



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
ΤΟΜΕΑΣ Ι: ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ C/N ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**



**Διπλωματική Εργασία**  
Αναγνωστόπουλος-Πολίτης  
Ηλίας  
Χατζηδημητρίου Ανάργυρος

**Υπεύθυνη Καθηγήτρια**  
Λοιζίδου Μαρία

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010**

*Αφιερώνεται στον άνθρωπο που με μεγάλωσε  
και έφυγε για ένα μεγάλο ταξίδι!!!  
Παππού θα σε θυμάμαι...*

*Αφιερώνεται στην μνήμη της Μητέρας μου  
και στον Πατέρα μου*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του Προπτυχιακού Διπλώματος Χημικού Μηχανικού, την ακαδημαϊκή περίοδο 2010 – 2011. Το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Έχοντας ολοκληρώσει τη συγγραφή, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την υπεύθυνη Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π., κα. Λοϊζίδου Μαρία, για την ανάθεση της ερευνητικής αυτής μελέτης. Η επιστημονική καθοδήγηση και η αμέριστη βοήθεια που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της, κατέστησαν εφικτή την πραγμάτωση αυτής.

Επιπλέον, ευχαριστούμε θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Μαργαρίτη Μάρκο, η βοήθεια και καθοδήγηση του οποίου ήταν καθοριστική τόσο για την διεξαγωγή των πειραμάτων όσο και για τη συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής.

Ευχαριστούμε, επίσης, τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Μαλαμή Δημήτριο για τη σημαντική βοήθεια και καθοδήγησή του, που ήταν καθοριστική για τη συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής.

Θεωρούμε υποχρέωσή μας να ευχαριστήσουμε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και κυρίως την κα. Tanja Kosanovic Milickovic για τη συνεργασία και τη συμπαράστασή τους.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	iii
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	v
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	xi
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
<b><u>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ</u></b>	
1.1. Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	1
1.2. Οδηγίες και Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης	8
1.3. Ελληνική Νομοθεσία	17
1.4. Προδιαγραφές Ποιότητας Κόμποστ στην ΕΕ και Διεθνώς	23
1.4.1. Πρότυπα για τα βαρέα μέταλλα	24
1.4.2. Πρότυπα για τους οργανικούς ρύπους στο κόμποστ	31
1.4.3. Πρότυπα για την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς, ακαθαρσίες και ζιζάνια	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
<b><u>ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ</u></b>	
2.1. Εισαγωγή	35
2.2. Ιστορική ανασκόπηση της κομποστοποίησης	35
2.3. Μικροοργανισμοί κομποστοποίησης - Φάσεις ζύμωσης	39
2.4. Παράμετροι κομποστοποίησης	42
2.4.1. Αρχική σύσταση οργανικού κλάσματος	43
2.4.2. Αερισμός του οργανικού υλικού	44
2.4.3. Θερμοκρασία	46
2.4.4. Υγρασία	47
2.4.5. Λόγος Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	47
2.4.6. Τιμές <i>ph</i>	49
2.5. Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης	50
2.5.1. Ανοικτά συστήματα κομποστοποίησης	50
2.5.2. Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης	56
2.6. Οικιακή κομποστοποίηση	59
2.7. Οφέλη κομποστοποίησης	62
2.8. Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b><u>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ</u></b>	
3.1. Εισαγωγή	67
3.2. Κομποστοποίηση σε βιομηχανική κλίμακα	67
3.3. Διαφοροποίηση εργοστασίων κομποστοποίησης	68
3.4. Τυπικό εργοστάσιο κομποστοποίησης	69
3.4.1. Πρώτες ύλες	69
3.4.2. Χώρος υποδοχής	70
3.4.3. Απομάκρυνση προσμίξεων ακατάλληλων για κομποστοποίηση	71
3.4.4. Τεμαχισμός	71
3.4.5. Δημιουργία σειραδιών	72
3.4.6. Χώρος κομποστοποίησης	72
3.4.7. Ανάδευση σειραδιών	73
3.4.8. Στραγγίσματα	73
3.4.9. Πάτωμα αερισμού	74
3.4.10. Ανεμιστήρες χώρου κομποστοποίησης	74
3.4.11. Ασύρματοι βυθιζόμενοι αισθητήρες (Teleprobes)	75
3.4.12. Κεντρικός υπολογιστής ελέγχου	75
3.4.13. Βιόφιλτρα	76
3.4.14. Ωρίμανση	76
3.4.15. Έλεγχος προϊόντος	77
3.4.16. Τελικό προϊόν	77
3.5. Εργοστάσια κομποστοποίησης στην Ελλάδα	78
3.5.1. Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Απορριμμάτων (ΕΜΑΚ) Α.Λιοσίων	78
3.5.2. ΕΜΑΚ Χανίων	79
3.5.3. Compost Hellas A.E	81
3.6. Κόστος εργοστασίων κομποστοποίησης	82

3.7. Συστήματα οικιακής κομποστοποίησης	85
3.8. Διάφοροι τύποι κομποστοποιητών	85
3.8.1. Κάδοι κομποστοποίησης τύπου Dalek	85
3.8.2. Κάδοι κομποστοποίησης τύπου CompostTumbler (Περιστρεφόμενος ή αναδευόμενος κάδος)	90
3.8.3. Κάδοι κομποστοποίησης τύπου Rolling or Rotating Orb Composter (Κυλιόμενος κάδος)	96
3.8.4. Wooden / Wire Mesh Composter (Ξύλινοι/συρμάτινοι κομποστοποιητές)	100
3.8.5. Computerized Indoor Composter\ (Ηλεκτρονικός κομποστοποιητής εσωτερικού χώρου)	101
3.8.6. Worm bins	103

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ**

4.1. Εισαγωγή	105
4.2. Πριονίδι, ροκανίδι	105
4.3. Ζεόλιθος	106
4.3.1. Χρήσεις	107
4.3.2. Ο κλινοππιλόλιθος	108
4.4. Βερμικουλίτης	110
4.4.1. Δομή	110
4.4.2. Χρήσεις	111
4.5. Περλίτης	112
4.5.1. Δομές	114
4.5.2. Χρήσεις	115
4.5.2.1. Κατασκευαστικές εφαρμογές	115
4.5.2.2. Αγροτικές/Κηπευτικές εφαρμογές	117
4.5.2.3. Βιομηχανικές εφαρμογές	117

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

5.1. Εισαγωγή	121
5.2. Το πρότυπο σύστημα οικιακής κομποστοποίησης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων	121
5.3. Μεθοδολογία μετρήσεων	124
5.3.1. Προσδιορισμός θερμοκρασίας	124
5.3.2. Προσδιορισμός υγρασίας	125
5.3.3. Προσδιορισμός $pH$	125
5.3.4. Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας	126
5.3.5. Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS)	126
5.3.6. Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)	127
5.3.7. Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN)	128
5.3.8. Προσδιορισμός νιτρικών	131
5.3.9. Προσδιορισμός αμμωνιακών	133
5.3.10. Προσδιορισμός αναλογίας $C/N$	135
5.3.11. Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων	135
5.3.12. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας	136

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

6.1. Εισαγωγή	139
6.2. Σύσταση του υποστρώματος	140
6.3. Πρώτος κύκλος πειραμάτων	141
6.3.1. Τροφοδοσία των αντιδραστήρων	141
6.3.2. Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας	143
6.3.3. Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος	145
6.3.4. Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος	149
6.3.5. Μέτρηση του $pH$ του υποστρώματος	152
6.3.6. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος	155
6.3.7. Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα	157
6.3.8. Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα	160
6.3.9. Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα	164
6.3.10. Μέτρηση του λόγου $C/N$ στο υπόστρωμα	166
6.3.11. Μέτρηση νιτρικών $NO_3^- - N$ στο υπόστρωμα	169
6.3.12. Μέτρηση αμμωνιακών $NH_4^+ - N$ στο υπόστρωμα	172
6.4. Δεύτερος κύκλος πειραμάτων	175
6.4.1. Τροφοδοσία των αντιδραστήρων	175

6.4.2. Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας	177
6.4.3. Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος	179
6.4.4. Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος	182
6.4.5. Μέτρηση του $pH$ του υποστρώματος	185
6.4.6. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος	188
6.4.7. Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα	191
6.4.8. Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα	194
6.4.9. Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα	197
6.4.10. Μέτρηση του λόγου $C/N$ στο υπόστρωμα	199
6.4.11. Μέτρηση νιτρικών $NO_3^- - N$ στο υπόστρωμα	202
6.4.12. Μέτρηση αμμωνιακών $NH_4^+ - N$ στο υπόστρωμα	204

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1	Εισαγωγή	207
7.2	Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος	207
7.2.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	207
7.2.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	209
7.2.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	211
7.2.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	213
7.3	Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος	215
7.3.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	215
7.3.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	217
7.3.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	219
7.3.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	221
7.4	Μέτρηση του $pH$ του υποστρώματος	223
7.4.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	223
7.4.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	225
7.4.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	227
7.4.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	229
7.5	Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος	232
7.5.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	232
7.5.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	234
7.5.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	236
7.5.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	238
7.6	Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα	240
7.6.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	240
7.6.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	242
7.6.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	244
7.6.4	Αντιδραστήρας με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	246
7.7	Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα	249
7.7.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	249
7.7.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	251
7.7.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	253
7.7.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	255
7.8	Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα	257
7.8.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	257
7.8.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	259
7.8.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	261
7.8.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	263
7.9	Μέτρηση του λόγου $C/N$ στο υπόστρωμα	265
7.9.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	265
7.9.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	267
7.9.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	269
7.9.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	271
7.10	Μέτρηση νιτρικών $NO_3^- - N$ στο υπόστρωμα	273
7.10.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	273
7.10.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	275
7.10.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	277
7.10.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	279
7.11	Μέτρηση αμμωνιακών $NH_4^+ - N$ στο υπόστρωμα	281
7.11.1	Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι	281
7.11.2	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο	283
7.11.3	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη	285
7.11.4	Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη	287



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

8.1	Εισαγωγή	291
8.2	Αξιολόγηση του κόμποστ	291
8.2.1	Βαρέα μέταλλα	291
8.2.2	Οργανικοί ρύποι	292
8.2.3	Παθογόνοι μικροοργανισμοί	292
8.3	Αξιολόγηση μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων	293
8.3.1	Ιχνοστοιχεία	294
8.3.2	Φυτοτοξικότητα	301
8.3.3	Πειραματικές μετρήσεις στις 50 ημέρες	306
8.4	Συμπεράσματα	308

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

313

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος που προκύπτει από τα βιοαποδομήσιμα οικιακά απορρίμματα με τη χρήση ειδικά σχεδιασμένου κάδου κομποστοποίησης, καθώς και την παρακολούθηση της εξέλιξης της διαδικασίας της κομποστοποίησης κατά τη λειτουργία του κάδου. Μελετάται η συμπεριφορά των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του παραγόμενου προϊόντος κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κάδου και μετά τη διακοπή λειτουργίας του, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην επίδραση του λόγου C/N και των πρόσθετων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας που προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αφορά το βιοαποδομήσιμο οργανικό κλάσμα των στερεών αποβλήτων και περιγράφονται οι διατάξεις που ισχύουν στην Ελλάδα. Επίσης γίνεται σύγκριση των προδιαγραφών του κόμποστ στις χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης και διεθνώς.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση στην κομποστοποίηση, και στη συνέχεια παρατίθεται η θεωρία που τη διέπει και οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Επίσης περιγράφεται η μικροβιολογία του κόμποστ, οι φυσικοχημικές επιδράσεις του κόμποστ στο έδαφος και άλλα χαρακτηριστικά του (μέταλλα και οργανικές ουσίες). Παρουσιάζονται τέλος τα οφέλη από τη διαδικασία της κομποστοποίησης και οι δυνατότητες διάθεσής του.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια προσέγγισης της διεργασίας της κομποστοποίησης από δύο διαφορετικές, και διακριτές μεταξύ τους, κατηγορίες. Αρχικά, γίνεται μία παρουσίαση συστημάτων κομποστοποίησης σε βιομηχανική κλίμακα. Αναλύονται τα διάφορα στάδια επεξεργασίας και δίνονται παραδείγματα τέτοιων εργοστασίων στην Ελλάδα. Στη συνέχεια εξετάζονται συστήματα οικιακής κομποστοποίησης. Παρουσιάζονται τα

κυριότερα είδη που διατίθενται στην αγορά και γίνεται αναλυτικότερη αναφορά σε επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά συστήματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα τέσσερα διαφορετικά είδη προσθέτων που χρησιμοποιήθηκαν. Γίνεται λεπτομερής αναφορά στο καθένα, στις φυσικοχημικές του ιδιότητες και στον τρόπο με τον οποίο συμβάλλει στην διαδικασία της βιοαποδόμησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Αναφέρονται αναλυτικά όλες οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, τα όργανα με τα οποία έγιναν οι μετρήσεις και μαθηματικές σχέσεις που οδήγησαν στη συλλογή των αριθμητικών αποτελεσμάτων.

Στο έκτο και έβδομο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δύο κύκλων πειραμάτων που διεξήχθησαν. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα των μετρήσεων για κάθε κύκλο πειραμάτων. Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα των μετρήσεων των δύο κύκλων πειραμάτων για κάθε αντιδραστήρα, με κριτήριο το πρόσθετο που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος γίνεται μία αξιολόγηση του παραγόμενου προϊόντος με βάση τα πειραματικά δεδομένα.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια αξιολόγηση του παραγόμενου κόμποστ και παρουσιάζονται δεδομένα που καθορίζουν τον βαθμό ωρίμανσης του τελικού προϊόντος.

## **ABSTRACT**

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 compost reactor, as well as the results obtained from a vast number of measurements. Four of the reactors were used in two different batches. 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.

Environmental law for both the European Union and Greece regarding the biodegradable organic waste is being discussed in the first chapter. A comparison is being made for the standards set by many countries worldwide regarding compost specifications.

The third chapter focuses on the history of the composting process and the factors that delineate and regulate it. The chapter also focuses on the microbiology of the process and the physical and chemical influence of mature compost when laid on existing soil. Study is also made on the heavy metal elements, the trace elements and the persistent organic pollutants. Finally there is also a discussion on the benefits of composting and the means of distribution of the mature compost.

The fourth chapter emphasizes two distinct composting procedures. The first is the large-scale composting systems (compost factories). Each stage of the procedure is analyzed and examples of factories practicing this procedure in Greece are provided. The second one is the small-scale composting systems (small compost reactors for household use). Different types of compost reactors are being presented along with specific models drawn from the market.

In the fifth chapter, all of the methods of analysis used in the lab are cited and thoroughly explained. The function of the instruments used for the different types of analysis is explained along with the mathematical equations that yield the resulting data.

The data which is derived from the methods, described in chapter five, is used in the sixth and seventh chapters. In the sixth chapter, a comparison of data based on the C/N ratio in the four reactors of the first and second batch is provided in table and chart form. In the seventh chapter tables and charts are presented that compare, based on the mineral or sawdust content, data from the same reactor through both batches of compost.

In the final chapter of the thesis an evaluation of the compost product takes place, along with a presentation of major factors that play an important role for determining the maturity of the final product.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

### 1.1 Νομοθετικό Πλαίσιο 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 Κοινοτική Πολιτική για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε ουσιαστικά με την Σύνοδο κορυφής των Παρισίων το 1974. Ακολούθησαν τα “προγράμματα δράσης” της Κοινότητας και ήδη από το 1975 προβλέπονται στον κοινοτικό προϋπολογισμό κονδύλια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το 1981 οι ως τότε διάσπαρτες περιβαλλοντικές υπηρεσίες συγχωνεύονται στην Γενική Διεύθυνση XI (περιβάλλον, πυρηνική ασφάλεια προστασία πολιτών) και υπό το πρίσμα των εξελίξεων υιοθετείται η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη (1<sup>η</sup> Ιουλίου 1987) ως ανεξάρτητη πολιτική για το περιβάλλον. Την ίδια χρονιά υιοθετείται το 4<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον, με βασικό στόχο την αποτελεσματική εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας για το περιβάλλον από τα κράτη μέλη. Το 1991 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το πρόγραμμα για την διαχείριση των αποβλήτων προτεραιότητας στα οποία περιλαμβάνονταν:

- Απόβλητα από ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις.
- Οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής τους.
- Συσσωρευτές.
- Ελαστικά.
- Συσκευασίες και απορρίμματα συσκευασιών.
- Χρησιμοποιημένα Ορυκτέλαια.

- Νοσοκομειακά απόβλητα.
- PCB's.

Ακολούθησε το 5<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον "προς μια αειφόρο ανάπτυξη" το οποίο θέσπισε τις αρχές μιας πιο ενεργητικής Ευρωπαϊκής στρατηγικής για την περίοδο 1992-2000 και σηματοδότησε την αρχή μίας οριζόντιας κοινοτικής δράσεως, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες ρύπανσης (βιομηχανία, ενέργεια, τουρισμός, μεταφορές, γεωργία). Πλέον τρέχει το 6<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον το οποίο προσδιορίζει γενικούς στόχους και καθορίζει κατάλογο περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων μέχρι και το έτος 2010.

Η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης εστιάζει στα εξής σημεία:

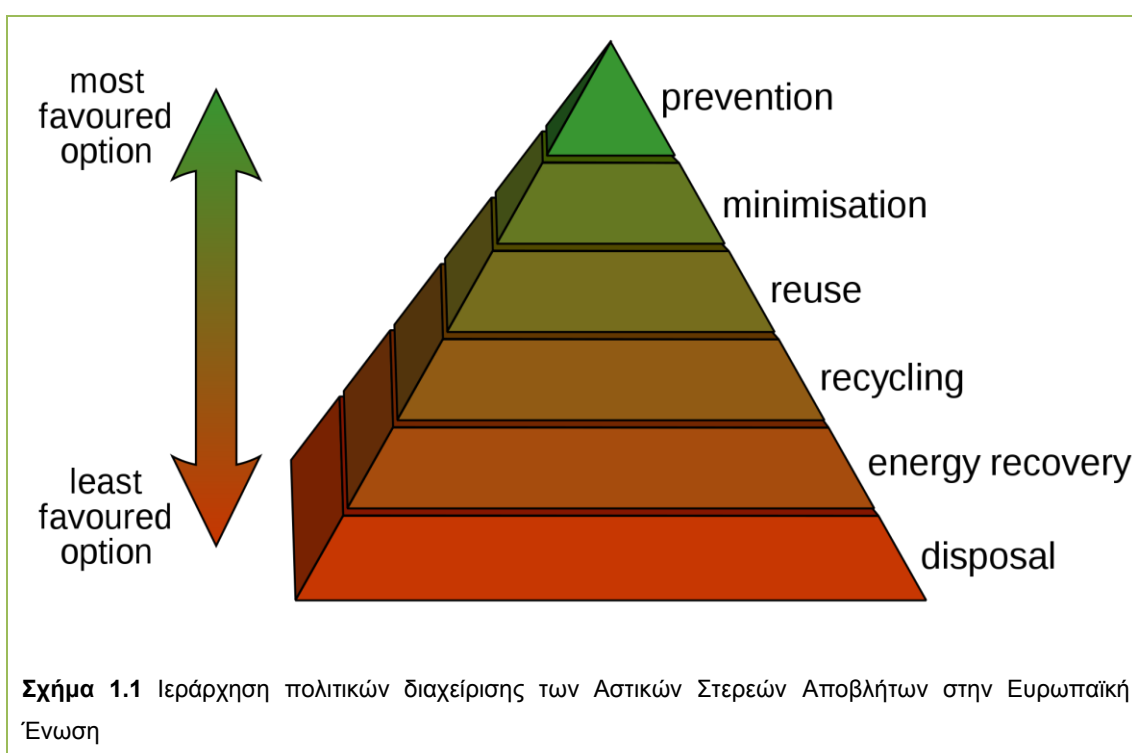
- Η πρόληψη είναι προτιμότερη από την λήψη διορθωτικών μέτρων.
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους.
- Ο ρυπαίνων πρέπει να πληρώνει το κόστος των μέτρων που θα ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος
- Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να 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 (Σχήμα 1):

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



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

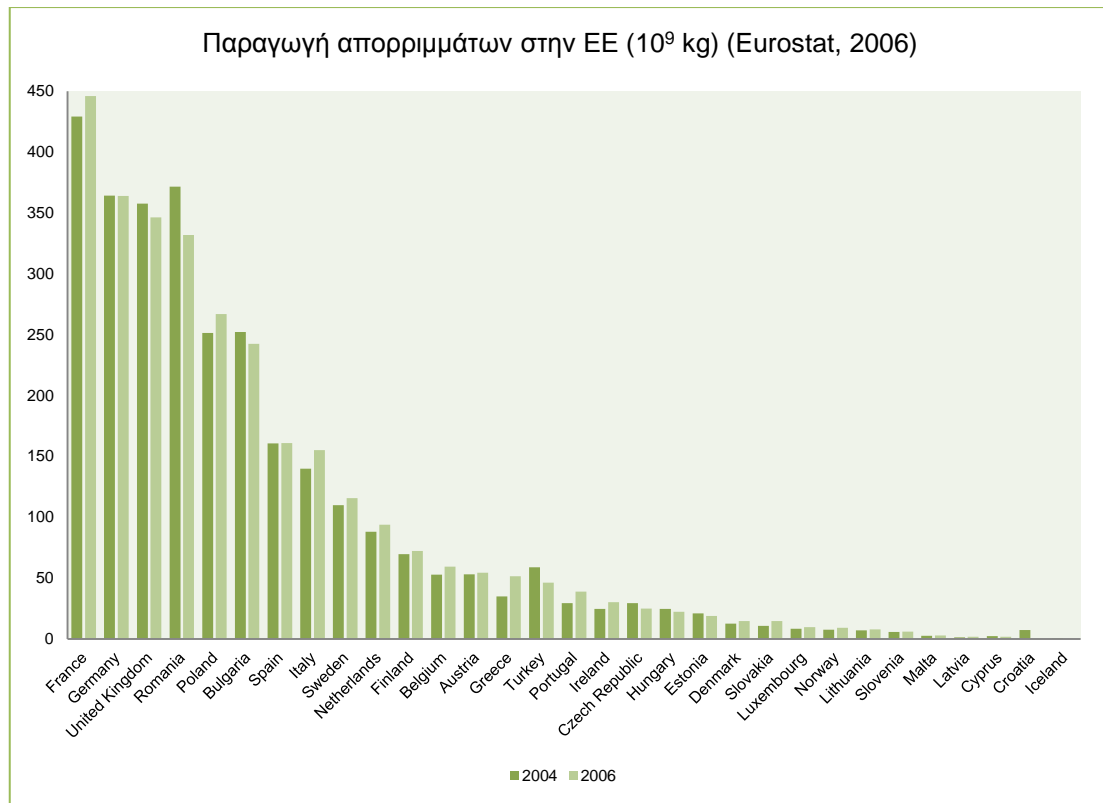
Σε Ευρωπαϊκό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν υιοθετηθεί κατά σειρά προτεραιότητας, σε ότι αφορά την ολοκληρωμένη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, οι ακόλουθες αρχές:

- **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. 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 (Eurostat, 2006)

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**

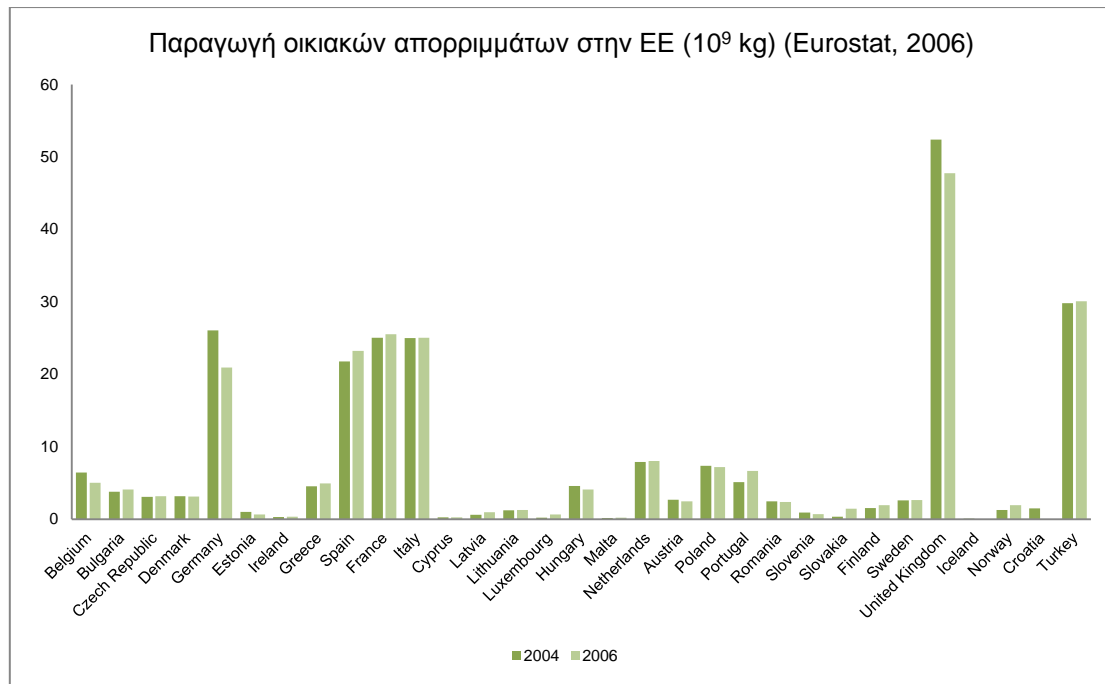
Με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει την δημιουργία αποβλήτων (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών) αλλά και για την δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση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



Διάγραμμα 1.2 Παραγωγή οικιακών απορριμμάτων στην ΕΕ (Eurostat, 2003)

- **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 βαρύτατες 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.

## 1.2 Οδηγίες και Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης

### Απόφαση 2001/688/ΕΚ της Ευρωπαϊκής επιτροπής της 3ης Νοεμβρίου 2006 περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους.

Σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1980/2000, επανεξετάστηκαν εγκαίρως τα οικολογικά κριτήρια, καθώς και οι σχετικές απαιτήσεις αξιολόγησης και εξακρίβωσης, που καθορίζονται με την απόφαση 2001/688/ΕΚ της Επιτροπής για την απονομή του κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και καλλιεργητικά μέσα. Πιο αναλυτικά :

#### 1. Μείωση των επικίνδυνων ουσιών

Η συγκέντρωση του τελικού προϊόντος – κόμποστ, σε βαρέα μέταλλα πρέπει να είναι μικρότερη από τις κατώτερες τιμές (Πίνακας 1.1), μετρημένες επί ξηράς ουσίας.

Πίνακας 1.1 Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (mg/kg)

Στοιχείο	mg/kg (ξηρό βάρος)
Zn	300
Cu	100
Ni	50
Cd	1
Pb	100
Hg	1
Cr	100
Mo (*)	2
Se (*)	1,5
As (*)	10
F (*)	200

(\*) Δεδομένα σχετικά με την παρουσία των στοιχείων αυτών απαιτούνται μόνο για προϊόντα που περιέχουν υλικά προερχόμενα από βιομηχανικές διεργασίες.

Σημείωση: Ισχύουν οι ανωτέρω οριακές τιμές εκτός εάν η εθνική νομοθεσία είναι αυστηρότερη.

## 2. Φυσικές προσμείξεις

Η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος (με μέγεθος βρόχου 2 mm) σε γυαλί, μέταλλο και πλαστικό πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 %, μετρημένη επί ξηρού βάρους.

## 3. Άζωτο

Η περιεκτικότητα του προϊόντος σε ολικό άζωτο δεν πρέπει να υπερβαίνει ποσοστό 3 % κατά βάρος, ενώ το N ανόργανης προέλευσης δεν πρέπει να υπερβαίνει ποσοστό 20 % του ολικού αζώτου (ή αλλιώς N οργανικής προέλευσης  $\geq 80$  %).

## 4. Επιδόσεις του προϊόντος

- Τα προϊόντα προσφέρονται σε στερεά μορφή και περιέχουν ξηρά ύλη όχι λιγότερη από 25 % κατά βάρος και οργανική ύλη όχι λιγότερη από 20 % επί ξηρού βάρους (μετρούμενη ως απώλεια μάζας μετά από καύση).
- Τα προϊόντα δεν επηρεάζουν δυσμενώς τη βλάστηση ή τη μετέπειτα ανάπτυξη των φυτών.

## 5. Υγεία και ασφάλεια

Τα επίπεδα των πρωτογενών παθογόνων μικροοργανισμών στα προϊόντα δεν υπερβαίνουν τις παρακάτω μέγιστες τιμές:

- Σαλμονέλλα: απουσία σε 25 g
- Helminth Ova: απουσία σε 1,5 g
- E. Coli: < 1000 MPN/g (MPN: most probable number) ο πιθανότερος αριθμός

## 6. Βιώσιμοι σπόροι / πολλαπλασιαστικές μονάδες

Η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε σπόρους ζιζανίων και σε βλαστικά αναπαραγωγικά μέρη επιθετικών ζιζανίων δεν υπερβαίνει 2 μονάδες ανά λίτρο. [1]

## **Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων**

Στόχος της παρούσας οδηγίας είναι, μέσω αυστηρών λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων για τα απόβλητα και τους χώρους υγειονομικής ταφής, ο καθορισμός μέτρων, διαδικασιών και κατευθύνσεων για την κατά το δυνατόν πρόληψη ή μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ειδικότερα δε της ρύπανσης των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων, του εδάφους και της ατμόσφαιρας και των επιπτώσεων σε όλο το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένου του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς και οποιουδήποτε κινδύνου προκύπτει για την υγεία του ανθρώπου από την υγειονομική ταφή των αποβλήτων καθ' όλο τον κύκλο ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής. Οι χώροι ταφής ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. Χώροι ταφής επικίνδυνων αποβλήτων
2. Χώροι ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων
3. Χώροι ταφής αδρανών αποβλήτων.

Επιπλέον η οδηγία θέτει ποσοτικούς στόχους για την εκτροπή του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ. Πιο συγκεκριμένα για την Ελλάδα ισχύει ότι μέχρι το 2010 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής θα πρέπει να μειωθούν κατά 25% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας αυτών που είχαν παραχθεί το 1995. Ενώ το 2013 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για υγειονομική ταφή πρέπει να μειωθούν κατά 50%. Τέλος το 2020 το ποσοστό των βιοαποδομήσιμων υλικών για υγειονομική ταφή πρέπει να περιοριστεί στο 35%. [2]

## **Οδηγία 96/61/ΕΚ (IPPC) του συμβουλίου της 24<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης**

Στόχος της οδηγίας είναι η ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης που προκαλούν οι δραστηριότητες του παραρτήματος Ι. Η οδηγία προβλέπει μέτρα αποφυγής και, όταν αυτό δεν είναι δυνατόν, μείωσης των εκπομπών από τις ανωτέρω δραστηριότητες στην ατμόσφαιρα, το νερό και το

έδαφος, και μέτρα για τα απόβλητα, ώστε να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος στο σύνολό του.

Τα Κράτη Μέλη με την παρούσα Οδηγία, οφείλουν να ορίσουν τον φορέα, τις βασικές αρχές, τις θεμελιώδεις υποχρεώσεις του, καθώς επίσης να μεριμνήσουν ώστε οι αρμόδιες Αρχές να ελέγχουν ότι η εγκατάσταση θα λειτουργήσει κατά τρόπο ώστε:

1. Να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα προληπτικά αντιρρυπαντικά μέτρα, ιδίως με την χρήση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών.
2. Να μην προκαλείται καμία σημαντική ρύπανση.
3. Να αποφεύγεται η παραγωγή αποβλήτων ή εάν αυτό δεν είναι δυνατόν, να αξιοποιούνται ή όταν αυτό είναι τεχνικά και οικονομικά αδύνατο, να διατίθενται με τρόπο που να αποφεύγονται ή να μειώνονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.
4. Η ενέργεια να χρησιμοποιείται αποτελεσματικά.
5. Να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για να προλαμβάνονται τα ατυχήματα και να περιορίζονται οι συνέπειές τους.
6. Να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα κατά την οριστική παύση των δραστηριοτήτων ώστε να αποφεύγεται κάθε κίνδυνος ρύπανσης και ο χώρος της εκμετάλλευσης να επανευρίσκεται σε ικανοποιητική μορφή.

Αναφέρεται επίσης ότι με την επιφύλαξη άλλων απαιτήσεων εθνικής ή κοινοτικής νομοθεσίας, η αρμόδια αρχή χορηγεί άδεια για την εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει όρους με τους οποίους εξασφαλίζεται ότι η εγκατάσταση πληρεί τις απαιτήσεις της παρούσας οδηγίας ή στην αντίθετη περίπτωση, δεν χορηγεί άδεια.

Κάθε χορηγούμενη ή τροποποιημένη άδεια περιλαμβάνει τις προβλεπόμενες στην παρούσα οδηγία πρακτικές λεπτομέρειες για την προστασία της ατμόσφαιρας, των υδάτων και του εδάφους καθώς και μέτρα για την διαχείριση των αποβλήτων της εγκατάστασης.



Τέλος στην παρούσα οδηγία υπάρχουν διατάξεις αναφορικά με:

1. Την επανεξέταση και αναπροσαρμογή των όρων της άδειας εκ μέρους της αρμόδιας αρχής.
2. Τις οφειλές των Κρατών Μελών αναφορικά με την τήρηση των όρων της άδειας.
3. Την πρόσβαση στις πληροφορίες και συμμετοχή του κοινού στην διαδικασία χορήγησης της άδειας.
4. Τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές και τα ποιοτικά πρότυπα περιβάλλοντος.
5. Την εξέλιξη των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών.
6. Την ανταλλαγή πληροφοριών.
7. Τις οφειλές των Κρατών Μελών αναφορικά με τις διασυνοριακές επιπτώσεις.
8. Τις Κοινοτικές οριακές τιμές εκπομπής (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1996) [3]

**Κανονισμός (ΕΟΚ) αρ.2092/91 του Συμβουλίου περί του βιολογικού τρόπου παραγωγής προϊόντων και των σχετικών ενδείξεων στα γεωργικά προϊόντα και στα είδη διατροφής**

Ο Κανονισμός (ΕΟΚ) αρ.2092/91 προβλέπει τις παρακάτω οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο οργανικό λίπασμα (Πίνακας 1.2).[4]

Πίνακας 1.2 Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (mg/kg)

Μέταλλο	Οργανικό λίπασμα
<i>Cd</i>	0.7
<i>Cr</i>	70
<i>Cu</i>	70
<i>Ni</i>	25
<i>Pb</i>	45
<i>Hg</i>	0.4
<i>Zn</i>	200

## **Οδηγία του Συμβουλίου 75/442/ΕΟΚ, περί στερεών αποβλήτων**

Η οδηγία αυτή συνιστά το νομοθετικό πλαίσιο της κοινοτικής πολιτικής σε θέματα διαχείρισης αποβλήτων. Άρχισε να ισχύει από το 1977 και τροποποιήθηκε το 1991 (**Οδηγία 91/156/ΕΟΚ**) για να ληφθούν υπόψη οι νέες συνθήκες και να ενσωματωθούν οι κατευθυντήριες αρχές που επισημάνθηκαν από την κοινοτική στρατηγική το 1989, για την διαχείριση των αποβλήτων και συγκεκριμένα η πρόληψη, η αξιοποίηση και η τελική διάθεση των αποβλήτων.

Στην Οδηγία περιλαμβάνονται τα σημαντικότερα στοιχεία στα οποία θεμελιώνεται η κοινοτική πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων και συγκεκριμένα:

1. Ορίζεται η έννοια των αποβλήτων.
2. Προσδιορίζεται κοινή ορολογία, ιδιαίτερα αναφορικά με τις διαδικασίες της αξιοποίησης και της τελικής διάθεσης, καθώς και οι διάφορες κατηγορίες αποβλήτων που περιλαμβάνονται στον κατάλογο της απόφασης 94/3/ΕΚ της Επιτροπής.
3. Ιεραρχούνται οι προτεραιότητες τις οποίες οφείλει να τηρεί κάθε πολιτική διαχείρισης αποβλήτων, ευνοώντας κατ' αρχήν την πρόληψη, προωθώντας εν συνεχεία την αξιοποίηση και τέλος την ακίνδυνη τελική διάθεση.
4. Καθιερώνονται οι αρχές της γεινίασης και της αυτάρκειας που εφαρμόζονται στα απόβλητα που προορίζονται για τελική διάθεση και προβλέπεται η συγκρότηση ολοκληρωμένου και επαρκούς δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης.
5. Υποχρεούνται τα κράτη μέλη να εκπονήσουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων, τα οποία θεωρούνται ουσιώδους σημασίας εργαλεία, για την υλοποίηση της πολιτικής αυτής.
6. Θεσπίζεται υποχρεωτική διαδικασία έγκρισης για κάθε επιχείρηση που αναπτύσσει δραστηριότητες αξιοποίησης ή διάθεσης αποβλήτων, καθώς επίσης και σύστημα μητρώου και τακτικών ελέγχων των δραστηριοτήτων αυτών.

Ένα από τα ουσιώδη στοιχεία της Οδηγίας είναι η θέσπιση διαδικασίας υποχρεωτικής έκδοσης άδειας για κάθε επιχείρηση που αναπτύσσει δραστηριότητες διάθεσης ή αξιοποίησης αποβλήτων, καθώς και συστήματος μητρώου και περιοδικού ελέγχου των δραστηριοτήτων αυτών, όπως προβλέπεται στα άρθρα 9 και 14 (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1975).[5]

**Οδηγία 2006/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2006 περί των στερεών αποβλήτων**

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα ενδεδειγμένα μέτρα για να προωθούν:
  - A) Κατά πρώτον, την πρόληψη ήτοι μείωση της παραγωγής και της βλαπτικότητας των αποβλήτων, ιδίως με:
    - i. την ανάπτυξη καθαρών και οικονομικότερων τεχνολογιών κατά την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων,
    - ii. την τεχνική τελειοποίηση και τη διάθεση στην αγορά προϊόντων σχεδιασμένων κατά τρόπο που να μη συμβάλλουν καθόλου ή να συμβάλλουν το δυνατόν λιγότερο, λόγω της παραγωγής, της χρήσης ή της διάθεσής τους, στην αύξηση της ποσότητας ή της βλαπτικότητας των αποβλήτων και των κινδύνων ρύπανσης,
    - iii. την ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών για τη διάθεση των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα τα οποία προορίζονται για αξιοποίηση.
  - B) Στη συνέχεια:
    - i. την αξιοποίηση των αποβλήτων με ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ή οποιαδήποτε άλλη ενέργεια που έχει ως στόχο την παραγωγή δευτερογενών πρώτων υλών, ή
    - ii. τη χρησιμοποίηση των αποβλήτων ως πηγή ενέργειας.
2. Εκτός από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες εφαρμόζεται η οδηγία 98/34/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 22ας Ιουνίου 1998, για την καθιέρωση μιας διαδικασίας πληροφόρησης στον τομέα των τεχνικών προτύπων και κανονισμών, τα κράτη μέλη ενημερώνουν την

Επιτροπή σχετικά με τα μέτρα που προβλέπουν να λάβουν για να επιτύχουν τους στόχους της παραγράφου 1. Η Επιτροπή ενημερώνει τα άλλα κράτη μέλη και την επιτροπή του άρθρου 18 παράγραφος 1 σχετικά με τα μέτρα αυτά.

3. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να εξασφαλίζουν ότι η διάθεση ή η αξιοποίηση των αποβλήτων πραγματοποιείται χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και χωρίς να χρησιμοποιούνται διαδικασίες ή μέθοδοι που ενδέχεται να βλάψουν το περιβάλλον, ιδίως δε:
  - A) χωρίς να δημιουργείται κίνδυνος για το νερό, τον αέρα ή το έδαφος, ούτε για την πανίδα και τη χλωρίδα χωρίς να προκαλούνται ενοχλήσεις από το θόρυβο ή τις οσμές
  - B) χωρίς να βλάπτονται οι τοποθεσίες και τα τοπία που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.
4. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για την απαγόρευση της εγκατάλειψης, της απόρριψης και της ανεξέλεγκτης διάθεσης των αποβλήτων.
5. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα, σε συνεργασία με άλλα κράτη μέλη εφόσον αυτό παρίσταται αναγκαίο ή σκόπιμο , ώστε να δημιουργηθεί ολοκληρωμένο και κατάλληλο δίκτυο εγκαταστάσεων διάθεσης των αποβλήτων, που λαμβάνει υπόψη τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες που δεν συνεπάγονται υπερβολικό κόστος. Το δίκτυο αυτό πρέπει να επιτρέπει στην Κοινότητα ως σύνολο να καταστεί αυάρκης στον τομέα της διάθεσης των αποβλήτων της και στα κράτη μέλη να τείνουν χωριστά προς το στόχο αυτό, λαμβανομένων υπόψη των γεωγραφικών συνθηκών ή της ανάγκης ειδικών εγκαταστάσεων για ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων.
6. Το κατά την παράγραφο 1 δίκτυο πρέπει να καθιστά δυνατή τη διάθεση των αποβλήτων σε μία από τις πλησιέστερες κατάλληλες εγκαταστάσεις, με χρησιμοποίηση των καταλληλότερων μεθόδων και τεχνολογιών για την εξασφάλιση υψηλού επιπέδου προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.**[6]**

**Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 19<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών**

Η νέα Οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ αντικαθιστά την Οδηγία 2006/12/ΕΚ (και καταργεί τις Οδηγίες για την διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και των λιπαντικών (75/439/ΕΚ, 91/689/ΕΚ) και θα πρέπει να ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο των κρατών-μελών ως τον Δεκέμβριο του 2010. Η αναθεώρηση της Οδηγίας έγινε στα πλαίσια υλοποίησης της στρατηγικής για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση με στόχο να αποσαφηνίσει έννοιες όπως απόβλητο, διάθεση, αξιοποίηση, να ενισχύσει και να προωθήσει την πρόληψη της παραγωγής των απορριμμάτων, να εισάγει την έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής στην λήψη αποφάσεων για την διαχείρισή τους και να προωθήσει την ανάκτηση υλικών και ενέργειας. Η Οδηγία θεσπίζει την ακόλουθη ιεράρχηση ως προτεραιότητα στην νομοθεσία και την πολιτική για την διαχείριση των απορριμμάτων:

1. Πρόληψη.
2. Ανακύκλωση.
3. Άλλου είδους ανάκτηση.
4. Διάθεση.

Επίσης καθορίζει πότε η αποτέφρωση των απορριμμάτων θεωρείται ανάκτηση και όχι διάθεση, σε συμφωνία και με τα έγγραφα αναφοράς των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών για την αποτέφρωση των αποβλήτων (IPPC Directive). Η νέα Οδηγία προβλέπει την δημοσίευση κατευθύνσεων για τα κριτήρια ταξινόμησης ενός αποβλήτου ως προϊόντος ή όχι, καθώς και την θέσπιση ποσοτικών στόχων πρόληψης της παραγωγής των απορριμμάτων από τα κράτη μέλη. Θέτει συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους για την αξιοποίηση των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις (70% ως το 2020), ελάχιστο ποσοτικό στόχο ανακύκλωσης των οικιακών αποβλήτων (50% ως το 2020) και προϋποθέτει την ξεχωριστή συλλογή τουλάχιστον του χαρτιού, μετάλλου, πλαστικού και γυαλιού μέχρι το 2015. Αναφορικά με την διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, προτείνει την ξεχωριστή

συλλογή τους και τη διερεύνηση του πλαισίου διαχείρισής τους από την Επιτροπή (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008).[7]

### 1.3 Ελληνική Νομοθεσία

Σε εναρμόνιση με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία η αντίστοιχη Ελληνική που αφορά στα στερεά απόβλητα και το κόμποστ περιγράφεται παρακάτω.

1. Κοινή Υπουργική Απόφαση **50910/2727/2003** (ΦΕΚ 1909 Β) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης». Αντικατέστησε τις: ΚΥΑ 69728/824/96, ΚΥΑ 113944/97 και ΚΥΑ 14312/1302/00. Τροποποίησε την ΚΥΑ 29407/3508/2002.
2. Κοινή Υπουργική Απόφαση **114218/97** (ΦΕΚ 1016/Β): «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων».
3. Κοινή Υπουργική Απόφαση **80568/91** (ΦΕΚ 641/Β): «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων».
4. Κοινή Υπουργική Απόφαση **49541/1424/86** (ΦΕΚ 444/Β): «Περί στερεών αποβλήτων, σε συμμόρφωση προς την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15ης Ιουλίου 1975».

**1.3.1 ΚΥΑ 50910/2727/2003** «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης».

- i. Σε εναρμόνιση: 91/156/ΕΟΚ
- ii. Σκοπός: με τον καθορισμό κατευθύνσεων, μέτρων, όρων και διαδικασιών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται κατά το δυνατόν οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και να εξασφαλίζεται έτσι ένα υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.
- iii. Βασικά σημεία της Απόφασης:
  - Στόχοι και αρχές για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

- Δίνονται γενικές κατευθύνσεις για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στο σύνολο της χώρας και μέτρα που προωθούν την πρόληψη ή και τη μείωση της παραγωγής και της βλαπτικότητας των αποβλήτων (νέες τεχνολογίες, καθαρότερα προϊόντα, τεχνικές διάθεσης επικίνδυνων ουσιών, ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ή άλλες διαδικασίες για παραγωγή δευτερογενών πρώτων υλών ή προϊόντων, τεχνικές προδιαγραφές των συστημάτων συλλογής και μεταφοράς καθώς και των εγκαταστάσεων προσωρινής αποθήκευσης, μεταφοράς, διάθεσης και αξιοποίησης των αποβλήτων).
- Δημιουργία εθνικού δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων.
- Για κάθε Περιφέρεια της χώρας καταρτίζεται Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠΕΣΣΔΑ).
- Καθορίζονται οι υπόχρεοι φορείς διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
- Καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.
- Καθορίζονται τρόποι εξυγίανσης, αποκατάστασης και τερματισμού λειτουργίας της εγκατάστασης ή του χώρου διάθεσης ή αξιοποίησης στερεών αποβλήτων.
- Καθορίζονται μέτρα για τους ανεξέλεγκτους χώρους διάθεσης ή αξιοποίησης στερεών αποβλήτων.
- Καθορίζονται οι υποχρεώσεις των κατόχων και των υπευθύνων εγκαταστάσεων και χώρων διάθεσης, αξιοποίησης και μεταφόρτωσης στερεών αποβλήτων.
- Θεσπίζεται διαδικασία υποβολής εκθέσεων Παρακολούθησης και Αξιολόγησης, από τους Γενικούς Γραμματείς των Περιφερειών, των εγκαταστάσεων και χώρων διαχείρισης στερεών αποβλήτων (άδειες διαχείρισης, κανόνες και συνθήκες λειτουργίας, προβλήματα, πρόοδος των ΠΕΣΣΔΑ).
- Έλεγχος τήρησης των περιβαλλοντικών όρων.

**1.3.2 ΚΥΑ 114218/1016/97** «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων».

- i. Σε εναρμόνιση : 91/156/ΕΟΚ.
- ii. Στόχος: κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
- iii. Βασικά στοιχεία Οδηγίας:
  - Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τη συλλογή, προσωρινή αποθήκευση και μεταφορά των στερεών αποβλήτων (μέσα συλλογής – μεταφοράς, εξοπλισμού, κλπ).
  - Καθορισμός παραμέτρων σχεδιασμού συλλογής στερεών αποβλήτων (μετρήσεις, δειγματοληψίες, δρομολόγια μεταφοράς, συχνότητα συλλογής, υπολογισμός απαιτούμενου προσωπικού και εξοπλισμού, μελέτη κόστους – οφέλους για εναλλακτικά σενάρια συστημάτων συλλογής και διάθεσης κλπ).
  - Μέτρα για την ασφάλεια του προσωπικού κατά τη συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων.
  - Μέτρα για την ασφάλεια του προσωπικού κατά την τελική διάθεση των αποβλήτων.
  - Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τη μεταφόρτωση των στερεών αποβλήτων (χαρακτηριστικά λειτουργίας, εξοπλισμού και υποδομής).
  - Καθορισμός όρων και κριτήρια καταλληλότητας θέσεων εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων (χώροι τελικής διάθεσης, εγκαταστάσεις μηχανικής ανακύκλωσης – κομποστοποίησης, κέντρα διαλογής και θερμικής επεξεργασίας, κλπ).
  - Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τα συστήματα διαλογής στην πηγή (μέθοδοι – οργανωτικά σχήματα διαλογής στην πηγή, κέντρα συλλογής, συλλογή πόρτα – πόρτα, απαιτούμενος εξοπλισμός, παράμετροι εξοπλισμού της διαλογής στην πηγή, παροχή κινήτρων, ευαισθητοποίηση).
  - Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τα κέντρα ανακυκλώσιμων υλικών (εισερχόμενα απόβλητα, ανακυκλώσιμα υλικά, τεχνολογίες, εξοπλισμός κλπ).



- Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) (σχεδιασμός, τεχνική υποδομή, κατασκευή, λειτουργία, παρακολούθηση – μέτρα ασφάλειας, τελική κάλυψη, μετέπειτα φροντίδα).
- Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τη μηχανική ανακύκλωση – κομποστοποίηση (ανακτήσιμα υλικά, τεχνικές, τεχνική υποδομή, εξοπλισμός κλπ).
- Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τη θερμική επεξεργασία (μέθοδοι, παράμετροι εφαρμογής κάθε μεθόδου, τεχνική υποδομή, εξοπλισμός, αντιρρυπαντική τεχνολογία, οριακές τιμές εκπομπών, κ.λ.π.).
- Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τη διαχείριση ιλύων (μέθοδοι, παράμετροι εφαρμογής κάθε μεθόδου, τεχνική υποδομή, εξοπλισμός, αντιρρυπαντική τεχνολογία, οριακές τιμές εκπομπών, κ.λ.π.).
- Επιμόρφωση και εκπαίδευση επιστημονικού και τεχνικού προσωπικού για τη λειτουργία συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων.
- Προγράμματα αναβάθμισης και καθαρισμού τουριστικών ακτών.
- Προγράμματα ευαίσθητων περιοχών.

Στην ΚΥΑ αναφέρονται με λεπτομέρεια οι τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή και λειτουργία εγκαταστάσεων μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης. Συγκεκριμένα για τις μονάδες κομποστοποίησης γίνεται αναφορά στις κυριότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την κομποστοποίηση, στα συστήματα κομποστοποίησης, στις μονάδες ωρίμανσης και εξευγενισμού του κόμποστ και τέλος στα μέτρα προστασίας από τις ενδεχόμενες εκπομπές. Τέλος γίνεται αναφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τόσο του κόμποστ, όσο και των εδαφών (Πίνακες 1.3 και 1.4).

**Πίνακας 1.3** Προδιαγραφές κόμποστ

Παράμετροι	Τιμές
Κάδμιο	10 mg/kg Ξηρού βάρους
Χαλκός	500 mg/kg Ξηρού βάρους
Νικέλιο	200 mg/kg Ξηρού βάρους
Μόλυβδος	500 mg/kg Ξηρού βάρους
Χρώμιο III	500 mg/kg Ξηρού βάρους
Χρώμιο IV	10 mg/kg Ξηρού βάρους
Ψευδάργυρος	2000 mg/kg Ξηρού βάρους
Αρσενικό	15 mg/kg Ξηρού βάρους
Υδράργυρος	5 mg/kg Ξηρού βάρους
pH	6-8
Εντεροβακτήρια	Μηδέν
Περιεκτικότητα σε πλαστικά	< 0,3% Ξηρού βάρους
Περιεκτικότητα σε γυαλί	< 0,5% Ξηρού βάρους
Υγρασία	< 40%
Κοκκομετρική διαβάθμιση για το 90% κατά βάρος μέγεθος	< 10mm

**Πίνακας 1.4** Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργημένα εδάφη με βάση ένα μέσο όρο 20 ετών (kg/εκτάριο/έτος).

Παράμετροι	Οριακές τιμές
Κάδμιο	0,15
Χαλκός	12
Νικέλιο	3
Μόλυβδος	15
Ψευδάργυρος	30
Χρώμιο	5
Υδράργυρος	0,1

**1.3.3 ΚΥΑ 80568/4225/91** «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων».

Με την **ΚΥΑ 80568/4225/91** ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 86/278/EC, χωρίς τροποποιήσεις. Έχει γίνει μόνο προσθήκη ορίων για το χρώμιο: 500 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr(III) και 10 mg/kg ξηρού για το Cr(VI). Η διαχείριση της λάσπης, για τη χρήση της στη γεωργία,

ρυθμίζεται από την ΚΥΑ 80568/4225/91, η οποία αφορά τα μέτρα, τους όρους και τους περιορισμούς. Στην ΚΥΑ δίδονται οι οριακές τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στην ιλύ που προορίζονται για τη γεωργία, στο έδαφος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η εν λόγω ιλύς, καθώς και οι οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατά έτος στα καλλιεργήσιμα εδάφη, με βάση ένα μέσο όρο ετών.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ (Άρθρο 5), η γεωργική χρήση της ιλύος απαγορεύεται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- i. Σε χορτολιβαδικές εκτάσεις που χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι ή σε καλλιέργειες ζωοτροφών πριν παρέλθει ορισμένη προθεσμία (μεγαλύτερη από 3 εβδομάδες).
- ii. Σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης (εξαιρούνται οι καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων).
- iii. Σε εδάφη προοριζόμενα για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και που συνήθως καταναλώνονται ωμά (δέκα μήνες πριν αρχίσει η συγκομιδή και κατά τη συγκομιδή).

Οι οριακές τιμές, όσον αφορά στα βαρέα μέταλλα, για την διάθεση της ιλύος στο έδαφος, συμφωνά με την ισχύουσα νομοθεσία και το σχέδιο Αναθεώρησης παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 1.5-1.7. **[8], [9], [10]**

**Πίνακας 1.5** Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος για  $pH$  6 – 7 ( $mg/kg$ ).

<b>Μέταλλα</b>	<b>Οριακές τιμές</b>
Κάδμιο	1 – 3
Χρώμιο	Δεν έχει καθοριστεί τιμή
Χαλκός	50 – 140
Νικέλιο	30 – 75
Μόλυβδος	50 – 300
Υδράργυρος	1.0 – 1.5
Ψευδάργυρος	150 – 300

**Πίνακας 1.6** Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ (mg/kg DS)

<b>Μέταλλα</b>	<b>Οριακές τιμές</b>
Κάδμιο	20 – 40
Χρώμιο (III)	500
Χρώμιο (VI)	10
Χαλκός	1000 – 1750
Νικέλιο	300 – 400
Μόλυβδος	750 – 1200
Υδράργυρος	16 – 25
Ψευδάργυρος	2500 – 4000

**Πίνακας 1.7** Οριακές ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατά έτος σε καλλιεργήσιμα εδάφη (kg/ha.έτος).

<b>Μέταλλα</b>	<b>Οριακές τιμές</b>
Κάδμιο	0,15
Χρώμιο	5
Χαλκός	12
Νικέλιο	3
Μόλυβδος	15
Υδράργυρος	0,10
Ψευδάργυρος	30

## **1.4 Προδιαγραφές Ποιότητας Κόμποστ στην ΕΕ και Διεθνώς**

Οι προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ διαφοροποιούνται από κράτος σε κράτος. Για αυτόν τον λόγο θεωρήθηκε σωστό να παρουσιάσουμε και να εξετάσουμε ποικίλα καθιερωμένα και δημοσιευμένα πρότυπα βασισμένα σε τρεις κύριες κατηγορίες που θεωρούνται θεμελιώδεις για το χαρακτηρισμό της ποιότητας. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, την συγκέντρωση επίμονων οργανικών ρύπων, το περιεχόμενο σε παθογόνους μικροοργανισμούς και το επίπεδο ωρίμανσης/σταθεροποίησης του κόμποστ.

### 1.4.1 Πρότυπα για τα βαρέα μέταλλα

Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην απόθεση του κόμποστ είναι η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σε βαρέα μέταλλα καθότι αυτά μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με το υπάρχον νομικό οι ακόλουθοι ρύποι θεωρούνται ως πιθανά τοξικά στοιχεία :

- Αρσενικό (*As*)
- Κάδμιο (*Cd*)
- Χρώμιο (*Cr*)
- Χαλκός (*Cu*)
- Υδράργυρος (*Hg*)
- Νικέλιο (*Ni*)
- Μόλυβδος (*Pb*)
- Ψευδάργυρος (*Zn*)

**Πίνακας 1.8** Ο διαχωρισμός με βάση την ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ στα κράτη μέλη της ΕΕ και διεθνώς

	Number of Classes	Description of Classes
<b>Austria</b>	Three	Class A+ (top quality, limit values taken from Council Regulation (EEC) No.2092/91 on organic farming) Class A (high quality, suitable for use in agriculture) Class B (minimum quality, suitable for non-agricultural use).
<b>Belgium Flanders</b>	One (Ministry of Agriculture) Three (VLACO, voluntary)	Biocompost (compost from source-separated biowaste) Humotex (compost from aerobically composted digestion residuals) Green waste (compost from source-separated garden waste). Source separated biowaste and green waste.
<b>Brussels</b>	One	Source-separated biowaste and green waste.
<b>Denmark</b>	One	Product standard.

<b>Finland</b>	One	Product standard.
<b>France</b>	One (N FU 44 051) Two (Compost Urbain)	Two (Compost Urbain – standards with same limit values for heavy metals and different standards for physical contaminants Class A and B) voluntary marketing standards.
<b>Germany</b>	Two	Two classes defined with respect to heavy metals.
<b>Greece</b>	One	Only mixed waste composting.
<b>Italy</b>	One set of limit values Two categories of soil improver	composted green soil improver (ammendante compostato verde, compost only from vegetable waste), and composted mixed soil improver (ammendante compostato misto compost from vegetable waste, plus sewage sludge and/or food leftovers, etc.) (differentiated by organic carbon content, C/N ration and humic /fulvic acid content).
<b>Luxembourg</b>	Two	As German RAL standard also differentiation between fresh and mature compost.
<b>Netherlands</b>	Two	Limit values distinguish between very good compost and good compost (through heavy metals).
<b>Portugal</b>	One standard 'assumed' (no law)	Through heavy metals.
<b>Spain</b>	One in Spain Two in Catalunya	Catalunya classes defined through reference to heavy metals.
<b>Sweden</b>	One	Product standard.
<b>UK Composting Association</b>	One	Product standard.
<b>Australia</b>	One class of PTE limits Four classes	Four different products defined through the various limit values in the standard. These four products are divided into the two classes, 'composted product' and

		'pasteurised product', each of which contains two sub-classes, 'soil conditioners and fine mulch', and 'mulch'.
<b>New Zealand</b>	One	Product standard.
<b>Canada</b>	Canadian Food Inspection Agency (AAFC): 1 class	The AAFC recognises only one class of compost, reflective of product safety criteria. It is based on the limits of CCME's Category B and BNQ's Type B compost for trace elements. It reflects the requirements for product maturity, absence of pathogen content and the limits on the presence of sharp objects as part of the foreign matter criteria.
	Canadian Council of Ministers of the Environment: 2 classes (A, B)	Within the CCME Guideline, two compost categories have been established (Category A; and Category B). The difference between the two categories reflects limits set for trace element concentrations. Category A compost may be used for all types of applications: on agricultural lands, in residential gardens, in horticultural operations, in nurseries or other enterprises. Category A criteria for trace elements are achievable using source-separated municipal solid waste feedstock. Category B compost has restricted use. The controls established for its use are determined by each province or territory individually.

	Bureau de normalisation du Quebec: 3 classes (AA, A, B)	Under the BNQ Standard, compost may be classified in three ways (Type AA; Type A; and Type B). The requirements for Type B compost are considered to be the minimum necessary to obtain a good compost. Compost classified as Types AA and A is of higher quality. Total organic matter content and foreign matter content are the distinguishing factors between the three types. Trace element content is the classification feature that differentiates Type AA and Type A compost from that of Type B compost.
USA	One	Product standard (biosolids).

Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην απόθεση του κόμποστ είναι η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σε βαρέα μέταλλα καθότι αυτά μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών, τα Οι προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ ποικίλουν ευρύτατα από χώρα σε χώρα, ακόμη και μέσα στην ΕΕ, τόσο όσον αφορά στη φιλοσοφία τους όσο και στις παραμέτρους που προσδιορίζονται, τα θεσμοθετημένα όριά τους και τα συστήματα πιστοποίησης.

Ο γενικός στόχος που είναι κοινός σε όλες τις προδιαγραφές είναι η προστασία του εδάφους, ειδικά των γεωργικών εδαφών, κυρίως από τα βαρέα μέταλλα (Potential toxic elements, PTEs) (Πίνακας 1.9-1.10). Πιο πρόσφατα έχει δημιουργηθεί ενδιαφέρον για τις οργανικές τοξικές ενώσεις (Organic Pollutants, OPs) που πιθανόν να υπάρχουν στο κόμποστ (PCBs, PAHs, NPE, phthalates κ.ά.) και παρά τις αναλυτικές δυσκολίες που παρουσιάζουν έχουν αρχίσει να εμφανίζονται όλο και συχνότερα στις νομοθεσίες (Πίνακας 1.10). [11]



**Πίνακας 1.9** Όρια βαρέων μετάλλων για τα ευρωπαϊκά πρότυπα κόμποστ (mg/kg ξηρής ύλης εκτός από όπου δηλώνεται) [10]

Country	Regulation	Cd	Cr tot	CrVI	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Austria	Class A+	0.7	70	–	70	0.4	25	45	200	–
	Class A	1	70	–	150	0.7	60	120	500	–
	Class B	3	250	–	500	3	100	200	1800	–
Belgium	Royal Decree, 07.01.1998	1.5	70	–	90	1	20	120	300	–
Denmark	Statutory Order Nr.49	0.8	–	–	1000	0.8	30	120 /60	4000	25
	Compost after 01.06.2000									
Finland	Decisions of the Ministry of Agriculture and Forestry (46/94)	3	–	–	600	2	100	150	1500	50
France	NF COMPOST URBAN	3				8	200	800		
Germany	RAL	1.5	100	–	100	1	50	150	400	–
	Class I	1	70	–	70	0.7	35	100	300	–
	Class II	1.5	100	–	100	1	50	150	400	–
Greece		10	510	10	500	5	200	500	2000	15
Ireland	Licensing of treatment plants as agreed with EPA	1.5	100	–	100	1	50	150	350	15
	Class I	1	100	–	100	1	50	100	200	
	Class II	1.5	150	–	150	1	75	150	400	
Italy	Technical regulation, DCI 27/07/84 (MSWC)	10	500	10	600	10	200	500	2500	10

	Draft Decree on the use of MBTC 1 <sup>st</sup> quality (land reclamation)	3	–	3	300	3	100	280	1000	–
	Law on fertilizers (L 748/84; and 03/84) BWC/GC/SSC	1.5	–	0.5	150	1.5	50	140	500	
<b>Lux</b>	Licensing for plants	1.5	100	–	100	1	50	150	400	–
<b>Holland</b>	BOOM compost	1	50	–	60	0.3	20	100	200	15
	BOOM very clean compost	0.7	50	–	25	0.2	10	65	75	5
<b>Portugal</b>	Degree on sludge (limit value utilized also for MSW)	20	1000		1000	16	300	750	2500	–
<b>Spain</b>	B.O.E.n'm. 131.2 June 1998	10	400	–	450	7	120	300	1100	–
	Spanish draft on composting Class AA	2	250	–	300	2	100	150	400	–
	(Stabilised Biowaste) Class A	5	400	–	450	5	120	300	1100	–
	Catalonia draft on composting Class A	2	100	0	100	1	60	150	400	–
	(Stabilised Biowaste) Class B	3	250	0	500	3	100	300	1000	–
<b>Sweden</b>	Guideline values of QAS	1	100	–	100	1	50	100	300	–

Swi/land	Verordnung über umweltgefährde nde Stoffe Nr.814.013, 9 Juni 1986, rev.28.12.01	1	100	–	1	30	120	400	–	
UK	UKROFS fertil.org.farming “Composted Household waste”	0.7	70	0	70	0.4	25	45	200	–
	Soilimprovers and growing media	1.5	100	–	200	1	50	150	400	–
EU ECO Label		1	100	–	100	1	50	100	300	10
EC Reg. 2092/91		0.7	70	–	70	0.4	25	45	200	–
Canada		20	–	–	–	5	180	500	1850	75
USA	EPA CFR40/503 Sludge Rule	39	–	–	1500	17	420	300	2800	41
New Zealand		15	1000	–	1000	10	200	600	2000	–
Australia		3	400	–	200	1	60	200	250	20

\* Θέστε στα πρότυπα BNQ μόνο

\*\* Ομαλοποιημένος σε ένα περιεχόμενο οργανικής ουσίας 30%

**Πίνακας 1.10** Μέγιστες και ελάχιστες οριακές τιμές μετάλλων (PTEs) στην ΕΕ (mg/kg)

	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>CrV</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>
<b>Limit values for Compost from source separation (BWC &amp; GC)</b>									
<b>min</b>	0.7	50	0	25	0.2	10	45	75	<b>5</b>
<b>max</b>	3	250	3	600 (1,000) *	3	100	280	1,500 (4.000) *	<b>50</b>
<b>limit values for MSW and MBT Composts</b>									
<b>min</b>	3	250	0	450	3	100	200	1,000	<b>10</b>
<b>max</b>	20	1,000	10	1,000	16	300	800	4,000	<b>25</b>
<b>Ελλάδα</b>									
	<b>10</b>	<b>510</b>	<b>10</b>	<b>500</b>	<b>5</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>2000</b>	<b>15</b>

(\*) τα όρια  $Cu = 1000$ ,  $Zn = 4000 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d. m.}$  δίνονται από τη Δανία «Statutory Order on Application of Waste Products for Agricultural Purposes»[9]

#### 1.4.2 Πρότυπα για τους οργανικούς ρύπους στο κόμποστ

Χιλιάδες χημικές ενώσεις εμπεριέχονται σε προϊόντα και υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στη καθημερινή μας ζωή. Πολλές από αυτές είναι μολυσματικές αν και λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης ή της ευκολίας να διασπαστούν από τους μικροοργανισμούς δεν προκαλούν απειλή στο περιβάλλον. Εντούτοις, υπάρχουν μερικές οργανικές ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας αποβλήτων και τείνουν να συσσωρεύονται αποτελώντας πηγή ανησυχίας λόγω της τοξικότητάς τους. Υπάρχουν τρεις κύριοι λόγοι γιατί μια οργανική ένωση πρέπει να αντιμετωπίζεται:

1. Η αποδόμηση από τους μικροοργανισμούς της σχετικής ένωσης είναι αργή (από μερικούς μήνες έως πολλά έτη) και επομένως υπάρχει κίνδυνος συγκέντρωσης στο χώμα
2. Η οργανική ένωση μπορεί να συσσωρευτεί στα ζώα και επομένως θέτει μια σοβαρή απειλή στον άνθρωπο
3. Τα προϊόντα αποδόμησης της οργανικής ένωσης είναι τοξικότερα από την αρχική ένωση.

Σχετικά με τους οργανικούς ρύπους στο κόμποστ, για την ώρα στην ΕΕ μόνο Αυστρία, Δανία και Λουξεμβούργο φαίνεται να ανησυχούν και έτσι έχουν θεσπίσει τα όρια που βλέπουμε στον πίνακα 1.11

Ο Καναδάς δηλώνει ότι δεν υπάρχει κανένας ισχυρός λόγος να συνυπολογισθούν τα όρια οργανικών μολυσματικών παραγόντων στα πρότυπα του κόμποστ και ότι οι οργανικοί μολυσματικοί παράγοντες πρέπει να εξεταστούν για την τυποποίηση του λιπάσματος μόνο στην περίπτωση που πληροφορίες ή επιστημονικά συμπεράσματα το δικαιολογούν.

**Πίνακας 1.11** Οριακές τιμές για οργανικούς ρύπους και φυτοφάρμακα στο κόμποστ [10]

	<u>Austria</u> Mixed MSW compost only	<u>Denmark</u> Biowaste compost	<u>Luxembourg</u> Guide values for fresh and matured compost
PCB <sup>1</sup>	1 mg/kg dm		<b>0.1 mg/kg dm</b> (4 analysis per year)
PCCD/F <sup>2</sup>			<b>20 mg/kg dm</b> (4 analysis per year)
Dioxins	50 mgITEQ /kg dm		
PAH <sup>3</sup>	6 mg/kg dm	3 mg/kg dm	<b>10 mg/kg dm</b> (2 analysis per year)
AOX <sup>4</sup>	500 mg/kg dm		
Hydrocarbons	3000 mg/kg dm		
LAS <sup>5</sup>		1,3 g/kg dm	
NPE <sup>6</sup>		30 mg/kg dm	
DEHP <sup>7</sup>		<b>50 mg/kg dm</b>	

<sup>1</sup> PCB: Polychlorinated biphenyls; <sup>2</sup> PCCD/F: Polychlorinated dibenzofuran; <sup>3</sup> PAH: polycyclic aromatic hydrocarbons; <sup>4</sup> AOX: Absorbable organic halogens; <sup>5</sup> LAS: linear alkylbenzene sulphonates; <sup>6</sup> NPE: nonylphenol; <sup>7</sup> DEHP: Di (2-ethylhexyl) phthalate

### 1.4.3 Πρότυπα για την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς, ακαθαρσίες και ζιζάνια [10]

Η πιο καθοριστική παράμετρος που επηρεάζει τον ρυθμό μείωσης των παθογόνων οργανισμών στο τελικό κόμποστ είναι το επίπεδο καθώς και η διάρκεια της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση της οργανικής ύλης.

**Πίνακας 1.12** Οριακές τιμές για οργανικούς ρύπους και φυτοφάρμακα στο κόμποστ [10]

Χώρα	Ελάχιστη θερμοκρασία °C	Μέρες
Αυστρία		
Βέλγιο	60	4
Δανία	55	14
Γαλλία	60	4
Γερμανίας	55	14
	60 (in-vessel)	7
	65 (not in-vessel)	7
Ιταλία	55	3
Ολλανδία	55	4
Σουηδία	55-77, εξαρτάται από το προς κομποστοποίηση υλικό	
Ηνωμένο Βασίλειο	60 (δεν απαιτείται αλλά στοχεύεται να προσεγγιστεί)	Υπάρχει χρονική περίοδος για την διεργασία αλλά ανεξάρτητη της θερμοκρασίας
Καναδάς (CCME)	55	3 in-vessel 15 for windrow 3 for aerated static pile
ΗΠΑ	55	5 in vessel 15 for windrow
Αυστραλία	55	απαιτήσεις για τρεις στροφές του σωρού με εσωτερική θερμοκρασία που φθάνει τους 55°C για 3 ημέρες πριν από κάθε στροφή
Νέα Ζηλανδία	55	3
Εν εξελίξη νομικό διάταγμα στη ΕΚ για τα βιοαπορρίμματα	55 windrow composting	14 (5στροφές)
	65 windrow composting	1 εβδομάδα (2 στροφές)
	60 in-vessel composting	



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ**

#### **2.1. Εισαγωγή**

Ο όρος κομποστοποίηση (composting) αναφέρεται στη 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 τις άλλες μεθόδους διαχείρισης ΣΑ. Ο όρος « οργανικό κλάσμα » έχει να κάνει με τη βιολογική αποδόμηση. Γενικά μόνο τα βιολογικής προέλευσης υλικά μπορούν να βιοαποδομηθούν. Η φράση « ελεγχόμενες συνθήκες » είναι ίσως η πιο σημαντική από τις φράσεις – κλειδιά, καθότι διαφοροποιεί τη κομποστοποίηση από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. [14]

#### **2.2. Ιστορική ανασκόπηση της κομποστοποίησης**

Οι Mayas, ένας λαός, ο οποίος κατοικούσε στην κεντρική Αμερική και μάλιστα σε δασώδεις εκτάσεις, τρεφόταν κυρίως με καλαμπόκι. Για να αυξήσουν την παραγωγή τους κατέληξαν στα να εναποθέτουν τα προϊόντα καύσης των απορριμμάτων τους στα εδάφη τα οποία καλλιεργούσαν.

Οι Κινέζοι για περισσότερο από 50 αιώνες αναφέρεται ότι χρησιμοποιούσαν τον ίδιο τρόπο διαχείρισης των απορριμμάτων/αποβλήτων τους. Αναφέρεται ότι τα απορρίμματα τους τα χρησιμοποιούσαν μετά από κάποιου είδους σταθεροποίηση στη γεωργία με σκοπό την αύξηση της γονιμότητας τους. Έτσι γίνεται η πρώτη αναφορά για την παραγωγή ενός εδαφοβελτιωτικού προϊόντος που το ονόμασαν «humus». Του έδωσαν αυτό το όνομα γιατί τους έδινε την αίσθηση και τη μυρωδιά του χώματος. Άλλωστε «humus» σημαίνει χώμα.



Η κομποστοποίηση αναμφισβήτητα ως μια γενικότερη έννοια εφαρμοζόταν στους αρχαίους χρόνους. Οι Ισραηλίτες, οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν οργανικά απορρίμματα για την παραγωγή φυσικού λιπάσματος. Οι μεταγενέστεροι πολιτισμοί Ν. Αμερικής, Κίνας, Ιαπωνίας και Ινδιών εφάρμοζαν την κομποστοποίηση εντατικά στην γεωργία χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα για την παραγωγή του εδαφοβελτιωτικού απορρίμματα ζώων και ανθρώπων. Πολλά από αυτά τα οργανικά απορρίμματα τοποθετούνταν σε γραμμικούς σωρούς (Windrow) μέχρι να σταθεροποιηθούν και να δώσουν το τελικό προϊόν που δεν είναι άλλο από το κόμποστ. Έτσι γίνεται και η πρώτη αναφορά στα συστήματα κομποστοποίησης.

Έρευνα για την κομποστοποίηση στις Ηνωμένες Πολιτείες εμφανίζεται να έχει αρχίσει το 1843. Την χρονιά εκείνη ο George Bommer προτείνει μια μέθοδο διαχείρισης των αγροτικών απορριμμάτων (κοπριάς). Η μέθοδος η οποία ονομάζεται «Bommer Method of Making Manure», έχει ως χαρακτηριστικό της την τοποθέτηση των απορριμμάτων αυτών σε δικτυωμένες σχάρες έτσι ώστε το παραγόμενο στράγγισμα να πέφτει προς τα κάτω, να συλλέγεται και στη συνέχεια να ανακυκλώνεται, εξοικονομώντας σημαντικές ποσότητες νερού.

Η πρώτη όμως επίσημη αναφορά για την κομποστοποίηση στη Αμερικανική ήπειρο γίνεται το 1888 στο περιοδικό Bulletin No 61, απ' το Σταθμό Γεωργικών Πειραμάτων της Β. Καρολίνας και το οποίο εκδόθηκε τον Δεκέμβριο της ίδιας χρονιάς. Η μελέτη είχε τίτλο «XI. Compost-Formulas, Analyses and Value».

Πολλά χρόνια αργότερα στις Ινδίες και συγκεκριμένα το 1925, γίνεται η πρώτη σημαντική ανακάλυψη από τον Sir Albert Howard. Ο Sir Albert Howard ανέπτυξε την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης των απορριμμάτων και των υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή ήταν μέχρι τότε γνωστή ως Indore Process . Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή χρειάζονται έξι μήνες τουλάχιστον για να πάρουμε ένα καλό εδαφοβελτιωτικό – κόμποστ. Στη συνέχεια η μέθοδος μετατρέπεται σε αερόβια διεργασία και πήρε το όνομα Bangalore Process η

οποία χρησιμοποιείται στις Ινδίες ακόμα και σήμερα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή γίνεται εκμετάλλευση των αστικών απορριμμάτων και των λυμάτων.

Από το 1922 και μετά άρχισαν να εμφανίζονται και στη Ευρώπη διάφορες μέθοδοι κομποστοποίησης. Η πιο γνωστή από όλες ήταν η μέθοδος Baccari, σύμφωνα με την οποία η αποσύνθεση της οργανικής ύλης μπορούσε να γίνει σε ένα κλειστό σύστημα χρησιμοποιώντας αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες.

Η πρώτη πλήρης κλίμακα κομποστοποίησης στην Ευρώπη γίνεται το 1932 από μια Ολλανδική εταιρία την N.V. Vuilafvoer Moatschapij (VAM). Το σύστημα γνωστό και ως Van Maanen ήταν ουσιαστικά μια παραλλαγή της διεργασίας Indore. Σύμφωνα με τη μέθοδο VAM τα απορρίμματα βιοαποδομούνταν σε γραμμικούς σωρούς και στους οποίους η ανάδευση γινότανε με εναέριους γεραμούς.

Το 1933 εμφανίζεται μια νέα διεργασία κομποστοποίησης, γνωστή μέχρι σήμερα με το όνομα DANO. Οι αντιδραστήρες DANO είναι αερόβιοι, έχοντας ένα οριζόντιο άξονα ο οποίος περιστρέφεται σιγά – σιγά και προσδίδει αέρα. Μετά από έρευνες οι αντιδραστήρες DANO πήραν την τελική τους μορφή. Κράτησαν το κυλινδρικό σχήμα το οποίο είχαν από την αρχή, αλλά το μήκος τους αυξήθηκε σε 30m και η διάμετρος σε 4,5m. Οι αντιδραστήρες αυτοί έχουν την ικανότητα να επεξεργάζονται μέχρι και 150 τόνους/ημέρα απορρίμματα. Αντιδραστήρες DANO χρησιμοποιούνται και σήμερα. Στο χώρο υγειονομικής ταφής στη χωματερή των Άνω Λιοσίων ξεκίνησε την εγκατάσταση του το εργοστάσιο μηχανικής ανακύκλωσης των απορριμμάτων του Νομού Αττικής. Στο εργοστάσιο αυτό έχουν τοποθετηθεί τρεις DANO αντιδραστήρες διαμέτρου 3,5 μέτρων και μήκους 50 μέτρων (περίπου) με δυνατότητα να επεξεργάζονται μέχρι και 1200 τόνους την ημέρα απορριμμάτων και λάσπης.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η κομποστοποίηση άρχισε να αναπτύσσεται πολύ στη Γηραιά Ήπειρο ενώ στην Αμερική για κάποιους λόγους σταμάτησε.

Από τα κυριότερα συστήματα κομποστοποίησης τα οποία καταγράφηκαν μέχρι το 1970 στον Πίνακα 2.1 αναφέρονται τα πιο σημαντικά.

**Πίνακας 2.1** Τα κυριότερα συστήματα κομποστοποίησης μέχρι το 1970

Συστήματα	Σύντομη Περιγραφή	Προέλευση
Bangalore (Indore)	Λάκκος 0,6 – 1m βάθος ή σωρός. Χρόνος παραμονής 120 – 180 ημέρες. Επεξεργάζεται οργανικά λύματα	Ινδίες, Ν. Αφρική
Caspari	Συμπιεσμένα απορρίμματα σε κύβους στοιβαγμένα για 30 – 40 ημέρες.	Γερμανία
DANO	Κυλινδρικού σχήματος αντιδραστήρες μήκους 50 m και διαμέτρου 3 – 4 m. Χρόνος παραμονής 1 – 5 ημέρες. Ωρίμανση σε γραμμικούς σωρούς.	Αμερική, Ευρώπη
Earp – Thomas	Αντιδραστήρες τύπου Σιλό με χρόνο παραμονής 2 – 3 ημέρες.	Γερμανία, Ελβετία, Ιταλία, Ελλάδα
Fairfield – Hardy	Κυλινδρικού σχήματος αντιδραστήρες με μηχανική παροχή αέρα.	Αμερική
Metro Waste	Ανοιχτού τύπου αντιδραστήρας, οριζόντιου ορθογώνιου σχήματος διαστάσεων 7 * 3,5 * 130 m, με χρόνο παραμονής 5 ημέρες.	Αμερική

Τη δεκαετία του 1960 δύο Διδάκτορες του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας οι Gottas και Goulke άρχισαν να αναπτύσσουν τη διεργασία του Composting. Την ίδια περίοδο η Επιτροπή Δημόσιας Υγείας των Ηνωμένων Πολιτειών άρχισε δύο σημαντικές έρευνες για την κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων με βιοστερεά. Η μία έρευνα έγινε στην Florida η άλλη στο Tennessee. Η εφαρμογή του κόμποστ σε καλλιεργήσιμα εδάφη έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα, αυξάνοντας σε ικανοποιητικό επίπεδο την παραγωγή.

Το 1975 το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών αναπτύσσει την μέθοδο αεριζόμενων στατικών σωρών για την κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων.

Το 1976 το Rutgers University New Jersey αναπτύσσει μέθοδο για την κομποστοποίηση των βιοστερεών η οποία είναι γνωστή μέχρι σήμερα ως Rutgers Strategy Rutgers Methods. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται αντιδραστήρας κάθετης ή οριζόντιας ροής. Στο κέντρο του αντιδραστήρα αναπτύσσεται θερμοκρασία που φθάνει τους 65°C, ενώ η

υγρασία του συστήματος δεν ξεπερνά το 60%. Υπάρχει μηχανική ανάδευση και αερισμός. Ο χρόνος παραμονής στον αντιδραστήρα κυμαίνεται μεταξύ 15-21 μέρες. Στη συνέχεια το μη ώριμο κόμπποστ οδηγείται σε μη γραμμικούς σωρούς για ωρίμανση ή τοποθετείται σε σακούλες. Το τελικό προϊόν είναι έτοιμο για διάθεση μέσα σε 120 ημέρες.

Είναι λοιπόν γνωστό ότι η διαχείριση των απορριμμάτων και των ιλύων, καθώς και η υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών από τη συνεχή χρήση των φυτοφαρμάκων και των χημικών λιπασμάτων είναι ορισμένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που απασχολούν τις σύγχρονες κοινωνίες.

Η υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών οφείλεται στη συνεχή ελάττωση της οργανικής ουσίας τους και αποδίδεται στο ότι η φυσική κάλυψη των εδαφών αντικαταστάθηκε από καλλιέργειες που τις περισσότερες φορές είναι μονοκαλλιέργειες με σύντομους κύκλους. Η σύγχρονη γεωργία με τα μέσα που διαθέτει, βελτιώνει προσωρινά τη δομή των εδαφών αυξάνοντας την παραγωγικότητα. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα την γήρανση των εδαφών και κατ' επέκταση την υποβάθμισή τους.

Η ανακύκλωση τόσο όμως του οργανικού κλάσματος που βρίσκονται στα απορρίμματα όσο και της ιλύος (λάσπη) μπορεί να προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, δεδομένου ότι τα βιοαποδομήσιμα συστατικά τους αντί να επιβαρύνουν το περιβάλλον θα δώσουν, έπειτα από αερόβια επεξεργασία οργανοχημικά υλικά που θα βελτιώσουν τη δομή των υποβαθμισμένων αγροτικών εδαφών. [16]

### **2.3. Μικροοργανισμοί κομποστοποίησης - Φάσεις ζύμωσης**

Η ζύμωση των οικιακών απορριμμάτων αποβλέπει κυρίως στην απόκτηση μιας υψηλής θερμοκρασίας για την απαλλαγή του παραγόμενου κόμπποστ 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

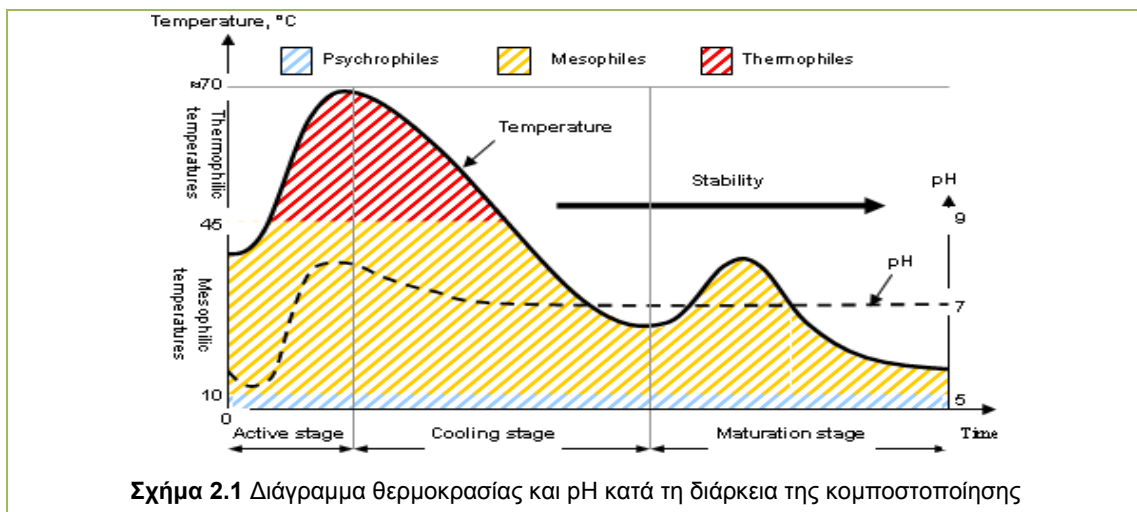
Κατά την οποία ανεβαίνει η θερμοκρασία, η οποία εξελίσσεται πιο γρήγορα, όταν ο αέρας και η υγρασία πλησιάζουν την επιθυμητή περιεκτικότητα. Αναπτύσσονται τα μεσόφιλα μικρόβια που προκαλούν την έναρξη της ζύμωσης. Στους 40°C – 45°C τα μεσόφιλα μικρόβια πεθαίνουν.

## 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 κόμπποστ.

## 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.



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 θερμοφιλων 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.

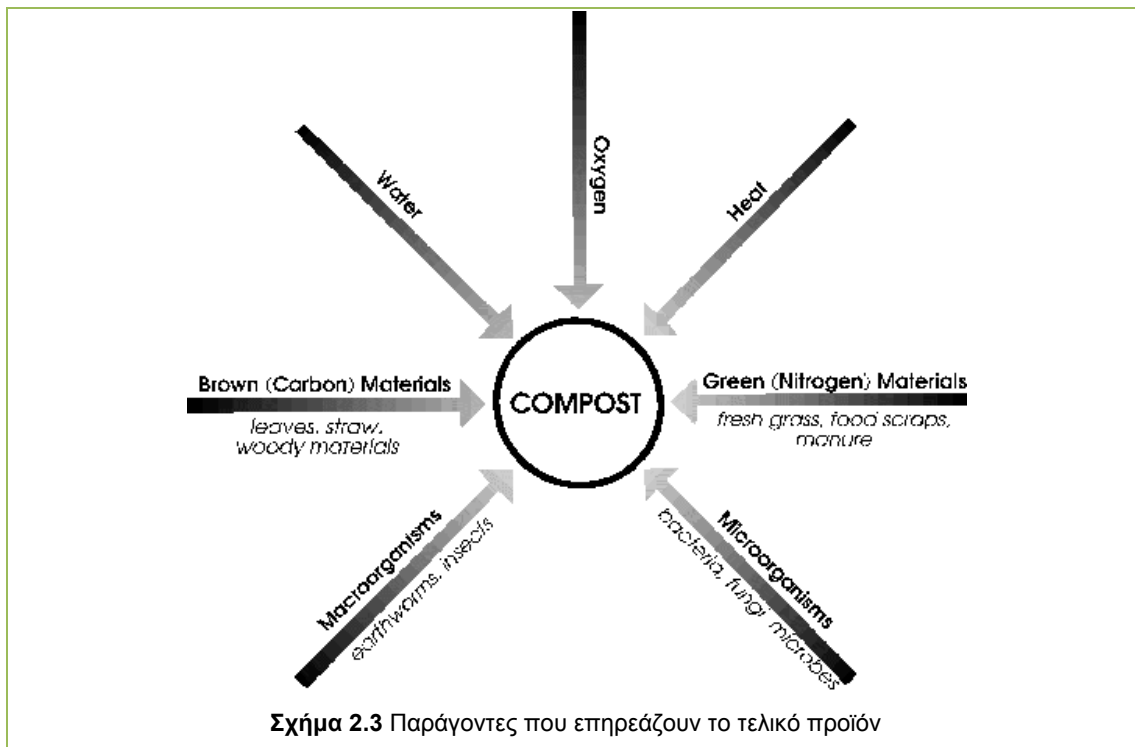
Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης.



## 2.4. 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  $pH$



#### 2.4.1 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.

#### **2.4.2 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 (αναφέρθηκε προηγουμένως), 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 δύσσοσμων 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).

### **2.4.3 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 διασπούν 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 κομπποστοποίησης 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.

#### **2.4.4 Υγρασία**

Η περιεχόμενη υγρασία και ο ρυθμός αερισμού του προς κομπποστοποίηση 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 κομπποστοποίηση ποικίλει και εξαρτάται από τη φύση και το μέγεθος των κόκκων του υλικού καθώς και από τη μέθοδο κομπποστοποίησης 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.

#### **2.4.5 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  $CO_2$ , 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 2.2** 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

**Πίνακας 2.3** Αναλογία άνθρακα και αζώτου στα διάφορα οργανικά υλικά

Υλικά	Αναλογία C/N
Ούρα ζώων (αγελάδες, πρόβατα)	0,8
Αίμα ζώων σε σκόνη	3
Μαύρος χούμος	10
Κοπριά (αγελάδες, πρόβατα) χωνεμένη 8 μηνών	10
Κοπριά χωνεμένη χωρίς χύμα 4 μηνών	15
Κομένη χλόη (γκαζόν)	12
Διάφορα πράσινα μέρη φυτών	7
Άχυρο οσπρίων	15
Ψυχανθές άλφα-άλφα	16 – 20
Οικιακά υπολείμματα	20
Υπολείμματα φυτού πατάτας	25
Φύλλα πεύκων	30
Φρέσκια κοπριά αγελάδων με πολλά άχυρα	30
Φρέσκια κοπριά αγελάδων με λίγα άχυρα	20
Φύλλα οπωροφόρων δένδρων	50
Ανοιχτόχρωμη τύρφη	50
Άχυρα βρώμης	50
Άχυρα σίκαλης	65
Άχυρα σιταριού	125
Άχυρα δημητριακών (γενικά)	50 – 150
Φρέσκο πριονίδι	208
Χωνεμένο πριονίδι	511

#### 2.4.6 Τιμές *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.

## **2.5. 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:

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

### **2.5.1 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 φυσητήρες.

#### **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 τραπέζιου. 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.



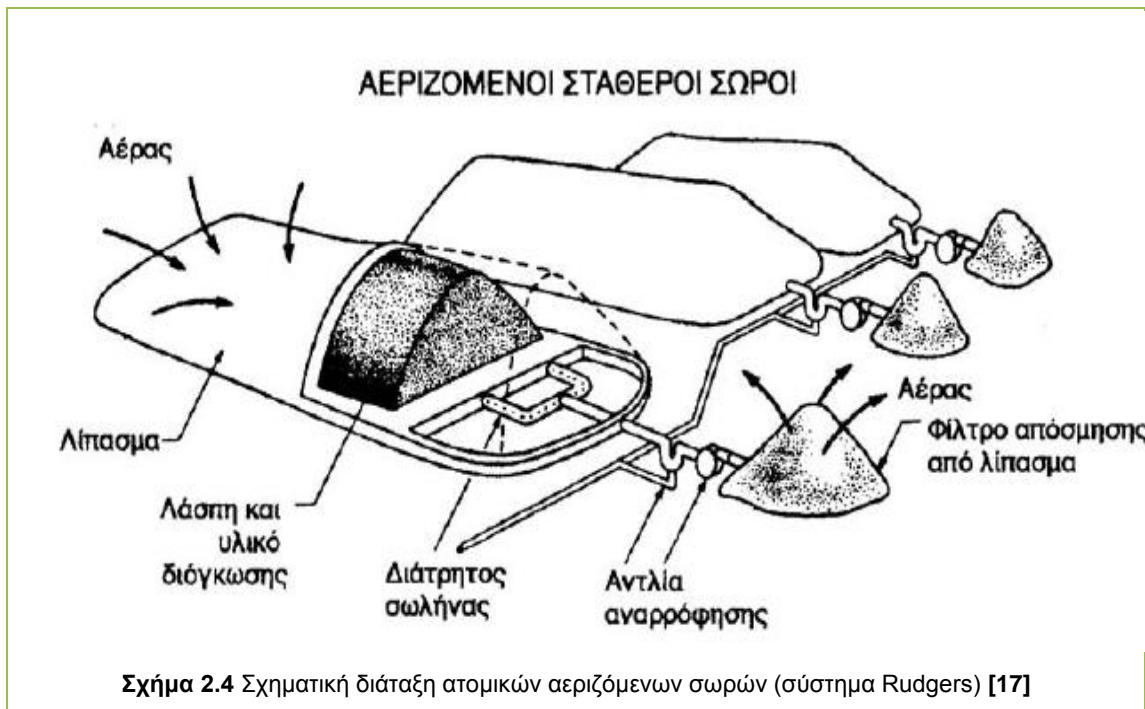
Όλα τα μηχανήματα που διατίθενται στην αγορά έχουν κατασκευαστεί αποκλειστικά για τον σκοπό της μηχανικής αναμόχλευσης των σειραδίων. Βασικά διακρίνονται σε δύο τύπους: Τους μετωπικούς αναμοχλευτές (straddle turners) και τους πλευρικούς αναμοχλευτές (Side-cutting windrow turners). Οι μετωπικοί αναμοχλευτές (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 οποίο εφαρμόζεται εξαναγκασμένος αερισμός. Η μέθοδος αναπτύχθηκε με στόχο την μείωση της απαιτούμενης έκτασης και την βελτιστοποίηση της διεργασίας της κομποστοποίησης.

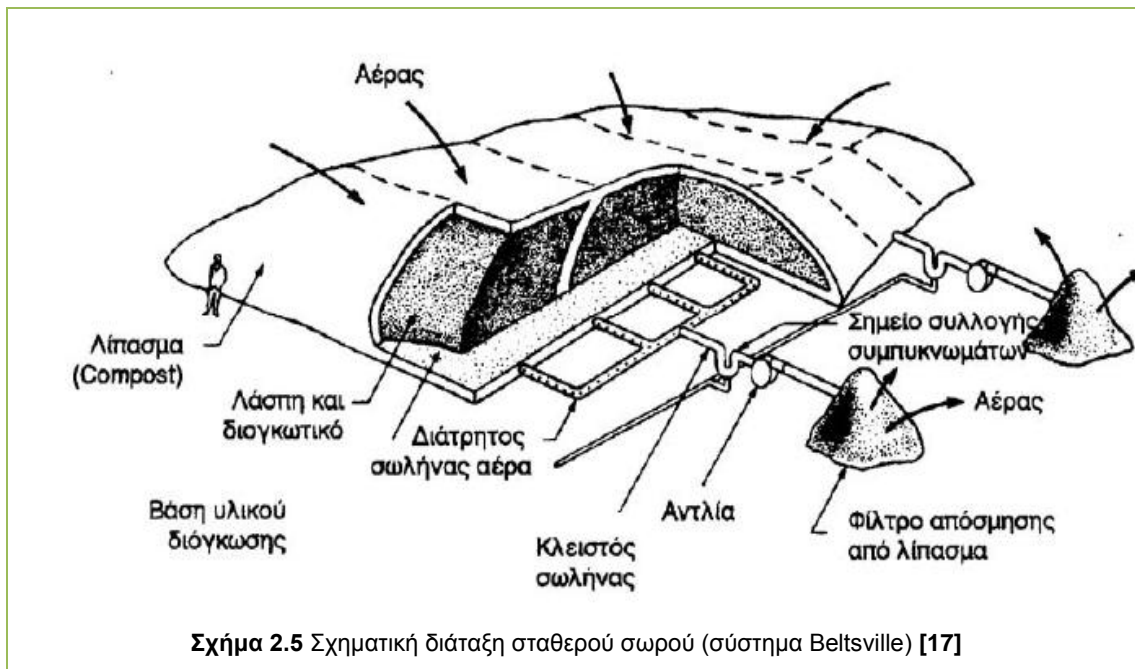
Οι αεριζόμενοι σταθεροί σωροί διακρίνονται σε ατομικούς σωρούς και σε εκτεταμένους σωρούς. Η πρώτη μέθοδος είναι γνωστή σαν μέθοδος Rudgers και η δεύτερη μέθοδος ως μέθοδος Beltsville. Ο αερισμός των σωρών μπορεί να γίνει με αναρρόφηση αέρα, ή εμφύσηση αέρα, ή με συνδυασμό και των δύο. Τα δύο συστήματα 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 [17].



### 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 2.5 Σχηματική διάταξη σταθερού σωρού (σύστημα Beltsville) [17]

### 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. [17]

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 δύσσομων 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 στραγγιστήριο τοποθετημένο στο κανάλι αερισμού κάτω από τον σωλήνα του αέρα. Τα στραγγίσματα πρέπει χρίζονται κατάλληλης επεξεργασίας καθότι έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο.

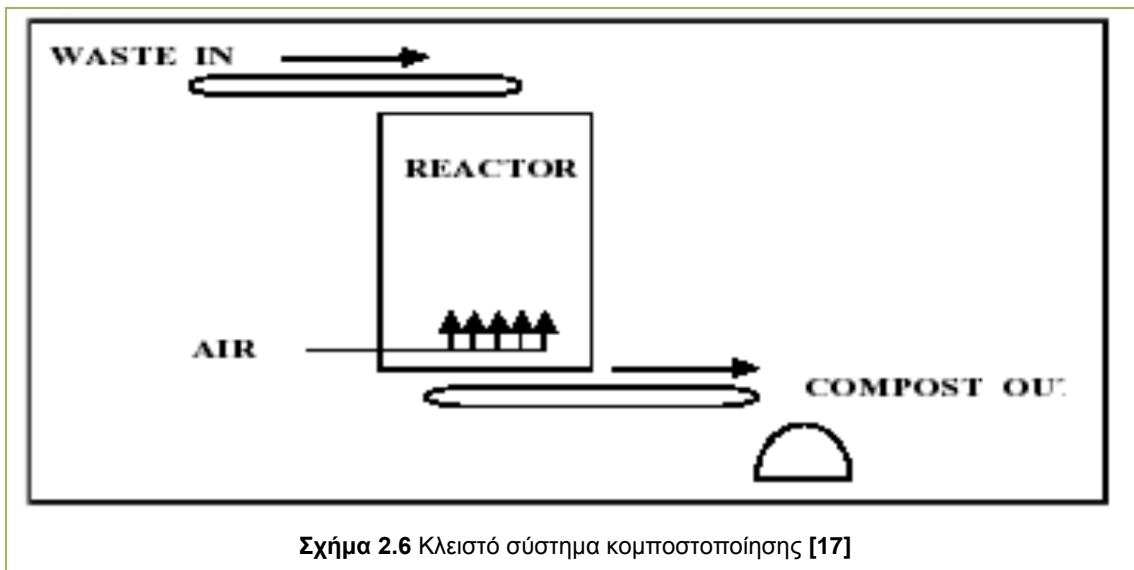
### 2.5.2 Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης.

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.

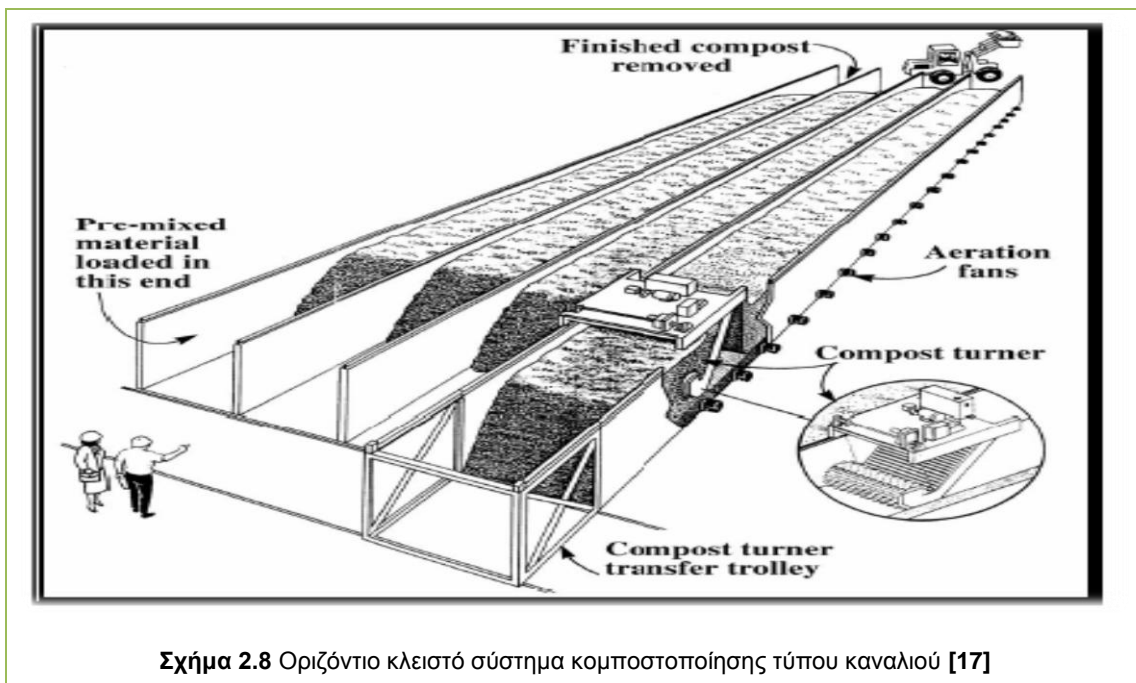
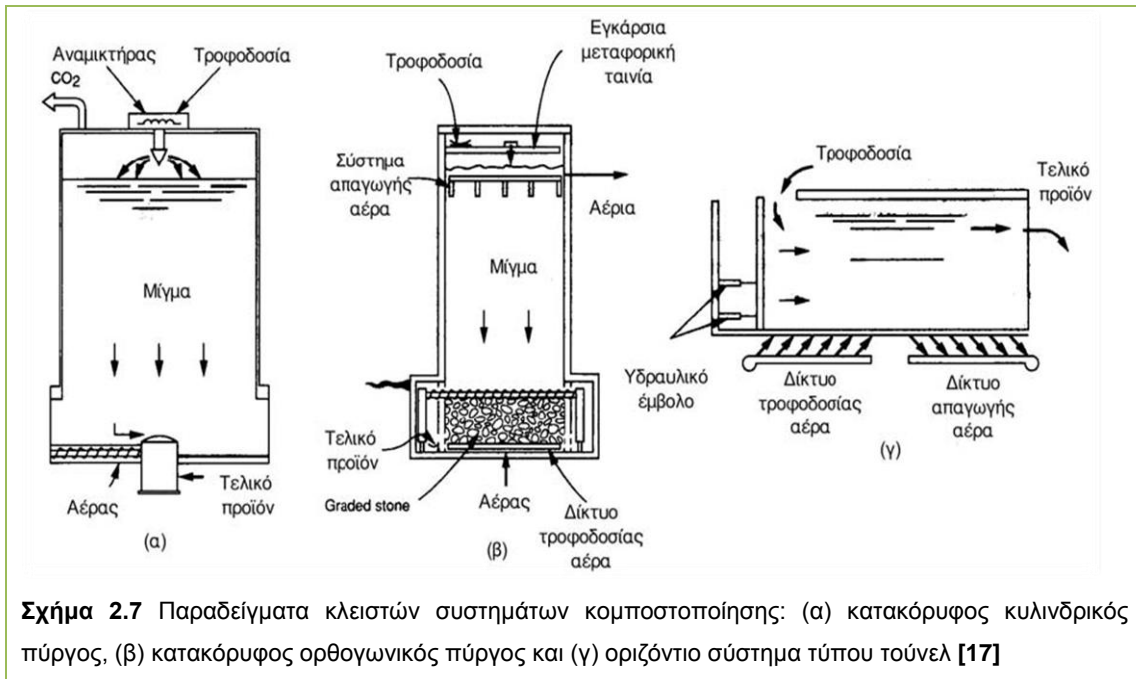


Οι οριζόντιοι αντιδραστήρες επιτυγχάνουν μια πιο ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, υγρασίας και οξυγόνου. Η εμφύσηση αέρα, γίνεται και στην περίπτωση αυτή από δίκτυο σωληνώσεων τοποθετημένων στον πυθμένα αλλά η διαδρομή του αέρα είναι πολύ πιο σύντομη, ενώ μπορεί να διαφοροποιηθεί η παροχή του κατά μήκος του αντιδραστήρα. Διακρίνονται δύο τύποι αντιδραστήρων οι στατικοί, όπου η φόρτωση και εκφόρτωση του υλικού απαιτούν ένα μηχανισμό, π.χ. bulldozer και οι αναδευόμενοι 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. Τυπικές διατάξεις κατακόρυφων και οριζόντιων αντιδραστήρων φαίνονται στο Σχήμα 2.7.



## 2.6. 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.

### **Κάνοντας κομποστοποίηση:**

- Μειώνονται οι συνολικές ποσότητες αποβλήτων που στέλνει ο κάθε δήμος στο ΧΥΤΑ. Το γεγονός θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δημοτικών τελών που πληρώνει κάθε πολίτης, αν συνδυαστεί με αλλαγή της πολιτικής χρέωσης των δήμων για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων τους. Προς το παρόν η χρέωση των δήμων γίνεται ανάλογα με τον πληθυσμό τους, ενώ θα έπρεπε να γίνεται ανάλογα με τις ποσότητες αποβλήτων που στέλνουν για υγειονομική ταφή. Επιμηκύνεται σημαντικά ο χρόνος ζωής των ΧΥΤΑ, αφού έτσι θα δέχονται πολύ λιγότερα απόβλητα.
- Προστατεύεται ο πλανήτης από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα οργανικά απόβλητα στους ΧΥΤΑ θάβονται και αποικοδομούνται κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου ( $CH_4$ ), μονοξειδίου του άνθρακα ( $CO$ ) και σε λιγότερες ποσότητες υδρόθειο ( $H_2S$ ) κ.α..



Τα αέρια αυτά είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και συνεπώς για την αλλαγή του κλίματος στη Γη, με τις γνωστές για όλους καταστρεπτικές συνέπειες.

Ένα άλλο πρόβλημα στο οποίο δίνει λύση η κομποστοποίηση των οργανικών αποβλήτων είναι η ερημοποίηση των εδαφών. Η εντατικοποίηση της καλλιέργειας της γης, σε συνδυασμό με την καταστροφή των δασών από πυρκαγιές και την εμπορική υπερεκμετάλλευσή τους, έχουν κάνει τα εδάφη πολύ φτωχά σε οργανική ύλη. Η διάβρωσή τους είναι το επόμενο βήμα πριν την τελική ερημοποίηση. Η «λύση» για τη συνέχιση της καλλιέργειας της γης είναι η υπερβολική χρήση λιπασμάτων που έχει πολλαπλές αρνητικές επιπτώσεις στα νερά, στην πανίδα και φυσικά στον άνθρωπο. Το κόμποστ, δηλαδή το προϊόν της κομποστοποίησης, επιστρέφει στο έδαφος της απαραίτητες για τη γονιμότητά του οργανικές και ανόργανες ουσίες.

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.**[21]**

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 (Μαρούσι, Ελευσίνα, Φιλαδέλφεια, Κηφισιά, Αχαρνών).

## **Εξοπλισμός**

Βασικό εξάρτημα του εξοπλισμού είναι ο κάδος κομποστοποίησης που θα παρέχει κάποιο περιορισμένο χώρο στο προς κομποστοποίηση μίγμα. Πληροφορίες για τους ήδη υπάρχοντες κάδους στο εμπόριο και τις δυνατότητές τους υπάρχουν στο.

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.[22]

## 2.7. 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.  
[24]

## 2.8. Δυνατότητες διάθεσης του κομπόστ

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, συκιά 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.
- **Δασικά φυτώρια**, σε ποσότητα 15-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα
- **Θερμοκηπιακές καλλιέργειες**, σε ποσότητα 1 – 1,5 kg/m<sup>2</sup> 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 πρηνών, 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  $m^2$ . **[25]**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία προσπάθεια προσέγγισης των συστημάτων της κομποστοποίησης από δύο διαφορετικές και διακριτές μεταξύ τους κατηγορίες. Αυτές οι δύο κατηγορίες είναι τα συστήματα κομποστοποίησης σε βιομηχανική κλίμακα (εργοστάσια μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης) και τα συστήματα οικιακής κομποστοποίησης. Για ό,τι αφορά στη βιομηχανική κομποστοποίηση αναλύονται τα διάφορα στάδια επεξεργασίας και δίνονται παραδείγματα τέτοιων βιομηχανιών στην Ελλάδα. Για την οικιακή κομποστοποίηση, παρουσιάζονται τα κυριότερα είδη που διατίθενται στην αγορά και γίνεται αναλυτικότερη αναφορά σε επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά συστήματα.

#### 3.2 Κομποστοποίηση σε βιομηχανική κλίμακα

Η κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των στερεών απορριμμάτων προβάλλει ως αναγκαιότητα, δεδομένου ότι αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό, συχνά 40% ή και παραπάνω του συνολικού όγκου απορριμμάτων. Ο διαχωρισμός των ζυμώσιμων μειώνει κατά πολύ τον όγκο των απορριμμάτων που τελικά θα ταφούν ( εφ' όσον η τελική διάθεση είναι η υγειονομική ταφή), ενώ μειώνονται έτσι και οι πιθανότητες για δημιουργία προβλημάτων εξ αιτίας της παραγωγής μεθανίου από την αναερόβια ζύμωση των θαμμένων οργανικών υλικών. Επίσης, υπάρχει η προοπτική εσόδων από την πώληση του κόμποστ που παράγεται, με την προϋπόθεση πως πληρούνται κάποιες προδιαγραφές ποιότητας. Στο εξωτερικό έχουν δημιουργηθεί πολλές βιώσιμες μονάδες κομποστοποίησης. Στην Ελλάδα, έχουν γίνει τέτοιες προσπάθειες σε επίπεδο δήμων και περιφερειών με μη αναμενόμενα αποτελέσματα. Ενδεικτικό επίσης είναι το γεγονός ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ιδιωτικές πρωτοβουλίες σε θέματα κομποστοποίησης όπως αντίστοιχα συμβαίνει στο εξωτερικό.



### 3.3 Διαφοροποίηση εργοστασίων κομποστοποίησης

Οι κύριες διαφοροποιήσεις των εργοστασίων κομποστοποίησης έχουν να κάνουν με τη ροή εισόδου των υλικών προς κομποστοποίηση και συγκεκριμένα με το αν προέρχονται από σύμμεικτα αστικά στερεά απόβλητα ή από ξεχωριστές ροές.

Έτσι, τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) πρέπει πριν την είσοδό τους στην βιολογική επεξεργασία να υποβληθούν σε προεπεξεργασία που βασίζεται κυρίως σε μηχανικές μεθόδους. Η μέθοδος της προεπεξεργασίας των εισερχόμενων αποβλήτων, που επιλέγεται κάθε φορά, εξαρτάται από το είδος και την καθαρότητα των αποβλήτων. Στην περίπτωση των ΑΣΑ, οι απαιτούμενες διεργασίες είναι άμεσα συνδεδεμένες με το σύστημα αποκομιδής τους. Σε περίπτωση αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ, απαιτούνται πολύπλοκες εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής, για τον διαχωρισμό των ΑΣΑ κατά είδος, με τη βοήθεια μηχανικών και φυσικών μεθόδων. Τέτοια συστήματα απαιτούν προηγμένη τεχνολογία και σημαντική επένδυση. Η απόδοση των συστημάτων αυτών είναι περιορισμένη αλλά συνεισφέρουν σημαντικά στην επίτευξη των στόχων της Οδηγίας για την υγειονομική ταφή με έναν ευέλικτο και συχνά ανταγωνιστικό οικονομικά και περιβαλλοντικά τρόπο, ανάλογα με τις τοπικές περιστάσεις.

Στην περίπτωση που το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ συλλέγεται χωριστά, με διαλογή στην πηγή, απαιτείται πάλι μια προεπεξεργασία, ο βαθμός της οποίας εξαρτάται από την καθαρότητα του συλλεγόμενου υλικού και κατά συνέπεια, από την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στο πρόγραμμα χωριστής διαλογής. Στην περίπτωση που εφαρμόζεται κάποιο πρόγραμμα διαλογής στην πηγή για άλλο ρεύμα των ΑΣΑ (π.χ. υλικά συσκευασίας), η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι δεν παρατηρείται αξιόλογη βελτίωση στην ποιότητα του οργανικού κλάσματος και έτσι απαιτούνται περίπου οι ίδιες πολύπλοκες εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας όπως και στην περίπτωση συλλογής σύμμεικτων αποβλήτων.

Παρακάτω, παρουσιάζεται η τυπική διάρθρωση ενός εργοστασίου κομποστοποίησης, ωστόσο μπορούν να υπάρξουν πολλές διαφοροποιήσεις κατά τα στάδια αυτά. Κυριότερη παραλλαγή που αφορά τη διεργασία, είναι η κομποστοποίηση να γίνεται σε κλειστούς αντιδραστήρες αντί σε σειράδια. Η χρησιμοποίηση αντιδραστήρων επιτρέπει τον πιο εύκολο χειρισμό και έλεγχο του προϊόντος κατά τη διεργασία με μοναδικό μειονέκτημα την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία τους.



Εικόνα 3.1 Κλειστός αντιδραστήρας κομποστοποίησης

### **3.4 Τυπικό εργοστάσιο κομποστοποίησης**

Παρακάτω γίνεται μία λεπτομερής περιγραφή ενός τυπικού εργοστασίου κομποστοποίησης.

#### **3.4.1 Πρώτες ύλες**

Τα εργοστάσια κομποστοποίησης είναι σε θέση να χειρίζονται ένα ευρύ φάσμα οργανικών αποβλήτων. Περιλαμβάνουν υπολείμματα ξυλείας, εμπορικά απόβλητα τροφίμων, απόβλητα τροφίμων καταναλωτών, προϊόντα χάρτου, χαρτόνια, βιοστερεά (εξαιρετική ποιότητα ιλύος καθαρισμού λυμάτων), κοπριές ζώων, καθώς και άλλα συμβατά οργανικά απόβλητα. Οι πρώτες ύλες διαφέρουν από εποχή σε εποχή και από έτος σε έτος, με βάση τις εγκαταστάσεις και τις απαιτήσεις της αγοράς. Ως εκ τούτου, οι αποδεκτές πρώτες ύλες μπορεί να διαφέρουν.



**Εικόνα 3.2** Πρώτες ύλες κομποστοποίησης

### **3.4.2 Χώρος υποδοχής**

Ο χώρος υποδοχής είναι χωρισμένος σε δύο τμήματα, ένα για επαγγελματικά οχήματα και ένα για οικιακούς πελάτες. Εκεί συγκεντρώνεται όλο το υλικό που φτάνει στις εγκαταστάσεις. Ο χώρος υποδοχής μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα αερισμού.



**Εικόνα 3.3** Χώρος υποδοχής πρώτων υλών

### 3.4.3 Απομάκρυνση προσμίξεων ακατάλληλων για κομποστοποίηση

Οι πρώτες ύλες φορτώνονται σε μεταφορική ταινία με έναν φορτωτή (μπουλντόζα). Κατά την μεταφορά αυτή υπάρχει προσωπικό το οποίο επιβλέπει και αφαιρεί τους ενδεχόμενους μολυσματικούς παράγοντες (κάτι που δεν θα κομποστοποιηθεί ή θα μπορούσε να είναι επιβλαβές για τη κομποστοποίηση).



Εικόνα 3.4 Απομάκρυνση προσμίξεων

### 3.4.4 Τεμαχισμός

Οι πρώτες ύλες διέρχονται από τον τεμαχιστή όπου ομογενοποιούνται σε συγκεκριμένο μέγεθος.



Εικόνα 3.5 Τεμαχιστής (Grinder)

### 3.4.5 Δημιουργία σειραδιών

Μετά το άλεσμα, το υλικό φορτώνεται σε σειρές με έναν φορτωτή. Αυτές οι σειρές συνθέτουν τη διαδικασία.



Εικόνα 3.6 Δημιουργία σειραδιών

### 3.4.6 Χώρος κομποστοποίησης

Ο κλειστός χώρος κομποστοποίησης μπορεί να παράγει ποσότητες λιπάσματος ανάλογα με την τροφοδοσία και τη ζήτηση της αγοράς. Είναι εφικτό να παράγει πολλά προϊόντα την ίδια στιγμή.



Εικόνα 3.7 Χώρος Κομποστοποίησης

### 3.4.7 Ανάδευση σειραδιών

Μηχανήματα όπως αυτά των παρακάτω εικόνων είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για την ανάδευση του υλικού στη διεργασία. Το υλικό αναδεύεται δύο με τρεις φορές την εβδομάδα. Αυτό γίνεται για να μετακινηθεί το υλικό, να αναμιχθεί και να επιτευχθεί ο απαιτούμενος αερισμός.



### 3.4.8 Στραγγίσματα

Κατά τη κομποστοποίηση παράγονται στραγγίσματα τα οποία συλλέγονται σε υπόγειες δεξαμενές κάτω από το υλικό. Τα στραγγίσματα αυτά ανακυκλώνονται κατά την ανάδευση των σειραδιών έτσι ώστε το υλικό να έχει την απαραίτητη υγρασία σε όλη την έκτασή του.





### 3.4.9 Πάτωμα αερισμού

Ο αερισμός είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της κομποστοποίησης. Ο αέρας εμποδίζει τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών και κατ' επέκταση τη δημιουργία οσμών. Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζονται οι οπές που διοχετεύουν αέρα στο υλικό. Ο αέρας αυτός ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να υπάρχει η βέλτιστη ποσότητα οξυγόνου και η απαιτούμενη ψύξη του.



Εικόνα 3.10 Οπές αερισμού

### 3.4.10 Ανεμιστήρες χώρου κομποστοποίησης

Οι ανεμιστήρες αερισμού παρέχουν αέρα στο λίπασμα. Υπάρχουν επίσης ανεμιστήρες εξαερισμού. Όλοι οι ανεμιστήρες έχουν μετάδοση μεταβλητής ταχύτητας και ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 3.11 Αίθουσα Ανεμιστήρων

### 3.4.11 Ασύρματοι βυθιζόμενοι αισθητήρες (Teleprobes)

Για τον έλεγχο της διεργασίας υπάρχουν βυθιζόμενοι αισθητήρες οι οποίοι λαμβάνουν τις τιμές της θερμοκρασίας και της κατανάλωσης οξυγόνου από το κόμποστ. Κάθε τέτοιος αισθητήρας λαμβάνει δύο τιμές πάνω και κάτω. Οι τιμές που λαμβάνονται από το κόμποστ στέλνονται πίσω στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ελέγχου μέσω ραδιοκυμάτων.



Εικόνα 3.12 Ασύρματος βυθιζόμενος αισθητήρας

### 3.4.12 Κεντρικός υπολογιστής ελέγχου

Στην εικόνα 3.13 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο από το πρόγραμμα ενός κεντρικού υπολογιστή ελέγχου. Το πρόγραμμα αυτό επιτρέπει τον έλεγχο των ανεμιστήρων, την παρακολούθηση της συλλογής στραγγισμάτων, την παρακολούθηση του καιρού και την παρακολούθηση με ακρίβεια της κάθε παρτίδας κόμποστ μέσα σε όλη τη διαδικασία. Τέλος, η συνεχής ενημέρωση 24 ώρες την ημέρα είναι σε θέση να λειτουργήσει την εγκατάσταση με πολύ μικρές χειροκίνητες ρυθμίσεις.





Εικόνα 3.13 Λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή ελέγχου

### 3.4.13 Βιόφιλτρα

Τα βιολογικά φίλτρα κατασκευάζονται από τεμαχισμένα ροκανίδια και επεξεργάζονται τον αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου κομποστοποίησης. Τα μικρόβια που ζουν στα ροκανίδια εξαλείφουν την οσμή πριν ο αέρας φύγει από το φίλτρο.



Εικόνα 3.14 Βιόφιλτρα

### 3.4.14 Ωρίμανση

Έξω από το χώρο κομποστοποίησης, το υλικό παραμένει για δύο εβδομάδες. Αυτό επιτρέπει στο υλικό να σταθεροποιηθεί σε πιο αργό ρυθμό αποσύνθεσης.



**Εικόνα 3.15** Χώρος ωρίμανσης

### **3.4.15 Έλεγχος προϊόντος**

Κατά το στάδιο αυτό γίνεται διαχωρισμός των εμπορεύσιμων προϊόντων λιπασματοποίησης σε σωρούς ανάλογα με την ποιότητα. Έτσι, δημιουργούνται τα εξής ρεύματα:

- Λεπτόκοκκο
- Χονδρόκοκκο
- Υπολείμματα



**Εικόνα 3.16** Χώρος διαχωρισμού

### **3.4.16 Τελικό προϊόν**

Το τελικό προϊόν φορτώνεται σε φορτηγά με έναν φορτωτή. Πωλείται το λεπτόκοκκο και το χονδρόκοκκο κόμποστ. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα συσκευασίας του κόμποστ για πώληση σε πελάτες λιανικής.



Εικόνα 3.17 Χώρος φόρτωσης

### 3.5 Εργοστάσια κομποστοποίησης στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή υπάρχουν τέσσερα εργοστάσια κομποστοποίησης εκ των οποίων τα τρία μόνο λειτουργούν. Το τέταρτο απ' αυτά στην Καλαμάτα έχει ολοκληρωθεί από το 1996 και είναι ένα από τα λίγα εργοστάσια κομποστοποίησης στην Ελλάδα και του οποίου το κόστος ανήλθε στα 900 εκατ. €. Δυστυχώς, κυρίως, λόγω έλλειψης εμπειρίας, το παραγόμενο κόμποστ δεν είχε την στοιχειακή ποιοτικά σύσταση του λιπάσματος προς αγροτική διάθεση και γι' αυτό το λόγο με εισαγγελική παρέμβαση σταμάτησε η λειτουργία της μονάδας, και ο όγκος των απορριμμάτων περιορίστηκε στην περιοχή της Μαραθόλακας.

Τα τρία εργοστάσια που λειτουργούν είναι αυτά των Άνω Λιοσίων, του νομού Χανίων και το εργοστάσιο της εταιρίας Compost Hellas A.E.

#### 3.5.1. Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Απορριμμάτων (ΕΜΑΚ) Α.Λιοσίων

Το εργοστάσιο αυτό λειτουργεί με αστικά στερεά απόβλητα και επεξεργάζεται 1.200tn/d απορρίμματα, 300tn/d ιλύος και 130tn/d κλαδιά/χόρτα. Λειτουργεί αυτοματοποιημένα και με μηχανικά μέσα διαχωρισμού των συστατικών των απορριμμάτων. Τα χρήσιμα υλικά που παράγονται είναι περίπου 350tn/d compost, 360tn/d RDF, 30tn/d σιδηρούχων, 5tn/d αλουμινίου.

### 3.5.2. ΕΜΑΚ Χανίων



Εικόνα 3.18 Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Απορριμμάτων Χανίων

Το εργοστάσιο αυτό λειτουργεί επίσης με σύμμικτα απορρίμματα. Η λειτουργία της εγκατάστασης κομποστοποίησης είναι:

- **Τμήμα ταχείας κομποστοποίησης**

Το οργανικό κλάσμα που διαχωρίζεται από τα σύμμικτα απορρίμματα στο Τμήμα Μηχανικής Διαλογής, οδηγείται στο Τμήμα Ταχείας Κομποστοποίησης μαζί με ποσότητα συνολικά 40 τόνων ημερησίως κλαδιών και χόρτων που συλλέγονται από την ευρύτερη περιοχή του Δήμου Χανίων.

Για την επίτευξη μικρού μεγέθους οργανικών, χρησιμοποιείται τεμαχιστής οργανικού υλικού και για τα ευμεγέθη οργανικά υλικά που ανακτώνται από τη διαδικασία χειροδιαλογής. Τα τεμαχισμένα οργανικά προωθούνται στην συνέχεια προς την μονάδα ταχείας κομποστοποίησης.

Η Ταχεία κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος πραγματοποιείται σε αντιδραστήρα λιπασματοποίησης υπό ταυτόχρονο αερισμό και ανάδευση.

Ο αντιδραστήρας λιπασματοποίησης αποτελείται από κλίνη που περιέχει το προς κομποστοποίηση οργανικό υλικό και από μια γέφυρα που φέρει δύο φορεία έναστο εκ των οποίων φέρει δύο περιστρεφόμενους κεκλιμένους κοχλίες. Η γέφυρα μετακινείται κατά μήκος της μεγάλης διαστάσεως του κτιρίου κομποστοποίησης και οι κοχλίες επί της γέφυρας κατά πλάτος του αντιδραστήρα σαρώνουν το σύνολο του υλικού εντός του αντιδραστήρα με

συχνότητα μια φορά την ημέρα. Η δράση των κοχλιών είναι διπλή: αφ' ενός προωθεί το υλικό προς την έξοδο του αντιδραστήρα και αφ' ετέρου το αναδεύει και το ομογενοποιεί ώστε να ανατάσσει τις διαυλώσεις που τείνει να σχηματίσει ο αέρας, ο οποίος εμφυσάται εντός της κλίνης του υλικού από κάτω προς τα πάνω.

Το υλικό παραμένει στην μονάδα ταχείας κομποστοποίησης για χρονικό διάστημα 6 εβδομάδων υπό διαρκή αερισμό και υπό μηχανική ανάδευση τις 3 πρώτες εβδομάδες και υπό ανάδευση τις υπόλοιπες 3. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα προκειμένου να επιτευχθεί η αποδόμηση του βιοαποδομήσιμου οργανικού φορτίου και η παραγωγή ιδιαίτερα λεπτόκοκκου υλικού. Η ταχεία κομποστοποίηση αναπτύσσεται σε δύο γραμμές επεξεργασίας, που αντιστοιχούν σε δύο διακριτά κτίρια.

- **Τμημα ραφινάρισματος του κόμποστ**

Το παραγόμενο compost από τη μονάδα ταχείας κομποστοποίησης του οδηγείται προς ραφινάρισμα. Η διαδικασία αυτή συνίσταται στο διαχωρισμό του compost από ξένες προσμίξεις (κυρίως γυαλί, σκληρά πλαστικά, χαλίκια, φύλλα πλαστικού), καθώς και από τα μη πλήρως κομποστοποιημένα οργανικά στερεά.

Ο διαχωρισμός των υλικών με κριτήριο το μέγεθος γίνεται με διέλευση του compost από διάταξη κοσκίνισης αρχικά με χρήση δονητικού κόσκινου τύπου flip- flop με διάμετρο οπών 10mm.

Στη συνέχεια μέσω συστήματος που συνδυάζει αεροδιαχωρισμό με βαλλιστικό διαχωρισμό (βαρυμετρική τράπεζα) παραλαμβάνεται το τελικό, εξευγενισμένο, compost. Το σύστημα επιτυγχάνει τον πλήρη καθαρισμό του compost από τις ξένες προσμίξεις, με βάση το ειδικό βάρος (διαχωρισμός ελαφρών και βαρέων).

Μετά το ραφινάρισμα του compost, τυχόν υπολείμματα μικρομεγεθών σιδηρούχων υλικών διαχωρίζονται με τη βοήθεια ενός μαγνητικού διαχωριστή από τα τυχόν υπάρχοντα σιδηρούχα αντικείμενα.

Το compost μετά το ραφινάρισμα παραλαμβάνεται από άλλη μεταφορική ταινία για τη μεταφορά του στην Πλατεία Χουμοποίησης.

Από τα διαχωριζόμενα υλικά, τα άχρηστα που προέρχονται από τους διαχωρισμούς του Τμήματος Ραφινάρισματος συλλέγονται σε κοντέινερ τα οποία μεταφέρονται με όχημα για τη τελική διάθεσή τους στον παρακείμενο ΧΥΤΥ.

- **Τμημα αποθήκευσης, ωρίμανσης και τυποποίησης του κόμποστ**

Το παραγόμενο compost, μετά τη φάση του ραφινάρισματος οδηγείται στην ανοικτή πλατεία χουμοποίησης όπου διαστρώνεται σε μορφή σωρών συγκεκριμένων διαστάσεων. Το υλικό παραμένει στην Πλατεία Χουμοποίησης για διάστημα 4 εβδομάδων, προκειμένου να ολοκληρωθούν οι διεργασίες ωρίμανσης πριν την τελική του διάθεση στην αγορά.

Το 15% του παραγόμενου compost πρέπει να συσκευασθεί, ώστε να διατεθεί στην αγορά σε τυποποιημένη μορφή. Το εν λόγω υλικό προτού εισέλθει στο σύστημα τυποποίησης, αποθηκεύεται σε κλειστή αποθήκη για διάστημα 4 εβδομάδων, προκειμένου να ολοκληρωθεί η ωρίμανσή του. Μετά την ωρίμανσή του ενσακίζεται και αποθηκεύεται μέχρι τη διάθεσή του στην αγορά.

### **3.5.3. Compost Hellas A.E.**

Η επιχείρηση ασχολείται με την κομποστοποίηση οργανικών υλών στην Κεφαλονιά από το 1999. Ξεκίνησε ένα πρωτοποριακό πιλοτικό πρόγραμμα λιπασματοποίησης ντόπιων οργανικών υλών και συγκεκριμένα του φυκιού Ποσειδωνία για την παραγωγή φυσικού λιπάσματος. Το παραγόμενο βιολογικό φυσικό λίπασμα "POSIDONIA" COMPOST HELLAS βασίζεται στην ανακύκλωση των φυκιών, που εκβράζονται στις ακτές, από καθαρές θάλασσες της Ελλάδας και επιλεγμένων προϊόντων της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Η παραγωγή του κόμποστ γίνεται σε σειράδια. Η χημική του σύσταση είναι η εξής:

**Πίνακας 3.1** Χημική σύσταση του κόμποστ «POSIDONIA»

NUTRIENTS		MISCELLANEOUS	NATURAL PARAMETERS
Nitrogen	1-2%	Organic matter	45-55%
Phosphorus	0.6 - 1.1%	Ash	47-64%
Potassium	2.2 - 7.3g/Kg	Electrical Conductivity	0.33 - 2.16m S/cm
Iron	7.6 - 8.3mg/Kg	Ratio carbon/ nitrogen (C:N)	11 -18
Calcium	7 - 17%	PH	7 - 8
Magnesium	0.4 - 1.4%		
			Water content 37 - 45%
			Bulk density 0.60 - 0.70 Kg/lt

Περιέχει ελάχιστα βαρέα μέταλλα σε σχέση με τα αντίστοιχα στην Ευρωπαϊκή αγορά. Το προϊόν αυτού του εργοστασίου χαρακτηρίζεται ως κόμποστ υψηλής ποιότητας (A+ CLASS COMPOST) και λόγω της πολύ χαμηλής περιεκτικότητας του σε βαρέα μέταλλα συνεπάγεται τη δυνατότητα εφαρμογής του σε διπλάσιες και τριπλάσιες ποσότητες ανά εκτάριο σύμφωνα με τα διεθνή αποδεκτά συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο χώμα για την προστασία της υγείας του ανθρώπου μέσα απο τη τροφική αλυσίδα.

**Πίνακας 3.2** Συγκριτικός πίνακας συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων μεταξύ των ορίων στην Αυστρία και την Ολλανδία και του κόμποστ «POSIDONIA»

NETHERLANDS LIMITATIONS (VERY CLEAN COMPOST)		AUSTRIA LIMITATIONS (A CLASS COMPOST)	ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ (EC/ecoagric, 2002/91 EC-1488/98EC)	POSIDONIA COMPOST HELLAS (A+ CLASS COMPOST)
CHROME	50 mg/Kg	70 mg/Kg	70 mg/Kg	9 - 28 mg/Kg
NICKEL	10 mg/Kg	60 mg/Kg	25 mg/Kg	10 - 35 mg/Kg
COPPER	25 mg/kg	150 mg/kg	70 mg/kg	22 - 33 mg/kg
ZINC	75 mg/kg	500 mg/kg	200 mg/kg	32 - 61.5 mg/kg
CADMIUM	0.7 mg/kg	1 mg/kg	0.7 mg/kg	0.2 - 0.5 mg/kg
MERCURY	0.3 mg/kg	0.7 mg/kg	0.4 mg/kg	<0.1 mg/kg
LEAD	65 mg/kg	120 mg/kg	45 mg/kg	4.3 - 11mg/kg

### 3.6 Κόστος εργοστασίων κομποστοποίησης

Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας μιας μονάδας αερόβιας επεξεργασίας εξαρτάται από τον τύπο της εγκατάστασης, την «καθαρότητα» του εισερχόμενου φορτίου, την τεχνολογία που ακολουθείται και τη δυναμικότητα της εγκατάστασης. Η οικονομικότερη επεξεργασία επιτυγχάνεται στην κομποστοποίηση πράσινων αποβλήτων με ανοιχτά σειράδια. Στην περίπτωση αυτή το κόστος επεξεργασίας (συμπεριλαμβανομένου του ανηγμένου κόστους κατασκευής της μονάδας) ανέρχεται σε 20-35 €/τόνο αποβλήτων. Στις περιπτώσεις αυτές το παραγόμενο κομπόστ, μπορεί να επιτύχει υψηλές τιμές πώλησης που μπορεί να φτάνουν τα 10-15 €/τόνο για



χύμα διάθεση και τα 100 – 120 €/τόνο για ενσακισμένο στην αγορά λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών.

Ωστόσο η μέθοδος των ανοικτών σειραδίων δεν ενδείκνυται όταν στο εισερχόμενο φορτίο εμπεριέχονται και τροφικά υπολείμματα, ακόμα δε περισσότερο όταν το προς επεξεργασία κλάσμα προέρχεται από μηχανική προεπεξεργασία και όχι από διαλογή στη πηγή. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται κλειστά συστήματα με κόστος που παρουσιάζει σημαντική διακύμανση.

Σε ένα τέτοιο ανοικτό σύστημα αερόβιας επεξεργασίας «βέλτιστης διαθέσιμης τεχνολογίας» για την επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος, κι αφού έχει επιτευχθεί σημαντικό ποσοστό διαλογής στη πηγή, το λειτουργικό κόστος ανέρχεται σε 35-60 €/τόνο για μια μονάδα δυναμικότητας 20.000 τόνων, χωρίς να συνυπολογίζονται τα πιθανά έσοδα πώλησης των προϊόντων. Σε αυτό το ποσό πρέπει να υπολογιστεί ότι το κόστος επένδυσης αντιστοιχεί σε 150 €/τόνο εγκατεστημένης δυναμικότητας.

Τα αντίστοιχα κόστη για κλειστά συστήματα με σημαντικά ποσοστά καθαρότητας εισερχόμενου φορτίου κινούνται σε υψηλότερες τιμές οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Κόστος εγκατάστασης από 600 €/τόνο (για δυναμικότητα μικρότερη των 20.000 τόνων/έτος) έως 180 €/τόνο (για δυναμικότητα 120.000 τόνων/έτος).
- Κόστος λειτουργίας από 120 €/τόνο (για δυναμικότητα μικρότερη των 20.000 τόνων/έτος) έως 30 €/τόνο (για δυναμικότητα 120.000 τόνων/έτος).

Αναφορικά με τις άλλες τεχνολογίες αερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων, τα ενδεικτικά κόστη περιλαμβάνουν:

- Βιολογική ξήρανση: κόστος επένδυσης 150 – 300 €/τόνο και κόστος λειτουργίας 25 – 40 €/τόνο.



- Διύλιση: κόστος επένδυσης της τάξης των 250 €/τόνο και κόστος λειτουργίας της τάξης του 50 – 70€/τόνο

Να σημειωθεί ότι τα λειτουργικά κόστη που αναφέρθηκαν, αφορούν το κόστος λειτουργίας των μονάδων (προσωπικό, ενέργεια, κ.λ.π.). Τα τελικά gate fee (τέλος εισόδου) των μεθόδων διαμορφώνονται με βάση τον τρόπο χρηματοδότησης του έργου.

### **3.7 Συστήματα οικιακής κομποστοποίησης**

Η ανάγκη της προστασίας του περιβάλλοντος καθιστά, περισσότερο τώρα από ποτέ, επιτακτική την ανκύκλωση των οικιακών απορριμάτων. Παγκοσμίως η ευαισθητοποίηση των ανθρώπων έχει οδηγήσει σε μαζική ανακύκλωση των πιο κοινών τύπων απορριμάτων, όπως είναι το χαρτί, το γυαλί και τα διάφορων ειδών πλαστικά. Επόμενο μεγάλο βήμα σε αυτήν την προσπάθεια είναι η ανακύκλωση των οργανικών απορριμάτων, δηλαδή η κομποστοποίηση. Ο καθένας μας πλέον μπορεί να προμηθευτεί έναν οικιακό αντιδραστήρα κομποστοποίησης. Τα τελευταία χρόνια κυκλοφορεί μια πληθώρα αντιδραστήρων που απαντά στις ανάγκες του εκάστοτε αγοραστή. Υπάρχει, ωστόσο και η δυνατότητα χειροποίητης κατασκευής με πολύ φθηνά υλικά.

### **3.8 Διάφοροι τύποι κομποστοποιητών**

Μπορούμε να διακρίνουμε 6 διαφορετικά είδη αντιδραστήρων κομποστοποίησης, στα οποία θα αναφερθούμε λεπτομερώς παρακάτω.

1. Dalek Composter
2. Compost Tumbler
3. Rolling or Rotating Orb
4. Wooden/Wire Mesh Composter
5. Computerized Indoor Composter
6. Worm Bin Composter

#### **3.8.1 Αντιδραστήρες κομποστοποίησης τύπου Dalek**

Ο πιο κοινός αντιδραστήρας κομποστοποίησης είναι ο αντιδραστήρας τύπου Dalek (εικόνα 3.19). Ο συγκεκριμένος αντιδραστήρας μπορεί να σχεδιαστεί με πολλούς τρόπους, αλλά στην ουσία είναι ένα μεγάλο πλαστικό δοχείο στο οποίο διοχετεύεται αέρας είτε μέσω τρυπών κατά μήκος των πλευρών του ή μέσω ειδικά τοποθετημένων αεραγωγών. Πολλές φορές, αυτοί οι αεραγωγοί είναι ρυθμιζόμενοι ώστε να καταστεί δυνατή η απαιτούμενη κυκλοφορία του αέρα.

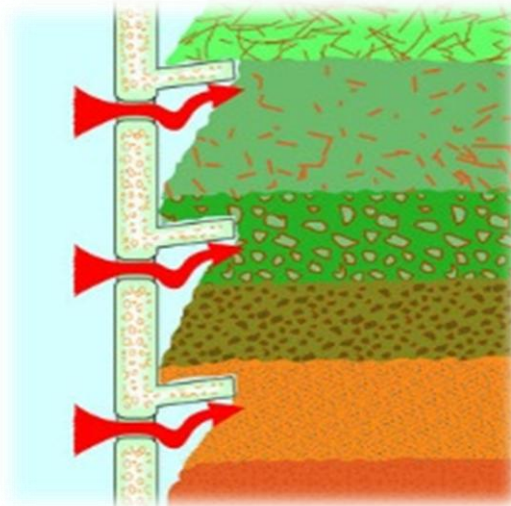


**Εικόνα 3.19** Αντιδραστήρας κομποστοποίησης τύπου Dalek

Οι αντιδραστήρες αυτού του τύπου σχεδιάζονται με ειδικά συρτάρια ή μικρές πόρτες στη βάση τους που επιτρέπουν στον χρήστη να αφαιρέσει το κομποστοποιημένο προϊόν από τον πυθμένα ενώ ταυτόχρονα προσθέτει νέο οργανικό απόβλητο στην κορυφή. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση του αντιδραστήρα. Πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα σημείο του κήπου που να μη εμποδίζεται και να υπάρχει χώμα από κάτω. Χρειάζεται επαφή με το χώμα για να γίνει σωστή αποδόμηση των οργανικών υπολειμμάτων που πετάμε μέσα. Στο σχεδιασμό του εν λόγω αντιδραστήρα δεν συμπεριλαμβάνεται κάποιο σύστημα ανάδευσης του υλικού, επομένως αυτό πρέπει να γίνεται χειροκίνητα από τον εκάστοτε χρήστη.



**Εικόνα 3.20** Αντιδραστήρας κομποστοποίησης "Horto"



**Εικόνα 3.21** Σύστημα αερισμού του αντιδραστήρα Horto"

Στην εικόνα 3.2 εικονίζεται ένας στατικός αντιδραστήρας της σειράς “Horto”. Ο αντιδραστήρας έχει τετράγωνο σχήμα και η χωρητικότητά του φτάνει τα 400 λίτρα.

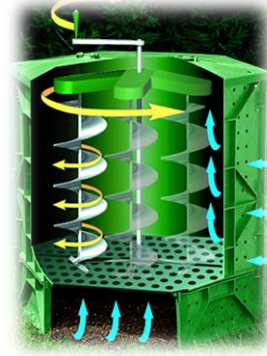
Ο αντιδραστήρας της σειράς “Horto” είναι κατασκευασμένος από ανακυκλωμένο πολυαιθυλένιο HDPE. Το πάχος των τοιχωμάτων του κυμαίνεται από 6 έως 10 χιλιοστά προσφέροντας επαρκή μόνωση ώστε το υλικό στο εσωτερικό του αντιδραστήρα να διατηρεί την απαιτούμενη θερμοκρασία για την αποσύνθεση. Η έλλειψη συστήματος ανάδευσης συγκαταλέγεται στα μειονεκτήματα του αντιδραστήρα “Horto”. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα αναγκαστεί να αναδεύσει το περιεχόμενο του αντιδραστήρα είτε με τα χέρια του, είτε με κάποιο εργαλείο κήπου. Επίσης, όπως είναι προφανές, για να γίνει προσθήκη νέου οργανικού υπολείμματος θα πρέπει να αφαιρεθεί πρώτα η προηγούμενη παρτίδα.

**Πίνακας 3.3** Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα κομποστοποίησης “Horto”

<b>Υλικά τροφοδοσίας</b>	Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Ασυνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	11 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού διαμέσου της παράπλευρης επιφάνειας του αντιδραστήρα
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Ανοίγοντας το καπάκι, χειρωνακτικά με ράβδο-αναδευτήρα
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	3 φορές ανά εβδομάδα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Παθητική θέρμανση με απορρόφηση ηλιακού φωτός
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Δεν διατίθεται
<b>Χωρητικότητα</b>	400 lt
<b>Βάρος</b>	10 kg
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πολυαιθυλένιο (ανακυκλώσιμο) HDPE
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Ελαφριά και ανθεκτική κατασκευή

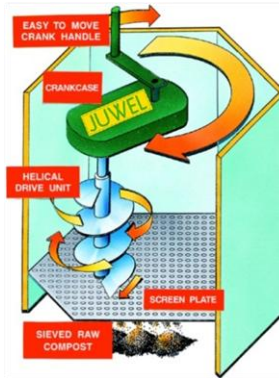


**Εικόνα 3.22** Ο αντιδραστήρας “Axial Crank Thermo-Composter”



**Σχήμα 3.1** Το σύστημα

περιστροφής του “Axial crank Thermo-Composter”



**Σχήμα 3.2** Ο μηχανισμός ανάδευσης του “Axial crank Thermo-Composter”

Στην εικόνα 3.4 παρατηρούμε έναν ακόμη στατικό αντιδραστήρα (Axial Crank Thermo-Composter) ο οποίος όμως διαφέρει από τους υπόλοιπους αυτής της κατηγορίας ως προς το σύστημα ανάδευσης που συμπεριλήφθηκε στον σχεδιασμό του. Αυτό το σύστημα αποτελείται από μία μανιβέλα, η στροφή της οποίας προκαλεί κίνηση του παράπλευρου άξονα και της σπειροειδούς έλικας που είναι τυλιγμένη γύρω του. Αυτή η συνδυασμένη κίνηση που παρουσιάζεται στα σχήματα 3.1 και 3.2 επιτυγχάνει την βέλτιστη ανάμειξη του περιεχομένου του αντιδραστήρα και έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση του παραγόμενου προϊόντος.

Το σύστημα του κομποστοποιητή τοποθετείται πάνω σε χώμα και το τελικό προϊόν λαμβάνεται αφού αυτό εξέλθει από τη σχάρα που βρίσκεται στη βάση του αντιδραστήρα. Το εν λόγω σύστημα παρουσιάζει πολλά κοινά με τον αντιδραστήρα που χρησιμοποιήθηκε για την περαίωση των πειραμάτων της διεργασίας στην οποία θα αναφερθούμε στα παρακάτω κεφάλαια.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του “Axial Crank Thermo-Composter”.

**Πίνακας 3.4** Τεχνικά χαρακτηριστικά του “Axial Crank Thermo-Composter”

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Συνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	4 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού μέσω οπών επί της παράπλευρης επιφάνειας
<b>Σύστημα ύγρανσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας το καπάκι
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Περιστροφικός αναδευτήρας τύπου κοχλία, με βαθμίδα οδοντωτών τροχών δύο περιστροφικών κινήσεων, κινούμενος χειρωνακτικά
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	1 φορά ανά ημέρα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	συγκράτηση της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας μέσω μονωτικής στρώσης στο εσωτερικό διπλών τοιχωμάτων επί της παράπλευρης επιφάνειας
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Δεν διατίθεται
<b>Χωρητικότητα</b>	890 <i>lt</i>
<b>Βάρος</b>	55 <i>kg</i>
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πλαστικό υψηλών αντοχών έναντι διάβρωσης με στρώση μονωτικού υλικού (ανακυκλώσιμο)
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Ταυτόχρονη εκτέλεση της ανάδευσης του υλικού και της κοσκίνησης του κόμποστ με χρήση διάταξης κοχλία και μηχανισμού οδοντωτών τροχών

### 3.8.2 Αντιδραστήρες κομποστοποίησης τύπου CompostTumbler (Περιστρεφόμενος ή αναδευόμενος αντιδραστήρας)

Ο περιστρεφόμενος αντιδραστήρας τύπου “Mantis” (εικόνα 3.5) αποτελείται από έναν μεγάλο κυλινδρικό θάλαμο, που είναι τοποθετημένος πάνω σε μία μεταλλική κατασκευή στήριξης.



Ο περιστρεφόμενος αντιδραστήρας τύπου “Mantis” (εικόνα 3.5) αποτελείται από έναν μεγάλο κυλινδρικό θάλαμο, που είναι τοποθετημένος πάνω σε μία μεταλλική κατασκευή στήριξης.

Ο θάλαμος είναι κατασκευασμένος από γαλβανισμένο χάλυβα με υψηλές αντοχές έναντι διάβρωσης. Το σωληνοειδές πλαίσιο της βάσης είναι επίσης χαλύβδινο. Το εσωτερικό του θαλάμου διαχωρίζεται σε δύο μικρότερα κυλινδρικά διαμερίσματα ίσης χωρητικότητας. Στο πρώτο διαμέρισμα και μέσω αρθρωτής ασφαλισμένης θυρίδας, πραγματοποιείται συνεχής τροφοδοσία του θαλάμου με ‘φρέσκο’ υλικό. Στο δεύτερο διαμέρισμα, λαμβάνουν χώρα οι κυρίως διεργασίες κομποστοποίησης του εκεί υπάρχοντος υλικού. Παράλληλα, από όμοια θυρίδα με αυτήν του πρώτου διαμερίσματος, γίνεται η παραλαβή του παραγόμενου κόμποστ, η οποία επίσης είναι μια συνεχής διαδικασία.

Κατά την τέλεση των περιοδικών εργασιών ανάδευσης, η μετατόπιση του υλικού από το πρώτο στο δεύτερο διαμέρισμα επιτυγχάνεται μέσω μεταλλικού κοχλιωτού αναδευτήρα. Ο αναδευτήρας, που κινείται περιστροφικά μέσω ειδικής λαβής που βρίσκεται στο εξωτερικό τμήμα του θαλάμου, εκτελεί

αφενός τη λειτουργία μετατόπισης του όγκου του υλικού προς το δεύτερο διαμέρισμα και αφετέρου, τις εργασίες ανάμιξης και ανάδευσης του υλικού.

Οι εργασίες αυτές, για το εν λόγω σύστημα, συνίσταται να γίνονται σε ημερήσια βάση. Ο αερισμός του εσωτερικού πραγματοποιείται μέσω δύο ειδικά διαμορφωμένων οπών που βρίσκονται στην επιφάνεια κάθε θυρίδας.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα που μόλις περιγράφηκε.

**Πίνακας 3.5** Τεχνικά χαρακτηριστικά του περιστρεφόμενου αντιδραστήρα “Mantis”

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	<b>Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα</b>
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Συνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	4 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού μέσω οπών επί των θυρίδων τροφοδοσίας και παραλαβής και επί των δύο βάσεων
<b>Σύστημα ύγρυνσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας τη θυρίδα τροφοδοσίας
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Περιστροφικός αναδευτήρας τύπου κοχλία, κινούμενος χειρωνακτικά
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	1 φορά ανά ημέρα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Παθητική θέρμανση με απορρόφηση του ηλιακού φωτός λόγω σκουρόχρωμου κάλαθου και συγκράτηση της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας λόγω του μονωτικού περιβλήματος της παράπλευρης επιφάνειας
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Οι οπές αερισμού επί των βάσεων διαθέτουν φίλτρα απόσμησης
<b>Χωρητικότητα</b>	900 lt
<b>Βάρος</b>	65 kg
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Γαλβανισμένος χάλυβας υψηλών αντοχών σε διάβρωση
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Θάλαμος χωρισμένος σε δύο διαμερίσματα, ένα για την τροφοδοσία και ένα για την κομποστοποίηση του υλικού



Η πιο κοινή κατασκευή περιστρεφόμενου αντιδραστήρα, είναι αυτή της εικόνας 3.6 (Acrobat Compost Tumbler).



**Εικόνα 3.24** Περιστρεφόμενος αντιδραστήρας Acrobat Compost Tumbler

Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν κυλινδρικό κάλαθο ο οποίος είναι αναρτημένος επί μεταλλικού πλαισίου για την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών ανάδευσης.

Το σωληνοειδές πλαίσιο συγκρατεί τον κάλαθο σε ικανό ύψος από το επίπεδο του εδάφους και διαπερνά το σώμα του θαλάμου, κατά μήκος της διαμέτρου που ορίζει το μέσο της παράπλευρης επιφάνειας. Συγκεκριμένα, το πλαίσιο στηρίζει τον κάλαθο στο κέντρο βάρους του (όταν είναι άδειος). Καθώς ο κάλαθος είναι αναρτημένος, οι εργασίες ανάδευσης επιτυγχάνονται με περιστροφική κίνηση γύρω από τον οριζόντιο άξονα του πλαισίου, που ισοδυναμεί με διαδοχικές ανατροπές του κυλινδρικού θαλάμου.

Η τροφοδοσία του υλικού είναι ασυνεχής και πραγματοποιείται από περιστροφικό ασφαλισμένο καπάκι που βρίσκεται σε κάθε μια εκ των δύο βάσεων του θαλάμου. Η συχνότητα ανάδευσης, μέσω της ανατροπής του κάλαθου, είναι μια φορά ανά ημέρα και οι διεργασίες κομποστοποίησης οδηγούν στην παραγωγή περίπου 280 λίτρων κόμποστ ανά δύο μήνες. Η παραλαβή του κόμποστ γίνεται από οποιοδήποτε από τα δύο καπάκια.

Ο αερισμός του εσωτερικού, επιτυγχάνεται μέσω διατεταγμένων κυκλικών οπών που βρίσκονται στην επιφάνεια κάθε ενός από τα δύο καπάκια. Το υλικό κατασκευής του κάλαθου είναι πολυπροπυλένιο με στοιχεία αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα “ Acrobat Compost Tumbler “.

**Πίνακας 3.6** Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα “ Acrobat Compost Tumbler “

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Ασυνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	6 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού μέσω οπών επί της επιφάνειας στα δύο καπάκια
<b>Σύστημα ύγρανσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας το καπάκι
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Χειρωνακτικά, με ανατροπή του θαλάμου
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	3 φορές ανά εβδομάδα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Συγκράτηση της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας λόγω του μονωτικού υλικού κατασκευής της παράπλευρης επιφάνειας
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Δεν διατίθεται
<b>Χωρητικότητα</b>	290 <i>lt</i>
<b>Βάρος</b>	11 <i>kg</i>
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πολυπροπυλένιο (ανακυκλωμένο) με στοιχεία αντιδιαβρωτικής προστασίας
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Μεταλλικό πλαίσιο στήριξης για την ανατροπή του θαλάμου



**Εικόνα 3.25** Φορητός περιστρεφόμενος αντιδραστήρας κομποστοποίησης

Ο εικονιζόμενος αντιδραστήρας (εικόνα 3.7) είναι ένας από τους λίγους φορητούς αντιδραστήρες που κυκλοφορούν στην αγορά. Το σύστημα φέρει ένα ζεύγος τροχών στο πίσω μέρος του σκελετού καθιστούν πολύ εύκολη την μετακίνηση του αντιδραστήρα. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την απόρριψη για παράδειγμα του προϊόντος της κομποστοποίησης σε διάφορα μέρη του κήπου χωρίς ιδιαίτερη ταλαιπωρία.

Το κυρίως στέλεχος του συστήματος αυτού αποτελεί ένας κυλινδρικός θάλαμος, ο οποίος αναρτάται επί ειδικού πλαισίου στήριξης και περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από τον άξονά του, αναδεύοντας το υλικό στο εσωτερικό. Το σωληνοειδές πλαίσιο στήριξης, συγκρατεί τον κύλινδρο στην προέκταση του νοητού άξονα περιστροφής, σε ικανό ύψος από το έδαφος.

Η τροφοδοσία του υλικού και η παραλαβή του κόμποστ, γίνεται από αρθρωτό και ασφαλισμένο καπάκι, που καλύπτει σχετικά μεγάλο τμήμα της παράπλευρης επιφάνειας του θαλάμου.

Επιπλέον, επί της παράπλευρης επιφάνειας είναι διατεταγμένες και οι οπές αερισμού. Οι οπές αυτές είναι καλυμμένες με πλέγμα ώστε αφ' ενός να "αναπνέει" το κόμποστ και αφ' ετέρου να απαγορεύουν την είσοδο σε διάφορους επιβλαβείς μικροοργανισμούς. Στην εσωτερική πλευρά του αντιδραστήρα υπάρχει μονωτική επίστρωση που βοηθά τη θερμότητα να διατηρείται στο εσωτερικό. Τέλος τέσσερις λεπίδες βοηθούν στην ανάδευση και στη διάσπαση συσσωματωμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα που μόλις περιγράφηκε.

**Πίνακας 3.7** Τεχνικά χαρακτηριστικά του φορητού αντιδραστήρα κομποστοποίησης

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	<b>Διατροφικά απόβλητα</b>
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Ασυνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	7 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού μέσω οπών επί της παράπλευρης επιφάνειας
<b>Σύστημα ύγρανσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας το καπάκι
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Χειρωνακτικά, με περιστροφή του θαλάμου
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	3 φορές ανά εβδομάδα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Παθητική θέρμανση με απορρόφηση του ηλιακού φωτός λόγω σκουρόχρωμου κάλαθου
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Δεν διατίθεται
<b>Χωρητικότητα</b>	180 <i>lt</i>
<b>Βάρος</b>	12 <i>kg</i>
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Μεγάλο αρθρωτό καπάκι

### 3.8.3 Αντιδραστήρας κομποστοποίησης τύπου Rolling or Rotating Orb Composter (Κυλιόμενος αντιδραστήρας)

Ο αντιδραστήρας του παρακάτω σχήματος διακρίνεται για το σφαιρικό του σχήμα και τον υψηλό βαθμό ανάπτυξης, εξάπλωσης και διατήρησης των θερμοφιλικών συνθηκών στα αρχικά στάδια των διεργασιών αερόβιας αποδόμησης. Τα υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας που αναπτύσσονται στον πυρήνα των διεργασιών λόγω της μικροβιακής δραστηριότητας, διαχέονται ομοιόμορφα στον όγκο του οργανικού υλικού και εξαιτίας της μεγάλης χωρητικότητας του αντιδραστήρα, διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3.26 Κυλιόμενος αντιδραστήρας κομποστοποίησης

Η τροφοδοσία του υλικού και η παραλαβή του κόμποστ, πραγματοποιούνται από το ειδικά διαμορφωμένο περιστροφικό καπάκι, το οποίο παραμένει ερμητικά κλειστό κατά τη διαδικασία ανάδευσης. Λόγω του σφαιρικού σχήματος του, ο αντιδραστήρας μετακινείται επί του εδάφους ωθούμενος χειρωνακτικά και το υλικό στο εσωτερικό του αναδεύεται κατά τη διάρκεια της κίνησης. Η συχνότητα ανάδευσης είναι μια φορά ανά εβδομάδα, ενώ ο απαιτούμενος αέρας εισέρχεται στο εσωτερικό από οπές κυκλικού σχήματος που είναι διατεταγμένες στην επιφάνεια της σφαίρας.

Η σφαίρα είναι μαύρου χρώματος για την απορρόφηση της θερμότητας του ηλιακού φωτός, διατηρώντας παράλληλα τα υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας στο εσωτερικό. Οι διεργασίες αποδόμησης με χρήση του εν λόγω συστήματος πραγματοποιούνται απουσία δυσάρεστων οσμών. Σε περιπτώσεις όπου στην περιοχή πνέουν ισχυροί άνεμοι, το σύστημα μέσω ειδικών εξαρτημάτων σταθεροποιείται επί του εδάφους.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του κυλιόμενου αντιδραστήρα κομποστοποίησης.

**Πίνακας 3.8** Τεχνικά χαρακτηριστικά του κυλιόμενου αντιδραστήρα κομποστοποίησης

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Ασυνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	6 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού μέσω οπών επί της παράπλευρης επιφάνειας
<b>Σύστημα ύγρανσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας το καπάκι
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Χειρωνακτικά, με μετακίνηση του αντιδραστήρα
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	3 φορές ανά εβδομάδα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Παθητική θέρμανση με απορρόφηση του ηλιακού φωτός λόγω σκουρόχρωμου κάλαθου
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Δεν διατίθεται
<b>Χωρητικότητα</b>	490 lt
<b>Βάρος</b>	10 kg
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πλαστικό (ανακυκλώσιμο)
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Αερισμός και ανάμιξη πραγματοποιούνται ταυτόχρονα κατά τη μετακίνηση της σφαίρας

Μία από τις πιο περίεργες κατασκευές που κυκλοφορούν στην αγορά είναι αυτή του σχήματος 3.9.



**Εικόνα 3.27** Αντιδραστήρας κομποστοποίησης EcoTumbler



**Εικόνα 3.28** Εσωτερικό σύστημα του αντιδραστήρα

Ο αντιδραστήρας κυκλοφορεί στο εμπόριο με το όνομα “EcoTumbler”. Η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός του διήρκησαν 5 χρόνια, αλλά το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός αντιδραστήρα που ενσωματώνει τεχνολογίες αιχμής. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι κατασκευασμένο εξ’ ολοκλήρου από ανακυκλωμένα υλικά. Το σφαιρικό σχήμα το σκούρο χρώμα, η βάση του και οι κυλινδρικοί αεραγωγοί (εικόνα 3.10) βοηθούν στην παραγωγή ποιοτικού κόμποστ μέσα σε 4-6 εβδομάδες.

Πιο συγκεκριμένα, ο αντιδραστήρας έρχεται σε επαφή με τη βάση μέσω μικρών τροχών οι οποίοι επιτρέπουν την τυχαία περιστροφική κίνηση του. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως η ανάδευση του υλικού μέσα στον αντιδραστήρα επιτυγχάνεται πολύ εύκολα με την απλή κύλισή του. Το σκούρο χρώμα του συστήματος βοηθά στην απορρόφηση θερμότητας μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, κάτι που κρίνεται απαραίτητο ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε επίπεδα που επιτρέπουν τη διεργασία της βιοαποδόμησης. Οι διάφορων μεγάλων αεραγωγοί διοχετεύουν αέρα σε όλο τον όγκο του υλικού, που βρίσκεται μέσα στο σύστημα κάθε στιγμή.

Η χωρητικότητά του είναι περίπου 270 λίτρα και η διάμετρος του 81 εκατοστά. Όπως και στην πλειοψηφία των κυλιόμενων αντιδραστήρων, έτσι κι εδώ η τροφοδοσία είναι ασυνεχής, δηλαδή για να προστεθεί οργανικό υπόλειμμα θα πρέπει πρώτα να αφαιρεθεί η προηγούμενη παρτίδα.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα “EcoTumbler”.

**Πίνακας 3.9** Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα “EcoTumbler”

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Ασυνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	4-6 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες στατικού αερισμού μέσω περιφερειακών κυλινδρικών αεραγωγών
<b>Σύστημα ύγρυνσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας το καπάκι
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Χειρωνακτικά, με μετακίνηση του αντιδραστήρα
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	3 φορές ανά εβδομάδα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Παθητική θέρμανση με απορρόφηση του ηλιακού φωτός λόγω σκουρόχρωμου κάλαθου
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεν διατίθεται
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Δεν διατίθεται
<b>Χωρητικότητα</b>	270 lt
<b>Βάρος</b>	9,5 kg
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πλαστικό (ανακυκλώσιμο)
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Αερισμός και ανάμιξη πραγματοποιούνται ταυτόχρονα κατά τη μετακίνηση της σφαίρας



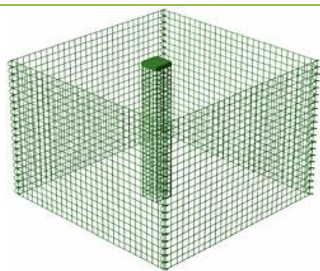
### 3.8.4 Wooden / Wire Mesh Composter (Ξύλινοι/συρμάτινοι κομποστοποιητές)

Οι ξύλινοι κομποστοποιητές (εικόνα 3.11) είναι κυβικές κατασκευές από ξύλο. Τα κομμάτια ξύλου τοποθετούνται σε κάποια μικρή απόσταση μεταξύ τους ώστε να υπάρχει επαρκής κυκλοφορία του αέρα. Η κατασκευή είναι σχετικά εύκολη και μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας παλέτες. Απαραίτητη είναι η συχνή ανάδευση του αντιδραστήρα με τη χρήση εργαλείων ή με το χέρι.

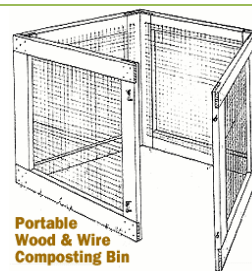


Εικόνα 3.29 Παράδειγμα τυπικής ξύλινης κατασκευής κομποστοποίησης

Στα πλεονεκτήματα του εν λόγω αντιδραστήρα συγκαταλλέγεται η πολύ μεγάλη χωρητικότητά του, ο άφθονος αερισμός και η ευκολία κατασκευής του με τη χρήση πολύ χαμηλού κόστους υλικών. Μειονέκτημα αποτελεί η δυσκολία ανάδευσης και η εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία της παραγωγής του ώριμου κόμποστ. Όπως φαίνεται και παρακάτω (σχήματα 3.3 – 3.4) η κατασκευή τέτοιων αντιδραστήρων μπορεί να γίνει με τη χρήση ξύλου, πλέγματος (σιδερένιου ή πλαστικού), ακόμα και με συνδυασμό των δύο (σχήμα 3.4). Τέτοιου είδους κατασκευές μπορούν να γίνουν εξ' ολοκλήρου από τον χρήστη με πολύ χαμηλό κόστος και γι' αυτόν το λόγο αποτελούν εξαιρετική λύση. Απαραίτητη, ωστόσο, είναι η προϋπόθεση να υπάρχει ένας κήπος για να τοποθετηθεί η κατασκευή.



Σχήμα 3.3 Αντιδραστήρας με συρμάτινο πλέγμα



Σχήμα 3.4 Αντιδραστήρας με συνδυασμό υλικών

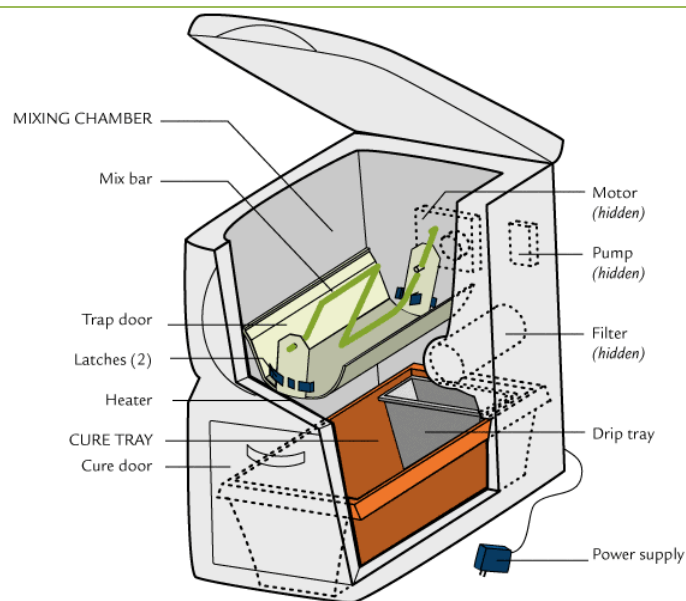
### 3.8.5 Computerized Indoor Composter (Ηλεκτρονικός κομποστοποιητής εσωτερικού χώρου)

Οι κομποστοποιητές εσωτερικού χώρου προσφέρονται πλέον με διάφορα “έξυπνα” ηλεκτρονικά συστήματα που υπολογίζουν την ποσότητα του οργανικού αποβλήτου, προσθέτουν νερό και διατηρούν τις κατάλληλες θερμοκρασίες ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή αποσύνθεση. Υπάρχει επίσης ηλεκτρονικό σύστημα ανάδευσης και απόρριψης του ώριμου κόμποστ σε αφαιρούμενο συρτάρι, που διευκολύνει τη μεταφορά του στον κήπο ή σε μία γλάστρα.



Εικόνα 3.30 NatureMill Computerized Indoor Composter

Στο σχήμα 3.5 Βλέπουμε ένα σχηματικό διάγραμμα της λειτουργίας του αντιδραστήρα της Αμερικάνικης εταιρίας NatureMill.



Σχήμα 3.5 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας του αντιδραστήρα NatureMill (Computerized Indoor Composter)

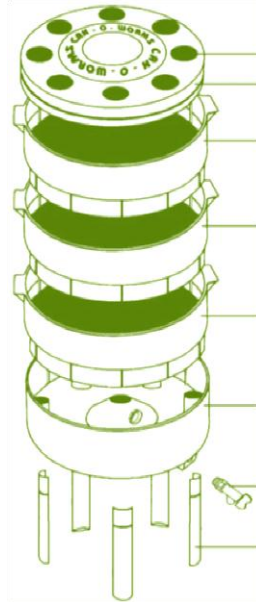
Απ' ότι παρατηρούμε από το σχήμα λειτουργίας, ο εν λόγω αντιδραστήρας είναι εξοπλισμένος με ηλεκτρονικά συστήματα που βοηθούν στην ανάδευση, στην διατήρηση της θερμοκρασίας σε υψηλά επίπεδα, στην αποφυγή οσμών, και τέλος στη συλλογή των στραγγισμάτων και του τελικού προϊόντος. Το τελικό προϊόν λαμβάνεται, αφού πρώτα έχει υπάρξει προειδοποίηση με την λειτουργία μίας λυχνίας στην πρόσοψη του αντιδραστήρα. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα της εταιρίας NatureMill.

**Πίνακας 3.10** Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα “NatureMill”

<b>Κομποστοποιήσιμα υλικά</b>	Διατροφικά και κηπευτικά απόβλητα
<b>Τροφοδοσία υλικού</b>	Συνεχής
<b>Χρόνος παραμονής υλικού</b>	2 εβδομάδες
<b>Σύστημα αερισμού</b>	Συνθήκες αερισμού μέσω ηλεκτρικής αντλίας
<b>Σύστημα ύγρανσης</b>	Χειρωνακτικά, ανοίγοντας το καπάκι
<b>Σύστημα ανάδευσης</b>	Αυτόματα με ηλεκτρικό κινητήρα
<b>Συχνότητα ανάδευσης</b>	Αυτόματα
<b>Σύστημα θέρμανσης</b>	Θέρμανση με χρήση ηλεκτρικής αντίστασης και αυτόματος έλεγχος με θερμοστάτη
<b>Σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων</b>	Δεξαμενή συλλογής
<b>Σύστημα ελέγχου οσμών</b>	Φίλτρο άνθρακα
<b>Χωρητικότητα</b>	55 kg/μήνα
<b>Βάρος</b>	8 kg
<b>Υλικό κατασκευής</b>	Πλαστικό (ανακυκλώσιμο) εξωτερικά και μεταλλικά εξαρτήματα στο εσωτερικό
<b>Ειδικά χαρακτηριστικά</b>	Πλήρως αυτοματοποιημένος

### 3.8.6 Worm bins

Η κατηγορία των αντιδραστήρων αυτών χρησιμοποιεί την αρχή της βιοαποδόμησης των οργανικών οικιακών αποβλήτων με τη βοήθεια κόκκινων σκωληκίων.



Σχήμα 3.6 Αντιδραστήρας κομποστοποίησης με χρήση σκουληκίων

Το σύστημα συγκροτεί ένας κυλινδρικός αντιδραστήρας, στο εσωτερικό του οποίου πραγματοποιούνται οι διεργασίες αποδόμησης του οργανικού υλικού από πληθυσμούς σκωληκίων.

Η τροφοδοσία του υλικού είναι συνεχής και επιτυγχάνεται από αποσπώμενο κυκλικό και ασφαλισμένο καπάκι, που καλύπτει ολόκληρη την άνω βάση του κυλινδρικού θαλάμου. Κατά την έναρξη χρήσης του συστήματος, οι απαιτούμενοι αρχικοί πληθυσμοί σκωληκίων τοποθετούνται στο εσωτερικό του κάλαθου, πάνω σε προστατευτικό υπόστρωμα που αποτελείται από μικρά κομμάτια χαρτιού και ξηρά φυλλώματα δέντρων. Στη συνέχεια, εισέρχεται το οργανικό υλικό που εξαπλώνεται σε όλη την κυκλική επιφάνεια επί του υποστρώματος. Ακολούθως, για κάθε τροφοδοσία νέων ποσοτήτων 'φρέσκου' υλικού, δημιουργείται ένα νέο υπόστρωμα πάνω στο οποίο τοποθετείται το υλικό αυτό. Με τον τρόπο αυτό, διατάσσονται επάλληλες εναλλασσόμενες στρώσεις υποστρωμάτων και ποσοτήτων οργανικού υλικού

στην καθ' ύψος διάσταση του αντιδραστήρα. Στο τελευταίο επίπεδο λαμβάνεται το στράγγισμα ενώ στο αμέσως πιο πάνω επίπεδο γίνεται η συγκομιδή του στερεού, ώριμου κόμποστ.

Η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά χρονοβόρα, αφού χρειάζονται κάποιοι μήνες για να αναπαραχθούν τα σκουλήκια. Επίσης απαιτείται μεγάλη προσοχή, ώστε να διατηρηθούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις (pH, θερμοκρασία) για το ζωτικό περιβάλλον των σκωληκίων. Άλλωστε, χρειάζεται αρκετός χρόνος και αρκετή δουλειά για να ετοιμάσουμε τον αντιδραστήρα ώστε να δεχτεί οργανικά απόβλητα. Μεγάλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου αντιδραστήρα είναι η αισθητή μείωση των οσμών σε σχέση με τους συμβατικούς αντιδραστήρες. Αυτό καθιστά εύκολη τη χρήση του αντιδραστήρα μέσα στο σπίτι.

## 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.[23]

#### 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 Χρήσεις

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως στο εξωτερικό αλλά και στη χώρα μας ο ζεόλιθος μπορεί να βρει αρκετές εφαρμογές, όπως :

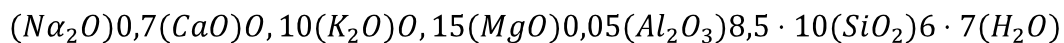
- Στις αγροκαλλιέργειες, για τη βελτίωση της απόδοσης του εδάφους.
- Στην οικοδομική, τόσο ως δομικοί λίθοι όσο και στην παραγωγή τσιμέντων.
- Σε αποσμητικά κτηνοτροφικών μονάδων καθώς βοηθάει στον έλεγχο των οσμών -κυρίως αμμωνίας και υδρόθειου- σε χώρους συντήρησης και αποθήκευσης τροφίμων.
- Στις ιχθυοκαλλιέργειες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φιλτράρισμα του νερού και για την απορρόφηση της αμμωνίας.
- Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται στα φίλτρα για την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων βλαβερών ενώσεων.
- Στην κτηνοτροφία, ως ενισχυτικό στη διατροφή των χοίρων, των πουλερικών και των αιγοπροβάτων.
- Στη μείωση της ρύπανσης και του ευτροφισμού των θαλασσών, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί ως υποκατάστατο των φωσφορικών αλάτων από τα απορρυπαντικά.
- Για την αποσκλήρυνση του νερού, όπου επέρχεται αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου-μαγνησίου, από ιόντα νατρίου.
- Στην αποθήκευση ηλιακής ενέργειας με τη δέσμευση και απελευθέρωση θερμοκρασίας από ηλιακή ακτινοβολία σε εγκαταστάσεις κλιματισμού και θέρμανσης του νερού.
- Στη χαρτοβιομηχανία ως πληρωτικό υλικό.
- Εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο λόγω της εκλεκτικής ικανότητας των ζεόλιθων να απορροφούν το άζωτο από την ατμόσφαιρα.
- Στον καθαρισμό διαφόρων τύπων λυμάτων (αστικά, βιομηχανικά, γεωργικά, ραδιενεργά απόβλητα), όπως π.χ. αφαίρεση της αμμωνίας από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα.
- Σε αποξηραντικά και απορροφητικά υλικά.
- Στην βιομηχανία καταλυτών.[24]



### 4.3.2 Ο κλινοπτιλόλιθος

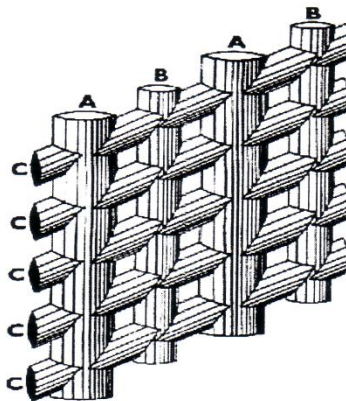
Ο κλινοπτιλόλιθος συναντάται στη φύση σε ιζηματογενή αποθέματα και μαζί με τον ευλανδίτη αποτελούν το πιο συχνά απαντώμενο ζεολιθικό είδος. Η πρώτη αναφορά στον κλινοπτιλόλιθο γίνεται το 1890 από τον Pirson, ο οποίος τον αναγνώρισε άστοχα ως μορδενίτη, καθώς ο κλινοπτιλόλιθος ανήκει στην ομάδα του ευλανδίτη.

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  $Si - O - Al$ . [24]



Σχήμα 4.1 Σύστημα καναλιών κλινοπτιλόλιθου

Επίσης ο κλινοππιλόλιθος 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 κλινοππιλόλιθο 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:

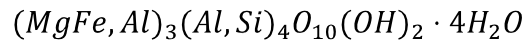
- Εδαφολογικό εδαφοβελτιωτικό.
- Βελτιωτικό του μέσου αποδοτικότητας λιπάσματος.
- Γεωπονικό ροφητήρα ανάπτυξης των φυτών.
- Μεταφορέας για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και άλλες οργανικές ενώσεις.
- Επανορθωτικό του χώματος που μολύνεται με τα ραδιενεργά νουκλεΐδια και τα βαριά μέταλλα.

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 κλινοππιλόλιθο, 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 κλινοππιλόλιθου 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. [25]

## 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:



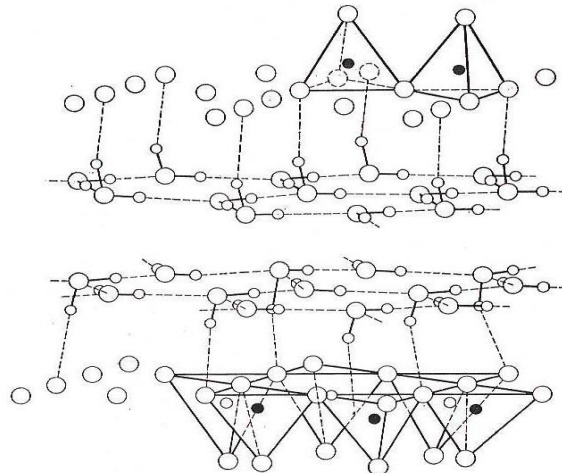
Από το χημικό τύπο φαίνεται να περιέχουν σημαντική ποσότητα μαγνησίου και σιδήρου. Όπως και οι μοντομοριλονίτες το ίδιο και οι βερμικουλίτες έχουν υψηλή ικανότητα ιοντοεναλλαγής. Στην ιοντοεναλλακτική ικανότητα του βερμικουλίτη σημαντικό ρόλο παίζει το ιόν  $Mg^{2+}$ , που φαίνεται να είναι το χαρακτηριστικό 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.



**Σχήμα 4.2** Σχεδιάγραμμα της δομής του βερμικουλίτη όπου φαίνονται τα ενδιάμεσα στρώματα νερού



**Εικόνα 4.3** 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. [26]

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 κόμπποστ, καθώς και ο έλεγχος του pH και της υγρασίας αποτελούν σημαντικούς λόγους για να επιλεγεί το συγκεκριμένο ορυκτό ως πρόσθετο κομποστοποίησης.

## 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>SiO<sub>2</sub></i>	71 – 75%
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	12,5 – 13,8%
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	3,8 – 4,2%
<i>K<sub>2</sub>O</i>	3,3 – 4,7%
<i>CaO</i>	0,8 – 1,5%
<i>MgO</i>	0,4 – 0,7%
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0,7 – 1,5%
<i>S and SO<sub>3</sub></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.

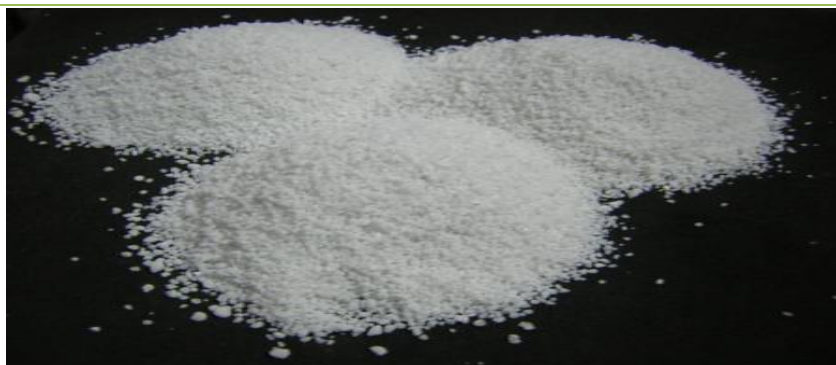
Η υψηλή θερμοκρασία της επεξεργασίας αυτής έχει ως αποτέλεσμα την απόδοση ενός αποστειρωμένου υλικού. Η επιφάνεια του κάθε τεμαχιδίου αυξάνεται σημαντικά και οι κοιλότητες που υπάρχουν στην επιφάνειά τους απορροφούν το νερό.

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 4.4 Περίληψη

#### 4.5.1 Δομές

Οι περλίτες που έχουν οικονομική σημασία εμφανίζονται με μια ποικιλία δομών που φαίνεται ότι σχετίζονται με το βάθος σχηματισμού τους. Στα κοιτάσματα εμφανίζονται οι εξής δομές:

- Κισσηρώδης

Εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια. Πρόκειται για περλίτη με μικροειδικό βάρος, ο οποίος δεν επηρεάστηκε από τη λιθοστατική πίεση. Με το βάθος οι φυσαλίδες της κίσηρης γίνονται πιο επίπεδες, ενώ παρατηρείται επιμήκυνση κατά μήκος ροής. Αν και ο περλίτης αυτός μπορεί να διογκωθεί, η σημασία του γενικά είναι μικρή λόγω της ευθρυπτότητάς του.

- Κοκκώδης  
Ο περλίτης με κοκκώδη δομή είναι πιο συμπαγής, έχει ζαχαρώδη εμφάνιση και είναι πιο σημαντικός από οικονομική άποψη, λόγω της μεγαλύτερης ευκολίας κατά την κονιοποίηση, ταξινόμηση και διόγκωση. Συχνά εμφανίζονται ρευστικές δομές.
- Τυπική περλιτική  
Το υλικό με την κλασική περλιτική δομή εμφανίζεται κάτω από το προηγούμενο. Ο περλίτης έχει προκύψει από ενυδάτωση οψιδιανού ο οποίος διατηρείται.

#### **4.5.2 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:

##### **4.5.2.1 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).

Χάρη στα εξαιρετικά μονωτικά χαρακτηριστικά του καθώς επίσης και στο μικρό του βάρος, χρησιμοποιείται ευρέως σαν αραιού τύπου μόνωση στις οικοδομικές κατασκευές. Χάρη στην ελεύθερη ροή του, η έγχυση περλίτη στις κοιλότητες θεωρείται εύκολη κι ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ευρέως ως υλικό πληρώσεως δαπέδων, ρωγμών, του κενού των διπλών τοίχων, καθώς επίσης και για τη δημιουργία ρύσεων στην οροφή. Σε αυτή την εφαρμογή, ο περλίτης ελευθέρως εισάγεται μέσα στις εσοχές του μπετόν γεμίζοντας



ολοκληρωτικά όλους τους πόρους και τις τρύπες που μπορεί να υπάρχουν. Παράλληλα, αποτελεί εξαιρετικό υλικό για την επισκευή οροφών, παρέχοντας επιπλέον μόνωση και αποστράγγιση. Επιπρόσθετα, με εξαιρετικές ιδιότητες θερμομόνωσης, ο περλίτης έχει χαμηλό κόστος, εύκολη εφαρμογή και δεν αλλάζει η μορφή του (δεν μειώνεται, δεν μουσκέυει κ.τ.λ.). Τέλος, βελτιώνει τα επίπεδα φωτιάς (όντας ένα ηφαιστειακό γυαλί είναι άφλεκτος και πληρεί τις προδιαγραφές των νόμων περί πυροπροστασίας), μειώνει την μετάδοση του ήχου και έχει προστατευτικές ιδιότητες από την σκουριά και τους τερμίτες.

Ο περλίτης είναι επίσης ιδανικός για μονώσεις χαμηλών θερμοκρασιών και κρυογενικού τύπου δοχείων. Όταν χρησιμοποιείται σαν συστατικό στο σκυρόδεμα παράγεται ένα μείγμα σκυροδέματος (περλομπετόν) που είναι ελαφρύ, μονωτικό, με μεγάλη αντίσταση στη φωτιά, αυξημένη αντοχή σε θλίψη για υψηλές καταπονήσεις από ανεμοπύση και σεισμό. Το μίγμα αυτό είναι ιδανικό για ψευδοροφές και άλλες παραπλήσιες εφαρμογές.

Ο περλίτης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό σε σκυρόδεμα τύπου "Portland", σε γύψινες κατασκευές για εξωτερικές εφαρμογές καθώς και στην πυροπροστασία πυλώνων και κολόνων.

Η προσθήκη περλίτη στην γυψοκονία ή τσιμεντοκονία προσδίδει ελαφρότητα στο τελικό προϊόν, χαμηλότερο συντελεστή γραμμικής διόγκωσης, μεγαλύτερη ελαστικότητα, καλύτερη συγκόλληση στην επιφάνεια επίστρωσης και βελτιωμένες δυνατότητες κατεργασίας με σημαντική βελτίωση της θερμομόνωσης και της ηχομόνωσης του κτιρίου.

Άλλες κατασκευαστικές εφαρμογές περιλαμβάνουν υπόγειες μονώσεις, εσωτερικές κατασκευές καμινάδων, συστατικό χρώματος, κατασκευή γυψοσανίδων, καλυμμάτων οροφής και μονωτικών βάσεων. Η φιλική προς το περιβάλλον φύση του τον κάνει να υπερτερεί έναντι των άλλων μη φυσικών υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές.

#### 4.5.2.2 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.

Άλλα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο περλίτης στις κηπευτικές εφαρμογές είναι το ουδέτερο pH του, η στείρωσή του και το γεγονός ότι δεν επιτρέπει την ανάπτυξη αγριόχορτων. Επιπλέον, το ελαφρύ του βάρος τον καθιστά ιδανικό για καλλιέργεια σε κοντέινερ (container growing).

Άλλες αγροτικές εφαρμογές του περλίτη περιλαμβάνουν την χρήση του ως κομιστή λιπάσματος, βοτανισμάτων, φυτοφαρμάκων και για ταξινόμηση των σπόρων. Ο "κηπευτικός" περλίτης είναι εξίσου χρήσιμος στον απλό κηπουρό όσο και στον επαγγελματία αγρότη. Χρησιμοποιείται με την ίδια επιτυχία στην θερμοκηπευτική, τις χωματοουργικές εφαρμογές των αγρών, τον κήπο και στα φυτά εσωτερικού χώρου του σπιτιού.

#### 4.5.2.3 Βιομηχανικές εφαρμογές

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

- Βοηθητικά φίλτρων - Διήθηση υγρών

Ο διογκωμένος περλίτης είναι ένα αποτελεσματικό και φτηνό μέσο διήθησης υγρών που χαρακτηρίζεται από μεγάλο πορώδες, χημική καθαρότητα, σταθερότητα, αδιαλυτότητα και αδράνεια. Ο περλίτης δεν

αλλοιώνει τη χημική σύσταση του υγρού που διηθείται, αλλά το διαυγάζει από τις στερεές ξένες ύλες που περιέχει μέσω μιας φυσικής διαδικασίας διαχωρισμού, παρέχοντας ταυτόχρονα υψηλή παραγωγικότητα διεργασίας και επαρκή καθαρότητα τελικού προϊόντος. Ο περλίτης χρησιμοποιείται κυρίως για τη διήθηση κρασιών, ζάχαρης και αμύλου, μπύρας, εδώδιμων ελαίων, ύδατος, καθώς επίσης και στις χημικές και φαρμακευτικές βιομηχανίες.

- Βιομηχανική Μόνωση

Ο διογκωμένος περλίτης έχει ποικίλες εφαρμογές λόγω της θερμομονωτικής ικανότητάς του: π.χ. χρησιμοποιείται τόσο στα τοιχώματα των κρυογενικών δεξαμενών ή βυτίων (όπου απαιτείται η διατήρηση εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών ως και  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) όσο και σε εφαρμογές διατήρησης μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας (όπως στο μονωτικό σκυρόδεμα, τα πυρίμαχα τούβλα και τη μόνωση δαπέδων). Σε χαμηλές θερμοκρασίες, ο περλίτης αποτελεί μοναδική λύση για την αποθήκευση υγροποιημένων βιομηχανικών αερίων όπως το οξυγόνο, το άζωτο, το LNG ή για τη μόνωση αποθηκευτικών σφαιρών ηλίου και υδρογόνου με διπλά τοιχώματα. Η Ελληνική εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά διαθέτει μια ειδική ποιότητα περλίτη, η οποία θεωρείται παγκοσμίως ως "υλικό αναφοράς" για την κρυογενική μόνωση.

- Χημικές βιομηχανίες

Ο διαβαθμισμένος περλίτης χρησιμοποιείται συχνά σε εργοστάσια φωσφορικού οξέως με στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας της διεργασίας διήθησης μετά τον αντιδραστήρα καθώς επίσης και την κατακράτηση των αερίων HF με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις εκπομπές του HF στην ατμόσφαιρα.

- Συστατικό Πλήρωσης Χημικών Προϊόντων

Ο ψιλόκοκκος περλίτης χρησιμοποιείται ως αδρανές ελαφροβαρές υλικό πλήρωσης και έχει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της ελαφρότητάς του, της ενισχυτικής του δομής, της υψηλής του

λευκότητας και της καλής του συνδετικής ικανότητας. Επίσης αποτελεί μια καλή λύση όσον αφορά τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας (άριστη εργασιμότητα με καλές πυράντοχες και μονωτικές ιδιότητες). Ενδεικτικά αναφέρεται η χρήση του σε μπογιές, πλαστικά, υλικά στεγανοποίησης, κόλλες, εκρηκτικά, προσροφητικά, βερνίκια κ.τ.λ.

- Χυτήρια

Ο περλίτης έχει πολλαπλές εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας σε χυτήρια και χαλυβουργεία, ιδίως ως μέσο πήξεως σκωρίας και κάλυψης της χοάνης. Ο διαβαθμισμένος, μη διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται στις καμίνους και χοάνες συνεχούς εισαγωγής ως μέσο προσέλκυσης όλων των μεμονωμένων σωματιδίων σκωρίας στο μέταλλο και ως μέσο συγκράτησης ή εισαγωγής ακαθαρσιών στα μεταλλικά λουτρά. Ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται ως μονωτικό συστατικό επιχρισμάτων για υψηλής ποιότητας χύτευση και ως συστατικό σε εξωθερμικούς δακτυλίους σωληνώσεων.

- Άλλες εφαρμογές

Πέρα από τις προαναφερθείσες χρήσεις, ο περλίτης έχει πολλές άλλες εφαρμογές. Στοχεύοντας στην προστασία του περιβάλλοντος, χάρη στο μεγάλο πορώδες του και την υψηλή προσροφητική του ικανότητα χρησιμοποιείται: για διήθηση αποβλήτων και λιπαντικών, δέσμευση μολυσμένου υπεδάφους, απορρόφηση βιομηχανικών λαδιών και επικίνδυνων υγρών σε μολυσμένες περιοχές κ.λ.π.

Τέλος, οι ήπιες λειαντικές του ιδιότητες τον καθιστούν κατάλληλο συστατικό σαπουνιών και απορρυπαντικών.



# 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.



Σχήμα 4.1 Ο αντιδραστήρας κομποστοποίησης οργανικών απορριμμάτων

Ο κάδος κομποστοποίησης οργανικών απορριμμάτων (σχήμα 4.1) 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 παρανόμενων



Σχήμα 4.2 Τμήματα αντιδραστήρα κομποστοποίησης

Αποτελείται από 5 τμήματα (Σχήμα 4.2):

- 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.

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.

Μετά τη διεξαγωγή του πρώτου κύκλου πειραμάτων, κρίθηκε σκόπιμη η επέμβασή μας σε νευραλγικούς τομείς του κάδου. Συγκεκριμένα, έγινε αφαίρεση του τμήματος τροφοδοσίας υλικού και ενίσχυση των πτερυγίων του κάδου με ηλεκτροσυγκόλληση ούτως ώστε να ανταπεξέλθουν στον αυξημένο όγκο του υλικού. Οι παρεμβάσεις αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του κάδου σε 75 λίτρα καθώς και την ευκολότερη πρόσβαση των υλικών και των οργάνων μέτρησης (θερμόμετρο, οξυγονόμετρο, μετρητής  $CO_2$ )

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 αποτοσίγαρα)
- 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 60 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 4.1 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 4.2 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 4.3 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 4.3.

### 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 4.4 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<sub>CSH</sub>. Στη μονάδα αυτή υπολογίζεται η μάζα του οργανικού άνθρακα  $m_g$  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 4.5 Το σύστημα υπολογισμού ολικού οργανικού άνθρακα



Εικόνα 4.6  
Κεντρική μονάδα TOCV<sub>CSH</sub>



Εικόνα 4.7 Solid Sample  
Module SSM 5000A



Εικόνα 4.8  
Πορσελάνινες κάψες

### 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  $1,5\ g$ . 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 4.9 Σωλήνας χώνευσης



Εικόνα 4.10 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 Varodest 30s της εταιρίας Gerhardt.



Εικόνα 4.11 Συσσκευή απόσταξης Vapodest 30s

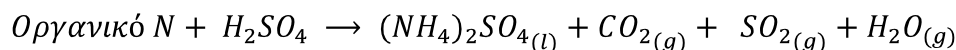
Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 50 ml βορικού οξέος  $H_3BO_3$  2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου  $NaOH$  32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια 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.



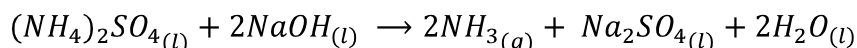
Εικόνα 4.12 – 4.13 Η αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση

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

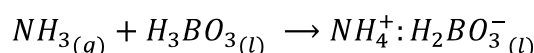
Κατά τη χώνευση



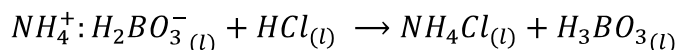
Κατά την απόσταξη



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  $\text{HCl}$  που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση. Αξίζει να τονίσουμε πως η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος  $\text{HCl}$  είναι ίση με την κανονικότητά του, και για την παραπάνω πειραματική διαδικασία ίση με  $0,1 \text{ mol/lt}$ .

$V$ : ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος  $\text{HCl}$  που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση ( $ml$ ).

$V_b$ : ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος  $\text{HCl}$  που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό ( $ml$ ).

$m$ : η αρχική μάζα του δείγματος ( $g$ ). **[27], [28]**

### 5.3.8 Προσδιορισμός νιτρικών ( $NO_3^- - N$ )

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	<i>Al</i> 44% – 46%
Χαλκός	<i>Cu</i> 49% – 51%
Ψευδάργυρος	<i>Zn</i> 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  $5\text{ g}$  που περιέχουν τους καταλύτες, (θειικό άλας χαλκού  $CuSO_4$  και σελήνιο  $Se$ ), και  $20\text{ ml}$  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.

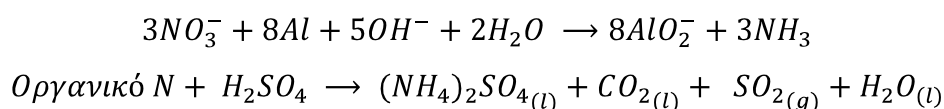
Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Varodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των  $250\text{ ml}$  μέσα στην οποία έχουν προστεθεί  $50\text{ ml}$  βορικού οξέος  $H_3BO_3$  2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου  $NaOH$  32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμειξης του θειικού αμμωνίου



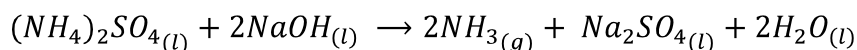
$(NH_4)_2SO_4$  με το καυστικό νάτριο  $NaOH$ , απελευθερώνεται αέρια αμμωνία  $NH_3$  η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης παγιδεύεται από το βορικό οξύ  $H_3BO_3$ . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα  $HCl$  0,1N. Χρησιμοποιούνται 3-5 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη 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.

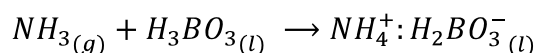
Κατά τη χώνευση



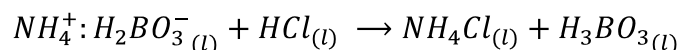
Κατά την απόσταξη



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:  $\%NO_3^- = \%N - \%TKN$ . [27], [28], [29]

### 5.3.9 Προσδιορισμός αμμωνιακών ( $NH_4^+ - N$ )

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 θειικού οξέος  $H_2SO_4$  0,005M

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιотριβείται 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 θειικού 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 θειικού οξέος  $H_2SO_4$  που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (ml).

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

$V_a$ : ο αρχικός όγκος του δείγματος (ml).

### 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 5.14 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

προσθεθούν 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 5.15 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<sub>2</sub>O.
- 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<sub>2</sub>O 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 βλαστικότητας (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 βλαστικότητας ισχύει:

0 < Δ.Β. < 25 → πολύ φυτοτοξικό

26 < Δ.Β. < 65 → φυτοτοξικό

66 < Δ.Β. < 100 → μή φυτοτοξικό

Δ.Β. > 101 → φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό [30], [31], [32]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 6.1 Εισαγωγή

Στο παρών κεφάλαιο παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα που λήφθηκαν με τη χρήση των μεθόδων του προηγούμενου κεφαλαίου. Διεξήχθησαν δύο κύκλοι πειραμάτων. Ο κάθε κύκλος αποτελείται από μετρήσεις που έγιναν σε 4 αντιδραστήρες. Τα αρχικά υλικά πλήρωσης των δύο κύκλων ήταν κοινά, όπως και τα πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν.

Με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πειραμάτων του πρώτου κύκλου ασχολήθηκε ο σπουδαστής Αναγνωστόπουλος-Πολίτης Ηλίας ενώ με αυτήν του δεύτερου ο Χατζηδημητρίου Ανάργυρος. Στην εκτέλεση των πειραμάτων των δύο κύκλων ενεπλάκησαν και οι δύο σπουδαστές. Παρακάτω ακολουθεί λεπτομερής καταγραφή των αποτελεσμάτων των δύο κύκλων, συνοδευόμενα από τα σχετικά διαγράμματα (συγκριτικά διαγράμματα παραμέτρων στους 4 αντιδραστήρες).

Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι οι ακόλουθοι:

1. Τροφοδοσία των αντιδραστήρων
2. Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας
3. Θερμοκρασία του υποστρώματος
4. Ποσοστό % υγρασίας στο υπόστρωμα
5.  $pH$  του υποστρώματος
6. Αγωγιμότητα του υποστρώματος
7. Ποσοστό πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα
8. Ποσοστό οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα
9. Ποσοστό ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα
10. Λόγος  $C/N$  στο υπόστρωμα
11. Ποσοστό νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) στο υπόστρωμα
12. Ποσοστό αμμωνιακών ( $NH_4^+ - N$ ) στο υπόστρωμα



## 6.2 Σύσταση του υποστρώματος

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.

Το προς κομποστοποίηση υπόστρωμα συνίσταται από κυτταρινούχα (σπανάκι, μαρούλι, φλούδες πορτοκαλιού και λεμονιού), πρωτεϊνούχα υλικά (όσπρια νερόβραστα) καθώς και υλικά πλούσια σε υδαάνθρακες (ψωμί) τα οποία τροφοδότησαν τον αντιδραστήρα σε προκαθορισμένη αναλογία. Τεμαχίστηκαν σε κομμάτια των 2 έως 4 εκατοστών και έγινε επαρκής ομογενοποίηση. Στον δεύτερο κύκλο πειραμάτων προστέθηκε και μικρή ποσότητα καφέ.

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 παρατίθενται κάποιες βασικές παράμετροι, όπως το  $pH$ , η αγωγιμότητα, η % υγρασία, το % ποσοστό του οργανικού άνθρακα, το % ποσοστό του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl και ο λόγος  $C/N$ , για διάφορα τρόφιμα.

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
Ρεβύθια	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

## 6.3 Πρώτος κύκλος πειραμάτων

Ο πρώτος κύκλος πειραμάτων διεξήχθη από τις 29/12/2009 μέχρι τις 18/01/2010. Διενεργήθηκαν με επιτυχία όλες οι πειραματικές μετρήσεις.

### 6.3.1 Τροφοδοσία των αντιδραστήρων

Στον πίνακα 6.2 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 30. Για να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος λόγος υπολογίστηκε θεωρητικά η εξής αναλογία:

- 60% κυτταρινούχων συστατικών (μαρούλι, σπανάκι, πορτοκάλια και λεμόνια)
- 20% πρωτεϊνούχων συστατικών (ρεβύθια και φασόλια βρασμένα)
- 20% υδατανθρακούχων συστατικών (ψωμί)

Σε κάθε αντιδραστήρα έγινε προσθήκη κάποιου πρόσθετου.

- Στον πρώτο αντιδραστήρα προστέθηκε πριονίδι ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.
- Στον δεύτερο αντιδραστήρα 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 τρίτο αντιδραστήρα 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 τέταρτο αντιδραστήρα προστέθηκε περλίτης ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.

Οι επιπλέον πληρώσεις των αντιδραστήρων έγιναν με βάση τα προαναφερθέντα ποσοστά. Την δέκατη μέρα έγινε τροφοδοσία προσθέτων.

Πίνακας 6.2 Τροφοδοσία σε g των αντιδραστήρων του πρώτου κύκλου

Αντιδραστήρας	Ημέρα	Κυτταρινούχα				Πρωτεΐνες		Υδατάνθρακες		Ορυκτό			Σύνολο	Τελικό Σύνολο
		Μαρούλι	Σπανάκι	Πορτοκάλι	Λεμόνι	Ρεβύθι	Φασόλι	Ψωμί	Πριονίδι	Ζεόλιθος	Βερμικουλίτης	Περλίτης		
1	1	2250	2250	1000	500	1000	1000	2000	1000				11000	13425
	2	225	225	100	50	100	100	200	100				1100	
	3	225	225	100	50	100	100	200	100				1100	
	10								225				225	
2	1	2250	2250	1000	500	1000	1000	2000	1000	1000			12000	14850
	2	225	225	100	50	100	100	200	100	100			1200	
	3	225	225	100	50	100	100	200	100	100			1200	
	10								225	225			450	
3	1	2250	2250	1000	500	1000	1000	2000	1000		1000		12000	14800
	2	225	225	100	50	100	100	200	100		100		1200	
	3	225	225	100	50	100	100	200	100		100		1200	
	10								200		200		400	
4	1	2250	2250	1000	500	1000	1000	2000				1000	11000	13400
	2	225	225	100	50	100	100	200				100	1100	
	3	225	225	100	50	100	100	200				100	1100	
	10											200	200	

### 6.3.2 Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του πρώτου κύκλου και συγκεκριμένα των εννέα πρώτων ημερών γινόταν καθημερινή δειγματοληψία από τους τέσσερις αντιδραστήρες. Ακολούθησαν άλλες τέσσερις δειγματοληψίες ανά τρεις ημέρες. Με τα δείγματα που λήφθηκαν έγινε η πλειοψηφία των πειραμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μάζα του υλικού που αφαιρέθηκε σε κάθε αντιδραστήρα τις μέρες της δειγματοληψίας. Οι τιμές του πίνακα είναι σε γραμμάρια.

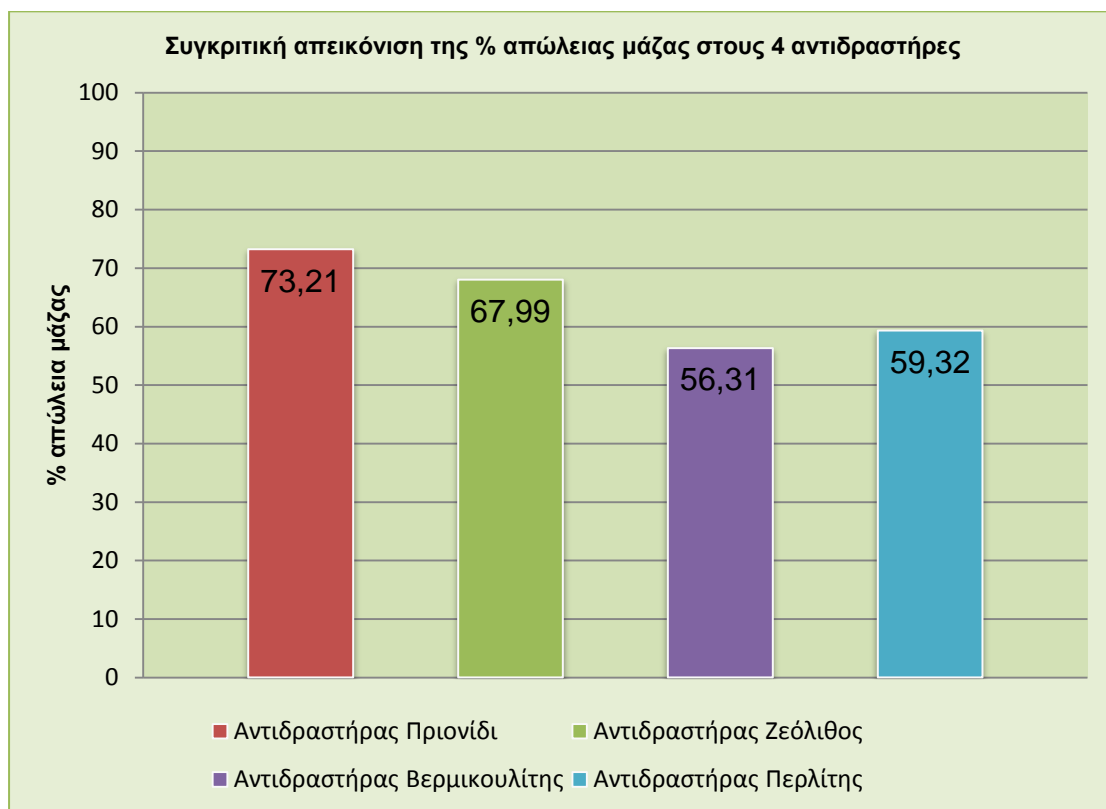
Πίνακας 6.3 Δειγματοληψία σε *g* από τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	104	102	103	102
2	146	146	136	148
3	138	150	164	178
5	152	166	146	138
6	152	150	149	168
7	146	153	145	149
8	103	109	104	112
9	110	108	104	113
11	109	106	117	107
15	109	107	108	105
18	105	109	104	108
21	103	103	99	106
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1477</b>	<b>1509</b>	<b>1479</b>	<b>1534</b>

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 6.4 και στο διάγραμμα 6.1

**Πίνακας 6.4** Ποσοστό % συνολικής μείωσης της μάζας σε κάθε αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου

	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
Αρχική Τροφοδοσία	13425	14850	14800	13400
Σύνολο Δειγματοληψίας	1477	1509	1479	1534
Θεωρητικά στον αντιδραστήρα	11948	13341	13321	11866
Πραγματικά στον αντιδραστήρα	3201	4270	5820	4827
Ποσοστό μείωσης της μάζας	73,21	67,99	56,31	59,32



**Διάγραμμα 6.1** Συγκριτική απεικόνιση της % απώλειας μάζας στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

### 6.3.3 Μέτρηση 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 κόμπποστ 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  $40\text{ }^\circ\text{C}$  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 κόμπποστ.

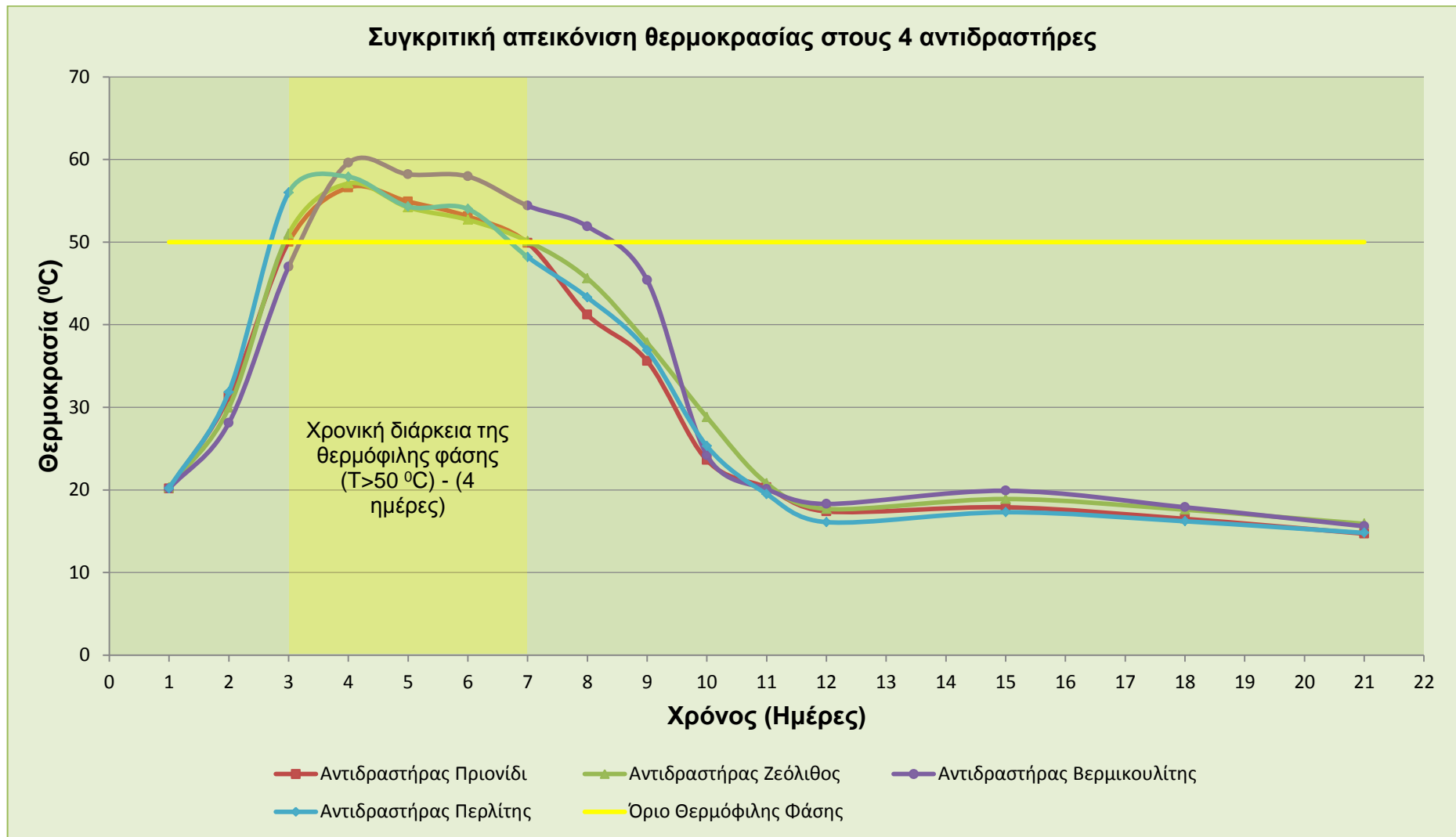
Κατά τη θερμόφιλη φάση, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες ( $> 50\text{ }^\circ\text{C}$ ) καλό είναι να αποφεύγονται, καθώς εμποδίζουν την μικροβιακή δραστηριότητα ενώ μπορούν ακόμα και επιφέρουν το θάνατο σε αρκετούς τύπους μικροοργανισμών. Αν η θερμοκρασία είναι κάτω από τους  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , τότε η μικροβιακή δραστηριότητα είναι χαμηλή, ενώ όταν υπερβαίνει τους  $20\text{ }^\circ\text{C}$  αρχίζει να αυξάνεται, καθώς οι ρυθμοί της ενζυμικής δραστηριότητας διπλασιάζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας ανά  $10\text{ }^\circ\text{C}$ . [33]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για όλους τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.5** Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	20,15	20,30	20,15	20,20
2	31,25	29,95	28,10	31,85
3	50,00	51,00	47,00	56,00
4	56,60	57,10	59,60	57,90
5	54,90	54,20	58,20	54,30
6	53,10	52,70	57,95	54,00
7	49,90	50,10	54,40	48,20
8	41,20	45,60	51,90	43,30
9	35,60	37,80	45,40	36,90
10	23,60	28,80	24,20	25,30
11	20,30	20,80	20,10	19,50
12	17,40	17,70	18,30	16,10
15	17,90	18,90	19,90	17,30
18	16,50	17,60	17,90	16,20
21	14,70	15,90	15,60	14,80

Στο διάγραμμα 6.2 παρατίθενται τα προφίλ της θερμοκρασίας για όλους τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.2** Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου



Στο διάγραμμα 6.2 διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Σχετικά με τον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι επετεύχθη η θερμόφιλη φάση η οποία ξεκίνησε με το πέρας της 3<sup>ης</sup> μέρας και κράτησε μέχρι και την 7<sup>η</sup> μέρα. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 56,6 °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 θερμόφιλη φάση ξεκίνησε από την 3<sup>η</sup> κιόλας μέρα και κράτησε μέχρι και την 7<sup>η</sup>. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 57,1 °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 θερμόφιλη φάση ξεκίνησε από την 3<sup>η</sup> κιόλας μέρα και κράτησε μέχρι και την 8<sup>η</sup>. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 59,6 °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 θερμόφιλη φάση ξεκίνησε με το πέρας της 3<sup>ης</sup> μέρας και κράτησε μέχρι την 7<sup>η</sup> μέρα. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 57,9 °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.

### 6.3.4 Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος

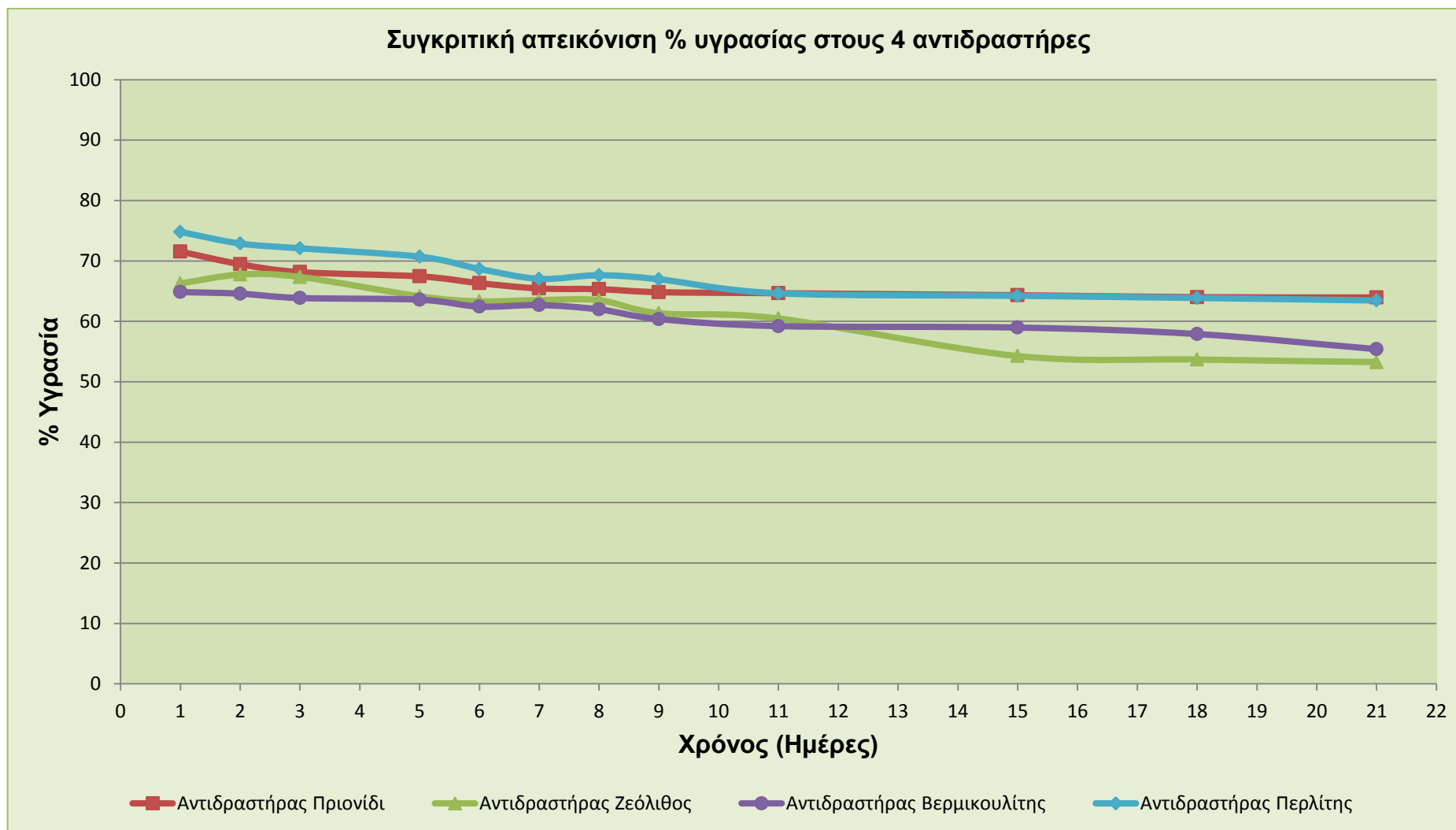
Η περιεχόμενη υγρασία στο κόμποστ εξαρτάται από το πορώδες του υποστρώματος, τον αερισμό, την θερμοκρασία και άλλους φυσικούς παράγοντες. Η υγρασία είναι ύψιστης σημασίας για όλους τους μικροοργανισμούς, αφού υποστηρίζει όλες τις μεταβολικές τους διεργασίες, επιτρέποντας την μεταφορά θρεπτικών συστατικών. 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 % 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 του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.6** Τιμές υγρασίας (%) για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	71,55	66,28	64,85	74,80
2	69,46	67,75	64,58	72,88
3	68,15	67,35	63,86	72,09
5	67,44	64,14	63,58	70,70
6	66,32	63,31	62,44	68,67
7	65,44	63,52	62,69	67,04
8	65,32	63,50	61,98	67,63
9	64,83	61,35	60,38	66,96
11	64,66	60,47	59,21	64,64
15	64,32	54,26	58,97	64,22
18	64,00	53,68	57,90	63,87
21	63,95	53,25	55,40	63,45

Στο διάγραμμα 6.3 παρουσιάζεται η εξέλιξη της % τιμής της υγρασίας για τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.3** Συγκριτική απεικόνιση % υγρασίας στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Οι καμπύλες της υγρασίας, στο διάγραμμα 6.3, 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 71,55%, 66,28%, 64,85%. Εξαίρεση αποτελεί ο αντιδραστήρας με πρόσθετο περλίτη που ξεκινά από υψηλότερο επίπεδο υγρασίας κοντά στο 75% 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 στο τέλος του χρόνου παραμονής στον αντιδραστήρα τα προϊόντα λαμβάνουν ποσοστά 63,95%, 53,25%, 55,4 και 63,45%. 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 53,25% μέχρι 63,95% και οφείλεται στην υψηλή αρχική υγρασία των υλικών τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό πριν την χρήση του κόμποστ συνίσταται να αφεθεί το τελικό προϊόν εκτός αντιδραστήρα για μια επιπλέον χρονική περίοδο ενός μήνα για την περαιτέρω μείωση της υγρασίας του.

### 6.3.5 Μέτρηση του *pH* του υποστρώματος

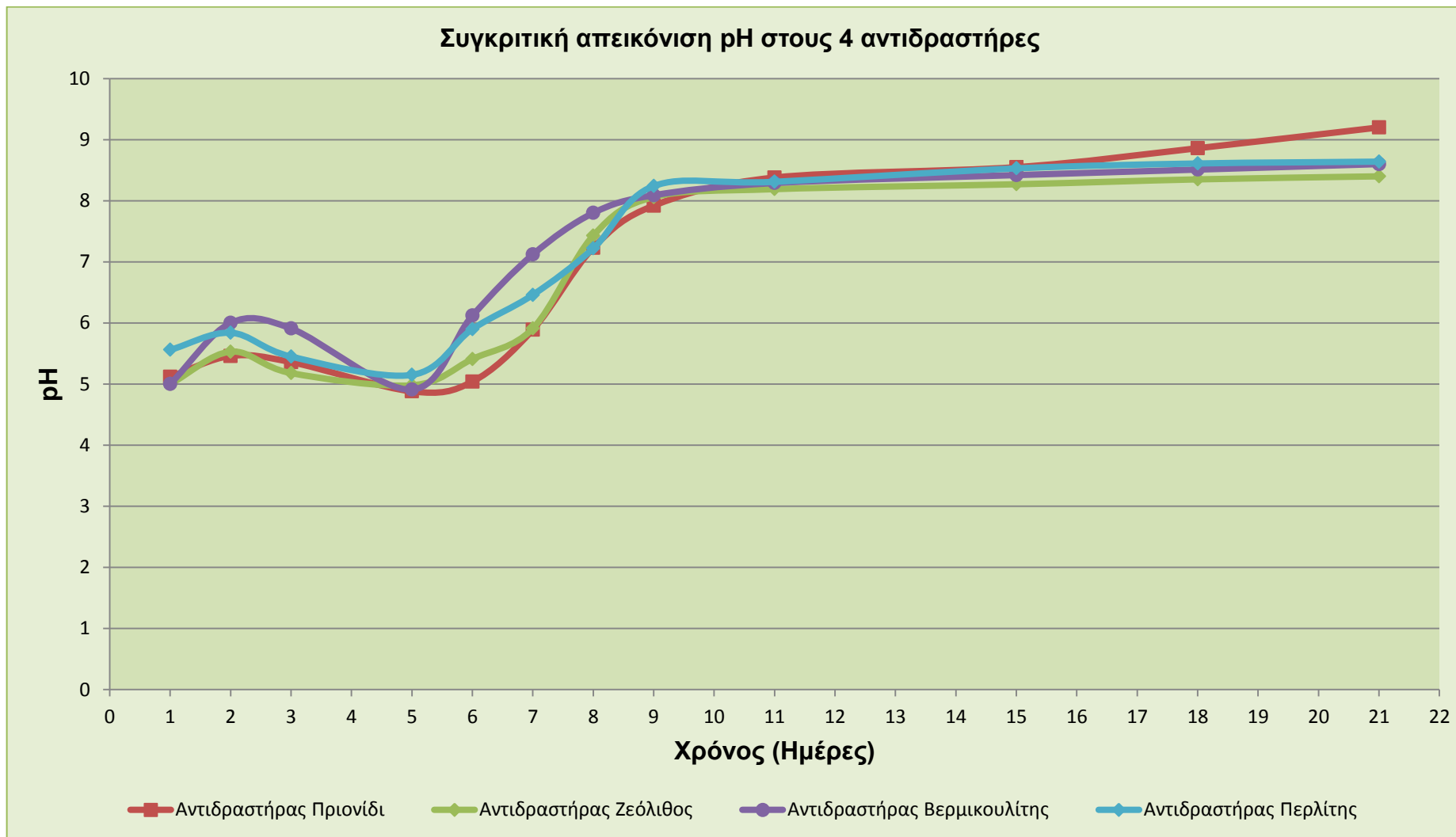
Το *pH* αναφέρεται στην οξύτητα ή αλκαλικότητα του υλικού, και αποτελεί εξαιρετικά σημαντική παράμετρο για την διεργασία της κομποστοποίησης. Το *pH* είναι αυτό που ρυθμίζει ποια είδη μικροοργανισμών θα αναπτυχθούν κατά την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης. Παρόλο που η διεργασία μπορεί να λάβει χώρα σε ένα μεγάλο εύρος τιμών *pH*, είναι επιθυμητό η τιμή του να βρίσκεται μεταξύ 6,0 και 8,5 [35], [38].

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

Πίνακας 6.7 Τιμές *pH* για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	5,12	5,00	5,00	5,56
2	5,46	5,53	6,00	5,84
3	5,36	5,18	5,91	5,45
5	4,88	4,98	4,91	5,15
6	5,04	5,41	6,12	5,90
7	5,89	5,91	7,12	6,46
8	7,23	7,43	7,80	7,22
9	7,92	8,06	8,09	8,24
11	8,38	8,19	8,29	8,31
15	8,55	8,27	8,42	8,53
18	8,86	8,35	8,51	8,61
21	9,20	8,40	8,60	8,64

Στο διάγραμμα 6.4 παρουσιάζεται η πορεία της τιμής του *pH* για τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.4** Συγκριτική απεικόνιση pH στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Στον αντιδραστήρα με το πριονίδι, το  $pH$  έχει αρχική τιμή 5,12. Η τιμή αυτή μειώνεται μέχρι και την 5<sup>η</sup> μέρα φτάνοντας στο 4,88. Μετά αυξάνεται ραγδαία μέχρι και την 9<sup>η</sup> μέρα ενώ μετά με μικρές αυξομειώσεις σταθεροποιείται την 21<sup>η</sup> μέρα κοντά στο 8,58.

Κατά τα αρχικά στάδια λειτουργίας του κομποστοποιητή με ζεόλιθο, παρατηρείται ότι το  $pH$  του μίγματος με αρχική τιμή 5,00 παρουσιάζει μείωση μέχρι και την 5<sup>η</sup> μέρα με χαμηλότερη τιμή την 4,98. Στην συνέχεια αυξάνεται γρήγορα έως και την 9<sup>η</sup> μέρα όπου φαίνεται να σταθεροποιείται με μικρές αυξομειώσεις μέχρι την 21<sup>η</sup> μέρα κοντά στο 8,4.

Το  $pH$  του αντιδραστήρα με ορυκτό βερμικουλίτη έχει αρχική τιμή 5,0 και παρουσιάζει ελαφρώς ανοδική πορεία χωρίς εμφανή μείωση τις τέσσερις πρώτες μέρες, με χαμηλότερη τιμή την 5<sup>η</sup> μέρα στο 4,91. Στην συνέχεια πραγματοποίησε απότομη άνοδο φτάνοντας κοντά στο 8 για να συνεχίσει την σταδιακή ανοδική του πορεία φτάνοντας τιμή κοντά στο 8,6 την 21<sup>η</sup> μέρα.

Στον αντιδραστήρα με τον περλίτη, το  $pH$  έχει αρχική τιμή 5,56. Η τιμή αυτή μειώνεται μέχρι και την 5<sup>η</sup> μέρα φτάνοντας στο 5,15. Μετά αυξάνεται ραγδαία μέχρι και την 9<sup>η</sup> μέρα ενώ μετά με μικρές αυξομειώσεις σταθεροποιείται μέχρι την 21<sup>η</sup> μέρα κοντά στο 8,64.

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 σταθεροποίηση του.

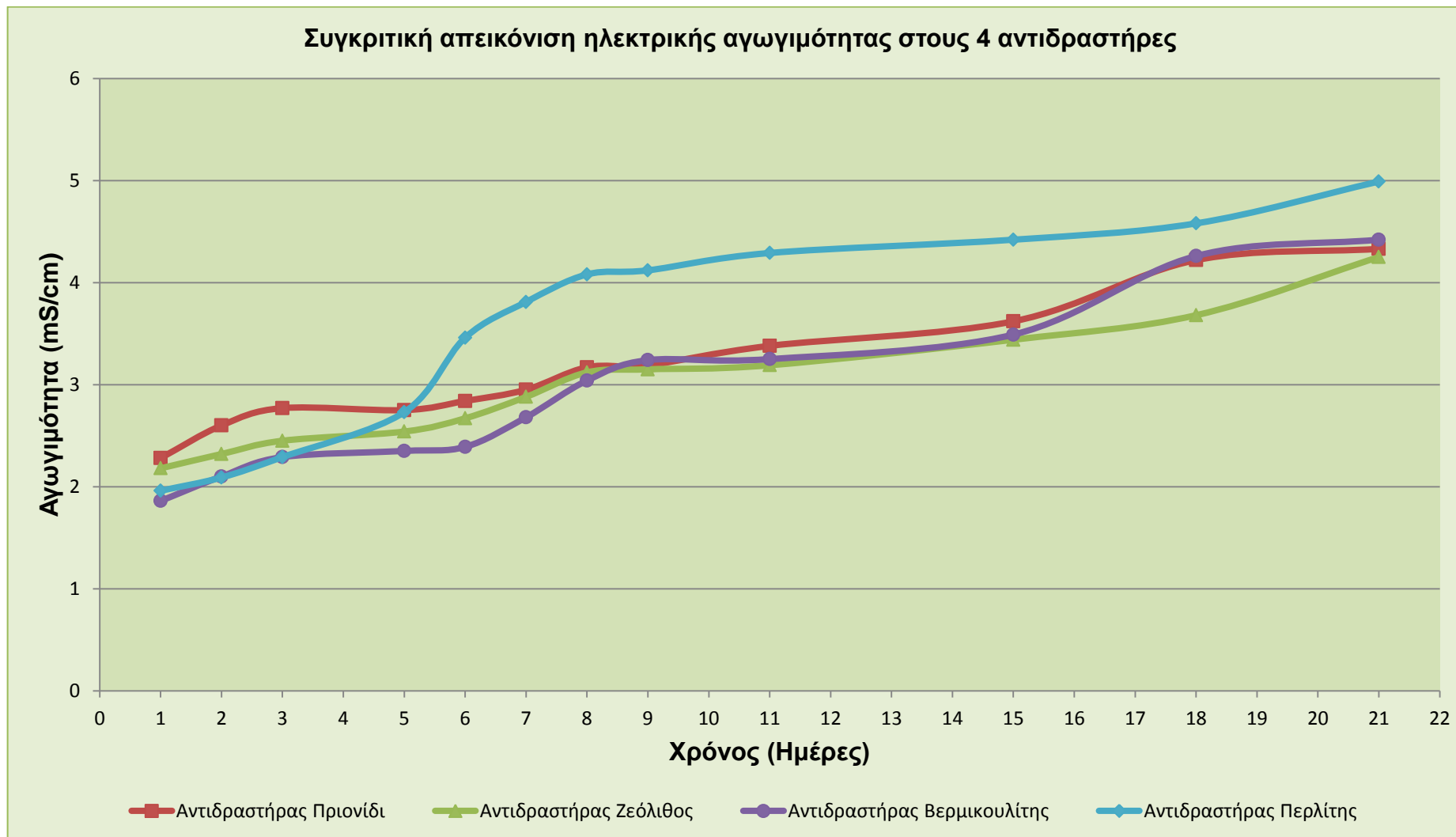
### 6.3.6 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

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 6.8** Τιμές αγωγιμότητας για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου (*mS/cm*)

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	2,28	2,18	1,86	1,96
2	2,60	2,32	2,10	2,09
3	2,77	2,45	2,29	2,29
5	2,75	2,54	2,35	2,73
6	2,84	2,67	2,39	3,46
7	2,95	2,88	2,68	3,81
8	3,17	3,12	3,04	4,08
9	3,19	3,15	3,24	4,12
11	3,38	3,19	3,25	4,29
15	3,62	3,44	3,49	4,42
18	4,22	3,68	4,26	4,58
21	4,33	4,25	4,42	4,99





**Διάγραμμα 6.5** Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Στο διάγραμμα 6.5 παρουσιάζεται η εξέλιξη της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

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<sup>η</sup> 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 όπως αυτά μετρήθηκαν από τους J.C. Hargreaves, M.S. Adl, P.R. Warman.[36]

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  $mS/cm$ ).

### **6.3.7 Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) 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.

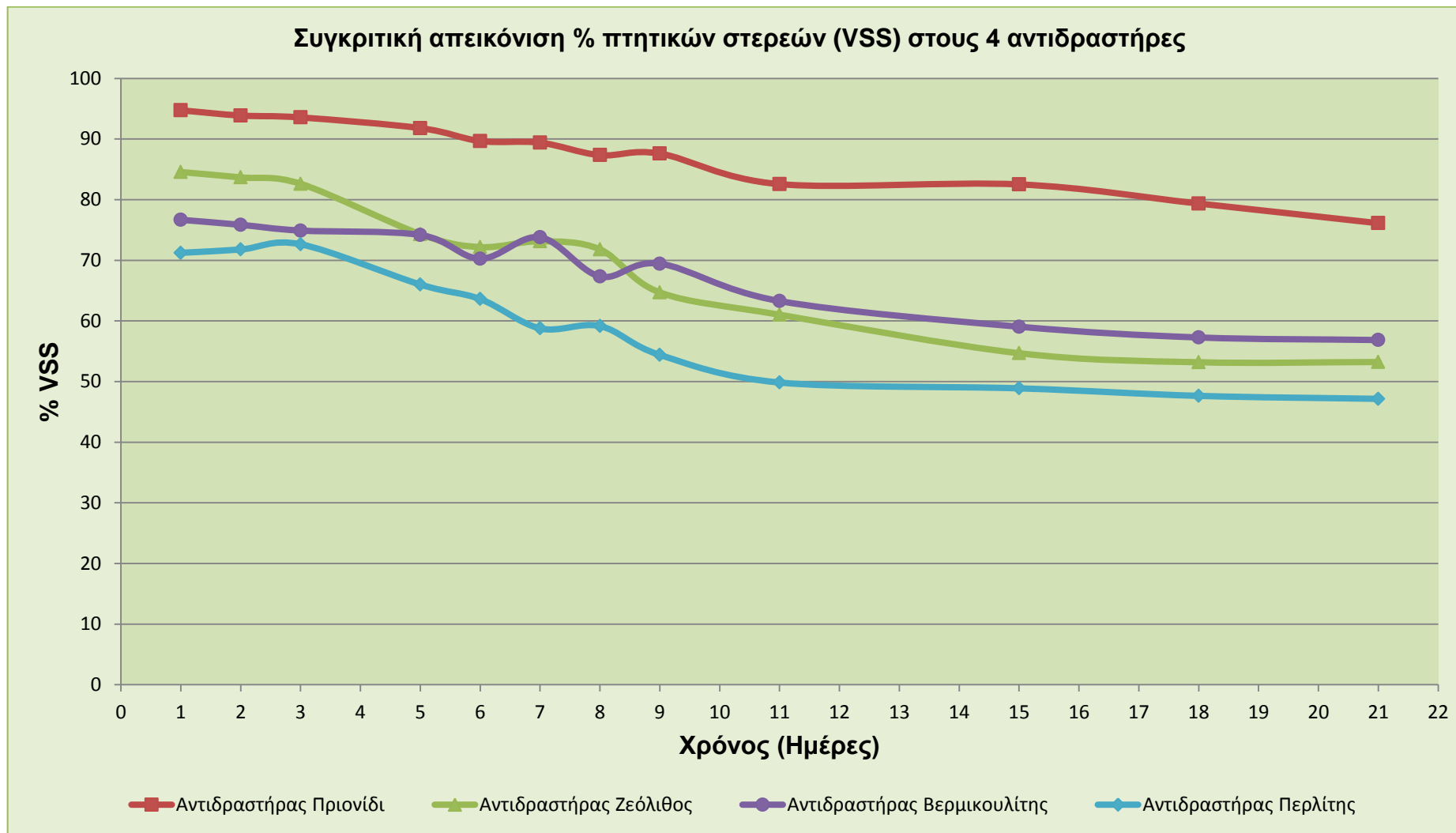
Τα πτητικά στερεά είναι οι πιο άμεσα προσλήψιμες ενώσεις από τους μικροοργανισμούς που εμπεριέχονται στο υπόστρωμα. Η παρουσία τους βοηθάει στην αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας καθότι αποτελούν άμεση πηγή προς κατανάλωση.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των πτητικών στερεών για όλους τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.9** Τιμές % πτητικών στερεών για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	94,74	84,55	73,68	71,23
2	93,87	83,67	70,85	71,78
3	93,56	82,62	74,90	72,64
5	91,80	74,31	74,18	66,00
6	89,67	72,17	70,27	63,60
7	89,40	73,14	73,80	58,76
8	87,34	71,80	67,33	59,15
9	87,60	64,70	69,44	54,39
11	82,56	61,02	63,27	49,84
15	82,52	54,67	59,05	48,88
18	79,36	53,18	57,27	47,64
21	76,12	53,22	56,85	47,15

Στο διάγραμμα 6.6 παρουσιάζεται η πορεία της % συγκέντρωσης των πτητικών στερεών για τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.6** Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Σε όλους τους αντιδραστήρες η μεγαλύτερη μείωση των πτητικών στερεών παρατηρείται από την 3<sup>η</sup> έως την 10<sup>η</sup> 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.

### **6.3.8 Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα**

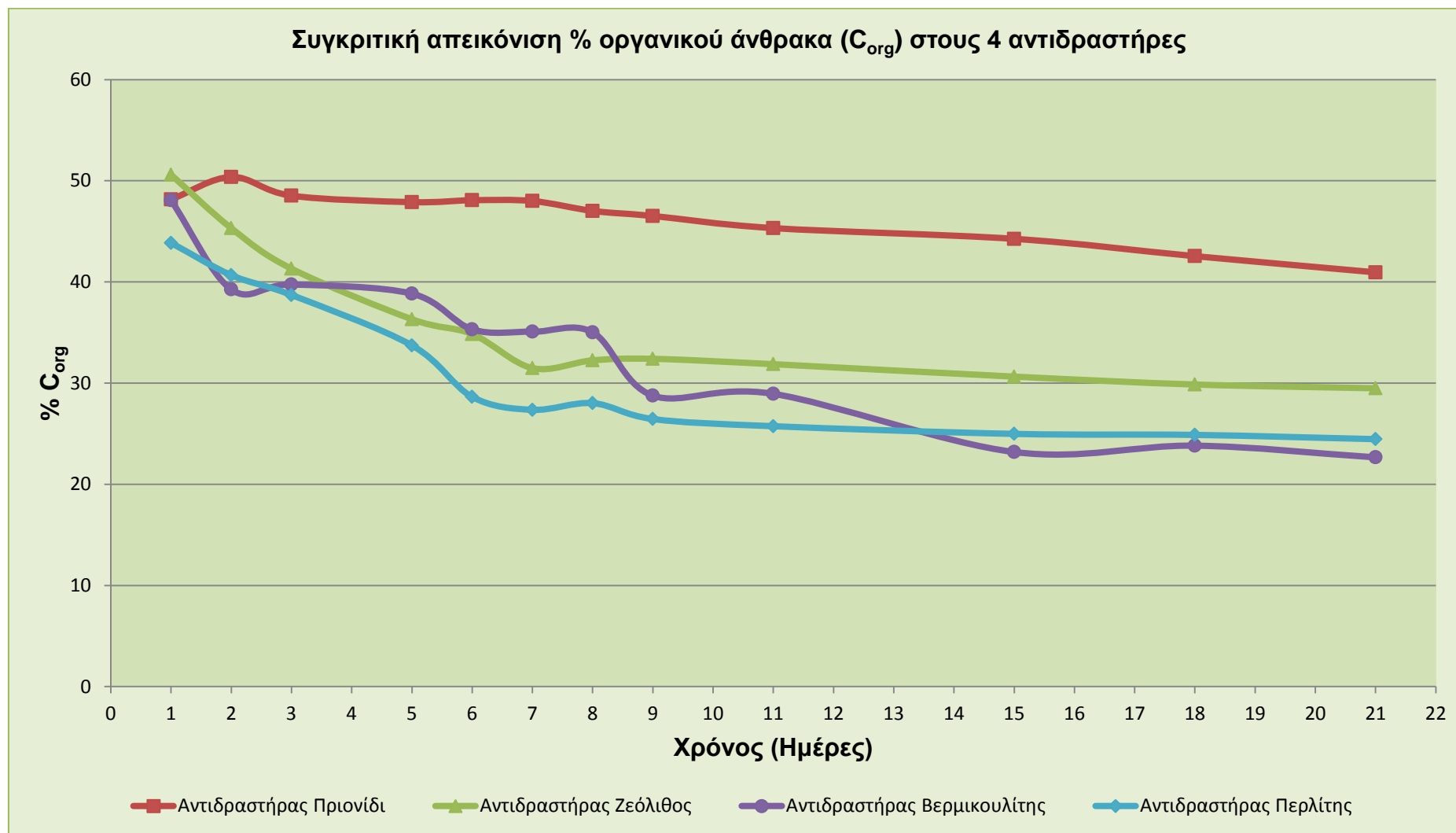
Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ένα μέρος της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε  $CO_2$ ,  $NH_3$  και νερό. Η απώλεια άνθρακα συντελείται κατά την βιοοξειδωση του οργανικού άνθρακα προς  $CO_2$ . Το  $CO_2$  μπορεί να ελευθερωθεί με την μορφή αερίου ή να είναι διαλυμένο σε υγρό σχηματίζοντας ανθρακικό 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 (%) για όλους τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.10** Τιμές ολικού οργανικού άνθρακα για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	48,16	50,59	48,07	43,86
2	50,38	45,31	39,26	40,67
3	48,52	41,31	39,74	38,71
5	47,89	36,31	38,84	33,72
6	48,08	34,85	35,31	28,64
7	48,00	31,48	35,08	27,36
8	47,02	32,25	35,02	28,02
9	46,52	32,40	28,76	26,45
11	45,32	31,87	28,94	25,74
15	44,26	30,64	23,19	24,98
18	42,55	29,86	23,82	24,88
21	40,95	29,49	22,66	24,46

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



**Διάγραμμα 6.7** Συγκριτική απεικόνιση % οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ο αντιδραστήρας με το πριονίδι, ξεκινά από την τιμή 48,16% και με φθίνουσα πορεία φθάνει την 21<sup>η</sup> μέρα στο 40,95% γεγονός που σημαίνει ότι το τελικό προϊόν διατηρεί μεγάλη ποσότητα άνθρακα.

Ο ολικός οργανικός άνθρακας για τον αντιδραστήρα με ζεόλιθο ξεκινάει από 50,59% και φθίνει με πολύ γρήγορο ρυθμό λόγω της βιοαποδόμησης της οργανικής ύλης. Τελικά την 21<sup>η</sup> ημέρα από την έναρξη του κύκλου η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε οργανικό άνθρακα σταθεροποιείται στο 29,49% παρουσιάζοντας μια συνολική μείωση κατά 21,10%.

Σχετικά με τον αντιδραστήρα με βερμικουλίτη ο ολικός άνθρακας ξεκινάει από 48,07% και φθίνει με πολύ γρήγορο ρυθμό λόγω της βιοαποδόμησης. Τελικά σταθεροποιείται στο 22,66% την 21<sup>η</sup> ημέρα. Η συνολική μείωση του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα ανέρχεται στο 25,41% για τις πρώτες 21 μέρες από την έναρξη της διεργασίας της κομποστοποίησης.

Ο αντιδραστήρας με τον περλίτη, ξεκινά από τη τιμή 48,23% και με φθίνουσα πορεία φθάνει την 21<sup>η</sup> μέρα στο 24,46%. Με τελικές τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα κάτω από το 25% συμπεραίνουμε ότι το προϊόν δεσμεύει ελάχιστο άνθρακα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση του συνολικού οργανικού άνθρακα στην περίπτωση της χρήσης ορυκτών ήταν σαφέστατα μεγαλύτερη απ' ό,τι στον αντιδραστήρα που περιείχε μόνο πριονίδι. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση ορυκτών επιβραδύνει 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.

### 6.3.9 Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα

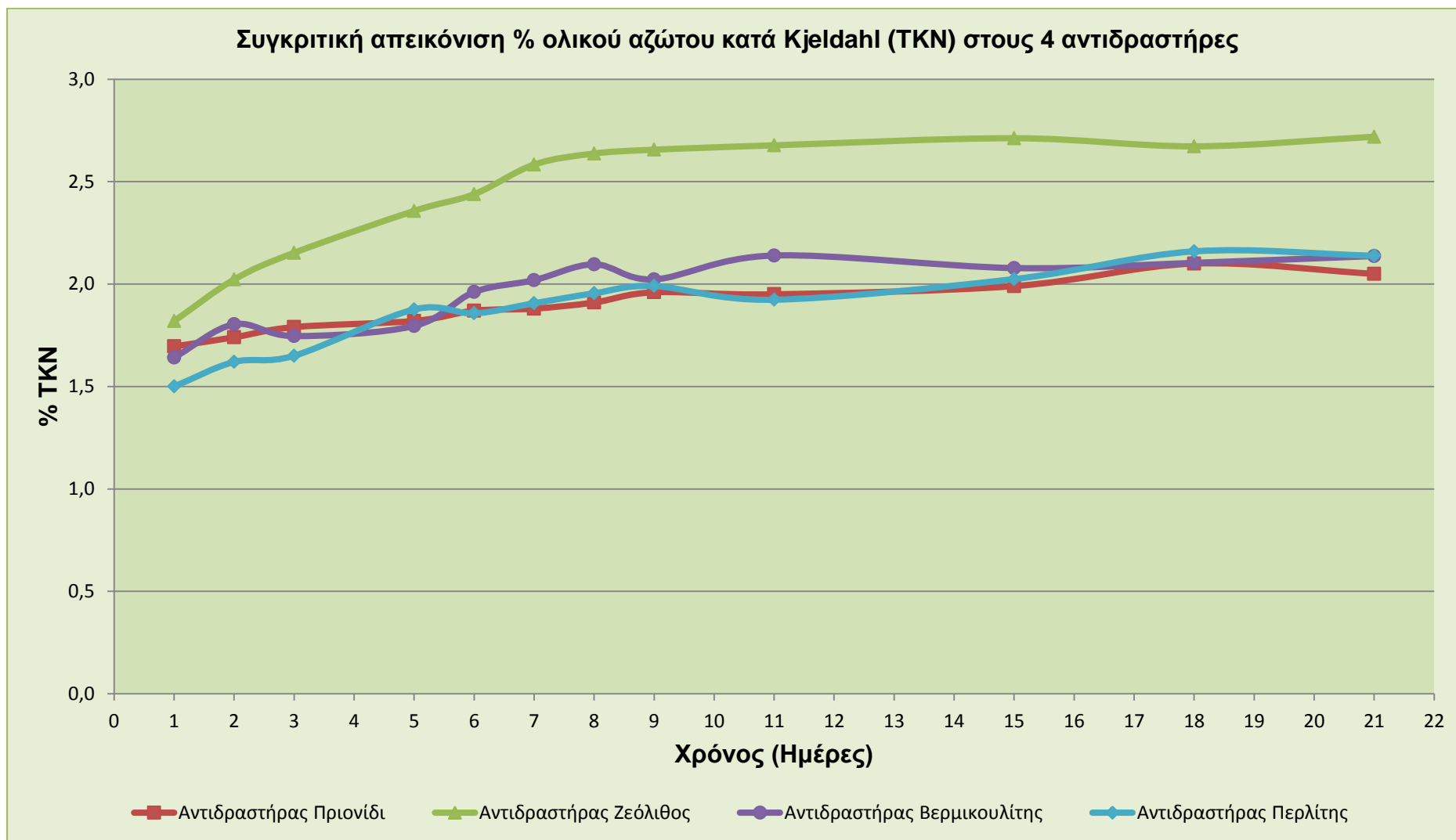
Το άζωτο αποτελεί συστατικό των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, των αμινοξέων και των ενζύμων και είναι ύψιστης σημασίας για την μικροβιακή ανάπτυξη. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης το  $N$  μεταβολίζεται κυρίως σε  $NH_3$ , ενώ οι μη διαλυτές ενώσεις αζώτου κατά την κομποστοποίηση μετατρέπονται 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 (%) για όλους τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.11** Τιμές % TKN για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	1,70	1,82	1,64	1,50
2	1,74	2,02	1,80	1,62
3	1,79	2,15	1,75	1,65
5	1,82	2,36	1,80	1,88
6	1,87	2,44	1,96	1,86
7	1,88	2,58	2,02	1,91
8	1,91	2,64	2,10	1,95
9	1,96	2,66	2,02	1,99
11	1,95	2,68	2,14	1,92
15	1,99	2,71	2,08	2,02
18	2,10	2,67	2,10	2,16
21	2,05	2,72	2,14	2,14

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



**Διάγραμμα 6.8** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού αζώτου κατά kjeldahl στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

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 1,70% διατηρώντας αύξουσα πορεία για να καταλήξει την 21<sup>η</sup> ημέρα στο 2,05%. Ο αντιδραστήρας με ζεόλιθο ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,82% διατηρώντας αύξουσα πορεία για να καταλήξει την 21<sup>η</sup> ημέρα στο 2,72%. Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο βερμικουλίτη ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,64% και ακολουθώντας αύξουσα πορεία καταλήγει στο 2,14% την 21<sup>η</sup> μέρα. Ο αντιδραστήρας με πρόσθετο περλίτη αρχικά έχει 1,65% και έπειτα από την ανοδική πορεία καταλήγει την 21<sup>η</sup> ημέρα στο 2,14%.

Παρατηρείται ότι το ποσοστό αζώτου στο κόμποστ με πρόσθετο ζεόλιθου είναι ελαφρώς 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.

### **6.3.10 Μέτρηση του λόγου $C/N$ στο υπόστρωμα**

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης είναι βασικό να καθοριστεί η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά του μίγματος. 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. Μελέτες αναφέρουν ότι μια «σωστή» αρχική αναλογία άνθρακα προς άζωτο ( $C:N$ ) στο υπόστρωμα κυμαίνεται μεταξύ 20:1 και 40:1. [36], [37].

Αν ο λόγος  $C/N$  του οργανικού υλικού είναι μεγαλύτερος από 35 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. [38]

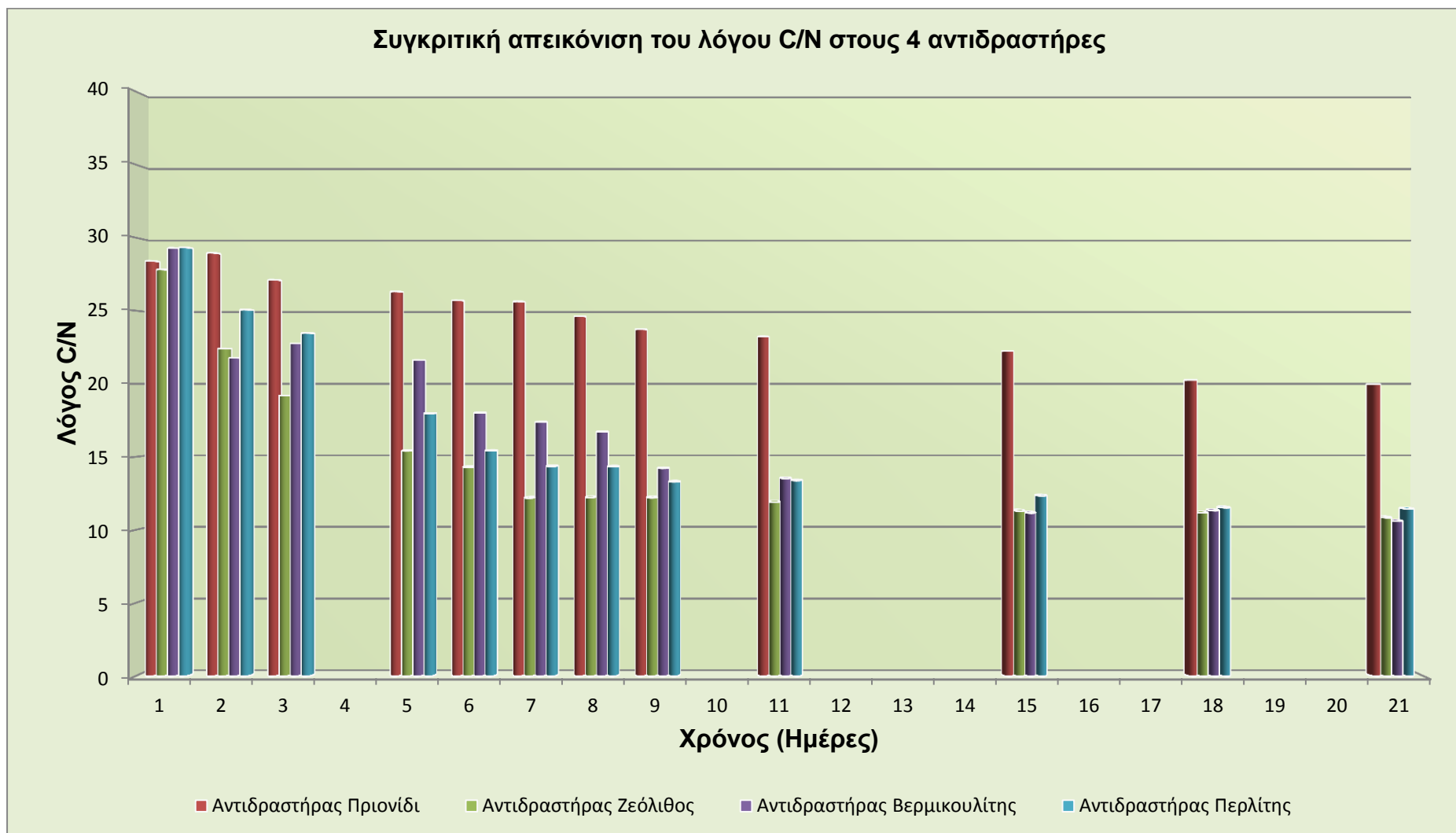
Η αναλογία  $C/N$  παρακολουθείται πειραματικά ανά ημέρα, για τις πρώτες δέκα ημέρες λειτουργίας και τρεις φορές την εβδομάδα μέχρι το πέρας λειτουργίας του αντιδραστήρα, για τον πλήρη έλεγχο της διεργασίας. Στον πρώτο κύκλο ξεκινά από αρχικό λόγο κοντά στο 30. Η επίτευξη ενός ικανοποιητικού λόγου  $C/N$  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 παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας  $C/N$  για όλους τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.12** Τιμές  $C/N$  για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	28,40	27,81	29,28	29,32
2	28,95	22,41	21,77	25,07
3	27,11	19,19	22,76	23,47
5	26,31	15,41	21,63	17,97
6	25,71	14,29	18,01	15,42
7	25,63	12,19	17,37	14,35
8	24,62	12,23	16,70	14,33
9	23,73	12,20	14,22	13,29
11	23,24	11,90	13,53	13,38
15	22,24	11,30	11,16	12,34
18	20,26	11,17	11,32	11,52
21	19,98	10,85	10,60	11,44

Στο διάγραμμα 6.9 παρατίθενται οι λόγοι  $C/N$  για τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.



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

Ο αντιδραστήρας με πριονίδι ξεκινά με λόγο 28,40 και μειώνεται μέχρι την τιμή 19,98.

Ο αντιδραστήρας με ζεόλιθο έχει αρχική τιμή 27,81. Παρατηρείται ταχεία μείωση του λόγου και σταθεροποίηση αυτού την 21<sup>η</sup> ημέρα. Από την 3<sup>η</sup> ημέρα ο λόγος έχει πέσει κάτω από την τιμή 20 και συγκεκριμένα στο 19,19.

Ο αντιδραστήρας με βερμικουλίτη ξεκινά με λόγο 29,28. Ακολουθεί μείωση και μάλιστα από την 6<sup>η</sup> μέρα ο λόγος πέφτει κάτω από το 20 και συγκεκριμένα στο 18,01.

Τέλος, ο αντιδραστήρας με περλίτη ξεκινά με λόγο 29,32. Παρουσιάζεται η ίδια τάση μείωσης ενώ ο λόγος πέφτει κάτω από την τιμή 20, και συγκεκριμένα στο 17,97 από την 5<sup>η</sup> 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 κόμπποστ από οικιακά οργανικά απόβλητα πρέπει να έχει λόγο  $C/N$  από 10 – 20 για να θεωρηθεί καλής ποιότητας. 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.[35], [38]

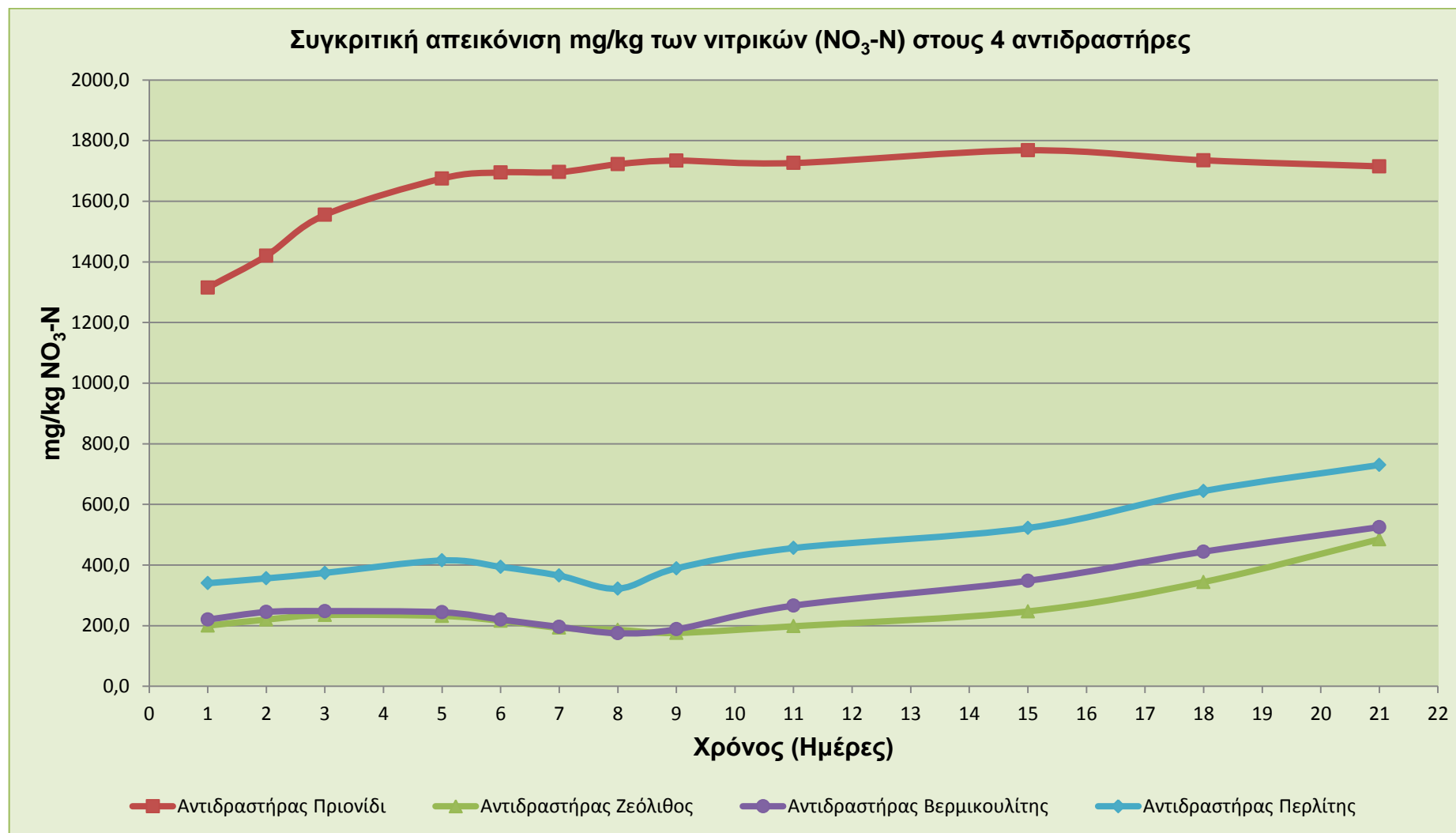
### **6.3.11 Μέτρηση νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) στο υπόστρωμα**

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 6.13 παρατίθενται οι τιμές των νιτρικών για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.13** Τιμές  $NO_3^- - N$  σε  $mg/kg$  για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	1315	200	220	340
2	1420	220	245	356
3	1555	235	248	374
5	1675	232	244	415
6	1695	216	220	394
7	1696	193	196	365
8	1722	186	175	322
9	1734	176	188	389
11	1726	198	266	456
15	1768	247	348	522
18	1735	344	444	644
21	1715	485	525	730



**Διάγραμμα 6.10** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N) στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου



Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η αναμενόμενη αύξηση των νιτρικών μετά τη θερμόφιλη φάση. Οι τελικές τιμές είναι οι αναμενόμενες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, με εξαίρεση τις τιμές νιτρικών του αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι. Στον αντιδραστήρα αυτό, κατά τη λειτουργία του, πιθανά σχηματίστηκαν αναερόβιες συνθήκες που οδήγησαν σε τόσο υψηλή συγκέντρωση νιτρικών.

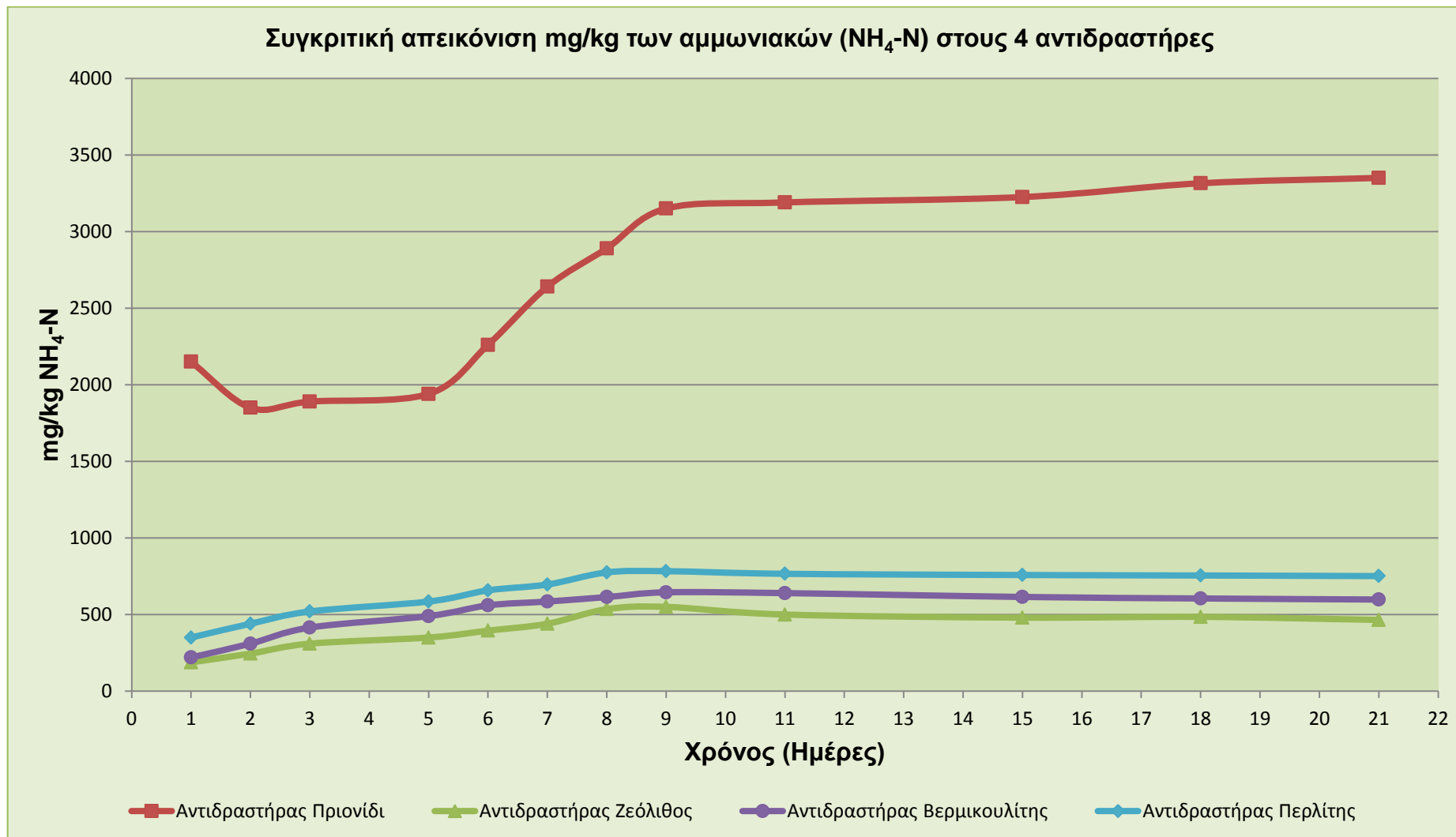
### 6.3.12 Μέτρηση αμμωνιακών ( $NH_4^+ - N$ ) στο υπόστρωμα

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης και ειδικότερα κατά τη θερμόφιλη 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 θερμόφιλη 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 6.14 παρατίθενται οι τιμές των αμμωνιακών για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.14** Τιμές  $NH_4^+ - N$  σε  $mg/kg$  για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	2150	188	220	350
2	1850	245	310	440
3	1890	310	415	520
5	1940	350	490	585
6	2260	395	560	658
7	2640	440	585	696
8	2890	535	614	775
9	3150	550	645	783
11	3190	500	640	766
15	3225	480	615	758
18	3315	485	605	755
21	3350	465	598	751



**Διάγραμμα 6.11** Συγκριτική απεικόνιση των αμμωνιακών (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N) στους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η αύξηση των αμμωνιακών κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης. Παρατηρούνται, επίσης, ιδιαίτερα αυξημένες τιμές στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι, οι οποίες αυξάνονται κατά τη θερμοφιλη φάση. Το γεγονός ότι η συγκέντρωση των αμμωνιακών ακολουθεί ανοδική πορεία και μετά τη θερμοφιλη φάση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν ολοκληρώθηκαν ορθά οι διεργασίες της βιοαποδόμησης μέσα στον αντιδραστήρα. Αντιθέτως, στους αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν ορυκτά, η πορεία των αμμωνιακών είναι αναμενόμενη καθώς η συγκέντρωσή τους αυξάνεται κατά τη θερμοφιλη φάση και έπειτα μειώνεται λόγω μετατροπής τους σε νιτρικά. Η πορεία αυτή είναι ενδεικτική της ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.

## 6.4 Δεύτερος κύκλος πειραμάτων

Ο δεύτερος κύκλος πειραμάτων διεξήχθη από τις 13/04/2010 μέχρι τις 03/05/2010. Διενεργήθηκαν με επιτυχία όλες οι πειραματικές μετρήσεις που έχουν αναφερθεί στην εισαγωγή του κεφαλαίου.

### 6.4.1 Τροφοδοσία των αντιδραστήρων

Στον πίνακα 6.15 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 40. Για να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος λόγος υπολογίστηκε θεωρητικά η εξής αναλογία:

- 80% κυτταρινούχων συστατικών (μαρούλι, μπανάνες, πορτοκάλια και λεμόνια)
- 10% πρωτεϊνούχων συστατικών (ρεβύθια και φασόλια βρασμένα)
- 10% υδατανθρακούχων συστατικών (ψωμί)

Σε κάθε αντιδραστήρα έγινε προσθήκη κάποιου πρόσθετου.

- Στον πρώτο αντιδραστήρα προστέθηκε πριονίδι ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας.
- Στον δεύτερο αντιδραστήρα 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 τρίτο αντιδραστήρα 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 τέταρτο αντιδραστήρα προστέθηκε περλίτης ποσότητας ίσης με το 10% κατά βάρος της αρχικής μάζας της τροφοδοσίας. Οι επιπλέον πληρώσεις των αντιδραστήρων έγιναν με βάση τα προαναφερθέντα ποσοστά. Στον δεύτερο κύκλο προστέθηκε μικρή ποσότητα καφέ (200 gr) σε κάθε αντιδραστήρα για την ανύψωση του λόγου  $C/N$ .

Πίνακας 6.15 Τροφοδοσία των αντιδραστήρων του δεύτερου κύκλου

Αντιδραστήρας	Ημέρα	Κυτταρινούχα				Πρωτεΐνες		Υδατάνθρακες		Ορυκτό				Σύνολο	Τελικό Σύνολο
		Μαρούλι	Μπανάνα	Πορτοκάλι	Λεμόνι	Ρεβύθι	Φασόλι	Ψωμί	Καφές	Πριονίδι	Ζεόλιθος	Βερμικουλίτης	Περλίτης		
1	1	5000	500	1500	1000	500	500	1000		1000				11000	15600
	2	1000	100	300	200	100	100	200	200	200				2400	
	3	1000	100	300	200	100	100	200		200				2200	
2	1	5000	500	1500	1000	500	500	1000		1000	1000			12000	17000
	2	1000	100	300	200	100	100	200	200	200	200			2600	
	3	1000	100	300	200	100	100	200		200	200			2400	
3	1														14600
	2	5000	500	1500	1000	500	500	1000		1000		1000		12000	
	3	1000	100	300	200	100	100	200	200	200		200		2600	
4	1														13400
	2	5000	500	1500	1000	500	500	1000					1000	11000	
	3	1000	100	300	200	100	100	200	200				200	2400	

#### 6.4.2 Δειγματοληψία – Απώλεια μάζας

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του δεύτερου κύκλου, και συγκεκριμένα των πρώτων δέκα ημερών, σκοπός ήταν να γίνεται καθημερινή δειγματοληψία από τους τέσσερις αντιδραστήρες. Αυτό δεν κατέσται δυνατό αφού η πρόσβαση στο εργαστήριο κάποιες ημέρες ήταν ανέφικτη. Έτσι έγινε δειγματοληψία στις οκτώ από τις δέκα πρώτες ημέρες. Ακολούθησαν άλλες πέντε δειγματοληψίες ανά δύο ημέρες. Με τα δείγματα που λήφθηκαν έγινε η πλειοψηφία των πειραμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μάζα του υλικού που αφαιρέθηκε σε κάθε αντιδραστήρα τις μέρες της δειγματοληψίας. Οι τιμές του πίνακα είναι σε γραμμάρια. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η αρχική πλήρωση του τρίτου και του τέταρτου αντιδραστήρα έγινε τη δεύτερη μέρα του πειράματος.

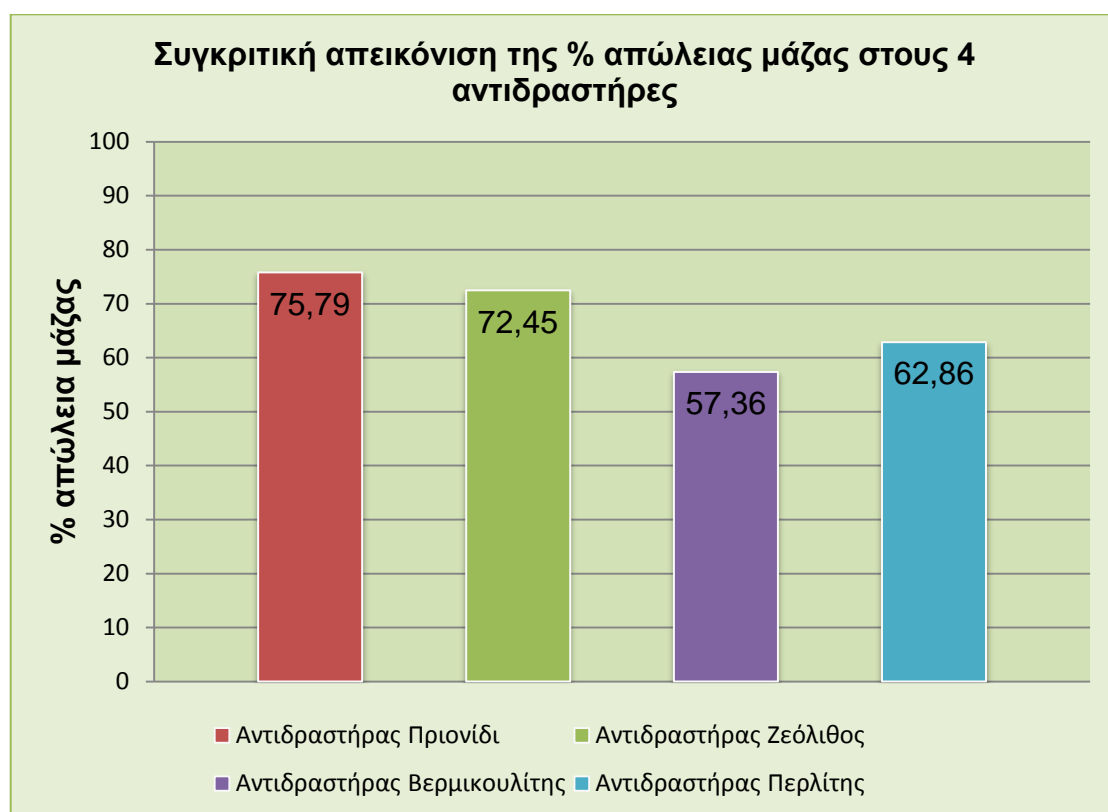
Πίνακας 6.16 Δειγματοληψία από τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	100	100	115	120
2	150	150	172	124
3	265	143	145	136
4	128	130	172	151
7	143	146	130	150
8	146	150	130	139
11	120	140	146	160
14	137	154	142	158
16	141	145	150	145
18	137	139	150	148
21	149	145	150	150
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1616</b>	<b>1542</b>	<b>1602</b>	<b>1581</b>

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 6.17 και στο διάγραμμα 6.12

**Πίνακας 6.17** Ποσοστό % συνολικής μείωσης της μάζας σε κάθε αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου

	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
Αρχική Τροφοδοσία	15600	17000	14600	13400
Σύνολο Δειγματοληψίας	1616	1542	1602	1518
Θεωρητικά στον αντιδραστήρα	13984	15458	12998	11882
Πραγματικά στον αντιδραστήρα	3386	4259	5542	4389
Ποσοστό μείωσης της μάζας	75,79	72,45	57,36	62,86



**Διάγραμμα 6.12** Συγκριτική απεικόνιση της % απώλειας μάζας στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

### 6.4.3 Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος

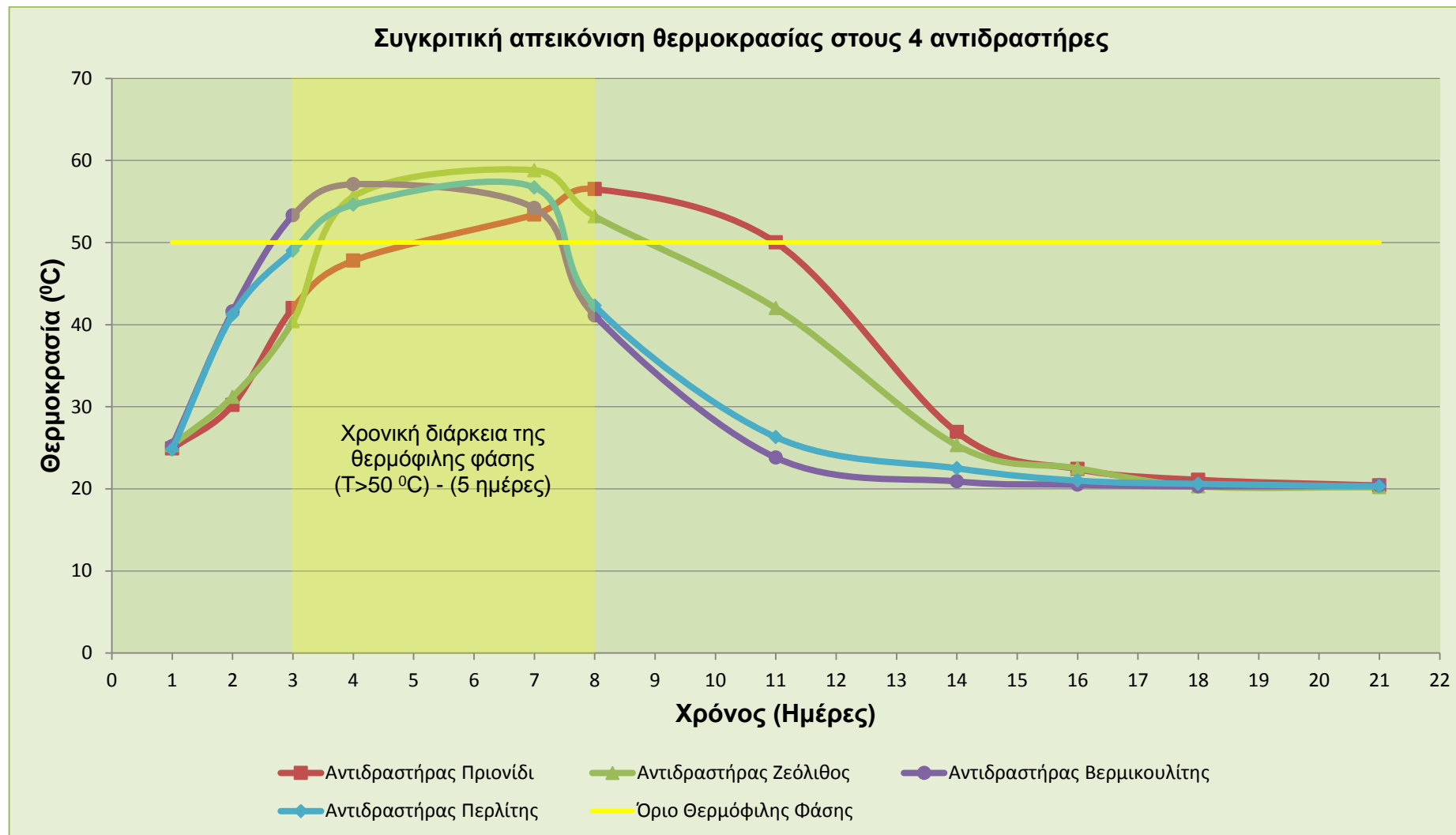
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

**Πίνακας 6.18** Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	24,90	25,30	25,20	24,80
2	30,20	31,20	41,60	41,20
3	42,00	40,40	53,30	49,00
4	47,80	55,60	57,10	54,60
7	53,40	58,80	54,20	56,70
8	56,50	53,20	41,10	42,30
11	50,00	42,00	23,80	26,30
14	26,90	25,30	20,90	22,50
16	22,40	22,50	20,50	21,00
18	21,10	20,30	20,30	20,60
21	20,40	20,20	20,40	20,30

Στο διάγραμμα 6.13 παρατίθενται τα προφίλ της θερμοκρασίας για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.





**Διάγραμμα 6.13** Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Στο διάγραμμα 6.13 διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Σχετικά με τον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι επετεύχθη η θερμόφιλη φάση η οποία ξεκίνησε με το πέρας της 5<sup>ης</sup> μέρας και κράτησε μέχρι και την 10<sup>η</sup> μέρα. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 56,5 °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 θερμόφιλη φάση ξεκίνησε από την 3<sup>η</sup> μέρα και κράτησε μέχρι και την 8<sup>η</sup>. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 58,8 °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 θερμόφιλη φάση ξεκίνησε από την 3<sup>η</sup> μέρα και κράτησε μέχρι και την 7<sup>η</sup>. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 57,1 °C. Εν συνεχεία, η διεργασία πέρασε στην δεύτερη μεσόφιλη φάση στην οποία η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όσον αφορά τον αντιδραστήρα με πρόσθετο περλίτη η θερμόφιλη φάση ξεκίνησε με το πέρας της 3<sup>ης</sup> μέρας και κράτησε μέχρι την 7<sup>η</sup> μέρα. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε ήταν 56,7 °C. Στην συνέχεια η διεργασία πέρασε στην δεύτερη μεσόφιλη φάση στην οποία η θερμοκρασία σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 6.13 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.

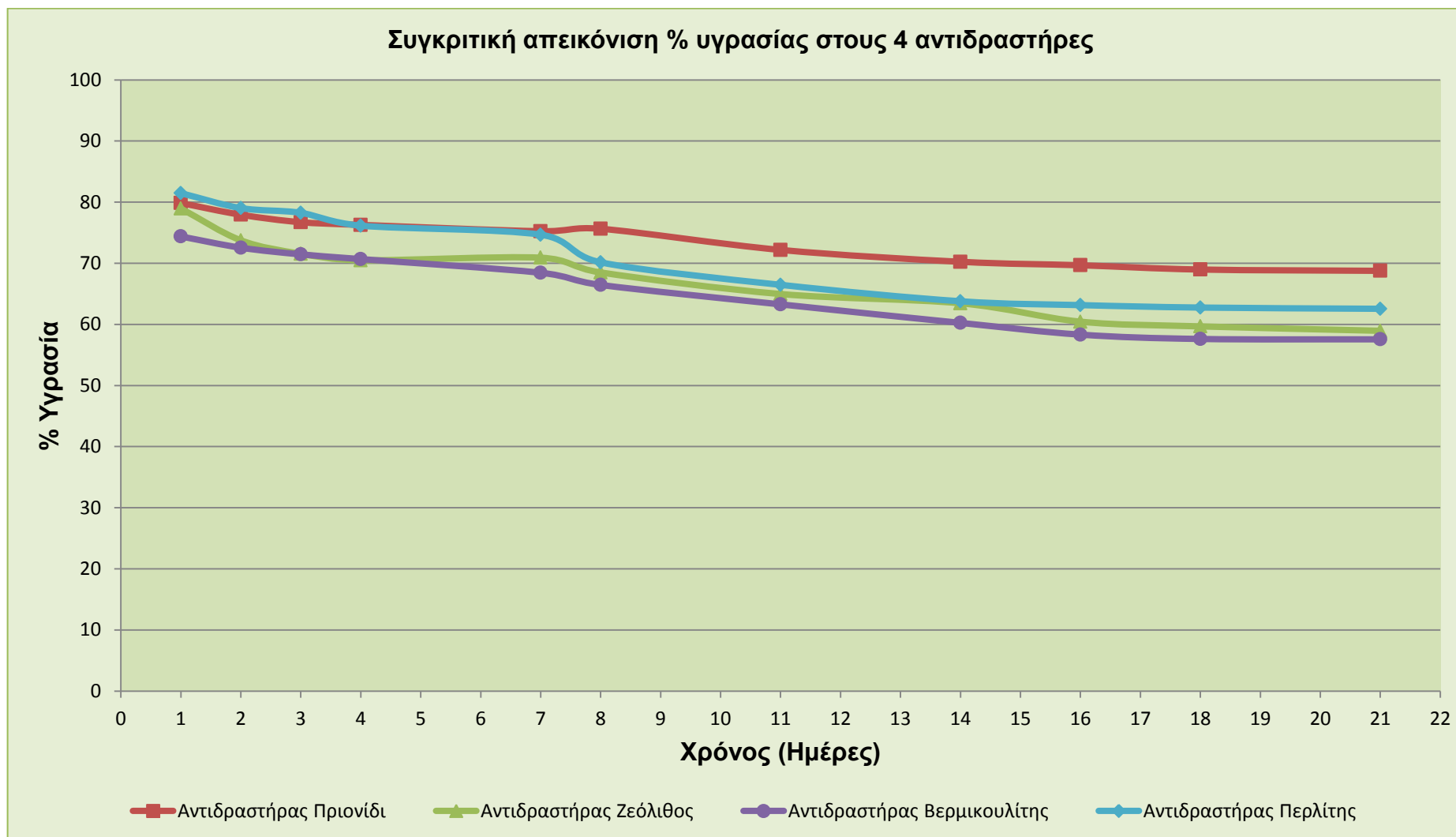
#### 6.4.4 Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος

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

**Πίνακας 6.19** Τιμές υγρασίας (%) για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	79,85	78,96	74,38	81,47
2	77,94	73,75	72,54	79,03
3	76,71	71,55	71,45	78,26
4	76,28	70,49	70,68	76,15
7	75,24	70,91	68,44	74,67
8	75,64	68,49	66,45	70,15
11	72,18	64,96	63,27	66,47
14	70,24	63,45	60,24	63,78
16	69,67	60,44	58,32	63,15
18	68,97	59,67	57,61	62,75
21	68,76	58,95	57,55	62,55

Στο διάγραμμα 6.14 παρουσιάζεται η εξέλιξη της % τιμής της υγρασίας για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.14** Συγκριτική απεικόνιση % υγρασίας στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Οι καμπύλες της υγρασίας και στους τέσσερις αντιδραστήρες ξεκινούν από υψηλά αρχικά επίπεδα κοντά στο 78% και κάτω από το 80%, γεγονός αναμενόμενο λόγω της υψηλής υγρασίας του υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό υπόστρωμα. Συγκεκριμένα η αρχική υγρασία στους αντιδραστήρες ήταν αντιστοίχως 79,85%, 78,96%, 74,38%. Εξαίρεση αποτελεί ο αντιδραστήρας με πρόσθετο περλίτη που ξεκινά από υψηλότερο επίπεδο υγρασίας κοντά στο 82% λόγω μη προσθήκης σ' αυτόν πριονιδιού.

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 στο τέλος του χρόνου παραμονής στον αντιδραστήρα τα προϊόντα λαμβάνουν ποσοστά μεταξύ 57% - 68% και συγκεκριμένα 68,76%, 58,95%, 57,55% και 62,55%. Το μεγαλύτερο τελικό ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται στον αντιδραστήρα με το πριονίδι. Το γεγονός αυτό οφείλεται μάλλον στην μη ορθή διεργασία της κομποστοποίησης στον εν λόγω αντιδραστήρα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει αναλυτικότερος σχολιασμός και τα φαινόμενα αυτά θα αναλυθούν εκτενέστερα.

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 57,55% μέχρι 68,76% και οφείλεται στην υψηλή αρχική υγρασία των υλικών τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό πριν την χρήση του κόμποστ συνίσταται να αφεθεί το τελικό προϊόν εκτός αντιδραστήρα για μια επιπλέον χρονική περίοδο ενός μήνα για την περαιτέρω μείωση της υγρασίας του.

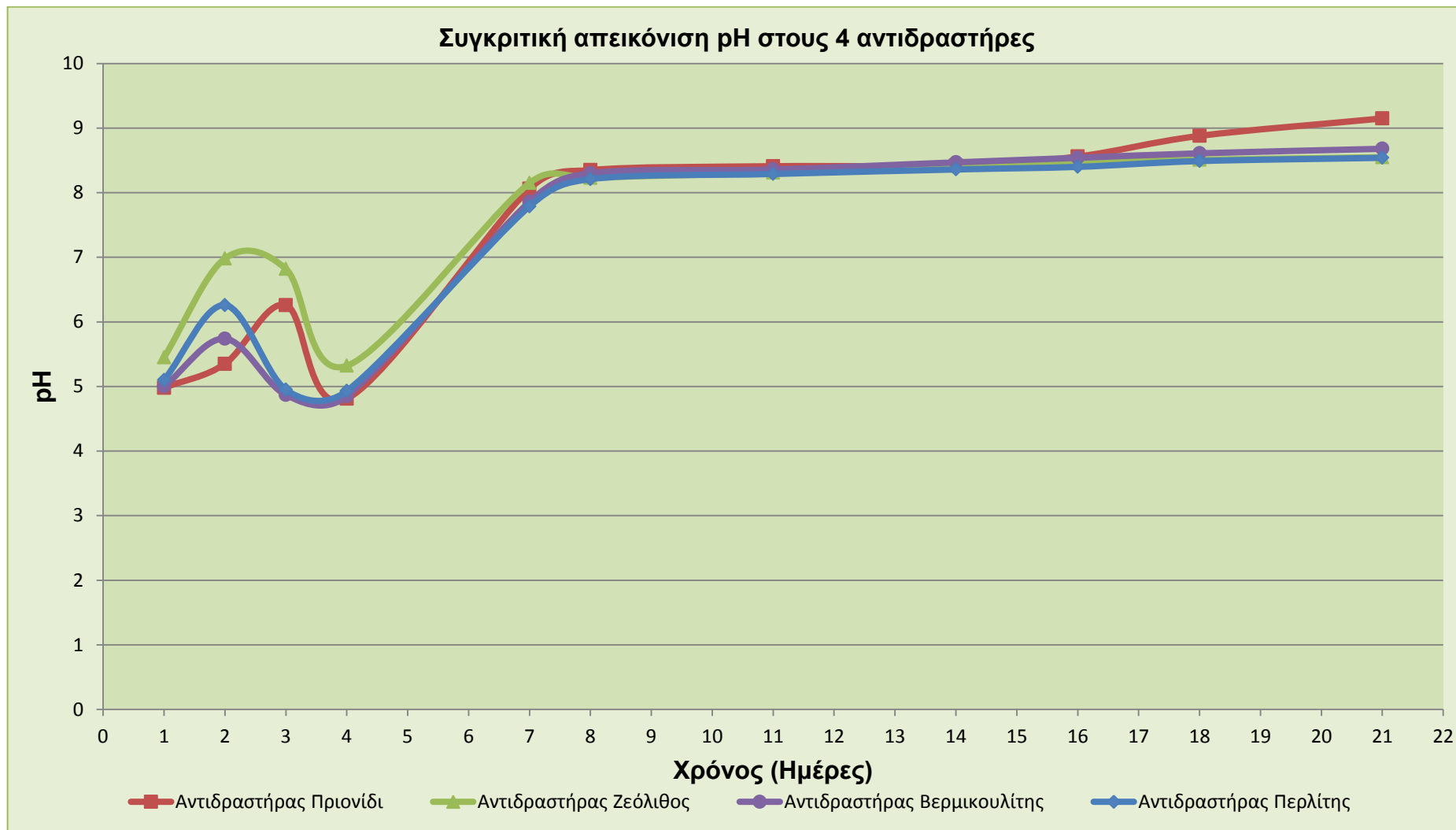
#### 6.4.5 Μέτρηση του pH του υποστρώματος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του  $pH$  για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

Πίνακας 6.20 Τιμές  $pH$  για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	4,98	5,45	5,00	5,10
2	5,35	6,98	5,74	6,26
3	6,26	6,82	4,87	4,95
4	4,81	5,32	4,85	4,93
7	8,06	8,15	7,86	7,79
8	8,35	8,23	8,30	8,21
11	8,41	8,31	8,36	8,29
14	8,42	8,42	8,47	8,36
16	8,56	8,47	8,54	8,40
18	8,88	8,51	8,61	8,49
21	9,15	8,55	8,68	8,54

Στο διάγραμμα 6.15 παρουσιάζεται η πορεία της τιμής του  $pH$  για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.15** Συγκριτική απεικόνιση pH στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Στον αντιδραστήρα με το πριονίδι, το  $pH$  έχει αρχική τιμή 4,98. Η τιμή αυτή μειώνεται μέχρι και την 4<sup>η</sup> μέρα φτάνοντας στο 4,81. Μετά αυξάνεται ραγδαία μέχρι και την 7<sup>η</sup> μέρα ενώ μετά με μικρές αυξομειώσεις σταθεροποιείται την 21<sup>η</sup> μέρα κοντά στο 9,15.

Κατά τα αρχικά στάδια λειτουργίας του κομποστοποιητή με ζεόλιθο παρουσιάζεται ελαφρώς ανοδική πορεία χωρίς εμφανή μείωση τις τέσσερις πρώτες μέρες με χαμηλότερη τιμή την 5,32 την 4<sup>η</sup> μέρα. Στην συνέχεια αυξάνεται γρήγορα έως και την 7<sup>η</sup> μέρα όπου φαίνεται να σταθεροποιείται με μικρές αυξομειώσεις μέχρι την 21<sup>η</sup> μέρα κοντά στο 8,55.

Το  $pH$  του αντιδραστήρα με ορυκτό βερμικουλίτη έχει αρχική τιμή 5,00 και παρουσιάζει ελαφρώς ανοδική πορεία χωρίς εμφανή μείωση τις δύο πρώτες μέρες, με χαμηλότερη τιμή την 4<sup>η</sup> μέρα στο 4,85. Στην συνέχεια πραγματοποίησε απότομη άνοδο φτάνοντας κοντά στο 8 για να συνεχίσει την σταδιακή ανοδική του πορεία φτάνοντας τιμή κοντά στο 8,68 την 21<sup>η</sup> μέρα.

Στον αντιδραστήρα με τον περλίτη, το  $pH$  έχει αρχική τιμή 5,10. Η τιμή αυτή μειώνεται μέχρι και την 4<sup>η</sup> μέρα φτάνοντας στο 4,93. Μετά αυξάνεται ραγδαία μέχρι και την 7<sup>η</sup> μέρα ενώ μετά με μικρές αυξομειώσεις σταθεροποιείται μέχρι την 21<sup>η</sup> μέρα κοντά στο 8,54.

Από το διάγραμμα 6.15 φαίνεται ότι η εξέλιξη του  $pH$  είναι παρόμοια σε όλους του κύκλους πειραμάτων παρατηρείται δηλαδή 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



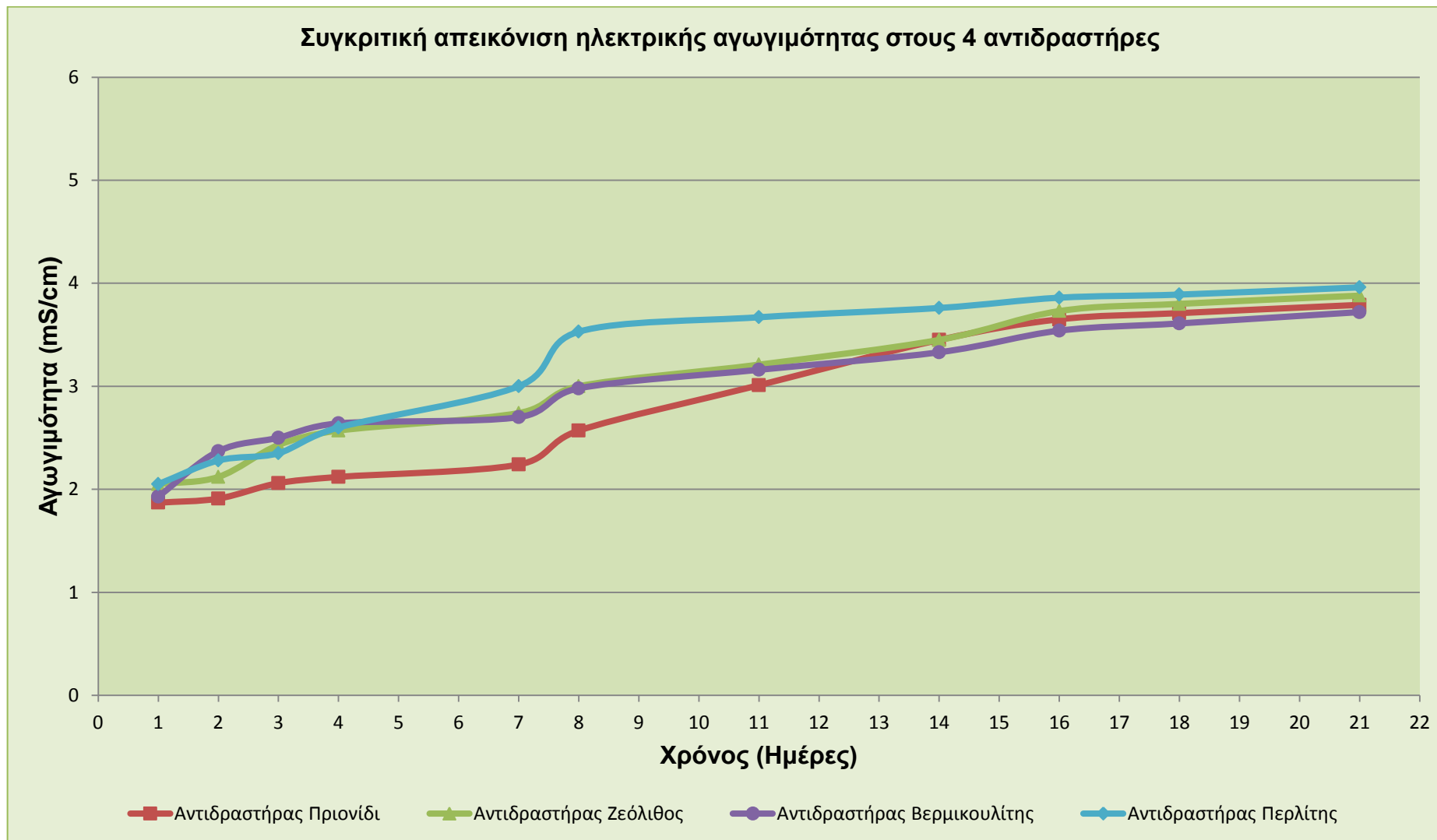
σταθεροποιημένο και απαιτείται η παραμονή του σε υπαίθριο χώρο μέχρι την πλήρη σταθεροποίηση του.

#### 6.4.6 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

**Πίνακας 6.21** Τιμές αγωγιμότητας για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου ( $mS/cm$ )

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	1,87	2,05	1,93	2,05
2	1,91	2,12	2,37	2,28
3	2,06	2,43	2,50	2,35
4	2,12	2,57	2,64	2,60
7	2,24	2,74	2,70	3,00
8	2,57	3,00	2,98	3,53
11	3,01	3,21	3,16	3,67
14	3,45	3,45	3,33	3,76
16	3,65	3,73	3,54	3,86
18	3,71	3,80	3,61	3,89
21	3,79	3,88	3,72	3,96



**Διάγραμμα 6.16** Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Στο διάγραμμα 6.16 παρουσιάζεται η εξέλιξη της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

Οι καμπύλες της αγωγιμότητας στους αντιδραστήρες παρουσιάζουν αύξουσα πορεία. Ξεκινούν από χαμηλές αρχικές τιμές 1,87, 2,05, 1,93 και 2,05  $mS/cm$  για τους αντιδραστήρες με πριονίδι, ζεόλιθο, βερμικουλίτη και περλίτη αντίστοιχα και, αφού σταθεροποιηθούν την 21<sup>η</sup> ημέρα, καταλήγουν στις τιμές 3,79, 3.88, 3,72 και 3,96  $mS/cm$  αντίστοιχα.

Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα σε διαφορετικής προέλευσης κόμποστ όπως αυτά μετρήθηκαν από τους J.C. Hargreaves, M.S. Adl, P.R. Warman.[36]

Στο διάγραμμα 6.16 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 3,72 έως 3,96  $mS/cm$  το οποίο είναι σύμφωνο με τη διεθνή βιβλιογραφία για αγωγιμότητα κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα (εύρος 3,69 έως 7,49  $mS/cm$ )

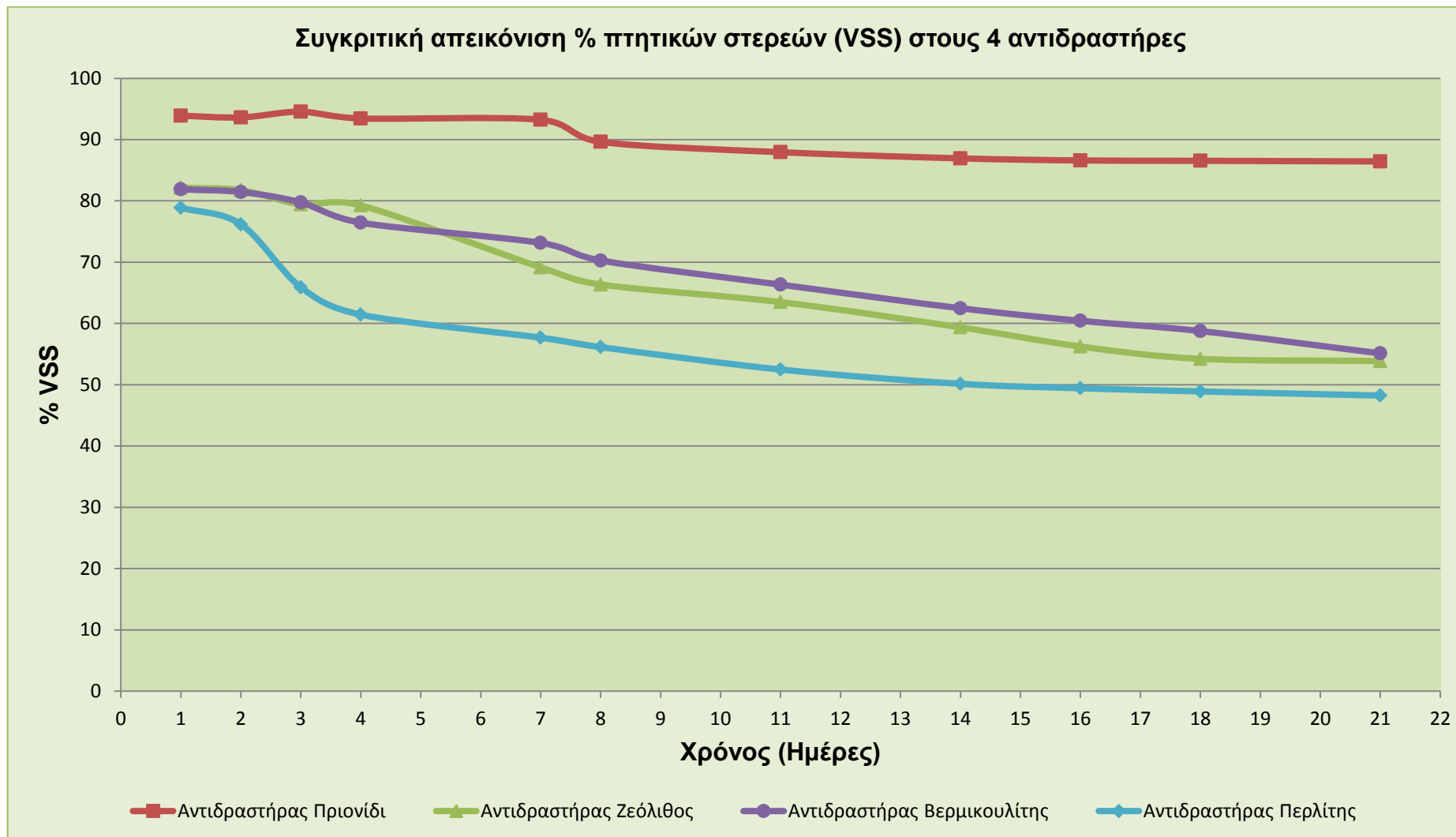
#### 6.4.7 Μέτρηση των πτητικών στερεών στο υπόστρωμα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των πτητικών στερεών για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

**Πίνακας 6.22** Τιμές % πτητικών στερεών για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	93,90	82,15	81,88	78,89
2	93,62	81,76	81,45	76,18
3	94,56	79,44	79,75	65,90
4	93,45	79,26	76,45	61,44
7	93,24	69,15	73,15	57,68
8	89,64	66,35	70,28	56,14
11	87,95	63,48	66,33	52,48
14	86,94	59,36	62,48	50,15
16	86,60	56,24	60,43	49,43
18	86,54	54,23	58,76	48,91
21	86,44	53,87	55,12	48,23

Στο διάγραμμα 6.17 παρουσιάζεται η πορεία της % συγκέντρωσης των πτητικών στερεών στερεών για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.17** Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Η μεγαλύτερη μείωση των πτητικών στερεών παρατηρείται την 4<sup>η</sup> έως την 11<sup>η</sup> ημέρα, περίοδο κατά την οποία εμφανίζονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες (θερμόφιλη φάση) για τους συγκεκριμένους αντιδραστήρες, επιβεβαιώνοντας το γεγονός, ότι αποτελούν άμεση πηγή προς κατανάλωση για τους μικροοργανισμούς. 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 πριονίδι 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.

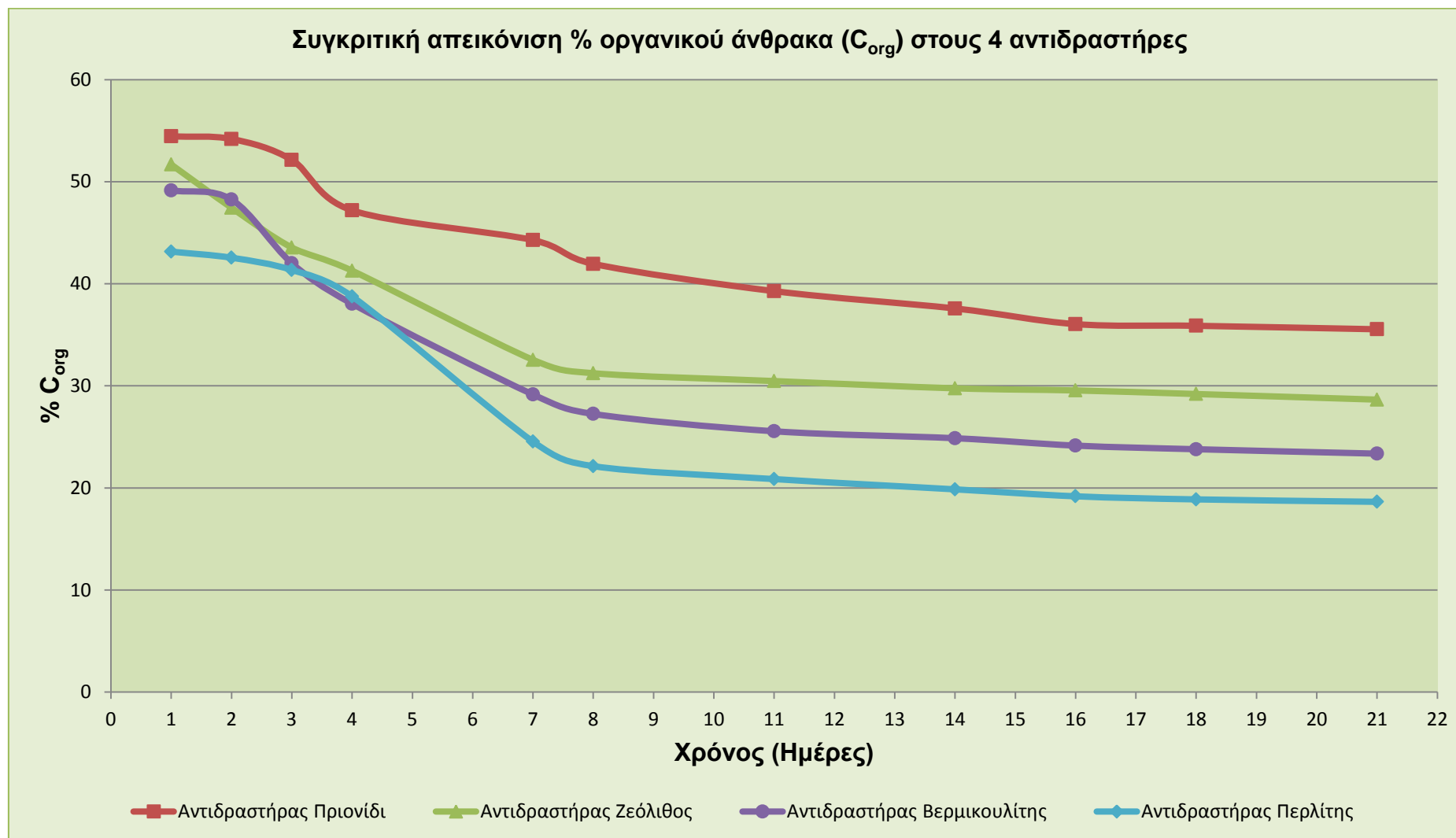
#### 6.4.8 Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα (%) για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

**Πίνακας 6.23** Τιμές ολικού οργανικού άνθρακα για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	54,44	51,68	49,15	43,15
2	54,18	47,44	48,25	42,55
3	52,14	43,55	42,01	41,35
4	47,19	41,28	38,04	38,76
7	44,28	32,55	29,15	24,54
8	41,95	31,24	27,25	22,14
11	39,28	30,47	25,55	20,87
14	37,58	29,76	24,87	19,86
16	36,05	29,55	24,15	19,18
18	35,88	29,20	23,79	18,88
21	35,54	28,65	23,36	18,64

Στο διάγραμμα 6.18 φαίνεται η εξέλιξη του οργανικού άνθρακα για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης.



**Διάγραμμα 6.18** Συγκριτική απεικόνιση % οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου



Ο αντιδραστήρας με το πριονίδι, ξεκινά από την τιμή 54,44% και με φθίνουσα πορεία φθάνει την 21<sup>η</sup> μέρα στο 35,54% γεγονός που σημαίνει ότι το τελικό προϊόν δεσμεύει αρκετό άνθρακα.

Ο ολικός οργανικός άνθρακας για τον αντιδραστήρα με ζεόλιθο ξεκινάει από 51,68% και φθίνει με πολύ γρήγορο ρυθμό λόγω της βιοαποδόμησης της οργανικής ύλης. Τελικά την 21<sup>η</sup> ημέρα από την έναρξη του κύκλου η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε οργανικό άνθρακα σταθεροποιείται στο 24,89% παρουσιάζοντας μια συνολική μείωση κατά 26,79%.

Σχετικά με τον βερμικουλίτη ο ολικός άνθρακας ξεκινάει από 49,15% και φθίνει με πολύ γρήγορο ρυθμό λόγω της βιοαποδόμησης. Τελικά σταθεροποιείται στο 23,36% την 21<sup>η</sup> ημέρα. Η συνολική μείωση του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα ανέρχεται στο 25,79% για τις πρώτες 20 μέρες από την έναρξη της διεργασίας της κομποστοποίησης.

Ο αντιδραστήρας με τον περλίτη, ξεκινά από τη τιμή 49,36% και με φθίνουσα πορεία φθάνει την 21<sup>η</sup> μέρα στο 18,64%. Με τελικές τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα κάτω από το 25% συμπεραίνουμε ότι το προϊόν δεσμεύει ελάχιστο άνθρακα.

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 επιβραδύνει 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.

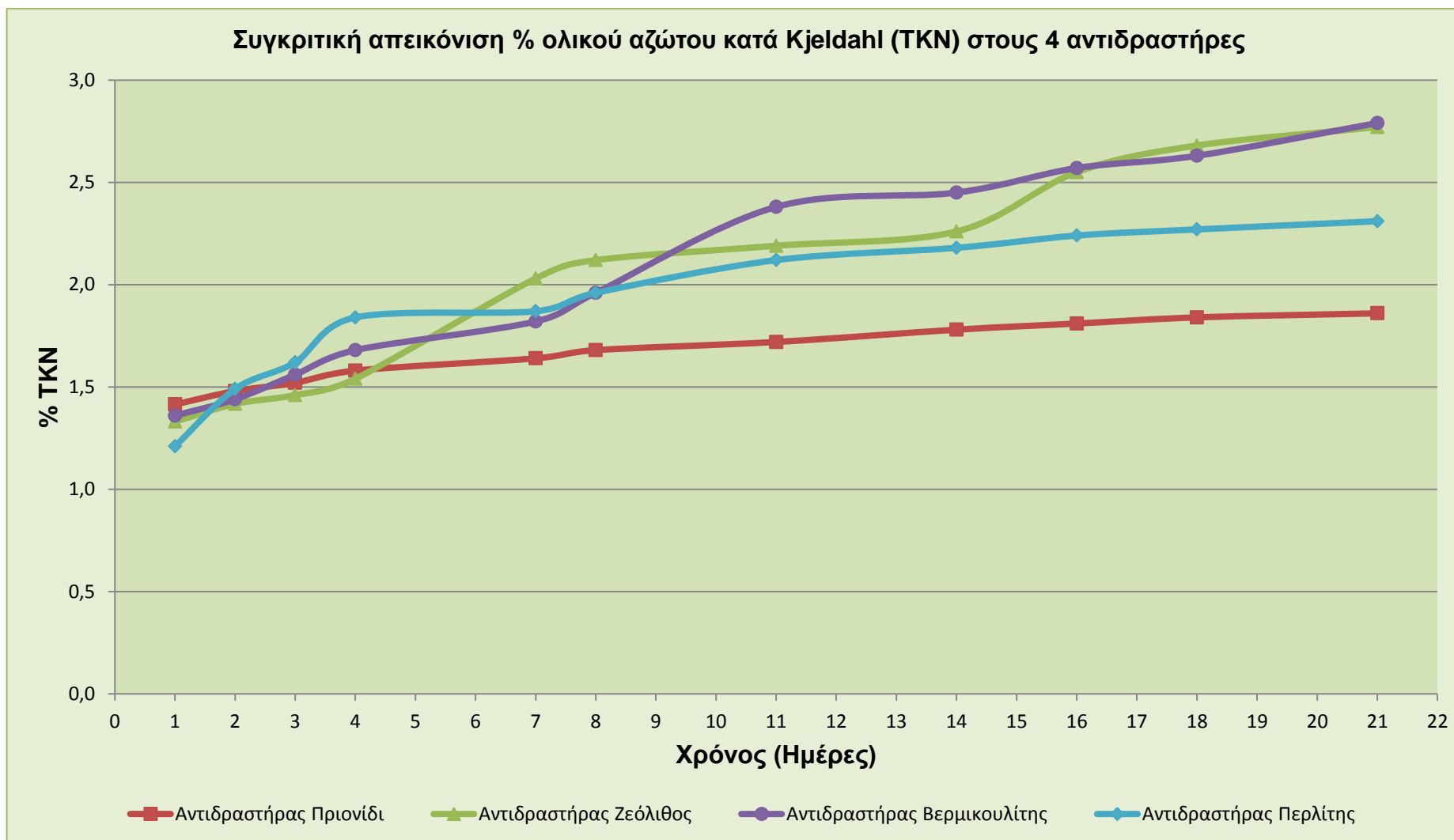
#### 6.4.9 Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα

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

Πίνακας 6.24 Τιμές % TKN για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	1,41	1,33	1,36	1,21
2	1,48	1,42	1,44	1,49
3	1,52	1,46	1,56	1,62
4	1,58	1,54	1,68	1,84
7	1,64	2,03	1,82	1,87
8	1,68	2,12	1,96	1,96
11	1,72	2,19	2,38	2,12
14	1,78	2,26	2,45	2,18
16	1,81	2,55	2,57	2,24
18	1,84	2,68	2,63	2,27
21	1,86	2,77	2,79	2,31

Στο διάγραμμα 6.19 παρουσιάζεται η εξέλιξη της % τιμής του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.19** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού αζώτου κατά kjeldahl στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Παρατηρείται η αύξουσα πορεία του αζώτου σε ποσοστό επί ξηρής μάζας Ο αντιδραστήρας με πριονίδι ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,41% διατηρώντας αύξουσα πορεία για να καταλήξει την 21<sup>η</sup> ημέρα στο 1,86 %. Ο αντιδραστήρας με ζεόλιθο ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,33% διατηρώντας αύξουσα πορεία για να καταλήξει την 21<sup>η</sup> ημέρα στο 2,77%. Ο αντιδραστήρας του βερμικουλίτη ξεκινά με ποσοστό αζώτου στο 1,36% και ακολουθώντας αύξουσα πορεία καταλήγει στο 2,79% την 21<sup>η</sup> μέρα. Ο αντιδραστήρας του περλίτη αρχικά έχει 1,38% και έπειτα από την ανοδική πορεία καταλήγει την 21<sup>η</sup> ημέρα στο 2,31%.

Παρατηρείται ότι το ποσοστό αζώτου στο κόμποστ του ζεόλιθου είναι ελαφρώς αυξημένο. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι ο ζεόλιθος έχει την ιδιότητα να δεσμεύει την αμμωνία ( $NH_3$ ) οπότε μειώνονται και οι απώλειες του αζώτου μέσω της αέριας φάσης.

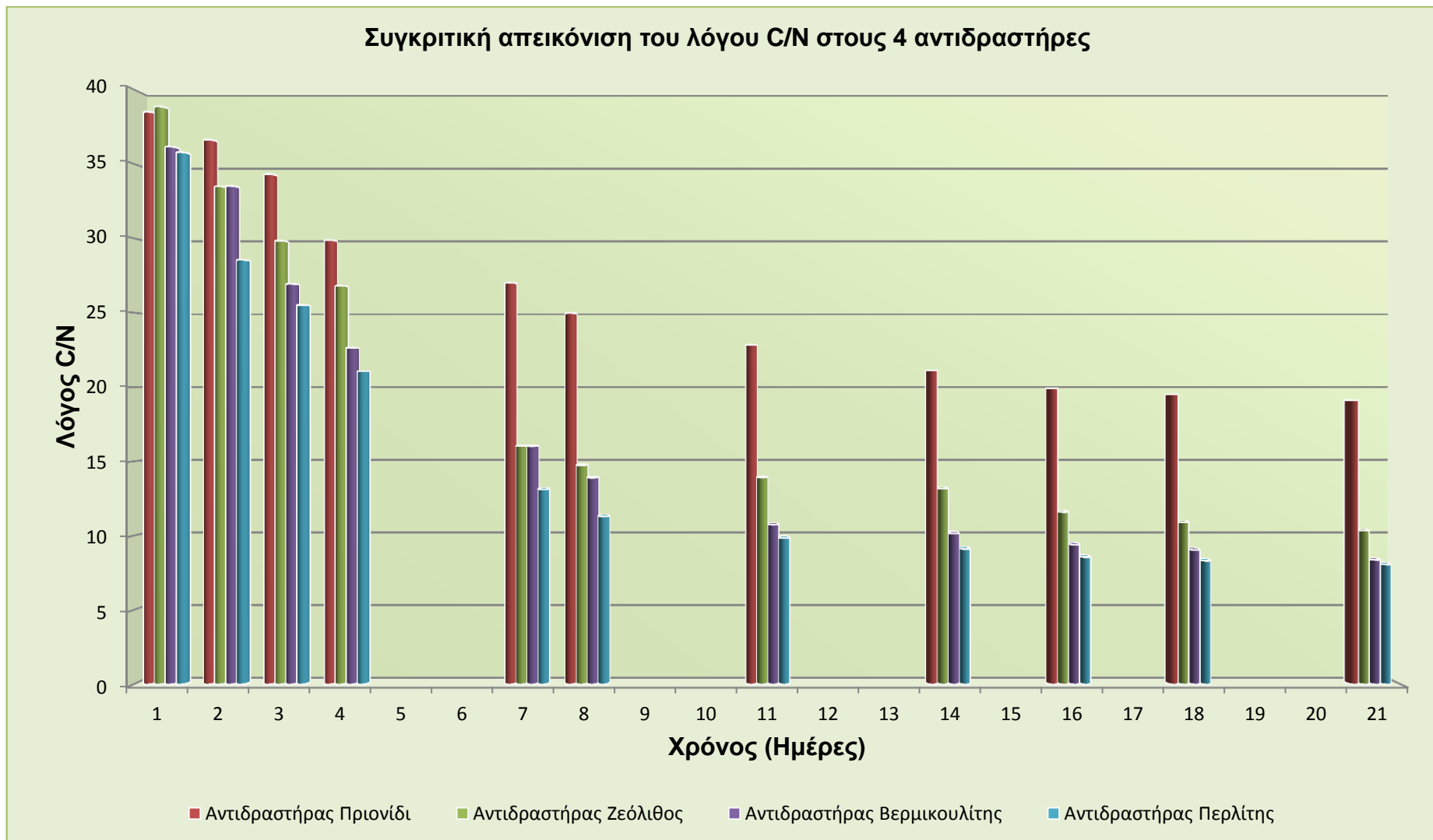
#### 6.4.10 Μέτρηση του λόγου C/N στο υπόστρωμα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας C/N για όλους τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.

Πίνακας 6.25 Τιμές C/N για τους τέσσερις αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	38,48	38,84	36,14	35,77
2	36,61	33,48	33,50	28,55
3	34,30	29,83	26,93	25,51
4	29,87	26,81	22,64	21,07
7	27,00	16,03	16,02	13,12
8	24,97	14,74	13,90	11,29
11	22,84	13,91	10,74	9,84
14	21,11	13,17	10,15	9,11
16	19,92	11,59	9,40	8,56
18	19,50	10,90	9,05	8,32
21	19,11	10,34	8,37	8,07

Στο διάγραμμα 6.20 παρατίθενται οι λόγοι C/N για τους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου.



**Διάγραμμα 6.20** Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Ο αντιδραστήρας με πριονίδι ξεκινά με λόγο 38,48 και μειώνεται μέχρι την τιμή 19,11.

Ο αντιδραστήρας με ζεόλιθο έχει αρχική τιμή 38,84. Παρατηρείται ταχεία μείωση του λόγου και σταθεροποίηση αυτού την 21<sup>η</sup> ημέρα. Από την 7<sup>η</sup> ημέρα ο λόγος έχει πέσει κάτω από την τιμή 20 και συγκεκριμένα στο 18,18.

Ο αντιδραστήρας με βερμικουλίτη ξεκινά με λόγο 36,14. Ακολουθεί μείωση και μάλιστα από την 7<sup>η</sup> μέρα ο λόγος πέφτει κάτω από το 20 και συγκεκριμένα στο 16,02.

Τέλος, ο αντιδραστήρας με περλίτη ξεκινά με λόγο 35,77. Παρουσιάζεται η ίδια τάση μείωσης ενώ ο λόγος πέφτει κάτω από την τιμή 20 από την 5<sup>η</sup> μέρα (εδώ γίνεται μια υπόθεση που δικαιολογείται αν χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της παρεμβολής).

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.

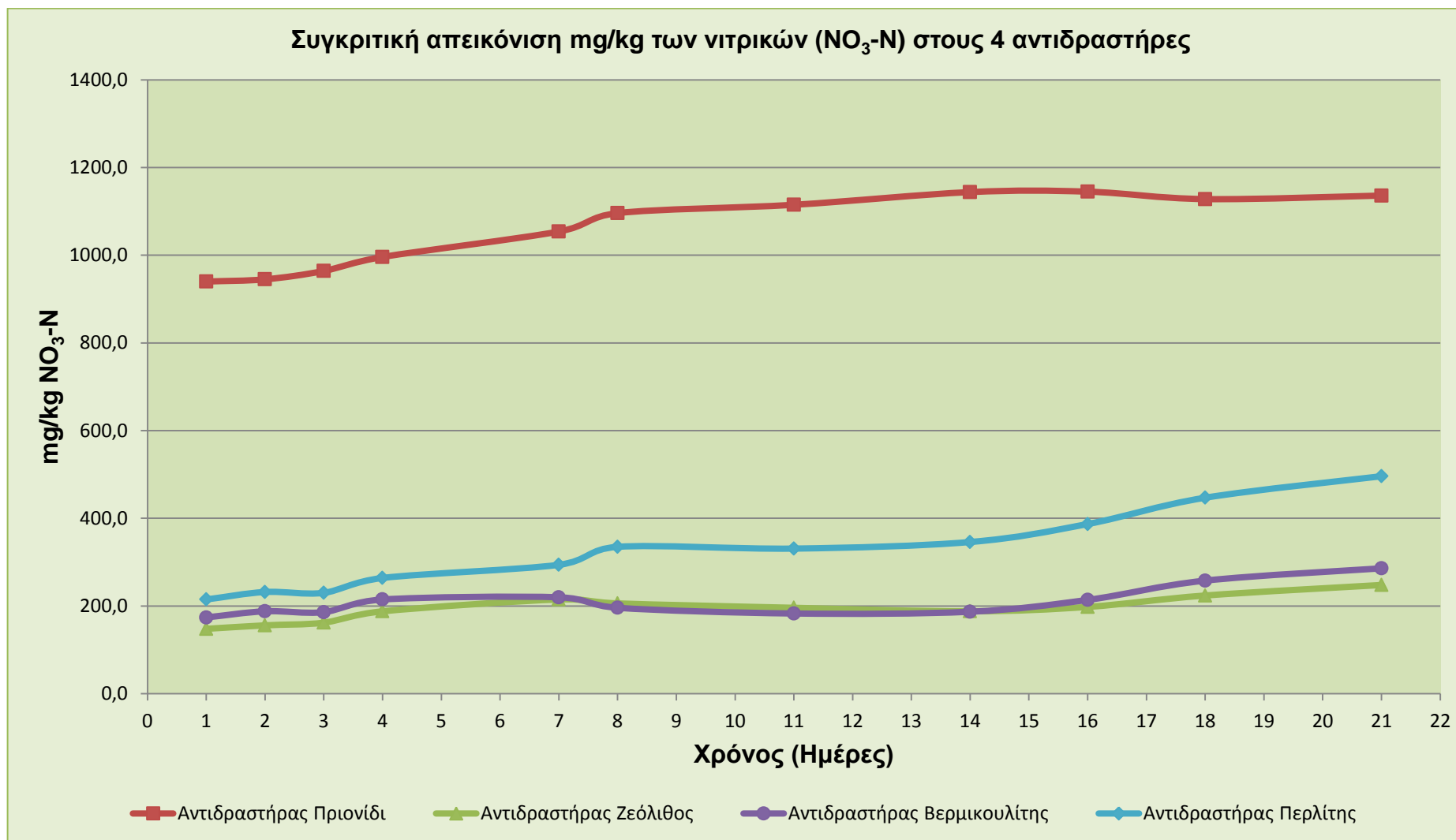
Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία το ώριμο κόμποστ από οικιακά οργανικά απόβλητα πρέπει να έχει λόγο  $C/N$  από 10 – 20 για να θεωρηθεί καλής ποιότητας. Εντός του εύρους των τιμών αυτών, βρίσκεται ο λόγος στο παραγόμενο προϊόν δύο αντιδραστήρων, ωστόσο, και οι τιμες που λήφθησαν από τους άλλους δύο δεν έχουν πολύ μεγάλη απόκλιση και ίσως με μικρή αλλαγή των υλικών τροφοδοσίας να επιτευχθεί μικρή αύξηση στο λόγο  $C/N$ , ώστε να βρίσκεται εντός των ορίων. **[35], [38]**

#### 6.4.11 Μέτρηση νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) στο υπόστρωμα

Στον πίνακα 6.26 παρατίθενται οι τιμές των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

Πίνακας 6.26 Τιμές  $NO_3^- - N$  σε  $mg/kg$  για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	940	148	174	215
2	945	156	188	232
3	964	162	186	230
4	996	188	215	264
7	1054	215	220	294
8	1096	206	196	335
11	1115	196	183	331
14	1144	188	187	346
16	1145	198	214	387
18	1128	224	258	447
21	1136	248	286	496



**Διάγραμμα 6.21** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N) στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου



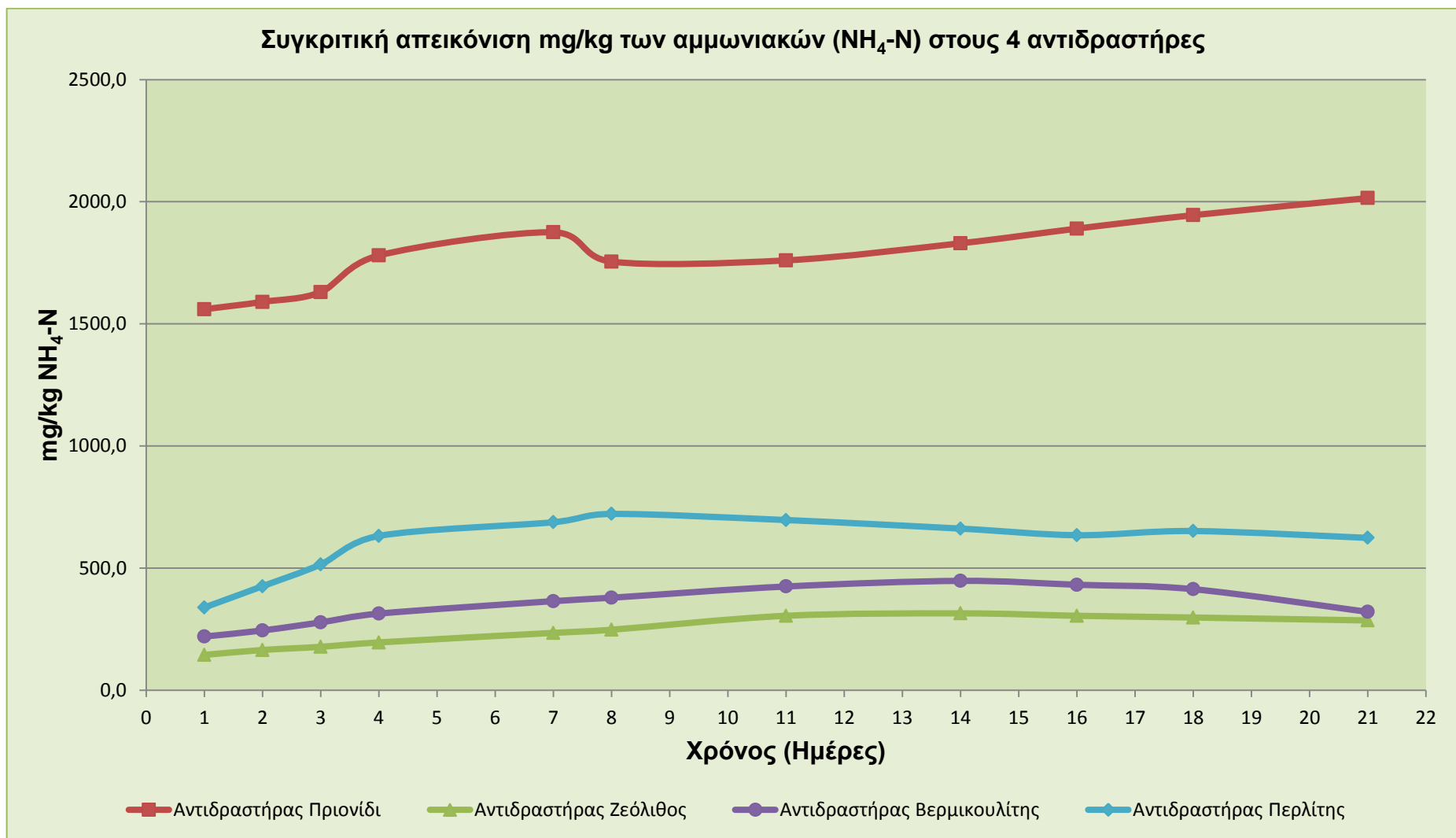
Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η αναμενόμενη αύξηση των νιτρικών μετά τη θερμοφιλή φάση. Οι τελικές τιμές είναι οι αναμενόμενες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, με εξαίρεση τις τιμές νιτρικών του αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι. Στον αντιδραστήρα αυτό, κατά τη λειτουργία του, πιθανά οι διεργασίες της βιοαποδόμησης να μην ολοκληρώθηκαν επιτυχώς, κάτι που οδήγησε σε τόσο υψηλή συγκέντρωση νιτρικών.

#### 6.4.12 Μέτρηση αμμωνιακών ( $NH_4^+ - N$ ) στο υπόστρωμα

Στον πίνακα 6.14 παρατίθενται οι τιμές των αμμωνιακών ( $NH_4^+ - N$ ) για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου.

**Πίνακας 6.27** Τιμές  $NH_4^+ - N$  σε  $mg/kg$  για τους τέσσερις αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου

Ημέρα	Αντιδραστήρας 1	Αντιδραστήρας 2	Αντιδραστήρας 3	Αντιδραστήρας 4
1	1560	145	220	339
2	1590	165	245	426
3	1630	178	278	515
4	1780	196	314	632
7	1875	235	365	688
8	1755	248	379	722
11	1760	305	425	697
14	1830	315	448	662
16	1890	305	432	635
18	1945	298	414	652
21	2015	286	321	624



**Διάγραμμα 6.22** Συγκριτική απεικόνιση των αμμωνιακών (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N) στους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η αύξηση των αμμωνιακών κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης. Παρατηρούνται, επίσης, ιδιαίτερα αυξημένες τιμές στον αντιδραστήρα με πρόσθετο πριονίδι, οι οποίες αυξάνονται κατά τη θερμοφιλη φάση. Το γεγονός ότι η συγκέντρωση των αμμωνιακών ακολουθεί ανοδική πορεία και μετά τη θερμοφιλη φάση οδηγεί στο συμπέρασμα της μη ορθής διεξαγωγής της διεργασίας. Αντιθέτως, στους αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν ορυκτά, η πορεία των αμμωνιακών είναι αναμενόμενη καθώς η συγκέντρωσή τους αυξάνεται κατά τη θερμοφιλη φάση και έπειτα μειώνεται λόγω μετατροπής τους σε νιτρικά. Η πορεία αυτή είναι ενδεικτική της ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα των δύο πειραματικών κύκλων για κάθε τύπο αντιδραστήρα, με κριτήριο το ορκτό ή και το πρόσθετο που χρησιμοποιήθηκε.

#### 7.2 Μέτρηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος

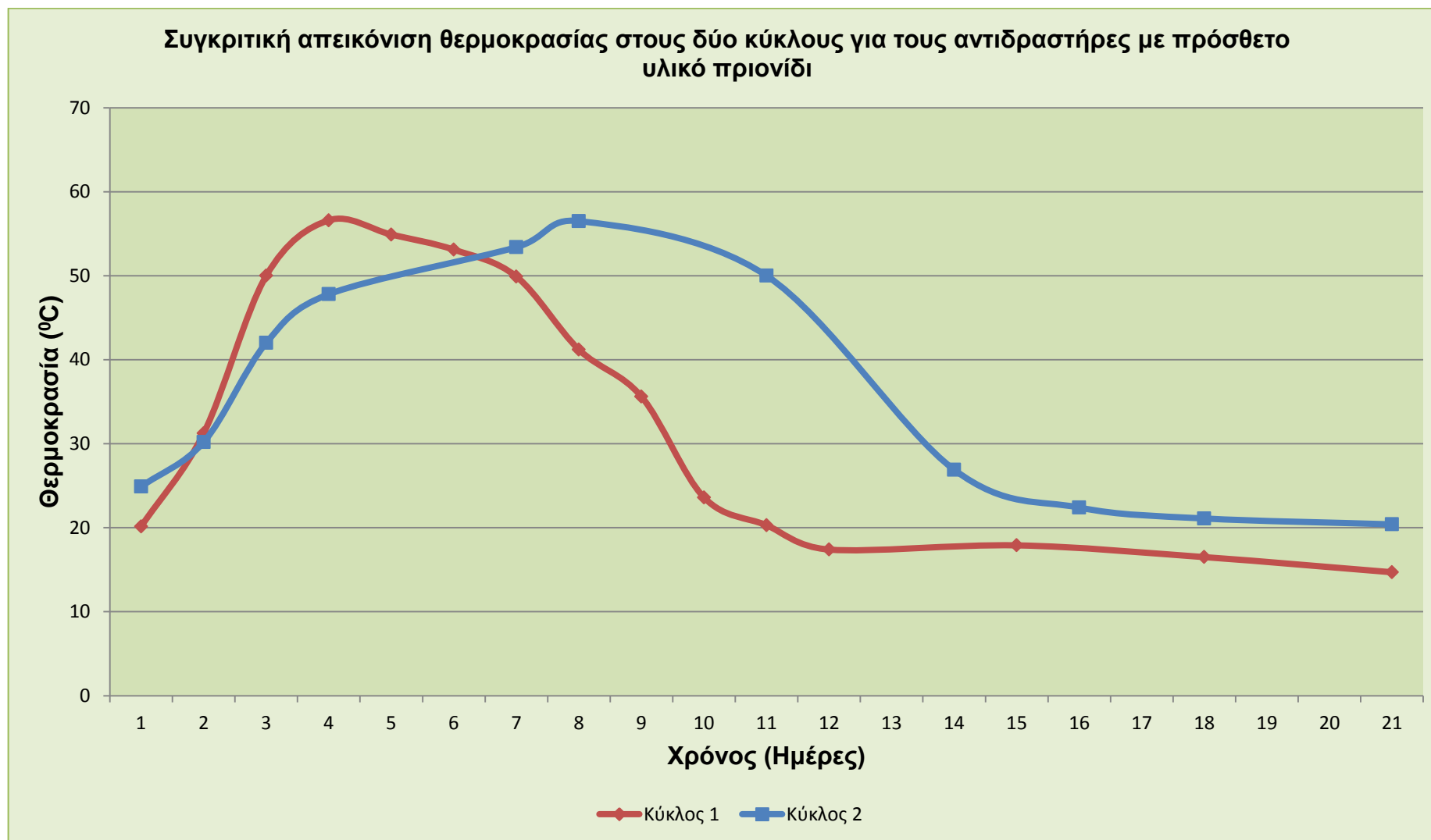
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της θερμοκρασίας του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

##### 7.2.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

Πίνακας 7.1 Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Πριονιδιού	1	20,15	24,90
	2	31,25	30,20
	3	50,00	42,00
	4	56,60	47,80
	5	54,90	
	6	53,10	
	7	49,90	53,40
	8	41,20	56,50
	9	35,60	
	10	23,60	
	11	20,30	50,00
	12	17,40	
	14		26,90
	15	17,90	
	16		22,40
	18	16,50	21,10
21	14,70	20,40	



**Διάγραμμα 7.1** Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Στο διάγραμμα 7.1 διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Παρατηρείται ότι στον αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου υπάρχει μία υστέρηση στην επίτευξη της θερμόφιλης φάσης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας μεγαλύτερης αρχικής υγρασίας του υποστρώματος στον δεύτερο κύκλο.

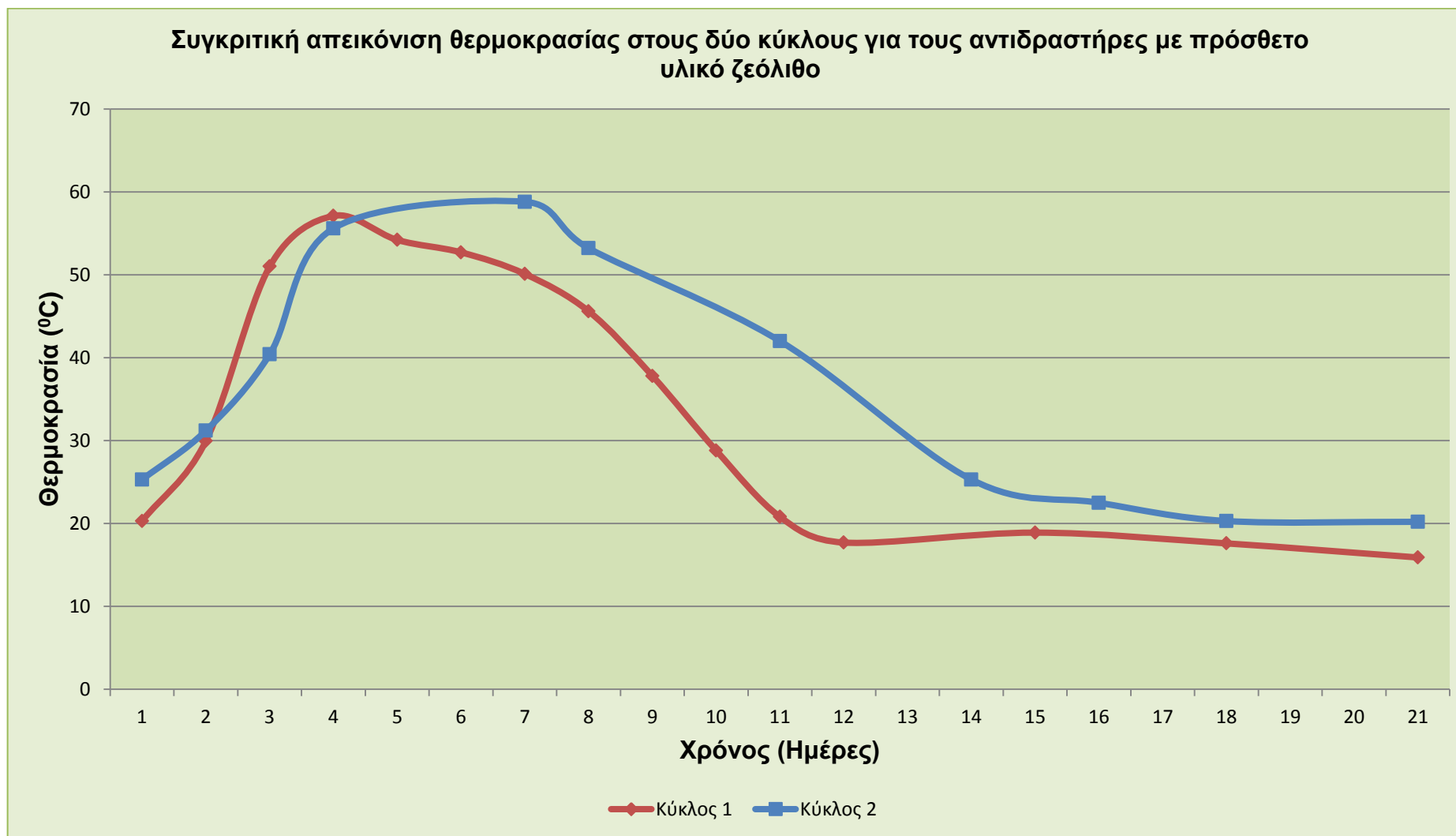
Παρατηρούμε ότι και στους δύο κύκλους το προφίλ της θερμοκρασίας ακολουθεί την αναμενόμενη πορεία επιτυγχάνοντας αρκετά υψηλές θερμοκρασίες για οικιακή κομποστοποίηση στη θερμόφιλη φάση, ένδειξη της ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.

### 7.2.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.2** Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	20,30	25,30
	2	29,95	31,20
	3	51,00	40,40
	4	57,10	55,60
	5	54,20	
	6	52,70	
	7	50,10	58,80
	8	45,60	53,20
	9	37,80	
	10	28,80	
	11	20,80	42,00
	12	17,70	
	14		25,30
	15	18,90	
	16		22,50
	18	17,60	20,30
21	15,90	20,20	



**Διάγραμμα 7.2** Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο.

Στο διάγραμμα 7.2 διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Παρατηρείται ότι στον αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου υπάρχει μία υστέρηση στην επίτευξη της θερμόφιλης φάσης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας μεγαλύτερης αρχικής υγρασίας του υποστρώματος στον δεύτερο κύκλο.

Παρατηρείται ότι στο δεύτερο κύκλο η θερμόφιλη διήρκτησε περισσότερες μέρες. Επιτυγχάνονται και στους δύο κύκλους υψηλές θερμοκρασίες κατά τη θερμόφιλη φάση αποτέλεσμα της μεταβολικής δράσης των μικροοργανισμών και μετά τη θερμόφιλη φάση η θερμοκρασία μειώνεται ομαλά και σταθεροποιείται. Είναι εμφανής η ορθότερη μεταβολή της θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου, ωστόσο τα προφίλ και των δύο κύκλων κρίνονται απολύτως ικανοποιητικά.

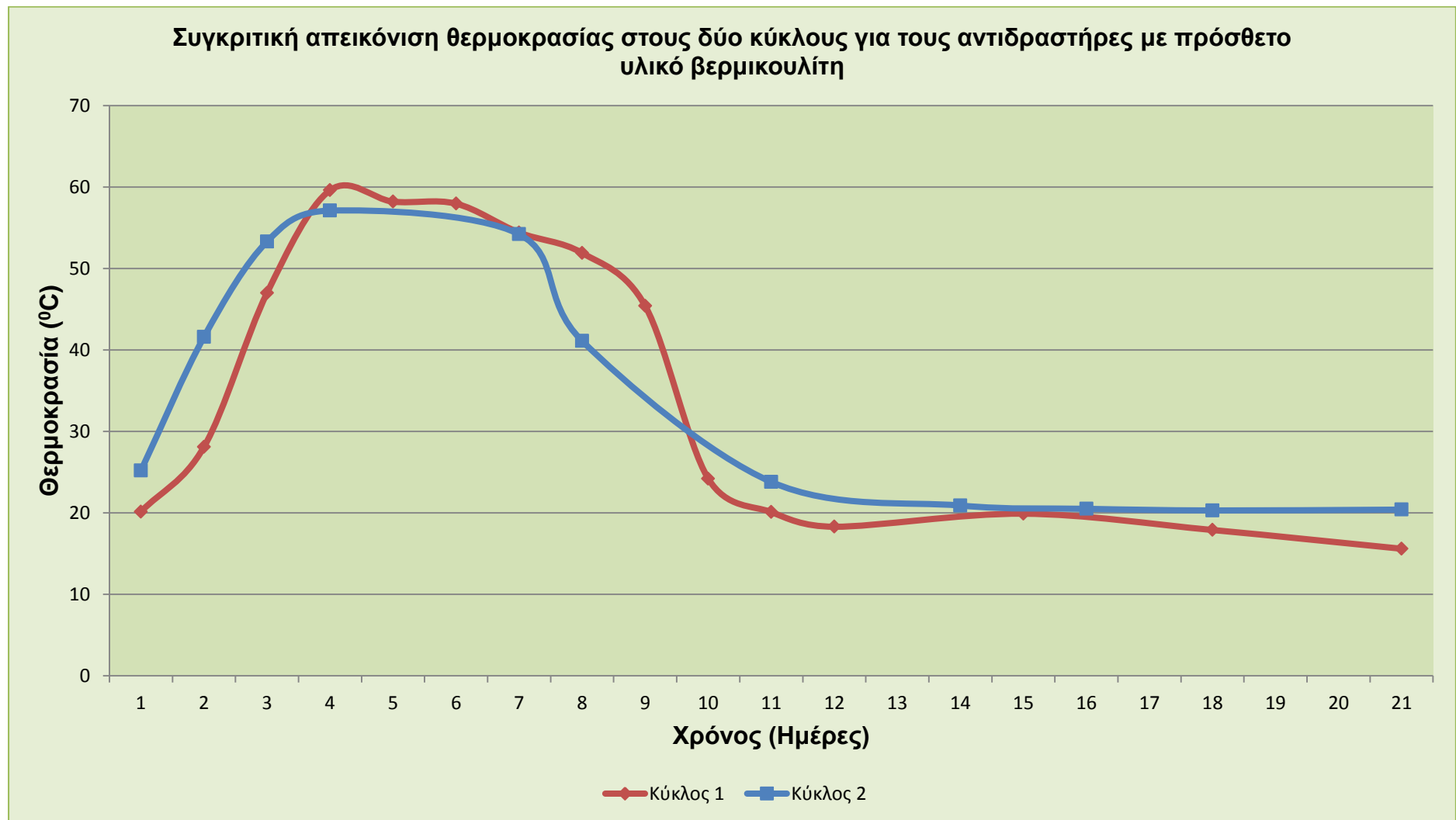
### 7.2.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.3** Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη	1	20,15	25,20
	2	28,10	41,60
	3	47,00	53,30
	4	59,60	57,10
	5	58,20	
	6	57,95	
	7	54,40	54,20
	8	51,90	41,10
	9	45,40	
	10	24,20	
	11	20,10	23,80
	12	18,30	
	14		20,90
	15	19,90	
	16		20,50
	18	17,90	20,30
21	15,60	20,40	





**Διάγραμμα 7.3** Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη.

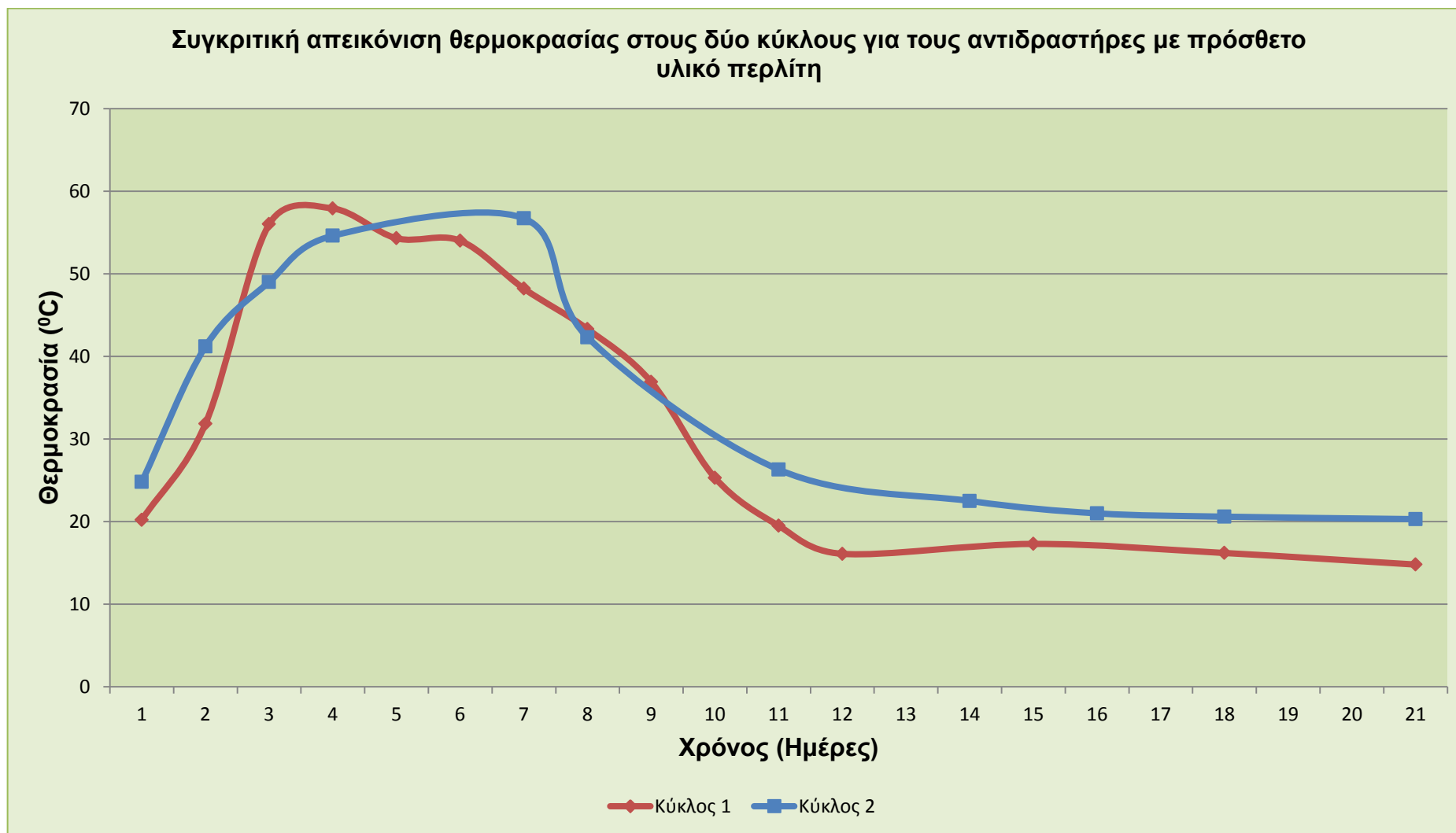
Οι θερμοκρασίες και στους δύο κύκλους ακολουθούν αναμενόμενη πορεία, έχοντας αρχικά γρήγορη αυξητική τάση, υψηλές θερμοκρασίες στη θερμόφιλη φάση και ομαλή πτώση και σταθεροποίηση μετά από αυτήν.

#### 7.2.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.4** Τιμές θερμοκρασίας (°C) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	20,20	24,80
	2	31,85	41,20
	3	56,00	49,00
	4	57,90	54,60
	5	54,30	
	6	54,00	
	7	48,20	56,70
	8	43,30	42,30
	9	36,90	
	10	25,30	
	11	19,50	26,30
	12	16,10	
	14		22,50
	15	17,30	
	16		21,00
	18	16,20	20,60
	21	14,80	20,30



**Διάγραμμα 7.4** Συγκριτική απεικόνιση θερμοκρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη.

Στο διάγραμμα 7.4 διακρίνονται τα τρία μεταβατικά στάδια της διεργασίας. Παρατηρείται ότι στον αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου υπάρχει μία υστέρηση στην επίτευξη της θερμοφιλής φάσης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας μεγαλύτερης αρχικής υγρασίας του υποστρώματος στον δεύτερο κύκλο. Και στους δύο κύκλους η καμπύλη της θερμοκρασίας ακολουθεί αναμενόμενη πορεία έχοντας κατάλληλη διάρκεια θερμοφιλής φάσης και υψηλές τιμές σε αυτήν, καθώς και ορθή σταθεροποίηση μετά το πέρας της.

### 7.3 Μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος

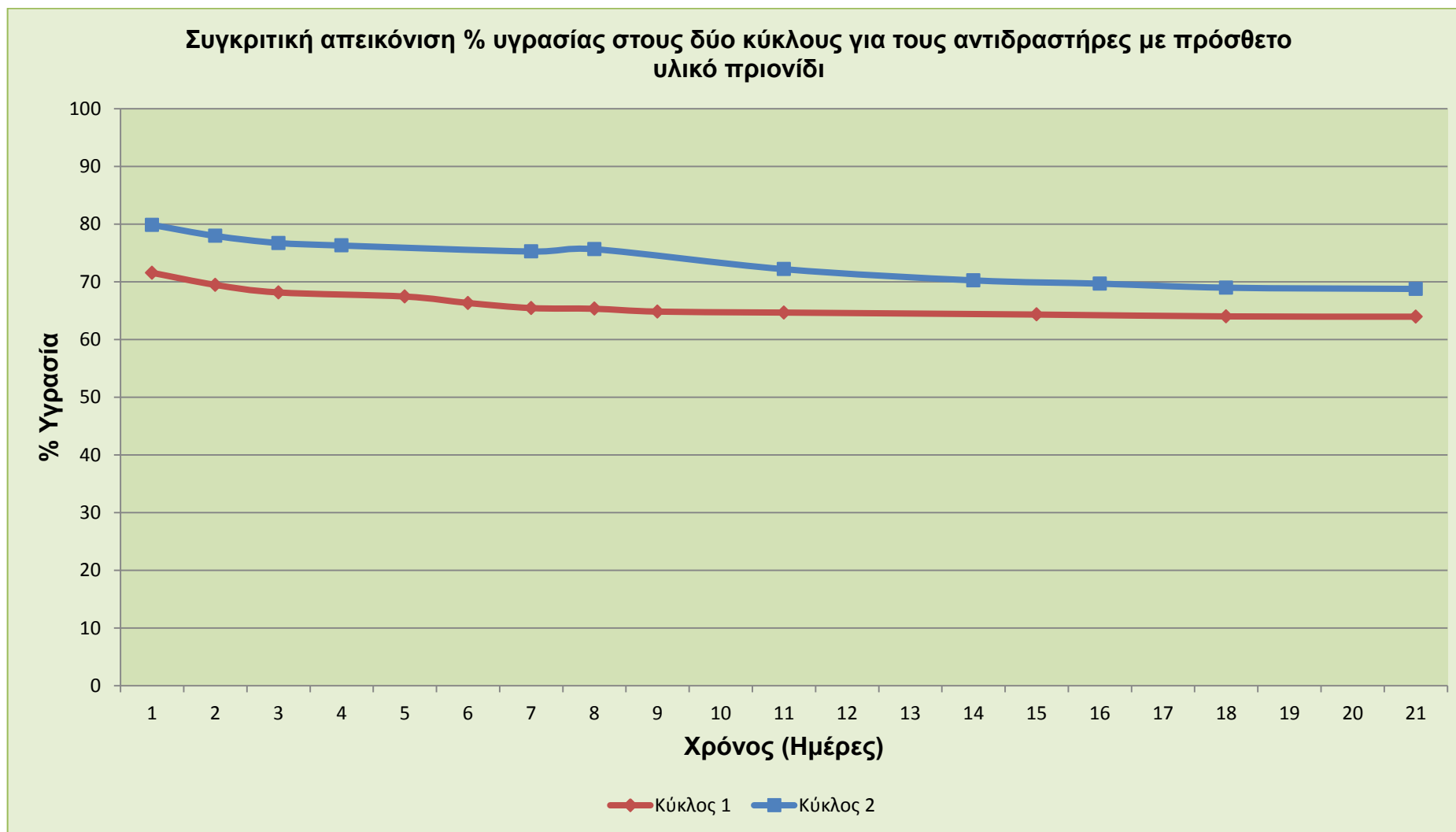
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της % υγρασίας του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

#### 7.3.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της % υγρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.5** Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Πριονιδιού</b>	1	71,55	79,85
	2	69,46	77,94
	3	68,15	76,71
	4		76,28
	5	67,44	
	6	66,32	
	7	65,44	75,24
	8	65,32	75,64
	9	64,83	
	11	64,66	72,18
	14		70,24
	15	64,32	
	16		69,67
	18	64,00	68,97
	21	63,95	68,76



**Διάγραμμα 7.5** Συγκριτική απεικόνιση της υγρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

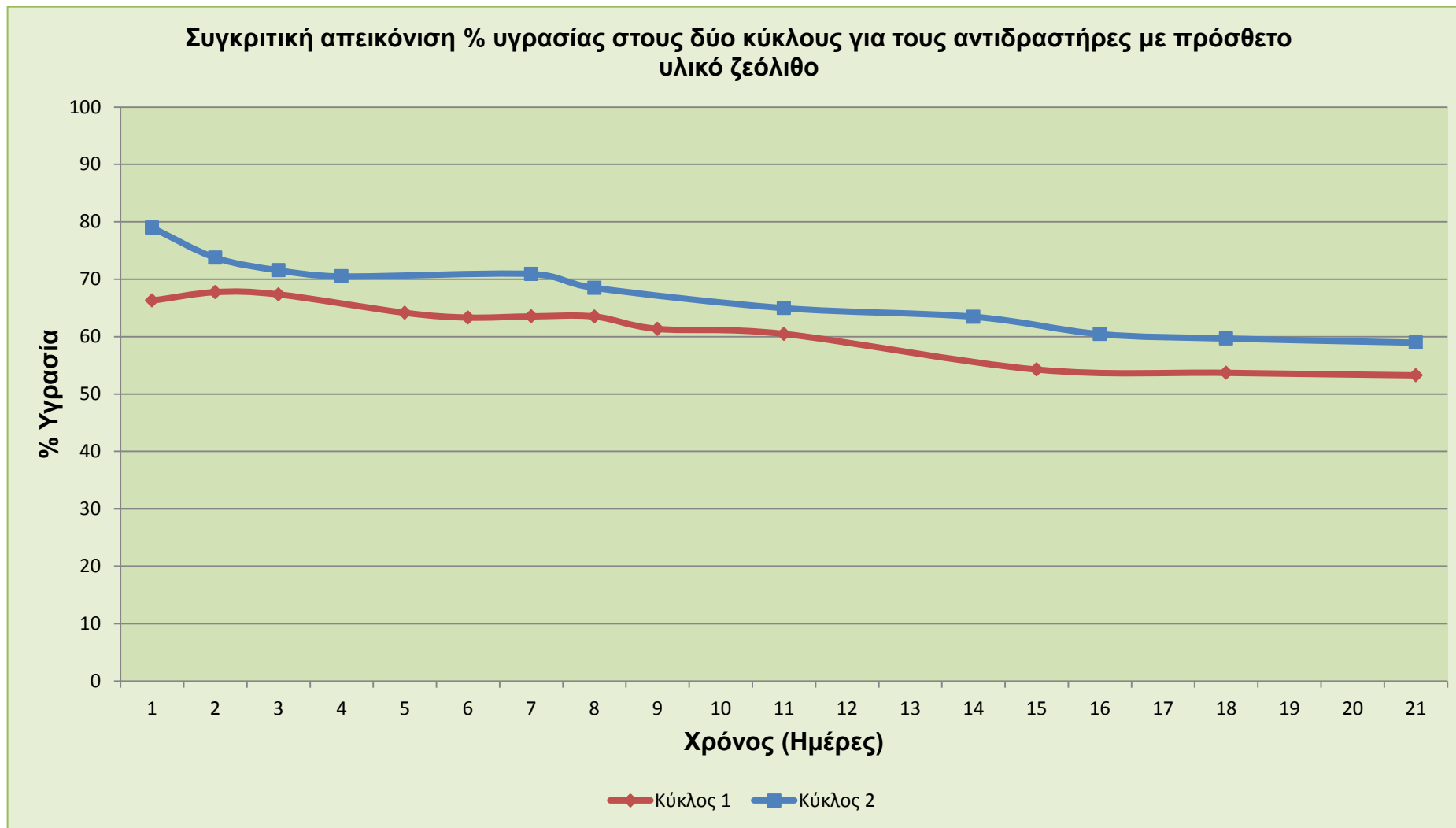
Στο διάγραμμα 7.5 διακρίνεται σχετικά πτωτική πορεία των τιμών της υγρασίας, γεγονός αναμενόμενο λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας στη θερμόφιλη φάση. Παρατηρείται ότι στον αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου υπάρχει 10% επιπλέον αρχική υγρασία σε σχέση με αυτόν του πρώτου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τροφοδοσία του δεύτερου κύκλου ήταν πλουσιότερη σε κυτταρινούχα υλικά τα οποία έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία. Οι τελική τιμή του πρώτου κύκλου (63,95%) κρίνεται ικανοποιητική, ενώ στον δεύτερο κύκλο έχει παραμείνει σε υψηλά 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.

### 7.3.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της % υγρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.6** Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	66,28	78,96
2	67,75	73,75	
3	67,35	71,55	
4		70,49	
5	64,14		
6	63,31		
7	63,52	70,91	
8	63,50	68,49	
9	61,35		
11	60,47	64,96	
14		63,45	
15	54,26		
16		60,44	
18	53,68	59,67	
21	53,25	58,95	



**Διάγραμμα 7.6** Συγκριτική απεικόνιση της υγρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθου

Στο διάγραμμα 7.6 παρατηρείται η κοινή πτωτική πορεία που έχουν οι δύο καμπύλες. Και πάλι η επιπλέον αρχική υγρασία που διακρίνεται στον δεύτερο κύκλο είναι αποτέλεσμα της τροφοδοσίας του αντιδραστήρα. Οι τελικές τιμές και των δύο κύκλων (< 60%) κρίνονται αρκετά ικανοποιητικές.

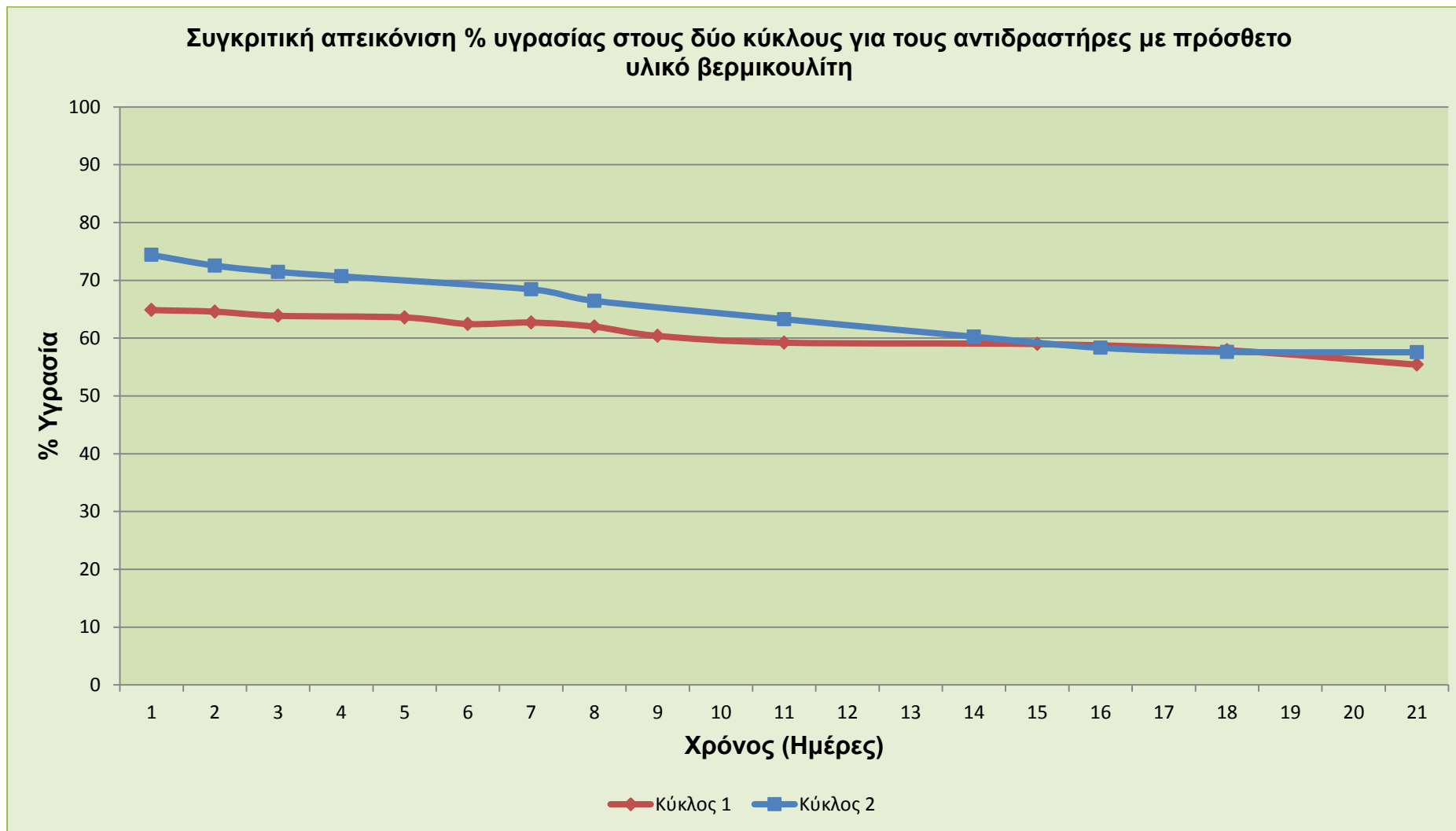
### 7.3.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της % υγρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.7** Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

<b>Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη</b>	<b>Ημέρα</b>	<b>Κύκλος 1</b>	<b>Κύκλος 2</b>
	1	64,85	74,38
	2	64,58	72,54
	3	63,86	71,45
	4		70,68
	5	63,58	
	6	62,44	
	7	62,69	68,44
	8	61,98	66,45
	9	60,38	
	11	59,21	63,27
	14		60,24
	15	58,97	
	16		58,32
	18	57,90	57,61
	21	55,40	57,55





**Διάγραμμα 7.7** Συγκριτική απεικόνιση της υγρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

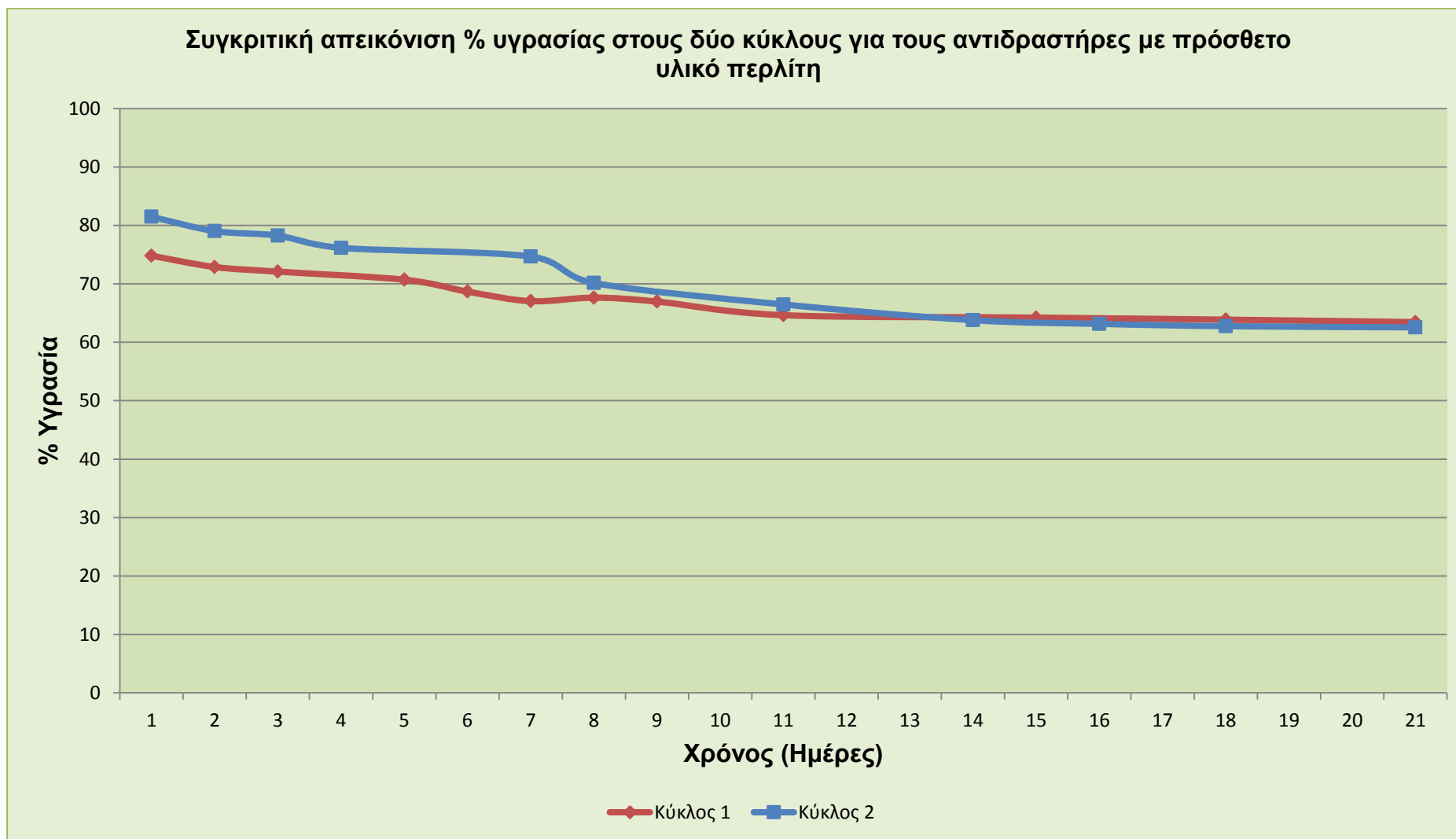
Και στο διάγραμμα 7.7 παρατηρούνται τελικές τιμές υγρασίας που δεν υπερβαίνουν το 60%. Οι δύο καμπύλες εμφανίζουν αναμενόμενη πορεία και τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά

### 7.3.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της % υγρασίας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.8** Τιμές υγρασίας (%) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Περλίτη</b>	1	74,80	81,47
	2	72,88	79,03
	3	72,09	78,26
	4		76,15
	5	70,70	
	6	68,67	
	7	67,04	74,67
	8	67,63	70,15
	9	66,96	
	11	64,64	66,47
	14		63,78
	15	64,22	
	16		63,15
	18	63,87	62,75
	21	63,45	62,55



**Διάγραμμα 7.8** Συγκριτική απεικόνιση της υγρασίας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλιτη, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 7.8, παρατηρούνται σχετικά υψηλές αρχικές τιμές. Η σωστή, ωστόσο, πορεία της διεργασίας εξασφάλισε ικανοποιητικές τιμές την 21<sup>η</sup> και τελευταία μέρα. Η υψηλή αρχική υγρασία του συγκεκριμένου αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου οφείλεται, όπως και στους άλλους τρεις αντιδραστήρες, στην τροφοδοσία τους με υλικό πλούσιο σε υγρασία.

Σε όλους τους αντιδραστήρες και των δύο κύκλων παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της υγρασίας. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το παραγόμενο κόμποστ δεν είναι έτοιμο για απόθεση και θα πρέπει να παραμείνει εκτός του αντιδραστήρα για περαιτέρω μείωση της υγρασίας.

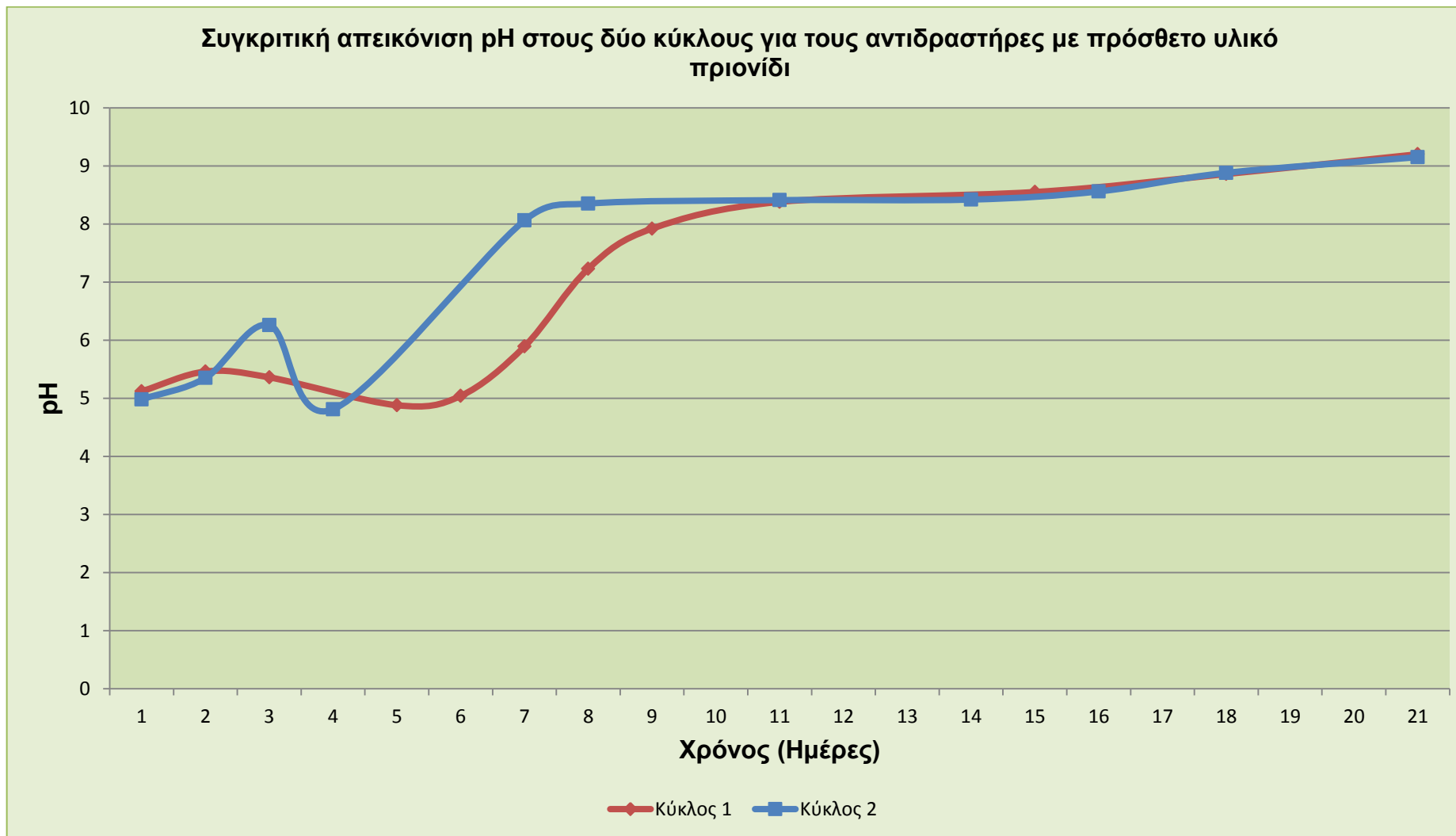
## 7.4 Μέτρηση του *pH* του υποστρώματος

Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του *pH* του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.4.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Πίνακας 7.9 Τιμές *pH* για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Πριονιδιού	1	5,12	4,98
	2	5,46	5,35
	3	5,36	6,26
	4		4,81
	5	4,88	
	6	5,04	
	7	5,89	8,06
	8	7,23	8,35
	9	7,92	
	11	8,38	8,41
	14		8,42
	15	8,55	
	16		8,56
	18	8,86	8,88
	21	9,20	9,15



**Διάγραμμα 7.9** Συγκριτική απεικόνιση του *pH* στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

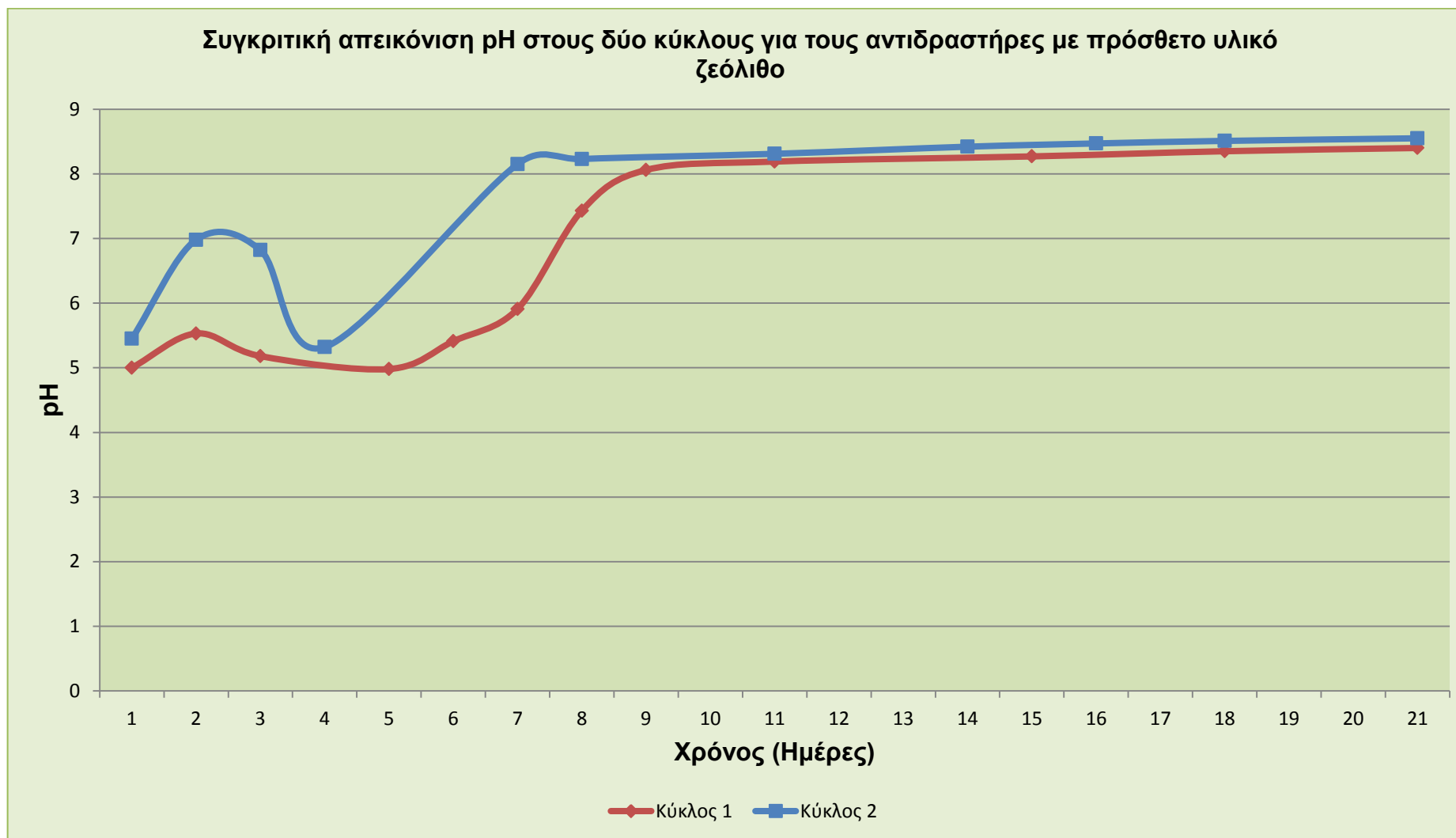
Στο διάγραμμα 7.9 διακρίνεται αρχικά ανοδική πορεία των τιμών του  $pH$ , γεγονός που δικαιολογείται απόλυτα λόγω τροφοδοσίας των αντιδραστήρων τις πρώτες μέρες της διεργασίας. Στη συνέχεια παρατηρείται μείωση που οφείλεται λόγω της παραγωγής οργανικών οξέων. Τα οργανικά οξέα διασπώνται με ταυτόχρονη διάσπαση των διαθέσιμων μορφών αζώτου και παραγωγή αμμωνιακών, κάτι που οδηγεί σε αύξηση των τιμών του  $pH$ . Τέλος οι τιμές σταθεροποιούνται σε υψηλά επίπεδα. Οι πολύ υψηλές τιμές του  $pH$  ( $> 9$ ) στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι είναι ένδειξη πιθανής δυσκολίας της διεργασίας της βιοαποδόμησης.

#### 7.4.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του  $pH$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.10** Τιμές  $pH$  για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	5,00	5,45
	2	5,53	6,98
	3	5,18	6,82
	4		5,32
	5	4,98	
	6	5,41	
	7	5,91	8,15
	8	7,43	8,23
	9	8,06	
	11	8,19	8,31
	14		8,42
	15	8,27	
	16		8,47
	18	8,35	8,51
	21	8,40	8,55



**Διάγραμμα 7.10** Συγκριτική απεικόνιση του pH στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

Οι καμπύλες του διαγράμματος 7.10 είναι αναμενόμενες και ενδεικτικές της ορθής πορείας της βιοαποδόμησης των οργανικών υλικών. Παρατηρείται, με αρχική αύξηση των τιμών, η επιπλέον τροφοδοσία στους αντιδραστήρες. Στη συνέχεια η παραγωγή οργανικών οξέων οδηγεί σε μείωση των τιμών και ύστερα η διάσπασή τους με ταυτόχρονη διάσπαση των διαθέσιμων μορφών αζώτου και απελευθέρωση αμμωνιακών σε αύξηση. Η τελική σταθεροποίηση των τιμών του *pH* είναι ομαλή και οι τελικές τιμές ένδειξη της καλής ποιότητας της διεργασίας.

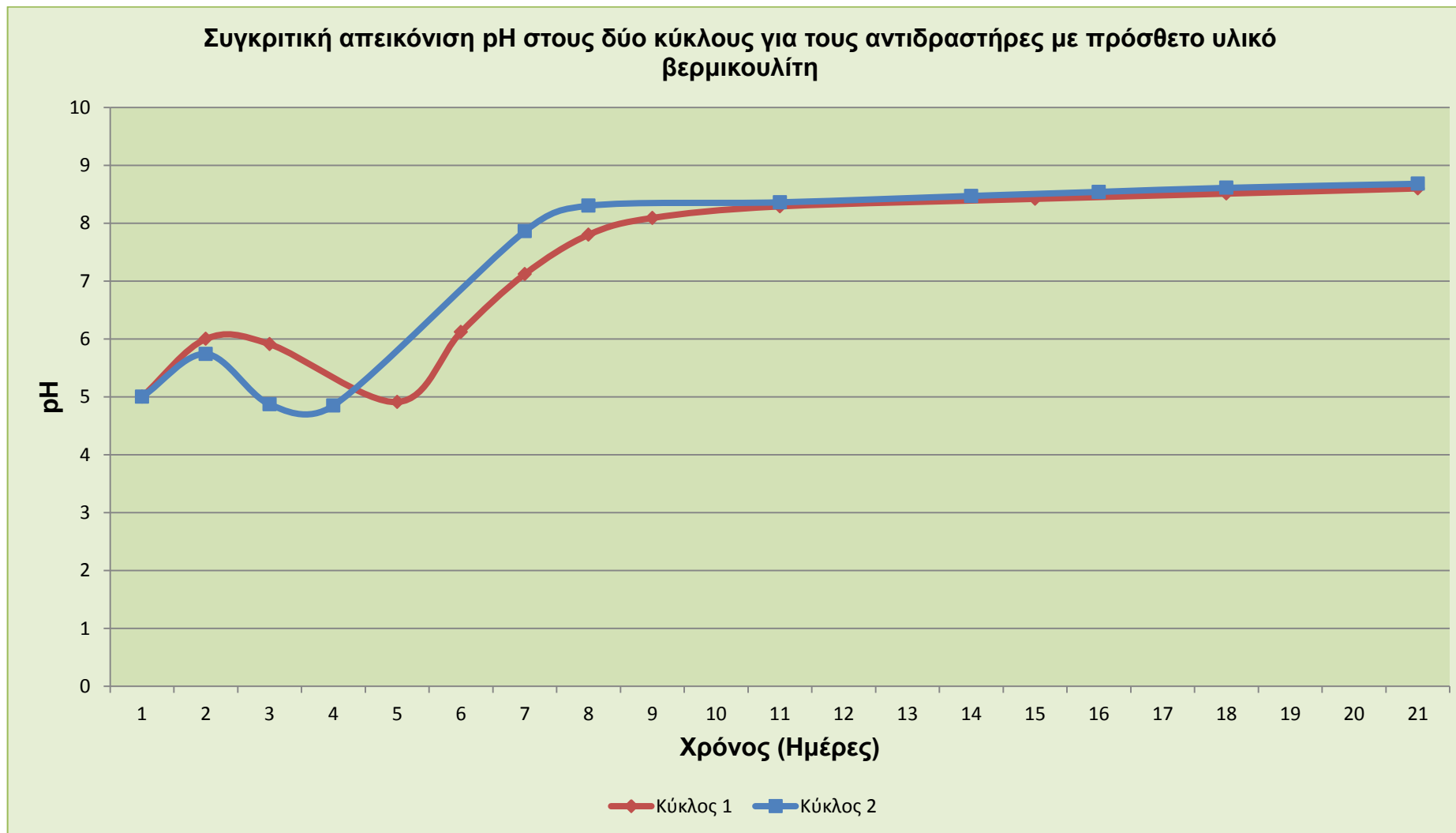
### 7.4.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του *pH* για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

Πίνακας 7.11 Τιμές *pH* για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	5,00	5,00
	2	6,00	5,74
	3	5,91	4,87
	4		4,85
	5	4,91	
	6	6,12	
	7	7,12	7,86
	8	7,80	8,30
	9	8,09	
	11	8,29	8,36
	14		8,47
	15	8,42	
	16		8,54
	18	8,51	8,61
	21	8,60	8,68





**Διάγραμμα 7.11** Συγκριτική απεικόνιση του pH στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

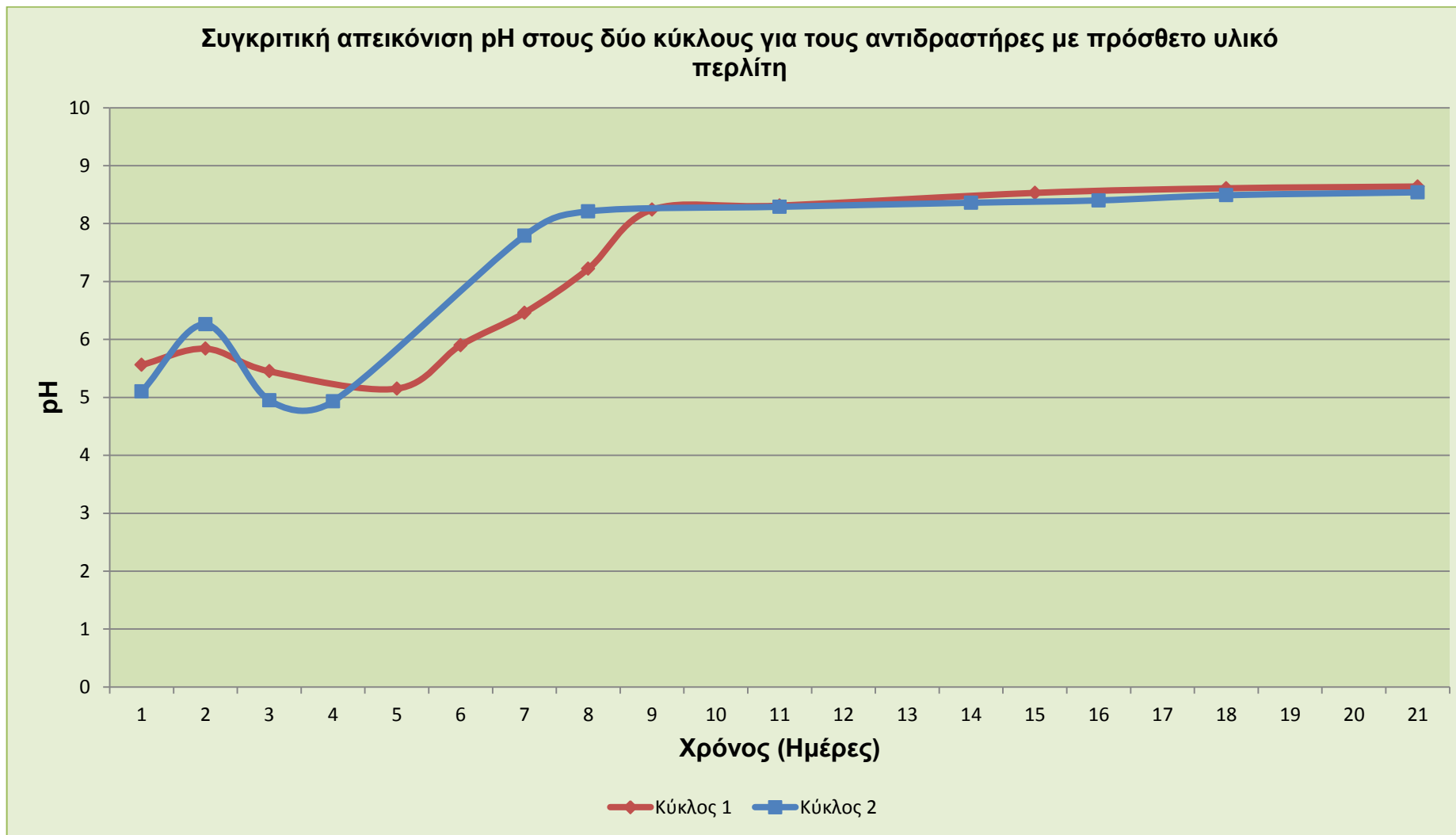
Οι καμπύλες του διαγράμματος 7.11 είναι ενδεικτικές της ορθής διεξαγωγής της βιοαποδόμησης. Και εδώ παρατηρείται η αρχική αύξηση, οφειλόμενη στην επιπλέον τροφοδοσία του αντιδραστήρα με υλικό. Ύστερα παρατηρείται η παραγωγή οργανικών οξέων με πτώση των τιμών του  $pH$  ακολουθούμενη από την διάσπαση των διαθέσιμων μορφών αζώτου και την παραγωγή αμμωνιακών ενδεικτική της απότομης αύξησης των τιμών κατά τη θερμοφιλή φάση. Η τελική σταθεροποίηση των τιμών του  $pH$  είναι ομαλή και οι τιμές του ικανοποιητικές.

#### 7.4.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του  $pH$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

Πίνακας 7.12 Τιμές  $pH$  για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	5,56	5,10
	2	5,84	6,26
	3	5,45	4,95
	4		4,93
	5	5,15	
	6	5,90	
	7	6,46	7,79
	8	7,22	8,21
	9	8,24	
	11	8,31	8,29
	14		8,36
	15	8,53	
	16		8,40
	18	8,61	8,49
	21	8,64	8,54



**Διάγραμμα 7.12** Συγκριτική απεικόνιση του *pH* στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Από το διάγραμμα 7.12 συμπεραίνεται η σωστή πορεία της διεργασίας στους δύο κύκλους πειραμάτων. Οι διάφορες φάσεις της διεργασίας της βιοαποδόμησης αποτυπώνονται στο διάγραμμα. 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 θερμοφίλης φάσης, κάτι που προκαλείται από την διάσπαση των διαθέσιμων μορφών αζώτου αυτών των οξέων με ταυτόχρονη δημιουργία αμμωνιακών. Η τελική σταθεροποίηση των τιμών του  $pH$  είναι ομαλή και οι τελικές τιμές ένδειξη της καλής ποιότητας της διεργασίας.

Σε γενικές γραμμές τα διαγράμματα των τιμών του  $pH$  που παρουσιάστηκαν ήταν αναμενόμενα και ενδεικτικά της σωστής λειτουργίας τόσο των αντιδραστήρων, όσο και της διεργασίας που έλαβε χώρα μέσα σε αυτούς. Εξαιρέση αποτελούν οι αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι. Και στους δύο κύκλους, σε αυτούς τους αντιδραστήρες, οι τελικές τιμές του  $pH$  κρίνονται αρκετά υψηλές, κάτι που παραπέμπει στην μη ορθή 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.

## 7.5 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

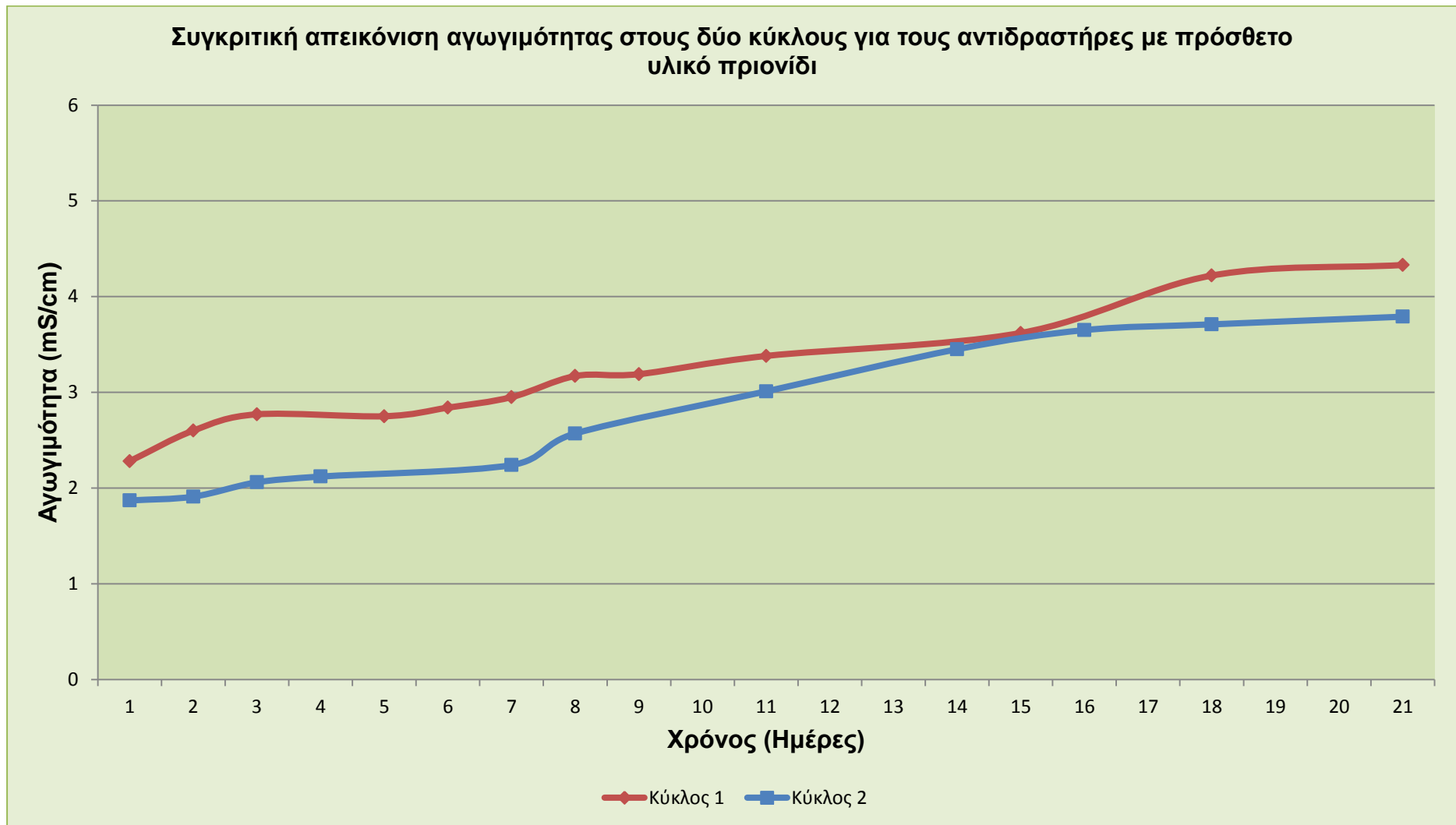
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.5.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.13** Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $mS/cm$ ) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονιδιού	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	2,28	1,87
	2	2,60	1,91
	3	2,77	2,06
	4		2,12
	5	2,75	
	6	2,84	
	7	2,95	2,24
	8	3,17	2,57
	9	3,19	
	11	3,38	3,01
	14		3,45
	15	3,62	
	16		3,65
	18	4,22	3,71
	21	4,33	3,79



**Διάγραμμα 7.13** Συγκριτική απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

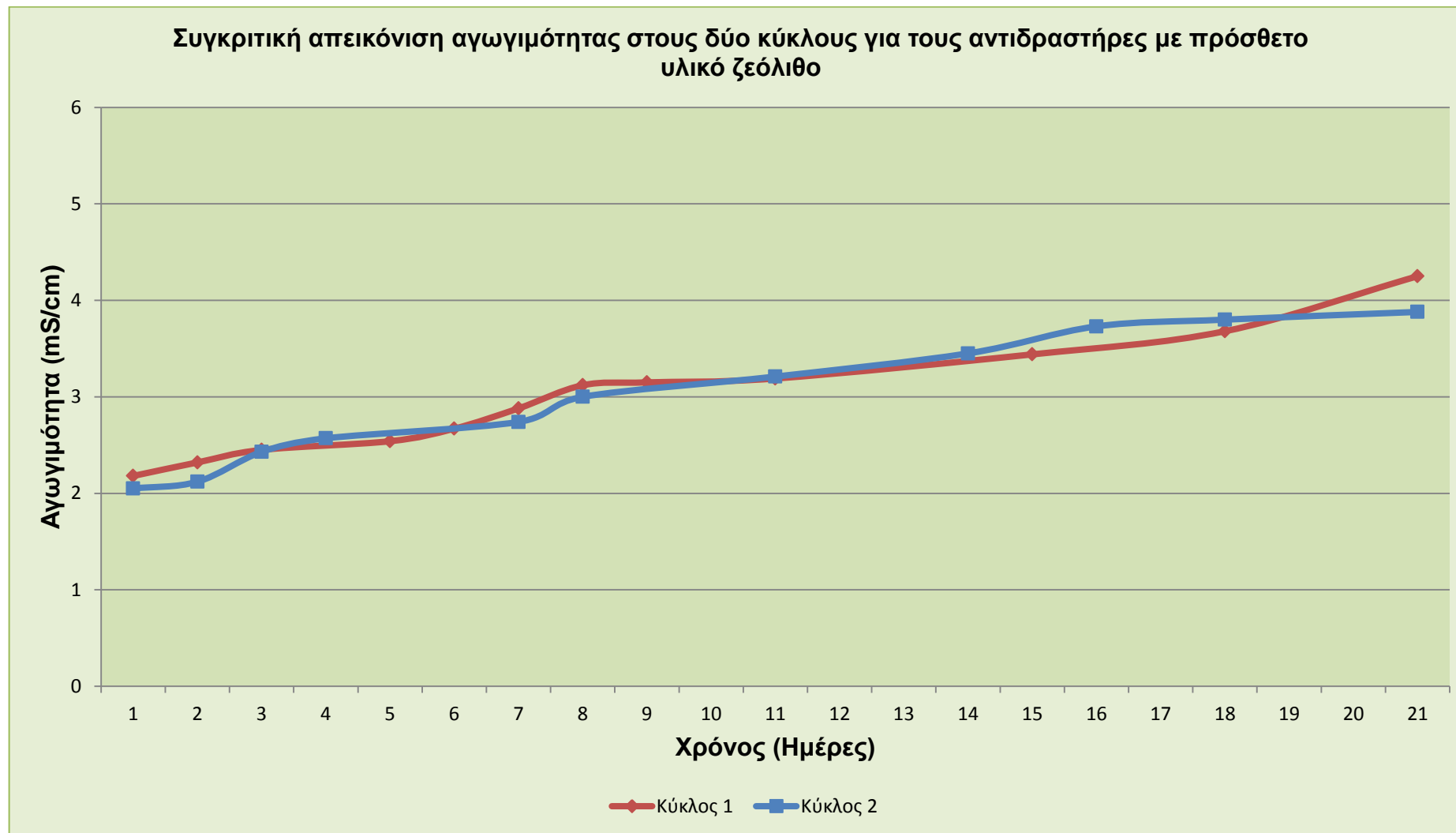
Στο διάγραμμα 7.13 παρατηρείται σταδιακή αύξηση της αγωγιμότητας, και στους δύο κύκλους, καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης η οποία αύξηση αποδίδεται στην εκτεταμένη αποσύνθεση της οργανικής ύλης η οποία με την σειρά της έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε άλατα.

### 7.5.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.14** Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $mS/cm$ ) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	2,18	2,05
	2	2,32	2,12
	3	2,45	2,43
	4		2,57
	5	2,54	
	6	2,67	
	7	2,88	2,74
	8	3,12	3,00
	9	3,15	
	11	3,19	3,21
	14		3,45
	15	3,44	
	16		3,73
	18	3,68	3,80
	21	4,25	3,88



**Διάγραμμα 7.14** Συγκριτική απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



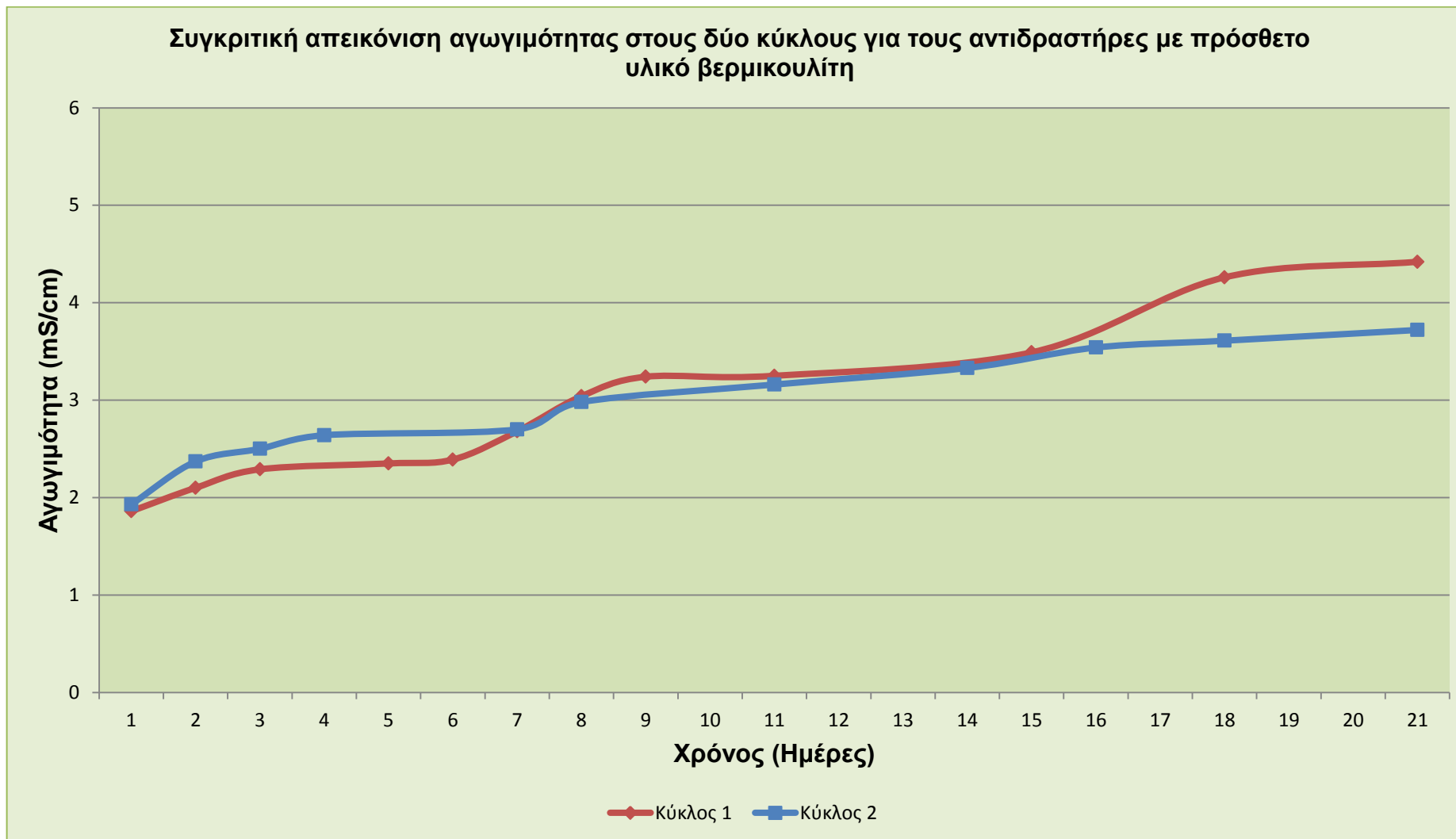
Οι καμπύλες στο διάγραμμα 7.14 κρίνονται ικανοποιητικές και αναμενόμενες. Η σωστή διαδικασία της βιοαποδόμησης ενισχύεται από την πορεία των παραπάνω τιμών, οι οποίες είναι επίσης ενδεικτικές για τη μικρή φυτοτοξικότητα του τελικού προϊόντος, που θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

### 7.5.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.14** Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $mS/cm$ ) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	1,86	1,93
	2	2,10	2,37
	3	2,29	2,50
	4		2,64
	5	2,35	
	6	2,39	
	7	2,68	2,70
	8	3,04	2,98
	9	3,24	
	11	3,25	3,16
	14		3,33
	15	3,49	
	16		3,54
	18	4,26	3,61
	21	4,42	3,72



**Διάγραμμα 7.14** Συγκριτική απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

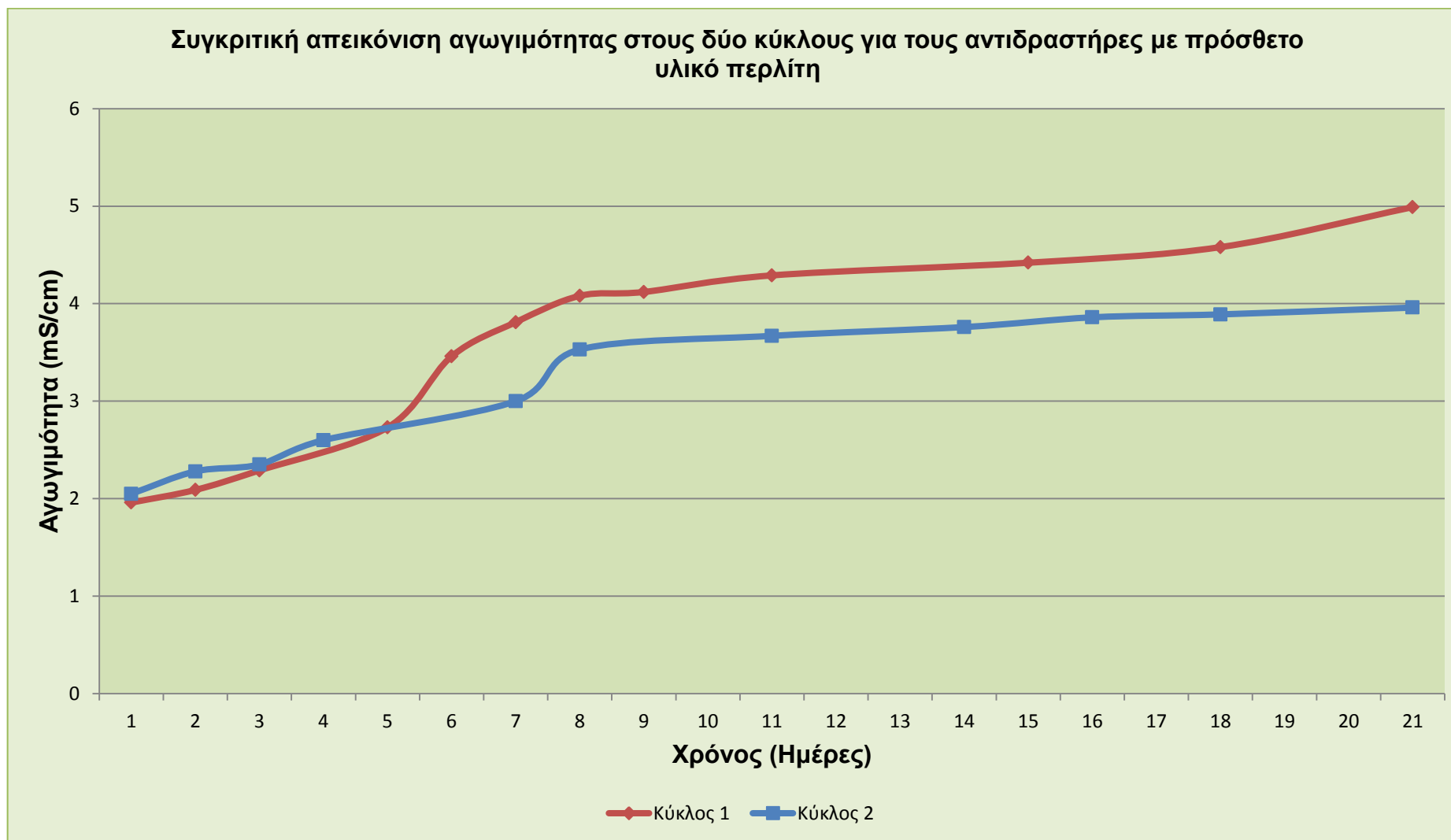
Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης παρατηρούμε εκτεταμένη αποσύνθεση της οργανικής ύλης που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε άλατα. Τα διαλυτά αυτά άλατα προκαλούν την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αυτή η αύξηση αποτυπώνεται στο διάγραμμα 7.14.

#### 7.5.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.14** Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $mS/cm$ ) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	1,96	2,05
2	2,09	2,28	
3	2,29	2,35	
4		2,60	
5	2,73		
6	3,46		
7	3,81	3,00	
8	4,08	3,53	
9	4,12		
11	4,29	3,67	
14		3,76	
15	4,42		
16		3,86	
18	4,58	3,89	
21	4,99	3,96	



**Διάγραμμα 7.14** Συγκριτική απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι πολύ ικανοποιητικές. Παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση και το τελικό προϊόν είναι το προσδοκώμενο.

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της αγωγιμότητας. Ειδικότερα στον πρώτο κύκλο που χρησιμοποιήθηκε αναλογία υποστρώματος 3:1:1, δηλαδή περισσότερες πρωτεΐνες και υδατάνθρακες, παρατηρείται μεγαλύτερη τελική τιμή αγωγιμότητας που συνεπάγεται μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σ' ένα διάλυμα.

## 7.6 Μέτρηση των πτητικών στερεών (VSS) στο υπόστρωμα

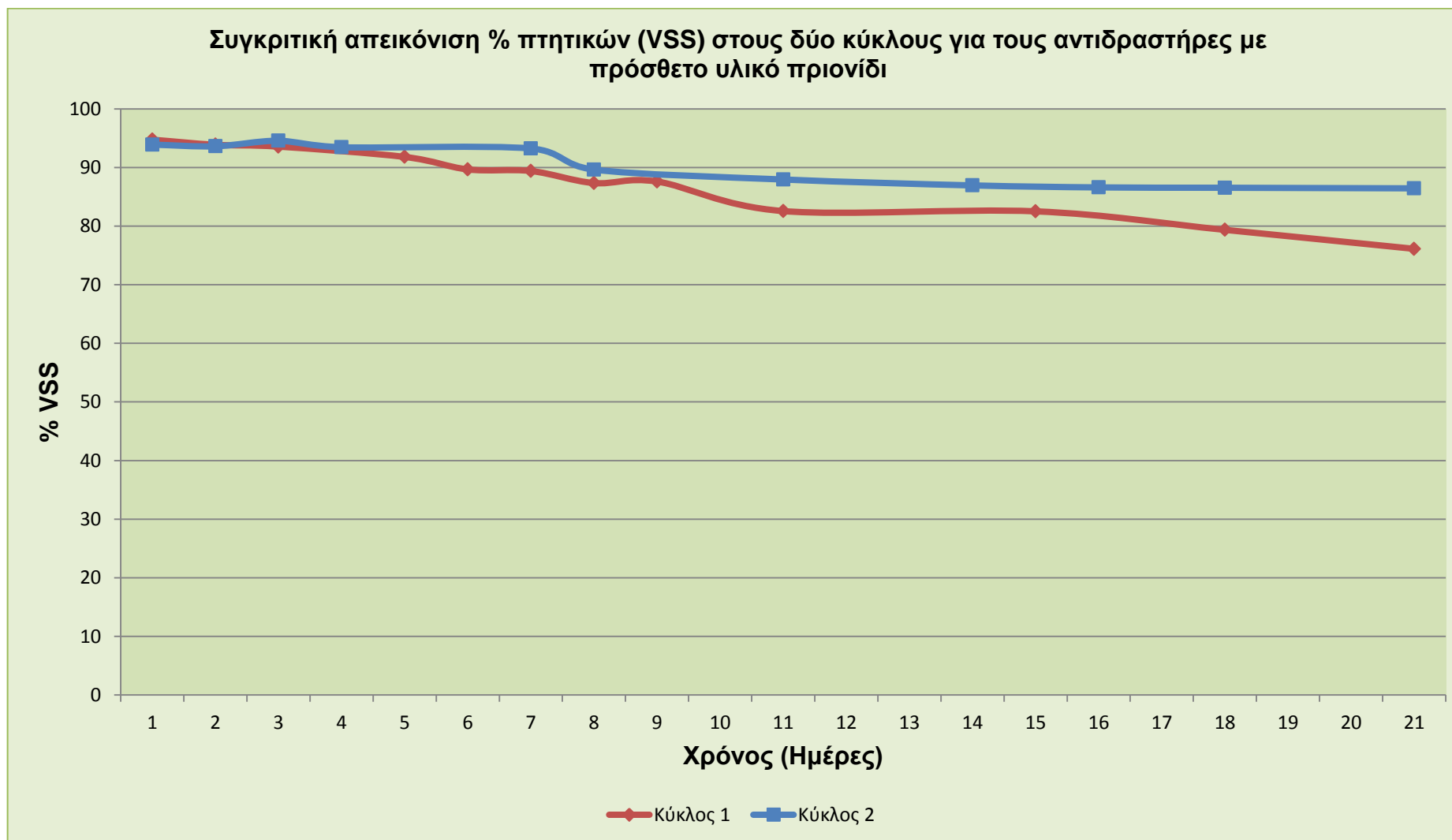
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της % τιμής των πτητικών στερεών του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.6.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των % πτητικών στερεών για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.15** Τιμές % πτητικών (VSS) για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Πριονιδιού</b>	1	94,74	93,90
	2	93,87	93,62
	3	93,56	94,56
	4		93,45
	5	91,80	
	6	89,67	
	7	89,40	93,24
	8	87,34	89,64
	9	87,60	
	11	82,56	87,95
	14		86,94
	15	82,52	
	16		86,60
	18	79,36	86,54
	21	76,12	86,44



**Διάγραμμα 7.15** Συγκριτική απεικόνιση της % τιμής των πτητικών στερεών (VSS) στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

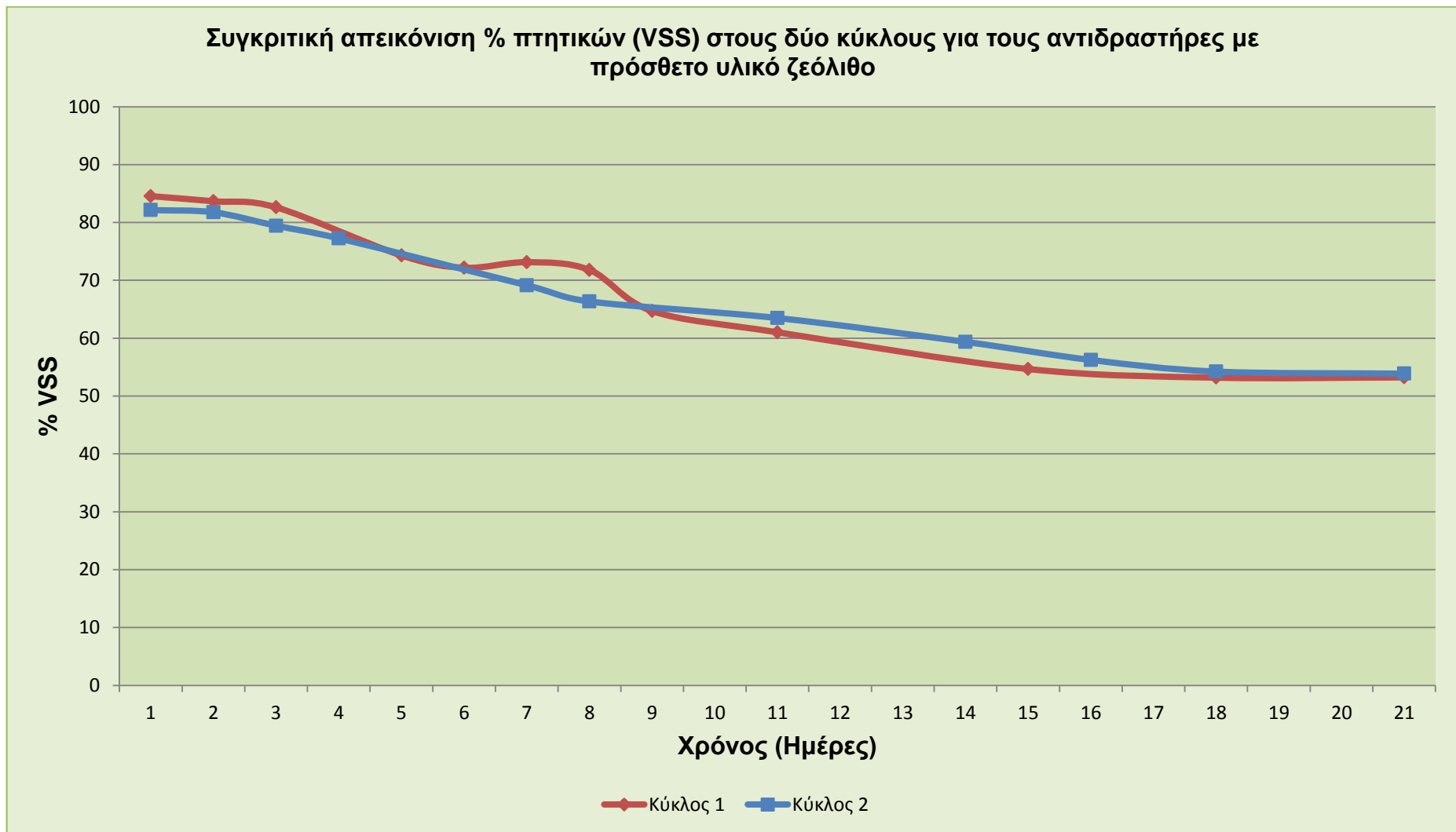
Στο διάγραμμα 7.15 παρατηρείται πολύ μικρή μείωση των πτητικών στερεών και στους δύο κύκλους. Ειδικά στον δεύτερο η μείωση είναι της τάξης του 7,46% ενδεικτικό της μη ορθής έκβασης της διεργασίας της βιοαποδόμησης. Είναι δεδομένο ότι στους αντιδραστήρες με το πριονίδι υπήρχε μεγάλη συγκέντρωση πτητικών στερεών, όπως παρατηρήθηκε και στην αντίστοιχη παράγραφο του έκτου κεφαλαίου. Η αναμενόμενη πτώση του ποσοστού δεν πραγματοποιήθηκε, κάτι που υποδεικνύει την πιθανή ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών στους εν λόγω αντιδραστήρες.

### 7.6.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των % πτητικών στερεών για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.16** Τιμές % πτητικών (VSS) για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	84,55	82,15
	2	83,67	81,76
	3	82,62	79,44
	4		77,26
	5	74,31	
	6	72,17	
	7	73,14	69,15
	8	71,80	66,35
	9	64,70	
	11	61,02	63,48
	14		59,36
	15	54,67	
	16		56,24
	18	53,18	54,23
	21	53,22	53,87



**Διάγραμμα 7.16** Συγκριτική απεικόνιση της % τιμής των πτητικών στερεών (VSS) στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο



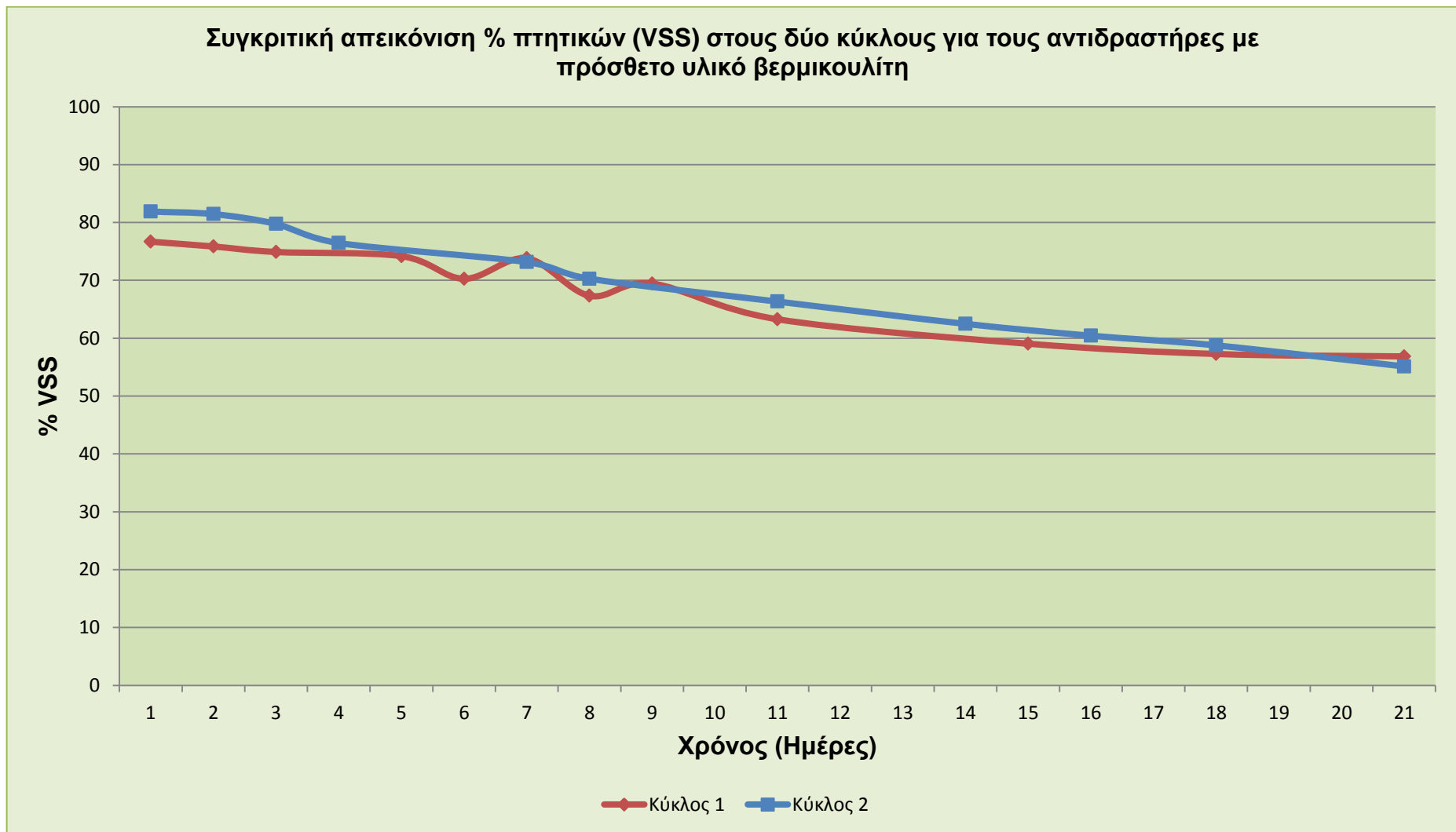
Στο διάγραμμα 7.16 παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών. Η μικρή απόκλιση που παρατηρείται κατά την 7<sup>η</sup> μέρα στον πρώτο κύκλο οφείλεται σε προσθήκη πριονιδιού που έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών στον αντιδραστήρα. Ο ρυθμός μείωσης των πτητικών στερεών είναι μεγαλύτερος κατά τη θερμόφιλη φάση και στους δύο πειραματικούς κύκλους. Τέλος η σταθεροποίηση των τιμών κρίνεται ομαλή και οι τελικές τιμές απολύτως αποδεκτές.

### 7.6.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των % πτητικών στερεών για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.17** Τιμές % πτητικών (VSS) για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	76,68	81,88
	2	75,85	81,45
	3	74,90	79,75
	4		76,45
	5	74,18	
	6	70,27	
	7	73,80	73,15
	8	67,33	70,28
	9	69,44	
	11	63,27	66,33
	14		62,48
	15	59,05	
	16		60,43
	18	57,27	58,76
21	56,85	55,12	



**Διάγραμμα 7.17** Συγκριτική απεικόνιση της % τιμής των πτητικών στερεών (VSS) στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

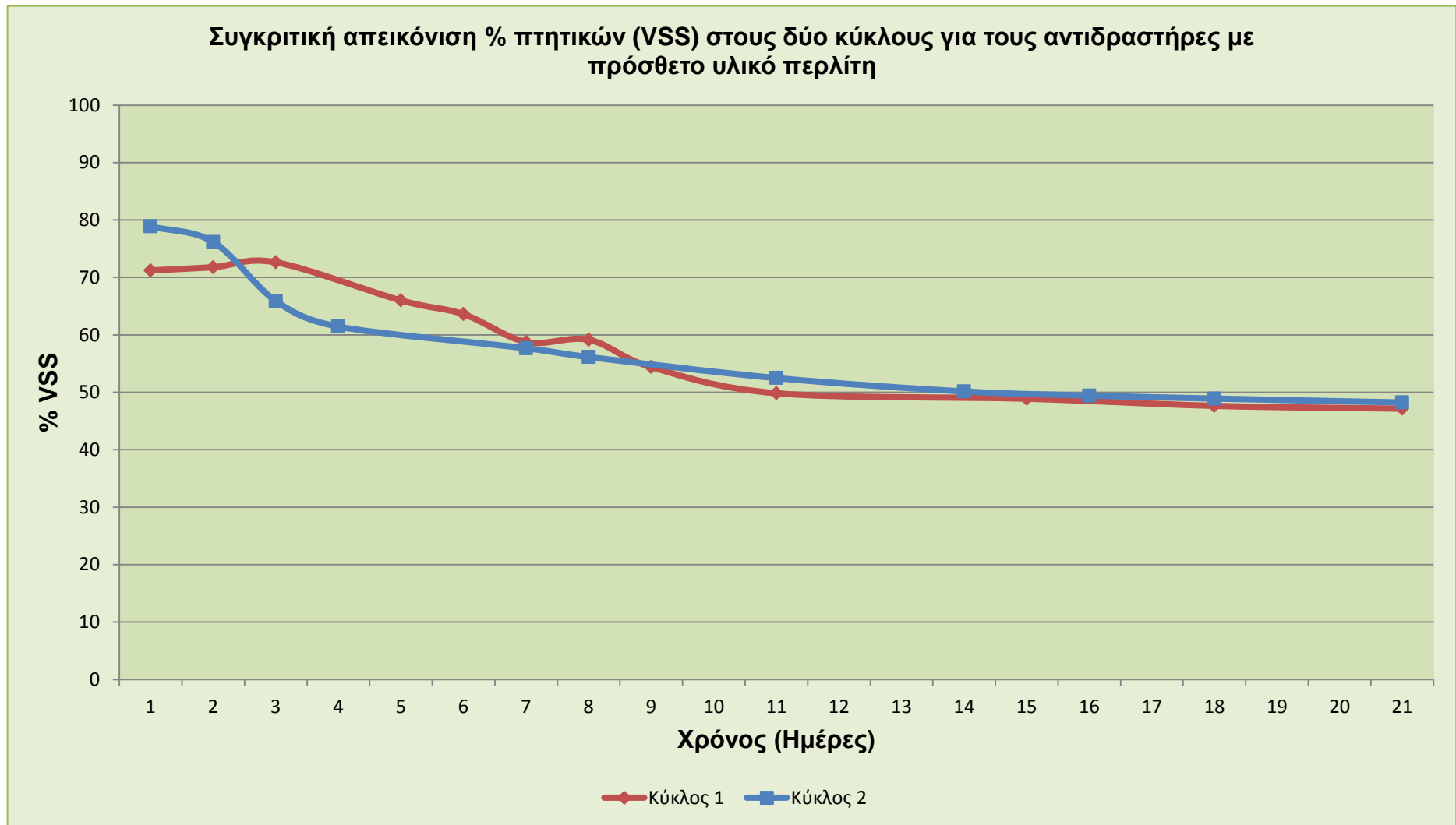
Στο διάγραμμα 7.17 παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών. Η μικρή απόκλιση που παρατηρείται κατά την 7<sup>η</sup> μέρα στον πρώτο κύκλο οφείλεται σε προσθήκη πριονιδιού που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών στον αντιδραστήρα. Ο ρυθμός μείωσης των πτητικών στερεών είναι μεγαλύτερος κατά τη θερμοφιλή φάση και στους δύο πειραματικούς κύκλους. Τέλος η σταθεροποίηση των τιμών κρίνεται ομαλή και οι τελικές τιμές απολύτως αποδεκτές.

#### 7.6.4 Αντιδραστήρας με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των % πτητικών στερεών για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.18** Τιμές % πτητικών (VSS) για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	71,23	78,89
	2	71,78	76,18
	3	72,64	65,90
	4		61,44
	5	66,00	
	6	63,60	
	7	58,76	57,68
	8	59,15	56,14
	9	54,39	
	11	49,84	52,48
	14		50,15
	15	48,88	
	16		49,43
	18	47,64	48,91
21	47,15	48,23	



**Διάγραμμα 7.18** Συγκριτική απεικόνιση της % τιμής των πτητικών στερεών (VSS) στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στο διάγραμμα 7.18 παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών. Ο ρυθμός μείωσης των πτητικών στερεών είναι μεγαλύτερος κατά τη θερμοφιλή φάση και στους δύο πειραματικούς κύκλους. Τέλος η σταθεροποίηση των τιμών κρίνεται ομαλή και οι τελικές τιμές απολύτως αποδεκτές.

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

## 7.7 Μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα

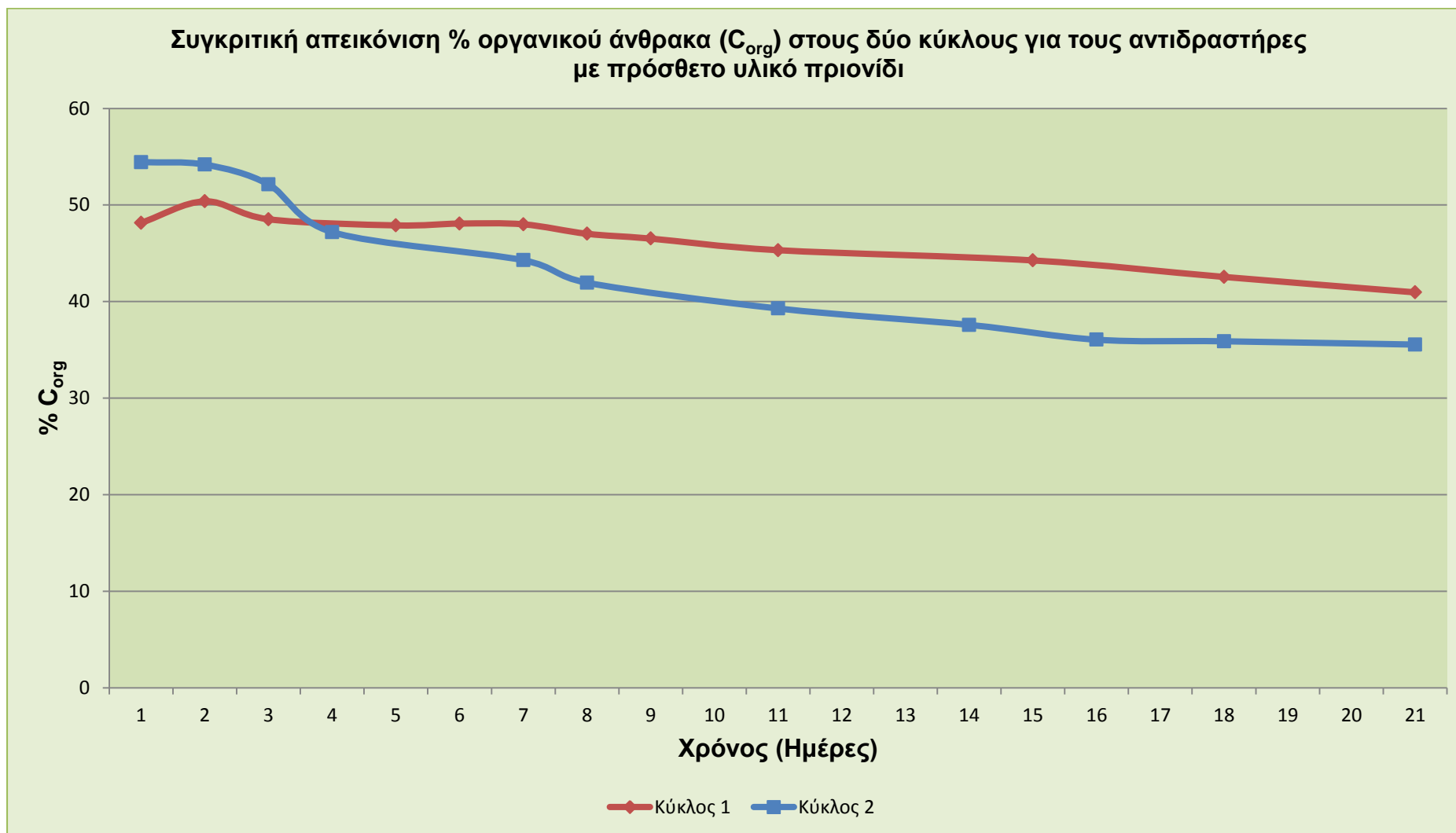
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του % ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.7.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

Πίνακας 7.19 Τιμές % οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Πριονιδιού	1	48,16	54,44
	2	50,38	54,18
	3	48,52	52,14
	4		47,19
	5	47,89	
	6	48,08	
	7	48,00	44,28
	8	47,02	41,95
	9	46,52	
	11	45,32	39,28
	14		37,58
	15	44,26	
	16		36,05
	18	42,55	35,88
	21	40,95	35,54



**Διάγραμμα 7.19** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Στο διάγραμμα 7.19 παρατηρείται ότι το αρχικό ποσοστό του οργανικού άνθρακα στον δεύτερο κύκλο είναι μεγαλύτερο από αυτό του πρώτου. Αυτό είναι λογικό και εξηγείται απόλυτα από την διαφορετική τροφοδοσία που είχαν οι δύο αντιδραστήρες. Στον δεύτερο κύκλο μειώθηκαν οι ποσότητες των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων που τροφοδότησαν τον αντιδραστήρα σε σχέση με αυτές του πρώτου και αυξήθηκαν αντίστοιχα αυτές των κυτταρινούχων υλικών. Το αποτέλεσμα ήταν το αρχικό υλικό στον δεύτερο κύκλο να είναι πιο πλούσιο σε άνθρακα σε σύγκριση με το υλικό του πρώτου.

Η κατανάλωση του άνθρακα στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό προιονίδι κρίνεται πολύ μικρή και μη αναμενόμενη. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη πως η διεργασία της κομποστοποίησης δεν ολοκληρώθηκε ορθά στους εν λόγω αντιδραστήρες.

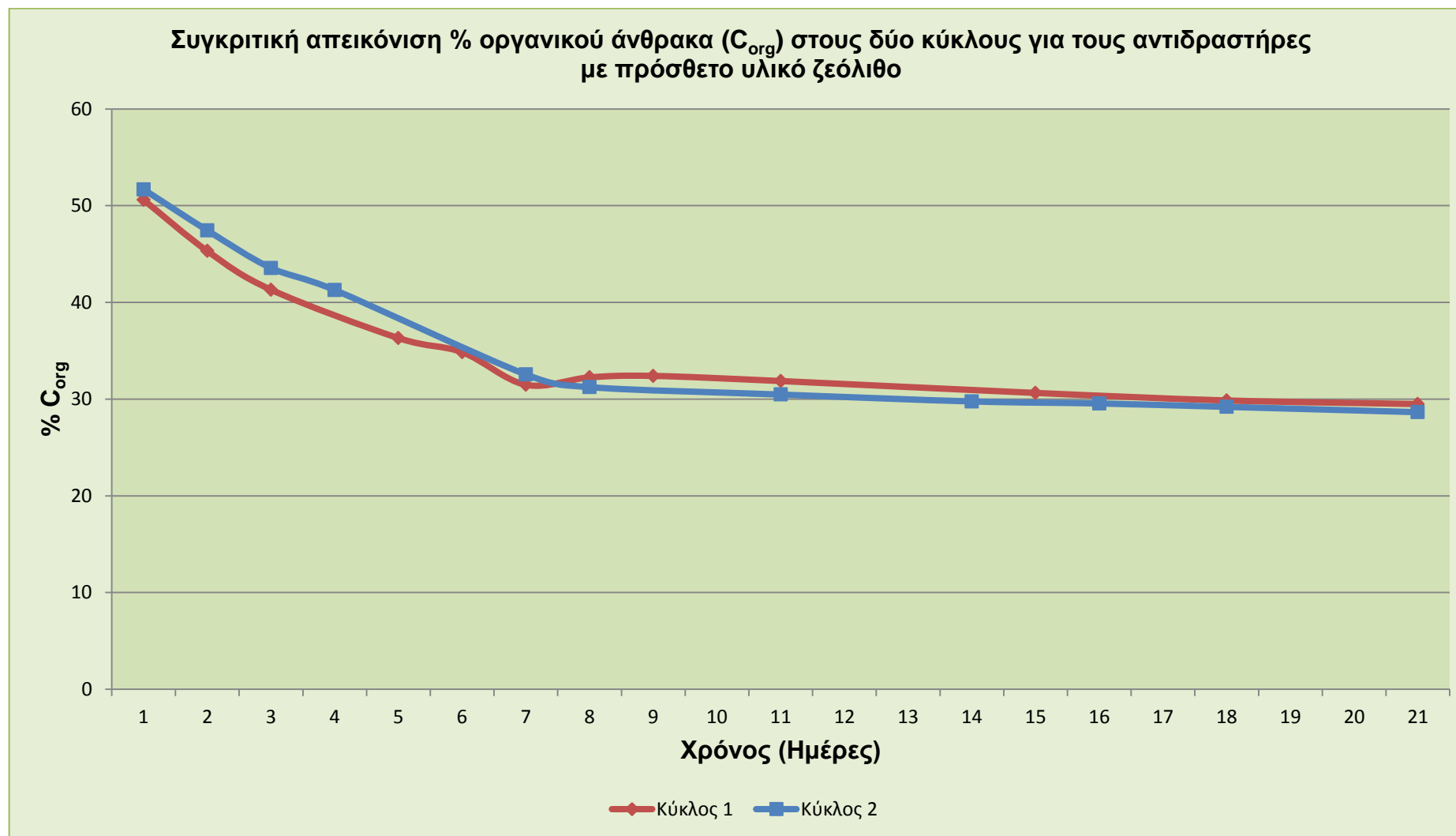
### 7.7.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.20** Τιμές % οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	50,59	51,68
	2	45,31	47,44
	3	41,31	43,55
	4		41,28
	5	36,31	
	6	34,85	
	7	31,48	32,55
	8	32,25	31,24
	9	32,40	
	11	31,87	30,47
	14		29,76
	15	30,64	
	16		29,55
	18	29,86	29,20
	21	29,49	28,65





**Διάγραμμα 7.20** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

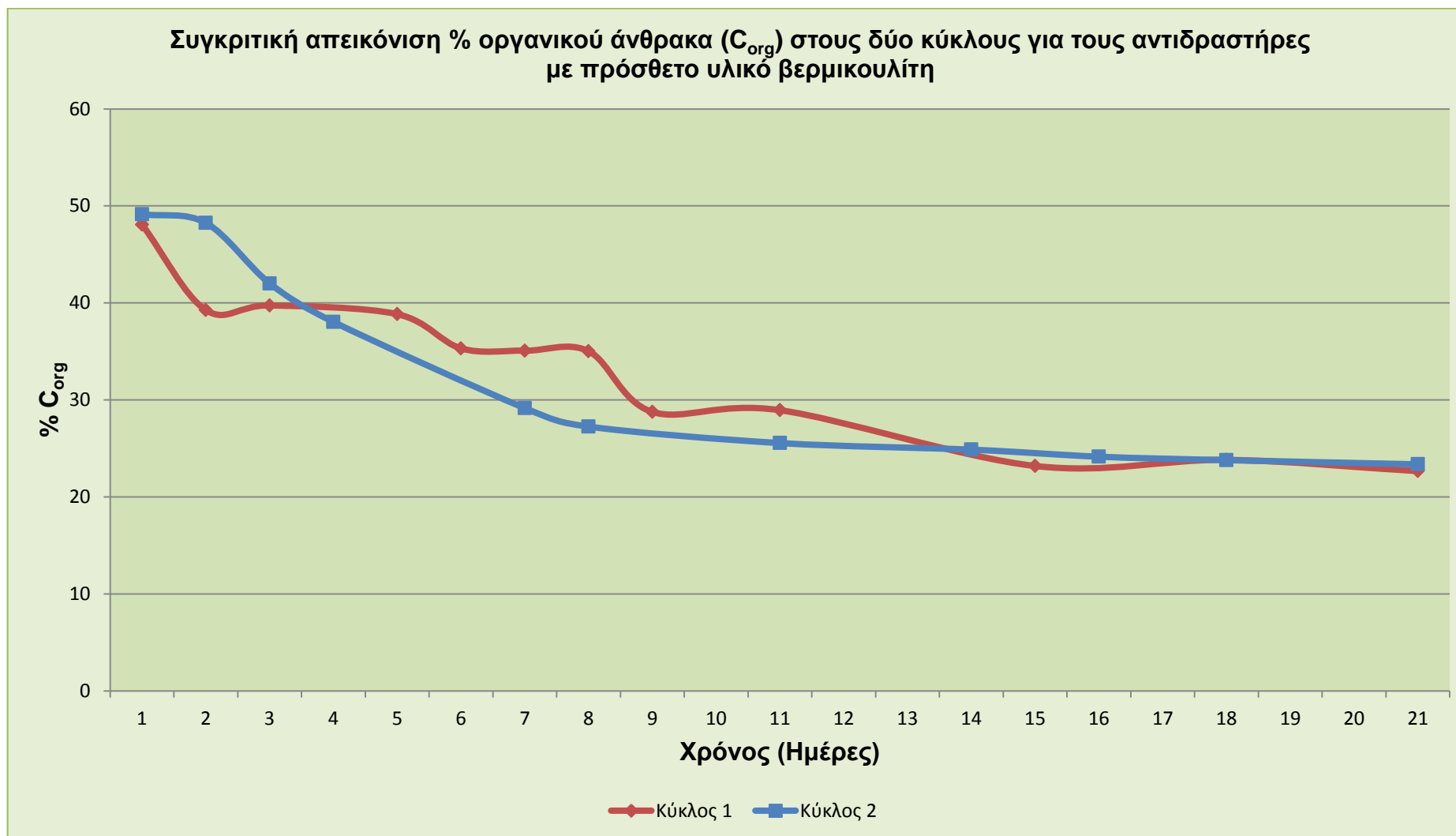
Στο διάγραμμα 7.20 παρατηρείται ότι στη θερμόφιλη φάση, που διαρκεί μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα, υπάρχει μεγάλη κατανάλωση άνθρακα. Αυτό το γεγονός είναι ενδεικτικό της ορθής διεξαγωγής της βιοαποδόμησης. Η σταθεροποίηση του ποσοστού του οργανικού άνθρακα στη συνέχεια κρίνεται ομαλή και οι τελικές τιμές πολύ ικανοποιητικές.

### 7.7.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.21** Τιμές % οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	<b>Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη</b>	1	48,07
2		39,26	48,25
3		39,74	42,01
4			38,04
5		38,84	
6		35,31	
7		35,08	29,15
8		35,02	27,25
9		28,76	
11		28,94	25,55
14			24,87
15		23,19	
16			24,15
18		23,82	23,79
21		22,66	23,36



**Διάγραμμα 7.21** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

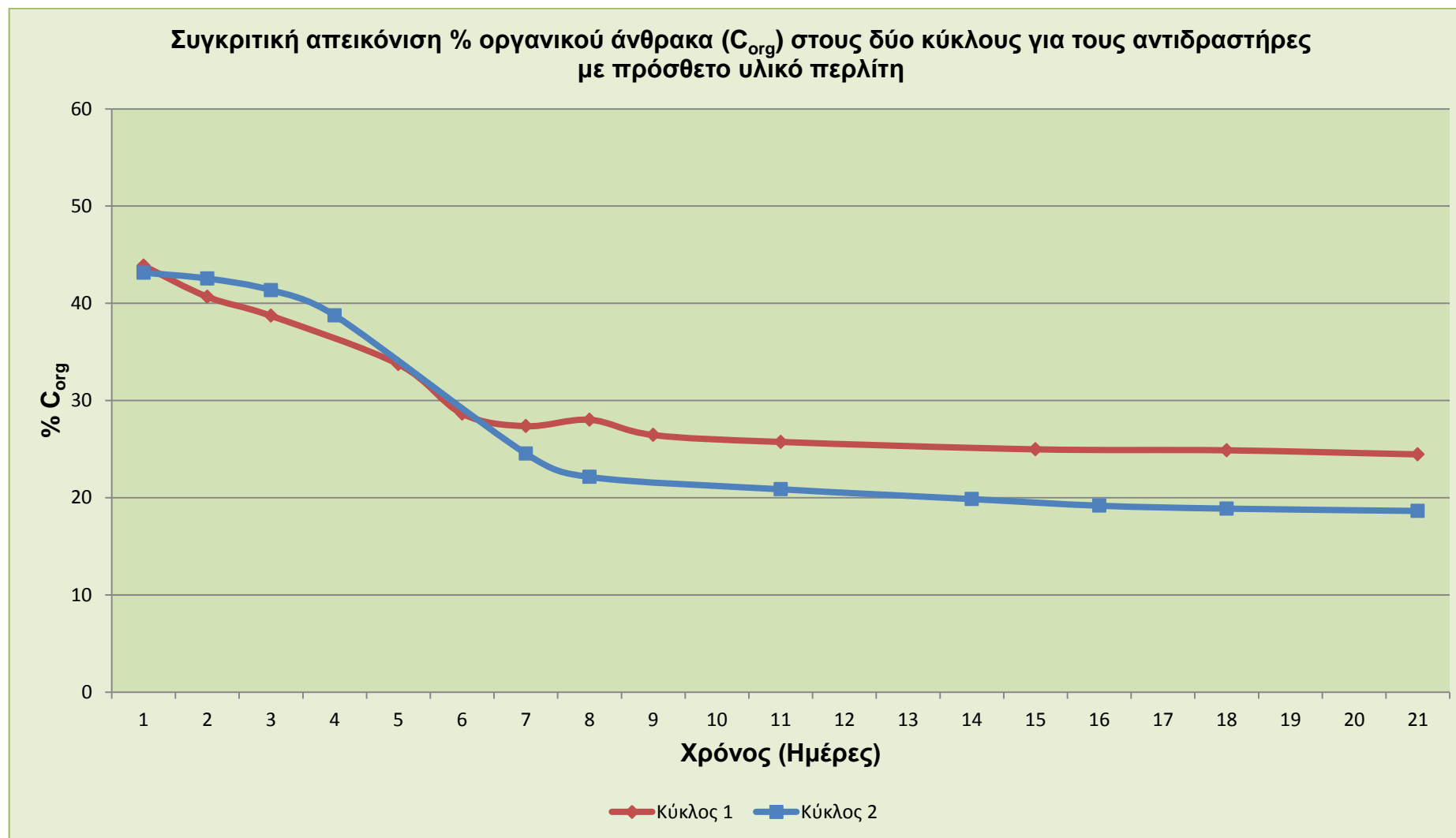
Στο διάγραμμα 7.21 παρατηρείται ότι στη θερμόφιλη φάση, που διαρκεί μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα, υπάρχει μεγάλη κατανάλωση άνθρακα. Στον πρώτο κύκλο παρατηρείται μία όχι και τόσο ομαλή μείωση του ποσοστού του οργανικού άνθρακα. Το γεγονός ότι προσθέσαμε πριονίδι στην 7<sup>η</sup> ημέρα της διεργασίας δικαιολογεί αυτήν την όχι και τόσο ομαλή μείωση. Η σταθεροποίηση του ποσοστού του οργανικού άνθρακα στη συνέχεια κρίνεται ομαλή. Οι τελικές τιμές που κυμαίνονται γύρω στο 23% είναι πολύ ικανοποιητικές.

#### 7.7.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.22** Τιμές % οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Περλίτη	1	43,86	43,15
	2	40,67	42,55
	3	38,71	41,35
	4		38,76
	5	33,72	
	6	28,64	
	7	27,36	24,54
	8	28,02	22,14
	9	26,45	
	11	25,74	20,87
	14		19,86
	15	24,98	
	16		19,18
	18	24,88	18,88
	21	24,46	18,64



**Διάγραμμα 7.22** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού οργανικού άνθρακα  $C_{org}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στο διάγραμμα 7.22 παρατηρείται ότι στη θερμοφιλή φάση, που διαρκεί μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα, υπάρχει μεγάλη κατανάλωση άνθρακα.

## 7.8 Μέτρηση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στο υπόστρωμα

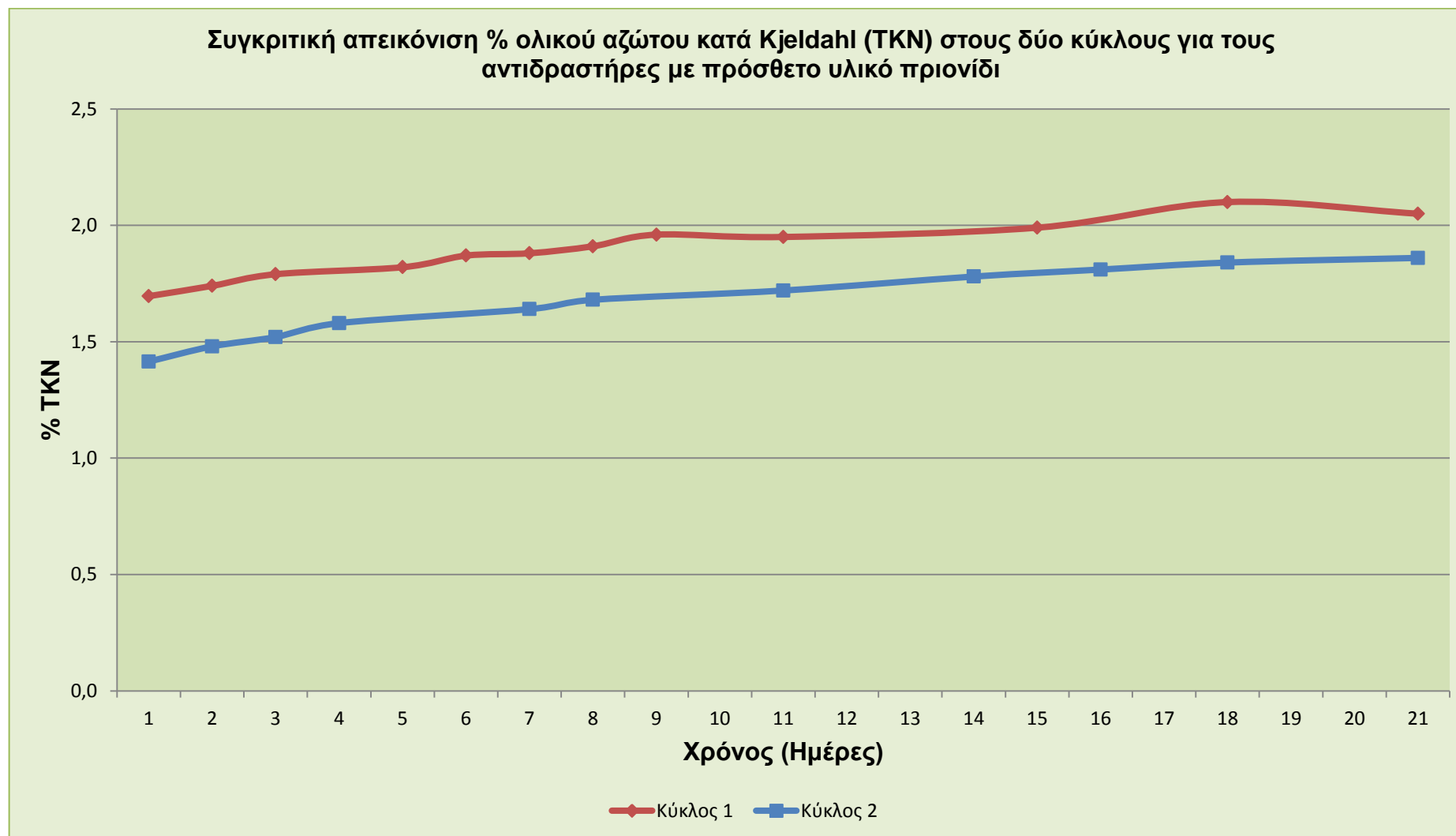
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του % ποσοστού του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.8.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.23** Τιμές % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Πριονιδιού</b>	1	1,70	1,41
	2	1,74	1,48
	3	1,79	1,52
	4		1,58
	5	1,82	
	6	1,87	
	7	1,88	1,64
	8	1,91	1,68
	9	1,96	
	11	1,95	1,72
	14		1,78
	15	1,99	
	16		1,81
	18	2,10	1,84
	21	2,05	1,86



**Διάγραμμα 7.23** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Στο διάγραμμα 7.23 παρατηρείται ότι το αρχικό ποσοστό του ολικού αζώτου στον δεύτερο κύκλο είναι μικρότερο από αυτό του πρώτου. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς του αρχικού λόγου  $C/N$  των δύο αντιδραστήρων. Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων το αρχικό υπόστρωμα είχε λόγο 30, ενώ στον δεύτερο κύκλο προσέγγιζε το 40. Αξίζει να σημειωθεί, σε αυτό το σημείο, πως αναφερόμαστε σε ποσοστό επί ξηρής μάζας, που σημαίνει πως για παράδειγμα, στον πρώτο κύκλο πειραμάτων, όπου έχουμε μεγαλύτερη διάθεση αζώτου λόγω μεγαλύτερης τροφοδοσίας σε πρωτεϊνούχα υλικά, αναμένουμε μεγαλύτερο ποσοστό ολικού αζώτου στο υπόστρωμα, κάτι που επαληθεύεται από το παραπάνω διάγραμμα. Οι τελικές τιμές, ωστόσο δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές, γεγονός που προδίδει την μη σωστή λειτουργία των εργασιών της βιοαποδόμησης στους δύο αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι.

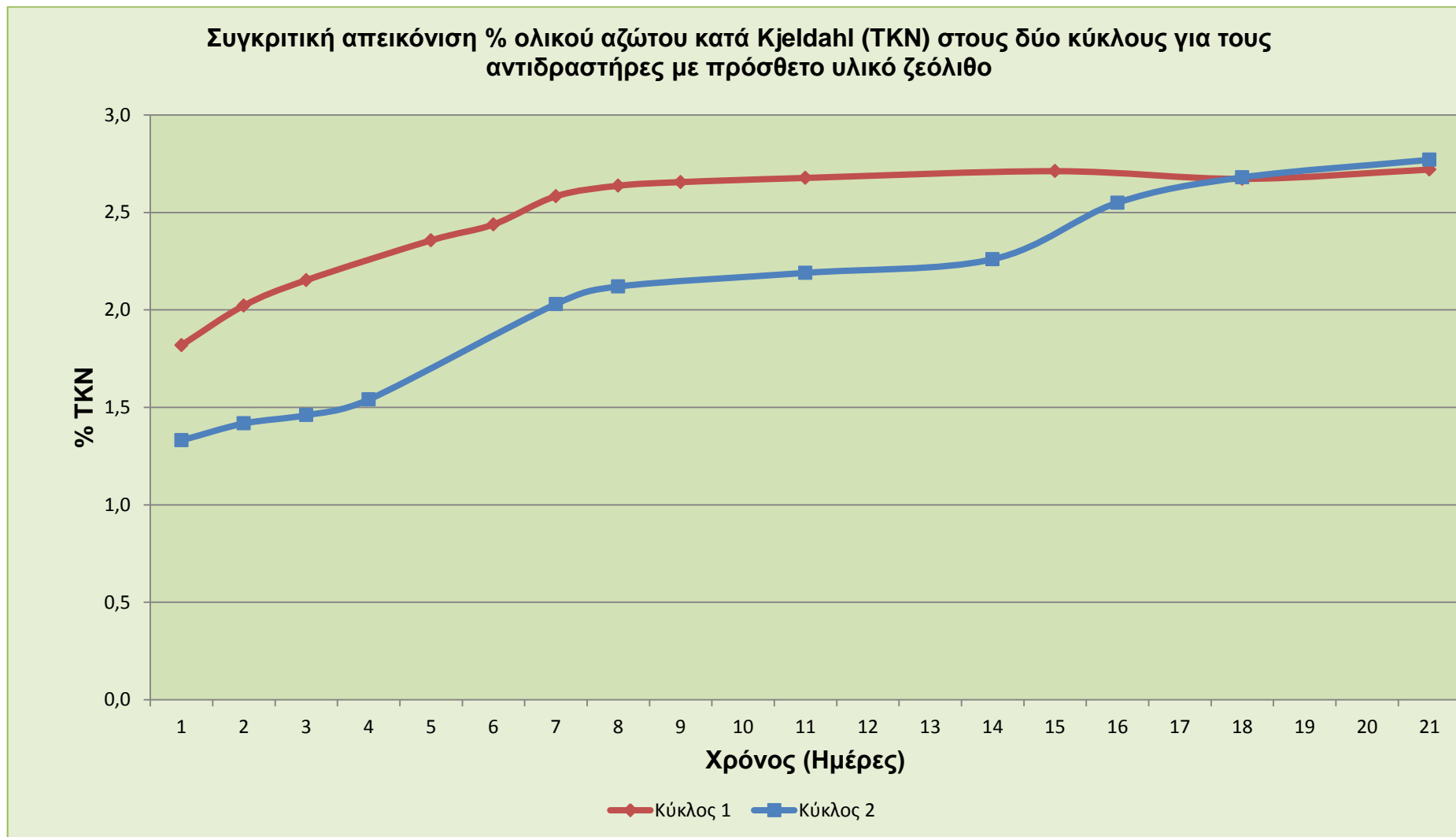
### 7.8.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.24** Τιμές % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	1,82	1,33
	2	2,02	1,42
	3	2,15	1,46
	4		1,54
	5	2,36	
	6	2,44	
	7	2,58	2,03
	8	2,64	2,12
	9	2,66	
	11	2,68	2,19
	14		2,26
	15	2,71	
	16		2,55
	18	2,67	2,68
	21	2,72	2,77





**Διάγραμμα 7.24** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

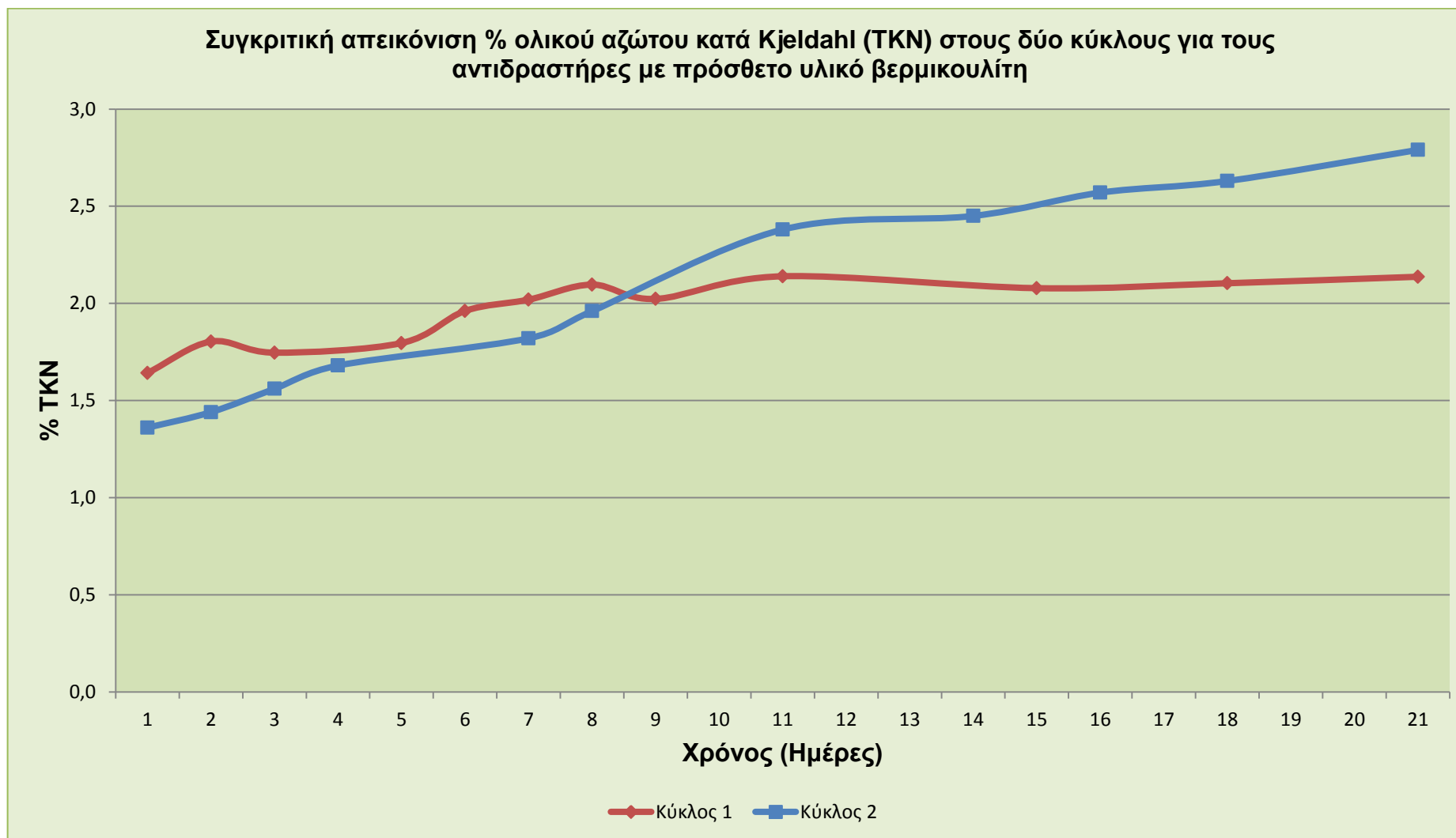
Στο διάγραμμα 7.24 παρατηρείται ότι το αρχικό ποσοστό του ολικού αζώτου στον δεύτερο κύκλο είναι μικρότερο από αυτό του πρώτου. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς του αρχικού λόγου  $C/N$  των δύο αντιδραστήρων. Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων το αρχικό υπόστρωμα είχε λόγο 30, ενώ στον δεύτερο κύκλο προσέγγιζε το 40. Παρατηρείται, επίσης, ότι το ποσοστό αζώτου στο κόμπποστ του ζεόλιθου είναι ελαφρώς αυξημένο. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι ο ζεόλιθος έχει την ιδιότητα να κατακρατά την αμμωνία οπότε μειώνονται και οι απώλειες του αζώτου μέσω της αέριας φάσης. Και στους δύο κύκλους παρατηρείται μία σταθεροποίηση των τιμών μετά το πέρας της θερμόφιλης φάσης. Η σταθεροποίηση των τιμών είναι ομαλή και οι τελικές τιμές ικανοποιητικές.

### 7.8.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.25** Τιμές % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη</b>	1	1,64	1,36
	2	1,80	1,44
	3	1,75	1,56
	4		1,68
	5	1,80	
	6	1,96	
	7	2,02	1,82
	8	2,10	1,96
	9	2,02	
	11	2,14	2,38
	14		2,45
	15	2,08	
	16		2,57
	18	2,10	2,63
	21	2,14	2,79



**Διάγραμμα 7.25** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

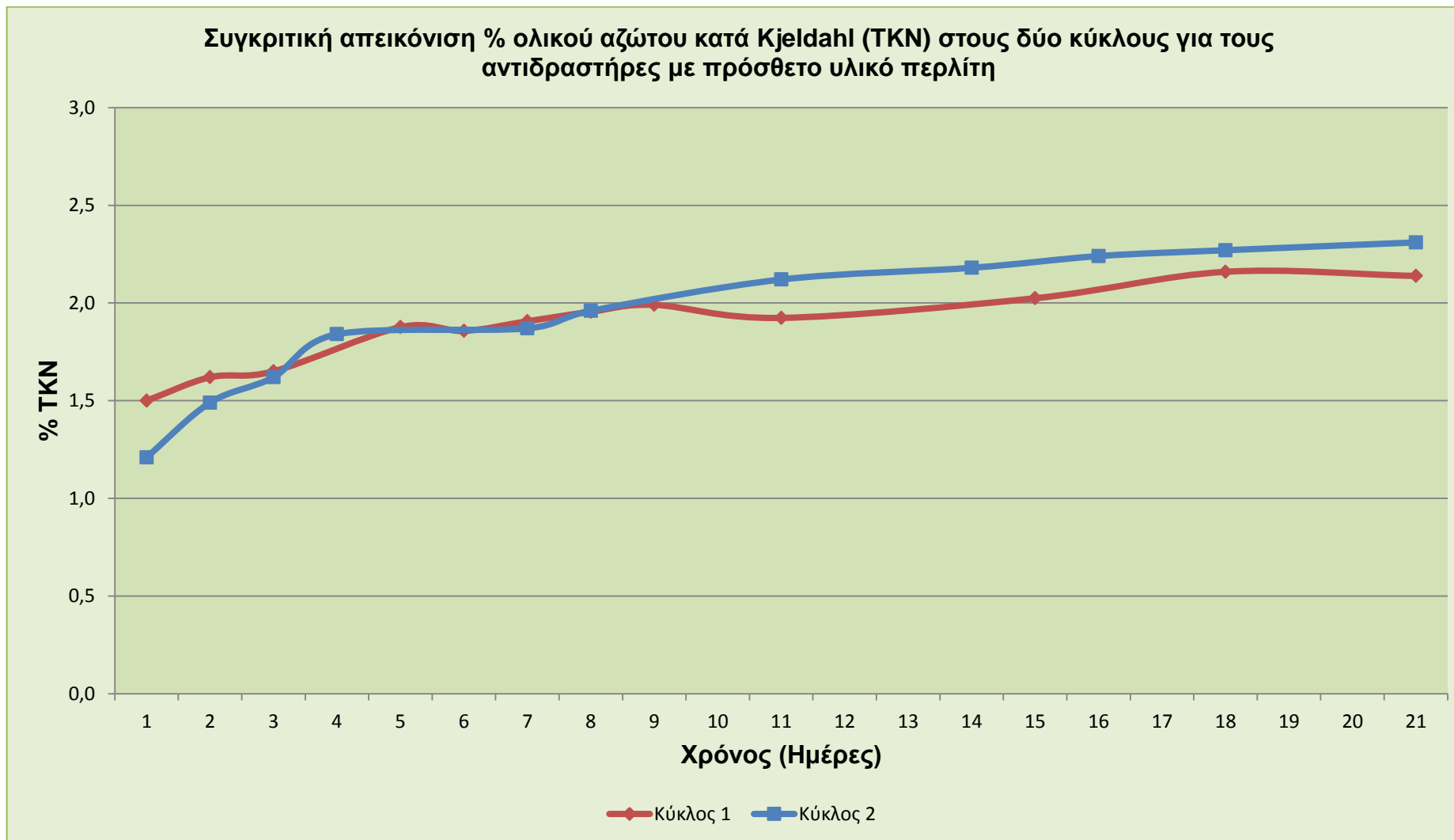
Στο διάγραμμα 7.25 παρατηρείται ότι το αρχικό ποσοστό του ολικού αζώτου στον δεύτερο κύκλο είναι μικρότερο από αυτό του πρώτου. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς του αρχικού λόγου  $C/N$  των δύο αντιδραστήρων. Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων το αρχικό υπόστρωμα είχε λόγο 30, ενώ στον δεύτερο κύκλο προσέγγιζε το 40. Και στους δύο κύκλους παρατηρείται μία αύξηση των τιμών στη θερμόφιλη φάση, που συμβαδίζει με την αντίστοιχη κατανάλωση άνθρακα. Αυξημένο είναι το ποσοστό του αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στον δεύτερο κύκλο, αλλά αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει μεγαλύτερη μείωση του οργανικού άνθρακα στον εν λόγω αντιδραστήρα. Η σταθεροποίηση των τιμών είναι ομαλή και οι τελικές τιμές ικανοποιητικές.

#### 7.8.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του % ποσοστού του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.26** Τιμές % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	1,50	1,21
2	1,62	1,49	
3	1,65	1,62	
4		1,84	
5	1,88		
6	1,86		
7	1,91	1,87	
8	1,95	1,96	
9	1,99		
11	1,92	2,12	
14		2,18	
15	2,02		
16		2,24	
18	2,16	2,27	
21	2,14	2,31	



**Διάγραμμα 7.26** Συγκριτική απεικόνιση του % ολικού αζώτου κατά Kjeldahl στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στο διάγραμμα 7.25 παρατηρείται ότι οι δύο αντιδραστήρες παρουσιάζουν παρόμοιο ρυθμό αύξησης του ποσοστού του αζώτου. Το αρχικό ποσοστό του ολικού αζώτου στον δεύτερο κύκλο είναι μικρότερο από αυτό του πρώτου. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς του αρχικού λόγου  $C/N$  των δύο αντιδραστήρων. Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων το αρχικό υπόστρωμα είχε λόγο 30, ενώ στον δεύτερο κύκλο προσέγγιζε το 40. Και στους δύο κύκλους παρατηρείται μία αύξηση των τιμών στη θερμόφιλη φάση, που συμβαδίζει με την αντίστοιχη κατανάλωση άνθρακα. Η σταθεροποίηση των τιμών είναι ομαλή και οι τελικές τιμές ικανοποιητικές.

## 7.9 Μέτρηση του λόγου $C/N$ στο υπόστρωμα

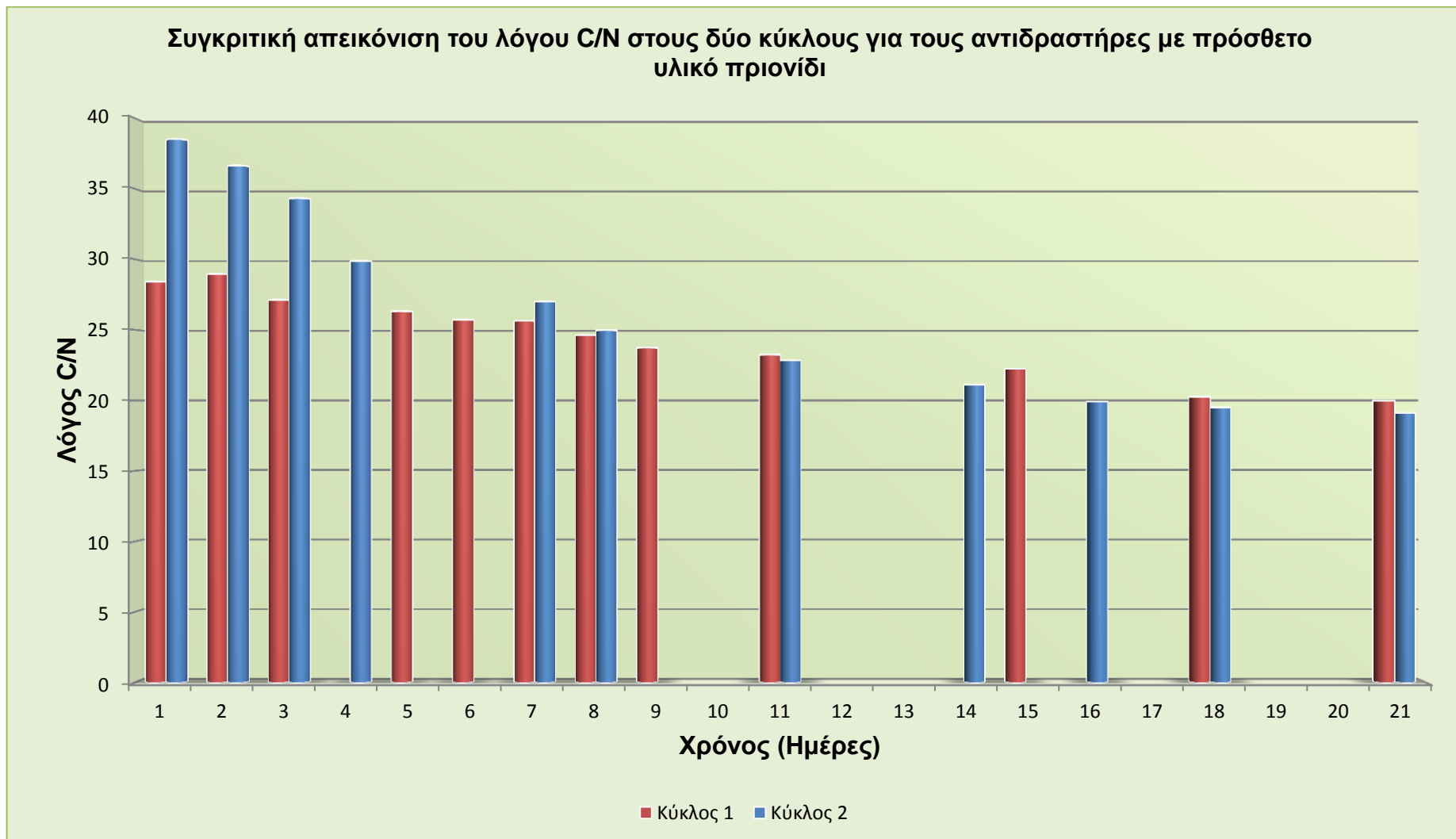
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων του λόγου  $C/N$  του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.9.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας  $C/N$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.27** Τιμές του λόγου  $C/N$  για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Πριονιδιού	1	28,40	38,48
	2	28,95	36,61
	3	27,11	34,30
	4		29,87
	5	26,31	
	6	25,71	
	7	25,63	27,00
	8	24,62	24,97
	9	23,73	
	11	23,24	22,84
	14		21,11
	15	22,24	
	16		19,92
	18	20,26	19,50
	21	19,98	19,11



**Διάγραμμα 7.27** Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Στο διάγραμμα 7.27 παρατηρείται ότι ο αρχικός λόγος  $C/N$  του πρώτου κύκλου προσεγγίζει το 30 που ήταν και ο στόχος της αρχικής τροφοδοσίας. Αντίστοιχα στον δεύτερο κύκλο πειραμάτων προσεγγίζεται ο αρχικός λόγος 40 με μεγάλη επιτυχία. Στη συνέχεια διακρίνεται μία μείωση του λόγου και στους δύο αντιδραστήρες κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης, λόγω κατανάλωσης του οργανικού άνθρακα του υποστρώματος. Περαιτέρω μείωση θα ήταν αναμενόμενη, αλλά απουσία κάποιου ορυκτού, οι τελικές τιμές είναι οριακά υψηλές και προσεγγίζουν την τιμή 20.

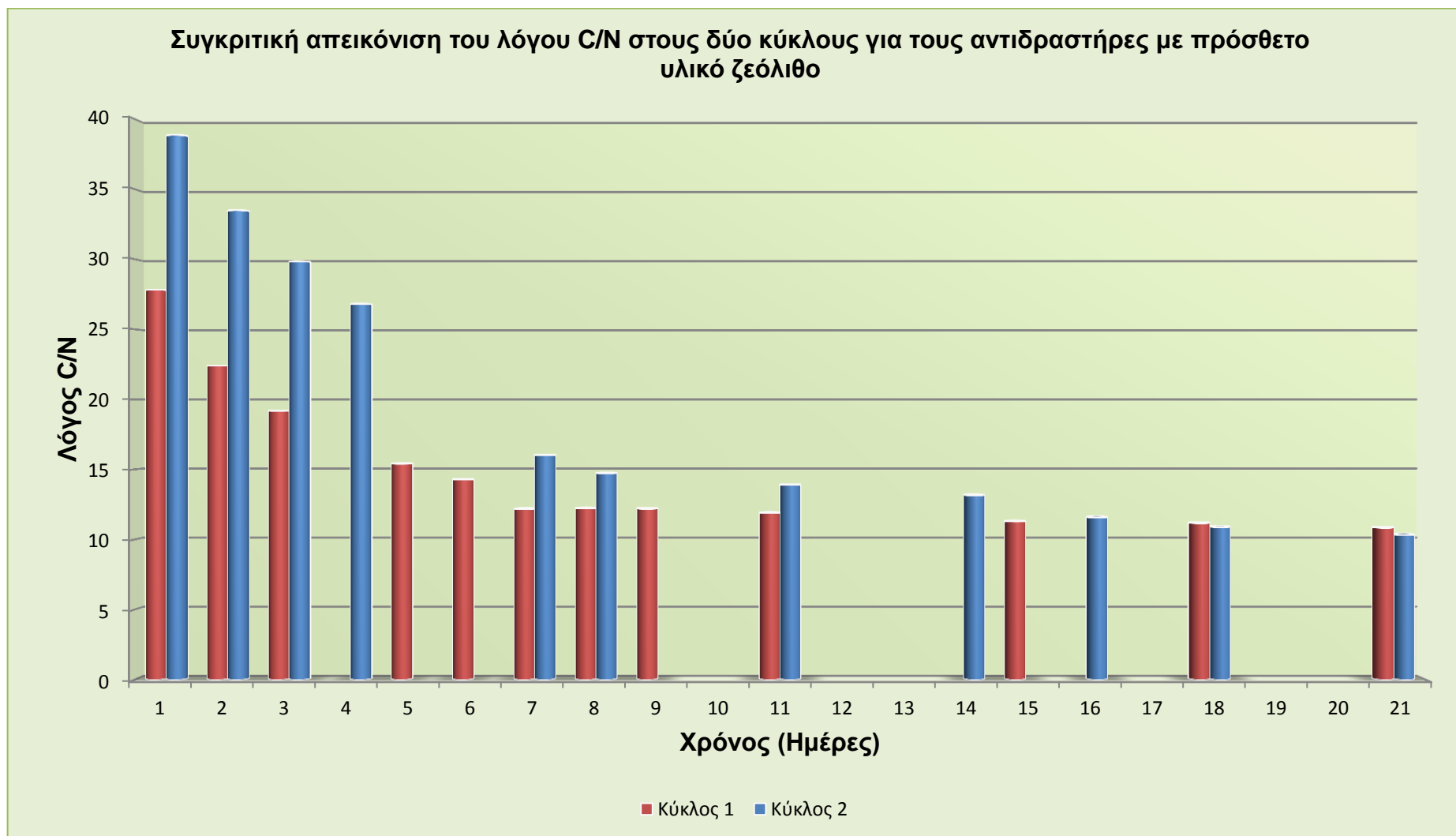
### 7.9.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας  $C/N$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.28** Τιμές του λόγου  $C/N$  για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	27,81	38,84
	2	22,41	33,48
	3	19,19	29,83
	4		26,81
	5	15,41	
	6	14,29	
	7	12,19	16,03
	8	12,23	14,74
	9	12,20	
	11	11,90	13,91
	14		13,17
	15	11,30	
	16		11,59
	18	11,17	10,90
21	10,85	10,34	





**Διάγραμμα 7.28** Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

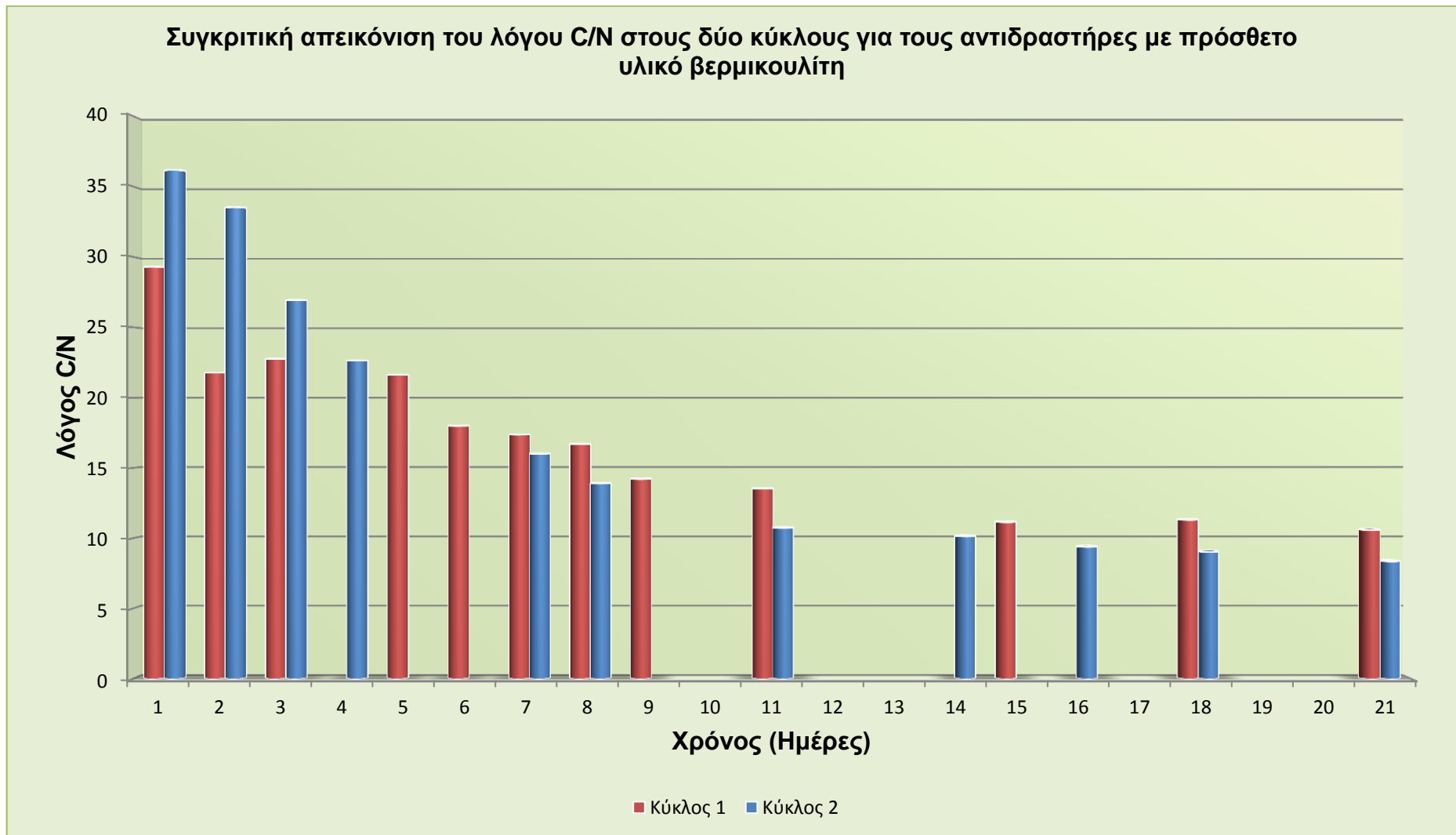
Στο διάγραμμα 7.28 παρατηρείται ότι ο αρχικός λόγος  $C/N$  των δύο κύκλων προσέγγισε τις επιθυμητές τιμές. Στις πρώτες μέρες, και κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης, σημειώνεται ραγδαία μείωση του λόγου και στους δύο αντιδραστήρες. Στη συνέχεια παρατηρείται μία ομαλή σταθεροποίηση των τιμών οι οποίες τελικά προσεγγίζουν την τιμή 10. Αυτό δείχνει πως το παραγόμενο προϊόν είναι καλής ποιότητας και η διαδικασία της βιοαποδόμησης διεξήχθη με επιτυχία.

### 7.9.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας  $C/N$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.29** Τιμές του λόγου  $C/N$  για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη</b>	1	29,28	36,14
	2	21,77	33,50
	3	22,76	26,93
	4		22,64
	5	21,63	
	6	18,01	
	7	17,37	16,02
	8	16,70	13,90
	9	14,22	
	11	13,53	10,74
	14		10,15
	15	11,16	
	16		9,40
	18	11,32	9,05
	21	10,60	8,37



**Διάγραμμα 7.29** Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

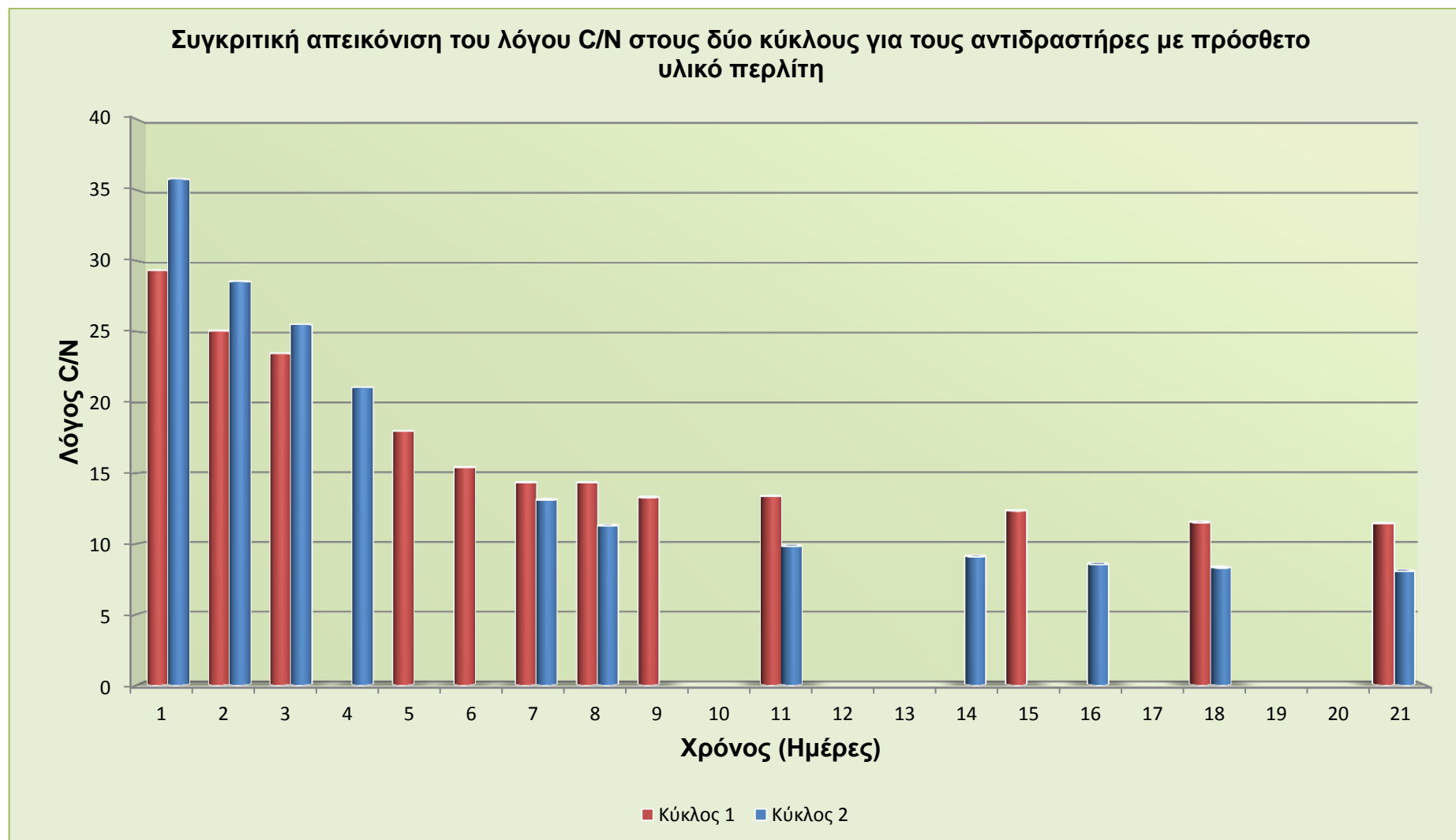
Στο διάγραμμα 7.28 παρατηρείται ότι ο αρχικός λόγος  $C/N$  των δύο κύκλων προσέγγισε τις επιθυμητές τιμές. Στις πρώτες μέρες, και κατά τη διάρκεια της θερμόφιλης φάσης, σημειώνεται μείωση του λόγου στους δύο αντιδραστήρες. Στη συνέχεια παρατηρείται μία ομαλή σταθεροποίηση των τιμών οι οποίες τελικά προσεγγίζουν την τιμή 10. Αυτό δείχνει πως το παραγόμενο προϊόν είναι καλής ποιότητας και η διαδικασία της βιοαποδόμησης διεξήχθη με επιτυχία.

#### 7.9.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της αναλογίας  $C/N$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.30** Τιμές του λόγου  $C/N$  για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	29,32	35,77
	2	25,07	28,55
	3	23,47	25,51
	4		21,07
	5	17,97	
	6	15,42	
	7	14,35	13,12
	8	14,33	11,29
	9	13,29	
	11	13,38	9,84
	14		9,11
	15	12,34	
	16		8,56
	18	11,52	8,32
21	11,44	8,07	



**Διάγραμμα 7.30** Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στο διάγραμμα 7.28 παρατηρείται ότι ο αρχικός λόγος  $C/N$  των δύο κύκλων προσέγγισε τις επιθυμητές τιμές. Η μείωση του λόγου, και στους δύο αντιδραστήρες, κατά τη θερμόφιλη φάση είναι απότομη και χαρακτηριστική της ευρείας κατανάλωσης του οργανικού άνθρακα του υποστρώματος. Οι τελικές σταθεροποιημένες τιμές κρίνονται ικανοποιητικές και είναι ενδεικτικές της άριστης διεργασίας της βιοαποδόμησης.

## 7.10 Μέτρηση νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) στο υπόστρωμα

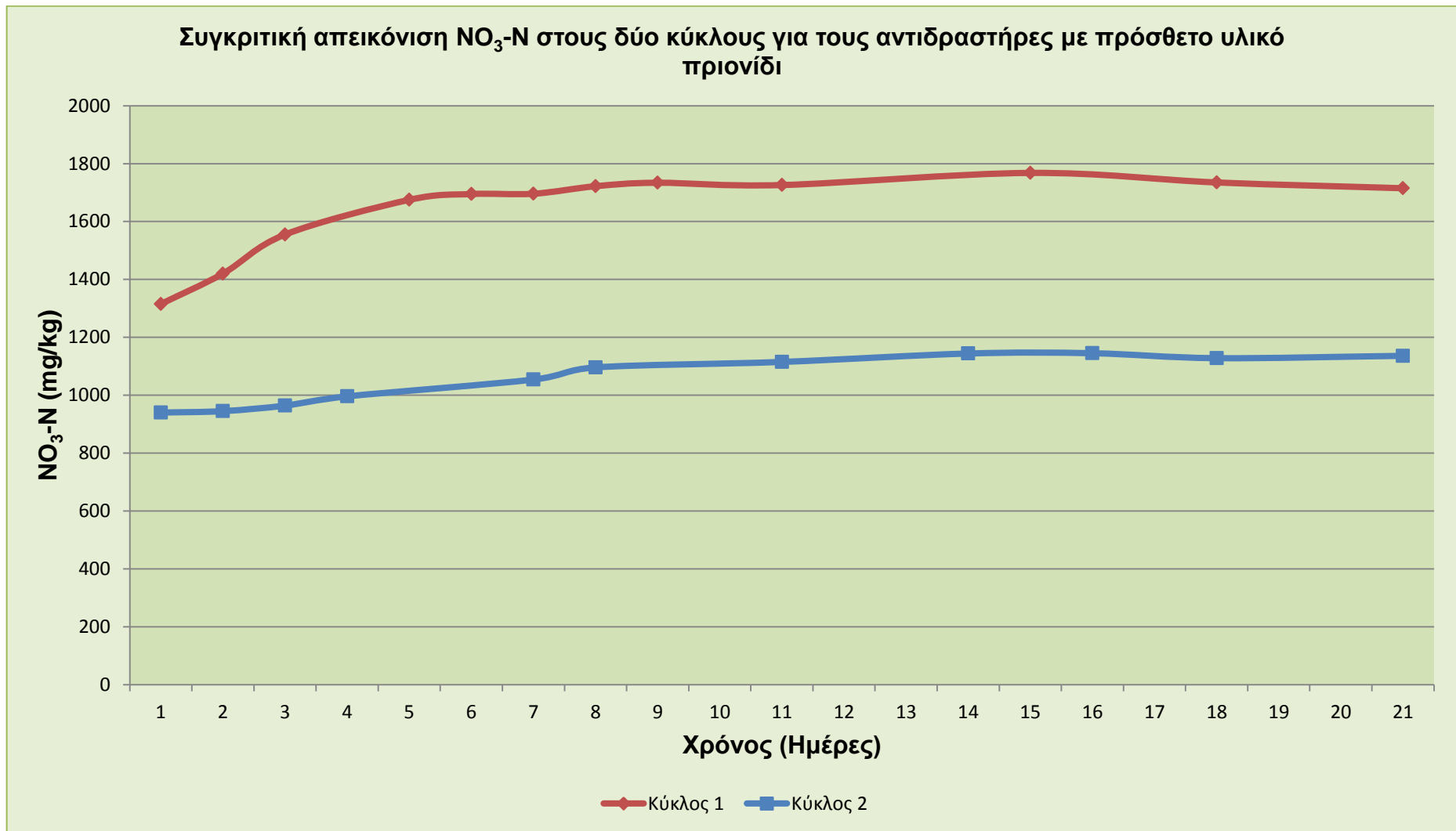
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.10.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών  $NO_3^- - N$  σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.31** Τιμές των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Πριονιδιού	1	1315	940
	2	1420	945
	3	1555	964
	4		996
	5	1675	
	6	1695	
	7	1696	1054
	8	1722	1096
	9	1734	
	11	1726	1115
	14		1144
	15	1768	
	16		1145
	18	1735	1128
	21	1715	1136



**Διάγραμμα 7.31** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Στο διάγραμμα 7.31 παρατηρείται ότι η αρχική συγκέντρωση του αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου σε νιτρικά είναι μεγαλύτερη από αυτήν στον αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου. Αυτό εξηγείται λόγω της διαφοράς της αρχικής αναλογίας του υποστρώματος στους δύο αντιδραστήρες. Σε αυτόν του πρώτου κύκλου έχουμε περισσότερες πρωτεΐνες και υδατάνθρακες.

Θα αναμενόταν η συγκέντρωση, αρχικά να ήταν σταθερή, και μετά το πέρας της θερμοφιλής φάσης να αρχίσει να αυξάνεται λόγω άρσης της διάσπασης των οργανικών οξέων, και της αποδέσμευσης αμμωνιακών. Δεν παρατηρείται κάτι τέτοιο, γεγονός που προδίδει την ύπαρξη αμμωνιακών καθ' όλη τη διάρκεια της βιοαποδόμησης και ως εκ τούτου την ύπαρξη συνθηκών που δεν ευνόησαν τη διεργασία βιοαποδόμησης.

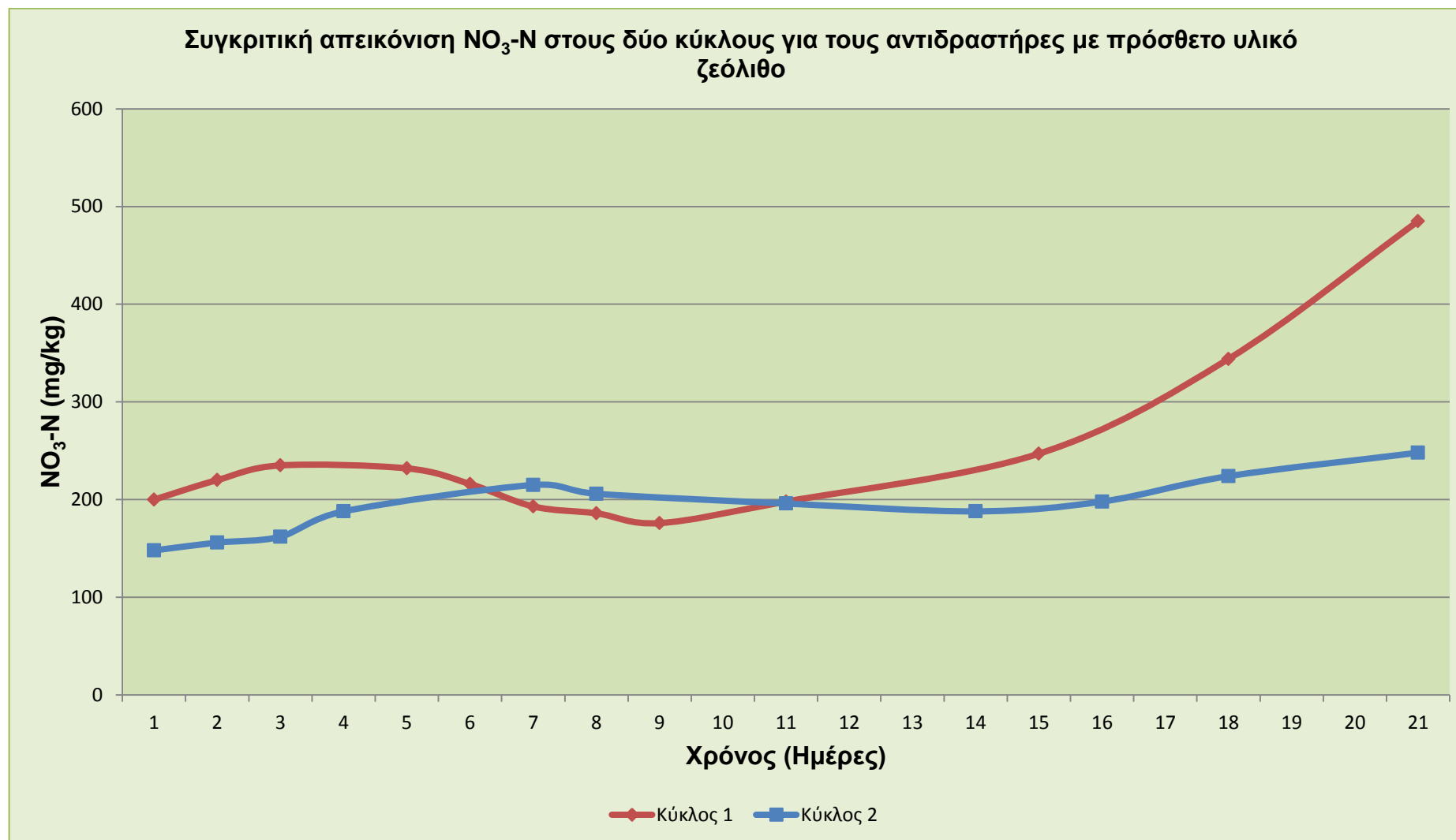
### 7.10.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.32** Τιμές των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	200	148
2	220	156	
3	235	162	
4		188	
5	232		
6	216		
7	193	215	
8	186	206	
9	176		
11	198	196	
14		188	
15	247		
16		198	
18	344	224	
21	485	248	





**Διάγραμμα 7.32** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

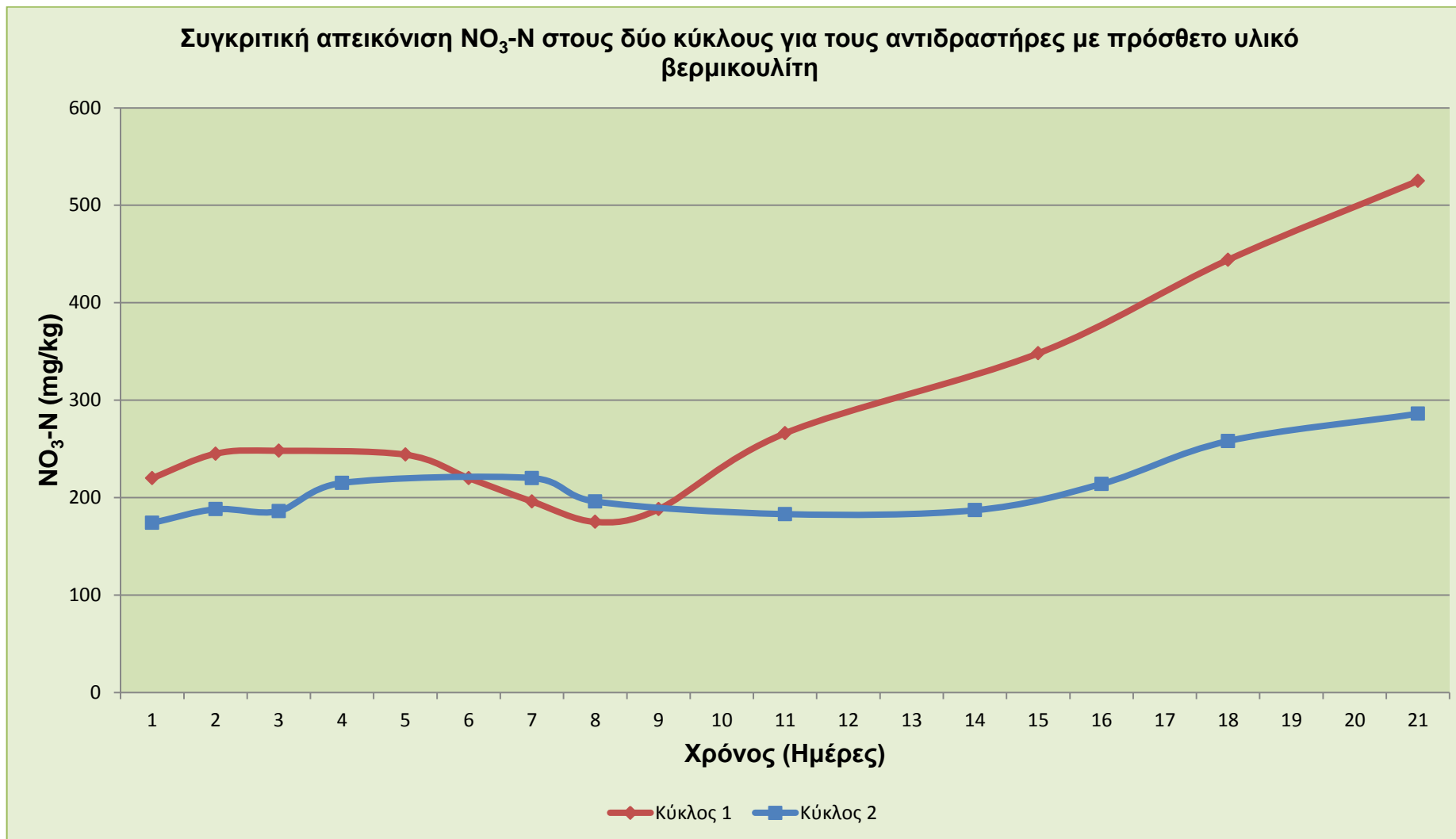
Στο διάγραμμα 7.32 παρατηρείται μία σταθεροποίηση των τιμών κατά τη θερμόφιλη φάση. Ύστερα, με το πέρας της θερμόφιλης φάσης, ξεκινά η αποδόμηση των αμμωνιακών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ομαλή αύξηση των νιτρικών όπως φαίνεται ξεκάθαρα και στο παραπάνω διάγραμμα. Το γεγονός των υψηλών τελικών τιμών στον αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου πειραμάτων δικαιολογείται απόλυτα από την μεγαλύτερη αρχική διάθεση αζώτου, απόρροια της αρχικής τροφοδοσίας του υποστρώματος που ήταν πιο πλούσια σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες.

### 7.10.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.33** Τιμές των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
<b>Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη</b>	1	220	174
	2	245	188
	3	248	186
	4		215
	5	244	
	6	220	
	7	196	220
	8	175	196
	9	188	
	11	266	183
	14		187
	15	348	
	16		214
	18	444	258
	21	525	286



**Διάγραμμα 7.33** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

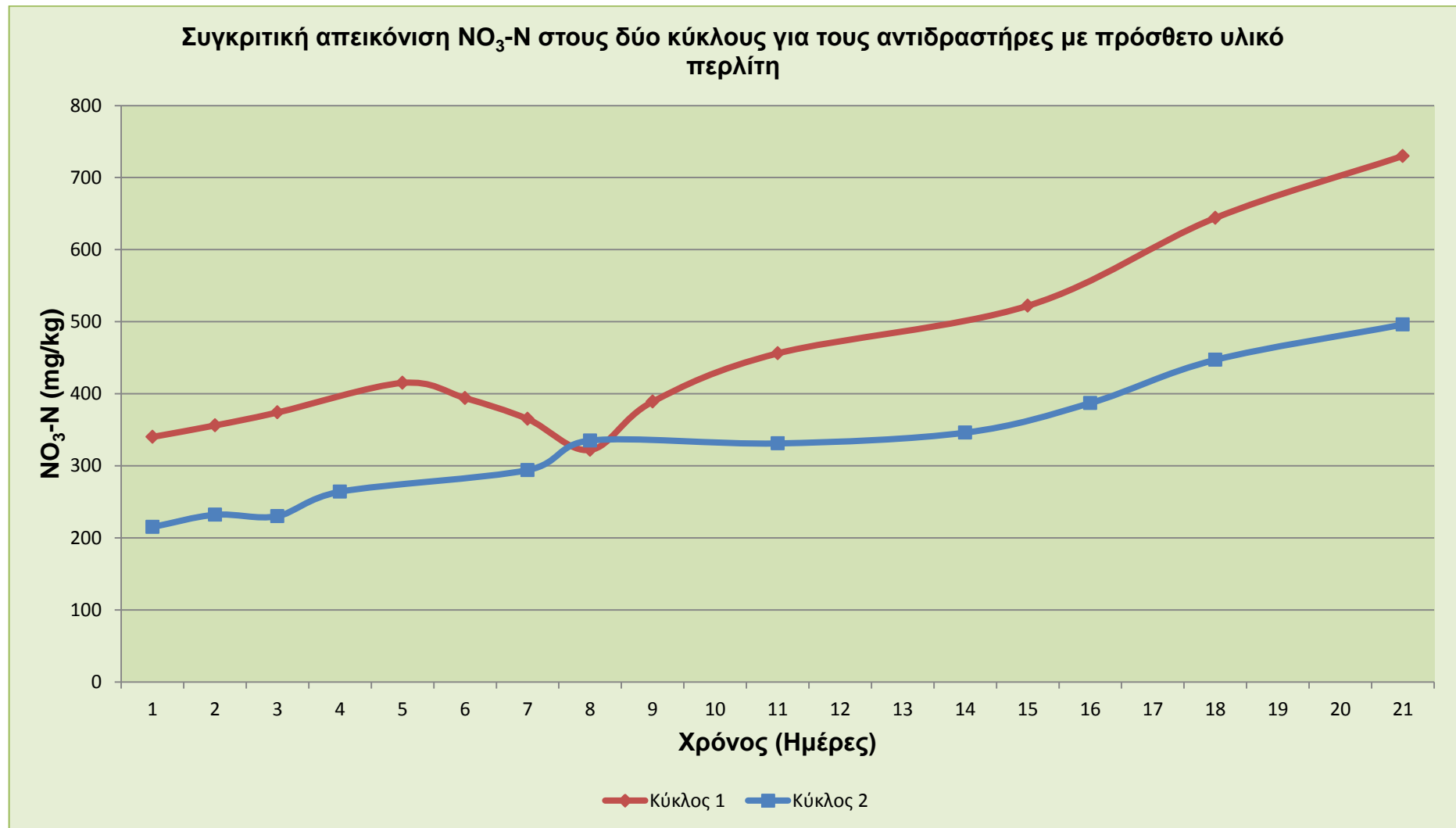
Στο διάγραμμα 7.33 παρατηρείται μία σταθεροποίηση των τιμών κατά τη θερμόφιλη φάση. Ύστερα, με το πέρας της θερμόφιλης φάσης, ξεκινά η αποδόμηση των αμμωνιακών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ομαλή αύξηση των νιτρικών όπως φαίνεται ξεκάθαρα και στο παραπάνω διάγραμμα. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι αφενός, διακόπτεται η παραγωγή αμμωνιακών, αφετέρου, τα ήδη υπάρχοντα αμμωνιακά μετατρέπονται σε νιτρικά συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην ραγδαία αύξηση που παρατηρούμε στο διάγραμμα.

#### 7.10.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.34** Τιμές των νιτρικών ( $NO_3^- - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
Αντιδραστήρας Περλίτη	1	340	215
	2	356	232
	3	374	230
	4		264
	5	415	
	6	394	
	7	365	294
	8	322	335
	9	389	
	11	456	331
	14		346
	15	522	
	16		387
	18	644	447
	21	730	496



**Διάγραμμα 7.34** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στο διάγραμμα 7.34 παρατηρείται ένα σημείο καμπής στο τέλος της θερμόφιλης φάσης. Από αυτό το σημείο και ύστερα διακόπτεται η παραγωγή αμμωνιακών και τα ήδη υπάρχοντα αμμωνιακά μετατρέπονται σε νιτρικά, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην αύξηση των τιμών που παρατηρούμε στο διάγραμμα. Οι υψηλές τελικές τιμές στον αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου πειραμάτων δικαιολογείται απόλυτα από την μεγαλύτερη αρχική διάθεση αζώτου, απόρροια της αρχικής τροφοδοσίας του υποστρώματος που ήταν πιο πλούσια σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες.

## 7.11 Μέτρηση αμμωνιακών ( $NH_4^+ - N$ ) στο υπόστρωμα

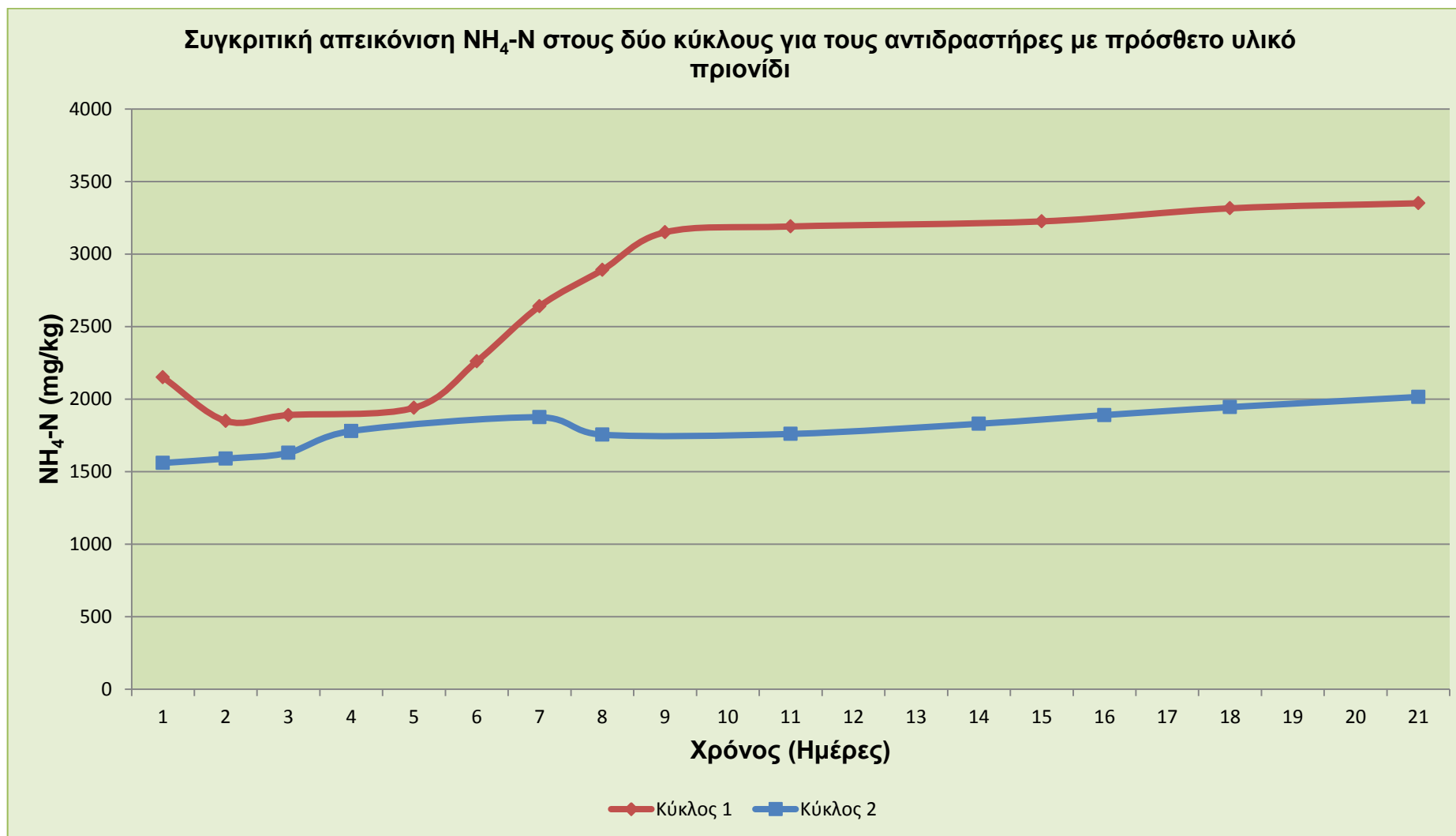
Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  του υποστρώματος για κάθε τύπο αντιδραστήρα (με κριτήριο το πρόσθετο) που χρησιμοποιήθηκε.

### 7.11.1 Αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό το πριονίδι στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.35** Τιμές των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του πριονιδιού στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Πριονιδιού	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	2150	1560
	2	1850	1590
	3	1890	1630
	4		1780
	5	1940	
	6	2260	
	7	2640	1875
	8	2890	1755
	9	3150	
	11	3190	1760
	14		1830
	15	3225	
	16		1890
	18	3315	1945
21	3350	2015	



**Διάγραμμα 7.35** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι

Στο διάγραμμα 7.35 παρατηρείται μία αύξηση των αμμωνιακών κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, ωστόσο, θα περιμέναμε μία πτώση της τιμής των αμμωνιακών ύστερα από τη θερμοφιλη φάση είτε λόγω απώλειάς τους στον αέρα, είτε λόγω μετατροπής τους σε νιτρικά. Αυτό δεν συμβαίνει, καθώς παρατηρείται μία αύξηση των αμμωνιακών μετά το πέρας της θερμοφιλης φάσης. Είναι εξαιρετικά πιθανή η ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών στους δύο αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό πριονίδι.

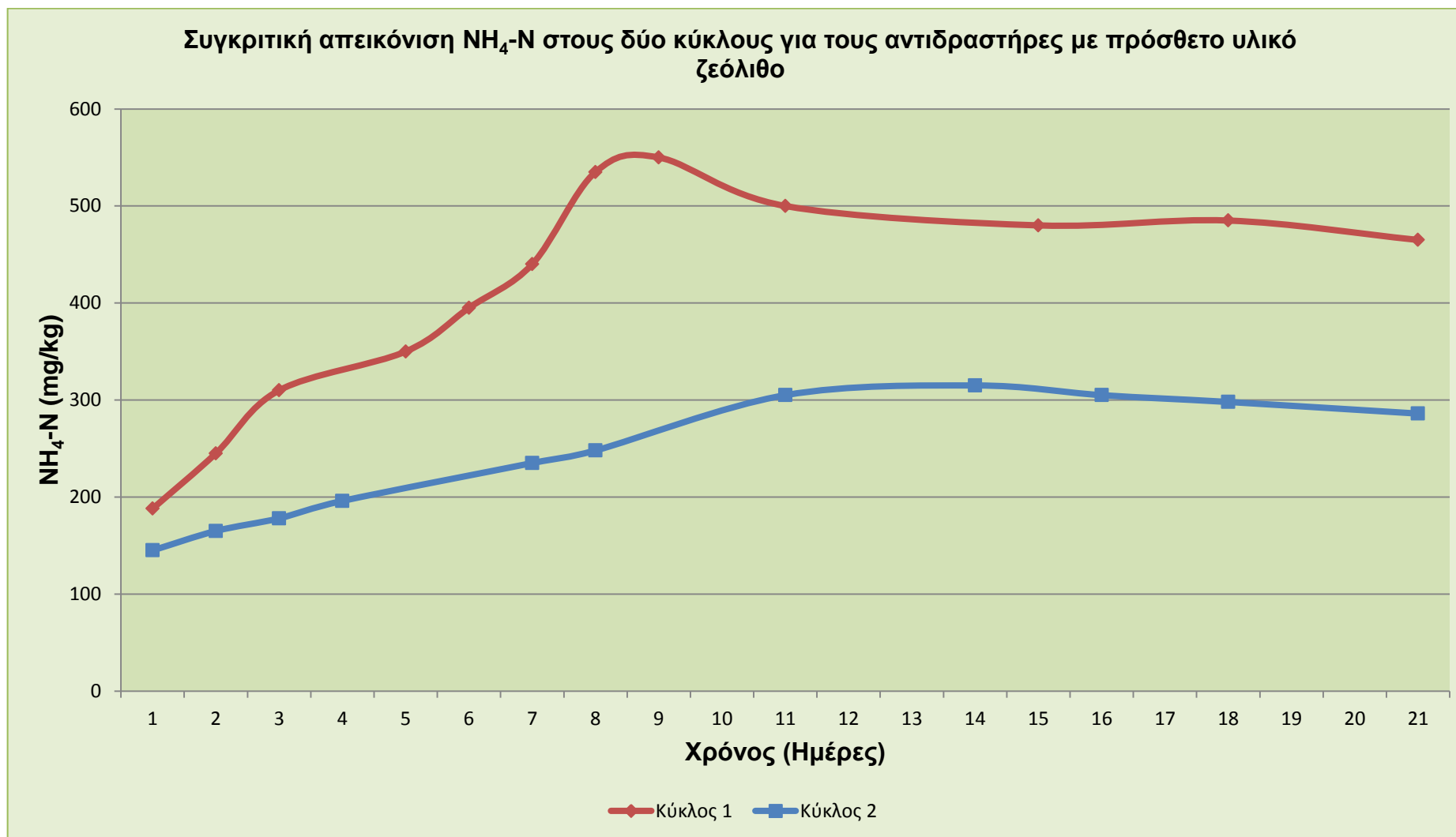
### 7.11.2 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον ζεόλιθο στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.36** Τιμές των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του ζεόλιθου στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Ζεόλιθου	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	188	145
2	245	165	
3	310	178	
4		196	
5	350		
6	395		
7	440	235	
8	535	248	
9	550		
11	500	305	
14		315	
15	480		
16		305	
18	485	298	
21	465	286	





**Διάγραμμα 7.36** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό ζεόλιθο

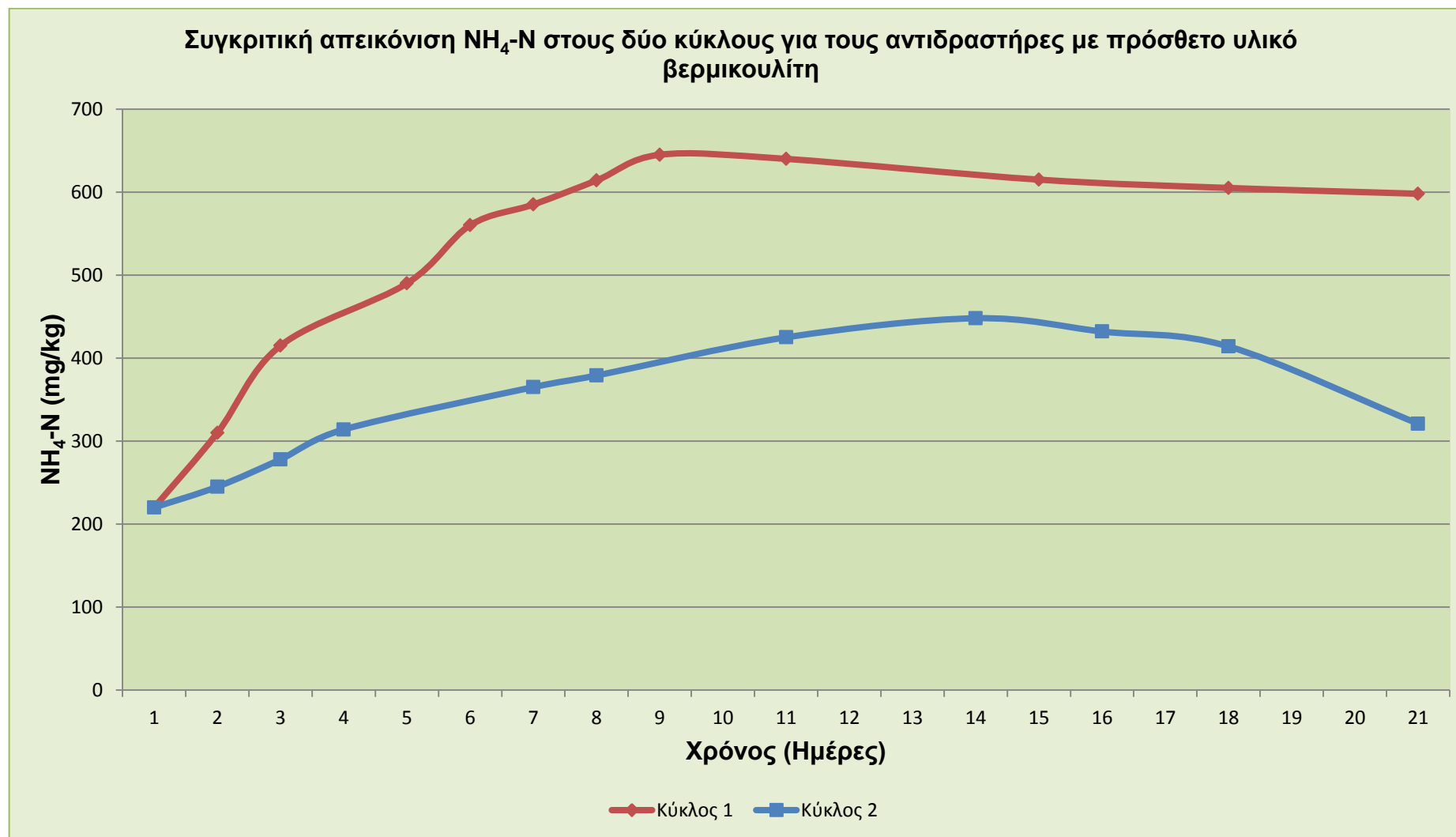
Και οι δύο καμπύλες του διαγράμματος 7.36 ακολουθούν την ίδια πορεία. Στις πρώτες ημέρες της διεργασίας, και συγκεκριμένα κατά τη θερμόφιλη φάση σημειώνεται αύξηση των αμμωνιακών. Αυτή η αύξηση προκαλείται από την απελευθέρωση αμμωνιακών κατά τη διάσπαση των οργανικών οξέων. Στη συνέχεια τα ήδη υπάρχοντα αμμωνιακά ελαττώνονται ελαφρά, δείγμα της μετατροπής τους σε νιτρικά ή της απελευθέρωσής τους στον περιβάλλοντα αέρα. Οι αυξημένες τιμές στον αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου πειραμάτων οφείλεται στην αρχική σύσταση του υποστρώματος, όπου σε σχέση με τον αντιδραστήρα του δεύτερου κύκλου ήταν πιο πλούσιο σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες.

### 7.11.3 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.37** Τιμές των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του βερμικουλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Βερμικουλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	220	220
2	310	245	
3	415	278	
4		314	
5	490		
6	560		
7	585	365	
8	614	379	
9	645		
11	640	425	
14		448	
15	615		
16		432	
18	605	414	
21	598	321	



**Διάγραμμα 7.37** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό βερμικουλίτη

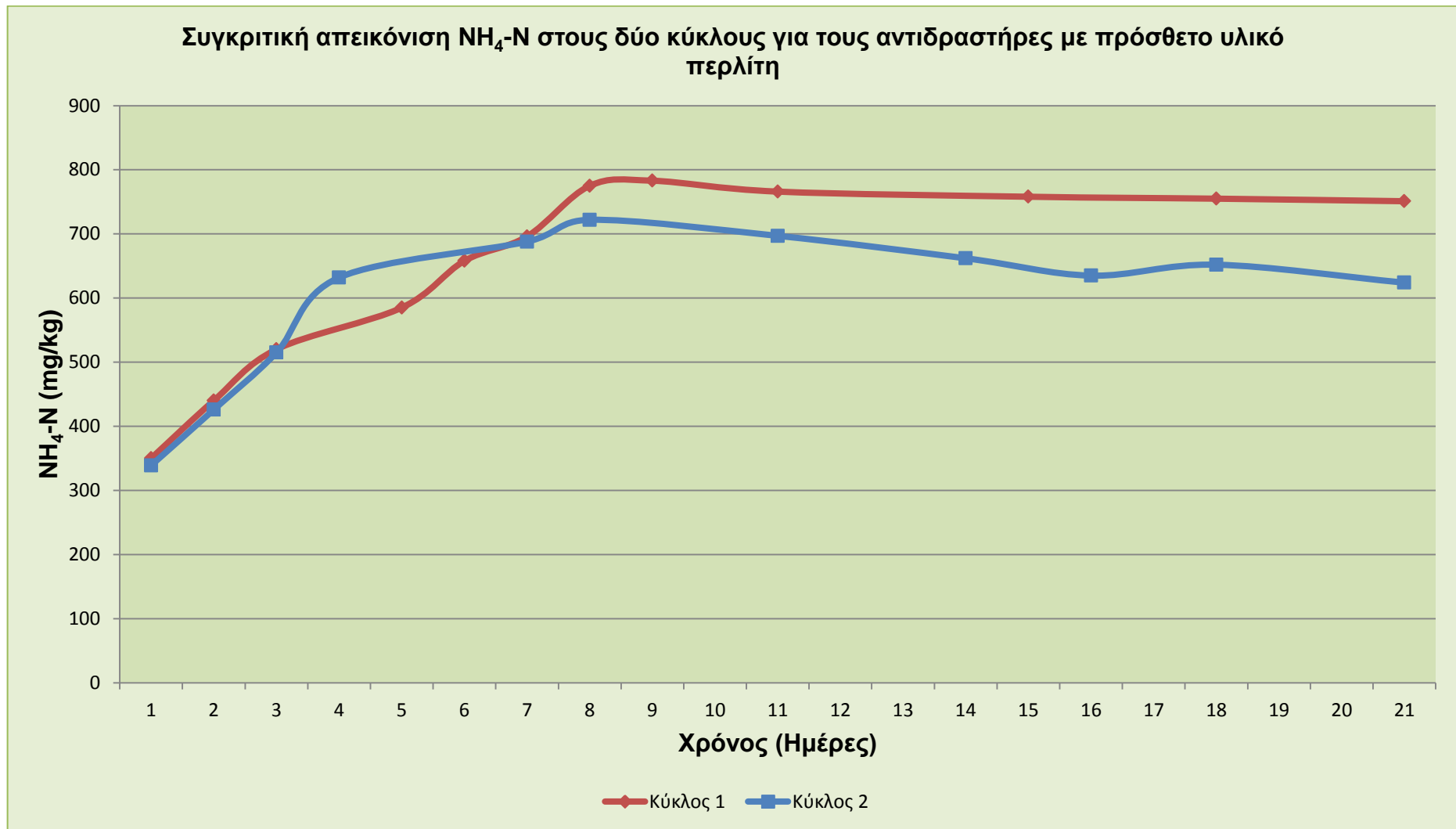
Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα, κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης, η αύξηση της τιμής των αμμωνιακών είναι αναμενόμενη (διάγραμμα 7.37). Στον αντιδραστήρα του πρώτου κύκλου πειραμάτων ο ρυθμός αυτής της αύξησης είναι μεγαλύτερος από αυτόν του δεύτερου κύκλου. Η διαφορά εντοπίζεται στην αρχική διάθεση αζώτου στο υπόστρωμα. Με το πέρας της θερμοφιλης φάσης παρατηρείται η αναμενόμενη σταθεροποίηση και ύστερα η ήπια πτώση των τιμών.

#### 7.11.4 Αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό τον περλίτη στους δύο πειραματικούς κύκλους.

**Πίνακας 7.38** Τιμές των νιτρικών ( $NH_4^+ - N$ ) σε  $mg/kg$  για τον αντιδραστήρα του περλίτη στους δύο κύκλους

Αντιδραστήρας Περλίτη	Ημέρα	Κύκλος 1	Κύκλος 2
	1	350	339
2	440	426	
3	520	515	
4		632	
5	585		
6	658		
7	696	688	
8	775	722	
9	783		
11	766	697	
14		662	
15	758		
16		635	
18	755	652	
21	751	624	



**Διάγραμμα 7.38** Συγκριτική απεικόνιση των νιτρικών ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) σε  $\text{mg/kg}$  στους δύο κύκλους για τους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη

Στο διάγραμμα 7.38 παρατηρούνται ευκρινώς τα διάφορα στάδια της πορείας της συγκέντρωσης των αμμωνιακών στους αντιδραστήρες με πρόσθετο υλικό περλίτη. Και στους δύο 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 στον περιβάλλοντα αέρα. Τέλος, ο αντιδραστήρας του πρώτου κύκλου, 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.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

#### **8.1 Εισαγωγή**

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

#### **8.2 Αξιολόγηση του κόμπποστ**

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

##### **8.2.1 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 κόμπποστ 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 κύκλους.

### **8.2.2 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 κόμπους 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.

### **8.2.3 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 επιβαρυμένο 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 0C. Το γεγονός αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να αποφανθούμε με σιγουριά την απουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο τελικό προϊόν.

### **8.3 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 , όπως το  $pH$ , η υγρασία, ο λόγος  $C/N$ , 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.

Έτσι, το τελικό προϊόν (μέτρηση την 50<sup>η</sup> ημέρα) σε όλους τους κύκλους πειραμάτων, βρίσκεται εντός των ορίων που θέτει η διεθνής βιβλιογραφία, για όλες τις βασικές παραμέτρους, που προσδιορίστηκαν πειραματικά. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται εάν η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων πραγματοποιηθεί με προδιαγραφές που θέτουν συγκεκριμένες χώρες. Εάν επιλεγεί ενδεικτικά η παράμετρος  $C/N$ , παρατηρείται ότι ο Καναδάς θέτει ως άνω όριο ωριμότητας την τιμή 25. Παράλληλα, τα όρια που θέτει η διεθνής βιβλιογραφία για την ίδια παράμετρο είναι 10 – 20. Και στις δύο περιπτώσεις τα πειραματικά αποτελέσματα για όλους τους κύκλους είναι εντός ορίων. Αντίστοιχα συμβαίνουν και για τις υπόλοιπες παραμέτρους που προσδιορίστηκαν πειραματικά.

Όσον αφορά στην υγρασία, η ιδανική τιμή στο τελικό προϊόν κυμαίνεται μεταξύ 35% και 45% 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 αποτεθεί εύκολα στο έδαφος. Οι καταγεγραμμένες πειραματικές τιμές κυμαίνονται από 53,25% μέχρι 68,76% και οφείλεται στην υψηλή αρχική υγρασία των υλικών τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό πριν την χρήση του κόμποστ συνίσταται να αφεθεί το τελικό προϊόν εκτός αντιδραστήρα για μια χρονική περίοδο ενός μήνα για την περαιτέρω μείωση της υγρασίας του.

Στο ώριμο κόμποστ η τιμή του  $pH$  κυμαίνεται γύρω στο 7 ενώ το εύρος τιμών  $pH$  μετά από 60 ημέρες, κυμαίνεται από 7,8 έως 8,5. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το προϊόν βρίσκεται στη φάση ωρίμανσης, καθώς παρουσιάζει βελτιωμένες τιμές σε σχέση με την ημέρα εξαγωγής του από τους αντιδραστήρες. Ωστόσο δεν είναι πλήρως σταθεροποιημένο και απαιτείται η παραμονή του σε υπαίθριο χώρο μέχρι την πλήρη σταθεροποίησή του.

### 8.3.1 Ιχνοστοιχεία

Τα στοιχεία  $Na$ ,  $Ca$  και  $Mg$  είναι απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών όταν είναι παρόντα σε μικρές ποσότητες (ιχνοστοιχεία).

Τα ιόντα νατρίου, βρίσκονται στο έδαφος κυρίως σε μικρές ποσότητες υπό μορφή  $NaCl$ . Όταν η συγκέντρωση των αλάτων αυξηθεί τότε το άλας του χλωριούχου νατρίου, συσσωρεύεται επιφανειακά επηρεάζοντας δυσμενώς την ανάπτυξη των φυτών.

Τα ιόντα μαγνησίου, συνήθως απορροφώνται εύκολα από τα φυτά. Η πιο συνήθης μορφή του στο έδαφος είναι ο δολομίτη ( $CaCO_3MgCO_3$ ). Η ιοντοεναλλάξιμη μορφή του μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), αποτελεί το 5% του ολικού φορτίου και είναι αυτή που έχει άμεση σχέση με τη θρέψη των φυτών.

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 (διαλυτότητα από 10 – 15  $mg Ca/l$ ). 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.

Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζονται οι τιμές της βιβλιογραφίας για το ποσοστό των ιχνοστοιχείων στο κόμποστ.

**Πίνακας 8.1** Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων % με βάση τις διεθνείς τιμές της βιβλιογραφίας [38],[39],[40]

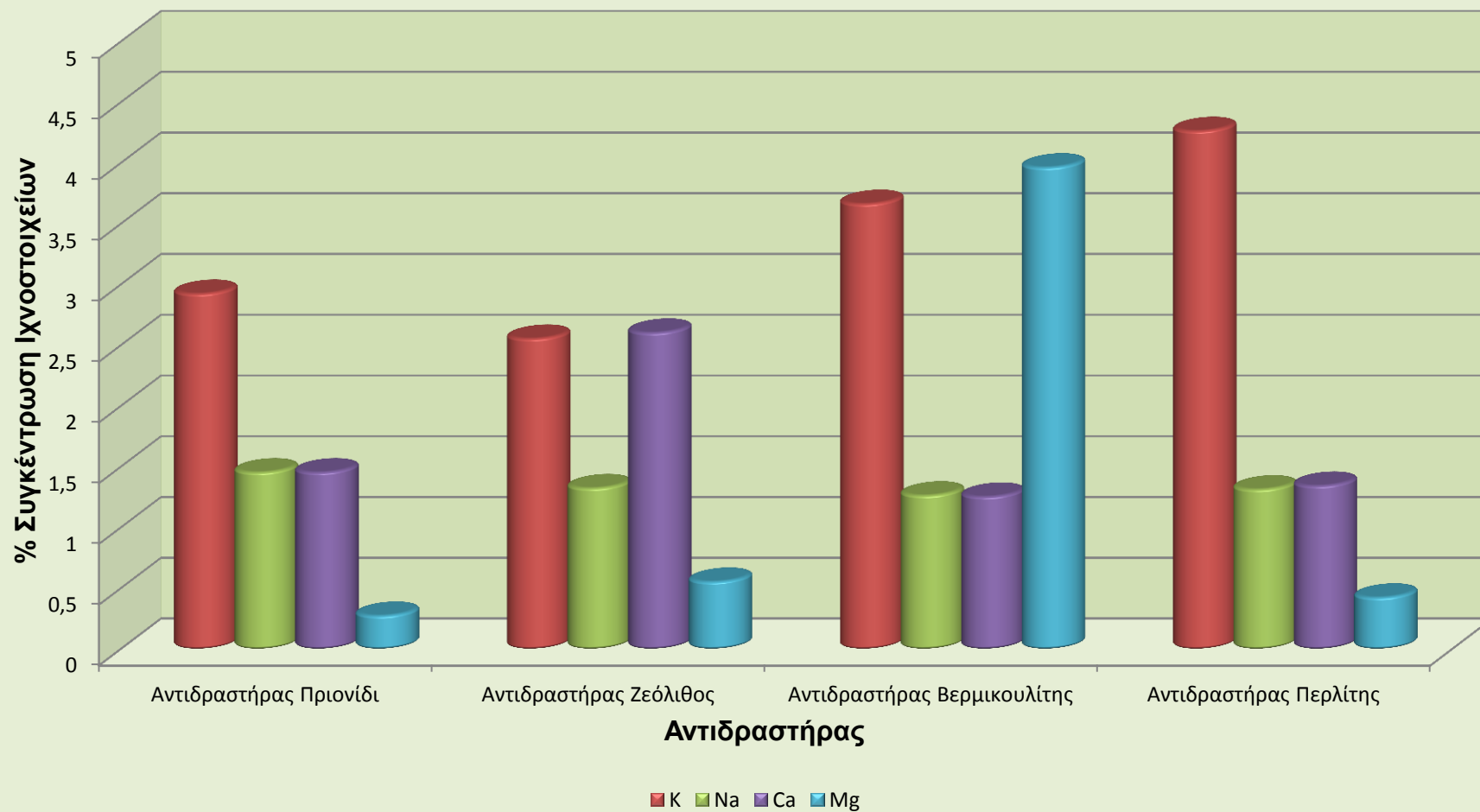
Ιχνοστοιχείο	<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
Τιμές βιβλιογραφίας	0,4 – 1,7	0,01 – 1,51	2,3 – 3,6	0,3 – 4,3
	0,42 – 1,83		1,09 – 7,15	0,18 – 1,8

Στον πίνακα 8.2 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των ιχνοστοιχείων του τελικού προϊόντος στον πρώτο κύκλο. Εν συνεχεία παρατίθενται γραφικά οι συγκεντρώσεις στο διάγραμμα 8.1

**Πίνακας 8. 2** Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων % για τον πρώτο πειραματικό κύκλο

Ιχνοστοιχείο	<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
Αντιδραστήρας Πριονίδι	2,93	1,46	1,46	0,28
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	2,56	1,33	2,61	0,56
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	3,67	1,27	1,26	3,97
Αντιδραστήρας Περλίτης	4,27	1,32	1,35	0,43

Συγκριτική απεικόνιση % συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων στους 4 αντιδραστήρες



Διάγραμμα 8.1 Συνολικές % συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων για τον πρώτο κύκλο πειραμάτων

Οι συγκεντρώσεις του  $K$  για όλους τους αντιδραστήρες κυμαίνεται από 2,5% έως 4,5% περίπου. Τα μεγαλύτερα επίπεδα  $K$  στους αντιδραστήρες βερμικουλίτη και περλίτη ενδεχομένως να οφείλονται στην μεγαλύτερη προσθήκη υλικού. Συγκρίνοντας με τις τιμές που δίνει η διεθνής βιβλιογραφία (1,5% – 2.96%) παρατηρείται ότι η πλειονότητα των δειγμάτων είναι εντός των ορίων που απαιτούνται για ένα υψηλής ποιότητας κόμποστ.

Τα ιόντα των ανόργανων αλάτων ( ειδικά το νάτριο) μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά αν είναι σε υψηλά επίπεδα, ιδιαίτερα για φυτά που δεν είναι καθόλου ανθεκτικά στα άλατα. Τα ιόντα νατρίου δεν παράγονται αλλά ούτε και καταστρέφονται κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης ως εκ τούτου η επιλογή των πρώτων υλών είναι σημαντική στο επίπεδο αλάτων στο τελικό προϊόν. Οι τιμές του νατρίου κυμαίνονται από 1% – 1,5% σε όλους τους αντιδραστήρες και βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπει η βιβλιογραφία (0,01 – 1,51%).

Η συγκέντρωση  $Ca$  για όλους τους πειραματικούς κύκλους έχει μικρές αποκλίσεις και κυμαίνεται από 0,5% έως 2.5% με μεγαλύτερη συγκέντρωση στον αντιδραστήρα του ζεόλιθου. Οι μετρούμενες τιμές είναι σύμφωνες με τη διεθνή βιβλιογραφία.

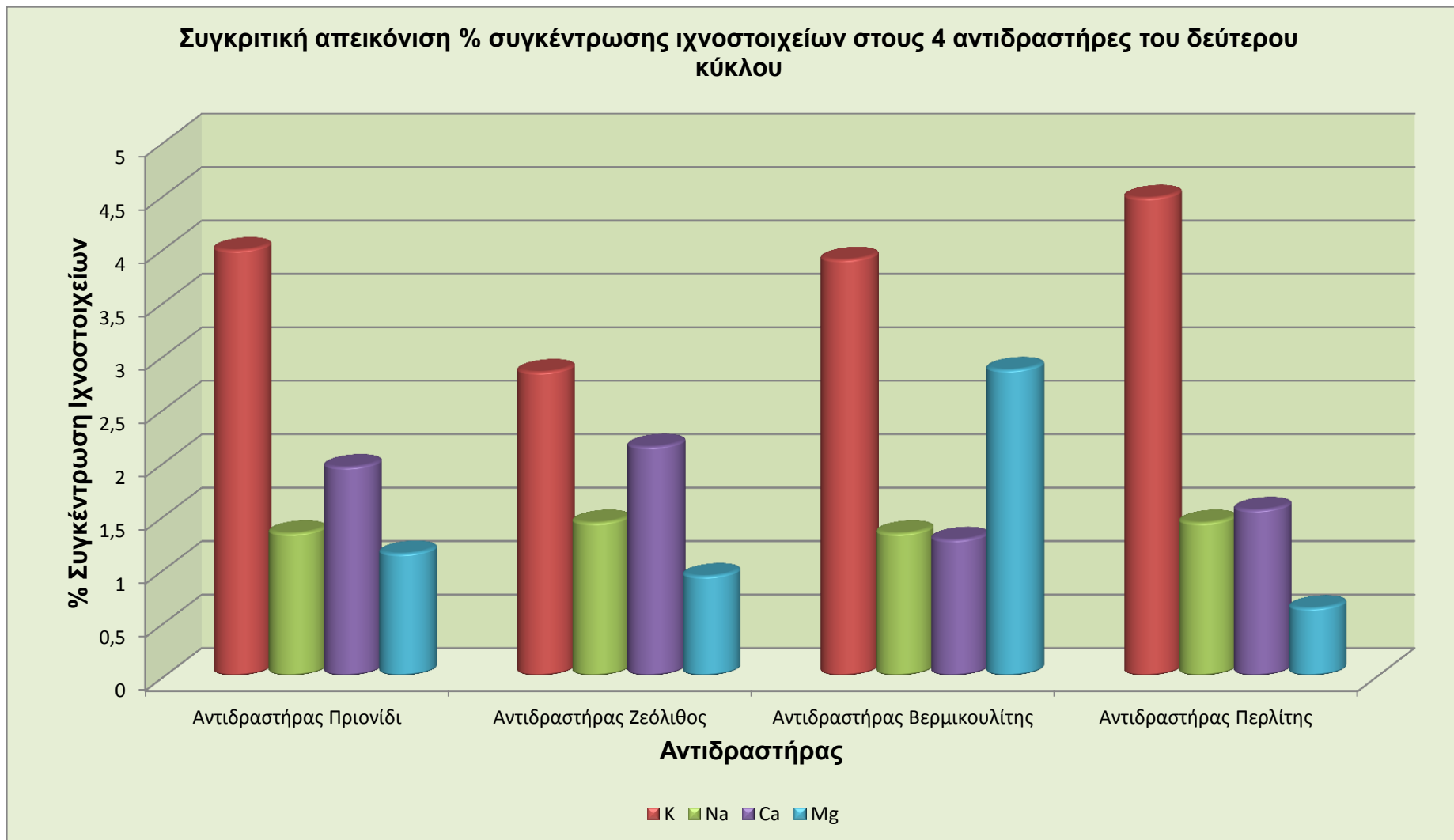
Οι συγκεντρώσεις  $Mg$  βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα (κάτω του 1%) για τους τρεις αντιδραστήρες. Αντίθετα στον αντιδραστήρα με βερμικουλίτη είναι μεγαλύτερο και κοντά στο 4%. Ο βερμικουλίτης έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε  $Mg$  (12% κ.β.). Συνεπώς το μεγάλο ποσοστό  $Mg$  που παρατηρήθηκε στον αντιδραστήρα με πρόσθετο ορυκτό τον βερμικουλίτη πιθανόν να οφείλεται στην απελευθέρωση μέρους του ποσοστού  $Mg$  που περιέχει το ίδιο το ορυκτό. Οι τιμές που δίνει η βιβλιογραφία είναι σε πλήρη συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Συνολικά όπως παρατηρείται από το διάγραμμα 8.1 και τον πίνακα 8.2 το ποσοστό των ιχνοστοιχείων στο τελικό προϊόν και στους τέσσερις αντιδραστήρες, είναι εντός ορίων, διασφαλίζοντας την ύπαρξη σημαντικής ποσότητας θρεπτικών συστατικών σε αυτό.

Στον πίνακα 8.3 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των ιχνοστοιχείων του τελικού προϊόντος στον δεύτερο πειραματικό κύκλο. Εν συνεχεία παρατίθενται γραφικά οι συγκεντρώσεις στο διάγραμμα 8.1.

**Πίνακας 8. 3** Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων % για τον πρώτο πειραματικό κύκλο

<b>Ιχνοστοιχείο</b>	<b><i>K</i></b>	<b><i>Na</i></b>	<b><i>Ca</i></b>	<b><i>Mg</i></b>
Αντιδραστήρας Πριονίδι	3,99	1,34	1,96	1,15
Αντιδραστήρας Ζεόλιθος	2,85	1,44	2,15	0,94
Αντιδραστήρας Βερμικουλίτης	3,9	1,34	1,28	2,87
Αντιδραστήρας Περλίτης	4,48	1,44	1,56	0,64



**Διάγραμμα 8.2** Συνολικές % συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων για τον δεύτερο κύκλο πειραμάτων



Οι συγκεντρώσεις του  $K$  για όλους τους αντιδραστήρες κυμαίνεται από 2,5% έως 4,5% περίπου. Τα μεγαλύτερα επίπεδα  $K$  σε όλους τους αντιδραστήρες συγκριτικά με τον πρώτο κύκλο οφείλονται στην μεγαλύτερη προσθήκη κυτταρινούχων υλικών λόγω διαφορετικής αναλογίας υποστρώματος καθώς και στην προσθήκη μπανάνας. Συγκρίνοντας με τις τιμές που δίνει η διεθνής βιβλιογραφία (1,5% – 2,96%) παρατηρείται ότι μόνο ο αντιδραστήρας του ζεόλιθου είναι εντός των ορίων αυτών.

Τα ιόντα των ανόργανων αλάτων (ειδικά το νάτριο) μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά αν είναι σε υψηλά επίπεδα, ιδιαίτερα για φυτά που δεν είναι καθόλου ανθεκτικά στα άλατα. Τα ιόντα νατρίου δεν παράγονται αλλά ούτε και καταστρέφονται κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης ως εκ τούτου η επιλογή των πρώτων υλών είναι σημαντική στο επίπεδο αλάτων στο τελικό προϊόν. Οι τιμές του νατρίου κυμαίνονται από 1% – 1,5% σε όλους τους αντιδραστήρες και βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπει η βιβλιογραφία (0,01% – 1,51%).

Η συγκέντρωση  $Ca$  για όλους τους πειραματικούς κύκλους έχει μικρές αποκλίσεις και κυμαίνεται από 0,5% έως 2,5% με μεγαλύτερη συγκέντρωση στον αντιδραστήρα του ζεόλιθου. Οι μετρούμενες τιμές είναι σύμφωνες με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Οι συγκεντρώσεις  $Mg$  βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα ( $< 1,2\%$ ) για τους τρεις αντιδραστήρες. Αντίθετα στον αντιδραστήρα με βερμικουλίτη είναι μεγαλύτερο και κοντά στο 4%. Ο βερμικουλίτης έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε  $Mg$  (12% κ.β.). Συνεπώς το μεγάλο ποσοστό  $Mg$  που παρατηρήθηκε στον 3<sup>ο</sup> αντιδραστήρα πιθανόν να οφείλεται στην απελευθέρωση μέρους του ποσοστού  $Mg$  που περιέχει το ίδιο το ορυκτό. Οι τιμές που δίνει η βιβλιογραφία είναι σε πλήρη συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Συνολικά όπως παρατηρείται από το διάγραμμα 8.2 και τον πίνακα 8.3 το ποσοστό των ιχνοστοιχείων στο τελικό προϊόν και στους τέσσερις αντιδραστήρες, είναι εντός ορίων, διασφαλίζοντας την ύπαρξη σημαντικής ποσότητας θρεπτικών συστατικών σε αυτό.

### 8.3.2 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. **[41]**

Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος χρησιμοποιήθηκαν έντεκα 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, φασόλι μαυρομάτικο, φασόλι Αναρ/ινο Ζαργάνα Βουσσινί.

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

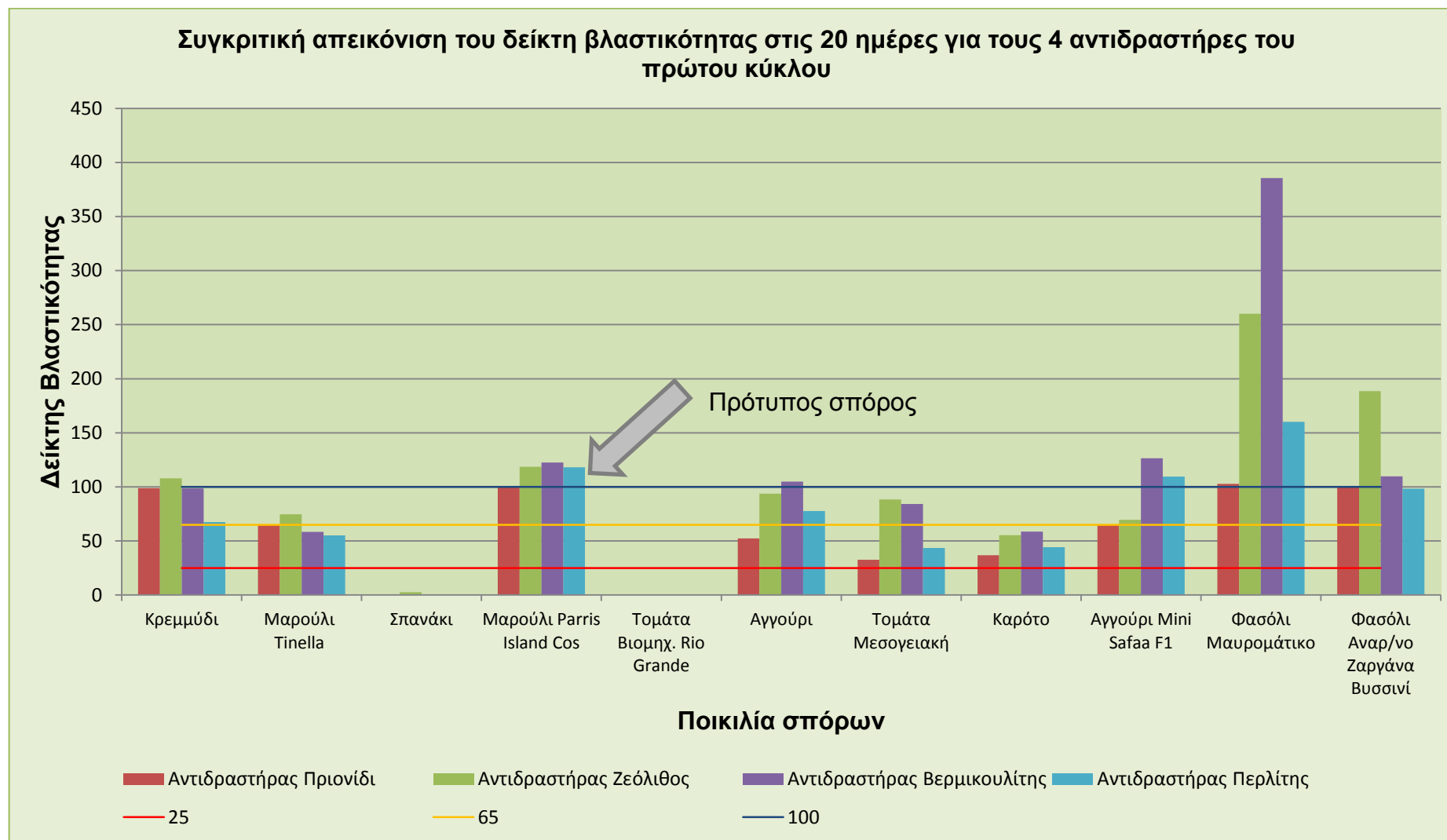
Ο χαρακτηρισμός των ορίων του δείκτη βλαστικότητας είναι ο εξής :

$0 < \Delta. B. < 25 \rightarrow$  πολύ φυτοτοξικό (κάτω από την κόκκινη γραμμή)

$26 < \Delta. B. < 65 \rightarrow$  φυτοτοξικό (μεταξύ κόκκινης και πορτοκαλί γραμμής)

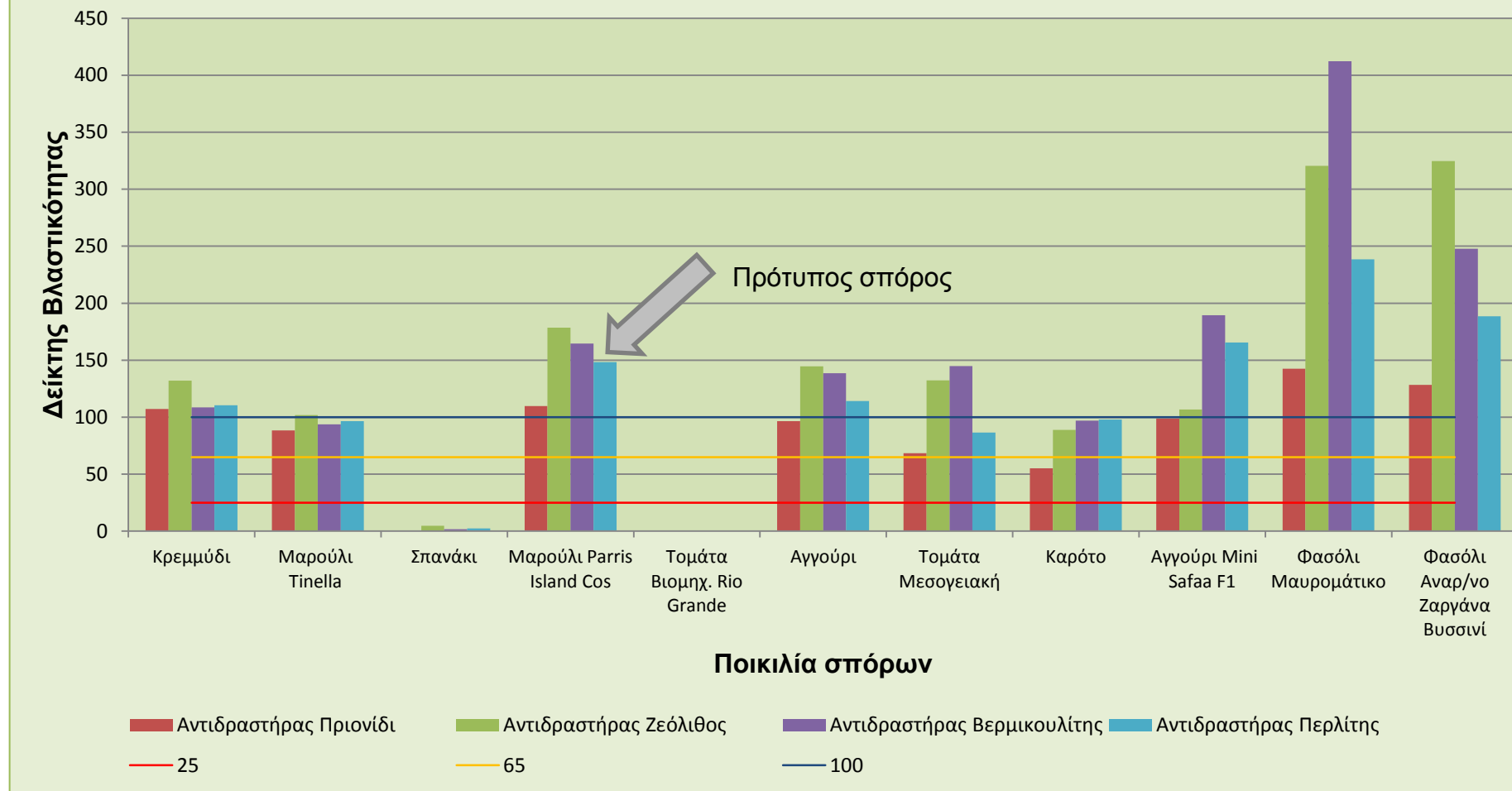
$66 < \Delta. B. < 100 \rightarrow$  μη φυτοτοξικό (μεταξύ πορτοκαλί και μπλε γραμμής)

$\Delta. B. > 101 \rightarrow$  φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό (πάνω από την μπλε γραμμή)



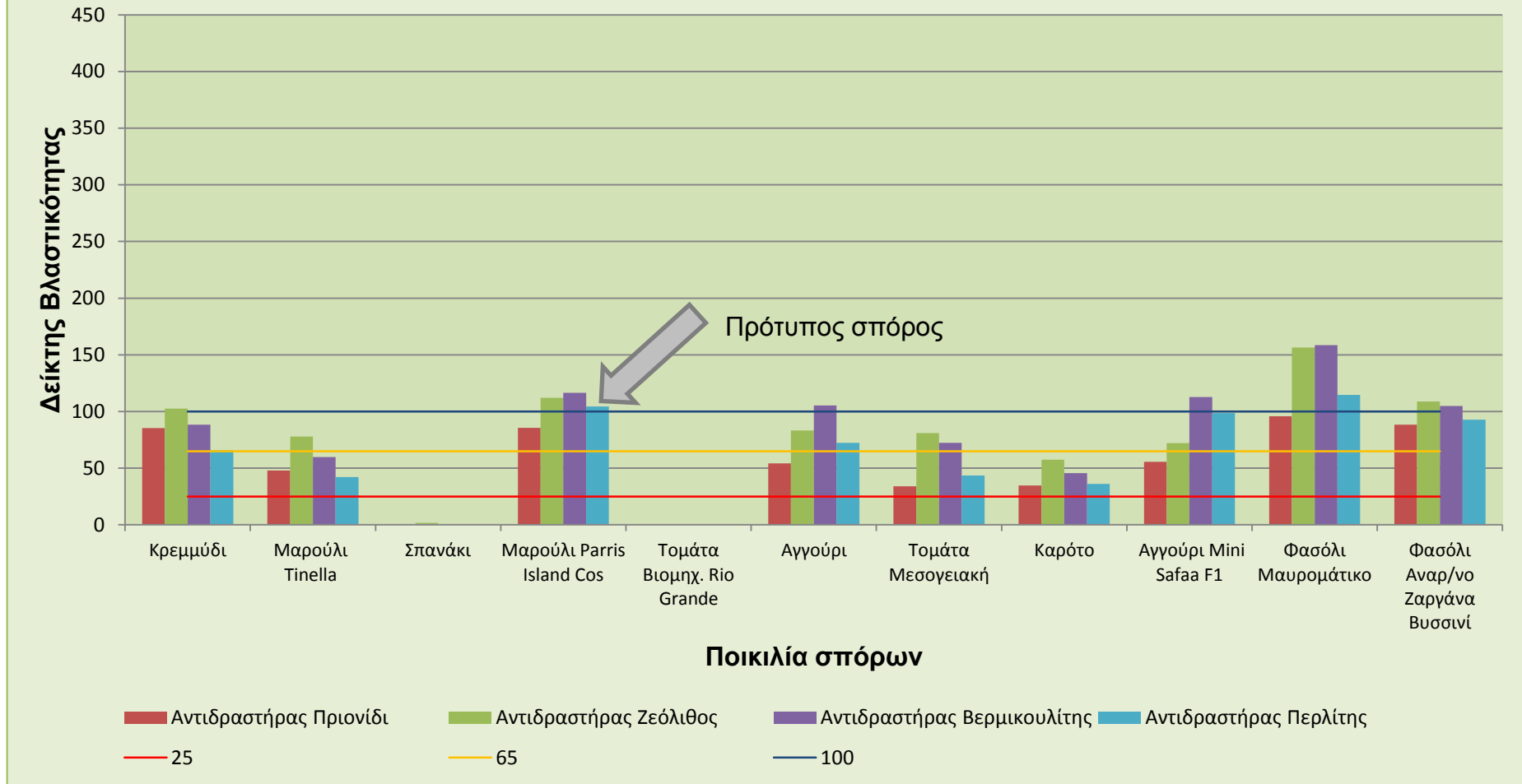
**Διάγραμμα 8.3** Φυτοτοξικότητα για τον πρώτο πειραματικό κύκλο την ημέρα συλλογής του κόμποστ

### Συγκριτική απεικόνιση του δείκτη βλαστικότητας στις 50 ημέρες για τους 4 αντιδραστήρες του πρώτου κυκλου



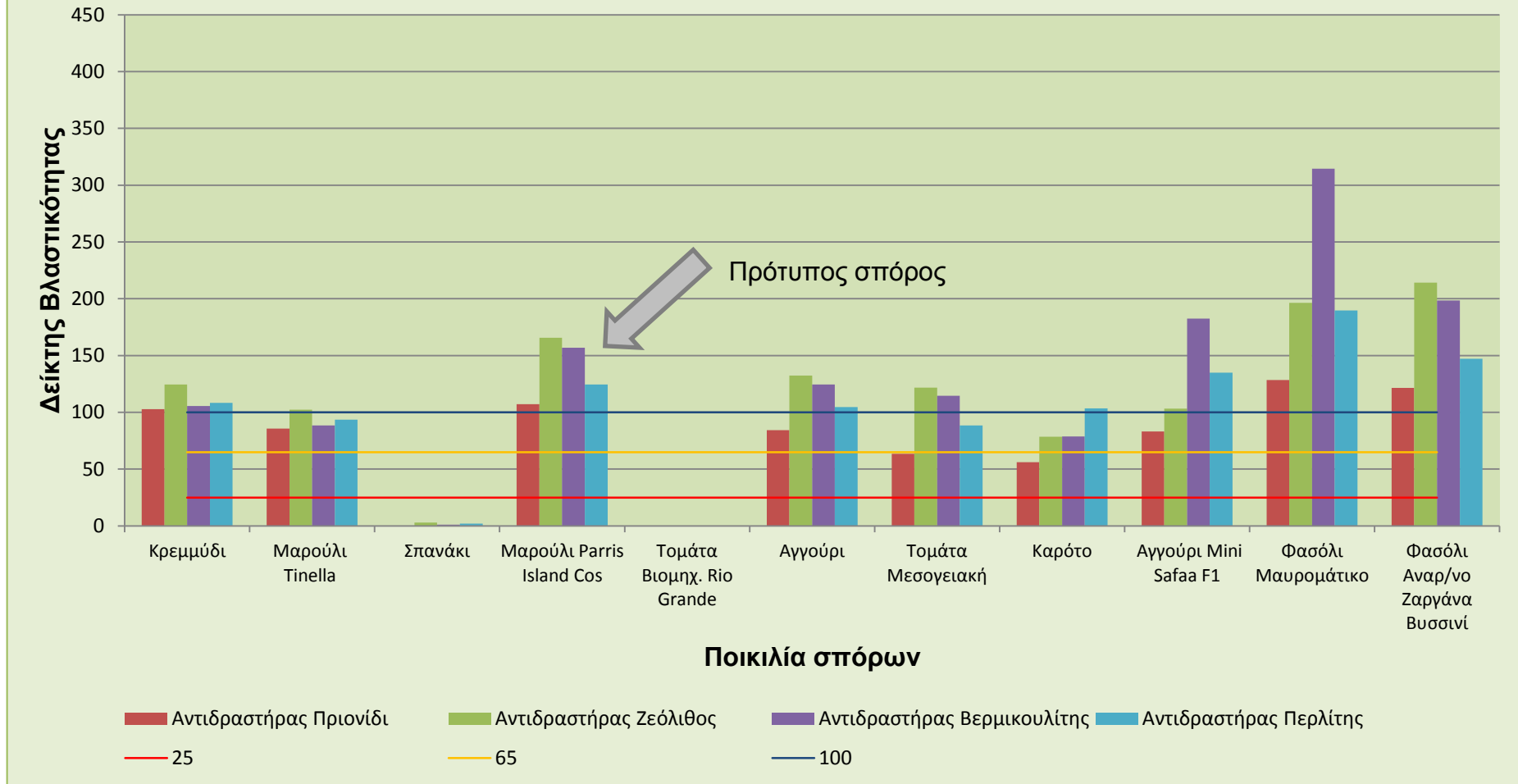
**Διάγραμμα 8.4** Φυτοτοξικότητα για τον πρώτο πειραματικό κύκλο στις 50 ημέρες

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



Διάγραμμα 8.5 Φυτοτοξικότητα για τον δεύτερο πειραματικό κύκλο την ημέρα συλλογής του κόμποστ

Συγκριτική απεικόνιση του δείκτη βλαστικότητας στις 50 ημέρες για τους 4 αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου



Διάγραμμα 8.6 Φυτοτοξικότητα για τον δεύτερο πειραματικό κύκλο στις 50 ημέρες

Στα παραπάνω διαγράμματα, 8.3 έως και 8.6, παρουσιάζεται ο δείκτης βλαστικότητας για τους δύο πειραματικούς κύκλους και όλους τους σπόρους στις είκοσι και στις πενήντα μέρες. Ο πρότυπος σπόρος που χρησιμοποιείται διεθνώς έχει σημανθεί με τη βοήθεια βέλους επάνω στο γράφημα.

Παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλους τους σπόρους, την ημέρα αφαίρεσης του υλικού από τους αντιδραστήρες, το κόμπποστ είναι μη τοξικό και σε αρκετούς από αυτούς (μαρούλι parris island cos, αγγούρι, φασόλι μαυρομάτικο και φασόλι ζαργάνα βουσσινί) είναι φυτοθρεπτικό. Η φυτοτοξικότητα βελτιώνεται αισθητά σχεδόν σε όλους τους σπόρους μετά το πέρας 50 ημερών, όπου για τους περισσότερους σπόρους το κόμπποστ 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 κόμπποστ είναι κατάλληλο για χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό. Η μη ανάπτυξη συγκεκριμένων βλαστών με τη χρήση του κόμπποστ δεν συνεπάγεται τον χαρακτηρισμό του ως φυτοτοξικό αλλά επισημαίνει το γεγονός ότι η βλαστικότητα δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του κόμπποστ αλλά και από τον τύπο του βλαστού που χρησιμοποιείται.[39]

### **8.3.3 Πειραματικές μετρήσεις στις 50 ημέρες**

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των τιμών ορισμένων παραμέτρων μετά το πέρας 50 ημερών από την αρχική τροφοδοσία του υποστρώματος στους αντιδραστήρες των δύο κύκλων.

Πίνακας 8.4 Τιμές επιλεγμένων παραμέτρων του πρώτου πειραματικού κύκλου στις 50 ημέρες

Πρώτος πειραματικός κύκλος				
Μέτρηση 50 ημερών	Αντιδραστήρας πριονίδι	Αντιδραστήρας ζεόλιθος	Αντιδραστήρας βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας περλίτης
<i>pH</i>	9,08	8,25	8,32	8,28
% υγρασία	62,97	50,96	51,31	56,85
Λόγος C/N	18,56	10,42	10,82	11,14
Λόγος $NH_4^+/NO_3^-$	1,88	0,89	0,99	0,93

Πίνακας 8.5 Τιμές επιλεγμένων παραμέτρων του δεύτερου πειραματικού κύκλου στις 50 ημέρες

Δεύτερος πειραματικός κύκλος				
Μέτρηση 50 ημερών	Αντιδραστήρας πριονίδι	Αντιδραστήρας ζεόλιθος	Αντιδραστήρας βερμικουλίτης	Αντιδραστήρας περλίτης
<i>pH</i>	9,12	8,38	8,32	8,26
% υγρασία	65,15	49,98	51,48	55,86
Λόγος C/N	18,15	10,55	9,41	8,36
Λόγος $NH_4^+/NO_3^-$	1,73	0,97	0,93	1,06



## 8.4 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των επιμέρους πειραματικών αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο έκτο και έβδομο κεφάλαιο προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα τόσο για τη διεργασία της κομποστοποίησης, όπως αυτή αναπτύχθηκε στους δύο πειραματικούς κύκλους 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:

- Η θερμοκρασία και η διάρκεια της θερμόφιλης φάσης, που επετεύχθη και για τους πέντε πειραματικούς κύκλους κρίνεται πολύ ικανοποιητική και δεν αναμένονται παθογόνοι μικροοργανισμοί, αφού τα οργανικά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν συνίστανται από οικιακά απορρίμματα και αναπτύχθηκε υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 50°C) και στους δύο κύκλους πειραμάτων.
- Η εξέλιξη της υγρασίας αλλά και οι αρχικές τιμές του υποστρώματος για όλους τους πειραματικούς κύκλους διασφαλίζουν, το βέλτιστο περιβάλλον ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ποσοστά υγρασίας όλων των πειραματικών κύκλων στη μέτρηση των 50 ημερών παραμένουν σε υψηλά επίπεδα (κυμαίνονται από 50% έως 65% κ.β.) για το λόγο αυτό συνίσταται το παραγόμενο κόμποστ να αφηθεί εκτός αντιδραστήρα για περαιτέρω μείωση της υγρασίας και της σταθεροποίησής του. Εξαίρεση 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. Οι αντιδραστήρες 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 πειραματικούς κύκλους 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 στους αντιδραστήρες με πρόσθετο ορυκτό περλίτη, ενώ αντίθετα στους αντιδραστήρες 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 και τα ορυκτά είναι αυξημένο σε σχέση με αυτούς που σαν πρόσθετο χρησιμοποιήθηκε μόνο πριονίδι, γεγονός αναμενόμενο καθώς τα ορυκτά και ιδιαίτερα ο ζεόλιθος έχουν την ιδιότητα να κατακρατούν την  $NH_3$  οπότε μειώνονται και οι απώλειες του αζώτου μέσω της αέριας φάσης. Συμπερασματικά το συγκεκριμένο κόμπποστ αποτελεί εξαιρετο 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  $C/N$  και 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 τους υπόλοιπους αντιδραστήρες γεγονός που υποδεικνύει ότι η διεργασία της κομποστοποίησης συντελείται γρηγορότερα. Την 50<sup>η</sup> ημέρα ο λόγος  $C/N$  για το τελικό κόμποστ στους αντιδραστήρες κυμαίνεται από 8 έως 18, 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<sup>η</sup> 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 φυτοθρεπτική ικανότητα του τελικού παραγόμενου προϊόντος, σε όλους τους κύκλους πειραμάτων, εξασφαλίζεται από την ανάπτυξη του πρότυπου σπόρου μαρούλι Parris Island Cos. Το κόμποστ που παράγεται, από όλους τους πειραματικούς κύκλους, είναι φυτοθρεπτικό, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για τη χρήση ως εδαφοβελτιωτικό και επιπλέον, υποβοηθά στην ανάπτυξη διαφορετικών σπόρων.

- Σύμφωνα με το προφίλ της θερμοκρασίας που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6 για τους δύο πειραματικούς κύκλους, διακρίνονται οι διαφορετικές φάσεις της διεργασίας της κομποστοποίησης, η 1<sup>η</sup> μεσόφιλη, θερμόφιλη και εν συνεχεία η 2<sup>η</sup> μεσόφιλη. Διαπιστώνεται ότι η βασική διεργασία της κομποστοποίησης (θερμόφιλη 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.
- Ως προς την ποιότητα του τελικού προϊόντος εξάγεται το συμπέρασμα ότι σε όλους τους κύκλους οικιακής κομποστοποίησης με τη χρήση του πρότυπου αντιδραστήρα παράγεται υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό, οι ιδιότητες του οποίου βελτιώνονται περαιτέρω με την προσθήκη φυσικών ορυκτών.
- Στους αντιδραστήρες 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 ταύτα, μετά την ωρίμανση του είναι μη τοξικό αλλά δεν έχει της ιδιότητες του κόμποστ με πρόσθετα ορυκτά.

Με τη χρήση του οικιακού κομποστοποιητή μπορεί να απομακρυνθεί το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων μετατρέποντας το σε χρήσιμο υλικό συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και των στερεών απορριμμάτων.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Απόφαση 2001/688/ΕΚ της Ευρωπαϊκής επιτροπής της 3ης Νοεμβρίου 2006.
- [2]. Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999.
- [3]. Οδηγία 96/61/ΕΚ (IPPC) του συμβουλίου της 24<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1996.
- [4]. Κανονισμός (ΕΟΚ) αρ.2092/91.
- [5]. Οδηγία του Συμβουλίου 75/442/ΕΟΚ.
- [6]. Οδηγία 2006/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5<sup>ης</sup> Απριλίου 2006.
- [7]. Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 19<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2008.
- [8]. Κ.Λαζαρίδη, Κ.Παυλόπουλος (2001), «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
- [9]. DI F.Amlinger, DI. Dr. M.Pollak, Dr E.Favoino, "Heavy Metals and Organic Compounds from Waste Used as Organic Fertilisers", Annex 2 July 2004.
- [10]. Εθνικό Τυπογραφείο <http://www.et.gr>
- [11]. Κ. Λαζαρίδη, Δ. Κανακόπουλος, Π. Κουλουμπής, Γ. Λώλος, Σ. Σκουλάξινου, "Προδιαγραφές Ποιότητας και Διάθεση Κομπόστ: Η Ελληνική και Διεθνής Εμπειρία", άρθρο της Μόνιμης Ομάδας Εργασίας (Μ.Ο.Ε) με αντικείμενο "Διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων", Συνέδριο της Ε.Ε.Δ.Σ.Α, Αθήνα. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: [http://epem.gr/pdfs/2002\\_8.pdf](http://epem.gr/pdfs/2002_8.pdf)
- [12]. Ν.Κάρτσωνας, «Εναλλακτικοί Τρόποι Διαχείρισης Παραπροϊόντων Επεξεργασίας από Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων», Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας, Καρδίτσα 14-14 Οκτ. 2005. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: [http://library.tee.gr/digital/m2093/m2093\\_kartsonas.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2093/m2093_kartsonas.pdf)
- [13]. D.Hogg et all, "Comparison of Compost Standards within the EU, North America and Australia", Main Report June 2002, WRAP. Available at:

[www.wrap.org.uk/downloads/Review\\_of\\_Compost\\_Standards.d5ee11d8.pdf](http://www.wrap.org.uk/downloads/Review_of_Compost_Standards.d5ee11d8.pdf)

- [14]. Μαρία Λοϊζίδου, «Στερεά απόβλητα», σημειώσεις για το μάθημα: Περιβαλλοντική Επιστήμη, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [15]. Δ. Λάλας, Ε. Γεωργοπούλου, Ε. Γιδαράκος, 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.
- [16]. Αντώνης Α. Ζορπάς (1999), «Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Κομποστοποίηση της Ιλύος με Χρήση Ζεόλιθων», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [17]. Κατσίρη Α., (2003). "Λιπασματοποίηση απορριμμάτων". Σημειώσεις για το μάθημα <<Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος>>, Ε.Μ.Π.
- [18]. Βογιατζιδάκη Ευγενία Ελένη «Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικού με Χρήση Οικιακού Κομποστοποιητή», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [19]. Luis F. Diaz, G.M. Savage, L.L. Eggerth, C.G. Golueke, "Composting and Recycling Municipal Solid Waste", Lewis Publishres.
- [20]. «Κομποστοποίηση Οργανικού Κλάσματος Οικιακών Απορριμμάτων» Ημερίδα Δήμου Νέας Χαλκηδόνας, εισηγήτρια Ε.Δουλάμη.
- [21]. Μαργαρίτης Μάρκος, «Ανάπτυξη συστημάτων δέσμευσης βαρέων μετάλλων από σταθεροποιημένα οργανικά στερεά απόβλητα», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [22]. Κάτια Λαζαρίδη, «Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων», Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
- [23]. Φραγγελάκης Εμμανουήλ, «Κομποστοποίηση Οργανικού Κλάσματος Οικιακών Απορριμμάτων», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
- [24]. Δ. Λάλας, Ε. Γεωργοπούλου, Ε. Γιδαράκος, 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.

- [25]. COMWASTE, LIFE03 ENV/GR/205, «Προώθηση και εφαρμογή συστήματος για την παραγωγή υψηλής ποιότητας compost από βιοαποδομήσιμο οργανικό υλικό διαχωρισμένο στην πηγή», 2006.
- [26]. Robert J. Holmer «Basic Principles for Composting of Biodegradable Household Wastes».
- [27]. Bradstreet, R.B. “The Kjeldahl method for organic nitrogen”.New York, NY: Academic Press Incorporated,1965.
- [28]. Jones I Benton. Kjeldahl method for nitrogen determination. Athens, GA: Micro-Macro Publishing,1991.
- [29]. N.T.Faithfull. “Methods in agricultural chemical analysis ( A practical handbook ) CAB international 2002.
- [30]. “Soil Sampling, Preparation, and Analysis”, Kim H. Tan, The University of Georgia Athens, Georgia, Marcel Dekker Inc, 1996, p.230-232.
- [31]. “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.
- [32]. “Assesing Compost Stability and Determining Levels of Aspergillus Fumigatus Resulting from Different Composting Operations”, Dr. Areti Kamilaki. The School of Civil Engineering, The University of Leeds, April 2001.
- [33]. Tsitsishvili, G.V., Andronikashvilli, T.G. and Kirov, G.V., Filizova, L.D. 1992. Natural zeolites. England.
- [34]. Ronald M. Atlas, Richard Bartham “Microbial Ecology: Fundamentals and Applications”, Benjamin Cummings Pub. Co, Menlo Park, CA., 4<sup>th</sup> edition, Dec 11 1997.
- [35]. Καπετάνιος Ε. Γ. «Παραγωγή Εδαφοβελτιωτικών Υλικών και Δέσμευση Βαρέων Μετάλλων του με τη Χρήση Κλινοππιλόλιθου», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π. Αθήνα 1990.
- [36]. HARGREAVES, J.C., ADL, M.S. and WARMAN, P.R., A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **123**(1-3), pp. 1-14.] 2008.
- [37]. Zucconi, F., & De Bertoldi, M. (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. *Compost: Production, Quality and use*, , 30-50.



- [38].** Ronald M. Atlas, Richard Barham “Microbial Ecology: Fundamentals and Applications”, Benjamin Cummings Pub. Co, Menlo Park, CA., 4<sup>th</sup> edition, Dec 11 1997.
- [39].** Kim H. Tan, “Soil Sampling, Preparation, and Analysis”, The University of Georgia Athens, Georgia, Marcel Dekker Inc.,Ed. USA, 1996.
- [40].** komilis,D.P., Tziouvaras, I. S. (2009) “A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts”. Waste Management (29) 5, 1504 – 1513.
- [41].** Ευάγγελος Γιδάρáκος, «Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων», Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, Απρίλιος 2007.