



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



**«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΚΑΙ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ
ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ
ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ Ν.ΧΑΝΙΩΝ»**



ΤΣΑΜΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΝΙΑ, 2008



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ Ν.ΧΑΝΙΩΝ»

Επιβλέπων: Σταυρουλάκης Γιώργος
Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη

Επιτροπή Αξιολόγησης:

Δρ. Σταυρουλάκης Γιώργος
Καθηγητής

Καπουρνιώτου Σοφία (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας: 23

Περιεχόμενα:	
Περίληψη /Summary	Σελ.5
Εισαγωγή	Σελ.6
Τί είναι το κομπόστ	Σελ.7
Κεφάλαιο 1:	
1.1 Κομποστοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α)	Σελ.8
1.2 Διαλογή στην Πηγή Οργανικού Κλάσματος Απορριμμάτων	Σελ.8
1.3 Στοιχεία για την παραγωγή και τη σύσταση των απορριμμάτων	Σελ.9
1.4 Το συνολικό σύστημα διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων και η θέση της κομποστοποίησης σε αυτό	Σελ.11
1.5 Διαδικασία παραγωγής κομπόστ από Α.Σ.Α	Σελ.12
Κεφάλαιο 2:	
2.1 Νομοθετικό πλαίσιο	Σελ.15
2.2 Ποιοτικές προδιαγραφές	Σελ.16
Κεφάλαιο 3:	
3.1 Κατάσταση στην Ευρώπη	Σελ.21
3.2 Χαρακτηριστικά των Ε.Μ.Δ.Κ. στην Γερμανία	Σελ.21
3.2.1 Αξιολόγηση εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στη Γερμανία	Σελ.23
3.3 Mechanical Biological Treatment /Η τεχνολογική επιλογή στο Ε.Μ.Α.Κ	Σελ.27
3.3.1 Ανάπτυξη αγοράς ανακυκλώσιμων υλικών	Σελ.27
3.4 Κατάσταση στην Ελλάδα	Σελ.27
3.5 Στήριξη της Ελληνικής βιομηχανίας	Σελ.31
3.6 Ε.Μ.Α.Κ. Άνω Λιοσίων	Σελ.32
Κεφάλαιο 4:	
4.1 Βασικοί Παράμετροι	Σελ.33
4.2 Βιολογικό Σύστημα	Σελ.33
4.2.1 Η αρχή του περιοριστικού παράγοντα	Σελ.34
4.2.2 Άνθρακας	Σελ.34
4.2.3 Κύκλος Άνθρακα	Σελ.34
4.2.4 Άζωτο	Σελ.35
4.2.4.1 Ισοζύγιο Αζώτου	Σελ.36
4.2.5 Αναλογία Άνθρακα –Άζωτο	Σελ.36
4.3 Περιβαλλοντικές Παράμετροι	Σελ.37
4.3.1 Αερισμός	Σελ.37
4.3.2 Υγρασία	Σελ.38
4.3.3 θερμοκρασία	Σελ.38
4.4 Αλκαλικότητα ή Οξύτητα (pH)	Σελ.39
4.5 Ιχνοστοιχεία -Βαρέα μέταλλα	Σελ.40
4.6 Θρεπτικά στοιχεία	Σελ.45
4.7 Διαδικασία Κομποστοποίησης	Σελ.46
4.8 Ο χούμος	Σελ.47
4.9 Οργανική ουσία	Σελ.48
4.10 Σταθεροποίηση του κομπόστ	Σελ.48
4.11 Εφαρμογές του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό	Σελ.49
4.12 Ιδιότητες ενός εδαφοβελτιωτικού	Σελ.50
4.13 Πλεονεκτήματα και ιδιότητες χρήσης του κομπόστ	Σελ.52
Κεφάλαιο 5:	
5.1 Στάδια λειτουργίας Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Χανίων	Σελ.53
5.1.1 Τμήμα Υποδοχής Απορριμμάτων	Σελ.53
5.1.2 Τμήμα Μηχανικής Διαλογής και Χειροδιαλογής	Σελ.54
5.1.2.1 Λειτουργικές Διατάξεις/Στάδια Επεξεργασίας του Τμήματος Μηχανική Διαλογής /Διάταξη Ανεπιθύμητων Υλικών	Σελ.54
5.1.2.2 Πρωτοβάθμια κοσκίνιση	Σελ.55
5.1.2.3 Δευτεροβάθμια κοσκίνιση	Σελ.55
5.1.2.4 Τμήμα Χειροδιαλογής του Κλάσματος 70-250 mm	Σελ.56
5.1.2.5 Μαγνητικός Διαχωρισμός του ρεύματος 70-250 mm	Σελ.56
5.2 Συμπύεση Ανακτηθέντων Υλικών από τη Χειροδιαλογή	Σελ.57
5.3 Λειτουργικές διατάξεις-Στάδια Επεξεργασίας Κομποστοποίησης	Σελ.57
5.3.1 Σύσταση- Ιδιαιρότητες κλαδιών/χόρτων	Σελ.58
5.3.2 Τμήμα Ταχείας Κομποστοποίησης	Σελ.58
5.3.3 Χρήση Προσιθέμενων Υλικών για τον έλεγχο της διεργασίας Κομποστοποίησης	Σελ.59
5.3.4 Σύστημα αερισμού	Σελ.60
5.4 Τμήμα Ραφινάρισματος του Κομπόστ	Σελ.62
5.4.1 Περιγραφή διαδικασιών ραφινάρισματος	Σελ.63
5.5 Τμήμα Αποθήκευσης-Ωρίμανσης-Τυποποίησης κομπόστ	Σελ.64
5.6 Λειτουργική περιγραφή του συστήματος τυποποίησης	Σελ.65

	Κεφάλαιο 6:	
6.1	Σκοπός	Σελ.66
6.2	Υλικά-όργανα/μέθοδοι προσδιορισμού	Σελ.66
6.3	Αποτελέσματα	Σελ.81
	Κεφάλαιο 7:	
	Συμπεράσματα	Σελ.93
	Παράρτημα πινάκων	
Κεφ.1	Διάγραμμα 1.1: Εκτίμηση σύνθεσης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα	Σελ.8
	Πίνακας 1.1: Σύνθεση Οικιακών Στερεών Αποβλήτων (μέσες τιμές κατά βάρος %) στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Χώρας (1997)	Σελ.9
	Διάγραμμα 1.2: Παραγωγή Αστικών Αποβλήτων στην Ελλάδα	Σελ.10
	Διάγραμμα 1.3: Σύνθεση Αστικών Στερεών Αποβλήτων του Νομού Χανίων	Σελ.11
	Εικόνα 1.1: Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των Αστικών Αποβλήτων	Σελ.12
	Εικόνα 1.2: Απλές κατασκευές για οικιακή κομποστοποίηση	Σελ.13
	Εικόνα 1.3: Κομποστοποίηση με αναστρεφόμενους σωρούς	Σελ.14
	Εικόνα 1.4: Βεβιασμένος αερισμός στατικών σωρών	Σελ.14
Κεφ.2	Πίνακας 2.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά κομπόστ από Α.Σ.Α	Σελ.16
	Πίνακας 2.2: Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων σε καλλιεργούμενα εδάφη	Σελ.16
	Πίνακας 2.3: Σύγκριση ορίων για βαρέα μέταλλα μεταξύ ΕΕ, ΗΠΑ και Καναδά	Σελ.17
	Πίνακας 2.4: Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων στο κομπόστ σε επιλεγμένες χώρες	Σελ.18
	Πίνακας 2.5: Τυπική συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε κομπόστ από ανάμεικτα Α.Σ.Α. και κομπόστ από βιοαπορρίμματα (με διαλογή στην πηγή) (Μ.Ο. 4 περιοχών πολιτεία Ν.Υ.)	Σελ.19
	Πίνακας 2.6: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των Α.Σ.Α. στην προτεινόμενη Οδηγία της Ε.Ε. και στην Ελλάδα	Σελ.19
Κεφ.3	Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά Ε.Μ.Δ.Κ. στη Γερμανία	Σελ.22
	Πίνακας 3.2: Αριθμός και η συνολική χωρητικότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αξιοποίησης αστικών αποβλήτων σε Γερμανία και Αυστρία	Σελ.23
	Πίνακας 3.3: Αξιολόγηση Ε.Μ.Δ.Κ. στη Γερμανία	Σελ.23
	Πίνακας 3.4: Επιτυχημένες περιπτώσεις διαλογής και αξιοποίησης οργανικού κλάσματος στην πηγή	Σελ.24-25
	Διάγραμμα 3.1: Παραγωγή οικιακών αποβλήτων στη Ευρώπη από το 1995 έως 2003	Σελ.26
	Διάγραμμα 3.2: Ετήσιες ποσότητες που διατέθηκαν για κομποστοποίηση από χώρες της Ε.Ε	Σελ.26
	Πίνακας 3.1: Απεικόνιση ΟΤΑ με Χ.Υ.Τ.Α. σε λειτουργία και ΟΤΑ με Χ.Υ.Τ.Α. σε φάση υλοποίησης	Σελ.28
	Διάγραμμα 3.3: Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της ΕΕ το έτος 2002	Σελ.29
	Διάγραμμα 3.4: Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) και της μοναδιαίας παραγωγής Α.Σ.Α. (ΜΠΑ) στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001	Σελ.29
	Διάγραμμα 3.4:Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Αποβλήτων	Σελ.30
	Πίνακας 3.5: Ποσότητα βιοαποδομήσιμου κλάσματος για επεξεργασία για τα έτη-στόχος της Οδηγίας 99/31/ΕΕ	Σελ.32
Κεφ.4	Διάγραμμα 4.1: Επίδραση της θερμοκρασίας στην αποικοδόμηση οργανικού άνθρακα	Σελ.39
	Διάγραμμα 4.2: Διακύμανση Θερμοκρασίας και pH σε σχέση με το χρόνο, φάσεις μικροβιακής δραστηριότητας	Σελ.39
	Διάγραμμα 4.3:Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας κομποστοποίησης	Σελ.47
	Πίνακας 4.1:Χαρακτηρισμός εδαφών βάσει του ποσοστού οργανικής ουσίας που περιέχεται	Σελ.48
	Πίνακας 4.2: Παράμετροι σταθερότητας κομπόστ	Σελ.49
Κεφ.5	Εικόνα 5.1: Τμήμα Υποδοχής Απορριμμάτων	Σελ.54
	Εικόνα 5.2:Διάταξη Ανάκτησης Ανεπιθύμητων Υλικών	Σελ.55
	Εικόνα 5.3:Ταινία που οδηγεί τα Ανακυκλώσιμα στη Χειροδιαλογή	Σελ.56
	Εικόνα 5.4:Τμήμα Μαγνητικού Διαχωρισμού Σιδηρούχων	Σελ.57
	Εικόνα 5.5:Ανακτηθέν χαρτόνι έτοιμο προς πώληση	Σελ.57
	Εικόνα 5.6:Τμήμα Αποθήκευσης κομπόστ	Σελ.64
	Διαγράμματα πειραματικών δεδομένων	Σελ.69-92
	Φωτογραφικό υλικό	Σελ.97
	Βιβλιογραφία	Σελ.111

Περίληψη

Το κομπόστ που παράγεται από μονάδες κομποστοποίησης οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων είναι ευρέως γνωστό ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον ευρύτερο αγροτικό τομέα. Είναι προϊόν της ελεγχόμενης αερόβιας, θερμοφίλης βιο-οξειδωσης ετερογενών οργανικών υλικών από μικροοργανισμούς προϊόν πλούσιο σε οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό και υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών.

Το εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ.) στα Χανιά και ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής (Χ.Υ.Τ) την διαχείριση του οποίου έχει αναλάβει η Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Απορριμμάτων (Δ.Ε.Δι.Σ.Α), αποτελεί το μοναδικό έργο ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων στην Κρήτη και ένα από τα πλέον σημαντικά στην Ελλάδα.

Το έργο υλοποιήθηκε από την Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων και ο προϋπολογισμός του ανήλθε στα 25,8 εκατ. ευρώ, χρηματοδοτήθηκε κατά 75% από το ταμείο συνοχής II, με ανάδοχο την ENVITEC Α.Ε.

Η εγκατάσταση εκτείνεται σε έκταση 110.000 m², νότια της χαράδρας του Κουρουπητού, του οποίου η αποκατάσταση έχει χρηματοδοτηθεί με 1.700.000 ευρώ από το ΕΠΠΕΡ.

Το Ε.Μ.Α.Κ είναι σχεδιασμένο για δυναμικότητα επεξεργασίας 70.000 τόνων σύμμεικτων αστικών στερεών απορριμμάτων ετησίως καθώς και 10.000 τόνων κλαδοκάθαρων σε μία βάρδια, από τα οποία σύμφωνα με το σχεδιασμό αξιοποιεί το 65% ως εμπορεύσιμο ανακυκλώσιμο υλικό και εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ) και το 35% θάβεται ως υπόλειμμα στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής.[1]

Summary

The composting process is currently viewed primarily as a waste management method to stabilize organic waste, such as manure, yard trimmings, municipal biosolids, and organic urban wastes. Composting involves the aerobic biological decomposition of organic materials to produce stable humus like product. Biodegradation is a natural, ongoing biological process that is a common occurrence in both human-made and natural environments. Community yard trimmings composting programs, source-separated organics composting, and mixed MSW composting are considered forms of recycling.

The Municipal Solid Waste Recycling and composting Facility (MSWRCF) as well as the "Sanitary Landfill"(SF) have been constructed in Korakia, Akrotiri, at the north coast of Chania Prefecture. Korakia is very close to the well-known area Kouroupitos. The MSWRCF is designed to handle 70,000 tones of MSW as well as 10.000 tones of green wastes annually. The project was financed by 75% from the EU. Responsible for completing as well as running both sites in the Prefecture of Chania as well as the Trans Municipal Company of Solid Waste's Management of Chania. MSWRCF receives wastes from the Municipality of Chania and many, less populated, surrounding municipalities. A partial source separation scheme is in progress for the individual collection of paper, plastic, metals and glass. The size and abilities of the MSWRCF, the determination of the responsible organizations, the commitment of the local communities in the source separation scheme and the utilization of the recycled material as well as the produced compost, guarantee the success of the whole project.[1]

Εισαγωγή

Η **λιπασματοποίηση (=κομποστοποίηση) ή composting** όπως διεθνώς ονομάζεται είναι μία από τις πολλές μεθόδους διάθεσης των απορριμμάτων που ικανοποιητικά αντιμετωπίζει και το πρόβλημα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος από τα στερεά υπολείμματα, αλλά και υλοποιεί την ανακύκλωση. Έτσι εκτός από την ανακύκλωση των μετάλλων, του χαρτιού, των γυαλιών και των ελαστικών, που σε κάποιο ικανοποιητικό βαθμό μπορούμε να επιτύχουμε, με τη σύνθετη διαδικασία της ανακύκλωσης και λιπασματοποίησης, ανακυκλώνουμε 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.

Κομποστοποίηση είναι η βιολογική, αερόβια, θερμόφιλη και ελεγχόμενη διεργασία μερικής αποσύνθεσης των οργανικών αποβλήτων που οδηγεί στην παραγωγή **κομπόστ**, δηλαδή ενός οργανικού εδαφοβελτιωτικού που προσομοιάζει στο χούμους του εδάφους και προωθεί την ανάπτυξη των φυτών. Στον ορισμό αυτό αν και δεν αναφέρεται ρητά ο όρος βιο-οξειδωση υποδηλώνει αερόβιες διεργασίες, και συνεπώς το στερεό υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης δεν μπορεί να ονομαστεί κομπόστ εκτός και εάν υποστεί ένα δεύτερο στάδιο αερόβιας σταθεροποίησης. Στο σημείο αυτό δεν θα έπρεπε να υπάρχει σύγχυση, καθώς υπάρχει γενική συμφωνία ότι ο όρος κομπόστ αναφέρεται στο βιοσταθεροποιημένο οργανικό υλικό που προέρχεται από ελεγχόμενες, αερόβιες και θερμόφιλες διεργασίες επεξεργασίας οργανικών υλικών.[3]

Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης, όπως είναι γνωστό, είναι μια φυσική βιολογική διεργασία που ουσιαστικά συμβαίνει, στη φύση χωρίς διακοπή, από την εδραίωση της ζωής, πάνω στη γη. Η φύση μέσα από μιας θαυμαστής τελειότητας οικονομία, με τη συνεχή δόμηση και αποδόμηση της οργανικής ύλης, κατορθώνει να ανακυκλώνει την ύλη, να διατηρεί και συνεχώς να ανανεώνει τη ζωή μέσα από το θάνατο. Ο μηχανισμός της φυσικής βιολογικής αποδόμησης της οργανικής ύλης, (οικοσύστημα) που διαμορφώθηκε στα εκατομμύρια χρόνια μέχρι σήμερα, έχει ορισμένες πεπερασμένες ικανότητες. Η υπερφόρτωση του οικοσυστήματος αυτού, με νεκρή οργανική ύλη, πέραν των ικανότητων του, επιφέρει αυτόματα την κατάρρευσή του που εκδηλώνεται αμέσως με την περιβαλλοντική κρίση και της συνέπειες της. Κι είναι αυτό ακριβώς που σημειώθηκε με την αύξηση στην εποχή μας των στερεών υπολειμμάτων και τη συγκέντρωσή τους σε μια σχετικά μικρή επιφάνεια εδάφους, τις χωματερές. Με την κομποστοποίηση έρχεται ουσιαστικά ο άνθρωπος σε μία από τις σπάνιες περιπτώσεις σύμπτωσης του με τη φύση, να την υποβοηθήσει στη γρήγορη και αποτελεσματική αποσύνθεση των τεραστίων αυτών ποσοτήτων της οργανικής ύλης, προϊόν εξάλλου αφύσικων διεργασιών, που από μόνη της είναι αδύνατον να πραγματοποιήσει χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η κομποστοποίηση είναι μια φαινομενικά απλή διεργασία, αν και η εντύπωση της απλότητας αυτή είναι μάλλον απατηλή, καθώς οδηγεί συχνά σε ακριβά λάθη αν αγνοηθούν οι βασικές αρχές και παράμετροι της διεργασίας. Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η αποτυχία ακόμη και ακριβών συστημάτων κομποστοποίησης οφείλεται συνήθως στην παράβλεψη βασικών λειτουργικών, τροφικών, και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Μια πληθώρα οργανικών αποβλήτων μπορούν με την κατάλληλη επεξεργασία να μετατραπούν σε ένα πλούσιο φυτόχωμα, το κομπόστ, το οποίο μπορεί να βρει πολλές εφαρμογές στη γεωργία, στα πάρκα, και στην ανάπτυξη και αναδάσωση προβληματικών εκτάσεων (εγκαταλελειμμένα λατομεία, πρηνή δρόμων κλπ). Η κομποστοποίηση μιμείται και επιταχύνει τις διεργασίες αποδόμησης των οργανικών ενώσεων που συμβαίνουν αυθόρμητα στη φύση.

Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν φυσιολογικά στα οργανικά απόβλητα, χρησιμοποιούν τα οργανικά συστατικά των απόβλητων ως τροφή για την ανάπτυξή τους. Η διαδικασία αυτή είναι αερόβια (δηλ. χρειάζεται την παρουσία οξυγόνου) και εξώθερμη (δηλ. απελευθερώνει θερμότητα). Καθώς οι μικροοργανισμοί «τρώνε» τα απόβλητα, αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται, το pH αλλάζει, η θερμοκρασία του σωρού των αποβλήτων αυξάνει, και τα απόβλητα μετασχηματίζονται σε πιο πολύπλοκες και σταθερές οργανικές ενώσεις, που μοιάζουν με το φυσικό χούμο των εδαφών. Κατά την ενεργή φάση της κομποστοποίησης η θερμοκρασία, αν δεν ελεγχθεί, μπορεί να ξεπεράσει τους 70 °C, να αδρανοποιήσει ή και να σκοτώσει τους μικροοργανισμούς, και να γίνει απαγορευτική για την ομαλή και γρήγορη ολοκλήρωση της διεργασίας. Η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης είναι γύρω στους 55 °C.

Η ποιότητα του παραγόμενου κομπόστ και η δυνατότητα διάθεσής του είναι καθοριστικές για την επιτυχία μιας μονάδας κομποστοποίησης, αλλά και για την αποδοχή και εξέλιξη της μεθόδου στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης αποβλήτων γενικότερα. Καθώς σήμερα δεν υπάρχουν θεσμοθετημένες ποιοτικές προδιαγραφές για το κομπόστ σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), υπάρχει μεγάλη διακύμανση από χώρα σε χώρα, η οποία συνήθως αντανακλά τις διαφορετικές προσεγγίσεις στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων και την αυστηρότητα στην προστασία του εδάφους.

Οι ποιοτικές προδιαγραφές συνήθως προσπαθούν να συμβιβάσουν δύο αντικρουόμενους στόχους: την προστασία της δημόσιας υγείας, του εδάφους και του περιβάλλοντος γενικότερα από τη μία πλευρά και την μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης των οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων από την άλλη. Σε πολλές περιπτώσεις η νομοθεσία προβλέπει την κατάταξη των κομπόστ σε ποιοτικές κατηγορίες ανάλογα με τις προδιαγραφές που πληρούν και υπάρχει διαφοροποίηση των επιτρεπόμενων χρήσεων για κάθε κατηγορία. Σε αρκετές χώρες (Γερμανία, Αυστρία, Βέλγιο, Μεγάλη Βρετανία, Ολλανδία κ.ά.) έχουν αναπτυχθεί εθελοντικά συστήματα πιστοποίησης του κομπόστ και τη ποιότητα του προϊόντος και απονέμουν το αντίστοιχο σήμα ποιότητας, με πιο γνωστό ίσως το Γερμανικό RAL.

Η από καιρό αναμενόμενη Ευρωπαϊκή οδηγία για την κομποστοποίηση, ή για την βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων όπως είναι πιο πιθανό να ονομαστεί, ακόμη δεν έχει ψηφιστεί, έχει όμως ήδη διαμορφωθεί ένα κείμενο εργασίας που μπορεί να θεωρηθεί ως πρόταση Οδηγίας. Το κείμενο αυτό αν και δεν είναι νομικά δεσμευτικό, και πιθανότατα θα υποστεί αρκετές αλλαγές μέχρι την τελική μορφή της οδηγίας, μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει τις σύγχρονες τάσεις και την κυρίαρχη πολιτική της Ε.Ε. όσον αφορά στη διαχείριση του οργανικού κλάσματος των αστικών αποβλήτων, και αποτελεί ένα ισχυρό πόλο επιρροής για την διαμόρφωση των εθνικών πολιτικών των χωρών μελών.[2]

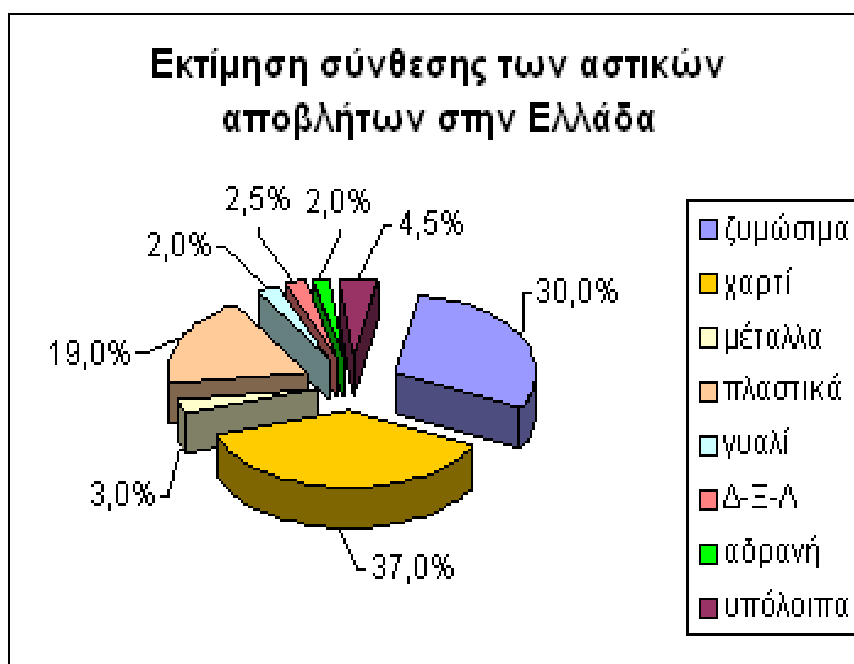
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Κομποστοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.)

Αστικά Στερεά Απόβλητα (Α.Σ.Α.) είναι αυτά, που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απόβλητα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απόβλητα), των καθαρισμών οδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων, καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ.) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα αναφέρονται και ως Δημοτικά Στερεά Απόβλητα [4]. Σύμφωνα με την Οδηγία 1999/31/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ως αστικά απόβλητα ορίζονται "τα οικιακά απόβλητα καθώς και άλλα απόβλητα, τα οποία, λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά"[5].

1.2 Διαλογή στην Πηγή Οργανικού Κλάσματος

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η σύνθεση των οικιακών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα. Κατά κανόνα, οι ιλύες βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, τα υπολείμματα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και των κατεδαφίσεων και τα απόβλητα των νοσοκομείων δεν περιλαμβάνονται στα ΑΣΑ, δεδομένου ότι δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απόβλητα. Βέβαια, τα απόβλητα αυτά είναι πιο εύκολο να αναλυθούν, από την άποψη ότι, ανά κατηγορία αποβλήτων, έχουν μεγαλύτερο βαθμό ομοιομορφίας από ότι τα οικιακά απόβλητα.[6]



Διάγραμμα 1.1
Εκτίμηση σύνθεσης των Α.Σ.Α. στην Ελλάδα[6]

Πίνακας 1.1: Σύνθεση Οικιακών Στερεών Αποβλήτων (μέσες τιμές κατά βάρος %) στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Χώρας (1997)[6]

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Ζυμώσιμα	30,0%
Χαρτί	37,0%
Μέταλλα	3,0%
Πλαστικά	19,0%
Γυαλί	2,0%
Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο	2,5%
Αδρανή	2,0%
Υπόλοιπα	4,5%

Τις τελευταίες δεκαετίες, στις περιοχές του πλανήτη όπου βρίσκονται οι λεγόμενες καταναλωτικές κοινωνίες, το πρόβλημα της διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων και των κάθε είδους αποβλήτων έχει γιγαντωθεί. Στην περίπτωση της διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων, η παρασκευή κομπόστ από το οργανικό κλάσμα τους εμφανίζεται ως μία αναγκαιότητα για την άμβλυνση του προβλήματος. Με την κομποστοποίηση μπορεί να μειωθεί σημαντικά ο όγκος των απορριμμάτων που απομένει για την υγειονομική ταφή ή την όποια άλλη διαχείριση έχει οριστεί, και παράλληλα, εφόσον το προϊόν πωλείται, να καλυφτεί ένα μέρος των εξόδων (υπέρογκων, συνήθως), του συστήματος διαχείρισης.

Για τον λόγο αυτό υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον, από το 1950 περίπου και μετά, για συστήματα κομποστοποίησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων έχουν κατασκευαστεί εκατοντάδες εργοστάσια σε διάφορες χώρες. Άλλωστε, υπάρχει ήδη νομοθετική δέσμευση και στην Ελλάδα, για υποχρεωτική κομποστοποίηση όλο και μεγαλύτερου μέρους των οργανικών απορριμμάτων, βάσει συγκεκριμένων ποσοστών.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Οδηγία 1999/31 της Ευρωπαϊκής Κοινότητας και την ΚΥΑ 29407/3508 του 2002:

-Το 2010, τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους ταφής πρέπει να μειωθούν στο 75% της συνολικής (κατά βάρος) ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995. (Για την Ελλάδα υπολογίζεται ποσότητα 2.688.000 τόνοι, που αντιστοιχεί στο 1997, έτος για το οποίο υπάρχουν στοιχεία της Eurostat) [17].

-Το 2013, θα πρέπει να μειωθούν στο 50% αυτής.

-Το 2020, θα πρέπει να μειωθούν στο 35% αυτής.

1.3 Στοιχεία για την παραγωγή και τη σύσταση των απορριμμάτων

Ανάλογα με την προέλευση των αστικών απορριμμάτων η σύστασή τους ποικίλει. Υπάρχουν ωστόσο κάποιες ομοιότητες: Το μεγαλύτερο ποσοστό του όγκου των απορριμμάτων καλύπτουν χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά και μέταλλα που προέρχονται από συσκευασίες προϊόντων. Το ζυμώσιμο κλάσμα, (χωρίς το χαρτί) που αποτελείται από υπολείμματα τροφών, απορρίμματα από κήπους, κομματάκια ξύλο κ.α., κυμαίνεται στο 30-50%. Να σημειωθεί πως η παραγωγή απορριμμάτων παγκοσμίως αυξάνεται.

Παράλληλα, τροποποιείται και η σύνθεσή τους. Το ίδιο συμβαίνει και στην Ελλάδα. Ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1990 είχαμε παραγωγή απορριμμάτων γύρω στα 300 κιλά ανά κάτοικο το χρόνο, στις αρχές του 2000 η ποσότητα αυτή έτεινε στα 400 κιλά. Σήμερα το

Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. εκτιμά την ποσότητα στα 440 κιλά ανά κάτοικο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση του καταναλωτικού επιπέδου και στην αλλαγή της μορφής και του είδους των προϊόντων που καταναλώνουμε, και πολύ λιγότερο στην αύξηση του πληθυσμού.



Διάγραμμα 1.2
Παραγωγή Αστικών Αποβλήτων στην Ελλάδα [6]

Σύμφωνα με εκτιμήσεις της Οικολογικής Εταιρείας Ανακύκλωσης (Γενάρης 2007), η ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α. στην Ελλάδα έχει πλέον ξεπεράσει τα 5 εκατομ. τόνους.

Το γεγονός πως έχουν γίνει λίγες έρευνες ποσοτικής και ποιοτικής σύστασης των στερεών απορριμμάτων στην Ελλάδα, με διαφορετικές μεθόδους σε διάσπαρτες περιοχές δημιουργεί πρόβλημα αξιοπιστίας των στοιχείων, όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν για προγραμματισμό διαχείρισης. Ο Εθνικός Σχεδιασμός βασίζεται σε στοιχεία της δεκαετίας 1990 κατά κύριο λόγο, και από τότε, όπως φαίνεται από νεότερες μελέτες αλλά και από την εμπειρία, έχει αλλάξει και η ποσότητα και η σύσταση.

Η αναλογία των βιοαποδομήσιμων (πλην χαρτιού και χαρτονιού) υλικών σταδιακά μειώνεται, γιατί αυξάνονται τα υλικά των συσκευασιών στη συνολική μάζα των Α.Σ.Α.

Στην Κρήτη η παραγωγή σκουπιδιών υπολογιζόταν το 2001 τους 229.162 τόνους και το 2005 τους 276.954 τόνους. Τα στοιχεία αυτά έχουν υπολογιστεί το 2003-2004 με δειγματοληψίες σε διάφορους Χ.Υ.Τ.Α. τριών νομών της Κρήτης (Ρεθύμνου, Ηρακλείου, Λασιθίου). Οι ποσότητες βγήκαν με βάση την εξέλιξη του πληθυσμού, τον εποχιακό πληθυσμό (τουρισμός) και με την εκτίμηση για 0,8-1,2 κιλά/ημέρα ανά μόνιμο κάτοικο και 1,2 κιλά/μέρα ανά τουρίστα. Το γεγονός πως με βάση τα στοιχεία αυτά γίνεται εκτίμηση για το Ν. Χανίων για το 2006 ποσότητας 67.763 τόνων, ενώ στην πραγματικότητα φτάνει τις 87.000 τόνους, δείχνει πως έχει υποεκτιμηθεί είτε η παραγωγή ανά άτομο είτε ο πληθυσμός.[7]

Να σημειωθεί πως ο σημερινός μόνιμος πληθυσμός εκτιμάται από την Ε.Σ.Υ.Ε. στις 150.193 άτομα. Κατά πάσα πιθανότητα ο πληθυσμός που διαμένει μόνιμα (και παράγει απορρίμματα) είναι μεγαλύτερος κατά αρκετές χιλιάδες άτομα. Κι αυτό γιατί στις απογραφές δεν υπολογίζονται οι στρατιωτικοί των βάσεων (υπάρχουν αρκετές στην περιοχή Ακρωτηρίου-Σούδας), ενώ είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί ο πραγματικός αριθμός των οικονομικών μεταναστών. (Ο αριθμός τους αυξομειώνεται ανάλογα με την εποχή, άλλωστε κάποιοι δεν έχουν άδεια παραμονής και δεν φαίνονται σε κανένα αρχείο). [7]

Στο Ν. Χανίων καθημερινά παράγονται 200-300 περίπου τόνοι στερεών απορριμμάτων ανάλογα με την εποχή. Η συνολική ετήσια ποσότητα που καλύπτει το δίκτυο της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. (και η οποία αντιστοιχεί σε 137.000 περίπου μόνιμους κατοίκους –στοιχεία Ε.Σ.Υ.Ε.), έφτασε τους 80.250 τόνους το 2006 (εισερχόμενα σύμμεκτα απορρίμματα, ζυγισμένα στην είσοδο

του Ε.Μ.Α.Κ.) και σ' αυτήν πρέπει να προστεθεί και μια μικρότερη ποσότητα 7-8.000 τόνων των δήμων και κοινοτήτων του νομού που έχουν αυτόνομη διαχείριση (7.613 τόνοι συνολικά σύμφωνα με εκτιμήσεις των υπηρεσιών αποκομιδής τους), Η περιεκτικότητά τους σε ζυμώσιμα υλικά, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Πολυτεχνείου Κρήτης φτάνει το 40,3%. Στην ίδια μελέτη η συνολική ετήσια παραγόμενη ποσότητα εκτιμάται σε 85.590 τόνους[7].



Διάγραμμα 1. 3
Σύνθεση Α.Σ.Α. Ν. Χανίων[1]

Τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψαν από συστηματικές δειγματοληψίες στο περιεχόμενο των απορριμματοφόρων της ΔΕΔΙΣΑ που κατέφθαναν στο Ε.Μ.Α.Κ.-Χ.Υ.Τ.Υ. σε όλη τη διάρκεια ενός χρόνου. Παρατηρήθηκαν αρκετά χαμηλά ποσοστά σε χαρτί και πλαστικά, μάλλον λόγω της λειτουργίας της ανακύκλωσης στην περιοχή, λόγω της οποίας σημαντικές ποσότητες από αυτά τα υλικά έχουν ήδη διαχωριστεί στους ειδικούς κάδους. Επομένως το ποσοστό 40,3 % δεν πρέπει να θεωρηθεί το αρχικό ποσοστό ζυμώσιμων του συνόλου των Α.Σ.Α., και αντιπροσωπεύει μια υπερεκτίμηση. Επιπλέον, και η τρέχουσα εμπειρία από το Ε.Μ.Α.Κ. δείχνει ποσοστό ζυμώσιμων υλικών στα εισερχόμενα απορριμματοφόρα μικρότερο του 40% - ίσως 34-35%. Παρόλα αυτά, δεν παύει να είναι πολύ σημαντικό ποσοστό.[11]

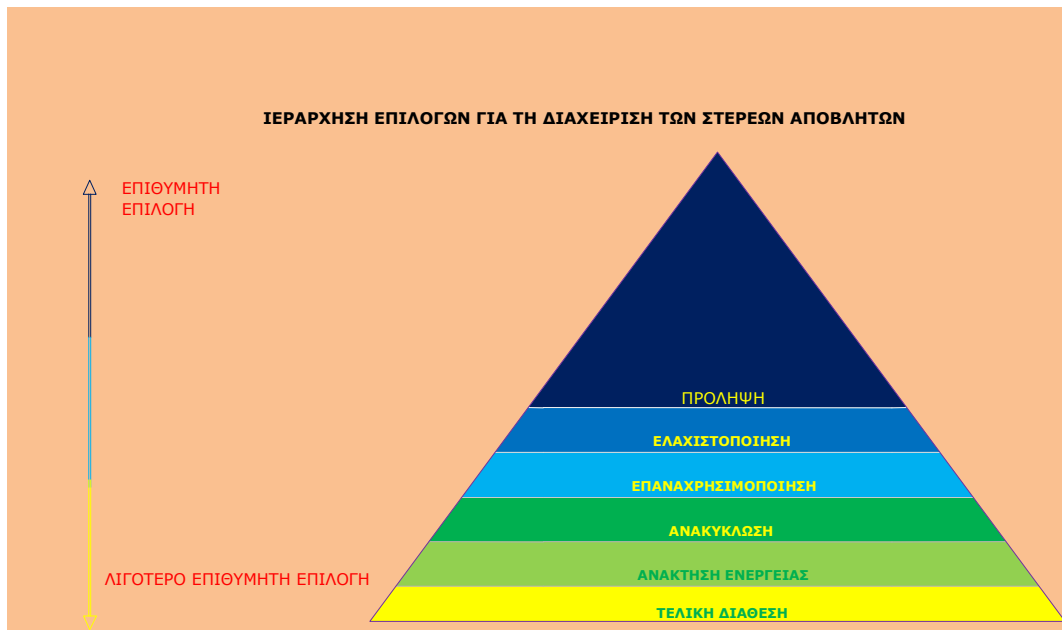
Και στα Χανιά, λοιπόν, πέρα από άλλες αναγκαίες πρακτικές διαχείρισης, όπως η μείωση στην πηγή, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση υλικών, η εκμετάλλευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών απορριμμάτων είναι απολύτως απαραίτητη και πρέπει να αναπτυχθεί με ταχείς ρυθμούς.

1.4. Το συνολικό σύστημα διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων και η θέση της κομποστοποίησης σ' αυτό.

Σήμερα, η διεθνής εμπειρία, αλλά και η νομοθεσία της Ε.Ε. και της χώρας μας, κατατείνει σε ένα μοντέλο αντιμετώπισης του προβλήματος που αναφέρεται παρακάτω ιεραρχικά, ξεκινώντας από τις πιο σημαντικές ενέργειες:

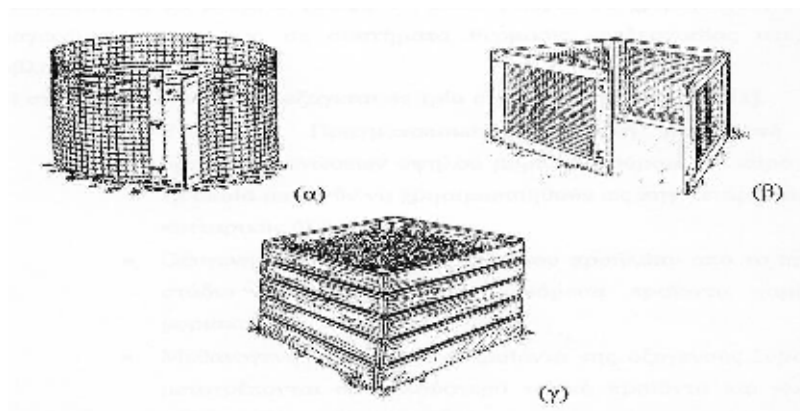
- Πρόληψη,
- Μείωση των απορριμμάτων στην πηγή,
- επαναχρησιμοποίηση,
- ανακύκλωση υλικών, (εδώ περιλαμβάνεται και η κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος),
- ανάκτηση ενέργειας,
- τελική διάθεση των υπολειμμάτων με υγειονομική ταφή ή συνδυασμό αποτέφρωσης και υγειονομικής ταφής του υπολείμματος της καύσης.

Υπάρχει απόλυτη ανάγκη για μείωση των ποσοτήτων των απορριμμάτων που θάβονται, γιατί η εξεύρεση χώρων για υγειονομική ταφή είναι δύσκολη, (οι «πόλεμοι των σκουπιδιών», λόγω κοινωνικών αντιδράσεων στη χωροθέτηση τέτοιων χώρων μαίνονται παντού) και γιατί όλοι οι χώροι αυτοί κάποτε γεμίζουν. Επίσης, η δημιουργία νέων Χ.Υ.Τ.Υ. (Χώρων Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων) κοστίζει πολύ.[8]



1.5 Διαδικασία παραγωγής κομπόστ από Α.Σ.Α.

Το ζυμώσιμο κλάσμα από τα σύμμεικτα αστικά στερεά απόβλητα, εφόσον διαχωριστεί σε ειδικές εγκαταστάσεις, μπορεί να κομποστοποιηθεί. Άλλες κατηγορίες απορριμμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή κομπόστ διαχωρισμένα εξ' αρχής από την πηγή τους είναι τα λεγόμενα «πράσινα απορρίμματα» που αποτελούνται από τα κλαδέματα, τα φύλλα και την κομμένη χλόη των μικρών ιδιωτικών κήπων και των δημοτικών πάρκων και δεντροστοιχιών, και τα υπολείμματα φαγητών (πριν ή μετά το μαγείρεμα) από τις κουζίνες των ιδιωτικών κατοικιών, των εστιατορίων, των καντινών κ.α. Γίνεται μια μεγάλη συζήτηση για το αν πρέπει να δοθεί έμφαση στην επί τόπου κομποστοποίηση στους κήπους των σπιτιών, όπου αυτό είναι δυνατό, ή στην κεντρική κομποστοποίηση των ποσοτήτων που προκύπτουν από το διαχωρισμό των ζυμώσιμων από τα ανάμεικτα απορρίμματα. Επίσης εάν συμφέρει να υπάρχει σύστημα χωριστής συγκέντρωσης των υπολειμμάτων των φαγητών από τα «πράσινα απορρίμματα», όπως γίνεται σε αρκετές πόλεις και περιοχές της Ευρώπης και της Β. Αμερικής, λόγω του ότι έχουν αρκετά διαφορετικές ιδιότητες όσον αφορά την κομποστοποίησή τους.[7]



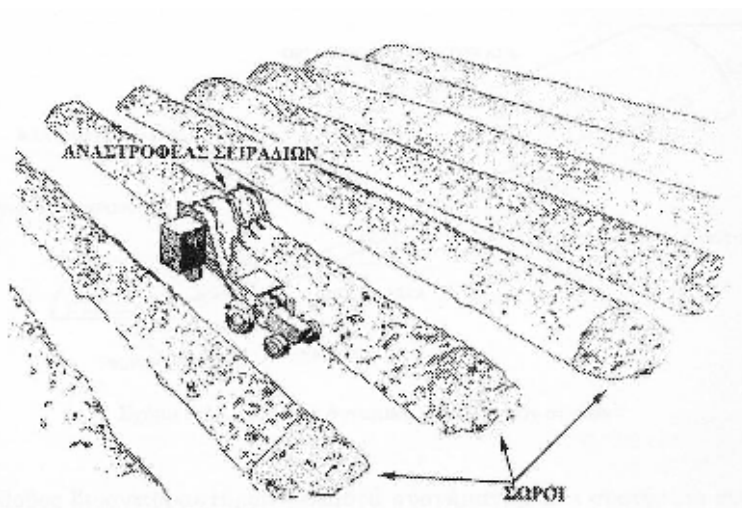
Εικόνα 1.2
Απλές κατασκευές για οικιακή κομποστοποίηση [7]

Παρακάτω περιγράφεται η μέθοδος κομποστοποίησης σε κεντρικές μονάδες:

Η παραγωγή κομπόστ από αστικά στερεά απόβλητα (Α.Σ.Α.) γίνεται σε μονάδες διαλογής που ξεχωρίζουν από τη μάζα των ανάμεικτων σκουπιδιών των νοικοκυριών, τα διάφορα χρήσιμα υλικά (χαρτιά, πλαστικά, μέταλλα), διάφορα άλλα υλικά που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν (και πρέπει να διατεθούν τελικά στον Χ.Υ.Τ.Α) και τα οργανικά υλικά (υπολείμματα τροφίμων, κομμάτια ξύλο, σπάγκοι από φυτικές ίνες κ.α.). Το οργανικό αυτό κλάσμα οδηγείται στην κομποστοποίηση μόνο του ή σε συνδυασμό με άλλες ποσότητες οργανικών υλικών που έρχονται από άλλες πηγές, π.χ. κομμένα χόρτα και κλαδέματα των δεντροστοιχιών από τις τοπικές υπηρεσίες πρασίνου.

Συχνή είναι επίσης η προσθήκη λάσπης από τις εγκαταστάσεις των βιολογικών καθαρισμών των λυμάτων, για λόγους που σχετίζονται με την εξασφάλιση καλύτερης σχέσης C/N (άνθρακα προς άζωτο) στα υλικά του κομπόστ. Σχεδόν πάντα, όμως, η προσθήκη αυτής της λάσπης σημαίνει σημαντική αύξηση των βαρέων μετάλλων στο τελικό προϊόν. Υπάρχει και η μέθοδος με τη χρήση γαιοσκωλήκων, που εξασφαλίζει πολύ καλής ποιότητας κομπόστ.

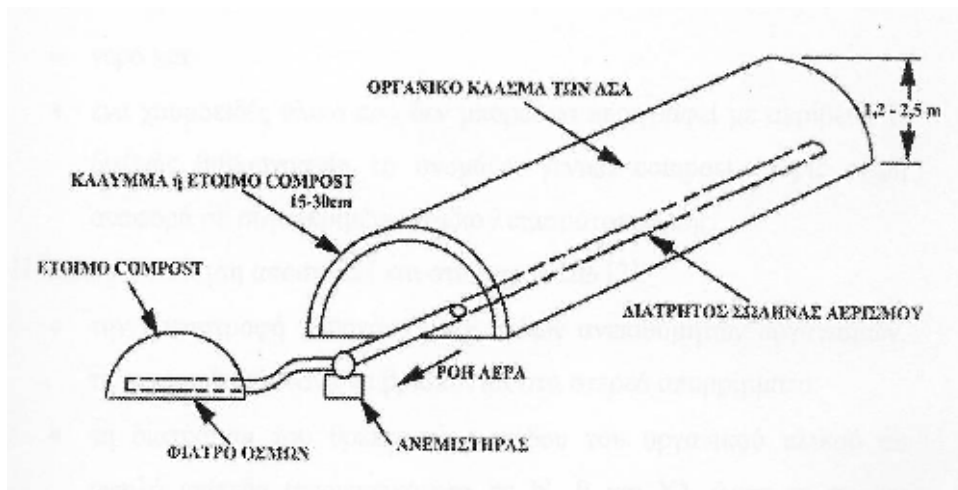
Υπάρχουν δεκάδες συστήματα παρασκευής κομπόστ που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σε τέτοιες μονάδες. Γενικά, υπάρχουν δύο κατηγορίες: τα «υπαίθρια» («open»)[εικ. 1.2] και τα «στεγασμένα» («closed»)[εικ.1.3]. Στα υπαίθρια που μοιάζουν πολύ με τις απλές μεθόδους που χρησιμοποιούν οι αγρότες[εικ.1.1], τα υλικά εναποτίθενται, κατά το δυνατόν ομογενοποιημένα, σε σωρούς σε ανοιχτό μέρος, ενώ στα στεγασμένα συστήματα χρησιμοποιούνται ειδικοί κλειστοί χώροι και εγκαταστάσεις («δοχεία -αντιδραστήρες» ή δεξαμενές ζύμωσης). Πάντως, και στην τελευταία περίπτωση η φάση της ωρίμανσης του κομπόστ γίνεται συχνά σε σωρούς στο ύπαιθρο («μεικτό σύστημα»). Γενικά υπάρχουν πολλές παραλλαγές, κάθε σύστημα έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και πολλοί παράγοντες πρέπει να συνεκτιμηθούν για την τελική επιλογή. Φυσικά, το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της μονάδας παίζει κυρίαρχο ρόλο.



Εικόνα 1. 3
Κομποστοποίηση με αναστρεφόμενους σωρούς[7]

Στην περίπτωση της υπαίθριας επεξεργασίας πρέπει να υπάρχει πρόνοια για τον αερισμό, τη ρύθμιση της υγρασίας και της θερμοκρασίας με απλά, έστω, μέσα. (Κατά περίπτωση, μηχανήματα που αναστρέφουν και ανακατεύουν τον σωρό, ή βεβιασμένη παροχή αέρα σε στατικούς σωρούς, ψεκασμός με νερό κ.α.).

Οπωσδήποτε ο έλεγχος των παραγόντων αυτών υστερεί σε σχέση με πιο σύνθετα και πολυδάπανα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε στεγασμένες μονάδες.



Εικόνα 1.4
Βεβιασμένος αερισμός στατικών σωρών[7]

Στις «κλειστές» μονάδες μπορούμε να συναντήσουμε δύο γενικές κατηγορίες κατασκευών που βοηθούν την αερόβια ζύμωση των υλικών. Μια ομάδα είναι αυτή των κάθετων κυλινδρικών βιοαντιδραστήρων, στους οποίους διοχετεύεται το οργανικό υλικό από το επάνω μέρος και, καθώς προχωρά η κομποστοποίηση, βγαίνει το έτοιμο κομπόστ από το κάτω μέρος. Τα συστήματα αυτά κοστίζουν πολύ και εμφανίζουν και κάποια πρακτικά προβλήματα[7]. Η άλλη ομάδα, πιο συνηθισμένη, χρησιμοποιεί οριζόντιες δεξαμενές ζύμωσης. Όλες αυτές οι κατασκευές παρέχουν τη δυνατότητα της ανάδευσης του υλικού, της παροχής αέρα, του ψεκασμού με νερό, της ρύθμισης της θερμοκρασίας, της απόσμησης του χρησιμοποιημένου αέρα και της εύκολης δειγματοληψίας από διάφορα μέρη του μείγματος για να ελεγχθεί η πρόοδος της ζύμωσης και η σύνθεση του προϊόντος.

Στην κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα και περιορισμοί. Η σύσταση της πρώτης ύλης δεν είναι επακριβώς γνωστή και ούτε είναι σταθερή. Περιέχει παθογόνους παράγοντες και τοξικές ουσίες σε μικρό ή μεγάλο βαθμό. Επίσης διάφορες ξένες ουσίες (π.χ. κομματάκια γυαλί, κομματάκια πλαστικού) που είναι ανεπιθύμητες επειδή υποβαθμίζουν την τελική ποιότητα. Αυτά τα προβλήματα πρέπει να ξεπεραστούν για να μπορέσει το τελικό προϊόν να είναι σύμφωνο με την υπάρχουσα νομοθεσία [12] και να έχει μια συνολική ποιότητα που να του επιτρέπει να «σταθεί» στην αγορά. Επίσης, η λειτουργία της μονάδας δεν πρέπει να δημιουργεί ιδιαίτερη ενόχληση στην περιοχή λόγω δυσάρεστων οσμών ή άλλων ανεπιθύμητων καταστάσεων. [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Νομοθετικό πλαίσιο:

Οι προδιαγραφές ποιότητας του παραγόμενου κομπόστ καθορίζονται από την ΚΥΑ 114218 «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων Διαχείρισης στερεών αποβλήτων» που αφορά προϊόντα κομπόστ παραγόμενα από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής αστικών απορριμμάτων και κομποστοποίησης.

Γενικά για την κυκλοφορία εδαφοβελτιωτικών ουσιών για χρήση τους στη γεωργία ισχύει η υπ. Αριθ.217217 ΦΕΚ 35/16-01-2004 Απόφαση που καθορίζει τους όρους κυκλοφορίας του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών στοιχείων του προϊόντος, τις αναγκαίες επιστημονικές επί των συσκευασιών και των συνοδευτικών εγγράφων καθώς και τις υποχρεώσεις της επιχείρησης που το παράγει.[12]

Οι στρατηγικοί και ποιοτικοί/ ποσοτικοί στόχοι της νομοθεσίας:

Οι στρατηγικοί στόχοι του νόμου και των σχετικών Π.Δ. είναι:

- Η μείωση του όγκου και της επικινδυνότητας των παραγόμενων αποβλήτων καθώς και ο περιορισμός των βλαπτικών συνεπειών τους στο περιβάλλον και την υγεία.
- Η μείωση της τελικής διάθεσης των συσκευασιών και «άλλων προϊόντων» με την ενθάρρυνση κατά προτεραιότητα

1^ο) συστημάτων επαναχρησιμοποίησης κατά τρόπο αβλαβή για το περιβάλλον καθώς κι ανάκτησης υλικών κι ανακύκλωσής τους, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και πρωτογενών πρώτων υλών, και

2^ο) ανάκτησης ενέργειας ως αποτελεσματικό μέσο αξιοποίησής τους.

- Καθορισμός ποσοτικών στόχων για την ανακύκλωση και τις άλλες εργασίες αξιοποίησης των αποβλήτων σε συγκεκριμένα χρονικά όρια.
- Σχεδιασμός και καθιέρωση ατομικών ή συλλογικών συστημάτων επιστροφής, συλλογής και αξιοποίησης με τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων μερών στη βάση της «ευθύνης του παραγωγού / διακινητή για όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων». Ουσιαστικά μέχρι το τέλος του 2006 προβλεπόταν ότι τα διάφορα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης θα έπρεπε να συλλέγουν χωριστά και να διασφαλίζουν την αξιοποίηση και ανακύκλωση ενός σημαντικού ποσοστού των αποβλήτων που καταλήγουν σήμερα σε ανεξέλεγκτους ή και σε οργανωμένους χώρους ταφής, ακολουθώντας περιβαλλοντικές προδιαγραφές, αλλά και συμβάλλοντας στην σύγκλιση της χώρας μας με το ευρωπαϊκό περιβαλλοντικό κεκτημένο.
- Διαχωρισμός των αποβλήτων στην πηγή, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλό επίπεδο ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών.
- Πληροφόρηση, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών.
- Πρόβλεψη μέτρων και όρων (άδειες, πιστοποιητικά κ.α.) για τη συνεργασία όσων προβαίνουν σε διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων στα πλαίσια της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει».

Δεν υπάρχουν ίδιες προδιαγραφές για τα κομπόστ και ειδικά για τα κομπόστ από Αστικά Στερεά Απόβλητα σε όλες τις χώρες, ούτε καν στις χώρες-μέλη της Ε.Ε. (προς το παρόν). Σε πολλές χώρες υπάρχουν υποχρεωτικές (από την εθνική τους νομοθεσία) ή εθελοντικές προδιαγραφές. Αυτές συνήθως περιγράφουν ανώτατα επιτρεπτά όρια για την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, παθογόνους μικροοργανισμούς κ.α., στο τελικό προϊόν, αλλά συχνά επιβάλλουν και συγκεκριμένες διαδικασίες παραγωγής, τρόπο δειγματοληψίας για έλεγχο κ.α.

2.2 Ποιοτικές προδιαγραφές

Οι ποιοτικές προδιαγραφές συνήθως προσπαθούν να συμβιβάσουν τρεις στόχους, από τους οποίους οι δύο είναι αντικρουόμενοι: η προστασία γενικά της δημόσιας υγείας, του εδάφους και του φυσικού περιβάλλοντος συνολικά από τη μία μεριά και η μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης των οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων από την άλλη. Ο τρίτος στόχος είναι η προστασία ειδικά από παθογόνα μικρόβια των συγκεκριμένων χρηστών του κομπόστ[2]. Σε πολλές χώρες η νομοθεσία προβλέπει την κατάταξη των κομπόστ σε ποιοτικές κατηγορίες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και η επιτρεπόμενη χρήση τους διαφοροποιείται από κατηγορία σε κατηγορία. Σε ορισμένες χώρες, επίσης, έχουν αναπτυχθεί εθελοντικά συστήματα πιστοποίησης, συνήθως για υψηλής ποιότητας κομπόστ, που απονέμουν κάποιο σήμα ποιότητας (π.χ. το BGK-RAL στη Γερμανία, το RVF στη Σουηδία, το DACOFA στη Δανία κ.α.).

Στην Ελλάδα για τα κομπόστ γενικά δεν υπάρχουν προδιαγραφές. Όσον αφορά τα κομπόστ από εγκαταστάσεις Μηχανικής Διαλογής-Κομποστοποίησης Αστικών Απορριμμάτων, απαιτούνται τα παρακάτω ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά, **σύμφωνα με την ΚΥΑ 114218/19[15]**

Πίνακας 2.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά κομπόστ από Α.Σ.Α[15]

Ποιοτικά χαρακτηριστικά κομπόστ από Α.Σ.Α.	
Κάδμιο:.....	όχι περισσότερο από 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:	510 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 πλαστικό:.....	<0,3% ξηρού βάρους
Περιεκτικότητα σε γυαλί:.....	<0,5% ξηρού βάρους
Υγρασία:.....	<40%
Κοκκομετρική διαβάθμιση για το 90% κατά βάρος μέγεθος <10 mm	

Στην ίδια απόφαση αναφέρονται περιορισμοί για τις μέγιστες ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργούμενα εδάφη.

Πίνακας 2.2: Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων σε καλλιεργούμενα εδάφη[15]

Οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργούμενα εδάφη με βάση ένα Μ.Ο. 10 ετών. (Kg/εκτάριο/έτος)	
Παράμετροι	Οριακές τιμές
Κάδμιο.....	0,15
Χαλκός.....	12
Νικέλιο.....	3
Μόλυβδος.....	15
Ψευδάργυρος.....	30
Χρώμιο.....	5
Υδράργυρος.....	0,1

Εξετάζοντας τις προδιαγραφές των διαφόρων χωρών και ομαδοποιώντας τα κριτήρια ποιότητας αναφέρουμε πρώτα τα βαρέα μέταλλα.

Πίνακας 2.3: Σύγκριση ορίων για βαρέα μέταλλα μεταξύ ΕΕ, ΗΠΑ και Καναδά[2].

Στοιχείο	Ε.Ε. (διακύμανση)* (mg/kg)	ΗΠΑ κομπόστ από ιλύ (mg/kg)	Καναδάς (mg/kg)	
			Τύποι AA & A	Τύπος B
Κάδμιο	0,7-10	39	3	20
Χρώμιο	70-200	1200	210	1060
Χαλκός	70-600	1500	100	757
Υδράργυρος	0,7-10	17	0,8	5
Νικέλιο	20-200	420	62	180
Μόλυβδος	70-1000	300	150	500
Ψευδάργυρος	210-4000	2800	500	1850

*Οι τιμές στη στήλη της διακύμανσης των οριακών τιμών στις χώρες της Ε.Ε. προέρχονται από τον Πίνακα 4 που παρουσιάζεται στην επόμενη σελίδα.

Παρατηρούμε μεγάλες διακυμάνσεις των ορίων τόσο μέσα στην Ε.Ε. όσο και ανάμεσα σε Ε.Ε., ΗΠΑ και Καναδά. Στον Καναδά ισχύει ο διαχωρισμός των κομπόστ σε ποιοτικές κατηγορίες (A, AA και B).

Πρόσφατα στις νομοθεσίες ορισμένων χωρών (Αυστρία, Δανία κ.α.) έχουν αρχίσει να εμφανίζονται και προδιαγραφές που αφορούν περιεκτικότητα σε οργανικές τοξικές ουσίες (PCBs, PAHs, NPE, phthalates κ.α.).

Όλες οι χώρες επίσης έχουν θεσπίσει υγειονομικά κριτήρια ποιότητας των κομπόστ, που αφορούν οργανισμούς παθογόνους για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στο προϊόν, στη διεργασία ή και στα δύο. Έτσι, μπορεί να απαιτείται απουσία ή πολύ χαμηλές τιμές σαλμονέλας, εντεροβακτηρίων ή άλλων παθογόνων για των άνθρωπο ή απουσία νηματωδών σκωλήκων κ.α. φυτοπαθογόνων. Μπορεί επίσης να απαιτείται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης το υλικό να έχει παραμείνει πάνω από κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 55° C) για ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα (συνήθως 3 μέρες ή και παραπάνω).

Σε ορισμένες χώρες έχουν τεθεί προδιαγραφές για τη δειγματοληψία και ανάλυση του παραγομένου κομπόστ, που καθορίζουν τα μεγέθη των δειγμάτων, τη συχνότητα των δειγματοληψιών και τις μεθόδους ανάλυσης.

Οι ξένες προσμείξεις όπως γυαλί, πλαστικό και πέτρες αναφέρονται στις περισσότερες προδιαγραφές ως ποσοστό κατά βάρος ξηράς ουσίας και σε σχέση με τη διάμετρο των σωματιδίων.

Τέλος, στις προδιαγραφές για κομπόστ που προορίζεται για καλλιέργεια εμφανίζεται όλο και περισσότερο ο βαθμός βιολογικής σταθεροποίησης του υλικού και το περιεχόμενό του σε άζωτο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων του κομπόστ σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες.

Πίνακας 2.4:Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων στο κομπόστ σε επιλεγμένες χώρες[2]

Παράμετρος(mg/kg ξ.β.)	Αυστρία			Βέλγιο	Γερμανία			Δανία	Ισπανία			Ιταλία	Ολλανδία		Βρετανία	Eco-label
	A+	A	B		A	B	RAL		Υπ. Γ.	K1	K2		A	A+		
Cd	0,7	1	3	1,5	1	1,5	1,5	0,4	10	2	3	10	1	0,7	1,5	1
Cr ολικ	70	70	250	70	70	100	100	100	400	100	250	510	50	50	100	100
Cu	70	150	500	90	70	100	100	1000	450	100	500	600	60	25	200	100
Hg	0,4	0,7	3	1	0,7	1	1	0,8	7	1	3	10	0,3	0,2	1	1
Ni	25	60	100	20	35	50	50	30	120	60	100	200	20	10	50	50
Pb	45	120	200	120	100	150	150	120/60	300	150	300	500	100	65	150	100
Zn	200	500	1800	300	300	400	400	4000	1100	400	1000	2500	200	75	400	300
As	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	10	15	5	-	10
PCBs	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAHs	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
NPE	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-
DEHP	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-

Διευκρινήσεις στον παραπάνω πίνακα:

- Στην Αυστρία τα κομπόστ κατηγορίας A+, A και B μπορούν αντίστοιχα να χρησιμοποιηθούν: σε βιολογική γεωργία, σε γεωργικές εφαρμογές εκτός βιολογικής γεωργίας και σε αποκατάσταση εδαφών.
- Στη Γερμανία τα κομπόστ που πληρούν τις προδιαγραφές των στηλών A και B μπορούν να εφαρμόζονται στο έδαφος αντίστοιχα σε μέγιστη ποσότητα 3 και 2 τόνων ανά στρέμμα κατά Μ.Ο. στη διάρκεια 3 χρόνων.
- RAL είναι το σήμα ποιότητας που απονέμει ο Οργανισμός Πιστοποίησης Ποιότητας Κομπόστ. Η εφαρμογή πιστοποιημένου κομπόστ υπόκειται σε λιγότερους περιορισμούς.
- Στη Δανία το όριο για το αρσενικό και η χαμηλότερη τιμή για τον μόλυβδο ισχύουν για εφαρμογή σε κήπους.
- Στην Ισπανία η στήλη «Υπ. Γ.» αναφέρεται στις προδιαγραφές του Νόμου για τα λιπάσματα και τα συναφή προϊόντα του Υπ. Γεωργίας. Οι στήλες K1 και K2 αναφέρονται στην υπό ψήφιση νομοθεσία της περιοχής της Καταλονίας. K1 είναι το κομπόστ που προέρχεται από διαλογή των απορριμμάτων στην πηγή και K2 είναι κομπόστ από σύμμεικτα απορρίμματα («σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα»). Το K2 επιτρέπεται να χρησιμοποιείται μόνο για αποκατάσταση εδαφών και για κάλυψη Χ.Υ.Τ.Α.
- Στην Ολλανδία οι κατηγορίες A και A+ αναφέρονται σε εθελοντικά σχήματα πιστοποίησης
- Στη Βρετανία οι προδιαγραφές είναι του εθελοντικού σχήματος πιστοποίησης του μη κερδοσκοπικού οργανισμού Κομπόστिंग Association.
- Το Ecolabel είναι ένα εθελοντικό σχήμα πιστοποίησης φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων και υπηρεσιών που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. Για τα βελτιωτικά εδάφους οι απαιτήσεις για την παροχή του Ecolabel ρυθμίζονται με την απόφαση 2006/799/Ε.Κ.[2]

Παρατηρήσεις:

Σε σύγκριση με τις προαναφερθείσες ρυθμίσεις των διαφόρων χωρών είναι φανερό πως η νομοθεσία στην Ελλάδα είναι ακόμα ελλιπής. Επίσης, τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια στα βαρέα μέταλλα είναι, συγκριτικά, υψηλά. Αυτό βέβαια διευκολύνει τη νόμιμη διάθεση του παραγομένου κομπόστ από σύμμεικτα στερεά αστικά απόβλητα. Όμως στο μέλλον πολύ πιθανόν να προκύψει πρόβλημα με τη νέα κοινοτική οδηγία που ετοιμάζεται και που αφορά προδιαγραφές στο κομπόστ [2].

Κάτι που έχει φανεί από διάφορα συγκριτικά πειράματα στο εξωτερικό είναι πως η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και άλλους ρύπους είναι πολύ υψηλότερη στα κομπόστ που προέρχονται από σύμμεικτα απορρίμματα από αυτήν σε κομπόστ που φτιάχνονται με διαλογή των ζυμώσιμων στην πηγή. Η κατάσταση, βέβαια, βελτιώνεται διαχρονικά καθώς προωθούνται διάφορα συστήματα ανακύκλωσης/ανάκτησης που αφαιρούν από τα απορρίμματα διάφορα υλικά και αντικείμενα προβληματικά για την ποιότητα του κομπόστ (π.χ. μικρές μπαταρίες, έντυπο υλικό κ.α.) [2].

Πίνακας 2.5: Τυπική συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε κομπόστ από ανάμεικτα Α.Σ.Α. και κομπόστ από βιοαπορρίμματα (με διαλογή στην πηγή) (Μ.Ο. 4 περιοχών πολιτεία Ν.Υ.) [2]

Στοιχείο	Ανάμεικτα Α.Σ.Α. (mg/kg)	Βιοαπορρίμματα (mg/kg)
Pb	420	83
Cu	222	41
Zn	919	224
Cr	107	61
Ni	84	26
Cd	2,8	0,4
Hg	1,9	<0,2

Με βάση τη διαφορά αυτή της ποιότητας και εκφράζοντας το γεγονός πως στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες οι μεγαλύτερες ποσότητες εμπορεύσιμου κομπόστ προέρχονται από τη διαλογή των ζυμώσιμων υλικών στην πηγή [22] και με δεδομένη τη βούληση προστασίας εδάφους και περιβάλλοντος με τη χρήση αυστηρών προδιαγραφών, προωθείται Οδηγία της Ε.Ε., που ουσιαστικά διαφοροποιεί τα προϊόντα βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των Α.Σ.Α. σε δύο χοντρικά κατηγορίες: Τα υψηλής ποιότητας, που θα ονομάζονται κομπόστ και θα μπορούν να χρησιμοποιούνται σε γεωργία, δασοκομία, φυτώρια και τα χαμηλής που θα λέγονται «σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα» και θα μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για αποκαταστάσεις τοπίου κ.α.

Οι σχετικές προδιαγραφές φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 2.6: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των Α.Σ.Α. στην προτεινόμενη Οδηγία της Ε.Ε. και στην Ελλάδα [2]

Παράμετρος	Πρόταση Οδηγίας			ΚΥΑ 114218 Κομπόστ
	Κομπόστ / Digestate		Σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα	
	Κατηγορία 1	Κατηγορία 2		
Cd (mg/Kg dm)	0,7	1.5	5	10
Cr (mg/Kg dm)	100	150	600	510
Cu (mg/Kg dm)	100	150	600	500
Hg (mg/Kg dm)	0,5	1	5	5
Ni (mg/Kg dm)	50	75	150	200
Pb (mg/Kg dm)	100	150	500	500
Zn (mg/Kg dm)	200	400	1500	2000

As (mg/Kg dm)	-	-	-	15
PCBs (mg/Kg dm)	-*	-*	0,4	-
PAHs (mg/Kg dm)	-*	-*	3	-
Προσμίξεις > 2 mm	<0,5%	<0,5%	<3%	<0,8% **
Πέτρες > 5 mm	<5%	<5%	-	-

* Σε συμφωνία με την αναθεώρηση της Οδηγίας για την ιλύ βιολογικών καθαρισμών

** Πλαστικό και γυαλί

Με την προοπτική της πολύ πιθανής εφαρμογής στα επόμενα χρόνια της Οδηγίας αυτής, θα πρέπει να γίνει κάθε δυνατή προσπάθεια για την παραγωγή στην Ελλάδα όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας κομπόστ από Α.Σ.Α., διαφορετικά όχι μόνο δεν θα υπάρχει καμία δυνατότητα για έσοδα από τη χρήση του στη γεωργία-δασοκομία, αλλά ούτε καν θα μπορεί να διατεθεί νόμιμα για τις χρήσεις αυτές.[2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Κατάσταση στην Ευρώπη

Η Μηχανική Διαλογή και Κομποστοποίηση αποτελεί μια σημαντική μέθοδο διαχείρισης των αστικών αποβλήτων, κυρίως σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης. Ειδικά στη Γερμανία και στην Αυστρία ο διαχωρισμός των σύμμεικτων αστικών αποβλήτων με μηχανικά μέσα και η κομποστοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος εφαρμόζονται ήδη συστηματικά για περίπου τρεις δεκαετίες και οι διάφορες τεχνολογίες έχουν ήδη αξιολογηθεί στην πράξη.

Το ποιοτικό επίπεδο των εφαρμοζόμενων τεχνικών διαφοροποιείται σε σημαντικό βαθμό, καθώς οι παλαιότερες εγκαταστάσεις διαθέτουν συνήθως μια σχετικά απλή τεχνική, που δεν περιλαμβάνει, για παράδειγμα, την επεξεργασία των αέριων εκπομπών. Παρά τη μακρόχρονη εμπειρία και το ολοκληρωμένο θεσμικό πλαίσιο οι χώρες αυτές συνεχίζουν εντατικά τις προσπάθειές τους προκειμένου οι Εγκαταστάσεις Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Δ.Κ.) να ανέλθουν σ'ένα οικολογικά αποδεκτό επίπεδο. Παράλληλα όμως, στις εν λόγω χώρες έχει αναπτυχθεί ένα σημαντικό δίκτυο από εκατοντάδες εγκαταστάσεις Συγκεντρωτικής Κομποστοποίησης με διαλογή στη πηγή και Κέντρων Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) με δυναμικότητα πολύ μεγαλύτερη αυτής των Ε.Μ.Δ.Κ..[16]

3.2 Χαρακτηριστικά των Ε.Μ.Δ.Κ. στη Γερμανία

Σχετικά με τον εξοπλισμό των Ε.Μ.Δ.Κ. με αερόβια επεξεργασία στη Γερμανία διακρίνουμε τις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

- ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης - με τεμαχισμό - εντός του Χ.Υ.Τ.Α..
- ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης εντός του Χ.Υ.Τ.Α. και – ενδεχομένως κλειστή εγκατάσταση μηχανικής διαλογής.
 - εν μέρει κλειστή Ε.Μ.Δ.Κ. (κλειστά : μηχανική διαλογή και I φάση κομποστοποίησης, ανοιχτά : II φάση κομποστοποίησης είτε εντός του Χ.Υ.Τ.Α. είτε σε ξεχωριστή επιφάνεια).[16]

- 1 X : απαιτείται
- 2 O : εναλλακτικά (συνήθως) * : κλειστά :
- 3 Μηχ. Διαλογή και I φάση κομποστοποίησης, ανοιχτά : II φάση κομποστοποίησης
- 4 εναλλακτικά : αναερόβια επεξεργασία
- 5 κατά κανόνα απευθείας στην επιφάνεια απόθεσης

Πίνακας 3. 1: Χαρακτηριστικά Ε.Μ.Δ.Κ. στη Γερμανία[16]

Κατηγορίες μονάδων είδος επεξεργασίας		Κ I Σύστημα ανοιχτού τύπου σε Χ.Υ.Τ.Α.	Κ II Σύστημα ανοιχτού τύπου με μηχ. διαλογή	Κ III Εν κλειστή μέρει Ε.Μ.Δ.Κ. *	ΚIV Κλειστή Ε.Μ.Δ.Κ.
Μηχανική διαλογή	- τεμαχισμός - κοσκίνισμα / ομογενοποίηση - ρύθμιση υγρασίας - διαχωρισμός και ανάκτηση σιδηρούχων μετάλλων - διαχωρισμός υλικών με υψηλή θερμογόνο δύναμη, υλικών με επικίνδυνα συστατικά και ογκωδών	X - O O -		X X X X X	X X X X X
	ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης	X	X		
Βιολογική επεξεργασία Φάση I ¹	κλειστό σύστημα κομποστοποίησης με επεξεργασία αέριων εκπομπών			X	X
	ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης	X	X	X	
Βιολογική επεξεργασία Φάση II	κλειστό σύστημα κομποστοποίησης με επεξεργασία αέριων εκπομπών				X

Πίνακας 3.2

Αριθμός και η συνολική χωρητικότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αξιοποίησης αστικών αποβλήτων σε Γερμανία και Αυστρία[16]

Μέθοδος επεξεργασία	ΑΥΣΤΡΙΑ		ΓΕΡΜΑΝΙΑ	
	αριθμός εγκαταστάσεων	Χωρητικότητα (εκατ. Mg/a)	αριθμός εγκαταστάσεων	Χωρητικότητα (εκατ. Mg/a)
Ε.Μ.Δ.Κ.	12	0,4	30 *	2,209
Συγκεντρωτική Κομποστοποίηση	526	1,1	≈ 600	7,5
ΚΔΑΥ	86	1,1	530	χ. σ.
Θερμική επεξεργασία	53	1,9	61	14

* Προβλέπεται ότι στη Γερμανία θα λειτουργήσουν άλλες οκτώ Ε.Μ.Δ.Κ., συνολικής χωρητικότητας 825.000 Mg/a.

Η παραγωγή κομπόστ (οργανοχουμικό βελτιωτικό εδάφους από οικιακά, πράσινα και εμπορικά απόβλητα) στη Γερμανία έφθασε το 1999 στα 4,2 εκατ. τόνους και το δίκτυο συλλογής κάλυπτε το 35% των νοικοκυριών της χώρας).

Η διάθεση του κομπόστ έγινε κυρίως στη γεωργία (36%), στις αναπλάσεις τοπίου (21%) και στους ιδιωτικούς κήπους (14%) . Σημειώνεται ότι στο διάστημα 1990 – 1997 η μεγαλύτερη αύξηση σε νέες εγκαταστάσεις, με ποσοστό 375%, αφορούσε τις Μονάδες Συγκεντρωτικής Κομποστοποίησης.[16]

3.2.1 Αξιολόγηση εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στη Γερμανία

Η πλέον πρόσφατη αξιολόγηση των εν λειτουργία Ε.Μ.Δ.Κ. της Γερμανίας (συγκριτική οικολογική ανάλυση) έγινε στη βάση ενός καταλόγου με αναλυτικά κριτήρια για τις παραμέτρους : αέρας, νερά, έλεγχος, ενέργεια, διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α. και παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.3. Ο βαθμός 7 αντιστοιχεί στην αξιολόγηση «πολύ κακή», ενώ το 1 στο «πολύ καλή».[16]

Πίνακας 3.3: Αξιολόγηση Ε.Μ.Δ.Κ. στη Γερμανία[16]

Βαθμός Παράμετρος	1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
αέρας	-	-	1	1	1	4	2	2	-	6	-	3
νερά	-	-	2	-	2	2	2	6	-	1	-	2
έλεγχος	-	2	1	3	-	4	1	2	-	2	-	4
ενέργεια	-	-	1	2	1	-	-	3	-	5	7	-
Χ.Υ.Τ.Α.	2	-	-	3	-	2	-	3	1	5	-	3

Σύμφωνα με την εν λόγω αξιολόγηση τα αποτελέσματα σχετικά με την περιβαλλοντική προστασία δεν θεωρούνται ικανοποιητικά, ακόμη και για τις καινούριες Ε.Μ.Δ.Κ. και γίνονται

σειρά συγκεκριμένων προτάσεων για λήψη κατάλληλων μέτρων, ιδιαίτερα στο θέμα των αέριων εκπομπών. Η επεξεργασία των αέριων εκπομπών στις υφιστάμενες Ε.Μ.Δ.Κ. στη Γερμανία δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που προβλέπονται π.χ. στις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας, παρότι τεχνικά αυτό είναι εφικτό. Το επιπλέον κόστος μιας ποιοτικής αναβάθμισης των Ε.Μ.Δ.Κ. εκτιμάται ότι θα κυμαίνονταν από 15 έως 25 ευρώ το τόνο . Ανάλογα, μάλλον αρνητικά αποτελέσματα έχουν καταγραφεί και για τις Ε.Μ.Δ.Κ. στην Αυστρία [16].

Στα γενικά συμπεράσματα της αξιολόγησης, σχετικά με τις τεχνικές Ε.Μ.Δ.Κ. που εφαρμόζονται στη Γερμανία, επισημαίνεται ότι σε γενικές γραμμές οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές έχουν όλες παρόμοια χαρακτηριστικά:

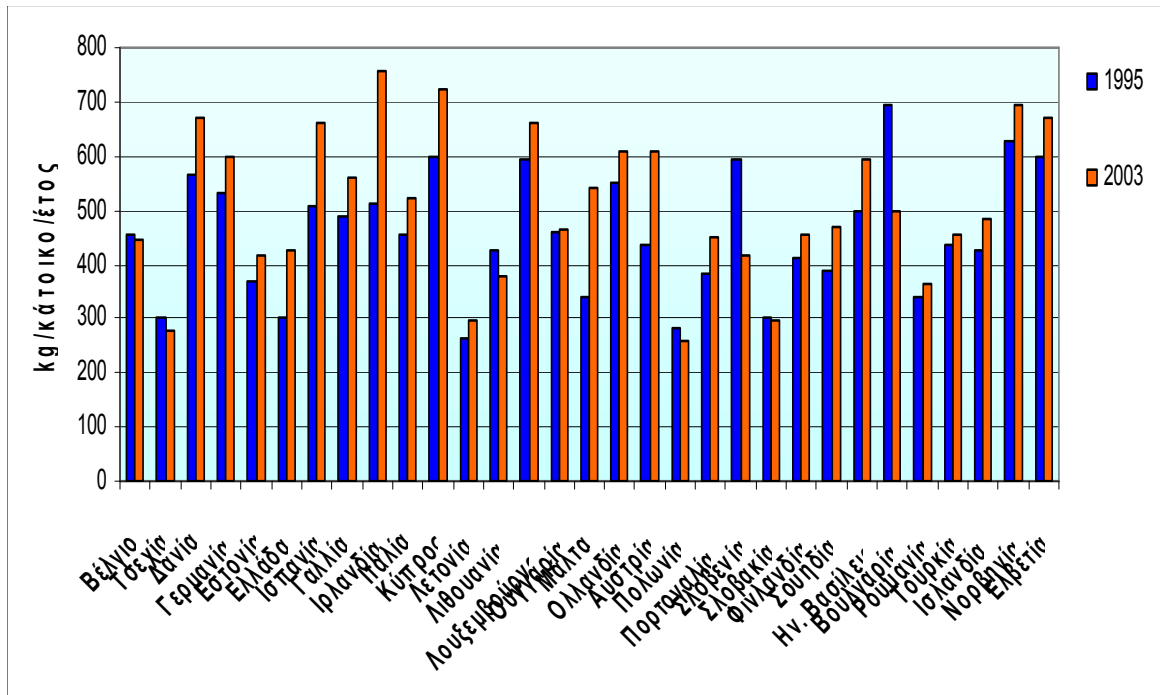
- οι τεχνικές για τον τεμαχισμό και το διαχωρισμό, ανάλογα με το μέγεθος των υλικών, έχουν ήδη επιβληθεί στην αγορά,
- η απομάκρυνση των σιδηρούχων υλικών (μαγνητικός διαχωρισμός) εξακολουθεί να δημιουργεί προβλήματα, λόγω περιορισμένης καθαρότητας του δευτερογενούς υλικού, με αποτέλεσμα να υπάρχει θέμα απορρόφησης στην αγορά. (Το ποσοστό ξένων προσμίξεων στα υλικά αυτά φθάνει μέχρι και 50% κ.β.),
- στις περισσότερες Ε.Μ.Δ.Κ. παρουσιάζονται προβλήματα πρακτικής εφαρμογής για τα μη σιδηρούχα μέταλλα
- παρότι έχουν αναπτυχθεί οι σχετικές τεχνικές για το διαχωρισμό των υλικών με υψηλή θερμογόνο τιμή δεν έχει ακόμη καθιερωθεί μια ενιαία τεχνική με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται τόσο οι απλές τεχνικές όσο και οι σύνθετες
- για την βιολογική επεξεργασία ανταγωνίζονται στην αγορά διαφορετικές τεχνικές, η αποδοχή των οποίων εξαρτάται κυρίως από οικονομικά κριτήρια (κόστος επένδυσης και λειτουργία.)

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιτυχημένες περιπτώσεις (success stories) συστημάτων, που εστιάζουν στη διαλογή και αξιοποίηση του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων στην πηγή. Συγκεκριμένα οι περιπτώσεις αυτές αναφέρονται σε πιλοτικά προγράμματα που εφαρμόστηκαν σε διάφορους δήμους και κοινότητες, είτε σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είτε σε άλλες χώρες, με στόχο το διαχωρισμό και την αξιοποίηση του οργανικού κλάσματος στη πηγή.[16]

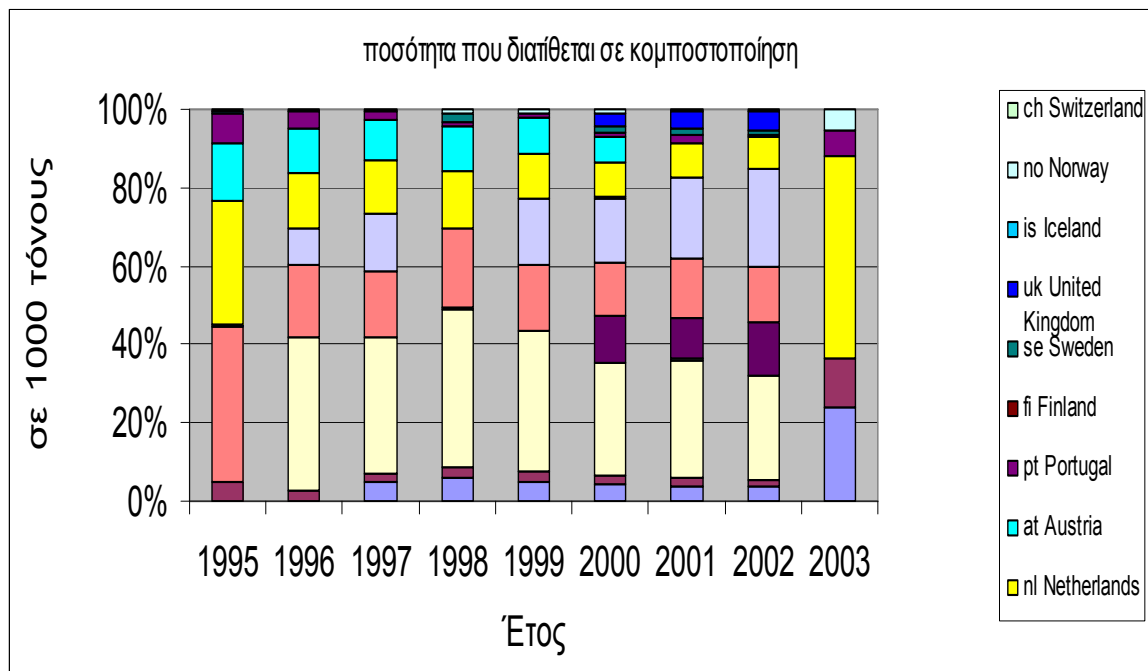
Πίνακας 3.4: Επιτυχημένες περιπτώσεις Διαλογής και Αξιοποίησης οργανικού κλάσματος στη πηγή [16]

ΧΩΡΑ	Ονομασία προγράμματος	Τύπος προγράμματος	Διοικούσα αρχή προγράμματος	Αριθμός νοικοκυριών /πληθυσμός που καλύπτει το πρόγραμμα	Ποσότητα οργανικών απορριμμάτων που συλλέγονται κατ'έτος (t/έτος)	Ποσότητα παραγόμενου κόμποστ (t / έτος)
Ισπανία	Baix Camp	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Consell Comarcal del Baix Camp	25000 κάτοικοι 8000 νοικοκυριά	4000	360
	Barcelona	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Area metropolitana de Barcelona	137000 κάτοικοι 55000 νοικοκυριά	10700	1900
	Montejurra	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Commonwealth of Montejurra	52000 κάτοικοι 23000 νοικοκυριά	10000	2000
Γαλλία	Gironde	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Ιδιωτική εταιρεία	20000 νοικοκυριά	36000	24000

	Niort	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Κοινότητα του Niort	12000 νοικοκυριά	Περίπου 8500	4511
	SIVOM de Bapaume	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Συνεταιρισμός από κοινότητες	23600 νοικοκυριά	6000	2500
Ιταλία	Cupello	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Δήμος του Cupello	4200 νοικοκυριά	315	
	Monza	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Τοπικός σύνδεσμος	119060 κάτοικοι	10000	
	Padova	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Συνεταιρισμός από 26 δήμους	205000 κάτοικοι	16500	
Ιρλανδία	Cork	Πρόγραμμα 'πράσινων' απορριμμάτων	Νομαρχιακό Συμβούλιο του Cork	280000 κάτοικοι	1000	
	Kerry	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Νομαρχιακό Συμβούλιο του Kerry	5600 κάτοικοι 1766 νοικοκυριά	500	
	Limerick	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Limerick Corporation	2800 νοικοκυριά	950	450
Πορτογαλία	Amres	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Δημοτική επιχείρηση του Amtres	150000 νοικοκυριά	250000	15000
	Lipor	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Δημοτική επιχείρηση του Lipor	50000 κάτοικοι	30000	29000
Ηνωμένο Βασίλειο	Arun	Οικιακή κομποστοποίηση	Περιφερειακό Συμβούλιο του Arun	140000 κάτοικοι		
	Castle Morpeth	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Castle Morpeth Borough Council	20400 νοικοκυριά	5000	3000
	Wyecysle	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Wyecysle	1000 νοικοκυριά	250	70
Η.Π.Α	Bellport New York	Διαλογή και κομποστοποίηση στην πηγή	Κοινότητα του Bellport	16 νοικοκυριά		
	New York city	Διαλογή και κομποστοποίηση στην πηγή	Bronx, Brooklyn, Queens Staten Island			
	Minneapolis	Διαλογή και κομποστοποίηση στην πηγή	Hutchinson			
Καναδάς	Sault Ste. Marie	Διαλογή στην πηγή και συγκεντρωτική κομποστοποίηση	Sault Ste. Marie	600 νοικοκυριά		



Διάγραμμα 3.1: Παραγωγή οικιακών αποβλήτων στη Ευρώπη από το 1995 έως 2003[20]



Διάγραμμα 3.2: Ετήσιες ποσότητες που διατέθηκαν για κομποστοποίηση από χώρες της Ε.Ε.[20]

3.3 Mechanical Biological Treatment (M.B.T.) - Η τεχνολογική επιλογή στο Ε.Μ.Α.Κ. – Οι νέες τεχνολογίες στην Ε.Ε.

Η τεχνολογία επεξεργασίας του Ε.Μ.Α.Κ. εντάσσεται στις Mechanical Biological Treatment (M.B.T.) δηλαδή: «Μεγιστοποίηση της ανάκτησης των κλασμάτων των υλικών συσκευασίας με μηχανικά μέσα και με βιολογική επεξεργασία κάποιων άλλων ώστε το υπόλειμμα να είναι το ελάχιστο δυνατόν, σταθερό και καταλληλότερο για χρήση». Τα Μ.Β.Τ. αυτά μειώνουν την εξάρτηση από τους Χ.Υ.Τ.Α. (στόχος ανακύκλωση οργανικού κλάσματος και η εκτροπή του από τους Χ.Υ.Τ.Α.) ενώ ταυτόχρονα αντικαθιστούν την ανάγκη αποτέφρωσης, με την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων για την υφιστάμενη βιομηχανία. Τα Μ.Β.Τ. είναι τεχνολογικά και εμπορικά καταξιωμένα, εναρμονισμένα με τις ιεραρχημένες κατευθύνσεις στην Ε.Ε.[16]

Το 2005 λειτουργούσαν 80 εργοστάσια ΜΒΤ δυναμικότητας 8.500.000 tn/έτος. Εντός του 2006 λειτουργούσαν 123 εργοστάσια Μ.Β.Τ. δυναμικότητας 13.000.000tn/έτος. Εκ της γεωγραφικής κατανομής των Μ.Β.Τ. προκύπτει: α) Οι τεχνολογίες Μ.Β.Τ. έχουν κατά 90% ευρωπαϊκή διάσταση και β) Είναι χώρες της Κεντρικής και Νότιας Ευρώπης. Αυτό απορρέει από την γεωγραφική θέση, τις περιβαλλοντικές εμπειρίες και το επίπεδο περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών και την ποιοτική σύνθεση των απορριμμάτων εκ των διαφορετικών διατροφικών και καταναλωτικών συνηθειών τους.

Σε έκθεση της Greenpeace το 2003 με τίτλο “Cool Waste Management” γίνεται υπόδειξη προς τις Βρετανικές Αρχές (υπενθυμίζεται ότι στην Μεγάλη Βρετανία όπως και στην Ελλάδα η διαχείριση των απορριμμάτων ουσιαστικά ταυτίζεται, έως σήμερα, με την τελική τους διάθεση χωρίς προηγούμενη επεξεργασία) να αξιοποιήσουν τα οφέλη των τεχνολογιών Μ.Β.Τ.. Εν κατακλείδι βάσει των διαθέσιμων στοιχείων, μελετών, ερευνών και αξιολογήσεων τα Μ.Β.Τ. είναι πιο εξελιγμένα, περισσότερο εμπορικά αποδεδειγμένα και καλύτερα από την πυρόλυση, αεριοποίηση, π्लाσμολύση, μικροκύματα και τις άλλες ομοιοείδες τεχνολογίες που μαζί με τα Μ.Β.Τ. αποτελούν τις νέες προσεγγίσεις στη διαχείριση στερεών αποβλήτων.

Τα οφέλη από τη λειτουργία του Ε.Μ.Α.Κ. είναι περιβαλλοντικά, κοινωνικά, διαχειριστικά και οικονομικά. Μεταξύ άλλων ιδιαίτερη σημασία έχει η μείωση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων που καταλήγουν, μετά από επεξεργασία, σε χώρους ασφαλούς διάθεσης. Αυτό αποτελεί υποχρέωση της Ελλάδας, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Οδηγία 99/31/ΕΚ και ΚΥΑ Η.Π.29407/3508/16-12-2002).[16]

3.3.1 Ανάπτυξη αγοράς ανακυκλώσιμων υλικών.

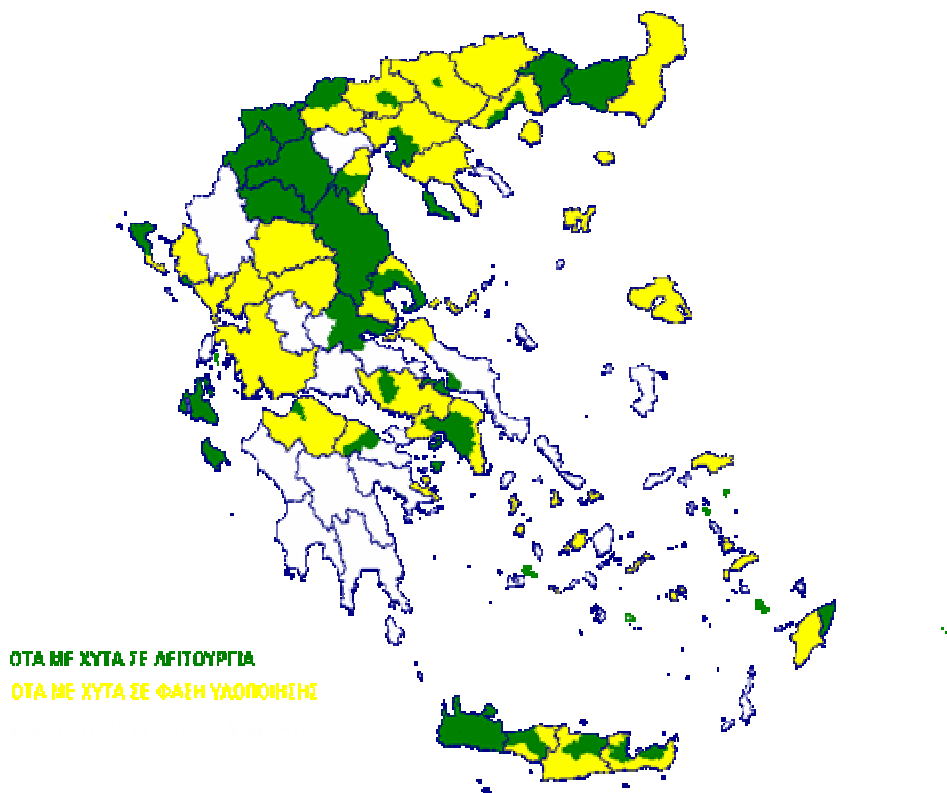
Οι αγορές των ανακυκλώσιμων δεν είναι υπαρκτές στην Ελλάδα. Σύμφωνα με το επιχειρησιακό σχέδιο της Ε.Ε.Α.Α., κατά το Ν.2939/01 και την οδηγία 2004/12/ΕΚ (Αρθ.1, παρ.3), έπρεπε, έως 31/12/2005, να αξιοποιείται κατ'ελάχιστον το 50% κατά βάρος των απορριμμάτων συσκευασίας, με ελάχιστο ποσοστό ανακύκλωσης 25% και μέγιστο 45%. Ο ΕΣΔΚΝΑ με την Ε.Ε.Α.Α., το φορέα διαχείρισης των υλικών συσκευασίας, υπό την αιγίδα του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., υπόγραψαν σχετική συμφωνία. Το Ε.Μ.Α.Κ. ήδη συμβάλλει καθοριστικά στο στόχο της ανακύκλωσης των υλικών συσκευασίας και λοιπών υλικών και του Ν.2939/2001 και έχει αλλάξει τον τρόπο διαχείρισης των απορριμμάτων στην Αττική στην κατεύθυνση εναρμόνισης της με το ευρωπαϊκό κεκτημένο.[16]

3.4 Κατάσταση στην Ελλάδα

Η ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα παρ'όλη την πρόοδο τα τελευταία χρόνια έχει ακόμη πολύ δρόμο να διανύσει. Εξακολουθούμε να στέλνουμε τα στερεά απόβλητα σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Α.) όταν δηλαδή δεν τα πετάμε, συχνά παράνομα, σε Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ), δηλαδή χωματερές όταν οι τάσεις στην ΕΕ είναι να κλείσουν οι Χ.Υ.Τ.Α. και να πάμε προς

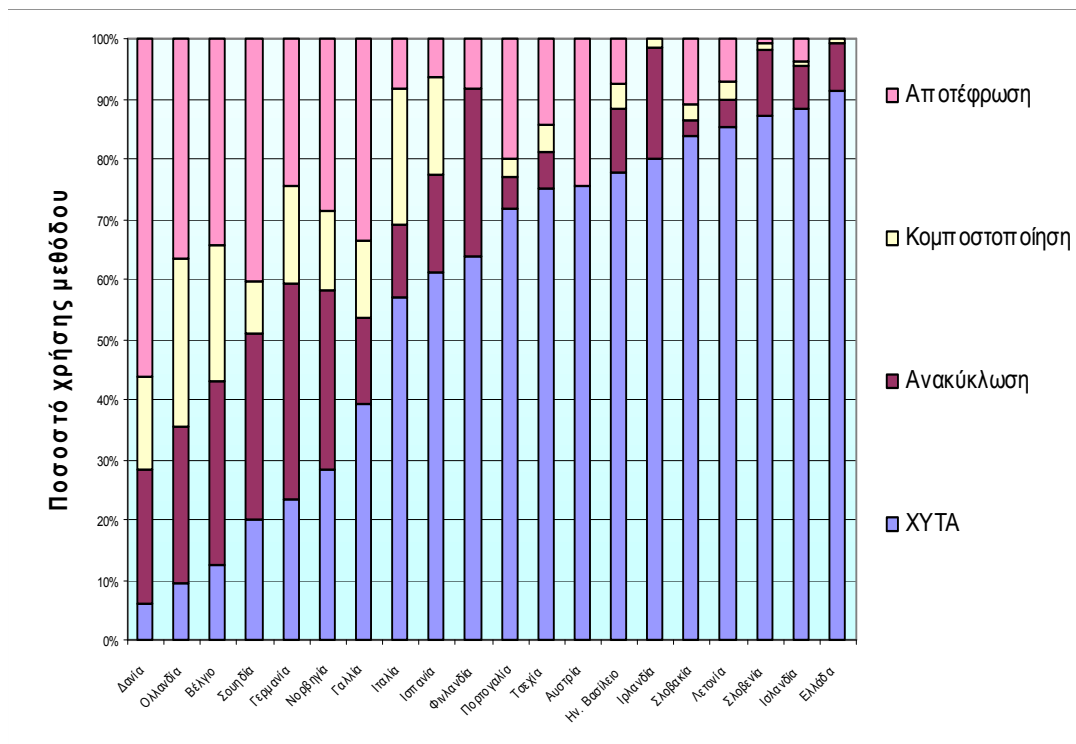
Χ.Υ.Τ.Υ. (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολοίπων). Η ιεράρχηση των δράσεων στην Ε.Ε. είναι, κατά σειρά:

- α) η μείωση της παραγωγής τους από τον καταναλωτή, σε συνδυασμό με επαναχρησιμοποίηση,
- β) η ανακύκλωση ή λιπασματοποίηση,
- γ) η ανάκτηση ενέργειας με καύση σε σύγχρονες μονάδες και
- δ) ότι πλέον έχει απομείνει να πάει για διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Υ..



Εικόνα 3.1:Απεικόνιση ΟΤΑ με Χ.Υ.Τ.Α. σε λειτουργία και σε φάση υλοποίησης [20]

Είμαστε ακόμη πολύ πίσω από την υπόλοιπη Ευρώπη σε αυτή την εξέλιξη όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, σύμφωνα με το οποίο η Ελλάδα βασίζεται σε ποσοστό άνω του 92% στην ταφή, υγειονομική και συχνά μη, αν και σε αυτό συντελεί και η σύσταση των αποβλήτων αφού αυτά περιέχουν μεγάλο ποσοστό, δηλαδή πάνω από 45% , οργανικού υλικού (λαχανικά, αποφάγια κλπ) ενώ τα ανακυκλώσιμα (χαρτί, 20%, πλαστικά, 8%, γυαλί, 5% και μέταλλα, 5%) συμμετέχουν κατά 38%. Εξακολουθούμε να έχουμε σε λειτουργία κάπου 2600 χωματερές που μειώνονται με μικρούς ρυθμούς (3-4% τον χρόνο).[20]

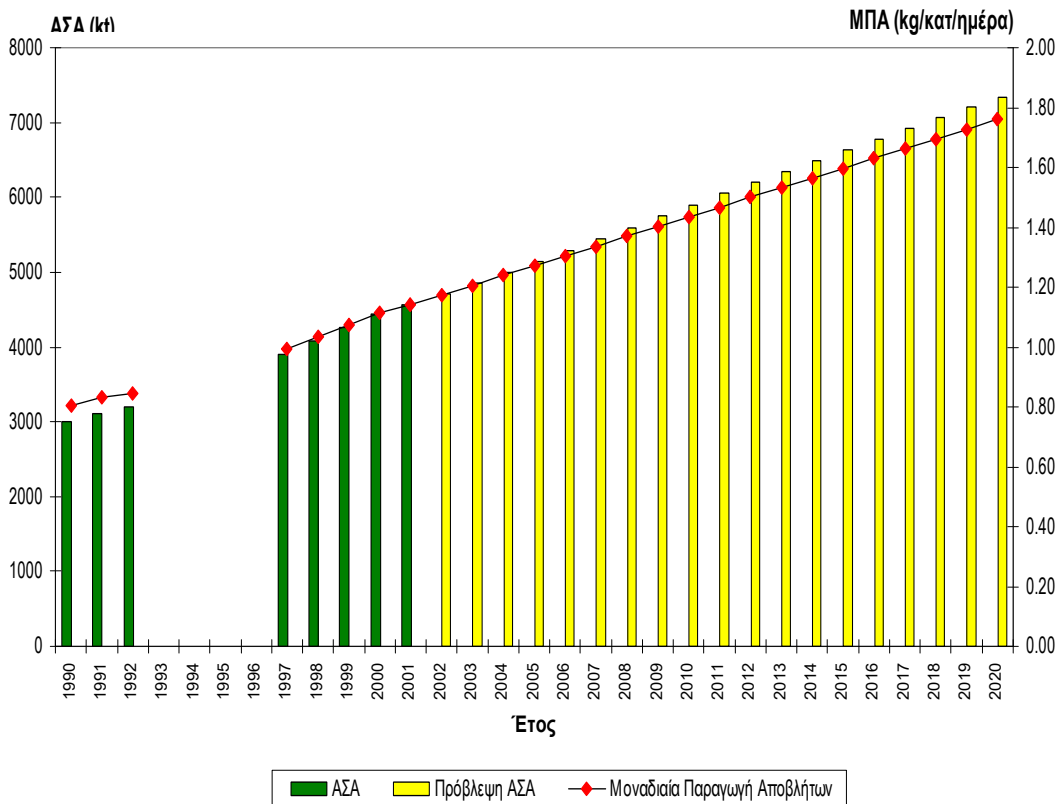


Διάγραμμα 3.3: Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ε.Ε. το έτος 2002. [20]

Η κατάσταση αυτή σίγουρα δεν τιμά την χώρα η οποία σύντομα θα ξανακληθεί να αντιμετωπίσει πρόστιμα, αφού δεσμευτικές οδηγίες όπως οι δεσμευτικοί στόχοι των Οδηγιών 2004/12 για την ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών συσκευασίας στην πηγή και 1999/31 για την υγειονομική ταφή, φαίνεται πολύ απίθανο να ικανοποιηθούν. Ειδικά μάλιστα στην Αττική, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων μεγαλώνει μέρα με την μέρα και παραμένει συνεχώς στην επικαιρότητα, είτε εξαιτίας περιβαλλοντικών οχλήσεων, είτε εξαιτίας διαμαρτυριών, ή προσφυγών πολιτών. Η εξάντληση των χρονικών περιθωρίων από την χώρα για την εφαρμογή των διατάξεων, κυρίως αυτών που απαγορεύουν τη συνέχιση της λειτουργίας Χ.Α.Δ.Α. αλλά και Χ.Υ.Τ.Α. και αυτών που αφορούν στην ανακύκλωση και ανάκτηση πλέον θα επισύρει τσουχερά πρόστιμα.[20]

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

Όλες οι εκτιμήσεις δείχνουν μια συνεχιζόμενη τάση αύξησης της ποσότητας των αποβλήτων και μάλιστα με σχετικά μεγάλα ποσοστά, της τάξης του 2,5-3% ετησίως για τα επόμενα 20 χρόνια, σε αντίθεση με τις επικρατούσες τάσεις μείωσης σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Αποτέλεσμα της τάσης αυτής είναι η αύξηση της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας στην Ελλάδα κατά περισσότερο από 45% μέχρι το 2027 σε σχέση με σήμερα (διάγρ. 3.4) κυρίως γιατί φαίνεται ότι θα εξακολουθήσουν να είναι χαμηλά τα ποσοστά ανακύκλωσης και μείωσης της παραγόμενης ποσότητας στην πηγή. [20]



Διάγραμμα 3.4: Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ (ΜΠΑ) στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001[20]

Η διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα που καλούνται να χειριστούν οι δήμοι και κοινότητες της χώρας με τα οικονομικά και διοικητικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν και με τη μεγάλη σημασία που έχει αποκτήσει πλέον η προστασία του περιβάλλοντος. Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε αρκετές χώρες τόσο σχετικά με τον έλεγχο της διεργασίας για την διερεύνηση των παραμέτρων της, φυσικών και χημικών, αλλά και για την ανάπτυξη μεθόδων ελέγχου των ιδιοτήτων αυτών. Βιβλιογραφικά αναφέρεται[1] ότι θερμοκρασιακά δεδομένα αποτελούν μια απλή και χρήσιμη μέθοδο για παρακολούθηση της διεργασίας της κομποστοποίησης χωρίς την ανάγκη προεπεξεργασίας των δειγμάτων. Στην Ελλάδα πιο συγκεκριμένα έχουν κατασκευαστεί τρεις μονάδες κομποστοποίησης Α.Σ.Α. οι οποίες αποτελούν μέρος εγκαταστάσεων μηχανικής διαλογής, ανακύκλωσης και κομποστοποίησης αστικών στερεών απορριμμάτων (Καλαμάτα, Χανιά, Αθήνα).

3.5 Στήριξη της ελληνικής βιομηχανίας

Με βάση τις εμπειρίες σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης αλλά και τους νομαρχιακούς – περιφερειακούς σχεδιασμούς ΔΣΑ στην Ελλάδα, θα πρέπει, σχετικά με το σχεδιασμό και την υλοποίηση Ε.Μ.Δ.Κ. στην Ελλάδα, να σημειωθεί ότι:

1. η κατασκευή και λειτουργία Ε.Μ.Δ.Κ. προβάλλεται σχεδόν σε όλους τους νομαρχιακούς –περιφερειακούς σχεδιασμούς ως απολύτως «επιτακτική» ανάγκη, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η Συγκεντρωτική Κομποστοποίηση με διαλογή στη πηγή και η «ατομική» κομποστοποίηση σε επίπεδο νοικοκυριού αλλά και να υποβαθμίζεται η σημασία των Κ.Δ.Α.Υ., με αποτέλεσμα οι σχεδιασμοί, στη πλειοψηφία τους, να μη θεωρούνται «ρεαλιστικοί» και εφαρμόσιμοι,
2. η χρηματοδότηση όλων των προβλεπόμενων Ε.Μ.Δ.Κ. αποκλειστικά από δημόσιες δαπάνες θα πρέπει ν' αποκλειστεί, λόγω του πολύ υψηλού επενδυτικού και λειτουργικού κόστους των Ε.Μ.Δ.Κ., γεγονός που δεν αναμένεται να προκαλέσει το επενδυτικό ενδιαφέρον του ιδιωτικού τομέα,
 - η σχετική εμπειρία και η τεχνογνωσία είναι ελάχιστη,
 - η αγορά δευτερογενών υλικών δεν είναι εξασφαλισμένη, καθώς δεν υπάρχει ούτε έρευνα αγοράς σε εθνικό επίπεδο,
 - με δεδομένο ότι η επένδυση σε Ε.Μ.Δ.Κ. πρέπει να πραγματοποιείται μόνο εφόσον αυτή συνδέεται με ενεργειακή αξιοποίηση των υλικών υψηλής θερμογόνου δύναμης, απαιτούνται και σχετικές μονάδες αποτέφρωσης (π.χ. του RDF), γεγονός που πρέπει, επί του παρόντος τουλάχιστον, ν' αποκλειστεί εξαιτίας του υψηλού τους κόστους,
 - η «λύση» της εναπόθεσης υπολειμμάτων από Ε.Μ.Δ.Κ. σε ανενεργά λατομεία, όπως και η «λύση» της αποτέφρωσης στη τσιμεντοβιομηχανία θα πρέπει ν' επανεξεταστούν σε βάθος ως προς την οικολογική τους διάσταση και την εφαρμοσιμότητά τους,
 - η οργάνωση και η λειτουργία αξιόπιστων φορέων εκμετάλλευσης / λειτουργίας παρουσιάζει αντικειμενικές δυσκολίες, που με τις υπάρχουσες συνθήκες δύσκολα μπορούν να ξεπεραστούν,
 - οι υπερβολικά μεγάλης δυναμικότητας Ε.Μ.Δ.Κ. (> 200.000 Mg/a) είναι αμφίβολο αν ανταποκρίνονται πλήρως α) στις απαιτήσεις προστασίας του περιβάλλοντος και β) στην απαιτούμενη ποιότητα των δευτερογενών υλικών,
 - οι σχεδιασμοί για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων πρέπει να συμπεριλάβουν τη Συγκεντρωτική Κομποστοποίηση με διαλογή στη πηγή και τα Κ.Δ.Α.Υ., όχι μόνο λόγω της περιβαλλοντικής τους σπουδαιότητας αλλά και επειδή έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να προσελκύσουν και ιδιωτική συμμετοχή.[15]

Σχετικά με την απαιτούμενη σταδιακή μείωση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών αποβλήτων που θα διατίθεται, μετά από επεξεργασία, σε Χ.Υ.Τ.Α., έχει εκπονηθεί από το Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. σχετική έκθεση. Στην εν λόγω έκθεση γίνεται μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης των στόχων που τίθενται από την Κοινοτική Νομοθεσία προκειμένου :

- να εκτιμηθεί, σύμφωνα και με τα εγκεκριμένα πλαίσια νομαρχιακών -περιφερειακών σχεδιασμών, η ποσότητα του βιοαποδομήσιμου κλάσματος που πρέπει να επεξεργάζεται,
- να εκτιμηθεί ο ελάχιστος αριθμός των Ε.Μ.Δ.Κ. που απαιτούνται, έτσι ώστε να καλυφθούν οι υποχρεώσεις της χώρας σχετικά με την επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος,
- να τεθούν προτεραιότητες ως προς τη χρηματοδότηση των έργων, σε ρεαλιστική βάση.

Η εκτίμηση σχετικά με την ποσότητα του βιοαποδομήσιμου κλάσματος, που σταδιακά πρέπει, λόγω των απαιτήσεων της Οδηγίας 99/31/ΕΕ για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, να οδηγείται για επεξεργασία πριν τη τελική διάθεση των υπολειμμάτων, παρουσιάζεται, με το πλέον αισιόδοξο και το πλέον απαισιόδοξο σενάριο, στο πίνακα 3.5.[16]

Πίνακας 3.5: Ποσότητα βιοαποδομήσιμου κλάσματος για επεξεργασία για τα έτη-στόχος της Οδηγίας 99/31/ΕΕ[16]

Έτος - στόχος	Ποσότητα βιοαποδομήσιμου κλάσματος για επεξεργασία (Μg/a)
2006 (2010)	880.000 – 1.110.000
2009 (2013)	1.870.000 – 1.970.000
2016 (2020)	2.790.000 – 2.880.000

Εφόσον, μέχρι το 2010 υλοποιηθούν οι Ε.Μ.Δ.Κ. που σήμερα βρίσκονται ακόμη στη φάση «ωρίμανσης», η ποσότητα των αστικών αποβλήτων που θα οδηγείται σε Ε.Μ.Δ.Κ. για επεξεργασία θα φθάσει συνολικά περίπου στο 1 εκατ. Mg/a. Με την παραδοχή ότι το 2010 το χαρτί/χαρτόνι και τα λοιπά ζυμώσιμα θ' αποτελούν περίπου το 66% της σύστασης των αστικών αποβλήτων, αναμένεται ότι το βιοαποδομήσιμο κλάσμα που θα επεξεργάζεται σε Ε.Μ.Δ.Κ. θα φθάσει περίπου τους 660.000 Mg/a. Θα είναι δηλαδή κατά 220.000 Mg λιγότερο από το πλέον αισιόδοξο σενάριο και θα αποκλίνει περίπου κατά 450 Mg από το πλέον απαισιόδοξο σενάριο. Κατά συνέπεια, θα πρέπει μέχρι τότε να κατασκευαστούν είτε ακόμη περισσότερες Ε.Μ.Δ.Κ. είτε να δοθεί προτεραιότητα και σε άλλες μεθόδους επεξεργασίας. Παρότι οι Ε.Μ.Δ.Κ. δεν θεωρούνται «Βέλτιστη Διαθέσιμη Τεχνική», και για τον απλό λόγο ότι ακόμη δεν υφίσταται η σχετική Οδηγία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, στις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης επισημαίνεται η σημαντική συμβολή των Ε.Μ.Δ.Κ. τόσο στη μείωση του οργανικού κλάσματος που θα διατίθεται σε Χ.Υ.Τ.Α., όσο και στη παραγωγή ενέργειας από δευτερογενή υλικά με υψηλή θερμογόνο τιμή. Τα μεγαλύτερα ποσοστά επεξεργασίας όμως στις χώρες αυτές επιτυγχάνονται σε μονάδες με Συγκεντρωτική Κομποστοποίηση και σε Κ.Δ.Α.Υ., οι οποίες αυξάνονται συνεχώς σε αριθμό. Στις εν λόγω χώρες, η Μηχανική Διαλογή - Κομποστοποίηση δεν εκλαμβάνεται πλέον σαν «εναλλακτική λύση» προς τη θερμική επεξεργασία / αξιοποίηση των αποβλήτων αλλά σαν «συμπλήρωμά» της.[16]

Γ'αυτό και μια επένδυση σε Ε.Μ.Δ.Κ. πρέπει να πραγματοποιείται μόνο, αν και εφόσον αυτή συνδέεται με ενεργειακή αξιοποίηση των υλικών υψηλής θερμογόνου δύναμης ή εφόσον έχει εξασφαλισθεί (με μακροπρόθεσμο συμβόλαιο) η αγορά των δευτερογενών προϊόντων, τα οποία συνήθως παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα ποιότητας και κατ'επέκταση προβλήματα απορρόφησης στην αγορά. Επιπλέον και προκειμένου να υπάρξει μια σχετική ασφάλεια, ως προς την επένδυση και τη διαχείριση της εγκατάστασης, απαιτείται οπωσδήποτε «ανάλυση κινδύνου». Αναφορικά με την Ελλάδα, με τη μεγάλη χρονική πίεση που υπάρχει, επιβάλλεται πλέον, παρά τα ήδη εγκεκριμένα πλαίσια νομαρχιακών σχεδιασμών, που στη πλειοψηφία τους, κρίνονται ποιοτικώς προβληματικά.[16]

3.6 Ε.Μ.Α.Κ. Άνω Λιοσίων

Το Ε.Μ.Α.Κ. είναι έργο σύγχρονο, υψηλής τεχνολογικής ποιότητας, εθνικής σπουδαιότητας, πρωτοποριακής τεχνολογίας και για το διεθνή χώρο, ως το μεγαλύτερο και σύγχρονο έργο παγκοσμίως. Το Ε.Μ.Α.Κ. επεξεργάζεται 1.200 tn/d απορρίμματα, 300 tn/d ιλύος και 130 tn/d κλαδιά/χόρτα. Λειτουργεί αυτοματοποιημένα και με μηχανικά μέσα διαχωρισμού των συστατικών των απορριμμάτων. Τα χρήσιμα υλικά που παράγονται είναι περίπου 350 tn/d κομπόστ, 360 tn/d RDF, 30 tn/d σιδηρούχων, 5 tn/d αλουμινίου.

Τα παραπροϊόντα, ως άχρηστα οδηγούνται δεματοποιημένα στο Χ.Υ.Τ.Α., είναι ~25% των εισερχομένων απορριμμάτων. Η κατασκευή του Ε.Μ.Α.Κ. ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο 2002 και έκτοτε διεξάγεται συνεχής δοκιμαστική λειτουργία 1.000 tn/d απορριμμάτων. Το 2005 το Ε.Μ.Α.Κ. επεξεργάστηκε ~100.000 tn σύμμεκτα δημοτικά απορρίμματα, 3.500 tn ιλύος και 3.500tn πράσινα απορρίμματα. Τα προϊόντα από την επεξεργασία αξιοποιήθηκαν από τον Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

4.1 Βασικές παράμετροι παρακολούθησης κομπόστ

Η κομποστοποίηση είναι μια φαινομενικά απλή διεργασία, αν και η εντύπωση της απλότητας αυτή είναι μάλλον απατηλή, καθώς οδηγεί συχνά σε ακριβά λάθη αν αγνοηθούν οι βασικές αρχές και παράμετροι της διεργασίας. Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η αποτυχία ακόμη και ακριβών συστημάτων κομποστοποίησης οφείλεται συνήθως στην παράβλεψη βασικών λειτουργικών, τροφικών, και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Μια πληθώρα οργανικών αποβλήτων μπορούν με την κατάλληλη επεξεργασία να μετατραπούν σε ένα πλούσιο φυτόχωμα, το κομπόστ, το οποίο μπορεί να βρει πολλές εφαρμογές στη γεωργία, στα πάρκα, και στην ανάπτυξη και αναδάσωση προβληματικών εκτάσεων (εγκαταλειμμένα λατομεία., πρηνή δρόμων κλπ). Η κομποστοποίηση μιμείται και επιταχύνει τις διεργασίες αποδόμησης των οργανικών που συμβαίνουν αυθόρμητα στη φύση.

Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν φυσιολογικά στα οργανικά απόβλητα, χρησιμοποιούν τα οργανικά συστατικά των απόβλητων ως τροφή για την ανάπτυξή τους. Η διαδικασία αυτή είναι αερόβια (δηλ. χρειάζεται την παρουσία οξυγόνου) και εξώθερμη (δηλ. απελευθερώνει θερμότητα). Καθώς οι μικροοργανισμοί «τρώνε» τα απόβλητα, αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται, το pH αλλάζει, η θερμοκρασία του σωρού των αποβλήτων αυξάνει, και τα απόβλητα μετασχηματίζονται σε πιο πολύπλοκες και σταθερές οργανικές ενώσεις, που μοιάζουν με το φυσικό χούμους των εδαφών. Κατά την ενεργή φάση της κομποστοποίησης η θερμοκρασία, αν δεν ελεγχθεί, μπορεί να ξεπεράσει τους 70 °C, να αδρανοποιήσει ή και να σκοτώσει τους μικροοργανισμούς, και να γίνει απαγορευτική για την ομαλή και γρήγορη ολοκλήρωση της διεργασίας. Η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης είναι γύρω στους 55 °C.

4.2 Βιολογικό Σύστημα

Η πρώτη και σημαντικότερη αρχή είναι ότι η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική διαδικασία. Ως τέτοια, έχει όλα τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των βιολογικών διεργασιών. Ο πρωταρχικός περιορισμός, είναι ότι οι επιδόσεις και το δυναμικό των συστημάτων κομποστοποίησης καθορίζονται από αυτά των μικροβιολογικών στοιχείων του συστήματος.

Στην κομποστοποίηση οι μικροοργανισμοί «τρώνε» τα οργανικά απόβλητα και έτσι πολλαπλασιάζονται και αναπτύσσονται και επιταχύνεται η διεργασία. Πρέπει λοιπόν η «τροφή» τους να είναι ισορροπημένη, και όλα τα απαραίτητα για τους μικροοργανισμούς, θρεπτικά συστατικά, να βρίσκονται στα οργανικά απόβλητα στην κατάλληλη αναλογία.

Έτσι, η κομποστοποίηση δεν μπορεί να εξαφανίσει ανόργανα συστατικά που τυχόν υπάρχουν στα απόβλητα, όπως για παράδειγμα τα **βαρέα μέταλλα**. Η ποιότητα των αποβλήτων που τροφοδοτούν το σύστημα καθορίζει και την ποιότητα του παραγόμενου κομπόστ. [26]

Ακόμη πιο σημαντικοί είναι οι περιορισμοί που θέτει η βιολογική φύση του συστήματος στον χρόνο περάτωσης της διεργασίας. Οι βιολογικές διαδικασίες δεν μπορούν να επιταχυνθούν πέρα από τα φυσιολογικά τους όρια, ενώ αντίθετα μια σειρά κακών χειρισμών μπορεί να τις επιβραδύνει πολύ. Υπάρχουν περιπτώσεις ακριβών συστημάτων που ισχυρίζονται ότι μπορούν να περατώσουν τη διεργασία σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος κυμαίνεται γύρω στις 3-6 εβδομάδες, ανάλογα και με το είδος των αποβλήτων. Συχνά τα συστήματα που ισχυρίζονται πολύ σύντομους χρόνους περάτωσης (έτσι ώστε τα οικονομικά τους να φανούν πιο ελκυστικά) χρειάζονται μια μακριά περίοδο ωρίμανσης σε ανοικτό χώρο. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη μεγάλης έκτασης στις

εγκαταστάσεις κομποστοποίησης, και μπορεί να πλησιάσει τις απαιτήσεις σε χώρο ενός συστήματος χαμηλότερης τεχνολογίας και κόστους.[26]

4.2.1 Η Αρχή του Περιοριστικού Παράγοντα

Η αρχή του περιοριστικού παράγοντα, που ισχύει για όλα τα βιολογικά συστήματα, σημαίνει ότι υπάρχουν ανώτατα και κατώτατα όρια για όλες τις περιβαλλοντικές και τροφικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κομποστοποίηση. Έξω από αυτά τα όρια η διεργασία επιβραδύνεται σημαντικά ή και σταματά εντελώς. Ο περιοριστικός παράγοντας είναι εκείνος που βρίσκεται σε μικρή διαθέσιμη ποσότητα, εξαντλείται πρώτος, ή παίρνει πρώτος μη ευνοϊκές τιμές. Έτσι γίνεται εκείνος ο παράγοντας που περιορίζει την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την κομποστοποίηση.[3]

Για να μην υπάρξουν προβλήματα στην κομποστοποίηση και να προχωρήσει η διεργασία με τον βέλτιστο τρόπο πρέπει να εξετάζονται οι τροφικές και περιβαλλοντικές παράμετροι του συστήματος και να λαμβάνονται μέτρα ώστε να παραμένουν μέσα σε όρια κατάλληλα για την κομποστοποίηση. Αυτή η βασική αρχή ισχύει για όλα τα υλικά και συστήματα κομποστοποίησης, αν και οι συνέπειες από την αγνόησή της είναι ανάλογες του μεγέθους της εγκατάστασης.

4.2.2 Άνθρακας

Ο άνθρακας δίνει την απαραίτητη ενέργεια στους μικροοργανισμούς, μέσω της οξειδωσης του κατά το μεταβολισμό, και είναι το σημαντικότερο συστατικό στη σύνθεση των τοιχωμάτων του κυττάρου και των άλλων κυτταρικών δομών. Στην οξειδωση του άνθρακα σε CO₂ οφείλεται το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας μάζας κατά την κομποστοποίηση και η χαρακτηριστική έκλυση θερμότητας. [3]

Εκτός από το ποσοστό του άνθρακα στα απόβλητα, σημασία για την κομποστοποίηση έχει και η χημική του μορφή. Αυτή καθορίζει τη διαθεσιμότητα του άνθρακα, δηλ. τη δυνατότητα των μικροοργανισμών να τον αφομοιώσουν. Κάποια φυσικά υλικά είναι πιο ανθεκτικά στη μικροβιακή αποσύνθεση (πολύπλοκες μορφές κυτταρίνης, λιγνίνη) και χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασπαστούν σε σχέση με απλούστερες οργανικές ενώσεις (σάκχαρα, πρωτεΐνες, τα περισσότερα λίπη). Ο άνθρακας π.χ. στα ξυλώδη υλικά δεν αποδομείται εύκολα, σε αντίθεση με τις κοπριές.[3,26]

Από πρακτική σκοπιά, η διαθεσιμότητα του άνθρακα καθορίζει:

- (1) την καταλληλότητα των αποβλήτων ως πηγή άνθρακα για την κομποστοποίηση,
- (2) το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα - και συνεπώς τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής τους στο σύστημα, και
- (3) το ανώτατο όριο του λόγου του άνθρακα προς άζωτο (C/N) που δεν επιβραδύνει τη διεργασία[26]

4.2.3 Κύκλος άνθρακα

Τα απλά οργανικά συστατικά (διαλυτά σάκχαρα, οργανικά οξέα κ.λ.π.) μεταβολίζονται εύκολα και αδρανοποιούνται από ετεροτροφική και ετερογενή μικροχλωρίδα. Υψηλά μεταβολική δραστηριότητα και εξωθερμικές αντιδράσεις έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στο κομποστοποιημένο υλικό. Το υλικό αυτό έχει υψηλή επιλεκτική επίδραση ως υπόστρωμα, ευνοώντας την ανάπτυξη λίγων ειδών σπορογενών θερμοφιλικών μικροοργανισμών.

Τα φυσικά μεγαλομοριακά πολυμερή διασπώνται αργότερα κυρίως από άλλες μικροβιακές ομάδες (μύκητες και ασκομύκητες). Μία σειρά από ευμύκητες, μεσοφιλικούς και θερμοφιλικούς οργανισμούς, διασπούν την κυτταρίνη, το άμυλο και τη λιγνίνη.[26]

Η διάσπαση της κυτταρίνης είναι έντονη καθ'όλη τη διάρκεια της διεργασίας αλλά ειδικά προς τα τελευταία στάδια μέσω της δράσης των ευμυκήτων. Στα τελευταία στάδια της κομποστοποίησης λαμβάνει χώρα μία συνεχής μείωση του αριθμού των βακτηρίων και αύξηση του αριθμού των ευμυκήτων που διασπούν κυτταρίνες και τις λιγνίνες. Οι μύκητες ευνοούνται από τη μείωση της θερμοκρασίας, του pH και της υγρασίας που λαμβάνει χώρα με την πρόοδο της διεργασίας.

Οι ίδιες τρεις περιβαλλοντικοί παράμετροι (θερμοκρασία, υγρασία, pH) επιδρούν θετικά στην παρουσία και διασπορά των ακτινομυκήτων, οι οποίοι αποκτούν σημαντική ανάπτυξη κατά τα τελευταία στάδια της διεργασίας. Η παρουσία και η πλήρης ανάπτυξή τους συνδυάζεται με την διάσπαση της κυτταρίνης και λιγνίνης. Η μεταβολική δράση των ακτινομυκήτων είναι θεμελιώδης για την χουμοποίηση της οργανικής ύλης και την παραγωγή αρωματικών συστατικών.

Η διάσπαση της λιγνίνης, που αποτελεί μία ενζυματική αερόβια μετατροπή, επιτυγχάνεται με τη δράση μίας περιορισμένης μόνο ομάδας μικροοργανισμών, τους λεγόμενους υψηλούς μύκητες (βασιδιομύκητες, δευτερομύκητες). Οι μύκητες αυτοί διασπούν τη λιγνίνη αργά και δεν φτάνουν στο μέγιστο βαθμό δράσης πριν από ένα μήνα από την εκκίνηση της κομποστοποίησης.[3]

4.2.4 Άζωτο

Σημαντικότερος είναι και ο ρόλος του αζώτου για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό του πρωτοπλάσματος και χωρίς αυτό οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν. Ωστόσο, η μικροβιακή δραστηριότητα (π.χ. σύνθεση οργανικών οξέων) είναι εφικτή και απουσία αζώτου.

Το άζωτο βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε διαθέσιμες μορφές στα υπολείμματα φαγητού, στα απόβλητα κήπων και πάρκων (ιδίως όταν έχουν γρασίδι), στη λάσπη βιολογικών καθαρισμών και στις διάφορες κοπριές. Αντίθετα έλλειμμα παρουσιάζεται στα ξυλώδη απορρίμματα, το χαρτί και διάφορα βιομηχανικά απόβλητα. Η ανάμιξη με απόβλητα πλούσια σε άζωτο είναι η ενδεικνυόμενη λύση για την κομποστοποίηση φτωχών σε άζωτο αποβλήτων. Εναλλακτικά, μπορεί να προστεθεί άζωτο σε ανόργανη μορφή, π.χ. ως αζωτούχο λίπασμα.

Η ποσότητα του ολικού αζώτου ποικίλλει από έδαφος σ' έδαφος, αλλά και στο ίδιο το έδαφος, ανάλογα με το βάθος. Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την ποσότητα του ολικού αζώτου σ' ένα συγκεκριμένο έδαφος είναι το κλίμα, η βλάστηση, η μηχανική σύσταση του εδάφους και το σύστημα καλλιέργειας.

Οι οργανικές αζωτούχες ενώσεις είναι συστατικά της οργανικής ουσίας του εδάφους, από τις οποίες ελευθερώνεται άζωτο με τη μορφή αμμωνίας με βιοχημικές διεργασίες και με ρυθμό που εξαρτάται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες. Συνήθως το 2-3% του αζώτου των οργανικών ενώσεων ελευθερώνεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε νιτρώδη κατ' αρχήν και τελικά σε νιτρικά ιόντα.

Οι ανόργανες μορφές του αζώτου είναι τα ιόντα NH_4^+ , NO_3^- και NO_2^- που προέρχονται κυρίως είτε από την αποικοδόμηση των οργανικών υλικών, είτε από τα χημικά λιπάσματα, που προστίθενται στο έδαφος. Οι μορφές αυτές του αζώτου είναι αφομοιώσιμες από τα φυτά, σε αντίθεση με τις οργανικές ενώσεις του αζώτου. Το NH_4^+ -N κατά ένα μεγάλο ποσοστό απαντάται προσωρινό στη στερεή φάση του εδάφους σαν ανταλλάξιμο και σε ισορροπία με μικρότερες ποσότητες στο εδαφικό διάλυμα. Ένα μικρό ποσοστό του NH_4^+ -N

είναι δεσμευμένο στους διαστιβαδικούς χώρους των ορυκτών της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1, όπως ο βερμικουλίτης και ο ιλλίτης. Το άζωτο αυτό δεν είναι προσιτό στα φυτά και το ποσοστό του αυξάνει σημαντικά σε σχέση με το βάθος του εδάφους.

Οι άλλες μορφές ανόργανου αζώτου, δηλαδή τα NO_3^- και NO_2^- , δεν συγκρατούνται από τη στερεή φάση και κατά κύριο λόγο βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα, μέσω του οποίου κυρίως συντελούνται και οι μεγαλύτερες απώλειες αζώτου.[26,29]

4.2.4.1 Ισοζύγιο Αζώτου

Το περιεχόμενο στην οργανική μάζα άζωτο συνήθως μειώνεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, κυρίως λόγω απωλειών πτητικής αμμωνίας. Αυτή η απώλεια αζώτου μπορεί να εκτιμηθεί σε απόλυτες τιμές.

Αντίθετα, σε ό,τι αφορά την ξηρή ουσία, παρατηρείται αύξηση του αζώτου, λόγω της αδρανοποίησης της οργανικής ύλης και κατ'επέκταση την απώλεια CO_2 και H_2O . ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια εξέλιξης της διεργασίας κομποστοποίησης παρατηρείται μία συνεχής ελάττωση του λόγου C/N.

Παρόλες τις απώλειες αζώτου λόγω πτητικής αμμωνίας, παρατηρείται μερική ανάκτηση αζώτου σε μετέπειτα στάδια, λόγω της δράσης N-σταθεροποιητικών βακτηρίων (αζωτοβακτηρίδια). Έχουν αναγνωρισθεί πολλά είδη τέτοιων βακτηριδίων, τα οποία δρουν ως επί το πλείστον κατά το μεσοφιλικό στάδιο της διεργασίας.

Βακτηρίδια που συγκρατούν άζωτο είναι παρόντα κατά την κομποστοποίηση, αλλά συγκρατούν ελάχιστες ποσότητες ατμοσφαιρικού αζώτου, φαινόμενο που οφείλεται μερικώς στον πολύ αργό ρυθμό της διεργασίας νιτροποίησης και κυρίως στην αφθονία αζώτου.

Η βιολογική συγκράτηση αζώτου παρεμποδίζεται από την παρουσία αμμωνίας και τις υψηλές θερμοκρασίες.

Ως εκ τούτου, η νιτροποιός δραστηριότητα είναι πιο έντονη κατά τα τελευταία στάδια της βιοαποδόμησης.

Επίσης, αν η αναλογία C/N (άνθρακα προς άζωτο) στο τελικό προϊόν είναι πολύ υψηλή, θα δημιουργηθεί βραχυπρόθεσμα έλλειψη αζώτου στο χώμα (θα καταναλωθεί από τους αερόβιους μικροοργανισμούς) και συνθήκες τροφοπενίας αζώτου στα φυτά, επομένως και καθυστέρηση της ανάπτυξής τους. [32,29]

4.2.5 Αναλογία Άνθρακα προς Άζωτο

Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι μια από τις σημαντικότερες τροφικές παραμέτρους. Η βέλτιστη αναλογία για την κομποστοποίηση κυμαίνεται από 20 έως 30 μέρη διαθέσιμου άνθρακα προς 1 μέρος διαθέσιμου αζώτου. Υψηλότερες τιμές του λόγου C/N, επιβραδύνουν τη διεργασία της κομποστοποίησης. Κατά την ενεργή φάση της διεργασίας το πρόβλημα εκδηλώνεται με μείωση της παραγωγής θερμότητας. Όταν ο λόγος C/N είναι χαμηλότερος από περίπου 18-19/1, το πλεόνασμα του αζώτου χάνεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή αμμωνίας. Μπορούν έτσι να προκληθούν δυσάρεστες οσμές, και να αυξηθεί το pH σε επίπεδα δυσμενή για την κομποστοποίηση. Τα στοιχεία αέρας-νερό και άνθρακας –άζωτο πρέπει να βρίσκονται σε κάποια ισορροπία. Η έλλειψη οξυγόνου στο κομπόστ προκαλεί σαπίλα με άσχημη μυρωδιά, όταν το νερό πλεονάζει.

Για να πετύχουμε κάπως μία καλή σχέση άνθρακα προς άζωτο στο κομπόστ, πρέπει οι ουσίες που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι σε χλωρή και σε ξηρή κατάσταση. Π.χ πράσινα υπολείμματα κουζίνας, φύλλωμα πράσινο, γκαζόν, κοπριά ζωική από τη μία πλευρά και από

την άλλη πλευρά υλικά που έχουν περισσότερο άνθρακα, όπως είναι τα ξερά κλαδιά, τα άχυρα, οι φλούδες δέντρων, τα χαρτιά, τα πριονίδια κλπ.

Ο ρυθμός διάσπασης των οργανικών υλικών στο έδαφος επηρεάζεται από το οξυγόνο, την υγρασία, τη θερμοκρασία, το pH του εδάφους, κυρίως όμως από τη σχέση C/N των υλικών αυτών. Ο άνθρακας αποτελεί δείκτη αποταμιευμένης ενέργειας στο έδαφος για τους μικροοργανισμούς, ενώ το άζωτο αποτελεί βασικό συστατικό των πρωτεϊνών τους. Η τιμή του ηλικίου C/N στους φυτικούς ιστούς που ευνοεί τη μικροβιακή δράση, άρα και τη διάσπαση της οργανικής ουσίας, κυμαίνεται από 25/1 έως 30/1. Σε περίπτωση μεγαλύτερης τιμής, οι μικροοργανισμοί αν εξασφαλίσουν από το έδαφος το άζωτο που υπολείπεται, αποδομούν το οργανικό υλικό, διαφορετικά η δραστηριότητα τους σταματά έως ότου βρεθεί κάποια πηγή αζώτου που να ικανοποιεί τη σχέση του C/N. Τα φυτικά υπολείμματα των σιτηρών για τα οποία η σχέση C/N είναι περίπου 80/1 αποδομούνται βραδύτερα από τα φυτικά υπολείμματα των ψυχανθών, για τα οποία η σχέση είναι περίπου 20/1.

4.3 Περιβαλλοντικές Παράμετροι

Οι τρεις παράμετροι-κλειδιά για την κομποστοποίηση είναι ο αερισμός (για οξυγόνωση και απαγωγή θερμότητας), το ποσοστό υγρασίας και η θερμοκρασία. Η κατανόηση των μεταξύ τους σχέσεων και της επίδρασής τους στη διεργασία, και η κατάλληλη ρύθμισή τους είναι απαραίτητες για τη γρήγορη και σωστή κομποστοποίηση και την παραγωγή καλής ποιότητας κομπόστ. Οι τρεις αυτές παράμετροι συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, και η μεταβολή οποιασδήποτε από τις τρεις μεταβάλλει αντίστοιχα και τις υπόλοιπες.

4.3.1 Αερισμός

Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία και ως τέτοια χρειάζεται παροχή αέρα για αναπλήρωση του οξυγόνου μέσα στη μάζα των αποβλήτων που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Για να είναι αποτελεσματικός ο αερισμός πρέπει τα απόβλητα να έχουν «δομή» ώστε να υπάρχουν κενά ανάμεσα στα σωματίδια της μάζας που κομποστοποιείται, όπου να μπορεί να εισχωρήσει εύκολα ο φρέσκος αέρας. Για το σκοπό αυτό συχνά προστίθενται διογκωτικά υλικά (άχυρο, τεμάχια ξύλου κ.α.), ιδίως όταν τα απόβλητα δεν έχουν από μόνα τους μια δομή (π.χ. λάσπη βιολογικών καθαρισμών, κομμένο γρασίδι). Αν το ποσοστό υγρασίας είναι πολύ υψηλό, το νερό καταλαμβάνει τον κενό χώρο ανάμεσα στα σωματίδια του κομπόστ και ο αερισμός γίνεται δυσχερής.

Όμως η οξυγόνωση δεν είναι η μοναδική λειτουργία του αερισμού. Εξ' ίσου βασικός είναι και ο ρόλος του στη διατήρηση της θερμοκρασίας του σωρού σε ευνοϊκά για την κομποστοποίηση επίπεδα. Όπως προαναφέρθηκε, κατά την κομποστοποίηση εκλύεται θερμότητα η οποία ανεβάζει τη θερμοκρασία του σωρού. Αν δεν ελεγχθεί, η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε απαγορευτικά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα, ξεπερνώντας τους 70°C. Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, οι μικροοργανισμοί πεθαίνουν ή αδρανοποιούνται και η διεργασία επιβραδύνεται ή και σταματά εντελώς. Δηλαδή, κατά την κομποστοποίηση οι μικροοργανισμοί έχουν την τάση να «αυτοκτονήσουν θερμικά» και είναι στόχος του αερισμού να εμποδίσει την «αυτοκτονία» διατηρώντας τη θερμοκρασία γύρω στους 55 °C.

Η ποσότητα του αέρα που χρειάζεται για την ψύξη του σωρού είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για την οξυγόνωση. Καθώς ο ψυχρός εισερχόμενος αέρας θερμαίνεται, περνώντας μέσα από το σωρό, αυξάνει το σημείο κορεσμού του σε υδρατμούς. Έτσι, εξατμίζεται νερό μέσα από το σωρό και ελαττώνεται το ποσοστό υγρασίας του κομπόστ. Επιτυγχάνεται έτσι μια «βιολογική» ξήρανση των αποβλήτων, παράλληλα με τον μετασχηματισμό τους σε πιο σταθερές μορφές.

Στα απλούστερα συστήματα κομποστοποίησης, όπου δεν υπάρχει μηχανικός αερισμός του σωρού, τόσο η οξυγόνωση όσο και η ψύξη γίνονται με «γυρίσματα» (δηλαδή με κατάλληλη ανάδευση) του σωρού. Η συχνότητα του γυρίσματος εξαρτάται από το είδος των υλικών και το στάδιο της διεργασίας, και έχει πρωταρχικό στόχο τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σωρού. [23]

4.3.2 Υγρασία

Όπως προαναφέρθηκε, η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στην υγρασία και τον αερισμό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αποτελεσματικός αερισμός της μάζας του κομπόστ στο σωρό εξαρτάται από τα διάκενα (πόρους) ανάμεσα στα σωματίδια του κομπόστ. Καθώς αυξάνει η υγρασία οι πόροι γεμίζουν νερό, τα διάκενα όπου μπορεί να κυκλοφορήσει ο αέρας μειώνονται και αρχίζουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες σε τμήματα του σωρού.

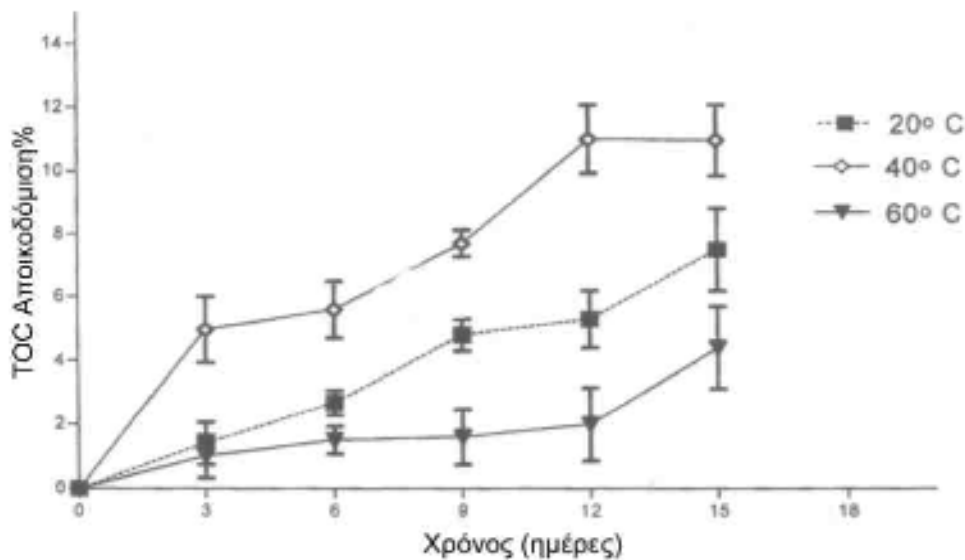
Από την άλλη μεριά, η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική διεργασία που οφείλεται κατά κύριο λόγο σε βακτήρια, των οποίων η μεταβολική δραστηριότητα πραγματοποιείται στην υγρή φάση. Θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο όριο υγρασίας για τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Ωστόσο, οι τεχνικές δυσκολίες και η οικονομική επιβάρυνση που συνεπάγεται ο επαρκής αερισμός ενός υγρού, θέτουν ένα ανώτατο όριο στο ποσοστό υγρασίας, για βέλτιστη κομποστοποίηση. Η βέλτιστη υγρασία εξαρτάται εν μέρει από τη σύνθεση και τη φυσική δομή των υλικών προς κομποστοποίηση. Έτσι μπορεί να είναι υψηλότερη για υλικά με γερή φυσική δομή (π.χ. απόβλητα όπου άχυρο, πριονίδια, ξερά φύλλα ή τεμαχίδια ξύλου είναι τα κύρια συστατικά), ενώ υλικά όπως το χαρτί, υπολείμματα φαγητού, και γρασιδί, τα οποία τείνουν να «πατικωθούν» πρέπει να έχουν χαμηλότερο ποσοστό νερού.

Ως γενικός κανόνας, η αρχική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 60-70% και να μην αφήνεται να πέσει κάτω από 30-35%. Κάτω από 25% υγρασία, η μικροβιακή δραστηριότητα παρεμποδίζεται ισχυρά, ενώ κάτω από 10-15% σταματά τελείως. Μια συνέπεια της έλλειψης νερού είναι ότι, καθώς εμποδίζεται η μικροβιακή δραστηριότητα, το υλικό δίνει μια ψευδή εικόνα σταθεροποίησης. Έτσι μπορεί να διατεθεί ως έτοιμο κομπόστ στην αγορά. Όταν όμως ξαναβραχεί, στο χωράφι ή τον κήπο, η μικροβιακή δραστηριότητα επανακάμπτει και μπορεί να «κάψει» τα φυτά ή να απελευθερώσει δυσάρεστες οσμές.[3]

4.3.3 Θερμοκρασία

Καθώς οι μικροοργανισμοί αποικοδομούν τα οργανικά συστατικά στα απορρίμματα παράγεται θερμότητα η οποία εγκλωβίζεται στη μάζα του σωρού και ανεβάζει τη θερμοκρασία. Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, οι οποίοι παράγουν περισσότερη θερμότητα και αυξάνουν και άλλο τη θερμοκρασία, σε έναν αλληλοενισχυόμενο κύκλο. Όταν όμως η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 45-50 °C, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών αρχίζει να ελαττώνεται και πάνω από τους 75 °C πρακτικά μηδενίζεται. Έτσι για να πετύχουμε το μέγιστο ρυθμό βιοαποδόμησης των οργανικών υλικών, πρέπει να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία σε ευνοϊκά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα. [14]

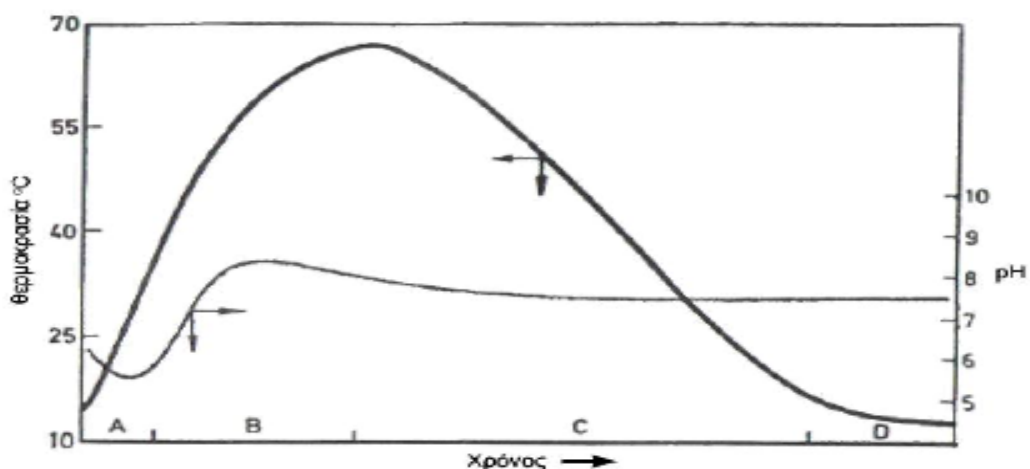
Ο άλλος ρόλος της θερμοκρασίας στην κομποστοποίηση είναι ότι η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες για κάποιο χρονικό διάστημα καταστρέφει πιθανούς παθογόνους οργανισμούς για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Πρέπει λοιπόν να ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία σε τέτοια επίπεδα ώστε αφ' ενός να μην παρεμποδίζεται η δραστηριότητα των ωφέλιμων μικροοργανισμών και αφ' ετέρου να καταστρέφονται αποτελεσματικά οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Μία θερμοκρασία γύρω στους 55⁰C που θα διατηρηθεί για τουλάχιστον 3 ημέρες σε όλη τη μάζα του σωρού θεωρείται αρκετή για την καταστροφή των παθογόνων. [23]



Διάγραμμα 4.1: Επίδραση της θερμοκρασίας στην αποικοδόμηση οργανικού άνθρακα.[23]

4.4 Οξύτητα ή Αλκαλικότητα (pH)

Το pH εκφράζει την αλκαλικότητα ή την οξύτητα στην υγρασία του σωρού. Τα βακτήρια δρουν σε υψηλότερους ρυθμούς με pH 6 - 7,5 ενώ οι μύκητες παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών, μεταξύ 5,5 και 8. Εάν το pH πέσει κάτω του 6 οι μικροοργανισμοί και κυρίως τα βακτήρια πεθαίνουν και ο ρυθμός κομποστοποίησης ελαττώνεται. Εάν το pH υπερβεί την τιμή 9 τότε το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία και παύει να είναι διαθέσιμο για τους μικροοργανισμούς. Όπως και στην θερμοκρασία, έτσι και το pH παρουσιάζεται να ακολουθεί μια καμπύλη κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης. Όπως εμφανίζεται στο διάγραμμα 4.2 το μεγαλύτερο μέρος της κομποστοποίησης πραγματοποιείται μεταξύ των τιμών 5,5 και 9. Κατά το ξεκίνημα της κομποστοποίησης οργανικά οξέα παράγονται και το pH κυμαίνεται στο 5. Σε αυτήν την τιμή μύκητες ανθεκτικοί στο όξινο περιβάλλον παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση του pH.



Διάγραμμα 4.2: Διακύμανση Θερμοκρασίας και pH σε σχέση με το χρόνο, φάσεις μικροβιακής δραστηριότητας: A= Μεσόφιλοι, B= Θερμόφιλοι, C= Ψύξη, D= Ωρίμανση.[23]

4.5 Ιχνοστοιχεία-Βαρέα μέταλλα

Τα ιχνοστοιχεία ,είναι στοιχεία που απαντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες στον εξωτερικό φλοιό της γης. Το έδαφος είναι η κύρια πηγή των ιχνοστοιχείων για τα φυτά και διαμέσου της συγκομιδής τροφίμων αυτά τα στοιχεία μεταφέρονται στα ζώα και τους ανθρώπους. Το μητρικό υλικό και οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως ο αερισμός, η υγρασία και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τη χημική φύση των στοιχείων και την απορρόφηση τους από τα φυτά. Πολλά από αυτά τα στοιχεία είναι απαραίτητα στα φυτά, στα ζώα και τους ανθρώπους. Κάποια από αυτά είναι τοξικά και άλλα δεν επηρεάζουν καθόλου. Επιπλέον, πολλά στοιχεία είναι απαραίτητα σε χαμηλά επίπεδα ενώ τοξικά σε υψηλά επίπεδα. Στη βιβλιογραφία συχνά αναφέρονται με τον όρο «**βαρέα μέταλλα**». [8]

Βαρέα μέταλλα, είναι μια κατηγορία χημικών στοιχείων με μεγάλα μοριακά βάρη (όπως υδράργυρος, νικέλιο, βανάδιο, αρσενικό, βηρύλλιο, κάδμιο, βάριο, χρώμιο, χαλκός, μολυβδαίνιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος, σελήνιο, ράδιο κ.α) τα οποία έχουν χημική συμπεριφορά μετάλλου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν και τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε μικρές ποσότητες, ακόμη και η ίδια η ύπαρξή τους και η πιθανότητα απελευθέρωσής τους στο περιβάλλον θα πρέπει να είναι ανησυχητικές καθώς τα στοιχεία αυτά είναι ιδιαίτερα τοξικά.

Κανένα από τα στοιχεία αυτά δεν συναντάται, ούτε και είναι απαραίτητα για τους ζωντανούς οργανισμούς, ενώ επιπλέον είναι ιδιαίτερα τοξικά για τον άνθρωπο ή τα ζώα ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Τα βαρέα μέταλλα έρχονται σε επαφή με τον άνθρωπο κυρίως μέσω της απελευθέρωσής τους στην ατμόσφαιρα από καμινάδες εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας, από το έδαφος ή τα ύδατα όπου έχουν αποθεθεί ως ρύποι και μέσω της τροφικής αλυσίδας.[24,25]

Τα κυριότερα βαρέα μέταλλα στο περιβάλλον καθώς και η τοξική τους δράση, είναι:

1. Μόλυβδος (Pb):

Ο μόλυβδος είναι σημαντικός ρυπαντής και επικίνδυνος για την υγεία λόγω της μεγάλης του τοξικότητας και αφετέρου, λόγω της ποικιλίας των πηγών προέλευσης. Ο μόλυβδος φτάνει στον άνθρωπο, είτε μέσω της αναπνοής μετά την εναπόθεσή του στο έδαφος, είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας, είτε από το νερό. Τα σωματίδια του μολύβδου μεταφέρονται εύκολα στις κυψελίδες των πνευμόνων λόγω της μικρής τους διαμέτρου που δεν υπερβαίνει το 1 μm. Εναποτίθεται κυρίως στα οστά, από όπου μπορεί να μεταβιβαστεί στο αίμα κάτω από συνθήκες άγχους και ασθένειας. Στο αίμα παρεμποδίζει το σχηματισμό αιμοσφαιρίνης με αποτέλεσμα την αναιμία. Ο μόλυβδος εμποδίζει τα ένζυμα στην λειτουργία τους και διακόπτει μεγάλο αριθμό μεταβολικών λειτουργιών. Στα παιδιά ακόμη και μικρές συγκεντρώσεις μολύβδου επηρεάζουν τις διανοητικές λειτουργίες τους, ενώ μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει διανοητική καθυστέρηση. Μπορεί ακόμη να προκαλέσει χρόνια νεφρίτιδα, καρδιαγγειακά προβλήματα, εγκεφαλική παράλυση, καθώς και προβλήματα στο συκώτι. Το σημαντικό πρόβλημα με το μόλυβδο είναι ότι απομακρύνεται δύσκολα λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής του. Για το λόγο αυτό με οδηγία της Ε.Ε., απαγορεύτηκε η βενζίνη με μόλυβδο και αντικαταστάθηκε με χημικό υποκατάστατο.

Πηγές μολύβδου: οχήματα που χρησιμοποιούν μολυβδούχα βενζίνη, εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόλυβδο ή ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και χώροι που καίνε απορρίμματα. [24]

2. Το Κάδμιο (Cd):

Το κάδμιο εκτός από τα ορυκτά του, εμφανίζεται ως πρόσμιξη στα ορυκτά του ψευδαργύρου (κοινώς τσίγκος). Χρησιμοποιείται κυρίως στην ηλεκτροαπόθεση, ως σταθεροποιητής στα πλαστικά και στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου. Η κατανάλωση του καδμίου στην Ε.Ε. το 1992

ήταν 54.000 τόνους, ενώ η συνολική παγκόσμια παραγωγή ήταν 19.000 τόνους. Το κάδμιο ανήκει στις καρκινογόνες ενώσεις και είναι γνωστό ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα και εδάφη.

Ρυπαίνει το περιβάλλον κατά την χρήση και καθαρισμό των μεταλλευμάτων του και κατά την τήξη και καθαρισμό του χαλκού και νικελίου. Επίσης υπάρχει στα καυσαέρια των καυσίμων. Η περιβαλλοντική διάχυση και απόθεση του καδμίου εξαρτάται από τις συνθήκες και την χημική σύνθεση του μετάλλου, αλλά συνήθως μεγάλο ποσοστό παραμένει στο έδαφος και στο υδρόβιο περιβάλλον.

Συσσωρεύεται στα ιζήματα αντί στο σώμα των οργανισμών. Πρόσφατες μετρήσεις για κάδμιο σε ποτάμια, λίμνες και ρυάκια δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0.01 και 0.07 $\mu\text{g/l}$. Το κάδμιο είναι ένα βαρύ τοξικό μέταλλο που απορροφάται εύκολα από τα φυτά και διοχετεύεται εύκολα μέσω της τροφικής αλυσίδας στα νεφρά και το συκώτι του ανθρώπου με αποτέλεσμα να προξενεί σοβαρές βλάβες στην υγεία. Οι μακροχρόνιες επιπτώσεις στον άνθρωπο, των χαμηλών συγκεντρώσεων καδμίου στην ατμόσφαιρα είναι δυνατόν να προξενήσουν χρόνιες παθήσεις στους πνεύμονες, στο συκώτι, στα νεφρά και στα οστά του ανθρώπου.

Επιπλέον, το κάδμιο -ενδεχομένως μέσω των ενώσεων του οξυγόνου - αυξάνει τον κίνδυνο του καρκίνου στον προστάτη και τους πνεύμονες, κάτι που είναι, συν τοις άλλοις, συνέπεια της εργασίας σε ανθυγιεινό περιβάλλον. Βιοσυσσώρευση καδμίου και συγκεντρώσεις σε οργανισμούς

Το κάδμιο έχει την ικανότητα να βιοσυσσωρεύεται σε μικροοργανισμούς και σε ιστούς φυτών και ζώων. Στα υδρόβια μακρόφυτα, το κάδμιο παρουσιάζει συντελεστές βιοσυγκέντρωσης, περίπου 50 φορές και στα ψάρια 100 φορές σε σχέση με τις συγκεντρώσεις στα νερά. Παρά το ότι το κάδμιο συσσωρεύεται στους οργανισμούς του γλυκού νερού δεν βιομεγεθυνείται στην τροφική αλυσίδα.

Το κάδμιο συμπλοκοποιείται με μεταλλοθειονίνες, πρωτεΐνες με υψηλά ποσοστά αμινοξέων που περιέχουν θείο (-S-), και με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται η δράση του σε ενδοκυττάρειες θέσεις αποδέκτες. Στα ψάρια το κάδμιο συσσωρεύεται κυρίως στο ήπαρ, τα βράγχια και τα νεφρά.

Η συσσώρευση του καδμίου σε μακρόφυτα ποικίλει ανάλογα με το είδος και τους ιστούς που εξετάζονται. Το κάδμιο συσσωρεύεται κυρίως στις ρίζες των υδρόβιων μακροφύτων αντί στα φύλλα και τον κορμό.

Υπάρχουν αρκετά αποτελέσματα οξείας και χρόνιας τοξικότητας του καδμίου και ενώσεων του σε οργανισμούς.

Οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα του καδμίου στους υδρόβιους οργανισμούς είναι το είδος, το μέγεθος του σώματος, η ηλικία του οργανισμού, και η διατροφή.

Γενικά, από τις πολυάριθμες έρευνες για τις επιπτώσεις του καδμίου, πιστεύεται ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος θα επηρεάσει αρνητικά την υγεία των άγριων ζώων και των θηλαστικών που τρέφονται από ρυπασμένη φυτική τροφή. Η συσσώρευση του καδμίου στο ήπαρ και τα νεφρά θα έχει αρνητικές επιπτώσεις για πολλά είδη οργανισμών και σε τελική ανάλυση στην υγεία των οικοσυστημάτων.[24,25]

3. Υδράργυρος (Hg):

Είναι γνωστός σε όλους μας, αφού αποτελεί το περιεχόμενο των θερμομέτρων έχοντας αυτό το αργυρόχρουν υγρό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανίες κατασκευής ηλεκτρικού

εξοπλισμού και ανιχνεύεται στις τοξικές λάσπες, των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να μπει στο σώμα από τους πνεύμονες, το δέρμα και από το πεπτικό σύστημα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση δηλητηρίασης από υδράργυρο είναι μέσω της αναπνοής. Οι συνηθείς δηλητηριάσεις από υδράργυρο προέρχονται από σύντομες εκθέσεις σ' αυτόν, σε υψηλά όμως επίπεδα. Μπορούν όμως να προκαλέσουν οξεία δηλητηρίαση, χαρακτηριστικά της οποίας είναι σφίξιμο και πόνος στο στήθος, δυσκολία στη αναπνοή, φλεγμονές στο στόμα και τα ούλα, πυρετός και πονοκέφαλος. Πιο επικίνδυνες όμως είναι οι χρόνιες δηλητηριάσεις από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα.

Ο μεταλλικός υδράργυρος χρησιμοποιείται σε διάφορα οικιακά προϊόντα, όπως τα βαρόμετρα, τα θερμόμετρα και τις ηλεκτρικές λάμπες φθορισμού. Ο υδράργυρος σε αυτές τις συσκευές είναι παγιδευμένος και συνήθως δεν προκαλεί κάποιο πρόβλημα υγείας. Παρόλα αυτά, όταν ένα θερμόμετρο σπάσει μια σημαντικά υψηλή έκθεση στον υδράργυρο μέσω της αναπνοής θα συμβεί για μια μικρή χρονική περίοδο ενώ εξατμίζεται. Αυτό μπορεί να προκαλέσει επιβλαβή αποτελέσματα, όπως βλάβη στα νεύρα, τον εγκέφαλο κ.α.

Ο υδράργυρος δεν βρίσκεται φυσικά στα τρόφιμα, αλλά μπορεί να εμφανιστεί στα τρόφιμα δεδομένου ότι μπορεί να διαδοθεί μέσω της τροφικής αλυσίδας από τους μικρότερους οργανισμούς που καταναλώνονται από τους ανθρώπους, παραδείγματος χάριν μέσω των ψαριών. Οι συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια συνήθως υπερβαίνουν κατά πολύ τις συγκεντρώσεις του νερού όπου ζουν. Το κρέας μπορεί, επίσης, να περιέχει ιδιαίτερα σημαντικές ποσότητες υδραργύρου, ειδικά αν έχει προηγηθεί περιβαλλοντική μόλυνση των χωραφιών. Ο υδράργυρος δεν βρίσκεται συνήθως στα φυτικά προϊόντα, αλλά μπορεί να εισαχθεί στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των λαχανικών και άλλων καλλιεργήσιμων προϊόντων, όταν εφαρμόζονται στη γεωργία ψεκασμοί με υδράργυρο. [25]

4. Χρώμιο (Cr):

Το τρισθενές Χρώμιο έχει χαρακτηριστεί σαν ένα από τα πιο ισχυρά ανόργανα καρκινογόνα. Υπάρχουν πειραματικά δεδομένα για την καρκινική δράση στο στομάχι, ενώ η δράση των ιόντων χρωμίου που οδηγεί σε καρκίνο συνίσταται σε προσβολή του DNA και των πρωτεϊνών.

Το χρώμιο είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση με φυσική αφθονία στο φλοιό της Γης 100 ppm. Τα φυσιολογικά επίπεδά του στα μη ρυπασμένα επιφανειακά ύδατα κυμαίνονται στην περιοχή 1 - 10 µg/L, ενώ στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις του βρίσκονται στην περιοχή 0,4 - 8 µg/L. Στον αέρα βρίσκεται σε συγκεντρώσεις <0,1 µg/m³. Η περιεκτικότητα των περισσότερων πετρωμάτων σε χρώμιο κυμαίνεται από 5 έως 1800 mg/kg. Στα περισσότερα εδάφη υπάρχει σε χαμηλές περιεκτικότητες (2-60 mg/kg). Μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο στα φυτά (μέχρι 0,19 mg/kg) και δεν έχει διευκρινιστεί επαρκώς το κατά πόσο το χρώμιο είναι γι' αυτά ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο.

Σχεδόν όλο το χρώμιο στη φύση βρίσκεται ως τρισθενές χρώμιο, Cr(III). Το εξασθενές χρώμιο, Cr(VI), που συναντάται στο περιβάλλον, είναι σχεδόν αποκλειστικά ανθρωπογενές (προέρχεται από δραστηριότητες του ανθρώπου). Διάφορες βιομηχανίες εκπέμπουν στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος πλήθος ενώσεων του Cr(VI). Το Cr(VI) είναι σταθερό στον αέρα και στο καθαρό νερό, αλλά ανάγεται ταχύτατα προς Cr(III), όταν έρθει σε επαφή με οργανική ύλη στο νερό, στο έδαφος και σε ζωντανούς οργανισμούς.

Στην περίπτωση διάθεσης από βιομηχανίες ανεπεξέργαστων αποβλήτων που περιέχουν Cr(VI) σε υδάτινους αποδέκτες, τα επίπεδα του στα ύδατα του αποδέκτη και στα υπόγεια ύδατα μπορεί να φτάσουν μερικές δεκάδες µg/L, όπως πρόσφατα ανακοινώθηκε στον ημερήσιο τύπο για τα νερά της ευρύτερης περιοχής του Ασωπού. Στο πόσιμο νερό έχει θεσπιστεί με την Οδηγία 98/83/EC ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου τα 50 µg/L. Ωστόσο, δεν υπάρχει ανώτατο επιτρεπτό όριο ειδικά για το εξασθενές χρώμιο. Στις ΗΠΑ, η EPA έχει θεσπίσει ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου στο πόσιμο και υπόγειο νερό τα 100 µg/L, θεωρώντας αυτό το επίπεδο ασφαλές για την υγεία του ανθρώπου.

Στην Ελλάδα, με την ΚΥΑ 4859/726 ρυθμίζονται οι εκπομπές ολικού χρωμίου από απόβλητα βιομηχανιών σε υδάτινους αποδέκτες, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται (ανάλογα με τον αποδέκτη) από 0,6 έως 3 mg/L. Οι εκπομπές ρύπων των βιομηχανιών στην Ελλάδα (φυσικά και του εξασθενούς χρωμίου) μπορούν να καθοριστούν από τις Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, κατά περίπτωση και κυμαίνονται για το Cr(VI) από 0,3 έως 1 mg/L στα υγρά απόβλητα. Όριο για το έδαφος δεν έχει θεσπιστεί ακόμα.

Το Cr(VI) θεωρείται **ευκίνητο** στο υδάτινο περιβάλλον, παραμένει στη διαλυτή φάση και είναι βιοδιαθέσιμο. Επίσης είναι ισχυρά τοξικό και οι τιμές τοξικότητας LC50 (LC50: Lethal Concentration 50, η συκέντρωση που θανατώνει το 50% του πληθυσμού του εξεταζόμενου είδους) του Cr(VI) σε διάφορους μικροοργανισμούς κυμαίνονται από 0,032 - 6,4 mg/L. Αντίθετα το Cr(III) θεωρείται "μη ευκίνητο", καθώς έχει τάση να προσροφάται στα αιωρούμενα σωματίδια και στο ίζημα και για τον λόγο αυτό θεωρείται ως σχετικά αδρανές, λιγότερο βιοδιαθέσιμο και μειωμένης τοξικότητας ως προς τους υδρόβιους οργανισμούς.

Είναι προφανές ότι ο προσδιορισμός του ολικού χρωμίου στα περιβαλλοντικά δείγματα ελάχιστες πληροφορίες μπορεί να δώσει, ενώ επιβάλλεται ο προσδιορισμός των χημικών ειδών του χρωμίου. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο προσδιορισμός του εξασθενούς χρωμίου στα βιομηχανικά αλλά και στα αστικά υγρά απόβλητα, γιατί συχνά ανιχνεύονται υψηλές συγκεντρώσεις του. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις είναι δυνατό να επηρεάσουν και τη βιολογική επεξεργασία τους (κυρίως τη νιτροποίηση), ειδικά σήμερα όπου υπάρχει τάση συνεπεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων σε μονάδες ενεργού ιλύος.

Το χρώμιο εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής και της κατανάλωσης τροφής και ποτών που το περιέχουν. Το τρισθενές χρώμιο, Cr(III), θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον οργανισμό, αφού φαίνεται να συμμετέχει στον παράγοντα ανοχής της γλυκόζης (Glucose Tolerance Factor, GTF). Ο παράγοντας GTF μαζί με την ινσουλίνη ρυθμίζουν την ποσότητα της γλυκόζης στο αίμα. Έλλειψη χρωμίου, όπως παρατηρήθηκε σε πειραματόζωα, προκαλεί αύξηση του σακχάρου στο αίμα και εμφάνιση γλυκόζης στα ούρα. Ενδεικνύεται η πρόσληψη 30 έως 50 μg Cr(III) ημερησίως, ενώ ποσότητες μέχρι 200 μg δεν έχει αναφερθεί ότι προκαλούν προβλήματα υγείας. Αντίθετα, το εξασθενές χρώμιο έχει χαρακτηριστεί ως αποδεδειγμένο καρκινογόνο.

Επιδημιολογικές μελέτες σε εργάτες παραγωγής χρωμικών και μεταλλικών επιστρώσεων χρωμίου έδειξαν ότι εισπνοή σκόνης που περιέχει Cr(VI) προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα και της ρινικής κοιλότητας. Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών έχουν επιβεβαιωθεί και σε εργαστηριακά πειράματα (σε ζώα). Υπάρχουν αρκετά πειραματικά δεδομένα ότι ενώσεις του Cr(VI) καταστρέφουν το DNA και προκαλούν μεταλλάξεις. Επίσης, εισπνοή σωματιδίων που περιέχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Cr(VI) μπορεί να προκαλέσει έλκος, αιμορραγία, κνησμό και φτέρνισμα. Κατάποση υψηλών ποσοτήτων Cr(VI) μπορεί να προκαλέσει καταστροφή των νεφρών και του ήπατος, έλκος στομάχου και γαστρεντερικό ερεθισμό, ακόμα και θάνατο. Ακόμη, δερματική έκθεση σε ενώσεις του Cr(VI) προκαλεί δερματικά έλκη και δριμύεις αλλεργικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα από ενδύματα και υποδήματα από δέρμα που έχει κατεργαστεί με Cr(VI).[24,25]

5. Χαλκός (Cu):

Ο χαλκός είναι απαραίτητος για τα φυτά και τα ζώα. Η ποσοστιαία ποσότητα του χαλκού κυμαίνεται συνήθως από 2 έως 25 μg/g ξηρού βάρους. Μικρότερη ποσότητα από την προαναφερθείσα θεωρείται ως έλλειψη χαλκού. Οι τιμές για τις οποίες ο χαλκός θεωρείται τοξικός είναι από 25 έως 40 μg/g ξηρού βάρους. Ο χαλκός είναι μια πολύ κοινή ουσία που εμφανίζεται φυσικά στο περιβάλλον και διαδίδεται σε αυτό μέσω των φυσικών φαινομένων.

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ευρέως το χαλκό. βρίσκει εφαρμογή στις βιομηχανίες και στη γεωργία. Η παραγωγή του χαλκού έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών και λόγω αυτού, οι ποσότητες του χαλκού στο περιβάλλον έχουν αυξηθεί. Ο χαλκός μπορεί να βρεθεί σε πολλά είδη τροφίμων, στο πόσιμο νερό και στον αέρα. Εξαιτίας αυτού απορροφάμε σημαντικές ποσότητες χαλκού κάθε μέρα με την κατανάλωση τροφίμων, την πόση και την αναπνοή. Η απορρόφηση του χαλκού είναι απαραίτητη, επειδή ο χαλκός είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την ανθρώπινη υγεία. Αν και οι άνθρωποι μπορούν να χειριστούν αναλογικά μεγάλες συγκεντρώσεις χαλκού, υπερβολική πρόσληψη χαλκού μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα υγείας. Οι περισσότερες ενώσεις του χαλκού θα δεσμευθούν είτε στα ιζήματα στο νερό είτε σε μόρια του εδάφους. Οι διαλυτές ενώσεις του χαλκού αποτελούν τη μεγαλύτερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία.

Συνήθως οι υδατοδιαλυτές ενώσεις χαλκού εμφανίζονται στο περιβάλλον κατά την αποδέσμευσή τους κατά τη διάρκεια γεωργικών εφαρμογών. Οι συγκεντρώσεις χαλκού στον αέρα είναι συνήθως αρκετά χαμηλές και έτσι η έκθεση στο χαλκό μέσω της αναπνοής είναι αμελητέα. Όμως άνθρωποι που ζουν κοντά στους χύτες που επεξεργάζονται τα μεταλλεύματα χαλκού βιώνουν αυτό το είδος της έκθεσης. Μακροπρόθεσμη έκθεση στο χαλκό μπορεί να προκαλέσει ενοχλήσεις στη μύτη, στο στόμα και στα μάτια. Προκαλεί επίσης πονοκεφάλους, πόνους στο στομάχι, ίλιγγο, εμετό και διάρροια. Εσκεμμένες υψηλές λήψεις του χαλκού μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στο συκώτι και τα νεφρά, ακόμη και το θάνατο. Δεν έχει καθοριστεί ακόμα εάν ο χαλκός είναι καρκινογόνος.

Επίσης σε εδάφη αμμώδη, ισχυρά όξινα όπου έχουν χρησιμοποιηθεί λιπάσματα όπου περιέχουν χαλκό. Ωστόσο κατά την εφαρμογή κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό με κανονικές συγκεντρώσεις χαλκού, ακόμη και σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις αυτού δεν παρατηρήθηκε τοξικότητα. Όταν όμως χρησιμοποιηθούν βιοαπορρίμματα με υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (>2000 mg/Kg) σε όξινα, αμμώδη εδάφη στα οποία υπάρχουν ευαίσθητες καλλιέργειες τότε παρουσιάζεται τοξικότητα λόγω του χαλκού. Υπάρχουν επιστημονικά άρθρα που υποδεικνύουν σχέση μεταξύ της μακρόχρονης έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού και σε μείωση του επιπέδου νοημοσύνης στους νέους εφήβους.

Η βιομηχανική έκθεση στον καπνό, τη σκόνη, ή τις υδρονεφώσεις του χαλκού μπορεί να οδηγήσει στον πυρετό από τον καπνό των μετάλλων με ατροφικές αλλαγές στις ρινικές βλεννώδεις μεμβράνες. Η χρόνια δηλητηρίαση από χαλκό οδηγεί στην ασθένεια Wilson, που χαρακτηρίζεται από κίρρωση του ήπατος, εγκεφαλικές βλάβες, απομυελίνωση, νεφρικές ασθένειες και την απόθεση χαλκού στον κερατοειδή χιτώνα.[24,25]

4.6 Θρεπτικά στοιχεία:

Για να είναι αποτελεσματική η κομποστοποίηση, οι μικροοργανισμοί απαιτούν την ύπαρξη ορισμένων θρεπτικών στοιχείων, σε αφομοιώσιμη μορφή, στις κατάλληλες συγκεντρώσεις και στην σωστή αναλογία. Τα βασικά στοιχεία, αυτά δηλαδή που απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες, είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P) και το κάλιο (K).[29]

Ο φώσφορος στο έδαφος, όπως και όλα τα θρεπτικά στοιχεία, απαντάται τόσο στη στερεή φάση, όσο και στο εδαφικό διάλυμα με διάφορες μορφές. Από τις διάφορες αυτές μορφές φωσφόρου ένα πολύ μικρό ποσοστό (περίπου 1% του ολικού φωσφόρου) είναι εύκολα αφομοιώσιμο από τα φυτά, είτε γιατί βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα, είτε γιατί μπορεί να μετακινηθεί εύκολα από τη στερεή φάση προς το εδαφικό διάλυμα. Κατά το μεγαλύτερο ποσοστό ο φώσφορος στο έδαφος είναι ή δύσκολα ή πολύ δύσκολα αφομοιώσιμος, γιατί είτε είναι προσροφημένος στη στερεή φάση με ισχυρές δυνάμεις, είτε εμφανίζεται με τη μορφή δυσδιάλυτων φωσφορικών ενώσεων που απελευθερώνουν το φώσφορο πολύ αργά στο εδαφικό διάλυμα.

Οι μορφές με τις οποίες ο φώσφορος απαντάται στη στερεή φάση του εδάφους είναι οι παρακάτω:

- **Οργανικός φώσφορος.**

Αντιπροσωπεύει το 50% περίπου του φωσφόρου της στερεής φάσης. Η συνεισφορά του στη θρέψη των φυτών είναι κυρίως έμμεση, αφού πρέπει να υποστεί κατά τα γνωστά, ανοργανοποίηση με τη βοήθεια των μικροοργανισμών του εδάφους, για να εμφανιστεί στο εδαφικό διάλυμα σε προσιπή μορφή για τα φυτά. Ο ρυθμός ανοργανοποίησης του οργανικού φωσφόρου σε εύκρατες περιοχές, όπως η Ελλάδα, είναι πολύ αργός ώστε οι ποσότητες φωσφόρου που απελευθερώνονται να έχουν πολύ μικρή συνεισφορά στη θρέψη των φυτών. Έτσι μπορεί να ισχυριστεί κανείς με βεβαιότητα, ότι τα φυτά λαμβάνουν το φώσφορο κυρίως από τις ανόργανες φωσφορικές ενώσεις.

- **Δυσδιάλυτες ανόργανες φωσφορικές ενώσεις.**

Το είδος αυτών των ενώσεων καθορίζεται από το pH των εδαφών. Έτσι σε εδάφη αλκαλικής αντίδρασης, στα οποία κατά κανόνα κυριαρχεί το ασβέστιο, ο φώσφορος εμφανίζεται με τη μορφή φωσφορικού μονοασβεστίου ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ή φωσφορικού τετρασβεστίου ($\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Στα όξινα εδάφη επικρατούν συνήθως τα ιόντα Fe^{3+} και Al^{3+} κ.τ.λ. Η ποσότητα φωσφόρου που λαμβάνεται από τα φυτά από τις ενώσεις αυτές ρυθμίζεται κυρίως από τα γινόμενα διαλυτότητας τους και ο φώσφορος αυτός ανήκει στην κατηγορία του δύσκολα αφομοιώσιμου φωσφόρου.

- **Προσροφημένος φώσφορος.**

Τα συστατικά του εδάφους που είναι υπεύθυνα για την προσρόφηση των φωσφορικών ανιόντων είναι τα ορυκτά της αργίλου (τα θετικά φορτία που εμφανίζουν στις ακμές τους), τα ελεύθερα οξειδία του σιδήρου και αργιλίου, καθώς και το ανθρακικό ασβέστιο. Από τον προσροφημένο φώσφορο ένα μέρος μόνο απελευθερώνεται εύκολα στο εδαφικό διάλυμα ώστε να γίνεται διαθέσιμος στα φυτά, ενώ ο υπόλοιπος συγκρατείται ισχυρά και ανήκει και αυτός στην κατηγορία του δύσκολα αφομοιώσιμου φωσφόρου.

Στο εδαφικό διάλυμα, η ποσότητα του φωσφόρου κυμαίνεται από 0.1-1 ppm και η μορφή με την οποία υπάρχει σ' αυτό καθορίζεται συνήθως από την τιμή του pH.[29]

- **Ανταλλάξιμο και υδατοδιαλυτό κάλιο**

Είναι οι μορφές του καλίου που μπορούν να αξιοποιήσουν τα φυτά για την ανάπτυξή τους (αφομοιώσιμες). Το ανταλλάξιμο είναι προσροφημένο στα κολοειδή τεμαχίδια του

εδάφους, ενώ το υδατοδιαλυτό απαντάται με μορφή ιόντων στο εδαφικό διάλυμα. Οι δύο αυτές μορφές του καλίου που συνιστούν το αφομοιώσιμο κάλιο βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους και αντιπροσωπεύουν ποσοστό περίπου 1 % του ολικού καλίου. Η σχέση μεταξύ ανταλλάξιμου και υδατοδιαλυτού καλίου είναι συνήθως μεγαλύτερη του 10/1. Το κάλιο είναι ένα από τα βασικά θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών, που το προσλαμβάνουν από το έδαφος σε ποσότητες μικρότερες μόνο από εκείνες του αζώτου και ίσως και του ασβεστίου. Η ολική περιεκτικότητα στα εδάφη κυμαίνεται μεταξύ 1-2% και απαντάται με τις παρακάτω μορφές:

▪ Μη ανταλλάξιμο κάλιο

Αντιπροσωπεύει το 99% του ολικού καλίου που υπάρχει στο έδαφος. Απαντάται εγκλωβισμένο στις εξαγωνικές κοιλότητες των γειτονικών φύλλων πυριτίου, στους διαστιβαδικούς χώρους των πρωτογενών μαρμαρυγιακών ορυκτών (μοσχοβίτης, βιοτίτης), καθώς και των δευτερογενών ορυκτών (ιλλίτης). Το κάλιο αυτό, χαρακτηρίζεται σαν διαστιβαδικό, δεν μπορεί ανταλλαχθεί εύκολα από άλλα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος και βρίσκεται σε ισορροπία με το ανταλλάξιμο. Αποτελεί πηγή καλίου για καλλιέργειες μακροπρόθεσμα και γι' αυτό χαρακτηρίζεται και σαν δύσκολα αφομοιώσιμο από τα φυτά.

Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται τον άνθρακα ως πηγή ενέργειας. Καταναλώνουν επίσης τον άνθρακα και το άζωτο για την σύνθεση πρωτεϊνών, την δημιουργία νέων κυττάρων και τον πολλαπλασιασμό τους. Το κάλιο και ο φωσφόρος είναι και αυτά ζωτικά, για την παραγωγή νέων κυττάρων, και τον μεταβολισμό[13].

Όπως έχει διευκρινισθεί ο άνθρακας και το άζωτο είναι οι παράγοντες που μπορούν να οριοθετήσουν την διαδικασία της κομποστοποίησης σε ένα σύστημα. Βέβαια η παρουσία και άλλων στοιχείων σε αφομοιώσιμη μορφή, είναι απαραίτητη για την επιβίωση των μικροοργανισμών καθώς μετέχουν σε διάφορα στάδια της μεταβολικής διαδικασίας, όμως οι ποσότητες που απαιτούνται είναι ελάχιστες. Τα κυριότερα μικροστοιχεία είναι: το βόριο, το ασβέστιο, το χλώριο, το κοβάλτιο, ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το μολυβδαίνιο, το σελήνιο, το θείο και ο ψευδάργυρος [30]. Η παρουσία των παραπάνω είναι ζωτική για τους μικροοργανισμούς σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, καθώς αν υπάρχουν σε υψηλότερα ποσά γίνονται τοξικές. Συνήθως αυτά τα στοιχεία υπάρχουν σε ικανοποιητικές, ή τουλάχιστον επαρκείς μορφές στα περισσότερα οργανικά απόβλητα ζωικής και γεωργικής προέλευσης. Το κάλιο ωστόσο μπορεί να έχει χαμηλή συγκέντρωση στη λάσπη βιολογικών καθαρισμών, αν και σπάνια αποβαίνει περιοριστικός παράγοντας. Ελλείψεις σε μικροστοιχεία παρατηρούνται σπάνια.[14]

Το κομπόστ περιέχει ιχνοστοιχεία όπου οι ποσότητες αυτών εξαρτώνται από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του. Ωστόσο όμως τα εδάφη στη φυσική τους κατάσταση επίσης περιέχουν ιχνοστοιχεία, που όμως στο φυτικό υλικό είναι δύσκολα να ανιχνευθούν από τις τρέχουσες αναλυτικές μεθόδους.[29]

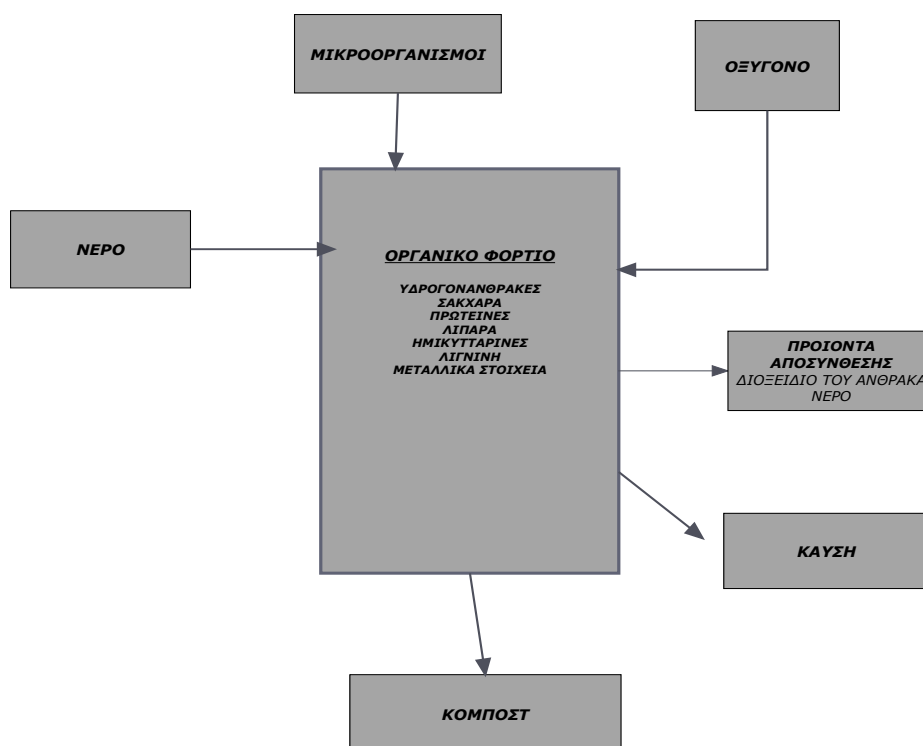
4.7 Διαδικασία κομποστοποίησης

Σαν μία ομάδα ειδικευμένων δουλεύουν οι μικροοργανισμοί του εδάφους για να καταστήσουν παραγωγικό και γόνιμο το ανώτερο στρώμα. Στα πρώτα 5-7 εκατοστά, που λέγεται ζώνη αποσύνθεσης, οι οργανικές ουσίες, όπως φύλλωμα δένδρων, λαχανικών, κλαδιά, καλάμια και ότι άλλο υπόλειμμα του κήπου και της κουζίνας υπάρχει, όλη αυτή η ύλη αποσυντίθεται από ειδικά βακτηρίδια, μύκητες και φύκια. Στην ομάδα αυτή που αποσυνθέτει προστίθενται και οι γαιοσκώληκες, οι μαλακρίδες, οι κουβαρίδες, τα μυρμήγκια, τα μυριόποδα, οι αράχνες, τα ακάρεα και άλλα μικροζώδια.

Αμέσως κάτω από τη ζώνη αποσύνθεσης ακολουθεί η ζώνη του χούμου η οποία μπορεί να είναι από 10 έως 30 εκατοστά παχιά. Σε αυτό το στρώμα ζουν άλλου είδους οργανισμοί,

που δεν αποσυνθέτουν παρά δημιουργούν και προετοιμάζουν το σάπιο οργανικό υλικό σε σταθερό χούμο έτοιμο προς αφομοίωση από τα φυτά.

Οι οργανισμοί αυτοί φροντίζουν και για ένα κανονικό pH που εξασφαλίζει άριστες συνθήκες για το σχηματισμό φυματίων (κόμπων) στις ρίζες των φυτών. Όλοι αυτοί οι μικροοργανισμοί έχουν ανάγκη το οξυγόνο, την υγρασία τη θερμοκρασία και φυσικά τα οργανικά υλικά τεμαχισμένα και αποσυντεθειμένα κατά το ήμισυ. Έτσι με την ισορροπία των παραγόντων αυτών στο κομπόστ θα μπορέσει ο μικροβιακός πληθυσμός να αναπτύξει τη μεγαλύτερη δυνατή δραστηριότητα. Οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη που περιέχουν οι οργανικές ουσίες θα διασπώνται πιο εύκολα και γρηγορότερα. Όταν δεν υπάρχει οξυγόνο οι οργανικές ουσίες γίνονται καταρχήν τύρφη και αργότερα υπό την πίεση και την θερμοκρασία μετατρέπονται σε κάρβουνο. Η θερμοκρασία στο κέντρο του κομπόστ μπορεί να φτάσει τους 60°C και αυτό επί 2-3 εβδομάδες.[26]



Εικόνα 4.3: Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας κομποστοποίησης[26]

4.8 Ο χούμος:

- προφυλάσσει το χώμα από διαβρώσεις που προκαλούν οι δυνατές βροχές και οι άνεμοι
- κρατά σταθερή τη θερμοκρασία του εδάφους λόγω του μαύρου ή καστανού χρώματος που συνήθως έχει.
- περιέχει πολλές θρεπτικές ουσίες και ιχνοστοιχεία και τροφοδοτεί τα φυτά για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- συγκρατεί την υγρασία του εδάφους για πολύ καιρό και τροφοδοτεί τα φυτά σε καιρούς ανομβρίας.
- περιέχει αμμώνιο και άλλες αζωτούχες ουσίες, οι οποίες είναι ανταλλάξιμες με άλλες ουσίες του εδάφους.
- εμποδίζει την παρουσία των μυκητιάσεων στα φυτά που τρέφονται από οργανικό χούμο.
- καλυτερεύει και κάνει παραγωγικά τα άκρως αμμώδη και άκρως πηλώδη εδάφη.

- προσδίδει στο χώμα το μαύρο χρώμα, ελαφρά και χαλαρή συναρμογή, πράγμα που βοηθά να θερμαίνονται τα χώματα γρηγορότερα, νωρίτερα και ευκολότερα.
- Απαλλάσσει το γεωργό από το να είναι εξαρτημένος από τη χημεία για λίπανση , για ράντισμα και από άλλα κακά κατεστημένα.
- εμποδίζει την υπέρμετρη αύξηση ενός βλαβερού, είναι πηγή θρεπτικών ουσιών και τα φυτά αναπτύσσονται με ανθεκτικότητα έναντι των προσβολών από έντομα, μύκητες, βακτήρια και ιώσεις.[3]

4.9 Οργανική ουσία

Η οργανική ουσία παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε CO₂ καθώς και στις φυσικές αλλά και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Η διάσπαση της οργανικής ουσίας στο έδαφος που γίνεται με τη βοήθεια των μικροοργανισμών, έχει σαν αποτέλεσμα την έκλυση CO₂. Η ποσότητα CO₂ που παράγεται με αυτή τη διεργασία είναι τόσο μεγάλη, έτσι ώστε να θεωρείται η κυριότερη πηγή αναπλήρωσης των απωλειών της ατμόσφαιρας σε CO₂ που συνεπάγεται η φωτοσύνθεση των φυτών. Ακόμα με δεδομένο ότι στο έδαφος το 90% και πλέον του αζώτου, ο μισός περίπου φώσφορος και το 75% του ολικού θείου, απαντώνται υπό μορφή οργανικών ενώσεων, η οργανική ουσία μπορεί να θεωρηθεί και σαν σημαντική πηγή των τριών αυτών στοιχείων, αλλά και πολλών άλλων κυρίως μικροθρεπτικών για τα φυτά. Το μεγάλο πλεονέκτημα της οργανικής ουσίας σαν πηγής θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά είναι ότι τα απελευθερώνει βαθμιαία, καθώς διασπάται σχετικά αργά με τη βοήθεια μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα να μη χάνονται με το νερό της στράγγισης.[29]

Αργά ή γρήγορα η οργανική ουσία του εδάφους διασπάται με τη βοήθεια των μικροοργανισμών και ο λόγος C/N τείνει να σταθεροποιηθεί σε μια τιμή ισορροπίας, που για τις Ελληνικές συνθήκες κυμαίνεται μεταξύ 8-15/1.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηρισμός εδαφών βάσει του ποσοστού οργανικής ουσίας που περιέχεται[29]

Χαρακτηρισμός εδαφών	Οργανική ουσία
Φτωχά σε χούμο	0-3 %
Μέτρια χουμώδη	3-8 %
Χουμώδη	8-12 %
Ισχυρά χουμώδη	25-35 %
Ελώδη χουμώδη	>30%

4.10 Σταθεροποίηση του κομπόστ

Γενικότερα στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει κάποιος διεθνώς αποδεκτός όρος για την σταθεροποίηση του κομπόστ. Σύμφωνα με έρευνα του «The Waste and Resources Action Programme», αναφέρεται ότι «Σε όλη μας την βιβλιογραφική έρευνα, βρέθηκαν 49 αναφορές όπου παρουσιάζονται και προτείνονται ορισμοί για την σταθερότητα του κομπόστ επικαλούμενες 12 παραμέτρους είτε μεμονωμένες είτε και σε συνδυασμό». Οι παράμετροι αυτοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 καθώς και τα ποσοστά χρήσης των παραμέτρων αυτών για το ορισμό της σταθερότητας του κόμπουστ. [21,26]

Πίνακας 4.2: παράμετροι σταθερότητας για κομπόστ[21]

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

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

4.11 Εφαρμογές του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό:

Γενικά το κομπόστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα παρακάτω:

- Γεωργία
- Κηπουρική-Φυτοκομική
- Αποκατάσταση καταπονημένων-κατεστραμμένων εδαφών όπως:
 - αναμόρφωση πρώην υδροτόπων
 - αλατούχα εδάφη
- υψηλής τοξικότητας εδάφη (π.χ. ο Αμερικάνικος στρατός χρησιμοποιεί το κομπόστ για τη σταθεροποίηση και απενεργοποίηση των εκρηκτικών υλών και διασταλαζόντων υγρών των πυρομαχικών).
- αποκατάσταση παλιών λατομείων
- επιφανειακή χωματοκάλυψη χωματερών.
- Αναδασώσεις.
- Τεχνητά βοσκοτόπια και λιβάδια, πάρκα, γήπεδα, κήπους-γλάστρες.
- Καλλιέργειες.
- Κατασκευή βιοφίλτρων για απόσμηση (για τα ίδια τα εργοστάσια κομποστοποίησης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων ή άλλα).
- Παρασκευή RDF για παραγωγή ενέργειας.
- Αντιηχητικά πετάσματα.

Σε γενικές γραμμές οι χρήσεις που κυριαρχούν είναι αυτές της διαμόρφωσης και αποκατάστασης τοπίου (λατομεία, Χ.Υ.Τ.κ.α.), και οι γεωργικές και δασικές εφαρμογές, δεδομένου ότι στην κατασκευή βιοφίλτρων και στα ηχοπετάσματα πολύ μικρές ποσότητες μπορούν να αξιοποιηθούν. Όσον αφορά την καύση κάποιων ποσοτήτων το θέμα χρειάζεται περισσότερη έρευνα κατά περίπτωση.

Στην προοπτική αυτών των εφαρμογών, και ιδιαίτερα στη γεωργική παραγωγή, που είναι και ο πιο φιλόδοξος στόχος, πρέπει να εξεταστούν οι παρακάτω παράμετροι:

α) Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία (αποφυγή ανθρωπονόσων).

β) Επίδραση στην υγεία των καλλιεργουμένων φυτών (αποφυγή φυτασθενειών).

γ) Επίδραση στο φυσικό περιβάλλον μετά την εφαρμογή (αποφυγή εισόδου τοξικών ουσιών στο περιβάλλον και στην τροφική αλυσίδα).

δ) Η αποτελεσματικότητα του κομπόστ ως βελτιωτικού εδάφους και παροχέα θρεπτικών συστατικών για τα φυτά.

Η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία σχετίζεται τόσο με την πιθανότητα ύπαρξης παθογόνων μικροοργανισμών (π.χ.σαλμονέλας ή διαφόρων άλλων εντεροβακτηριδίων) μέσα στο κομπόστ, (εξ αιτίας της μη θανάτωσής τους κατά την ζύμωση λόγω ελαττωματικής διαδικασίας), γεγονός που δημιουργεί απειλή για τους χρήστες του προϊόντος, όσο και με τις επιδράσεις διαφόρων συστατικών του κομπόστ στα γεωργικά προϊόντα, εφόσον αυτά είναι τρόφιμα. Συγκεκριμένα, το κομπόστ μπορεί να περιέχει τοξικές ουσίες που απορροφώνται από τα φυτά, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα (Κάδμιο, Μόλυβδος, Ψευδάργυρος, Υδράργυρος, Χαλκός, Αρσενικό, Χρώμιο, Νικέλιο) αλλά και συνθετικές τοξικές ουσίες (υπολείμματα αγροχημικών, PCBs κ.α.), ιδίως στην περίπτωση που το κομπόστ προέρχεται από αστικά απορρίμματα ή περιέχει λάσπη βιολογικών καθαρισμών. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει κίνδυνος για την υγεία των καταναλωτών των τροφίμων που είναι επιβαρυνμένα με αυτές τις ουσίες.

Η επίδραση στο περιβάλλον σχετίζεται και αυτή με τα βαρέα μέταλλα και τις άλλες τοξικές ουσίες, που μπορεί να συσσωρευτούν στο έδαφος, στα υπόγεια ή επιφανειακά νερά και στον οργανισμό φυτών και ζώων. Σημασία έχει επίσης και η αλατότητα που δεν πρέπει να είναι υπερβολική. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω κινδύνων οι νομοθεσίες των διαφόρων χωρών και της Ε.Ε. θέτουν ανώτατα όρια στην περιεκτικότητα παθογόνων μικροοργανισμών, βαρέων μετάλλων κ.α. τοξικών ουσιών του κομπόστ.

Αν οι προηγούμενες παράμετροι αποτελούν προϋποθέσεις, δηλ. αναγκαίες συνθήκες για να μπορεί ένα κομπόστ να χρησιμοποιηθεί, η αποτελεσματικότητα του κομπόστ στις καλλιέργειες ή στις δασικές εκτάσεις είναι πιο πολύπλοκο θέμα, αλλά και πάρα πολύ σημαντικό, αν υπάρχει πρόθεση να «σταθεί» αποτελεσματικά ένα κομπόστ στην αγορά βελτιωτικών εδάφους και λιπασμάτων, αντιμετωπίζοντας έναν ανταγωνισμό από πλήθος παρασκευάσματα ποικίλης προέλευσης. [2]

4.12 Ιδιότητες ενός βελτιωτικού εδάφους

Οι ιδιότητες που πρέπει να εξεταστούν σε ένα βελτιωτικό εδάφους είναι φυσικές-χημικές και οργανοληπτικές, και είναι αναλυτικά οι παρακάτω:

Χημικές ιδιότητες:

1. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία
2. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (αλατότητα)
3. Το PH (οξύτητα/αλκαλικότητα) του εδάφους ή του υποστρώματος καλλιέργειας
4. Η Ι.Α.Κ. (Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων)

5. Η σχέση C/N
6. Η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά (Άζωτο, Φώσφορος, Κάλιο, Ασβέστιο, Μαγνήσιο, Θείο, Μαγνήσιο, Μαγγάνιο, Σίδηρος, Ψευδάργυρος, Χλώριο κ.α.). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η περιεκτικότητα σε Άζωτο, Φώσφορο, Κάλιο.
7. Η πιθανή φυτοτοξικότητα

Φυσικές ιδιότητες:

1. Η περιεκτικότητα σε υγρασία του τελικού προϊόντος
2. Η κοκκομετρία
3. Ο ολικός όγκος πόρων
4. Η κατανομή του μεγέθους των πόρων

Οργανοληπτικές ιδιότητες:

1. Μακροσκοπική εμφάνιση
2. Οσμή
3. Ποσοστό ανεπιθύμητων προσμείξεων από ξένες ύλες (κομματάκια γυαλιού, πλαστικού κ.λ.π.)

Να σημειωθεί πως για κομπόστ που προορίζεται για καλλιέργεια, πέρα από τους περιορισμούς για την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και σε παθογόνους μικροοργανισμούς,

Οι επιθυμητές τιμές φυσικών ιδιοτήτων είναι οι παρακάτω [32]:

Κοκκομετρία: Τεμαχίδια μικρότερα από 10 ή 20 mm.

1. Ολικός όγκος πόρων: Μεγάλος, κατά το δυνατόν ως 85%.
2. Πορώδες: Μεγάλη διασπορά του μεγέθους των πόρων
3. Υδατικές ικανότητες: Μεσαία καμπύλη ελευθέρωσης νερού.

Επιθυμητές τιμές χημικών ιδιοτήτων του κομπόστ:

1. ΡΗ: Κοντά στην ουδέτερη περιοχή
2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα: <4mS/cm
3. I.A.K.: > 100 meq/100 g ξηρής ουσίας
4. Οργανική ουσία: >50%
5. Σχέση C/N: <20/1
6. Δείκτης βλαστικότητας: >90%

Όσον αφορά τα θρεπτικά στοιχεία, είναι επιθυμητό να έχει υπολογίσιμες περιεκτικότητες σε Άζωτο, Φώσφορο, Κάλιο. κ.α. μακροστοιχεία, αλλά στην πράξη οι περιεκτικότητες αυτές δεν ξεπερνούν το 1,5-2% το πολύ. Πρέπει όμως να επισημανθεί πως στη γεωργική πρακτική το κομπόστ χρησιμοποιείται κυρίως για την οργανική του ουσία και τη γενικότερη ωφέλειά του στο έδαφος, και όχι για να δώσει σημαντικές ποσότητες των χρήσιμων για τα φυτά, μακροστοιχείων, όπως αυτές που περιέχουν τα (χημικής σύνθεσης, κατά κύριο λόγο) λιπάσματα. Άλλωστε γι'αυτό λέγεται «βελτιωτικό εδάφους» και όχι λίπασμα.[32]

4.13 Πλεονεκτήματα και τρόποι χρήσης του κομπόστ

Το κομπόστ έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Αυξάνει τα οργανικά συστατικά του εδάφους
- Βελτιώνει την ικανότητα του εδάφους για την συγκράτηση νερού και άλλων θρεπτικών ουσιών . έτσι μειώνει τις απαιτήσεις σε νερό των φυτών και των δένδρων και βοηθά τα αμμώδη εδάφη να συγκρατούν την υγρασία .
- Δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες αερισμού (κυρίως στα αργιλώδη εδάφη).
- Μειώνει την αλατότητα στα αλατούχα εδάφη και συνεπώς βοηθά στην εξέλιξη καλλιεργειών σε αυτά.
- Αυξάνει το πορώδες του εδάφους.
- Ρυθμίζει και εξισορροπεί το pH του εδάφους .
- Βοηθά στον έλεγχο της διάβρωσης του εδάφους .
- Καθιστά το χώμα ευκολότερα καλλιεργήσιμο.
- Κάνει τα φυτά πιο ανθεκτικά στην ξηρασία και την παγωνιά.
- Βελτιώνει το περιεχόμενο της διατροφής των φυτών σε βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία.
- Μπορεί να επεκτείνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών.
- Επίσης το κομπόστ μπορεί να περιορίσει τη χρήση πετροχημικών λιπασμάτων, των οποίων η χρήση εγκυμονεί πολλούς περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η παραγωγή τους δημιουργεί και ελευθερώνει επικίνδυνα απόβλητα που μολύνουν την ατμόσφαιρα, δηλητηριώδη νιτρικά άλατα, που μολύνουν τα νερά και επιταχύνει την εξάντληση των φυσικών πόρων.
- Τέλος, έρευνες έδειξαν ότι η χρήση του κομπόστ για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλής τοξικότητας εδάφη, αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο δέσμευσης των βαρέων μετάλλων, με αποτέλεσμα τη μη εισχώρησή τους στην διατροφική αλυσίδα. Τα βαρέα μέταλλα καθίστανται δηλαδή λιγότερο βιοαφομοιώσιμα. Αυτό σημαίνει ότι τα φυτά και τα ζώα δεν μπορούν χημικά να αφομοιώσουν τα βαρέα μέταλλα και να μεταφερθούν (τα τελευταία) μέσω της διατροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο. Συνεπώς επιτυγχάνεται προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Στάδια λειτουργίας εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ.) Ν. Χανίων.

Το εργοστάσιο αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα:

1. Τμήμα υποδοχής Απορριμμάτων
2. Τμήμα Μηχανικής Διαλογής και Χειροδιαλογής
3. Τμήμα Κομποστοποίησης, Ραφινάρισματος, και Αποθήκευσης Κομπόστ
4. Χώρο Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων και Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ.).

5.1.1 Τμήμα Υποδοχής Απορριμμάτων.

Το Τμήμα Υποδοχής των Απορριμμάτων εξυπηρετεί την παραλαβή των σύμμεικτων απορριμμάτων και την εκκένωση των απορριμματοφόρων. Επιπλέον, παρέχει αποθηκευτική ικανότητα για την παραλαβή της μέγιστης ποσότητας απορριμμάτων τη Δευτέρα (δύο ημερών) και τη σταδιακή επεξεργασία τους κατά τη διάρκεια της εβδομάδας.

Από το Τμήμα Υποδοχής, τα απορρίμματα μετά την απομάκρυνση των ογκωδών, δοσομετρούνται ομαλά προς το κυρίως έργο. Η δοσομέτρηση πραγματοποιείται μέσω γερανογέφυρας αρπάγης και κινούμενου δαπέδου. Η υποδοχή και δοσομέτρηση των απορριμμάτων αναπτύσσεται σε δύο γραμμές. Οι δύο γραμμές συνεχίζουν σ' όλη την διαδρομή της επεξεργασίας.

Το τμήμα υποδοχής περιλαμβάνει Πλατεία άφιξης και ελιγμών των απορριμματοφόρων και ανεξάρτητο κτίριο, εντός του οποίου στεγάζεται το σύνολο του εξοπλισμού.

Το κτίριο που βρίσκεται συνεχώς σε υποπίεση, είναι εφοδιασμένο με ηλεκτροκίνητες πόρτες και τα απορριμματοφόρα εισέρχονται εξ' ολοκλήρου σ' αυτό για την εκκένωση του φορτίου τους.

Το κτίριο περιλαμβάνει δύο δεξαμενές υποδοχής με τις αντίστοιχες χοάνες παραλαβής απορριμμάτων υπεράνω των κινούμενων δαπέδων για την τροφοδοσία των δύο Σχιστών σάκων (ένα σύστημα για κάθε γραμμή). Τα απορρίμματα που συλλέγονται στη Δεξαμενή Υποδοχής - Αποθήκευσης, παραλαμβάνονται στη συνέχεια από σύστημα Γερανογέφυρας - Αρπάγης και απορρίπτονται στη Χοάνη Παραλαβής απορριμμάτων του Κινούμενου δαπέδου τροφοδοσίας του Σχίστη σάκων.

Η Χοάνη Παραλαβής τροφοδοτεί το κινούμενο δάπεδο το οποίο λόγω του τύπου της κίνησης του δοσομετρεί τα απορρίμματα στον σχίστη σάκων. Ο σχίστης σάκων τροφοδοτεί εν συνεχεία μεταφορική ταινία, η οποία μεταφέρει τα απορρίμματα προς επεξεργασία στην μονάδα μηχανικής διαλογής και χειροδιαλογής.

Επιπλέον, στο Τμήμα Υποδοχής απομακρύνονται τα ογκώδη αντικείμενα και συλλέγονται μέσω της αρπάγης και της γερανογέφυρας σε containers που απομακρύνονται με χρήση ειδικού οχήματος.

Για τον χειρισμό του εξοπλισμού υποδοχής και δοσομέτρησης και την ευχερή εργασία του προσωπικού προβλέπεται, εντός του χώρου Υποδοχής, διπλό πιλοτήριο, ένα για κάθε γραμμή υποδοχής - δοσομέτρησης. Ο χώρος του πιλοτηρίου εξαιρίζεται ισχυρά με φρέσκο αέρα και κλιματίζεται. [33]



Εικόνα 5.1: Τμήμα Υποδοχής απορριμμάτων[33]

5.1.2 Τμήμα Μηχανικής Διαλογής και Χειροδιαλογής.

Στόχος του Τμήματος Μηχανικής Διαλογής είναι ο διαχωρισμός των εισερχόμενων σύμμεικτων απορριμμάτων προς παραγωγή τεσσάρων κλασμάτων, από τα οποία παράγονται εμπορεύσιμα προϊόντα:

- A) Του κλάσματος προς ταχεία κομποστοποίηση, με ελεγχόμενη βιοαποδόμηση οργανικών για την παραγωγή εμπορεύσιμου κομπόστ
- B) Των εμπορεύσιμων κατηγοριών πλαστικών, τα οποία συμπιέζονται και δεματοποιούνται σε ανεξάρτητα δέματα προς διάθεση στους τελικούς αποδέκτες.
- Γ) Των εμπορεύσιμων κατηγοριών χαρτιού, τα οποία συμπιέζονται και δεματοποιούνται σε ανεξάρτητα δέματα προς διάθεση στους τελικούς αποδέκτες.
- Δ) Σιδηρούχα (μαγνητιζόμενα) μέταλλα, τα οποία συμπιέζονται σε κύβους προς διάθεση στους τελικούς αποδέκτες.
- E) Αλουμίνιο, το οποίο συμπιέζεται σε κύβους προς διάθεση στους τελικούς αποδέκτες.

5.1.2.1 Λειτουργικές διατάξεις- Στάδια επεξεργασίας του τμήματος μηχανικής διαλογής-Διάταξη ανάκτησης ανεπιθύμητων υλικών.

Τα απορρίμματα κατά την έξοδο τους από το σχίστη σάκων οδηγούνται μέσω μεταφορικών ταινιόδρομων στην ταινία ανάκτησης των ανεπιθύμητων υλικών, η οποία βρίσκεται σε ξεχωριστό κτίριο, δίπλα ακριβώς στο κτίριο της Μηχανικής Διαλογής. Τα υλικά, που απομακρύνονται με τη μέθοδο της χειροδιαλογής, από το σύνολο των εισερχομένων στη Μονάδα απορριμμάτων, είναι αντικείμενα, όπως μπαταρίες οικιακής χρήσεως, συρματοσχοίνα κλπ. Τα ανακτηθέντα ανεπιθύμητα αντικείμενα συλλέγονται σε container από όπου μεταφέρονται στο χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων.

Η ανάκτηση των ανεπιθύμητων υλικών προηγείται των άλλων διεργασιών του εργοστασίου Μηχανικής Διαλογής και Χειροδιαλογής, προκειμένου να απομακρυνθούν από τα προς επεξεργασία απορρίμματα υλικά τα οποία είναι δυνατόν να παρεμποδίσουν τους

διαχωρισμούς ή να προκαλέσουν βλάβες στον εξοπλισμό ή να ρυπάνουν το παραγόμενο κομπόστ. [33]



Εικόνα 5.2: Διάταξη ανάκτησης ανεπιθύμητων υλικών

5.1.2.2 Πρωτοβάθμια κοσκίνιση

Μετά την χειροδιαλογή των ανεπιθύμητων υλικών ακολουθεί η φάση της πρωτοβάθμιας κοσκίνισης.

Το πρωτοβάθμιο κόσκινο με οπές 250mm διαχωρίζει τα ευμεγέθη υλικά από το υπόλοιπο ρεύμα των απορριμμάτων που οδεύει προς περαιτέρω επεξεργασία στο δευτεροβάθμιο κόσκινο.

Ως ευμεγέθη υλικά στη φάση αυτή διαχωρίζονται τα χαρτόνια και ένα σημαντικό τμήμα του φύλλου πλαστικού και τα οποία είναι εμπορεύσιμα. Τα συγκρατούμενα ευμεγέθη του πρωτοβάθμιου κόσκινου διαχωρίζονται σε μια γραμμή χειροδιαλογής. Τα υλικά που διαχωρίζονται συλλέγονται σε σιλό και οδηγούνται στην συνέχεια προς την μονάδα δεματοποίησης.

Μετά την ανάκτηση των εμπορεύσιμων ευμεγεθών υλικών, το εναπομείναν ρεύμα των απορριμμάτων συλλέγονται σε container και οδηγούνται στο Χ.Υ.Τ.Υ.. [33]

5.1.2.3 Δευτεροβάθμια κοσκίνιση

Το κλάσμα των απορριμμάτων που διέρχονται από τις οπές του πρωτοβάθμιου κόσκινου, που αποτελεί το κυρίως ρεύμα των απορριμμάτων, οδηγείται στο στάδιο της δευτεροβάθμιας κοσκίνισης. Σε κόσκινο με διάμετρο οπών 70mm. Το κόσκινο αυτό διαχωρίζει το κυρίως οργανικό ρεύμα των απορριμμάτων από τα υπόλοιπα ανακτήσιμα υλικά. Το οργανικό κλάσμα έχει κατά κύριο λόγο μέγεθος μικρότερο των 70mm.

Το συγκρατούμενο κλάσμα από τη δευτεροβάθμια κοσκίνιση οδηγείται προς χειροδιαλογή. Το διερχόμενο οργανικό κλάσμα αφού υποστεί μαγνητικό διαχωρισμό οδηγείται απ' ευθείας προς κομποστοποίηση. Διέρχεται πριν από ηλεκτρομαγνήτη για την απομάκρυνση των σιδηρούχων αντικειμένων (καρφιά, βίδες κτλ), που περιέχονται σε αυτό. Τα σιδηρούχα αντικείμενα είναι απαραίτητο να απομακρυνθούν σε αυτή τη θέση, διότι αποτελούν ανεπιθύμητες προσμίξεις για την επικείμενη κομποστοποίηση. [33]

5.1.2.4 Τμήμα χειροδιαλογής του κλάσματος 70-250mm

Στο τμήμα της χειροδιαλογής πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων υλικών εκτός από τα σιδηρούχα και αλουμινούχα.

Τα υλικά που ανακτώνται σε αυτό το τμήμα είναι κατά σειρά, το τμήμα του φύλλου πλαστικού, τρία είδη χαρτιού (τυπωμένο, συσκευασίας και λοιπά χαρτιά), σκληρό πλαστικό (PE, PET, PVC) και το οργανικό κλάσμα. Κάθε εργαζόμενος ανακτά συγκεκριμένο είδος υλικού, το οποίο απορρίπτεται σε ειδική ταινία - σιλό για την προσωρινή αποθήκευση και μεταφορά του σε άλλη μεταφορική ταινία που το οδηγεί στην πρέσα ανακυκλώσιμων υλικών. Μετά τη συμπίεση και δεματοποίηση των ανακτηθέντων υλικών, αυτά μέσω φορτωτή οδηγούνται προς αποθήκευση.

Το ανακτηθέν, στο τμήμα της Χειροδιαλογής, οργανικό κλάσμα οδηγείται σε ειδικό τεμαχιστή για την ελάττωση του μεγέθους του και εν συνεχεία προωθείται μέσω κοχλία σε ταινία η οποία το εκφορτώνει στην ταινία τροφοδοσίας του τμήματος ταχείας κομποστοποίησης.

Επιπλέον, το τμήμα της χειροδιαλογής είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να διαχειριστεί τα υλικά από το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή, τα οποία αποτελούν τμήμα των εισερχόμενων στο Έργο απορριμμάτων. Η μία από τις δύο γραμμές επεξεργασίας δέχεται τα διάφορα είδη χαρτιού, που συλλέγονται από το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή, προς διαχωρισμό και ανάκτηση. Αφού τα ως άνω υλικά ανακτηθούν, αποθηκεύονται προσωρινά στα ειδικά σιλό, προκειμένου να οδηγηθούν στη συνέχεια προς συμπίεση και δεματοποίηση πριν την τελική τους διάθεση στην αγορά. [33]



Εικόνα 5.3: Ταινία που οδηγεί τα ανακυκλώσιμα υλικά στο τμήμα της χειροδιαλογής

5.1.2.5 Μαγνητικός διαχωρισμός του ρεύματος 70-250mm

Το κυρίως ρεύμα που εξέρχεται από την ταινία χειροδιαλογής αποτελείται ως επί το πλείστον αδρανή, άχρηστα, γυαλί, σιδερένια αντικείμενα και κουτάκια αλουμινίου, εισέρχεται στο μαγνητικό πεδίο μόνιμου μαγνήτη, όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των σιδηρούχων υλικών από το υπόλοιπο κλάσμα.

Τα διαχωρισθέντα σιδηρούχα στη συνέχεια συμπιέζονται σε μορφή κύβων, προκειμένου να διατεθούν προς πώληση.

Εν συνεχεία το ρεύμα, οδηγείται στον διαχωριστή αλουμινούχων -τύπου δινορρευμάτων (eddy current), στον οποίο διαχωρίζονται τα υλικά αλουμινίου.

Το διαχωρισμένο αλουμίνιο οδηγείται στην ειδική πρέσα αλουμινίου, για συμπίεση του υλικού σε μορφή κύβων. [33]



Εικόνα 5.4: Τμήμα μαγνητικού διαχωρισμού σιδηρούχων[33]

5.2 Συμπίεση ανακτηθέντων υλικών από τη χειροδιαλογή

Τα ανακτηθέντα υλικά από τα στάδια της χειροδιαλογής των ευμεγεθών και του κλάσματος 70-250 mm και πιο συγκεκριμένα όλα τα είδη χαρτιού (χαρτόνι, τυπωμένο χαρτί, χαρτί συσκευασίας και λοιπά χαρτιά) και τα διάφορα είδη πλαστικού (PE, PET, φύλλο πλαστικού) οδηγούνται με αυτοματοποιημένο τρόπο στην πρέσα όπου δεματοποιούνται και εν συνεχεία αποθηκεύονται μέχρι την διάθεσή τους στην αγορά.



Εικόνα 5.5:Ανακτηθέν χαρτόνι έτοιμο προς πώληση[33]

5.3 Λειτουργικές διατάξεις- Στάδια επεξεργασίας Κομποστοποίησης

Το οργανικό κλάσμα που διαχωρίζεται από τα σύμμεικτα απορρίμματα στο Τμήμα Μηχανικής Διαλογής, οδηγείται στο Τμήμα Ταχείας Κομποστοποίησης μαζί με ποσότητα συνολικά 40 τόνων ημερησίως κλαδιών και χόρτων που συλλέγονται από τους δήμους του νομού Χανίων.

Τα κλαδιά είναι επιθυμητά για τη διεργασία της κομποστοποίησης, διότι λόγω του υψηλού κυτταρινικού και λιγνινικού περιεχομένου τους αυξάνουν σημαντικά το χουμικό περιεχόμενο του τελικού προϊόντος και επίσης επιδρούν ως υλικά ρυθμιστικά του πορώδους (bulking

agents) διευκολύνοντας την ομοιόμορφη και εύστοχη διέλευση του αέρα από την κλίνη των υπό κομποστοποίηση υλικών.

Τα κλαδιά-χόρτα τροφοδοτούνται προς το σύστημα τεμαχισμού τους. Τα τεμαχισμένα κλαδιά και χόρτα δοσομετρούνται και μεταφέρονται μέσω αλυσσομεταφορέα με αποξεστήρες προς την συλλεκτήρια μεταφορική ταινία των κλαδιών-χόρτων και του οργανικού κλάσματος. [33]

5.3.1 Σύσταση- ιδιαιτερότητες κλαδιών-χόρτων

Τα πράσινα απορρίμματα (κλαδιά, φύλλα, χόρτα, άνθη, απορρίμματα λαχαναγοράς, απορρίμματα εργοστασίων ξύλου, κλπ) είναι το ιδανικότερο υλικό για την παραγωγή ενός αρίστης ποιότητας κομπόστ και ως εκ τούτου η συμμετοχή τους στην κομποστοποίηση της παρούσας μελέτης είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.

Ο τεμαχισμός των ξύλων πραγματοποιείται, ώστε να επιτυγχάνεται η ρύθμιση του πορώδους κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης. [33]

5.3.2 Τμήμα 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 έκαστο 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 σαρώνοντας 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 αφετέρου το αναδεύει και το ομογενοποιεί ώστε να ανατάσσει τις διαυλώσεις που τείνει να σχηματίσει ο αέρας, ο οποίος εμφυσάτε εντός της κλίνης του υλικού εκ των κάτω προς τα άνω.

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. Παρακάτω περιγράφεται η λειτουργία που αντιστοιχεί σε κάθε κτίριο.

Περιγραφή λειτουργίας:

Κατά την ταχεία κομποστοποίηση οι λειτουργίες που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της μονάδας είναι:

- Τροφοδοσία του προς κομποστοποίηση υλικού και ισοκατανομή του στο μέτωπο φόρτωσης που εκτείνεται κατά την μεγάλη διάσταση του κτιρίου κομποστοποίησης μέσω ταινιόδρομου και φορείου μετάθεσης επί του οποίου εδράζεται άλλος εγκάρσιος στον πρώτο, ταινιόδρομος. Ο ιμάντας του πρώτου ταινιόδρομου αναδιπλώνεται σε ελεύθερα τύμπανα επί του φορείου προκειμένου να είναι δυνατή η συνεχής τροφοδοσία του εγκάρσιου ταινιόδρομου και τελικά η τροφοδοσία του υλικού στο μέτωπο φορτώσεως.
- Εμφύσηση αέρα με ανεμιστήρα που διοχετεύεται σε κανάλια που κατασκευάζονται υπό το δάπεδο του αντιδραστήρα και φέρουν μεταλλικά καλύμματα τοποθετημένα

κατά τρόπο που να σχηματίζονται διαδοχικές σχισμές μεταξύ τους κατά μήκος του καναλιού ώστε να εξέρχεται από αυτά ο αέρας ομαλά κατανεμημένος.

- Ανάμιξη που πραγματοποιείται με την συνδυασμένη κίνηση γέφυρας και κοχλιών ώστε αφενός να σαρώνεται όλη η μάζα του αντιδραστήρα με συχνότητα μία φορά την ημέρα αφετέρου να προωθείται και να αναδεύεται το υλικό του αντιδραστήρα.
- Εκφόρτωση του κομποστοποιημένου υλικού με κοχλία τοποθετημένο σε φορείο το οποίο σαρώνει την μεγάλη διάσταση του κτιρίου στην πλευρά εξόδου του υλικού από την κλίνη. Ο κοχλίας εκφορτώνει το κομποστοποιημένο υλικό στον ταινιόδρομο ο οποίος τροφοδοτεί τον ταινιόδρομο τροφοδοσίας της ραφιναρίας.

Οι συνδυασμένες δράσεις (προώθηση και ανάδευση με κοχλίες και σύστημα αερισμού) εξασφαλίζουν την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα και τη συνεχή τροφοδοσία του οξυγόνου που καταναλώνεται από τις αντιδράσεις της βιολογικής οξειδωσης.

Η σωστή εναλλαγή του αέρα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να διατηρηθεί ο αερόβιος μεταβολισμός. Σ' αυτές τις συνθήκες, μετά από μία σύντομη περίοδο ενεργοποίησης των αντιδράσεων, στο εσωτερικό του αντιδραστήρα σταθεροποιούνται οι συνθήκες της θερμοκρασίας και του αερισμού, που απαιτούνται για τον πολλαπλασιασμό των θερμοφίλων μικροβιακών στελεχών. Αυτές οι συνθήκες διατηρούνται σταθερές σε όλη τη μάζα των απορριμμάτων και επομένως η οξειδωση της μάζας της οργανικής ουσίας προχωρεί πάντοτε με γρήγορο ρυθμό, που υποβοηθείται και από την συνεχή και μοιόμορφη ανταλλαγή οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα.[33]

5.3.3 Χρήση προστιθέμενων υλικών για τον έλεγχο της διεργασίας της κομποστοποίησης.

Η ομαλή διεξαγωγή των βιολογικών διεργασιών στο τμήμα ταχείας κομποστοποίησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή προετοιμασία του υλικού.

Σημαντική επίδραση έχουν οι ακόλουθες παράμετροι:

- Μέγεθος στερεών προς κομποστοποίηση
- Λόγος C/N
- Υγρασία
- Πορώδες υλικού (διάκενα αέρα).

Για την επίτευξη μικρού μεγέθους στερεών χωρίς λειοτεμαχισμό, χρησιμοποιείται τεμαχιστής οργανικού υλικού για τα ευμεγέθη οργανικά υλικά που ανακτώνται από τη διαδικασία χειροδιαλογής και φέρουν μέγεθος μεταξύ 70-200 mm. Η προσθήκη κλαδιών-χόρτων στοχεύει στην ρύθμιση των υπολοίπων παραμέτρων ως ακολούθως:

1. Λόγος C/N

Ο λόγος της περιεχόμενης στα απορρίμματα ποσότητας άνθρακα προς την αντίστοιχη ποσότητα αζώτου (C/N) αποτελεί βασική παράμετρο λειτουργίας. Όπως έχει προκύψει πειραματικά, η διεξαγωγή των βιολογικών διεργασιών γίνεται με βέλτιστο τρόπο όταν η τιμή του αρχικού λόγου C/N των απορριμμάτων είναι περίπου 25:1. Υψηλότερες τιμές επιβραδύνουν τη βιοαποδόμηση, ενώ χαμηλότερες τιμές του 10:1 οδηγούν σε απώλειες θρεπτικού αζώτου προς πτητική αμμωνία.(De Bortoldi et al., 1980, 1982.)

Τα κλαδιά-χόρτα έχουν υψηλό λόγο C/N που κυμαίνεται μεταξύ 200:1 και 500:1. Επομένως, η ανάμιξή τους με τα απορρίμματα έχει σαν αποτέλεσμα την ανύψωση του παραπάνω λόγου C/N.

2. Πορώδες –Υγρασία-Φυτοτοξικότητα

Το μίγμα προς κομποστοποίηση πρέπει να διαθέτει κατάλληλες ιδιότητες, ήτοι ισχυρή δομική μορφή και επαρκές πορώδες ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική συμπίκνωση του υλικού και να επιτρέπεται η διόδος του αέρα μέσω των κόκκων.

Με την προσθήκη κλαδιών –χόρτων βελτιώνεται η υφή του υλικού προς κομποστοποίηση: τα υλικά αυτά είναι δομικά σταθερά, με αποτέλεσμα να δρουν σαν ρυθμιστικά του πορώδους (bulking agents).

Ταυτόχρονα, τα εν λόγω υλικά διαθέτουν ικανότητα συγκράτησης της υγρασίας σε μοριακό επίπεδο, ώστε αυτή να μην ελαττώνεται ευκόλως πέραν των επιτρεπτών ορίων.

Το σύστημα προώθησης του οργανικού υλικού προς τη μονάδα ταχείας κομποστοποίησης έχει ως εξής:

Το οργανικό κλάσμα που διαχωρίζεται κατά τη δευτεροβάθμια κοσκίνιση αφού υποστεί μαγνητικό διαχωρισμό οδηγείται σε ταινιόδρομο μεταφοράς του προς το τμήμα ταχείας κομποστοποίησης. Σε άλλον ταινιόδρομο κατόπιν του πρώτου εκφορτώνει η δοσομετρική διάταξη του τεμαχιστή κλαδιών –χόρτων κατά τρόπο που να επιστρώνεται το τεμαχισμένο υλικό των κλαδιών-χόρτων επί του οργανικού των αστικών απορριμμάτων.

Επί του δευτέρου ταινιόδρομου, σε θέση κατόπιν της θέσεως εκφορτώσεων των κλαδιών –χόρτων, εκφορτώνεται το τεμαχισμένο οργανικό κλάσμα από την χειροδιαλογή το οποίο επιστρώνεται επί των τεμαχισμένων κλαδιών-χόρτων.

Η παραπάνω τεχνική εξασφαλίζει την κατά μήκος του συλλεκτήριου ταινιόδρομου διαστρωμάτωση οργανικών-κλαδιών/χόρτων-τεμαχισμένων οργανικών, ώστε σε συνδυασμό με την ανάδευση μέσω των κοχλιών στο τμήμα κομποστοποίησης να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή διασπορά του ρυθμιστικού του πορώδους στη μάζα του οργανικού υλικού.

Ο ταινιόδρομος διαστρωματώσεως και προωθήσεων των υλικών καταλήγει σε διάταξη μερισμού της ροής. Τα μεριζόμενα τμήματα της ροής παραλαμβάνονται από ταινιόδρομους και μεταφέρονται στην είσοδο των δύο τμημάτων ταχείας κομποστοποίησης προκειμένου να υποστούν αερόβια ζύμωση.[33]

5.3.4 Σύστημα αερισμού

Η μέθοδος αερισμού του κομποστοποιημένου υλικού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αριστοποίηση της απόδοσης των βιολογικών δράσεων. Πέραν της εξασφάλισης αερόβιων συνθηκών σε όλη τη κλίση του υλικού αλλά και της αναπλήρωσης του απορροφημένου, από την διεργασία, αέρα σημαντική είναι και η δράση του αερισμού ως μέσον ψύξης της μάζας του υλικού.

Όπως έχει προκύψει από την μελέτη της κινητικής των δράσεων κατά την κομποστοποίηση, οι ποσότητες αέρα που αναρροφώνται από το περιβάλλον (θερμοκρασία 10° C έως 30° C) και εμφυσώνται στο υπό κομποστοποίηση υλικό για την ψύξη του υλικού (απαγωγή της εκλυόμενης θερμότητας από τις εξώθερμες βιοχημικές αντιδράσεις) είναι μεγαλύτερες αυτών που απαιτούνται για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών στην κομποστοποιημένη μάζα. Αυτό ισχύει σε μεγαλύτερο βαθμό κατά την πρώτη και δεύτερη εβδομάδα κομποστοποίησης του υλικού. Συνεπώς, ειδικά κατά τις πρώτες εβδομάδες, η παροχή του αέρα πρωτεύοντος αποσκοπεί στην ρύθμιση της θερμοκρασίας του υλικού στο επιθυμητό εύρος των 55°-62° C και δευτερευόντως στην διατήρηση της μάζας σε αερόβια κατάσταση (ύπαρξη επαρκούς οξυγόνου).

Το σύστημα αερισμού του κομποστοποιημένου υλικού ενσωματώνει ιδιαίτερη τεχνογνωσία και επιστημονική έρευνα όσον αφορά στην φιλοσοφία σχεδιασμού του.

Εδώ επιλέγεται η τεχνική της εμφύσησης αέρα κάτωθεν της κλίσης και προς τα άνω.

Η τεχνική της εμφύσησης αέρα δημιουργεί ικανοποιητικές συνθήκες ροής του αέρα από τον πυθμένα προς την επιφάνεια του κομποστοποιημένου εντός του αντιδραστήρα υλικού και καλή κατανομή του αέρα προς όλα τα σημεία της μάζας.

Κυρίως όμως η τεχνική της εμφύσησης, αφενός παρέχει την δυνατότητα αποτελεσματικότερου ελέγχου της θερμοκρασίας και υγρασίας της βιοαποδομούμενης μάζας, στα όρια στα οποία λειτουργούν οι επιθυμητές για την ταχεία κομποστοποίηση βιολογικές διεργασίες, και αφετέρου επιτυγχάνει ομοιομορφία θερμοκρασιών και υγρασίας στην διατομή της κομποστοποιούμενης μάζας.

Αυτό συμβαίνει διότι αρχικά ψυχρός και ξηρός διοχετευόμενος αέρας έρχεται καταρχήν σε επαφή με τον θερμό και υγρό πυρήνα της υπό κομποστοποίησης μάζας, ενώ στο τέλος της διαδρομής του, όπου έχει επαρκώς θερμανθεί και υγρανθεί, έρχεται σε επαφή με την λιγότερο θερμή και σχετικά ξηρή άνω επιφάνεια της κομποστοποιούμενης μάζας.

Συχνά, μετά την πάροδο μερικών ημερών αερισμού εμφανίζεται η τάση να δημιουργούνται φαινόμενα δημιουργίας καναλιών (channeling effect), δηλαδή δίοδοι προτιμητέας όδευσης του αέρα μέσα στη μάζα. Στην εφαρμοζόμενη τεχνολογία, αυτό αποφεύγεται πλήρως με την ανάδευση και μετακίνηση του υλικού από τους κοχλίες, σε συνδυασμό με το μικρό ύψος κομποστοποιημένου υλικού (μικρότερο ή ίσο με 2,5m).

Η τροφοδοσία του αέρα με τη μέθοδο της εμφύσησης επιλέχθηκε να γίνεται διαμέσου ορθογωνικών καναλιών, πλάτους 0,2m, διατεταγμένων σε τακτές μεταξύ τους αποστάσεις και εγκατεστημένα υπό το δάπεδο έδρασης της κλίνης του υλικού. Κάθε κανάλι φέρει σειρά μεταλλικών καλυμμάτων (στο ύψος του δαπέδου της δεξαμενής όπου εδράζεται η κλίση του υλικού) τα οποία στο εμπροσθεν τμήμα τους (με κατεύθυνση προς την έξοδο από τη δεξαμενή) καμπυλώνονται ελαφρώς ώστε να δημιουργούν σχισμή σε συνδυασμό με το επικαλυπτόμενο εμπροσθεν κάλυμμα. Από τις εν λόγω σχισμές που διαμορφώνονται από τα μεταλλικά καλύμματα διαχέεται ο αέρας στην υπό κομποστοποίηση μάζα. Δεδομένου ότι η φορά των σχισμών είναι προς την έξοδο της δεξαμενής και επομένως όμοιας φοράς με την υπεράνω κίνηση των κοχλίων ανάδευσης και προώθησης δεν ευνοείται η διαρροή υλικού προς τα κανάλια αερισμού.

Ο ανεμιστήρας προσαγωγής αέρα για την κομποστοποίηση, παροχής 45.000m³/hr σε μανομετρικό λειτουργίας 250mmH₂O εγκαθίστανται εξωτερικά του κτιρίου κομποστοποίησης σε οικίσκο, χωροθετείται δε προς τη πλευρά του κτιρίου πλησίον του τμήματος εξευγενισμένου κομπόστ. Εδράζεται επί του εδάφους με ελαστικά αντικραδασμικά στοιχεία.

Κάτω από το δάπεδο έδρασης του ταινιόδρομου τροφοδοσίας και διανομής του υλικού στη δεξαμενή κομποστοποίησης διέρχεται κεντρικός αεραγωγός διανομής που προσάγει την απαιτούμενη παροχή αέρα, συνολικά 45.000m³/hr. Ο αεραγωγός διανομής του αέρα στα κανάλια αερισμού διέρχεται όπισθεν του μετώπου τροφοδοσίας της δεξαμενής και ανά τακτά διαστήματα φέρει διακλαδώσεις οι οποίες κατανέμουν τον προσαγόμενο αέρα σε κάθε κανάλι. Οι αεραγωγοί διακλαδώσεως στο σημείο αναχώρησης από τον κεντρικό αγωγό διανομής φέρουν ρυθμιστή ροής τύπου πεταλούδας, προκειμένου με χειροκίνητη ρύθμιση να επιτευχθεί η ισοκατανομή της παροχής αέρα στα συνολικά 66 κανάλια αερισμού. Προβλέπεται άνετη πρόσβαση στον αεραγωγό προσαγωγής αέρα και στις διακλαδώσεις αυτού προς ρύθμιση των δικλείδων παροχής αέρα.

Στον οικίσκο όπου εγκαθίσταται ο ανεμιστήρας τροφοδοσίας του αέρα κομποστοποίησης, εγκαθίσταται και ο ανεμιστήρας εξαερισμού. Ο ανεμιστήρας αυτός απάγει τον αέρα υπεράνω του αντιδραστήρα κομποστοποίησης και τον καταθλίβει σε βιόφιλτρο προκειμένου να επιτευχθεί η εναλλαγή του κτιρίου με ρυθμό τέσσερις φορές ανά ώρα.

Το βιόφιλτρο είναι εφοδιασμένο με σύστημα ύγρανσης του αέρα, ώστε ταυτοχρόνως να δεσμεύεται τυχόν παρασυρθείσα σκόνη και να διατηρείται η απαιτούμενη υγρασία στην

κλίνη του βιόφιλτρου καθώς και με παροχή επιφανειακής άρδευσης της κλίνης επίσης για τη ρύθμιση της υγρασίας.

Σε ιδιαίτερο χώρο εντός του κτιρίου κομποστοποίησης διαμορφώνεται θάλαμος συλλογής των παραγόμενων στραγγιδίων καθώς και των συμπυκνωμάτων των αεραγωγών εξαερισμού του κτιρίου και τοποθετούνται εντός αυτού αντλίες ανακυκλοφορίας προκειμένου μέσω αφιερωμένου δικτύου τα στραγγίδια να χρησιμοποιούνται για ύγρανση του προς κομποστοποίηση υλικού και ρύθμιση της υγρασίας του.

Η βιολογική συγκράτηση αζώτου παρεμποδίζεται από την παρουσία αμμωνίας και τις υψηλές θερμοκρασίες.

Ως εκ τούτου, η νιτροποίηση δραστηριότητα είναι πιο έντονη κατά τα τελευταία στάδια της βιοαποδόμησης. [33]

5.4 Τμήμα ραφινάρισματος κομπόστ

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

Ο διαχωρισμός των υλικών με κριτήριο το μέγεθος γίνεται με διέλευση του κομπόστ από διάταξη κοσκίνισης αρχικά με χρήση δονητικού κόσκινου τύπου flip- flop με διάμετρο οπών 10mm. Ο εν λόγω τύπος δονητικού κόσκινου εγγυάται την άριστη κοσκίνιση υλικών υψηλής σχετικής υγρασίας (όπως στην περίπτωση του κόμπποστ) με υψηλούς βαθμούς απόδοσης. Οι ισχυρές δυνάμεις δόνησης που αναπτύσσονται επί των υλικών στο κόσκινο τύπου flip- flop εξασφαλίζουν την απουσία τυχόν εμφράξεων των οπών του από μικρόκοκκα στερεά.

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

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

Το κομπόστ μετά το ραφινάρισμα παραλαμβάνεται από άλλη μεταφορική ταινία για τη μεταφορά του στην πλατεία χουμποποίησης.

Από τα διαχωριζόμενα υλικά, τα άχρηστα που προέρχονται από τους διαχωρισμούς του Τμήματος Ραφινάρισης συλλέγονται σε container από το οποίο μεταφέρονται με όχημα για τη τελική διάθεσή τους στον παρακείμενο Χ.Υ.Τ.Υ.. [33]

5.4.1 Περιγραφή διαδικασιών ραφινάρισματος του υλικού

Το ραφινάρισμα του κομπόστ συνίσταται σε σειρά μηχανικών διαχωρισμών προς επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας του προϊόντος. Συνοπτικά τα στάδια που ακολουθούνται είναι τα παρακάτω:

α) Τροφοδοσία και δοσομέτρηση του Τμήματος Ραφιναρίας

Το κομπόστ, μετά την παραμονή του στο Τμήμα Ταχείας Κομποστοποίησης, τροφοδοτείται-δοσομετρείται με την βοήθεια δοσομετρικού κοχλία και μέσω μεταφορικής ταινίας συλλέγεται και οδηγείται στο Τμήμα Ραφιναρίας.

β) Αρχική κοσκίνιση με δονητικό κόσκινο τύπου flip- flop διαμέτρου οπών 10 mm

Τα οργανικά υλικά κατά τη διάρκεια της ταχείας κομποστοποίησης χωνεύονται και ελαττώνονται σημαντικά σε μέγεθος (<10mm) λόγω των βιολογικών και φυσικοχημικών διεργασιών και της τακτικής ανάδευσης, ενώ τα υπόλοιπα υλικά παραμένουν σχεδόν αμετάβλητα. Για τον αρχικό διαχωρισμό του εισερχόμενου προς ραφινάρισμα οργανικού υλικού σε κλάσμα κομπόστ και αχρήστων, προβλέπεται κοσκίνιση σε δονητικό κόσκινο τύπου flip-flop διαμέτρου οπών 10mm. Ειδικότερα παραλαμβάνονται δύο κλάσματα από την εν λόγω κοσκίνιση:

- Υλικά μεγέθους <10mm: Αποτελούν το κύριο ρεύμα κομπόστ και μικρομερών ξένων προσμίξεων. Το κλάσμα αυτό οδηγείται προς περαιτέρω εξευγενισμό σε βαρυμετρική τράπεζα.
- Υλικά μεγέθους >10mm: Αφορούν κατά κύριο λόγο, σε άχρηστα υλικά (γυαλί, αδρανή κ.λ.π.) τα οποία και απορρίπτονται στο ρεύμα αχρήστων του Τμήματος Ραφιναρίας. [33]

γ) Καθαρισμός κλάσματος κομπόστ (<10mm) με σύστημα που συνδυάζει αεροδιαχωρισμό με βαλλιστικό διαχωρισμό (βαρυμετρική τράπεζα)

Στο κλάσμα του κομπόστ περιλαμβάνονται επίσης προσμίξεις υλικών μικρού μεγέθους (πέτρες, γυαλιά, φύλλο πλαστικού, σκόνη, κ.λ.π.). λόγω της διαφοροποίησης του ειδικού βάρους και της σχετικής ομοιομορφίας του μεγέθους αυτών είναι δυνατός, ο διαχωρισμός των υλικών με χρήση συστήματος που συνδυάζει αεροδιαχωρισμό (βαρυμετρική τράπεζα). Η χρήση του συστήματος αυτού επιτρέπει την παραλαβή των διαχωριζόμενων υλικών ως ακολούθως:

- Βαρέα υλικά

Αφορούν κυρίως αδρανή υλικά , όπως σπασμένα γυαλιά, πορσελάνη, πέτρες. Σκληρά πλαστικά κ.λ.π. Παραλαμβάνονται στην άνω πλευρά της βαρυμετρικής τράπεζας, η οποία λειτουργεί υπό κλίση εκτελώντας συνεχή κατακόρυφη περιστροφική κίνηση. Τα υλικά απορρίπτονται ως άχρηστα.

- Οργανικό κλάσμα κομπόστ

Το κομπόστ, μεσαίου ειδικού βάρους, ρευστούται επί της τράπεζας με τη χρήση αέρα. Έτσι διαχωρίζεται πλήρως από τις προσμίξεις και τελικά παραλαμβάνεται λόγω βαρύτητας στη χαμηλή πλευρά της τράπεζας με υψηλή καθαρότητα και οδηγείται Πλατεία Χουμοποίησης. Από την άνω πλευρά του βαλλιστικού διαχωριστή αναρροφάται αέρας από τα βαρύτερα λεπτόκοκκα σωματίδια (σκόνη). Τα σωματίδια αυτά εξέρχονται από το κάτω τμήμα του κυκλώνα και οδηγούνται στο ρεύμα αχρήστων της μονάδας ραφινάρισματος

δ) Συλλογή αχρήστων

Όλα τα ρεύματα αχρήστων του Τμήματος Ραφινάρισματος (από το κόσκινο και τη Βαρυμετρική τράπεζα) οδηγούνται σε μία ενιαία μεταφορική ταινία η οποία καταλήγει σε ένα container συλλογής αχρήστων. Από το container τα άχρηστα υλικά μεταφέρονται με όχημα που διαθέτει Hook Lift στον παρακείμενο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ.).[33]

στ) Αποκονίωση κτιρίου ραφιναρίας.

Δεδομένου ότι το υλικό κατά την επεξεργασία εξευγενισμού έχει ήδη σταθεροποιηθεί δεν απαιτείται απόσπηση. Μέσω δικτύου αεραγωγών αναρροφάται ο αέρας από σημεία όπου μεγιστοποιείται η επιφάνεια του προς επεξεργασία υλικού και μέσω ανεμιστήρα οδηγείται σε σακκόφιλτρο. Στο ίδιο σακκόφιλτρο οδηγείται και ο αέρας που αναρροφάται από τη βαρυμετρική τράπεζα. Η χρήση του σακκόφιλτρου στη ραφιναρία επιβάλλεται και από τη σχετική νομοθεσία. [33]

5.5 Τμήμα αποθήκευσης-Ωρίμανσης-Τυποποίησης κομπόστ

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

Το 15% του παραγόμενου κομπόστ 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 την πώλησή του.



Εικόνα 5.6: Τμήμα αποθήκευσης κομπόστ[33]

5.6 Λειτουργική περιγραφή του συστήματος τυποποίησης

Το αυτόματο σύστημα τυποποίησης του κομπόστ παραλαμβάνει το υλικό από έναν ταινιόδρομο τροφοδοσίας στον οποίο το υλικό φορτώνεται με φορτωτή μέσω χράνης, το ζυγίζει σε δόσεις και το ενσακκίζει σε πλαστικούς σάκους τους οποίους σφραγίζει με θερμοκόλληση. Οι σάκοι παραλαμβάνονται από έναν ταινιόδρομο μεταφοράς και προωθούνται σε παλετταριστικό μηχάνημα όπου στοιβάζονται σε τυποποιημένα ευρωπαϊκά.

Οι έτοιμες παλέτες προωθούνται με την βοήθεια ραουλοδρόμου παλετών στην μηχανή περιτύλιξης με Stretch Film και μετά σε ραουλόδρομο αποθήκευσης έτοιμες για παραλαβή από περνοφόρο ανυψωτικό και φόρτωση σε μεταφορικό μέσο για μεταφορά και διάθεση. Το σύστημα ελέγχεται από ελεγκτή PLC ο οποίος λαμβάνει ενδείξεις από αισθητήρια στις διάφορες επιμέρους μονάδες, έτσι ώστε οι μονάδες να συνεργάζονται μεταξύ τους και να δουλεύουν αποδοτικά και με ασφάλεια. Επιπλέον, η μηχανή ενσάκκισης φέρει ενσωματωμένο ηλεκτρολογικό πίνακα, ο οποίος είναι εξοπλισμένος επίσης με ελεγκτή PLC ο οποίος επιτηρεί την διαδικασία ζύγισης και ενσάκκισης.

Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί τέσσερις τόνους την ώρα σε σακιά των είκοσι κιλών. Η δυναμικότητα αυτή, είναι επαρκής για την προς συσκευασία παραγωγής κόμποστ η οποία είναι 2,25 tn/h (15% επί του τελικού προϊόντος). [33]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων και Βαρέων Μετάλλων στο κομποστοποιημένο υλικό του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης του Ν. Χανίων.

6.1: Σκοπός

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση του κομποστοποιημένου υλικού από τις εγκαταστάσεις της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως θρεπτικό υπόστρωμα στη γεωργία.

Εξετάστηκαν όλοι οι βασικοί παράγοντες που είναι απαραίτητοι βάσει των προδιαγραφών ποιότητας του παραγόμενου κομπόστ που καθορίζονται από την ΚΥΑ 114218 «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων» που αφορά προϊόντα κομπόστ παραγόμενα από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής αστικών απορριμμάτων και κομποστοποίησης.

Για την αξιολόγηση του κομπόστ έγινε σειρά ελέγχου φυτοτοξικότητας και καλλιέργεια ευαίσθητων ειδών (μαρούλι) για την «αξιολόγηση» της θρεπτικής του κατάστασης.

Για τις εργαστηριακές μετρήσεις pH, E.C., αναλογία C/N, φωσφορικά, νιτρικά, I.A.K, θρεπτικά στοιχεία καθώς και φυτοτοξικότητα ακολουθήσαμε πρότυπες μεθόδους καθώς και τεκμηριωμένες εργαστηριακές μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως για τον προσδιορισμό αυτών.[28]

6.2: Υλικά και Μέθοδοι

Κατά το ξεκίνημα της πτυχιακής αυτής εργασίας πήραμε δείγμα από τις εγκαταστάσεις του εργοστασίου της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. στις 10/5/2007. Από αυτό το δείγμα έγιναν οι μετρήσεις που ακολουθούν καθώς και οι δύο πρώτες φυτεύσεις. Στην συνέχεια όμως λόγω ανεπάρκειας του υλικού προμηθευτήκαμε επιπλέον ώριμο κομπόστ από τις εγκαταστάσεις της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. που όμως δεν ήταν ίδιο με τη πρώτη παρτίδα. Γι'αυτό το λόγο οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από την αρχή.

Μετρήσεις στην πρώτη παρτίδα ώριμου κομπόστ:

A) πριν ξεκινήσουμε οποιαδήποτε καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε αρχικά έλεγχος των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του κομπόστ όπως μέτρηση του B.O.D, pH και ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃ %) για μία γενική εικόνα της κατάστασης του.

- **Για την μέτρηση του B.O.D. εργαστήκαμε ως εξής:**

Ζυγίζουμε 100 gr εδάφους και προσθέτουμε 500 ml απιονισμένο νερό (αναλογία 1:5) και το αναδεύουμε για 2 ¹/₂ ώρες στον μηχανικό αναδευτήρα. Στη συνέχεια το διηθούμε και από το διήθημα παίρνουμε 428 ml. Μετράμε το pH και το ρυθμίζουμε στο 7,5 (με την προσθήκη NaOH 1N ή H₂SO₄ 1N).

Έπειτα το βάζουμε στην ογκομετρική φιάλη για το B.O.D. έως ότου ξεχειλίσει ελάχιστα το υγρό από τη φιάλη. Εν συνεχεία το τοποθετούμε στη φιάλη του B.O.D. ρίχνουμε έναν μαγνητικό αναδευτήρα πωματίζουμε με την ειδική υποδοχή και μέσα στην υποδοχή τοποθετούμε δύο ταμπλέτες καυστικού νατρίου (NaOH). Στο τελικό στάδιο τοποθετούμε τις φιάλες στην συσκευή του BOD για μισή ώρα χωρίς καπάκι, μετά το πέρας των 30 λεπτών μηδενίζουμε τις κεφαλές τις τοποθετούμε στις φιάλες και τις αφήνουμε για πέντε ημέρες.

- Για τον προσδιορισμό της τιμής του pH εργαστήκαμε ως εξής:

Ο προσδιορισμός του pH πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη πρότυπη μέθοδο που έχει δοθεί από τον Ε.Λ.Ο.Τ.

Για την μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο της εταιρείας Denver Instrument αφού είχε προηγηθεί βαθμονόμηση του με τη χρήση τριών ρυθμιστικών διαλυμάτων σε pH 4-7 και 9.

Διαδικασία:

Ζυγίζεται δείγμα 5 gr κομπόστ στον αναλυτικό ζυγό με ακρίβεια 0,01g και ανακατεύεται με 50 ml απιονισμένο νερό στους $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ σε αναλογία 1:5 (V/V). Έπειτα προσδιορίζεται η τιμή του pH με τη χρήση πεχαμέτρου.

- **Προσδιορισμός του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) [29]**

Για τον προσδιορισμό του CaCO_3 χρησιμοποιείται η μέθοδος του Bernard (Duchaufour, 1960).

Η μέτρηση του ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου γίνεται με την βοήθεια του ασβεστόμετρου.

Αντιδραστήρια:

- HCl 6N.

Αρχικά σε κωνική φιάλη τοποθετούμε 5 g ανάλογα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε ανθρακικό ασβέστιο (η ποσότητα που ζυγίζουμε μπορεί να είναι από 0,5-10 gr, γι'αυτό και γίνεται δοκιμή με προσθήκη 1 σταγόνας HCl σε μικρή ποσότητα εδάφους, ανάλογα με τον αφρισμό που δημιουργείται βγάζουμε συμπέρασμα για την ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου, έντονος αφρισμός μεγάλη συγκέντρωση ασβεστίου στο έδαφος). Κρατάμε υπό κλίση την φιάλη ώστε το έδαφος να μαζευτεί σε μια πλευρά και τοποθετούμε έναν δοκιμαστικό σωλήνα γεμάτο ως τα 2/3 με HCl και όρθιο. Πωματίζουμε καλά την φιάλη με το πώμα του ασβεστόμετρου και αναδεύουμε ώστε να πέσει αργά το HCl και να διαποτίσει όλο το έδαφος, εκλύεται CO_2 και αναδεύουμε μέχρι να σταθεροποιηθεί η στάθμη. Σε αυτό το σημείο γίνεται ανάγνωση της ένδειξης. Στη συνέχεια βγάζουμε το καπάκι από το δείγμα. Πέφτει η στάθμη και επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για τα επόμενα δείγματα.

$$\text{CaCO}_3 \text{ σε g \%} = K \cdot V / B$$

όπου V = ο όγκος του CO_2 που εκλύεται (ml)

B = το βάρος του εδαφικού δείγματος (gr)

K = ο συντελεστής μετατροπής 1 $\text{cm}^3 \text{CO}_2$ σε gr CaCO_3 έχει τιμή :

0.44 σε θερμοκρασία 0°C και πίεση 760 mm Hg

0.42 σε θερμοκρασία 15°C και πίεση 760 mm Hg

0.41 σε θερμοκρασία 20°C και πίεση 760 mm Hg

0.40 σε θερμοκρασία 30°C και πίεση 760 mm Hg

- **Προσδιορισμός αφομοιώσιμου PO_4 στα εκχυλίσματα του 0,5 M NaHCO_3 (Olsen and Sommers,1981)[29]**

Σκοπός του πειράματός είναι ο προσδιορισμός του αφομοιώσιμου φωσφόρου.

Αντιδραστήρια:

1. Μολυβδαινικό αμμώνιο [$(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$] .

Διαλύονται 12 gr σε περίπου 250ml απεσταγμένου νερού.

2. Τρυγικό κάλιο-αντιμονύλιο ($\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_8$).

Διαλύονται 0,2908g σε περίπου 100 mL απεσταγμένου νερού.
3. θειικό οξύ 5N.

Σε ογκομετρική φιάλη του 1L προστίθενται 140mL πυκνού θειικού οξέος και συμπληρώνεται η φιάλη ως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό.

Αντιδραστήριο Α: Σε ογκομετρική φιάλη των 2L, μεταφέρονται τα αντιδραστήρια 1,2 και 3, συμπληρώνεται η φιάλη μέχρι την χαραγή με απεσταγμένο νερό, ανακινείται καλά και αποθηκεύεται σε φιάλη Pyrex σε σκοτεινό μέρος. Το μίγμα αυτό είναι το αντιδραστήριο Α.

Αντιδραστήριο Β: Σε 200mL του αντιδραστήριου Α διαλύονται 1,056g ασκορβικού οξέος. Αυτό είναι το αντιδραστήριο Β και παρασκευάζεται λίγο πριν την χρήση.
0,5 M NaHCO₃. Διαλύονται 42 g NaHCO₃ σε 1l νερό.

Διαδικασία:

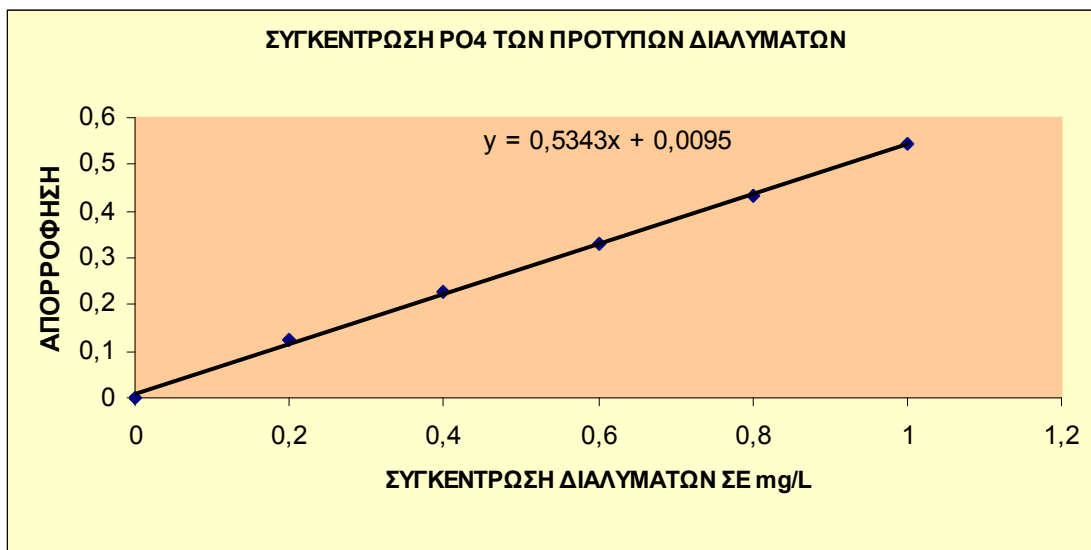
Σε κωνική φιάλη μεταφέρονται 5 g εδάφους και 100 ml NaHCO₃, ανακινούνται σε παλινδρομικό αναδευτήρα για 30 min και κατόπιν διηθούνται με ηθμό (N_o 40). Λαμβάνονται 10mL από το εκχύλισμα και τοποθετούνται σε ογκομετρική φιάλη των 50mL. Προστίθενται 1mL H₂SO₄(5N) σιγά-σιγά ώστε να μην αφρίσει υπερβολικά και ανακινούμε την φιάλη. Κατόπιν προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρι όγκου περίπου 40mL και 8mL του αντιδραστήριου Β. Γίνεται προσεκτική ανακίνηση, συμπληρώνεται η φιάλη με απεσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή, πωματίζεται, ανακινείται και μετά 10min μετράται η απορρόφηση στα 882nm με την βοήθεια του φασματοφωτομέτρου όπως περιγράφεται στην μέθοδο των νιτρικών ιόντων παραπάνω. Για την μέτρηση χρησιμοποιείται απλή κυψελίδα και το όργανο μας δίνει κατευθείαν την μέτρηση σε ppm.

Υλικά και όργανα:

- Αναλυτικός ζυγός
- Κωνικές φιάλες των 250 ml ή πλαστικά μπουκάλια
- Συσκευή ανακίνησης (περιστροφική ή παλινδρομική)
- Χωνιά με ηθμούς Whatmann N 40
- Σιφώνια 1-2-4 και 10 ml
- Ογκομετρικές φιάλες των 50 ml
- Φασματοφωτόμετρο

Πίνακας 6.2.1: Συγκέντρωσης-απορρόφησης προτύπων διαλυμάτων PO₄

α/α	Πρότυπα διαλύματα φωσφορικών γνωστής συγκέντρωσης	Απορρόφηση στα 880 nm	Συγκέντρωση σε ppm
1	0	0	0
2	0,2	0,126	0,22
3	0,4	0,227	0,41
4	0,6	0,331	0,60
5	0,8	0,433	0,79
6	1	0,543	1



Διάγραμμα 6.2.1: Συγκέντρωση-απορρόφηση προτύπων διαλυμάτων PO₄

- **Μέθοδος μέτρησης ανταλλάξιμων κατιόντων (K, Na, Ca,) με φλογοφωτόμετρο (φλόγα εκπομπής)[29]**

Αντιδραστήρια:

- Οξικό αμμώνιο 1N.

Διαλύονται 77,08g αντιδραστηρίου σε 1λίτρο διαλύματος

Διαδικασία:

Σε έναν σωλήνα φυγοκέντρου των 50 ml μεταφέρονται 5 gr αεροξηραμένου δείγματος μαζί με 33 ml διαλύματος οξικού αμμωνίου.

Το σχηματιζόμενο αιώρημα ανακινείται σε παλινδρομικό αναδευτήρα για 15 λεπτά. Ακολουθεί φυγοκέντρωση για 10 λεπτά στις 5000 στροφές έπειτα διήθηση από ιθμό Whatmann N40 και μετάγγιση του υπερκείμενου διαυγούς διαλύματος σε μία ογκομετρική φιάλη των 100 ml.

Για κάθε δείγμα η έκπλυση του εδάφους πραγματοποιήθηκε τρεις φορές.

Ακολουθεί ο προσδιορισμός των ανταλλάξιμων κατιόντων σε φλογοφωτόμετρο (φλόγα εκπομπής). Το φλογοφωτόμετρο βαθμονομείται με πρότυπα διαλύματα πριν τον προσδιορισμό κάθε στοιχείου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.2.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ Na⁺

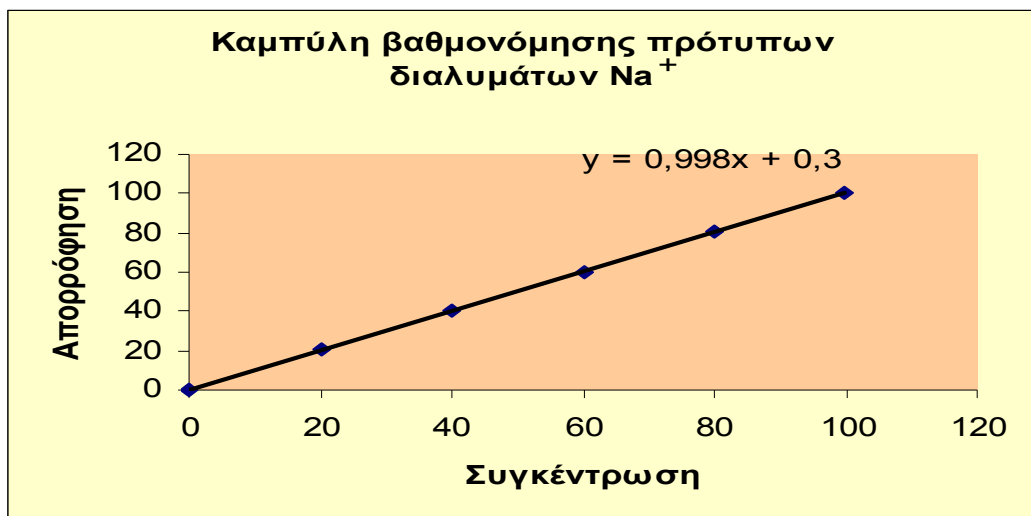
Συγκέντρωση προτύπου διαλύματος Na ⁺	Ένδειξη οργάνου
0,0	0
20	20,8
40	40
60	60,1
80	80,3
100	100

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.2.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ Ca⁺

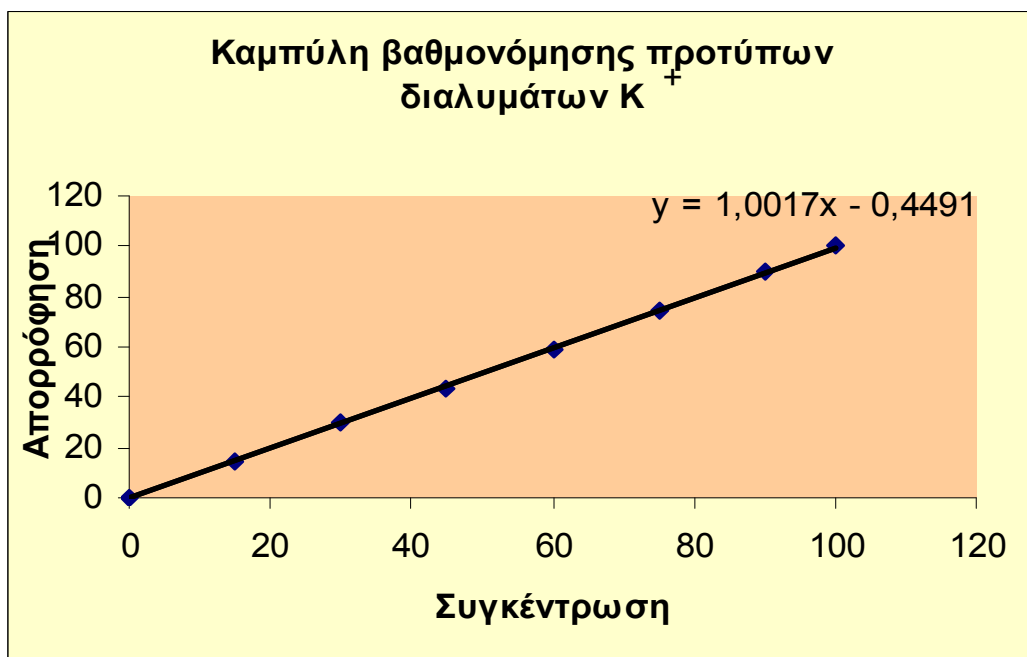
Συγκέντρωση προτύπου διαλύματος Ca ⁺	Ένδειξη οργάνου
0	0
15	15
20	20
35	35
55	55
70	73
100	100

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.2.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ Κ

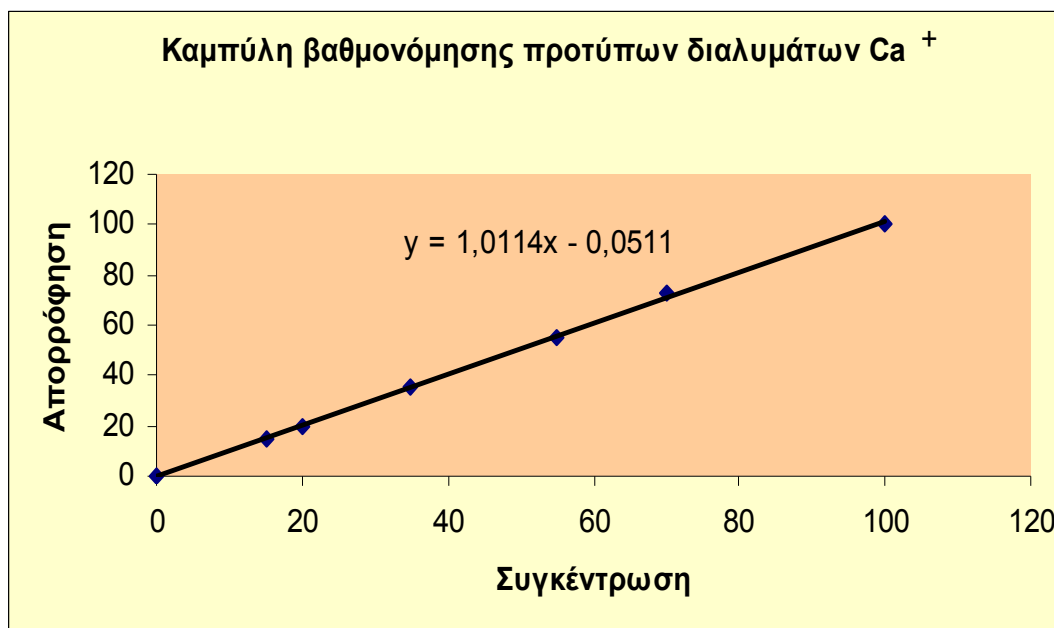
Συγκέντρωση προτύπου διαλύματος Κ	Ένδειξη οργάνου
0	0
15	15
30	30
45	43,1
60	58,7
75	75
90	90,2
100	100,1



6.2. 2 Διάγραμμα βαθμονόμησης πρότυπων διαλυμάτων Na⁺



6.2.2.3 Διάγραμμα βαθμονόμησης πρότυπων διαλυμάτων Κ



6.2.2.2 Διάγραμμα βαθμονόμησης πρότυπων διαλυμάτων Ca⁺

A2) Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δεύτερο δείγμα κομπόστ.

Το επόμενο δείγμα του κομποστοποιημένου υλικού πάρθηκε από τις εγκαταστάσεις τις Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. στις 15/12/2007.

Οι αναλυτικές μέθοδοι ήταν οι ίδιες με εκείνες που αναφέρονται στο στάδιο Α. Σε αυτό το δείγμα έγινε περαιτέρω ανάλυση και μετρήθηκαν παράμετροι που δηλώνουν

- τη θρεπτική κατάσταση του δείγματος καθώς και
- την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και παθογόνους μικροοργανισμούς.

▪ Μηχανική ανάλυση του εδάφους [29]

Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε μόνο για το δείγμα του μάρτυρα.

Η μηχανική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων από την οποία καθορίζεται η κοκκομετρική τους σύσταση γίνεται με τη μέθοδο του Βουγιούκου (Βουγιουκος, 1962).[28]

Αντιδραστήρια:

- Διάλυμα εξαμεταφωσφορικού νατρίου 0,1 N.
Παρασκευάζεται με διάλυση 10g (NaPO₃)₆ 2,2g και Na₂CO₃ σε 1l διαλύματος.

Διαδικασία:

Ζυγίζονται 50g εδάφους και μεταφέρονται στο δοχείο του μίξερ. Προστίθενται 250mL νερού και 50mL διαλύματος εξαμεταφωσφορικού νατρίου 0,1 N και το δείγμα αναδεύεται για 15 λεπτά περίπου. Το σχηματιζόμενο αιώρημα μεταφέρεται ποσοτικά σε κύλινδρο 1000 mL, ο οποίος και συμπληρώνεται με νερό μέχρι την χαραγή. Πριν τη συμπλήρωση του κυλίνδρου με νερό το υδρόμετρο έχει βυθιστεί προηγουμένως μέσα στο αιώρημα.

Στη συνέχεια αφαιρείται το υδρόμετρο και ανακινείται το αιώρημα κλείνοντας το στόμιο του κυλίνδρου με το χέρι. Στο τέλος της ανακίνησης βυθίζεται το υδρόμετρο στο αιώρημα και μετά 40 δευτερόλεπτα σημειώνεται η ένδειξη του υδρόμετρου, αφαιρείται ξανά το υδρόμετρο και

ακολουθεί η λήψη της θερμοκρασίας. Οι ενδείξεις του υδρομέτρου και του θερμομέτρου σημειώνονται. Αρχικά έχει καθίσει η άμμος. Μετά την παρέλευση 2 ωρών έχει κατακαθίσει και η ιλύς, άρα η ένδειξη του υδρομέτρου διορθωμένη για τη θερμοκρασία θα αντιστοιχεί στα g της αργίλου που εξακολουθούν να υπάρχουν στο αιώρημα.

Ο υπολογισμός των τριών κλασμάτων, γίνεται με την εφαρμογή των τύπων:

$$(\text{Αργίλος} + \text{Ιλύς}) \text{ σε } g\% = n (\text{Χυδρ}_1 \pm \text{Χ}\theta_1)$$

$$\text{Αργίλος σε } g\% = n (\text{Χυδρ}_2 \pm \text{Χ}\theta_2)$$

$$\text{Άμμος σε } g\% = 100 - n(\text{Χυδρ}_1 \pm \text{Χ}\theta_1)$$

$$\text{Ιλύς σε } g\% = 100 - (\text{Αργίλος} + \text{Άμμος})$$

όπου:

Χυδρ_1 = Η ένδειξη του υδρομέτρου μετά 40 δευτερόλεπτα

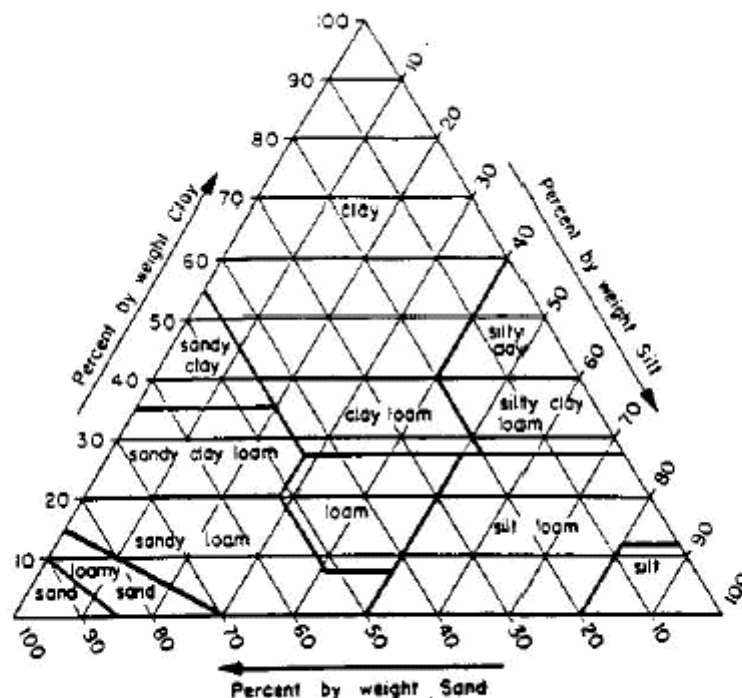
$\text{Χ}\theta_1$ = Η διόρθωση υδρομέτρου για τη θερμοκρασία της πρώτης υδρομέτρησης

Χυδρ_2 = Η ένδειξη του υδρομέτρου μετά 2 ώρες.

$\text{Χ}\theta_2$ = Η διόρθωση υδρομέτρου για τη θερμοκρασία της δεύτερης υδρομέτρησης
 $n = 2$

Η διόρθωση για τη θερμοκρασία γίνεται συνήθως εμπειρικά όπου προστίθεται ή αφαιρείται από την ένδειξη του υδρομέτρου ο αριθμός 0,2 για κάθε μισό βαθμό πάνω ή κάτω από τους 19,4°C αντίστοιχα, που είναι η θερμοκρασία βαθμολόγησης του οργάνου.

Μετά τον προσδιορισμό του ποσοστού των τριών κλασμάτων, δηλαδή της άμμου, της ιλύος και της αργίλου, ακολουθεί η κατάταξη του εδάφους με τη βοήθεια του τριγωνικού διαγράμματος κατάταξης των εδαφών.



Διάγραμμα 6.2.3: τριγωνικό διάγραμμα κατάταξης των εδαφών[29]

- **Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητα**

Σκοπός του πειράματός είναι ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.) η οποία αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητας του σε υδατοδιαλυτά ιόντα, σύμφωνα με τη σχέση:

$E.C._{ex}$ σε $mmho/cm$ ή dS/m)*10 = meq/L ή $mmol/L$ υδατοδιαλυτών κατιόντων ή ανιόντων.

Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ακολουθήθηκε η πρότυπη μέθοδος που έχει δοθεί από τον Ε.Λ.Ο.Τ.

Διαδικασία:

Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Ζυγίζεται δείγμα 5 gr στον αναλυτικό ζυγό με ακρίβεια 0,01g και ανακατεύεται με 50 ml απιονισμένο νερό στους $22^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$ σε αναλογία 1:5 (V/V).

Εν συνεχεία τοποθετείται σε μηχανικό αναδευτήρα για 1 h, στην συνέχεια φυγοκεντρείται και τέλος διηθείται.

Ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας πραγματοποιείται στο διήθημα με χρήση αγωγιμομέτρου.

- **Οργανική ουσία του εδάφους [29]**

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας γίνεται με σκοπό τον χαρακτηρισμό των ακαλλιέργητων δειγμάτων ως ανόργανα ή οργανικά εδάφη.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η μέθοδος των (Walkley – Black, 1934).

Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδιορισμού της οργανικής ουσίας πραγματοποιήθηκε σε όλα τα δείγματα εκτός από το ακαλλιέργητο κομπόστ στο οποίο εφαρμόστηκε η μέθοδος της καύσης στους $550^{\circ}C$ όπου βρίσκουμε τα πτητικά στερεά, επομένως και την οργανική ουσία.

Αντιδραστήρια:

1. Διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$ 1N). Διαλύονται 49,04 g αντιδραστηρίου σε 1l διαλύματος.
2. π. H_2SO_4
3. π. H_3PO_4
4. Δείκτης διφαινιλαμίνης. Διαλύονται 0,5 g διφαινιλαμίνης σε 20ml νερού και 100ml π. H_2SO_4
5. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,5N. Διαλύονται 139 g αντιδραστηρίου σε 1l διαλύματος.

Διαδικασία:

Ζυγίζεται 0.5 g εδάφους και μεταφέρεται σε στεγνή κωνική φιάλη των 500 ml. Προσθέτονται 10 ml διχρωμικό κάλιο και αναδεύουμε ήπια κουνώντας την φιάλη με το χέρι. Μετά προσθέτουμε 20 ml π. H_2SO_4 και αναδεύουμε για 1 λεπτό όπως πριν, στον απαγωγό. Κατόπιν το αφήνουμε για 30 λεπτά σε ηρεμία και εν συνεχεία προσθέτουμε 200 ml νερό και 10 ml π. H_3PO_4 . Επίσης προσθέτουμε και 10 σταγόνες δείκτη για να χρωματιστεί το δείγμα μας σε σκούρο καφέ. Τέλος ακολουθεί τιτλοδότηση του δείγματος με τον θειικό σίδηρο, μέχρι το χρώμα να γίνει πετρόλ. Παράλληλα ετοιμάζουμε και ένα τυφλό δείγμα με όλα τα αντιδραστήρια εκτός του εδάφους.

Οργανική ουσία σε g % εδάφους = $10x (1 - V_{\Delta}/V_T) x (0,3x 1,3x 1,724/B)$

Όπου: V_{Δ} = τα ml του διαλύματος του δισθενούς θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την τιτλοδότηση του δείγματος
 V_T = τα ml του τυφλού
 B = το βάρος του εδαφικού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε

Μέθοδος καύσης:

Σε προζυγισμένη πορσελάνινη κάψα τοποθετούμε αεροξηραμένο δείγμα κομπόστ το οποίο έχει περάσει από μύλο και έπειτα από κόσκινο 4 mm. Ζυγίζουμε την κάψα με το δείγμα και την τοποθετούμε στο πυραντήριο για 1 $\frac{1}{2}$ ώρα στους 550°C. Στη συνέχεια τοποθετούμε τη κάψα με το δείγμα σε ξηραντήρα έως ότου να αποκτήσει σταθερό βάρος. Εν συνεχεία ζυγίζουμε την κάψα και βάσει του παρακάτω τύπου υπολογίζουμε την οργανική ουσία (η οποία έχει την ίδια τιμή, ουσιαστικά με τα πτητικά στερεά του δείγματος):

$$\text{Οργανική ουσία} = (m_1 - m_2 / m_1 - m_0) * 100$$

Όπου m_0 = αρχικό βάρος σε γραμμάρια της κάψας
 m_1 = μικτό βάρος σε γραμμάρια της κάψας και του δείγματος.
 m_2 = τελικό βάρος σε γραμμάρια της κάψας και του δείγματος.

• Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl.[29]

Η μέθοδος προσδιορισμού ολικού αζώτου κατά Kjeldahl χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου στο έδαφος και τα φυτά (Bremner, 1965).

Με την μέθοδο αυτή το ολικό άζωτο του δείγματος μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα, τα οποία δεσμεύονται σαν $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ με χώνευση με πυκνό θειικό οξύ και καταλύτη. Τα αμμωνιακά ιόντα κατόπιν δεσμεύονται σαν $(\text{NH}_4)_3\text{BO}_3$ και η συγκέντρωσή τους προσδιορίζεται με τιτλοδότηση με HCl 0,1N.

Η συσκευή Kjeldahl αποτελείται από 3 τμήματα :

- 1) την συσκευή καύσης ή χώνευσης στην οποία το ολικό N δεσμεύεται και μετατρέπεται σε $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ με την χρήση των αντιδραστηρίων.
- 2) την συσκευή απόσταξης όπου τα NH_4^+ μετατρέπονται σε $(\text{NH}_4)_3\text{BO}_3$
- 3) τον απαγωγό (ή απορροφητήρα) που χρησιμοποιείται για να δεσμεύει και να υγροποιεί τους επικίνδυνους υδρατμούς του H_2SO_4 και των άλλων αντιδραστηρίων κατά την διαδικασία της καύσης και της απόσταξης των δειγμάτων.

Αντιδραστήρια:

1. 1 ταμπλέτα καταλύτη αποτελούμενη από K_2SO_4 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ και Se
2. Διάλυμα H_3BO_3 4%. Ζυγίζονται 40gr H_3BO_3 σε ογκομετρική φιάλη 1L και διαλύονται σε 1L απεσταγμένου νερού.
3. Διάλυμα NaOH 40%. Ζυγίζονται 400gr NaOH σε ογκομετρική φιάλη 1L και διαλύονται σε 1L απεσταγμένου νερού.
4. Πυκνό H_2SO_4
5. Πρότυπο διάλυμα HCl 0,1N.

Η τιτλοδότηση του δείγματος γίνεται με HCl 0,1N και προσθήκη δείκτη bromocresol green (10 σταγόνες). Αρχικά το δείγμα έχει χρώμα πράσινο-γαλάζιο και η τιτλοδότηση σταματά όταν το χρώμα γίνει κίτρινο. Η τιτλοδότηση μπορεί επίσης να γίνει και με τον αυτόματο τιτλοδότη χωρίς την προσθήκη δείκτη.

Διαδικασία :

Αρχικά ζυγίζουμε 0,5 gr δείγματος και το τοποθετούμε στον σωλήνα πέψης, εν συνεχεία βάζουμε την ταμπλέτα καταλύτη και 10 ml πυκνό H_2SO_4 .

Ξεκινάει η διαδικασία ρυθμίζοντας τη συσκευή χώνευσης να κάνει δύο κύκλους α) ισχύς στο 30% για 10 λεπτά και β) ισχύς 45% για 70 λεπτά.

Στο τέλος του δεύτερου κύκλου το δείγμα πρέπει να έχει χρώμα απαλό πράσινο.

Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για το τυφλό δείγμα, το οποίο περιέχει όλα τα αντιδραστήρια εκτός του δείγμα.

Απόσταξη:

1) οι σωλήνες πέψης απομακρύνονται από τη συσκευή θέρμανσης και αφήνονται να κρυώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2) για κάθε δείγμα και για το τυφλό, προετοιμάζεται μία κωνική φιάλη των 250 ml η οποία περιέχει 30 ml διαλύματος 4% H_3BO_3 .

3) η κωνική φιάλη με το H_3BO_3 τοποθετείται στην συσκευή απόσταξης έτσι ώστε ο σωλήνας εξόδου να βρίσκεται μέσα στο διάλυμα H_3BO_3 .

4) ο σωλήνας πέψης τοποθετείται στη συσκευή απόσταξης και ελέγχεται η στεγανότητα του συστήματος. Ενεργοποιούμε το πρόγραμμα απόσταξης το οποίο κάνει τέσσερις κύκλους :

α) Εισαγωγή 50 ml απιονισμένου H_2O .

β) Εισαγωγή 60 ml NaOH 40%.

γ) Απόσταξη για πέντε λεπτά

δ) Εξαγωγή του διαλύματος από το σωλήνα πέψης για 20 δευτερόλεπτα.

$$\%N = \frac{(ml \text{ δείγματος} - ml \text{ τυφλού}) * 0.1 * 1.4007}{\text{Βάρος δείγματος σε gr}}$$

- **Προσδιορισμός του νιτρικού αζώτου ($NO_3^- N$) στο έδαφος.**

Σκοπός του πειράματός μας είναι ο προσδιορισμός του νιτρικού αζώτου ($NO_3^- N$) στα δείγματα μας.

Τα νιτρικά είναι η κύρια μορφή αζώτου, όπως προαναφέρθηκε, που απορροφάται από τα φυτά επειδή το ιόν του αμμωνίου μετατρέπεται γρήγορα σε νιτρικό στο έδαφος. Τα νιτρικά και τα αμμωνιακά είναι δύο διαφορετικές θρεπτικές μορφές για το φυτό λόγω της διαφορετικής δράσης τους μέσα στο φυτό. Τα αμμωνιακά είναι τοξικά για το φυτό όταν απορροφώνται και πρέπει να ενσωματωθούν σε οργανικές ενώσεις για να σχηματιστούν αζωτούχες ενώσεις και έτσι να εμποδιστεί η καταστροφή του φυτού από το αμμώνιο.

Αντιδραστήρια:

- KC1 1 N.

Διαλύονται 74,56 gr σε 1l H_2O

Σε φιάλη ανακίνησης των 50 ml τοποθετούνται 4 g εδάφους και 40 ml διαλύματος KC1 1 N. Το μίγμα ανακινείται για 1 h σε μηχανικό παλινδρομικό αναδευτήρα (~ 130 παλμούς ανά λεπτό). Μετά το τέλος της ανακίνησης το μίγμα αφήνεται σε ηρεμία για μερικά λεπτά και κατόπιν διηθείται με ηθμό Whatman N.42.

Εν συνεχεία μετρίεται φασματοφωτομετρικά στα 410 nm.

- **Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K.) [29]**

Σκοπός του πειράματός μας είναι ο προσδιορισμός της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K.) των εδαφών η οποία ίσως είναι η σημαντικότερη φυσικοχημική τους ιδιότητα, γιατί αποτρέπει τις απώλειες των θρεπτικών στοιχείων μέσω του νερού στράγγισης. Το μέγεθος της $mmol/100 \text{ gr εδάφους}$ και κυμαίνεται από 10-40, εξαρτάται από την περιεκτικότητα των

εδαφών σε άργιλο, από την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου των, από την περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία και από το pH τους.

Αντιδραστήρια:

- Οξικό νάτριο 1M
- Αιθανόλη
- Οξικό Αμμώνιο 1M

Διαδικασία:

Ζυγίζουμε 4g λεπτοκόκκου εδάφους, εντός καταλλήλου φιαλιδίου φυγοκεντρήσεως (50 ml). Προστίθενται 33 ml οξικού νατρίου 1M. Πωματίζουμε και το τοποθετούμε σε μηχανικό αναδευτήρα επί 10 λεπτά. Εν συνεχεία φυγοκεντρούμε για 10 λεπτά στις 5000 στροφές. Απορρίπτουμε το υγρό σε νεροχύτη και επαναλαμβάνεται η προαναφερθείσα διαδικασία δύο επί πλέον φορές. Στη συνέχεια ακολουθεί η ίδια διαδικασία με αιθανόλη αυτή τη φορά. Το δείγμα πλένεται και φυγοκεντρείται κατ'αυτόν τον τρόπο (33 ml κάθε φορά) για την απομάκρυνση της περίσσειας οξικών ή χλωριούχων αλάτων του νατρίου. Εν συνεχεία προστίθενται στο δείγμα 33 ml οξικού αμμωνίου. Ανακινείται και φυγοκεντρείται όπως τα προηγούμενα με τη διαφορά ότι κρατάμε αυτή τη φορά το υγρό του φιαλιδίου. Το υγρό διηθείται με φίλτρο Whatmann N40 συλλέγεται σε φιάλη των 100 ml και συμπληρώνεται μέχρι τη χαραγή με οξικό αμμώνιο 1M. Προσδιορίζουμε την συγκέντρωση των κατιόντων του Na⁺ με τη βοήθεια του φλογοφωτομέτρου.

Έπειτα βάσει του τύπου παρακάτω βρίσκουμε την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων:

$$(Na^+) \text{ σε mmol ανά } 100 \text{ gr εδάφους} = \frac{A * V_{\text{φιάλης}} * 100}{AB * 1000}$$

Όπου A= Η ένδειξη του φλογοφωτόμετρου σε mg/L ιόντος

V=H ποσότητα σε ml που συγκεντρώθηκε στη φιάλη

B =H ποσότητα του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε

AB= Ατομικό βάρος ιόντος όπου για το Na⁺ είναι 23

- Η μέτρηση των ανταλλάξιμων κατιόντων που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με την προηγούμενη με διαφορετικές όμως καμπύλες βαθμονόμησης των προτύπων διαλυμάτων.

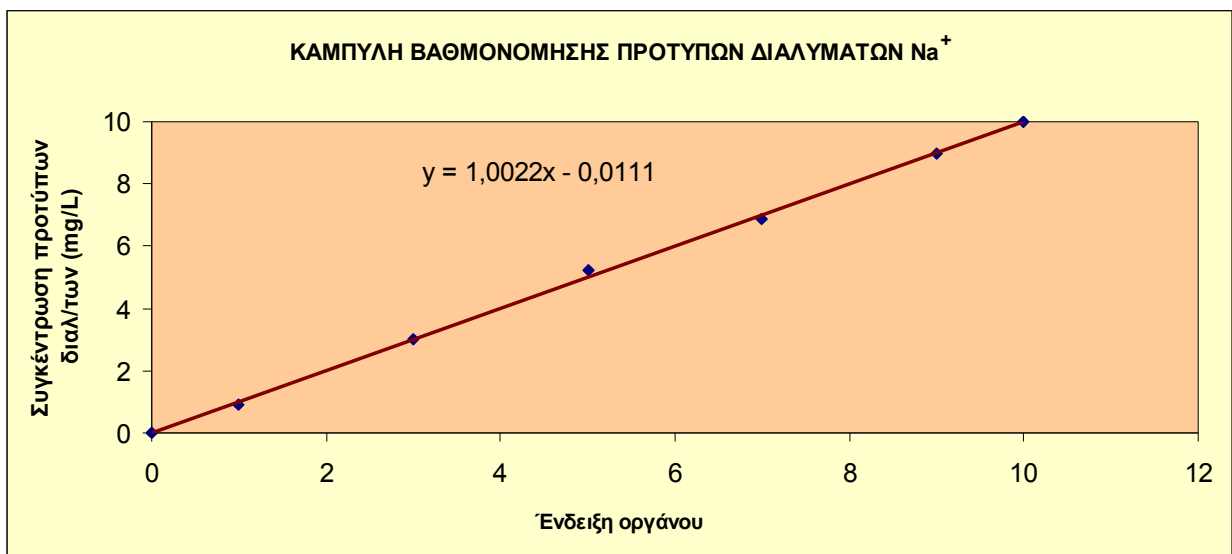
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.4. ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ Na⁺ ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.4.ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ Ca⁺

Συγκέντρωση προτύπου διαλύματος Na ⁺	Ένδειξη οργάνου
0,0	0,0
1,0	0,9
3,0	3,0
5,0	5,2
7,0	6,9
9,0	9,0
10,0	10,0

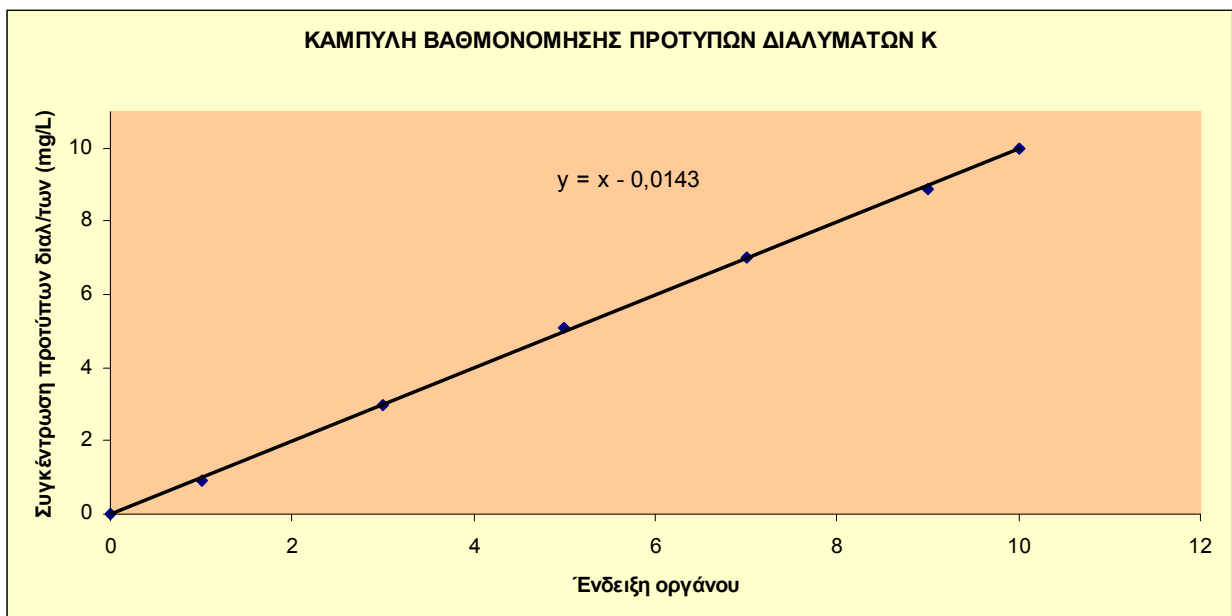
Συγκέντρωση προτύπου διαλύματος Ca ⁺	Ένδειξη οργάνου
0,0	0,0
10,0	9,7
25,0	25,0
30,0	31,0
40,0	40,0
60,0	59,0
80,0	81,0
100,0	100,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.4 ΠΡΟΤΥΠΩΝ
ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ Κ

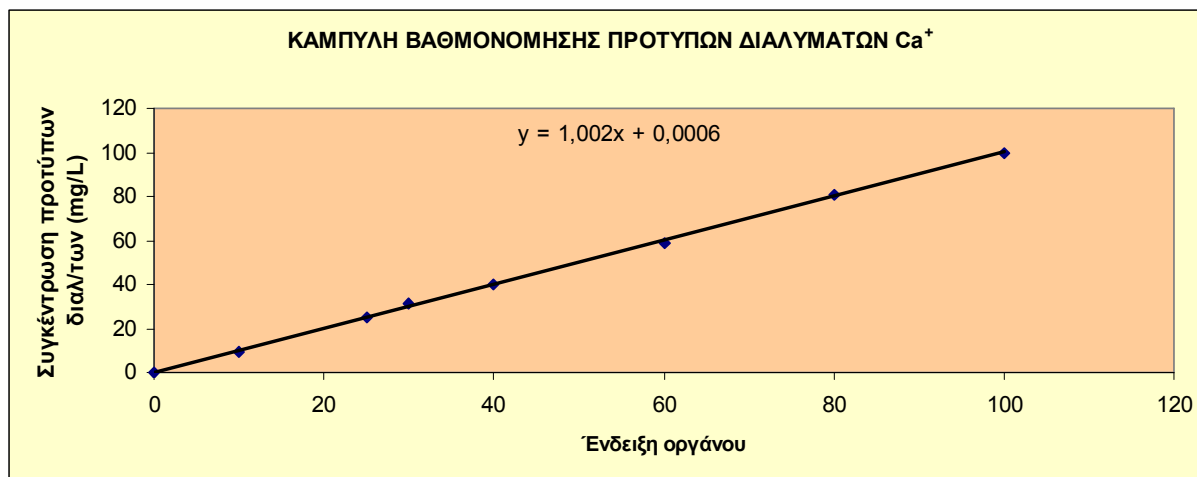
Συγκέντρωση προτύπου διαλύματος Κ	Ένδειξη οργάνου
0,0	0,0
1,0	0,9
3,0	3,0
5,0	5,1
7,0	7,0
9,0	8,9
10,0	10,0



6.2.4 Διάγραμμα βαθμονόμησης πρότυπων διαλυμάτων Na⁺



6.2.4 Διάγραμμα βαθμονόμησης πρότυπων διαλυμάτων Κ



6.2.4 Διάγραμμα βαθμονόμησης πρότυπων διαλυμάτων Ca⁺

Β) Στο δεύτερο στάδιο αναλύσεων ακολούθησε ο έλεγχος της φυτοτοξικότητας του κομπόστ. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί σπόροι.

Μετά την ολοκλήρωση της θερμοφιλής φάσης της κομποστοποίησης των αστικών απορριμμάτων ακολουθεί η φάση ωρίμανσης του τελικού προϊόντος. Η φάση αυτή διαρκεί ανάλογα με το υλικό από 4 έως 12 εβδομάδες. Η ολοκλήρωση της προσδιορίζεται από μία σειρά μεθόδων. Μία από τις μεθόδους προσδιορισμού της ωριμότητας είναι και ο δείκτης βλαστικότητας ή germination index ή εν συντομία G.I.. Ο δείκτης αυτός επιτρέπει σε μικρό χρονικό διάστημα (τρεις ημέρες) και με μικρό κόστος τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας του ανώριμου κομπόστ. Η φυτοτοξικότητα προσδιορίζεται από την βλαστικότητα (ανάπτυξη ριζών) των σπόρων σε εκχύλισμα από το υπό μελέτη κομπόστ και σε σχέση με τη βλαστικότητα των σπόρων του μάρτυρα σε απιονισμένο νερό.[21]

Η φυτοτοξικότητα εκφράστηκε με το δείκτη βλαστικότητας (G.I.) ο οποίος εκφράζει το γινόμενο του μήκους των ριζιδίων και του ποσοστού βλαστικότητας, εκφρασμένα επί τοις εκατό του μάρτυρα:

Δείκτης βλαστικότητας(%)= M.O. μήκους ριζιδίου δείγματος/M.O. μήκος ριζιδίου μάρτυρα *100

- Σπόροι αγγουριού (σπόροι υβριδίου της ποικιλίας Selim)
- Σπόροι ντομάτας
- Σπόροι κάρδαμου

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν:

Απαιτούμενες συσκευές:

1. Δείγμα κομπόστ
2. Διηθητικό χαρτί
3. Κωνικές φιάλες
4. Απιονισμένο νερό
5. Σπόροι κάρδαμου
6. Σπόροι αγγουριού (υβρίδια σπόρων αγγουριού της ποικιλίας Selim)
7. Σπόροι ντομάτας
8. Τριβλία
9. Επωαστικός θάλαμος

Διαδικασία:

Δημιουργούμε ένα διάλυμα 1:5 κομπόστ με νερό (απιονισμένο) χρησιμοποιώντας 20 gr κομπόστ και 100 ml απιονισμένο νερό σε μία κωνική φιάλη και το τοποθετούμε στον αναδευτήρα για 2h . Στη συνέχεια πραγματοποιούμε διήθηση του διαλύματος. Σε ένα τριβλίο (διαμέτρου 90mm) τοποθετούμε ένα φύλλο διηθητικό χαρτί προσεκτικά κομμένο στο μέγεθος του τριβλίου. Από το διήθημα παίρνουμε με σιφώνιο 5 ml διηθήματος και διαβρέχουμε το διηθητικό χαρτί που έχουμε τοποθετήσει στο τριβλίο. Έπειτα τοποθετούμε 10 σπόρους κάρδαμου σε αραιή διάταξη μεταξύ τους. Κάνουμε τρεις επαναλήψεις για το δείγμα μας και άλλες τρεις επαναλήψεις για το μάρτυρα (απιονισμένο νερό). Τα τοποθετούμε στον επωαστικό θάλαμο για τρεις ημέρες (72 h) στους 20°C. Μετά το τέλος των τριών αυτών ημερών μετράμε στο τριβλίο τον αριθμό των σπόρων που έχουν βλαστήσει καθώς και το μέγεθος των ριζών σε mm.

Πίνακας 6.2.5: Χαρακτηρισμός εδάφους βάσει του ποσοστού δείκτη βλαστικότητας.[29]

Δείκτης Βλαστικότητας	Χαρακτηρισμός
0-65 %	Φυτοτοξικό
66-100 %	Μη φυτοτοξικό
>100 %	Φυτοδιεγερτικό

Γ) Καλλιέργεια μαρουλιών

Η καλλιέργεια του μαρουλιού είχε στόχο την μελέτη της ανάπτυξης των προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η χρήση του κομποστοποιημένου υλικού από εργοστάσιο μηχανικής διαλογής απορριμμάτων είναι κατάλληλο για γεωργική χρήση.

Για την αξιολόγηση της θρεπτικής του κατάστασης επιλέχθηκε το μαρούλι (*Lactuca, sativa*) λόγω κάποιων χαρακτηριστικών του, τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

Το μαρούλι είναι ετήσιο, ποώδες φυτό γρήγορης ανάπτυξης της οικογένειας Compositae. Η ρίζα του είναι πασσαλώδης με μήκος έως μισό μέτρο. Τα φύλλα του βγαίνουν από το βλαστό που είναι κοντός, χρώματος ανοιχτοπράσινου ή βαθυπράσινου. Τα μαρούλια είναι λεία, στρογγυλά ή κατσαρά. Η άνθηση του μαρουλιού γίνεται σταδιακά και οι καρποί του βγαίνουν 10-15 μέρες μετά την άνθηση. Τα μαρούλια πολλαπλασιάζονται με σπόρο. Η σπορά γίνεται σε φυτώρια ή σπορεία και σε 15 περίπου μέρες τα φυτάρια είναι έτοιμα για μεταφύτευση. Ευδοκιμεί σε δροσερές θερμοκρασίες και δεν αντέχει στη ζέστη. Στην Ελλάδα καλλιεργείται από το φθινόπωρο μέχρι την Άνοιξη, και το καλοκαίρι σε ψυχρότερα κλίματα. Για την επιτυχία στην καλλιέργεια πρέπει να υπάρχει αρκετή εδαφική υγρασία, καλός φωτισμός και δροσερές νύχτες. Οι κεφαλές γίνονται χαλαρές, όταν βρέχει στην εποχή σχηματισμού τους, ενώ όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές προκαλούν την επιμήκυνση του στελέχους, οπότε η ποιότητά τους μειώνεται.

Το μαρούλι αναπτύσσεται σωστά κάτω από τις παρακάτω συνθήκες:

Θερμοκρασία - Φωτισμός Η άριστη θερμοκρασία για την βλάστηση των σπόρων είναι μεταξύ 15 – 21°C. Το μαρούλι γενικά είναι φυτό ψυχρής εποχής και μπορεί να αντέξει και σε χαμηλές θερμοκρασίες, δηλαδή έως -5°C. Ο φωτισμός είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη βλάστηση των σπόρων καθώς και για την περαιτέρω ανάπτυξη του. Στην Ελλάδα, ο φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του φυτού λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, γι' αυτό και δεν χρειάζεται επιπλέον τεχνητός φωτισμός.

Έδαφος – Πότισμα Το μαρούλι έχει υψηλές απαιτήσεις στο έδαφος. Επομένως, χρειάζεται εδάφη πολύ γόνιμα, πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, με καλή αποστράγγιση και πλούσια σε οργανική ουσία. Τα πιο κατάλληλα εδάφη για την καλλιέργεια του μαρουλιού είναι τα αμμοπηλώδη. Το λαχανικό αυτό δεν ανέχεται τα εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων γιατί προκαλεί καθυστέρηση στην ανάπτυξη του φυτού και υποβάθμιση της ποιότητας των φύλλων. Λόγω του επιφανειακού ριζώματος του μαρουλιού η συχνότητα των ποτισμάτων του πρέπει να είναι τακτική με μικρές ποσότητες νερού. Με αυτό τον τρόπο παραμένει συνεχώς υγρό το επιφανειακό έδαφος που είναι αναγκαίο για την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού

Η πρώτη πειραματική καλλιέργεια μαρουλιού πραγματοποιήθηκε στο χώρο του Τ.Ε.Ι. Χανίων από 26/07/2007 έως 2/08/2007 σε υπόστρωμα ώριμου κομπόστ από κομποστοποιημένο υλικό του εργοστασίου μηχανικής ανακύκλωσης και κομποστοποίησης Χανίων με αριθμό δειγμάτων 10 γλάστρες συνολικά.

Μη γνωρίζοντας ακόμα τη φύση του κομπόστ και έχοντας διαπιστώσει την μη φυτοτοξικότητα του κομπόστ σε σπόρους κάρδαμου και αγγουριού επιλέξαμε η αναλογία να είναι 100% σε κομπόστ. Όπως προέκυψε όμως από τις μετρήσεις της τρίτης καλλιέργειας αυτό το ποσοστό είναι ακατάλληλο για καλλιέργεια.

Η καλλιέργεια διατηρήθηκε στον εξωτερικό χώρο του εργαστηρίου. Η περίοδος καύσωνα που ακολούθησε κατέστρεψε ολοσχερώς το πειραματικό υλικό καθώς δε υπήρξε η δυνατότητα προστασίας των φυτών από θερμοκρασίες 40°-42°C.

Στη δεύτερη συνεχόμενη καλλιέργεια ξεκίνησε στις 3/8/2007 έως τις 29/8/2007 εξακολούθησε να είναι το ίδιο υπόστρωμα σε ποσοστό (100% κομπόστ), με την ίδια κατάληξη δηλαδή τον μαρασμό των μαρουλιών εντός μικρού χρονικού διαστήματος. (η πρώτη καλλιέργεια διατηρήθηκε 1 εβδομάδα ενώ η δεύτερη για τρεις).

Η δεύτερη πειραματική καλλιέργεια έγινε στο ίδιο υπόστρωμα, όπου είχαν γίνει οι πρώτες φυτεύσεις, πιθανότατα τα υποστρώματα να είχαν εκπλυθεί και έτσι το υπόστρωμα του κομπόστ να ήταν πιο ελαφρύ όσον αφορά τα θρεπτικά του στοιχεία (π.χ.ανταλλάξιμο νάτριο) και έτσι οι καλλιέργειες να άντεξαν λίγο περισσότερο καιρό.

Υπήρχε πάλι ο ίδιος αριθμός δειγμάτων 10 γλάστρες και επίσης φυτεύτηκαν μαρούλια σε κοκκινόχωμα ως μάρτυρες για τη σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων με κομπόστ και των δειγμάτων με έδαφος (κοκκινόχωμα). Η ανάπτυξη του μαρουλιού στο έδαφος ήταν η αναμενόμενη όμως στο σημείο όπου είχαν τοποθετηθεί δεν είχαν αρκετό φωτισμό και έτσι παρουσιάστηκε το φαινόμενο της εκχλίωσης.

Αυτό το φαινόμενο παρουσιάστηκε και στην τρίτη καλλιέργεια λόγω του ότι η καλλιέργεια βρισκόταν σε κλειστό χώρο και προφανώς ο τεχνητός φωτισμός δεν ήταν αρκετός για την σωστή ανάπτυξη του μαρουλιού.

Στο παράρτημα «φωτογραφικό υλικό» παρατίθενται κάποιες εικόνες από τις προηγούμενες φυτεύσεις, στις οποίες φαίνεται ξεκάθαρα ότι το υπόστρωμα από κομπόστ σε αναλογία 100% είναι ακατάλληλο για τη καλλιέργεια των μαρουλιών.

Η τρίτη πειραματική καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. από 17/12/2007 έως 4/3/2008.

Από τις προηγούμενες πειραματικές φυτεύσεις εφόσον είχε διαπιστωθεί η ακαταλληλότητα χρήσης του κομπόστ σε ποσοστό 100% στην τρίτη καλλιέργεια το υπόστρωμα που δημιουργήθηκε ήταν σε αναλογία 60:40 (έδαφος:κομπόστ).

Πίνακας 6.2.6 αναλογιών υποστρώματος ανά επέμβαση:

Υλικά	Υπόστρωμα αναλογία (%)	Μάρτυρας	Κομπόστ
Έδαφος	60	100	0
Κομπόστ	40	0	100

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα υποστρώματα με αναλογία εδάφους-κομπόστ 60-40 και έδαφος σε αναλογία 100% διότι όπως ήταν αναμενόμενο βάσει προηγούμενων πειραματικών καλλιεργειών τα δείγματα που βρίσκονταν στο υπόστρωμα 100% κομπόστ ξεράθηκαν μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

6.3 Αποτελέσματα:

6.2.α: pH

Όταν το έδαφος έχει pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζεται σαν αλκαλικής αντιδράσεως. Εδάφη με pH υψηλότερο του 7,5 αρχίζουν να δημιουργούν προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών εξαιτίας της επίδρασης που ασκείται στην αφομοιωσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Έτσι σε υψηλές τιμές pH ο σίδηρος, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος είναι μη αφομοιώσιμα. Για το μολυβδαίνιο αντίθετα από τα προηγούμενα στοιχεία, με την αύξηση του pH του εδάφους αυξάνεται και η αφομοιωσιμότητα του. Εδάφη με pH υψηλότερο του 8.5 κατά κανόνα περιέχουν μεγάλες ποσότητες νατρίου και επιβάλλεται η εξυγίανσή τους. Όταν το έδαφος έχει τιμή pH μικρότερο από 7 χαρακτηρίζεται σαν όξινης αντιδράσεως. Η καλύτερη περιοχή pH για την ανάπτυξη των φυτών είναι από 6-6,5. Τα περισσότερα όμως φυτά μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς πρόβλημα σε εδάφη με τιμές pH μεταξύ 5,5-8,4.[29]

Εδάφη με pH χαμηλότερο του 5,5 παρουσιάζουν προβλήματα έλλειψης κυρίως φωσφόρου, ενώ είναι πολύ πιθανό σε αυτά να εκδηλωθούν και προβλήματα τοξικών συγκεντρώσεων κυρίως αργιλίου και δευτερευόντως μαγγανίου, σιδήρου και άλλων μετάλλων.

Όσον αφορά το pH, τα όρια στα οποία αναπτύσσονται τα καλλιεργούμενα φυτά είναι περίπου 5-9. Συνήθως μια τιμή τελικού προϊόντος κοντά στο ουδέτερο pH, (7), εξυπηρετεί τα περισσότερα φυτά. Το κομπόστ, του οποίου το pH είναι συνήθως ελαφρά αλκαλικό, παίζει ρυθμιστικό ρόλο στο pH του εδάφους, κυρίως στα όξινα εδάφη.

Για το αρχικό δείγμα κομπόστ pH μετρήθηκε και βρέθηκε ίσο με 8,43

Η κωδικοποίηση των δειγμάτων έχει ως εξής:

K_{πρ.παρτ.}= Ακαλλιέργητο κομπόστ πρώτης παρτίδας

K= Ακαλλιέργητο κομπόστ

X= Ακαλλιέργητο κοκκινόχωμα

M= Ακαλλιέργητο μείγμα

M1= Καλλιεργημένο μείγμα

M2= Καλλιεργημένο μείγμα

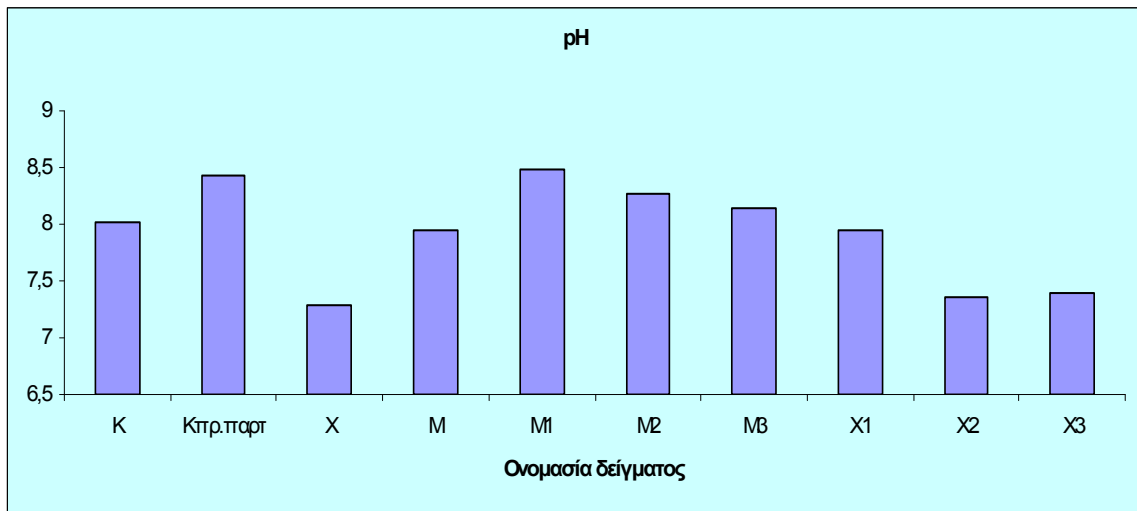
M3= Καλλιεργημένο μείγμα

X1= Καλλιεργημένο κοκκινόχωμα

X2= Καλλιεργημένο κοκκινόχωμα

X3= Καλλιεργημένο κοκκινόχωμα

Από τη μέτρηση του pH προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.5



Διάγραμμα 6.2.5: pH δειγμάτων

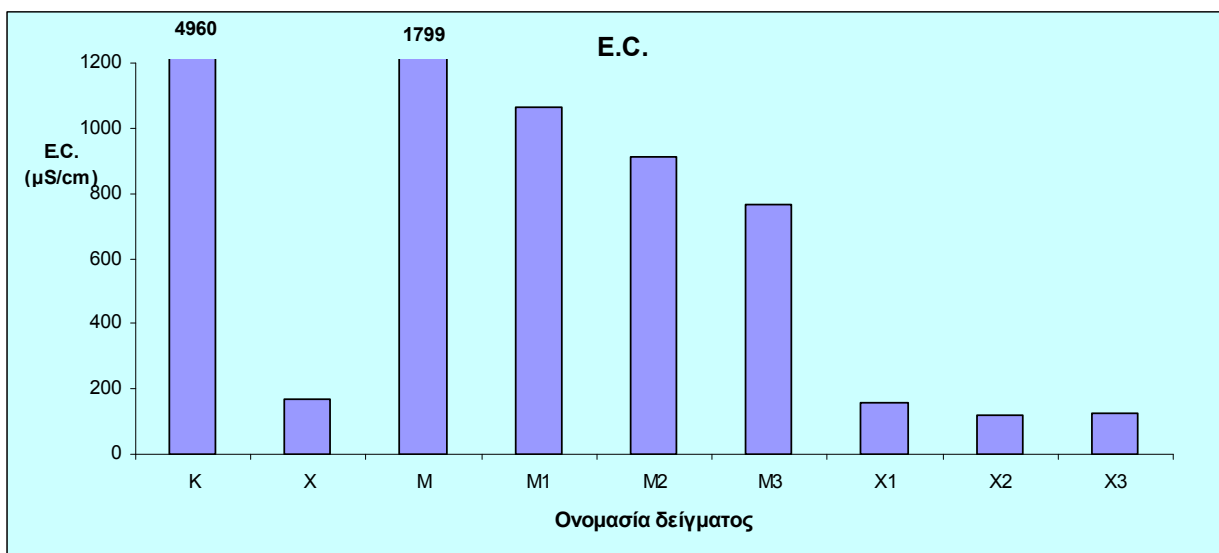
Σε αυτό το διάγραμμα βλέπουμε ότι το pH για τα καλλιεργημένα δείγματα (M1, M2, M3) είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με το ακαλλιέργητο δείγμα. Το αρχικό δείγμα κομπόστ έχει pH στο 8 ενώ τα καλλιεργημένα γύρω στο 8,5. Το ίδιο συμβαίνει και στα δείγματα του καλλιεργημένου κοκκινόχωματος (X1, X2, X3) δηλαδή ενώ το αρχικό δείγμα είχε pH γύρω στο 7,2 βλέπουμε ότι αυξάνεται στη συνέχεια φτάνοντας μέχρι και το 8.

- Για την μηχανική σύσταση του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε βρέθηκε ότι το έδαφος ήταν ιλυσωαργιλώδες.

Βάσει του τύπου και του τριγωνικού διαγράμματος 6.2.3 των εδαφών μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια του μαρουλιού (κοκκινόχωμα) ως **ιλυσωαργιλώδες**. Τα ιλυσωαργιλώδη εδάφη χαρακτηρίζονται ως «βαριά».

- Από τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.) προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.6

Η τιμή $E.C_{ex}=4$ mmho/cm (ή dS/m) θεωρείται οριακή κάτω από την οποία τα εδάφη δεν παρουσιάζουν πρόβλημα αλατότητας, ενώ εδάφη με $E.C_{ex}$ μεγαλύτερη από την τιμή αυτή χαρακτηρίζονται ως αλατούχα και οι διάφορες καλλιέργειες ανάλογα με την αντοχή τους, παρουσιάζουν προβλήματα που οφείλονται στις μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων. [29,30,31]



Διάγραμμα 6.2.6: E.C. δειγμάτων

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται ότι το ακαλλιέργητο κομπόστ έχει υψηλότερη αγωγιμότητα από το ακαλλιέργητο χώμα και από το ακαλλιέργητο μείγμα (σχεδόν τέσσερις φορές μεγαλύτερη) που χρησιμοποιήθηκε.

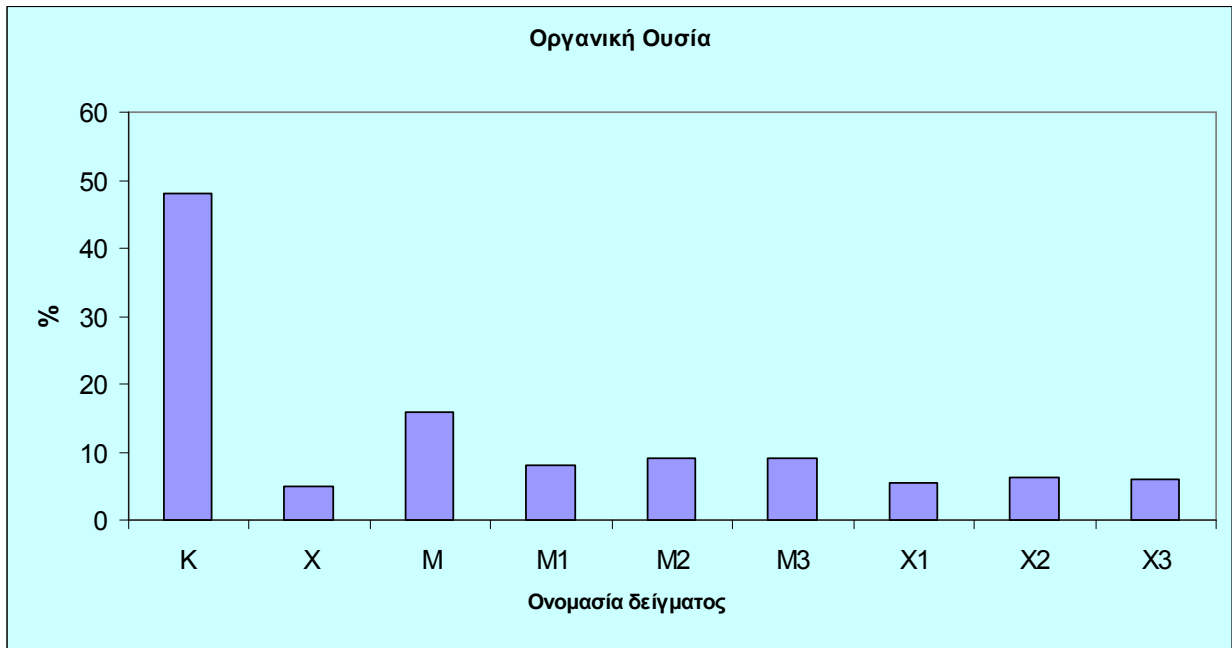
Με την μετατροπή της τιμής σε mmho/cm (ή dS/m) έχουμε για την τιμή του κομπόστ $\text{E.C.}=4,96 \text{ dS/m}$.

- Από την μέτρηση της οργανικής ουσίας προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα.

Σαν οργανική ουσία του εδάφους ορίζεται το σύνολο της φυτικής και ζωικής προέλευσης υπολειμμάτων ή απορριμμάτων που ενσωματώνονται στο έδαφος, όπως π.χ. ρίζες, φύλλα, βλαστοί, διάφοροι ζωντανοί ή νεκροί μικροοργανισμοί, κοπριά ζώων κ.τ.λ., ανεξάρτητα από το στάδιο αποσύνθεσης τους.

Τα εδάφη, που η περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία φτάνει σε ποσοστό μέχρι και 20% χαρακτηρίζονται σαν ανόργανα, ενώ εκείνα στα οποία το ποσοστό αυτό είναι υψηλότερο χαρακτηρίζονται σαν οργανικά. Το ποσοστό της οργανικής ουσίας των περισσότερων Ελληνικών εδαφών κυμαίνεται μεταξύ 1 -2,5%. [29]

Από τη μέτρηση της οργανικής ουσίας προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.7



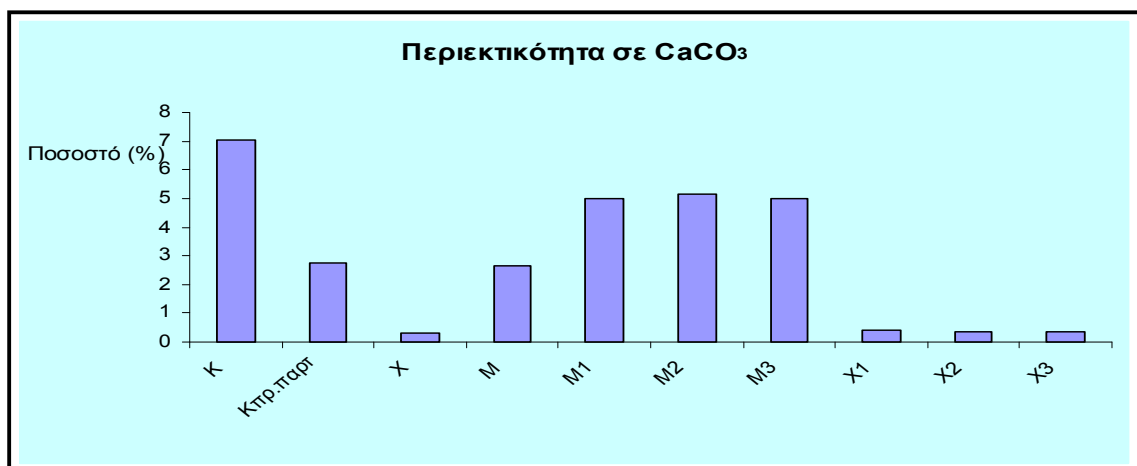
Διάγραμμα 6.2.7: περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των δειγμάτων

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το κομπόστ έχει μεγάλη συγκέντρωση οργανικής ουσίας (ακαλλιέργητο κομπόστ 45-50 % οργανική ουσία) γι'αυτό και η χρήση του είναι επιθυμητή σε καλλιέργειες.

Παρατηρούμε επίσης ότι το κοκκινόχωμα σε σχέση με το κομπόστ έχει πολύ μικρό ποσοστό οργανικής ουσίας.

- Από τη μέτρηση του ανθρακικού ασβεστίου προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.8

Ως ασβεστούχα εδάφη χαρακτηρίζονται τα εδάφη τα οποία περιέχουν CaCO_3 σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10 %. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε CaCO_3 επηρεάζει καθοριστικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών αυτών, όπως τις σχέσεις εδάφους νερού και τη δυνατότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων. Περιεκτικότητες σε ανθρακικό ασβέστιο μικρότερες του 10% συνήθως δεν επηρεάζουν αρνητικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να ενταχθούν στην κατηγορία των προβληματικών εδαφών.[29,31]



Διάγραμμα 6.2.8: περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) των δειγμάτων.

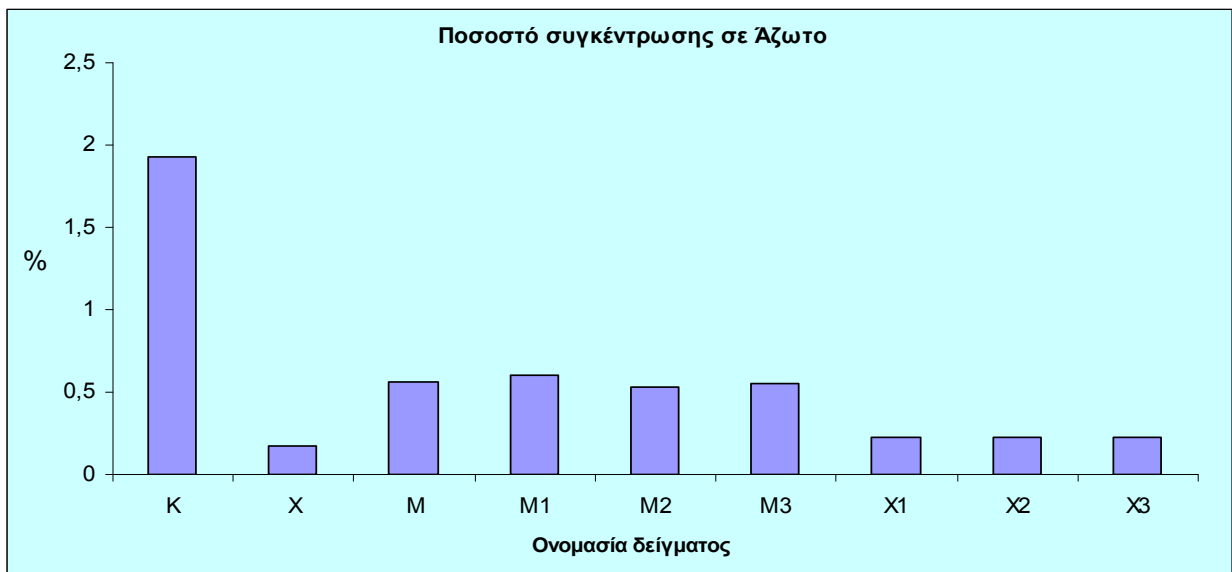
- Από τη μέτρηση του B.O.D.₅ η τιμή του οποίου βρέθηκε ίση με 1200 mg/L O₂ διακρίνουμε τον υψηλό κίνδυνο που διατρέχουν οι υπόγειοι υδροφορείς σε περίπτωση βαθιάς διήθησης της έκπλυσης του κομπόστ σε γεωργικές εκτάσεις με μεγάλη κλίση.
- Από τα τεστ φυτοτοξικότητας από το πρώτο δείγμα του κομποστοποιημένου υλικού προέκυψε φυτοτοξικότητα στους σπόρους της ντομάτας, ενώ στους σπόρους του αγγουριού και τους σπόρους κάρδαμου έδειξε ότι είναι μη φυτοτοξικό με δείκτη βλαστικότητας περίπου στο 90%. Για το δεύτερο δείγμα το τεστ φυτοτοξικότητας έδειξε ότι το δείγμα του υλικού είναι μη φυτοτοξικό με δείκτη βλαστικότητας περίπου 100%.

Παρακάτω παρατίθενται οι επιπλέον μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δεύτερο δείγμα που πάρθηκε από τις εγκαταστάσεις του εργοστασίου της Δ.Ε.Δ.Ι.Σ.Α. στις 16/12/2007.

- **Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl.**

Το άζωτο απαντάται στο έδαφος υπό μορφή οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Το άζωτο των οργανικών ενώσεων αντιπροσωπεύει το 98% περίπου του ολικού και το υπόλοιπο 2% το άζωτο των ανόργανων ενώσεων.

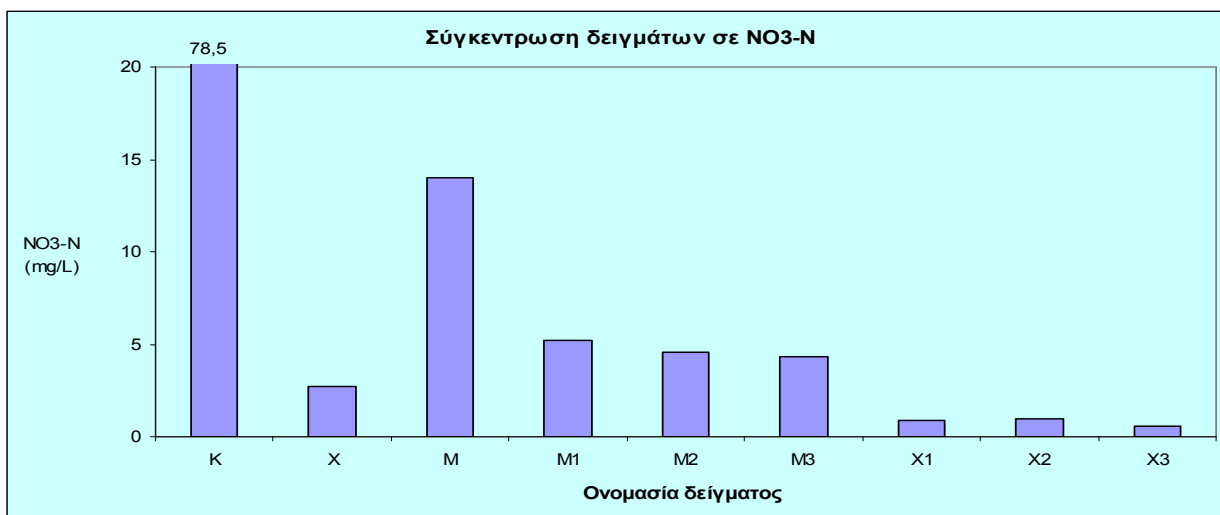
Από τη μέτρηση της συγκέντρωσης του αζώτου προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.9



Διάγραμμα 6.2.9: περιεκτικότητα σε άζωτο των δειγμάτων

Σε αυτό το διάγραμμα μπορούμε να δούμε ότι η περιεκτικότητα του ακαλλιέργητου κομπόστ σε άζωτο δεν ξεπερνάει το 2%. Ενώ στα υπόλοιπα δείγματα είναι κάτω από το 1%. Γνωρίζοντας ότι το ποσοστό άνθρακα είναι περίπου 24% (προκύπτει από το τύπο $C\% = VS\% \cdot 0,5$) Επομένως μπορούμε άμεσα να δούμε ότι ο λόγος C/N είναι γύρω στο 1:15.

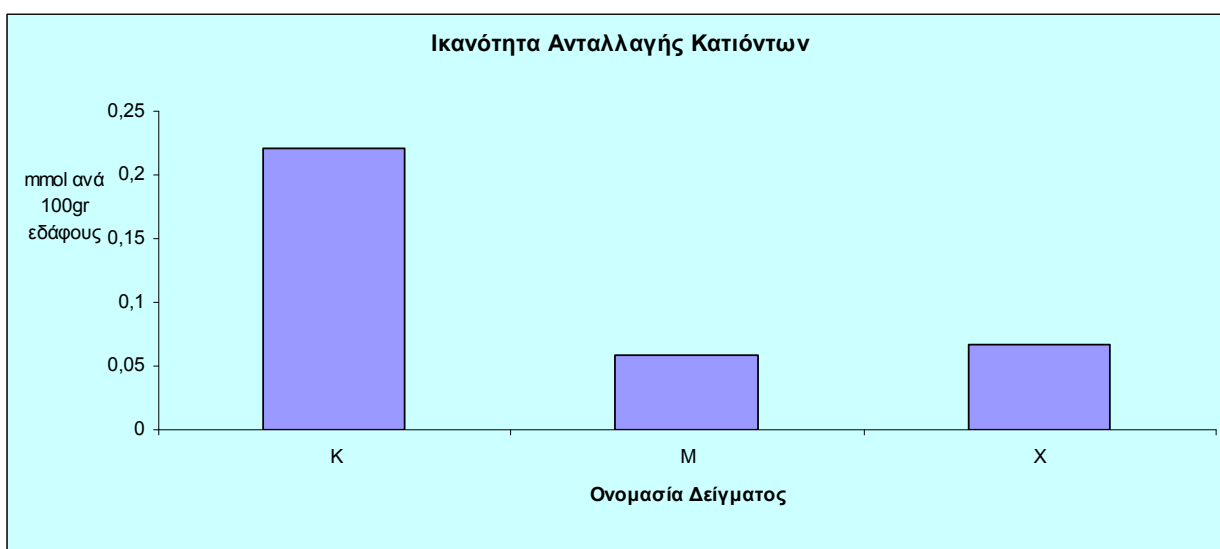
- Από τη μέτρηση της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.10



Διάγραμμα 6.2.10: περιεκτικότητα νιτρικό αζώτου στα δείγματα

Εδώ μετρήθηκε το αφομοιώσιμο νιτρικό άζωτο όλων των δειγμάτων. Παρατηρούμε ότι ενώ η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στο ακαλλιέργητο κομπόστ είναι υψηλή δεν συμβαίνει το ίδιο και στα καλλιεργημένα δείγματά μας.

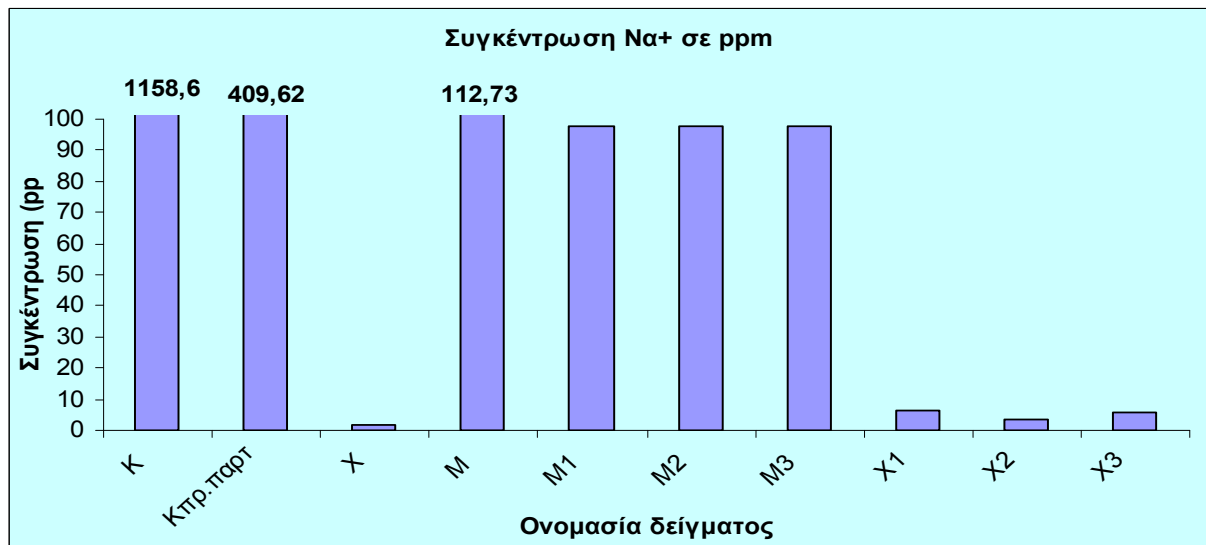
- Από τη μέτρηση της Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων προέκυψαν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.2.11



Διάγραμμα 6.2.11 : Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων στα ακαλλιέργητα δείγματα

Παρατηρείται ότι το ακαλλιέργητο κομπόστ έχει τιμή Ι.Α.Κ. διπλάσια του χώματος που χρησιμοποιήθηκε. Αυτό δηλώνει ότι μεγάλο ποσοστό από τα περιεχόμενα θρεπτικά στοιχεία (και όχι μόνο) έχουν την ικανότητα να απορροφηθούν από το είδος που καλλιεργείται κάθε φορά.

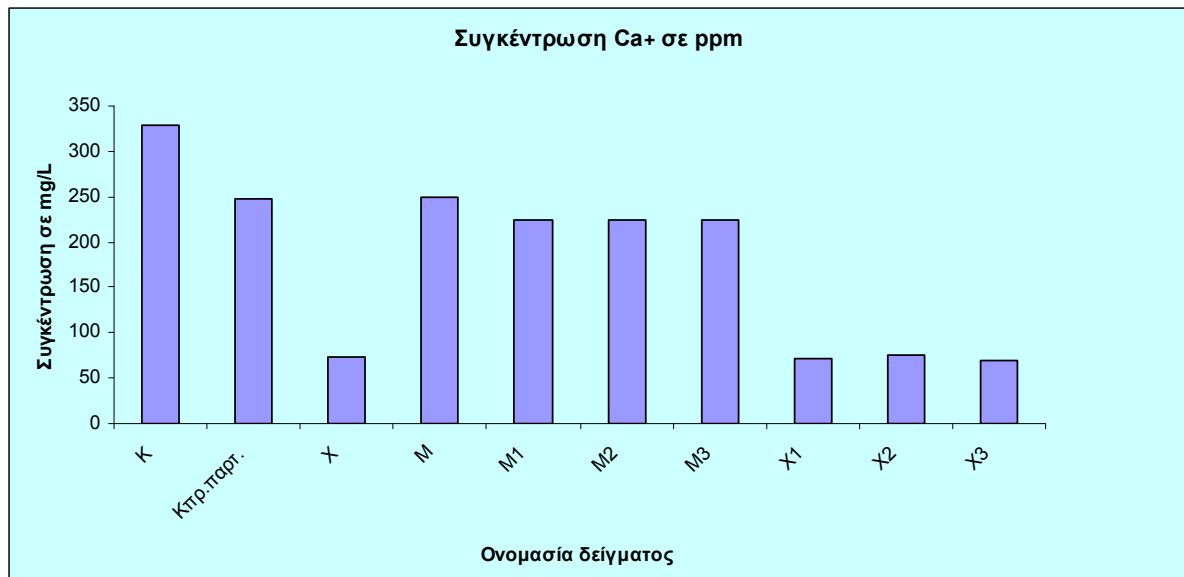
- Στο διάγραμμα 6.2.12 βλέπουμε τη συγκέντρωση Na^+ των δειγμάτων:



Διάγραμμα 6.2. 12: συγκέντρωση Na^+ των δειγμάτων

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι στα καλλιεργημένα δείγματα (Μ1, Μ2, Μ3) αυτή η συγκέντρωση (Na^+) εξακολουθεί να είναι αρκετά υψηλή. Η υψηλή συγκέντρωση νατρίου (Na^+) είναι γνωστό ότι δημιουργεί συμπτώματα τοξικότητας στα φυτά καθώς αποτελεί αιτία νατρίωσης του εδάφους. Επίσης και η συγκέντρωση για το πρώτο δείγμα είναι αρκετά υψηλή. Μπορούμε να δούμε ότι οι συγκεντρώσεις Na^+ των ακαλλιεργητων κομπόστ είναι υψηλότερες σε σχέση με το ακαλλιέργητο χώμα .

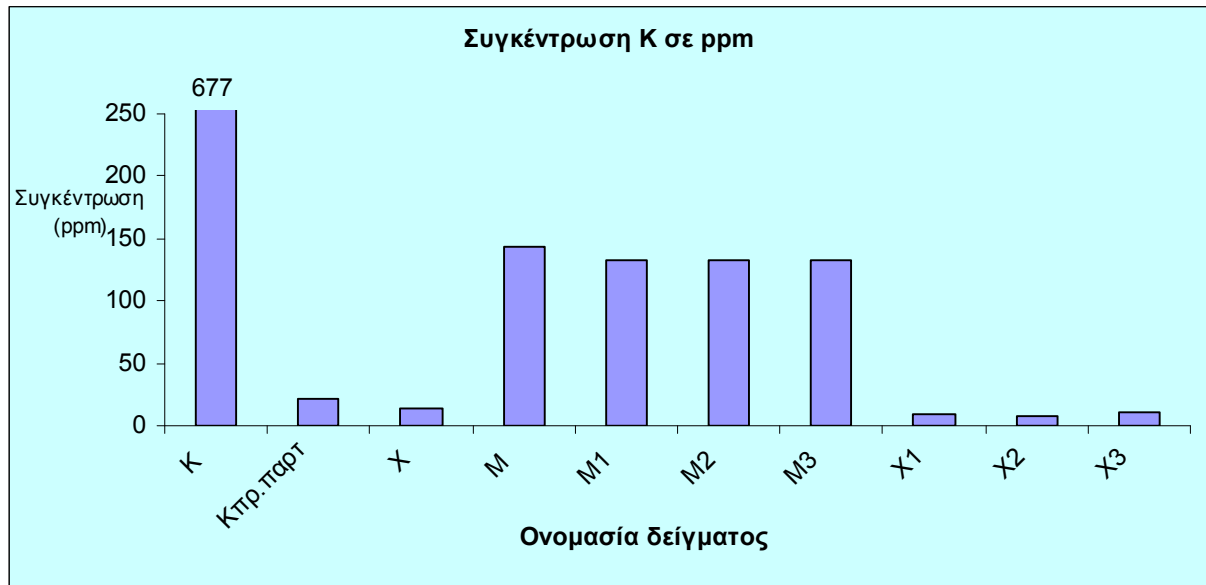
- Στο διάγραμμα 6.2.13 βλέπουμε τη συγκέντρωση Ca^+ των δειγμάτων:



Διάγραμμα 6.2.13: Συγκέντρωσης Ca^+ των δειγμάτων

Το παραπάνω διάγραμμα δίνει μία σαφή εικόνα για την περιεκτικότητα του ασβεστίου.

- Στο διάγραμμα 6.2.14 βλέπουμε τη συγκέντρωση Κ των δειγμάτων:

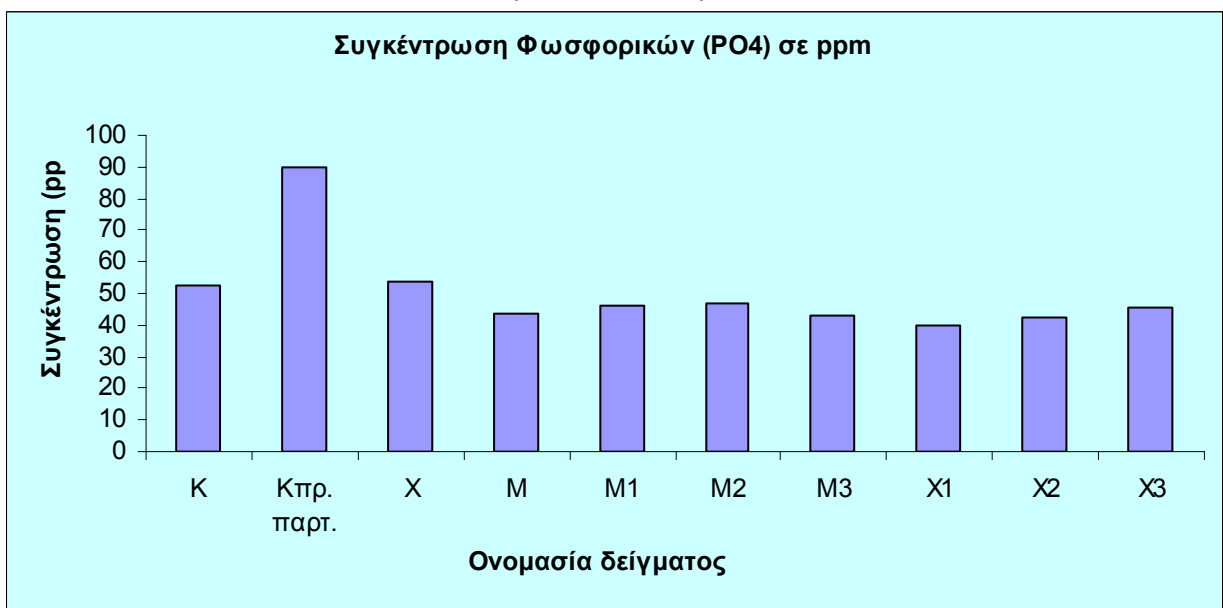


Διάγραμμα 6.2.14 Συγκέντρωσης Κ των δειγμάτων

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι ενώ οι συγκεντρώσεις σε κάλιο στο ακαλλιέργητο κομπόστ είναι αρκετά υψηλή, στο ακαλλιέργητο μείγμα πέφτει αυτή η τιμή και παραμένει η ίδια μετά τη καλλιέργεια με μία ελάχιστη μείωση της συγκέντρωσης. Το ίδιο συμβαίνει και στα δείγματα του έχουν φυτευτεί στο έδαφος.

Επίσης παρατηρούμε ότι η τιμή της συγκέντρωσης του καλίου για το πρώτο δείγμα που πήραμε σε σχέση με τη δεύτερη παρτίδα είναι πολύ μικρή, σχεδόν ίση με τη συγκέντρωση του εδάφους.

- Στο διάγραμμα 6.2.15 βλέπουμε τη συγκέντρωση σε φωσφορικά (PO_4) των δειγμάτων:



Διάγραμμα 6.2.15: Συγκέντρωση Φωσφορικών (PO_4) των δειγμάτων

Στο διάγραμμα 6.2.15 παρατηρούμε ότι η τιμή για τα PO₄ για το ακαλλιέργητο κομπόστ είναι χαμηλότερη σε σχέση με το ακαλλιέργητο δείγμα του εδάφους. Αυτές οι συγκεντρώσεις παραμένουν σχεδόν οι ίδιες με μία μικρή πτώση αυτών.

Για το πρώτο δείγμα που πήραμε από τις εγκαταστάσεις της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. βρήκαμε τη συγκέντρωση των φωσφορικών ίση με 90 mg/L.

Υπενθυμίζουμε ότι τα φύλλα του μάρτυρα υπέστησαν το φαινόμενο της εκχλίωσης λόγω περιορισμένου φωτισμού.

▪ **Βοτανικά χαρακτηριστικά**

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μήκος και πλάτος φύλλου καθώς και ο αριθμός μικρών και μεγάλων φύλλων ανά φυτό φαίνονται στον πίνακα 6.2.7 και 6.2.8

Πίνακας 6.2.7: Διαστάσεις φύλλων μαρουλιού μετά από 86 ημέρες φύτευσης:

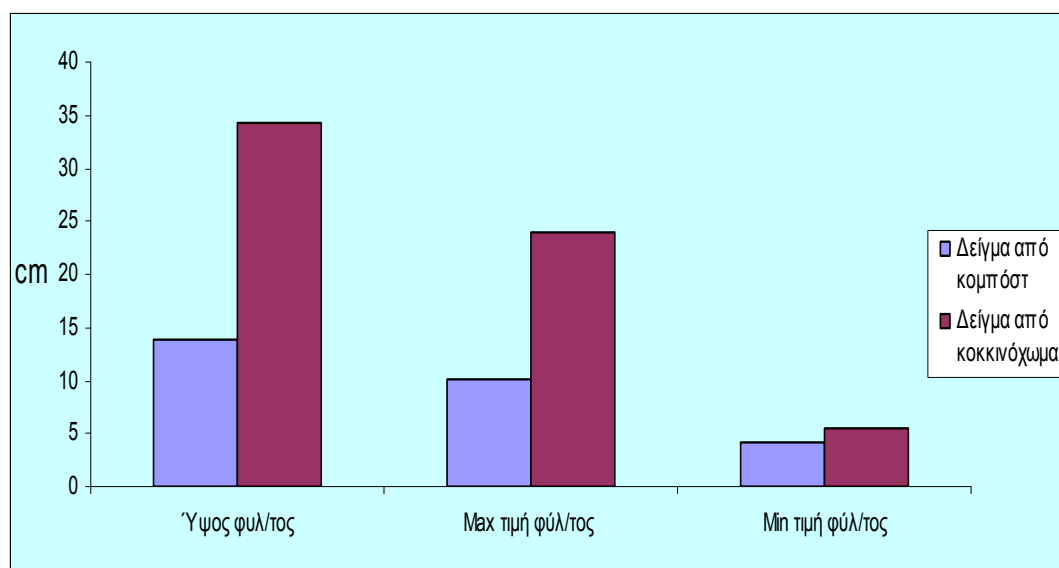
Όνομασία δείγματος	Μήκος φυλλώματος	Πλάτος φυλλώματος		Αριθμός μεγάλων φύλλων	Αριθμός μικρών φύλλων	Χρώμα φυλλώματος
		Max τιμή	Min. τιμή			
Δείγμα από μείγμα 1 (M1)	13	8,7	3	3	4	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 2 (M2)	11,5	7,2	4	3	3	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 3 (M3)	12,9	9,6	2,5	4	4	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 4 (M4)	20,04	15,7	9	6	5	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 5 (M5)	12	9,4	2,5	4	5	Πράσινο
M.O	13,9	10,12	4,2	4	4	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 1 (X1)	38,3	25	5,1	5	8	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 2 (X2)	37,5	29	5	7	6	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 3 (X)	29,4	22,6	4,7	7	5	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 4 (X4)	29	20	6	7	7	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 5 (X5)	37,3	23	7	6	7	Πράσινο
M.O	34,3	23,9	5,56	6	7	Πράσινο

Πίνακας 6.2.8: Διαστάσεις φύλλων μαρουλιού μετά από 93 ημέρες φύτευσης:

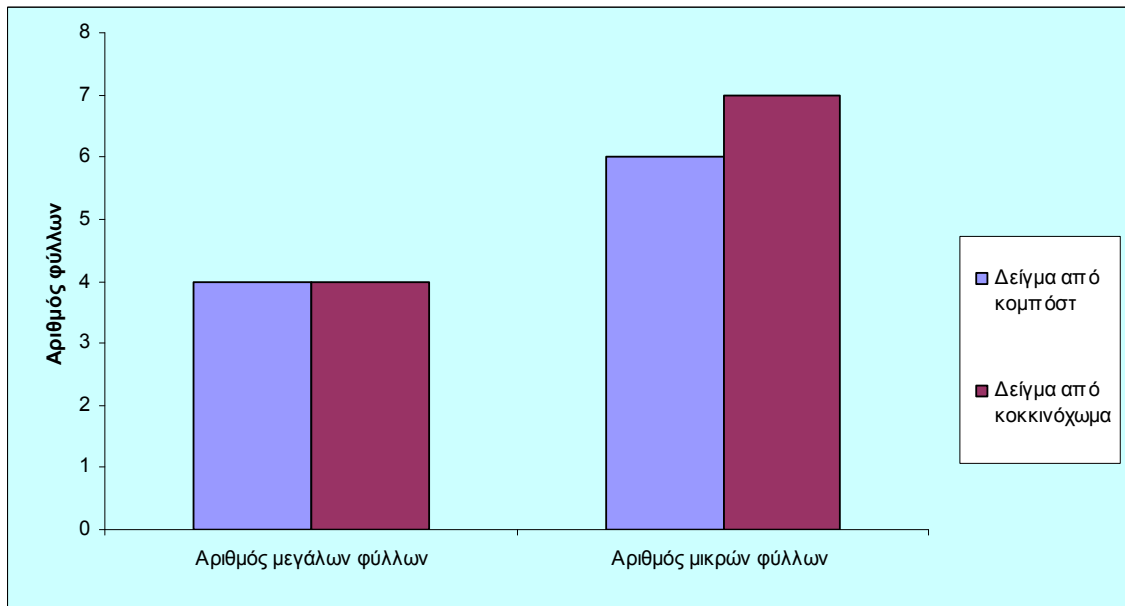
Όνομασία δείγματος	Μήκος φυλλώματος	Πλάτος φυλλώματος		Αριθμός μεγάλων φύλλων	Αριθμός μικρών φύλλων	Χρώμα φυλλώματος
		Max τιμή	Min. τιμή			
Δείγμα από μείγμα 1 (M1)	14,8	12,5	5	4	5	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 2 (M2)	12,1	10,4	5,9	5	3	Πράσινο

Δείγμα από μείγμα 3 (M3)	14	12	4,5	3	6	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 4 (M4)	13,4	9,5	3,2	4	4	Πράσινο
Δείγμα από μείγμα 5 (M5)*	5,7	-	-	-	-	Πράσινο
M.O.	13,6	11,1	4,65	4	5	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 1 (X1)	36,8	29	8	6	10	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 2 (X2)	37,9	19,5	15	7	8	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 3 (X3)	39	24,5	6,5	6	10	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 4 (X4)	34	26,5	7,5	5	12	Πράσινο
Δείγμα από Χώμα 5 (X5)	29,2	21,5	7	4	7	Πράσινο
M.O	35,4	26,4	8,8	6	9	Πράσινο

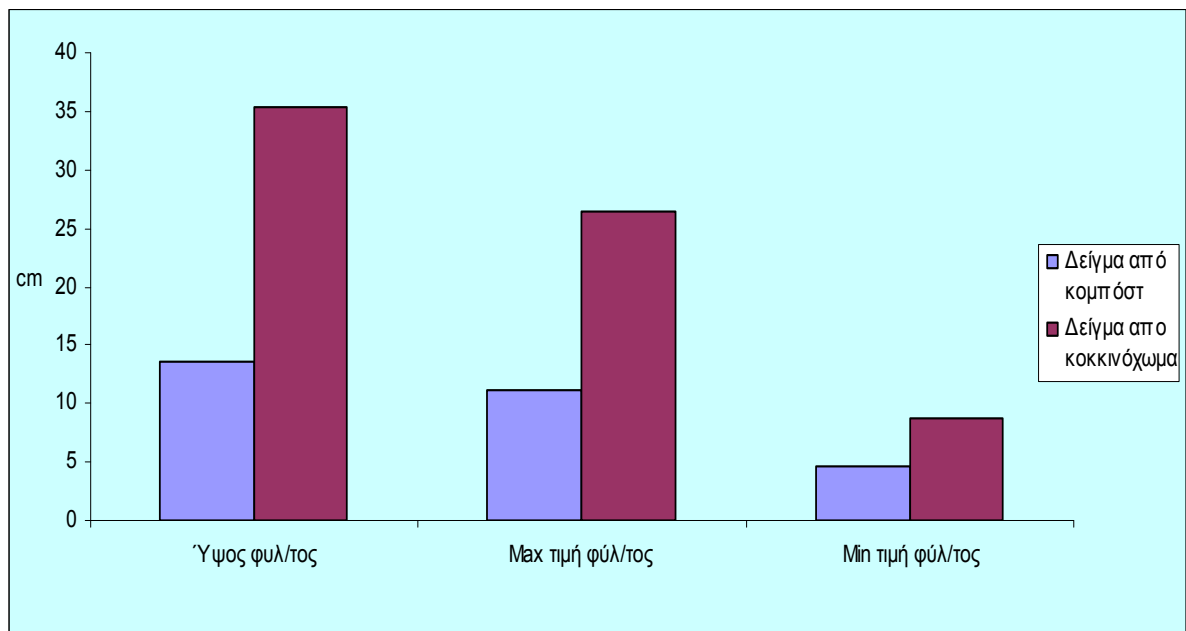
*λόγω του ότι το φυτό αυτό είχε ήδη μαραθεί κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας δεν υπολογίστηκε στις μετρήσεις.



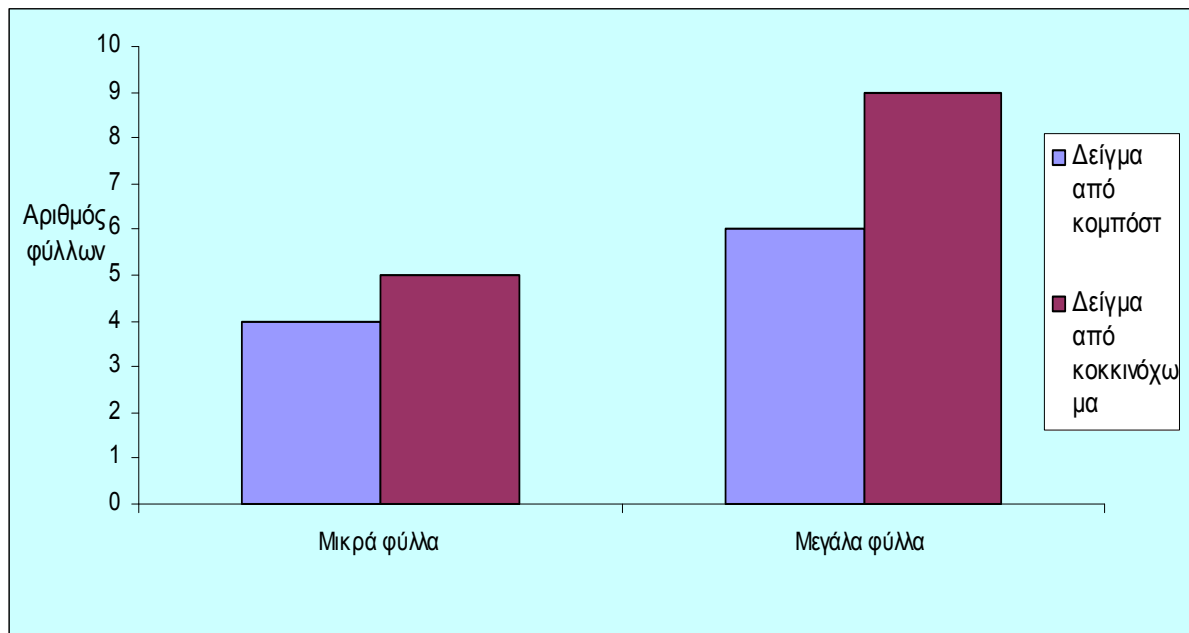
Διάγραμμα 6.2.19: συγκριτική αξιολόγηση των φυλλωμάτων μετά από 86 ημέρες φύτευσης



Διάγραμμα 6.2.20: συγκριτική αξιολόγηση του αριθμού των φυλλωμάτων μετά από 86 ημέρες φύτευσης



Διάγραμμα 6.2.21: συγκριτική αξιολόγηση των φυλλωμάτων μετά από 93 ημέρες φύτευσης



Διάγραμμα 6.2.21: συγκριτική αξιολόγηση του αριθμού των φυλλωμάτων μετά από 93 ημέρες φύτευσης

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα:

Η συζήτηση που ακολουθεί αναφέρεται στα δεδομένα της τελευταίας φάσης των δοκιμών με το μείγμα του κομποστοποιημένου υλικού και το δείγμα εδάφους.

Το κομπόστ, ως προϊόν της μονάδας κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων) του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων φάνηκε πλούσιο σε οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό και υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών.

Η ποιότητα του παραγόμενου κομπόστ και η δυνατότητα διάθεσής του είναι καθοριστικές για την επιτυχία της μονάδας κομποστοποίησης αλλά και για την αποδοχή και εξέλιξη της μεθόδου στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζουμε την κοκκομετρική σύσταση του δείγματος από το Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων :

Πίνακας 7.1 :κοκκομετρική σύσταση του κομποστοποιημένου υλικού

Κλάσματα	Ωριμο κομπόστ	Ξένες ύλες
Κλμ>10mm	9,95%	Τεμαχίδια πλαστικού
10>κλμ>6,3mm	14,12%	Τεμαχίδια αλουμ/χαρτου
6.3>κλμ>4mm	14,46%	Τεμαχίδια πλαστικού
4>κλμ>1,4 mm	35,31%	Τεμαχίδια γυαλιού
Κλμ<1,4mm	26,16%	Τεμαχίδια γυαλιού
Κλμ=κλάσμα		

Ως προς την κοκκομετρία του το κομπόστ, από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, ως ώριμο κομπόστ αποτελείται από τεμαχίδια μικρότερα των 6,3 mm, σε ποσοστό 80% περίπου κατά βάρος και χαρακτηρίζεται λεπτόκοκκο.

Από τα δεδομένα των εργαστηριακών αναλύσεων του δεύτερου δείγματος βλέπουμε ότι η γενική εικόνα για το συγκεκριμένο δείγμα του κομποστοποιημένου υλικού είναι η εξής:

Πίνακας 7.2 :Φυσικά χαρακτηριστικά κομποστοποιημένου υλικού

Παράμετρος	Τιμή	Επιτρεπτά όρια
Υγρασία (%)	35-40%	<40%
pH	8	6-8
E.C	4.9 mS/cm	>5 mS/cm
Περιεκτικότητα σε γυαλί	<0,1%	< 0,5 %
Κοκκομετρική διαβάθμιση για το 90% κατά βάρος μέγεθος <10 mm	NAI	<10mm
Δείκτης βλαστικότητας	100%	100%

- το δείγμα μας έχει υψηλότερη αγωγιμότητα από το έδαφος, ωστόσο όμως δεν είναι αρκετά υψηλή εάν σκεφτούμε ότι προέκυψε από κομπόστ απορριμμάτων και ως εκ τούτου μπορεί, να χρησιμοποιείται σε αυξημένες σχετικά ποσότητες ως εδαφοβελτιωτικό λαμβάνοντας υπόψιν και την καλλιέργεια στην οποία θα

χρησιμοποιηθεί. Με την επίδραση των διαδοχικών αρδεύσεων πιθανότατα να σημειωθεί σημαντική μείωση στην αγωγιμότητα του κομποστοποιημένου υλικού. Επίσης η τιμή της E.C. για το κομπόστ είναι ίση με 4,96 dS/m, επομένως βάσει της βιβλιογραφίας [29] χαρακτηρίζεται ως αλατούχο.

- Όσον αφορά το pH αρχικά το δείγμα είχε αλκαλικό pH με τιμή 8 και κατά τη φύτευση αυξήθηκε. Αυτό πιθανότατα να δημιουργήσει προβλήματα όσον αφορά την ανάπτυξη των μαρουλιών τα οποία να μην χρειάζονται αλκαλικό pH όχι όμως στην τιμή που έφτασε μετά τη φύτευση.
- Το κομπόστ βλέπουμε ότι ήταν πλούσιο σε οργανική ουσία σε σχέση με το έδαφος που χρησιμοποιήσαμε, όπως απαιτείται άλλωστε για μία καλής ποιότητας κομπόστ.
- Η περιεκτικότητα του σε N κρίνεται ικανοποιητική και η σχέση C/N χαμηλή. Επομένως δεν θα προκληθεί κανένα πρόβλημα τροφοπενίας αζώτου κατά την χρησιμοποίηση του ως εδαφοβελτιωτικό και όπως και για συστατικό υποστρωμάτων ανάπτυξης φυτών εκτός εδάφους, για κάποιο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η ποσότητα προσθήκης του κομπόστ στο έδαφος γίνεται και με βάση την περιεκτικότητα σε N και σε άλλα θρεπτικά συστατικά.
- Σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων για τα βαρέα μέταλλα, βλέπουμε ότι η περιεκτικότητα του κομπόστ που χρησιμοποιήσαμε βρίσκεται εντός των ορίων που έχουν θεσμοθετηθεί για το κομπόστ από Στερεά Απόβλητα κρίνονται σχετικά χαμηλές και αρκετά κοντά στις συγκεντρώσεις που τίθενται ως ανώτερα όρια για οικολογικό σήμα:

Πίνακας 7.3 :Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο κομποστοποιημένο υλικό

	Όριμο κομπόστ	ΚΥΑ 114218
Cd (mg/kg)	1.55	10
Cu(mg/kg)	124.28	500
Ni(mg/kg)	25.58	200
Pb(mg/kg)	47.98	500
Cr III(mg/kg)	15.46	500
Cr VI(mg/kg)	0.2	10
Zn(mg/kg)	281.42	2000
As(mg/kg)	1.47	15
Hg(mg/kg)	0.1	5
Υγρασία (%)	35-40%	<40%
Εντεροβακτήρια	απουσία	απουσία

Συμπερασματικά από τα παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί ότι το κομπόστ είναι κατάλληλο για συμβατικές καλλιέργειες. Παρόλα αυτά όμως απαιτείται συστηματικότερη μελέτη του θέματος λαμβάνοντας υπ'όψιν όλες τις παραπάνω παραμέτρους.

- Το μέγεθος της I.A.K. των εδαφών σε συνδυασμό και με την αναλογία των διάφορων ανταλλάξιμων κατιόντων επιδρά και στη διαμόρφωση των φυσικών ιδιοτήτων. Έτσι εάν μεταξύ των ανταλλάξιμων κατιόντων επικρατούν τα δισθενή κατιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} , η άργιλος βρίσκεται σε κατάσταση θρόμβωσης πράγμα που συμβάλλει, σε συνδυασμό και με την οργανική ουσία, στη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων, άρα και καλής δομής. Εδάφη με καλή δομή, ως γνωστό, στραγγίζουν καλά αερίζονται και δεν προβάλλουν μεγάλη μηχανική αντίσταση στην ανάπτυξη των ριζών και στο φύτρωμα των σπόρων.

- Επίσης το δείγμα κομπόστ ήταν μεν πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά αλλά περιείχε και υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου το οποίο πιθανότατα να δημιουργήσει τοξικότητα αλατότητας στα φυτά και γι'αυτό να ήταν μειωμένη η ανάπτυξη του.

Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι η υψηλή αλατότητα προκαλεί νανισμό στα φυτά. Ο νανισμός αυτός μπορεί να μη γίνει αντιληπτός εάν δεν υπάρχουν για σύγκριση φυτά που αναπτύσσονται σε έδαφος με μικρή αλατότητα. Η υψηλή αλατότητα μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών κατά 20%, χωρίς βέβαια να υπάρχουν εμφανή συμπτώματα αντιληπτά στους γεωργούς, που να οφείλονται στην επιζήμια δράση των αλάτων. Όταν η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων είναι υψηλή, τότε σε ορισμένα είδη φυτών η επιζήμια δράση τους γίνεται εμφανής γιατί τα φύλλα των φυτών αποκτούν ένα μουντό χρώμα, συνήθως κοκκινοπράσινο και στη συνέχεια καλύπτονται από μία κηρώδη επίστρωση.[21]

Οι επιζήμιες συνέπειες των διαλυτών αλάτων συνοψίζονται παρακάτω:

- Φυσιολογική δίψα στα φυτά, που είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της οσμωτικής πίεσης.
- Αυξανόμενη υδραυλική αντίσταση των ριζών και των φυτών.
- Μεταβολή των ορμονικών επιπέδων στα φυτά, που επιδρούν στους ρυθμούς αύξησης των φυτών.
- Άμεση επιζήμια επίδραση, ειδικότερα στους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης των φυτών.
- Ανταγωνισμός των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα τη χρήση αυξημένης ενέργειας, προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία K/Na^+

Τα περισσότερα φυτά είναι ευαίσθητα στη παρουσία του νατρίου στο έδαφος (ανταλλάξιμο νάτριο και υδατοδιαλυτό νάτριο). Σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις νατρίου παρατηρούνται τοξικά συμπτώματα σε αυτά.

Οι επιζήμιες συνέπειες που παρατηρούνται στα φυτά, δεν οφείλονται μόνο στο νάτριο αλλά και στην υψηλή τιμή του pH. Όταν το pH του εδάφους έχει υψηλή τιμή, τα φωσφορικά ιόντα, ο σίδηρος και το μαγγάνιο του εδάφους δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά. Επίσης η δομή του εδάφους καθίσταται ασταθής στη δράση του νερού, με αποτέλεσμα τη μείωση της διηθητικότητας του εδάφους και τη μείωση του μεγέθους των εδαφικών πόρων.

Επίσης σε ισοδύναμες υψηλές οσμωτικές πιέσεις, τα ιόντα του μαγνησίου είναι τοξικότερα από τα ιόντα του ασβεστίου και αυτά επίσης είναι πολύ πιο τοξικά από τα ιόντα του νατρίου. Μεγάλη συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου μπορεί να επιδράσει επιζήμια στα φυτά, επειδή αυτό περιορίζει την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες. Το νάτριο δρα ανταγωνιστικά στην πρόσληψη του καλίου, οπότε σε αυτή τη περίπτωση απαιτούνται μεγάλες ποσότητες καλίου στο εδαφικό διάλυμα.

Ακόμη όσον αφορά τη συγκέντρωση του νατρίου στο έδαφος βλέπουμε αύξηση της συγκέντρωσης μετά τη καλλιέργεια. Αυτό πιθανότατα συνέβη λόγω της συγκέντρωσης νατρίου στο αρδευτικό νερό. Ως επί το πλείστον το αρδευτικό νερό μπορεί να προκαλέσει τέτοιου είδους προβλήματα. Έχει αναφερθεί (35) ότι τα άλατα που προστίθενται στο έδαφος με το νερό αρδεύσεως μειώνουν την απόδοση των φυτών όταν στο βάθος των ριζών η συγκέντρωσή τους φτάσει ορισμένα όρια. Το φυτό αφαιρεί από το έδαφος την ποσότητα εκείνη του νερού που του είναι απαραίτητα για την κάλυψη των αναγκών της εξατμισιοδιαπνοής και με τον τρόπο αυτό εμπλουτίζει το έδαφος σε άλατα. Σε κάθε άρδευση προστίθενται άλατα τα οποία θα πρέπει να απομακρύνονται από το ριζόστρωμα προτού καταστεί κρίσιμη για το φυτό η συγκέντρωσή τους.

Συμπερασματικά λοιπόν καταλήγουμε ότι το κομποστοποιημένο υλικό του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης του Ν.Χανίων είναι ένα εδαφοβελτιωτικό που χαρακτηρίζεται με καλά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά.

Εφόσον γνωρίζουμε ότι τα βαρέα μέταλλα που περιέχονται στο κομπόστ είναι κάτω από τα επιτρεπτά όρια, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η τοξικότητα στα φυτά δεν προέρχεται από τα μέταλλα αλλά πολύ πιθανόν να είναι από τις μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου.

Σε αυτές τις περιπτώσεις για την εξυγίανση του υποστρώματος προτείνονται οι αλληπάλληλες αρδεύσεις οι οποίες αφενός θα βοηθήσουν στην απομάκρυνση μεγάλων συγκεντρώσεων νατρίου αφετέρου εάν δεν γίνουν με μέτρο και σύνεση πιθανότατα να εκπλυθεί το έδαφος και να απομακρυνθούν θρεπτικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ:

3^η εβδομάδα φύτευσης:



Δείγμα εδάφους-κομπόστ



Δείγμα κομπόστ



Δείγμα σε έδαφος

4^η εβδομάδα φύτευσης:



Δείγμα εδάφους-κομπόστ



Δείγμα σε έδαφος

5^η εβδομάδα φύτευσης :



Δείγμα κομπόστ



Δείγμα σε έδαφος



Δείγμα εδάφους-κομπόστ

6^η εβδομάδα φύτευσης :



Δείγμα σε έδαφος



Δείγμα εδάφους-κομπόστ

Μετά από 86 ημέρες φύτευσης:

Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40)



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40)



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40)



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40).



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40)





Δείγμα μάρτυρα 6



Δείγμα μάρτυρα 7



Δείγμα μάρτυρα 8



Δείγμα μάρτυρα 9



Δείγμα μάρτυρα 10



Σύγκριση μαρουλιού σε έδαφος (100%) και στο υπό εξέταση υπόστρωμα εδάφους-κομπόστ (60-40).





Μήκος ριζιδίου εδάφους- κομπόστ 1



Μήκος ριζιδίου εδάφους-κομπόστ 2



Μήκος ριζιδίου εδάφους- κομπόστ 3

Μετά από 93 ημέρες φύτευσης:



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40) K1



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40) K2



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40) K3



Δείγμα εδάφους- κομπόστ (αναλογία 60:40) K4



Δείγμα μάρτυρα M1



Δείγμα μάρτυρα M2



Δείγμα μάρτυρα M3



Δείγμα μάρτυρα M4



Δείγμα μάρτυρα M5



Σύγκριση μαρουλιού σε έδαφος (100%) και στο υπό εξέταση υπόστρωμα εδάφους-κομπόστ (60-40).





Μήκος ριζιδίου M1



Μήκος ριζιδίου M3



Μήκος ριζιδίου M2

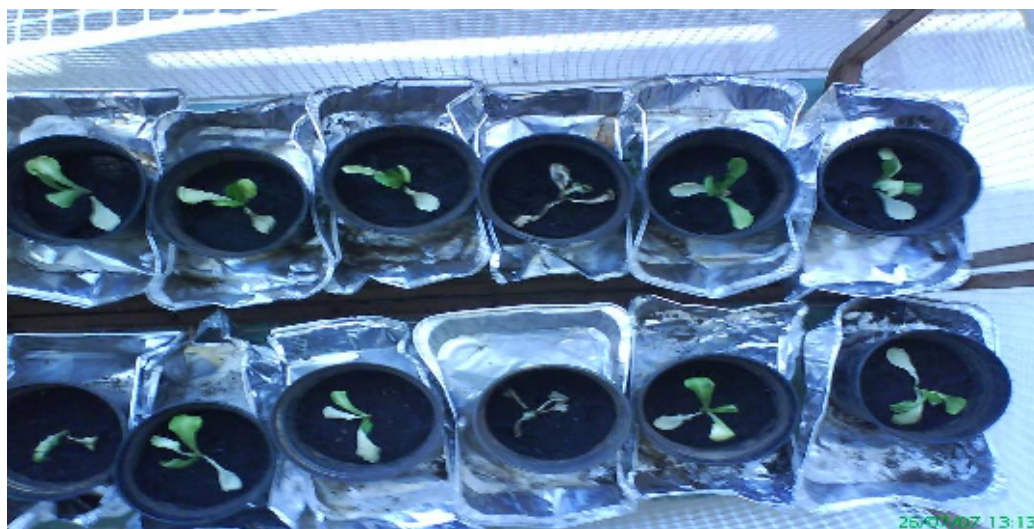


Μήκος ριζιδίου M4



Εικόνες από προηγούμενες καλλιέργειες μαρουλιού στο χώρο του Τ.Ε.Ι Χανίων:

Δεύτερη ημέρα φύτευσης:



Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να δούμε ότι το μαρούλι έχει αρχίσει ήδη να ξεραίνεται (το τρίτο δείγμα από πάνω δεξιά, ομοίως και το τρίτο δείγμα κάτω δεξιά)

Τέταρτη ημέρα φύτευσης:



Δύο ημέρες μετά το μεγαλύτερο ποσοστό δειγμάτων έχει ήδη ξεραθεί.

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί η πρώτη καλλιέργεια διήρκησε μία εβδομάδα, μετά τη τέταρτη ημέρα μέχρι την έβδομη είχε μείνει μόνο ένα δείγμα που δεν είχε ξεραθεί.

Δεύτερη φύτευση:

Πρώτη ημέρα :δείγμα σε 100% κομπόστ



Δεύτερη ημέρα :δείγμα σε 100% κομπόστ



Έπειτα από 5 ημέρες άρχισαν οι πρώτες απώλειες δειγμάτων με ποσοστό 50% (πάνω αριστερά φαίνονται οι μάρτυρες)

Έβδομη ημέρα :δείγμα σε 100% κομπόστ



23^η ημέρα φύτευσης



Το μεγαλύτερο ποσοστό μαρουλιών έχει ξεραθεί με δύο μόνο εναπομείναντα δείγματα.

28^η ημέρα φύτευσης για τα δείγματα σε έδαφος



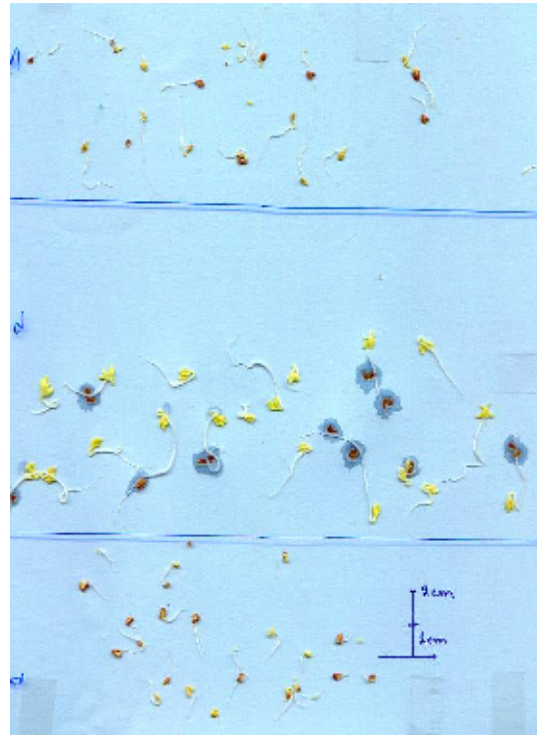
Εδώ φαίνεται ότι ο χώρος όπου ήταν τοποθετημένα τα δείγματα ήταν ακατάλληλος. Παρατηρούμε επιμήκυνση του βλαστού λόγω ανεπαρκούς φωτισμού.

Εικόνες από τα τεστ φυτοτοξικότητας του πρώτου δείγματος:

Εικόνα από τους σπόρους κάρδαμου του μάρτυρα



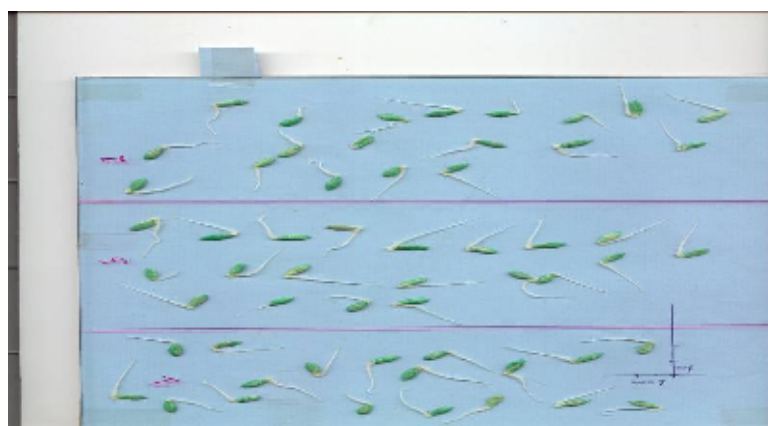
Εικόνα τους σπόρους κάρδαμου από το πρώτο δείγμα



Εικόνα από τους σπόρους αγγουριού του μάρτυρα



Εικόνα τους σπόρους αγγουριού από το πρώτο δείγμα



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α., «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων».
2. Lasaridi K., Kouloubis P., Skoulaxinou S., Kanakopoulos D., Lolos G.,(2002) «Compost Quality Requirements and Marketing, Greek and International Experiences» EEDSA
3. Eliot Epstein, «The science of composting»
4. Κοινή Υπουργική Απόφαση 69728/824/ΦΕΚ, 358/17-5-1996 «Μέτρα και Όροι για την Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων»
5. Κοινοτική Οδηγία 1999/31/ΕΚ «Περί Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων».
6. Παναγιωτακόπουλος Δ., «Διερεύνηση Δυνατοτήτων Και Μηχανισμών Ανάκτησης Υλικών από Στερεά Απορρίμματα», Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, ΓΓΕΤ, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 1993
7. Gidaracos, E., Havas, G., Ntzamilis, P., (2006). «Municipal solid waste composition determinations supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete». *Waste Management* 26, 668-679
8. Mavropoulos A., «Solid Waste Management in Greece.»
9. Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α., « Αρχείο Στατιστικών δεδομένων»
10. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., «Ποσοτικοποίηση στόχων της Οδηγίας 99/31/Ε.Ε.
11. Mirkou, K., Giannis, A., Gidaracos, E., (2006). «Integrated Solid Waste Management for Energy Recovery in the Island of Crete.» *Proceeding of Venice Biomass and Waste to Energy Symposium*
12. Απόφαση 217217 ΦΕΚ 35/16-01-2004 «Για την Κυκλοφορία Εδαφοβελτιωτικών ουσιών για χρήση τους στη Γεωργία».
13. Οδηγία 96/61/ΕΚ «Ολοκληρωμένη πρόληψη και περιορισμός της ρύπανσης, και οι ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές.»
14. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ 2003 και προβλέψεις ομάδας ΙΤΑ για το 2020. Πηγή Η.Π. 50910/2727/2003
15. Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/ΦΕΚ 1016/17-11-1997, «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων» και «Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων».
16. Στοιλόπουλος Β., Εγκαταστάσεις Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Δ.Κ.) αποβλήτων σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης.
17. «Επιτυχημένες Περιπτώσεις Διαλογής και Αξιοποίησης Οργανικού Κλάσματος στη Πηγή.»
18. Eurostat 2006
19. Στοιλόπουλος Β, « Απαιτήσεις Ε.Μ.Δ.Κ.»
20. Mavropoulos A., «Solid Waste Management in Greece.»
21. Zucconi F., De Bertoldi, M.Ferranti, M.P., L'Hermitte P., (1986), «Compost production, quality and use»Elsevier Appl.Sci.NY 853 pp
22. Ministry of Physical Planning, «Public Works and the Environment National plan for an integrated Soil Waste Management», Athens, Greece. (1998)
23. Strom, PF. 1985. «Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting». *Applied Environmental Microbiology*. 50(4): 899-905. As cited in: Richard, 1992a. *Municipal solid waste composting: Physical and biological processing*. Biomass & Bioenergy. Tarry-town, NY: Pergamon Press. 3(3-4): 163-180
24. Heavy metals and organic Compounds from Wastes used as Fertilizers
25. Heavy metals in Soils and Plants.
26. *Journal of composting and Recycling, Biocycle* , April 1999
27. Ministry of National Economy (2000) Report for the Current SWM in Greece, Athens, Greece
28. USEPA, 1993:Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge.
29. Σινάνης, « Εργαστηριακές ασκήσεις Εδαφολογίας», (2003)
30. Μήτσιος Ι., «Εδαφολογία», (1999)
31. Μισοπολίνος Ν., «Προβληματικά Εδάφη»

32. Μανιός, Μανιαδάκης 2001

Σελίδες διαδικτύου:

1. <http://eedsa.duth.gr>
2. www.dedisa.gr
3. www.compost-net.gr
4. www.ecotec.gr