) όσο και από τεχνική και περιβαλλοντική άποψη (βαθμός αξιοποίησης δευτερογενών προϊόντων, τελική εκτροπή από ΧΥΤΥ κ.α.).

2.2 Ανάκτηση υλικών: επαναχρησιμοποίηση – ανακύκλωση

Η ανάκτηση των υλικών περιλαμβάνει τόσο την άμεση **επαναχρησιμοποίηση** επιλεγμένων υλικών π.χ. μπουκάλια, όσο και την **ανακύκλωση** κατά την οποία τα ανακτηθέντα υλικά μετά από επεξεργασία επανέρχονται στο φυσικό και οικονομικό κύκλο.

Η άμεση επαναχρησιμοποίηση, κάποτε αρκετά διαδεδομένη υπό ορισμένες μορφές σε τοπικές αγορές, είναι μάλλον περιορισμένη σήμερα διεθνώς, παρά τις προσπάθειες για ευρύτερη εφαρμογή της. Η επαναχρησιμοποίηση γυάλινων μπουκαλιών εξακολουθεί να αποτελεί την κύρια μέθοδο επαναχρησιμοποίησης, ωστόσο η διεύρυνση των αγορών και το υφιστάμενο καθεστώς της ελεύθερης αγοράς στην Ευρωπαϊκή Ένωση δημιουργούν σοβαρές, όχι μόνο τεχνολογικές, αλλά και νομικές δυσκολίες. Με την εξεταζόμενη μορφή, η ανακύκλωση αφορά σε υλικά όπως χαρτί, γυαλί, αλουμίνιο, άλλα μέταλλα, πλαστικά, έπιπλα και είδη ένδυσης, υπολείμματα κατασκευών και κατεδαφίσεων και ελαστικά οχημάτων. Καθοριστικοί παράγοντες για ένα σύστημα ανακύκλωσης είναι το σύστημα διαλογής, η διάθεση στην αγορά ανακυκλωμένων προϊόντων και η οργανωτική, οικονομική και θεσμική στήριξη. [3]

2.2.1 Συστήματα διαλογής

Διαλογή στην πηγή

Η διαλογή στην πηγή είναι η μέθοδος ανακύκλωσης κατά την οποία τα ανακυκλούμενα υλικά διαχωρίζονται στην πηγή παραγωγής τους. Οι σπουδαιότερες μορφές οργάνωσης της μεθόδου αυτής είναι τα μόνιμα και τα εθελοντικά σχήματα ανακύκλωσης. Τα πρώτα εφαρμόζουν την ανακύκλωση σε μόνιμη βάση, με ειδικό προσωπικό και με τη βοήθεια κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού. Είναι αποτελεσματικότερο σύστημα αλλά έχει αυξημένο κόστος σε σχέση με το δεύτερο, που συνίσταται στη χρήση εθελοντών σε εποχιακή βάση και συνήθως για ένα συγκεκριμένο είδος υλικού που μπορεί να παρουσιάζει έξαρση. [3]

Οι τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν για την ανάκτηση υλικών μέσω προγραμμάτων διαλογής στην πηγή είναι οι εξής:

- Η συλλογή πόρτα πόρτα.
- Συλλογή σε ειδικούς κάδους

- Λειτουργία κέντρων συλλογής υλικών
- Λειτουργία κέντρων αγοράς υλικών

Μηχανική διαλογή

Με τη μέθοδο της **μηχανικής διαλογής** διαχωρίζονται τα διάφορα υλικά από το ρεύμα των ΑΣΑ με μηχανικά μέσα. Πρόκειται για τα πιο προηγμένα συστήματα ανάκτησης υλικών αποτελώντας σημαντική λύση για τις περιπτώσεις που δεν εφαρμόζεται η διαλογή στην πηγή. Υπάρχουν δύο βασικά συστήματα διαχωρισμού, ο υγρός και ο ξηρός που αποτελεί και την πλειοψηφία των εγκαταστημένων μονάδων μηχανικής διαλογής ΑΣΑ. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου επιτρέπει την ενιαία συμβατική συλλογή και μεταφορά των ΑΣΑ ως την μονάδα διαλογής.

Με τις διαδικασίες της μηχανικής διαλογής είναι δυνατόν να επιτευχθούν:

- Ο διαχωρισμός των χρήσιμων υλικών, όπως χαρτί - χαρτόνι, μέταλλα, πλαστικό, γυαλί κλπ, με σκοπό την ανακύκλωση τους.
- Η εξασφάλιση πρώτης ύλης για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού
- Η παραγωγή καύσιμης ύλης με τη μορφή RDF (Refuse Derived Fuel).
- Η βελτίωση των συνθηκών εφαρμογής αποτέφρωσης
- Η μείωση του όγκου των αποβλήτων.

2.2.2 Διάθεση ανακυκλωμένων υλικών στην αγορά

Στόχος της ανακύκλωσης είναι η διάθεση των ανακτημένων υλικών στην αγορά. Κατά συνέπεια είναι κατ' αρχήν απαραίτητη η εκτίμηση του κόστους ενός προγράμματος ανακύκλωσης, το οποίο επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες οι κυριότεροι των οποίων είναι:

- **Τα χαρακτηριστικά των οικιακών απορριμμάτων**, όπως ποσότητα, σύνθεση, ομοιογένεια, μεταβλητότητα των ιδιοτήτων τους σε συνάρτηση με το χρόνο και το χώρο κλπ.

➤ **Τα χαρακτηριστικά του εφαρμοζόμενου συστήματος:**

- Η πυκνότητα συλλογής. Πυκνός κάναβος χωροθέτησης των κάδων συλλογής ευνοεί την συμμετοχή των πολιτών αλλά αυξάνει το κόστος.
- Η συχνότητα συλλογής. Η απόδοση και το κόστος αυξάνει ανάλογα με την αύξηση της συχνότητας συλλογής.
- Το κόστος μεταφοράς, που συνήθως αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό στο ολικό κόστος ανάκτησης κάποιου υλικού.
- Η εικόνα των κάδων. Οι κάδοι πρέπει να είναι καλαίσθητοι, ευδιάκριτοι, εύκολα προσπελάσιμοι, να υπενθυμίζουν με την παρουσία τους χωρίς να προκαλούν.

➤ **Το ποσοστό συμμετοχής** είναι η παράμετρος εκείνη που ουσιαστικά καθορίζει την τύχη ενός προγράμματος διαλογής στην πηγή. Να υπογραμμιστεί ότι αυτή η μέθοδος ανακύκλωσης εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την εθελοντική συμμετοχή των κατοίκων σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους. Αύξηση του ποσοστού συμμετοχής οδηγεί σε μείωση του κόστους ανάκτησης των υλικών. Οι έρευνες έχουν αποδείξει ότι τα κοινωνικά χαρακτηριστικά των κατοίκων (μορφωτικό επίπεδο, οικονομική κατάσταση κλπ) και άλλα χαρακτηριστικά της περιοχής (τύπος κατοικίας κλπ) επηρεάζουν το ποσοστό συμμετοχής που συνήθως κυμαίνεται σε ποσοστά κάτω από 50 %. Έχει φανεί ότι το ποσοστό συμμετοχής και η ποσότητα των συλλεγομένων ΑΣΑ αυξάνουν όσο εντείνονται τα προγράμματα πληροφόρησης.

Σε γενικές γραμμές φαίνεται ότι, με βάση καθαρά οικονομικές θεωρήσεις, η ανακύκλωση δεν μπορεί να δικαιολογηθεί, καθώς δεν μπορεί να διαμορφωθεί μια ελκυστική και ανταγωνιστική τιμή σε σύγκριση με προϊόντα από πρώτη ύλη. Έτσι τα προγράμματα ανακύκλωσης μπορεί να καταστούν βιώσιμα μόνο στα πλαίσια επιδοτούμενων, για περιβαλλοντικούς και οικολογικούς λόγους, πολιτικών και στο βαθμό που εξασφαλίζεται η απαραίτητη θετική (και μεταφραζόμενη σε αποδεκτή οικονομική επιβάρυνση) στάση των καταναλωτών. Αξίζει πάντως να επισημανθεί ότι αν και η ανακύκλωση είναι δικαιολογημένη ως γενική οικολογική αρχή, δεν είναι σωστό να επιβάλλεται αδιακρίτως για κάθε κατηγορία υλικού που βρίσκεται στα απορρίμματα και ανεξάρτητα από το χρηματικό κόστος, το οποίο δεν είναι ανεξάρτητο από την εν γένει προστασία του περιβάλλοντος και από την εν γένει διαφύλαξη των φυσικών πόρων. [3]

2.3 Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας

2.3.1 Γενικά

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας, όπως υποδηλώνει και η ονομασία τους, μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε απόβλητα που επιδέχονται τέτοια επεξεργασία, ήτοι σε βιοαποδομήσιμα ή οργανικά απόβλητα. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται μια μεγάλη ποικιλία αγροτικών αποβλήτων και υπολειμμάτων (κοπριές, φυτικά υπολείμματα καλλιεργειών, απόβλητα εκκοκκιστηρίων βάμβακος, ελαιοπυρήνα κλπ), πολλά στερεά απόβλητα και ιλύες από βιομηχανίες τροφίμων, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων καθώς και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών αποβλήτων. Το τελευταίο, υπόκειται περιορισμούς της Οδηγίας για την Υγειονομική Ταφή [22] που επιβάλλουν τη σταδιακή εκτροπή του από τη διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α., από το 2010 έως το 2020 για την Ελλάδα.

Όσον αφορά τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα, οι μονάδες βιολογικής επεξεργασίας μπορούν να δεχθούν:

- Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα μετά από διαλογή στην πηγή, το οποίο μετά από μια αερόβια φάση βιοσταθεροποίησης μπορεί να χαρακτηριστεί ως «κομπόστ» και χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων και πολλές διεξόδους αξιοποίησης (π.χ. ως εδαφοβελτιωτικό, υλικό επικάλυψης λατομείων)
- Ένα εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά κλάσμα, που προέρχεται από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής. Δεδομένου ότι η μηχανική διαλογή (δηλαδή οι μηχανικοί διαχωρισμοί με χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού όπως κόσκινα, μαγνήτες, κ.λ.π.), εφαρμόζεται σε σύμμεικτα απορρίμματα όπως αυτά έρχονται με τα απορριμματοφόρα, η ποιότητα του εμπλουτισμένου αυτού κλάσματος και κατ' επέκταση του προϊόντος μετά τη βιολογική επεξεργασία, εξαρτάται από τις επιμέρους διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Σε κάθε περίπτωση όμως η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του κομπόστ που περιγράφηκε παραπάνω, γι' αυτό και συνήθως αναφέρεται ως υλικό «τύπου κομπόστ». [6]

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας βασίζονται στην ελεγχόμενη ανάπτυξη και δράση των μικροοργανισμών, οι οποίοι επεξεργάζονται τα βιοαποδομήσιμα απορρίμματα.

Σκοπός της βιολογικής επεξεργασίας είναι η εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών εντός της εγκατάστασης οι οποίες θα ευνοούν το μέγιστο δυνατό ρυθμό αναπαραγωγής των μικροοργανισμών και διάσπασης των αποβλήτων.

Οι βασικές μορφές βιολογικής επεξεργασίας των οργανικών βιοαποδομήσιμων απορριμμάτων είναι :

- η κομποστοποίηση, η οποία μελετάται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 3
- η αναερόβια χώνευση
- η βιολογική ξήρανση

2.3.2 Αναερόβια βιολογική επεξεργασία

Κατά την αναερόβια βιολογική επεξεργασία (αναερόβια ζύμωση), πραγματοποιείται αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη βοήθεια μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου. Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή σταθεροποιημένου οργανικού υλικού και αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο (CH_4), ενώ περιέχει και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται σε κλειστούς αντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, τη μείωση του όγκου των ΑΣΑ και τη βιολογική σταθεροποίησή τους. [6]

Η συνολική διαδικασία διεξάγεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο (υδρόλυση) πραγματοποιείται ενζυμική μετατροπή των οργανικών ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους σε παράγωγα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας και κυτταρικής ύλης. Στο δεύτερο στάδιο (οξυγενής ζύμωση), οι ενώσεις που προήλθαν από το πρώτο στάδιο μετατρέπονται σε ενδιάμεσα προϊόντα χαμηλού μοριακού βάρους (pH: 4,5 – 6,5). Στο τρίτο στάδιο (μεθανογενής ζύμωση), τα προϊόντα της οξυγενούς ζύμωσης μετατρέπονται σε απλούστερα τελικά προϊόντα και κυρίως CH_4 και CO_2 (pH:6,8–7,2). [4]

Η τεχνολογία της αναερόβιας ζύμωσης αναπτύχθηκε αρχικά για την επεξεργασία ρευστών κτηνοτροφικών και αγροτικών αποβλήτων και της ίλως των βιολογικών καθαρισμών. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των εγκαταστάσεων που επεξεργάζονται το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αστικών απορριμμάτων. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. 2 Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας [4]

Τεχνολογία	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αναερόβια βιολογική επεξεργασία	<p>Αρκετά παραδείγματα αντίστοιχων μονάδων επεξεργασίας διαχωρισμένων ΑΣΑ</p> <p>Δύναται να παραμετροποιηθεί ώστε να δώσει διαφορετικά προϊόντα βιοαέριο, compost, SRF</p> <p>Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το βιοαέριο θα συμβάλλει στην προσέγγιση των στόχων για τις ΑΠΕ</p> <p>Δυνατότητα επεξεργασίας των υπολειμμάτων από τροφές (π.χ. κρέας) και ενδεχόμενη χρήση του παραγόμενου προϊόντος ως εδαφοβελτιωτικού</p> <p>Δύναται να ενσωματωθεί στο σχεδιασμό διαχείρισης ΑΣΑ και να συνδυαστεί με άλλη μέθοδο επεξεργασίας</p>	<p>Συνήθως απαιτείται μηχανική προεπεξεργασία του ρεύματος των αποβλήτων</p> <p>Ωριμη τεχνολογία για την επεξεργασία της λάσπης, νέα όμως για την επεξεργασία των ΑΣΑ</p> <p>Η αποδοτικότητα του συστήματος είναι συνάρτηση της διαλογής του οργανικού κλάσματος</p> <p>Υψηλή κατανάλωση νερού</p> <p>Αυξημένη οπτική όχληση σε σχέση με άλλες τεχνολογίες επεξεργασίας λόγω της χρήσης υψηλών δεξαμενών</p>

2.3.3 Μονάδες μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας

Οι συνδυασμένες μονάδες Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ) έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας τόσο σύμμεικτων αστικών στερεών αποβλήτων, όσο και επιλεγμένων ρευμάτων για παραγωγή ανακυκλώσιμων υλικών και ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης να δώσουν ως τελικό προϊόν RDF, SRF, compost. Τα τρία στάδια των ΜΒΕ είναι:

- Διαχωρισμός υλικών – Μηχανικός διαχωρισμός υλικών
- Βιολογική επεξεργασία – Σταθεροποίηση, μείωση του όγκου των αποβλήτων
- Παραγωγή προϊόντων – Υλικά επικάλυψης ΧΥΤΑ, SRF, ανακυκλώσιμα

Η βιολογική επεξεργασία όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, δύναται να είναι αερόβια και αναερόβια. Τα βασικά είδη εγκαταστάσεων μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας

και κατά συνέπεια τα παραγόμενα προϊόντα από την επεξεργασία των αποβλήτων συνοψίζονται στον Πίνακα που ακολουθεί

Πίνακας 2.3 Τύπος μονάδας επεξεργασίας απορριμμάτων και αντίστοιχο παραγόμενο προϊόν [6]

Τύπος Μονάδας	Παραγόμενο προϊόν
Μηχανική επεξεργασία και αερόβια κομποστοποίηση	Ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί κ.α.), RDF, Βιοσταθεροποιημένο υλικό για compost, κάλυψη ΧΥΤΑ ή αποκατάσταση εδαφών
Μηχανική επεξεργασία και αναερόβια χώνευση	Ανακυκλώσιμα, RDF, Βιοαέριο, βιοσταθεροποιημένο απόρριμμα
Μηχανική επεξεργασία Αναερόβια χώνευση Αερόβια κομποστοποίηση	Ανακυκλώσιμα, RDF Βιοαέριο, βιοαέριο Υλικό για αποκατάσταση εδαφών
Μηχανική επεξεργασία Βιολογική ξήρανση	Ανακυκλώσιμα (μέταλλα) SRF

Στην αγορά υπάρχει σημαντικός αριθμός ΜΒΕ. Αυτά τα συστήματα έχουν αναπτυχθεί περισσότερο από μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, όπως είναι η πυρόλυση, η αεριοποίηση, μέθοδοι που βασίζονται στο πλάσμα και άλλα καινοτόμα συστήματα.

2.3.4 Βιολογική Ξήρανση

Αποτελεί τεχνική προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Ειδικότερα στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ και κατά επέκταση του όγκου τους, στη διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού των άχρηστων υλικών και στην παραγωγή SRF. Με τη μέθοδο αυτή το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες. Οι ξηραντήρες είναι συνήθως είτε κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων είτε κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes) τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων. [6]

2.4 Θερμικές Μέθοδοι Επεξεργασίας

2.4.1 Γενικά

Η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ, τόσο για μείωση του όγκου όσο και για ανάκτηση ενέργειας, αποτελεί ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Με τη θερμική επεξεργασία γίνεται μετατροπή των στερεών απορριμμάτων σε αέρια και στερεά προϊόντα, ενδεχόμενα δε και υγρά, με ταυτόχρονη ή επακόλουθη απελευθέρωση θερμικής ενέργειας. Κατά τη θερμική επεξεργασία απαραίτητη διαδικασία είναι η εξάτμιση της υγρασίας των στερεών αποβλήτων. [3]

Κύριος στόχος της θερμικής επεξεργασίας είναι:

- Η ελαχιστοποίηση του τελικού προς διάθεση όγκου απορριμμάτων
- Η πλήρης αξιοποίηση όλων των καύσιμων συστατικών τους
- Η παραγωγή αξιοποιήσιμης ενέργειας και η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης
- Η τήρηση όλων των νομικών περιορισμών, όσον αφορά τις κάθε είδους περιβαλλοντικές οχλήσεις (ειδικότερα η αποφυγή δημιουργίας και εκπομπής οργανικών ενώσεων όπως διοξίνες και φουράνια)

Σε γενικές γραμμές οι βασικές αρχές λειτουργίας και οι προδιαγραφές, που πρέπει να πληρούνται, σε όλες τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας ΣΑ, είναι κοινές και μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν:

- Σταθερές συνθήκες λειτουργίας
- Ευχέρεια προσαρμογής σε απότομες αλλαγές της σύστασης και της ποσότητας τροφοδοσίας
- Ευελιξία προσαρμογής στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις της σύνθεσης και της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου
- Πλήρης έλεγχος των ρύπων στις εκπομπές

- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

Ο πίνακας 2.3 συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας, όσον αφορά στις συνθήκες λειτουργίας των αντίστοιχων εγκαταστάσεων και τα προκύπτοντα προϊόντα.

Πίνακας 2.4 Τυπικές συνθήκες λειτουργίας και προϊόντων των τριών βασικότερων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ΣΑ (European Commission 2005) [5]

	Πυρόλυση	Αεριοποίηση	Αποτέφρωση
Συνθήκες λειτουργίας			
Θερμοκρασία αντίδρασης (°C)	250 – 700	500 – 1600	800 – 1450
Πίεση (bar)	1	1 – 45	1
Ατμόσφαιρα	Αδρανής / Άζωτο	Παράγοντας αεριοποίησης O ₂ , H ₂ O	Αέρας
Στοιχειομετρική αναλογία	0	<1	>1
Προϊόντα			
Αέρια φάση	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂ , υδρογονάνθρακες	H ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O, N ₂ , CH ₄	CO ₂ , H ₂ O, N ₂ , O ₂
Στερεά φάση	Τέφρα, κωκ	Τέφρα, σκωρία	Τέφρα, σκωρία
Υγρή φάση	Έλαια πυρόλυσης και νερό	Μικρή ποσότητα συμπυκνωμένου υγρού	

Οι κυριότερες μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας είναι :

- Η Αποτέφρωση-Καύση
- Η Πυρόλυση
- Η Αεριοποίηση
- Η Τεχνική Πλάσματος

2.4.2 Αποτέφρωση – Καύση

Η ανεξέλεγκτη καύση των απορριμμάτων εφαρμοζόταν από αρχαιοτάτων χρόνων και ακόμα εφαρμόζεται σε μη ανεπτυγμένες τεχνολογικά και οικονομικά χώρες. Η ελεγχόμενη καύση ξεκίνησε με την ανάπτυξη της βιομηχανίας και οι τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας (ΘΕ) με ανάκτηση ενέργειας αναπτύχθηκαν κατά τις δεκαετίες του '80 και κυρίως του '90 στην αρχή σε πιλοτικό επίπεδο, μετά πειραματικό και τα τελευταία χρόνια και σε βιομηχανικό επίπεδο, ως εναλλακτικές λύσεις της χρήσης συμβατικών καυσίμων, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος της εν λόγω διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους. Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι:

- Επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O₂) στην εστία καύσης
- Επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης
- Σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης - οξυγόνου)
- Συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση
- Συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης

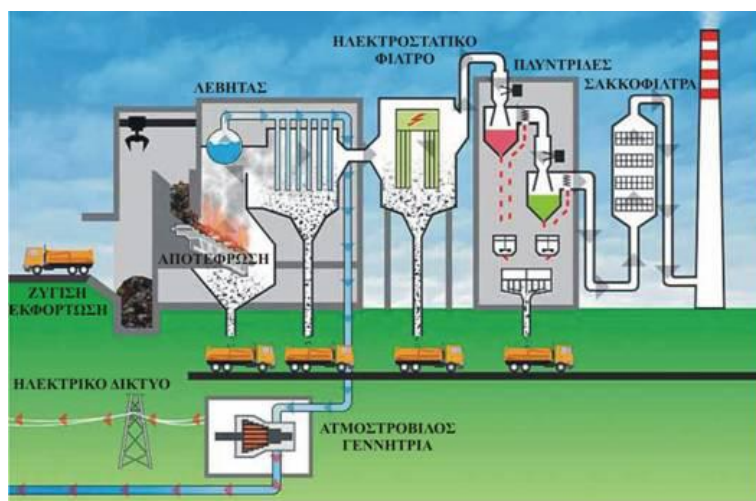
Κατά την καύση εκτός των τυπικών προϊόντων καύσης (διοξείδιο του άνθρακα, ατμός, μονοξείδιο του άνθρακα) παράγεται ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων και μια σειρά άλλων ουσιών όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, υδροχλώριο, υδροφθόριο, πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες κλπ. Επίσης, κατά την καύση των στερεών αποβλήτων παραμένουν στερεά υπολείμματα, τα οποία αντιστοιχούν στο 25-40% του βάρους των εισερχομένων αποβλήτων. Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Διακρίνονται σε τέφρα που παράγεται στο χώρο της καύσης (απομακρύνονται μετά την εσχάρα), τέφρα από τους λέβητες (υπολείμματα τα οποία δημιουργούνται στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων και συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα), ιπτάμενη τέφρα και σκόνη που κατακρατείται στα φίλτρα (συγκεντρώνεται στις χοάνες κάτω από τα

ηλεκτρόφιльтра ή σακκόφιльтра) και υπολείμματα τα οποία παράγονται από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.

Τα διαδοχικά στάδια της καύσης είναι:

- 1) Ξήρανση του υλικού σε θερμοκρασία λίγο πάνω από τους 100°C
- 2) Εξαερίωση κατά την οποία απομακρύνεται το πτητικό κλάσμα σε θερμοκρασία αερίου 250°C
- 3) Έναυση όπου ο άνθρακας μετατρέπεται σε αέρια προϊόντα σε θερμοκρασία $500-600^{\circ}\text{C}$
- 4) Αποτέφρωση όπου σε θερμοκρασία $800-1100^{\circ}\text{C}$ τα αέρια που προήλθαν από τις προηγούμενες φάσεις οξειδώνονται πλήρως.

Η διάκριση των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας γίνεται κυρίως με το είδος της εστίας καύσης και τον τύπο του θαλάμου καύσης.



Σχήμα 2.2 Τοπική μονάδα αποτέφρωσης ΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [23]

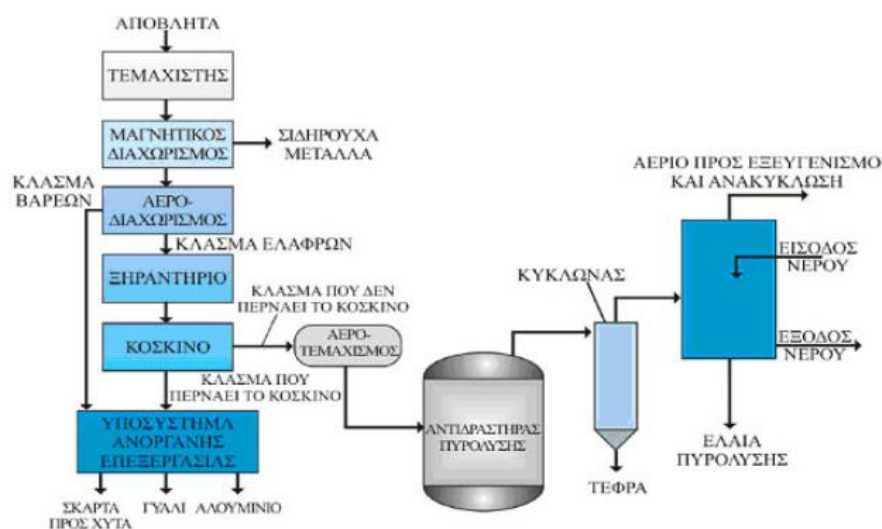
2.4.3 Πυρόλυση

Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική διεργασία, η οποία αν και αναπτύχθηκε τα τέλη του 19ου αιώνα, μόλις τα τελευταία 20 – 30 χρόνια άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία ΑΣΑ. Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της. Παρόλα αυτά, μη Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιαπωνία, διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών απορριμμάτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στις

διαφορές των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών. Πιο συγκεκριμένα, πυρόλυση είναι η θερμική διαδικασία αποσύνθεσης ενός υλικού η οποία λαμβάνει χώρα είτε σε συνθήκες παντελούς έλλειψης οξειδωτικού μέσου, είτε σε συνθήκες μερικής οξείδωσης. Οι διεργασίες της πυρόλυσης συμβαίνουν σε θερμοκρασίες 400-800° C και διασπώνται τα πολύπλοκα μόρια σε απλούστερα μόρια C. Κατά την πυρόλυση των στερεών αποβλήτων, τα προϊόντα που παράγονται είναι:

- **Αέρια:** Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων
- **Υγρά:** Το υγρό κλάσμα, είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.
- **Πίσσα:** Το στερεό υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα και τυχόν αδρανή υλικά που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Η αναλογία των παραπάνω προϊόντων εξαρτάται από τη μέθοδο της πυρόλυσης, δηλαδή από τη θερμοκρασία στην οποία υποβάλλεται το υλικό, το χρόνο έκθεσης στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και από τη φύση του ίδιου του υλικού.

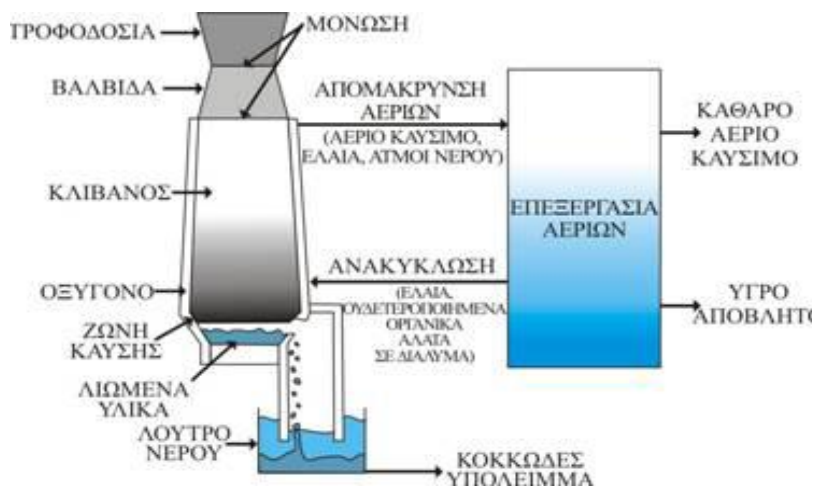


Σχήμα 2. 3 Διεργασία πυρόλυσης [23]

2.4.4 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση αποτελεί επίσης μια σχετικά νέα και μη ευρέως διαδεδομένη, στην Ευρώπη, μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Ουσιαστικά περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500 °C). Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται το διάγραμμα ροής σε μια τυπική μονάδα αεριοποίησης. Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- Αέριο (αέριο σύνθεσης - syngas) πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Το αέριο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε λέβητες θέρμανσης κλπ.
- Στερεό υπόλειμμα κυρίως αδρανές υλικό.
- Η διαδικασία καθαρισμού των παραγόμενων αερίων οδηγεί στη δημιουργία μικρών ποσοτήτων υγρών αποβλήτων που χρήζουν κατάλληλης επεξεργασίας.



Σχήμα 3. 4 Διάγραμμα ροής σε τυπική μονάδα αεριοποίησης

2.4.5 Αεριοποίηση/Υαλοποίηση με την τεχνική πλάσματος

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Ο ιονισμός αυτός μπορεί να

πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας που δημιουργείται από ηλεκτρική αντίσταση τόξου στήλης πλάσματος. Το τόξο αυτό βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) και αποτελείται από ένα ηλεκτρικά αγώγιμο αέριο, μετατρέποντας έτσι τον ηλεκτρισμό σε θερμότητα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αερίου μπορεί να υπερβεί τους 6.000 °C. Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη χημική δραστηριότητα συγκριτικά με τα περισσότερα αέρια σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μια ποικιλία χημικών διαδικασιών. Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτής προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την υψηλή κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του πλάσματος, αλλά και τα άτομα του ουδέτερου αερίου. Η μερική μεταφορά αυτής της ενέργειας στις χημικές ενώσεις κάνει δυνατές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από τις εξώθερμες αντιδράσεις των συμβατικών διαδικασιών καύσης. Εφαρμόζοντας την τεχνική του πλάσματος, λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση / υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχομένων στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης (μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια. Παράλληλα, το ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο μετά από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές, υψηλής πυκνότητας υαλώδες υλικό. Τα τελικά προϊόντα από την εφαρμογή της τεχνολογίας του πλάσματος είναι:

- Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Το υαλώδες μορφής, αδρανές υλικό, το οποίο είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές.
- Τα απαέρια, τα οποία ύστερα από κατάλληλα επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα.
- Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση. [4]

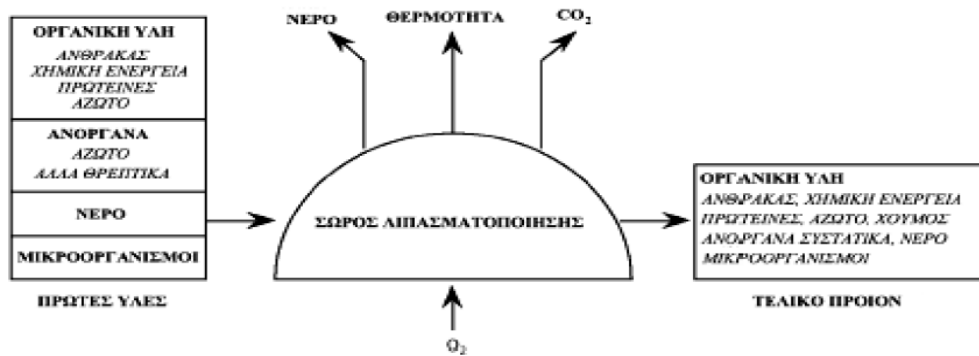
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 Εισαγωγή

Ο όρος κομποστοποίηση (composting) αναφέρεται στη αερόβια βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού). Το τελικό προϊόν είναι σταθεροποιημένο και μπορεί να διατεθεί, χωρίς να έχει ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η φράση « αποδομείται βιολογικά » διαφοροποιεί την εν λόγω μέθοδο από άλλες τεχνικές διαχείρισης του οργανικού κλάσματος όπως είναι η αναερόβια χώνευση, η θερμική επεξεργασία και η υγειονομική ταφή. Με τον όρο «οργανικά απόβλητα» ορίζονται τα υλικά τα οποία δύναται να αποδομηθούν βιολογικά ενώ με τη φράση «ελεγχόμενες συνθήκες» η κομποστοποίηση διαφοροποιείται από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση, καθώς ελέγχονται οι συνθήκες της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του αερισμού κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Το τελικό προϊόν ορίζεται ως βιολογικά σταθεροποιημένο όταν δεν υπόκειται πλέον έντονη μικροβιακή δραστηριότητα, ενώ η τελική του χρήση εξαρτάται από ποικίλες φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους που προσδιορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Ενδεχόμενες χρήσεις του κόμποστ περιλαμβάνουν τη ρύθμιση εδαφών, την αποκατάσταση εδαφών την αξιοποίησή του ως φυσικό εδαφοβελτιωτικό κ.α.. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται σχηματικά η διεργασία της κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση αποτελεί μια βιολογική διεργασία βασιζόμενη στις δραστηριότητες συγκεκριμένων βακτηρίων και μυκήτων. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης οι αερόβιοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν οξυγόνο για την οξείδωση της οργανική *ουσίας* διασπώντας σύνθετες οργανικές ενώσεις του υποστρώματος σε ενδιάμεσα προϊόντα και έπειτα σε απλούστερες ενώσεις παράγοντας CO₂, ανόργανες μορφές αζώτου, νερό και θερμότητα ενώ επιτυγχάνεται μείωση του όγκου και της μάζας του υποστρώματος Παράλληλα με τη βιοαποδόμηση της οργανικής *ουσίας* συντελούνται και διεργασίες χουμοποίησης οι οποίες περιλαμβάνουν τον πολυμερισμό ενώσεων από τους μικροοργανισμούς ή/και το σχηματισμό απλούστερων ενώσεων προερχόμενα από την αποσύνθεση της οργανικής *ουσίας*. Επομένως, το βιοαποδομήσιμο οργανικό υλικό μετατρέπεται μέσω διαδοχικών μικροβιακών δραστηριοτήτων και βιοχημικών αντιδράσεων σε σταθερότερη οργανική *ουσία* η οποία έχει κοινά χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά με τις χουμικές ενώσεις . [20],[24],[25],[26]



Σχήμα 3.1: Απεικόνιση της διεργασίας της κομποστοποίησης [1]

3.2 Μικροοργανισμοί κομποστοποίησης - Φάσεις ζύμωσης

Η ζύμωση των οικιακών απορριμμάτων αποβλέπει κυρίως στην απόκτηση μιας υψηλής θερμοκρασίας για την απαλλαγή του παραγόμενου κόμποστ από βλαβερούς μικροοργανισμούς και γίνεται στις παρακάτω τέσσερις φάσεις:

I. Λανθάνουσα φάση

Αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζεται για να γίνουν οι αποικίες των μικροοργανισμών στο καινούριο μέσο που δημιουργήθηκε γι' αυτούς.

II. Φάση της αυξήσεως

Κατά την οποία ανεβαίνει η θερμοκρασία, η οποία εξελίσσεται πιο γρήγορα, όταν ο αέρας και η υγρασία πλησιάζουν την επιθυμητή περιεκτικότητα. Αναπτύσσονται τα μεσόφιλα μικρόβια που προκαλούν την έναρξη της ζύμωσης. Στους 40°C – 45°C τα μεσόφιλα μικρόβια πεθαίνουν.

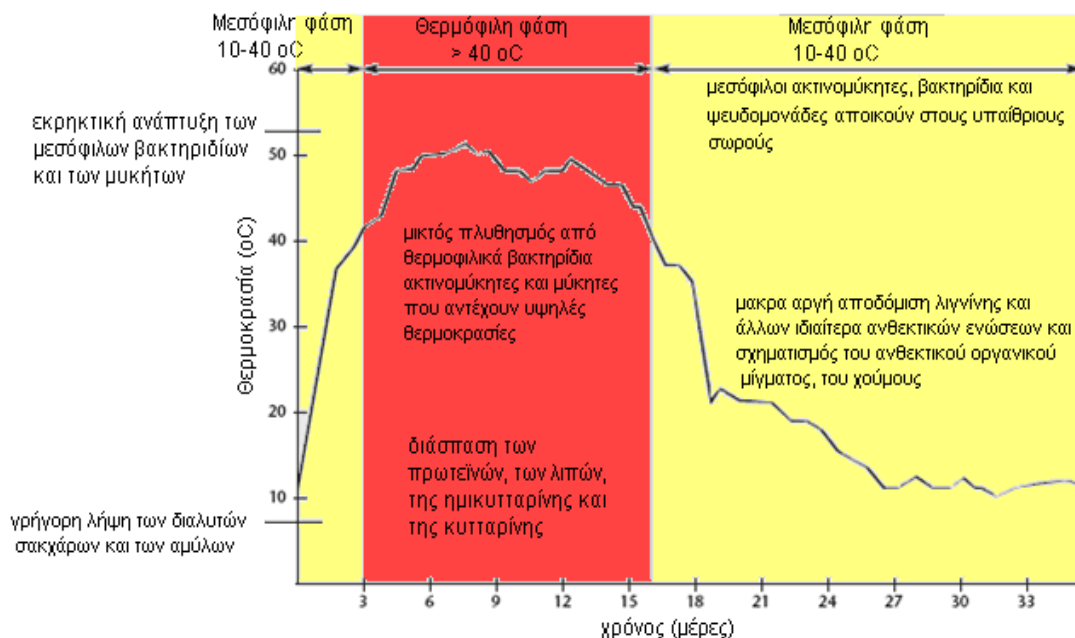
III. Θερμόφιλη Φάση

Αντιστοιχεί στην περίοδο ενέργειας ενός άλλου μικροβιακού κύματος, που αντικαθιστά το προηγούμενο και συνεχίζει το έργο της αποδόμησης και ανύψωσης της θερμοκρασίας. Στους 60°C – 70°C τα θερμόφιλα βακτήρια πεθαίνουν καθώς και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα διάφορα παράσιτα. Η φάση αυτή πρέπει να σταματήσει εγκαίρως για να μην ελαχιστοποιηθεί το περιεχόμενο σε οργανικές ουσίες του κόμποστ.

IV. Φάση ωριμάνσεως

Με τη φάση αυτή τελειώνει η διαδικασία. Τα δυο μικροβιακά κύματα (μεσόφιλα, θερμόφιλα) κατανάλωσαν το οξυγόνο και έκαναν προοδευτικά το μέσο αναερόβιο. Η

φάση αυτή γεννά πτητικές ουσίες με δυσάρεστη οσμή (NH_3 , H_2S , διάφορα οργανικά προϊόντα). Για την αποφυγή του δυσάρεστου αυτού φαινομένου πρέπει να αποκαθίσταται η αερόβιος λειτουργία μέσω της ανάδευσης του σωρού. [2]



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα θερμοκρασίας και pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης [18]

Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι το μικροβιακό κύμα αποτελείται από βακτήρια, ακτινομύκητες και μύκητες. Στην αρχή σε συνήθη θερμοκρασία, το προϊόν είναι ελαφρά όξινο και προσφέρεται για δραστηριοποίηση των μεσόφιλων οργανισμών, που ευνοούνται σε θερμοκρασίες 25°C – 45°C και όξινο περιβάλλον. Με την άνοδο της θερμοκρασίας οι θερμοφιλοι μικροοργανισμοί αρχίζουν να αντικαθιστούν τους μεσόφιλους και σιγά σιγά το προϊόν γίνεται αλκαλικό με παραγωγή μικρών ποσοτήτων αμμωνίας. Στη φάση αυτή συνήθως χρειάζεται προσθήκη C και N και άλλων θρεπτικών στοιχείων για την εξέλιξη της ζύμωσης. Σε αυτή τη φάση της ζύμωσης διασπώνται ουσιαστικά οι πρωτεΐνες και τα κυτταρινούχα προϊόντα. Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 60°C η θερμοφιλή καλλιέργεια καταστρέφεται και αντικαθίσταται από σποροβακτήρια και ακτινομύκητες. Με προσφορά οξυγόνου η θερμοκρασία μπορεί να ανέλθει στους 75°C, ακολούθως όμως σταδιακά μειώνεται στους 60°C, οπότε αρχίζει πάλι η δραστηριότητα των θερμοφίλων καλλιεργειών με συνεχή μείωση του pH, που πάντοτε όμως διατηρείται ελαφρά αλκαλικό. Η περίοδος μείωσης της θερμοκρασίας οδηγεί σε ωρίμανση του προϊόντος, που απαιτεί αρκετό χρόνο.

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης.

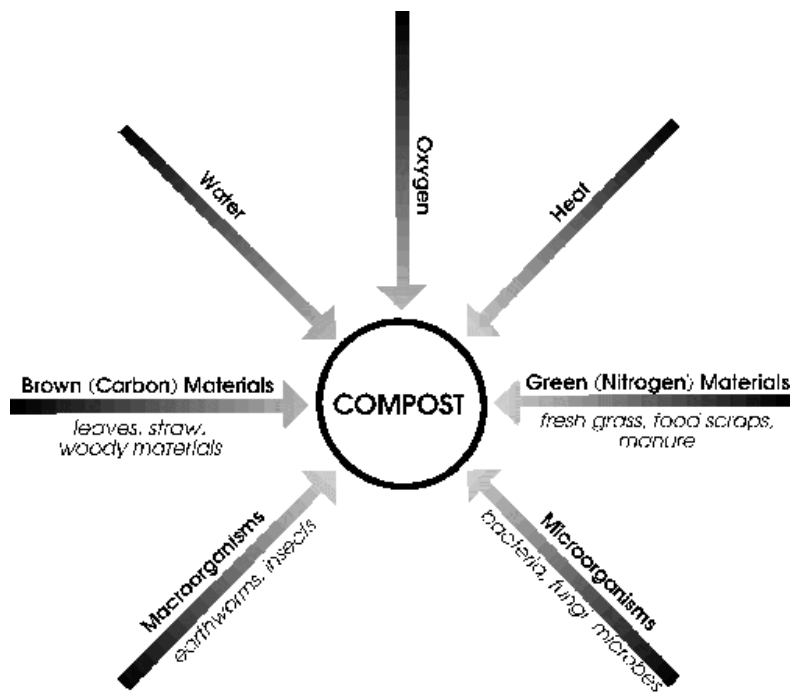


Σχήμα 3.3 Η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης [27]

3.3 Παράμετροι κομποστοποίησης

Λόγω του γεγονότος ότι η ανάπτυξη της μεθόδου στηρίζεται στην παρουσία κατάλληλων πληθυσμών μικροοργανισμών, οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη και 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). Οι πιο σημαντικοί από αυτούς τους παράγοντες που απεικονίζονται και παρακάτω είναι οι εξής:

1. Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος
2. Ο αερισμός της μάζας
3. Η θερμοκρασία
4. Η υγρασία
5. Ο λόγος C/N
6. Οι τιμές pH



Σχήμα 3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν

3.3.1 Αρχική σύσταση οργανικού κλάσματος

Η σωστή προετοιμασία του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων προς κομποστοποίηση αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο για την επιτυχία των διεργασιών. Ο σωρός χρειάζεται την κατάλληλη αναλογία από υλικά πλούσια σε άνθρακα (π.χ. ξερά φύλλα, κομμάτια ξύλου) και υλικά πλούσια σε άζωτο (π.χ. κομμένα χόρτα, φυτικά υπολείμματα από την κουζίνα). Αναμιγνύοντας διάφορα είδη υλικών ή αλλάζοντας τις αναλογίες μπορεί να αλλάξει η ταχύτητα της αποσύνθεσης. 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 προμηθεύει τους μικροοργανισμούς με ενέργεια και το άζωτο με πρωτεΐνες. Η οργανική μάζα που προορίζεται για κομποστοποίηση συνίσταται από στερεά ουσία, νερό και αέρια (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα), σε σχετικά σταθερή κατανομή. Η σταθερότητα της κατανομής των διάφορων συστατικών είναι πολύ σημαντική για την εξέλιξη της διεργασίας και την ποιότητα του προϊόντος. Αν η διεργασία εξελίσσεται ομαλά, οι παράμετροι αυτές διαφοροποιούνται σε μικρό εύρος τιμών.

Άλλη παράμετρος που επηρεάζει την κομποστοποίηση είναι το μέγεθος των κόκκων του υλικού. Ο λόγος επιφάνεια/όγκο των κόκκων έχει άμεση επίδραση στον τρόπο και το ρυθμό της μικροβιακής μετατροπής του οργανικού κλάσματος σε κόμποστ. Η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού έχει ως αποτέλεσμα αυτό να αποτελεί καλύτερο και πιο ομοιογενές υπόστρωμα για την μικροβιακή δράση. Μια ορισμένη κοκκομετρική σύσταση του υλικού από τεμαχίδια με διάμετρο λίγων χιλιοστών μέχρι και πέντε εκατοστών περίπου θεωρείται ικανοποιητική.

Επίσης σημαντικές είναι οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας και του οξυγόνου που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της μικροβιακής δράσης. Όταν το σχετικό ποσοστό τους είναι χαμηλότερο από μία κρίσιμη τιμή, τότε ο μικροβιακός μεταβολισμός επιβραδύνεται ή αναστέλλεται, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη επιβράδυνση ή διακοπή της διεργασίας της κομποστοποίησης.

3.3.2 Αερισμός του οργανικού υλικού

Ο αερισμός της μάζας του προς κομποστοποίηση υλικού απαιτείται για τρεις βασικούς λόγους:

- παρέχει στο υλικό το απαραίτητο οξυγόνο για την ανάπτυξη των βιοχημικών δράσεων διάσπασης και σταθεροποίησης των οργανικών συστατικών.
- βοηθά στην απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας από υγρά οργανικά υποστρώματα και επομένως στη ρύθμιση της υγρασίας του υλικού στα επιθυμητά επίπεδα.
- βοηθά στην απομάκρυνση της θερμότητας που παράγεται κατά τις δράσεις βιοαποδόμησης των οργανικών συστατικών και επομένως στον έλεγχο της θερμοκρασίας της διεργασίας.

Ο αέρας που περιέχεται στα διάκενα μεταξύ των κόκκων του υλικού κατά την έναρξη των μικροβιακών δράσεων ποικίλει σε σύσταση, ενώ σταδιακά αυξάνεται το διοξείδιο του άνθρακα και ελαττώνεται το οξυγόνο. Το μέσο περιεχόμενο CO_2 και O_2 μέσα στη μάζα είναι περίπου 20%. Το οξυγόνο κυμαίνεται μεταξύ 15% – 20% και το διοξείδιο του άνθρακα μεταξύ 0,5% – 5%. Όταν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο ελαττώνεται κάτω από αυτές τις τιμές, προκύπτουν αναερόβιες συνθήκες. Είναι λοιπόν απαραίτητο για τους μικροοργανισμούς να έχουν σταθερή παροχή φρέσκου αέρα για να διατηρούνται αναλλοίωτες οι μεταβολικές τους δραστηριότητες.

Στην κομποστοποίηση, το οξυγόνο δεν είναι απαραίτητο μόνο για τον αερόβιο μεταβολισμό και αναπνοή των μικροοργανισμών, αλλά και για την οξείδωση των διαφόρων οργανικών μορίων που περιέχονται στη μάζα του υλικού. Η στοιχειομετρική απαίτηση αερισμού εξαρτάται από τη χημική σύσταση των οργανικών υλικών.

Η παρουσία της απαραίτητης ποσότητας οξυγόνου μέσα στο σωρό είναι εξάρτηση μιας σειράς παραγόντων όπως το μέγεθος των οργανικών απορριμμάτων, η ανάδευση (αναποδογύρισμα) του σωρού ανά τακτά διαστήματα, η προσθήκη υλικών(π.χ. ροκανίδι, πριονίδι) στο σωρό που θα απορροφούν υγρασία και θα δίνουν τη δυνατότητα στους πόρους να «αναπνέουν» καθώς επίσης και η θερμοκρασία όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

Η κατανάλωση του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι ευθέως ανάλογη με την αναπτυσσόμενη μικροβιακή δραστηριότητα. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι η ύπαρξη άμεσης σχέσης μεταξύ κατανάλωσης οξυγόνου και θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία που προάγει τη μικροβιακή δραστηριότητα κυμαίνεται μεταξύ 28°C – 55°C, συνδυαζόμενη με τη μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου. Έτσι, ο αερισμός επιβάλλεται και για την απομάκρυνση της θερμότητας που παράγεται από τη βιοδιάσπαση των οργανικών και επομένως για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της διεργασίας.

Η περιεκτικότητα υγρασίας και ο αερισμός του υλικού συσχετίζονται στενά. Όταν ο αέρας εκτοπίζεται από νερό μέσα στους πόρους του υλικού, ευνοείται η δημιουργία συσσωματωμάτων και μειώνεται η δομική σταθερότητα του υλικού. Για το λόγο αυτό, ο αερισμός απαιτείται και για την απομάκρυνση της υγρασίας, ιδιαίτερα στην περίπτωση υγρών οργανικών υποστρωμάτων (π.χ. ιλύος). Καθώς ο αέρας θερμαίνεται από το υλικό, απορροφά υγρασία και κατά συνέπεια ξηραίνει το υλικό.

Είναι σαφές ότι το σύστημα αερισμού αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο σε όλα τα σύγχρονα συστήματα κομποστοποίησης. Η δυνατότητα ελέγχου του αερισμού είναι η παράμετρος-κλειδί για την επιτυχή εξέλιξη και έλεγχο της διεργασίας. Όταν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στη ζυμούμενη μάζα πέσει κάτω του 5% περίπου, τότε αρχίζουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες που επιβραδύνουν τη ζύμωση και προκαλούν την παραγωγή δύσσομων αερίων. Η οξυγόνωση των απορριμμάτων γίνεται, είτε με ρεύμα αέρα (κλίβανοι χωνεύσεως),

είτε με γύρισμα των σωρών, ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τον προγραμματισμένο χρόνο κομποστοποίησης (κάθε 2-3 ημέρες ή περισσότερο).

3.3.3 Θερμοκρασία

Συχνά, θεωρείται ότι η υψηλή θερμοκρασία αποτελεί απαιτούμενη συνθήκη για την επιτυχή ανάπτυξη της μεθόδου της κομποστοποίησης. Οι υψηλές θερμοκρασίες προκύπτουν από τη βιολογική δραστηριότητα. Η θερμότητα που απελευθερώνεται λόγω της δράσης των μικροοργανισμών που διασπών την οργανική ύλη σταδιακά αυξάνεται μέσα στη μάζα. Πολύ υψηλές θερμοκρασίες όμως αποτρέπουν την ανάπτυξη των περισσότερων μικροοργανισμών και ως εκ τούτου οδηγούν σε επιβράδυνση της βιοαποδόμησης της οργανικής ύλης. Μόνο λίγα είδη θερμοφιλικών σπορογενών βακτηρίων έχουν μεταβολική δραστηριότητα σε θερμοκρασίες πάνω από 70°C (*Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp.) καθώς και λίγα άλλα βακτήρια όπως το αερόβιο γένος *Thermus*.

Για την επίτευξη κομποστοποίησης, θα πρέπει να αποφεύγονται υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο μία αρχική θερμοφιλική φάση είναι χρήσιμη και απαραίτητη για τον περιορισμό και τη θανάτωση ευαίσθητων στη θερμοκρασία παθογόνων μικροοργανισμών. Μια θερμοκρασία γύρω στους 55°C – 65°C είναι επιθυμητή για ένα χρονικό διάστημα επειδή οδηγεί σε μερική αποστείρωση του υλικού. Σε αυτή την θερμοκρασιακή περιοχή καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που ενδεχομένως υπάρχουν στα υλικά. Κατά την εξέλιξη της διεργασίας η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης στη μεσόφιλη περιοχή κυμαίνεται ανάμεσα στους 35°C – 45°C ενώ αν πέσει κάτω από 20°C η αποδόμηση επιβραδύνεται.

Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας πρέπει να είναι συνεχής και ενδείκνυται η χρήση διάταξης συνεχούς ελέγχου της θερμοκρασίας με ανιχνευτές. Καθορίζεται έτσι μία ανώτερη τιμή θερμοκρασίας, σύμφωνα με την οποία ρυθμίζεται η διάρκεια του αερισμού, ώστε να επιτυγχάνεται η απαγωγή θερμότητας που οφείλεται στη βιολογική δραστηριότητα.

3.3.4 Υγρασία

Η περιεχόμενη υγρασία και ο ρυθμός αερισμού του προς κομποστοποίηση υλικού συσχετίζονται στενά. Όταν ο αέρας εκτοπίζεται από νερό μέσα στους πόρους του υλικού ευνοείται η δημιουργία συσσωματωμάτων και μειώνεται η δομική σταθερότητα του υλικού. Αυτό παρατηρείται συνήθως για περιεχόμενη υγρασία πάνω από 65%.

Η βέλτιστη υγρασία κατά την κομποστοποίηση ποικίλει και εξαρτάται από τη φύση και το μέγεθος των κόκκων του υλικού καθώς και από τη μέθοδο κομποστοποίησης που εφαρμόζεται. Συνήθως το ποσοστό υγρασίας θα πρέπει να κυμαίνεται από 40% – 65%. Χαμηλές τιμές περιεχόμενης υγρασίας είναι ενδεικτικές της πρόωρης αφυδάτωσης του υλικού, γεγονός που επιβραδύνει τη βιολογική διεργασία. Αντίθετα, αυξημένη υγρασία παρεμποδίζει τον αποτελεσματικό αερισμό, φράσσοντας τους πόρους του υλικού, με αποτέλεσμα την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών.

3.3.5 Λόγος Άνθρακα / Αζώτου (C/N)

Η σχέση C/N επηρεάζει αποφασιστικά την ταχύτητα της βιολογικής αποδόμησης του υλικού γιατί από τη διαθέσιμη ποσότητα του βασικού στοιχείου N στους μικροοργανισμούς, εξαρτάται η ταχύτητα της αποδόμησης των οργανικών ενώσεων του C για τον προσδιορισμό από αυτούς της απαιτούμενης ποσότητας C και ενέργειας. Με βάση την περιεκτικότητα του μικροβιακού κυττάρου σε C και N και το δεδομένο ότι μόνο το 1/3 του μεταβολιζόμενου C χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς το δε άλλο αποβάλλεται κυρίως ως CO₂, η άριστη σχέση C/N στο ζυμούμενο υλικό υπολογίζεται γύρω στο 25:1. Ωστόσο, τα απορρίμματα (ιδίως με πολύ χαρτί) έχουν δυσμενή λόγο θρεπτικών υλικών (C/N μέχρι 60:1), που μπορεί όμως να βελτιωθεί με την προσθήκη αζωτούχων ενώσεων (π.χ. λάσπη λυμάτων με C/N 12:1).

Έχει παρατηρηθεί ότι αρχικές χαμηλές τιμές του λόγου C/N (με τιμές μικρότερες από 10) έχουν ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της βιοαποδόμησης και την αύξηση των απωλειών αζώτου (μέσω απαερίωσης αμμωνίας, ειδικά υπό συνθήκες υψηλών τιμών pH και θερμοκρασίας).

Αντίθετα, αν οι αρχικές τιμές του λόγου C/N είναι ιδιαίτερα υψηλές (μεγαλύτερες από 35), τότε απαιτούνται πολλοί βιοχημικοί κύκλοι (οι μικροοργανισμοί οξειδώνουν

κάθε φορά την περίσσεια του άνθρακα), έως ότου επιτευχθεί ικανοποιητικός λόγος C/N .

Η εμπειρία έχει δείξει ότι η βέλτιστη τιμή του λόγου C/N κυμαίνεται περίπου στο 25. Υψηλότερες τιμές επιβραδύνουν την βιοαποδόμηση, ενώ χαμηλότερες οδηγούν σε απώλειες θρεπτικού αζώτου.

Οι παρακάτω πίνακες δίνουν πληροφορίες για το λόγο C/N διαφόρων υλικών κομποστοποίησης.

Πίνακας 3.1 Αναλογία άνθρακα-αζώτου στα διάφορα κομποστοποιήσιμα υλικά

ΥΛΙΚΟ	ΛΟΓΟΣ C/N
Πριονίδι	200 – 750
Φύλλα από δέντρα	40 – 80
Ξερό γκαζόν	20
Φρέσκο γκαζόν	15
Φρέσκα υπολείμματα κήπου	20
Υπολείμματα λαχανικών	12
Απορρίμματα κουζίνας	15
Χαρτόνι-Εφημερίδες	560

3.3.6 pH

Σε γενικές γραμμές, μπορεί να υποστεί κομποστοποίηση, οργανική ύλη με μεγάλο εύρος τιμών pH . Όμως οι βέλτιστες τιμές pH κυμαίνονται από 5,5 - 8,5. Τα βακτήρια συνήθως αναπτύσσονται σε σχεδόν ουδέτερο pH , ενώ οι μύκητες αναπτύσσονται ευνοϊκότερα σε ελαφρά όξινο περιβάλλον.

Γενικά, η τιμή του pH αρχίζει να μειώνεται με την έναρξη της κομποστοποίησης, ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας οξυγενών βακτηρίων τα οποία διασπούν το σύνθετο οργανικό υλικό σε παράγωγα οργανικών οξέων, ενώ στη συνέχεια οδηγείται σταδιακά προς σταθερές τιμές.

3.4 Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης

Η ταξινόμηση των συστημάτων κομποστοποίησης γίνεται με βάση διάφορα κριτήρια. Η πιο βασική διάκριση μεταξύ των συστημάτων κομποστοποίησης είναι το αν το υλικό περιέχεται σε έναν αντιδραστήρα ή όχι. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αντιδραστήρα είναι τα κλειστά συστήματα, ενώ αυτά που δεν χρησιμοποιούν είναι τα ανοιχτά συστήματα. Υπάρχουν και τα μικτά συστήματα στα οποία γίνεται συνδυασμός των ανοιχτών και κλειστών συστημάτων.

Μια αδρομερής ταξινόμηση είναι η παρακάτω:

- Ανοιχτά συστήματα (Open systems).
- Κλειστά συστήματα (Reactor or enclosed systems or container composting, or mechanical systems).
- Μικτά συστήματα (Συνδυασμός ανοιχτών και κλειστών συστημάτων).

3.4.1 Ανοικτά συστήματα κομποστοποίησης

I. Γενικά χαρακτηριστικά

Στα ανοιχτά συστήματα, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ανοιχτούς χώρους, χωρίς την χρήση σοβαρού μηχανολογικού εξοπλισμού. Στα ανοιχτά συστήματα συγκαταλέγονται τα σειράδια και οι σταθεροί αεριζόμενοι σωροί. Οι βασικοί μηχανισμοί που ακολουθούνται και στα δύο συστήματα είναι παρόμοιοι, ο εξοπλισμός όμως που χρησιμοποιείται διαφέρει σημαντικά. Στην περίπτωση των σειραδίων 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 φουσητήρες.

II. Σειράδια

Στην μέθοδο αυτή το μίγμα προς κομποστοποίηση σωριάζεται σε μακριές παράλληλες γραμμές, τα σειράδια. Τα σειράδια απλώνονται σε ανοιχτό χώρο και μόνο σε περιοχές με υψηλή βροχόπτωση τα σειράδια καλύπτονται από κάποιο στέγαστρο.

Η κομποστοποίηση με την μέθοδο αυτή βασίζεται στον φυσικό αερισμό των σειραδίων, ο οποίος επιτυγχάνεται με συχνή αναμόχλευση του σωρού. Σε μικρές εγκαταστάσεις, η αναμόχλευση γίνεται με τα χέρια ή με τρακτέρ ενώ σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ειδικά οχήματα. Σε στεγασμένες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται για την αναμόχλευση ειδικός εξοπλισμός που βρίσκεται αναρτημένος από την οροφή. Η αναμόχλευση επιτυγχάνει:

- Αερισμό του σωρού και παροχή οξυγόνου στους μικροοργανισμούς ώστε ο σωρός να μην καταστεί αναερόβιος.
- Καταστροφή των συσσωμάτων 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 και διαμορφώνονται ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες.
- Την συνεχή ανάμιξη των υλικών για την καλύτερη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα και την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού.

Η εγκάρσια τομή του σωρού έχει σχήμα τραπεζίου. Το τυπικό πλάτος του σωρού είναι 4.5m και το ύψος του 1 – 2m. Κάθε σειράδι πρέπει να αναδεύεται δύο-τρεις φορές την ημέρα κατά την διάρκεια των 5 πρώτων ημερών, ώστε το μίγμα να αναμιχθεί πλήρως, να μειωθούν κατά το δυνατόν οι οσμές και να εξασφαλιστεί η είσοδος του απαιτούμενου οξυγόνου. Στην συνέχεια τα σειράδια αναμοχλεύονται μία φορά την ημέρα για άλλες 30 ημέρες.

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 50°C – 60°C. Οι θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια του σειραδίου είναι χαμηλότερες και τείνουν να εξισωθούν με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Όλα τα μηχανήματα που διατίθενται στην αγορά έχουν κατασκευαστεί αποκλειστικά για τον σκοπό της μηχανικής αναμόχλευσης των σειραδίων. Βασικά διακρίνονται σε δύο τύπους: Τους μετωπικούς αναμοχλευτές (straddle turners) και τους πλευρικούς αναμοχλευτές (Side-cutting windrow turners). Οι μετωπικοί αναμοχλευτές (straddle turners) εκτείνονται σε όλο το πλάτος του σωρού. Περιλαμβάνουν ένα

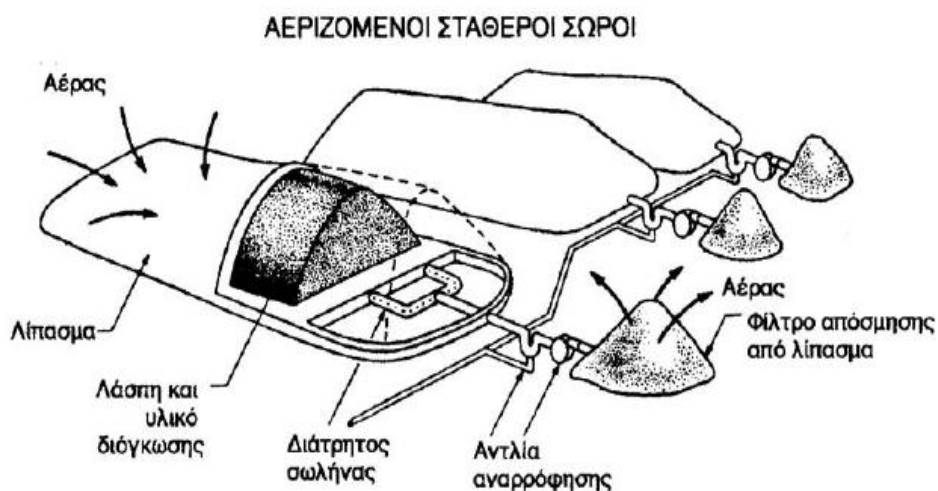
περιστρεφόμενο κοχλία που εισχωρεί στο σωρό, ανυψώνει το υλικό και το αποθέτει πίσω του καθώς προχωρεί. Ένας εναλλακτικός τύπος μηχανήματος χρησιμοποιεί ένα κεκλιμένο ταινιόδρομο με κλίση προς το πίσω τμήμα του μηχανήματος. Στην βάση του ταινιόδρομου υπάρχουν δόντια που εισχωρούν στο σωρό και αναγκάζουν το υλικό να πέσει στην ταινία και να μεταφερθεί στο πίσω μέρος του μηχανήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αναμοχλευτές είναι αυτοκινούμενοι.

III. Αεριζόμενοι σταθεροί σωροί (aerated static piles)

Τύποι σταθερών σωρών

Στην μέθοδο αυτή, το μίγμα των υλικών σωριάζεται σε σταθερό σωρό στον οποίον εφαρμόζεται εξαναγκασμένος αερισμός. Η μέθοδος αναπτύχθηκε με στόχο την μείωση της απαιτούμενης έκτασης και την βελτιστοποίηση της διεργασίας της κομποστοποίησης.

Οι αεριζόμενοι σταθεροί σωροί διακρίνονται σε ατομικούς σωρούς και σε εκτεταμένους σωρούς. Η πρώτη μέθοδος είναι γνωστή σαν μέθοδος Rudgers και η δεύτερη μέθοδος ως μέθοδος Beltsville. Ο αερισμός των σωρών μπορεί να γίνει με αναρρόφηση αέρα, ή εμφύσηση αέρα, ή με συνδυασμό και των δύο. Τα δύο συστήματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.1 και 2.2. Στην συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος σχεδιασμού του συστήματος του εκτεταμένου σταθερού σωρού που είναι και ο πιο συνηθισμένος μιας που απαιτεί 50 φορές περίπου μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη των ατομικών αεριζόμενων σωρών .

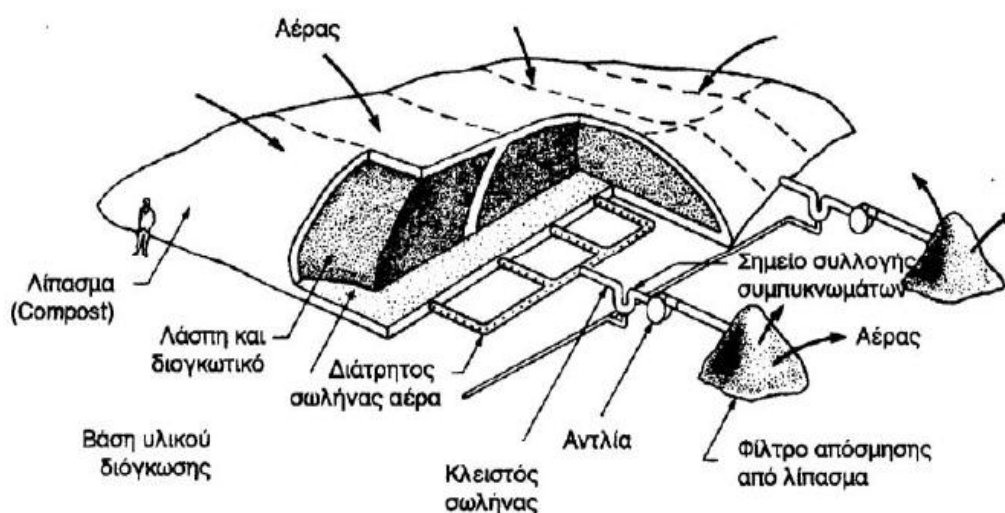


Σχήμα 3.5 Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών (σύστημα Rudgers) [30]

Κατασκευή του σταθερού αεριζόμενου σωρού

Η επιφάνεια απόθεσης του σωρού, η επιφάνεια ξήρανσης και η επιφάνεια διαχωρισμού του πρόσθετου υλικού διαμορφώνεται από σκυρόδεμα. Στην επιφάνεια διάστρωσης δίδεται κλίση 2% για την συλλογή των ομβρίων και την ανακύκλωσή τους στην εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων. Ο εκτεταμένος σωρός κατασκευάζεται ως εξής:

Στην αρχή κατασκευάζεται ένας σωρός σε σχήμα τριγωνικό με την ποσότητα του μίγματος μιας ημέρας. Η μια πλευρά και τα άκρα του σωρού σκεπάζονται κανονικά με 25cm τελικού κόμποστ, ενώ η εσωτερική πλευρά καλύπτεται προσωρινά με μερικά εκατοστά κόμποστ μέχρι την άλλη μέρα. Ο σωρός που κατασκευάζεται έχει πλάτος 15m και ύψος 2.5m.



Σχήμα 3.6 Σχηματική διάταξη σταθερού σωρού (σύστημα Beltsville) [30]

Σωλήνες αερισμού

Οι σωλήνες αερισμού για την εμφύσηση ή την αναρρόφηση του αέρα τοποθετούνται σε μόνιμα τριγωνικά κανάλια, βάθους περίπου 20 – 25cm και σε απόσταση 1.6m μεταξύ τους, που διαμορφώνονται στο δάπεδο απόθεσης του σωρού. Τα κανάλια καλύπτονται με σιδερένια σχάρα. Σε κάθε ημερήσιο σωρό αναλογούν δύο σωλήνες που διατρέχουν το πλάτος του. Οι σωλήνες είναι από PVC και έχουν διάμετρο 10cm. Συνδέονται σε σταθερό δίκτυο σωληνώσεων που οδηγεί στους φυσητήρες. Ο χώρος γύρω από τους σωλήνες αερισμού γεμίζει με πρόσθετο υλικό που εξασφαλίζει

καλύτερη κατανομή του οξυγόνου στο σωρό. Περιοδικά είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του υλικού στα κανάλια αερισμού.

Αερισμός του σωρού

Ο αερισμός του σωρού αποσκοπεί στην τροφοδοσία του μίγματος με το απαραίτητο για την διεργασία της κομποστοποίησης οξυγόνο. Ο αερισμός επιτυγχάνεται: (α) με την εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα δια μέσου του σωρού και (β) με την αναρρόφηση αέρα δια μέσου του σωρού. Οι δύο αυτές λειτουργίες εναλλάσσονται έτσι ώστε να διατηρείται στον σωρό η απαραίτητη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου καθώς και η απαραίτητη θερμοκρασία για την κομποστοποίηση και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Η λειτουργία με εμφύσηση αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας αλλά υποβοηθά σημαντικά την ξήρανση του κόμποστ. Αντίθετα η αναρρόφηση αέρα επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών. Η επιθυμητή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου είναι 15%. Η βέλτιστη θερμοκρασία στο εσωτερικό του σωρού είναι 60°C. Πάνω από την θερμοκρασία αυτή παρατηρείται σημαντική αναστολή της μικροβιακής δράσης ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες επιβραδύνεται η βιοαποικοδόμηση.

Κάθε σωρός είναι εφοδιασμένος με ρυθμιστική δικλείδα που παίρνει εντολές για την έναρξη ή την παύση του αερισμού ανάλογα με την θερμοκρασία στο εσωτερικό του σωρού. Η εναλλαγή των αεριστήρων μεταξύ των δύο αυτών τρόπων λειτουργίας ρυθμίζεται με την βοήθεια αισθητηρίων οξυγόνου και θερμοκρασίας που τοποθετούνται στην μάζα του σωρού. Το αισθητήριο της θερμοκρασίας τοποθετείται κοντά στην βάση του σωρού ενώ το αισθητήριο του οξυγόνου κοντά στο κέντρο του, όπου αναπτύσσονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες.

Συνδυασμός αναρρόφησης και εμφύσησης αέρα μπορεί να εξασφαλίσει ευνοϊκότερες συνθήκες για τη διεργασία της κομποστοποίησης. Για τον λόγο αυτό τις πρώτες μέρες της διεργασίας γίνεται αναρρόφηση των απαερίων προκειμένου να έχουμε απομάκρυνση των απαερίων (π.χ. CO_2 , NH_3 και δύσοσμων χημικών ενώσεων) και εμπλουτισμού του υποστρώματος σε οξυγόνο διατηρώντας τη θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα. Κατά τη θερμόφιλη φάση γίνεται εμφύσηση αέρα καθότι ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου είναι πολύ μεγαλύτερος και προκειμένου να ρυθμιστεί ίση της θερμοκρασίας είναι πολλές φορές επιτακτική.

Συλλογή στραγγισμάτων

Στραγγίσματα παράγονται από την υγροποίηση των υδρατμών που δημιουργούνται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στο εσωτερικό του σωρού.. Τα στραγγίσματα συλλέγονται σε στραγγιστήρι τοποθετημένο στο κανάλι αερισμού κάτω από τον σωλήνα του αέρα. Τα στραγγίσματα πρέπει χρίζονται κατάλληλης επεξεργασίας καθότι έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο.

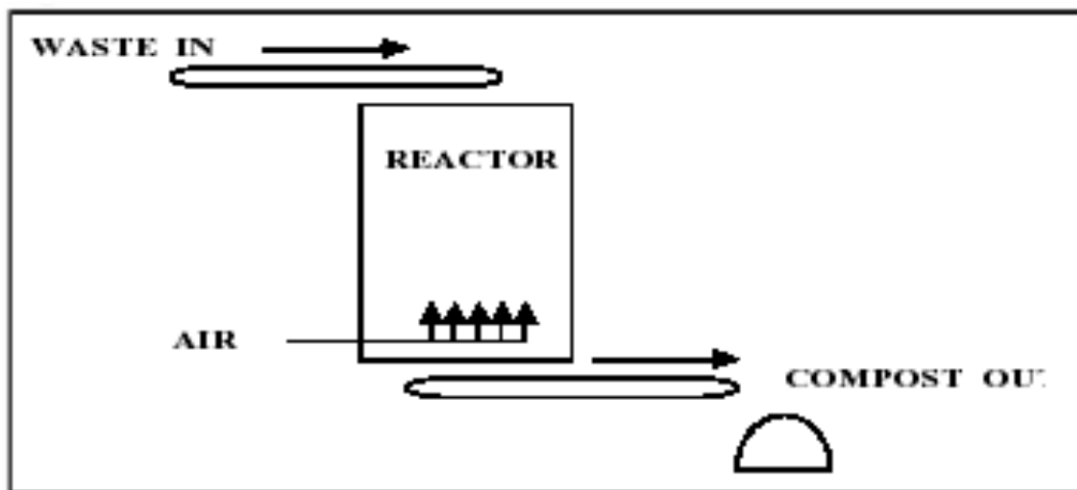
3.4.2 Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης.

Στα συστήματα αυτά, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, κατακόρυφους οριζόντιους ή περιστρεφόμενου τυμπάνου, όπου υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της παροχής αέρα, της θερμοκρασίας, του pH και της υγρασίας.

Οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες έχουν συνήθως ύψος 4m ή μεγαλύτερο και κατασκευάζονται με τη μορφή σιλό. Η τροφοδοσία του υλικού γίνεται από την κορυφή μέσω ενός μηχανισμού τροφοδοσίας (ταινιόδρομος, κοχλιωτή αντλία). Στην συνέχεια το υλικό κινείται με βαρύτητα προς τον πυθμένα του σιλό και εκφορτώνεται με ένα αντίστοιχο μηχανισμό.

Ο έλεγχος της διαδικασίας γίνεται μέσω της εμφύσησης αέρα κατ' αντιρροή προς τα απορρίμματα. Εναλλακτικά ο αερισμός επιτυγχάνεται επίσης με την πτώση από το ένα επίπεδο στο άλλο, είτε με την συνεχή ανάμιξη από ειδικούς αναμοχλευτήρες.

Λόγω του μεγάλου ύψους των αντιδραστήρων είναι δύσκολο να διατηρηθούν οι βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας σε όλα τα σημεία της κατακόρυφης στήλης. Επιπλέον η είσοδος του αέρα γίνεται από τον πυθμένα, όπου βρίσκονται τα απορρίμματα που έχουν υποστεί ήδη σημαντικό βαθμό σταθεροποίησης και άρα οι απαιτήσεις για οξυγόνο είναι μικρότερες. Αντίθετα στην κορυφή όπου οι ανάγκες σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερες, φθάνει συχνά πολύ μικρή ποσότητα οξυγόνου. Για τον λόγο αυτό συχνά εφαρμόζεται οριζόντιος αερισμός μέσω δικτύου σωλήνων εισόδου και εξόδου. Γενικά, οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην σταθεροποίηση της ιλύος όπου με την χρήση κάποιου πρόσθετου υλικού μπορεί να επιτευχθεί μια σχετικά ομοιογενής μάζα.



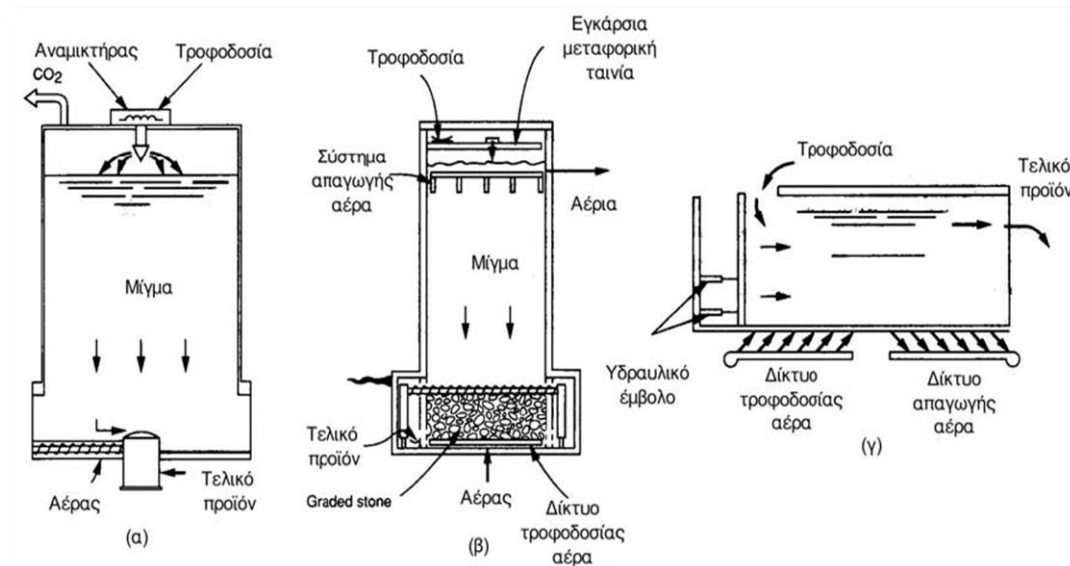
Σχήμα 3.7 Κλειστό σύστημα κομποστοποίησης [30]

Οι οριζόντιοι αντιδραστήρες επιτυγχάνουν μια πιο ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, υγρασίας και οξυγόνου. Η εμφύσηση αέρα, γίνεται και στην περίπτωση αυτή από δίκτυο σωληνώσεων τοποθετημένων στον πυθμένα αλλά η διαδρομή του αέρα είναι πολύ πιο σύντομη, ενώ μπορεί να διαφοροποιηθεί η παροχή του κατά μήκος του αντιδραστήρα. Διακρίνονται δύο τύποι αντιδραστήρων οι στατικοί, όπου η φόρτωση και εκφόρτωση του υλικού απαιτούν ένα μηχανισμό, π.χ. bulldozer και οι αναδεδυόμενοι όπου ένας μηχανισμός αναμόχλευσης ωθεί το υλικό συνεχώς από το ένα άκρο προς το άλλο. Εκτός από τον αέρα, συχνά ρυθμίζεται στα συστήματα αυτά η υγρασία και η θερμοκρασία.

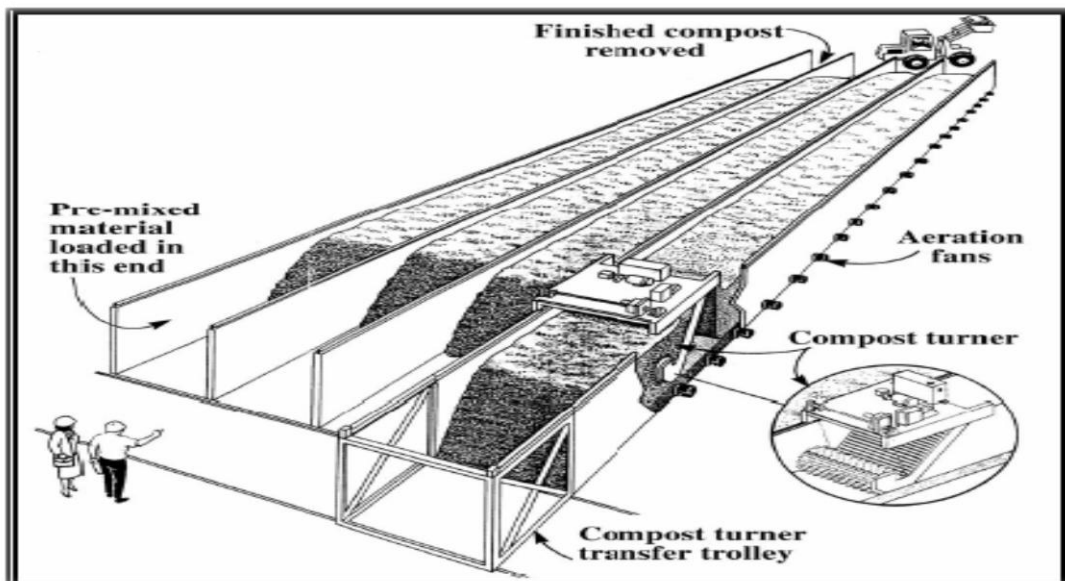
Εξαιτίας του μεγάλου κόστους των κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης, ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων είναι μικρός, <5ήμερες, με αποτέλεσμα να μην παράγεται ένα σταθεροποιημένο τελικό προϊόν. Έτσι απαιτείται συνήθως συμπληρωματική σταθεροποίηση σε σωρούς. Στην ουσία οι κλειστοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται για να επιτελέσουν το πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης κατά το οποίο παράγονται οι περισσότερες οσμές και ο έλεγχος της διεργασίας είναι κρίσιμος.

Οι αντιδραστήρες περιστρεφόμενου κυλίνδρου, αυτοί που ονομάζονται επίσης και χωνευτήρες, έχουν ακόμα μικρότερους χρόνους παραμονής από τα άλλα κλειστά συστήματα, της τάξεως των ωρών ή λίγων ημερών. Η περιστροφική κίνηση βοηθά στην ομογενοποίηση και κατάτμηση του υλικού. Λόγω του μικρού χρόνου ακολουθούνται πάντοτε από κλειστά ή ανοιχτά συστήματα περαιτέρω κομποστοποίησης. [1],[30],[31],[32]

Τυπικές διατάξεις κατακόρυφων και οριζόντιων αντιδραστήρων φαίνονται στο Σχήματα 3.8 και 3.9.



Σχήμα 3.8 Παραδείγματα κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης: (α) κατακόρυφος κυλινδρικός πύργος, (β) κατακόρυφος ορθογωνικός πύργος και (γ) οριζόντιο σύστημα τύπου τούνελ [30]



Σχήμα 3.9 Οριζόντιο κλειστό σύστημα κομποστοποίησης τύπου καναλιού [30]

3.5 Οικιακή κομποστοποίηση

Η οικιακή κομποστοποίηση αποτελεί μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους ανακύκλωσης των οργανικών απορριμμάτων που αποτελούν την πλειοψηφία σκουπιδιών για κάθε νοικοκυριό. Με την οικιακή κομποστοποίηση ένα ποσοστό 20%-30% διαχωρίζεται από έναν κύριο όγκο απορριμμάτων με τελικό προορισμό τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής. Πολλοί ιδιώτες παγκοσμίως παρακινούνται από ένα συναίσθημα προστασίας ή ενδιαφέροντος για το περιβάλλον ή την επιθυμία να έχουν μια φθηνή και αξιόπιστη πηγή λιπάσματος για τον κήπο τους και τις καλλιέργειές τους, εφαρμόζουν τη μέθοδο της κομποστοποίησης επιστρέφοντας έτσι στο έδαφος όλα εκείνα τα απαραίτητα συστατικά (οργανικά και ανόργανα) που χρειάζονται για την ανάπτυξη των φυτών. Έτσι εκτός από την ανακύκλωση των μετάλλων, του χαρτιού, των γυαλιών και των ελαστικών, που σε κάποιο ικανοποιητικό βαθμό μπορεί να επιτευχθεί, με τη σύνθετη διαδικασία της ανακύκλωσης και κομποστοποίησης, ανακυκλώνεται ουσιαστικά και το οργανικό κλάσμα, επαναφέροντάς το σωστά στο φυσικό αποδέκτη του το χώμα για να μπορέσει το τελευταίο διατηρώντας την κανονική δομή και γονιμότητά του να συνεχίσει να παράγει.

Μια πρώτη δυσκολία που οι περισσότεροι αντιμετωπίζουν όταν αποφασίσουν να ασχοληθούν με την κομποστοποίηση είναι η εύρεση ενός αξιόπιστου και κατανοητού ενημερωτικού φυλλαδίου πάνω στη συγκεκριμένη μέθοδο, με αποτέλεσμα ο επίδοξος πολίτης πολλές φορές να μπερδεύεται, να αποθαρρύνεται ή ακόμα και να ενθουσιάζεται υπερβολικά ανάλογα με τον τύπο εγγράφου που έχει μελετήσει.

Ένα δεύτερο και πολύ ισχυρό μάλιστα εμπόδιο, αποτελούν οι δυσάρεστες οσμές οι οποίες συγκεντρώνουν και τα περισσότερα παράπονα των γειτόνων. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως τέτοιες οσμές είναι δυνατόν να αποφεύγονται με τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών μέσα στον κάδο κομποστοποίησης, αλλά ο αποτελεσματικός έλεγχος όλων αυτών των παραμέτρων για την επίτευξη τέτοιων συνθηκών δεν πραγματοποιείται στον επιθυμητό βαθμό από έναν «άπειρο» στο αντικείμενο πολίτη.[33]

Παρόλο που οι δυσκολίες αυτές είναι υπαρκτές και πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν πριν την ανάληψη οποιονδήποτε πρωτοβουλιών, ήδη στην Ευρώπη και την Αμερική

υπάρχουν πολλά παραδείγματα επιτυχούς οικιακής κομποστοποίησης. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει άμεση εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου παρά μόνο πιλοτικά σε ορισμένους δήμους του νομού Αττικής.

Πολύ σημαντικό στοιχείο επίσης είναι η γνώση των κατάλληλων αλλά και ακατάλληλων υλικών για την κομποστοποίηση.

Τα υλικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν είναι :

- Λαχανικά, χορταρικά, φρούτα (ωμά ή βρασμένα).
- Υπολείμματα από σαλάτες αφού στραγγιστούν τα υγρά.
- Φυτικά υπολείμματα όπως ξερά φύλλα, κομμένο γκαζόν.
- Στάχτη
- Τσόφλια αυγών
- Χαρτιά κουζίνας (ρολό κουζίνας, χαρτοπετσέτες).
- Πριονίδι (ιδιαίτερα αν είναι πολύ υγρό το κόμποστ και θέλουμε ένα μίγμα πιο ισορροπημένο και με μεγαλύτερο αερισμό).
- Υπολείμματα βοτάνων από ροφήματα και κατακάθια καφέ, φίλτρα γαλλικού καφέ.
- Οργανικά λιπάσματα όπως καστανόχωμα, φυλλόχωμα.

Τα υλικά που δεν μπορούν να κομποστοποιηθούν είναι:

- Πλαστικά
- Κουτιά από χυμούς και γάλατα
- Δοχεία και καπάκια δοχείων
- Γυαλί
- Πορσελάνη, κεραμικά
- Υπολείμματα τσιγάρων
- Κόκαλα, κουκούτσια

- Σακούλες από ηλεκτρικές σκούπες
- Λάστιχα
- Υφάσματα
- Επικίνδυνα απορρίμματα

Φυσικά όλα τα παραπάνω θα πρέπει να αναμιγνύονται με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να ευνοείται η ζύμωση τους (λόγος $C/N = 25/1$) και να ελέγχονται όσο το δυνατόν συστηματικά όλοι εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία. Στη συνέχεια παρατίθεται μια λίστα με μερικά από τα υλικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν ή όχι καθώς και κάποιες επιπρόσθετες πληροφορίες γι' αυτά.[34]

3.6 Οφέλη κομποστοποίησης

Με την κομποστοποίηση μπορούμε να συνοψίσουμε ότι οδηγούμαστε σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Μείωση των οχλήσεων κατά τη συλλογή και μεταφορά των οικιακών στερεών αποβλήτων
- Μικρότερη επιβάρυνση των χώρων ταφής αποβλήτων (τόσο ποσοτικά όσο και ως προς το ρυπαντικό φορτίο) λόγω της μειωμένης ποσότητας στερεών αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους αυτούς, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του χρόνου λειτουργίας τους.
- Μειωμένη παραγωγή στραγγισμάτων στους χώρους ταφής αποβλήτων τα οποία επιπλέον, περιέχουν μικρότερο ρυπαντικό φορτίο.
- Μειωμένες αέριες εκπομπές από τους χώρους διάθεσης τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, πτητικές οργανικές ενώσεις κ.λπ.)
- Παραγωγή προϊόντος προστιθέμενης αξίας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές – αποφυγή της χρήσης συνθετικών λιπασμάτων

- Παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας λόγω του γεγονότος ότι προέρχεται από τη χρήση υλικών διαχωρισμένων στην πηγή (σε αντίθεση με το προϊόν που προέρχεται από οργανικό υλικό το οποίο διαχωρίζεται σε κεντρικές μονάδες μηχανικής διαλογής)
- Η χωριστή συλλογή και αξιοποίηση των βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων εντός της οικίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απαιτούμενης συχνότητας για συλλογή των μικτών οικιακών αποβλήτων που τοποθετούνται στους κάδους. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χώρες όπως η Ελλάδα όπου οι κλιματικές συνθήκες απαιτούν συχνό άδειασμα των κάδων για αποφυγή της ανάπτυξης συνθηκών αποδόμησης των αποβλήτων που συλλέγονται σε αυτούς. [29]

3.7 Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ

Είναι πλέον ισχυρά τεκμηριωμένο ότι η προσθήκη κομπόστ στο έδαφος μπορεί να έχει θετική επίδραση σε μία μακρά σειρά χημικών, φυσικών και βιολογικών χαρακτήρων του. Η γεωργία και οι διάφορες συναφείς δραστηριότητες συνιστούν την κυριότερη οδό αξιοποίησης των διαφόρων υλικών κομπόστ, τα οποία μάλιστα κατά τη διεθνή πρακτική εφαρμόζονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις για ελληνικά δεδομένα. Για την εδαφική εφαρμογή του κομπόστ στη γεωργία, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και να διενεργούνται λεπτομερείς έλεγχοι σχετικά με τις διάφορες χρήσεις και κατηγορίες ποιότητας του κομπόστ όπως ποσότητα εφαρμογής, περιεκτικότητα σε θρεπτικά, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, επιβλαβείς οργανικές ενώσεις, παθογόνα κλπ., επίπεδο ωρίμανσης κομπόστ (φρέσκο ή ώριμο κομπόστ), χρονική περίοδος εφαρμογής, συχνότητα εφαρμογής, βάθος ενσωμάτωσης στο έδαφος, τύπος εδάφους και χαρακτήρες αυτού κ.ά.

Οι ενδεικνυόμενες χρήσεις του κομπόστ, εξαρτώνται από τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και ποικίλουν από τη χρήση σε βιολογικά καλλιεργούμενα τρόφιμα, και γενικότερα καλλιέργειες παραγωγής τροφής και ζωοτροφών, έως τη χρήση για αποκατάσταση εδαφών και ως κάλυψη σε ΧΥΤΑ. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν νομοθετικοί περιορισμοί για τις επιτρεπόμενες χρήσεις με στόχο την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο παρατίθεται ένας ενδεικτικός οδηγός χρήσεων κομπόστ:

- **Φυτά μεγάλης καλλιέργειας**, απαιτητικά σε χουμικά συστατικά, προκειμένου να ενισχυθεί το ισοζύγιο χουμικών συστατικών στα καλλιεργούμενα εδάφη π.χ. τεύτλα, πατάτες αλλά και διάφορα λαχανικά αγρού, σε ποσότητα 4-10 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2-4 χρόνια.
- **Σιτηρά**, σε ποσότητα 2-6 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 2-4 χρόνια.
- **Λειβαδικές εκτάσεις**, σε ποσότητα 2-5 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 24 χρόνια. Το κομπόστ πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ξένα σώματα, που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα βόσκοντα ζώα.
- **Δενδρώδεις καλλιέργειες**, μηλοειδή, πυρηνόκαρπα, εσπεριδοειδή, συκίες κλπ. Σε ποσότητα 10-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 3 χρόνια.
- **Αμπέλια**, σε ποσότητα 10-25 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα (φρέσκο κομπόστ σε βαριά εδάφη) ή 10 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα (ώριμο κομπόστ σε ελαφρά εδάφη), κάθε 3-4 χρόνια. Σε περίπτωση επικλινών εκτάσεων, συνιστώνται μεγαλύτερες δόσεις, 20-30 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα. (φρέσκο κομπόστ). Ως χρόνος εφαρμογής συνιστάται η περίοδος μεταξύ του τρυγητού και της έναρξης της βλάστησης.
- **Λασικά φυτώρια**, σε ποσότητα 15-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα
- **Θερμοκηπιακές καλλιέργειες**, σε ποσότητα 1 – 1,5 kg/m² νωπού υλικού, κάθε 2-4 χρόνια.
- **Ανθοκομικές καλλιέργειες**, σε ποσότητα 10-25 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα.
- **Διαμόρφωση περιβάλλοντος** και επιφανειών πρασίνου σε αστικές περιοχές, πάρκα, αθλητικά πεδία, αποτροπή φαινομένων διάβρωσης σε επικλινείς επιφάνειες, συγκράτηση πρανών, χλοοφορία σε ταράτσες, σε θαμνοσυστάδες σε δρόμους, αντικατάσταση μητρικού εδάφους για την αποκατάσταση λατομείων, και χωματερών / ΧΥΤΑ, σε δόσεις των 10-30 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα στην αρχή και έπειτα 2-3 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2 χρόνια.
- **Αναδασώσεις**, με ενσωμάτωση έως 150 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα.

- Ως υλικό βιοφίλτρου για την απορρόφηση δυσάρεστων οσμών από βιομηχανικές εγκαταστάσεις με δύσοσμα απαέρια, εξαερισμών σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, κομποστοποίησης, μαζικής διατήρησης ζώων, κ.λ.π. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστώνται δόσεις 1 τόνου νωπού υλικού ανά m^2 επιφάνειας βιοφίλτρου, κάθε 4 χρόνια, για ποσότητα απαερίων 50 – 100 m^3 ανά ώρα και ανά m^2 . [35]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Για να υπερνικηθούν οι δυσκολίες που αφορούν τον αερισμό του υποστρώματος και τη μεταφοράς οξυγόνου σε όλα τα στρώματα, καθώς επίσης και για να αυξηθούν οι ποσότητες άνθρακα και αζώτου μέσα στο σωρό, γίνεται προσθήκη κάποιων υλικών με χαρακτηριστική δομή και σύνθεση που συντελούν στην επιτάχυνση της διεργασίας.

Ο όρος πρόσθετο αναφέρεται στο υλικό εκείνο, το οποίο προστίθεται στο υπόστρωμα τροφοδοσίας, με στόχο τη μείωση του ειδικού βάρους και την αύξηση του πορώδους, ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός ή η αύξηση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών στο μείγμα. Στα πρόσθετα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται ορυκτά όπως ο ζεόλιθος, ο βερμικουλίτης και ο περλίτης αλλά και ροκανίδι, πριονίδι, άχυρο, τύρφη, πυρηνόξυλο, κοπριά, και ώριμο κόμποστ. Το ιδανικό «πρόσθετο» πρέπει να είναι ξηρό, να έχει μικρό ειδικό βάρος και να βιοαποδομείται σχετικά εύκολα.[2]

4.2 Πριονίδι, ροκανίδι

Πρόκειται για μικρά κομμάτια ξύλου (ξύσματα) που προέρχονται από τη βασική κατεργασία του. Αυτά όταν προστίθενται στο κόμποστ αυξάνουν το πορώδες και διευκολύνουν τον αερισμό του, προσλαμβάνοντας ποσοστό υγρασίας. Τέλος αυξάνουν την περιεκτικότητά του σε άνθρακα και για αυτό χρησιμοποιείται όταν το μίγμα είναι πλούσιο σε άζωτο π.χ. εκτεταμένη προσθήκη πράσινων υλικών.

Είναι σημαντικό η προέλευση του να είναι από φυσική ξυλεία, χωρίς χημικά πρόσθετα. Τα συνθετικά ξύλα όπως MDF, μελαμίνες κ.λ.π δεν δίνουν κατάλληλο για κομποστοποίηση πριονίδι.



Εικόνα 4.1 Πριονίδι

4.3 Ζεόλιθος

Η ιστορία των ζεόλιθων ξεκινάει το 1756, όταν ανακαλύπτονται από τον Σουηδό ορυκτολόγο Cronstedt, που τους περιγράφει ως μια καινούρια κατηγορία ορυκτών, τα οποία αποτελούνται από ενυδατωμένα αργιλλοπυριτικά των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών. Οι ζεόλιθοι που εμφανίζονται συχνότερα είναι οι: κλινοπτιλόλιθος, μορδενίτης, χαβαζίτης, αναλκιμίτης, φιλιψίτης, εριονίτης και ευλανδίτης.

Οι ζεόλιθοι έχουν πολλές σημαντικές ιδιότητες με κύριες την εκλεκτικότητα σχήματος και την ανταλλαγή ιόντων, που τους καθιστούν πολύτιμα εργαλεία τόσο στην πετρελαϊκή βιομηχανία ως καταλύτες, όσο και σε άλλους βασικούς βιομηχανικούς τομείς, όπως στις διεργασίες προσρόφησης, ξήρανσης, διαχωρισμού (μοριακά κόσκινα) και στα απορρυπαντικά. Ακόμα, έχουν μεγάλη δεκτικότητα στις τροποποιήσεις και έντονη ικανότητα προσρόφησης, με συνέπεια τη δημιουργία νέων δομών κατάλληλων για διάφορες εφαρμογές.

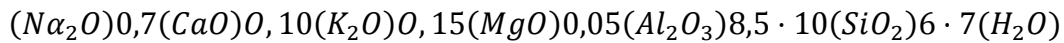


Εικόνα 4.2 Ζεόλιθος

4.3.1 Ο κλινοπτιλόλιθος

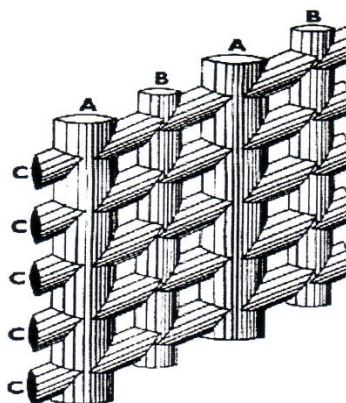
Ο κλινοπτιλόλιθος συναντάται στη φύση σε ιζηματογενή αποθέματα και μαζί με τον ευλανδίτη αποτελούν το πιο συχνά απαντώμενο ζεολιθικό είδος. Η πρώτη αναφορά στον κλινοπτιλόλιθο γίνεται το 1890 από τον Pirson, ο οποίος τον αναγνώρισε άστοχα ως μορδενίτη, καθώς ο κλινοπτιλόλιθος ανήκει στην ομάδα του ευλανδίτη.

Έχει γενικό τύπο:



Χαρακτηρίζεται ως ευλανδίτης υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, καθώς ο λόγος Si/Al ποικίλει από 4,2 έως 5,25 για τον κλινοπτιλόλιθο, ενώ για τον ευλανδίτη ξεκινάει από ένα ελάχιστο, περίπου από 2,7. Ο κλινοπτιλόλιθος αφυδατώνεται με δυσκολία και η σταθερότητά του αυτή χαρακτηρίζεται από την ικανότητα άμεσης επαναπροσρόφησης νερού και διοξειδίου του άνθρακος. Η συνολική θεωρητική ιοντοεναλλακτική ικανότητα του κλινοπτιλόλιθου κυμαίνεται μεταξύ 1,6 και 2,8 meq/g.

Η δομή του κλινοπτιλόλιθου χαρακτηρίζεται από τη διαμόρφωση ενός τετραέδρου. Κάθε ένα τετράεδρο του κλινοπτιλόλιθου ανήκει από κοινού σε ένα τετραμελή και ένα πενταμελή δακτύλιο από Si και Al, ενώ οι μονάδες (Si, Al, O) είναι διατεταγμένες σε στοιβάδες. Η κάθε στοιβάδα διασταυρώνεται με άλλες μέσω δεσμών $Si - O - Si$ και $Si - O - Al$.



Εικόνα 4.3 Σύστημα καναλιών κλινοπτιλόλιθου

Επίσης ο κλινοπτιλόλιθος εμφανίζει υψηλή θερμική σταθερότητα πάνω από τους 800°C, σε αντίθεση με τον ευλανδίτη που σε θερμοκρασία 500 – 550°C

καταστρέφεται η δομή του. Τούτο δικαιολογείται από την υψηλή τιμή του λόγου Si/Al που εμφανίζεται στον κλινοπιλόλιθο όπως και από την υψηλή του περιεκτικότητα σε ιόντα K^+ , καθώς ο δεσμός $Si - O - Si$ είναι πιο σταθερός από το δεσμό $Al - O - Si$.

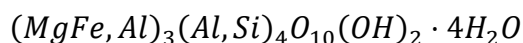
Χρησιμοποιείται ως:

- Εδαφολογικό εδαφοβελτιωτικό.
- Βελτιωτικό του μέσου αποδοτικότητας λιπάσματος.
- Γεωπονικό ροφητήρα ανάπτυξης των φυτών.
- Μεταφορέας για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και άλλες οργανικές ενώσεις.
- Επανορθωτικό του χώματος που μολύνεται με τα ραδιενεργά νουκλεΐδια και τα βαριά μέταλλα.

Ο κάθε ζεόλιθος που περιέχει ιόντα αμμωνίου και καλίου μπορεί να προστεθεί στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό. Τα θρεπτικά ιόντα απελευθερώνονται σταδιακά μέσα σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, και λειτουργούν ως ανόργανα λιπάσματα για την ανάπτυξη των φυτών. Αυτό συμβαίνει και στον κλινοπιλόλιθο, όπου η μεγάλη εκλεκτικότητά του έχει ως αποτέλεσμα την αργή απελευθέρωση της αμμωνίας και έτσι βελτιώνει την ικανότητα κατακράτησης αζώτου από το έδαφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο έλεγχος του pH σχετίζεται με την ικανότητα των ζεολίθων να δρουν ως μέσο, το οποίο προστιθέμενο στο έδαφος αυξάνει την ικανότητά του να δεσμεύει το άζωτο αλλά και την υγρασία. Ο έλεγχος, λοιπόν, του pH και της υγρασίας καθώς και η ικανότητα του κλινοπιλόλιθου να δεσμεύει την αμμωνία που παράγεται κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, και να απελευθερώνει σταδιακά τα θρεπτικά ιόντα στο έδαφος μετά την απόθεση του κόμποστ, αποτελούν τους λόγους για τους οποίους επελέγει το συγκεκριμένο ορυκτό ως πρόσθετο στο αρχικό υπόστρωμα. [23]

4.4 Βερμικουλίτης

Το όνομα του βερμικουλίτη προέρχεται από το λατινικό “Vermiculair” και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Webb για το χαρακτηρισμό κάποιων υλικών. Έχει γενικό χημικό τύπο:

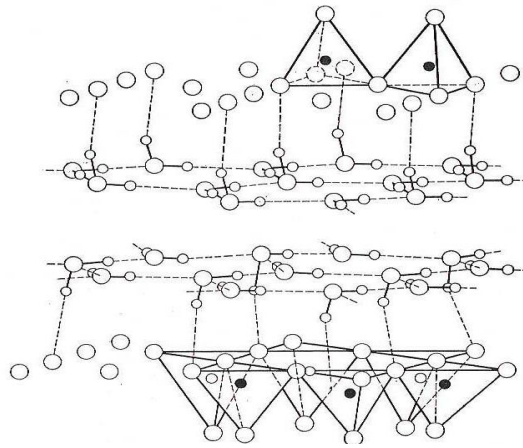


Από το χημικό τύπο φαίνεται να περιέχουν σημαντική ποσότητα μαγνησίου και σιδήρου. Όπως και οι μοντοριλονίτες το ίδιο και οι βερμικουλίτες έχουν υψηλή ικανότητα ιοντοεναλλαγής. Στην ιοντοεναλλακτική ικανότητα του βερμικουλίτη σημαντικό ρόλο παίζει το ιόν Mg^{+2} , που φαίνεται να είναι το χαρακτηριστικό ιόν που συμμετέχει στην ιοντοεναλλαγή. Από όλα τα αργιλοπυριτικά ορυκτά ο βερμικουλίτης έχει τη μεγαλύτερη ιοντοεναλλακτική ικανότητα.

Η ιοντοεναλλακτική ικανότητα των αργίλων οφείλεται, κυρίως, σε αντικαταστάσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα ιόντων τετρασθενούς πυριτίου με ιόντα τρισθενούς αργιλίου στο τετραεδρικό στρώμα και ιόντων αργιλίου με ιόντα μικρότερου σθένους, κυρίως μαγνησίου, στο οκταεδρικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία φορτίων στις δομικές μονάδες των αργίλων και επομένως την ανάπτυξη ικανότητας ιοντοεναλλαγής. Στον βερμικουλίτη οι αντικαταστάσεις αυτές του δίνουν το 80% της ικανότητας ιοντοεναλλαγής του.

4.4.1 Δομή

Η δομή αποτελείται από φύλλα τριοκταεδρικής μίκας ή τάλκη διαχωριζόμενα από στρώματα μορίων νερού τα οποία καταλαμβάνουν ένα συγκεκριμένο χώρο της τάξης των 4,98Å που είναι περίπου το πάχος δύο μορίων νερού. Επομένως στη φυσική του μορφή, το ορυκτό αποτελείται από μια αλλοιωμένη μορφή μίκας και διπλά στρώματα νερού. Η δομή του βερμικουλίτη είναι ανισόρροπη κυρίως λόγω των αντικαταστάσεων Si^{4+} από Al^{3+} . Αυτές οι αντικαταστάσεις εξισορροπούνται μερικώς από άλλες αντικαταστάσεις στο πλέγμα της μίκας αλλά πάντα υπάρχει μια ανεπάρκεια φορτίου. Αυτή η ανεπάρκεια φορτίου ικανοποιείται από κατιόντα τα οποία βρίσκονται κυρίως μεταξύ των στρωμάτων μίκας και είναι ιδιαίτερα εναλλάξιμα.



Εικόνα 4.4 Σχεδιάγραμμα της δομής του βερμικουλίτη όπου φαίνονται τα ενδιάμεσα στρώματα νερού



Εικόνα 4.5 Βερμικουλίτης

4.4.2 Χρήσεις

Ο μη επεξεργασμένος βερμικουλίτης χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τον καθαρισμό του νερού π.χ από την προσρόφηση τοξικών μετάλλων όπως Pb, Zn, Cd. Οι χρήσεις του θερμικά επεξεργασμένου βερμικουλίτη εξαρτώνται απ' το μέγεθος των κόκκων του υλικού και κατά συνέπεια από το βαθμό μηχανικής άλεσης που έχει υποστεί αυτό. Χρησιμοποιείται σε ορισμένους τομείς της βιομηχανίας, στις οικοδομικές εργασίες, στη γεωργία και στο περιβάλλον. Ο ενεργοποιημένος με οξέα βερμικουλίτης είναι ένας αποτελεσματικός καταλύτης για την πυρόλυση (cracking) βαρέων καυσίμων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη εξαγωγή βενζίνης από αυτά. Η ικανότητα του βερμικουλίτη ως ορυκτό να δεσμεύει ιόντα αμμωνίου κατά την διεργασία της κομποστοποίησης και να διοχετεύει τα θρεπτικά ιόντα σταδιακά στο έδαφος μετά την απόθεση του κόμποστ, καθώς και ο έλεγχος του pH και της υγρασίας αποτελούν σημαντικούς λόγους για να επιλεγεί το συγκεκριμένο ορυκτό ως πρόσθετο κομποστοποίησης. [23]

4.5 Περλίτης

Ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα του οποίου η γενεσιουργός αιτία είναι η όξινη λαβα , που εγχύθηκε επιφανειακά ή υποθαλάσσια κατά την διάρκεια ηφαιστειακών δραστηριοτήτων. Η τελευταία στην συνέχεια ψύχθηκε και στερεοποιήθηκε ταχύτατα , υπό συνθήκες που δεν επέτρεψαν στα άτομα του ορυκτού να τοποθετηθούν σε σχηματισμούς κρυσταλλικού πλέγματος , γεγονός που έδωσε τελικά στον περλίτη την υαλώδη μορφή του.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επέδρασε για τον σχηματισμό του περλίτη ήταν η παρουσία νερού και διαφόρων αερίων που παγιδεύτηκαν στην μάζα του , την στιγμή της ψύξης και στερεοποίησης του. Το όνομα προέρχεται από την υφή του που χαρακτηρίζεται από την παρουσία κόκκων, θυμίζοντας μικρά μαργαριτάρια (πέρλες).

Πετρογραφικά ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υλικό. Έχει χαρακτηριστική περλιτική δομή που αποτελείται από ομόκεντρα σπασίματα τα οποία μοιάζουν με πέρλες που είναι τοποθετημένες σε όλο το γυαλί, άλλοτε κυκλικά και άλλοτε σε πολυγωνικούς σχηματισμούς. Αυτό είναι και το έντονο χαρακτηριστικό του περλίτη . Τα προαναφερθέντα σπασίματα είναι φαινόμενο που παρατηρείται σε όξινα γυαλιά.

Η χημική του σύνθεση είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 4.1 Χημική σύσταση του περλίτη

<i>SiO₂</i>	71 – 75%
<i>Al₂O₃</i>	12,5 – 13,8%
<i>Na₂O</i>	3,8 – 4,2%
<i>K₂O</i>	3,3 – 4,7%
<i>CaO</i>	0,8 – 1,5%
<i>MgO</i>	0,4 – 0,7%
<i>Fe₂O₃</i>	0,7 – 1,5%
<i>S and SO₃</i>	0 %
<i>L. O. I.</i>	2,2 – 4,5%

Το υλικό το οποίο εξορύσσεται αρχικά αλέθεται, διαχωρίζεται και στη συνέχεια υφίσταται θερμική επεξεργασία στους 900 – 1.000 °C. Κατά τη διάρκεια αυτής της επεξεργασίας οι μικρές ποσότητες νερού που υπάρχουν στα μικροτεμάχια του

ακατέργαστου περλίτη μετατρέπονται σε ατμό με αποτέλεσμα τη διόγκωση του αρχικού όγκου κατά 4 – 20 φορές και τη μετατροπή του σε σπογγώδεις κόκκους πολύ μικρού βάρους.

Η υψηλή θερμοκρασία της επεξεργασίας αυτής έχει ως αποτέλεσμα την απόδοση ενός αποστειρωμένου υλικού. Η επιφάνεια του κάθε τεμαχιδίου αυξάνεται σημαντικά και οι κοιλότητες που υπάρχουν στην επιφάνειά τους απορροφούν το νερό.

Ο περλίτης είναι σχετικά ουδέτερο υλικό με pH από 7,0 – 7,5 αλλά δεν παρουσιάζει ρυθμιστική ικανότητα και επίσης δεν προσφέρει θρεπτικά στοιχεία.

Η Ελλάδα είναι η χώρα από την οποία εξορύσσονται οι μεγαλύτερες ποσότητες σε παγκόσμιο επίπεδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα έτη 2003 και το 2004 από το σύνολο των εξαγωγών κατεργασμένου περλίτη της Ελλάδας, ο οικοδομικός τομέας (δομικά υλικά και επιχρίσματα) απορρόφησε το 58% – 59%, οι γεωργικές χρήσεις (υδροπονία και παραγωγή ανθοκομικών μειγμάτων) το 28% – 30% και οι άλλες χρήσεις (διηθητικά μέσα, κρυογενείς μονώσεις) το υπόλοιπο 11% – 14%.

Είναι φανερό πως ο περλίτης έχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών αλλά αυτό που τον κάνει να υπερέχει είναι η χαμηλή του τιμή. Έτσι ο μέσος όρος τιμής του διογκωμένου περλίτη ανά τόνο, είναι για εγκαταστάσεις χαμηλών θερμοκρασιών €420, για πληρωτικό €411 για βοηθητικό διηθήσεως €329, για ανθοκηπουρική χρήση €325, για οικοδομικό υλικό €150. Οι τιμές εξαρτώνται από την κοκκομετρία, την ποιότητα και την εφαρμογή. Η τιμή του ακατέργαστου περλίτη είναι περίπου 320€/tn, ενώ ένας σάκος κατεργασμένου περλίτη κοστίζει περίπου 10 – 15 ευρώ.



Εικόνα 4.6 Περλίτης

4.5.1 Χρήσεις

Το πεδίο εφαρμογών του περλίτη είναι τεράστιο και ολοένα διευρύνεται. Όλες όμως σχεδόν οι χρήσεις αφορούν τον διογκωμένο περλίτη που συνδυάζει ένα πλήθος ιδιοτήτων: μικρό μοριακό βάρος, τεράστια ειδική επιφάνεια και πορώδες, δυνατότητα κατεργασίας της επιφάνειας του περλίτη και μετατροπή της σε υδρόφοβη. Γενικά οι χρήσεις του περλίτη μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες:

➤ Κατασκευαστικές εφαρμογές

Ως υλικό χαμηλής πυκνότητας με εξαιρετικές ιδιότητες θερμομόνωσης και ηχομόνωσης, ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται γενικά για την κατασκευή δομικών υλικών (πλάκες, μονωτικά χωρίσματα), επιχρισμάτων (σοβάδες, κονιάματα, ελαφρά κονιάματα για οροφές και δάπεδα), καθώς και ως ελαφρύ σκυρόδεμα (περλομπετόν).

➤ Αγροτικές/Κηπευτικές εφαρμογές

Στις κηπευτικές εφαρμογές ο περλίτης χρησιμοποιείται παγκοσμίως ως συστατικό για ειδικά μείγματα χώματος κυρίως με τύρφη για τη δημιουργία του κατάλληλου υποστρώματος ανάπτυξης των φυλλωδών και ανθοφόρων καλλωπιστικών φυτών σε γλάστρες. Η επιτυχία του στη συγκεκριμένη περίπτωση οφείλεται στο συνδυασμό πολλαπλών ιδιοτήτων: παρέχει στη ριζόσφαιρα την ιδανική αναλογία αέρα και νερού καθόλη τη διάρκεια του έτους, και παρουσιάζει τις ιδανικότερες συνθήκες στράγγισης. Επίσης, αποτελεί ένα ομοιόμορφο μέσο ανάπτυξης καθιστώντας τις ρίζες πυκνότερες με ομοιόμορφη κατανομή στο υπόστρωμα (για τον θερισμό ριζοβολημάτων χρησιμοποιείται 100% περλίτης). Έρευνες έχουν δείξει πως τα υδροπονικά συστήματα βασισμένα σε περλίτη έχουν εξαιρετικές αποδόσεις.

➤ Βιομηχανικές εφαρμογές

Οι βιομηχανικές εφαρμογές του περλίτη είναι οι πιο ποικίλες. Παρακάτω αναφέρονται ονομαστικά οι σημαντικότερες από αυτές:

- Βοηθητικά φίλτρων - Διήθηση υγρών
- Βιομηχανική Μόνωση
- Χημικές βιομηχανίες

- Συστατικό Πλήρωσης Χημικών Προϊόντων
- Χυτήρια
- Άλλες εφαρμογές (διήθηση αποβλήτων και λιπαντικών, δέσμευση μολυσμένου υπεδάφους, απορρόφηση βιομηχανικών λαδιών και επικίνδυνων υγρών σε μολυσμένες περιοχές κ.λ.π.) [23]

4.6 Το ώριμο κόμποστ ως πρόσθετο

Στη μέθοδο αυτή γίνεται ανάμειξη του ανακυκλωμένου προϊόντος με την αφυδατωμένη πρώτη ύλη. Πρόκειται δηλαδή, για απλή κομποστοποίηση, δεδομένου ότι δεν προστίθενται ογκώδη τεμάχια ή άλλα υλικά, και το ανακυκλούμενο κλάσμα προέρχεται αποκλειστικά από το ίδιο το ώριμο κόμποστ.

Η μέθοδος αυτή από μόνη της ίσως και να αποτελεί την καλύτερη για τη διεργασία μιας και το ώριμο κόμποστ διαθέτει όλα εκείνα τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούν οι μικροοργανισμοί, λειτουργώντας παράλληλα ως ρυθμιστής της υγρασίας δεσμεύοντας την ήδη υπάρχουσα υγρασία. Παρά την πολυπλοκότητα του οικοσυστήματος από μικροβιακής απόψεως, οι αρχές που διέπουν συνολικά την πορεία της διεργασίας της κομποστοποίησης είναι σχετικά απλές. Αφορούν κυρίως την αναλογία πηγών άνθρακα και αζώτου, τις πιθανές ανεπιθύμητες προσμίξεις και την ορθή διαχείριση του καθεστώτος αερισμού. Δυστυχώς, ορισμένες εμπορικές μονάδες παραγωγής προϊόντων κομποστοποίησης παραβλέπουν ή δεν εφαρμόζουν σωστά τις αρχές της μεθόδου, με αποτέλεσμα να κυκλοφορούν στην αγορά προϊόντα χαμηλής ποιότητας, φυτοτοξικά και ασταθή.[2]



Εικόνα 4.7 Ώριμο κόμποστ [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

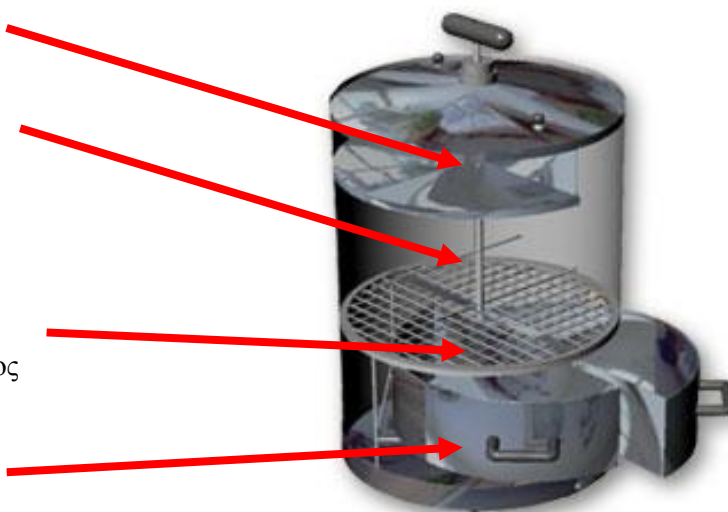
5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα αναλύεται το πρότυπο σύστημα οικιακής κομποστοποίησης, το οποίο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Ε.Μ.Π., τα όργανα μέτρησης, οι αναλυτικές μέθοδοι για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και οι μέθοδοι υπολογισμού των αποτελεσμάτων.

5.2 Το πρότυπο σύστημα οικιακής κομποστοποίησης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων.

Ο κάδος κομποστοποίησης οργανικών απορριμμάτων (σχήμα 5.1) είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα και έχει χωρητικότητα 60 λίτρα.

1. Τμήμα τροφοδοσίας
2. Τμήμα ανάπτυξης της διεργασίας
3. Τμήμα συλλογής και απομάκρυνσης του παραγόμενου προϊόντος
4. Τμήμα συλλογής και απομάκρυνσης των παραγόμενων στραγγισμάτων



Σχήμα 5.1 Τμήματα αντιδραστήρα κομποστοποίησης

Αποτελείται από 5 τμήματα :

- 1) Τμήμα τροφοδοσίας υλικού.
- 2) Τμήμα που λαμβάνει χώρα η διεργασία της κομποστοποίησης.
- 3) Σύστημα συλλογής του έτοιμου κόμποστ σε συνεχή βάση (2 συρτάρια).
- 4) Σύστημα συλλογής στραγγισμάτων.
- 5) Άξονας ανάδευσης υλικού

Στον άξονα ανάδευσης είναι ενσωματωμένα 4 πτερύγια, 2 κυλινδρικά στο πάνω μέρος του άξονα με σκοπό την ανάδευση του υλικού και 2 λεπίδες στο κάτω τμήμα του άξονα για τον τεμαχισμό του υλικού και την διοχέτευση του έτοιμου προϊόντος προς τα συρτάρια συλλογής.

Ο αντιδραστήρας κομποστοποίησης έχει σχεδιαστεί για να δέχεται αποκλειστικά το οργανικό κλάσμα από τα απορρίμματα που καθημερινά παράγουμε. Ως «οργανικά απορρίμματα» θεωρούνται όλα εκείνα τα υπολείμματα των τροφών τα οποία με την πάροδο του χρόνου υπόκεινται σε αποσύνθεση. Σε αυτά δεν περιλαμβάνονται κανένα είδος συσκευασίας. Μερικοί χαρακτηριστικοί τύποι οργανικών απορριμμάτων που μπορούν να τροφοδοτήσουν τον κάδο κομποστοποίησης περιλαμβάνουν:

- Στυμμένα λεμόνια, πορτοκάλια και άλλα εσπεριδοειδή
- Φλούδες και κοτσάνια, φρούτων και λαχανικών, όπως ντομάτες, κρεμμύδια, μήλα καρπούζια, λάχανα, χορταρικά κ.ά.
- Ληγμένα ή μουχλιασμένα τρόφιμα, αφού προηγουμένως αφαιρεθεί η συσκευασία τους
- Μουχλιασμένο ή ξερό ψωμί και τυρί
- Στάχτη (όχι όμως από τσιγάρα)
- Ξερά φύλλα από τα λουλούδια ή από καθαρισμό του κήπου
- Αποφάγια που δεν καταναλώθηκαν κατά τη διάρκεια ενός γεύματος,
- Τσόφλια αυγών, λίπη από κρέατα.

Ο κάδος δεν τροφοδοτείται με:

- Κόκαλα από κρέας, κοτόπουλο, ψάρι και όστρακα θαλασσινών
- Πλαστικό (σακούλες, συσκευασίες τροφίμων, μπουκάλια νερού, αναψυκτικών κ.ά.)
- Γυαλί και κεραμικά (μπουκάλια ποτών, σπασμένα πιάτα, ποτήρια κ.ά.)
- Χαρτόνι (χάρτινες συσκευασίες, μπουκάλια γάλακτος, αναψυκτικών κ.ά.)
- Μέταλλα (κουτάκια αναψυκτικών, κονσέρβες κ.ά.)
- Ξύλο (οδοντογλυφίδες κ.ά.)
- Χημικά (απορρυπαντικά κ.α.)

Ότι προστίθεται στον κάδο πρέπει να τεμαχίζεται (1-2 cm). Αυτό γίνεται για να επιταχυνθούν οι διεργασίες βιοαποδόμησης, και για να πραγματοποιείται πιο εύκολα η περιστροφή του άξονα.

5.3 Μεθοδολογία μετρήσεων

Κατά τη διάρκεια της διεργασίας και στο τελικό προϊόν πραγματοποιήθηκαν συνολικά οι παρακάτω αναλύσεις:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- pH
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Πτητικά στερεά (VSS)
- Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)
- Ολικό άζωτο κατά Kheldahl (TKN)
- Νιτρικά ($NO_3^- - N$)
- Αμμωνιακά ($NH_4^+ - N$)

- Αναλογία C/N
- Βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία (K, Na, Ca, Mg)
- Φυτοτοξικότητα

Για τις δέκα πρώτες μέρες οι μετρήσεις γίνονταν καθημερινά και στη συνέχεια 3 φορές τη βδομάδα ενώ οι τελικές μετρήσεις πάρθηκαν στις 50 μέρες μετά την αρχική πλήρωση των κάδων.

5.3.1 Προσδιορισμός θερμοκρασίας

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας των κάδων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό θερμόμετρο, και πραγματοποιούνταν μετρήσεις σε διάφορα σημεία του αντιδραστήρα.



Εικόνα 5.2 Ψηφιακό θερμόμετρο

5.3.2 Προσδιορισμός υγρασίας

Σε κατάλληλες κάψες λαμβάνεται το δείγμα και ζυγίζεται. Τα δείγματα τοποθετούνται σε φούρνο σε θερμοκρασία 105°C για 12h. Η υγρασία υπολογίζεται από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους 105°C.

Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό υγρασίας του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος.

$$\frac{(M_k + M_{c,1}) - (M_k + M_{c,2})}{M_{c,1}} * \%$$

Όπου:

M_k : η μάζα της κάψας (g).

$M_{c,1}$: αρχική μάζα του δείγματος πριν την ξήρανση (g).

$M_{c,2}$: η τελική μάζα δείγματος μετά από ξήρανση στους 105°C (g).



Εικόνα 5.3 Φούρνος ξήρανσης (Μέτρηση υγρασίας)

5.3.3 Προσδιορισμός pH

Για τη μέτρηση του pH, 10 g δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml για 30 λεπτά με προσθήκη 50 ml απιονισμένου νερού. Ακολουθεί μέτρηση με χρήση pH – μέτρου (μοντέλο METTLER TOLEDO MPC227).



Εικόνα 5.4 Μετρητής pH

5.3.4 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας, 10 g δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml για 30 λεπτά με προσθήκη 50 ml απιονισμένου νερού. Ακολουθεί φυγοκέντρηση του διαλύματος στις 3000 στροφές / λεπτό για 10 λεπτά και διήθηση υπό κενό. Η αγωγιμότητα του διαλύματος προσδιορίζεται με αγωγιμόμετρο (μοντέλο METTLER TOLEDO MPC227). Το εν λόγω όργανο φαίνεται στην εικόνα 5.4.

5.3.5 Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται και ζυγίζεται περίπου 1 g σε πορσελάνινες κάψες. Το δείγμα ξηραίνεται στους 550°C για 20 λεπτά. Τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους 550°C. Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό πτητικών στερεών του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος και συγκεκριμένα

$$\frac{(M_k + M_{c,1}) - (M_k + M_{c,2})}{M_{c,1}} * \%$$

Όπου:

M_k : η μάζα της κάψας (g).

$M_{c,1}$: αρχική μάζα του δείγματος πριν την ξήρανση (g).

$M_{c,2}$: η τελική μάζα δείγματος μετά από ξήρανση στους 550°C (g).



Εικόνα 5.5 Φούρνος ξήρανσης (Μέτρηση πτητικών)

5.3.6 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται με grinder και ζυγίζονται με ακρίβεια 100mg τα οποία χωρίζονται ισόποσα στις ειδικές κάψες από πορσελάνη. Στη συνέχεια οι κάψες τοποθετούνται στον ειδικό φούρνο (Solid Sample Module SSM 5000A) όπου το δείγμα θερμαίνεται στους 900°C. Στη θερμοκρασία αυτή γίνεται καύση του οργανικού άνθρακα και τα καυσαέρια αυτής οδηγούνται στην κεντρική μονάδα TOCV_{CSH}. Στη μονάδα αυτή υπολογίζεται η μάζα του οργανικού

άνθρακα (mg) από το CO_2 που παράγεται κατά την καύση. Το % ποσοστό του οργανικού άνθρακα δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\%TOC = \frac{\left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)}{2} * 100$$

Όπου:

m_1 : η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του πρώτου δείγματος (mg)

m_2 : η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του δεύτερου δείγματος (mg)

M_1 : η αρχική μάζα του πρώτου δείγματος (mg).

M_2 : η αρχική μάζα του δεύτερου δείγματος (mg).



Εικόνα 5.6 Το σύστημα υπολογισμού ολικού οργανικού άνθρακα



<p>Εικόνα 5.7</p> <p>Κεντρική μονάδα TOCV_{CSH}</p>	<p>Εικόνα 5.8</p> <p>Solid Sample Module SSM 5000A</p>	<p>Εικόνα 5.9</p> <p>Πορσελάνινες κάγες</p>
--	---	--

5.3.7 Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN)

Η αρχή της μεθόδου είναι η καύση του δείγματος με περίσσεια πυκνού θειικού οξέος παρουσία καταλυτών (θειικό άλας χαλκού $CuSO_4$ και σελήνιο Se). Από το όξινο θειικό αμμώνιο που σχηματίζεται ελευθερώνεται αμμωνία, σε αλκαλικό περιβάλλον, η οποία αποστάζει και δεσμεύεται σε περίσσεια διαλύματος βορικού οξέος, όπου και προσδιορίζεται.

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους $105^{\circ}C$ λιοτριβείται και ζυγίζονται $1,5\text{ g}$. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια προστίθενται ταμπλέτες 5 g που περιέχουν τους προαναφερθέντες καταλύτες και 20 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4 98%). Ο σωλήνας με το περιεχόμενό του τοποθετούνται στην ειδική συσκευή χώνευσης KJELDATHERM της εταιρίας Gerhardt που εικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 5.10 Σωλήνας χώνευσης



Εικόνα 5.11 Συσκευή KJELDATHERM

Μέσω του ρυθμιστή θερμοκρασίας ο σωλήνας θερμαίνεται, ήπια αρχικά, μέχρι να αρχίσει ο αφρισμός και στη συνέχεια ακολουθεί έντονη θέρμανση για περίπου μία ώρα στους $100^{\circ}C$. Η πλήρης χημική διάσπαση έχει επιτευχθεί όταν το διάλυμα γίνει διαυγές. Το διάλυμα αφήνεται να ψυχθεί, μέσα στο σωλήνα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Vapodest 30s της εταιρίας Gerhardt.



Εικόνα 5.12 Συσκευή απόσταξης Vapodest 30s

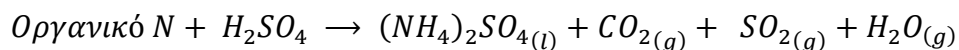
Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 50 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου $NaOH$ 32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμειξης του θεικού αμμωνίου $(NH_4)_2SO_4$ με το καυστικό νάτριο $NaOH$, απελευθερώνεται αέρια αμμωνία NH_3 η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης παγιδεύεται από το βορικό οξύ H_3BO_3 . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl 0,1N. Χρησιμοποιούνται 3-5 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.



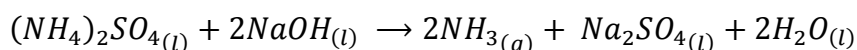
Εικόνα 5.13 – 5.14 Η αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

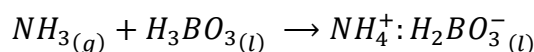
Κατά τη χώνευση



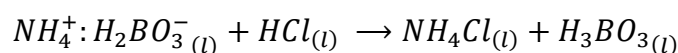
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



Η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο κατά Kjeldahl υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%TKN = \frac{1,4007 * c * (V - V_b)}{m}$$

Όπου:

c: η συγκέντρωση του διαλύματος του υδροχλωρικού οξέος *HCl* που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση. Αξίζει να τονίσουμε πως η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος *HCl* είναι ίση με την κανονικότητά του, και για την παραπάνω πειραματική διαδικασία ίση με 0,1 mol/lit.

V: ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος *HCl* που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (ml).

V_b: ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος *HCl* που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (ml).

m: η αρχική μάζα του δείγματος (g). [24]

5.3.8 Προσδιορισμός νιτρικών

Στον υπολογισμό του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN) μετράται το σύνολο του οργανικά δεσμευμένου αζώτου, του αζώτου σε μορφή αμμωνίας NH_3 και του αζώτου σε μορφή αμμωνιακών NH_4^+ . Για να προσδιοριστεί η ποσότητα των νιτρικών NO_3^- στο δείγμα, ακολουθούμε τη μέθοδο Kjeldahl με τη διαφορά ότι στο αρχικά προσθέτουμε και μια μικρή ποσότητα, κράματος Devarda. Το κράμα Devarda αποτελείται από τρία μέταλλα στις παρακάτω αναλογίες:

Αλουμίνιο: Al (44% – 46%)

Χαλκός: Cu (49% – 51%)

Ψευδάργυρος: Zn (4% – 6%)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους $105^\circ C$ λιοτριβείται και ζυγίζονται $1,5\text{ g}$. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια προστίθενται ταμπλέτες 5 g που περιέχουν τους καταλύτες, (θειικό άλας χαλκού $CuSO_4$ και σεληνίο Se), και 20 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4 98%). Εν συνεχεία προσθέτουμε περίπου $0,2 - 0,3\text{ g}$ κράματος Devarda. Το κράμα Devarda, κατά τη διάρκεια της χώνευσης, μετατρέπει τα νιτρικά ανιόντα NO_3^- σε αμμωνία NH_3 . Ο σωλήνας με το περιεχόμενό του τοποθετούνται στην ειδική συσκευή χώνευσης KJELDATHERM.

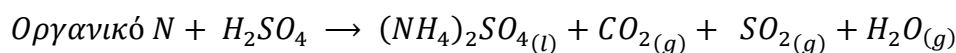
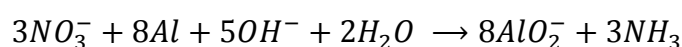
Μέσω του ρυθμιστή θερμοκρασίας ο σωλήνας θερμαίνεται, ήπια αρχικά, μέχρι να αρχίσει ο αφρισμός και στη συνέχεια ακολουθεί έντονη θέρμανση για περίπου μία ώρα στους $100^\circ C$. Η πλήρης χημική διάσπαση έχει επιτευχθεί όταν το διάλυμα γίνει διαυγές. Το διάλυμα αφήνεται να ψυχθεί, μέσα στο σωλήνα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Vapodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 50 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου $NaOH$ 32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμειξης του θειικού αμμωνίου $(NH_4)_2SO_4$ με το καυστικό νάτριο $NaOH$, απελευθερώνεται αέρια αμμωνία NH_3 η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης

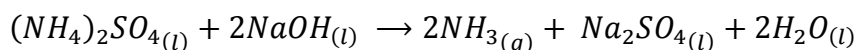
παγιδεύεται από το βορικό οξύ H_3BO_3 . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl 0,1N. Χρησιμοποιούνται 3-5 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

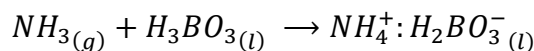
Κατά τη χώνευση



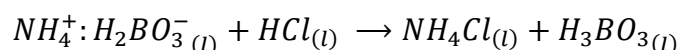
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



Η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%N = \frac{1,4007 * c * (V - V_b)}{m}$$

Όπου:

c : η συγκέντρωση του διαλύματος του υδροχλωρικού οξέος HCl που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση. Αξίζει να τονίσουμε πως η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος HCl είναι ίση με την κανονικότητά του, και για την παραπάνω πειραματική διαδικασία ίση με 0,1 mol/l.

V : ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος HCl που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (ml).

V_b : ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος HCl που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (ml).

m : η αρχική μάζα του δείγματος (g).

Τέλος η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε νιτρικά NO_3^- υπολογίζεται από τη σχέση: $\%NO_3^- = \%N - \%TKN$. [24],[30]

5.3.9 Προσδιορισμός αμμωνιακών

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

- Διάλυμα βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v
- 2-4 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου
- Ετερογενές διάλυμα υδροξειδίου του μαγνησίου $MgOH$. Θερμαίνονται 17 g MgO στους 800 °C για 2 ώρες. Εν συνεχεία η ποσότητα αφήνεται να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε αφυγραντήρα. Τέλος διαλύονται τα 17 g σε 100 ml νερού.
- Οκτανδιόλη. Χρησιμοποιείται για τη μείωση του αφρισμού.
- Διάλυμα χλωριούχου καλίου KCl 2M. Διαλύονται 745,51 g στερεού χλωριούχου καλίου KCl σε 5 lt απιονισμένου νερού.
- Διάλυμα θεικού οξέος H_2SO_4 0,005M

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται και ζυγίζονται 5 g . Το δείγμα τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml και προστίθενται 50 ml διαλύματος χλωριούχου καλίου KCl . Το ποτήρι αφήνεται σε αναδευτήρα για περίπου μία ώρα. Εν συνεχεία γίνεται ένας υποτυπώδης διαχωρισμός του υγρού το οποίο υφίσταται φυγοκέντρηση στις 3000 $στροφές / λεπτό$ για 10 $λεπτά$ και διήθηση υπό

κενό. Από το διήθημα λαμβάνονται 5 ml με την πιπέτα δειγματοληψίας και εκχύνονται στον ειδικό σωλήνα χώνευσης.

Στο σωλήνα χώνευσης πάλι με τη χρήση πιπέτας εκχύνονται 6 ml διαλύματος υδροξειδίου του μαγνησίου $MgOH$ και μερικές σταγόνες οκτανδιόλης.

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Varodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 5 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου $NaOH$ 32% w/v και απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με διάλυμα θεικού οξέος H_2SO_4 0,005M. Χρησιμοποιούνται 2-4 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.

Η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%NH_4 = \frac{0,07(V - V_b)}{V_a}$$

Όπου:

V : ο όγκος του διαλύματος θεικού οξέος H_2SO_4 που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (ml).

V_b : ο όγκος του διαλύματος θεικού οξέος H_2SO_4 που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (ml).

V_a : ο αρχικός όγκος του δείγματος (ml). [24],[30]

5.3.10 Προσδιορισμός αναλογίας C/N

Η αναλογία C/N υπολογίζεται από την σχέση:

$$C/N = \frac{\%TOC}{\%TKN}$$

5.3.11 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων

Για τον προσδιορισμό των μετάλλων αρχικά έλαβε χώρα χώνευση σε ποσότητα ξηρού (στους 105°C για 12h) compost σε συσκευή Digesdahl Digestion για μέταλλα και στη συνέχεια τα μέταλλα προσδιορίζονται σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου Perkin Elmer 2380.



Εικόνα 5.15 Συσκευή Digesdahl Digestion

Η διαδικασία της χώνευσης περιγράφεται ως εξής:

- Λαμβάνεται δείγμα ξηρού compost (105°C) βάρους 0,5g, λειοτριβημένου. Προστίθενται 4 ml πυκνού H_2SO_4 .
- Ταυτόχρονα ανοίγεται η συσκευή και θερμαίνεται στους 440°C. Αφού επιτευχθεί η θερμοκρασία, το δείγμα τοποθετείται και ανοίγεται η βάνα του νερού για δημιουργία κενού.
- Το δείγμα βράζει για περίπου έξι λεπτά. Δεν πρέπει να φύγει όλο το οξύ. Εάν διαφύγει τότε η διαδικασία πρέπει να σταματήσει.

- Προστίθενται 15 ml H_2O_2 30% v/v και συνεχίζεται η θέρμανση για περίπου επτά λεπτά. Αν το δείγμα δε γίνει άχρωμο, χρειάζεται να προστεθούν επιπλέον 5 ml H_2O_2 30% v/v. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η εξής: $H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_5 + H_2O$
- Η θέρμανση συνεχίζεται για περίπου έξι λεπτά, όμως όχι έως ξηρού.
- Το δείγμα ψύχεται στο cooling pad.
- Προστίθενται αργά μερικά ml απιονισμένου νερού και το δείγμα διηθείται.

Το διάλυμα φέρεται με απιονισμένο νερό σε όγκο συνήθως 15 ml και σε αυτό προσδιορίζονται τα μέταλλα στο φασματοφωτόμετρο της ατομικής απορρόφησης (Varian).



Εικόνα 5.16 Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Varian)

5.3.12 Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

- Τρυβλία.
- Σπόροι.
- Διηθητικό χαρτί (Whatman #1).
- Απιονισμένο νερό.
- Ψυγείο 25°C (σκοτεινός θάλαμος).
- Χάρακας.

Η διαδικασία του υπολογισμού του δείκτη βλαστικότητας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- 10g φρέσκου compost ζυγίζονται.
- Προστίθενται 100ml H_2O .
- Ανάδευση για 30 λεπτά.
- Φυγοκέντρωση στις 3000 στροφές / λεπτό για 10 λεπτά.
- Διήθηση υπό κενό με Whatman 41 (20 – 25 μm).
- Σε δύο τρυβλία (Petri dish) τοποθετείται διηθητικό χαρτί (Whatman 1).
- 20 σπόροι μαρουλιού (σε κάθε τρυβλίο) τοποθετούνται σε διάταξη ώστε να ισαπέχουν μεταξύ τους.
- Προστίθενται 10ml H_2O και 10ml extract αντίστοιχα.
- Τοποθετούνται σε ψυγείο (20 ± 5 °C) όπου επικρατούν συνθήκες σκότους για 5 ημέρες.
- Καταμέτρηση αριθμού σπόρων όπου έχουν βλαστήσει.
- Καταμέτρηση μήκους βλαστών .

Ο δείκτης βλαστικότητα (Δ.Β.) υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη φυτροτική ικανότητα και το μήκος του βλαστού σύμφωνα με την πιο κάτω σχέση:

$$\Delta. B. = \left(\frac{G * L}{100} \right)$$

Όπου:

G : [αριθμός των βλαστών του δείγματος / αριθμός των βλαστών του μάρτυρα] * 100

→ όπου δηλώνει τη φυτροτική ικανότητα του δείγματος

L : [μήκος βλαστού στο δείγμα / μήκος βλαστού στον μάρτυρα] * 100

Για το δείκτη βλαστικότητα ισχύει:

$0 < \Delta. B. < 25 \rightarrow$ πολύ φυτοτοξικό

$26 < \Delta. B. < 65 \rightarrow$ φυτοτοξικό

$66 < \Delta. B. < 100 \rightarrow$ μή φυτοτοξικό

$\Delta. B. > 101 \rightarrow$ φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό [24],[37],[38],[39]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα που λήφθηκαν με τη χρήση των μεθόδων του προηγούμενου κεφαλαίου. Έπειτα από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ του παρόντος πειραματικού κύκλου και προγενέστερων κύκλων πειραμάτων ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου κόμποστ.

Παρακάτω ακολουθεί λεπτομερής καταγραφή των αποτελεσμάτων, συνοδευόμενα από τα σχετικά διαγράμματα (συγκριτικά διαγράμματα παραμέτρων στους 4 αντιδραστήρες).

Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι οι ακόλουθοι:

- Τροφοδοσία των αντιδραστήρων
- Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας
- Θερμοκρασία του υποστρώματος
- Ποσοστό % υγρασίας στο υπόστρωμα
- pH του υποστρώματος
- Αγωγιμότητα του υποστρώματος
- Ποσοστό πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα
- Ποσοστό οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα
- Ποσοστό ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα
- Λόγος C/N στο υπόστρωμα
- Ποσοστό νιτρικών ($NO_3^- - N$) στο υπόστρωμα
- Ποσοστό αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) στο υπόστρωμα

6.2 Χαρακτηρισμός πρώτης ύλης και σύνθεση υλικού τροφοδοσίας

Ο προσδιορισμός της σύστασης του αρχικού υποστρώματος, είναι καθοριστικός για την αξιολόγηση των αερόβιων διεργασιών της κομποστοποίησης και του τελικού προϊόντος. Η ποιότητα και η σύσταση του παραγόμενου κόμποστ είναι άμεσα εξαρτώμενες από το είδος και την αναλογία των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργήσουν το αρχικό υπόστρωμα.

Τα οργανικά απόβλητα που επιλέχθηκαν ως υλικά προς κομποστοποίηση αποτελούνται από οργανικά οικιακά απορρίμματα, τα οποία αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο κλάσμα των παραγόμενων οικιακών απορριμμάτων και χρήζουν κατάλληλης επεξεργασίας. Το προς κομποστοποίηση υπόστρωμα συνίσταται από κυτταρινούχα (σπανάκι, μαρούλι, φλούδες πορτοκαλιού και λεμονιού), πρωτεϊνούχα υλικά (όσπρια νερόβραστα) καθώς και υλικά πλούσια σε υδατάνθρακες (ψωμί) τα οποία τροφοδότησαν τον αντιδραστήρα σε προκαθορισμένη αναλογία. Τεμαχίστηκαν σε κομμάτια των 2 έως 4 εκατοστών και έγινε επαρκής ομογενοποίηση.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις βασικών παραμέτρων, των υλικών τα οποία θα αποτελούσαν το υπόστρωμα, ξεχωριστά, ώστε να γίνει μια πρώτη προσέγγιση των επιθυμητών τιμών των παραμέτρων του. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υλικών από τα οποία αποτελείται το αρχικό υπόστρωμα, ενώ στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες διαφόρων μιγμάτων, που αποτελούν και το υλικό τροφοδοσίας του αντιδραστήρα. Να σημειωθεί ότι τα απόβλητα που αποτέλεσαν την πρώτη ύλη για τη διεξαγωγή των πειραμάτων συλλέχθηκαν από τις οικίες μελών της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του ΕΜΠ, από το εστιατόριο του ΕΜΠ, καθώς και από λαϊκές αγορές.

Πίνακας 6.1 Αρχικές μετρήσεις τροφίμων του υποστρώματος

Τρόφιμο	pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Υγρασία %	% C _{org}	% TKN	C/N
Μαρούλι	6,22	1,63	89,62	34,20	4,48	7,63
Σπανάκι	6,27	1,14	88,43	34,70	4,16	8,34
Ρύζι	6,70	0,13	61,35	44,12	4,55	9,70
Ρεβίθια	6,86	0,82	64,20	42,80	8,21	5,21
Φασόλια	6,87	1,04	67,30	45,20	8,73	5,18
Ψωμί	5,64	5,69	22,29	46,40	5,34	8,69
Πατάτα	6,61	1,47	79,09	42,07	4,87	8,64

Πορτοκάλι	4,06	0,86	75,89	45,78	3,27	14,00
Λεμόνι	2,87	1,69	81,90	44,80	2,15	20,84
Μπανάνα	5,99	3,34	90,58	46,26	1,66	27,87
Καφές	6,2	1,53	61,18	43,43	1,87	23,22

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1 παρατηρείται πως τα όσπρια (φασόλια, ρεβίθια) έχουν υψηλές τιμές pH, κοντά στο 7, ενώ σε αντίθεση με αυτά οικιακά απορρίμματα, όπως οι φλούδες από φρούτα (πορτοκάλι, λεμόνι) έχουν πολύ χαμηλό pH, που στο λεμόνι φτάνει και κάτω από 3 (2,87). Παράλληλα διαπιστώνεται ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας παρατηρούνται σε τρόφιμα πλούσια σε κυτταρινούχες ενώσεις, όπως οι φλούδες από φρούτα και τα λαχανικά, και κυμαίνονται από 75,89-90,58%. Σε αντίθεση, τρόφιμα πλούσια σε υδατάνθρακες, με κύριο το ψωμί, έχουν αρκετά χαμηλά ποσοστά υγρασίας (22,29%). Όσον αφορά στα ποσοστά του οργανικού άνθρακα αυτά είναι αρκετά υψηλά σε όλα τα τρόφιμα. Εκεί, όμως, που παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των τροφίμων είναι στα ποσοστά του αζώτου, τα τρόφιμα πλούσια σε κυτταρινούχες ενώσεις έχουν χαμηλά ποσοστά αζώτου (1,66 - 4,48%) σε αντιδιαστολή με τα τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες, όπου το ποσοστό του αζώτου πλησιάζει μέχρι και το 9% (8,73% στα φασόλια).

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις εξάγονται βασικά συμπεράσματα για τις τιμές C/N των τροφίμων, που αποτελεί τη βασική παράμετρο της διεργασίας. Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά στους μικροοργανισμούς, υπεύθυνους για τη διεργασία της κομποστοποίησης, καθορίζεται αποκλειστικά από την αναλογία C/N, διότι η πλειονότητα των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων εμπεριέχει σε επαρκείς ποσότητες και αναλογίες όλα τα υπόλοιπα απαιτούμενα θρεπτικά στοιχεία και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης [40]. Όσον αφορά στην περιεκτικότητα των τροφίμων σε βαρέα μέταλλα, διαπιστώνεται πως οι συγκεντρώσεις αυτών είναι μη ανιχνεύσιμες, γεγονός αναμενόμενο, αφού η διαλογή των οικιακών απορριμμάτων έγινε στην πηγή, με αποτέλεσμα να μην έχουν επιβαρυνθεί με βαρέα μέταλλα. Ως εκ τούτου δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των βαρέων μετάλλων στο τελικό προϊόν.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στα τρόφιμα, δημιουργήθηκαν μίγματα αυτών σε διάφορες αναλογίες, ώστε να δημιουργηθούν διαφορετικά αρχικά υποστρώματα,

τα οποία μελετήθηκαν ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Συγκεκριμένα οι αναλογίες που μετρήθηκαν ήταν:

κυτταρινούχα : πρωτεΐνες : υδατάνθρακες = (4 – 0,5 – 0,5) , (3 – 1 – 1) , (2 – 1 – 2) , (2 – 2 – 1) και (2,5 – 1,5 – 1). Σε όλα τα υποστρώματα προστέθηκε πριονίδι 10 % κ.β.

Πίνακας 6.2 Βασικές μετρήσεις για διαφορετικές αναλογίες υποστρώματος

Αναλογία Υποστρώματος	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ				
	<i>Υγρασία %</i>	<i>pH</i>	<i>% Corg</i>	<i>% TKN</i>	<i>C/N</i>
4 – 0,5 – 0,5	78,8	6,2	51,6	1,38	37,4
3 – 1 – 1	69,8	6	47,8	1,53	31,2
2 – 1 – 2	59,8	5,8	45,2	1,28	35,3
2 – 2 – 1	64,2	6,8	44,2	1,63	27,1
2,5 – 1,5 – 1	73,8	5,2	44,7	1,92	23,3

Στον παρόντα πειραματικό κύκλο χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα για τους αντιδραστήρες μίγμα με αναλογία: 2,5 – 1,5 – 1, δηλαδή λόγος C/N κοντά στο 20.

6.3 Δειγματοληψία και ανάλυση του υποστρώματος

Καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης πραγματοποιήθηκε σύνθετη δειγματοληψία του υποστρώματος σε τακτά χρονικά διαστήματα, λαμβάνοντας δύο διαδοχικά δείγματα υποστρώματος από τρία διαφορετικά σημεία κατά μήκος του εσωτερικού του βιοαντιδραστήρα ύστερα από την ανάδυσή του. Η συλλογή δειγμάτων επιτυγχάνεται από τη θυρίδα τροφοδοσίας του βιοαντιδραστήρα με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, ώστε να λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα υποστρώματος τα οποία τοποθετούνται σε ξεχωριστούς πλαστικούς κάδους. Στη συνέχεια λαμβάνεται ισόβαρο μέρος από κάθε ένα από τα έξι δείγματα και αναμιγνύονται διεξοδικά για τη διαμόρφωση ενός ενιαίου και ομογενοποιημένου τελικού δείγματος. Από το σύνθετο δείγμα λαμβάνονταν τρία επί μέρους δείγματα στα οποία γίνεται ο προσδιορισμός των εξεταζόμενων παραμέτρων.

6.4 Κύκλος πειραμάτων

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αντιδραστήρες με αρχικό λόγο C/N στο υπόστρωμα 20 και χρήση προσθέτων σε ποσοστό 10% κ.β. επί της αρχικής μάζας υποστρώματος.

Τροφοδοσία των αντιδραστήρων

Στον πίνακα 6.3 παρουσιάζονται τα υλικά που τροφοδότησαν κάθε ένα από τους τέσσερις αντιδραστήρες. Οι τιμές του πίνακα είναι σε γραμμάρια. Η τροφοδοσία έγινε με γνώμονα να διατηρηθεί η αρχική αναλογία C/N κοντά στο 20. Για να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος λόγος υπολογίστηκε θεωρητικά η εξής αναλογία:

- 50% κυτταρινούχων συστατικών (μαρούλι, σπανάκι, πορτοκάλια και λεμόνια)
- 30% πρωτεϊνούχων συστατικών (ρεβίθια και φασόλια βρασμένα)
- 20% υδατανθρακούχων συστατικών (ψωμί)

Σε κάθε αντιδραστήρα έγινε προσθήκη κάποιου πρόσθετου.

Αναλυτικά:

- Στον αντιδραστήρα 1 προστέθηκε πριονίδι ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.
- Στον αντιδραστήρα 2 προστέθηκε πριονίδι ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας, αλλά και ζεόλιθος ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.
- Στον αντιδραστήρα 3 προστέθηκε πριονίδι ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας, αλλά και βερμικουλίτης ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.
- Στον αντιδραστήρα 4 προστέθηκε περλίτης ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.

Πίνακας 6.3 Τροφοδοσία σε g των αντιδραστήρων

Αντιδραστήρας	Ημέρα	Κυτταρινούχα				Πρωτεΐνες		Υδατάνθρακες		Ορυκτό			Σύνολο	Τελικό Σύνολο
		Μαρούλι	Σπανάκι	Πορτοκάλι	Λεμόνι	Ρεβίθι	Φασόλι	Ψωμί	Πριονίδι	Ζεόλιθος	Βερμικουλίτης	Περλίτης		
1	1	2000	2000	500	500	1500	1500	2000	1000				11000	15400
	1	400	400	100	100	300	300	400	200				2200	
	2	400	400	100	100	300	300	400	200				2200	
2	1	2000	2000	500	500	1500	1500	2000	1000	1000			12000	16800
	1	400	400	100	100	300	300	400	200	200			2400	
	2	400	400	100	100	300	300	400	200	200			2400	
3	1	2000	2000	500	500	1500	1500	2000	1000		1000		12000	16800
	1	400	400	100	100	300	300	400	200		200		2400	
	2	400	400	100	100	300	300	400	200		200		2400	
4	1	2000	2000	500	500	1500	1500	2000				1000	11000	15400
	1	400	400	100	100	300	300	400				200	2200	
	2	400	400	100	100	300	300	400				200	2200	

Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και συγκεκριμένα των εννέα πρώτων ημερών πραγματοποιήθηκε καθημερινή δειγματοληψία από τους τέσσερις αντιδραστήρες. Ακολούθησαν άλλες τέσσερις δειγματοληψίες ανά τρεις ημέρες. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μάζα του υλικού που αφαιρέθηκε σε κάθε αντιδραστήρα τις μέρες της δειγματοληψίας. Οι τιμές του πίνακα είναι σε γραμμάρια.

Πίνακας 6.4 Δειγματοληψία σε g από τους αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	102	133	108	117
2	137	145	138	129
3	141	112	115	114
5	118	109	133	106
6	125	102	113	117
7	129	118	110	152
8	137	120	128	115
9	103	103	122	126
11	114	134	108	137
15	138	112	132	105
18	113	105	103	110
21	105	114	113	112
ΣΥΝΟΛΟ	1461	1407	1422	1441

Οι ποσότητες που αφαιρέθηκαν από κάθε αντιδραστήρα σε συνδυασμό, με τις λοιπές απώλειες (π.χ. υγρασία), την αρχική τροφοδοσία, και την ζύγιση του τελικού προϊόντος μας δίνουν το επί τις εκατό ποσοστό απώλειας μάζας στον κάθε αντιδραστήρα. Αναλυτικότερα τα δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.5 και στο διάγραμμα 6.1

Πίνακας 6.5 Ποσοστό % συνολικής μείωσης της μάζας σε κάθε αντιδραστήρα

	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
Αρχική Τροφοδοσία	15400g	16800g	16800g	15400g
Σύνολο Δειγματοληψίας	1461g	1407g	1422g	1441g
Θεωρητικά στον αντιδραστήρα	13939g	15393g	15378g	13959g
Πραγματικά στον αντιδραστήρα	6800g	5600g	6600g	5400g
Ποσοστό μείωσης της μάζας	51%	64%	57%	61%



Διάγραμμα 6.1 Συγκριτική απεικόνιση της % απώλειας μάζας στους 4 αντιδραστήρες

Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του υποστρώματος

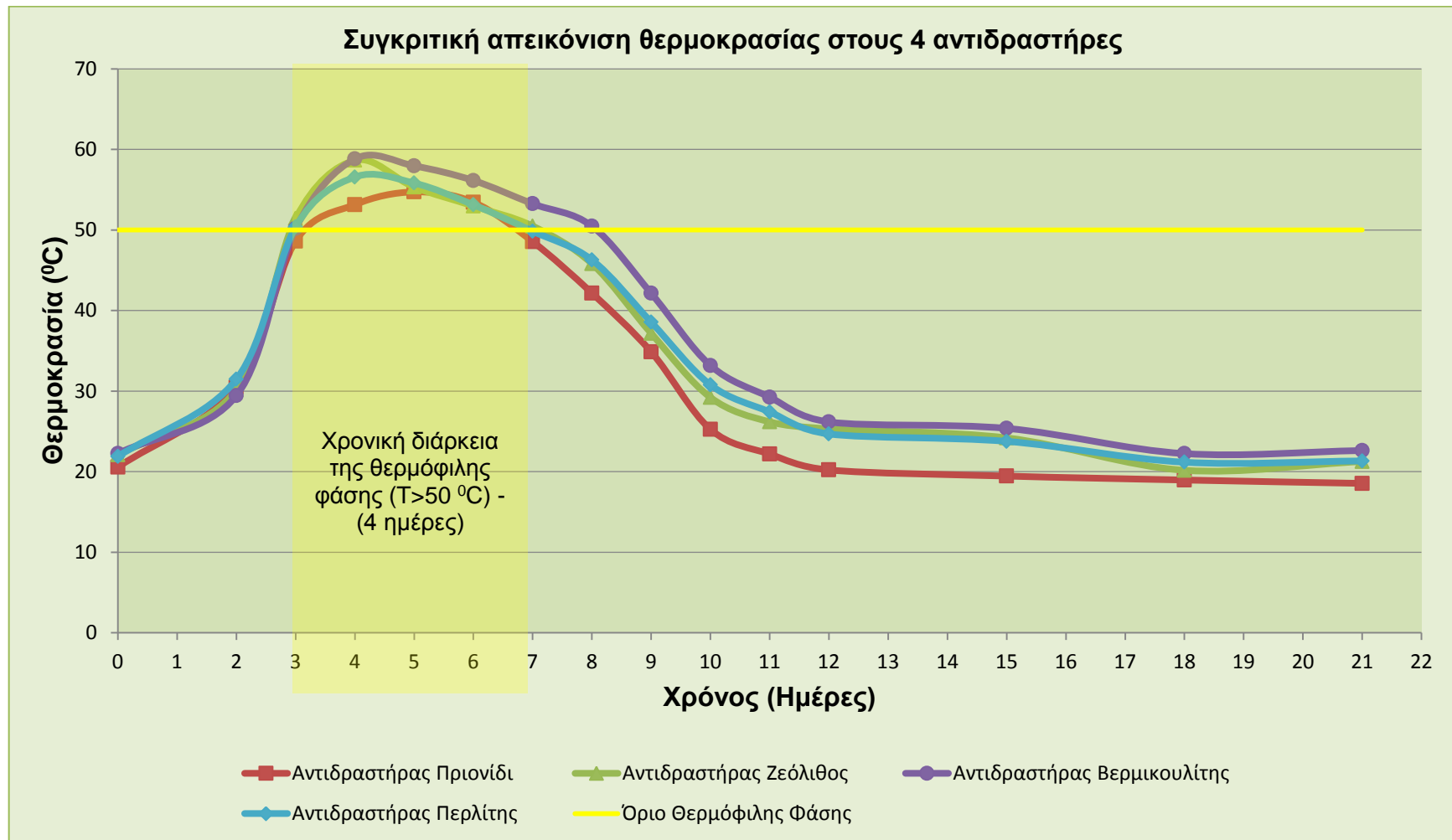
Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί διασπούν την οργανική ύλη παράγοντας CO_2 , νερό, θερμότητα και χούμους, που αποτελεί και το τελικό οργανικό προϊόν. Υπό βέλτιστες συνθήκες, η κομποστοποίηση περνά από 3 φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η μεσόφιλη. Η αποδόμηση της οργανικής ύλης αρχικά, συντελείται από τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς, οι οποίοι αποδομούν τις εύκολα βιοδιασπώμενες οργανικές ενώσεις. Η δραστηριότητα αυτή απελευθερώνει μεγάλα ποσά ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας. Συνυπολογίζοντας και την ιδιότητα του κόμποστ να είναι καλός μονωτής όλη αυτή η παραγόμενη θερμότητα εγκλωβίζεται και έτσι παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και καθώς αυτή περνά τους 40 °C οι μεσόφιλοι οργανισμοί γίνονται λιγότερο ανταγωνιστικοί και τελικά κυριαρχούν οι θερμόφιλοι. Η δεύτερη φάση, λοιπόν, είναι η θερμόφιλη, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και μπορεί να διαρκέσει από μερικές μέρες έως μερικές εβδομάδες. Τέλος η τρίτη φάση είναι μια δεύτερη μεσόφιλη ή φάση ωρίμανσης η οποία και συμβάλει στην σταθεροποίηση του κόμποστ. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για όλους τους αντιδραστήρες.

Πίνακας 6.6 Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	20,56	22,07	22,25	21,88
2	30,48	30,18	29,44	31,47
3	48,62	51,41	50,17	50,38
4	53,14	58,64	58,82	56,57
5	54,72	55,32	57,95	55,82
6	53,44	52,97	56,14	53,12
7	48,55	50,48	53,25	49,84
8	42,16	45,82	50,48	46,28
9	34,87	37,17	42,14	38,56
10	25,25	29,21	33,18	30,77
11	22,18	26,18	29,25	27,42
12	20,21	25,31	26,17	24,68
15	19,45	24,19	25,37	23,76

18	18,96	20,17	22,24	21,17
21	18,54	21,26	22,62	21,33

Στο διάγραμμα 6.2 παρατίθεται το προφίλ της θερμοκρασίας για όλους τους αντιδραστήρες. Εδώ διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Σχετικά με τον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι επετεύχθη η θερμοφίλη φάση η οποία ξεκίνησε με το πέρας της 3^{ης} μέρας και κράτησε μέχρι και την 7^η μέρα. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 54,72 °C. Στην συνέχεια η διεργασία πέρασε στην δεύτερη μεσόφιλη φάση στην οποία η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για τον αντιδραστήρα με πρόσθετο ζεόλιθο, η θερμοφίλη φάση ξεκίνησε από την 3^η κιόλας μέρα και κράτησε μέχρι και την 7^η. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 58,64 °C. Εν συνεχεία, η διεργασία πέρασε στην δεύτερη μεσόφιλη φάση στην οποία η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για τον αντιδραστήρα με πρόσθετο βερμικουλίτη, η θερμοφίλη φάση ξεκίνησε από την 3^η κιόλας μέρα και κράτησε μέχρι και την 8^η. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 58,82 °C. Εν συνεχεία, η διεργασία πέρασε στην δεύτερη μεσόφιλη φάση στην οποία η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όσον αφορά στον αντιδραστήρα με πρόσθετο περλίτη η θερμοφίλη φάση ξεκίνησε με το πέρας της 3^{ης} μέρας και κράτησε μέχρι την 7^η μέρα. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 56,57 °C. Στην συνέχεια η διεργασία πέρασε στην δεύτερη μεσόφιλη φάση στην οποία η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 6.2 η θερμοκρασία αυξάνεται γρήγορα και διατηρείται σε υψηλά επίπεδα για αρκετή χρονική περίοδο. Η χρονική αυτή περίοδος σε υψηλές θερμοκρασίες, ικανοποιεί τα χρονικά-θερμοκρασιακά όρια καταστροφής παθογόνων μικροοργανισμών που πιθανόν να αναπτύσσονται κατά τη διεργασία.



Διάγραμμα 6.2 Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες

Προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος

Η περιεχόμενη υγρασία στο κόμποστ εξαρτάται από το πορώδες του υποστρώματος, τον αερισμό, την θερμοκρασία και άλλους φυσικούς παράγοντες. Η υγρασία είναι ύψιστης σημασίας για όλους τους μικροοργανισμούς, αφού υποστηρίζει όλες τις μεταβολικές τους διεργασίες, επιτρέποντας την μεταφορά θρεπτικών συστατικών. Εάν η υγρασία στο υπόστρωμα κυμανθεί ανάμεσα στο 35 % με 40 % του ολικού βάρους τότε ο ρυθμός αποδόμησης επιβραδύνεται, ενώ για τιμές μικρότερες του 30% η βιολογική διεργασία σταματάει. Αντιθέτως, αν η υγρασία έχει υψηλότερη τιμή από 65 – 70 % είναι πιθανό να επικρατήσουν αναερόβιες συνθήκες, αφού το νερό καλύπτει τους πόρους και δεν αφήνει να αερισθεί επαρκώς το υλικό. Στα περισσότερα υποστρώματα συστήνεται ως κατάλληλη τιμή υγρασίας μεταξύ 45 και 65 % επί του συνολικού βάρους.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της υγρασίας (%) για όλους τους αντιδραστήρες.

Πίνακας 6.7 Τιμές υγρασίας (%) για τους τέσσερις αντιδραστήρες

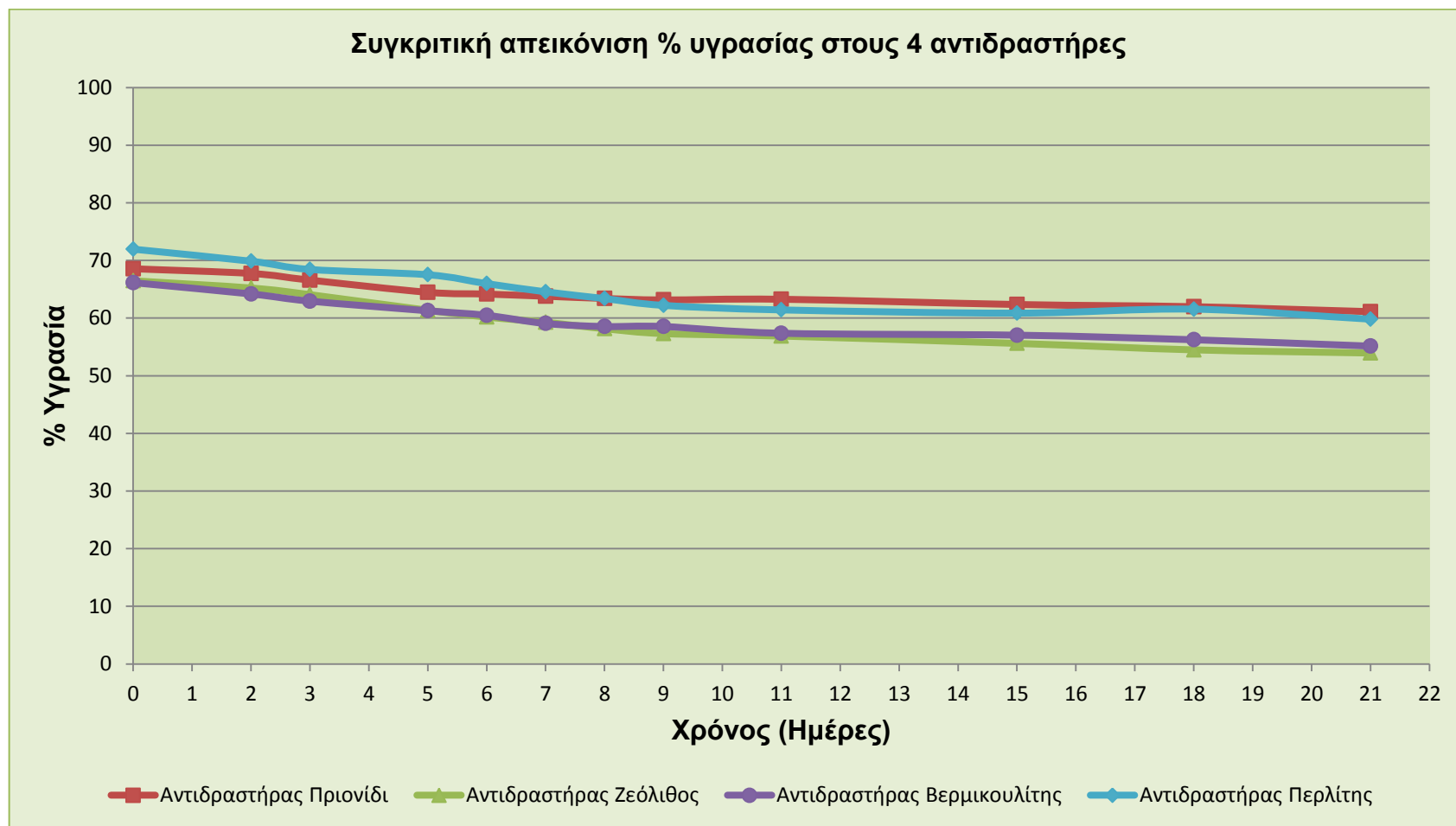
Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	68,56	66,48	66,15	71,96
2	67,74	65,22	64,19	69,87
3	66,59	64,07	62,94	68,44
5	64,48	61,36	61,27	67,52
6	64,17	60,18	60,48	65,98
7	63,79	59,27	59,06	64,56
8	63,41	58,16	58,54	63,39
9	63,15	57,31	58,54	62,21
11	63,27	56,88	57,37	61,42
15	62,36	55,61	57,04	60,86
18	61,98	54,49	56,24	61,55
21	61,12	53,94	55,14	59,81

Οι καμπύλες της υγρασίας, στο διάγραμμα 6.3, που ακολουθεί, και στους τέσσερις αντιδραστήρες ξεκινούν από υψηλά αρχικά επίπεδα κοντά στο 70%, γεγονός αναμενόμενο λόγω της υψηλής υγρασίας του υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό υπόστρωμα. Συγκεκριμένα η αρχική υγρασία στους αντιδραστήρες ήταν αντιστοίχως 68,56%, 66,48%, 64,15%. Εξάιρεση αποτελεί ο αντιδραστήρας με πρόσθετο περλίτη που ξεκινά από υψηλότερο επίπεδο υγρασίας κοντά στο 71,96% λόγω μη προσθήκης σ' αυτόν με πρόσθετο πριονίδι. Ο αντιδραστήρας με το πριονίδι παρουσιάζει επίσης μεγάλη τιμή, και αυτό οφείλεται στο γεγονός της απουσίας κάποιου ορυκτού. Τα ορυκτά έχουν την ιδιότητα προσρόφησης της υγρασίας και αύξησης του πορώδους του υποστρώματος, με αποτέλεσμα τον καλύτερο αερισμό και συνακόλουθα τον καλύτερο έλεγχο της υγρασίας.

Στη συνέχεια λόγω της έναρξης των βιολογικών διεργασιών εκλύεται θερμότητα με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες που οδηγούν στη σταδιακή μείωση της περιεχόμενης υγρασίας. Το ποσοστό της υγρασίας στο υπόστρωμα ακολουθεί φθίνουσα πορεία κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης και προς το τέλος της διεργασίας στον αντιδραστήρα τα προϊόντα λαμβάνουν ποσοστά :

61,12%, 53,94%, 55,14% και 59,81%.

Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο περλίτη και αυτός με πρόσθετο πριονίδι πάλι εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, συγκριτικά με τους άλλους. Η ιδανική περιεχόμενη υγρασία στο τελικό κόμποστ κυμαίνεται μεταξύ 40% και 50% καθότι εξασφαλίζεται περιορισμένη μικροβιακή δραστηριότητα γεγονός επιθυμητό όταν γίνεται εναπόθεση κόμποστ στο έδαφος, ενώ σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 25% καθότι δεν μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στο έδαφος. Οι καταγεγραμμένες πειραματικές τιμές κυμαίνονται από 53,94% μέχρι 61,12% και οφείλεται στην υψηλή αρχική υγρασία των υλικών τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό πριν την χρήση του κόμποστ συνίσταται να αφηθεί το τελικό προϊόν εκτός αντιδραστήρα για μια επιπλέον χρονική περίοδο ενός μήνα για την περαιτέρω μείωση της υγρασίας και ωρίμανσής του.



Διάγραμμα 6.3 Συγκριτική απεικόνιση % υγρασίας στους 4 αντιδραστήρες

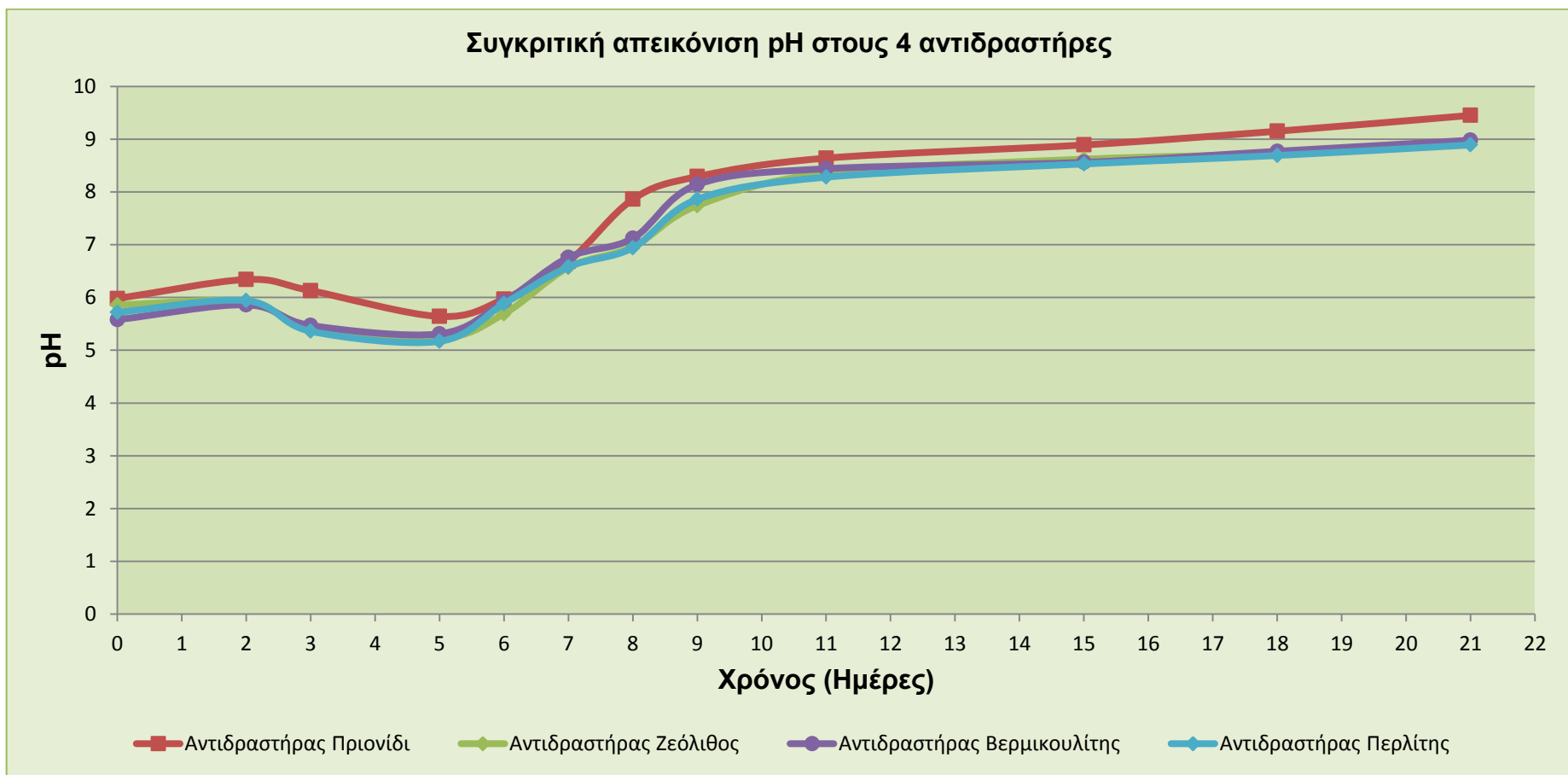
Προσδιορισμός του *pH* του υποστρώματος

Το *pH* αναφέρεται στην οξύτητα ή αλκαλικότητα του υλικού, και αποτελεί εξαιρετικά σημαντική παράμετρο για την διεργασία της κομποστοποίησης. Το *pH* είναι αυτό που ρυθμίζει ποια είδη μικροοργανισμών θα αναπτυχθούν κατά την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης. Παρόλο που η διεργασία μπορεί να λάβει χώρα σε ένα μεγάλο εύρος τιμών *pH*, είναι επιθυμητό η τιμή του να βρίσκεται μεταξύ 6,0 και 8,5.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του *pH* για όλους τους αντιδραστήρες.

Πίνακας 6.8 Τιμές *pH* για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	5,98	5,86	5,58	5,72
2	6,34	5,92	5,86	5,94
3	6,13	5,41	5,47	5,36
5	5,64	5,22	5,31	5,17
6	5,97	5,69	5,92	5,88
7	6,68	6,57	6,76	6,58
8	7,86	6,96	7,12	6,94
9	8,29	7,74	8,14	7,86
11	8,64	8,36	8,44	8,28
15	8,89	8,62	8,56	8,53
18	9,15	8,73	8,77	8,69
21	9,45	8,95	8,98	8,89



Διάγραμμα 6.4 Συγκριτική απεικόνιση pH στους 4 αντιδραστήρες

Στον αντιδραστήρα με το πριονίδι, το pH έχει αρχική τιμή 5,98. Η τιμή αυτή μειώνεται μέχρι και την 5^η μέρα φτάνοντας στο 5,64. Μετά αυξάνεται ραγδαία μέχρι και την 9^η μέρα όπου και σταθεροποιείται την 21^η μέρα κοντά στο 9,45. Κατά τα αρχικά στάδια λειτουργίας του κομποστοποιητή με ζεόλιθο, παρατηρείται ότι το pH του μίγματος με αρχική τιμή 5,86 παρουσιάζει μείωση μέχρι και την 5^η μέρα με χαμηλότερη τιμή την 5,22. Στην συνέχεια αυξάνεται γρήγορα έως και την 9^η μέρα όπου φαίνεται να σταθεροποιείται με μικρές αυξομειώσεις μέχρι την 21^η μέρα κοντά στο 8,95. Το pH του αντιδραστήρα με ορυκτό βερμικουλίτη έχει αρχική τιμή 5,58 και παρουσιάζει ελαφρώς ανοδική πορεία χωρίς εμφανή μείωση τις τέσσερις πρώτες μέρες, με χαμηλότερη τιμή την 5^η μέρα στο 5,31. Στην συνέχεια πραγματοποίησε απότομη άνοδο φτάνοντας κοντά στο 8,14 για να συνεχίσει την σταδιακή ανοδική του πορεία φτάνοντας τιμή κοντά στο 8,98 την 21^η μέρα. Στον αντιδραστήρα με τον περλίτη, το pH έχει αρχική τιμή 5,72. Η τιμή αυτή μειώνεται μέχρι και την 5^η μέρα φτάνοντας στο 5,17. Μετά αυξάνεται ραγδαία μέχρι και την 9^η μέρα, ενώ σταθεροποιείται μέχρι την 21^η μέρα κοντά στο 8,89. Από το διάγραμμα 6.4 παρατηρείται ότι το pH μειώνεται στις πρώτες φάσεις της βιοαποδόμησης, γεγονός που οφείλεται στη δράση οξυγενούς βακτηριακής μικροχλωρίδας που αποδομεί τις σύνθετες οργανικές ενώσεις σε οργανικά οξέα. Έπειτα αναπτύσσονται πρωτεϊνολυτικές διεργασίες (διάσπαση των οργανικών οξέων) που έχουν ως συνέπεια την παραγωγή αμμωνίας με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του pH , ενώ στη συνέχεια οι τιμές του pH μειώνονται όσο προχωρεί η διεργασία της κομποστοποίησης και κατά συνέπεια η ωρίμανση του υποστρώματος. Όταν το κόμποστ ωριμάσει η τιμή του pH κυμαίνεται γύρω στο 7 ενώ το εύρος τιμών pH στο τέλος του χρόνου παραμονής στον οικιακό κομποστοποιητή κυμαίνεται γύρω στο 8. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το προϊόν κομποστοποίησης δεν είναι πλήρως σταθεροποιημένο και απαιτείται η παραμονή του σε υπαίθριο χώρο μέχρι την πλήρη σταθεροποίησή του.

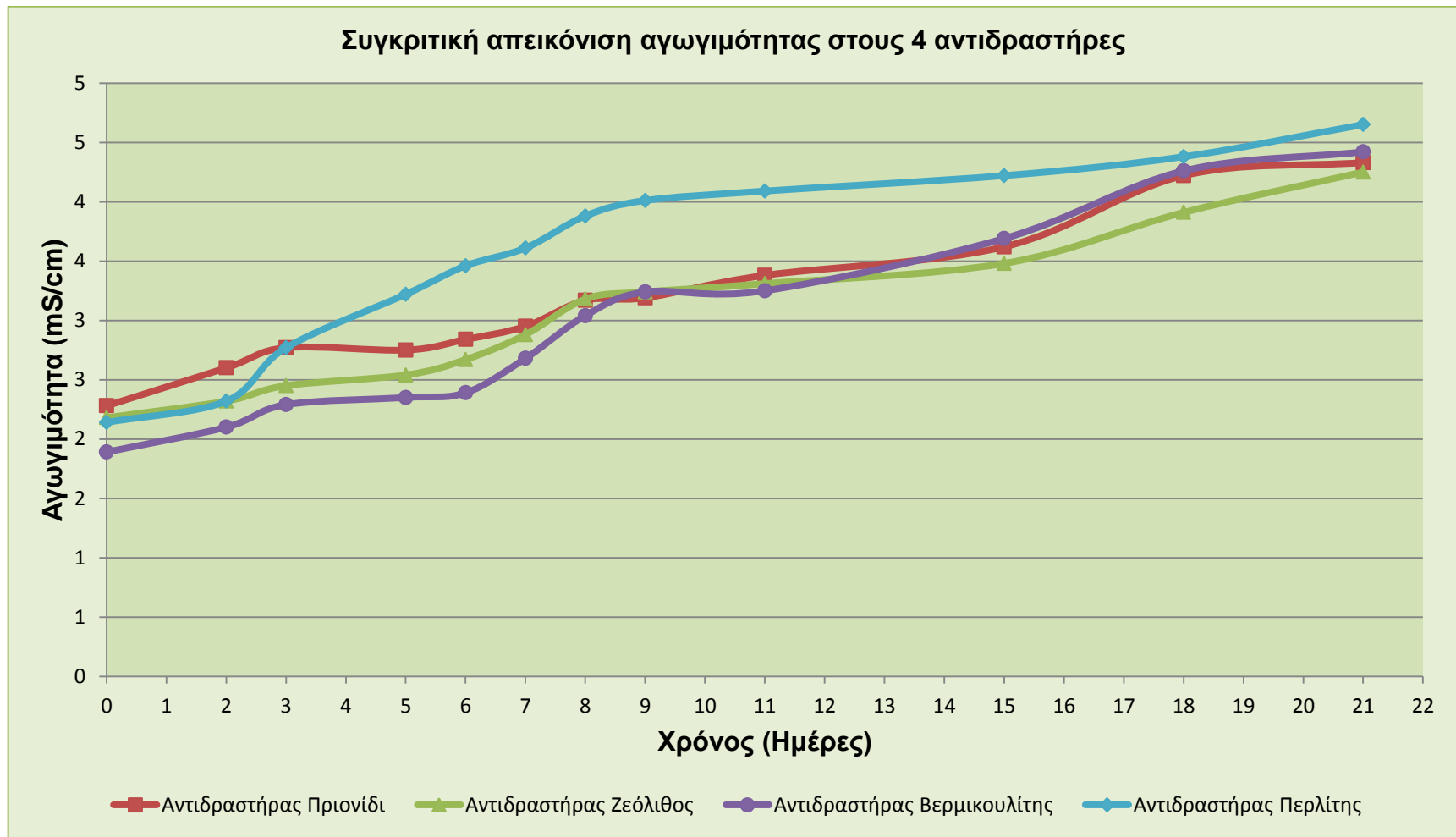
Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο του διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ, όπου τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στην συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σ' 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. Υψηλή περιεκτικότητα σε άλας για ένα κόμποστ μπορεί να του προσδίδει υψηλή θρεπτική αξία, αλλά μπορεί και να καταστρέψει τα φυτά, ειδικά τους σπόρους ενδέχεται να κάψει τις ρίζες και να καθυστερήσει τη διαδικασία βλάστησης. Η υπερβολικά 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.

Πίνακας 6.9 Τιμές αγωγιμότητας για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου (*mS/cm*)

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	2,28	2,18	1,89	2,14
2	2,60	2,32	2,10	2,32
3	2,77	2,45	2,29	2,77
5	2,75	2,54	2,35	3,22
6	2,84	2,67	2,39	3,46
7	2,95	2,88	2,68	3,61
8	3,17	3,18	3,04	3,88
9	3,19	3,24	3,24	4,01
11	3,38	3,31	3,25	4,09
15	3,62	3,48	3,69	4,22
18	4,22	3,91	4,26	4,38
21	4,33	4,25	4,42	4,65

Στο διάγραμμα 6.5 παρουσιάζεται η εξέλιξη της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλους τους αντιδραστήρες. Οι καμπύλες της αγωγιμότητας στους αντιδραστήρες παρουσιάζουν αύξουσα πορεία. Ξεκινούν από χαμηλές αρχικές τιμές 2,28, 2,18, 1,86 και 1,96 mS/cm για τους αντιδραστήρες με πριονίδι, ζεόλιθο, βερμικουλίτη και περλίτη αντίστοιχα και, αφού σταθεροποιηθούν μετά την 21^η ημέρα, καταλήγουν στις τιμές 4,33, 4,25, 4,42 και 4,99 mS/cm αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα σε διαφορετικής προέλευσης κόμποστ σύμφωνα με την βιβλιογραφία.[41] Στο διάγραμμα 6.5 παρατηρείται σταδιακή αύξηση της αγωγιμότητας καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης η οποία αύξηση αποδίδεται στην εκτεταμένη αποσύνθεση της οργανικής ύλης η οποία με την σειρά της έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε άλατα. Το εύρος των τιμών της αγωγιμότητας των προϊόντων του αντιδραστήρα κυμαίνεται από 4,25 έως 4,99 mS/cm το οποίο είναι σύμφωνο με τη διεθνή βιβλιογραφία για αγωγιμότητα κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα (εύρος 3,69 έως 7,49 mS/cm).



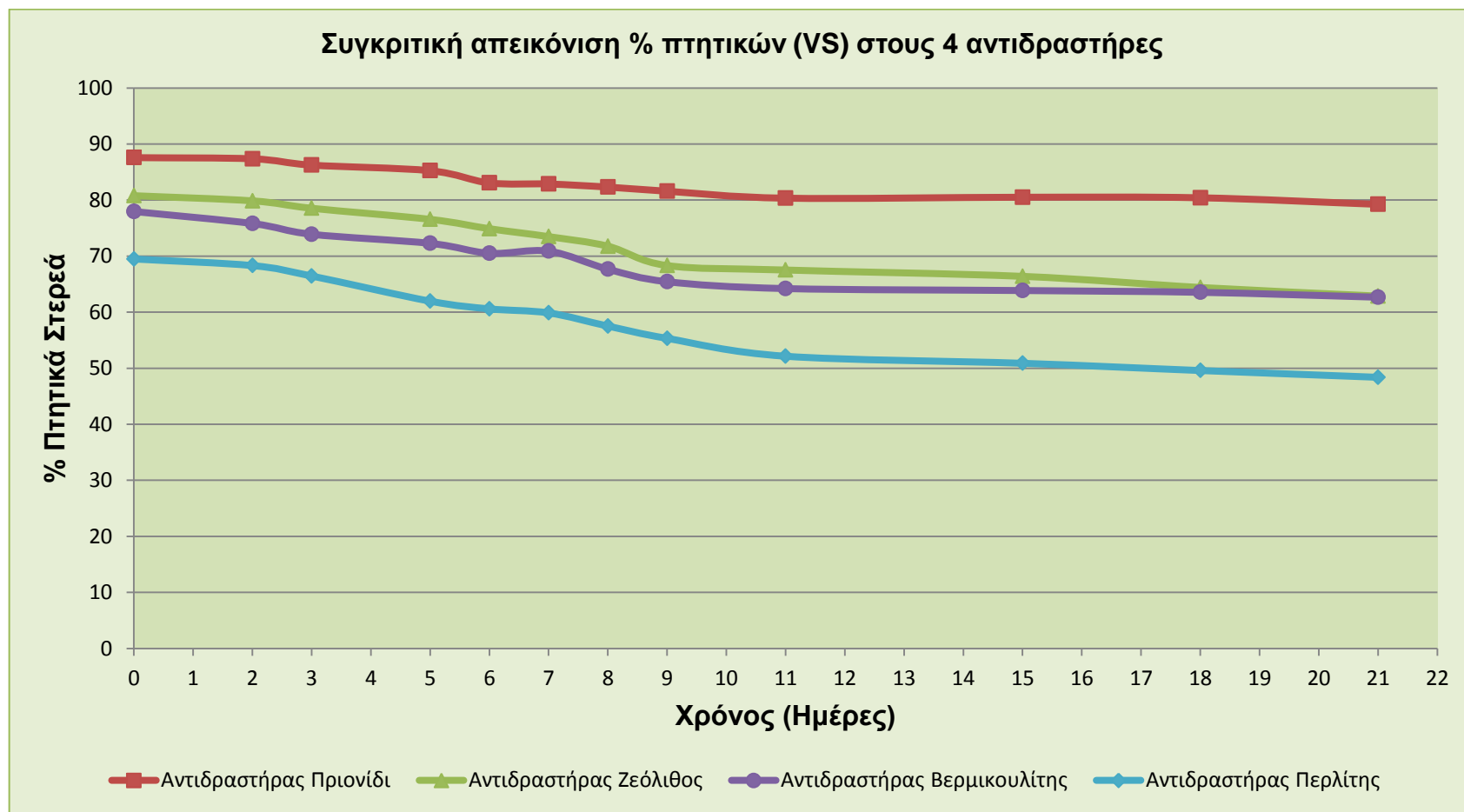
Διάγραμμα 6.5 Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους 4 αντιδραστήρες

Προσδιορισμός των πτητικών στερεών (VS) στο υπόστρωμα

Τα πτητικά στερεά είναι το ποσοστό των ξηρών στερεών που χάνονται με ανάφλεξη στους 550 °C και αποτελούν μια παράμετρο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της οργανικής ύλης. Επειδή η σταθεροποίηση του κόμποστ είναι μια διαδικασία που έχει σχέση με την ποσότητα και την αποσύνθεση του οργανικού υλικού, το περιεχόμενο σε πτητικά στερεά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της πορείας της αποσύνθεσης. Τα πτητικά στερεά είναι οι πιο άμεσα προσλήψιμες ενώσεις από τους μικροοργανισμούς που εμπεριέχονται στο υπόστρωμα. Η παρουσία τους βοηθάει στην αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας καθότι αποτελούν άμεση πηγή προς κατανάλωση.

Πίνακας 6.10 Τιμές % πτητικών στερεών για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	87,57	80,78	77,96	69,49
2	87,36	79,86	75,82	68,31
3	86,24	78,54	73,90	66,45
5	85,24	76,56	72,28	61,96
6	83,06	74,89	70,51	60,59
7	82,87	73,48	70,89	59,87
8	82,32	71,77	67,68	57,52
9	81,58	68,32	65,44	55,33
11	80,34	67,52	64,21	52,14
15	80,51	66,39	63,86	50,88
18	80,41	64,41	63,54	49,59
21	79,24	62,87	62,67	48,38



Διάγραμμα 6.6 Συγκριτική απεικόνιση των πτητικών στερεών στους 4 αντιδραστήρες

Σε όλους τους αντιδραστήρες η μεγαλύτερη μείωση των πτητικών στερεών παρατηρείται από την 3^η έως την 10^η ημέρα, περίοδο κατά την οποία εμφανίζονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες (θερμόφιλη φάση), ως αποτέλεσμα της έντονης μεταβολικής δραστηριότητας στη φάση αυτή. Η μεγαλύτερη αρχική τιμή του ποσοστού των πτητικών παρατηρείται στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι, ενώ η μικρότερη στον αντιδραστήρα με πρόσθετο περλίτη λόγω απουσίας πριονιδιού. Παρατηρείται επίσης, ότι στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονιδιού υπάρχει η μικρότερη κατανάλωση πτητικών η οποία επαληθεύεται και από την καμπύλη του οργανικού άνθρακα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πιθανής μη ορθής ανάπτυξης των διεργασιών. Αντίθετα, στους άλλους τρεις αντιδραστήρες και κυρίως στον αντιδραστήρα με πρόσθετο περλίτη παρατηρείται ταχεία μείωση των πτητικών στερεών και σταθεροποίηση τους μετά το πέρας της διεργασίας. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ορθής διεξαγωγής των διεργασιών της κομποστοποίησης.

Προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ένα μέρος της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε CO_2 , NH_3 και νερό. Η απώλεια άνθρακα συντελείται κατά την βιοοξειδωση του οργανικού άνθρακα προς CO_2 . Το CO_2 μπορεί να ελευθερωθεί με την 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. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα (%*dm*) για όλους τους αντιδραστήρες.

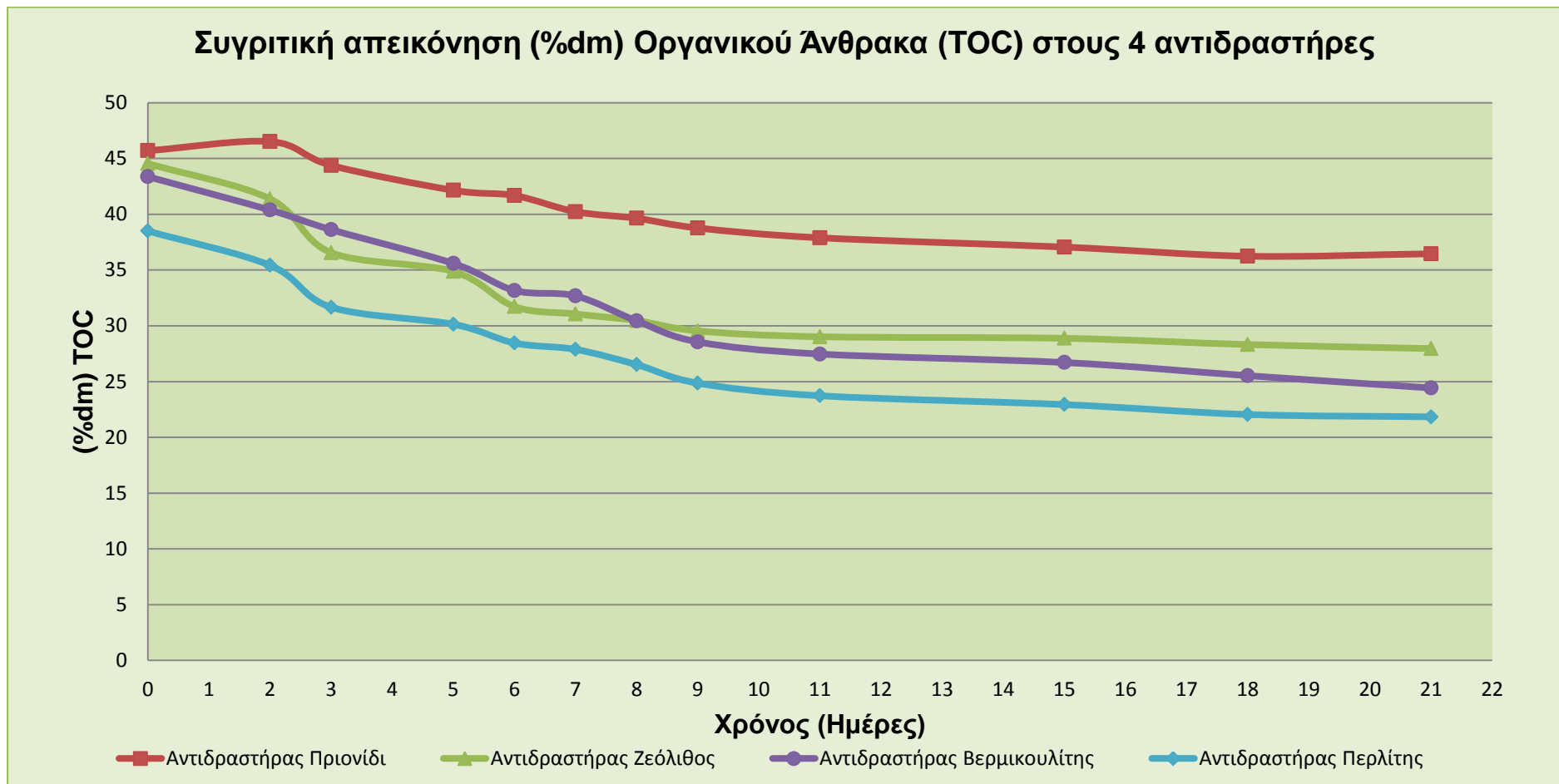
Πίνακας 6.11 Τιμές ολικού οργανικού άνθρακα για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	45,70	44,55	43,37	38,50
2	46,52	41,38	40,38	35,42
3	44,38	36,56	38,62	31,67
5	42,15	34,87	35,59	30,14
6	41,68	31,72	33,17	28,46
7	40,23	31,06	32,68	27,88
8	39,64	30,47	30,44	26,52
9	38,77	29,54	28,56	24,86
11	37,89	29,02	27,47	23,73

15	37,06	28,88	26,71	22,94
18	36,24	28,32	25,53	22,05
21	36,46	27,96	24,43	21,84

Στο διάγραμμα 6.7 διακρίνονται οι τιμές του οργανικού άνθρακα για τους αντιδραστήρες κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης.

Ο αντιδραστήρας με το πριονίδι, ξεκινά από την τιμή 45,7% και με φθίνουσα πορεία φθάνει την 21^η μέρα στο 36,46% , γεγονός που σημαίνει ότι το τελικό προϊόν, παρά το μικρό ποσοστό διάσπασης του άνθρακα, έχει μικρή ποσότητα άνθρακα. Ο ολικός οργανικός άνθρακας για τον αντιδραστήρα με ζεόλιθο ξεκινάει από 44,55% και φθίνει με πολύ γρήγορο ρυθμό λόγω της βιοαποδόμησης της οργανικής ύλης. Τελικά την 21^η ημέρα από την έναρξη του κύκλου η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε οργανικό άνθρακα σταθεροποιείται στο 27,96%. Σχετικά με τον αντιδραστήρα όπου χρησιμοποιήθηκε πρόσθετο βερμικουλίτης ο ολικός άνθρακας ξεκινάει από 43,37% και φθίνει με πολύ γρήγορο ρυθμό λόγω της βιοαποδόμησης. Τελικά σταθεροποιείται στο 24,43% την 21^η ημέρα. Ο αντιδραστήρας με τον περλίτη, ξεκινά από τη τιμή 38,50% και με φθίνουσα πορεία φθάνει την 21^η μέρα στο 21,84% . Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση του συνολικού οργανικού άνθρακα στην περίπτωση της χρήσης ορυκτών ήταν σαφέστατα μεγαλύτερη απ' ότι στον αντιδραστήρα που περιείχε μόνο πριονίδι. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση ορυκτών επιβληθεί και επιταχύνει την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης βελτιώνοντας τις συνθήκες αερισμού και ύγρανσης του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Οι υψηλές αυτές τιμές ήταν αναμενόμενες λόγω του μεγάλου αρχικού ποσοστού των πτητικών που παρατηρήθηκε στον αντιδραστήρα του πριονιδιού. Παρατηρείται επίσης, ότι στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι υπάρχει η μικρότερη κατανάλωση οργανικού άνθρακα η οποία επαληθεύεται και από την καμπύλη των πτητικών. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πιθανής μη ορθής ανάπτυξης των διεργασιών. Αντίθετα, στους άλλους τρεις αντιδραστήρες και κυρίως στον αντιδραστήρα με πρόσθετο περλίτη παρατηρείται ταχεία μείωση του οργανικού άνθρακα και σταθεροποίηση τους μετά το πέρας της διεργασίας. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ορθής διεξαγωγής των διεργασιών της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.7 Συγκριτική απεικόνιση (%dm) οργανικού άνθρακα (TOC) στους 4 αντιδραστήρες

Προσδιορισμός του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα

Το άζωτο αποτελεί συστατικό των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, των αμινοξέων και των ενζύμων και είναι ύψιστης σημασίας για την μικροβιακή ανάπτυξη. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης το N μεταβολίζεται κυρίως σε NH_3 , ενώ οι μη διαλυτές ενώσεις αζώτου κατά την κομποστοποίηση μετατρέπονται σε διαλυτές μορφές που είναι πιο εύκολα διαθέσιμες για τις μεταβολικές δραστηριότητες. Οι αέριες απώλειες του αζώτου οφείλονται κυρίως στην έκλυση NH_3 , αλλά μπορεί να οφείλονται και στην έκλυση νιτρικών ιόντων και νιτρικών οξέων.

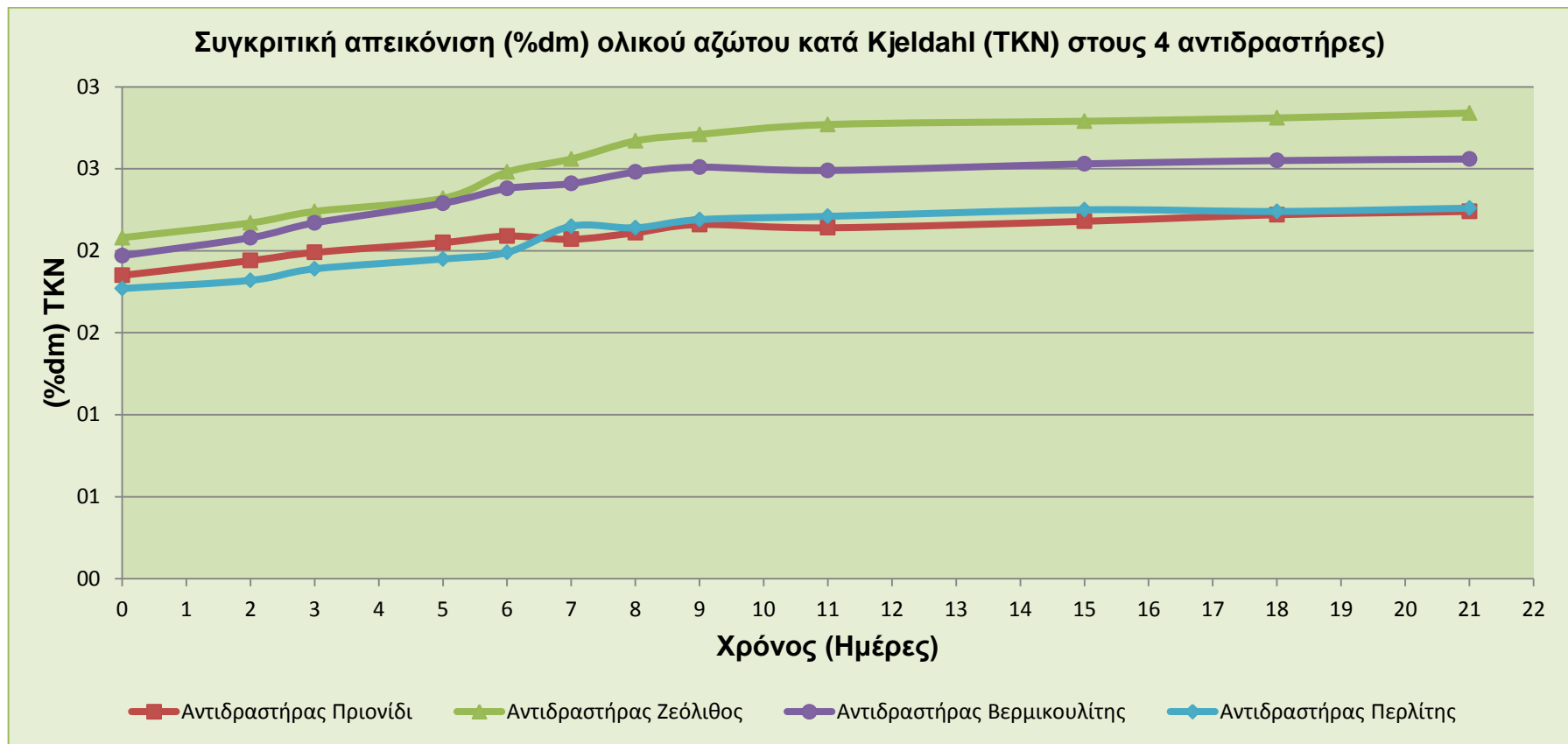
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του TKN (%dm) για όλους τους αντιδραστήρες.

Πίνακας 6.12 Τιμές %dm TKN για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	1,85	2,08	1,97	1,77
2	1,94	2,17	2,08	1,82
3	1,99	2,24	2,17	1,89
5	2,05	2,32	2,29	1,95
6	2,09	2,48	2,38	1,99
7	2,07	2,56	2,41	2,15
8	2,11	2,67	2,48	2,14
9	2,16	2,71	2,51	2,19
11	2,14	2,77	2,49	2,21
15	2,18	2,79	2,53	2,25
18	2,22	2,81	2,55	2,24
21	2,24	2,84	2,56	2,26

Στο διάγραμμα 6.8 παρουσιάζεται η εξέλιξη της %dm τιμής του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τους αντιδραστήρες

Παρατηρείται η αύξουσα πορεία του αζώτου σε ποσοστό επί ξηρής μάζας επειδή υπάρχει μεγαλύτερος ρυθμός μείωσης του ποσοστού του οργανικού άνθρακα. Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο πριονίδι ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,85% διατηρώντας αύξουσα πορεία για να καταλήξει την 21^η ημέρα στο 2,24%. Ο αντιδραστήρας με ζεόλιθο ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 2,08% διατηρώντας αύξουσα πορεία για να καταλήξει την 21^η ημέρα στο 2,84%. Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο βερμικουλίτη ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,97% και ακολουθώντας αύξουσα πορεία καταλήγει στο 2,56% την 21^η μέρα. Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο περλίτη αρχικά έχει 1,77% και έπειτα από την ανοδική πορεία καταλήγει την 21^η ημέρα στο 2,26%. Παρατηρείται ότι το ποσοστό αζώτου στο κόμποστ με πρόσθετο ζεόλιθου είναι αυξημένο. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι ο ζεόλιθος έχει την ιδιότητα να κατακρατά την αμμωνία NH_3 οπότε μειώνονται και οι απώλειες του αζώτου μέσω της αέριας φάσης.



Διάγραμμα 6.8 Συγκριτική απεικόνιση του (%dm) ολικού αζώτου κατά kjeldahl στους 4 αντιδραστήρες

Προσδιορισμός του λόγου C/N στο υπόστρωμα

Από ένα σύνολο στοιχείων που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την αποδόμηση, ο άνθρακας και το άζωτο είναι από τα πλέον βασικά. Ο άνθρακας προσφέρει την πηγή ενέργειας ενώ το άζωτο είναι βασικό συστατικό των πρωτεϊνών τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών υπεύθυνων για την διεξαγωγή της κομποστοποίησης. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης είναι βασικό να καθοριστεί η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά του μίγματος. Αν ο λόγος C/N του οργανικού υλικού είναι μεγαλύτερος από 40 προκαλείται μια αργή αποσύνθεση που ευνοεί απώλειες αζώτου. Σε αυτή την περίπτωση οι μικροοργανισμοί υποχρεούνται να αναπτύσσονται σε διαδοχικούς βιολογικούς κύκλους, οξειδώνοντας έτσι αργά το πλεόνασμα του άνθρακα μέχρι να φέρουν λόγο σε ευνοϊκές τιμές για τον μεταβολισμό τους. Στην περίπτωση όπου το αρχικό οργανικό υλικό παρουσιάζει χαμηλή αναλογία C/N τότε ευνοούνται απώλειες αζώτου σαν αμμωνία. Η αναλογία C/N παρακολουθείται πειραματικά ανά ημέρα, για τις πρώτες δέκα ημέρες λειτουργίας και τρεις φορές την εβδομάδα μέχρι το πέρας λειτουργίας του αντιδραστήρα, για τον πλήρη έλεγχο της διεργασίας. Ο παρών πειραματικός κύκλος ξεκινά από αρχικό λόγο κοντά στο 20. Η επίτευξη ενός ικανοποιητικού λόγου C/N στο αρχικό υπόστρωμα συνίσταται κυρίως στην εμπειρία. Αν και υπάρχουν πρότυποι πίνακες στους οποίους εμφανίζεται ο λόγος C/N για τα διάφορα ζυμώσιμα απορρίμματα, ο σωστός συνδυασμός τους παραμένει εξαιρετικά δύσκολος. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας C/N για όλους τους αντιδραστήρες του πειραματικού κύκλου.

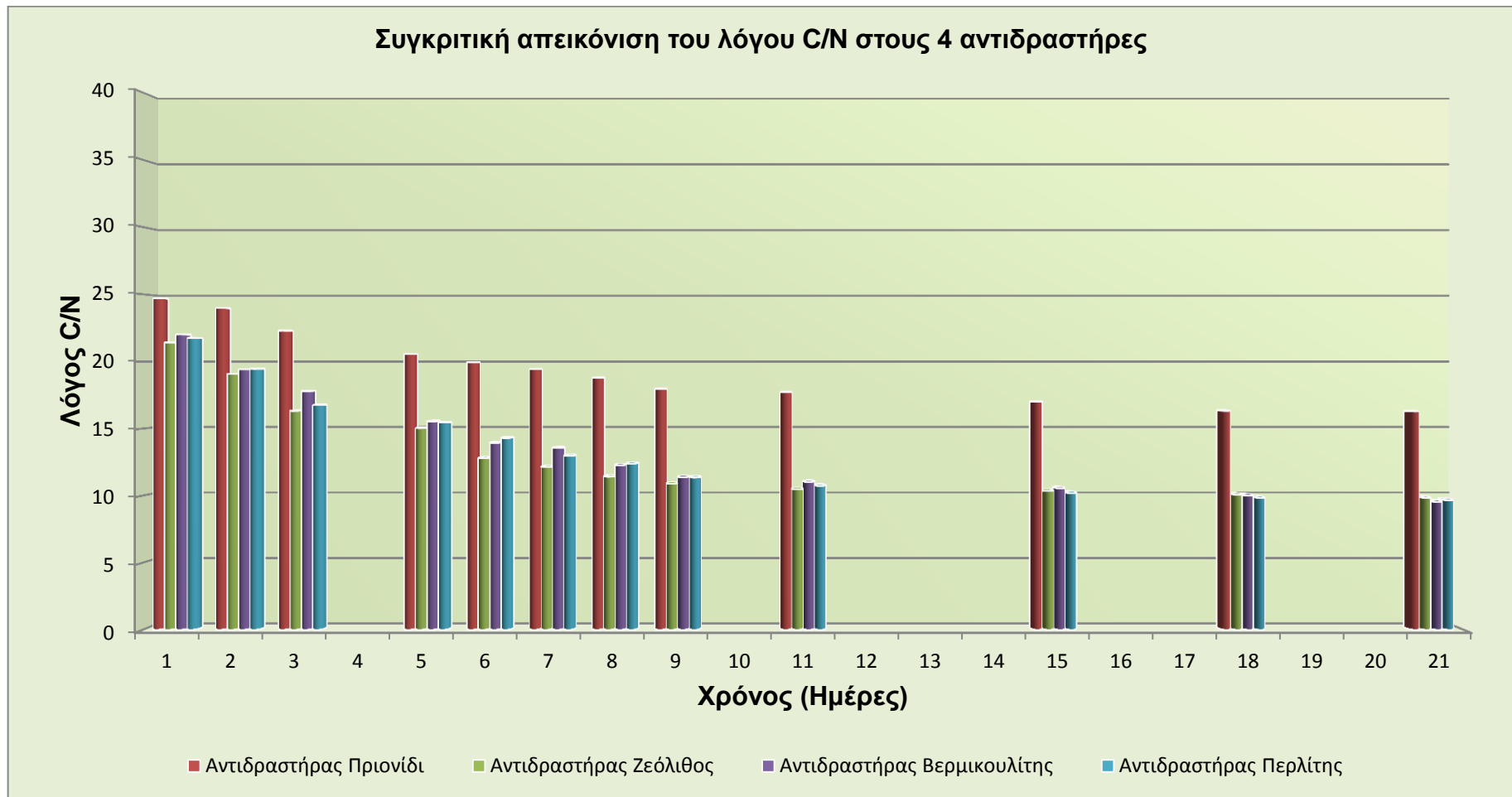
Πίνακας 6.13 Τιμές C/N για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	24,70	21,42	22,02	21,75
2	23,98	19,07	19,41	19,46
3	22,30	16,32	17,80	16,76
5	20,56	15,03	15,54	15,46
6	19,94	12,79	13,94	14,30
7	19,43	12,13	13,56	12,97
8	18,79	11,41	12,27	12,39
9	17,95	10,90	11,38	11,35

11	17,71	10,48	11,03	10,74
15	17,00	10,35	10,56	10,20
18	16,32	10,08	10,01	9,84
21	16,28	9,85	9,54	9,66

Στο διάγραμμα 6.9 παρατίθενται οι λόγοι C/N για τους αντιδραστήρες

Ο αντιδραστήρας με πριονίδι ξεκινά με λόγο 24,70 και μειώνεται μέχρι την τιμή 16,28. Ο αντιδραστήρας με ζεόλιθο έχει αρχική τιμή 21,42. Παρατηρείται ταχεία μείωση του λόγου και σταθεροποίηση αυτού την 21^η ημέρα. Από την 2^η ημέρα ο λόγος έχει πέσει κάτω από την τιμή 20 και συγκεκριμένα στο 19,07. Ο αντιδραστήρας με βερμικουλίτη ξεκινά με λόγο 22,02. Ακολουθεί μείωση και μάλιστα από την 2^η μέρα ο λόγος πέφτει κάτω από το 20 και συγκεκριμένα στο 19,41. Τέλος, ο αντιδραστήρας με περλίτη ξεκινά με λόγο 21,75. Παρουσιάζεται η ίδια τάση μείωσης ενώ ο λόγος πέφτει κάτω από την τιμή 20, και συγκεκριμένα στο 19,46 από την 2^η μέρα. Παρατηρείται ότι οι αντιδραστήρες όπου είχε προστεθεί φυσικό ορυκτό ως πρόσθετο εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές C/N γεγονός που οφείλεται στην μεγαλύτερη μείωση συνολικού οργανικού άνθρακα καθόλη τη διάρκεια της διεργασίας. Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία το ώριμο κόμποστ από οικιακά οργανικά απόβλητα πρέπει να έχει λόγο C/N από 10 – 20 για να θεωρηθεί καλής ποιότητας [46]. Εντός του εύρους των τιμών αυτών, βρίσκεται ο λόγος στο παραγόμενο τελικό προϊόν και των τεσσάρων αντιδραστήρων αναδεικνύοντας την βέλτιστη ποιότητά του ως προς αυτήν την παράμετρο.



Διάγραμμα 6.9 Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στους 4 αντιδραστήρες

Προσδιορισμός νιτρικών ($NO_3^- - N$) και αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) στο υπόστρωμα

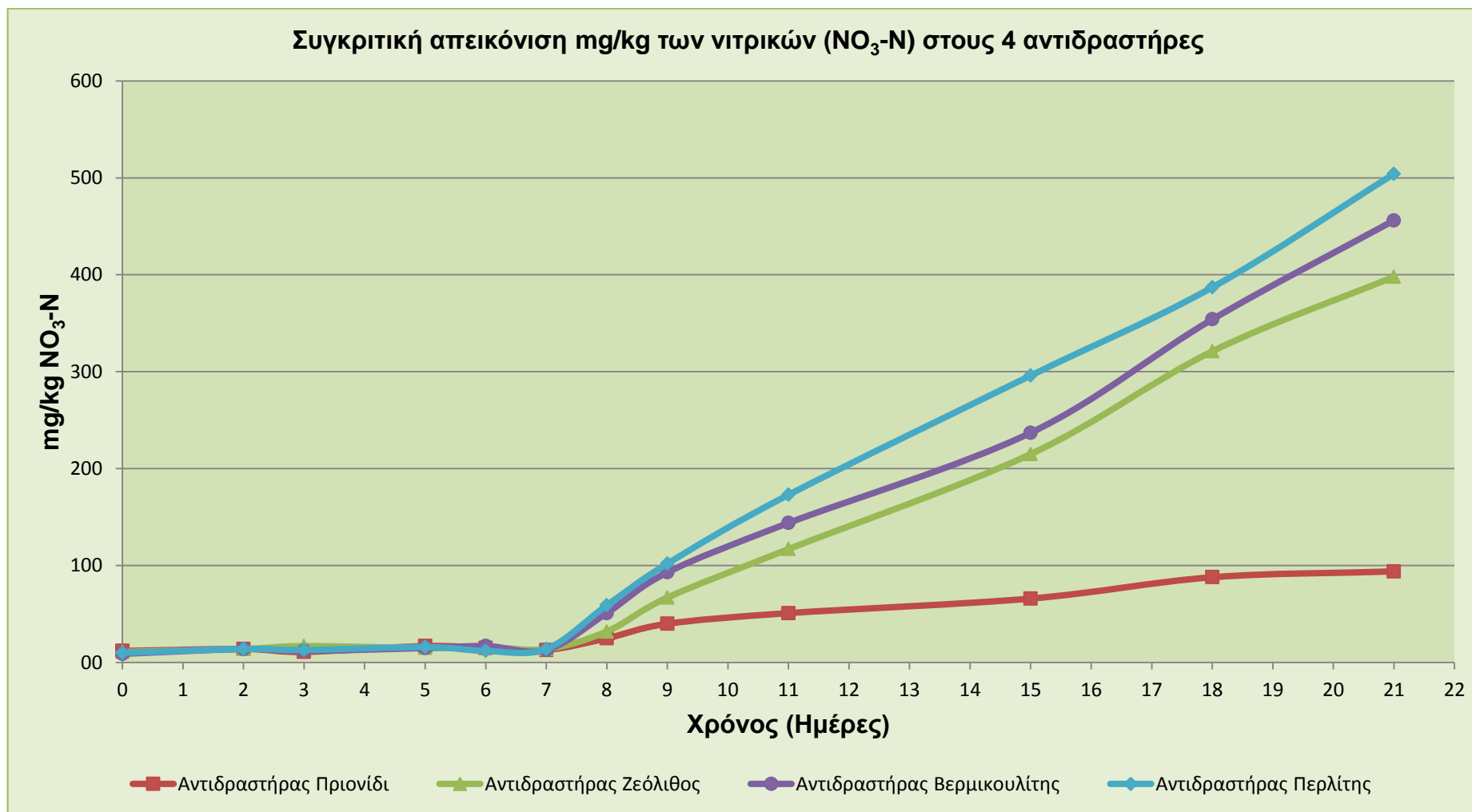
Η ποσότητα των νιτρικών στο τελικό προϊόν είναι σημαντική, γιατί καθορίζει τον λόγο $(NH_4^+ - N)/(NO_3^- - N)$ που αποτελεί μία από τις παραμέτρους ένδειξης της ωριμότητας του τελικού προϊόντος. Τα νιτρικά αυξάνονται κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης μετά τη θερμοφιλή φάση κατά την αποδόμηση των αμμωνιακών που έχουν δημιουργηθεί κατά τη φάση αυτή.

Στον πίνακα 6.14 παρατίθενται οι τιμές των νιτρικών για τους τέσσερις αντιδραστήρες του.

Πίνακας 6.14 Τιμές $NO_3^- - N$ σε mg/kg για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	12,00	11,00	9,00	10,00
2	14,00	14,00	14,00	14,00
3	11,00	17,00	12,00	13,00
5	17,00	15,00	15,00	16,00
6	15,00	16,00	17,00	12,00
7	13,00	14,00	13,00	14,00
8	25,00	32,00	51,00	59,00
9	40,00	67,00	93,00	102,00
11	51,00	117,00	144,00	173,00
15	66,00	215,00	237,00	296,00
18	88,00	321,00	354,00	387,00
21	94,00	398,00	456,00	504,00

Στο διάγραμμα 6.10 απεικονίζεται η αναμενόμενη αύξηση των νιτρικών μετά τη θερμοφιλή φάση. Οι τελικές τιμές είναι οι αναμενόμενες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, με εξαίρεση τις τιμές νιτρικών του αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι. Στον αντιδραστήρα αυτόν είναι προφανές πως η διεργασία δεν εξελίχθηκε εντελώς ομαλά, γεγονός που αποδεικνύεται από το σύνολο το διαγραμμάτων που παρουσιάστηκαν.



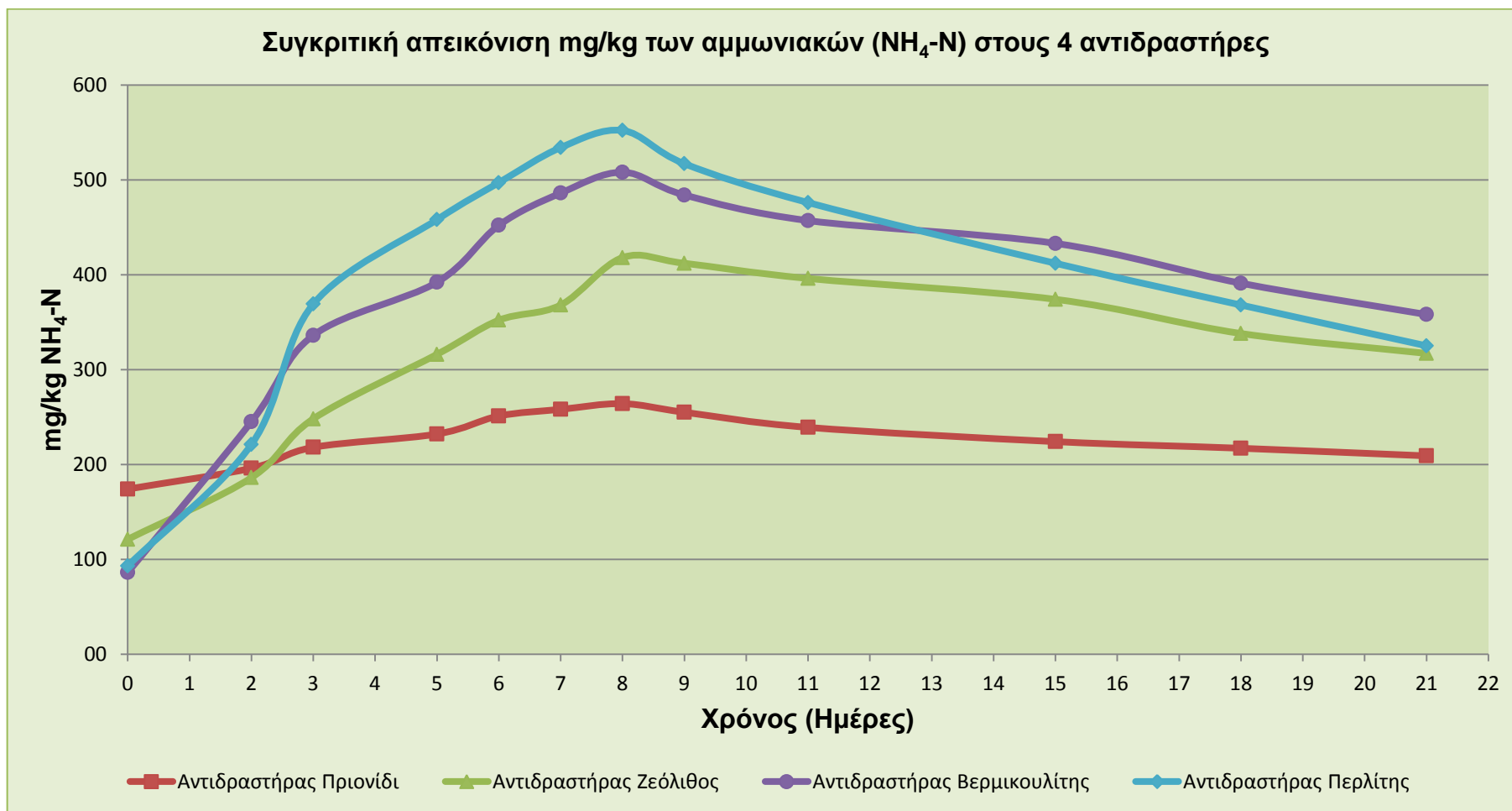
Διάγραμμα 6.10 Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών NO₃⁻ - N στους 4 αντιδραστήρες

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης και ειδικότερα κατά τη θερμοφιλή φάση σχηματίζονται αμμωνιακά. Η δημιουργία τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο απ' το αρχικό υπόστρωμα και συγκεκριμένα απ' το διαθέσιμο άζωτο των αρχικών υλικών. Κατά τη θερμοφιλή φάση αυξάνεται η συγκέντρωση των αμμωνιακών λόγω της διάσπασης του αζώτου του αρχικού υποστρώματος. Εν συνεχεία, η συγκέντρωση των αμμωνιακών μειώνεται λόγω της μετατροπής τους σε νιτρικά. Υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών επηρεάζουν το τελικό προϊόν και το καθιστούν αδύνατο για χρήση στη γεωργία. Στον πίνακα 6.15 παρατίθενται οι τιμές των αμμωνιακών για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Πίνακας 6.15 Τιμές $NH_4^+ - N$ σε mg/kg για τους τέσσερις αντιδραστήρες

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
0	174	121	86	93
2	196	186	245	221
3	218	248	336	369
5	232	316	392	458
6	251	352	452	497
7	258	368	486	534
8	264	418	508	552
9	255	412	484	517
11	239	396	457	476
15	224	374	433	412
18	217	338	391	368
21	209	317	358	325

Στο διάγραμμα 6.11 παρατηρείται η αύξηση των αμμωνιακών κατά τη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης. Παρατηρείται, επίσης, ιδιαίτερα μικρή αύξηση των τιμών στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι κατά τη θερμοφιλή φάση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν πραγματοποιήθηκε επαρκής διάσπαση του αζώτου του αρχικού υποστρώματος. Αντιθέτως, στους αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν ορυκτά, η πορεία των αμμωνιακών είναι αναμενόμενη καθώς η συγκέντρωσή τους αυξάνεται κατά τη θερμοφιλή φάση, αρκετά, και έπειτα μειώνεται λόγω μετατροπής τους σε νιτρικά. Η πορεία αυτή είναι ενδεικτική της ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.



Διάγραμμα 6.11 Συγκριτική απεικόνιση των αμμωνιακών $NH_4^+ - N$ στους 4 αντιδραστήρες

6.5 Σύγκριση Διαφορετικών Πειραματικών Κύκλων ως προς το λόγο C/N με σταθερή παράμετρο το πρόσθετο.

Στο υποκεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ του παρόντος κύκλου πειραμάτων και 2 προγενέστερων κύκλων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν από τους φοιτητές Αναγνωστόπουλο-Πολίτη Ηλία και Χατζηδημητρίου Ανάργυρο.[30]

Ο παρών κύκλος πειραμάτων όπως έχει ήδη αναφερθεί πραγματοποιήθηκε με αρχικό λόγο C/N=20, ενώ οι 2 προγενέστεροι κύκλοι πραγματοποιήθηκαν με αρχικό λόγο C/N=30 ο ένας και C/N=40 ο άλλος. Μετά από επεξεργασία παρουσιάζονται παρακάτω τα συγκριτικά διαγράμματα των 3 συνολικά Κύκλων για κάθε τύπο αντιδραστήρα, διατηρώντας σταθερή παράμετρο το πρόσθετο που χρησιμοποιήθηκε, και συγκρίνοντας για το ίδιο πρόσθετο σε είδος και ποσοστό τους διαφορετικούς αρχικούς λόγους C/N στο υπόστρωμα. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές όλων των παραμέτρων ξεχωριστά για τους αντιδραστήρες με κοινά πρόσθετα. Ακολουθούν τα διαγράμματα , όπου παρουσιάζεται η εξέλιξη της διεργασίας σε κάθε παράμετρο, για όλους τους αντιδραστήρες με κοινά πρόσθετα, και δύναται να εξαχθούν συγκριτικά συμπεράσματα όσον αφορά στο πως επηρεάζει την εξέλιξη της διεργασίας ο αρχικός λόγος C/N του υποστρώματος.

Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της θερμοκρασίας του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Παρατηρείται ότι στον αντιδραστήρα με λόγο C/N=40 υπάρχει μία υστέρηση στην επίτευξη της θερμόφιλης φάσης και της μέγιστης θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας μεγαλύτερης αρχικής υγρασίας του υποστρώματος στον κύκλο αυτό. Επίσης, στον κύκλο με λόγο C/N=40 η θερμόφιλη φάση διήρκησε περισσότερες ημέρες.

Συμπερασματικά και στους τρεις κύκλους το προφίλ της θερμοκρασίας ακολουθεί την αναμενόμενη πορεία επιτυγχάνοντας αρκετά υψηλές θερμοκρασίες για οικιακή κομποστοποίηση στη θερμόφιλη φάση, ένδειξη της ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.

Πίνακας 6.16 Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	20,56	20,15	24,90
	2	30,48	31,25	30,20
	3	48,62	50,00	42,00
	4	53,14	56,60	47,80
	5	54,72	54,90	
	6	53,44	53,10	
	7	48,55	49,90	53,40
	8	42,16	41,20	56,50
	9	34,87	35,60	
	10	25,25	23,60	
	11	22,18	20,30	50,00
	12			
	14	19,45	17,90	26,90
	15			
	16			22,40
	18	18,96	16,50	21,10
21	18,54	14,70	20,40	

Πίνακας 6.17 Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

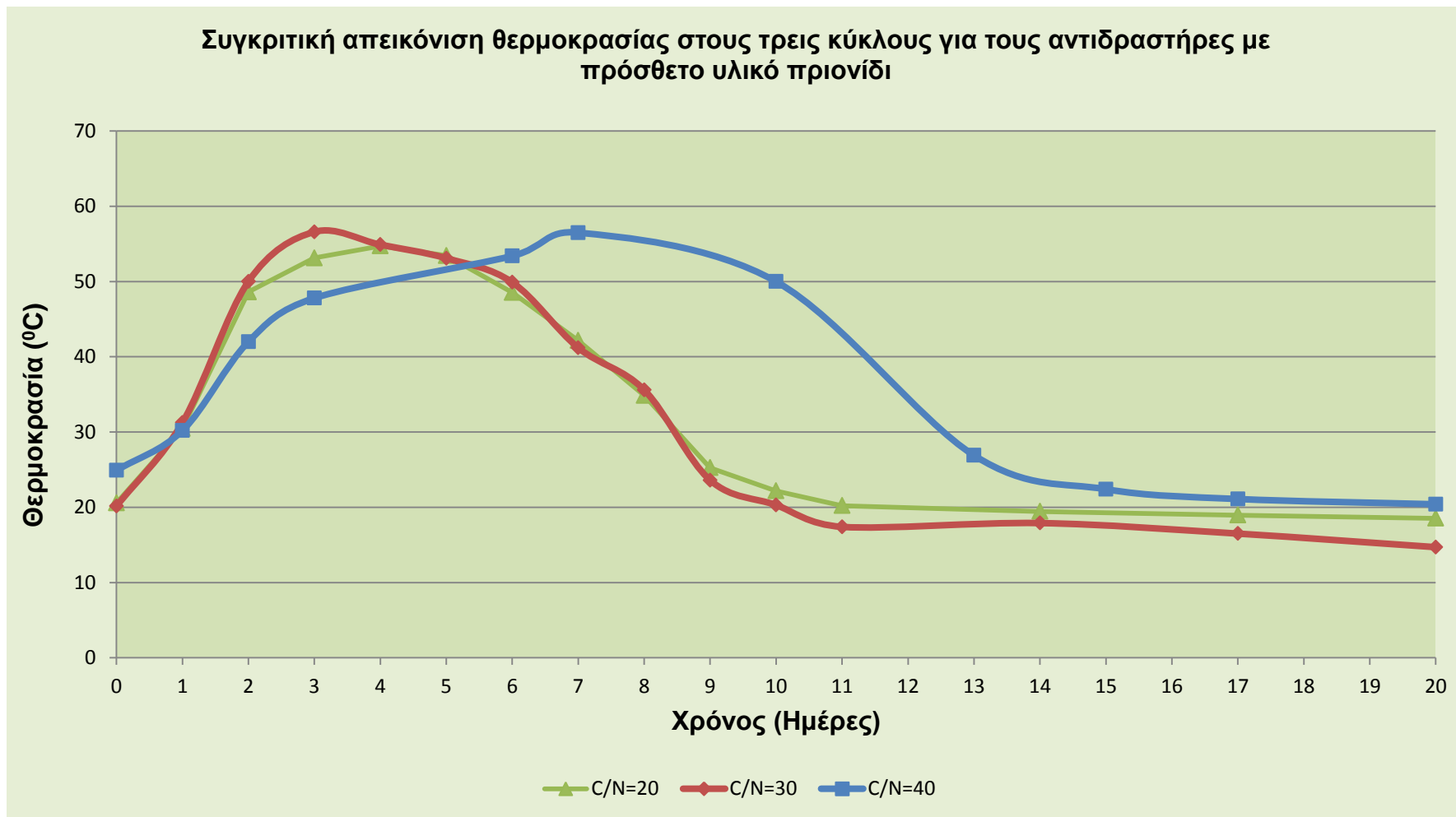
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	22,07	20,30	25,30
	2	30,18	29,95	31,20
	3	51,41	51,00	40,40
	4	58,64	57,10	55,60
	5	55,32	54,20	
	6	52,97	52,70	
	7	50,48	50,10	58,80
	8	45,82	45,60	53,20
	9	37,17	37,80	
	10	29,21	28,80	
	11	26,18	20,80	42,00
	12			
	14	24,19	18,90	25,30
	15			
	16			22,50
	18	20,17	17,60	20,30
21	21,26	15,90	20,20	

Πίνακας 6.18 Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	22,25	20,15	25,20
	2	29,44	28,10	41,60
	3	50,17	47,00	53,30
	4	58,82	59,60	58,15
	5	57,95	58,20	
	6	56,14	57,95	
	7	53,25	54,40	54,20
	8	50,48	51,90	41,10
	9	42,14	45,40	
	10	33,18	24,20	
	11	29,25	20,10	23,80
	12			
	14	25,37	19,90	20,90
	15			
	16			20,50
	18	22,24	17,90	20,30
21	22,62	15,60	20,40	

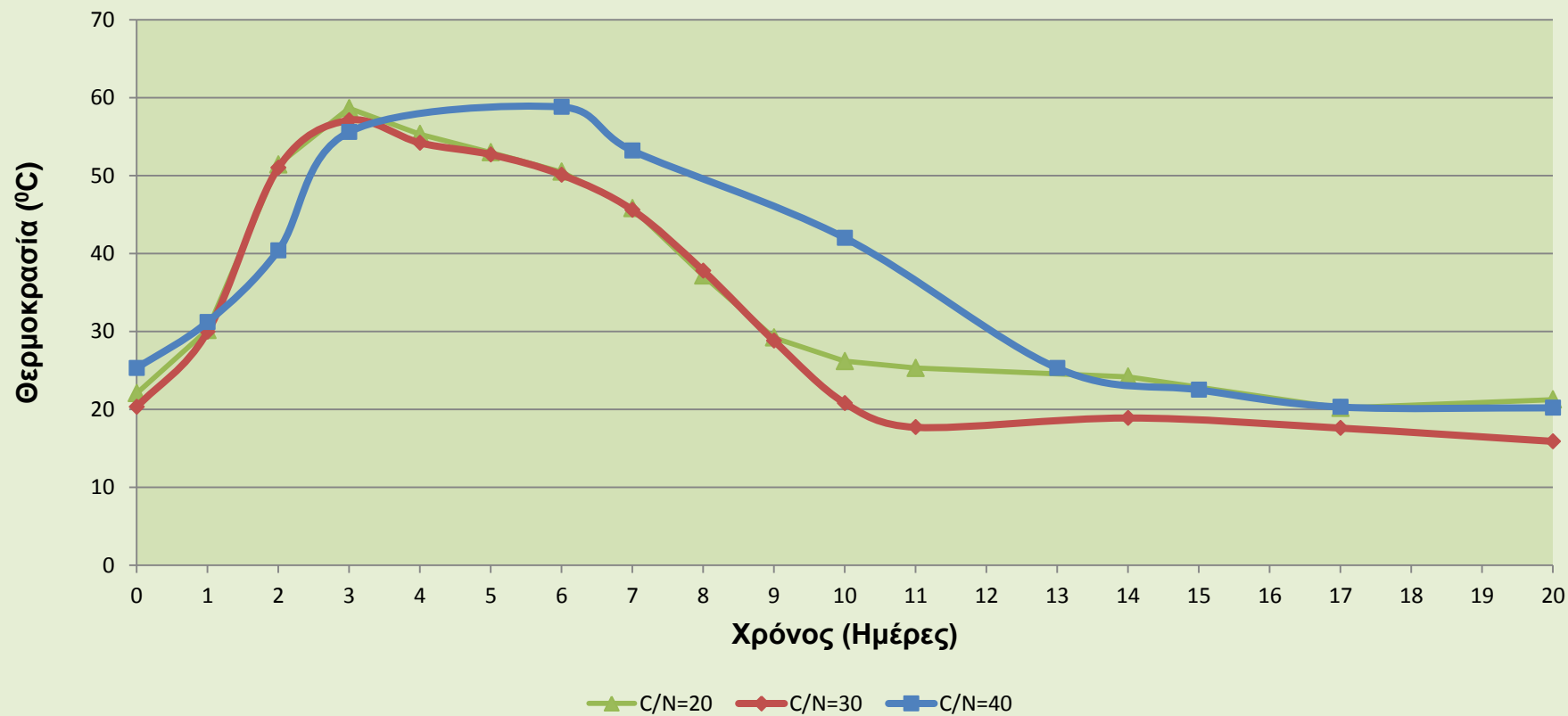
Πίνακας 6.19 Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	21,88	20,20	24,80
	2	31,47	31,85	41,20
	3	50,38	56,00	49,00
	4	56,57	57,90	54,60
	5	55,82	54,30	
	6	53,12	54,00	
	7	49,84	48,20	56,70
	8	46,28	43,30	42,30
	9	38,56	36,90	
	10	30,77	25,30	
	11	27,42	19,50	26,30
	12			
	14	23,76	17,30	22,50
	15			
	16			21,00
	18	21,17	16,20	20,60
21	21,33	14,80	20,30	

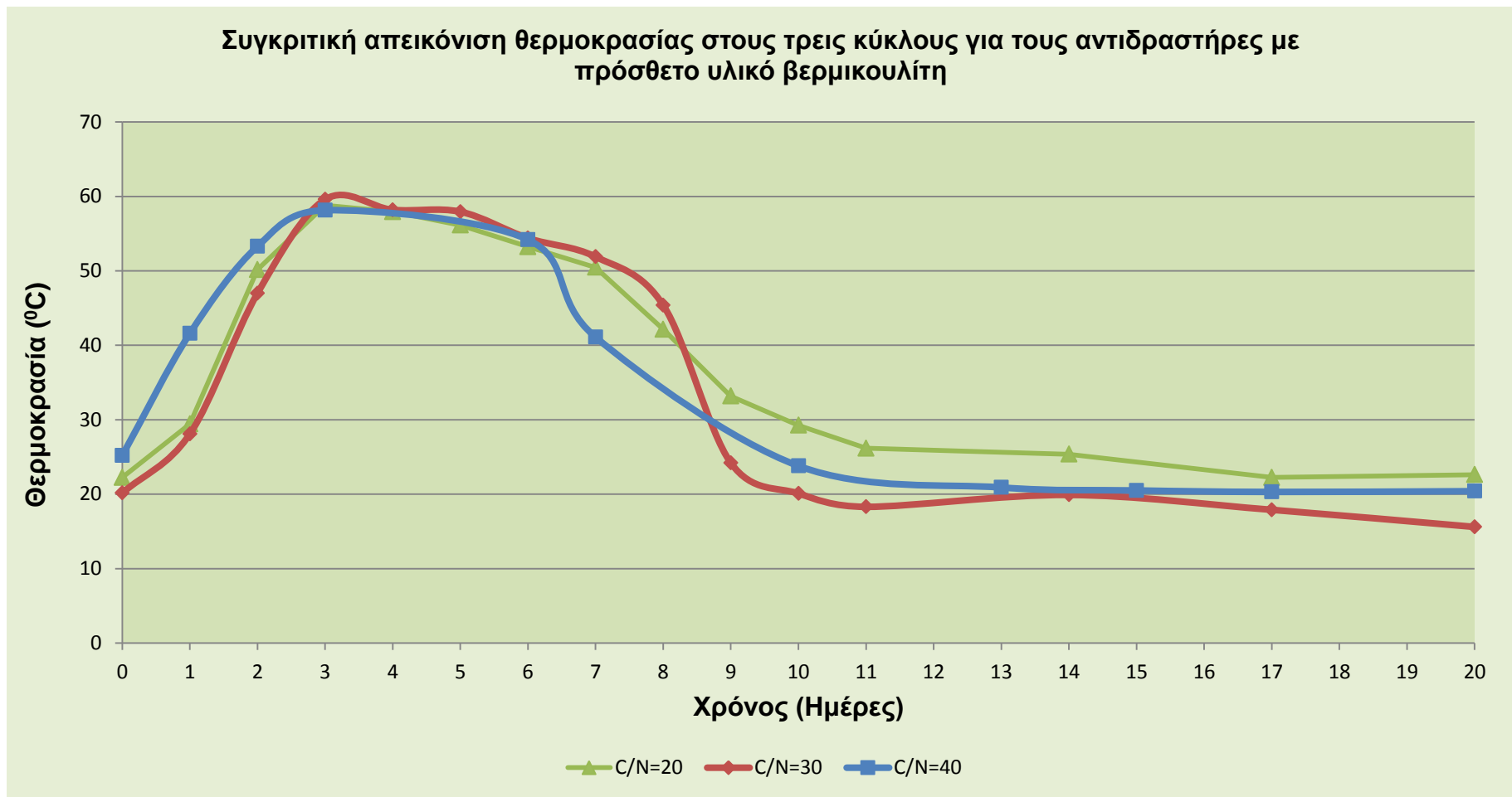


Διάγραμμα 6.12 Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

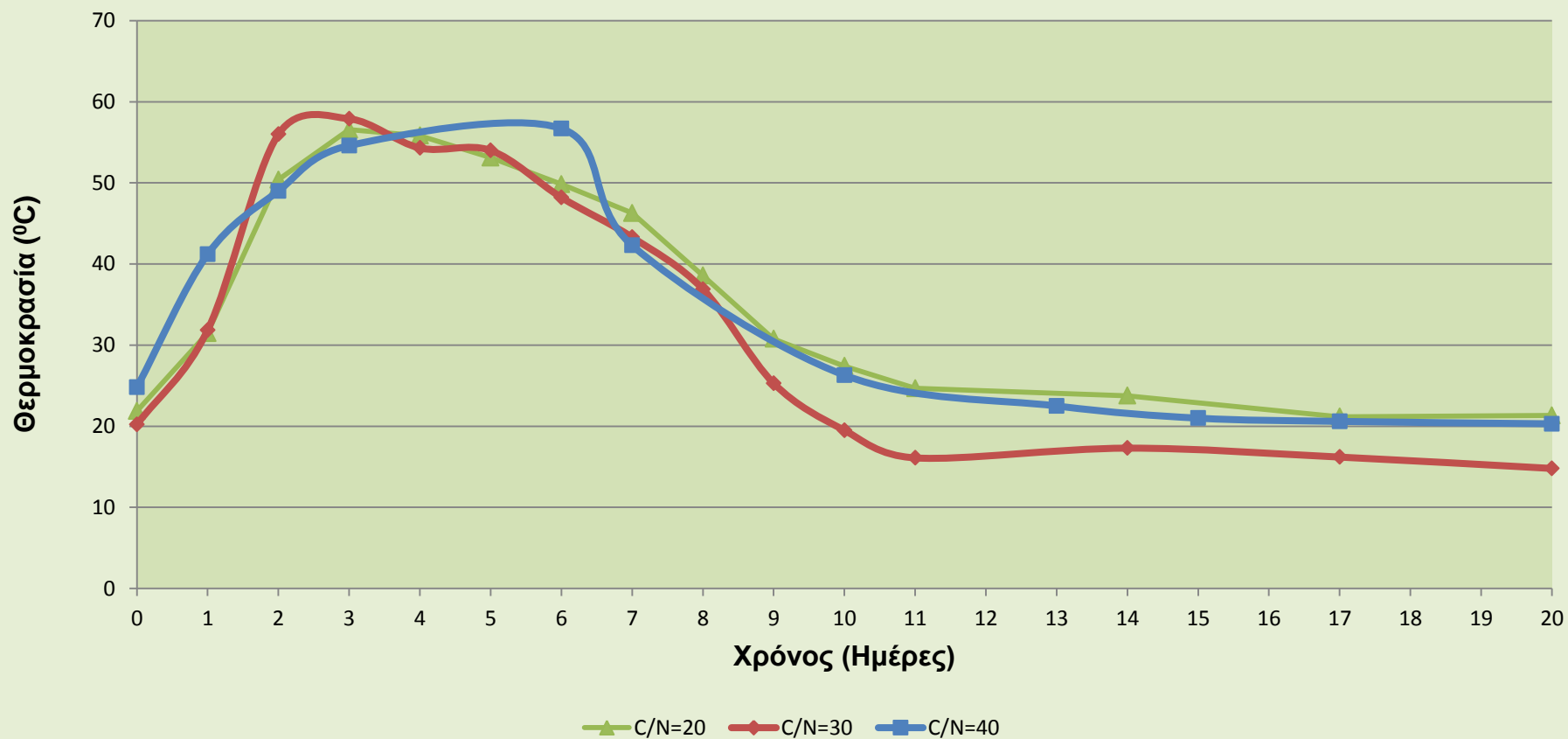


Διάγραμμα 6.13 Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.14 Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη



Διάγραμμα 6.15 Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της υγρασίας του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 6.16 διακρίνεται σχετικά πτωτική πορεία των τιμών της υγρασίας, γεγονός αναμενόμενο λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας στη θερμοφιλή φάση. Παρατηρείται ότι στον αντιδραστήρα του κύκλου με C/N=40 υπάρχει 10% επιπλέον αρχική υγρασία σε σχέση με αυτούς των άλλων δύο κύκλων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τροφοδοσία του κύκλου αυτού ήταν πλουσιότερη σε κυτταρινούχα υλικά τα οποία έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία. Οι τελικές τιμές της υγρασίας των άλλων 2 κύκλων (61,12 και 63,95%) κρίνονται ικανοποιητικές, ενώ στον τέταρτο κύκλο έχει παραμείνει σε λίγο υψηλότερα επίπεδα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην πολύ υψηλή υγρασία του αρχικού υποστρώματος και δείχνει ότι το τελικό προϊόν χρειάζεται επιπλέον ημέρες για να ωριμάσει πλήρως. Όσον αφορά στους αντιδραστήρες, όπου προστέθηκε ζεόλιθος και βερμικουλίτης παρατηρούμε ότι στο τέλος της διεργασίας οι τιμές της υγρασίας βρίσκονται πολύ κοντά στο 60%, που αποτελεί αρκετά καλό ποσοστό πριν το κόμποστ οδηγηθεί προς ωρίμανση.

Στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 6.19, παρατηρούνται σχετικά υψηλές αρχικές τιμές. Η σωστή, ωστόσο, πορεία της διεργασίας εξασφάλισε ικανοποιητικές τιμές την 21^η μέρα.

Σε όλους τους αντιδραστήρες και όλων των κύκλων παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της υγρασίας. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το παραγόμενο κόμποστ θα πρέπει να παραμείνει εκτός του αντιδραστήρα για περαιτέρω μείωση της υγρασίας του, μέσω της ωρίμανσής του.

Πίνακας 6.20 Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους της

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	68,56	72,55	79,85
	2	67,74	70,48	77,94
	3	66,59	69,36	76,71
	4			76,28
	5	64,48	67,44	
	6	64,17	66,32	
	7	63,79	65,44	75,24
	8	63,41	65,32	75,64
	9	63,15	64,83	
	10			
	11	63,27	64,66	72,18
	12			
	14	62,36	64,32	69,67
	15			
	16			68,87
	18	61,98	64,00	67,96
21	61,12	63,95	66,38	

Πίνακας 6.21 Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

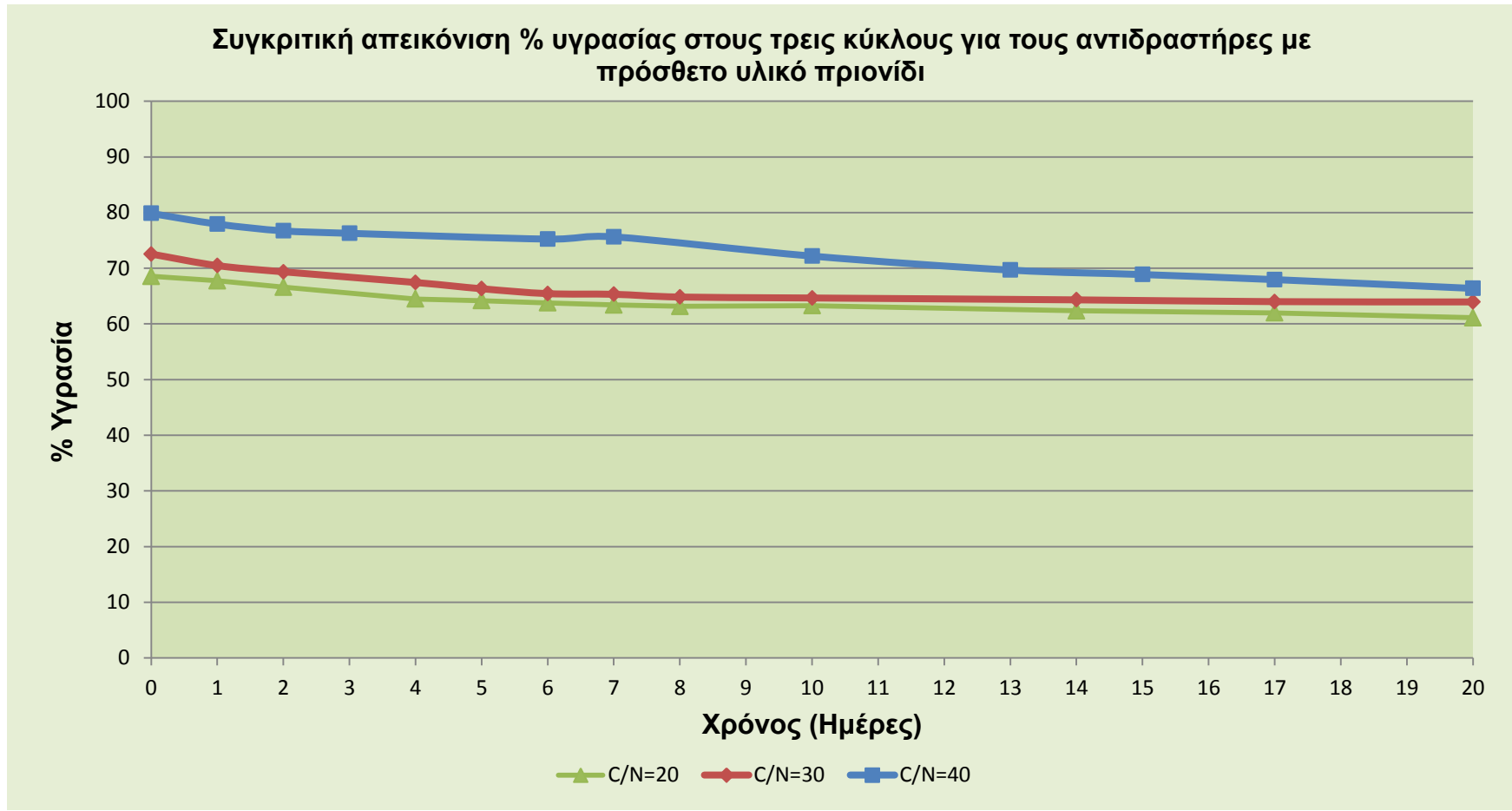
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	66,48	69,28	77,86
	2	65,22	67,75	73,75
	3	64,07	67,35	71,55
	4			70,49
	5	61,36	64,14	
	6	60,18	63,31	
	7	59,27	63,52	70,91
	8	58,16	63,50	68,49
	9	57,31	61,35	
	10			
	11	56,88	60,47	64,96
	12			
	14	55,61	56,43	63,45
	15			
	16			60,44
	18	54,49	56,21	59,67
21	53,94	56,15	58,95	

Πίνακας 6.22 Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους τρεις κύκλους

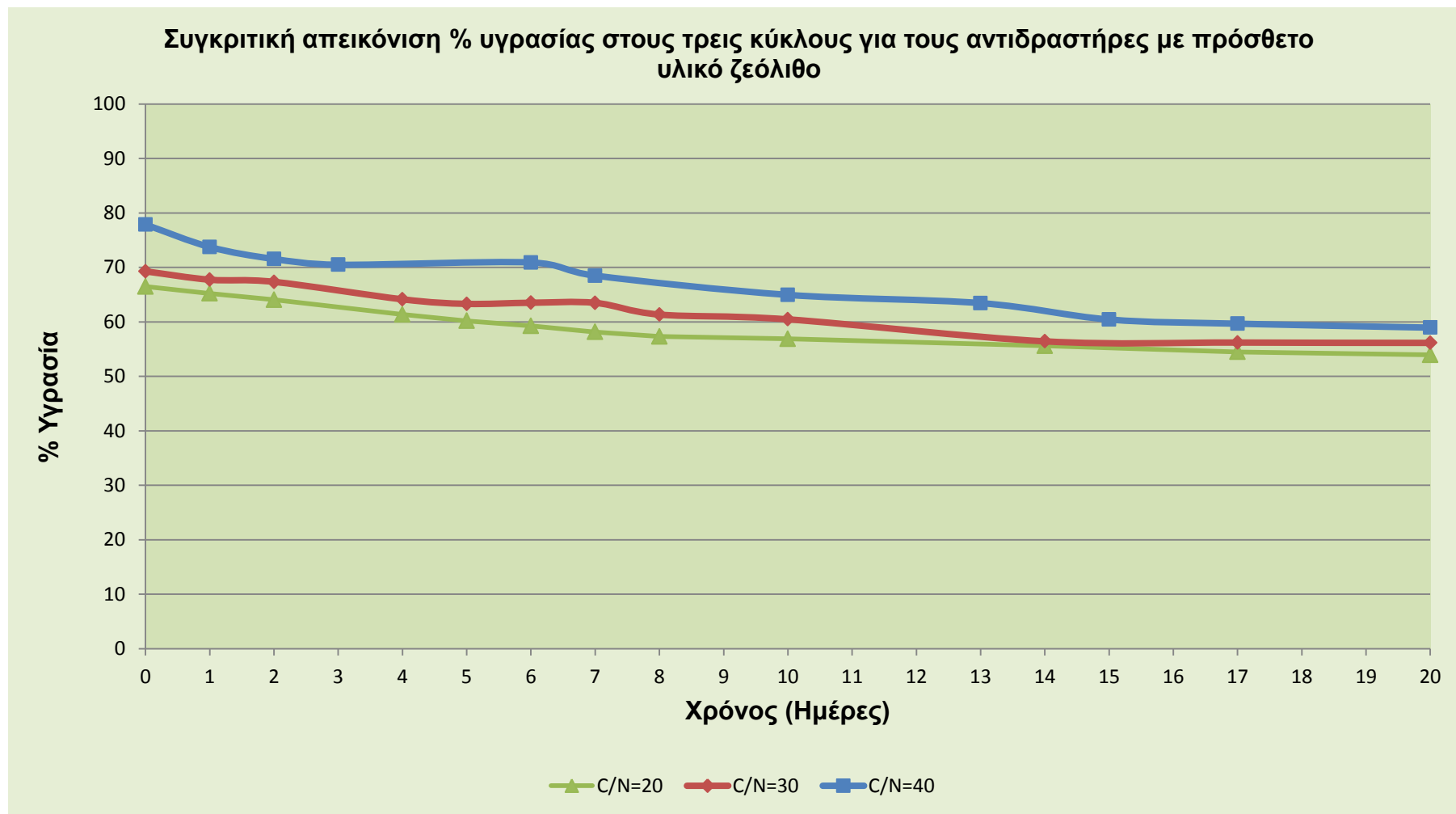
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	66,15	69,56	74,38
	2	64,19	66,44	72,54
	3	62,94	64,86	71,45
	4			70,68
	5	61,27	63,58	
	6	60,48	62,44	
	7	59,06	62,69	68,44
	8	58,54	61,98	66,45
	9	58,54	60,38	
	10			
	11	57,37	59,21	63,27
	12			
	14	57,04	58,97	62,24
	15			
	16			59,93
	18	56,24	57,90	59,28
21	55,14	56,45	58,74	

Πίνακας 6.23 Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

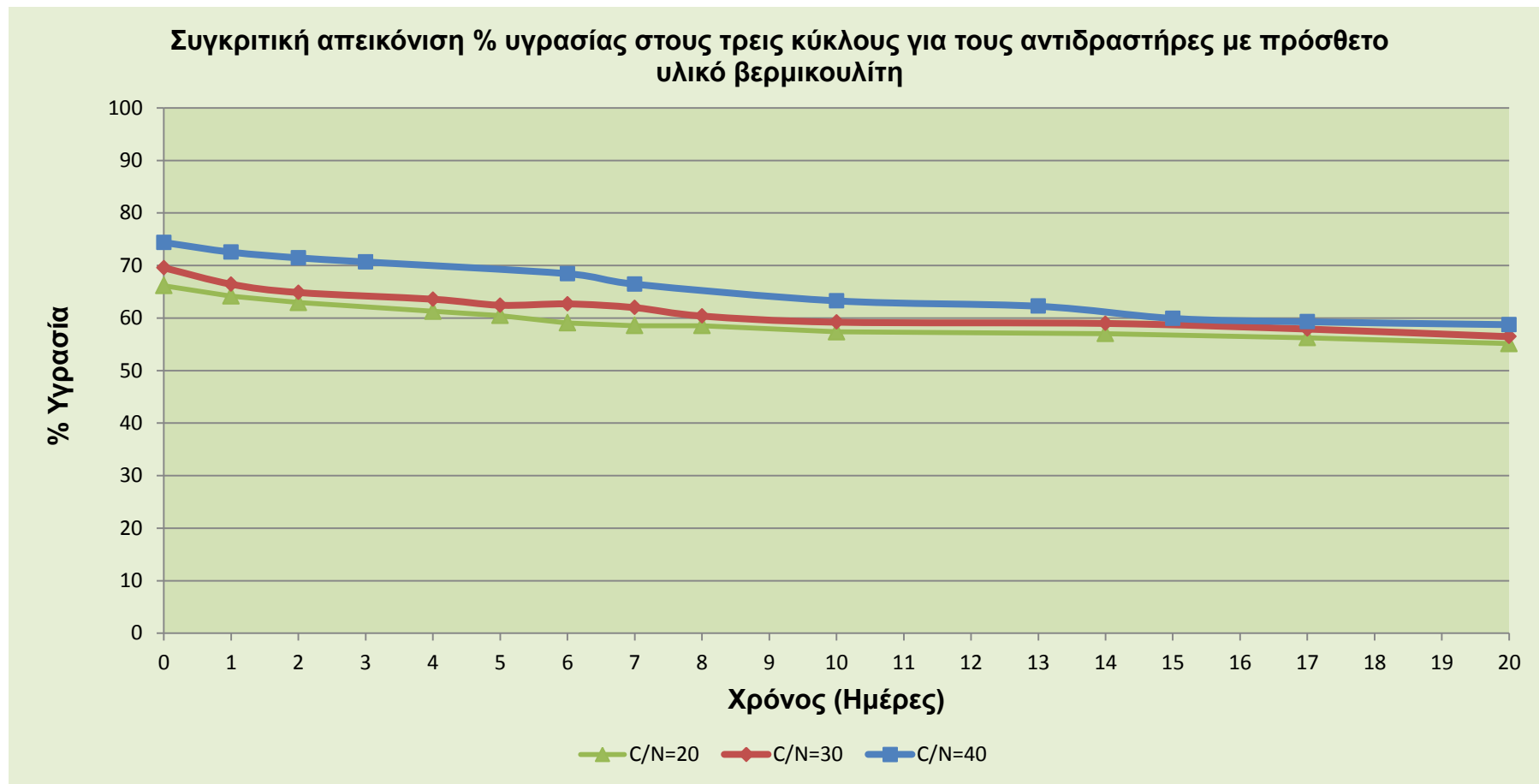
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	71,96	74,80	81,47
	2	69,87	72,88	79,03
	3	68,44	72,09	78,26
	4			76,15
	5	67,52	70,70	
	6	65,98	68,67	
	7	64,56	67,04	74,67
	8	63,39	67,63	70,15
	9	62,21	66,96	
	10			
	11	61,41	64,64	66,47
	12			
	14	60,86	62,22	64,78
	15			
	16			64,31
	18	60,36	61,87	63,96
21	59,15	61,44	63,45	



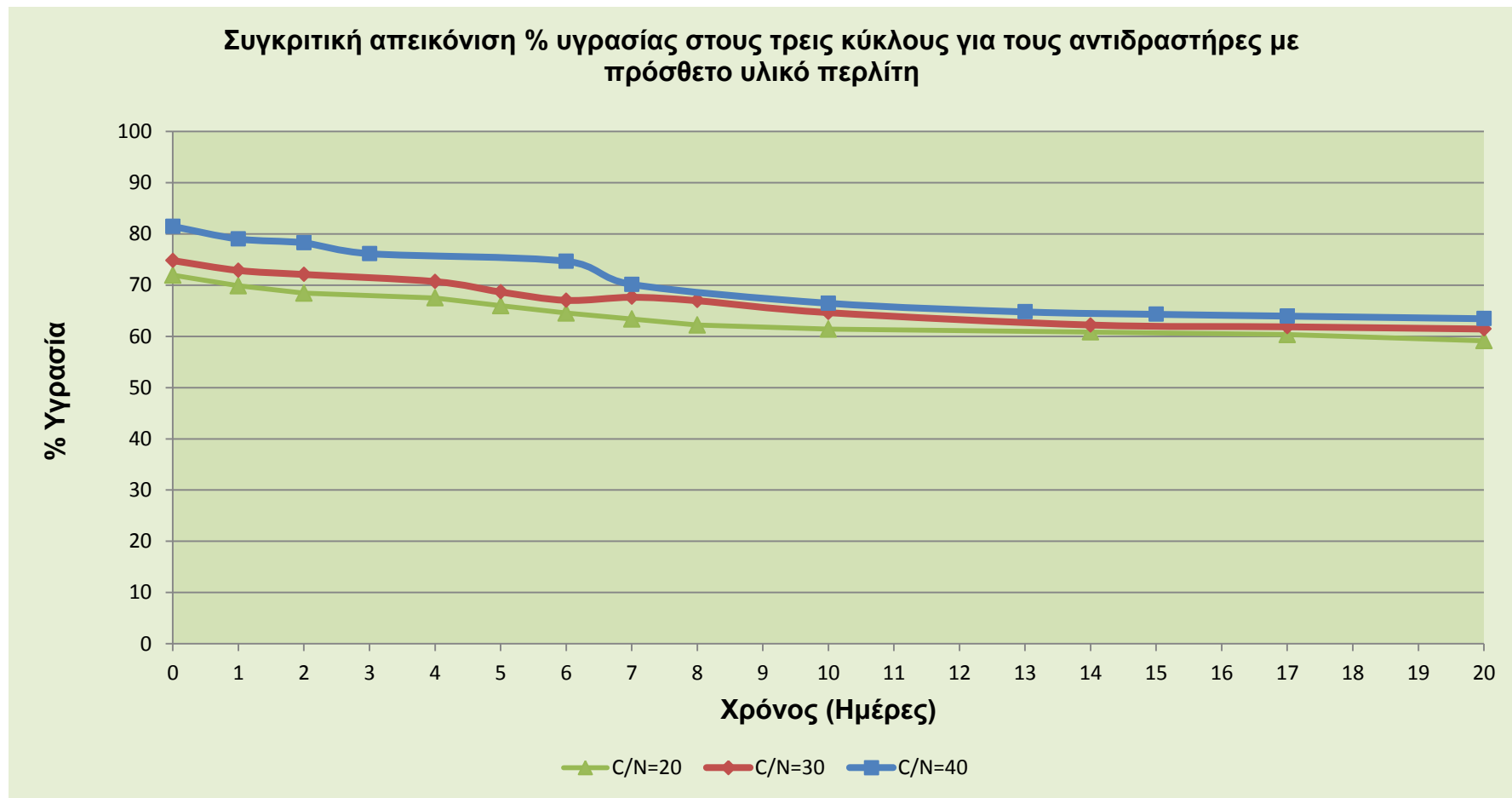
Διάγραμμα 6.16 Συγκριτική απεικόνιση υγρασίας (%) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.17 Συγκριτική απεικόνιση υγρασίας (%) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.18 Συγκριτική απεικόνιση υγρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.19 Συγκριτική απεικόνιση υγρασίας στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός του pH του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του pH του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Από τα διαγράμματα συμπεραίνεται η σωστή πορεία της διεργασίας και στους τρεις κύκλους πειραμάτων. Οι διάφορες φάσεις της διεργασίας της βιοαποδόμησης αποτυπώνονται ξεκάθαρα. Η αρχική τροφοδοσία των αντιδραστήρων με υλικό μεταφράζεται σε αύξηση των τιμών του pH . Στη συνέχεια, η παραγωγή οργανικών οξέων παρουσιάζεται με την μικρή πτώση των τιμών που ακολουθείται με απότομη αύξηση τους κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης, κάτι που προκαλείται από την διάσπαση των διαθέσιμων μορφών αζώτου αυτών των οξέων με ταυτόχρονη παραγωγή αμμωνιακών. Η τελική σταθεροποίηση των τιμών του pH (με μικρή μείωση) είναι ομαλή και οι τελικές τιμές αποτελούν ένδειξη της καλής ποιότητας της διεργασίας.

Σε γενικές γραμμές τα διαγράμματα των τιμών του pH που παρουσιάστηκαν είναι ενδεικτικά της σωστής λειτουργίας τόσο των αντιδραστήρων, όσο και της διεργασίας που έλαβε χώρα μέσα σε αυτούς. Εξαίρεση αποτελούν οι αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι. Και στους τρεις κύκλους, σε αυτούς τους αντιδραστήρες, οι τελικές τιμές του pH κρίνονται αρκετά υψηλές, κάτι που, σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες παραμέτρους, παραπέμπει στην μη ομαλή πορεία της διεργασίας της κομποστοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί πως το προϊόν κομποστοποίησης δεν είναι πλήρως σταθεροποιημένο και απαιτείται η παραμονή του σε υπαίθριο χώρο μέχρι την πλήρη σταθεροποίηση του.

Πίνακας 6.24 Τιμές pH για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	5,98	5,12	4,98
	2	6,34	5,46	5,35
	3	6,13	5,36	6,26
	4			4,81
	5	5,64	4,88	
	6	5,97	5,04	
	7	6,68	5,89	8,06
	8	7,86	7,52	8,39
	9	8,29	8,08	
	10			
	11	8,64	8,38	8,47
	12			
	14	8,89	8,55	8,61
	15			
	16			8,66
	18	9,15	8,67	8,73
21	9,45	8,86	8,44	

Πίνακας 6.25 Τιμές pH για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

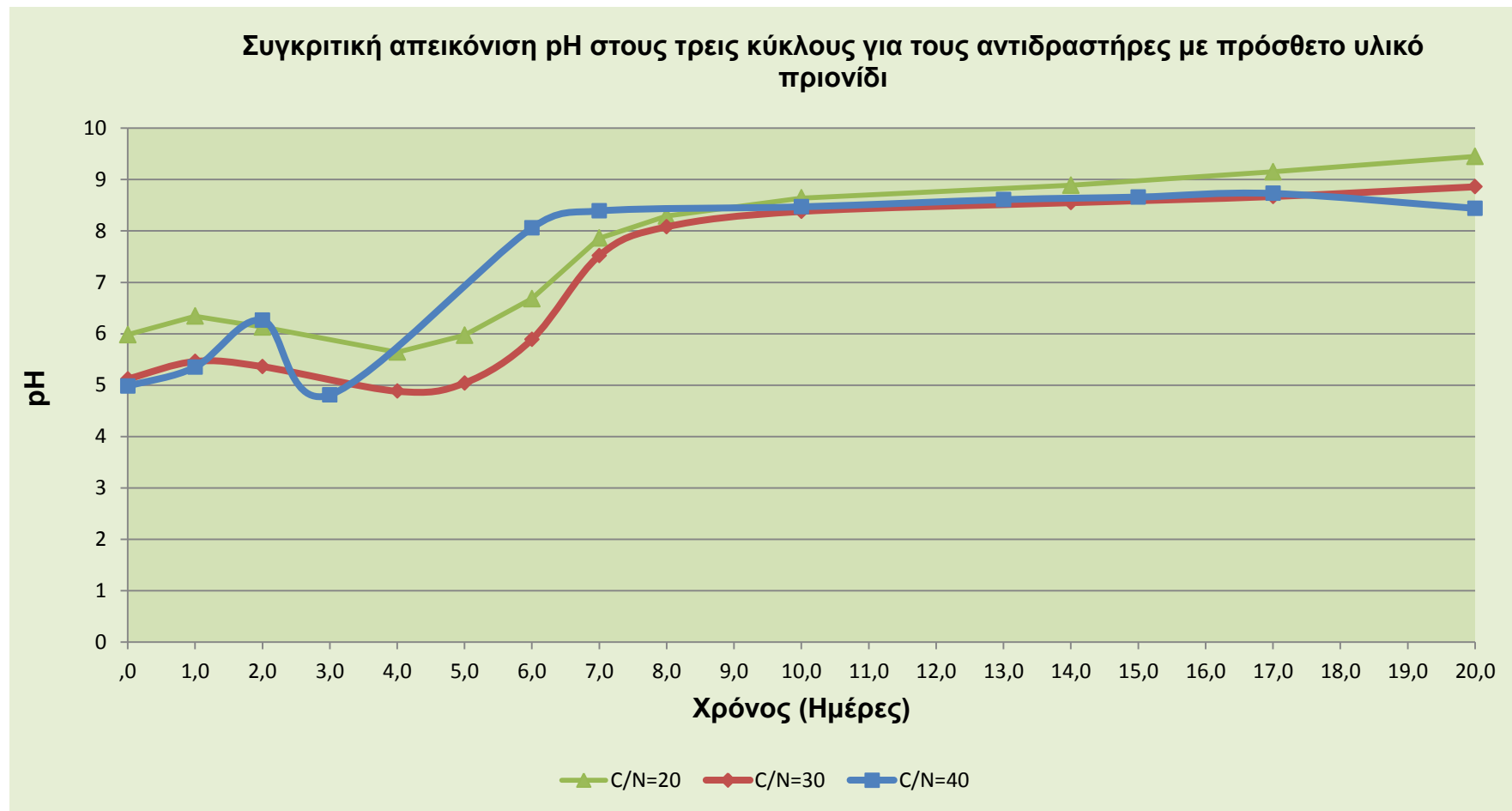
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	5,86	5,00	5,24
	2	5,92	5,53	6,55
	3	5,41	5,18	6,72
	4			5,32
	5	5,22	4,98	
	6	5,69	5,41	
	7	6,57	5,91	7,79
	8	6,96	7,43	8,23
	9	7,74	8,06	
	10			
	11	8,36	8,19	8,31
	12			
	14	8,62	8,27	8,39
	15			
	16			8,47
	18	8,73	8,22	8,43
21	8,95	8,15	8,29	

Πίνακας 6.26 Τιμές pH για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους τρεις κύκλους

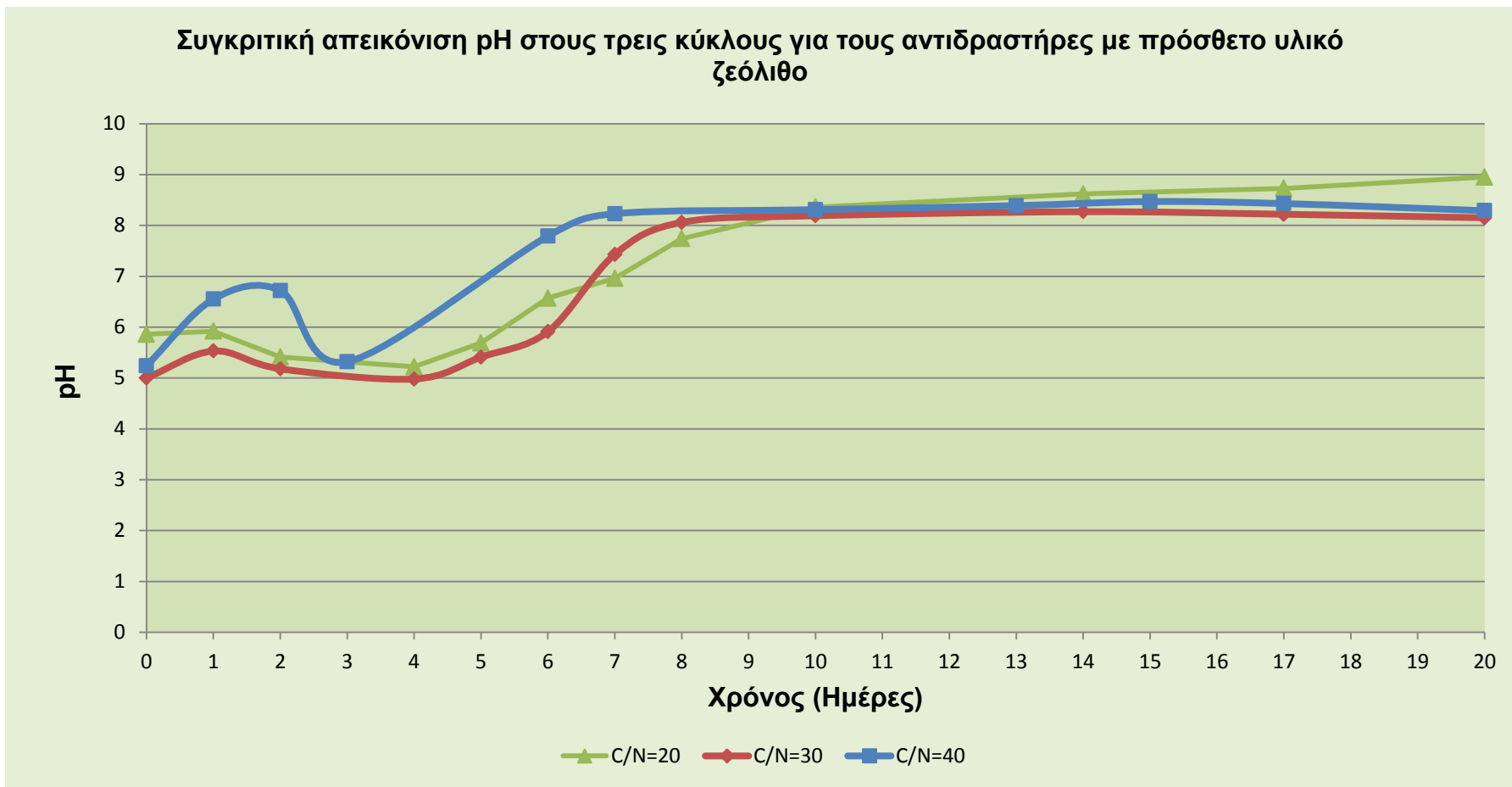
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	5,58	5,00	5,00
	2	5,86	6,00	5,74
	3	5,47	5,91	4,87
	4			4,85
	5	5,31	4,91	
	6	5,92	6,12	
	7	6,76	7,12	7,86
	8	7,12	7,80	8,30
	9	8,14	8,09	
	10			
	11	8,44	8,29	8,36
	12			
	14	8,56	8,35	8,42
	15			
	16			8,50
	18	8,77	8,31	8,48
21	8,98	8,29	8,35	

Πίνακας 6.27 Τιμές pH για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

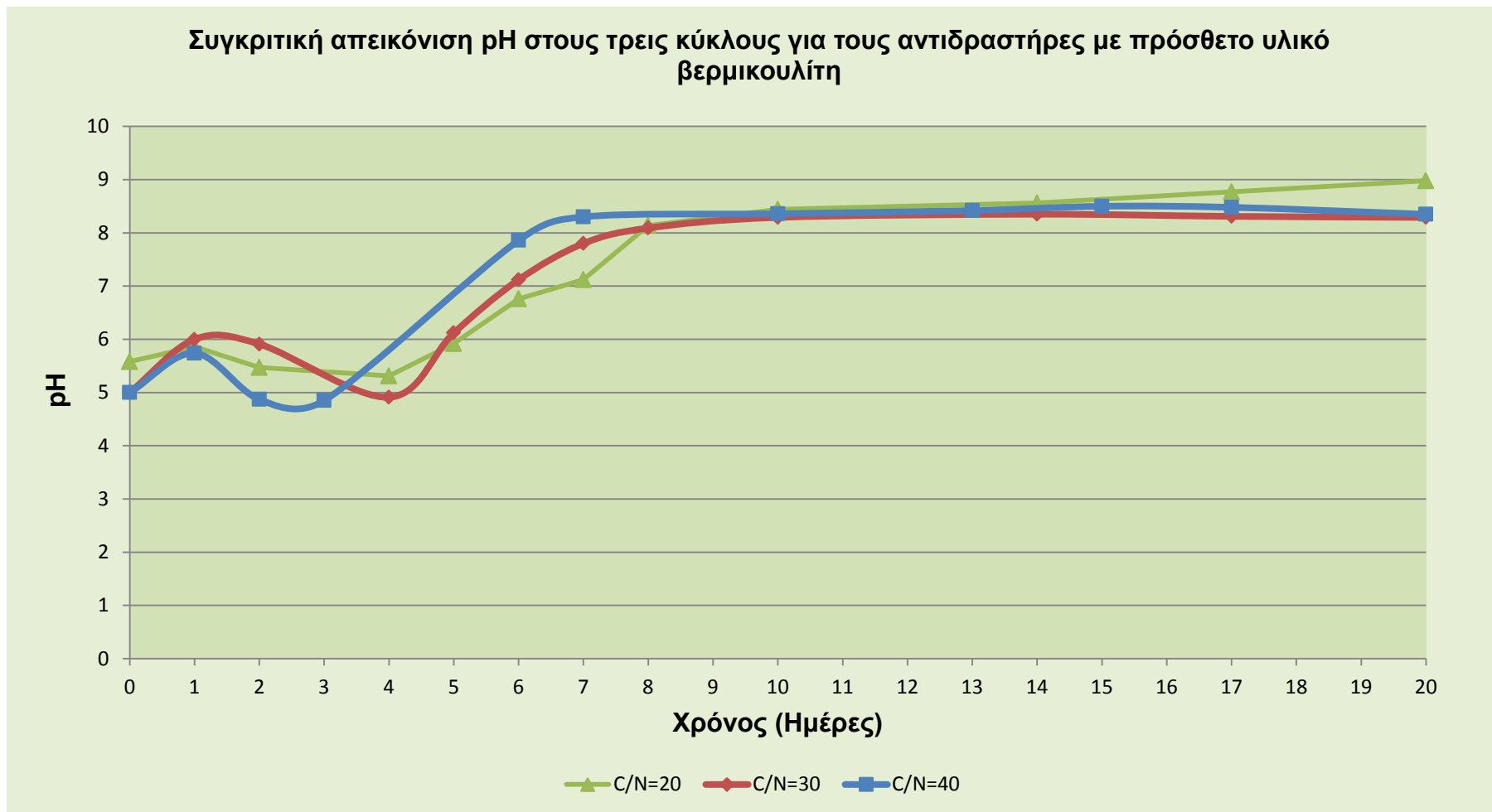
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	5,72	5,56	5,10
	2	5,94	5,84	6,26
	3	5,36	5,45	4,95
	4			4,93
	5	5,17	5,15	
	6	5,88	5,90	
	7	6,58	6,46	7,79
	8	6,94	7,22	8,21
	9	7,86	8,24	
	10			
	11	8,28	8,31	8,29
	12			
	14	8,53	8,39	8,34
	15			
	16			8,40
	18	8,69	8,28	8,41
21	8,89	8,16	8,26	



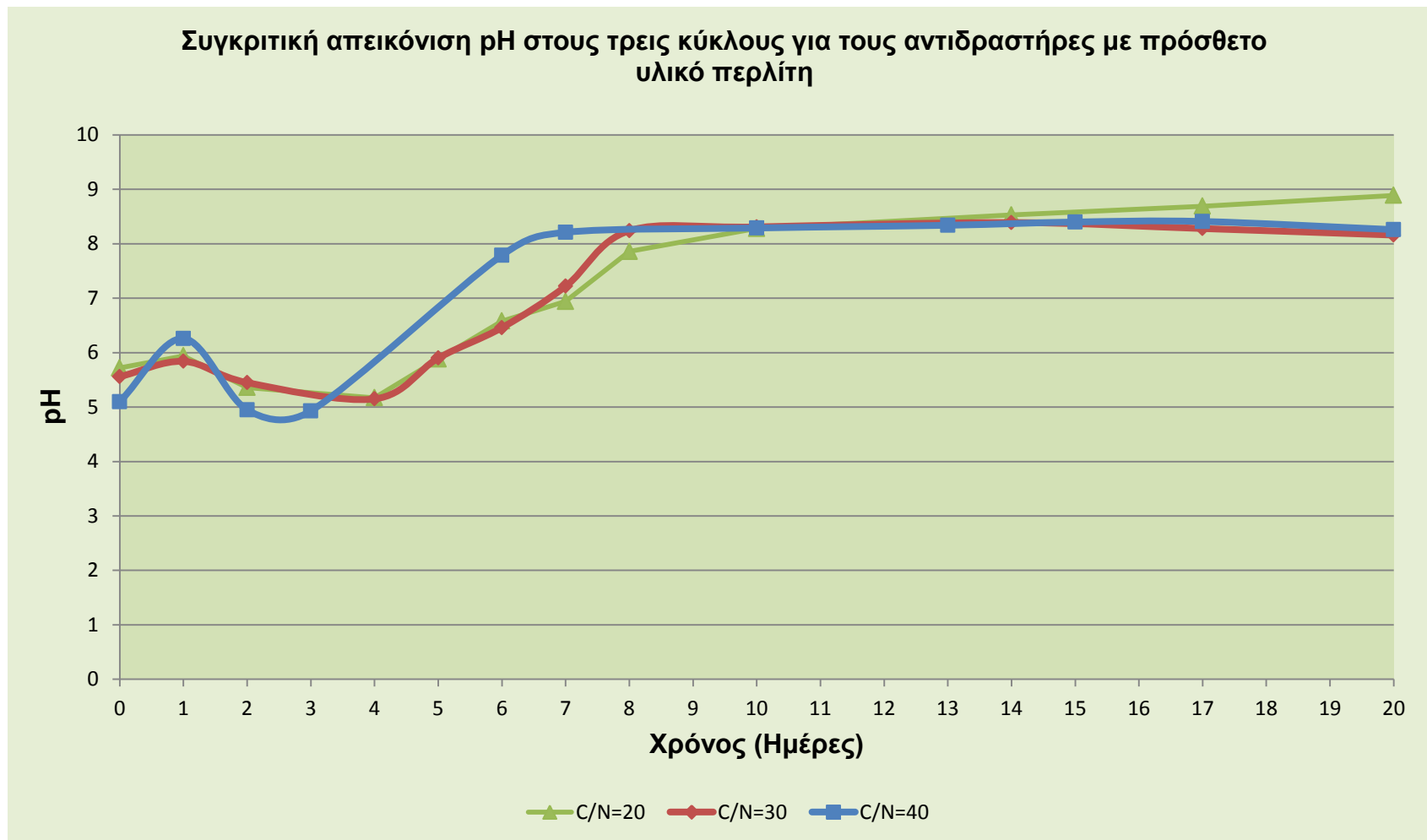
Διάγραμμα 6.20 Συγκριτική απεικόνιση του pH στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.21 Συγκριτική απεικόνιση του pH στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.22 Συγκριτική απεικόνιση του pH στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.23 Συγκριτική απεικόνιση του pH στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός των πτητικών στερεών (%) του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων των πτητικών στερεών του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 6.24 παρατηρείται πολύ μικρή μείωση των πτητικών στερεών και στους τρεις κύκλους. Ειδικά στον κύκλο με C/N=20 η μείωση είναι της τάξης του 7,46% ενδεικτικό της μη ορθής έκβασης της διεργασίας της βιοαποδόμησης. Είναι δεδομένο ότι στους αντιδραστήρες με το πριονίδι υπήρχε μεγάλη συγκέντρωση πτητικών στερεών, όπως παρατηρήθηκε και προηγουμένως. Η αναμενόμενη πτώση του ποσοστού δεν πραγματοποιήθηκε, κάτι που υποδεικνύει την πιθανή ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών στους εν λόγω αντιδραστήρες.

Στο διάγραμμα 6.25 παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών. Ο ρυθμός μείωσης των πτητικών στερεών είναι μεγαλύτερος κατά τη θερμοφιλή φάση και στους τρεις πειραματικούς κύκλους. Τέλος η σταθεροποίηση των τιμών κρίνεται ομαλή και οι τελικές τιμές απολύτως αποδεκτές.

Παρατηρούνται παρόμοιες τιμές πτητικών και στους τρεις κύκλους. Απ' αυτό συμπεραίνεται ότι υπάρχει κοινή πορεία αποσύνθεσης, λόγω του ότι τα πτητικά είναι οι πιο άμεσα προσλήψιμες ενώσεις απ' τους μικροοργανισμούς.

Πίνακας 6.28 Τιμές πτητικών στερεών (%) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	87,57	92,74	92,90
	2	87,36	91,87	91,62
	3	86,24	91,56	92,34
	4			91,45
	5	85,24	89,80	
	6	83,06	87,67	
	7	82,87	87,40	90,24
	8	82,32	85,34	86,64
	9	81,58	85,60	
	10	80,34	80,56	84,95
	11			
	12	80,51	80,52	83,78
	14			
	15			83,23
	16	80,41	78,36	82,44
	18	79,24	76,12	81,52
21	87,57	92,74	92,90	

Πίνακας 6.29 Τιμές πτητικών στερεών (%) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

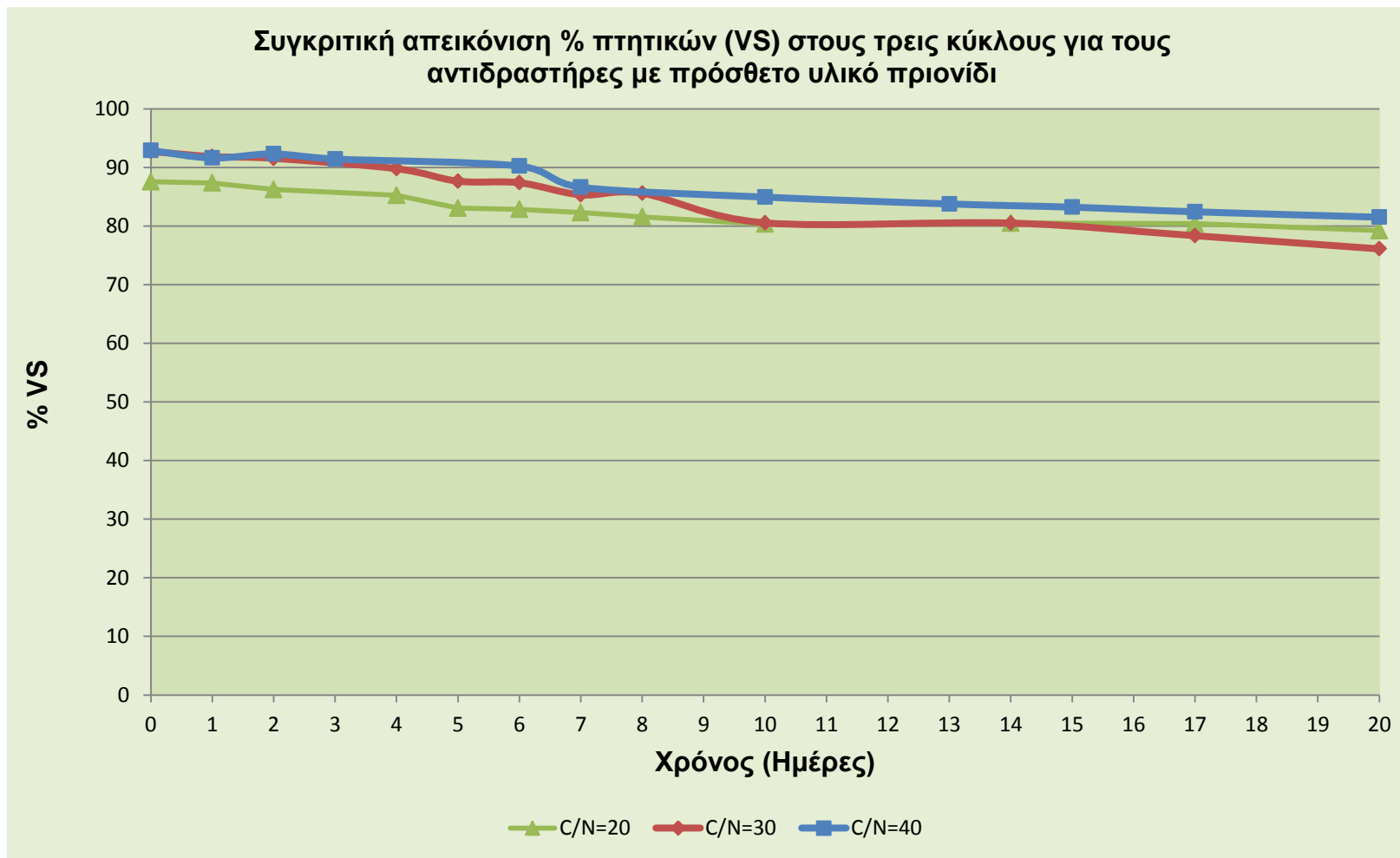
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	80,78	85,55	86,15
	2	79,86	83,67	82,76
	3	78,54	81,62	79,44
	4			77,26
	5	76,56	76,32	
	6	74,89	73,59	
	7	73,48	73,14	69,15
	8	71,77	70,80	67,35
	9	68,32	67,70	
	10			
	11	67,52	64,76	63,48
	12			
	14	66,39	61,44	59,36
	15			
	16			56,24
	18	64,41	59,58	54,23
21	62,87	56,38	53,87	

Πίνακας 6.30 Τιμές πτητικών στερεών (%) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους 3 κύκλους

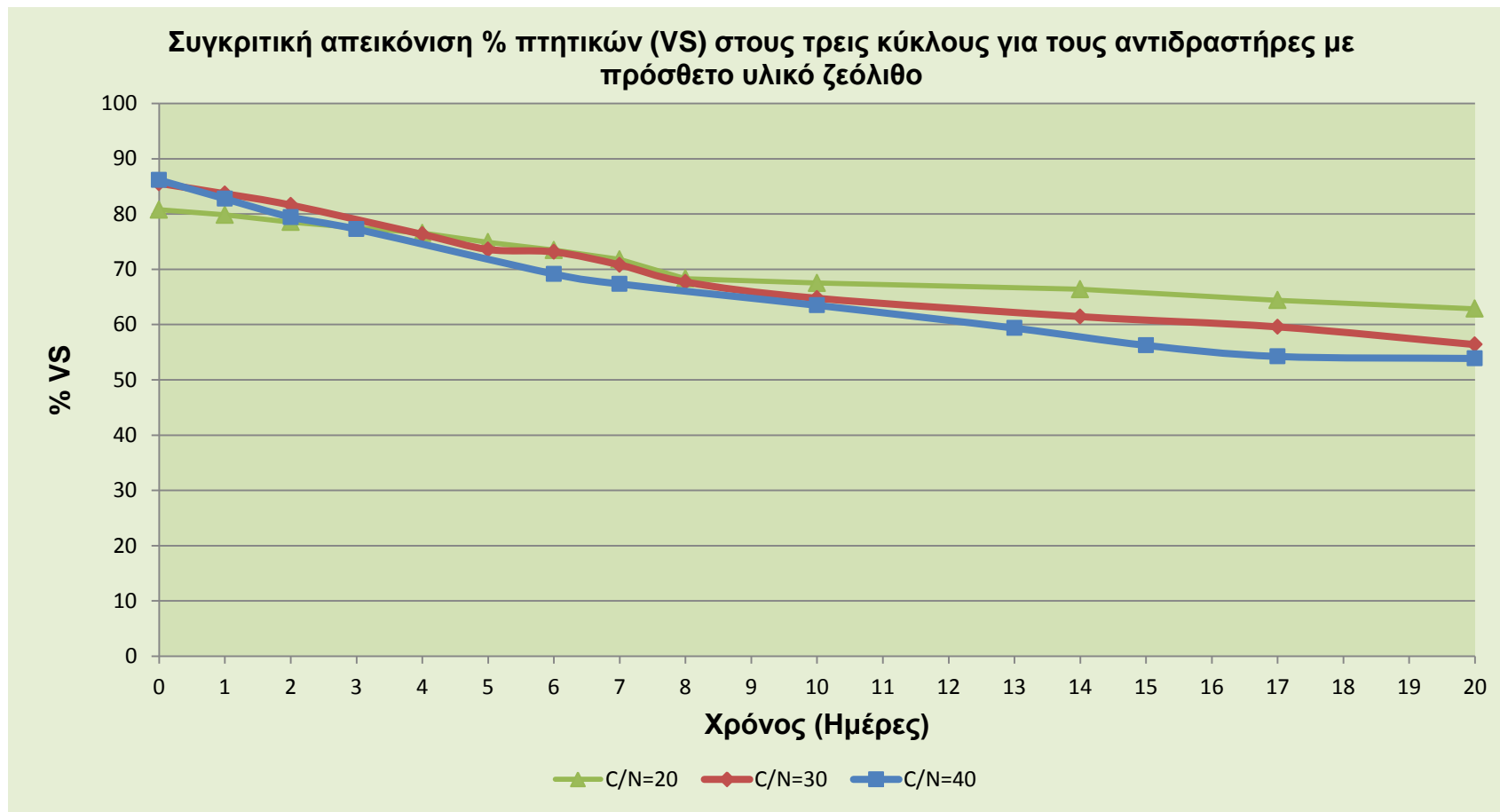
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	77,96	81,68	82,88
	2	75,82	78,85	81,45
	3	73,9	75,90	79,75
	4			76,45
	5	72,28	74,18	
	6	70,51	70,27	
	7	70,89	73,80	73,15
	8	67,68	67,33	70,28
	9	65,44	69,44	
	10			
	11	64,21	63,27	66,33
	12			
	14	63,86	59,05	62,48
	15			
	16			60,43
	18	63,54	57,27	58,76
21	62,67	56,85	55,12	

Πίνακας 6.31 Τιμές πτητικών στερεών (%) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

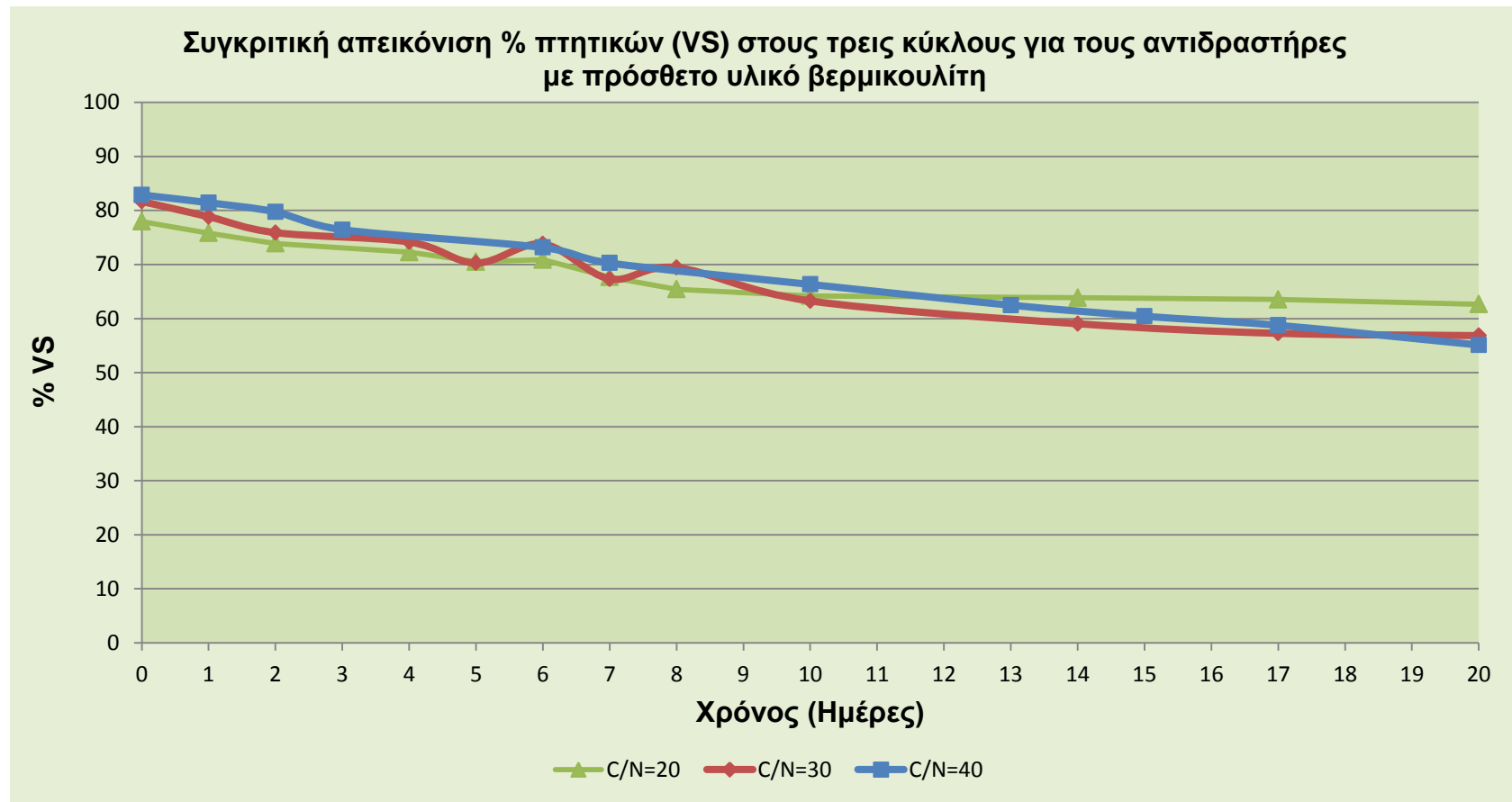
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	69,49	73,23	78,89
	2	68,31	71,78	76,18
	3	66,45	72,64	65,90
	4			61,44
	5	61,96	66,00	
	6	60,59	63,60	
	7	59,87	58,76	57,68
	8	57,52	59,15	56,14
	9	55,33	54,39	
	10			
	11	52,14	49,84	52,48
	12			
	14	50,88	48,88	51,15
	15			
	16			50,43
	18	49,59	47,64	49,91
21	48,38	48,15	49,95	



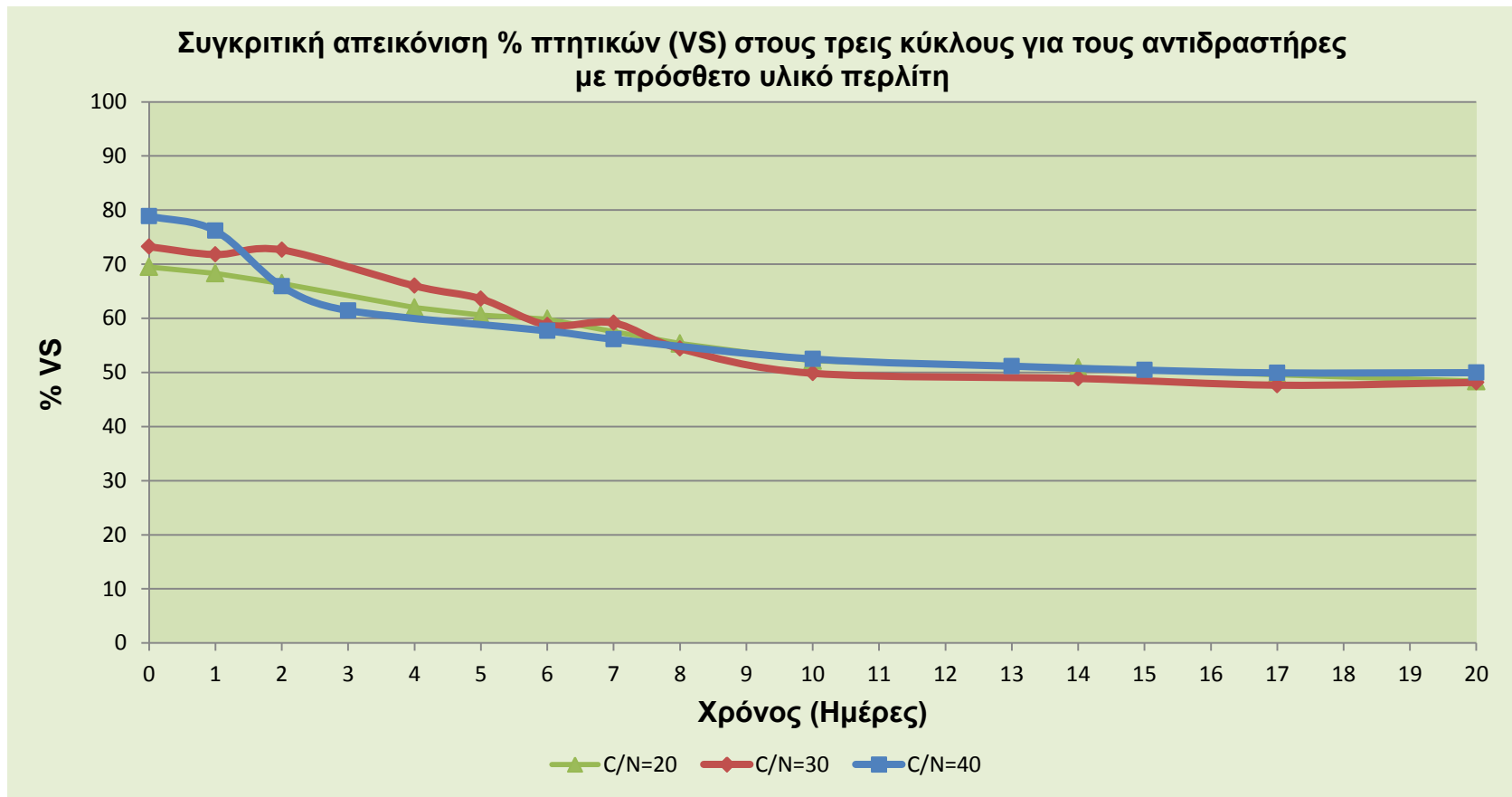
Διάγραμμα 6.24 Συγκριτική απεικόνιση πτητικών στερεών (%) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.25 Συγκριτική απεικόνιση πτητικών στερεών (%) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.26 Συγκριτική απεικόνιση πτητικών στερεών (%) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.27 Συγκριτική απεικόνιση πτητικών στερεών (%) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα TOC (%dm) του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του οργανικού άνθρακα του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στο διάγραμμα 6.28 παρατηρείται ότι το αρχικό ποσοστό του οργανικού άνθρακα στον κύκλο με C/N=40 είναι μεγαλύτερο από αυτό του C/N=30 και αυτό με τη σειρά του μεγαλύτερο από του C/N=20. Αυτό είναι λογικό και εξηγείται απόλυτα από την διαφορετική τροφοδοσία που είχαν οι τρεις αντιδραστήρες. Στον κύκλο με C/N =40 μειώθηκαν οι ποσότητες των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων που τροφοδότησαν τον αντιδραστήρα σε σχέση με αυτές των υπολοίπων και αυξήθηκαν αντίστοιχα αυτές των κυτταρινούχων υλικών. Το αποτέλεσμα ήταν το αρχικό υλικό στον κύκλο με C/N=40 να είναι πιο πλούσιο σε άνθρακα σε σύγκριση με το υλικό των άλλων δυο.

Η κατανάλωση του άνθρακα στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι κρίνεται πολύ μικρή. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη πως η διεργασία της κομποστοποίησης δεν ολοκληρώθηκε ορθά στους εν λόγω αντιδραστήρες. Αντιθέτως στους υπόλοιπους αντιδραστήρες παρατηρείται ιδιαίτερα σημαντική μείωση του ποσοστού του οργανικού άνθρακα, ειδικά κατά τη θερμόφιλη φάση, ενώ στη συνέχεια το ποσοστό του οργανικού άνθρακα σταθεροποιείται ομαλώς. Είναι εμφανής η σημαντική συνεισφορά των ορυκτών στην ομαλή διεξαγωγή της διεργασίας, που έχει ως αποτέλεσμα την αποδόμηση της οργανικής ύλης,

Πίνακας 6.32 Τιμές TOC (%dm) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	45,7	48,16	54,44
	2	46,52	50,38	54,18
	3	44,38	48,52	52,14
	4			47,19
	5	42,15	47,89	
	6	41,68	48,08	
	7	40,23	48,00	44,28
	8	39,64	47,02	41,95
	9	38,77	46,52	
	10			
	11	37,89	45,32	39,28
	12			
	14	37,06	44,26	37,58
	15			
	16			36,05
	18	36,24	42,55	35,88
21	36,46	40,95	35,54	

Πίνακας 6.33 Τιμές TOC (%dm) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

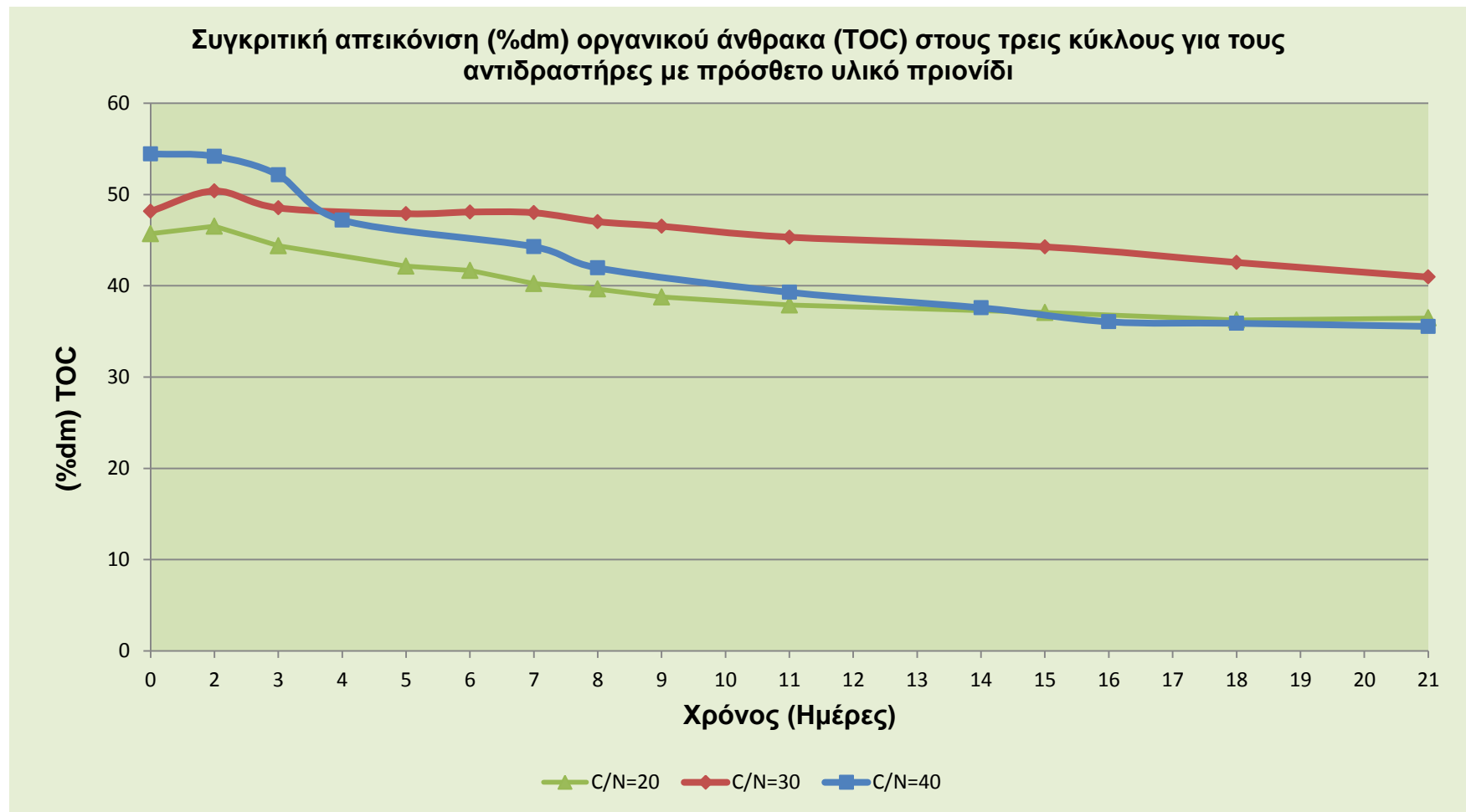
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	44,55	50,59	51,68
	2	41,38	45,31	47,44
	3	36,56	41,31	43,55
	4			41,28
	5	34,87	36,31	
	6	31,72	34,85	
	7	31,06	31,48	32,55
	8	30,47	32,25	31,24
	9	29,54	32,40	
	10			
	11	29,02	31,87	30,47
	12			
	14	28,88	30,64	29,76
	15			
	16			29,55
	18	28,32	29,86	29,20
21	27,96	29,49	28,65	

Πίνακας 6.34 Τιμές TOC (%dm) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους τρεις κύκλους

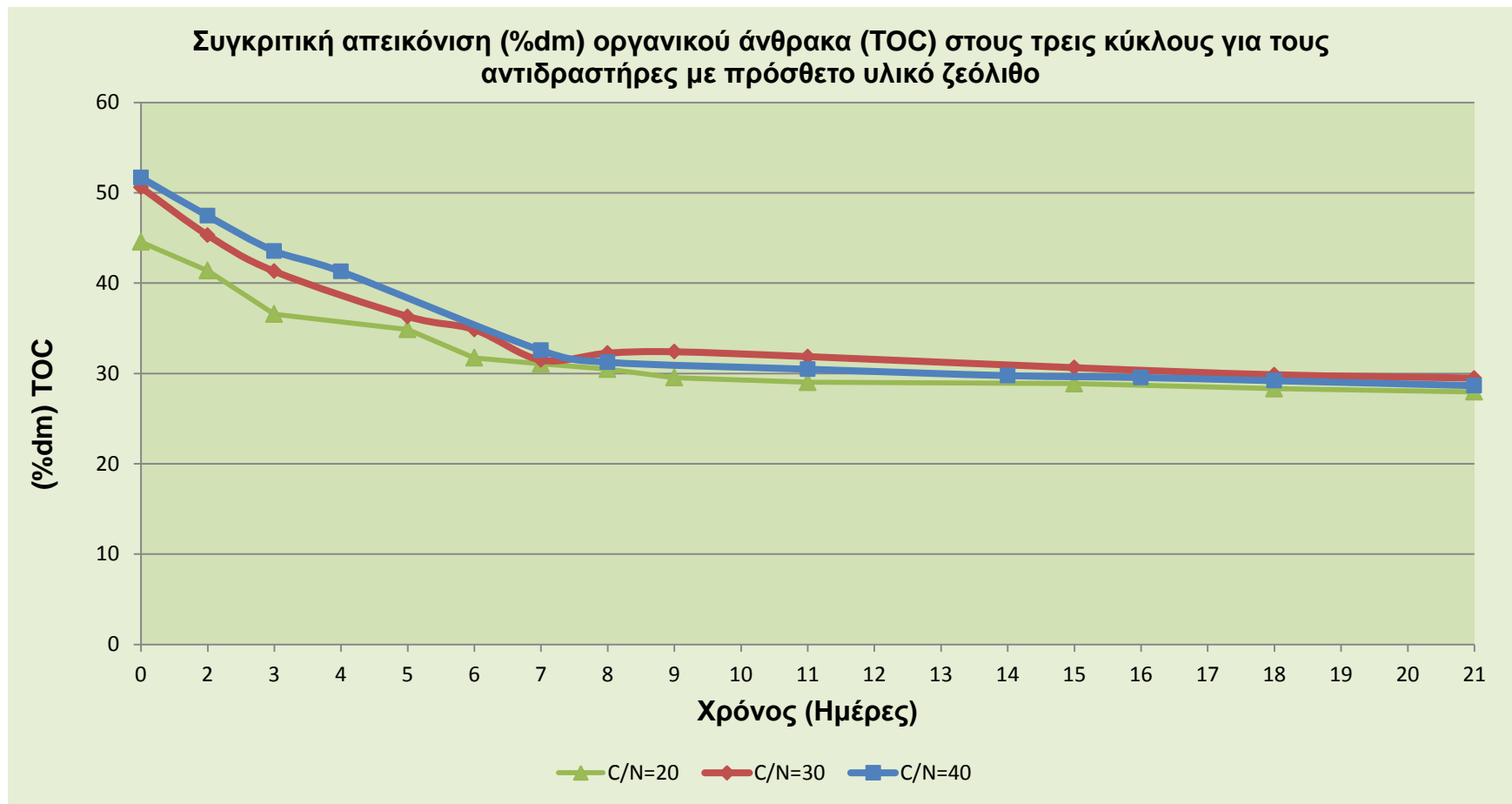
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	43,37	48,07	49,15
	2	40,38	41,26	48,25
	3	38,62	39,74	42,01
	4			38,04
	5	35,59	38,84	
	6	33,17	35,31	
	7	32,68	35,08	29,15
	8	30,44	35,02	27,25
	9	28,56	28,76	
	10			
	11	27,47	28,94	25,55
	12			
	14	26,71	23,19	24,87
	15			
	16			24,15
	18	25,53	23,82	23,79
21	24,43	22,66	23,36	

Πίνακας 6.35 Τιμές TOC (%dm) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

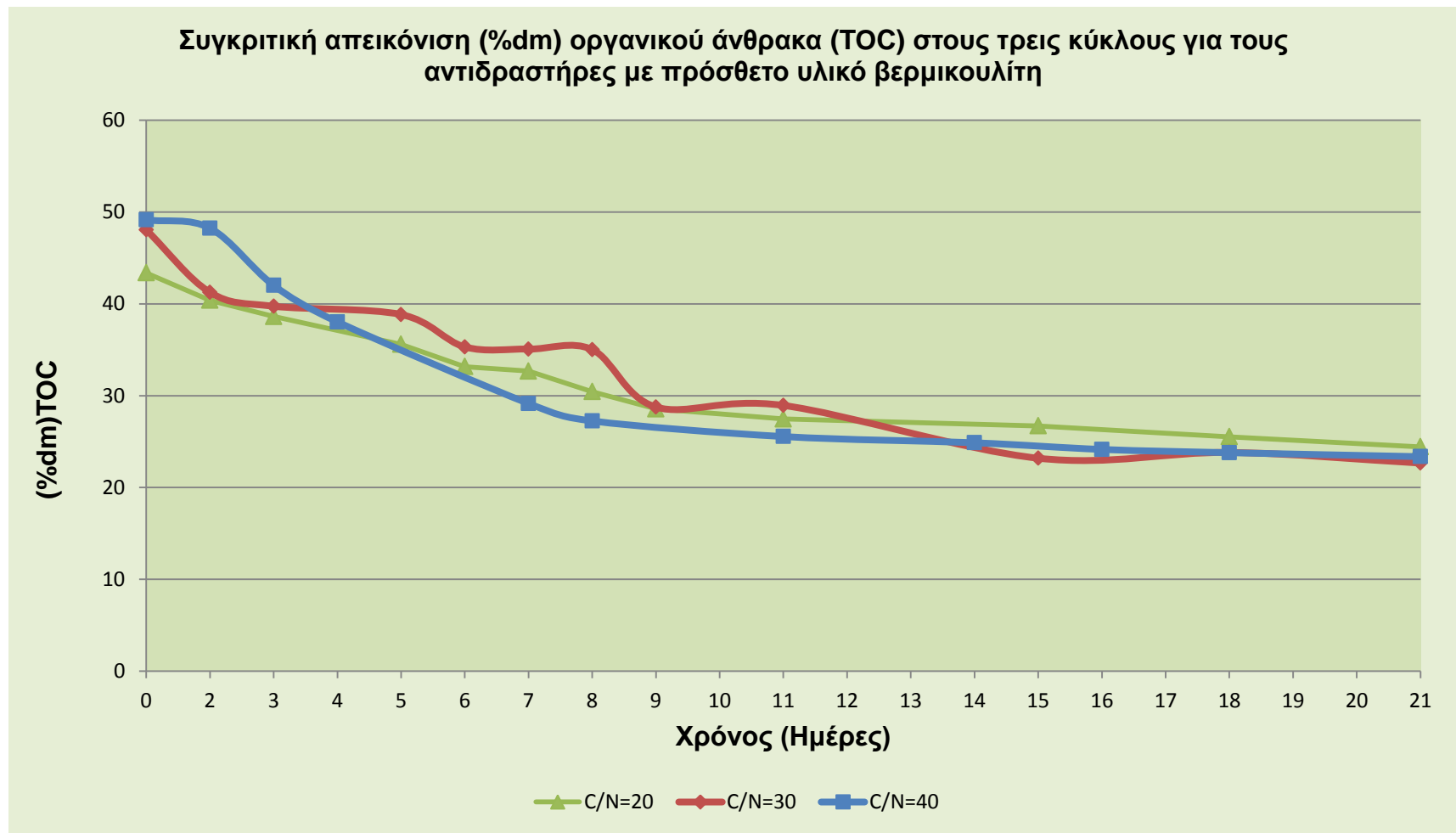
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	38,5	43,86	43,15
	2	35,42	40,67	42,55
	3	31,67	38,71	41,35
	4			38,76
	5	30,14	33,72	
	6	28,46	28,64	
	7	27,88	27,36	24,54
	8	26,52	28,02	22,14
	9	24,86	26,45	
	10			
	11	23,73	25,74	20,87
	12			
	14	22,94	24,98	19,86
	15			
	16			19,18
	18	22,05	24,12	18,88
21	21,84	23,46	18,64	



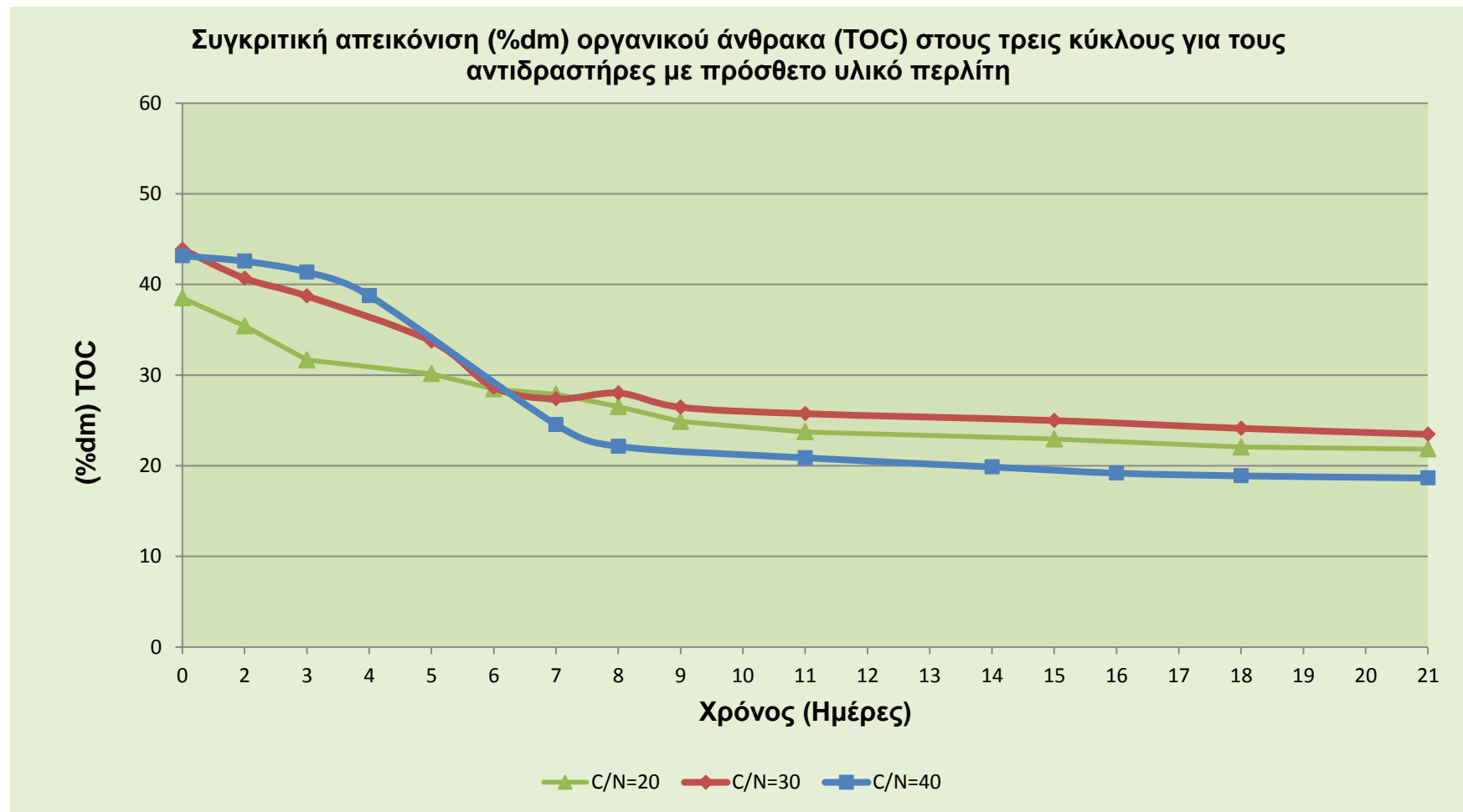
Διάγραμμα 6.28 Συγκριτική απεικόνιση TOC (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.29 Συγκριτική απεικόνιση TOC (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.30 Συγκριτική απεικόνιση TOC (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.31 Συγκριτική απεικόνιση TOC (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (%dm) του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρείται ότι το αρχικό ποσοστό του ολικού αζώτου στον κύκλο C/N=40 είναι μικρότερο από αυτό του C/N=30 και αυτό με τη σειρά του μικρότερο από αυτό του C/N=20 κύκλου. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς του αρχικού λόγου C/N των των τριών κύκλων, καθώς για να αυξηθεί ο λόγος C/N πρέπει το αρχικό υπόστρωμα να αποτελείται από τρόφιμα με μεγαλύτερα ποσοστά σε άνθρακα και μικρότερα σε άζωτο. Ενώ αντιθέτως, μικρός αρχικός λόγος σημαίνει πως το αρχικό υπόστρωμα αποτελείται από τρόφιμα με μικρότερα ποσοστά άνθρακα ή μεγαλύτερα ποσοστά αζώτου, ή και τα δύο ταυτόχρονα. Σε αυτό το σημείο αναφερόμαστε σε ποσοστό επί ξηρής μάζας, που σημαίνει πως όπου υπάρχει μεγαλύτερη διάθεση αζώτου λόγω μεγαλύτερης τροφοδοσίας σε πρωτεϊνούχα υλικά, αναμένουμε μεγαλύτερο ποσοστό ολικού αζώτου στο υπόστρωμα, κάτι που επαληθεύεται από τις πειραματικές μετρήσεις. Οι τελικές τιμές, ωστόσο δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές, γεγονός που προδίδει την μη σωστή λειτουργία των εργασιών της βιοαποδόμησης στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι. Σε όλους τους κύκλους παρατηρείται μία αύξηση των τιμών του ποσοστού του αζώτου στη θερμοφιλή φάση, που συμβαδίζει με την αντίστοιχη κατανάλωση άνθρακα. Αυξημένο είναι το ποσοστό του αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στον κύκλο με C/N=40, αλλά αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει μεγαλύτερη μείωση του οργανικού άνθρακα στον εν λόγω αντιδραστήρα. Παρά το γεγονός ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αρχικός λόγος C/N στο υπόστρωμα τόσο μικρότερο ποσοστό αζώτου παρουσιάζει αρχικά, εντούτοις δε συμβαίνει το ίδιο και στις τελικές τιμές, καθώς το ποσοστό του αζώτου συμβαδίζει με το ποσοστό του άνθρακα στο υπόστρωμα. Στους κύκλους με μεγάλους αρχικούς λόγους C/N στο υπόστρωμα παρατηρείται και μεγαλύτερη κατανάλωση άνθρακα κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Σε αυτό το γεγονός βασίζονται οι τιμές του αζώτου προς το τέλος της διεργασίας, όπου σημειώνονται στα ίδια επίπεδα και στους τρεις κύκλους και σε κάποιες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερες στους κύκλους με μεγάλους αρχικούς λόγους C/N. Η σταθεροποίηση των τιμών είναι ομαλή και οι τελικές τιμές ικανοποιητικές σε όλους τους κύκλους.

Πίνακας 6.36 Τιμές TKN (%dm) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	1,85	1,70	1,41
	2	1,94	1,74	1,48
	3	1,99	1,79	1,52
	4			1,58
	5	2,05	1,82	
	6	2,09	1,87	
	7	2,07	1,88	1,64
	8	2,11	1,91	1,68
	9	2,16	1,96	
	10			
	11	2,14	1,95	1,72
	12			
	14	2,18	1,99	1,78
	15			
	16			1,81
	18	2,22	2,10	1,84
21	2,24	2,05	1,86	

Πίνακας 6.37 Τιμές TKN (%dm) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

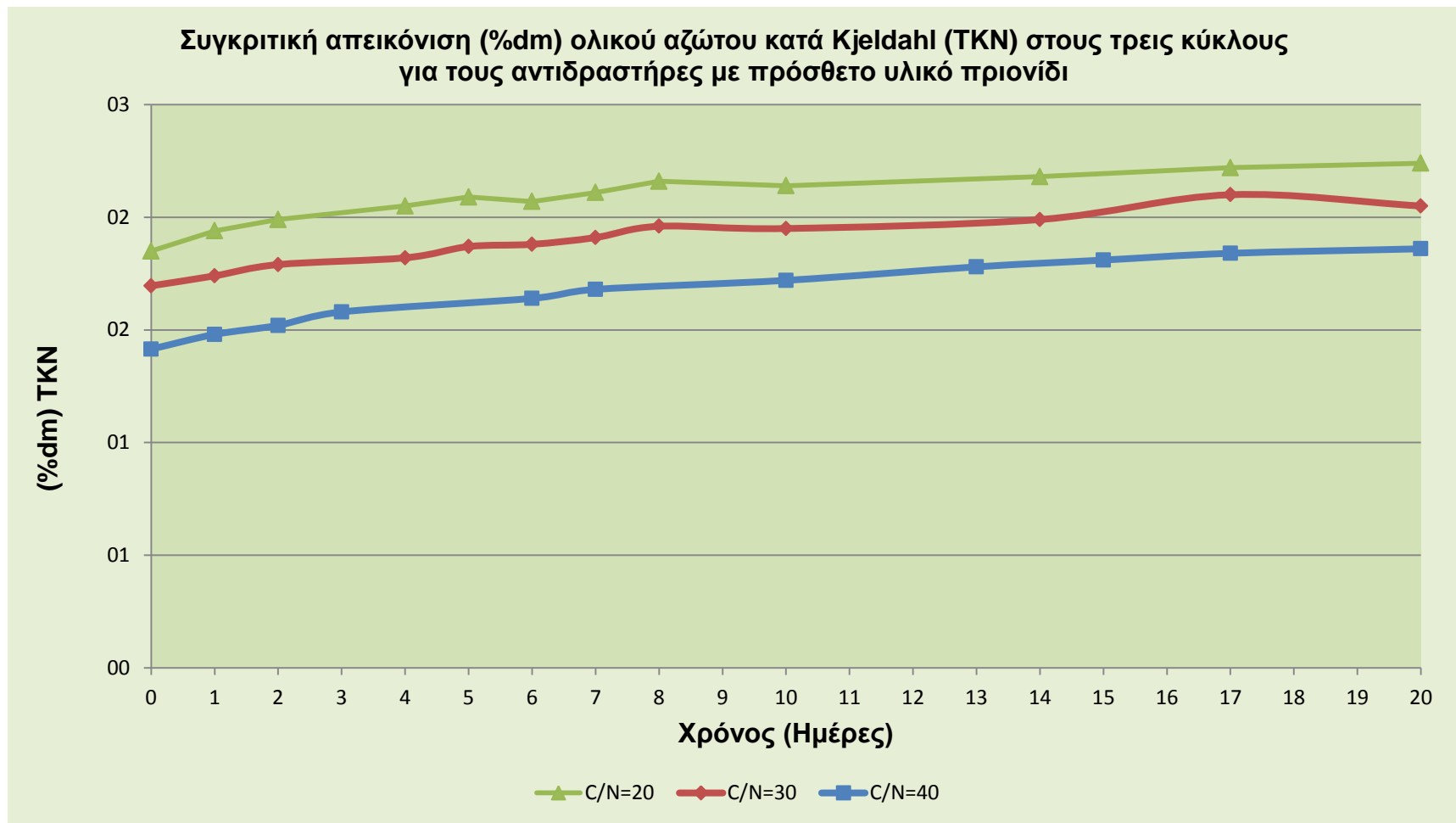
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	2,08	1,82	1,33
	2	2,17	2,02	1,42
	3	2,24	2,15	1,46
	4			1,54
	5	2,32	2,36	
	6	2,48	2,44	
	7	2,56	2,58	2,03
	8	2,67	2,64	2,12
	9	2,71	2,66	
	10			
	11	2,77	2,68	2,19
	12			
	14	2,79	2,71	2,26
	15			
	16			2,55
	18	2,81	2,67	2,68
21	2,84	2,72	2,77	

Πίνακας 6.38 Τιμές TKN (%dm) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους τρεις κύκλους

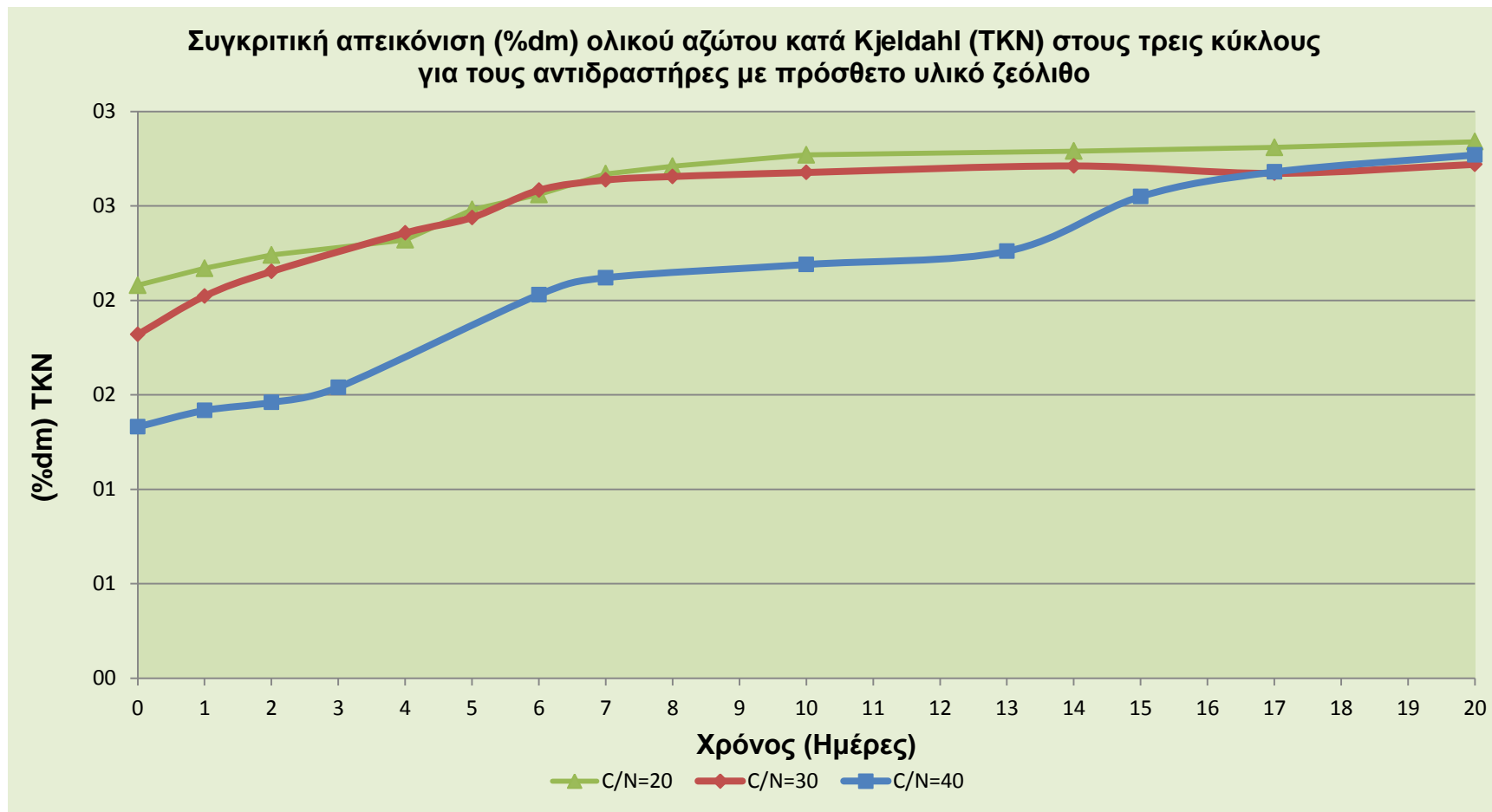
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	1,97	1,64	1,36
	2	2,08	1,80	1,44
	3	2,17	1,75	1,56
	4			1,68
	5	2,29	1,80	
	6	2,38	1,96	
	7	2,41	2,02	1,82
	8	2,48	2,10	1,96
	9	2,51	2,02	
	10			
	11	2,49	2,14	2,38
	12			
	14	2,53	2,08	2,45
	15			
	16			2,57
	18	2,55	2,10	2,63
21	2,56	2,14	2,79	

Πίνακας 6.39 Τιμές TKN (%dm) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

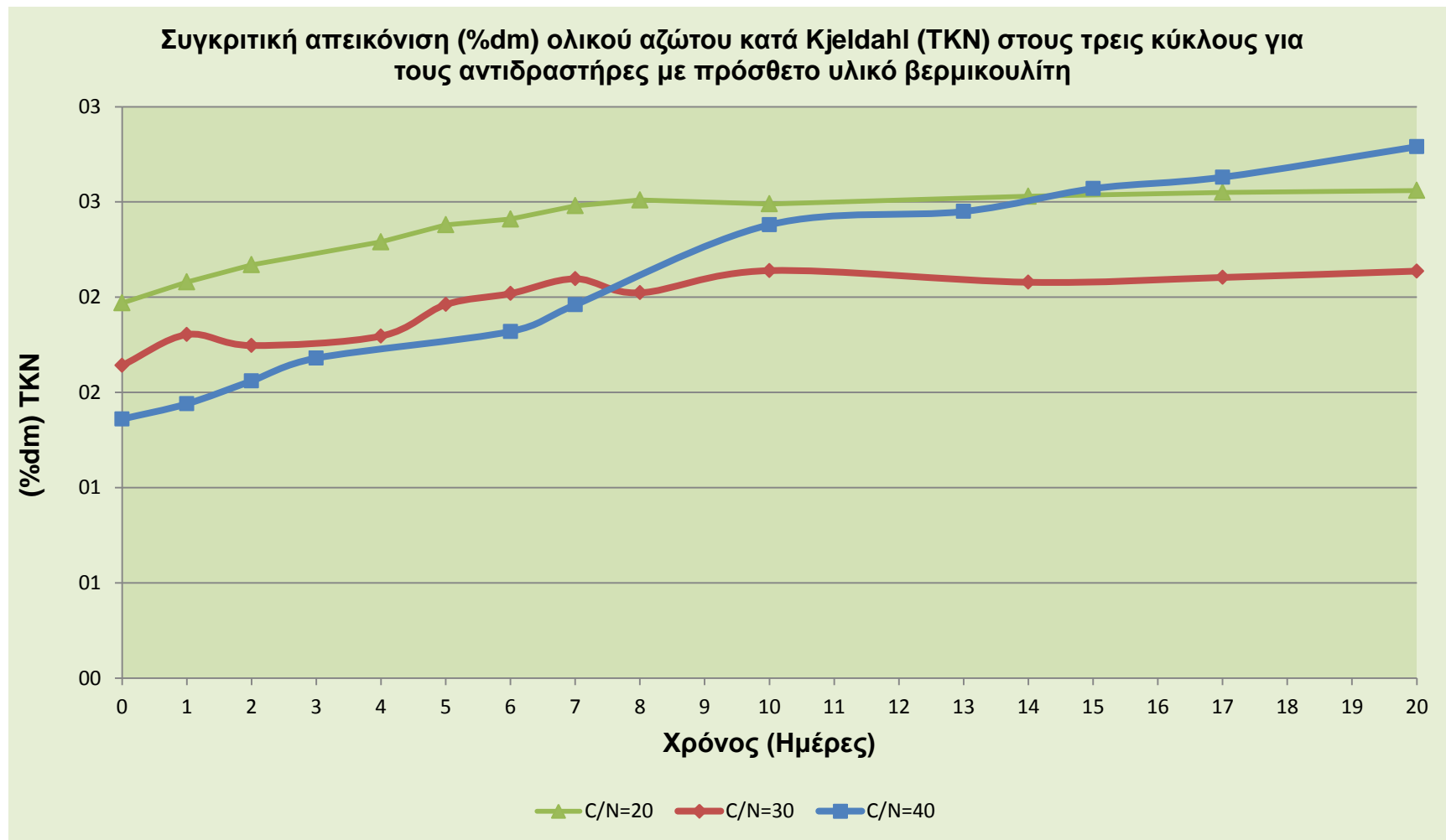
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	1,77	1,50	1,21
	2	1,82	1,62	1,49
	3	1,89	1,65	1,62
	4			1,84
	5	1,95	1,88	
	6	1,99	1,86	
	7	2,15	1,91	1,87
	8	2,14	1,95	1,96
	9	2,19	1,99	
	10			
	11	2,21	1,92	2,12
	12			
	14	2,25	2,02	2,18
	15			
	16			2,24
	18	2,24	2,16	2,27
21	2,26	2,14	2,31	



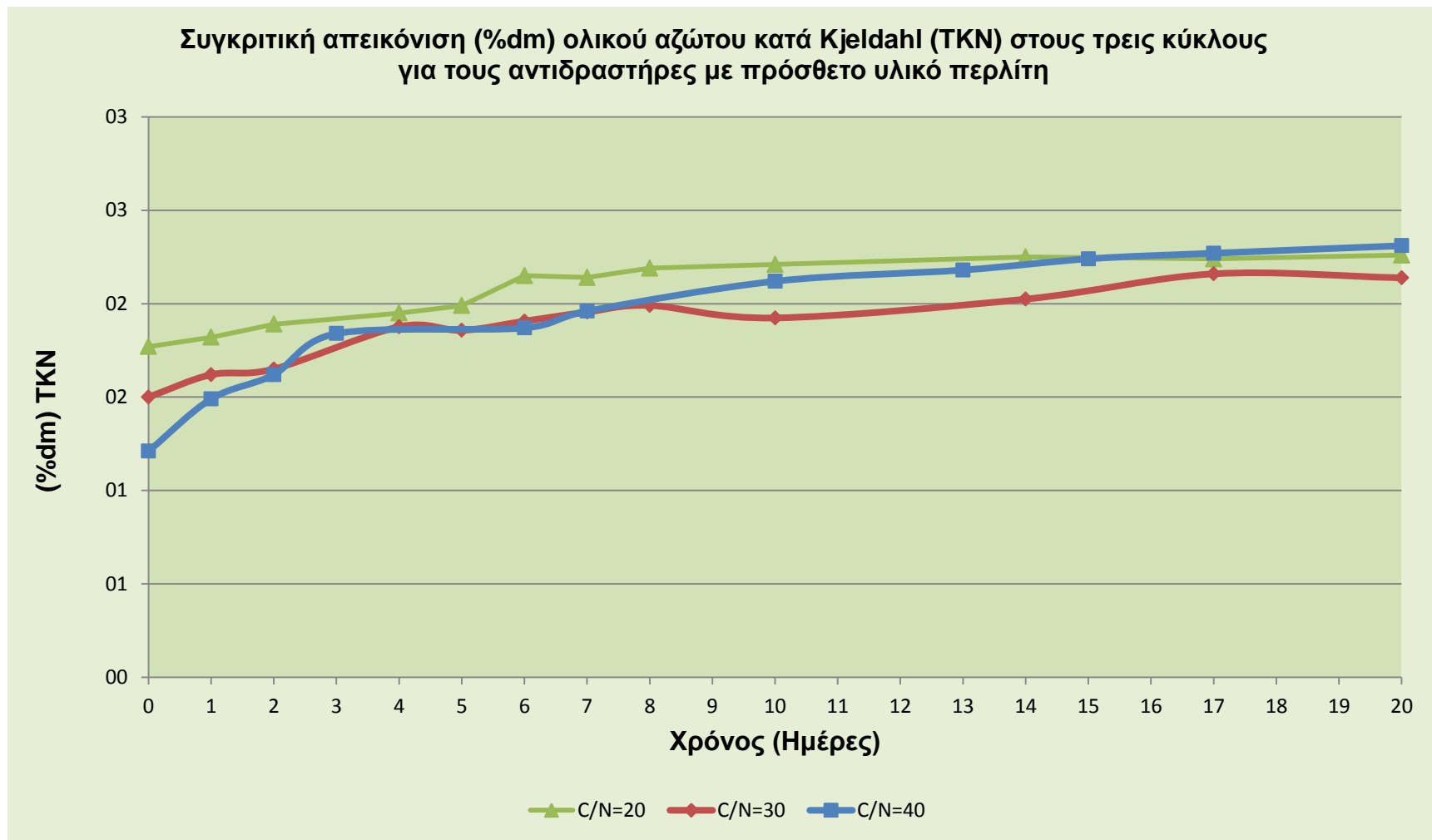
Διάγραμμα 6.32 Συγκριτική απεικόνιση TKN (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.33 Συγκριτική απεικόνιση TKN (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.34 Συγκριτική απεικόνιση TKN (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.35 Συγκριτική απεικόνιση TKN (%dm) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός του λόγου C/N του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του λόγου C/N του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στα διαγράμματα παρατηρείται ξεκάθαρα ότι ο αρχικός λόγος C/N στα υποστρώματα του παρόντος κύκλου κύκλου προσεγγίζει το 20 που ήταν και ο στόχος της αρχικής τροφοδοσίας. Αντίστοιχα στους άλλους δύο κύκλους πειραμάτων προσεγγίζεται ο αρχικός λόγος C/N των υποστρωμάτων σε τιμές κοντά στο 30 και στο 40 αντίστοιχα. Στη συνέχεια διακρίνεται μία μείωση του λόγου στους αντιδραστήρες και των τριών κύκλων, κατά τη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης, λόγω κατανάλωσης του οργανικού άνθρακα του υποστρώματος.

Στις πρώτες μέρες, και κατά τη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης, σημειώνεται ραγδαία μείωση του λόγου και στους αντιδραστήρες που προστέθηκε ορυκτό, ενώ στον κύκλο που χρησιμοποιήθηκε σκέτο πριονίδι η μείωση του λόγου κατά τη θερμοφιλή φάση είναι πολύ μικρότερη και οι τελικές τιμές του οριακά υψηλές προσεγγίζοντας την τιμή 20. Αντιθέτως, στους αντιδραστήρες που προστέθηκε ορυκτό παρατηρείται μία ομαλή σταθεροποίηση των τιμών οι οποίες τελικά προσεγγίζουν την τιμή 10. Αυτό δείχνει πως το παραγόμενο προϊόν είναι καλής ποιότητας και η διαδικασία της βιοαποδόμησης διεξήχθη με επιτυχία.

Πίνακας 6.40 Τιμές C/N για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους τρεις κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	1	24,7	28,40	38,48
	2	23,98	28,95	36,61
	3	22,30	27,11	34,30
	4			29,87
	5	20,56	26,31	
	6	19,94	25,71	
	7	19,43	25,63	27,00
	8	18,79	24,62	24,97
	9	17,95	23,73	
	10			
	11	17,71	23,24	22,84
	12			
	14	17,00	22,24	21,11
	15			
	16			19,92
	18	16,32	20,26	19,50
21	16,28	19,98	19,11	

Πίνακας 6.41 Τιμές C/N για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους τρεις κύκλους

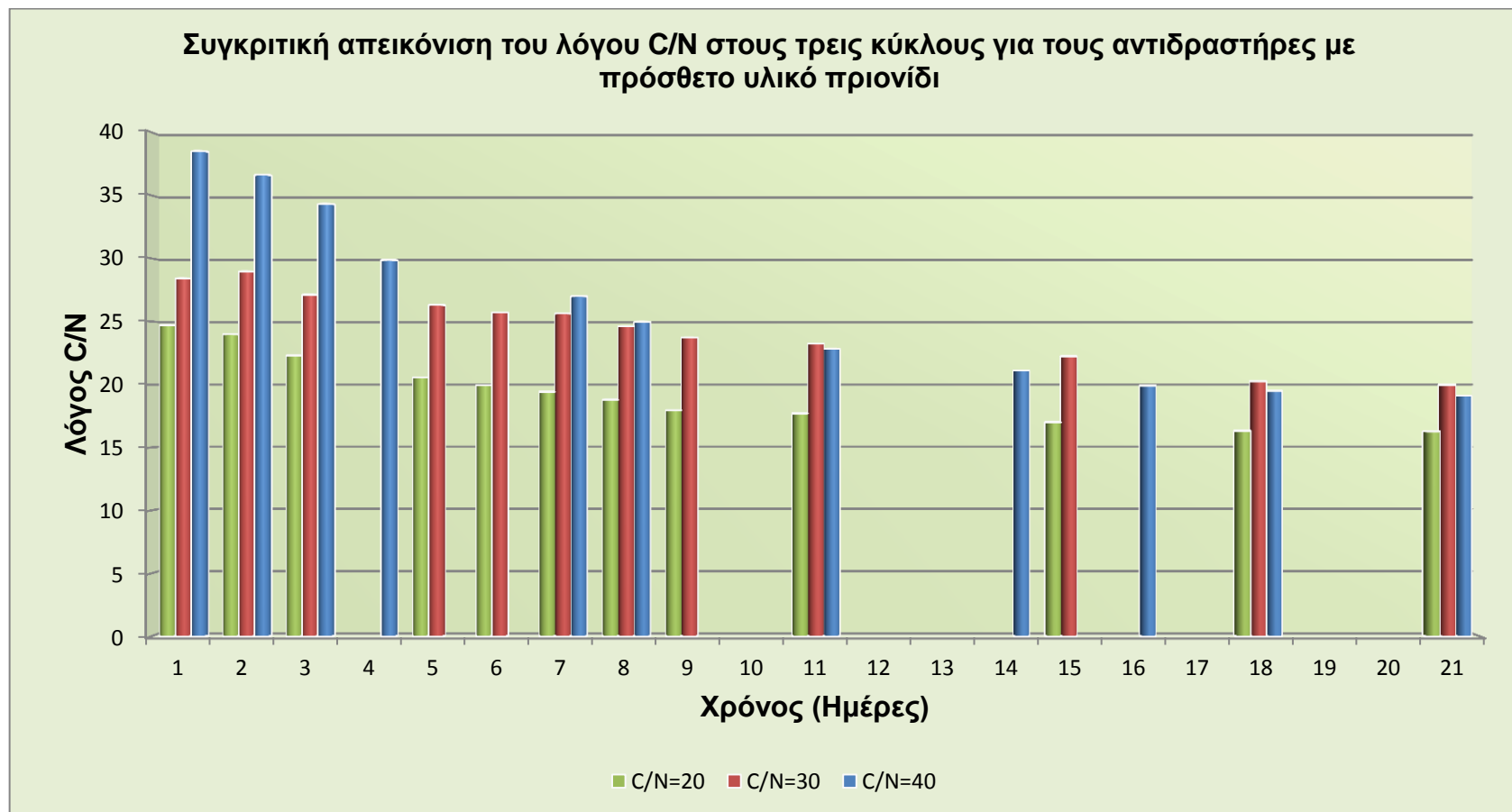
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	1	21,42	27,81	38,84
	2	19,07	22,41	33,48
	3	16,32	19,19	29,83
	4			26,81
	5	15,03	15,41	
	6	12,79	14,29	
	7	12,13	12,19	16,03
	8	11,41	12,23	14,74
	9	10,9	12,20	
	10			
	11	10,48	11,90	13,91
	12			
	14	10,35	11,30	13,17
	15			
	16			11,59
	18	10,08	11,17	10,90
21	9,85	10,85	10,34	

Πίνακας 6.42 Τιμές C/N για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους τρεις κύκλους

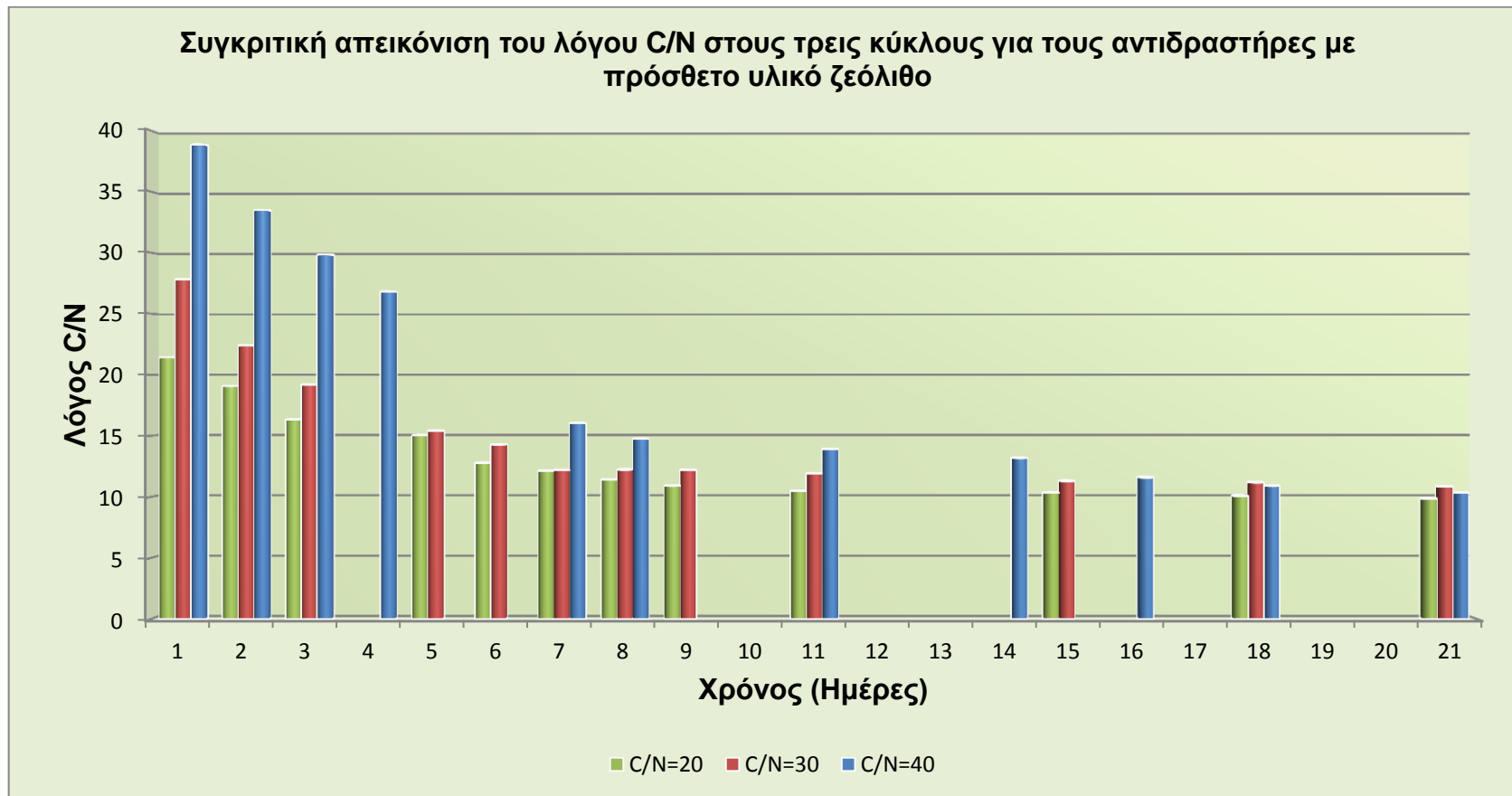
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	1	22,02	29,28	36,14
	2	19,41	21,77	33,50
	3	17,8	22,76	26,93
	4			22,64
	5	15,54	21,63	
	6	13,94	18,01	
	7	13,56	17,37	16,02
	8	12,27	16,70	13,90
	9	11,38	14,22	
	10			
	11	11,03	13,53	10,74
	12			
	14	10,56	11,16	10,15
	15			
	16			9,40
	18	10,01	11,32	9,05
21	9,54	10,60	8,37	

Πίνακας 6.43 Τιμές C/N για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους τρεις κύκλους

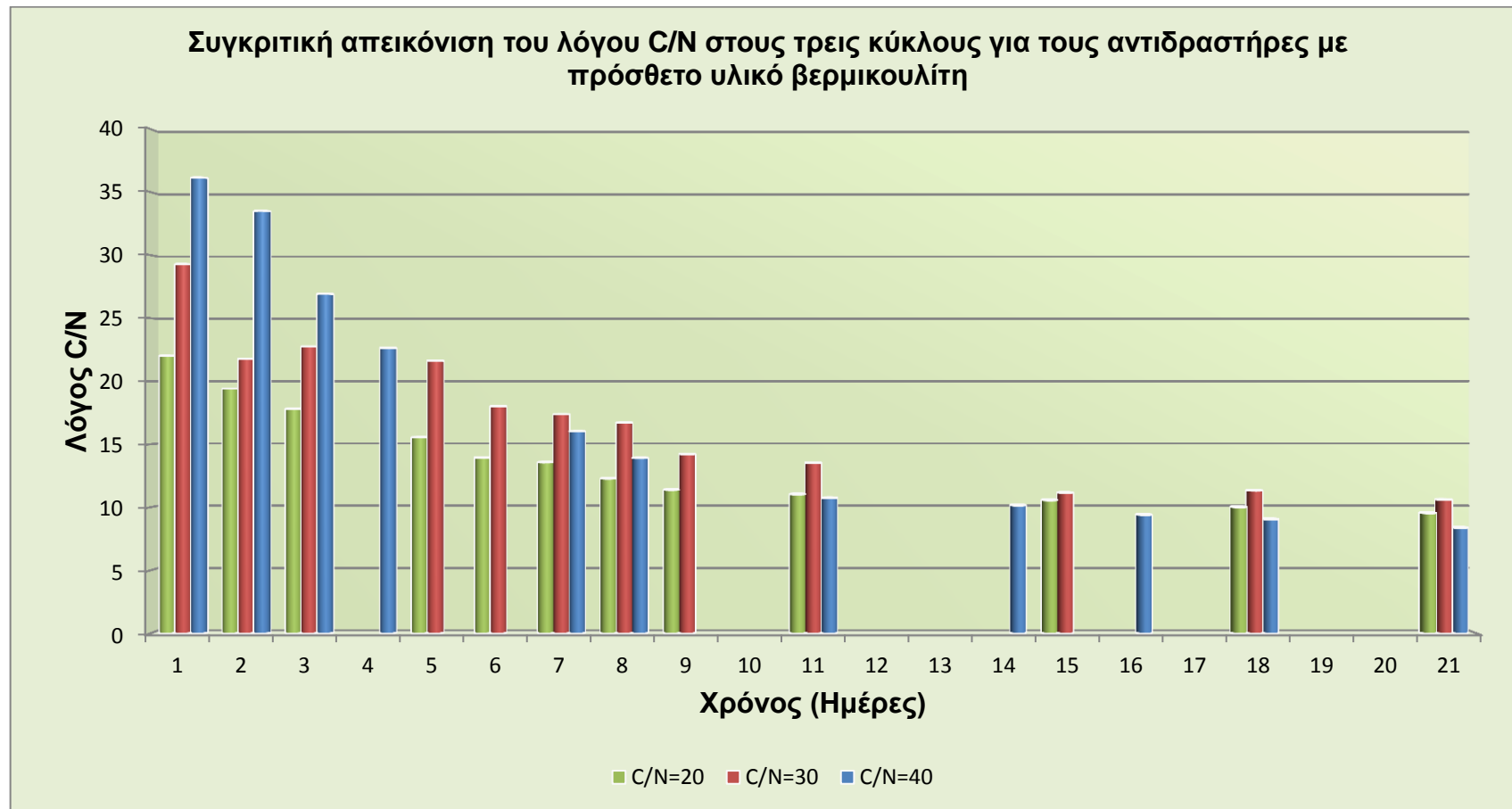
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	1	21,75	29,32	35,77
	2	19,46	25,07	28,55
	3	16,76	23,47	25,51
	4			21,07
	5	15,46	17,97	
	6	14,3	15,42	
	7	12,97	14,35	13,12
	8	12,39	14,33	11,29
	9	11,35	13,29	
	10			
	11	10,74	13,38	9,84
	12			
	14	10,2	12,34	9,11
	15			
	16			8,56
	18	9,84	11,17	8,32
21	9,66	10,97	8,07	



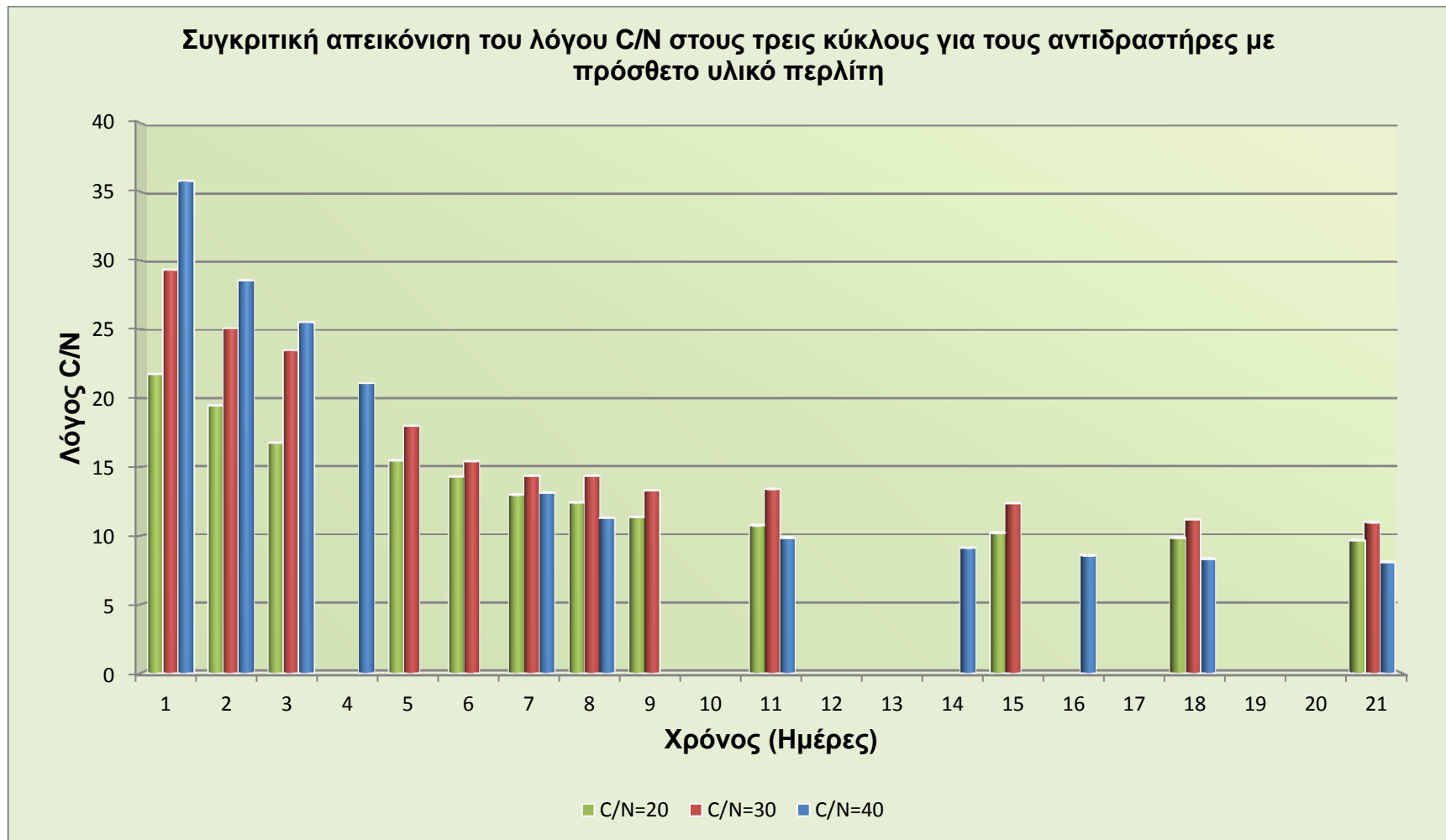
Διάγραμμα 6.36 Συγκριτική απεικόνιση C/N στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.37 Συγκριτική απεικόνιση C/N στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.38 Συγκριτική απεικόνιση C/N στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.39 Συγκριτική απεικόνιση C/N στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός νιτρικών ($NO_3^- - N$) του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων των νιτρικών ($NO_3^- - N$) του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρείται ξεκάθαρα πως με το πέρας της θερμοφιλής φάσης, ξεκινά η αποδόμηση των αμμωνιακών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ομαλή αύξηση των νιτρικών. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι, αφενός διακόπτεται η παραγωγή αμμωνιακών, αφετέρου, τα ήδη υπάρχοντα αμμωνιακά μετατρέπονται σε νιτρικά συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην ραγδαία αύξησή τους.

Οριακές τιμές έχουν τεθεί και για τα νιτρικά καθότι η υπέρμετρη συγκέντρωσή τους δύναται να διαμορφώσει συνθήκες περίσσειας θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Σύμφωνα την βιβλιογραφία [42] το οριακό εύρος τιμών είναι $200-500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dm}$. Επομένως, παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών με εξαίρεση τον αντιδραστήρα όπου προστέθηκε σκέτο πριονίδι, βρίσκονται πολύ κοντά στα προαναφερθέντα όρια. Οι τιμές των νιτρικών στους αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκε ως πρόσθετο μόνο το πριονίδι βρίσκονται κάτω από τα όρια, γεγονός ενδεικτικό της μη ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.

Πίνακας 6.44 Τιμές νιτρικών ($NO_3^- - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους 3 κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	12,00	11,00	13,00
	2	14,00	18,00	17,00
	3	11,00	26,00	14,00
	4			20,00
	5	17,00	21,00	
	6	15,00	25,00	
	7	13,00	23,00	22,00
	8	25,00	24,00	55,00
	9	40,00	47,00	
	10			
	11	51,00	56,00	62,00
	12			
	14	66,00	78,00	74,00
	15			
	16			83,00
	18	88,00	91,00	92,00
21	94,00	104,00	100,00	

Πίνακας 6.45 Τιμές νιτρικών ($NO_3^- - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους 3 κύκλους

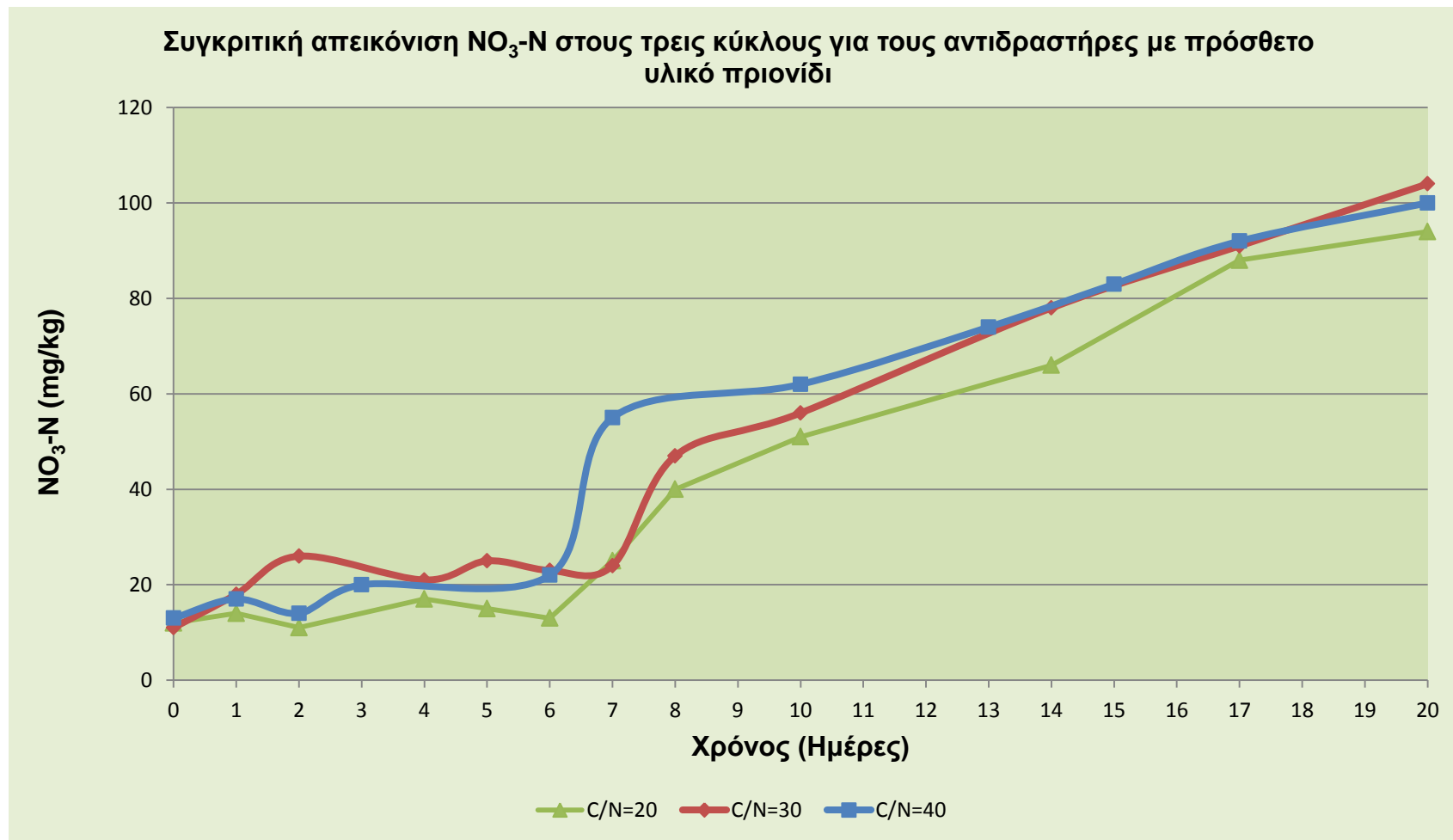
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	11,00	15,00	12,00
	2	14,00	22,00	14,00
	3	17,00	16,00	17,00
	4			15,00
	5	15,00	21,00	
	6	16,00	8,00	
	7	14,00	11,00	18,00
	8	32,00	46,00	41,00
	9	67,00	84,00	
	10			
	11	117,00	138,00	88,00
	12			
	14	215,00	247,00	132,00
	15			
	16			186,00
	18	321,00	324,00	254,00
21	398,00	425,00	372,00	

Πίνακας 6.46 Τιμές νιτρικών ($NO_3^- - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη σε 3 κύκλους

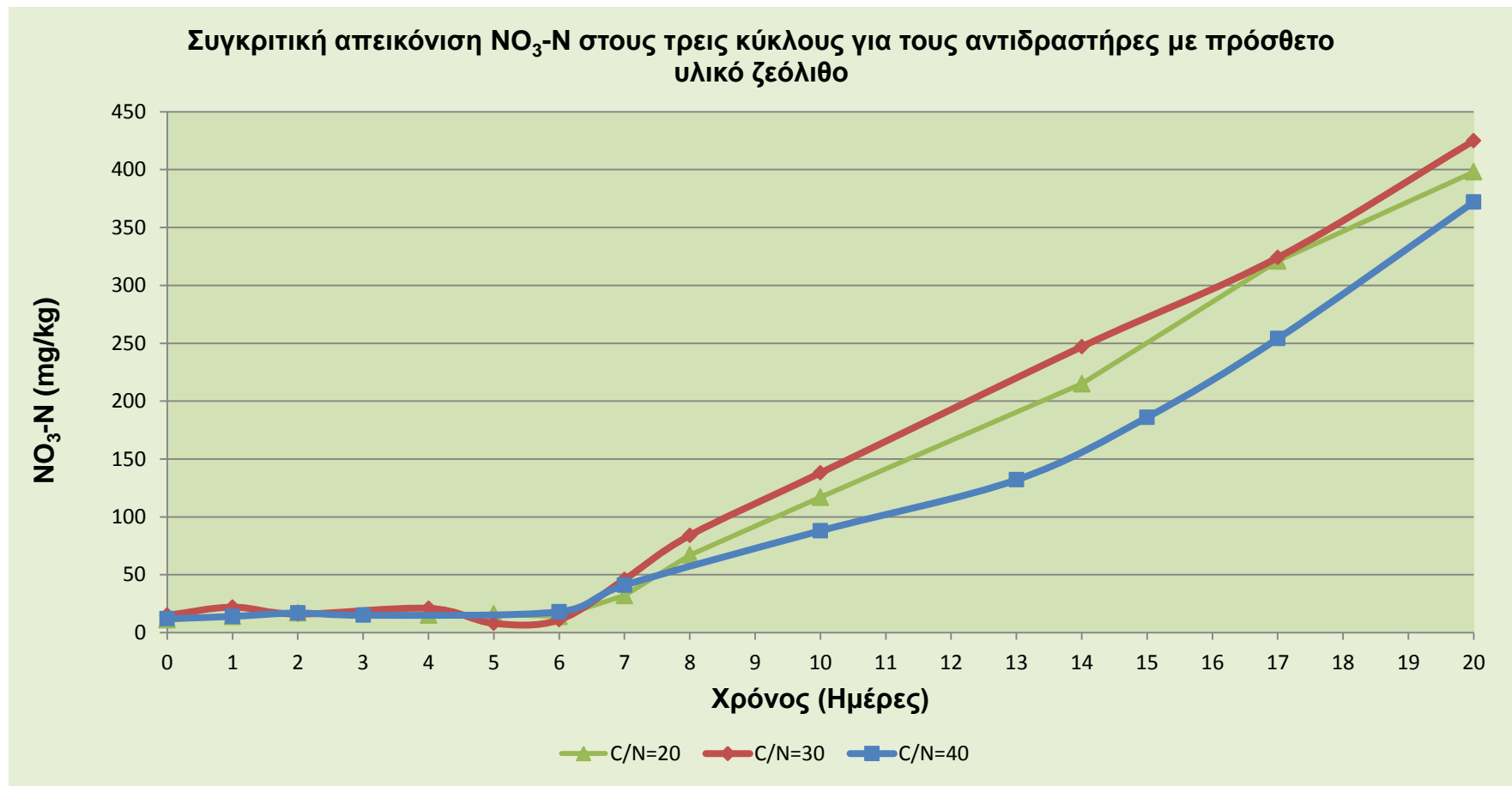
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	9,00	12,00	14,00
	2	14,00	18,00	11,00
	3	12,00	21,00	18,00
	4			15,00
	5	15,00	14,00	
	6	17,00	13,00	
	7	13,00	15,00	21,00
	8	51,00	58,00	38,00
	9	93,00	97,00	
	10			
	11	144,00	157,00	76,00
	12			
	14	237,00	286,00	159,00
	15			
	16			214,00
	18	354,00	397,00	288,00
21	456,00	522,00	441,00	

Πίνακας 6.47 Τιμές νιτρικών ($NO_3^- - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους 3 κύκλους

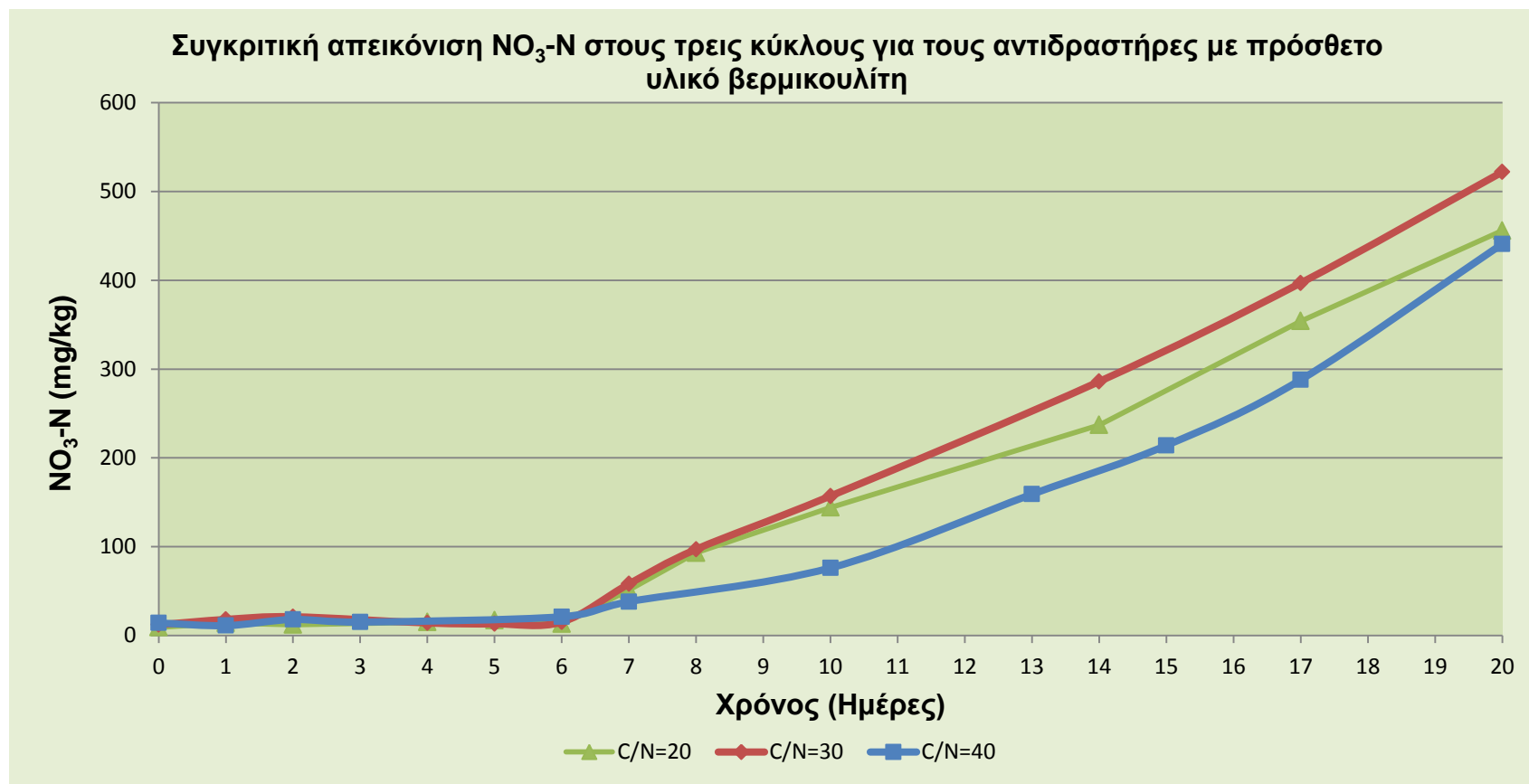
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	10,00	14,00	17,00
	2	14,00	19,00	12,00
	3	13,00	25,00	19,00
	4			21,00
	5	16,00	21,00	
	6	12,00	26,00	
	7	14,00	18,00	16,00
	8	59,00	55,00	34,00
	9	102,00	106,00	
	10			
	11	173,00	167,00	82,00
	12			
	14	296,00	278,00	176,00
	15			
	16			248,00
	18	387,00	374,00	324,00
21	504,00	486,00	466,00	



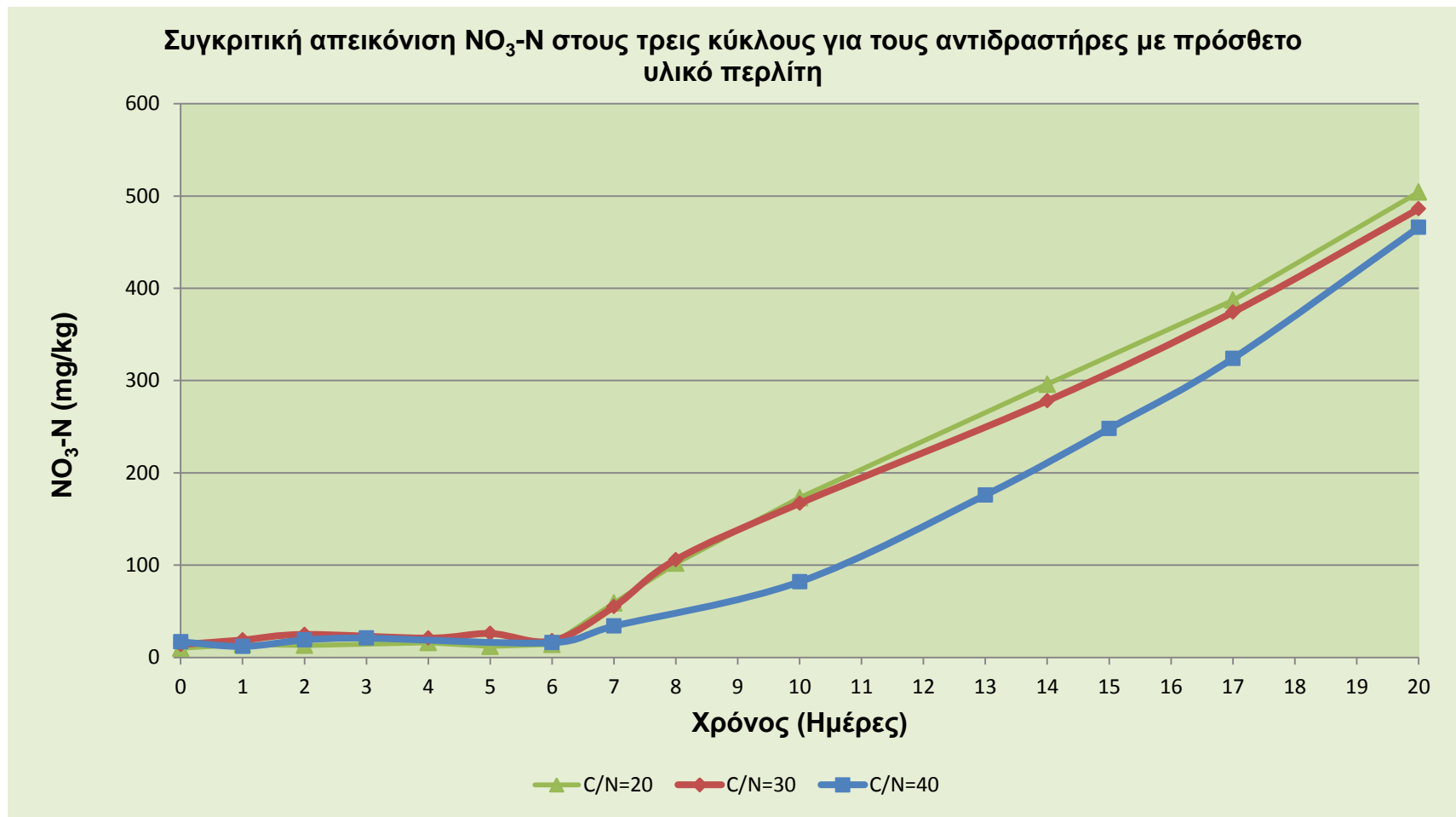
Διάγραμμα 6.40 Συγκριτική απεικόνιση νιτρικών ($NO_3^- - N$) ($\frac{mg}{kg}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.41 Συγκριτική απεικόνιση νιτρικών ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) ($\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.42 Συγκριτική απεικόνιση νιτρικών ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) ($\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.43 Συγκριτική απεικόνιση νιτρικών ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) ($\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Προσδιορισμός αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων των αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) του υποστρώματος και για τους τέσσερις αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους τρεις κύκλους, με αρχικό λόγο υποστρώματος C/N, 20, 30 και 40, και παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρούνται ευκρινώς τα στάδια της πορείας της συγκέντρωσης των αμμωνιακών στους αντιδραστήρες και για τους τρεις πειραματικούς κύκλους. Και στους τρεις πειραματικούς κύκλους διακρίνεται η αύξηση των αμμωνιακών κατά τη διάρκεια της θερμόφιλης φάσης. Ύστερα παρατηρείται μία ομαλή σταθεροποίηση, συνοδευόμενη από μία ήπια μείωση των αμμωνιακών. Η μείωση αυτή οφείλεται στην μετατροπή των αμμωνιακών σε νιτρικά και στην απελευθέρωση μικρού ποσοστού των αμμωνιακών στο περιβάλλον. Τέλος, ο αντιδραστήρας κύκλου με C/N=20, του οποίου το αρχικό υπόστρωμα ήταν πλούσιο σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες, και ως εκ τούτου είχε μεγαλύτερη αρχική διάθεση αζώτου, παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στο τέλος της διεργασίας, χωρίς να παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις των τελικών τιμών και για τους τρεις κύκλους.

Υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών στο κόμποστ υποδηλώνουν μη σταθεροποιημένο υλικό το οποίο κατά την εναπόθεσή του προσροφάται η αμμωνία στο έδαφος και δύναται να οδηγήσει σε ακινητοποίηση του αζώτου. Ως ανώτατο επιτρεπτό όριο περιεκτικότητας του κόμποστ σε αμμωνιακά έχουν ορισθεί τα $500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dm}$. [42]

Συνεπώς οι τελικές τιμές των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών είναι ενδεικτικές της ορθής διεξαγωγής της διεργασίας, για όλους τους κύκλους που χρησιμοποιήθηκαν ορυκτά, σε αντίθεση, και στην περίπτωση αυτή, τους αντιδραστήρες όπου προστέθηκε σκέτο πριονίδι, στους οποίους οι γραφικές ακολουθούν την αναμενόμενη πορεία για τη διεργασία, αλλά σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Πίνακας 6.48 Τιμές αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού σε 3 κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονίδι	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	174,00	145,00	138,00
	2	196,00	175,00	166,00
	3	218,00	202,00	189,00
	4			196,00
	5	232,00	219,00	
	6	251,00	241,00	
	7	258,00	254,00	217,00
	8	264,00	268,00	223,00
	9	255,00	259,00	
	10			
	11	239,00	233,00	219,00
	12			
	14	224,00	216,00	208,00
	15			
	16			194,00
	18	217,00	207,00	186,00
21	209,00	198,00	181,00	

Πίνακας 6.49 Τιμές αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου σε 3 κύκλους

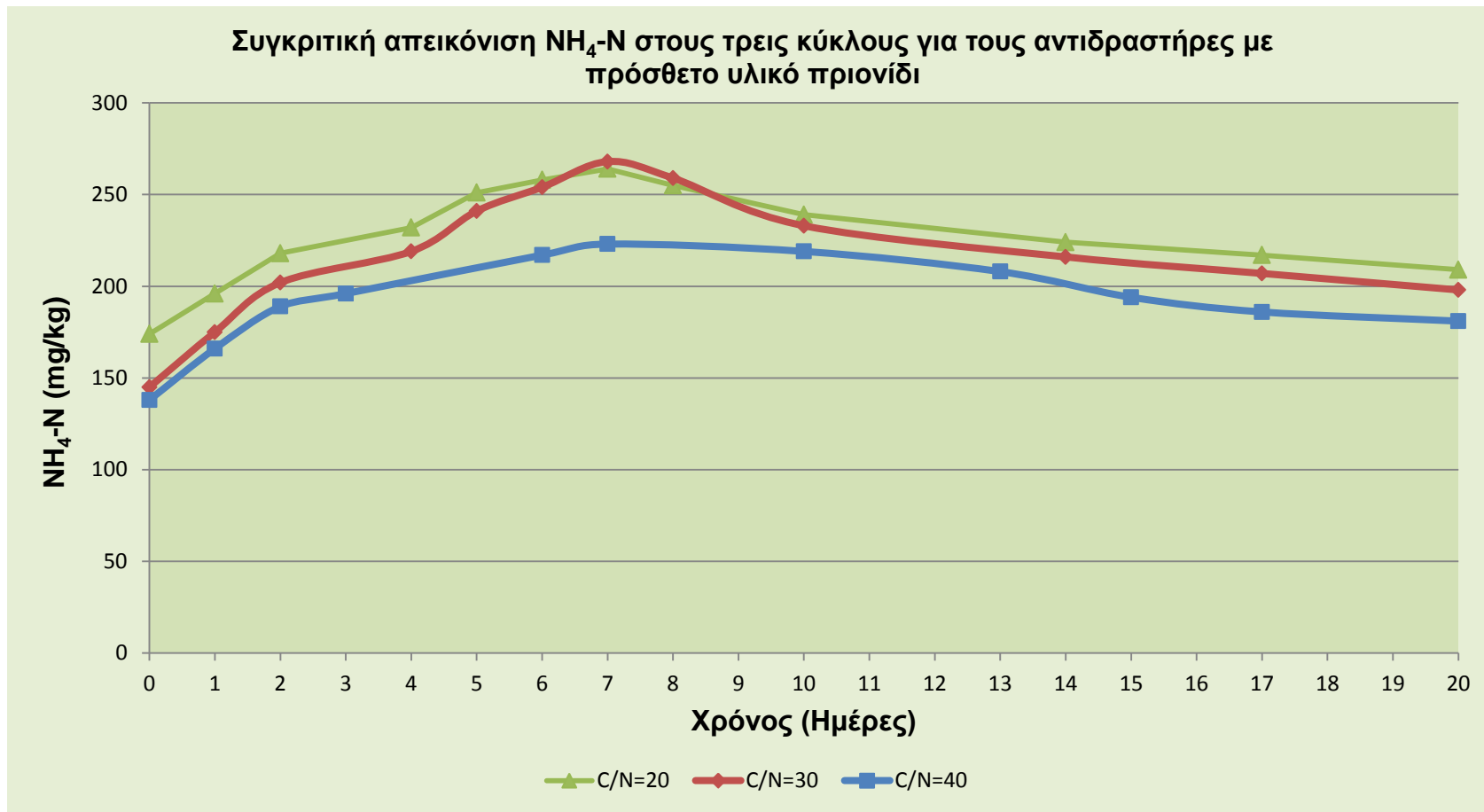
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	112,00	45,00	34,00
	2	186,00	195,00	177,00
	3	248,00	265,00	242,00
	4			286,00
	5	316,00	310,00	
	6	352,00	355,00	
	7	368,00	402,00	378,00
	8	418,00	465,00	425,00
	9	412,00	446,00	
	10			
	11	396,00	414,00	406,00
	12			
	14	374,00	378,00	357,00
	15			
	16			315,00
	18	338,00	321,00	294,00
21	317,00	298,00	266,00	

Πίνακας 6.50 Αμμωνιακά ($NH_4^+ - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους 3 κύκλους

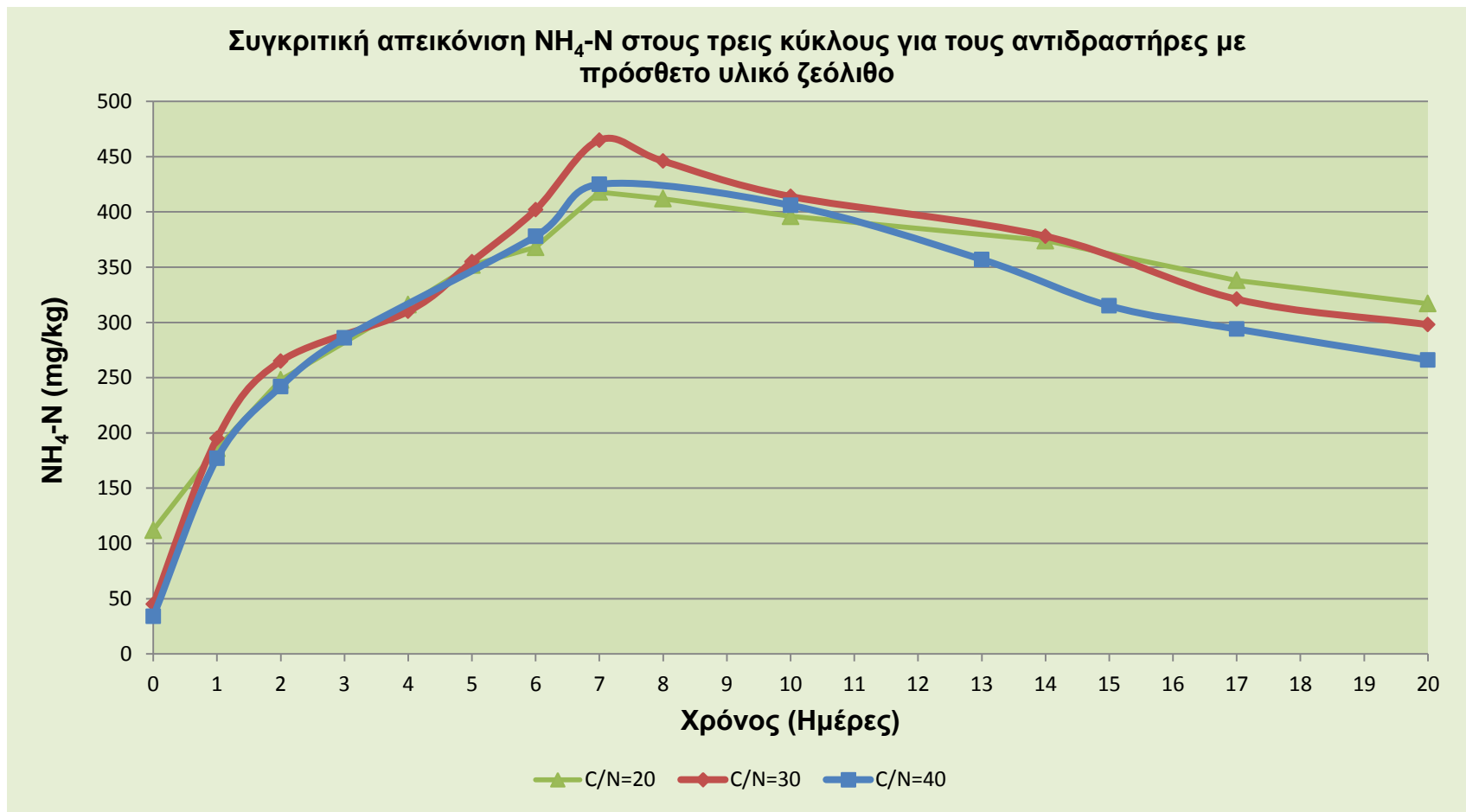
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	86,00	54,00	42,00
	2	245,00	225,00	198,00
	3	336,00	316,00	278,00
	4			314,00
	5	392,00	387,00	
	6	452,00	442,00	
	7	486,00	468,00	404,00
	8	508,00	524,00	458,00
	9	484,00	493,00	
	10			
	11	457,00	465,00	425,00
	12			
	14	433,00	431,00	406,00
	15			
	16			387,00
	18	391,00	387,00	354,00
21	358,00	346,00	321,00	

Πίνακας 6.51 Τιμές αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) ($\frac{mg}{kg}$) για τον αντιδραστήρα του περλίτη σε 3 κύκλους

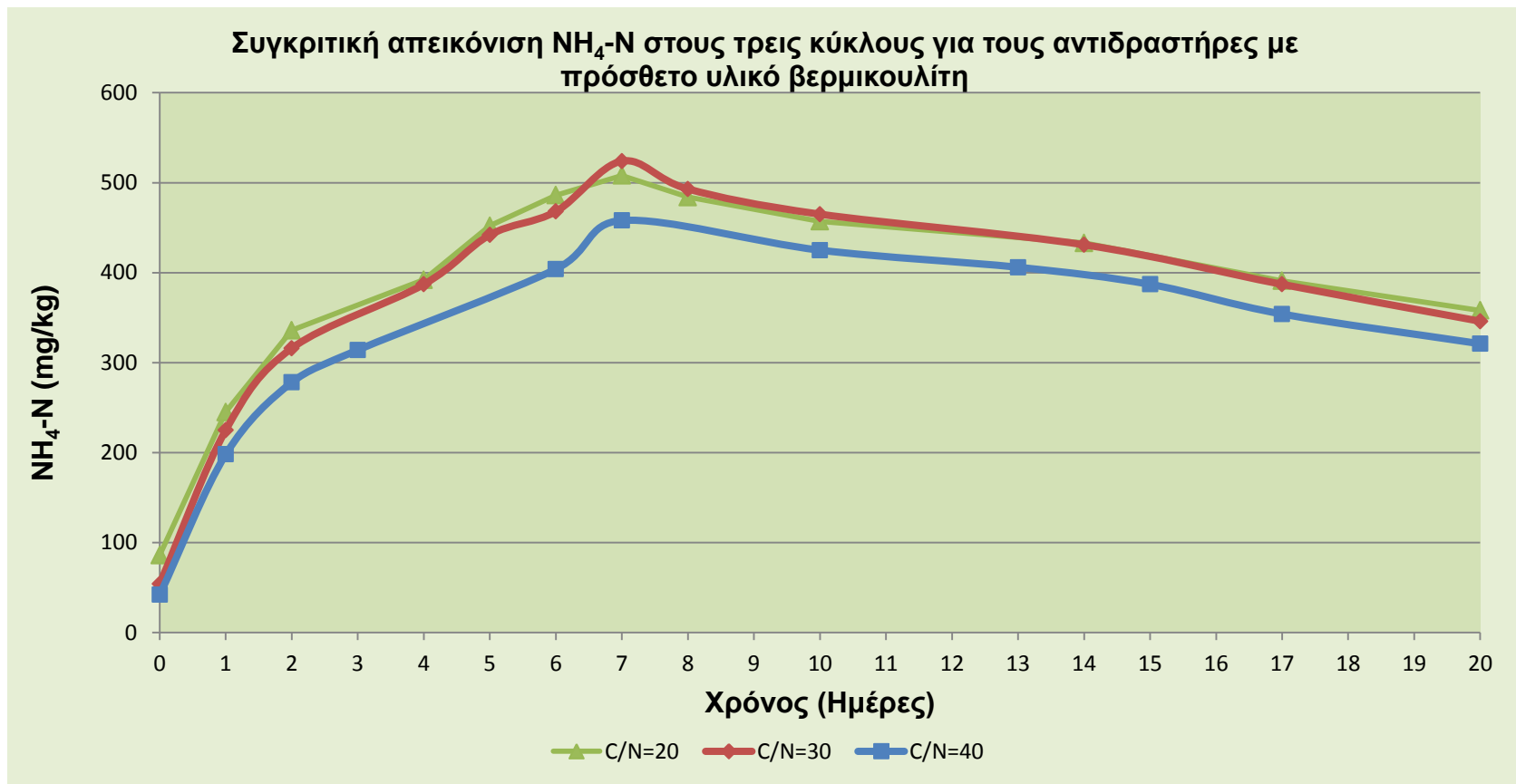
Αντιδραστήρας Περλίτης	Ημέρα	C/N=20	C/N=30	C/N=40
	0	93,00	65,00	59,00
	2	221,00	214,00	182,00
	3	369,00	336,00	297,00
	4			362,00
	5	458,00	445,00	
	6	497,00	482,00	
	7	534,00	515,00	446,00
	8	552,00	569,00	497,00
	9	517,00	534,00	
	10			
	11	476,00	505,00	444,00
	12			
	14	412,00	428,00	428,00
	15			
	16			402,00
	18	368,00	396,00	389,00
21	325,00	362,00	341,00	



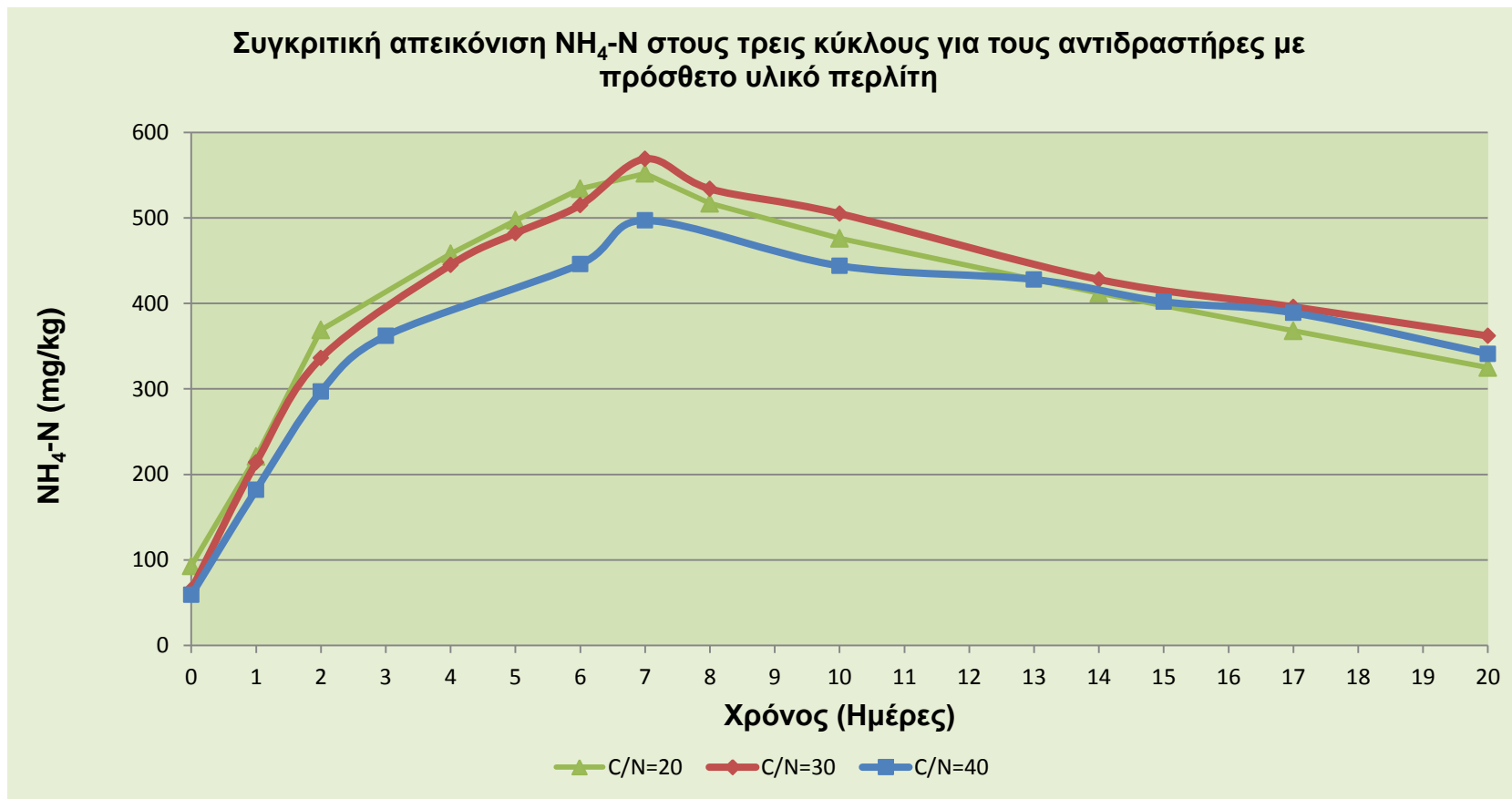
Διάγραμμα 6.44 Συγκριτική απεικόνιση αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) ($\frac{mg}{kg}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι



Διάγραμμα 6.45 Συγκριτική απεικόνιση αμμωνιακών ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) ($\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



Διάγραμμα 6.46 Συγκριτική απεικόνιση αμμωνιακών ($NH_4^+ - N$) ($\frac{mg}{kg}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη



Διάγραμμα 6.47 Συγκριτική απεικόνιση αμμωνιακών ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) ($\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$) στους τρεις κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Εισαγωγή

Μετά την διεξαγωγή των πειραμάτων, στην οποία αναφερθήκαμε λεπτομερώς σε προηγούμενα κεφάλαια, ακολουθεί μια αξιολόγηση του παραγόμενου κόμποστ και παρουσιάζονται δεδομένα που καθορίζουν τον βαθμό ωρίμανσης του τελικού προϊόντος.

7.2 Αξιολόγηση του κόμποστ

Με βάση τη νομοθεσία για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τίθενται προδιαγραφές για την ποιότητα του κόμποστ. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν στα βαρέα μέταλλα, στους οργανικούς ρύπους και στους παθογόνους μικροοργανισμούς.

7.2.1 Βαρέα μέταλλα

Τα επίπεδα συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο προς κομποστοποίηση υλικό είναι κρίσιμης σημασίας για την εξέλιξη της διεργασίας και την τελική ποιότητα του προϊόντος. Δεδομένου ότι κατά την κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα απώλεια μάζας, οι αρχικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων αυξάνονται μετά το πέρας της διεργασίας. Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από την προσθήκη του κόμποστ στο έδαφος με μεγάλη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, είναι δύο, η τοξική επίδραση τους στην ανάπτυξη των φυτών και η μεταφορά των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο και στα ζώα που καταναλώνουν την παραγωγή των φυτών που αναπτύχθηκαν σε αυτά τα εδάφη, δεδομένου ότι τα βαρέα μέταλλα απορροφούνται από τα φυτά και συγκεντρώνονται στους φυτικούς ιστούς.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι το προς κομποστοποίηση υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων με τη χρήση οικιακού κομποστοποιητή προέρχεται από οικιακά απορρίμματα των οποίων η διαλογή έγινε στην πηγή. Η σημαντικότητα της διαλογής στην πηγή στην διεργασία της κομποστοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι η προς κομποστοποίηση πρώτη ύλη έχει σαφώς λιγότερες προσμίξεις από ακαθαρσίες, όπως πλαστικό, γυαλί κλπ αλλά και η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα είναι μικρότερη σε σύγκριση με αυτή του ανακτώμενου ζυμώσιμου υλικού από σύμμεικτα απορρίμματα.

Πραγματοποιήθηκε μία σειρά μετρήσεων συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για τον πρώτο αντιδραστήρα ώστε να επιβεβαιωθεί η απουσία τους από το τελικό προϊόν. Αφού επιβεβαιώθηκε η απουσία τους θεωρήθηκε σκόπιμο να μην επαναληφθούν αναλύσεις βαρέων μετάλλων στους επόμενους αντιδραστήρες.

7.2.2 Οργανικοί ρύποι

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, όταν το προς κομποστοποίηση υλικό προέρχεται από σύμμεικτα απορρίμματα, είναι πολύ πιθανό να περιέχει οργανικούς ρύπους, προερχόμενους από οργανικούς διαλύτες, φυτοφάρμακα ή ακόμη από το μελάνι σε τυπωμένο χαρτί. Στη παρούσα εργασία η διαλογή του υλικού έγινε στην πηγή, γεγονός που αποτρέπει την ύπαρξη οργανικών ρύπων, στο υπόστρωμα, προερχόμενους από οποιαδήποτε άλλη πηγή εκτός των φυτοφαρμάκων, που πιθανόν χρησιμοποιήθηκαν κατά την καλλιέργεια των τροφών. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν αποτέλεσε η μελέτη του τελικού κόμποστ ως προς την περιεκτικότητά του σε οργανικούς ρύπους. Ωστόσο η μελέτη των οργανικών ρύπων είναι σημαντική για την ποιότητα του τελικού προϊόντος και θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο έρευνας σε μία μελλοντική εργασία.

7.2.3 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Μία, επίσης, πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να μελετάται στο τελικό προϊόν, προτού αυτό αποτεθεί στο έδαφος, είναι η ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμοί. Το τελικό προϊόν δε θα πρέπει να περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς, διότι σε αντίθετη περίπτωση δε θα είναι ασφαλής η διάθεσή του. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, το υπόστρωμα δεν είναι επιβαρυνμένο με παθογόνους μικροοργανισμούς, καθώς αποτελείται από οικιακά απορρίμματα, η διαλογή των οποίων έγινε στην πηγή. Ωστόσο, σε περίπτωση ύπαρξης μικρής ποσότητας παθογόνων στο υπόστρωμα, διασφαλίζεται η θανάτωση αυτών, κατά τη διάρκεια της διεργασίας, καθώς σε όλους τους κύκλους η θερμοφιλή φάση διήρκησε τουλάχιστον τρεις ημέρες και η μέγιστη θερμοκρασία ξεπέρασε τους 50 °C. Το γεγονός αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να αποφανθούμε με σιγουριά την απουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο τελικό προϊόν.

7.3 Αξιολόγηση μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων

Πέραν των προδιαγραφών που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση και το κάθε κράτος μέλος για την ποιότητα του τελικού προϊόντος (παθογόνοι μικροοργανισμοί, βαρέα μέταλλα κ.α.), υπάρχουν και άλλοι παράμετροι τόσο φυσικοχημικοί, όπως το pH , η υγρασία, ο λόγος C/N , όσο και βιολογικοί, όπως η φυτοτοξικότητα κ.α., που προσδιορίζονται πειραματικά και διαδραματίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Ως εκ τούτου το παραγόμενο κόμποστ αξιολογείται και βάση των πειραματικών αποτελεσμάτων συγκρίνοντας τα με διεθνή βιβλιογραφία ή με τιμές που έχουν θεσπίσει διάφορες χώρες. Εκτός των ποσοτικών παραμέτρων περιλαμβάνονται και ποιοτικές παράμετροι αξιολόγησης του τελικού προϊόντος όπως η οσμή και το χρώμα. Το σύνολο των παραμέτρων αυτών προσδιορίστηκαν μετά το πέρας 30 ημερών και την ωρίμανση του τελικού προϊόντος.

Χρώμα και οσμή

Το χρώμα και η οσμή του κόμποστ αποτελούν φυσικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος τα οποία δύναται να παρέχουν άμεσα και εύκολα πληροφορίες αναφορικά με το βαθμό ωρίμανσής του. Εντούτοις, οι δείκτες αυτοί είναι ποιοτικοί και περιλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό το υποκειμενικό κριτήριο του αναλυτή. Τα αρχικά οργανικά μίγματα που αποτέλεσαν το υλικό τροφοδοσίας του πειραματικού κύκλου δεν παρουσίαζαν καμία δυσοσμία, καθώς επρόκειτο για τρόφιμα προερχόμενα από διαλογή στην πηγή. Κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας το υπόστρωμα σταδιακά αλλάζει χρώμα, ενώ στο τελικό προϊόν παρατηρείται σκούρα καφετί προς καστανή απόχρωση με ευχάριστη χωμάτινη οσμή χαρακτηριστικά τα οποία είναι ενδεικτικά σε ώριμο κόμποστ. [43]

Υγρασία

Η περιεχόμενη υγρασία στο τελικό προϊόν αποτελεί μια βασική φυσική παράμετρο αξιολόγησης του κόμποστ. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία στο κόμποστ δυσκολεύει την ενσωμάτωσή του στο έδαφος ενώ ενδέχεται να αποκρύψει τη βιολογική του σταθερότητα.[42],[44] Αντίθετα, υπερβολικά υψηλή περιεχόμενη υγρασία έχει παρατηρηθεί ότι διεγείρει τη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος δρώντας ανταγωνιστικά ως προς τους φυτικούς μικροοργανισμούς, ενώ παράλληλα δυσχεραίνει τις διεργασίες του χειρισμού, της μεταφοράς και της διάθεσής του. Επιπλέον η περιεχομένη υγρασία επηρεάζει τη φαινομενική πυκνότητα (bulk density)

του κόμποστ και κατ' επέκταση το κόστος μεταφοράς. Η ιδανική τιμή της περιεχόμενης υγρασίας στο τελικό προϊόν σύμφωνα με την βιβλιογραφία [44] κυμαίνεται μεταξύ 40% και 60% καθώς έτσι διασφαλίζεται περιορισμένη μικροβιακή δραστηριότητα, γεγονός επιθυμητό όταν γίνεται εναπόθεση κόμποστ στο έδαφος, ενώ σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 25% καθότι δεν μπορεί να αποθεθεί εύκολα στο έδαφος. Οι καταγεγραμμένες πειραματικές τιμές κυμαίνονται από 49,88% μέχρι 60,15% γεγονός που οφείλεται στην υψηλή αρχική υγρασία των υλικών τροφοδοσίας. Επομένως το τελικό μας προϊόν βρίσκεται εντός προδιαγραφών.

pH

Το pH του παραγόμενου κόμποστ αποτελεί μια επιπλέον φυσική παράμετρο αξιολόγησης του τελικού προϊόντος. Η σημαντικότητα ελέγχου του pH στο κόμποστ αφορά στην επίδρασή του στο pH του εδάφους και κατ' επέκταση στη διαθεσιμότητα των χημικών ενώσεων στους φυτικούς οργανισμούς. Η επίδραση της εναπόθεσης κόμποστ στο pH του εδάφους επηρεάζεται από παραμέτρους όπως η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, το pH του κόμποστ, η ποσότητα του κόμποστ που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί και το βαθμό ανάμιξής του με το έδαφος καθώς και από το ρυθμό βιοαποδόμησης του κόμποστ κατά τη διάθεσή του. Αναφορικά με το κόμποστ που προέκυψε από τη διεργασία του πειραματικού κύκλου της κομποστοποίησης, το τελικό προϊόν εμφανίζεται να έχει ελαφρώς βασικές τιμές. Αναλυτικότερα το pH λαμβάνει 8,06-9,06. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία το προτεινόμενο εύρος του pH στο τελικό κόμποστ είναι μεταξύ 6.0-8.5.[26],[45] Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι το παραγόμενο κόμποστ παρουσιάζει επιθυμητό εύρος τιμών αναφορικά με το pH και δεν ενδέχεται να επιδράσει αρνητικά στο περιβάλλον κατά την εναπόθεση του στο έδαφος με εξαίρεση το κόμποστ που παράχθηκε από διεργασίες με πρόσθετο μόνο πριονίδι. Το pH στις περιπτώσεις αυτές έχει οριακές τιμές για εναπόθεση του κόμποστ στο έδαφος.

Αναλογία C/N

Η αναλογία C/N χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές ως μία από τις βασικές χημικές παραμέτρους ελέγχου και αξιολόγησης της ποιότητας του τελικού προϊόντος καθότι ο άνθρακας και το άζωτο αποτελούν τα πλέον σημαντικά στοιχεία αναφορικά με τη θρεπτική αξία του κόμποστ. Υψηλές αναλογίες C/N του παραγόμενου κόμποστ

στο έδαφος αναμένεται να προκαλέσει ακινητοποίηση του αζώτου και κατ' επέκταση ενσωμάτωση του ανόργανου αζώτου στη μικροβιακή. Αντίθετα, αρκετά χαμηλές αναλογίες C/N στο κόμποστ δύναται να διαμορφώσουν τοξικές συνθήκες στους μικροοργανισμούς λόγω της παρουσίας αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνιακών που προέρχονται από την ανοργανοποίηση της περίσσειας αζώτου. Τα όρια που θέτει η διεθνής βιβλιογραφία για την παράμετρο αυτή είναι 10 – 20. Στο κόμποστ που προέκυψε από τον πειραματικό ο λόγος C/N έχει τελικές τιμές, μετά την ωρίμανση, που κυμαίνονται από 9,89-18,55 και ως εκ τούτου αναμένεται να διαμορφώσει ευνοϊκές συνθήκες αναφορικά με τους μηχανισμούς του αζώτου κατά την εναπόθεσή του..[25], [40], [46]

Αμμωνιακά και νιτρικά

Σημαντικός δείκτης ποιότητας και αξιολόγησης του τελικού προϊόντος αποτελεί η αναλογία αμμωνιακών προς νιτρικά ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$). Μάλιστα σύμφωνα με τη βιβλιογραφία εφόσον το άθροισμα των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών και των νιτρικών του δείγματος είναι μεγαλύτερο από $250 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dm}$ ο δείκτης $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ θεωρείται πιο αξιόπιστος από την αναλογία C/N για τον καθορισμό της ποιότητας του τελικού προϊόντος.[7],[25]

Ως γενικός δείκτης ωρίμανσης του κόμποστ ορίζονται λόγοι $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ μικρότεροι του 1.0. Αναφορικά με τον παρόντα πειραματικό κύκλο, το παραγόμενο κόμποστ, παρουσιάζει αναλογία $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ που κυμαίνεται από 0,63-0,77, με εξαίρεση τον αντιδραστήρα όπου πραγματοποιήθηκε προσθήκη μόνο πριονιδίου, όπου ο αντίστοιχος λόγος παρουσιάζει τιμή 2,03.Επομένως οι αναλογίες $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ των προϊόντων όπου έγινε χρήση ορυκτών εμπίπτουν στο εύρος τιμών που ορίζεται για το ώριμο κόμποστ, ενώ οι αναλογία στον αντιδραστήρα με σκέτο πριονίδι ως πρόσθετο είναι αρκετά έξω από τα όρια, όσον αφορά σε κόμποστ καλής ποιότητας.[47]

Έτσι, το τελικό προϊόν (μέτρηση την 50^η ημέρα) σε όλους τους κύκλους πειραμάτων, βρίσκεται εντός των ορίων που θέτει η διεθνής βιβλιογραφία, για όλες τις βασικές παραμέτρους, που προσδιορίστηκαν πειραματικά. Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας που παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του τελικού κόμποστ που προέκυψε, μετά το πέρας 50 ημερών από την πλήρωση των κάδων, από τον παρόντα πειραματικό κύκλο με αρχικό λόγο C/N=20, καθώς και από τους προηγούμενους πειραματικούς κύκλους με αρχικό λόγο C/N=30 και C/N=40.

Πίνακας 6.52 Πειραματικά αποτελέσματα στο ώριμο κόμποστ (50 ημέρες από την έναρξη της διεργασίας)

Πειραματικός κύκλος με C/N=20				
Μέτρηση 50 ημερών	Αντιδραστήρας Πριονίδι	Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας Περλίτης
pH	9,06	8,14	8,12	8,06
% υγρασία	60,15	49,88	51,48	54,36
Λόγος C/N	18,55	9,89	10,15	10,36
Λόγος NH_4^+ / NO_3^-	2,03	0,77	0,74	0,63
Πειραματικός κύκλος με C/N=30				
Μέτρηση 50 ημερών	Αντιδραστήρας Πριονίδι	Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας Περλίτης
pH	8,55	7,73	7,86	7,77
% υγρασία	58,48	52,21	51,46	53,91
Λόγος C/N	20,06	10,92	10,75	11,07
Λόγος NH_4^+ / NO_3^-	1,85	0,64	0,59	0,69
Πειραματικός Κύκλος με C/N=40				
Μέτρηση 50 ημερών	Αντιδραστήρας Πριονίδι	Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας Περλίτης
pH	8,47	7,82	7,97	7,92
% υγρασία	59,73	53,32	52,97	55,67
Λόγος C/N	20,21	10,38	9,17	8,96
Λόγος NH_4^+ / NO_3^-	1,78	0,69	0,66	0,7

Μακροστοιχεία

Η σημαντικότητα ελέγχου της περιεκτικότητας των μακροστοιχείων στο κόμποστ έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούν το βασικό παράγοντα της θρεπτικής αξίας του τελικού προϊόντος για την εναπόθεσή του, καθότι κάθε φυτικός οργανισμός απαιτεί συγκεκριμένες ποσότητες σε θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξή του. Τα στοιχεία αυτά που απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα φυτά είναι τα μακροστοιχεία με κυρίαρχα, κατά σειρά προτεραιότητας, το άζωτο το φώσφορο και το κάλιο. Επιπλέον το μαγνήσιο είναι εξίσου σημαντικό για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών, μαζί με άλλα ιχνοστοιχεία (Na, Ca), αλλά χρησιμοποιούνται σε μικρότερες ποσότητες. Η περιεκτικότητα του κόμποστ σε μακροστοιχεία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την τελική του χρήση. Εντούτοις, κόμποστ με χαμηλή ποσότητα σε θρεπτικά συστατικά (κυρίως άζωτο, φώσφορο ή κάλιο) παρουσιάζουν μειωμένη θρεπτική αξία με αποτέλεσμα είτε να χρειάζονται μεγάλες ποσότητες χρήσης αυτού είτε να γίνεται η συμπλήρωση των αναγκαίων ποσοτήτων από χημικά λιπάσματα. [7] Αντίθετα, η εναπόθεση κόμποστ με υψηλή περιεκτικότητα μακροστοιχείων δύναται να δημιουργήσει συνθήκες οι οποίες μπορούν να επιβαρύνουν το περιβάλλον με ενδεχόμενη αποστράγγιση – εκχύλιση αυτών και τη ρύπανση παρακείμενων υδατικών οικοσυστημάτων (υπόγειων ή επιφανειακών).

Άζωτο

Το άζωτο αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών και η σημαντικότητά του έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί βασικό στοιχείο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών. Το άζωτο είναι διαθέσιμο στα φυτά σε ανόργανες μορφές με κυρίαρχες αυτές των αμμωνιακών και των νιτρικών. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αζώτου στο κόμποστ είναι δεσμευμένο στα οργανικά μόρια και η διαθεσιμότητά του κατά την εναπόθεσή του στο έδαφος εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο οι μικροοργανισμοί το διασπούν προς ανόργανα συστατικά. Επομένως, η διαθεσιμότητα του αζώτου από το κόμποστ στα φυτά δεν είναι άμεση όπως γίνεται στην περίπτωση των ανόργανων χημικών λιπασμάτων γεγονός που καθιστά το κόμποστ ως επιθυμητό καθότι η απελευθέρωση αζώτου επιτυγχάνεται με βραδύτερο ρυθμό.[7]. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η περιεκτικότητά του πρέπει να κυμαίνεται από 1.0 έως 4.5% [48]. Το περιεχόμενο ολικό άζωτο του κόμποστ που προέκυψε σε όλους τους αντιδραστήρες καταγράφει τιμές μεταξύ 2,19-2,68 % dm. Οι τιμές αυτές οφείλονται

στην μεγαλύτερη ποσότητα σε τροφές πλούσιες σε αζωτούχες ενώσεις (όσπρια). Υψηλότερες τιμές παρουσιάζει ο αντιδραστήρας όπου χρησιμοποιήθηκε ζεόλιθος ως πρόσθετο, λόγω της γνωστής ιδιότητας του ζεόλιθου να δεσμεύει τις μορφές αζώτου στο εσωτερικό του, με αποτέλεσμα να περιορίζει τις απώλειές του. Συμπερασματικά το παραγόμενο κόμποστ εμφανίζεται πλούσιο σε ολικό άζωτο σε όλους τους αντιδραστήρες συγκριτικά με τις ενδεικτικές προδιαγραφές περιεκτικότητας σε ολικό άζωτο.

Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο απαιτείται από τους φυτικούς μικροοργανισμούς σε μικρότερες ποσότητες απ' ό τι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο, αλλά είναι εξίσου σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη τους. Η λειτουργία της φωτοσύνθεσης καθώς και η δραστηριότητα βασικών ενζύμων υπεύθυνα για το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών εξαρτώνται από την παρουσία του μαγνησίου. Η πιο συνήθης μορφή του στο έδαφος είναι ο δολομίτη ($CaCO_3MgCO_3$). Η ιοντοεναλλάξιμη μορφή του μαγνησίου (Mg^{2+}) έχει άμεση σχέση με τη θρέψη των φυτών. Το περιεχόμενο μαγνήσιο του κόμποστ που προέκυψε από όλους τους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές 0,47-3,15% dm. Οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στα κόμποστ που προστέθηκε ως πρόσθετο το ορυκτό βερμικουλίτης. Ο βερμικουλίτης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο (12%κ.β.), και είναι πιθανό ένα μέρος από το ποσοστό αυτό να το απελευθερώνει στο κόμποστ. Το παραγόμενο κόμποστ με τη χρήση του συστήματος κομποστοποίησης παρουσιάζεται πλούσιο σε μαγνήσιο και εμπίπτει σε όλες τις περιπτώσεις στο ενδεικτικό εύρος τιμών όπως αυτό παρατίθεται από τη βιβλιογραφία σύμφωνα με την οποία ενδεικτικές τιμές μαγνησίου στο κόμποστ είναι 0.3-3.0% MgO dm. [46]

Ασβέστιο

Το ασβέστιο είναι απαραίτητο συστατικό της κυτταρικής μεμβράνης και η παρουσία του κρίνεται σημαντική στο σχηματισμό νέων κυττάρων. Τα ιόντα ασβεστίου βρίσκονται στο έδαφος υπό μορφή $CaCO_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Το $CaCO_3$ που θεωρείται η κύρια πηγή ιόντων Ca^{2+} , είναι ένα δυσδιάλυτο ορυκτό. Παρουσία όμως CO_2 , η διαλυτότητα του αυξάνεται σημαντικά. Κυρίως τα ιόντα ασβεστίου έχουν άμεση σχέση με τη ρύθμιση του pH του εδάφους. Υψηλές, όμως, συγκεντρώσεις έχουν αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση του pH και την καταστροφή του φυτού. Η

συγκέντρωση *Ca* για όλους τους αντιδραστήρες έχει μικρές αποκλίσεις και κυμαίνεται από 1,3% έως 1,97% με μεγαλύτερη συγκέντρωση στον αντιδραστήρα του ζεόλιθου. Σχεδόν όλες οι μετρούμενες τιμές είναι σύμφωνες με τη διεθνή βιβλιογραφία (1.5-10.0% CaO dm).[46]

Κάλιο

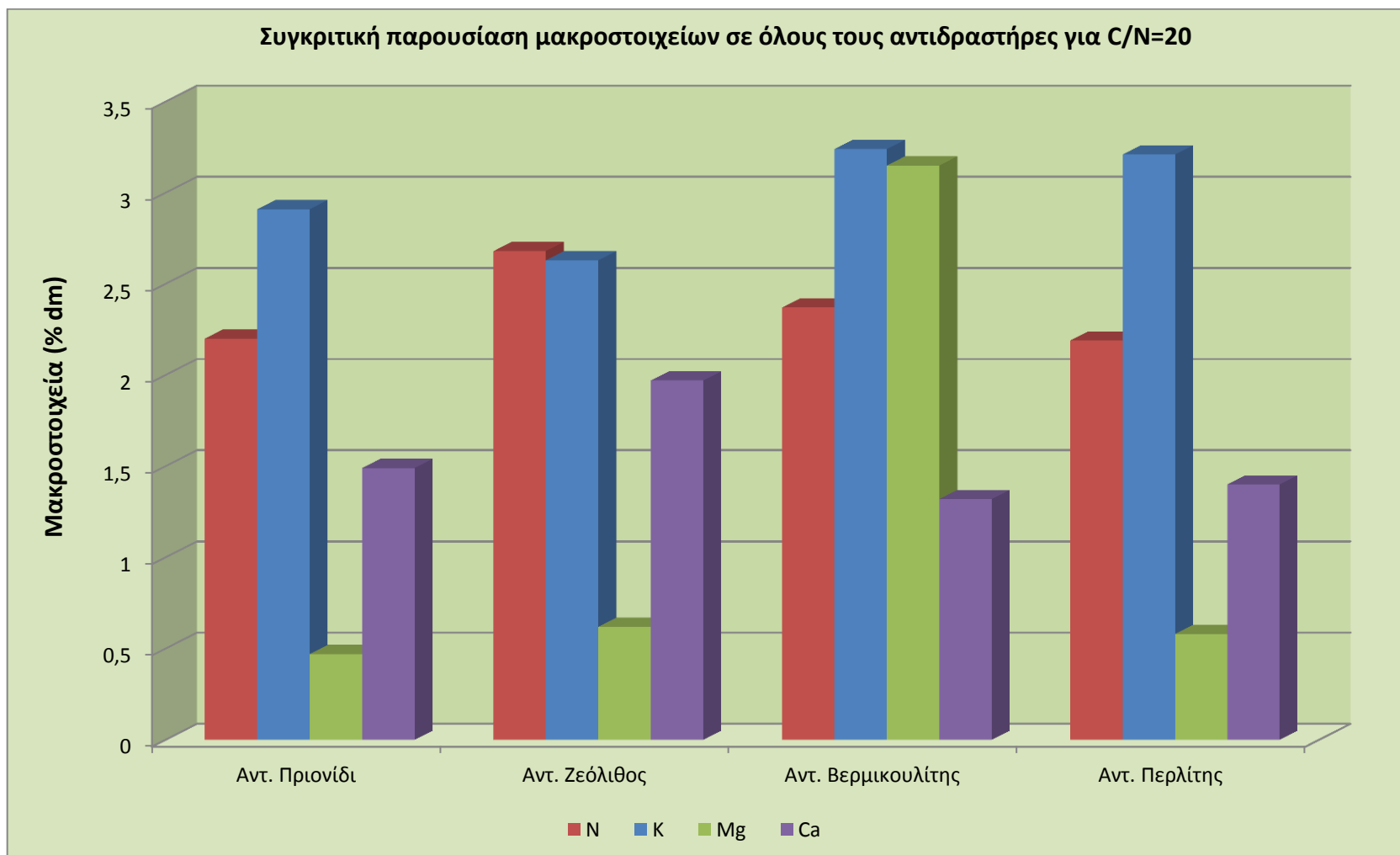
Το κάλιο είναι το τρίτο κατά σειρά μακροστοιχείο ως προς το επίπεδο αναγκαιότητας για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών μετά το άζωτο και το φώσφορο, καθότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα βασικών λειτουργιών των ενζύμων. Η σημαντικότητα στα φυτά έγκειται περισσότερο στη σύνθεση αμινοξέων και πρωτεϊνών καθώς και στη διεργασία της φωτοσύνθεσης. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [46] ενδεικτικές τιμές για περιεκτικότητα καλίου είναι το εύρος τιμών από 0.45-1.80% K₂O dm, ενώ το ελάχιστο ποσοστό ορίζεται ίσο με 0.30% K₂O dm. Οι συγκεντρώσεις του *K* στους αντιδραστήρες κυμαίνεται από 2,63% έως 3,24%. Τα μεγαλύτερα επίπεδα *K* στους αντιδραστήρες βερμικουλίτη και περλίτη ενδεχομένως να οφείλονται στην μεγαλύτερη προσθήκη υλικού. Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρείται ότι το κόμποστ που προκύπτει είναι εμπλουτισμένο σε κάλιο λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των τροφών που αποτελούν τον αρχικό υπόστρωμα, με κύριες πηγές τα λαχανικά και τα φρούτα.

Συνολικά παρατηρείται ότι το ποσοστό των μακροστοιχείων στο τελικό προϊόν και στους τέσσερις αντιδραστήρες, είναι εντός ορίων, διασφαλίζοντας την ύπαρξη σημαντικής ποσότητας θρεπτικών συστατικών σε αυτό.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα αναφορικά με την περιεκτικότητα του παραγόμενου κόμποστ σε άζωτο, κάλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο στον παρόντα πειραματικό κύκλο αλλά και στους 2 προγενέστερους πειραματικούς κύκλους και παρατίθεται αντίστοιχο διάγραμμα για τον παρόντα πειραματικό κύκλο.

6.53 Πειραματικά αποτελέσματα μακροστοιχείων (%dm) στο ώριμο κόμποστ (50 ημέρες από την έναρξη της διεργασίας)

Πειραματικός κύκλος με C/N=20				
Μακροστοιχεία(%dm)	Αντιδραστήρας Πριονίδι	Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας Περλίτης
N	2,2	2,68	2,37	2,19
K	2,91	2,63	3,24	3,21
Mg	0,47	0,62	3,15	0,58
Ca	1,49	1,97	1,32	1,40
Πειραματικός κύκλος με C/N=30				
Μακροστοιχεία(%dm)	Αντιδραστήρας Πριονίδι	Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας Περλίτης
N	1,97	2,57	2,06	2,1
K	2,93	2,66	3,42	3,57
Mg	0,41	0,56	3,97	0,43
Ca	1,46	2,08	1,26	1,35
Πειραματικός κύκλος με C/N=40				
Μακροστοιχεία(%dm)	Αντιδραστήρας Πριονίδι	Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας Περλίτης
N	1,82	2,46	2,42	2,16
K	3,99	3,15	3,93	4,18
Mg	0,95	0,84	2,97	0,64
Ca	1,96	2,15	1,28	1,56



Διάγραμμα 6.48 Συγκριτική απεικόνιση των μακροστοιχείων (%dm) στους 4 αντιδραστήρες

Φυτοτοξικότητα

Με τον όρο φυτοτοξικότητα εννοείται η παρουσία στο κόμποστ τοξινών που είναι επιβλαβείς για την ισόρροπη και ανεμπόδιστη ανάπτυξη των φυτών. Ο προσδιορισμός της φυτοτοξικότητας στο τελικό προϊόν δείχνει εάν αυτό έχει σταθεροποιηθεί πλήρως και επιπλέον εάν οι διεργασίες κομποστοποίησης έχουν εξελιχθεί ομαλά. Οι φυτοτοξίνες είναι δυνατόν να προκαλέσουν την καταστροφή των ριζικών συστημάτων των φυτών, όταν μη σταθεροποιημένο κόμποστ έρθει άμεσα σε επαφή με το έδαφος. Η φυτοτοξικότητα μπορεί να προκύψει από την παρουσία βαρέων μετάλλων, από ανόργανα στοιχεία, διαλυτά άλατα και οργανικές ενώσεις. Επίσης φυτοτοξικές ενώσεις κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης μπορούν να δημιουργηθούν ως αποτέλεσμα αναερόβιων συνθηκών, οι οποίες απορρέουν από ανεπαρκή αερισμό ή υπερβολική υγρασία. Ένα αποτέλεσμα του αναερόβιου μεταβολισμού είναι η παραγωγή οργανικών οξέων με μικρό μοριακό βάρος, όπως είναι το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ. Η φυτοτοξικότητα που προκαλείται από οργανικές ενώσεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης μπορεί να αντιμετωπιστεί αυξάνοντας τη περίοδο της αερόβιας αποδόμησης. [18]

Από τις επικρατέστερες βιολογικές μεθόδους αξιολόγησης του τελικού προϊόντος, η συνηθέστερη και πιο συχνά αναφερόμενη στη διεθνή βιβλιογραφία είναι ο προσδιορισμός του επιπέδου της φυτοτοξικότητας του κόμποστ με τη χρήση του Δείκτη Βλαστικότητας (Δ.Β.). Ο προσδιορισμός του Δ.Β. έγκειται στην ποσοτικοποίηση της ανάπτυξης επιλεγμένων καρπών κατά τη χρήση υγρού εκχυλίσματος του κόμποστ σε σύγκριση με την ανάπτυξη των καρπών σε τυφλό δείγμα (συνήθως απιονισμένο νερό). Ο Δ.Β. επιτρέπει τον υπολογισμό τόσο της επίδρασης χαμηλών επιπέδων φυτοτοξικότητας, η οποία επηρεάζει το βαθμό ανάπτυξης των ριζών του καρπού, όσο και την επίδραση υψηλών επιπέδων φυτοτοξικότητας η οποία επηρεάζει τη βλαστικότητα των καρπών. [7]

Για τον προσδιορισμό του Δείκτη Βλαστικότητας των παραγόμενων κόμποστ χρησιμοποιήθηκαν δέκα διαφορετικά είδη σπόρων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι σπόροι από κρεμμύδι, μαρούλι *Tinella*, σπανάκι, μαρούλι *Parris Island Cos*, τομάτα Βιομηχ. *Rio Grande*, αγγούρι, τομάτα Μεσογειακή, καρότο, αγγούρι *Mini Safaa F1*

και φασόλι μαυρομάτικο. Ο σπόρος που χρησιμοποιείται διεθνώς για την εύρεση του Δείκτη Βλαστικότητας (Δ.Β.) είναι το μαρούλι.

Ο χαρακτηρισμός των ορίων του δείκτη βλαστικότητας που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

$0 < Δ.Β. < 25 \rightarrow$ πολύ φυτοτοξικό

$26 < Δ.Β. < 65 \rightarrow$ φυτοτοξικό

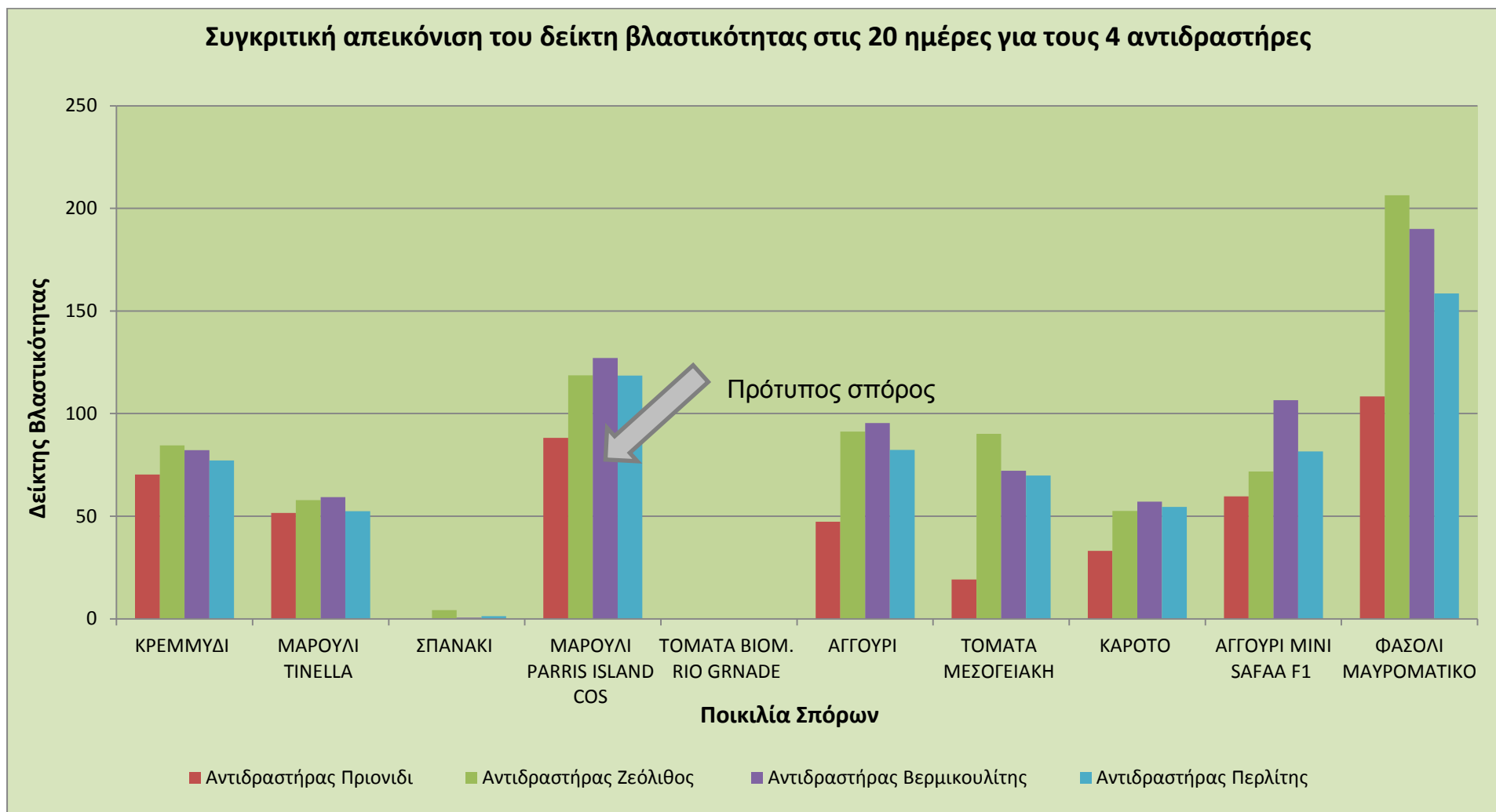
$66 < Δ.Β. < 100 \rightarrow$ μη φυτοτοξικό

$Δ.Β. > 101 \rightarrow$ φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό

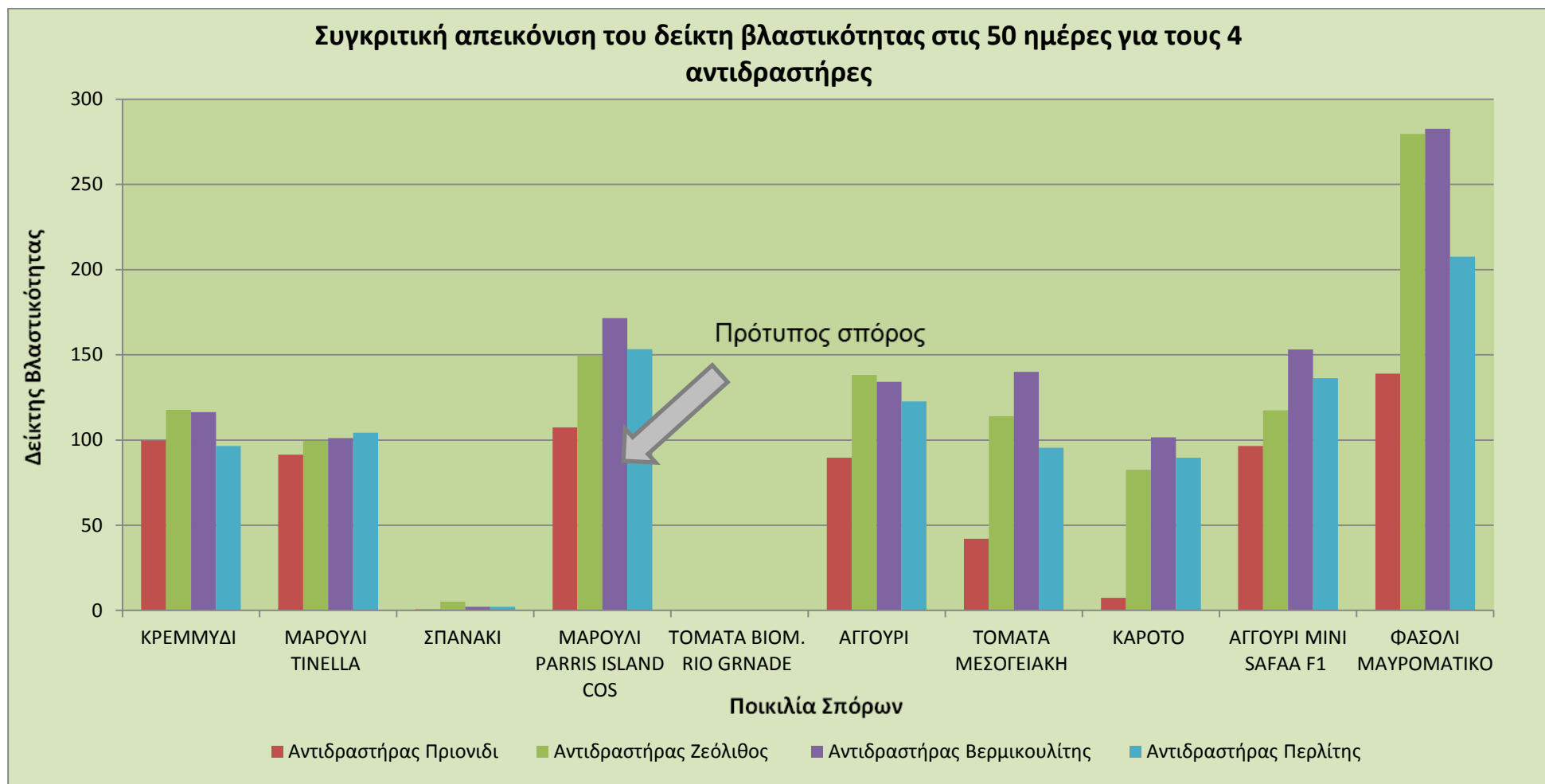
Παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλους τους σπόρους, την ημέρα αφαίρεσης του υλικού από τους αντιδραστήρες, το κόμποστ είναι μη τοξικό και σε αρκετούς από αυτούς (μαρούλι parris island cos, αγγούρι, φασόλι μαυρομάτικο και φασόλι ζαργάνα βυσσινί) είναι φυτοθρεπτικό. Η φυτοτοξικότητα βελτιώνεται αισθητά σχεδόν σε όλους τους σπόρους μετά το πέρας 50 ημερών, όπου για τους περισσότερους σπόρους το κόμποστ είναι πλέον φυτοθρεπτικό, ενώ έχουν βλαστήσει ακόμα και σπόροι που δε βλάστησαν στις 20 ημέρες από την έναρξη της διεργασίας. Παράλληλα η προσθήκη ορυκτών βελτίωσε σημαντικά το δείκτη βλαστικότητας σχεδόν σε όλους τους σπόρους. Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στις ποικιλίες φασολιού, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μεγαλύτερη περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε άζωτο. Πρέπει να τονισθεί ότι η πρότυπη φυτοθρεπτική ικανότητα του τελικού παραγόμενου προϊόντος, εξετάζεται με τη χρήση σπόρου μαρούλι Parris Island Cos. Ο πειραματικός προσδιορισμός της φυτοτοξικότητας του τελικού προϊόντος για τους υπόλοιπους σπόρους, πραγματοποιήθηκε για την εύρεση αυτών για τους οποίους το παραγόμενο κόμποστ είναι κατάλληλο για χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό. Η μη ανάπτυξη συγκεκριμένων βλαστών με τη χρήση του κόμποστ δεν συνεπάγεται τον χαρακτηρισμό του ως φυτοτοξικό αλλά επισημαίνει το γεγονός ότι η βλαστικότητα δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του κόμποστ αλλά και από τον τύπο του βλαστού που χρησιμοποιείται.[23]

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται ο δείκτης βλαστικότητας για όλους τους σπόρους στις είκοσι και στις πενήντα μέρες. Ο πρότυπος σπόρος που χρησιμοποιείται διεθνώς έχει σημειωθεί με τη βοήθεια βέλους επάνω στο γράφημα.

Συγκριτική απεικόνιση του δείκτη βλαστικότητας στις 20 ημέρες για τους 4 αντιδραστήρες



Διάγραμμα 6.49 Συγκριτική απεικόνιση του δείκτη βλαστικότητας στις 20 ημέρες για τους 4 αντιδραστήρες



Διάγραμμα 6.50 Συγκριτική απεικόνιση του δείκτη βλαστικότητας στις 50 ημέρες για τους 4 αντιδραστήρες

7.4 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των επιμέρους πειραματικών αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα τόσο για τη διεργασία της κομποστοποίησης, όπως αυτή αναπτύχθηκε στον παρόντα πειραματικό κύκλο με τη χρήση του πρότυπου οικιακού κομποστοποιητή, όσο και για την ποιότητα του προϊόντος που παράγεται. Επιπλέον, εξάγονται συμπεράσματα για το λόγο C/N και την αναλογία του υποστρώματος προς κομποστοποίηση, αλλά και για την επίδραση των πρόσθετων στην οικιακή κομποστοποίηση με σκοπό τη βελτίωση της διεργασίας και της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ. Συνοπτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- Από την πειραματική διαδικασία συμπεραίνουμε ότι στον παρόντα πειραματικό κύκλο, που πραγματοποιήθηκε με σταθερό αρχικό λόγο $C/N=20$, οι διεργασίες της κομποστοποίησης εκτελέστηκαν ικανοποιητικά με αποτέλεσμα την παραγωγή τελικού προϊόντος που βρίσκεται εντός των προδιαγραφών που ορίζονται από την βιβλιογραφία και που διαθέτει τις απαιτούμενες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες για το χαρακτηρισμό του ως ώριμο και σταθεροποιημένο κόμποστ το οποίο μπορεί να διατεθεί με ασφάλεια σε γεωργικές καλλιέργειες. Ωστόσο, βάσει της σύγκρισης του παρόντος πειραματικού κύκλου με τους προγενέστερους πειραματικούς κύκλους με διαφορετικό σταθερό αρχικό λόγο C/N , παρατηρείται ότι στο υπόστρωμα με σταθερό αρχικό λόγο $C/N=40$ οι διεργασίες τελούνται σε ικανοποιητικότερο βαθμό, ενώ ο βέλτιστος βαθμός εξέλιξης της διεργασίας παρατηρείται για αρχικό λόγο C/N κοντά στο 30.
- Στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι παρατηρείται μια πορεία που δεν δικαιολογεί την ορθή διεργασία της βιοαποδόμησης. Πιθανά να δημιουργήθηκαν αναερόβιες διεργασίες. Αυτό γίνεται εμφανές κυρίως από τα διαγράμματα του ολικού οργανικού άνθρακα και των αμμωνιακών. Παρόλα αυτά, μετά την ωρίμανση του είναι μη τοξικό αλλά δεν έχει τις ιδιότητες του κόμποστ με πρόσθετα ορυκτά.
- Ως προς την ποιότητα του τελικού προϊόντος εξάγεται το συμπέρασμα ότι σε όλους τους αντιδραστήρες οικιακής κομποστοποίησης με τη χρήση του πρότυπου αντιδραστήρα παράγεται υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό, οι ιδιότητες του οποίου βελτιώνονται περαιτέρω με την προσθήκη φυσικών ορυκτών.

- Η θερμοκρασία και η διάρκεια της θερμοφίλης φάσης, που επετεύχθη και για τους 4 αντιδραστήρες κρίνεται ικανοποιητική και δεν αναμένονται παθογόνοι μικροοργανισμοί, αφού τα οργανικά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν συνίστανται από οικιακά απορρίμματα και αναπτύχθηκε υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 50°C).
- Σύμφωνα με το προφίλ της θερμοκρασίας που παρουσιάστηκε διακρίνονται οι διαφορετικές φάσεις της διεργασίας της κομποστοποίησης, η 1^η μεσόφιλη, θερμοφίλη και εν συνεχεία η 2^η μεσόφιλη. Διαπιστώνεται ότι η βασική διεργασία της κομποστοποίησης (θερμοφίλη φάση) ολοκληρώνεται στις 20 πρώτες μέρες της διεργασίας. Επομένως μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το υλικό μπορεί να συλλεχθεί από τον αντιδραστήρα ύστερα από το πέρας 18 ημερών και η φάση της ωρίμανσης μπορεί να λάβει χώρα εκτός αντιδραστήρα αυξάνοντας την δυναμικότητα του ως προς την διαχείριση της οργανικής ύλης.
- Η εξέλιξη της υγρασίας αλλά και οι αρχικές τιμές του υποστρώματος για όλους τους αντιδραστήρες διασφαλίζουν το βέλτιστο περιβάλλον ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ποσοστά υγρασίας στη μέτρηση των 50 ημερών παραμένουν σε υψηλά επίπεδα για το λόγο αυτό συνίσταται το παραγόμενο κόμποστ να αφηθεί εκτός αντιδραστήρα για περαιτέρω μείωση της υγρασίας και της σταθεροποίησης του. Εξάιρεση αποτελούν οι τιμές υγρασίας του αντιδραστήρα με πρόσθετο υλικό πριονίδι λόγω πιθανής ύπαρξης αναερόβιων συνθηκών.
- Το *pH* σε όλους τους αντιδραστήρες ακολουθεί πορεία που υποδεικνύει τη σωστή εξέλιξη της διεργασίας της κομποστοποίησης. Αρχικά παρουσιάζεται πτώση του *pH*, λόγω του σχηματισμού οργανικών οξέων από τη διάσπαση των οργανικών ενώσεων, και εν συνεχεία αυξάνεται λόγω της διάσπασης των οργανικών οξέων σε απλούστερες ενώσεις και την παράλληλη έκλυση αμμωνίας. Προς το τέλος της διεργασίας το ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον που έχει διαμορφωθεί, τείνει προς πιο ουδέτερες τιμές ενδεικτικό της μετάβασης στη φάση ωρίμανσης. Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο πριονίδι έχουν υψηλότερες τιμές *pH* λόγω αναερόβιων συνθηκών που συνεπάγεται και τη μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνιακών.
- Η αποδόμηση των ενώσεων του άνθρακα είναι πολύ μεγαλύτερη στους αντιδραστήρες όπου υπάρχουν πρόσθετα ορυκτά. Αυτό οφείλεται στο ότι τα

ορυκτά αυξάνουν το πορώδες του υποστρώματος και βελτιώνουν τον αερισμό. Οι μικροοργανισμοί, λοιπόν, έχοντας περίσσεια O_2 αποδομούν πολύ πιο γρήγορα τον οργανικό άνθρακα και σε μεγαλύτερο βαθμό, γεγονός εξαιρετικά σημαντικό για την ορθή λειτουργία της διεργασίας. Μεγαλύτερη αποδόμηση οργανικού άνθρακα παρουσιάζεται στον αντιδραστήρα με πρόσθετο ορυκτό περλίτη, ενώ αντίθετα στον αντιδραστήρα του πριονιδιού υπάρχει μικρή αποδόμηση λόγω πιθανής μη ορθής ανάπτυξης των διεργασιών.

- Το ποσοστό του αζώτου στο τελικό προϊόν για τους αντιδραστήρες που περιέχουν στο υπόστρωμα ορυκτά είναι αυξημένο σε σχέση με αυτόν όπου σαν πρόσθετο χρησιμοποιήθηκε μόνο πριονίδι, γεγονός αναμενόμενο καθώς τα ορυκτά και ιδιαίτερα ο ζεόλιθος έχουν την ιδιότητα να κατακρατούν τα αμμωνιακά ιόντα οπότε μειώνονται και οι απώλειες του αζώτου μέσω της αέριας φάσης. Συμπερασματικά το συγκεκριμένο κόμποστ αποτελεί εξαιρετικό εδαφοβελτιωτικό επειδή ελευθερώνει αργά το άζωτο, συστατικό καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών.
- Τα ορυκτά που επελέγησαν ως πρόσθετα για την διεργασία ήταν ο ζεόλιθος, ο βερμικουλίτης και ο περλίτης. Η ικανότητα των συγκεκριμένων ορυκτών στη ρύθμιση του pH και στον έλεγχο της υγρασίας (πολύ σημαντικών παραμέτρων για την ορθή διεξαγωγή της διεργασίας), αποτέλεσε το κριτήριο για την επιλογή τους. Παράλληλα εξίσου σημαντικό κριτήριο αποτέλεσε η ικανότητα των συγκεκριμένων ορυκτών και ιδιαίτερα του ζεόλιθου να δεσμεύουν την παραγόμενη από τη διεργασία αμμωνία. Το ποσοστό των θρεπτικών συστατικών (άζωτο και ιχνοστοιχεία) στο τελικό προϊόν καθώς και η μειωμένη υγρασία και το καλύτερα ρυθμισμένο pH του, στους αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν τα ορυκτά ως πρόσθετο, επαληθεύει την ορθή επιλογή αυτών.
- Ο λόγος C/N σε όλους τους αντιδραστήρες μειώνεται με το χρόνο καθότι ο ρυθμός μείωσης του άνθρακα είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό μείωσης του αζώτου. Επιπλέον ο ρυθμός μείωσης του λόγου C/N στους αντιδραστήρες που είχαν προστεθεί ορυκτά είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντιδραστήρα χωρίς προσθήκη ορυκτών γεγονός που υποδεικνύει ότι η διεργασία της κομποστοποίησης συντελείται γρηγορότερα. Την 50^η ημέρα ο λόγος C/N για το τελικό κόμποστ στους αντιδραστήρες κυμαίνεται από 9 έως 18 περίπου, ενδεικτικές τιμές σταθεροποιημένου και καλής ποιότητας κόμποστ. Να τονισθεί ότι οι αντιδραστήρες με την προσθήκη των φυσικών ορυκτών παρουσίασαν τον

χαμηλότερο λόγο (κοντά στο 10), ενώ δε παρουσιάζεται διαφοροποίηση στο κόμποστ με διαφορετικό χρόνο παραμονής.

- Η αρχική πλήρωση του αντιδραστήρα πρέπει να είναι στο 100 % ή τουλάχιστον άνω του 80% του όγκου του για την ορθή διεξαγωγή της διεργασίας της κομποστοποίησης. Η μεγάλη απώλεια μάζας που συντελείται στα αρχικά στάδια της διεργασίας καθιστά δύσκολη την διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερες συμπληρωματικές τροφοδοσίες.
- Ο λόγος αμμωνιακών προς νιτρικών την 50^η ημέρα στο τελικό κόμποστ κυμαίνεται κοντά στο 1, ενδεικτική τιμή καλής ποιότητας κόμποστ. Εξαίρεση αποτελεί το κόμποστ με μόνο πρόσθετο πριονίδι, που λόγω της μη ορθής διεξαγωγής των εργασιών βιοαποδόμησης παρουσιάζει αυξημένη ποσότητα αμμωνιακών και έχει λόγο κοντά στο 2.
- Η φυτοθεραπευτική ικανότητα του τελικού παραγόμενου προϊόντος εξασφαλίζεται από την ανάπτυξη του πρότυπου σπόρου μαρούλι Parris Island Cos. Το κόμποστ που παράγεται, από όλους τους αντιδραστήρες, είναι φυτοθεραπευτικό, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για τη χρήση ως εδαφοβελτιωτικό και επιπλέον, υποβοηθά στην ανάπτυξη διαφορετικών σπόρων.

Επομένως, η εφαρμογή του συστήματος κομποστοποίησης σε ευρεία κλίμακα στα νοικοκυριά δύναται να συμβάλει στην ορθολογική διαχείριση των βιοαποδομήσιμων οικιακών απορριμμάτων στο σημείο παραγωγής τους εκτρέποντας το ρεύμα αυτό των αποβλήτων από τους ΧΥΤΑ. Παράλληλα η διάθεση του παραγόμενου κόμποστ μπορεί να γίνει τοπικά συνεισφέροντας στην ασφαλή και μακροχρόνια διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία για τη συντήρηση ή/και την αποκατάσταση της ποιότητας των εδαφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαρία Λοϊζίδου, «Στερεά απόβλητα», σημειώσεις για το μάθημα: Περιβαλλοντική Επιστήμη, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [2] Φραγγελάκης Εμμανουήλ, «Κομποστοποίηση Οργανικού Κλάσματος Οικιακών Απορριμμάτων», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [3] Ειδική μόνιμη επιτροπή προστασίας περιβάλλοντος της Βουλής, «Συμπεράσματα και προτάσεις για τη βιώσιμη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων στην Αττική». Αθήνα Μάιος 2009.
- [4] Παναρέτου Βασιλική, «Χρήση πρότυπου οικιακού κομποστοποιητή για τη διαχείριση οργανικού κλάσματος απορριμμάτων», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2008.
- [5] Α. Ανδρεαδάκης «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» σημειώσεις για το μάθημα Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Ιλύος Αρχές και Μέθοδοι Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, ΕΜΠ.
- [6] Eurostat, (2005). Waste generated and treated Europe (data 1995 – 2003), Luxembourg.
- [7] Μαλαμής, Δ., Σχεδιασμός κατασκευή και λειτουργία βιοαντιδραστήρα για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2011.
- [8] Μιχαλόπουλος, (2010). Σχεδιασμός πρότυπου συστήματος, οικιακού τύπου, για την αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων με αερόβιες διεργασίες, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- [9] Eurostat, (2010). Europe in Figures, Eurostat, Luxembourg.
- [10] JCS (Juniper Consultancy Services), (2005). Mechanical–Biological–Treatment: A Guide for Decision Makers/Processes, Policies and Markets.
- [11] Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N. and Abdelly, C., (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil, Journal of Hazardous Materials 171(1-3) 29-37.

- [12] Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K. and Bates, J., (2001). Waste management options and climate change, DG Environment, Final report, European Commission, Luxembourg.
- [13] Williams, P. T., (2005). Waste Treatment and Disposal, 2 ed., John Wiley & Sons, London.
- [14] Pichtel, J., (2005). Waste Management Practices: Municipal, Hazardous and Industrial, CRC Press, Boca Raton.
- [15] EEA (European Environment Agency), (2003). Europe's Environment: The Third Assessment, Copenhagen.
- [16] Cheremisinoff, N. P., (2003). Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies, Oxford, UK.
- [17] Official Journal of the European Communities L 182/1 COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- [18] Ευάγγελος Γιδαράκος, «Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων», Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, Απρίλιος 2007.
- [19] ΕΔΣΑ (Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων), (2008). Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ε.Ε. <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=36>.
- [20] Κουλουμπής, Π. και Τσαντήλας, Χ., (2007). Εγχειρίδιο Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση Ιλύος των Αστικών Λυμάτων, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων
- [21] EC (European Commission), (2006). Annex report from the commission to the council and the European parliament on the implementation of community waste legislation Directive 75/442/EEC on waste, Directive 91/689/EEC on hazardous waste, Directive 75/439/EEC on waste oils, Directive 86/278/EEC on sewage sludge and Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste Directive 1999/31/EC on the landfill of waste for the period 2001-2003, European Commission, COM(2006) 406 final.

[22] Official Journal of the European Communities L 182/1 COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.

[23] Χαμπούρης Ευάγγελος, «Έρευνα για τη χρήση πρόσθετων στην παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, από οργανικό κλάσμα απορριμμάτων σε πρότυπο σύστημα οικιακής κομποστοποίησης», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.

[24] Μαργαρίτης Μάρκος, «Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2012.

[25] Epstein, E., (1997). The science of composting, Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania, USA.

[26] Hogg, D., Lister, D., Barth, J., Faviono, E. and Amlinger, F., (2009). Frameworks for use of compost in agriculture in Europe, Eunomia Research and Consulting.

[27] Βογιατζιδάκη Ευγενία Ελένη «Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού με Χρήση Οικιακού Κομποστοποιητή», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.

[28] «The Art and Science of Composting A resource for farmers and compost producers» Leslie Cooperband University of Wisconsin-Madison Center for Integrated Agricultural Systems March 29, 2002

[29] Μαργαρίτης Μάρκος, «Ανάπτυξη συστημάτων δέσμευσης βαρέων μετάλλων από σταθεροποιημένα οργανικά στερεά απόβλητα», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.

[30] Αναγνωστόπουλος-Πολίτης Ηλίας, Χατζηδημητρίου Ανάργυρος, «Επίδραση του λόγου C/N και πρόσθετων στην κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2010

[31] Π.Σ.Κόλλια, «Απορρίμματα:Αστικά-Βιομηχανικά», εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1993

[32] Αντώνης Α. Ζορπάς (1999), «Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Κομποστοποίηση της Ιλύος με Χρήση Ζεόλιθων», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

- [33] Luis F. Diaz, G.M. Savage, L.L. Eggerth, C.G. Golueke, “Composting and Recycling Municipal Solid Waste”, Lewis Publishres,
- [34] «Κομποστοποίηση Οργανικού Κλάσματος Οικιακών Απορριμμάτων» Ημερίδα Δήμου Νέας Χαλκηδόνας, εισηγήτρια Ε.Δουλάμη.
- [35] Κάτια Λαζαρίδη, «Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων», Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
- [36] Δ. Λάλας, Ε. Γεωργοπούλου, Ε. Γιδάρακος, Ρ. Γκέκας, Α. Λαζαρίδη, Α. Μαυρόπουλος, Σ. Μοιρασγεντής, Ν. Σελλάς, Σχέδιο τελικής έκθεσης προς το ινστιτούτο τοπικής αυτοδιοίκησης για την μελέτη «Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων», Αθήνα Απρίλιος 2007.
- [37] “Soil Sampling, Preparation, and Analysis”, Kim H. Tan, The University of Georgia Athens, Georgia, Marcel Dekker Inc, 1996, p.230-232
- [38] Nelson, D.W. nad Sommers, L.E., “Total Carbon, organic carbon, and organic matter”, in Methods of Soil Analysis, Part II, pag.539-579, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (editors), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, USA (1982)
- [39] “Effects of Composting on Phytotoxicity of Spent Pig-Manure Sawdust Litter”, S.M. Tiquia, N.F.Y. Tam and I.J. Hodgkiss, Environmental Pollution, Vol.93, No.3, p.p. 249-256, 1996.
- [40] Diaz, L. F. and Savage, G. M., (2007a). Factors that Affect the Process. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (Eds.), Compost Science and Technology Elsevier, Amsterdam, pp. 49-64.
- [41] Hargreaves, J. C., Adl, M. S. and Warman, P. R., (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture, Agriculture Ecosystems and Environment 123(1-3) 1-14.
- [42] Bary, A., Cogger, C. and Sullivan, D., (2002). What does compost analysis tell you about your compost? www.soils1.org.
- [43] Thompson, W. H., (2002). Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC), U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

[44] Eggerth, L. L., Diaz, L. F., Chang, M. T. F. and Iseppi, L., (2007). Marketing of Composts. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (Eds.), Compost Science and Technology, vol. 8, Elsevier, Amsterdam, pp. 325-355.

[45] Καπετάνιος, Ε., (1990). Παραγωγή και αξιολόγηση του compost από απορρίμματα και δέσμευση βαρέων μετάλλων του με χρήση κλινοπτιλόλιθου, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

[46] Faithfull, N. T., (2002). Methods in Agricultural Chemical Analysis: A Practical Handbook, Compost quality standards and specifications, CABI Publishing, pp. 121-123

[47] Pare, T., Dinel, H., Schnitzer, M. and Dumontet, S., (1998). Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper, *Biology and Fertility of Soils* 26 173–178.

[48] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), (2005). Guidelines for Compost Quality. http://www.ccme.ca/assets/pdf/compostgdlns_1340_e.pdf

