



«Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας»
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« Κομποστοποίηση: Η Συνέχεια της Ιστορίας της Ανακύκλωσης - Εφαρμογή στην
Εκπαιδευτική Διαδικασία »**

Ειρήνη Κουτσιμού

Επιβλέπουσα καθηγήτρια Α'

ΚΟΛΙΑΔΗΜΑ Α.

Επιβλέπων καθηγητής Β'

ΚΑΠΟΛΟΣ Ι.

Πάτρα, Μάιος 2023

ΕΑΠ 2023

Η συγγραφή της εργασίας ανήκει στο Πρόγραμμα των μεταπτυχιακών σπουδών «Εξειδίκευση Μεταπτυχιακή στους Καθηγητές στις Φυσικές Επιστήμες» και συγκεκριμένα στην ενότητα τη θεματική «Οργάνωση και Αλληλεπιδράσεις σε Επίπεδο μοριακό». Το ΕΑΠ και ο φοιτητής μπορούν να χρησιμοποιούν και να αναπαράγουν συνιδιοκτησιακά τα πορίσματα αυτής της εργασίας (μέρη της ή και συνολικά) για λόγους ερευνητικούς ή για διδακτικούς. Κάθε φορά όμως που θα γίνεται η παραπάνω χρήση θα πρέπει να αναφέρεται ο συγγραφέας της εργασίας, ο τίτλος της, το ΕΑΠ, οι επιβλέποντες καθηγητές καθώς και η επιτροπή κρίσης.

Ευχαριστίες

Θερμά ευχαριστώ τους: κα Α. Κολιαδήμα, κ. Κ. Σκορδούλη, κ. Α. Κεχαγιά και κ. Σ. Τζαμαρία, όλοι τους ήταν οι καθηγητές μου σε αυτό το μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Τους ευχαριστώ θερμά για την άριστη συμβολή τους και τη στήριξή τους.

Θερμά να ευχαριστήσω τους: κα Α. Κολιαδήμα και κ. Ι. Καπόλο γιατί ήταν οι καθηγητές μου που είχαν την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα να τους ευχαριστήσω για την εμπειρία που απέκτησα να εμβαθύνω την έννοια της κομποστοποίησης και να την εφαρμόσω στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Επίσης, να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή της φυσικής και πρώην υπεύθυνο ΕΚΦΕ Νέας Φιλαδέλφειας, κ. Ι. Χριστακόπουλο για το θέμα που επέλεξα και για τη βοήθειά του στην εργαστηριακή εφαρμογή της κομποστοποίησης στην εκπαίδευση.

Θερμά ευχαριστώ τη συνάδελφο κα Α. Παρλιάρου, καθηγήτρια της Οικιακής Οικονομίας, για την εποικοδομητική συνεργασία μας στη διεξαγωγή των μαθημάτων του προγράμματος της οικιακής κομποστοποίησης, στο εργαστήριο φυσικής του σχολείου μας.

Θερμά ευχαριστώ τον πατριώτη μου κ. Ι. Οικονόμου για την καλή του διάθεση να μου μεταδώσει τη βιωματική του γνώση και τις λεπτομέρειες της τεχνικής της οικιακής κομποστοποίησης που εφαρμόζει.

Θερμά ευχαριστώ τον ανιψιό μου κ. Α. Παραδέλλη για τον έλεγχο της μετάφρασης της περίληψης της εργασίας μου.

Τέλος θερμές ευχαριστίες προς το σύζυγό μου, κ. Γ. Θεοδωρακόπουλο για την άψογη υποστήριξή του στις ηλεκτρονικές δυσκολίες που συναντούσα.

Περίληψη

Πολλοί άνθρωποι κατανοούν την αναγκαιότητα της ανακύκλωσης για τον Πλανήτη μας, για παράδειγμα της ανακύκλωσης υλικών από αλουμίνιο, πλαστικό, χαρτί και ατσάλι. Μάλιστα αισθάνονται ενοχή αν τύχει και πετάξουν ένα αλουμινένιο κουτί αναψυκτικού σε σακούλα σκουπιδιών, με τη σκέψη ότι αυτό θα βρίσκεται σε μια χωματερή για πολλά χρόνια. Δεν μπορούν όμως να συνειδητοποιήσουν ότι τα οργανικά υπολείμματα π.χ. φλούδες από μήλα και πατάτες, ξερά φύλλα και κομμένο γρασίδι που ρίχνουν στα σκουπίδια κατέχουν το 1/3 του χώρου της χωματερής.

Δεν υπάρχει αρκετός προσανατολισμός και εκπαίδευση στην κομποστοποίηση που είναι η «άλλη ανακύκλωση». Όλες οι χημικές αντιδράσεις που μαθαίνουμε στην Επιστήμη της Βιοχημείας πραγματοποιούνται στο έδαφος, στη φύση. Ο άνθρωπος, διδασκόμενος από τη φύση και με την τεχνογνωσία που αποκτά κατά την εξέλιξή του, μπορεί να ανακυκλώνει τα οργανικά του υπολείμματα, μέσω της κομποστοποίησης, αποδίδοντας έτσι τον σεβασμό του στο περιβάλλον.

Στο πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας περιγράφονται οι βιοχημικές διασπάσεις της οργανικής ύλης που συμβαίνουν στη φύση, στο έδαφος, αλλά και στην κομποστοποίηση - στις ελεγχόμενες από τον άνθρωπο βιοχημικές διασπάσεις των οργανικών του απορριμμάτων (οικιακών, βιομηχανικών και άλλων).

Επίσης, μέσω της μελέτης των παραμέτρων ελέγχου της διαδικασίας της κομποστοποίησης καθώς και της περιγραφής των συστημάτων κομποστοποίησης, μαθαίνουμε να επιλέγουμε το ιδανικότερο σύστημα κομποστοποίησης, πώς να βελτιώνουμε την απόδοση της μεθόδου της κομποστοποίησης και πώς να παράγουμε καλύτερης ποιότητας τελικό οργανικό προϊόν (κομπόστ), κατάλληλο ως λίπασμα για τα φυτά του κήπου μας ή της βεράντας μας.

Στο δεύτερο μέρος, οι μαθητές ενημερώνονται και αποκτούν βιοματική εμπειρία ώστε, κατανοώντας τι είναι κομποστοποίηση και πώς γίνεται, να εφαρμόζουν την οικιακή κομποστοποίηση στην καθημερινή τους ζωή.

Οι δραστηριότητες που θα ακολουθήσουν θα ενδυναμώσουν τη μάθησή τους για τη διαδικασία της αποσύνθεσης καθώς και για το σχεδιασμό και τη διεξαγωγή πειραμάτων. Συγκεκριμένα θα παρατηρήσουν με περισσότερη προσοχή τα σκουπίδια που πετούν οι οικογένειές τους και θα σκεφτούν εναλλακτικούς τρόπους για να μην πετούν σκουπίδια. Θα πληροφορηθούν για το τι είναι η κομποστοποίηση, τι την κάνει επιτυχημένη και ποιες είναι οι χρήσεις του κομπόστ. Θα αποκτήσουν την εμπειρία να διεξάγουν έρευνες επιστημονικές που έχουν σχέση με την καθημερινότητά τους καθώς και να συγκεντρώνουν και να αναλύουν τα δικά τους δεδομένα.

Στο τρίτο μέρος γίνεται η αξιολόγηση του προγράμματος της οικιακής κομποστοποίησης με την καταγραφή των συμπερασμάτων αφού έγινε η εφαρμογή του σε τρία τμήματα μαθητών της πρώτης τάξης του γυμνασίου.

Abstract

A lot of people understand the importance of recycling to our Planet, for instance the recycle of materials made of aluminum, plastic, paper, or steel. In fact, they feel guilty of throwing a soft drink aluminum can in the garbage bag, with the thought that it will be lying in a dump for many years to come. They cannot however realize the fact that organic residues: like peels of apples and potatoes, dried leaves and cut grass thrown in the trash occupy 1/3 of the landfill site.

There is not enough orientation and education in composting which is considered to be the "other recycling". All the chemical reactions that we learn in the Science of Biochemistry take place in the soil, in nature. As humans, what we are being taught from nature and with the know-how that we are getting through our natural evolution, is that we can recycle our organic residues through composting, thus paying our respect to the environment.

The first part of the particular diploma thesis describes the biochemical decompositions of the organic material as they occur in nature, in the soil, but also in composting - in the human-controlled biochemical decompositions of our organic waste (domestic, industrial and others).

In addition, through the study of the control parameters implemented in the composting process, along with the description of the different composting systems; we learn to choose the ideal composting system, how to improve the performance of the composting method and how to produce better quality final organic product – compost, suitable as fertilizer for the plants of our garden or terrace / balcony.

In the second part, students are educated and gain practical experiential experience so that, by understanding what composting is all about and how it is being done in practice, they can implement home composting in their daily lives.

The activities that will follow will strengthen the students' awareness about the process of decomposition, as well as about the design and conduct of respective experiments. In particular, they will pay more attention to the garbage that their families are throwing away and will think of alternative ways not to throw away garbage. They will be informed about

what composting is, what makes it successful, and what the use cases of compost are. They will gain the experience to conduct scientific research driven from their daily lives, as well as to collect and analyze their own data.

The third part of this diploma thesis records the results and conclusions from the implementation of this home composting program in three school classes of the first grade of high school.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract	6
Περιεχόμενα	8
Ευρετήριο εικόνων.....	10
Ευρετήριο πινάκων	11
Ευρετήριο διαγραμμάτων.....	11
Εισαγωγή.....	13
Μέρος 1ο	16
1.1 Σύνθεση της οργανικής ουσίας του εδάφους.....	16
1.2 Η πορεία αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων	17
1.2.1 Αποσύνθεση	17
1.2.2 Χουμοποίηση.....	18
1.3 Η επίδραση των χουμικών ουσιών στα φυτά.....	23
1.3.1 Ο ρόλος των χουμικών ουσιών στη θρέψη των φυτών	23
1.3.2 Ο ρόλος των χουμικών ουσιών στην αναπνοή των φυτών	24
1.3.3 Ενζυμική ενεργότητα.....	25
1.3.4 Σύνθεση πρωτεϊνών	25
1.3.5 Χλωροφύλλη	25
1.3.6 Ριζοβολία.....	26
1.4 Ορισμός της κομποστοποίησης.....	27
1.4.1 Χημική σύσταση του Κομπόστ.....	28
1.4.2. Η κομποστοποίηση και τα στάδια της	29
1.4.3 Χρόνος διάρκειας των φάσεων.....	32
1.4.4 Παράγοντες που μεταβάλλουν την πορεία της κομποστοποίησης.....	32
1.4.5 Κατηγορίες συστημάτων κομποστοποίησης.....	46
1.5 Οικιακή Κομποστοποίηση	50
1.5.1 Τεχνικές οικιακής κομποστοποίησης.	51
1.5.2 Διαλογή υλικών	60
1.5.3 Πώς ξεκινάμε την οικιακή κομποστοποίηση	63
1.5.4 Άλλες επισημάνσεις.....	64
1.5.5 Κομποστοποίηση και η Ανακύκλωση στη φύση.....	66
1.6 Γιατί έχει σημασία η κομποστοποίηση;	66
Μέρος 2ο	71
2.1 Τι είναι Σκουπίδια; (1η διδακτική ώρα)	73
2.2 "Αλλάξτε την Πορεία των Σκουπιδιών σας" (2η διδακτική ώρα)	74
2.3 Ποιες μεταβλητές βοηθούν στη γρήγορη αποσύνθεση; (3η διδακτική ώρα)	75
2.4 Το πείραμα του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" (4η διδακτική ώρα).....	75
2.5 «Ένα Μάθημα από τη Μητέρα Φύση» (5η διδακτική ώρα).....	75
2.6 Οι Μεγάλες Ερωτήσεις για την Κομποστοποίηση (6η διδακτική ώρα).....	76
2.7 "Η πρόκλησή σας για το κομπόστ" (7η διδακτική ώρα).....	76
2.8 Πίνακας υπολειμμάτων κουζίνας (8η διδακτική ώρα).....	79
2.9 Ερευνητικό σχέδιο για το κομπόστ (9η διδακτική ώρα)	79

2.10 Οργάνωση του πειράματος (10η διδακτική ώρα)	79
2.11 Μετρήσεις (11η διδακτική ώρα)	80
2.12 Η συνέχεια των μετρήσεων (12η διδακτική ώρα).....	80
2.13 Προετοιμασία των συμπερασμάτων (13η διδακτική ώρα).....	80
2.14 Συμπεράσματα (14η διδακτική ώρα).....	81
2.15 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων (15η διδακτική ώρα)	81
2.16 Ολοκλήρωση των Μεγάλων Ερωτήσεων της Κομποστοποίησης (16η διδακτική ώρα)	81
Μέρος 3ο	84
3.1 Απαντήσεις του ορισμού των σκουπιδιών (1η διδακτική ώρα).....	84
3.2 Αποτελέσματα της έρευνας: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας" (2η διδακτική ώρα)	87
3.3 Απαντήσεις της έρευνας: "Η πορεία προς την Αποσύνθεση" (3η διδακτική ώρα)	92
3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" (4η διδακτική ώρα).....	97
3.5 Η συνέχεια των Αποτελεσμάτων των μετρήσεων του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" (5η διδακτική ώρα).....	98
3.6 Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" οικοδομούν την "Πορεία του Κομπόστ" (6η διδακτική ώρα)	99
3.7 Μεταβολή του ύψους της στήλης των οργανικών υλικών με το χρόνο (7η διδακτική ώρα).....	100
3.8 Μεταβολή του όγκου των οργανικών υπολειμμάτων ανά οικογένεια με το χρόνο (8η διδακτική ώρα).....	103
3.9 Περιγραφή της διαδικασίας του πειράματος της "Πορείας του κομπόστ" και τα πρώτα πορίσματα από τις μετρήσεις τους (9η διδακτική ώρα)	105
3.10 Αποτελέσματα των παρατηρήσεων και των δεδομένων (10η διδακτική ώρα)	107
3.11 Τι παρατηρούν και τι διαπιστώνουν από τις μετρήσεις τους; (11η διδακτική ώρα). 108	
3.12 Η συνέχεια των συμπερασμάτων από την καταγραφή των δεδομένων (12η διδακτική ώρα).....	109
3.13 Μεταβολές του ύψους, της θερμοκρασίας και του pH του κομπόστ με το χρόνο - τελικά συμπεράσματα (13η διδακτική ώρα)	111
3.14 Η απεικόνιση – προβολή των σταδίων της Οικιακής Κομποστοποίησης (14η διδακτική ώρα).....	114
3.15 Οι απαντήσεις του ερωτηματολογίου της αξιολόγησης (15η διδακτική ώρα)	115
Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	117
Επίλογος	118
Βιβλιογραφία	119
Παράρτημα	133
Ερωτηματολόγιο 1: «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»	133
Διαφάνεια	134
Πίνακας 7.....	135
Φύλλο εργασίας 1.....	137
Φύλλο εργασίας 2 - Πίνακας 8	138
Ένα Μάθημα από τη Μητέρα Φύση	141
Λεξιλόγιο Κομποστοποίησης	143
Συνταγή για ένα άριστο κομπόστ.....	144
Η Συνταγή σας	145
Ερωτηματολόγιο 2	146

Φύλλο εργασίας 3.....	147
Τρόποι για να Φτιάξετε τον Ταχυανακυκλωτή Σας.....	149
Πίνακας 9.....	151
Δείγμα Επιπρόσθετων Δραστηριοτήτων του Κεφαλαίου της Κομποστοποίησης.....	152
Ερωτηματολόγιο 3	154

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Ο κομποστοποιητής του κ. Ι. Οικονόμου	15
Εικόνα 2: Η κάτοψη του κομποστοποιητή.....	15
Εικόνα 3: Η χρήση του παραγόμενου κομπόστ στο λαχανόκηπο	15
Εικόνα 4: Διάσπαση της λιγνίνης (αριστερά απεικονίζεται μέρος του πολύπλοκου πολυμερούς της λιγνίνης).	19
Εικόνα 5: Κύριες βιοχημικές αντιδράσεις της κομποστοποίησης (Reign and Irardin, 2004) .	28
Εικόνα 6: Απώλειες σε αμμωνία κατά την εξελικτική διαδικασία της κομποστοποίησης	45
Εικόνα 7: Εγκατάσταση κομποστοποίησης - σειράδια σε υπόστεγο.....	46
Εικόνα 8: Εγκατάσταση κομποστοποίησης	49
Εικόνα 9: Κομποστοποίηση σε σωρό	52
Εικόνα 10: Κομποστοποίηση σε σωρό με προσθήκη πρόσθετων (βοηθητικών ουσιών).....	53
Εικόνα 11: Επιφανειακή κομποστοποίηση	54
Εικόνα 12: Κομποστοποιητής από σανίδια.....	55
Εικόνα 13: Κομποστοποιητής από συρματόπλεγμα στερεωμένος σε τέσσερις πασσάλους...	56
Εικόνα 14: Κομποστοποιητής από συρματόπλεγμα σε τέσσερις πασσάλους με επένδυση από χαρτόνι.....	56
Εικόνα 15: Πλαστικός στρογγυλός κομποστοποιητής.....	56
Εικόνα 16: Κομποστοποιητής με τούβλα και ξύλα μπροστά που αφαιρούνται για να παίρνουμε το κομπόστ.....	57
Εικόνα 17: Υπόγεια κομποστοποίηση	58
Εικόνα 18: Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες.....	59
Εικόνα 19: Θρυμματιστής	63
Εικόνα 20: Κάτοψη Θρυμματιστή	63
Εικόνα 21: Συγκράτηση νερού από διαφορετικά εδάφη.....	67
Εικόνα 22: Απαντήσεις των ομάδων του τμήματος Α1 για τον ορισμό των Σκουπιδιών	85
Εικόνα 23: Κατηγορίες υλικών που δείξαμε στους μαθητές.....	86
Εικόνα 24: τεμαχισμός των υλικών στο σπίτι	92
Εικόνα 25: Τοποθέτηση των υλικών στο πάγκο εργασίας κάθε ομάδας.....	94
Εικόνα 26: Τοποθέτηση όλων των υλικών σε λεκάνη πριν τη μέτρηση του όγκου τους	95
Εικόνα 27: Οι τσάντες με τα υλικά λίγο πριν την τοποθέτησή τους στο σκοτάδι (εκτός μιας που θα τοποθετηθεί στο φως)	96
Εικόνα 28: Η εικόνα των υλικών την 5η εβδομάδα για τις πέντε ομάδες του τμήματος Α3	103
Εικόνα 29: Η εικόνα των υλικών την 5η εβδομάδα για τις έξι ομάδες του τμήματος Α4	103

Εικόνα 30: Η κατασκευή των ταχυανακυκλωτών στο σπίτι	105
Εικόνα 31: Γέμισμα του ταχυανακυκλωτή.....	106
Εικόνα 32: Οι πέντε ταχυανακυκλωτές με τα υλικά την 1η εβδομάδα (Α1)	106
Εικόνα 33: Μέτρηση της μάζας.....	106
Εικόνα 34: Μέτρηση της θερμοκρασίας	106
Εικόνα 35: Μέτρηση του pH.....	107
Εικόνα 36: Μέτρηση του pH.....	107
Εικόνα 37: Ανάπτυξη λευκής μούχλας στην επιφάνεια της στήλης των υλικών.....	109
Εικόνα 38: Οι πέντε ταχυανακυκλωτές με τα υλικά που μετατράπηκαν σε κομπόστ την 5η εβδομάδα (Α1)	113
Εικόνα 39: Η απεικόνιση των σταδίων του προγράμματος της οικιακής κομποστοποίησης	115
Εικόνα 40: Οι μαθητές χρησιμοποιούν το παραγόμενο κομπόστ ως λίπασμα της μουσμουλιάς του σχολικού τους κήπου.....	116
Εικόνα 41: Αλλάζτε την Πορεία των Σκουπιδιών σας	134
Εικόνα 42: Ταχυανακυκλωτές	149

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής του αζώτου κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης (Henry et al., 1999).....	44
Πίνακας 2: Απαντήσεις του τμήματος Α1 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας" ...	87
Πίνακας 3: Απαντήσεις του τμήματος Α3 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας" ...	88
Πίνακας 4: Απαντήσεις του τμήματος Α4 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας" ...	89
Πίνακας 5: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στην έρευνα:	90
Πίνακας 6: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στη διερευνητική ερώτηση της "Πορείας προς την Αποσύνθεση"	93
Πίνακας 7: Είδος και ποσό των υπολειμμάτων των υλικών	136
Πίνακας 8: Πίνακας Συλλογής Δεδομένων	140
Πίνακας 9: Κομπόστ	151

Ευρετήριο διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Διαδικασία αποσύνθεσης οργανικής ουσίας	18
Διάγραμμα 2: Πορεία αποσύνθεσης φυτικών υπολειμμάτων (Σινάνης, 2022).....	21
Διάγραμμα 3: Επίδραση του φουλβικού οξέος στο σχηματισμό των ριζών (Schnitzer and Roapst, 1967).....	26
Διάγραμμα 4: Φάσεις της κομποστοποίησης (Trautman and Kransy, 1977).....	32

Διάγραμμα 5: Απαντήσεις της έρευνας του τμήματος Α1: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"	88
Διάγραμμα 6: Απαντήσεις του τμήματος Α3 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"	89
Διάγραμμα 7: Απαντήσεις του τμήματος Α4 στην έρευνα : "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"	90
Διάγραμμα 8: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στην έρευνα :	91
Διάγραμμα 9: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στην έρευνα:	94
Διάγραμμα 10: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών με το χρόνο για τις πέντε ομάδες του τμήματος Α1	100
Διάγραμμα 11: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών με το χρόνο για τις πέντε ομάδες του τμήματος Α3	101
Διάγραμμα 12: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών με το χρόνο για τις έξι ομάδες του τμήματος Α4	101
Διάγραμμα 13: Όγκος υπολειμμάτων των τροφίμων ανά εβδομάδα	104
Διάγραμμα 14: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών του ταχυανακυκλωτή με το χρόνο	111
Διάγραμμα 15: Μεταβολή της θερμοκρασίας της στήλης των υλικών των ταχυανακυκλωτών με το χρόνο	112
Διάγραμμα 16: Μεταβολή του pH της στήλης των υλικών των ταχυανακυκλωτών με το χρόνο	112
Διάγραμμα 17: Απαντήσεις του ερωτηματολογίου αξιολόγησης	115

Εισαγωγή

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που συντελεί σε ένα καθαρό περιβάλλον είναι ο τρόπος που διαχειριζόμαστε τα στερεά απορρίμματα του σπιτιού μας, τα οποία παράγουμε από τις καταναλωτικές και τις παραγωγικές μας δραστηριότητες. Βασικό μέλημα για τις αναπτυγμένες χώρες και τις αναπτυσσόμενες είναι η διαχείριση των στερεών υπολειμμάτων με μεθόδους αντιρρύπανσης και με τεχνικούς τρόπους. Τα οργανικά συστατικά των στερεών αποβλήτων που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ (Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων) είναι βιοαποδομήσιμα, που σημαίνει ότι με διεργασίες βιολογικές (ως επί το πλείστον μικροβιακές) μπορούν να μετατραπούν σε προϊόντα αέρια και σε αδρανείς ανόργανες και οργανικές ουσίες, με αναερόβια μέθοδο ή με αερόβια.

Η μεγάλη αξία του τρόπου που διαχειριζόμαστε τα οργανικά στερεά απόβλητα είναι να μην καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ). Γιατί οι μεγάλες ποσότητες του βιοαερίου που εκπέμπεται, το οποίο περιέχει μεθάνιο σε μεγάλο ποσοστό, συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος, ενώ η χρήση του βιοαποδομήσιμου οργανικού υλικού με εναλλακτικούς τρόπους έχει σημαντικά ωφέλη. Μία από τις σπουδαιότερες εναλλακτικές χρήσεις των βιοαποδομήσιμων οργανικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς είναι η εφαρμογή της μεθόδου της κομποστοποίησης. Οι βιοχημικές αερόβιες χημικές αντιδράσεις κατά την κομποστοποίηση των στερεών οργανικών απορριμμάτων είναι η πιο ασφαλής, κατανοητή και απλή τεχνολογία με την οποία παράγεται κομπόστ που χρησιμοποιείται κυρίως ως βελτιωτικό υλικό του εδάφους (Lakhdar et al, 2009).

Ως εφευρέτης της κομποστοποίησης αναφέρεται ο ALBERT HOWART αγγλικής καταγωγής, ο οποίος στις αρχές του προηγούμενου αιώνα έζησε στην Ινδία. Η κύρια ασχολία του ήταν η χουμοποίηση των οργανικών απορριμμάτων με συστηματική οργάνωση. Το

κομπόστ που παρήγαγε το χρησιμοποιούσε ως λίπασμα στα φυτά με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παραγωγή του κήπου του (Άλκιμος, 2000).

Σήμερα στη Βρετανία πολύ μικρό ποσοστό, μόλις 10% περίπου από τα υπολείμματα των νοικοκυριών τους, ανακυκλώνεται. Το ποσοστό είναι μεγαλύτερο, για παράδειγμα στη Γερμανία και στη Δανία, ενώ σε άλλες χώρες το ποσοστό είναι πολύ μικρό, γιατί ο μεγαλύτερος όγκος σκουπιδιών αποτεφρώνεται ή καταλήγει σε χωματερή. Τα σκουπίδια που αποτεφρώνονται επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα, με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα, επιδρώντας με αυτό τον τρόπο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα οργανικά απορρίμματα που φθάνουν στις χωματερές αποικοδομούνται αργά, παράγοντας κυρίως μεθάνιο.

Σύμφωνα με τις δεσμεύσεις του Πρωτοκόλλου του Kyoto (1997) για τη μείωση εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα θα μπορούσε άριστα να συνεισφέρει το κομπόστ με τη χρήση του στο έδαφος (Thompson, 2008).

Η αφορμή για τη συγγραφή αυτής της εργασίας δόθηκε με την τυχαία παρασκευή χούμο, στον κήπο του πατρικού μου σπιτιού. Κάθε χρόνο συγκεντρώναμε σε σωρό τα κομμένα κλαδιά των οπωροφόρων δέντρων, τα ξερά φύλλα από τις τριανταφυλλιές και όλα τα κομμένα αγριόχορτα του κήπου. Στη συνέχεια τα καίγαμε. Εκείνη τη χρονιά, πριν περίπου δύο δεκαετίες, την περίοδο Μαρτίου - Απριλίου, για κάποιο λόγο δεν προλάβαμε το κάψιμο του σωρού και είχε μπει ο Μάιος που δεν επιτρεπόταν το άναμμα φωτιάς. Το καλοκαίρι εκείνης της χρονιάς, παρατηρήσαμε ότι ο σωρός "εξαφανίστηκε" και μετατράπηκε σε χούμο που το χρησιμοποιήσαμε ως λίπασμα στα δέντρα και στα φυτά του κήπου. Από τότε διακόψαμε και το κάψιμο της οργανικής φυτικής ύλης και την αγορά έτοιμου κομπόστ του εμπορίου.

Μετά από την επίσκεψη σε κάποιον συντοπίτη μου, που έζησε πολλά χρόνια στην Ελβετία, είδα τον κομποστοποιητή του (εικόνες: 1, 2, 3) και γνώρισα τη διαδικασία της κομποστοποίησης που εφαρμόζει με τη χρήση των φυτικών υπολειμμάτων του κήπου του και των οικιακών του απορριμμάτων. Μου μετέφερε τις εμπειρίες του για την κομποστοποίηση που γίνεται στα δάση της Ελβετίας καθώς και για τη διαδικασία που εφαρμόζει για να παράγει κομπόστ, το οποίο χρησιμοποιεί ως λίπασμα στον λαχανόκηπο (εικόνα 3) αλλά και στα δέντρα και στα φυτά του κήπου του.



Εικόνα 1: Ο κομποστοποιητής του κ. Ι. Οικονόμου



Εικόνα 2: Η κάτοψη του κομποστοποιητή



Εικόνα 3: Η χρήση του παραγόμενου κομπόστ στο λαχανόκηπο

Οι προβληματισμοί μου συνεχίστηκαν για την παραγωγή του χούμο κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (παραγωγή κομπόστ) αλλά και για τη σμίκρυνση του χρόνου παραγωγής του. Έτσι προέκυψε το θέμα αυτής της εργασίας που έχει σκοπό την εμβάθυνση της κομποστοποίησης, τη χρήση του κομπόστ αλλά και την εφαρμογή της οικιακής κομποστοποίησης στην εκπαίδευση των μαθητών.

Μέρος 1ο

1.1 Σύνθεση της οργανικής ουσίας του εδάφους

Για να κατανοήσει κανείς τη σπουδαιότητα του κομπόστ θα πρέπει να ξεκινήσει από τη δομή του εδάφους (Αλκιμος, 2000). Δηλαδή για την οργανική ουσία του εδάφους η οποία προκύπτει κυρίως από τη διάσπαση των υπολειμμάτων των φυτών (φύλλα, ρίζες, καρποί, κλαδιά, κορμοί) και των ζώων (σώματα ζώων και εκκρίσεις τους, δηλαδή κοπριά και ούρα) (Κουκουλάκης, Σιμώνης, Γκέρτσης, 2000). Πριν μιλήσουμε για τη διάσπαση της φυτικής ύλης θα πρέπει να γνωρίσουμε την αρχική της σύσταση. Η ποιοτική και ποσοτική σύσταση της φυτικής ύλης έδειξε ότι αποτελείται από μία ευρεία γκάμα οργανικών μακρομορίων.

Τα οργανικά αυτά μακρομόρια είναι ανθρακικές αλυσίδες με τις οποίες τα στοιχεία άζωτο, υδρογόνο, οξυγόνο και άλλα, σχηματίζουν δεσμούς, οπότε η σύσταση των μακρομορίων διαμορφώνεται σύμφωνα με τις διατάξεις των στοιχείων.

Οι κυριότερες κατηγορίες των οργανικών ενώσεων που συναντώνται στα περισσότερα είδη οργανικών ουσιών είναι: σάκχαρα, πρωτεΐνες, κυτταρίνες, ημικυτταρίνες, λίπη, λιγνίνες, τανίνες, ρητίνες, έλαια, ενώσεις υδατοδιαλυτές και άλλες (O'Leary & Walsh, 1995). Τα μακρομόρια των παραπάνω οργανικών ενώσεων οξειδώνονται με διαφορετική ταχύτητα και διασπώνται από διαφορετικούς μικροοργανισμούς. Για παράδειγμα οι πρωτεΐνες, διασπώνται εύκολα και αποδομούνται από πολλές κατηγορίες μικροοργανισμών, ενώ η κυτταρίνη διασπάται δύσκολα και αποικοδομείται από ορισμένους τύπους μικροβίων (Palmisano & Barlaz, 1996). Πιο αναλυτικά:

Η πράσινη (χλωρή) φυτική ύλη του εδάφους αποτελείται από 45% κυτταρίνη, 20% ημικυτταρίνη, 20% λιγνίνη, 8% πρωτεΐνες, 2% άμυλο και σάκχαρα, 2% κηροί και λίπη (Brady and Weil, 1996). Τα ξυλώδη και ώριμα φυτικά υλικά περιέχουν πολυσακχαρίτες κυτταρίνης σε ποσοστό 30-60%. Η λιγνίνη είναι ένα κύριο συστατικό των ιστών των φυτών

που συχνά βρίσκεται συνδεδεμένη με την κυτταρίνη. Από χημική άποψη πρόκειται για ένα αρωματικό πολυμερές που αποθηκεύεται στα κύτταρα των φυτικών ιστών κατά την διάρκεια της γήρανσής τους (Sarkanen and Ludwig, 1971).

Άλλες σημαντικές οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στα φυτικά υπολείμματα του εδάφους είναι τα λίπη, οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα. Σε πιο μικρό ποσοστό υπάρχουν χρωστικές ουσίες, χλωροφύλλη, ρητίνες, αλκαλοειδή, τερπένια, πολυφαινόλες και τανίνες (Bloofield, 1964). Σε ξηρά βάση, τα υπολείμματα της φυτικής ύλης του εδάφους περιέχουν 90% άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο κατά προσέγγιση (Brady, 1990). Η περιεκτικότητα σε άζωτο είναι περίπου 2% κατά μέσο όρο και σε κάλιο κυμαίνεται από 0,03-0,25% (Jenkinson, 1981). Η «οργανική ουσία» αν και αποτελεί μικρό ποσοστό του στερεού τμήματος του εδάφους, παρόλα αυτά είναι ένα πολύ σπουδαίο συστατικό του. Προκύπτει από τη διάσπαση κυρίως των φυτικών υπολειμμάτων η οποία γίνεται με τη βοήθεια των μικροοργανισμών.

Η παραπάνω διάσπαση απελευθερώνει θρεπτικά στοιχεία ενώ συγχρόνως σχηματίζει ένα προϊόν σχετικά σταθερό που λέγεται «χούμος του εδάφους». Με τη συμβολή του χούμο, το έδαφος συγκρατεί περισσότερο νερό και θρεπτικά στοιχεία. Το παραπάνω εξηγείται λόγω της παρουσίας αρνητικών φορτίων στο χούμο, τα οποία αρνητικά φορτία δίνουν τη δυνατότητα στο χούμο να συγκρατεί κατιόντα (θρεπτικά στοιχεία) (Σινάνης, 2022).

1.2 Η πορεία αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων

Η οργανική ουσία υφίσταται:

1.2.1 Αποσύνθεση

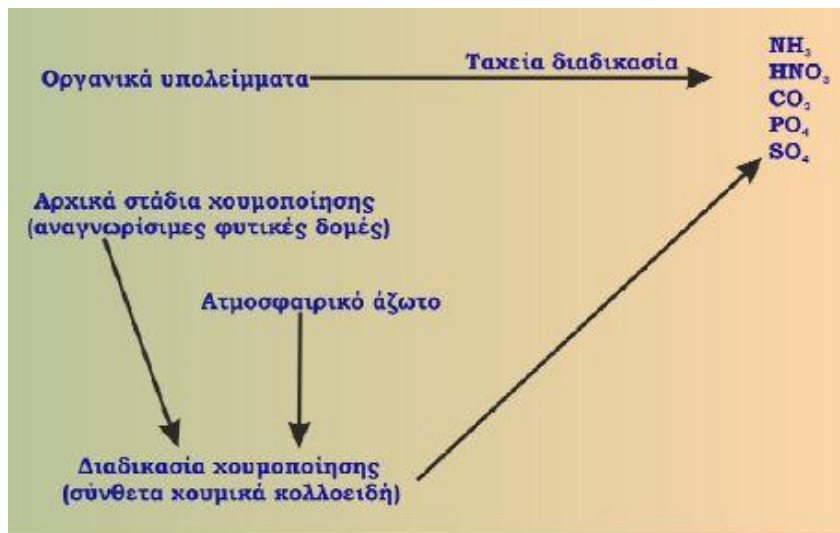
Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας γίνεται σε τρεις φάσεις διαδοχικές:

Με διαδικασίες βιοχημικές που αποτελούνται από διαδοχικές υδρολύσεις και οξειδώσεις που γίνονται πριν και μετά τον θάνατο των ιστών των φυτών, χωρίς να έχει επέλθει ακόμα η καταστροφή της δομής των φυτικών κυττάρων. Συγκεκριμένα γίνεται διάσπαση των πρωτεϊνών σε πεπτίδια και αμινοξέα, του αμύλου σε σάκχαρα κ.λ.π.

Με τη δράση κυρίως των γαιοσκωλήκων κατακερματίζεται το οργανικό υλικό σε μικρά κομματάκια, ενώ με τη δράση των ετερότροφων και σαπροφυτικών μικροοργανισμών της

χλωρίδας του εδάφους και της μικροπανίδας του, έχουμε την ολοκλήρωση της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας (Σινάνης, 2022).

Όπως αναφέραμε παραπάνω οι οργανικές ουσίες, με την απονέκρωση της φυτικής ύλης, ακολουθούν μια σειρά μετασχηματισμών. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα αυτών των διαδικασιών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όμως το άμυλο και τα σάκχαρα αποικοδομούνται με γρήγορο ρυθμό (Παπαθεοδώρου, Στάμου, 2015).



Διάγραμμα 1: Διαδικασία αποσύνθεσης οργανικής ουσίας

1.2.2 Χουμοποίηση

Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας δίνει δύο κατηγορίες από οργανικά συστατικά:

- α. τα ανθεκτικά που δύσκολα αποσυντίθενται (π.χ. λιγνίνη, λίπη, έλαια κ.α.).
- β. τα νέα που προέρχονται από τη μετατροπή ή την ανασύνθεση αυτών που ήδη υπάρχουν.

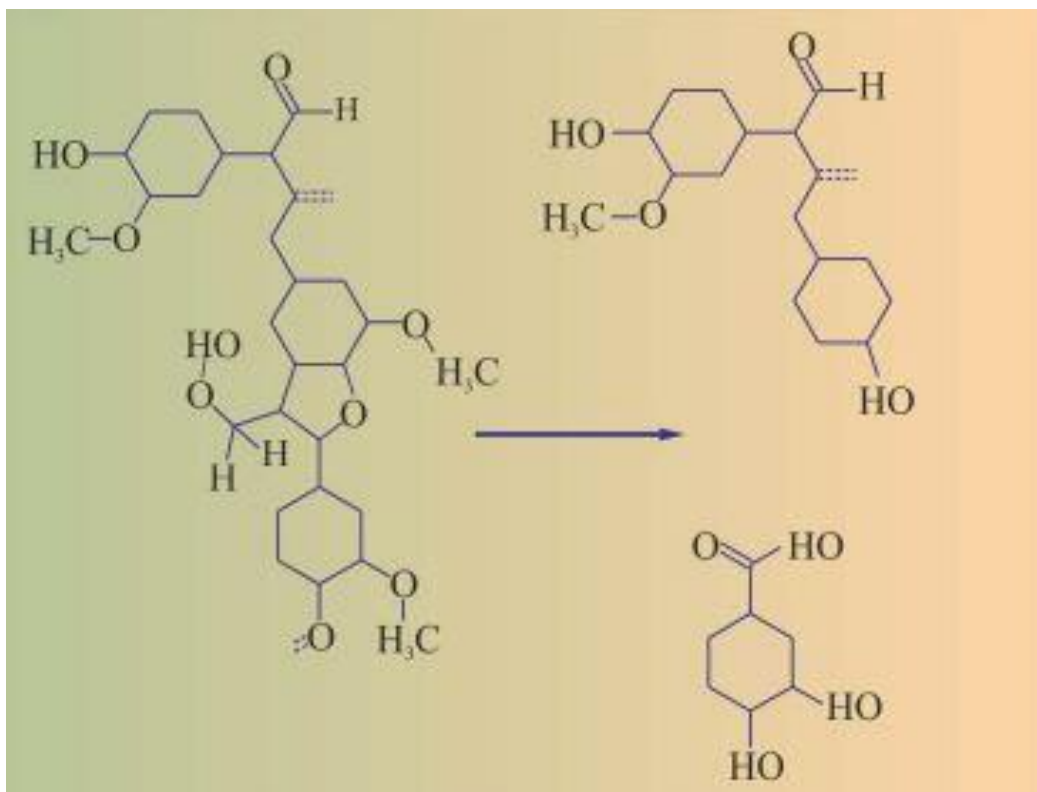
Η χουμοποίηση γίνεται με δύο τρόπους:

1. Με μετατροπή των ιστών των φυτών που περιέχουν ενώσεις κυκλικές (λιγνίνη και τανίνη).
2. Με το σχηματισμό καινούργιων κυκλικών ενώσεων που προέρχονται από προϊόντα της διάσπασης πρωτεϊνών και από αλειφατικούς υδατάνθρακες.

Τα οργανικά συστατικά που προκύπτουν με τους δύο παραπάνω τρόπους αποτελούν το χούμο του εδάφους (Σινάνης, 2022).

Υλικά αργής αποικοδόμησης είναι η ομάδα των κυτταρινών (πολυμερείς ενώσεις της γλυκόζης), όπως η λιγνίνη (πολυμερής ένωση των φαινολών) και οι ημικυτταρίνες (πολυμερή πεντόζης).

Η διαδικασία διάσπασης της λιγνίνης είναι αρκετά πολύπλοκη (εικόνα 4) και περιλαμβάνει οξείδωση υδρολυτική και απόσπαση του μεθυλίου που γίνεται με τη βοήθεια ενζύμων τα οποία προέρχονται από τους μύκητες και τους ακτινομύκητες (Παπαθεοδώρου, Στάμου, 2015).



Εικόνα 4: Διάσπαση της λιγνίνης (αριστερά απεικονίζεται μέρος του πολύπλοκου πολυμερούς της λιγνίνης).

Πιο αναλυτικά:

Τα οργανικά υλικά με τη δράση των ενζύμων διασπώνται σε πιο απλά, τα οποία με την οξείδωση τους τα χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί για να παίρνουν ενέργεια, ενώ

συγχρόνως παράγονται H_2O και CO_2 με την ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας. Μέρος του άνθρακα που είχε δεσμευτεί από τα φυτά μέσω του CO_2 της ατμόσφαιρας, με τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, επανέρχεται στην ατμόσφαιρα. Ένα άλλο μέρος του άνθρακα μετατρέπεται σε άλλες ενώσεις που αποσυντίθενται. Αυτές θα αποτελέσουν το χούμο του εδάφους. Συγχρόνως με τις παραπάνω χημικές διαδικασίες έχουμε έκλυση αζώτου με τη μορφή NH_4^+ , που στη συνέχεια μετατρέπεται σε NO_3^- (νιτροποίηση), θείο με τη μορφή SO_4^{2-} , φωσφόρο με τη μορφή $H_2PO_4^-$ ή HPO_4^{2-} και ιόντα Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} κ.λ.π.

Η διαδικασία απελευθέρωσης των παραπάνω στοιχείων τα οποία είναι συστατικά των οργανικών ενώσεων είναι διαδεδομένη ως «ανοργανοποίηση».

Η ταχύτητα της ανοργανοποίησης εξαρτάται από την κατηγορία των οργανικών υλικών, την ποσοτική τους σύσταση, από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και άλλους παράγοντες. Η παραπάνω ταχύτητα ευνοείται σε κατάλληλη θερμοκρασία, σε περιβάλλον ουδέτερο μέχρι λίγο αλκαλικό, σε μέτρια υγρασία και καλό αερισμό. Καθοριστικό ρόλο έχει να κάνει το είδος της οργανικής ύλης.

Η δυσκολία ή η ευκολία διάσπασης της οργανικής ύλης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα της ανοργανοποίησής της. Παρακάτω δίνεται η σειρά αύξησης της σταθερότητας των οργανικών ενώσεων τα οποία είναι συστατικά των ιστών των φυτών:

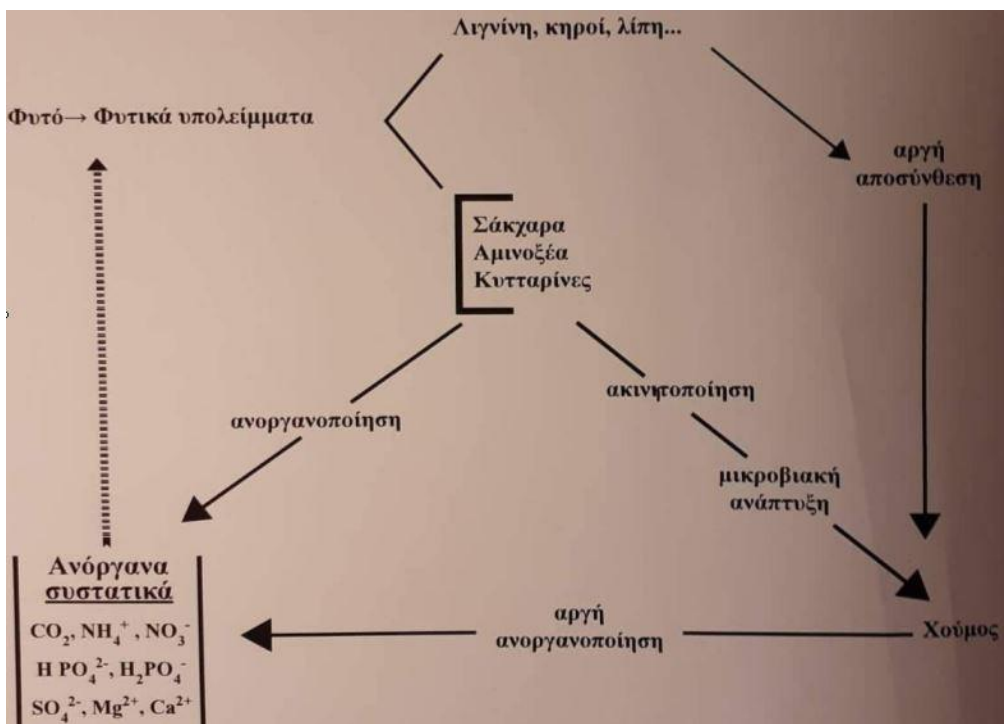
σάκχαρα < άμυλο < πρωτεΐνες < πηκτίνες < ημικυτταρίνες < κυτταρίνες < λιγνίνη <
< κηροί < ρητίνες < ταννίνες

Έτσι τα μέρη των φυτών (τα υπέργεια) αποδομούνται πιο εύκολα από τις ρίζες (τα υπόγεια), όπως και τα νεαρά φυτά πιο εύκολα από ό,τι τα πολυετή φυτά. Η ευκολία της αποδόμησης καθορίζεται από το λόγο των σταθερών προς τα λιγότερο σταθερά οργανικά συστατικά των ιστών των φυτών π.χ. λιγνίνη, πρωτεΐνες. Επίσης η σχέση C/N καθορίζει το ρυθμό αποσύνθεσης ενός οργανικού υλικού, ή το ρυθμό μικροβιακής δραστηριότητας. Πραγματικά, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών μειώνεται στο έδαφος γιατί η σχέση C/N δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις τους.

Η σχέση C/N στους μικροοργανισμούς είναι 10:1. Από τα τρία άτομα άνθρακα που διασπώνται οι μικροοργανισμοί, το ένα το αφομοιώνουν και τα άλλα δύο άτομα άνθρακα ελευθερώνονται στο περιβάλλον με τη μορφή του CO_2 ή μετασχηματίζονται σε σταθερές οργανικές χημικές ενώσεις που, όπως αναφέραμε παραπάνω, αποτελούν το χούμο του

εδάφους. Άρα για να ισχύει στους μικροοργανισμούς η σχέση $C/N = 10:1$, η σχέση των δύο στοιχείων στους αποσυντιθέμενους ιστούς των φυτών θα πρέπει να είναι ανάμεσα στις τιμές: 25/1 και 30/1 (Σινάνης, 2022). Τιμές μεταξύ του 25 και 30 δεν αλλάζουν τη διαθέσιμη ποσότητα του αζώτου. Τιμές κάτω του 25 προκαλούν ανοργανοποίηση του αζώτου και τιμές άνω του 30 οδηγούν στο να ακινητοποιηθεί το άζωτο στους μικροβιακούς ιστούς (Stevenson, 1986).

Όταν η αναλογία C/N είναι μεγαλύτερη του 30/1, το οποίο συμβαίνει στους πιο πολλούς ιστούς των φυτών, τότε η δραστηριότητα των μικροβίων του εδάφους μπορεί να περιοριστεί ή και να σταματήσει έως ότου να υπάρξει πηγή αζώτου. Πηγή αζώτου θα βρεθεί στα αποθέματα του εδάφους ή στα χημικά λιπάσματα που προσθέτουμε στο έδαφος. Αν τα μικρόβια προμηθευτούν το άζωτο από το έδαφος και δεν προσθέσουμε αζωτούχο λίπασμα ενώ στο έδαφος έχουμε προσθέσει μία καλλιέργεια, τότε η καλλιέργεια θα στερηθεί το άζωτο. Η φάση αυτή λέγεται «ακινητοποίηση» του αζώτου του εδάφους, η διάρκεια της οποίας σταματά μέχρι την ολοκλήρωση της αποσύνθεσης του οργανικού υλικού. Ένα πιο σύνθετο διάγραμμα αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων φαίνεται στο διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2: Πορεία αποσύνθεσης φυτικών υπολειμμάτων (Σινάνης, 2022)

Πιο παλιά ο όρος: «οργανική ουσία» περιείχε όλα τα υπολείμματα ζωικά και φυτικά που υπάρχουν στο έδαφος, χωρίς να εξαρτάται από το στάδιο αποσύνθεσής τους, ενώ ο όρος: «χούμος» ήταν περιορισμένος στα προϊόντα μετασχηματισμού των προϋπαρχόντων συστατικών και στην ανασύνθεση νέων που είναι σταθερά. Σήμερα όμως, επειδή στα πιο πολλά εδάφη οι μεγαλύτερες ποσότητες οργανικών υλικών βρίσκονται στο χούμο, οι δυο όροι ταυτίζονται. Δηλαδή όταν λέμε «οργανική ουσία» ή «χούμος» εννοούμε το σταθερό μετασχηματισμένο οργανικό προϊόν, με εξαίρεση τα ζωικά και φυτικά υπολείμματα που δεν έχουν αποσυντεθεί. Άλλωστε τα συστατικά του χούμο διαφέρουν από τα φυτικά υπολείμματα (Σινάνης, 2022).

Τα μίγματα του εδάφους που είναι ομογενή και προέρχονται από τα φυτικά και ζωικά υπολείμματα που έχουν αποικοδομηθεί, είναι τα κολλοειδή του εδάφους (οργανικά κολλοειδή). Τα οργανικά κολλοειδή στο χούμο είναι μικρού μεγέθους σωματίδια, έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και είναι συνήθως φορτισμένα αρνητικά. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χούμο να συγκρατεί μεγάλες ποσότητες νερού και η επιφάνεια των οργανικών κολλοειδών του χούμο έχει επίσης τη δυνατότητα προσρόφησης κατιόντων που υπάρχουν στο διάλυμα του εδάφους (Παπαθεοδώρου, Στάμου, 2015). Όσο για το χρώμα τους, αυτό περιλαμβάνει όλο το φάσμα των χρωμάτων από το ανοικτό καφέ μέχρι το μαύρο. Επίσης έχουν ειδική επιφάνεια μεγάλη και εμφανίζουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο μεγάλο. Έτσι εξηγείται γιατί ο χούμος έχει την δυνατότητα να απορροφά μεγάλες ποσότητες νερού καθώς και να συγκρατεί κατιόντα (Σινάνης, 2022).

Η χημική σύσταση των χουμικών ουσιών είναι πυρήνες από απλές και συμπυκνωμένες ισοκυκλικές και ετεροκυκλικές οργανικές ενώσεις, που οι δακτύλιοί τους περιέχουν τέσσερα, πέντε και έξι άτομα του άνθρακα, όπως για παράδειγμα τη πυριδίνη, την κινόνη, το φουράνιο, το βενζόλιο, το πυρόλιο, την κινολίνη και τη ναφθαλίνη. Οι συνδέσεις των πυρήνων γίνονται με διάφορους συνδυασμούς, ενώ οι ομάδες που φέρουν πλάγια μπορεί να είναι οι υδροξυλικές, οι καρβοξυλικές, οι αμινομάδες, οι μεθοξυλικές και οι καρβονυλικές. Οι πυρήνες με τους δυνατούς συνδυασμούς τους, όπως και οι πλάγιες ομάδες με τους δεσμούς τους, καταλήγουν στο σχηματισμό πολλών χουμικών ενώσεων οι οποίες δεν είναι προσδιορίσιμες πάντα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι τα μακρομόρια από τα οποία αποτελείται ο χούμος μπορεί να φθάνουν το μοριακό τους βάρος μέχρι και 1000, δηλαδή αρκετά μεγάλο. Πάντα

περιέχουν καρβοξύλια και φαινολικά υδροξύλια στα οποία οφείλεται ο όξινος χαρακτήρας του χούμο (Καλύβας, 2003). Με βάση το χρώμα, το μοριακό του βάρος και τη διάλυση των συστατικών του σε όξινο ή σε βασικό διάλυμα, η ποιοτική σύσταση του χούμο συνίσταται από τα οξέα: χουμικό και φουλβικό καθώς και τη χουμίνη (Schnitzer and Khan, 1972).

Τα χουμικά οξέα είναι σε μεγαλύτερη αναλογία στο χούμο, έχουν χρώματα σκούρο καφέ, γκρι μαύρο και μεσαίο μοριακό βάρος. Είναι αδιάλυτα σε όξινο διάλυμα και διαλυτά σε βασικό διάλυμα. Τα φουλβικά οξέα μπορεί να βρίσκονται σε ποσοστό 20% του συνολικού χούμο και έχουν χρώμα ανοικτό κίτρινο και κίτρινο καφέ. Είναι διαλυτά και σε όξινα και σε βασικά διαλύματα, το μοριακό τους βάρος είναι μικρό και περιέχουν ίσες ποσότητες ενώσεων του αζώτου και των υδατανθράκων. Οι χουμίνες και αυτές μπορεί να βρίσκονται σε ποσοστό 20% του συνολικού χούμο, έχουν χρώμα μαύρο, αδιάλυτες και σε οξέα και σε βάσεις και έχουν μεγάλο μοριακό βάρος (Καλύβας, 2003).

Τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα είναι αυτά που επιδρούν περισσότερο στο έδαφος και στα φυτά. Επειδή στα παραπάνω οξέα υπάρχουν αρνητικά φορτία (από τις ομάδες π.χ. COOH^- , OH^- και άλλες) και η ειδική τους επιφάνεια είναι μεγάλη, έχουν την ικανότητα της συγκράτησης μεγάλων ποσοτήτων από θρεπτικά ιόντα (K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , NH_4^+ και άλλα) (Κουκουλάκης, Σιμώνης, Γκέρτσης, 2000).

1.3 Η επίδραση των χουμικών ουσιών στα φυτά

1.3.1 Ο ρόλος των χουμικών ουσιών στη θρέψη των φυτών

Οι χουμικές ουσίες έχουν εξαιρετική σημασία γιατί λειτουργούν ως μεσάζοντες στο να μεταφέρουν θρεπτικά συστατικά από το έδαφος στα φυτά. Ο λόγος είναι αυτός που αναφέραμε και παραπάνω, δηλαδή τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα έχουν την ικανότητα να συγκρατούν θρεπτικά, για τα φυτά, θετικά ιόντα.

Έτσι λοιπόν τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα, μέσω των θετικών ιόντων που συγκρατούν, έλκονται και απορροφούνται από τις ρίζες των φυτών που φέρουν αρνητικά φορτία, με δεδομένο ότι τα αρνητικά φορτία των ριζών είναι περισσότερα από τα αρνητικά φορτία των μορίων των χουμικών οξέων. Συγχρόνως οι ρίζες των φυτών μαζί με τα θρεπτικά ιόντα θα μπορέσουν να αποσπάσουν και ορισμένα πιο ελαφρά, μικρότερου μοριακού βάρους, χουμικά

οξέα και φουλβικά οξέα. Μάλιστα τα μόρια του φουλβικού οξέος διέρχονται από τις μεμβράνες των φυτικών ριζών ευχερέστερα από τα αντίστοιχα του χουμικού οξέος (Fuhr, 1969).

Η προαναφερθείσα μεταφορά θρεπτικών συστατικών στις ρίζες των φυτών μέσω των χουμικών ουσιών οφείλεται στο ότι οι χουμικές ουσίες μπορούν με τα κατιόντα των μετάλλων να δίνουν σύμπλοκες χηλικές χημικές ενώσεις. Η παραπάνω ικανότητα των χουμικών οξέων εξηγείται από την ύπαρξη της καρβοξυλικής ομάδας στα μόριά τους. Με βάση ερευνητικές αποδείξεις, οι παραπάνω ομάδες είναι πιο πολλές στις χουμικές ουσίες με μικρότερο μοριακό βάρος, για παράδειγμα στο φουλβικό οξύ. Τα μόρια των χηλικών ενώσεων με το κατιόν του μετάλλου προσροφούνται ολόκληρα από το ριζικό σύστημα των φυτών. Όμως δεν συμβαίνει πάντα το προηγούμενο λόγω των αναγωγικών συνθηκών που υπάρχουν στην επιφάνεια των ριζών, οπότε προσροφάται μόνο το κατιόν, για παράδειγμα του σιδήρου Fe^{2+} που υπάρχει στο μόριο της χηλικής ένωσης (Tiffin and Brown, 1959).

1.3.2 Ο ρόλος των χουμικών ουσιών στην αναπνοή των φυτών

Ύστερα από έρευνες, οι χουμικές ουσίες επηρεάζουν άμεσα πολλές μεταβολικές διεργασίες του φυτού, όπως την αναπνοή, την ενεργότητα των ενζύμων και τη σύνθεση των πρωτεϊνών. Σχετικά πειραματικά δεδομένα που αφορούν την άμεση δράση των χουμικών ουσιών στην αναπνοή έδειξαν ότι, εφοδιάζοντας τους φυτικούς ιστούς με χουμικό οξύ, αυξήθηκε η κατανάλωση του οξυγόνου. Οι παραπάνω έρευνες υποστηρίζουν ότι εφόσον τα χουμικά οξέα περιέχουν κινόνες προσλαμβάνουν κατιόντα υδρογόνου H^+ και ταυτόχρονα ενεργοποιούν το οξυγόνο O_2 . Σε παρόμοιες έρευνες βρέθηκε ότι ο ρυθμός κατανάλωσης του O_2 από τους βλαστούς αυξάνει παρουσία του φουλβικού οξέος. Φυτά που είχαν δεχτεί φουλβικό οξύ είχαν επιπλέον και αυξημένη χλωροφύλλη. Επίσης και από άλλα αποτελέσματα, προκύπτει ότι η πρόσληψη του O_2 από την επίδραση του φουλβικού οξέος καθώς και από την επίδραση του χουμικού οξέος, αυξήθηκε σημαντικά (Aitken et al., 1964).

1.3.3 Ενζυμική ενεργότητα

Τα χουμικά οξέα επηρεάζουν ποικιλοτρόπως τα διάφορα ένζυμα των φυτών και ιδιαίτερα την ενεργότητά τους. Πολλοί ερευνητές ξεκινώντας από το γεγονός ότι οι χουμικές ουσίες μπορούν να δράσουν ως "αυξητικοί παράγοντες", δηλαδή να εμφανίσουν μία δράση που μοιάζει με εκείνη των ορμονών, οδηγήθηκαν στην έρευνα της επίδρασης των χουμικών οξέων πάνω στα ένζυμα των ρυθμιστών της φυτικής ανάπτυξης, δηλαδή των φυτικών ορμονών και συγκεκριμένα της 3-Ινδολυλοξικής-οξειδάσης. Πράγματι από τα αποτελέσματα που πάρθηκαν, αποδείχθηκε ότι τα οξέα: χουμικό και φουλβικό εμποδίζουν στο να είναι ενεργά αυτά τα ένζυμα (Mato and Mendez, 1970).

1.3.4 Σύνθεση πρωτεϊνών

Σε ειδικά πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ότι το χουμικό οξύ αυξάνει σε ποσοστό 50-100% την ενεργή ενζυμική δράση της ιμπερτάσης. Αντίθετα, το φουλβικό οξύ δεν δρα καθόλου στην ενεργότητα του παραπάνω ενζύμου. Με την επίδραση του χουμικού οξέος στην ενεργότητα της ιμπερτάσης αποδεικνύεται έμμεσα ότι τα χουμικά οξέα επιδρούν στην παραγωγή των πρωτεϊνών (Dell' Agnola et al., 1981).

1.3.5 Χλωροφύλλη

Οι χουμικές ουσίες προκαλούν αύξηση της ποσότητας της χλωροφύλλης στους οργανισμούς των φυτών γιατί βοηθούν στην πρόσληψη και στη μεταφορά του σιδήρου στα φυτά (de Kock, 1955). Ιδιαίτερα η επίδραση των χουμικών ουσιών είναι μεγαλύτερη στα εδάφη που περιέχουν ασβέστιο, στα οποία ο διαθέσιμος σίδηρος είναι λίγος και η οργανική ουσία είναι ανεπαρκής (Visser, 1986).

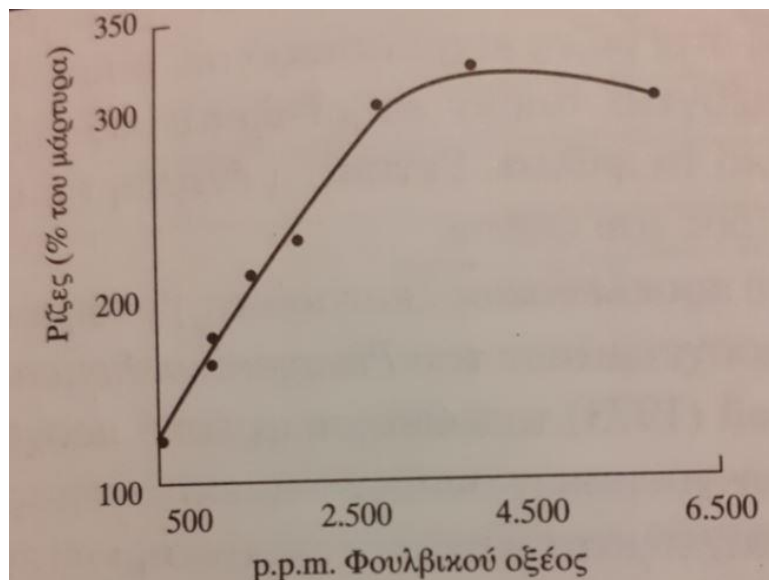
Ο ψεκασμός των ζαχαρότευτλων με διάλυμα χουμικών ουσιών αυξάνει τη φωτοσύνθεση λόγω αύξησης της παραγωγής του CO₂ κατά 22%. Ωστόσο η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων χουμικών ουσιών στη φύση μπορεί να δράσει αρνητικά. Έτσι, ο ρυθμός της αύξησης της φωτοσύνθεσης μπορεί να μην είναι ανάλογος προς την προστιθέμενη ποσότητα των χουμικών ουσιών (Sladsky, 1965).

1.3.6 Ριζοβολία

Το χουμικό και το φουλβικό οξύ προκαλούν την αύξηση του ριζικού συστήματος και βοηθούν την ανάπτυξη γιατί οι σπόροι φυτρώνουν ταχύτερα (Dixit and Kishore, 1967).

Οι χουμικές ουσίες επηρεάζουν την ταχύτητα αύξησης των ριζών, αλλά δεν επηρεάζουν την αύξηση της βλάστησης των σπόρων. Από τα δεδομένα πολλών ερευνητών, τα χουμικά οξέα δεν επηρεάζουν τόσο το υπέργειο τμήμα του φυτού όσο το ριζικό του σύστημα. Βέβαια παίζει ρόλο και το είδος του φυτού στο κατά πόσο επηρεάζεται η ανάπτυξη των ριζών του από την ύπαρξη ή όχι των χουμικών ουσιών.

Σε επίπεδο εφαρμογής του φουλβικού οξέος 500 ppm παρατηρήθηκε μία διέγερση σχηματισμού των ριζών. Η διέγερση αυτή έφθασε τη μέγιστη τιμή στα 3000 ppm του οξέος και ακολούθως παρέμεινε σταθερή μέχρι τα 6000 ppm (διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Επίδραση του φουλβικού οξέος στο σχηματισμό των ριζών (Schnitzer and Poapst, 1967)

Η ευνοϊκή δράση στη ριζοβολία (έναρξη σχηματισμού και αύξηση των ριζιδίων) αποδόθηκε, σύμφωνα με έρευνες, στην παρουσία μεγάλου αριθμού καρβοξυλικών ομάδων και φαινολικών υδροξυλίων. Μάλιστα οι ερευνητές για να αποδείξουν αυτή την υπόθεση εξουδετέρωσαν (μπλόκαραν) τις ομάδες αυτές και στη συνέχεια χορήγησαν το φουλβικό οξύ στα φυτά.

Διαπιστώθηκε ότι ο σχηματισμός των ριζών μειώθηκε σημαντικά. Κατ'αυτόν τον τρόπο αποδείχτηκε ότι οι ενεργές ομάδες του φουλβικού οξέος παίζουν σπουδαίο ρόλο στο σχηματισμό ριζιδίων και γενικά στη ριζοβολία. Οι Schnitzer and Roapst (1967) εξηγούν τη δράση του φουβλικού οξέος στη ριζοβολία λόγω της ικανότητάς τους να σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με το σίδηρο, συμβάλλοντας έτσι στην εύκολη μετακίνησή του μέσα στο φυτό.

1.4 Ορισμός της κομποστοποίησης

Κομποστοποίηση ορίζεται η υπό έλεγχο (όσον αφορά την υγρασία, την επίδραση του αέρα, το pH, τη θερμοκρασία και την αναλογία άνθρακα/άζωτο) βιοξείδωση οργανικών απορριμμάτων με τη βοήθεια ετερότροφων μικροοργανισμών (μύκητες, βακτήρια) οι οποίοι βιοαποικοδομούν τις οργανικές ενώσεις (Παναγιωτακόπουλος, 2007). Αναφέροντας «οργανικά απορρίμματα» λέμε τα υλικά που μπορούν να αποικοδομηθούν βιολογικά.

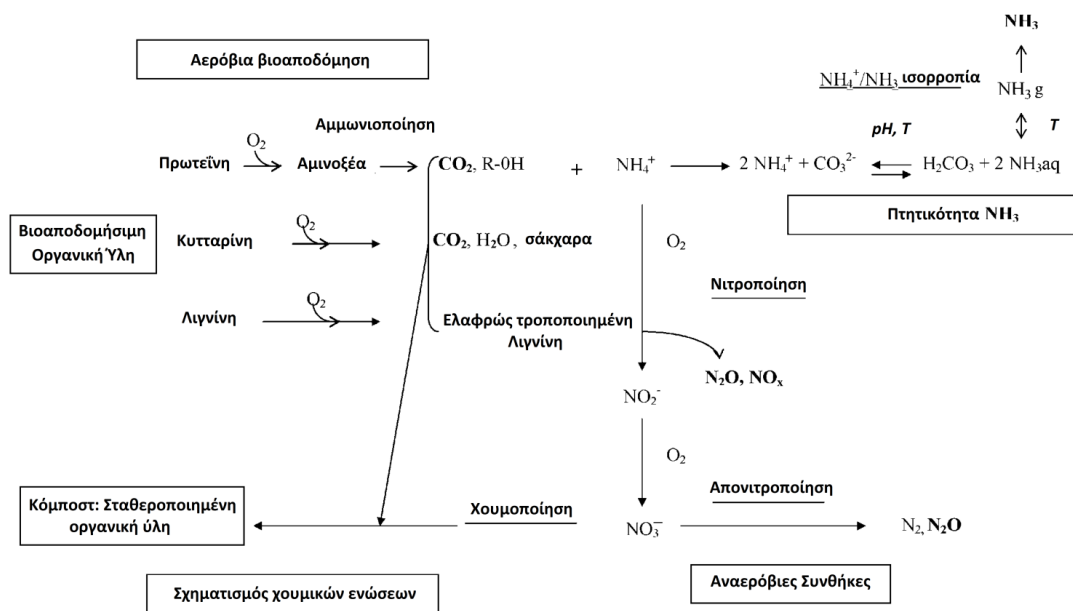
Με τον όρο «ελεγχόμενες συνθήκες» μπορούμε να διακρίνουμε την κομποστοποίηση από τη βιολογική διάσπαση που γίνεται στη φύση, γιατί ελέγχουμε την υγρασία, τη θερμοκρασία και τον αέρα κατά τη διαδικασία. Το παραγόμενο προϊόν, το κομπόστ το λέμε βιολογικά σταθεροποιημένο γιατί δεν υφίσταται πια μεγάλη μικροβιακή δράση (Kouloumbis et al., 2000, Epstein, 1997, Carry et al., 1990, Engeli et al., 1993, Toffey, 1990, Hogg et al., 2009). Τα κυριότερα προϊόντα της κομποστοποίησης είναι CO₂, νερό και φυσικά το κομπόστ που είναι υλικό πλούσιο σε οργανικές ουσίες και κυρίως σε χουμικές ουσίες.

Το κομπόστ χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό (προπαντός για εδάφη με άμμο ή με όξινο pH ή με πόρους ή με άργιλο ή με ασβέστιο) αλλά και στις φυτοκαλλιέργειες (Παναγιωτακόπουλος, 2007). Κατά την κομποστοποίηση τα μικρόβια χρησιμοποιούν το οξυγόνο κατά τις χημικές οξειδώσεις των οργανικών υλικών, πετυχαίνοντας έτσι τη διάσπαση των σύνθετων οργανικών ενώσεων σε προϊόντα ενδιάμεσα και στη συνέχεια σε πιο απλές χημικές ενώσεις ελευθερώνοντας CO₂, νερό, ενώσεις του αζώτου σε ανόργανη μορφή και θερμότητα (Ipek et al., 2002; Epstein, 1997).

Συγχρόνως με τις βιοχημικές διασπάσεις των οργανικών συστατικών έχουμε και διαδικασίες χουμοποίησης στις οποίες συμβαίνει πολυμερισμός ενώσεων μέσω των μικροοργανισμών

αλλά και σχηματισμός πιο απλών ενώσεων που προέρχονται από τη διάσπαση των οργανικών ουσιών (Paredes et al., 2001).

Τελικά το βιοδιασπώμενο οργανικό υλικό μετασχηματίζεται με διαδοχικές μικροβιακές δράσεις και βιοχημικές αντιδράσεις σε σταθερότερο οργανικό προϊόν που έχει ίδια βιολογικά και χημικά χαρακτηριστικά με αυτά των χουμικών ουσιών (εικόνα 5) (Pare et al., 1998).



Εικόνα 5: Κύριες βιοχημικές αντιδράσεις της κομποστοποίησης (Peign and Irardin, 2004)

1.4.1 Χημική σύσταση του Κομπόστ

Όταν τελειώσουν οι βιοχημικές διεργασίες, το παραγόμενο κομπόστ έχει πολύ μικρότερη μάζα σε σχέση με την αρχική μάζα των φυτικών απορριμμάτων.

Η ελάττωση της μάζας οφείλεται κυρίως στα παραγόμενα αέρια που εκλύονται κατά την αποδόμηση της οργανικής ύλης. Το κομπόστ περιέχει κατά το πλείστον οργανικές ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα, ανόργανες ενώσεις (τέφρα), βιοαποικοδομήσιμες ενώσεις σε μικρές ποσότητες τις οποίες οι μικροοργανισμοί δεν κατανάλωσαν και υγρασία (Brinton, 2000).

Πιο αναλυτικά η σύσταση της ξηρής μάζας του κομπόστ περιέχει: (Nova Scotia, 2008):

- οργανικό υλικό από νεκρούς μικροοργανισμούς
- οργανικό υλικό με: προχουμικές, χουμικές οργανικές ουσίες και κολλοειδείς
- υπολειμματικές οργανικές ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα και
- ανόργανες ουσίες (τέφρα).

1.4.2. Η κομποστοποίηση και τα στάδια της

Στην αρχική φάση γίνεται η προετοιμασία των οργανικών αποβλήτων έτσι ώστε να διαμορφωθούν οι κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες στο αρχικό οργανικό υλικό και να βελτιωθεί η απόδοση της βιοαποικοδόμησής του.

Αυτή η προετοιμασία περιλαμβάνει:

α) τη σωστή επάρκεια του υλικού σε συστατικά (π.χ. άζωτο, άνθρακας, φωσφόρος) προσθέτοντας ένα ή περισσότερα βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά

β) τη σωστή ρύθμιση της υγρασίας ανάμεσα στο υλικό

γ) τον κανονισμό του αρχικού υλικού ως προς το μέγεθός του και τη ρύθμιση του πορώδους του, ώστε να διευκολύνεται το οξυγόνο και να διαχέεται μέσα από τη μάζα του (π.χ. με τον τεμαχισμό του, τη χρήση υλικών που βοηθούν τη διόγκωσή του). Σε κάθε φάση της κομποστοποίησης επικρατούν διαφορετικά είδη μικροβίων ανάλογα με τις μεταβολές στις φυσικοχημικές παραμέτρους (π.χ. θερμοκρασία, θρεπτικά συστατικά, pH, επίπεδα αζώτου, οξυγόνου και άλλοι). Αυτές οι παράμετροι δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την επιβίωσή τους. Οι ευνοϊκότερες παραπάνω παράμετροι παρέχονται από τα κατάλληλα συστήματα κομποστοποίησης που θα ιδούμε σε επόμενη παράγραφο (Said-Pullicino et al, 2007). Η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο μεσόφιλο και στο θερμόφιλο στάδιο οφείλεται στη μεγάλη μικροβιακή δράση η οποία προκαλεί το θάνατο των παθογόνων μικροβίων ώστε να είναι υγιής η κατάσταση του τελικού προϊόντος (Browne, 1933). Μέσω λοιπόν της μεθόδου της κομποστοποίησης, που δεν αποτελεί τίποτα άλλο παρά μια μέθοδο ανακύκλωσης των οργανικών απορριμμάτων, το τελικό οργανικό προϊόν, με τη θανάτωση

των παθογόνων μικροοργανισμών, δεν επιβαρύνει αρνητικά το περιβάλλον. Απεναντίας, βοηθά στην ποιοτική καλύτερευση του εδάφους με τη βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών και τον περιορισμό των ασθενειών τους (Rynk et al., 1992, Martínez-Blanco et al., 2013).

Η κομποστοποίηση σε σχέση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας διακρίνεται σε πέντε φάσεις διαδοχικές (Marshall M.N., et al, 2004).

Στην ψυχρόφιλη φάση, οι μικροοργανισμοί του σωρού βρίσκονται στην κατάσταση προσαρμογής στο καινούργιο περιβάλλον για να αναπτυχθούν και να καταλάβουν όλο το υπόστρωμα. Σε αυτή τη φάση ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης είναι μικρός γιατί οι πληθυσμοί των μικροοργανισμών ακόμα δεν αναπτύχθηκαν. Όμως με γρήγορους ρυθμούς οι μικροοργανισμοί, ως επί το πλείστον τα βακτήρια, αρχίζουν να διασπούν απλές οργανικές ενώσεις, όπως απλά σάκχαρα ή σύνθετα κ.α. με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας (<40°C) (Hellmann et al., 1997).

Επακόλουθο των παραπάνω μεταβολών είναι να αναπτύσσονται και άλλα είδη μικροοργανισμών. Έτσι έχουμε τη μετάβαση από την ψυχρόφιλη φάση στη μεσόφιλη.

Στη μεσόφιλη φάση, επικρατούν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί που ευδοκιμούν σε μικρές θερμοκρασίες (20°C-40°C). Σε αυτό το στάδιο γίνεται η διάσπαση των οργανικών ενώσεων που αποικοδομούνται εύκολα, όπως των σακχάρων και των πρωτεϊνών από τα βακτήρια και τους μύκητες. Οι διασπάσεις είναι εξώθερμες οπότε η απελευθέρωση της θερμότητας αυξάνει τη θερμοκρασία. Συγχρόνως η δράση των βακτηρίων στην αποδόμηση των πρωτεϊνών και των σακχάρων παράγει οξέα οργανικά που προκαλούν τη μείωση του pH. Οι μεγάλες ποσότητες των σακχάρων και των πρωτεϊνών στο αρχικό οργανικό υλικό προσλαμβάνονται αμέσως από τα παραπάνω μικρόβια, τα οποία γρήγορα πολλαπλασιάζονται, οι διασπάσεις αυξάνονται και επομένως αυξάνει η έκλυση θερμότητας και η θερμοκρασία (Harper et al, 1992). Η αύξηση της θερμοκρασίας (45°C-70°C) αδρανοποιεί τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς, οι οποίοι αντικαθίστανται από άλλους θερμοανθεκτικούς μικροοργανισμούς, τους θερμόφιλους.

Περνάμε στη θερμόφιλη φάση, όπου επικρατούν οι θερμόφιλοι μύκητες, τα θερμόφιλα βακτήρια και οι ακτινομύκητες, κατά την οποία διασπούν τις περισσότερο πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, όπως τους σύνθετους υδρογονάνθρακες, για παράδειγμα την κυτταρίνη που αποτελεί το κύριο οργανικό συστατικό στη δομή των φυτών. Σε αυτή τη φάση έχουμε αύξηση του pH, γιατί αποικοδομούνται τα δημιουργηθέντα οξέα της μεσόφιλης φάσης.

Επίσης αύξηση του pH έχουμε επειδή συσσωρεύονται άλατα όταν εξατμίζεται το νερό (Trautmann and Kransy, 1997).

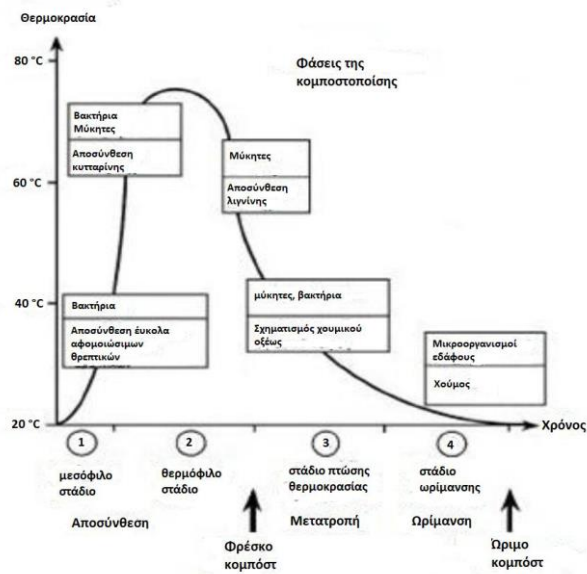
Όσο όμως εξαντλούνται τα αποθέματα των υδατανθράκων, λόγω της αύξησης των διασπάσεών τους, μειώνεται η απελευθέρωση της θερμότητας, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας. Και για έναν άλλον επίσης λόγο έχουμε πτώση της θερμοκρασίας, γιατί πάνω από τους 60°C πολλές ομάδες μικροβίων δεν επιβιώνουν οπότε μειώνονται οι βιοχημικές διασπάσεις (Miller F.C., 1993).

Στη φάση της πτώσης της θερμοκρασίας και στη φάση της Ωρίμανσης (διάγραμμα 4), οι τροφικές απαιτήσεις των μικροβίων είναι περισσότερες από το απόθεμα ενέργειας, με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση στην απελευθέρωση θερμότητας και κατά συνέπεια μείωση της θερμοκρασίας.

Σε αυτές τις θερμοκρασίες επιβιώνουν τα μεσόφιλα βακτηριακά είδη (Cho et al., 2008), τα οποία συντελούν στην καλύτερη ποιότητα του προϊόντος του κομπόστ και στην ωρίμανσή του.

Σε αυτές τις δύο τελευταίες φάσεις συμβαίνουν κυρίως τα εξής:

- Διάσπαση σε όσες οργανικές ενώσεις έχουν εναπομείνει, απλές ή σύνθετες.
- Τα μικρόβια συνενώνουν κάποια από τα προϊόντα της διάσπασης σε μακρύτερες αλυσίδες, τα λεγόμενα πολυμερή και παράγουν σύνθετες χουμικές ουσίες.
- Παράγονται ουσίες αντιμυκητιακές που καταστρέφουν τους παθογόνους μύκητες.
- Δέσμευση του αζώτου, παραγωγή αμμωνίας και, με τη χρήση των νιτροποιητικών βακτηρίων, μετατροπή σε νιτρικά ιόντα.
- Οι ανόργανες θειούχες ενώσεις και αζωτούχες οξειδώνονται και μετατρέπονται σε θειϊκές και νιτρικές αντίστοιχα
- Τα μέταλλα (Mg^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} κ.ά.) δεσμεύονται και σχηματίζονται αδρανή προϊόντα (Beffa, 2002).



Διάγραμμα 4: Φάσεις της κομποστοποίησης (Trautman and Kransy, 1977)

1.4.3 Χρόνος διάρκειας των φάσεων

Ανάλογα με την τεχνολογία των εγκαταστάσεων κομποστοποίησης απαιτούνται 2 έως 6 εβδομάδες για τις πρώτες φάσεις και άλλες 7 έως 8 (μπορεί και περισσότερες, αναλόγως των εγκαταστάσεων και των συνθηκών του καιρού) για τη φάση της ωρίμανσης. Η παρατήρηση της εξέλιξης της κομποστοποίησης συνήθως γίνεται με την παρατήρηση της θερμοκρασίας, τη μέτρηση της αναλογίας C/N και του pH (Βλοντάκης, 2007).

1.4.4 Παράγοντες που μεταβάλλουν την πορεία της κομποστοποίησης

Οι παράγοντες που ελέγχουν όλη την πορεία της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν ένα σύνολο από μεγέθη που μεταβάλλονται κατά την εξέλιξη της διεργασίας και μπορούν να κανονιστούν με εξωτερικές επεμβάσεις ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός διάσπασης των οργανικών ουσιών.

Αυτούς τους παράγοντες περιγράφουμε στη συνέχεια, δηλαδή:

- α) Τη σημασία να ελέγχουμε και να προσδιορίζουμε κάθε παράγοντα.
- β) Την αποτύπωση του επιθυμητού φάσματος τιμών και την καταγραφή της κατώτερης και της ανώτερης επιτρεπόμενης τιμής με βάση τη βιβλιογραφία που υπάρχει διεθνώς.
- γ) Τη μεταβολή κάθε παράγοντα κατά την πορεία της κομποστοποίησης
- δ) Τη μεθοδολογία ελέγχου των παραγόντων ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό φάσμα τιμών.

- **Θερμοκρασία**

Από τις κύριες παραμέτρους που ρυθμίζουν την εξέλιξη της κομποστοποίησης είναι η θερμοκρασία λόγω της μικροβιακής αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών. Η σπουδαιότητα παρακολούθησής της οφείλεται στην καταγραφή της δράσης των μικροβίων στο σωρό και είναι ένας βασικός δείκτης για το αν η κομποστοποίηση διεξάγεται ομαλά ή όχι (Diaz and Savage, 2007).

Η θερμοκρασία του σωρού επηρεάζει το ρυθμό των βιολογικών διεργασιών και παίζει ρόλο στη μεταβολή και στη διαδοχική σειρά των πληθυσμών των μικροβίων. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του οργανικού υλικού δείχνει τις διαφορετικές φάσεις της κομποστοποίησης η οποία, όπως αναφέραμε και πριν, μπορεί να διακριθεί σε πέντε φάσεις (Hassen et al., 2001).

Κατά την αρχική φάση, την ψυχρόφιλη, έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας, όπως περιγράψαμε και παραπάνω.

Όμως η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί τη δημιουργία νέων ειδών μικροβίων (διαδοχική μικροβιακή σειρά) και τη μετάβαση από την ψυχρόφιλη φάση στη μεσόφιλη. Μύκητες και βακτήρια μεσόφιλα συνεχίζουν να αποικοδομούν τις οργανικές ενώσεις, με προτίμηση κυρίως τη διάσπαση των οργανικών ενώσεων στις οποίες η αναλογία C/N είναι μεταξύ 9-12. Η αποδόμηση πιο σύνθετων οργανικών ουσιών δίνει πιο απλές ενώσεις, αυξάνοντας τη δράση των μικροοργανισμών καθώς και τη θερμοκρασία του οργανικού υλικού.

Συγκεκριμένα τα εξωκυτταρικά ένζυμα των μικροοργανισμών διασπών τις οργανικές ενώσεις ενώ τα ενδοκυτταρικά ένζυμα ελέγχουν την ανάπτυξή τους, αλλά και τον πολλαπλασιασμό τους καθώς επίσης και τις υπόλοιπες βιολογικές τους δράσεις.

Η θερμόφιλη φάση, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, διαδέχεται τη μεσόφιλη φάση κατά την οποία τα μεσόφιλα μικρόβια είναι ολοένα και λιγότερο ανταγωνιστικά, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 40-45°C (Jeong and Kim, 2001, Eklind and Kirchmann, 2000b,

Hellmann et al., 1997) και τα θερμοφιλα μικρόβια διαδέχονται τα μεσόφιλα. Τα θερμοφιλα μικρόβια, δηλαδή ακτινομύκητες και βακτήρια διασπών πολύπλοκα μεγαλομόρια, όπως τα λίπη (Miller, 1991). Στη θερμοφιλη φάση η διάσπαση των οργανικών ουσιών γίνεται στο μέγιστο βαθμό και στα μέγιστα όρια της θερμοκρασίας. Ο χρόνος διάρκειας της θερμοφιλης φάσης εξαρτάται από την επάρκεια σε θρεπτικά συστατικά και σε οργανικές ουσίες για διάσπαση, όπως επίσης παίζουν ρόλο και οι άλλοι παράγοντες που ρυθμίζουν την κομποστοποίηση (π.χ. αερισμός, υγρασία, ανάδευση).

Η μετέπειτα φάση είναι μια μεσόφιλη φάση (ή φάση πτώσης της θερμοκρασίας), δεύτερη σε σειρά (<40°C-45°C) στην οποία η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά γιατί η δράση των μικροοργανισμών μειώνεται, αφού τελειώνει η βιοαποδομήσιμη οργανική ουσία που είναι διαθέσιμη. Επομένως, σταδιακά θανατώνονται τα θερμοφιλα μικρόβια ενώ κάνουν την εμφάνισή τους νέες ομάδες πληθυσμών, κυρίως οι μύκητες που αποικοδομούν το πιο δυσδιάσπαστο οργανικό υλικό, όπως είναι η λιγνίνη καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις σύνθετες που διασπώνται σε πιο απλά σάκχαρα και νέες ενδιάμεσες οργανικές ενώσεις του μεταβολισμού. Όλες βέβαια οι αντιδράσεις γίνονται με αργό ρυθμό οπότε η θερμότητα που εκλύεται δεν καλύπτει τις απώλειες θερμότητας. Επομένως, ο σωρός οδηγείται βαθμιαία προς την τελική ψυχρόφιλη φάση (φάση ωρίμανσης) στην οποία η θερμοκρασία πέφτει σταδιακά σε αυτή του περιβάλλοντος, η οποία και αποτελεί το δείκτη ολοκλήρωσης των φάσεων της κομποστοποίησης (Cooperband, 2000).

Έχει σημασία να τονίσουμε ότι στην πρώτη μεσόφιλη και στη θερμοφιλη φάση, δηλαδή στις πρώτες φάσεις έχουμε πιο πολύ την αποικοδόμηση πιο σύνθετων οργανικών ουσιών και πιο λίγο το σχηματισμό καινούργιων πιο σταθερών ενώσεων.

Αντιθέτως η δεύτερη μεσόφιλη φάση περιλαμβάνει συνθέσεις πιο σταθερών και πιο σύνθετων οργανικών ουσιών (χουμικές ουσίες κ.α.) (Μαλαμής, 2011). Η στόχευση των βέλτιστων επιπέδων θερμοκρασίας έχει μεγάλη σημασία για την επιτυχία της κομποστοποίησης (Finstein et al., 1986, Finstein and Morris, 1975) και συντελεί στη βελτίωση των ρυθμών βιοαποικοδόμησης του οργανικού υλικού (Miller, 1992). Με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα, το εύρος των καλύτερων τιμών θερμοκρασίας, όπου η ταχύτητα βιοαποικοδόμησης του οργανικού υλικού γίνεται μέγιστη, βρίσκεται ανάμεσα στους 43°C και 65°C. Έξω από αυτά τα όρια θερμοκρασίας αναστέλλεται η ομαλή διεργασία της βιοαποικοδόμησης του οργανικού υλικού. Όταν η θερμοκρασία στο οργανικό υλικό

κυμαίνεται ανάμεσα στους 60°C με 70°C μειώνεται η ενεργότητα πολλών θερμοφίλων μικροβίων και επομένως μειώνεται και η δράση τους που είναι σημαντική για την καλύτερη διαδικασία της κομποστοποίησης (Epstein,1997, Miller, 1992).

Σε μεγαλύτερα όρια θερμοκρασίας (>70°C) οι μικροοργανισμοί γίνονται αδρανείς ή καταστρέφονται (Diaz and Savage 2007, Mena et al., 2003, Fermor et al.,1989, Finstein et al.,1986). Η κατώτατη τιμή της θερμοκρασίας στο σωρό του οργανικού υλικού είναι 20°C, γιατί σε μικρότερη θερμοκρασία σταματά η διαδικασία της κομποστοποίησης (Mosher and Anderson 1977). Αν και οι μεγάλες θερμοκρασίες αναστέλλουν ή επιβραδύνουν την διαδικασία της κομποστοποίησης, παρόλα αυτά όμως οι μεγάλες θερμοκρασίες είναι αυτές που καταστρέφουν τα ανεπιθύμητα παθογόνα μικρόβια που πιθανόν να υπάρχουν στο φυτικό υλικό. Η χρονική διάρκεια σε ορισμένες τιμές της θερμοκρασίας είναι ο βασικός παράγοντας που εξασφαλίζει ένα υγιές υπόστρωμα απαλλαγμένο από τυχόν παθογόνα μικρόβια (Hogg et al., 2002). Σύμφωνα με έρευνες η τιμή της θερμοκρασίας 65°C για τριάντα λεπτά τουλάχιστον είναι η κρίσιμη τιμή για την ανενεργότητα ή/και τη θανάτωση των παθογόνων μικροβίων (Bollen et al., 1989, Lopez-Real and Foster, 1985, Bollen, 1969). Σύμφωνα με άλλες έρευνες η τιμή της θερμοκρασίας 65°C για τρεις ημέρες είναι η κρίσιμη τιμή για την ανενεργότητα ή/και τη θανάτωση των παθογόνων μικροβίων (de Bertoldi et al., 1988).

Σύμφωνα με άλλη έρευνα, η τιμή θερμοκρασίας 55°C για 3 ημέρες στη διαδικασία διάσπασης του οργανικού υποστρώματος εξασφαλίζει την καταστροφή των παθογόνων μικροβίων που υπάρχουν στο αρχικό οργανικό υλικό σε ποσοστό 99,9% (Κουλουμπής και Τσαντήλας, 2007). Συνοψίζοντας τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για να ελέγχουμε την διαδικασία της κομποστοποίησης είναι βασικό να ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία του οργανικού υλικού σε επιθυμητά όρια.

Οι εξωτερικές παρεμβάσεις που μπορούμε να κάνουμε για την αφαίρεση του πλεονάσματος της θερμότητας είναι:

- α) να αναδεύουμε τη μάζα του οργανικού υλικού για την ομοιογένεια της θερμοκρασίας στο υλικό και την αφαίρεση ενός ποσού από τους παραγόμενους υδρατμούς
- β) να ψύχουμε τη μάζα του οργανικού υλικού με συστήματα για κατάλληλο αερισμό (Miller, 1992). Αν οι τιμές της θερμοκρασίας είναι μικρότερες από τις επιθυμητές εφαρμόζουμε μεθόδους, όπως χρησιμοποιούμε τοιχώματα μονωτικά ή καλύμματα για τη συγκράτηση της

παραγόμενης θερμότητας από τις βιοχημικές αντιδράσεις και την αξιοποίηση της θερμότητας του ήλιου (Μιχαλόπουλος, 2010).

- **Υγρασία**

Η υγρασία είναι απαραίτητη για τις βιοχημικές δράσεις των μικροοργανισμών σε όλες τις φάσεις της κομποστοποίησης, εφόσον το νερό είναι το μέσο για να μεταφέρονται τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για τις αντιδράσεις μεταβολισμού των μικροβίων (Gajalakshmi and Abbasi, 2008). Η υγρασία είναι βασική για όλη τη διαδικασία της βιοαποικοδόμησης των οργανικών ουσιών, καθώς οι περισσότερες αντιδράσεις πραγματοποιούνται στην υγρή κάλυψη της επιφάνειας των μορίων της οργανικής ύλης, όπου συγκεντρώνονται οι πληθυσμοί των αερόβιων μικροοργανισμών. Η υγρασία του οργανικού υλικού ίσως να είναι η βασικότερη παράμετρος της κομποστοποίησης σε σχέση με τη θερμοκρασία γιατί ρυθμίζει σε πιο μεγάλο βαθμό τις δράσεις των μικροβίων (Margesin et al., 2006, Liang et al., 2003). Ως το ιδανικότερο φάσμα τιμών της αρχικής υγρασίας που πρέπει να υπάρχει στο οργανικό υλικό είναι ανάμεσα στις τιμές 50% και 70% (Stentiford, 1996, Gajalakshmi and Abbasi, 2008, Καπετάνιος, 1990). Επισημαίνεται ότι το παραπάνω φάσμα τιμών επηρεάζεται από το πορώδες του οργανικού υλικού που θα κομποστοποιηθεί (Nova Scotia, 2008, Diaz and Savage, 2007).

Το μέγεθος των σωματιδίων, η διάταξή τους, όπως και η δομή τους καθορίζουν το πορώδες του υποστρώματος άρα και το βέλτιστο φάσμα τιμών της υγρασίας που περιέχεται αρχικά στο σωρό. Δηλαδή, αν το οργανικό υλικό έχει μικρό πορώδες χρειάζεται μικρότερο εύρος τιμών υγρασίας, πιο μικρό από αυτό του οργανικού υλικού που έχει μεγάλο πορώδες (Diaz and Savage, 2007). Η υγρασία του σωρού μικραίνει όσο προχωρά η κομποστοποίηση από την αρχική της φάση προς την τελική γιατί αυξάνεται η θερμοκρασία, η ανάδευση και ο αερισμός του σωρού, λόγω της εξάτμισης και επομένως της αφαίρεσης μέρους της υγρασίας του υλικού.

Για ποσοστό υγρασίας κάτω από 30%, λόγω της αφυδάτωσης, επιβραδύνεται η δραστηριότητα των μικροβίων. Ενώ για ποσοστό υγρασίας πάνω από 75% αναστέλλονται οι δράσεις των μικροβίων γιατί το νερό καταλαμβάνει τη θέση του οξυγόνου στους πόρους του υλικού και έτσι περιορίζεται η μεταφορά του στη μάζα του οργανικού υλικού, με

αποτέλεσμα τη διαμόρφωση συνθηκών αναερόβιων αντιδράσεων (de Bertoldi et al., 1983, Gajalakshmi and Abbasi, 2008).

Για να αντιμετωπίσουμε την αύξηση της υγρασίας του υποστρώματος χρησιμοποιούμε μεθόδους όπως:

- α) πρόσθεση νερού με κατάλληλα συστήματα υγραποίησης του σωρού
- β) πρόσθεση οργανικών υλικών μερικώς επεξεργασμένων με υψηλότερη υγρασία σε σχέση με το αρχικό υλικό.

Όταν ενυδατώνουμε το αρχικό μίγμα, θα πρέπει να φροντίζουμε ώστε το νερό να πηγαίνει σε ολόκληρη τη μάζα του μίγματος ομοιόμορφα για να εξασφαλίσουμε τα βέλτιστα επίπεδα υγρασίας. Αν το οργανικό υλικό παρουσιάζει υψηλή υγρασία κατά την κομποστοποίηση, χρησιμοποιούμε μεθόδους, όπως: α) ανάδευση του σωρού ώστε το οξυγόνο να διαχέεται σε όλη την οργανική μάζα και β) προσθήκη οργανικής ουσίας με χαμηλότερη υγρασία σε σχέση με το αρχικό υλικό ή προσθήκη οργανικής ουσίας με μεγαλύτερο πορώδες σε σχέση με το αρχικό υλικό (Μιχαλόπουλος, 2010).

• Αερισμός – Προσθήκη οξυγόνου

Ο αερισμός και επομένως η τροφοδοσία με οξυγόνο είναι απαραίτητη στη διαδικασία της κομποστοποίησης για να αναπτύσσονται οι αερόβιοι μικροοργανισμοί και να πραγματοποιούν τις αναπνευστικές τους λειτουργίες καθώς και τις μεταβολικές τους διεργασίες (Barrington et al., 2003). Ο αερισμός γίνεται με ανάδευση ή με παροχή αέρα ή και με τους δύο τρόπους. Είναι απαραίτητο το οξυγόνο να διαχέεται συνεχώς και να κυκλοφορεί ενδιάμεσα του οργανικού υλικού για να αποφεύγεται η αναερόβια διαδικασία και η απελευθέρωση δύσσομων και τοξικών οργανικών προϊόντων (π.χ. αλκοόλες, μεθάνιο, πτητικά οξέα και άλλα) (Finstain et al., 1983).

Ο αερισμός του οργανικού υλικού, εκτός από την παροχή οξυγόνου που είναι βασική για τις αερόβιες βιοχημικές αντιδράσεις της κομποστοποίησης, επιτρέπει:

- α) την απομάκρυνση της θερμότητας και επομένως τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σωρού
- β) την απομάκρυνση των υδρατμών και επομένως τη ρύθμιση της υγρασίας και
- γ) την απομάκρυνση των αερίων που είναι εγκλωβισμένα στο σωρό, για παράδειγμα των διοξειδίων: του άνθρακα και του αζώτου.

Δηλαδή υπάρχει αλληλεπίδραση ανάμεσα στον αερισμό του οργανικού υλικού, την υγρασία και τη θερμοκρασία, εφόσον οι δράσεις των μικροβίων και επομένως οι μεγάλες θερμοκρασίες χρειάζονται ορισμένες τιμές υγρασίας στο εσωτερικό του σωρού, για να μπορεί να διαχέεται ο αέρας μέσα από τα ενδιάμεσα των πόρων των σωματιδίων του σωρού. Στις πρώτες φάσεις της κομποστοποίησης η ανάγκη του οργανικού υλικού σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη ενώ μειώνεται όσο προχωρά η διαδικασία. Στα πρώτα στάδια της κομποστοποίησης, όπου η ποσότητα του οργανικού υλικού είναι μεγαλύτερη και οι ευκόλως διασπώμενες οργανικές ενώσεις μεταβολίζονται γρήγορα, η κατανάλωση σε οξυγόνο είναι μέγιστη. Με την κατανάλωση των οργανικού υλικού του σωρού, η ανάγκη των μικροοργανισμών σε οξυγόνο σταδιακά μειώνεται (Environment Agency, 2001).

Μια άλλη παράμετρος, εκτός από την υγρασία, που ρυθμίζει τον καλό αερισμό του σωρού είναι οι φυσικές ιδιότητες του σωρού, για παράδειγμα το πορώδες. Το πορώδες εκφράζει το μέτρο του χώρου των διάκενων μέσα στο σωρό, στα οποία διάκενα του σωρού διαχέεται το οξυγόνο (Rynk et al., 1992). Η ελάχιστη περιεκτικότητα του οξυγόνου στο υπόστρωμα του σωρού απαιτείται να είναι περίπου 5% v/v (Rynk et al., 1992, Poincelot, 1977). Οι ευνοϊκότερες τιμές του οξυγόνου στο οργανικό υλικό είναι μεταξύ 5 v/v και 15% v/v (Wesner, 1978, Alexander et al., 2002).

- **pH**

Το πόσο αλκαλικό ή όξινο είναι το οργανικό υλικό, με άλλα λόγια το pH, είναι ένας ακόμη βασικός παράγοντας που ελέγχει τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Η μεταβολή του pH είναι ένας δείκτης για την ομαλή εξέλιξη της κομποστοποίησης. Το pH έχει σχέση με την ποικιλία των μικροβίων που ευδοκιμούν στη βιοαποικοδόμηση των οργανικών υλικών και τον βαθμό εξέλιξης της διαδικασίας. Όταν οι τιμές του pH είναι ανάμεσα στις 6,0 και 7,5 ευνοείται ο πολλαπλασιασμός και η επιβίωση βακτηρίων. Όταν οι τιμές του pH κυμαίνονται ανάμεσα στις 5,0 και 8,0 ευνοείται ο πολλαπλασιασμός και η επιβίωση μυκήτων.

Αρχικά η οργανική μάζα στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ελαφρά όξινη. Στην αρχική φάση οι διαλυτές και ευκόλως βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις, για παράδειγμα τα λιπίδια, το άμυλο και τα σάκχαρα, διασπώνται από τους μικροοργανισμούς προς το σχηματισμό οργανικών οξέων, οπότε το pH μειώνεται. Στις επόμενες φάσεις έχουμε

αύξηση του pH γιατί οι μύκητες καταναλώνουν τα οργανικά οξέα διασπώντας αυτά και γιατί παράγεται αμμωνία λόγω της διάσπασης των ενώσεων του αζώτου (Crawford, 1983). Μετά τις μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας στο σωρό, έχουμε βαθμιαία ελάττωση του pH, γιατί τα νιτροποιητικά μικρόβια μετατρέπουν τα αμμωνιακά ιόντα σε νιτρικά, μέσω της διεργασίας της νιτροποίησης (Pagans et al., 2005, Mena et al., 2003). Ανεξάρτητα από το pH του αρχικού μίγματος, η διαδικασία της κομποστοποίησης δίνει τελικά ένα παραγόμενο οργανικό μίγμα με pH σταθερό στην περιοχή των ουδέτερων τιμών (Ευθυμίου, 2012).

- **Φυσικές ιδιότητες του οργανικού υλικού**

Οι φυσικές ιδιότητες της δομής, του πορώδους, της υφής και του μεγέθους των οργανικών υλικών είναι αυτές που ελέγχουν την κομποστοποίηση, λόγω της επίδρασής τους στον αερισμό και στη διάχυση του οξυγόνου ανάμεσα στη μάζα της οργανικής ύλης. Η δράση των μικροβίων διεξάγεται περισσότερο στην επιφάνεια των σωματιδίων του υλικού, εφόσον η διάχυση του οξυγόνου πραγματοποιείται γρηγορότερα διαμέσου των διάκενων του σωρού και βραδύτερα ανάμεσα στα υγρά και στα στερεά μέρη των σωματιδίων (Environment Agency, 2001). Όπως αναφέραμε παραπάνω, το πορώδες εκφράζει το μέτρο του χώρου που καταλαμβάνουν τα διάκενα μεταξύ των σωματιδίων του σωρού, στον οποίο χώρο διαχέεται το οξυγόνο και διεξάγεται η δράση των μικροβίων (Rynk et al., 1992).

Άρα το πορώδες καθορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων και είναι ο παράγοντας που ελέγχει την ταχύτητα των βιοχημικών αντιδράσεων σε κάθε φάση της κομποστοποίησης. Αν τα σωματίδια έχουν μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας για κάθε μονάδα όγκου, αυξάνουν το πορώδες και προσδίνουν έναν ομογενοποιημένο σωρό οπότε αυξάνει και η ταχύτητα αποικοδόμησης της οργανικής ύλης καθώς και η σταθερότητα των τιμών θερμοκρασίας (O'Leary and Walsh, 1995). Το μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας για κάθε μονάδα όγκου αυξάνει το πορώδες, δηλαδή αυξάνει το μέγεθος των διάκενων για τη διάχυση του οξυγόνου και συγχρόνως αυξάνει την επιφάνεια για τη δράση του μικροβιακού πληθυσμού, οπότε τα σωματίδια συρρικνώνονται και διασπώνται καθώς τα μικρόβια ενεργούν πιο εσωτερικά (Γιδαράκος, 2007).

Για να ρυθμίσουμε καλύτερα τις φυσικές ιδιότητες του υλικού χρησιμοποιούμε μεθόδους, όπως τον τεμαχισμό, το σχηματισμό κόκκων με την κατάλληλη επιλογή και τη μίξη με πρώτες ύλες. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούμε ως πρόσθετα οργανικά, στη διαδικασία της κομποστοποίησης, για να ελέγχουν τις φυσικές ιδιότητες λέγονται διογκωτικά υλικά. Τα διογκωτικά υλικά με την απορροφητική ικανότητα που έχουν, εξασφαλίζουν την απαραίτητη δομή και το πορώδες στο οργανικό μίγμα και συγχρόνως προσδίνουν τον άνθρακα για τον έλεγχο του λόγου C/N στον αρχικό οργανικό σωρό (Schaub and Leonard, 1996, Haug, 1980). Στα διογκωτικά υλικά περιλαμβάνονται τα πριονίδια, τα ροκανίδια, το άχυρο, τα υπολείμματα από καλλιέργειες δημητριακών, οι φλοιοί δέντρων, τα κλαδιά, τα φύλλα και άλλα (Manios, 2004).

- **Θρεπτικά συστατικά**

Ο άνθρακας, το άζωτο, το κάλιο και ο φωσφόρος είναι τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στα μικρόβια για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών της κομποστοποίησης και για τις αντιδράσεις του μεταβολισμού. Τα οργανικά απορρίμματα περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό οργανικές ενώσεις, με το άζωτο και τον άνθρακα να ρυθμίζουν σε μεγάλο βαθμό τη διεργασία της κομποστοποίησης, με το έλλειμμα τους ή το πλεόνασμά τους στο οργανικό υλικό (Environment Agency, 2001). Το στοιχείο άνθρακας χρειάζεται για τις απαιτήσεις των μικροβίων σε ενέργεια και για τη δομή τους ως βασικό στοιχείο. Το άζωτο είναι το στοιχείο που περιλαμβάνεται στα μόρια των πρωτεϊνών, των αμινοξέων, των νουκλεϊκών οξέων και των ενζύμων, τα οποία απαιτούνται για την ανάπτυξη των κυττάρων των μικροβίων (Gajalakshmi and Abbasi, 2008). Άρα η ισορροπία του οργανικού υλικού σε θρεπτικά στοιχεία προσδιορίζεται με την αναλογία του άνθρακα προς το άζωτο (C/N) η οποία εκφράζει και το λόγο των ατόμων του άνθρακα προς τα άτομα του αζώτου στο οργανικό μόριο του υλικού (Bernal et al. 2009). Ο λόγος C/N για τα μικρόβια βρίσκεται μεταξύ των τιμών 9 με 12 (Zucconi and de Bertoldi, 1987), ενώ τα μικρόβια κατά την αποικοδόμηση του οργανικού υλικού, το 1/3 του προϊόντος του μεταβολισμού του άνθρακα το ενσωματώνουν στα κύτταρά τους και ο υπόλοιπος άνθρακας εκλύεται με τη μορφή CO₂ (Alexander, 1977). Θεωρητικά, ο ιδανικός λόγος C/N του αρχικού οργανικού υλικού είναι μεταξύ 27 και 36. Αναφέρεται ότι η βέλτιστη αναλογία C/N είναι ανάμεσα στις

τιμές 25 με 35 (Golueke, 1991). Αν για παράδειγμα η αναλογία C/N είναι πιο μεγάλη από την τιμή 35/1, έχουμε αργή αποικοδόμηση που προκαλεί μεγαλύτερη απώλεια σε άζωτο.

Οι μικροοργανισμοί οξειδώνουν με αργούς ρυθμούς την περίσσεια του άνθρακα μέχρι να αποκατασταθεί ο λόγος στις καλύτερες συνθήκες για τη διαδικασία του μεταβολισμού τους. Στην αντίθετη περίπτωση που το αρχικό οργανικό υπόστρωμα έχει μικρές τιμές C/N, έχουμε συνθήκες πλεονάσματος του αζώτου οπότε αυξάνονται οι απώλειες του αζώτου με την παραγωγή της αμμωνίας (Gaur, 2000).

Άρα η αφαίρεση ή η προσθήκη κατάλληλων οργανικών απορριμμάτων στον αρχικό οργανικό σωρό που είναι πλούσια ή φτωγά σε άνθρακα ή σε άζωτο μπορεί να αυξήσει ή να ελαττώσει το λόγο C/N ώστε να ρυθμιστεί ανάμεσα στις ευνοϊκές τιμές 25 με 35.

A) υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε Άνθρακα (C) χαρακτηρίζονται ως καφέ μέρη.

Τα παρακάτω υλικά περιέχουν μεγάλη ποσότητα Άνθρακα (C):

- πριονίδια ξύλου (C/N: 200/1-750/1),
- το φύλλωμα (C/N: 40/1-80/1),
- υπολείμματα από κομμένο ξύλο (μαλακό ξύλο) (C/N: 200/1-1300/1),
- υπολείμματα από κομμένο ξύλο (σκληρό ξύλο) (C/N: 450/1-800/1),
- φλούδες δέντρου (μαλακό ξύλο) (C/N: 100/1-1200/1),
- φλούδες δέντρου (σκληρό ξύλο) (C/N: 100/1-400/1),
- άχυρο (C/N: 50/1-150/1),
- εφημερίδες (C/N: 400/1-900/1),
- χαρτιά σε ανάμειξη (π.χ. χαρτί κουζίνας, χαρτοπετσέτες κ.ά.) (C/N: 100/1-200/1).

B) υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε Άζωτο (N) χαρακτηρίζονται ως πράσινα μέρη.

Τα παρακάτω υλικά περιέχουν μεγάλη ποσότητα αζώτου (N):

- υπολείμματα τροφών (C/N: 15/1),
- απορρίμματα λαχανικών στην κουζίνα (C/N: 10/1-20/1),
- υπολείμματα από φρούτα (C/N: 20/1-50/1),
- κατακάθια του καφέ (C/N: 20/1),
- κομμένη χλόη (γκαζόν) (C/N: 10/1-25/1) (Trautmann and Krasny, 1998).

Κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, το πώς μεταβάλλεται ο λόγος C/N έχει να κάνει με την πορεία της εξέλιξης του αζώτου και του άνθρακα όπως και με τις ανόργανες μορφές του αζώτου (NH_4^+ , NO_3^-) κατά την αποικοδόμηση του οργανικού υλικού του σωρού.

Δηλαδή, ο λόγος C/N εξαρτάται:

- από την ταχύτητα μείωσης του αζώτου και του άνθρακα κατά τη βιοαποδόμηση του οργανικού υλικού του σωρού,
- από τις απώλειες του άνθρακα κατά τις βιοχημικές αντιδράσεις, σε αέρια μορφή, για παράδειγμα ως CO_2 και
- από τις απώλειες του αζώτου, μέσω της αέριας μορφής της αμμωνίας κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης.

Γενικά, οι μειώσεις των ποσοτήτων του αζώτου και του άνθρακα, κατά τη διαδικασία της διάσπασης του οργανικού υλικού, είναι μεγάλες και συνήθως η μείωση σε άνθρακα είναι μεγαλύτερη από τη μείωση σε άζωτο, με αποτέλεσμα ο λόγος C/N να είναι μειωμένος στο οργανικό υλικό που προκύπτει στο τέλος της διεργασίας της κομποστοποίησης (Goyal et al., 2005).

α) Άνθρακας

Κατά το θερμόφιλο στάδιο της πορείας της κομποστοποίησης η ποσότητα του άνθρακα στο σωρό παρουσιάζει μεγάλη μείωση, γιατί βιοαποικοδομείται το οργανικό υλικό μέσω των μικροοργανισμών. Στο στάδιο αυτό, οργανικές ενώσεις που δεν είναι σταθερές, για παράδειγμα υδατάνθρακες απλοί, αμινοξέα και λίπη, αποσυντίθενται εύκολα. Αντίθετα ενώσεις πιο σύνθετες, για παράδειγμα η λιγνίνη, η ημικυτταρίνη και η κυτταρίνη, αποσυντίθενται εν μέρει με μικρότερο ρυθμό. Κατά την εξέλιξη της διαδικασίας, η ταχύτητα διάσπασης του άνθρακα ελαττώνεται, γιατί μειώνονται οι διαθέσιμες οργανικές ενώσεις λόγω της βιοαποικοδόμησής τους και γιατί ξεκινούν οι διαδικασίες χουμοποίησης, το οποίο σημαίνει ότι σχηματίζονται νέες σύνθετες πολυμερείς οργανικές ενώσεις που οι περισσότερες παράγονται στη φάση της ωρίμανσης του οργανικού σωρού.

Η βιοαποικοδόμηση του οργανικού σωρού, κατά την πορεία της κομποστοποίησης, εξαρτάται από την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των οργανικών ουσιών που αποδίδεται με την ταχύτητα βιοαποικοδόμησής τους (Haug, 1993).

Η ταχύτητα βιοαποικοδόμησής τους ελέγχει την ταχύτητα διάσπασης του οργανικού σωρού, την απελευθέρωση αερίων, τη χρονική διάρκεια των φάσεων της κομποστοποίησης και την κατανάλωση του οξυγόνου. Άρα, κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης οι οργανικές ουσίες μετατρέπονται εν μέρει σε ανόργανες ενώσεις, όπως σε CO₂, με άμεσο επακόλουθο τη μείωση του άνθρακα και συγχρόνως αυξάνεται ο ρυθμός σταθεροποίησης των ενώσεων των οργανικών που εναπομένουν (Bernal et al., 2009).

β) Άζωτο

Στην πορεία της κομποστοποίησης, το άζωτο συμμετέχει σε πάρα πολλές οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (Πίνακας 1) που γίνονται με τρόπους διαφορετικούς και με διαφορετικά είδη μικροοργανισμών. Όλες αυτές οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν το βιοχημικό κύκλο του αζώτου.

Κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, το οργανικό άζωτο του σωρού μετασχηματίζεται σε ανόργανο με την αμμωνιοποίησή του (Πίνακας 1: αντίδραση 1) και τη μετατροπή του σε κατιόν αμμωνίου (Tiquia and Tam, 2000).

Στη συνέχεια τα αμμωνιακά ιόντα μετατρέπονται σε αμμωνία που εκλύεται στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 1: αντίδραση 2) ή παθαίνουν οξείδωση μέσω του οξυγόνου και μετατρέπονται σε ιόντα νιτρικά με τη διαδικασία της νιτροποίησης (Πίνακας 1: αντιδράσεις 3α, 3β) (Bernal et al., 2009).

Συγχρόνως με τη μετατροπή του αζώτου από οργανικό σε ανόργανο (ανοργανοποίηση), έχουμε και τη μετατροπή του αζώτου από ανόργανο σε οργανικό (ακινητοποίηση), στην οποία τα μικρόβια του σωρού χρησιμοποιούν τις ανόργανες ενώσεις του αζώτου για τις κυτταρικές τους λειτουργίες (Πίνακας 1: αντιδράσεις 4α, 4β).

Η ισορροπία των δύο παραπάνω αντιδράσεων του αζώτου, ακινητοποίησης και ανοργανοποίησης, ρυθμίζεται από την ποσότητά του στο σωρό και επομένως από την αναλογία C/N. Αν η αναλογία C/N είναι μεγάλη, ευνοείται η αντίδραση της ακινητοποίησης εξαιτίας της έλλειψης του αζώτου (πλεονάσματος του άνθρακα). Αν η αναλογία C/N είναι

μικρή ευνοείται η αντίδραση της ανοργανοποίησης εξαιτίας του πλεονάσματος του αζώτου (έλλειψης του άνθρακα) (Kokkora, 2008).

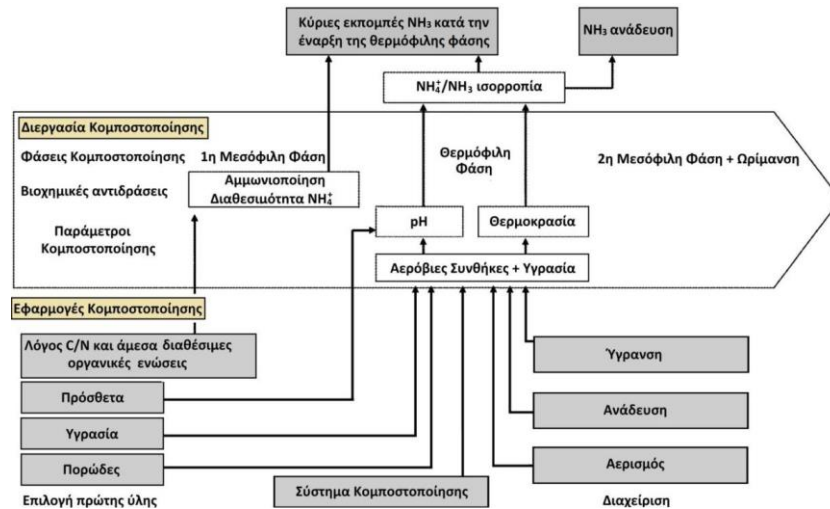
Πίνακας 1: Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής του αζώτου κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης (Henry et al., 1999)

Αντιδράσεις	Διεργασία	Αντίδραση
$R - NH_2 + H_2O + H^+ \rightarrow R - OH + NH_4^+$	Αμμωνιοποίηση	1
NH_4^+ (κόμποστ) \leftrightarrow NH_3 (κόμποστ) + H^+ \leftrightarrow NH_3 (αέριο) \leftrightarrow NH_3	Πτητικότητα NH_3	2
$NH_4^+ + 1.5O_2$ (διαλυτό) \rightarrow $NO_2^- + H_2O + 2H^+$	Νιτροποίηση (α)	3α
$NO_2^- + 0.5O_2$ (διαλυτό) \rightarrow NO_3^-	Νιτροποίηση (β)	3β
$NO_3^- + 2e \rightarrow NO_2^- + 6e \rightarrow NH_4^+$	Ακίνητοποίηση (α)	4α
$NH_4^+ + R - OH \rightarrow R - NH_2 + H_2O + H^+$	Ακίνητοποίηση (β)	4β
$NO_3^- + 1.25HCHO \rightarrow 0.5N_2 + 0.75H_2O + 1.25CO_2 + OH$	Απονιτροποίηση σε N_2	5α
$NO_3^- + HCHO \rightarrow 0.5N_2O + 0.5H_2O + CO_2 + OH$	Απονιτροποίηση σε N_2O	5β

Στις πρώτες φάσεις της κομποστοποίησης οι αζωτούχες οργανικές ενώσεις του σωρού (λιπίδια, πρωτεΐνες και άλλες) διασπώνται δίνοντας ιόντα αμμωνίου, τα οποία αποκτούν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση όταν η θερμοκρασία γίνεται μέγιστη και αλκαλικό το περιβάλλον (pH>7,5). Συγχρόνως στις παραπάνω φάσεις έχουμε περιορισμό της νιτροποίησης γιατί οι νιτροποιητικοί μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται σε υψηλές τιμές της θερμοκρασίας και αλκαλικού pH (de Bertoldi et al., 1983). Οι παραπάνω συνθήκες είναι ευνοϊκές για την παραγωγή της αμμωνίας και τη μείωση του αζώτου στο σωρό (Bernal et al., 2009).

Η παραγωγή της αμμωνίας καθορίζεται από τους ίδιους παράγοντες που καθορίζουν τις αντιδράσεις: α) σχηματισμού ιόντων αμμωνίου β) μετατροπής των ιόντων αμμωνίου σε αμμωνία γ) παραγωγής της αέριας αμμωνίας από τη διαλυτή αμμωνία του σωρού και δ) μεταφοράς, στην ατμόσφαιρα, της αέριας αμμωνίας του σωρού (Πίνακας 1: αντίδραση 2). Άρα, στους παράγοντες που ελέγχουν τη μείωση του αζώτου, λόγω της μετατροπής του σε αέρια αμμωνία, περιλαμβάνονται η σύσταση του αρχικού οργανικού μίγματος (η αναλογία C/N, η ποσοτική σύσταση σε άζωτο και σε άνθρακα, το πορώδες και το μέγεθος των σωματιδίων του αρχικού υλικού), οι τιμές θερμοκρασίας, η ανάδευση και το pH. Στις υπόλοιπες φάσεις της διαδικασίας και με τιμές θερμοκρασίας μικρότερες από αυτές της θερμόφιλης φάσης (<40°C) έχουμε την αντίδραση της νιτροποίησης. Η απόδοση της

νιτροποίησης καθορίζεται από τη συγκέντρωση των ιόντων του αμμωνίου και την ποσότητα του οξυγόνου (de Guardia et al., 2008). Η μείωση του αζώτου γίνεται επίσης με την αντίδραση της απονιτροποίησης, δηλαδή την αναγωγή των νιτρικών ιόντων και τη μετατροπή τους σε N_2O και σε N_2 (Πίνακας 1: αντιδράσεις 5β και 5α αντίστοιχα) (Gajalakshmi and Abbasi, 2008). Στις τελικές φάσεις της κομποστοποίησης έχουμε σχηματισμό σταθερότερων οργανικών αζωτούχων ενώσεων στο σωρό που δεν διασπώνται προς σχηματισμό αμμωνίας και δεν συντελούν στην αντίδραση της απονιτροποίησης, οπότε οι απώλειες σε άζωτο μειώνονται (Bernal et al., 2009).



Εικόνα 6: Απώλειες σε αμμωνία κατά την εξελικτική διαδικασία της κομποστοποίησης

(Peign and Irardin, 2004)

Στη παραπάνω εικόνα 6 παρατηρούμε όλες τις χημικές αντιδράσεις που περιγράψαμε πριν, με τις απώλειες σε άζωτο μέσω παραγωγής της αμμωνίας και των N_2O και N_2 στις διαδοχικές φάσεις της κομποστοποίησης. Οι απώλειες σε άζωτο προκαλούν έλλειμμα του οργανικού υποστρώματος σε θρεπτικά στοιχεία, οπότε η ποιότητα του τελικού προϊόντος του κομπόστ υποβαθμίζεται (Hargreaves et al., 2008, Zavala et al., 2005) και συγχρόνως, με την έκλυση αερίων στην ατμόσφαιρα, για παράδειγμα του N_2O , αυξάνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Martins and Dewes, 1992). Εφόσον το άζωτο καθορίζει την ποιοτική αξία του τελικού κομπόστ, ο περιορισμός των απωλειών του κατά τη διαδικασία της

κομποστοποίησης υπήρξε το θέμα έρευνας στην επιστήμη. Για τη μείωση του αζώτου και τη μετατροπή του σε αμμωνία μελετήθηκαν τρόποι, όπως η χρήση προσθέτων (παράγραφος 1.5.4) για τον καθορισμό της αρχικής αναλογίας C/N του οργανικού σωρού. Έχει γίνει αναφορά ότι τα πρόσθετα υλικά που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα μειώνουν τις απώλειες σε άζωτο κατά την κομποστοποίηση οργανικού υλικού με μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο (Bernal et al., 2009).

1.4.5 Κατηγορίες συστημάτων κομποστοποίησης

Έχουμε τριών ειδών συστημάτων κομποστοποίησης, τα ανοιχτά (που είναι βραδείας αποικοδόμησης), τα κλειστά (που είναι ταχείας αποικοδόμησης) και τα μικτά που είναι συνδυασμός κλειστών και ανοιχτών συστημάτων.



Εικόνα 7: Εγκατάσταση κομποστοποίησης - σειράδια σε υπόστεγο

Τα ανοιχτά μπορεί να είναι υπαίθρια, αλλά μπορεί να είναι και κάτω από υπόστεγο αν η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης (εικόνα 7)

(Παναγιωτακόπουλος, 2007). Τα ανοιχτά συστήματα, ανάλογα με τον τρόπο αερισμού, είναι τριών ειδών: συστήματα με στατικό αερισμό, με δυναμικό ή με μικτό αερισμό.

- **Στο στατικό αερισμό,**

Το υπόστρωμα, που σχηματίζει σωρούς σε μακριές γραμμές παράλληλες με τριγωνική διατομή ή διατομή τραπεζίου (τα λεγόμενα σειράδια), αναδεύεται περιοδικά. Η περιοδική ανάδευση στα σειράδια γίνεται με κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό. Ο τρόπος αερισμού στα σειράδια είναι φυσικός και κατορθώνεται με συχνή ανάδευση, όπως αναφέραμε. Ο τρόπος αερισμού για εγκαταστάσεις μικρές γίνεται με τρακτέρ αλλά μπορεί και με τα χέρια. Σε εγκαταστάσεις μεγάλες γίνεται με κατάλληλα οχήματα. Με τη συχνή ανάδευση επιτυγχάνεται η βέλτιστη επαφή του υποστρώματος με τους μικροοργανισμούς αλλά και η κατάλληλη θερμοκρασία στο εσωτερικό του σωρού (van Haaren, 2009).

- **Στο δυναμικό αερισμό:**

Ο αερισμός δεν είναι φυσικός, αλλά γίνεται με μηχανικό τρόπο, ή με εμφύσηση αέρα πεπιεσμένου ενδιάμεσα του σωρού, ή με την αναρρόφηση του αέρα ενδιάμεσα του σωρού που καταλαμβάνει μικρότερη έκταση από τα σειράδια οπότε η κομποστοποίηση ελέγχεται καλύτερα. Οι δύο παραπάνω τρόποι γίνονται εναλλάξ έχοντας ως αποτέλεσμα τον έλεγχο της απαραίτητης ποσότητας του οξυγόνου στο σωρό και της κατάλληλης θερμοκρασίας κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης.

Η εμφύσηση αέρα μειώνει τη θερμοκρασία και βοηθά ώστε το μίγμα να ξηραίνεται. Ενώ η αναρρόφηση αέρα αυξάνει τη θερμοκρασία. Αισθητήρες οξυγόνου και θερμοκρασίας είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό της μάζας του σωρού που ελέγχουν αυτόματα τα επίπεδα θερμοκρασίας και οξυγόνου, ώστε να ρυθμίζουν τη σωστή εναλλαγή των αεριστήρων για εμφύσηση ή για αναρρόφηση του αέρα (Κατσίρη, 2003).

- **Στα κλειστά και ταχείας βιοαποικοδόμησης συστήματα (κλειστοί βιοαντιδραστήρες):**

Το οργανικό υλικό βιοαποικοδομείται με υπό έλεγχο συνθήκες, με συνθήκες αερισμού δυναμικές και με ανάδευση συνεχή. Το προϊόν είναι καλύτερο ποιοτικά από αυτό που παράγεται από τα ανοιχτά συστήματα, όμως η τεχνολογία τους είναι πιο σύνθετη και πιο ακριβή (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Η κομποστοποίηση στα κλειστά συστήματα γίνεται με αντιδραστήρες κλειστούς, με τύμπανο κατακόρυφο ή οριζόντιο ή περιστρεφόμενο. Έχουν κατάλληλη τεχνολογία για να μειώνονται οι οσμές και να ελέγχονται όλες οι παράμετροι δηλαδή ο αερισμός, η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση του αέρα- οξυγόνου.

Επίσης σε κάποιες περιπτώσεις, όταν είναι ανάγκη, υπάρχει η δυνατότητα πρόσθεσης νερού στο υπόστρωμα που υπάρχει μέσα στον αντιδραστήρα, με στόχο να επιταχυνθούν οι δράσεις των μικροβίων. Υπάρχει ακόμη η δυνατότητα εισαγωγής θερμού αέρα μέσα στον αντιδραστήρα για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητές τιμές που δεν έχουν σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Άλλα πλεονεκτήματα των κλειστών συστημάτων σε σχέση με τα ανοιχτά συστήματα είναι ο περιορισμός των οσμών, η μικρότερη χρονική διάρκεια του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα και οι μικρότερης έκτασης εγκαταστάσεις τους.

Στα κλειστά συστήματα, λόγω του μεγάλου κόστους, το οργανικό υλικό παραμένει μέσα στον αντιδραστήρα περίπου πέντε ημέρες και στη συνέχεια μεταφέρεται σε ανοιχτό σωρό μέχρι να παραχθεί το τελικό κομπόστ. Στην πραγματικότητα με τα κλειστά συστήματα επιτυγχάνεται η πρώτη φάση της κομποστοποίησης που είναι η καθοριστική αρχή για τις επόμενες φάσεις της (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001).

- **Στα συστήματα τα μικτά:**

Σε κλειστό βιοαντιδραστήρα τοποθετείται το οργανικό υλικό κάποιες μέρες και μετά σε περιοχή ανοιχτή με διάφορους τρόπους αερισμού. Η διάρκεια και η αξία είναι ενδιάμεσες της διάρκειας και της αξίας των δύο άλλων συστημάτων. Η κομποστοποίηση γίνεται προσθέτοντας και άλλα υλικά (π.χ. κλαδιά, ιλύς κ.λ.π.) έτσι ώστε να διατηρείται η αναλογία C/N στις επιθυμητές τιμές.

Για παράδειγμα στην εγκατάσταση Μηχανικής Ανακύκλωσης – Κομποστοποίησης, στους 360×10^3 τόνους αστικών στερεών αποβλήτων προβλέπεται η προσθήκη 40×10^3 τόνων κλαδιών και 90×10^3 τόνων ιλύος από βιολογικούς καθαρισμούς.

Το προϊόν που παράγεται από την κομποστοποίηση ακολουθεί τη διαδικασία της ωρίμανσης. Δηλαδή το υλικό τοποθετείται σε σωρό, μπορεί και σε σειράδια ύψους έως και 6m σε υπόστεγο και με χουμοποίηση αποκτά εμφάνιση και οσμή ώστε να γίνει αποδεκτό για γεωργικές χρήσεις. Το τελικό προϊόν για να είναι κατάλληλο για καλλιέργειες, έχει να αντιμετωπίσει τα εξής:

- α) τις προδιαγραφές του για την περιεκτικότητά του σε βαριά μέταλλα και σε χημικές ουσίες τοξικές, β) τις προκαταλήψεις των γεωργών «λίπασμα από σκουπίδια!»
- γ) τη σύγκρισή του με τα «ανταγωνιστικά» χημικά λιπάσματα (Lazaridi and Gruneklee, 2000).

Για να γίνει η κομποστοποίηση, επειδή είναι μια φυσική βιοαποικοδομήσιμη διαδικασία, χρειάζεται μεγάλη χρονική διάρκεια για να σταθεροποιηθεί και να ωριμάσει το τελικό προϊόν οπότε και ο χώρος που απαιτείται πρέπει να είναι μεγάλος (εικόνα 8).



Εικόνα 8: Εγκατάσταση κομποστοποίησης

Για τα συστήματα ανοιχτού τύπου ο αριθμός των τετραγωνικών θα πρέπει να είναι περίπου όσος και ο αριθμός των τόνων του οργανικού υλικού ανά έτος. Για παράδειγμα, 30000 τόνοι οργανικού υλικού για κάθε χρόνο χρειάζονται έκταση 30 στρεμμάτων. Για τα συστήματα κλειστού τύπου, ο χρόνος που απαιτείται μπορεί να ελαττωθεί κατά 3/4. Ως προς το κόστος

των εγκαταστάσεων της κομποστοποίησης υπάρχουν μόνο προσεγγιστικές εκτιμήσεις, αν και οι εμπειρίες αυξάνονται ταχύτατα.

Το πεδίο έρευνας στην κομποστοποίηση είναι ακόμα νέο και προκλητικό για τον επιστήμονα. Μικρής κλίμακας κομποστοποίηση είναι η οικιακή κομποστοποίηση που γίνεται στις οικίες μεμονωμένα ή σε οικιακά συγκροτήματα με χρήση ειδικών κάδων ή πρόχειρων ιδιοκατασκευών (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

1.5 Οικιακή Κομποστοποίηση

Η οικιακή κομποστοποίηση είναι μια από τις περισσότερο αξιόπιστες διαδικασίες ανακύκλωσης των οργανικών υπολειμμάτων του κάθε νοικοκυριού.

Είναι μια διαδικασία που μπορεί να γίνει στη βεράντα ενός σπιτιού, στον κήπο, στο δημόσιο χώρο πρασίνου ή σε συγκεκριμένους χώρους των αστικών περιοχών, για παράδειγμα σε σχολεία, σε ξενοδοχεία, σε συγκροτήματα οικιστικά και σε στρατόπεδα. Κατά μέσο όρο, ένας άνθρωπος παράγει ποσότητα σκουπιδιών κατά προσέγγιση 280 κιλά ανά έτος, αν αφαιρεθούν τα μπουκάλια από γυαλί, πλαστικό και μέταλλο.

Από τα 280 κιλά, το 40% είναι οργανικές ουσίες που μπορούν να κομποστοποιηθούν. Επιπλέον είναι και τα φυτικά υπολείμματα των κήπων, των οπωρώνων και άλλων δένδρων (Αλκιμος, 2000).

Αρκετοί ιδιώτες, σε παγκόσμιο επίπεδο, χρησιμοποιούν τη μέθοδο της κομποστοποίησης, επηρεασμένοι από τα συναισθήματα που τρέφουν για την προστασία του περιβάλλοντος ή για να εξασφαλίσουν ένα φθινό και αξιόπιστο λίπασμα για τα φυτά του κήπου τους και για ό,τι καλλιεργούν. Με την παραπάνω διαδικασία όλα τα βασικά συστατικά (ανόργανα και οργανικά) για την ανάπτυξη των φυτών επανέρχονται στο έδαφος. Δηλαδή πέραν από την ανακύκλωση των χαρτιών, των γυαλιών, των μετάλλων και των ελαστικών, έχουμε και ανακύκλωση των οργανικών υλικών, τα οποία επιστρέφουν στο χώμα για να έχει το τελευταίο την ικανότητα να διατηρεί τη γονιμότητά του και να εξακολουθεί να παράγει.

Μια αρχική δυσκολία που αρκετοί άνθρωποι συναντούν, όταν ξεκινούν να ασχολούνται με τη διαδικασία της κομποστοποίησης, είναι ποια κατάλληλη μέθοδο θα χρησιμοποιήσουν. Πολλές φορές συγχέονται από όλα τα ενημερωτικά φυλλάδια που διαβάζουν σχετικά με το

θέμα ή άλλες φορές πάλι ενθουσιάζονται παραπάνω με βάση το έγγραφο που έχουν μελετήσει.

Μια δεύτερη δυσκολία μπορεί να είναι η δυσσομία, για την οποία μπορεί να παραπονούνται και οι γείτονες. Όμως η δυσσομία μπορεί να αποφεύγεται αν διατηρούνται οι αερόβιες συνθήκες μέσα στον κομποστοποιητή. Όμως όλοι οι παράμετροι για να ελέγχονται αποτελεσματικά και να έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα από έναν πολίτη που δεν έχει την εμπειρία του αντικειμένου, είναι φύσει αδύνατον (Diaz et al., 2020). Η οικιακή κομποστοποίηση είναι μια μέθοδος επεξεργασίας οργανικών απορριμμάτων χαμηλού κόστους. Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους πολίτες εθελοντικά και να προωθηθεί με την ενημέρωσή τους, από την πλευρά των δήμων. Από άποψη ενεργειακή και περιβαλλοντική, με τη μέθοδο της οικιακής κομποστοποίησης έχουμε ελάττωση των ποσοτήτων των οργανικών αποβλήτων που χρειάζονται μεταφορά, οπότε μειώνονται οι ποσότητες καυσίμων που καταναλώνουν και οι ποσότητες των καυσαερίων που εκπέμπονται (Li et al., 2013).

Όμως η οικιακή κομποστοποίηση προκαλεί και αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον. Η σημαντικότερη είναι η εκπομπή αερίων: μεθανίου CH_4 , αμμωνίας NH_3 , υποξειδίου του αζώτου N_2O και πτητικών οργανικών ενώσεων VOCs που επαυξάνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ακόμη όταν το τελικό κομπόστ δεν είναι καλό ποιοτικά ως προς τα χαρακτηριστικά του, βιολογικά και φυσικοχημικά, για παράδειγμα γιατί περιέχει βαριά μέταλλα, τότε στο έδαφος που τα προσθέτουμε, αλλοιώνουμε την απόδοσή του.

Παρόλο τις παραπάνω υπαρκτές αρνητικές συνέπειες, ήδη στην Αμερική και στην Ευρώπη υπάρχουν πολλές περιπτώσεις οικιακής κομποστοποίησης που είναι επιτυχείς. Στην Ελλάδα η μέθοδος της οικιακής κομποστοποίησης εφαρμόζεται πιλοτικά μόνο σε ορισμένους δήμους.

1.5.1 Τεχνικές οικιακής κομποστοποίησης.

Οι τεχνικές που εφαρμόζουν πολλοί δήμοι σε όλον τον πλανήτη χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, με βάση τον τρόπο που τοποθετούνται τα υλικά, το είδος του οργανικού υλικού που πρόκειται να κομποστοποιηθεί, την περιοχή που θα γίνουν οι διεργασίες αερόβιας

αποικοδόμησης κ.α. Για περιοχές αγροτικού τύπου και για κατοικίες που περιβάλλονται από μεγάλο κήπο εφαρμόζονται οι παρακάτω τεχνικές (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012):

- **Κομποστοποίηση σε σωρό**



Εικόνα 9: Κομποστοποίηση σε σωρό

Πρώτα συσσωρεύουμε τα υλικά, τα τεμαχίζουμε αν κάποια κομμάτια είναι χοντρά και μετά τα τοποθετούμε σε σωρό. Καλύτερα είναι να σκάψουμε το έδαφος και να κατασκευάσουμε μια τάφρο με βάθος 30 εκατοστών περίπου, πάχους όχι παραπάνω από 2 μέτρα, ενώ για το μήκος της δεν υπάρχει περιορισμός. Πρέπει να προσέχουμε ώστε το έδαφος να έχει πόρους, να είναι ζωντανό και να βρίσκεται σε σκιά. Επίσης να μη συγκεντρώνονται νερά σε περίπτωση βροχής, ώστε να αερίζεται εκεί το έδαφος και να μη γίνονται αναερόβιες ζυμώσεις, αλλά να φυλάσσεται από τον ισχυρό άνεμο. Πρώτα τοποθετούμε κατά μήκος της τάφρου τα πιο χοντρά κομμάτια υλικών, για παράδειγμα κομμένα ή ολόκληρα κλαδιά που θα εξυπηρετούν τον αερισμό του οργανικού υλικού.



Εικόνα 10: Κομποστοποίηση σε σωρό με προσθήκη πρόσθετων (βοηθητικών ουσιών)

Τα άλλα υλικά που τοποθετούμε τα αναδεύουμε και παράλληλα τα υγραίνουμε ώστε να είναι μαλακά αλλά να μη λασπώνουν. Γεμίζοντας την τάφρο προσέχουμε ώστε ανεβαίνοντας σε ύψος να μικραίνει ο σωρός ως προς το πάχος του (εικόνες: 9 και 10). Προσθέτουμε το χώμα που αφαιρέσαμε με το σκάψιμο της τάφρου είτε ανακατεύοντάς το μαζί με το μίγμα των υλικών είτε τοποθετώντας το ενδιάμεσα στο μίγμα, σε λεπτή στρώση ανά στήλη υλικών ύψους 20 εκατοστών περίπου.

Το τελικό σχήμα του σωρού μοιάζει με τομή κάθετη από ισοσκελές τραπέζιο που έχει κάτω τη μεγάλη του βάση, ύψους μεταξύ των τιμών 1 και 1,30 μέτρα. Δεν συμπιέζουμε το σωρό για να είναι ανοιχτοί οι πόροι του και να είναι επαρκής ο αερισμός του. Δεν αφήνουμε ενδιάμεσα κενά στο σωρό για να μη γκρεμιστεί.

Με την κομποστοποίηση σε σωρό τα υλικά συγκεντρώνονται σε κατάλληλα σημεία έξω από το σπίτι (στο χωράφι ή στον κήπο). Ο σωρός σχηματίζεται με την πιρούνα και το φτυάρι, αναδεύεται τακτικά για επαρκή αερισμό και διαβρέχεται για τη διατήρηση της κατάλληλης υγρασίας (Πανάγος, 1980). Η μέθοδος συνιστάται για αγροτικές περιοχές για την παραγωγή λιπάσματος και γιατί υπάρχει έκταση για το σχηματισμό του σωρού.

Όμως το μειονέκτημα είναι ότι ο σωρός μπορεί να έλξει έντομα και τρωκτικά. Για αυτό και γίνεται η κάλυψη του σωρού (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012).

- **Επιφανειακή κομποστοποίηση**



Εικόνα 11: Επιφανειακή κομποστοποίηση

Στην περίπτωση αυτή που είναι πιο απλή σχηματίζουμε μια λεπτή στρώση με τα υλικά στην επιφάνεια του εδάφους, αφού προηγουμένως σκαλίσουμε και υγράνουμε το έδαφος. Η επιφανειακή κομποστοποίηση γίνεται με τον ίδιο τρόπο που γίνεται, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, στη φύση, όπως π.χ. σε ένα δάσος. Τα υλικά μεγάλου πάχους πρέπει να τεμαχίζονται και να απλώνονται σχηματίζοντας μια στρώση μικρού πάχους, Από πάνω ρίχνουμε κομμένα χόρτα ώστε να μη γίνεται συμπαγής στρώση ύστερα από βροχή. Η πιο κατάλληλη χρονική περίοδος είναι η φθινοπωρινή, αφού γίνει η συγκομοιδή (εικόνα 11).

Με την επιφανειακή κομποστοποίηση προστατεύουμε συγχρόνως το έδαφος, γιατί με την απογύμνωση του εδάφους, που συμβαίνει ύστερα από τη συγκομοιδή, καταστρέφεται η ζωή του εδάφους. Το παραπάνω συμβαίνει γιατί η ηλιακή ακτινοβολία στεγνώνει το γυμνό έδαφος και μειώνει τη ζωντάνια του. Για να έχει επιτυχία η εδαφική κομποστοποίηση πρέπει να διατηρείται η υγρασία και να αερίζεται το μίγμα στο κάτω μέρος του. Η επιφανειακή κομποστοποίηση είναι κατάλληλη σε αγροτικές περιοχές και σε κήπους με δενδροκαλλιέργειες και με διάφορα φυτά που είναι ήδη αναπτυγμένα.

Στα νέα φυτά καθώς και στο έδαφος που σπέρνουμε τοποθετούμε κομπόστ που έχει πριν ωριμάσει σε σωρό, χωρίς να κάνουμε επιφανειακή κομποστοποίηση (Πανάγος, 1980).

- **Κομποστοποίηση σε δοχεία**

Οι βιομηχανίες που παράγουν γεωργικά και κηπευτικά μηχανήματα έχουν κατασκευάσει δοχεία διαφόρων τύπων για την κομποστοποίηση, γιατί νωρίς αντιλήφθηκαν την αξία της κομποστοποίησης των αποβλήτων που προστατεύει οικολογικά το περιβάλλον.

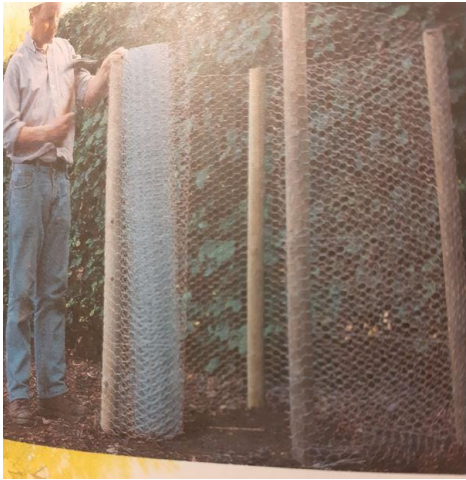
Τις περισσότερες φορές όμως μπορούμε και μόνοι μας να φτιάξουμε τέτοια δοχεία, ανάλογα με το μέγεθος του νοικοκυριού μας, ανάλογα της αγροτικής ή της κηπευτικής έκτασης που κατέχουμε και της οικολογικής τοποθέτησης του καθενός μας στο θέμα "καθαρό περιβάλλον".

Η απλούστερη κατασκευή είναι ένα κουτί σε σχήμα κύβου από σανίδι (εικόνα 12) ή από ξύλα στρογγυλού σχήματος.



Εικόνα 12: Κομποστοποιητής από σανίδια

Τα παραπάνω δοχεία ταιριάζουν περισσότερο σε ένα βιολογικό κήπο, με το μόνο μειονέκτημα ότι δεν είναι μακράς διαρκείας. Άλλοι τύποι δοχείων είναι από δικτυωτό σύρμα (σήτα) (εικόνες: 13 και 14) ή από τούβλα (εικόνα 16), τα οποία διαρκούν περισσότερο, χωρίς να έχουν καλή αισθητική εικόνα στον κήπο και έχουν μόνιμη θέση στο κτήμα. Επίσης έχουμε τα πλαστικά δοχεία του εμπορίου (στρογγυλά, εξάγωνα, πολύγωνα κ.λ.π.) (εικόνα 15) που είναι κάπως πολύπλοκα συστήματα (Αλκιμος, 2000).



Εικόνα 13: Κομποστοποιητής από συρματόπλεγμα στερεωμένος σε τέσσερις πασσάλους.



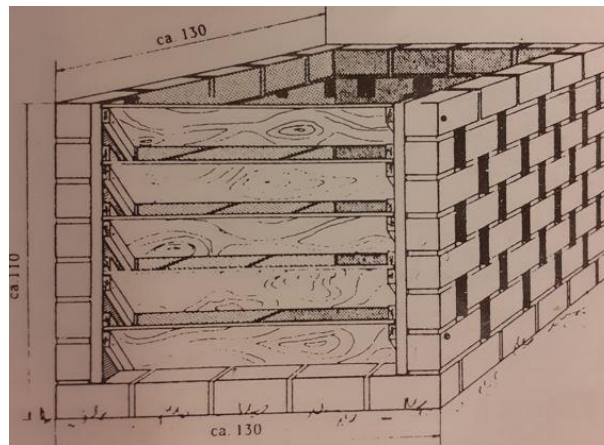
Εικόνα 14: Κομποστοποιητής από συρματόπλεγμα σε τέσσερις πασσάλους με επένδυση από χαρτόνι.



Εικόνα 15: Πλαστικός στρογγυλός κομποστοποιητής

Τα πλεονεκτήματα σε αυτά τα δοχεία, σε σχέση με τους σωρούς, είναι ότι αναπτύσσεται μεγαλύτερη θερμοκρασία από ό,τι στο σωρό και οι σπόροι από διάφορα αγριόχορτα και ζιζάνια χάνουν τη βλαστική τους ικανότητα στα δοχεία. Επίσης λόγω του μικρού τους μεγέθους βρίσκουν θέση και στην πιο μικρή γωνία του κήπου ή της αυλής (Thompson, 2007).

Υπάρχουν και ανοξείδωτα μεταλλικά δοχεία με οπές για να αερίζονται και με τα τοιχώματά τους να ανοίγουν ώστε να εξάγεται εύκολα το κομπόστ. Οποιοδήποτε είδος δοχείου αγοράσουμε πρέπει ο όγκος του να είναι οπωσδήποτε ένα κυβικό μέτρο, να έχει οπές ή εγκοπές για να βοηθούν στον αερισμό και να έχει πλαϊνά πορτάκια που να ανοίγουν ώστε να αφαιρείται το τελικό κομπόστ (εικόνα 16) (Άλκιμος, 2000).



Εικόνα 16: Κομποστοποιητής με τούβλα και ξύλα μπροστά που αφαιρούνται για να παίρνουμε το κομπόστ

- **Υπόγεια κομποστοποίηση**

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο, ανοίγουμε ένα λάκκο για να θάψουμε τα οργανικά υλικά που διαθέτουμε, με τουλάχιστον 30 εκατοστά βάθος, πλάτος περίπου μισό μέτρο και για το μήκος του δεν υπάρχει περιορισμός. Η διεργασία της κομποστοποίησης σε λάκκο διαρκεί περίπου 6 μήνες. Στο τέλος αυτού του χρονικού διαστήματος, τα οργανικά απορρίμματα έχουν ενσωματωθεί στο έδαφος και μπορούμε σε αυτήν την περιοχή να φυτέψουμε από πάνω (π.χ. λαχανικά με βολβούς, καρότα). Και για αυτήν τη μέθοδο απαιτείται να υπάρχει κήπος ή αγροτική έκταση. Γενικά η παραπάνω μέθοδος ενδείκνυται για το γρήγορο εμπλουτισμό ενός φτωχού εδάφους και για υλικά από τα οποία εκλύονται δυσάρεστες οσμές (εικόνα 17) (Πανάγος, 1980).



Εικόνα 17: Υπόγεια κομποστοποίηση

- **Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες**

Η αποικοδόμηση των οικιακών αποβλήτων γίνεται με την ενεργοποίηση των γαιοσκωλήκων. Η διαδικασία διάσπασης του οργανικού υλικού με γαιοσκώληκες γίνεται ως εξής: Αρχικά οι γαιοσκώληκες αποικοδομούν τις οργανικές ουσίες τις οποίες χρησιμοποιούν για την τροφή τους, ενώ συγχρόνως τροποποιούν τις φυσικές και χημικές των οργανικών ουσιών καθώς και τα είδη των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο οργανικό μίγμα. Μετά αναλαμβάνουν δράση και οι μικροοργανισμοί μαζί με τους γαιοσκώληκες, αποσυνθέτοντας το υπόλοιπο οργανικό υλικό που έχει πριν διασπαστεί από τους γαιοσκώληκες (Domínguez et al., 2010). Επειδή οι γαιοσκώληκες είναι τα πιο σπουδαία και χρήσιμα ζώα στην κηπουρική, πολλοί άνθρωποι ασχολούνται και εμπορεύονται με τον πολλαπλασιασμό τους και με την παραγωγή κομπόστ μεγάλης αξίας που λέγεται σκουληκόχωμα.

Στη συνέχεια γίνεται η περιγραφή ενός απλού και εύκολου τρόπου πολλαπλασιασμού τους. Αρχικά σε μια άκρη του κήπου ανοίγουμε ένα τετράγωνο ή στενόμακρο λάκκο ενός τετραγωνικού μέτρου περίπου και βάθους 20 εκατοστών. Στρώνουμε, με ένα δικτυωτό σύρμα με στενές τρύπες, τον πυθμένα του λάκκου (εικόνα 18) για δύο λόγους. Πρώτον για να επικοινωνούν τα σκουλήκια με το μητρικό χώμα και δεύτερον για να μην εισέρχονται τυφλοπόντικες και άλλα τρωκτικά που τρέφονται με σκουλήκια. Περιφερειακά μπορούμε να τοποθετήσουμε σανίδια που μπορούν να εξέχουν από το έδαφος άλλα 20 εκατοστά. Έτσι οι

γεωσκώληκες θα προφυλάσσονται από τους εχθρούς τους και από τις ακραίες καιρικές συνθήκες με το επιπλέον σκέπασμα που θα τοποθετήσουμε.



Εικόνα 18: Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες

Στη συνέχεια χωρίζουμε το λάκκο στη μέση με σήτα (κάθετα) ώστε να μπορούν τα σκουλήκια να μεταβαίνουν από το ένα μισό στο άλλο για να αναζητήσουν τροφή ή καταφύγιο. Ρίχνουμε τα οργανικά απορρίμματα μαζί με λίγο χώμα στο πρώτο μισό του λάκκου και σκεπάζουμε με ένα μαύρο πλαστικό ή με σανίδια.

Μετά από δύο εβδομάδες περίπου, η θερμοκρασία θα έχει πέσει κάτω από 30°C. Τότε μπορούμε να ρίξουμε μέσα μικρή ποσότητα (περίπου μία χούφτα) από γεωσκώληκες τους οποίους αγοράσαμε ή τους μαζέψαμε από κάπου.

Τα σκουλήκια αρχίζουν να διασπούν τις οργανικές ουσίες, σε θερμοκρασία από 15°C - 28°C και να πολλαπλασιάζονται. Όταν μετά από 4 - 6 εβδομάδες ολοκληρώσουν το έργο τους στο πρώτο μισό του λάκκου, τότε μετακομίζουν, μέσα από τις τρύπες του διαχωριστικού σύρματος, στο δεύτερο μισό στο οποίο υπάρχουν ήδη οργανικές ουσίες με λίγη μαγιά από ώριμο κομπόστ, ενώ η θερμοκρασία έχει πέσει κάτω από 30°C. Όταν τελικά διαπιστώσουμε ότι όλες οι οργανικές ουσίες στο πρώτο μισό έχουν γίνει κομπόστ (αυτό φαίνεται από το αφράτο και σκούρο καφετί χρώμα), τότε παίρνουμε το σκουληκόχωμα μαζί με τα υπόλοιπα σκουλήκια και το σκορπάμε στις διάφορες καλλιέργειες αναμοχλεύοντάς το σε μικρό βάθος.

Στο καινούργιο περιβάλλον τα σκουλήκια θα συνεχίσουν να εργάζονται και να παράγουν τα γνωστά αργιλοχουμικά συμπλέγματα (Άλκιμος, 2000).

Η αποδόμηση του οργανικού υλικού, εκτός από τη χρήση γαιοσκωλήκων, μπορεί να γίνει και με τη χρήση κόκκινων σκουληκιών. Αυτά τα σκουλήκια κατοικούν μέσα στην ύλη που βρίσκεται σε αποσύνθεση και δεν είναι τα ίδια με τους γαιοσκώληκες κήπου που ζουν στο έδαφος και όχι σε μια αποικία σκουληκιών.

Χρησιμοποιούμε κυκλικό κάδο στη βάση του οποίου τοποθετούμε κομματάκια από χαρτί και ξερά φύλλα. Επάνω σε αυτά τοποθετούμε τους πληθυσμούς σκουληκιών και στη συνέχεια μία στρώση από οργανικό υλικό. Αυτό επαναλαμβάνεται, δηλαδή πριν κάθε φορά ρίξουμε νέο οργανικό υλικό, τοποθετούμε μία στρώση από κομματάκια χαρτιού και ξερά φύλλα και επάνω σε αυτά τοποθετούμε πληθυσμό από σκουλήκια.

Το τελικό κομπόστ το παίρνουμε από το πάνω τμήμα του κάδου, χρειάζονται όμως κάποιοι μήνες για την παραγωγή του. Επειδή τα κόκκινα σκουλήκια απεχθάνονται το όξινο περιβάλλον, πρέπει να ελέγχουμε καλά τα απορρίμματα που θα τοποθετήσουμε μέσα στον κάδο καθώς και τη θερμοκρασία του μίγματος. Το πλεονέκτημα με αυτόν τον τρόπο είναι η απουσία δυσοσμίας, για αυτό και μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε μέσα στο σπίτι (Thompson, 2007).

1.5.2 Διαλογή υλικών

Κατάλληλα υλικά που χρησιμοποιούμε στην οικιακή κομποστοποίηση είναι:

- Υλικά φυτικής προέλευσης: φύλλα από δέντρα, χλόη κομμένη (γκαζόν), άγρια χόρτα, ψιλοκομμένα κλαριά, κοτσάνια, άχυρα, φλούδες, υπολείμματα κουζίνας (κομμάτια από σαλάτες και φλούδες), ξηροί καρποί, υπολείμματα από φυτικές καλλιέργειες, ροκανίδια ξύλου και υπολείμματα από γεωργικά εργοστάσια (π.χ. φύλλα ελιάς από ελαιουργεία).
- Υλικά ζωϊκής προέλευσης: διάφορα απορρίμματα (αγελάδων, αιγοπροβάτων, αλόγων, κουνελιών, πουλερικών), τρίχα και μαλλιά από ζώα, θρυμματισμένα κελύφη από αυγά και όστρακα.

- Διάφορα: φύκια (αφού ξεπλυθούν για την αφαίρεση του αλατιού), στάχτη ξύλου, σκόνη από πετρώματα, μικρή ποσότητα σκόνης από ασβέστη και ποσότητα από παλιό κομπόστ για να χρησιμοποιηθεί ως «μαγιά» για την καινούργια ζύμωση.

Ακατάλληλα υλικά που δεν χρησιμοποιούμε στην οικιακή κομποστοποίηση είναι:

- Υλικά φυτικής προέλευσης: τμήματα φυτού που είναι ραντισμένα με φυτοφάρμακα, φυτά άρρωστα και φυτικά υπολείμματα σάπια, φύλλα από ευκάλυπτο και από συκιά, λάδι και υπολείμματα από μαγειρεμένα φαγητά.
- Υλικά ζωϊκής προέλευσης: οστά, εντόσθια, κρέας, τυρί, υπολείμματα από μαγειρεμένα φαγητά.
- Άλλα υλικά: αντικείμενα από πλαστικό, μέταλλο, γυαλί και διάφορες χημικές ουσίες.

Επίσης υλικά που πρέπει να αποφεύγουμε, γιατί μπορεί να καθυστερήσουν τη ζύμωση, είναι: φύλλα ευκάλυπτου (έχουν αντιμικροβιακές ιδιότητες), όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως και πευκοβελόνες (το ρετσίνι καθυστερεί τη ζύμωση) (Βλοντάκης, 2019).

Οι παρακάτω πίνακες μας υπενθυμίζουν ότι τα περισσότερα υλικά που θέλουμε να κομποστοποιήσουμε χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: α) «πράσινα» ή μαλακά, ή πλούσια σε άζωτο υλικά β) μετρίως πλούσια σε άζωτο υλικά και γ) «καφέ» ή σκληρά ή πλούσια σε άνθρακα υλικά. Γνωρίζοντας την ιδανική αναλογία C:N κομποστοποίησης (30) προσπαθούμε να αναμειγνύουμε και τα δύο είδη υλικών.

Τα υλικά που χαρακτηρίζονται ως «πράσινα» ή μαλακά υλικά (με αναλογία C:N 5-25) είναι αυτά που είναι πλούσια σε άζωτο, για παράδειγμα:

- Χλωρά κομμένα φυλλώδη φυτά, χλωρά χόρτα από την αυλή μας (γκαζόν)
- Επειδή περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού και αζώτου μπαίνουν στο σωρό σε μικρές ποσότητες, αφού προηγουμένως τα ξηράνουμε.
- Απορρίμματα κουζίνας: υπολείμματα από λαχανικά, φρούτα, φλούδες από κρεμμύδια, πατάτες, καρότα, κάστανα κ.λ.π.
 - Κατακάθι του καφέ και υπολείμματα από τσάι.
 - Κοπριά (αγελάδες, πρόβατα), χωνεμένη 8 μήνες.
 - Φύκια θαλάσσης.

Υλικά ενδιάμεσα των «καφέ» και των «πράσινων» υλικών (αναλογία C:N 25-50), όπως:

- Υλικά με ίνες όπως τα λαχανικά.

- Μίσχοι πράσινοι.
- Κουρέλια από βαμβάκι.
- Τσόφλια από αυγά.
- Μαλακά κομματάκια κλαδιών.
- Φύλλα οπωροφόρων δέντρων.
- Φρέσκια κοπριά αγελάδων.

Τα υλικά που χαρακτηρίζονται ως «καφέ» ή σκληρά υλικά (αναλογία C:N 50-600) είναι αυτά που είναι υλικά πλούσια σε άνθρακα, για παράδειγμα:

- Μικρά κλαδιά, φτέρες.
- Φλούδια από ξηρούς καρπούς.
- Μικρά κομμάτια από χαρτί και εφημερίδες (χαρτόνια, αβγοθήκες, κομματιασμένα έγγραφα, κύλινδροι από χαρτιά τουαλέτας, χρησιμοποιημένα χαρτομάντηλα, χαρτί κουζίνας, χαρτί περιτυλίγματος κ.λ.π.).
- Ροκανίδια και πριονίδια, δηλαδή κομματάκια ξύλου (τρίμματα) που σχηματίζονται κατά την κατεργασία του ξύλου. Χρησιμοποιούνται για να αυξάνουν το πορώδες και τον αερισμό του σωρού, ώστε ο σωρός να προσλαμβάνει περισσότερη υγρασία. Επίσης αυξάνει την περιεκτικότητα σε άνθρακα και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται όταν το μίγμα περιέχει πράσινα υλικά πλούσια σε άζωτο.
- Άχυρα.
- Στάχτη από ξύλα: περιέχει πολύ κάλιο, όμως πρέπει να προέρχεται από ξύλα και μάλιστα όχι εμποτισμένα με χημικές ουσίες.

Μια ιδανική αναλογία C:N σε έναν οργανικό σωρό βρίσκεται κάπου κοντά στο 30, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Για να ισχύει αυτή η αναλογία, θα πρέπει ο σωρός να περιέχει τρία περίπου μέρη από ξύλινα «καφέ» υλικά και ένα μέρος από μαλακά, «πράσινα» απορρίμματα, για να μας αποφέρει ένα πλούσιο, σκούρο κομπόστ (Thompson, 2007).

1.5.3 Πώς ξεκινάμε την οικιακή κομποστοποίηση

1^ο βήμα: Απευθείας πάνω στο χώμα που το έχουμε σκάψει ελαφρά 5-10 εκατοστά (για να έχουν τη δυνατότητα οι μικροοργανισμοί να εισχωρούν στο σωρό και να ενεργοποιούνται οι γεωσκώληκες) απλώνουμε τα μεγαλύτερα κλαδιά, αφού τα έχουμε τεμαχίσει σε όσο γίνεται πιο μικρά κομμάτια με το χέρι ή με τσεκούρι (1-5 εκατοστά) ή με θρυμματιστή του εμπορίου (το οικονομικό του κόστος είναι μικρό) (εικόνες: 19 και 20).



Εικόνα 19: Θρυμματιστής



Εικόνα 20: Κάτοψη Θρυμματιστή

2^ο βήμα: Αφού απλώσουμε τα κλαδιά πάνω στο γυμνό χώμα (για να αερίζεται από κάτω) ακολουθούν τα άλλα υλικά, σε λεπτά στρώματα, είτε ανακατεμένα είτε κατά είδος. Επειδή τα ξηρά ξυλώδη ή αλλιώς όπως τα λέμε τα «καφέ» ή «σκληρά» υλικά είναι φτωχά σε άζωτο, τα εναλλάσσουμε με τα «πράσινα» ή «μαλακά» υλικά σε αναλογία 3 «καφέ» μέρη προς 1 «πράσινο» μέρος (για να εξασφαλίσουμε την σωστή σχέση άνθρακα και αζώτου) (Αλκιμος, 2000). Αν διαθέτουμε δοχείο κομποστοποιητή το τοποθετούμε, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, στο χώμα που το έχουμε σκάψει ελαφρά 5-10 εκατοστά και το γεμίζουμε με στρώσεις υλικών με εναλλάξ σκληρά και μαλακά υλικά, προσέχοντας την αναλογία: σκληρά προς μαλακά να είναι 3:1 και προσθέτοντας πότε πότε μία φτυαριά από έτοιμο κομπόστ ή

χώμα. Το έτοιμο κομπόστ ή χώμα θα λειτουργήσει ως μαγιά ή ως εμβόλιο των μικροβίων για το καινούργιο κομπόστ, όπως η μαγιά στη ζύμωση του ψωμιού, του κρασιού κ.λ.π. (Thompson, 2008).

Όταν δεν διαθέτουμε παλιό κομπόστ, χρησιμοποιούμε λίγη ποσότητα χώματος από δάσος με πλατύφυλλα δέντρα. Από ένα δάσος με δέντρα από οξιές, βελανιδιές, κουμαριές, σχίνα ή καστανιές παίρνουμε χώμα από την επιφάνεια του εδάφους. Ένα κιλό χώμα χρειάζεται για περίπου ένα κυβικό μέτρο κομπόστ. Η προσθήκη του επιφανειακού χώματος περιέχει αρκετά μικρόβια για να ξεκινήσει η διεργασία της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης (Πανάγος, 1980).

3^ο βήμα: Συνεχίζουμε να προσθέτουμε τα υλικά σε στρώματα π.χ. ξερά φύλλα, μετά χλωρά φύλλα και υπολείμματα κουζίνας, μετά μία στρώση χώμα ή ζωική κοπριά ή έτοιμο κομπόστ κ.ο.κ.

4^ο βήμα: Αφού στρώσουμε τα υλικά, καλύπτουμε το σωρό με ένα λεπτό στρώμα από χώμα (5 έως 10 εκατοστά) και από πάνω τοποθετούμε ξερά χόρτα ή άχυρα (πάχους 20 εκατοστά) για προστασία από την ξηρασία (ήλιο) ή από την υπερβολική υγρασία (βροχές).

1.5.4 Άλλες επισημάνσεις

Η υγρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 40% έως 60% για να μπορούν να δρουν καλύτερα οι μικροοργανισμοί. Αυτό πρακτικά σημαίνει να πιάνουμε το υλικό στη παλάμη μας και να το νιώθουμε υγρό αλλά χωρίς να στάζει νερό. Για αυτό και το καλοκαίρι πρέπει να ποτίζουμε τους σωρούς που εκτίθενται στον ήλιο. Επιλέγουμε μέρη προφυλαγμένα από ισχυρούς ανέμους (Βλοντάκης, 2019) για να μη στεγνώσει ο σωρός, γιατί χωρίς υγρασία δεν ενεργοποιούνται οι μικροοργανισμοί (Πανάγος, 1980).

Αν το εξοχικό μας σπίτι περιβάλλεται από γκαζόν και δέντρα πρέπει να προσέχουμε ώστε το κομμένο γκαζόν (κομμένη χλόη) να μην το τοποθετούμε απευθείας στο σωρό ή στον κομποστοποιητή μας, αλλά να το αφήνουμε απλωμένο να μαραθεί εκεί που το κόβουμε ή κοντά στον κομποστοποιητή (μπορεί και ένα μήνα) και μετά να το τοποθετούμε μέσα στον κομποστοποιητή εναλλάξ (με τη γνωστή αναλογία) με τα κομμένα κλαδιά των δέντρων, αφού προηγουμένως τα έχουμε κόψει με το θρυμματιστή (θραυστήρα). Η εξήγηση είναι ότι η

κομμένη χλόη δεν πρέπει να σχηματίζει συμπαγή μάζα μέσα στον κομποστοποιητή ή στο σωρό γιατί υπάρχει κίνδυνος αναερόβιας ζύμωσης (Πανάγος, 1980).

Ένας δεύτερος τρόπος (ο πρώτος είναι η προσθήκη επιφανειακού χόματος στο σωρό που έχουμε ήδη αναφέρει) για να αυξήσουμε τον αερισμό στο οργανικό μίγμα αλλά και την ποσότητα του άνθρακα και του αζώτου στο σωρό, είναι να ρίχνουμε (εικόνα 10) κάποια πρόσθετα υλικά ή βοηθητικές ουσίες, όπως:

α) μικρή ποσότητα κομπόστ χωνεμένου (έχουμε ήδη αναφέρει): είναι η μαγιά για το καινούργιο κομπόστ που θα χρησιμοποιήσουν οι μικροοργανισμοί και τα ένζυμα. β) λίγη σκόνη πετρωμάτων: από βασάλτη, γρανίτη και ηφαιστειακή λάβα. Αν δεν έχουμε από τα προηγούμενα, χρησιμοποιούμε σκόνη δολομίτη, σχιστόλιθου για την περίπτωση αμμώδους εδάφους.

γ) σκόνη από φύκια της θάλασσας (ήδη αναφέραμε): τα φύκια είναι σημαντικά υλικά γιατί περιέχουν και πολλά ιχνοστοιχεία. Αφού συγκεντρώσουμε τα φύκια που βγάζει η θάλασσα έξω στη στεριά, αφαιρούμε το αλάτι αφήνοντάς τα εκτεθειμένα στη βροχή και αφού ξεραθούν και τριφτούν τα ρίχνουμε στην οργανική ύλη.

δ) στάχτες από ξύλα (όπως ήδη έχουμε αναφέρει): αν δεν έχουμε αυτή τη δυνατότητα και το μίγμα μας διαθέτει πολλά πράσινα υλικά, μπορούμε να προσθέσουμε σκόνη ασβέστη. Με την προσθήκη της στάχτης ή του ασβέστη δεν κινδυνεύει ο σωρός από το σχηματισμό συμπαγούς μάζας για να αναπτυχθεί η αναερόβια ζύμωση. ε) βότανα αρωματικά και θεραπευτικά: ωφελούν σε μικρή ποσότητα το οργανικό μίγμα όπως για παράδειγμα το μυριόφυλλο, το χαμομήλι, το ταραξάκο, η βαλεριάνα. Από τα παραπάνω βότανα ρίχνουμε στο μίγμα τα φυλλαράκια καθώς και τα άνθη τους. Θα ήταν επίσης χρήσιμη στο μίγμα μικρή ποσότητα τριμμένης φλούδας από βελανιδιά σε σκόνη. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφέρουμε την τσουκνίδα λίγο πριν την άνθησή της και πριν βγάλει σπόρους. Χρησιμοποιούμε ολόκληρο το φυτό αφήνοντας όμως μέρος του για να παράγει σπόρους ώστε να φυτρώσει την επόμενη χρονιά. Σε περίπτωση που δεν έχουμε τις παραπάνω βοηθητικές ουσίες (ή πρόσθετα) δεν σημαίνει ότι δε γίνεται η αποικοδόμηση του οργανικού μίγματος. Αρκεί το επιφανειακό χόμα που θα προσθέσουμε, το οποίο περιέχει αρκετούς μικροοργανισμούς, για να ξεκινήσει η διαδικασία της κομποστοποίησης. Απλά τα πρόσθετα επιταχύνουν τη διαδικασία (Πανάγος, 1980).

1.5.5 Κομποστοποίηση και η Ανακύκλωση στη φύση

Πέρα από αυτά που έχουμε αναφέρει, με την κομποστοποίηση γίνεται η ανακύκλωση και ενός μέρους της ενέργειας που είχε αρχικά δεσμευτεί από τα φυτά. Η εξήγηση είναι η εξής: από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και από το νερό, τα φυτά παρασκευάζουν πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, όπως σάκχαρα, άμυλο, κυτταρίνη κ.λ.π. Τα παραπάνω γίνονται με την ηλιακή ενέργεια και με τη βοήθεια της χλωροφύλλης που υπάρχει στα πράσινα μέρη του φυτού.

Η ηλιακή ενέργεια, με την παραπάνω διεργασία της φωτοσύνθεσης, μετατρέπεται από τα φυτά σε χημική ενέργεια που αποθηκεύεται σε όλα τα μέρη των φυτών. Η παραπάνω αποθηκευμένη στα φυτά χημική ενέργεια, μέσω της τροφικής αλυσίδας, μεταφέρεται σε όλους τους ζωϊκούς οργανισμούς. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί διασπούν τα φυτικά και ζωϊκά υλικά σε απλούστερα υλικά αξιοποιώντας την ενέργεια που έχει απομείνει για τη δική τους επιβίωση. Τα φυτά θα αποσπάσουν από το έδαφος αυτά τα απλούστερα υλικά για να τα επαναχρησιμοποιήσουν.

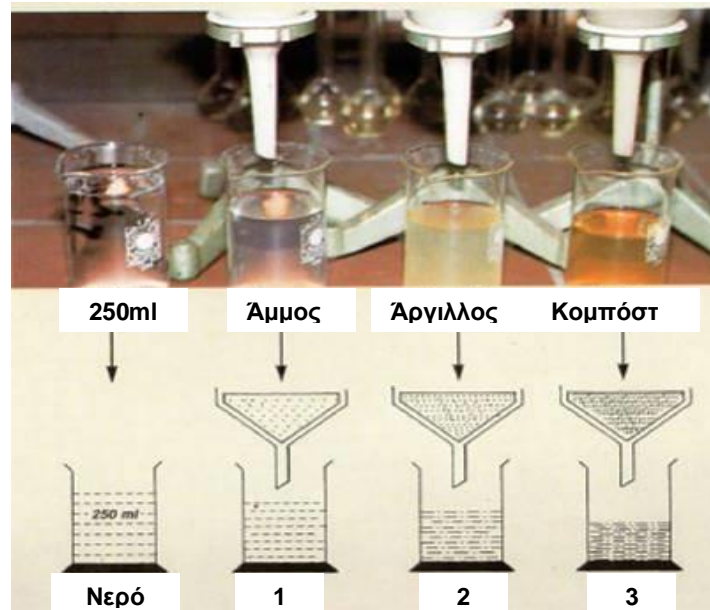
Αυτή η ανακύκλωση των συστατικών και της ενέργειας γίνεται μέσω της κομποστοποίησης, εφόσον τελικά ένα μέρος της ενέργειας από τους μικροοργανισμούς επανέρχεται πάλι στους φυτικούς οργανισμούς. Αυτή η πολύ μικρή ποσότητα της ενέργειας, μέσω των απλούστερων υλικών, που επανέρχεται στα φυτά είναι πολύ ωφέλιμη για να προσφέρει ξανά στα φυτά την ανάπτυξή τους με μια συγχρόνως καινούργια δέσμευση της ενέργειας από τον ήλιο.

1.6 Γιατί έχει σημασία η κομποστοποίηση;

Το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης, το λεγόμενο κομπόστ:

- Βελτιώνει το έδαφος ως προς τη δομή του.**

Κατόπιν πειράματος (εικόνα 21) που πραγματοποιήθηκε σε εδαφολογικό εργαστήριο φαίνεται η σημασία του κομπόστ για τη συγκράτηση του νερού.



Εικόνα 21: Συγκράτηση νερού από διαφορετικά εδάφη

Σε τρία χωνιά προσθέτουμε χωριστά τρία διαφορετικά υλικά. Στο πρώτο άμμο, στο δεύτερο άργιλο και στο τρίτο έτοιμο κομπόστ που έχουμε ήδη φτιάξει ώστε οι ποσότητες τους αντίστοιχα να είναι ίσες. Στη συνέχεια ρίχνουμε στο κάθε χωνί ίση ποσότητα νερού, 250 γραμμαρίων. Παρατηρούμε ότι η άμμος απορρόφησε τα λιγότερα γραμμάρια νερού, 55 γραμμάρια. Τα 195 γραμμάρια νερού πέρασαν στο ποτήρι ζέσεως. Ο άργιλος συγκράτησε 87 γραμμάρια και το κομπόστ 110 γραμμάρια νερού (εικόνα 21). Το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις των χωραφιών και των κήπων στα οποία προσθέτουμε κομπόστ. Απορροφούν μεγαλύτερη ποσότητα νερού που διατίθεται στα φυτά για περισσότερο χρόνο, ειδικά σε περιόδους ξηρασίας (Αλκιμος, 2000).

Μέσω της ικανότητας του κομπόστ να συγκρατεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού στο έδαφος, τα φυτά προσλαμβάνουν τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται, εφόσον το νερό είναι ο διαλύτης των θρεπτικών στοιχείων και ο μεταφορέας αυτών προς τις ρίζες των φυτών.

Επίσης στο υπέργειο τμήμα του φυτού, ιδίως στα φύλλα, το νερό συμβάλλει στη φωτοσύνθεση και ακόμη είναι το μέσο που γίνονται όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις (Σινάνης, 2022).

Τέλος το κομπόστ ως εδαφοκάλυμμα διατηρεί την υγρασία, ειδικά σε περίοδο ξηρασίας, προστατεύοντας επίσης το έδαφος λόγω των καταστροφικών αποτελεσμάτων από τον άνεμο και από την καταρρακτώδη βροχή (Thompson, 2007).

•Είναι ένα λίπασμα φυσικό

Όπως ήδη αναφέραμε, το κομπόστ περιέχει χουμικές ουσίες (χουμικά και φουλβικά οξέα) οι οποίες σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με κατιόντα μετάλλων που προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών (οι ρίζες φέρουν αρνητικά φορτία) είτε αυτούσιες ως χηλικές είτε ως κατιόντα των μετάλλων. Με αυτόν τον τρόπο τα φυτά προσλαμβάνουν με τις ρίζες τους, μέσω του κομπόστ, το άζωτο, το κάλιο, τον φωσφόρο, το σίδηρο καθώς και τα υπόλοιπα ωφέλιμα χημικά στοιχεία. Επομένως το κομπόστ είναι ένα λίπασμα φυσικό.

•Είναι φορέας γονιμότητας

Όταν προσθέτουμε κομπόστ στο χώμα, αυξάνουμε την ποικιλότητα της ζωής σε αυτό. Με το κομπόστ, οι μικροοργανισμοί του εδάφους βρίσκουν την τροφή τους και παράλληλα με την παραγωγή οξέων έχουμε διάλυση των ορυκτών υλικών στο έδαφος, αποσπώντας ομάδες ιχνοστοιχείων από τα ορυκτά, για παράδειγμα καλίου, μαγνησίου, φωσφόρου και άλλων. Στη συνέχεια οι γεωσκώληκες προσλαμβάνουν τα παραπάνω ιχνοστοιχεία συνδέοντας αυτά με τις οργανικές ενώσεις της τροφής τους, με αποτέλεσμα να γίνεται η σύνδεση του στοιχείου του αζώτου με τα ορυκτά για να απορροφηθούν μέσω των φυτικών οργανισμών. Έτσι εξηγείται η αύξηση της γονιμότητας του εδάφους και η κυκλική πορεία των υλικών. Η διάλυση της ανόργανης ύλης και των νεκρών οργανικών κυττάρων, η διάσπασή τους και η σύνδεσή τους προς σχηματισμό νέων χημικών ουσιών δίνει τη σύσταση των ζωντανών φυτικών οργανισμών (Πανάγος, 1980).

Η προσκόλληση των οργανικών μορίων του κομπόστ με τα ανόργανα μόρια του εδάφους οδηγεί στο σχηματισμό κόκκων μικροσκοπικών με μήκος μέχρι δύο χιλιοστά. Μυκήλια και οργανικοί ιστοί τρισεκατομμυρίων βακτηρίων συγκρατούν τους παραπάνω κόκκους οι οποίοι με τους πόρους που σχηματίζονται ανάμεσά τους, αυξάνουν την απορρόφηση του νερού στο έδαφος που υπάρχει το κομπόστ.

Τα σκουλήκια συνεισφέρουν στο σχηματισμό καναλιών στο έδαφος, τα οποία κανάλια είναι αναγκαία για την κυκλοφορία του αέρα, ζωτικής σημασίας για την αναπνοή των

μικροοργανισμών και των φυτών. Η προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας κομπόστ στο έδαφος, ευνοεί περισσότερους σχηματισμούς από κόκκους και πόρους, οπότε τα φυτά μπορούν να αντέξουν και σε περιόδους ανομβρίας, αν δεν ποτίζονται (Thompson, 2008).

Το έδαφος που είναι εμπλουτισμένο με κομπόστ παίζει το ρόλο ενός σφουγγαριού. Οι πόροι του αποτελούν αποθήκες αέρα, νερού και υγρασίας ενώ συγχρόνως με τη δομή την εσωτερική που δημιουργείται, επιτρέπεται να ζει μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών στην επιφάνεια, εσωτερικά που υπάρχει. Στις απεκρίσεις και στα υπολείμματα των μικροοργανισμών βασίζεται η γονιμότητα του εδάφους (Πανάγος, 1980).

•Μειώνει τις ασθένειες

Έχει αποδειχθεί (H.C. Scharpe, 1971) ότι το έδαφος που είναι εμπλουτισμένο με κομπόστ αντιστέκεται οικοβιολογικά καλύτερα σε μια μονομερή υπεραύξηση σε ένα βλαβερό ζώο στο έδαφος. Εκτός από αυτό, το κομπόστ ενισχύει την υγεία των φυτών. Διάφορες μυκητιάσεις υποχωρούν αισθητά με την προσθήκη κομπόστ στο έδαφος. Με έκχυμα κομπόστ ραντίζουμε προληπτικά τα φυτά και τα δέντρα και ό,τι άλλο κινδυνεύει να προσβληθεί ή έχει προσβληθεί από μύκητες (Αλκιμος, 2000).

Οι μικροοργανισμοί ζουν κυρίως στο φιλμ υγρασίας που υπάρχει στα διάκενα μεταξύ των κόκκων του κομπόστ. Η ζωή του εδάφους αναπτύσσεται σε αρμονική συμβίωση με τις ρίζες των φυτών. Ένα παράδειγμα συνεργασίας των μικροοργανισμών του εδάφους με το ριζικό σύστημα των φυτών είναι η «Μυκόριζα», δηλαδή ο μύκητας που ζει στην επιφάνεια των ριζών των φυτών και εισχωρεί και μέσα σ' αυτές. Επεξεργάζεται το νερό και τα θρεπτικά συστατικά των φυτών και βοηθά στην προστασία του φυτού αφού δεν αφήνει τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς να βλάψουν τις ρίζες του.

Άλλα πάλι μικρόβια, τα λεγόμενα αζωτοβακτηρίδια, συζούν στο ριζικό σύστημα των ψυχανθών, προσθέτοντας άζωτο στο έδαφος.

Από τα παραπάνω πρέπει να κατανοήσουμε ότι η ζωή στο έδαφος είναι πολύτιμη για τα φυτά ώστε να αναπτύσσονται με υγιή τρόπο, όπως ο άνθρωπος έχει στο σύστημα των εντέρων του τους απαραίτητους μικροοργανισμούς για την επεξεργασία των τροφών του, έτσι και τα φυτά χρειάζονται τη ζωή του εδάφους (Πανάγος, 1986).

Το κομπόστ απωθεί τα ζιζάνια ακόμα και στην περίπτωση που είναι απλωμένο στην επιφάνεια του εδάφους σαν εδαφοκάλυμμα, χωρίς καλά καλά να εισέλθει στο εσωτερικό του (Thompson, 2007).

• Προστατεύει την υγεία του Πλανήτη μας

Η ρύψη οργανικών υλικών στον κάδο των σκουπιδιών μόνο βλάβες προκαλεί στο περιβάλλον.

Τα οργανικά υλικά αποτελούν περίπου το 1/3 των απορριμμάτων μας, οπότε η αφαίρεση των οργανικών υλικών από τα σκουπίδια προκαλεί μείωση στις ποσότητες των σκουπιδιών που αποστέλλουμε στους χώρους υγειονομικής ταφής.

Τα οργανικά υλικά δεν είναι σκουπίδια. Επιπλέον τα οργανικά υλικά που διασπώνται στις περιοχές υγειονομικής ταφής παράγουν το αέριο μεθάνιο το οποίο, 20 φορές περισσότερο από το διοξείδιο του άνθρακα, προκαλεί αύξηση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες το αέριο μεθάνιο σε ποσοστό 17% εκπέμπεται στους χώρους υγειονομικής ταφής.

Με την διαδικασία της κομποστοποίησης μπορούμε αισθητά να περιορίσουμε τις ποσότητες επιβλαβών αερίων εκπομπών στο περιβάλλον και να προστατέψουμε τον πλανήτη μας.

Στην εποχή μας πρέπει να προσέχουμε πολύ τη ρύπανση του περιβάλλοντος ή πιο σωστά τη δηλητηρίαση της φύσης. Όταν λέμε δηλητηρίαση της φύσης εννοούμε: ο αέρας, το νερό, το έδαφος αλλά και τα ίδια τα φυτά και τα ζώα να επιβαρύνονται με βλαβερές ουσίες από τις δραστηριότητες του ανθρώπου και τη λανθασμένη χρήση της τεχνικής προόδου.

Οι βιομηχανίες, τα αυτοκίνητα και η συμβατική γεωργία με το πλήθος των δηλητηρίων που χρησιμοποιούν, αποτελούν σίγουρα απειλή για τη φύση. Σε διάφορα σημεία του πλανήτη μας, συνεχώς καταρρέουν ολόκληρα οικοσυστήματα από τις παραπάνω αιτίες (Πανάγος, 1986).

Μέρος 2ο

Σήμερα η εκπαίδευση στον 21ο αιώνα κάνει προσπάθεια και στη χώρα μας να εντάξει τη βιωματική, τη διερευνητική και τη διεπιστημονική απόκτηση της γνώσης, η οποία στηρίζεται στη διδακτική παραδοσιακή αρχή: κάποιος μαθαίνει πιο ουσιαστικά και πιο βαθιά αλλά και πιο εύκολα όταν: α) κάτι του προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον β) μαθαίνει μέσω ερευνητικής μεθοδολογικής διαδικασίας και γ) αυτό που μαθαίνει συνδέεται διεπιστημονικά και με άλλες περιοχές του προγράμματος του σχολείου (Αθανασάκης, 2015).

Θα χρησιμοποιήσουμε το εποικοδομητικό μοντέλο διδασκαλίας το οποίο βασίζεται στη συμμετοχή των μαθητών στην πορεία της μάθησης με ενεργό τρόπο, στην ανάδειξη της προϋπάρχουσας γνώσης τους, στην οικοδόμηση και στην εφαρμογή της νέας γνώσης (Matthews, 1994).

Η διδακτική μας παρέμβαση στηρίχτηκε στην ανακαλυπτική μέθοδο διδασκαλίας με καθοδηγούμενη διερεύνηση που αποτελεί μια από τις εκδοχές που συναντάμε στον εποικοδομητισμό. Με τα φύλλα εργασίας μέσα από τις προβλέψεις και τις δραστηριότητες, τους καθοδηγούμε να αποκτήσουν δεξιότητες στην επιστημονική διαδικασία, να ανακαλύψουν την καινούργια γνώση εφαρμόζοντάς τη στην καθημερινή τους ζωή.

Αυτός ο εξοπλισμός διερεύνησης θα προσφέρει στους μαθητές ενημέρωση και εμπειρία ώστε να παρατηρήσουν οι ίδιοι τί είναι η κομποστοποίηση και πώς δουλεύει. Δεν είναι πάντα εύκολο για τους εκπαιδευτικούς να βρουν κεφάλαια φυσικής, που όχι μόνο να διδάσκουν το περιεχόμενο, αλλά να διδάσκουν και τη διαδικασία.

Οι δραστηριότητες και τα πειράματα σε αυτό το κεφάλαιο είναι σχεδιασμένα για να συνοδεύσουν τους αρχάριους μαθητές στη διαδικασία διεξαγωγής ενός πειράματος. Οι δραστηριότητες ακολουθούν η μια μετά την άλλη, επιτρέποντας στους μαθητές να ενδυναμώσουν τη μάθηση τους για την αποσύνθεση των οργανικών απορριμμάτων και για το σχεδιασμό και τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Κατάσταση Υλικών που θα χρειαστούν

Υλικά που παρέχονται:

- Μικρός Ενημερωτικός Οδηγός
- Πλαστικό τελάρο για την αποθήκευση υλικών
- 6 ταχυανακυκλωτές για κομπόστ
- 6 θερμομέτρα
- δείκτης pH
- Μικρές τσάντες με φερμουάρ
- Χαρτί περιτυλίγματος με φυσαλίδες για υλικά μόνωσης
- Σακούλα με μικρά πριονίδια ή ροκανίδια
- Διαφανή πλαστικά κύπελα μέτρησης που μετρούν σε χιλιοστόλιτρα

Υλικά που μπορούν να παρέχουν οι δάσκαλοι ή οι μαθητές:

- Πράσινα, όπως φρούτα και λαχανικά που μπορούν να τεμαχιστούν
- Καφέ, όπως φύλλα, κλαράκια, χάρτινες αβγοθήκες, χαρτόνια (κομμένα σε μικρά κομμάτια)
- 2λιτρα μπουκάλια αναψυκτικών / κουτιά χυμών
- Κηπόχωμα
- Ζυγαριά
- Μεγεθυντικοί φακοί
- Χάρακες
- Νεροχύτης για κάθε ομάδα
- Σημειωματάριο για καταγραφή δεδομένων και απαντήσεις στις ερωτήσεις
- Εργαστηριακό λογισμικό

Επιπρόσθετες πηγές για την έρευνα σχετικά με την κομποστοποίηση (π.χ. βιβλία, πρόσβαση σε ηλεκτρονική έρευνα, διεύθυνση ή τηλέφωνο του Υπουργείου Φυσικών Πόρων, λέσχες

κηπουρικής, ή περιβαλλοντικά κέντρα που μπορούν οι μαθητές να έχουν πληροφορίες, ομιλητής που να είναι γνώστης του αντικειμένου της κομποστοποίησης).

2.1 Τι είναι Σκουπίδια; (1η διδακτική ώρα)

1. Μοιράζουμε ένα μικρό φύλλο χαρτιού σε κάθε ομάδα και τους ζητάμε να γράψουν σε αυτό το φύλλο τον ορισμό για τα σκουπίδια.

Τους δίνουμε πέντε με δέκα λεπτά για να συζητήσουν και να σημειώσουν. Αναθέτουμε σε ένα μαθητή από κάθε ομάδα να ανακοινώσει τον ορισμό για τα σκουπίδια της ομάδας του στην ολομέλεια της τάξης.

2. Στο τέλος μπορούμε να συντάξουμε μερικά από τα κριτήρια που είχαν από κοινού οι ορισμοί.

Ακόμα μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν ορισμό της τάξης για τα σκουπίδια.

3. Στη συνέχεια παραθέτουμε μια ποικιλία από αντικείμενα που έχουμε φέρει στη τάξη, για παράδειγμα μερικά από τα παρακάτω:

- μήλο, καρότο, πατάτα, μπανάνα, πορτοκάλι (οποιοδήποτε φρούτο ή λαχανικό που αποτελείται από μέρη που δεν τρώγονται).
- περιοδικό, διαφημιστικό φυλλάδιο, παλιά εφημερίδα, παλιό χαρτόδετο βιβλίο.
- σακουλάκι από μπισκότα, σακουλάκι από πατατάκια, οδοντόπαστα με το σωλήνα ακόμα στο κουτί, κουτί χυμού (χρήσιμα αντικείμενα που έχουν τη συσκευασία).
- ρούχα που δε φοράμε, παιχνίδια ή άλλα αντικείμενα που δε χρησιμοποιούμε
- μία διαφανή τσάντα που περιέχει κλαδιά, κομμένο γρασίδι ή φύλλα.

4. Ολοκληρώνουμε με την ερώτηση, αν νομίζουν ότι μερικά από τα τρόφιμα, (π.χ. φρούτα, λαχανικά) που προηγουμένως είχαν σκεφτεί ότι δεν είναι σκουπίδια, έχουν μέρη που τα πετάμε.

5. Κλείνουμε την 1^η ώρα αναφέροντας ότι σε αυτό το κεφάλαιο θα μάθουν εναλλακτικές λύσεις για να μην πετούν τόσα πολλά σκουπίδια.

Στη συνέχεια οι μαθητές μέσω της παρακάτω έρευνας θα εξετάσουν και θα συλλέξουν δεδομένα για τα απόβλητα στα νοικοκυριά τους.

Τους ζητάμε να βρουν 1,5λιτρα μπουκάλια από αναψυκτικά για την παρακάτω έρευνα την οποία θα ολοκληρώσουν στο σπίτι.

6. Μοιράζουμε το φύλλο με την έρευνα [«Επιτηρώντας τα Σκουπίδια Μας»](#) για να το συμπληρώσουν στο σπίτι.

Αφού εξηγήσουμε τί ζητάμε για την πραγματοποίηση της έρευνας δίνουμε στους μαθητές το [ερωτηματολόγιο 1](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

2.2 "Αλλάξτε την Πορεία των Σκουπιδιών σας" (2η διδακτική ώρα)

Συζητάμε για την έρευνα: «Επιτηρώντας τα σκουπίδια μας» [ερωτηματολόγιο 1](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) για 15 λεπτά περίπου. Στη συνέχεια τους εισάγουμε στην επόμενη έρευνα, δίνοντας σχετικές οδηγίες και μοιράζοντας για το σπίτι τις οδηγίες μαζί με τον πίνακα Υπολειμμάτων Κουζίνας [πίνακας 7](#) (βλ. [Παράρτημα](#))

Στη συνέχεια δίνουμε στους μαθητές τις παρακάτω οδηγίες για την υλοποίηση της δραστηριότητας: "Αλλάξτε την Πορεία των Σκουπιδιών Σας"

- Μοιράζουμε σε κάθε ομάδα ένα μεγάλο φύλλο χαρτιού και τους λέμε να επιλέξουν έξι αντικείμενα που δεν τα χρειάζονται πλέον ή δεν τα χρησιμοποιούν.
- Μπορούμε να τροποποιήσουμε τον αριθμό για να ικανοποιήσουμε τις ανάγκες της ομάδας. Αυτά μπορούν να είναι αντικείμενα από το προηγούμενο μάθημα.
- Τους ζητάμε να κάνουν ένα σκίτσο από το κάθε ένα από τα επιλεγμένα αντικείμενά τους και να σχεδιάσουν έναν ή περισσότερους «δρόμους» που θα μπορούσε να πάρει το αντικείμενο αντί του δρόμου προς το σκουπιδοτενεκέ.
- Οι μαθητές μπορούν να διαγράψουν με ένα X το δρόμο προς το σκουπιδοτενεκέ εφόσον έχουν δημιουργήσει άλλους δρόμους για το αντικείμενο.
- Προβάλλουμε μέσω του προτζέκτορα τη [διαφάνεια](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) που θα μας βοηθήσει στην εξήγηση της δραστηριότητας.
- Όταν οι ομάδες τελειώσουν, τους επιτρέπουμε να μοιραστούν εκ περιτροπής το ένα αντικείμενο και το «δρόμο» μέχρι να μοιραστούν τις εναλλακτικές τους λύσεις για το πέταγμα των πραγμάτων.

- Τελειώνουμε τη δραστηριότητα ζητώντας από τους μαθητές να γράψουν μια σκέψη για το τί πετάγεται στην κοινωνία μας και κατά πόσο οι μαθητές στην ηλικία τους μπορούν να επηρεάσουν το ποσό των απορριμμάτων που πετάγεται από τα σπίτια τους.

2.3 Ποιες μεταβλητές βοηθούν στη γρήγορη αποσύνθεση; (3η διδακτική ώρα)

Τους εισάγουμε στη δραστηριότητα: «Ο Αγώνας προς την Αποσύνθεση».

Για την καταγραφή της υπόθεσης αλλά και για το σχεδιασμό των ενεργειών τους για την επαλήθευση ή τη διάψευση της υπόθεσης, δόθηκε στους μαθητές το [φύλλο εργασίας 1](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Για την επαλήθευση ή τη διάψευση της υπόθεσης δόθηκε στους μαθητές το φύλλο [εργασίας 2 - πίνακας 8](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

2.4 Το πείραμα του “Αγώνα της Αποσύνθεσης” (4η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές γεμίζουν με οργανικά υλικά και κολλούν ετικέτες στις τσάντες για τη δραστηριότητα: «Ο Αγώνας προς την Αποσύνθεση». Θα πρέπει να γράψουν για τα μέρη του πειράματος «υπόθεση, βοήθεια που απαιτήθηκε και τη διαδικασία» στο [φύλλο εργασίας 1](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) ολοκληρώνοντας την περιγραφή.

2.5 «Ένα Μάθημα από τη Μητέρα Φύση» (5η διδακτική ώρα)

Ελέγχουν τις τσάντες του «Αγώνα προς την Αποσύνθεση» και καταγράφουν τα δεδομένα στον «Πίνακα Συλλογής Δεδομένων» στο [φύλλο εργασίας 2 - πίνακα 8](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Μοιράζουμε σε φωτοτυπία το φύλλο: [«Ένα Μάθημα από τη Μητέρα Φύση ή Κομποστοποίηση: η Άλλη Ανακύκλωση»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) και [το φύλλο με το λεξιλόγιο](#)

(βλ. [Παράρτημα](#)) αν χρειάζεται. Οι μαθητές διαβάζουν μαζί στις ομάδες τους, υπογραμμίζοντας σημαντικές πληροφορίες.

2.6 Οι Μεγάλες Ερωτήσεις για την Κομποστοποίηση (6η διδακτική ώρα)

Ελέγχουν τις τσάντες του Αγώνα προς την Αποσύνθεση και καταγράφουν τα δεδομένα στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Μοιράζουμε σε φωτοτυπία το φύλλο: [«Συνταγή για ένα άριστο Κομπόστ»- Η Συνταγή σας](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Συζητάμε τις ιστορίες της κομποστοποίησης έχοντας ως οδηγό συζήτησης:

τις «Μεγάλες Ερωτήσεις για την Κομποστοποίηση» που δίνονται στο [ερωτηματολόγιο 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

2.7 “Η πρόκλησή σας για το κομπόστ” (7η διδακτική ώρα)

Ελέγχουν τις τσάντες του «Αγώνα προς την Αποσύνθεση» και καταγράφουν τα δεδομένα στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Δίνουμε χρόνο στους μαθητές να σκεφτούν ιδέες και να προετοιμαστούν για την ενημέρωσή τους.

Διανέμουμε παρακάτω το [φύλλο εργασίας 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)), ώστε οι μαθητές να παρατηρήσουν το επόμενο πείραμα και να αρχίσουν να σχεδιάζουν. Για όλα τα παραπάνω έχουμε υπόψη τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Αφού έχουν διαβάσει «Ένα Μάθημα από την Μητέρα Φύση ή Κομποστοποίηση: η Άλλη Ανακύκλωση» και έχουν κοιτάξει τα υλικά στο κουτί, βάζουμε τους μαθητές να συνεργαστούν και να σκεφθούν για το ποιος θα ήταν ο απόλυτος ταχυνακυκλωτής.

Ο ταχυνακυκλωτής της τάξης θα είναι ο έλεγχος και κάθε μικρή ομάδα στην τάξη θα επιλέξει μια μεταβλητή για να σχεδιάσει το πείραμα. Τα σχέδια του πειράματος πρέπει να περιλαμβάνουν τη διερευνητική ερώτηση, την υπόθεση, τα υλικά και τη διαδικασία που χρησιμοποιείται. Υπάρχει ένα αντίγραφο των οδηγιών για τους μαθητές εάν θέλουμε να έχουμε ένα διαθέσιμο για τις ομάδες, καθώς δουλεύουν.

Οι μαθητές μπορούν αν θέλουν να ανατρέξουν στα υλικά τους του «Αγώνα προς την Αποσύνθεση» για ιδέες προκειμένου να στήσουν το πείραμά τους.

Βήμα 2: Το επόμενο βήμα των μαθητών για την εκμάθηση της κομποστοποίησης θα έρθει από τον πειραματισμό τους. Στις μικρές τους ομάδες θα πρέπει να σκεφτούν τις ερωτήσεις που έχουν, όπως ποιά υλικά θα αποσυντεθούν γρηγορότερα, ποιοί συνδυασμοί των υπολειμμάτων της κουζίνας ή των κήπων λειτουργούν καλύτερα μαζί και ποιες συνθήκες θα επηρεάσουν τη διαδικασία κομποστοποίησης.

Κάθε ομάδα πρέπει να επιλέξει μια ερώτηση για την οποία ενδιαφέρεται πιο πολύ και να σχεδιάσει μια επιστημονική έρευνα. Κατόπιν πρέπει να φτιάξουν τους ταχυνακυκλωτές τους, σύμφωνα με τα σχέδιά τους.

Βήμα 3: Στα επιστημονικά τους ημερολόγια πρέπει να σχεδιάσουν ένα διάγραμμα του πειραματικού σχεδίου της ομάδας και το πρότυπο του ελέγχου της τάξης. Πρέπει να γράψουν την ερώτηση που ερευνά η ομάδα τους. Σαν ομάδα θα αποφασίσουν ποιές πληροφορίες είναι σημαντικές, θα καταγράψουν και θα σχεδιάσουν ένα διάγραμμα ή έναν πίνακα για τη συλλογή των δεδομένων από τις παρατηρήσεις τους. Ένα δείγμα ενός δισέλιδου πίνακα έχει συμπεριληφθεί που μπορεί να αντιγραφεί για τους μαθητές. Τα δεδομένα που θέλουν να συλλέξουν ίσως να είναι διαφορετικά από τον συμπεριλαμβανόμενο πίνακα ή ίσως να θέλουν οι μαθητές να σχεδιάσουν δικούς τους πίνακες. Αποφασίζουμε ως τάξη (ή μπορεί να αποφασίσει ο δάσκαλος) πόσο καιρό πρέπει να διαρκέσει το πείραμα και πόσο συχνά πρέπει να γίνονται και να καταγράφονται οι παρατηρήσεις.

Βήμα 4: Ο ταχυνακυκλωτής της τάξης θα φτιαχτεί και θα γεμιστεί και κάθε ομάδα γεμίζει τον ταχυνακυκλωτή που έχει σχεδιάσει. Καθώς προστίθεται το οργανικό υλικό στους ταχυνακυκλωτές, οι μαθητές είτε θα χρησιμοποιούν μια ζυγαριά για να βρουν τη μάζα ή ένα φλιτζάνι για να βρουν τον όγκο του υλικού που προστίθεται σε κάθε ταχυνακυκλωτή (ίσως να θέλουν να παρακολουθούν τη μάζα και τον όγκο). Οι ταχυνακυκλωτές γεμίζουν σχεδόν έως την κορυφή και το ύψος του κομποστ μετριέται κάθε εβδομάδα. Αυτές οι πληροφορίες καταγράφονται. Για να είναι σε θέση οι ομάδες να συγκρίνουν το πείραμά τους με τον ταχυνακυκλωτή της τάξης (έλεγχος) και με τα πειράματα των άλλων ομάδων, όλα τα πειράματα αρχίζουν περίπου με ίσες ποσότητες και ίσους όγκους των οργανικών υλικών. Αφού οργανώσουν το πείραμά τους οι μαθητές γράφουν την υπόθεση, τα υλικά και τη διαδικασία.

Βήμα 5: Οι μαθητές συνεχίζουν να παρατηρούν και να καταγράφουν τα δεδομένα. Επίσης ελέγχουν τη θερμοκρασία. Θα ήταν καλό για τους μαθητές να ελέγχουν το κέντρο των στηλών του κομπόστ τους. Πρέπει επίσης να ελέγχουν το pH του σωρού. Αν προσθέσουν νερό στον ταχυνακυκλωτή τους (εκτός αν δεν χρησιμοποιούν κανένα επιπρόσθετο νερό ως μεταβλητή) μετρούν και καταγράφουν πόσο νερό προσθέτουν. Εάν στραγγίζουν το νερό πρέπει επίσης να μετριέται η ποσότητα του νερού και να καταγράφεται. Αυτό το νερό είναι καλό για το πότισμα των φυτών.

Βήμα 6: Καθώς τελειώνουν τα πειράματα, οι μαθητές θα αναλύσουν και θα συγκρίνουν τα στοιχεία τους. Είναι χρήσιμο να δημιουργηθούν γραφικές παραστάσεις ή ιστογράμματα για να παρουσιάζουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας, του pH και της μάζας ή του όγκου. Οι μαθητές θα μπορούσαν να βάλουν τα ιστογράμματα δίπλα - δίπλα για να συγκρίνουν τα στοιχεία από το πείραμα της ομάδας τους με τα στοιχεία από το πείραμα ελέγχου της τάξης. Μπορείτε να διαμορφώσετε το ιστόγραμμα που θα δημιουργήσει η κάθε ομάδα δημιουργώντας μαζί ένα ιστόγραμμα για τον ταχυνακυκλωτή της τάξης.

Βήμα 7: Οι μαθητές στις ομάδες τους χρησιμοποιούν τα στοιχεία από τις παρατηρήσεις και την ανάλυσή τους για να γράψουν μια εξήγηση για αυτό που συνέβη. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με τα αποτελέσματα του πειράματος ελέγχου της τάξης αποτελούν μέρος της ανάλυσής τους.

Θα συγκρίνουν τα αποτελέσματά τους με την υπόθεσή τους.

Βήμα 8: Κάθε ομάδα θα προετοιμάσει και θα παραδώσει μια έκθεση στα άλλα μέλη της τάξης, μοιράζοντας το σχεδιασμό του πειράματός τους, τα συμπεράσματά τους και ποιά στοιχεία χρησιμοποίησαν για να οδηγηθούν σε εκείνα τα συμπεράσματα. Ίσως να θελήσουμε να συμπεριλάβουν μια αφίσα με μια γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων τους.

Προτεινόμενη σκέψη: «Από αυτό το πρόγραμμα της τάξης έμαθα....»

Δίνουμε έμφαση στους μαθητές ότι αυτά είναι πρότυπα πραγματικών μεγάλων ταχυνακυκλωτών που οι άνθρωποι ή τα σχολεία και οι επιχειρήσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν στο σπίτι.

Δίνουμε τις [«Επιπρόσθετες Δραστηριότητες»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Βήμα 9: Όταν το πρόγραμμα τελειώσει οι μαθητές θα πετάξουν με κατάλληλο τρόπο τα μέρη. Το κομπόστ μπορεί να απλωθεί σε ένα χορτοτάπητα, κήπο, ή σε ένα παρτέρι και το πλαστικό δοχείο θα καθαριστεί και θα ανακυκλωθεί.

2.8 Πίνακας υπολειμμάτων κουζίνας (8η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές επιστρέφουν τα φύλλα με τα δεδομένα από [τον πίνακα 7](#) (βλ. [Παράρτημα](#)), «Πίνακα των Υπολειμμάτων της Κουζίνας», τα οποία τα χρησιμοποιούμε για συζήτηση.

Οι μαθητές διατυπώνουν τις τελευταίες παρατηρήσεις για τις τσάντες, καταγράφουν δεδομένα, γράφουν συμπεράσματα, προετοιμάζουν και μοιράζουν μια σύντομη αναφορά για την τάξη.

2.9 Ερευνητικό σχέδιο για το κομπόστ (9η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές σχεδιάζουν μέσα στη μικρή τους ομάδα τα πειράματα για την «Πρόκληση για το Κομπόστ» [φύλλο εργασίας 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Θα φέρουν υλικά, όπως δίλιτρα μπουκάλια, φρούτα και λαχανικά, χώμα, κ.λπ., για να κατασκευάσουν και να γεμίσουν τους ταχυανακυκλωτές τους στη διάρκεια της 10^{ης} διδακτικής ώρας.

Για την καταγραφή της υπόθεσης αλλά και για το σχεδιασμό των ενεργειών τους για την επαλήθευση ή τη διάψευση της υπόθεσης δόθηκε στους μαθητές το [φύλλο εργασίας 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

2.10 Οργάνωση του πειράματος (10η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές κατασκευάζουν και γεμίζουν τους ταχυανακυκλωτές της ομάδας τους και τον ταχυανακυκλωτή ελέγχου της τάξης. Συμπληρώνουν τα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου και τις ερευνητικές ερωτήσεις, υπόθεση, υλικά, διαδικασία στο [φύλλο εργασίας 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

2.11 Μετρήσεις (11η διδακτική ώρα)

Παρατηρούν τους ταχυνακυκλωτές της ομάδας και της τάξης. Παίρνουν μετρήσεις και τις καταχωρούν στον [πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Δουλεύουν πάνω σε μια επιπρόσθετη δραστηριότητα [«Επιπρόσθετες Δραστηριότητες»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) ή στα σημερινά επιστημονικά γεγονότα ή σε μια άλλη επιστημονική δραστηριότητα για τον εναπομείναντα χρόνο.

2.12 Η συνέχεια των μετρήσεων (12η διδακτική ώρα)

Παρατηρούν τους ταχυνακυκλωτές της ομάδας τους και της τάξης. Παίρνουν μετρήσεις και καταχωρούν τα δεδομένα στον [πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Δουλεύουν πάνω σε μια επιπρόσθετη δραστηριότητα [«Επιπρόσθετες Δραστηριότητες»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) ή στα σημερινά επιστημονικά γεγονότα και κάνουν επανάληψη για την τελευταία αξιολόγηση ή σε μια άλλη επιστημονική δραστηριότητα για τον εναπομείναντα χρόνο.

2.13 Προετοιμασία των συμπερασμάτων (13η διδακτική ώρα)

Παρατηρούν τους ταχυνακυκλωτές της ομάδας και της τάξης. Παίρνουν μετρήσεις και καταχωρούν τα δεδομένα στον [πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Δουλεύουν πάνω σε μια επιπρόσθετη δραστηριότητα [«Επιπρόσθετες Δραστηριότητες»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) ή στα σημερινά επιστημονικά γεγονότα, κάνουν επανάληψη για την τελευταία αξιολόγηση ή σε μια άλλη επιστημονική δραστηριότητα για τον εναπομείναντα χρόνο.

2.14 Συμπεράσματα (14η διδακτική ώρα)

Διατυπώνουν τις τελευταίες παρατηρήσεις, εκτός αν επιλέξουν να διαρκέσει παραπάνω το πείραμα. Συμπληρώνουν τα δεδομένα [στον πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Γράφουν συμπεράσματα και σκέψεις. Σχεδιάζουν τις παρουσιάσεις για την επόμενη διδακτική ώρα.

2.15 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων (15η διδακτική ώρα)

Δίνουμε 15 λεπτά χρόνο για να τελειώσουν την προετοιμασία των ομαδικών παρουσιάσεων των αποτελεσμάτων τους. Οι ομάδες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματά τους.

2.16 Ολοκλήρωση των Μεγάλων Ερωτήσεων της Κομποστοποίησης (16η διδακτική ώρα)

Δίνουμε 10 λεπτά περίπου στους μαθητές να επανεξετάσουν μέσα στις ομάδες τους για τη συνοπτική αξιολόγηση. Δίνουμε μια συνοπτική αξιολόγηση του Κεφαλαίου για το Κομπόστ. Τώρα που έχουν ολοκληρώσει την ανάγνωση και τα πειράματα αυτού του κεφαλαίου και έχουν κατανοήσει το θέμα της κομποστοποίησης, τους δίνουμε ξανά το [ερωτηματολόγιο 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) ώστε να δώσουν ολοκληρωμένες απαντήσεις με αποδείξεις από τα συμπεράσματα των πειραμάτων που έχουν υλοποιήσει.

Δείγματα Απαντήσεων για τις «Μεγάλες Ερωτήσεις της Κομποστοποίησης

Καθώς οι ηλικίες και τα επίπεδα εμπειρίας των μαθητών ποικίλλουν τόσο πολύ, οι προτάσεις αυτές για τις απαντήσεις είναι μόνο για να ενημερωθούν οι δάσκαλοι. Οι δάσκαλοι είναι επαγγελματίες που έχουν την καλύτερη κατανόηση του τί είναι «μια καλή απάντηση» για τους μαθητές τους.

1. Τι σημαίνει κομποστοποίηση;

Η κομποστοποίηση είναι το όνομα που δίνεται στην ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων, όπως των υπολειμμάτων της κουζίνας ή των κήπων. Είναι ένας τρόπος να επιταχυνθεί η αποσύνθεση με τον έλεγχο του αέρα, της υγρασίας, της θερμοκρασίας, και της ισορροπίας μεταξύ των πράσινων και καφέ υλικών του κομπόστ (συνήθως από τον όγκο του κομπόστ).

2. Γιατί θα έπρεπε οι άνθρωποι να κομποστοποιούν;

Οι άνθρωποι πρέπει να κομποστοποιούν επειδή είναι ένας περιβαλλοντικά ασφαλής τρόπος να εξαφανίσουν τα οργανικά απόβλητα που μπορούν να καταλάβουν μέχρι το 1/3 των χωματερών. Παράγει επίσης χούμο, ένα υλικό που είναι ωφέλιμο στην ανάμειξή του με το χώμα.

3. Τι μπορεί να κομποστοποιηθεί;

Τα φρούτα και τα λαχανικά, οι κόκκοι του καφέ και τα φύλλα τσαγιού, τα φύλλα και το κομμένο γρασίδι είναι όλα παραδείγματα των πραγμάτων που είναι καλά να κομποστοποιηθούν. Τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα κρέατα και τα τρόφιμα που περιέχουν λίπη δεν πρέπει να κομποστοποιηθούν επειδή μπορούν να προσελκύσουν ζώα και να επιβραδύνουν τη διαδικασία.

4. Περιγράψτε πως λειτουργεί η διαδικασία κομποστοποίησης.

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία που αποσυνθέτει τα οργανικά απόβλητα, αλλά με έναν τρόπο που είναι πιο γρήγορος και πιο αποδοτικός από ό,τι συνήθως συμβαίνει στη φύση. Οι άνθρωποι μπορούν να κανονίσουν να έχουν τις ιδανικότερες συνθήκες για την αποσύνθεση: 1) με την προσθήκη ενός ισορροπημένου μίγματος πράσινων και καφέ οργανικών αποβλήτων 2) κρατώντας το μίγμα υγρό με την προσθήκη νερού όταν χρειάζεται 3) ανακατεύοντας το κομπόστ για να προστεθεί ο αέρας και 4) σιγουρεύοντας τη θερμοκρασία να είναι αρκετά ζεστά έχοντας αρκετό όγκο στο σωρό ή μονώνοντας το κομπόστ.

5. Ποιες μεταβλητές επηρεάζουν το πόσο καλά λειτουργεί η κομποστοποίηση;

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν την επιτυχία της κομποστοποίησης είναι: 1) η ύπαρξη ενός ισορροπημένου μίγματος «πράσινων» και «καφέ» οργανικών αποβλήτων και η μη ύπαρξη λιπαρών τροφίμων που επιβραδύνουν τη διαδικασία 2) η διατήρηση του κομπόστ τόσο υγρό όσο ένα υγρό σφουγγάρι 3) ο αερισμός ή η πρόσθεση αέρα στο κομπόστ, ανακατεύοντάς το

και 4) η διατήρηση του κομπόστ σε μια αρκετά υψηλή θερμοκρασία, είτε μονώνοντας το κομπόστ είτε έχοντας ένα αρκετά μεγάλο όγκο, επειδή το ζεστό κομπόστ αποσυντίθεται γρηγορότερα.

6. Σε τι μπορεί να χρησιμοποιηθεί το επεξεργασμένο προϊόν;

Το επεξεργασμένο προϊόν της κομποστοποίησης είναι το χούμο.

Είναι ένα υλικό πολύ ευεργετικό όταν προστίθεται στο χώμα επειδή βοηθά το χώμα να απορροφήσει το νερό καλύτερα μετά από μια βροχή, αποτρέποντας κατά συνέπεια τη διάβρωση. Επιτρέπει στις ρίζες των φυτών να διαπεράσουν το χώμα πιο εύκολα και προσθέτει επιπλέον θρεπτικές ουσίες στο χώμα για τα φυτά. Όταν χρησιμοποιείται ως προστασία γύρω από τα φυτά, μπορεί να βοηθήσει στην αποτροπή ανάπτυξης ζιζανίων και να διατηρήσει υγρό το χώμα

(DeLong, Eau Claire, Wisconsin, 2002).

Μέρος 3ο

Η υλοποίηση του προγράμματος της Οικιακής Κομποστοποίησης έγινε στο εργαστήριο Φυσικής και Χημείας του 67^{ου} γυμνασίου της Αθήνας, στο οποίο διδάσκω, στα πλαίσια του μαθήματος "Εργαστήρια Δεξιοτήτων", στη θεματική ενότητα: "Σέβομαι το Περιβάλλον". Συμμετείχαμε στο πρόγραμμα μαζί με τη συνάδελφο της οικιακής οικονομίας και τρία τμήματα της πρώτης γυμνασίου (συνολικά 63 μαθητές).

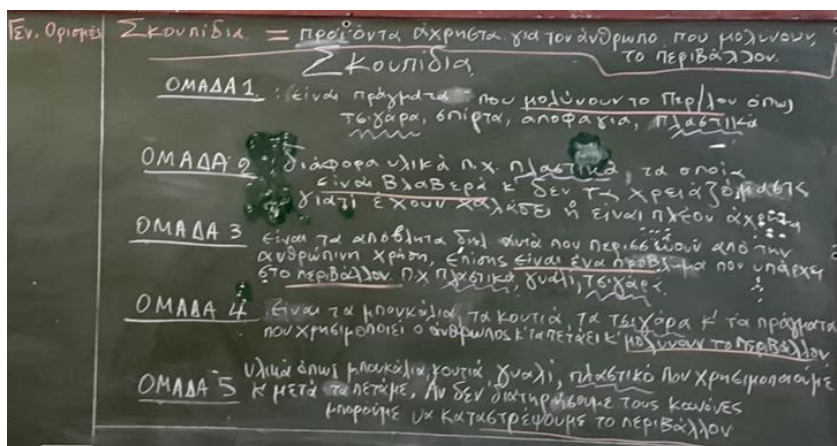
3.1 Απαντήσεις του ορισμού των σκουπιδιών (1η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές χωρίστηκαν σε πέντε ομάδες ανά τμήμα (τα τμήματα Α1 και Α3), ενώ οι μαθητές του τμήματος Α4 μοιράστηκαν σε έξι ομάδες. Κάθε ομάδα περιελάμβανε τέσσερα άτομα. Ο συνδυασμός των τεσσάρων ατόμων έγινε με το εξής σκεπτικό: να καθήσουν ανά δύο οι μαθητές που κάθονται στο θρανίο της αίθουσάς τους και στη συνέχεια να σκεφτούν με ποιους άλλους δύο μαθητές θα μπορούσαν να συνεργαστούν καλύτερα. Ο διαχωρισμός σε ομάδες στα τμήματα Α3 και Α4 έγινε με ευκολία, ενώ στο τμήμα Α1 είχε μια περισσότερη δυσκολία για τη δημιουργία της τέταρτης και πέμπτης ομάδας. Πιθανόν η δυσκολία να προέκυψε από το γεγονός ότι τα παιδιά έχουν μάθει να συνεργάζονται καλύτερα ανά δύο, δηλαδή όπως κάθονται στο θρανίο της αίθουσας. Όμως στην πορεία της ώρας η τέταρτη ομάδα έκανε μια αρχή στη συνεργασία. Παρέμεινε μόνο η δυσκολία της συνεργασίας ενός μαθητή της πέμπτης ομάδας, ο οποίος έδειξε μια άρνηση να συνεργαστεί με τις υπόλοιπες τρεις μαθήτριες της ομάδας του.

Πρόκειται για τον μαθητή που καθόταν μόνος του στο θρανίο της αίθουσάς του και ίσως για αυτό να αντιμετώπιζε περισσότερη δυσκολία στο θέμα της συνεργασίας. Όταν τον ρωτήσαμε αν ήθελε να πάει σε κάποια άλλη ομάδα, μας είπε την προτίμησή του. Αφήσαμε όμως το θέμα ανοιχτό να το συζητήσουμε με τη συνάδελφο.

Στα πλαίσια της θεματικής ενότητας "Σέβομαι το περιβάλλον" τα παιδιά συμφώνησαν ότι ο σεβασμός τους για τη φύση δείχνεται με το να μην πετούν σκουπίδια αλλά και αν πετούν να

τα ρίχνουν στο σωστό κάδο σκουπιδιών. Συζητώντας για τον σεβασμό μας στο περιβάλλον και για τα σκουπίδια, τους ζητήσαμε, αφού πριν τους μοιράσαμε από ένα μικρό χαρτί ανά ομάδα, να συνεργαστούν τα μέλη της κάθε ομάδας και να γράψουν έναν σύντομο ορισμό για τα σκουπίδια, στη διάρκεια πέντε λεπτών. Τους ζητήσαμε να ορίσουν τον συντονιστή της ομάδας τους, αφού προηγουμένως τους μιλήσαμε σύντομα για το ρόλο του συντονιστή. Στη συνέχεια οι συντονιστές των ομάδων ανέφεραν τους ορισμούς στην ολομέλεια και τους έγραψαν στον πίνακα. Από τη σύγκριση των ορισμών, βρήκαν τα κοινά τους σημεία και με βάση αυτά, κατέληξαν σε ένα βελτιωμένο ορισμό για τα σκουπίδια (εικόνα 22).



Εικόνα 22: Απαντήσεις των ομάδων του τμήματος Α1 για τον ορισμό των Σκουπιδιών

Κατόπιν σε ένα εμφανές μέρος του πάγκου του εργαστηρίου αποθέσαμε κάποιες κατηγορίες υλικών και τους ρωτήσαμε να απαντήσουν ποιες από αυτές ήταν σκουπίδια (εικόνα 23).



Εικόνα 23: Κατηγορίες υλικών που δείξαμε στους μαθητές

Στην πρώτη κατηγορία με τα φρούτα και τα λαχανικά υπήρχε μια ομοφωνία ότι δεν είναι σκουπίδια. Από τη δεύτερη κατηγορία των χαρτικών και μετά, όπως τα αντικείμενα με τη συσκευασία τους ή τα είδη ρουχισμού που δεν χρησιμοποιούμε, κάποιοι μαθητές δεν συμφώνησαν στις απαντήσεις τους. Οι δώδεκα από τους είκοσι μαθητές του Α1 ανέφεραν ότι τα περιτυλίγματα των υλικών με συσκευασία είναι σκουπίδια. Επίσης μοιρασμένοι, στις απαντήσεις της ερώτησης: αν είναι σκουπίδια ή όχι, ήταν οι μαθητές για την κατηγορία των χαρτικών (παλιές εφημερίδες, παλιό χαρτόδετο βιβλίο, αποδείξεις).

Για την τελευταία κατηγορία των απορριμμάτων κήπου, ένα έως δύο άτομα ανέφεραν ότι αν αυτά ξεραθούν μπορούν να τα προσθέσουν ως λίπασμα στον κήπο.

Στα τμήματα Α3 και Α4 υπήρχαν περισσότεροι μαθητές που διαφωνούσαν στην ερώτηση αν οι κατηγορίες των υλικών της εικόνας 23 είναι σκουπίδια. Αφού προβληματίστηκαν, στο τέλος συμφώνησαν οι πιο πολλοί ότι τα υλικά της εικόνας 23 δεν είναι σκουπίδια, αφού μπορούν να ανακυκλωθούν. Βελτιώσαμε τον ορισμό των Σκουπιδιών της εικόνας 22, δηλαδή γράψαμε ότι: «Σκουπίδια είναι τα απορρίμματα του ανθρώπου που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν και κατά συνέπεια μολύνουν το περιβάλλον».

Μοιράσαμε στα παιδιά την πρώτη έρευνα: [Ερωτηματολόγιο 1 «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) και δώσαμε οδηγίες για τη διεξαγωγή της στο σπίτι.

3.2 Αποτελέσματα της έρευνας: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας" (2η διδακτική ώρα)

Τα παιδιά επέστρεψαν συμπληρωμένο το φύλλο της πρώτης έρευνας: [Ερωτηματολόγιο 1 «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) και ο καθένας κόλλησε στον πίνακα ένα post-it ροζ χρώματος στην περίπτωση απάντησης "ΝΑΙ" ή κίτρινου χρώματος στην περίπτωση απάντησης "ΟΧΙ" για τις ερωτήσεις 1, 2, 3, και 4 του παραπάνω ερωτηματολογίου 1. Προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες 2, 3 και 4 και τα παρακάτω διαγράμματα 5, 6 και 7.

Πίνακας 2: Απαντήσεις του τμήματος Α1 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Ερωτήσεις της έρευνας: «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»	Αριθμός οικογενειών σε σύνολο 20 οικογένειες		Ποσοστό οικογενειών επί τοις εκατό (%)	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
1. Ανακύκλωση	ΝΑΙ:15	ΟΧΙ:5	ΝΑΙ:75	ΟΧΙ:25
2. Κομποστοποίηση υπολειμμάτων κουζίνας	ΝΑΙ:2	ΟΧΙ:18	ΝΑΙ:10	ΟΧΙ:90
3. Κομποστοποίηση απορριμμάτων αυλής	ΝΑΙ:16	ΟΧΙ:4	ΝΑΙ:80	ΟΧΙ:20
4. Επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων	ΝΑΙ:19	ΟΧΙ:1	ΝΑΙ:95	ΟΧΙ:5

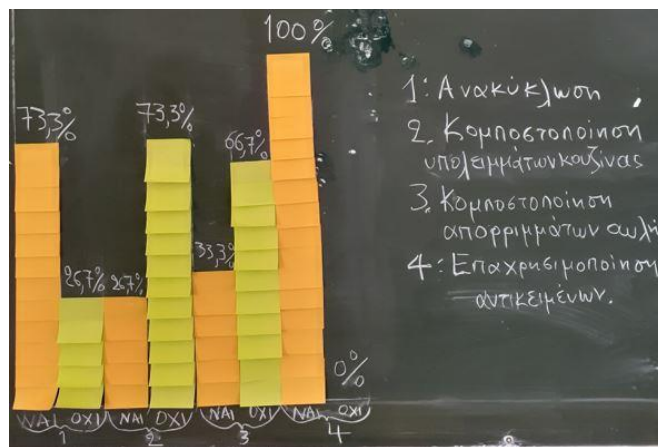


Διάγραμμα 5: Απαντήσεις της έρευνας του τμήματος Α1: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Τα παιδιά της κάθε ομάδας του τμήματος Α1, παρατηρώντας το διάγραμμα 5, έγραψαν στο ημερολόγιό τους ένα γενικό συμπέρασμα. Το κοινό συμπέρασμα των πέντε ομάδων ήταν ότι οι περισσότερες οικογένειες κομποστοποιούν τα απορρίμματα της αυλής (ποσοστό 80%) και επαναχρησιμοποιούν αντικείμενα (ποσοστό 95%), ενώ πολύ λίγες οικογένειες κομποστοποιούν τα υπολείμματα της κουζίνας (ποσοστό 10%).

Πίνακας 3: Απαντήσεις του τμήματος Α3 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Ερωτήσεις της έρευνας: «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»	Αριθμός οικογενειών σε σύνολο 15 οικογένειες		Ποσοστό οικογενειών επί τοις εκατό (%)	
1. Ανακύκλωση	ΝΑΙ:11	ΟΧΙ:4	ΝΑΙ:73,3	ΟΧΙ:26,7
2. Κομποστοποίηση υπολειμμάτων κουζίνας	ΝΑΙ:4	ΟΧΙ:11	ΝΑΙ:26,7	ΟΧΙ:73,3
3. Κομποστοποίηση απορριμμάτων αυλής	ΝΑΙ:5	ΟΧΙ:10	ΝΑΙ:33,3	ΟΧΙ:66,7
4. Επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων	ΝΑΙ:15	ΟΧΙ:0	ΝΑΙ:100	ΟΧΙ:0

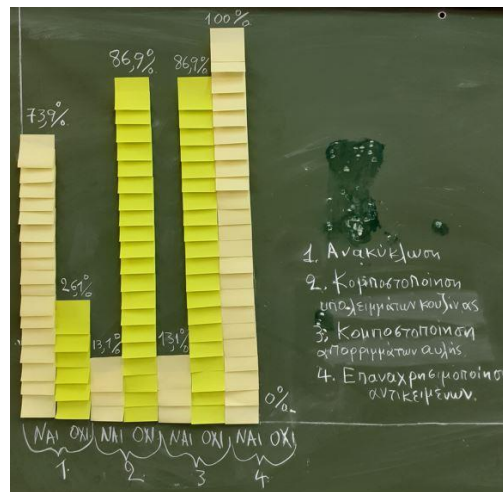


Διάγραμμα 6: Απαντήσεις του τμήματος Α3 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Τα παιδιά κάθε ομάδας του τμήματος Α3, παρατηρώντας το διάγραμμα 6, έγραψαν στο ημερολόγιό τους ένα γενικό συμπέρασμα. Το κοινό συμπέρασμα των πέντε ομάδων ήταν ότι οι περισσότερες οικογένειες ανακυκλώνουν (ποσοστό 73,3%), ενώ όλες οι οικογένειές τους επαναχρησιμοποιούν ορισμένα αντικείμενα με ένα νέο τρόπο (ποσοστό 100%). Λιγότερες οικογένειες κομποστοποιούν τα υπολείμματα της κουζίνας (ποσοστό 26,7%) και τα απορρίμματα της αυλής (ποσοστό 33,3%).

Πίνακας 4: Απαντήσεις του τμήματος Α4 στην έρευνα: "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Ερωτήσεις της έρευνας: «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»	Αριθμός οικογενειών σε σύνολο 23 οικογένειες		Ποσοστό οικογενειών επί τοις εκατό (%)	
1. Ανακύκλωση	ΝΑΙ:17	ΟΧΙ:6	ΝΑΙ:73,9	ΟΧΙ:26,1
2. Κομποστοποίηση υπολειμμάτων κουζίνας	ΝΑΙ:3	ΟΧΙ:20	ΝΑΙ:13,1	ΟΧΙ:86,9
3. Κομποστοποίηση απορριμμάτων αυλής	ΝΑΙ:3	ΟΧΙ:20	ΝΑΙ:13,1	ΟΧΙ:86,9
4. Επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων	ΝΑΙ:23	ΟΧΙ:0	ΝΑΙ:100	ΟΧΙ:0



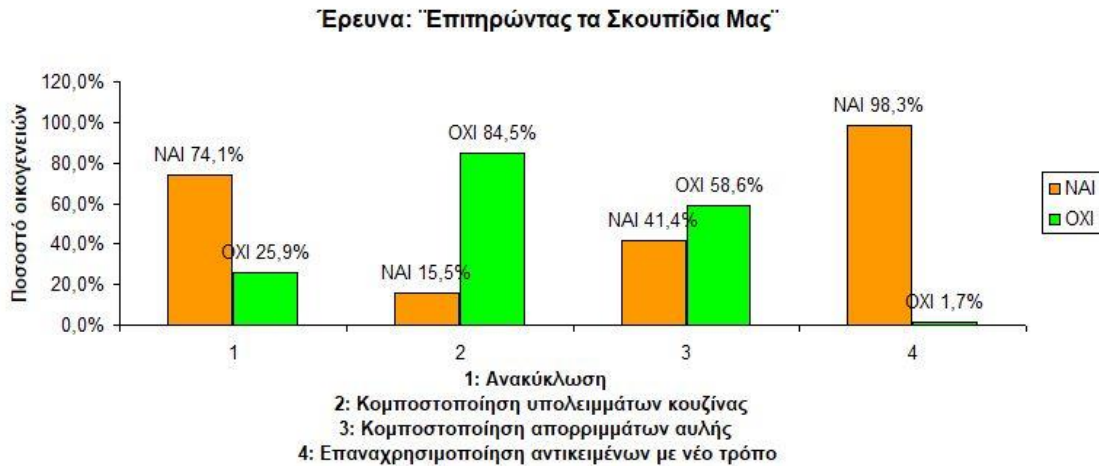
Διάγραμμα 7: Απαντήσεις του τμήματος Α4 στην έρευνα : "Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Τα παιδιά της κάθε ομάδας του τμήματος Α4, παρατηρώντας το διάγραμμα 7, έγραψαν στο ημερολόγιό τους ένα γενικό συμπέρασμα. Το κοινό συμπέρασμα των έξι ομάδων ήταν ότι οι περισσότερες οικογένειες ανακυκλώνουν (ποσοστό 73,9%), ενώ όλες οι οικογένειές τους επαναχρησιμοποιούν ορισμένα αντικείμενα με ένα νέο τρόπο (ποσοστό 100%). Πολύ λίγες οικογένειες κομποστοποιούν τα υπολείμματα της κουζίνας και τα απορρίμματα αυλής (ποσοστό 13,1%).

Πίνακας 5: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στην έρευνα:

"Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας"

Ερωτήσεις της έρευνας: «Επιτηρώντας Σκουπίδια μας»	Αριθμός οικογενειών σε σύνολο 58 οικογένειες		Ποσοστό οικογενειών επί τους εκατό (%)	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
1. Ανακύκλωση	43	15	74,1	25,9
2. Κομποστοποίηση υπολειμμάτων κουζίνας	9	49	15,5	84,5
3. Κομποστοποίηση απορριμμάτων αυλής	24	34	41,4	58,6
4. Επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων	57	1	98,3	1,7



Διάγραμμα 8: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στην έρευνα :

"Επιτηρώντας τα Σκουπίδια Μας"

Έγινε η προβολή με προτζέκτορα μιας [διαφάνειας](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) για να σκεφτούν και να συμπληρώσουν τη δραστηριότητα: «Αλλάξτε την Πορεία των Σκουπιδιών σας». Κάθε ομάδα κατέγραψε τα αντικείμενα που επαναχρησιμοποιεί σε ένα φύλλο χαρτιού. Λόγω έλλειψης χρόνου δεν έφτιαξαν σκίτσα και δεν σχεδίασαν «δρόμους», όπως υποδείκνυε η [διαφάνεια](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρήσαμε ότι και οι πέντε ομάδες επαναχρησιμοποιούν γυάλινα μπουκάλια ή γυάλινα βάζα για αποθήκευση λαδιού ή γραφικής ύλης αντίστοιχα. Επίσης επαναχρησιμοποιούν τις παλιές πετσέτες ή τον παλιό ρουχισμό για ποτηρόπανα ή σφουγγαρόπανα και τα χάρτινα κουτιά τα διατηρούν για την τοποθέτηση κοσμημάτων, βιβλίων ή εγγράφων κ.λ.π.

Δώσαμε οδηγίες για τη συμπλήρωση του [πίνακα 7 : «Είδος και Ποσό των Υπολειμμάτων των Τροφίμων»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) και μοιράσαμε σε κάθε μαθητή μια φωτοτυπία του Πίνακα με τις σχετικές οδηγίες καθώς και ένα ποτήρι των 430ml (από πλαστικό ανακυκλώσιμο υλικό). Η καταγραφή του πίνακα της φωτοτυπίας θα γινόταν στο σπίτι με τη μέτρηση του αριθμού των ποτηριών των οργανικών υπολειμμάτων κουζίνας ανά εβδομάδα και για πέντε εβδομάδες.

3.3 Απαντήσεις της έρευνας: “Η πορεία προς την Αποσύνθεση” (3η διδακτική ώρα)

Η προεργασία για το πείραμα του «Αγώνα της Αποσύνθεσης» έγινε στο σπίτι μαζί με τη συνάδελφο. Κατόπιν συζήτησης αποφασίσαμε, με γνώμονες την εξοικονόμηση χρόνου και την επικινδυνότητα της πιθανής κοπής των μαθητών λόγω της χρήσης μαχαιριού, εμείς να κόψουμε τα υλικά (εικόνα 24).



Εικόνα 24: τεμαχισμός των υλικών στο σπίτι

Τοποθετήσαμε κάθε είδος υλικού χωριστά σε μεγάλη σακούλα τροφίμων, αφού προηγουμένως το ζυγίσαμε. Τα συνολικά γραμμάρια του κάθε υλικού τα διαιρέσαμε με το πέντε (όσος είναι ο αριθμός των ομάδων) για να βρούμε πόσα γραμμάρια του ίδιου υλικού θα τοποθετούσαμε σε καθένα από τα πέντε μικρότερα σακουλάκια που διαθέταμε. Δηλαδή ρίξαμε το 1/5 της συνολικής ποσότητας του κάθε είδους της μεγάλης σακούλας σε πέντε μικρά σακουλάκια. Κάθε ομάδα θα έπαιρνε τον ίδιο αριθμό από τα μικρά σακουλάκια με τα διαφορετικά είδη (12 σακουλάκια). Κάθε μικρό σακουλάκι του ίδιου είδους είχε την ίδια ποσότητα σε όλες τις ομάδες και το άθροισμα των ποσοτήτων όλων των υλικών κάθε ομάδας ήταν το ίδιο. Τα ονόματα των υλικών και οι ποσότητές τους ήταν γραμμένα σε ετικέτα που κολλήσαμε σε κάθε σακουλάκι. Η κάθε ομάδα θα έλεγχε μία παράμετρο που τυχόν επηρεάζει ή όχι την αποσύνθεση των υλικών.

Τους μιλήσαμε για το πόσο ενδιαφέρον θα ήταν να παρατηρούν μια διαδικασία αποσύνθεσης των οργανικών υλικών, να μετρούν, να συμπεραίνουν και τα συμπεράσματα που πρόκειται

να τα εφαρμόσουν στην καθημερινότητά τους. Με διερευνητικές ερωτήσεις, τα παιδιά σκέφθηκαν πώς θα μπορούσαν να στήσουν ένα τέτοιο πείραμα, τί υλικά θα χρειαζόνταν και ποιά παράμετρο θα έπρεπε να ελέγχουν για τη γρηγορότερη αποσύνθεση των υλικών.

Συμπλήρωσαν τη διερευνητική ερώτηση στο [φύλλο εργασίας 1](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) σχετικά με τη μεταβλητή που βοηθά στη γρηγορότερη αποσύνθεση των οργανικών υλικών.

Πίνακας 6: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στη διερευνητική ερώτηση της "Πορείας προς την Αποσύνθεση"

Διερευνητική ερώτηση: Μεταβλητές που επιταχύνουν την: "Πορεία προς την Αποσύνθεση"	Αριθμός ομάδων (των τεσσάρων ατόμων/ ομάδα) σε σύνολο 16 ομάδων	Ποσοστό ομάδων επί τοις εκατό (%)
1. Νερό	2	12,5
2. Φως	8	50,0
3. Χώμα	2	12,5
4. Αέρας	2	12,5
5. Χώμα/ νερό	1	6,25
6. Φως/ χώμα/ νερό	1	6,25

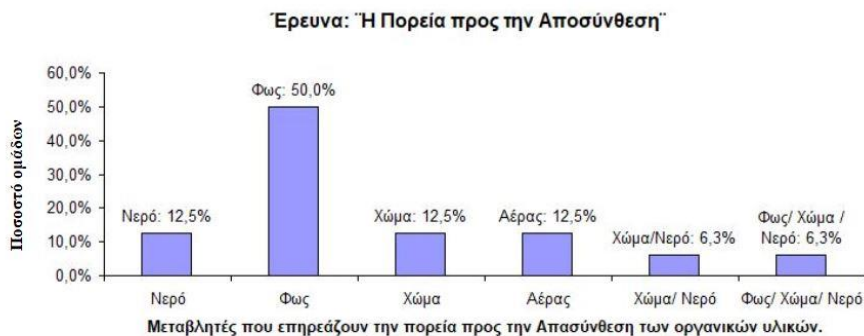
Με βάση τον παραπάνω πίνακα, οι μισές απαντήσεις των ομάδων υποθέτουν ότι το φως είναι ο κύριος παράγοντας για τη γρήγορη αποσύνθεση των οργανικών υλικών. Η εξήγηση που έγραψαν ήταν ότι η θερμότητα παίζει ρόλο στην αποσύνθεση των υλικών και ότι οι ακτίνες του ήλιου κάνουν τα φυτά να μαραθούν πιο γρήγορα ή ότι λιώνει τα φυτά πιο γρήγορα.

Οι δύο άλλες απαντήσεις ήταν το νερό, το χώμα και ο αέρας. Το χώμα γιατί καταστρέφει πιο γρήγορα τα υλικά και ο αέρας επειδή "μπαινοβγαίνει" βοηθά καλύτερα στο σάπισμα.

Η απάντηση: χώμα/ υγρασία είχε ως εξήγηση ότι, όταν το χώμα περιέχει υγρασία, κάνει τα υλικά να γίνουν λίπασμα γρηγορότερα.

Για την απάντηση: Φως/ χώμα/ νερό δεν δόθηκε εξήγηση.

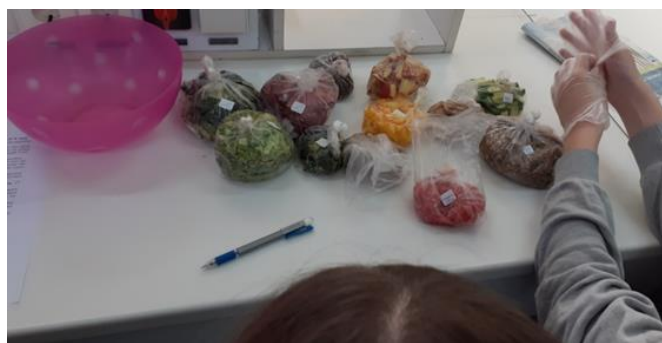
Για το συνολικό αριθμό των απαντήσεων, επί τοις εκατό (%), στην έρευνα της διερευνητικής ερώτησης στο [φύλλο εργασίας 1](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) "Πορεία προς την Αποσύνθεση", πήραμε το παρακάτω διάγραμμα 9.



Διάγραμμα 9: Συνολικές απαντήσεις και των τριών τμημάτων στην έρευνα:

" Η Πορεία προς την Αποσύνθεση"

Στη συνέχεια τοποθετήσαμε στους πάγκους των ομάδων τα σακουλάκια των υλικών, ένα ποτήρι των 430ml, μία λεκάνη και δύο ζευγάρια γάντια καθώς και το φύλλο εργασίας τους (εικόνα 25).



Εικόνα 25: Τοποθέτηση των υλικών στο πάγκο εργασίας κάθε ομάδας

Ένας μαθητής κάθε ομάδας διάβασε μία - μία τις οδηγίες του φύλλου εργασίας, ο δεύτερος άνοιξε ένα ένα το σακουλάκι και από την ετικέτα κατέγραψε το είδος και την ποσότητά του υλικού στο φύλλο εργασίας, στη στήλη της 1^{ης} εβδομάδας στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Οι δύο άλλοι, αφού φόρεσαν τα γάντια, άδειασαν τα υλικά από τα σακουλάκια στη λεκάνη (εικόνα 26) και τοποθέτησαν, με το ανακυκλώσιμο πλαστικό ποτήρι των 430ml, όλο το μίγμα των υλικών από τη λεκάνη στη

σακούλα με zip lock, μετρώντας συγχρόνως το συνολικό αριθμό ποτηριών όλου του μίγματος. Μέτρησαν το συνολικό όγκο του μίγματος των υλικών (σε ποτήρια των 430ml) και κατέγραψαν τη μέτρηση στο φύλλο εργασίας, στη στήλη της 1^{ης} εβδομάδας στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Οι μετρήσεις του όγκου των υλικών διέφεραν στις πέντε ομάδες (ομάδα 1- έλεγχος: 10 ποτήρια, ομάδα 2-νερό: 6,5 ποτήρια, ομάδα 3- φως: 6 ποτήρια, ομάδα 4- χόμα: 8 ποτήρια, ομάδα 5: αέρας: 11 ποτήρια). Προφανώς το μεγαλύτερο σφάλμα που παρατηρήσαμε ήταν ότι άλλες ομάδες συμπιέζαν με τα χέρια τους τα υλικά καθώς τα έβαζαν στο ποτήρι ενώ άλλες όχι. Ένα μικρότερο σφάλμα μπορεί να ήταν ότι κατά τη μεταφορά από τα μικρά σακουλάκια στη λεκάνη κάποια μικρά κομματάκια κόλλησαν στα τοιχώματα από τα σακουλάκια και δεν μεταφέρθηκαν στη λεκάνη και στη σακούλα με zip lock. Ένα τρίτο σφάλμα ήταν η πιθανότητα να έγινε λάθος στη μέτρηση του συνολικού αριθμού των ποτηριών.

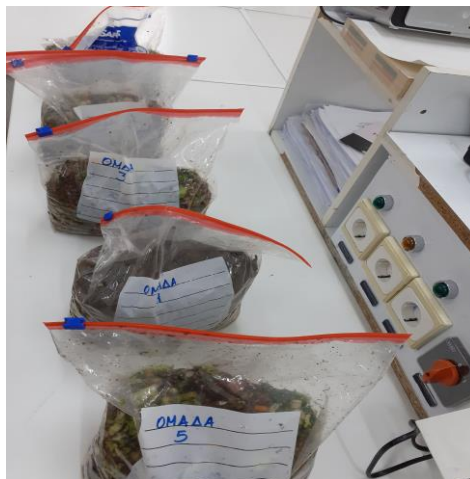
Αφαίρεσαν τον αέρα από την σακούλα τους (εκτός από την ομάδα 5 και την ομάδα 1 που αφαίρεσαν μέρος του αέρα). Η ομάδα 2 πρόσθεσε στη σακούλα με το μίγμα των υλικών 2 ποτήρια (430ml / ποτήρι) νερό, ώστε να σκεπάσει ίσα ίσα το μίγμα, ενώ η ομάδα 5 άνοιξε οπές στα τοιχώματα στο πάνω μέρος της σακούλας. Η ομάδα 4 πρόσθεσε χόμα ενδιάμεσα στα κενά του μίγματος των υλικών (εικόνα 27). Στο τμήμα A4 οι ομάδες ήταν έξι και η 6^η ομάδα μελετούσε το συνδυασμό και των τεσσάρων παραμέτρων, δηλαδή: χόμα, φως, νερό και αέρα. Η ομάδα 6 που ήταν ο συνδυασμός όλων των παραμέτρων πρόσθεσε νερό, χόμα και άνοιξε οπές στα τοιχώματα της σακούλας με τα υλικά.



Εικόνα 26: Τοποθέτηση όλων των υλικών σε λεκάνη πριν τη μέτρηση του όγκου τους

Μέτρησαν με το ζυγό τη συνολική μάζα του μίγματος και καταχώρησαν τη μέτρηση στο φύλλο εργασίας, στη στήλη της 1^{ης} εβδομάδας στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Μέτρησαν με χάρακα το ύψος της στήλης του μίγματος των υλικών της σακούλας με zip lock και κατέγραψαν τη μέτρηση στη στήλη της 1^{ης} εβδομάδας στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Οι μετρήσεις του μήκους συνέπιπταν, ακόμα και αυτή της τέταρτης ομάδας που είχαν προσθέσει χόμα ενδιάμεσα στα κενά του μίγματος των υλικών.



Εικόνα 27: Οι τσάντες με τα υλικά λίγο πριν την τοποθέτησή τους στο σκοτάδι (εκτός μιας που θα τοποθετηθεί στο φως)

Αφού αφαίρεσαν τον αέρα από τη σακούλα τους (η ομάδα 5 και η ομάδα 1 αφαίρεσαν μέρος του αέρα), την τοποθέτησαν στο ντουλάπι κάτω από τον πάγκο τους ώστε να βρίσκεται στο σκοτάδι (εκτός από την ομάδα 3 και των τριών τμημάτων και την ομάδα 6 του Α4 που την τοποθέτησαν κοντά στο παράθυρο για να βρίσκεται στο φως).

Για τον φωτισμό της σακούλας της ομάδας 3 και της ομάδας 6, αποφασίσαμε με τα παιδιά καθημερινά να την τοποθετούν κοντά στο παράθυρο του εργαστηρίου, όταν έχει ήλιο και πριν την αποχώρησή μας από το σχολείο, να την τοποθετούν κοντά στο αναμμένο φως ενός πορτατίφ, στο χώρο του εργαστηρίου.

3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" (4η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών της σακούλας τους και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 2^{ης} εβδομάδας του [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Από τα αποτελέσματα και των πέντε ομάδων, το ύψος της στήλης μειώθηκε και στις πέντε σακούλες, περισσότερο όμως μειώθηκε στις ομάδες 3, 5 και 6, δηλαδή σε αυτές που μελετούν τις παραμέτρους φως, αέρα και χόμα/ φως/ νερό/ αέρα αντίστοιχα (διαγράμματα 10 και 11).

Μέσω συζήτησης τα παιδιά συμπέραναν ότι η μείωση της στήλης των αρχικών υλικών σημαίνει και μείωση του όγκου τους και ότι η μείωση του όγκου των αρχικών στερεών υλικών οφείλεται κυρίως:

α) στην παραγωγή αερίων που διαπίστωσαν από το φούσκωμα των τεσσάρων σακούλων, αφού στην αρχή της 1^{ης} εβδομάδας ήταν συρρικνωμένες από την αφαίρεση του αέρα και β) στην αλλαγή της σύστασης των αρχικών υλικών με αποτέλεσμα τα νέα παραγόμενα υλικά να καταλαμβάνουν τα κενά που υπήρχαν στα αρχικά υλικά.

Ακολούθησε η μέτρηση της μάζας με το ζυγό. Η κάθε ομάδα τοποθέτησε τη σακούλα της πάνω στο ζυγό, πήρε τη μέτρηση και την κατέγραψε στην 2^η στήλη του φύλλου εργασίας στον [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Οι πέντε ομάδες βρήκαν από τις μετρήσεις τους ότι η συνολική μάζα των υλικών μειώθηκε κατά μέσο όρο 68g. Για τη μικρή μείωση της μάζας των υλικών έδωσαν ως εξήγηση τη διαφυγή κάποιας ποσότητας των παραγόμενων αερίων. Αν και κλειστές οι σακούλες με τα υλικά, σίγουρα υπήρχε κάποια διαρροή ποσότητας αερίων προς τα έξω. Η διαρροή διαπιστώθηκε από τη μυρωδιά που υπήρχε στη περιοχή που έκλεινε η σακούλα.

Στη μεταβολή του χρώματος, τα παιδιά κατέγραψαν ότι το χρώμα των υλικών που παρατήρησαν ήταν κυρίως καφέ με κάποιες πράσινες αποχρώσεις από τους μίσχους των λαχανικών και με μωβ και πορτοκαλί χρώματα από τις φλούδες κρεμμυδιού και πορτοκαλιού αντίστοιχα.

Όσον αφορά την παραγωγή υγρών και αερίων, οι ομάδες παρατήρησαν παραγωγή υγρών στο κάτω μέρος της σακούλας, ενώ για την παραγωγή αερίων κατέγραψαν ότι παράχθηκαν αέρια, όπως διαπίστωσαν από το φούσκωμα των σακούλων και από τη μυρωδιά τους. Από τη σύγκριση των σακούλων διαπίστωσαν ότι η περισσότερη παραγωγή αερίων παρατηρήθηκε στη σακούλα της ομάδας 3 που βρίσκονταν στο φως και σε αυτή της ομάδας 4, με τα υλικά που ήταν ανακατεμένα με το χώμα. Μόνο στη σακούλα της ομάδας 5, με τις οπές, δεν παρατήρησαν κάποιο φούσκωμα της σακούλας τους αλλά διαπίστωσαν την παραγωγή αερίων από τη μυρωδιά. Επίσης στη σακούλα της ομάδας 6 που ήταν ο συνδυασμός όλων δεν παρατήρησαν κάποιο φούσκωμα, εφόσον είχαν ανοιχτεί οπές.

Στην ίδια σακούλα της ομάδας 5 με τις οπές, η ομάδα παρατήρησε ένα είδος πράσινης μούχλας να καλύπτει την πάνω επιφάνεια των υλικών. Συζητώντας σχετικά με τη μούχλα, καταλήξαμε ότι οι μικροοργανισμοί συμμετέχουν και βοηθούν στη διαδικασία της αποσύνθεσης.

Οι ομάδες τοποθέτησαν ξανά τις σακούλες στο ντουλάπι τους, εκτός από τις ομάδες: 3 και 6 που τις έβαλαν κοντά στο φως μέχρι την επόμενη εβδομάδα που θα έπαιρναν τις νέες μετρήσεις.

Στη συνέχεια μοιράσαμε τη φωτοτυπία: [«Ένα μάθημα από τη Μητέρα Φύση»](#) καθώς και το [Δεξιλόγιο της Κομποστοποίησης](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Με βάση το κείμενο που διάβασαν θέσαμε και συζητήσαμε τις ερωτήσεις: 1) Τί θα συνέβαινε αν η Φύση δεν ανακύκλωνε; 2) Γιατί οι άνθρωποι πρέπει να ανακυκλώνουν τα οργανικά υλικά; 3) Τι λέγεται κομποστοποίηση;

3.5 Η συνέχεια των Αποτελεσμάτων των μετρήσεων του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" (5η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών της σακούλας τους και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 3^{ης} εβδομάδας του [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Από τα αποτελέσματα και των πέντε ομάδων, το ύψος της στήλης μειώθηκε και στις πέντε σακούλες, περισσότερο όμως μειώθηκε στις ομάδες 3 και 5, δηλαδή σε αυτές που μελετούν τις παραμέτρους φως και αέρα (διάγραμμα 10) καθώς και

στην ομάδα 6 του τμήματος Α4 που ήταν ο συνδυασμός όλων των παραμέτρων (διάγραμμα 11).

Επίσης παρατήρησαν ένα είδος μούχλας γκριζόλευκου χρώματος στην επιφάνεια του μίγματος των υλικών στις ομάδες: 1 (Ελεγχος), 2 (νερό) και 4 (χώμα).

Στη μεταβολή του χρώματος, τα παιδιά κατέγραψαν ότι το χρώμα των υλικών που παρατήρησαν ήταν σκούρο καφέ με κάποιες πορτοκαλί, πράσινες και μωβ αποχρώσεις από τις φλούδες πορτοκαλιού, τους πράσινους μίσχους και τις φλούδες κρεμμυδιού αντίστοιχα, που προφανώς δεν αποδομήθηκαν ακόμη.

Για την παραγωγή υγρών και αερίων, όλες οι ομάδες κατέγραψαν μεγαλύτερη παραγωγή υγρών στο κάτω μέρος της σακούλας, ενώ για την παραγωγή αερίων κατέγραψαν ότι παράχθηκαν περισσότερα αέρια, όπως παρατήρησαν από το φούσκωμα των σακούλων και από τη μυρωδιά τους.

Μοιράσαμε τη φωτοτυπία: [«Συνταγή για ένα άριστο κομπόστ»](#) μαζί με το [Ερωτηματολόγιο 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Δόθηκαν οδηγίες να διαβαστεί στο σπίτι η «Συνταγή για ένα άριστο κομπόστ» και στη συνέχεια να συμπληρωθεί το [Ερωτηματολόγιο 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

3.6 Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του "Αγώνα της Αποσύνθεσης" οικοδομούν την "Πορεία του Κομπόστ" (6η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές επέστρεψαν συμπληρωμένο το Ερωτηματολόγιο 2. Οι ομάδες μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών της σακούλας τους και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 4^{ης} εβδομάδας του [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Από τα αποτελέσματα και των πέντε ομάδων, το ύψος της στήλης μειώθηκε και στις πέντε σακούλες, περισσότερο όμως μειώθηκε στις ομάδες 3 και 5, δηλαδή σε αυτές που μελετούν τις παραμέτρους φως και αέρας (διαγράμματα 10 και 11) καθώς και στην ομάδα 6 του τμήματος Α4 που ήταν ο συνδυασμός όλων των παραμέτρων (διάγραμμα 12).

Επίσης παρατήρησαν ένα είδος μούχλας γκριζόλευκου χρώματος στην επιφάνεια του μίγματος των υλικών κυρίως στις ομάδες: 1 (Ελεγχος), 2 (νερό), λιγότερη στη σακούλα 4 (χώμα) και καθόλου στις ομάδες: 3 (Φως) και 5 (Αέρας).

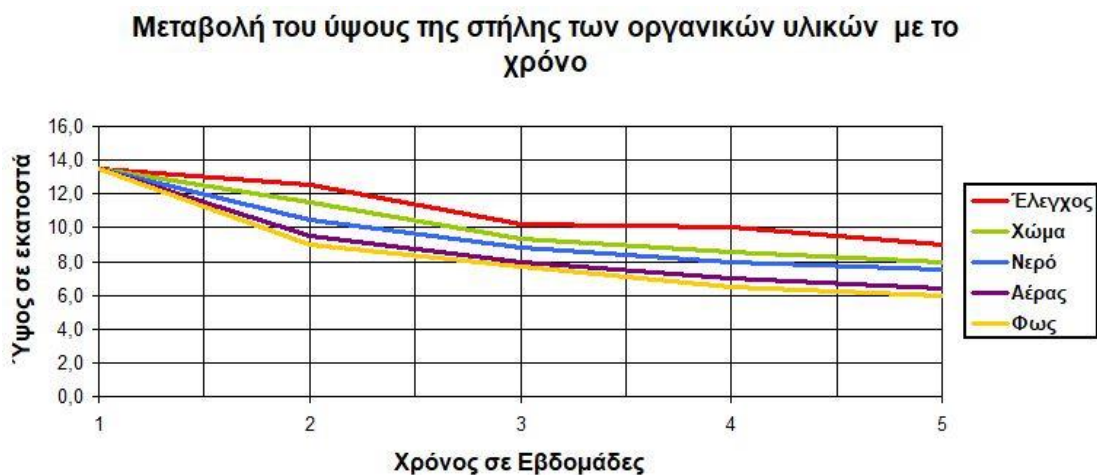
Στη μεταβολή του χρώματος, τα παιδιά κατέγραψαν ότι το χρώμα των υλικών που παρατήρησαν ήταν προς το σκούρο καφέ στον έλεγχο και στο νερό, ενώ στις άλλες ομάδες: φως, χώμα και αέρας ήταν σκούρο καφέ.

Για τη παραγωγή υγρών και αερίων, όλες οι ομάδες κατέγραψαν τα ίδια συμπεράσματα με αυτά της 5^{ης} διδακτικής ώρας.

Με βάση τα συμπεράσματα των μετρήσεων της αποσύνθεσης, συζητήσαμε για τις μεταβλητές που θα επηρέαζαν περισσότερο την διαδικασία της κομποστοποίησης, για τα απαιτούμενα υλικά και τα βήματα εφαρμογής της διαδικασίας.

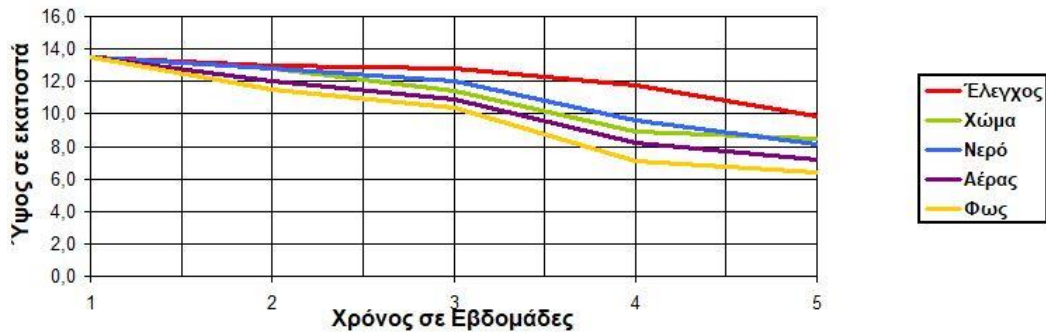
3.7 Μεταβολή του ύψους της στήλης των οργανικών υλικών με το χρόνο (7η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες πήραν και κατέγραψαν τις τελικές μετρήσεις στη στήλη της 5^{ης} εβδομάδας του [πίνακα 8 - φύλλο εργασίας 2 του «Αγώνα Αποσύνθεσης»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Οι μετρήσεις του ύψους της στήλης με τον χρόνο των πέντε εβδομάδων φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα 10 και 11 (για τις πέντε ομάδες των τμημάτων Α1 και Α3 αντίστοιχα) και στο διάγραμμα 12 (για τις έξι ομάδες του τμήματος Α4).



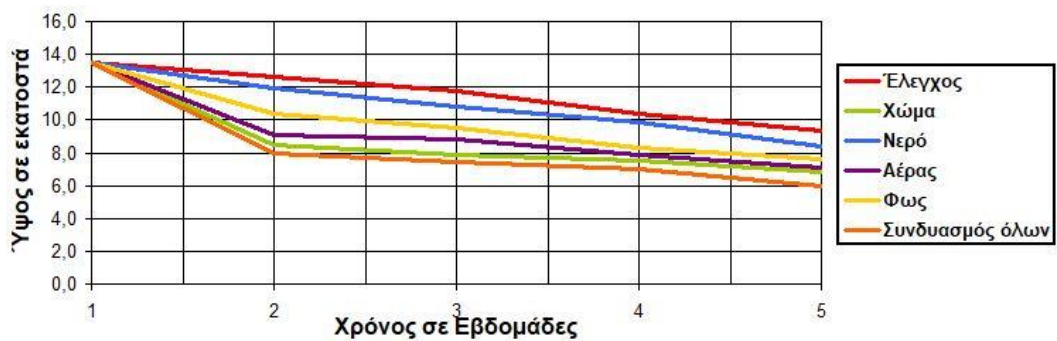
Διάγραμμα 10: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών με το χρόνο για τις πέντε ομάδες του τμήματος Α1

Μεταβολή του ύψους της στήλης των οργανικών υλικών με το χρόνο



Διάγραμμα 11: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών με το χρόνο για τις πέντε ομάδες του τμήματος Α3

Μεταβολή του ύψους της στήλης των οργανικών υλικών με το χρόνο



Διάγραμμα 12: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών με το χρόνο για τις έξι ομάδες του τμήματος Α4

Το είδος της μούχλας γκριζόλευκου χρώματος συνέχισε να υπάρχει στην επιφάνεια του μίγματος των υλικών κυρίως στις ομάδες: 1 (Έλεγχος), 2 (νερό), λιγότερη στην ομάδα: 4 (χώμα) και καθόλου στις ομάδες: 3 (Φως) και 5 (Αέρας).

Για το χρώμα των υλικών, τα παιδιά δεν παρατήρησαν αισθητή μεταβολή από την προηγούμενη φορά, δηλαδή ήταν προς το σκούρο καφέ στον έλεγχο και στο νερό, ενώ στις ομάδες: φως, χρώμα και αέρα ήταν σκούρο καφέ και με τα υπόλοιπα χρώματα να διακρίνονται πολύ λιγότερο.

Τις ίδιες παρατηρήσεις με την προηγούμενη φορά έκαναν και για την παραγωγή υγρών και αερίων. Τις παραπάνω τελικές παρατηρήσεις τους κατέγραψαν στα συμπεράσματα ολοκληρώνοντας το φύλλο [εργασίας 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Με βάση τα διαγράμματα 11, 12 και 13, το χρώμα των υλικών και τις εικόνες 28 και 29, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

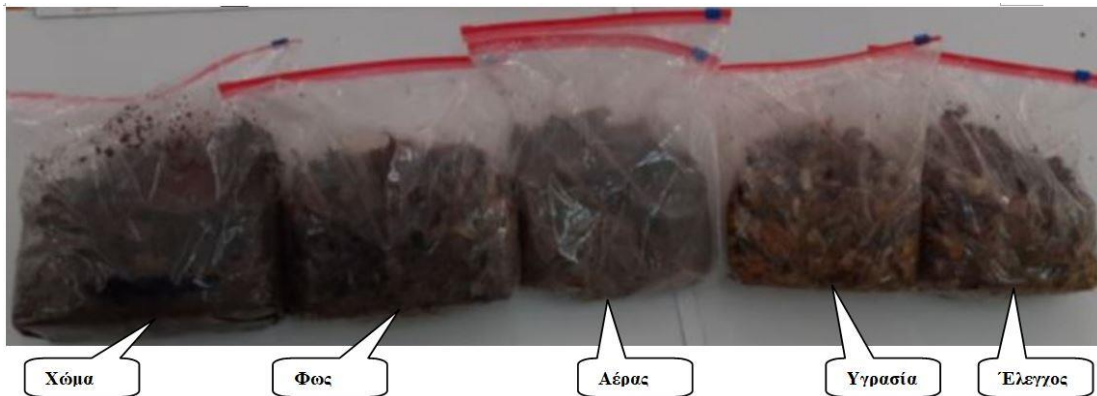
1) Και οι τέσσερις παράμετροι νερό, φως, χρώμα, αέρας συντελούν στη ταχύτερη αποσύνθεση των οργανικών υλικών.

2) Με βάση το διάγραμμα 10, οι ομάδες του τμήματος Α1 συμπέραναν ότι η σειρά γρηγορότερης αποσύνθεσης των οργανικών υλικών επηρεάζεται και από τους τέσσερις παράγοντες: νερό, φως, χρώμα, αέρας με τη φθίνουσα σειρά: Φως > Αέρας > Χρώμα > Υγρασία > Έλεγχος.

3) Με βάση το διάγραμμα 11 και την εικόνα 28, οι ομάδες του τμήματος Α3 συμπέραναν ότι η σειρά γρηγορότερης αποσύνθεσης των οργανικών υλικών επηρεάζεται και από τους τέσσερις παράγοντες: νερό, φως, χρώμα, αέρας με τη φθίνουσα σειρά: Χρώμα > Φως > Αέρας > Υγρασία > Έλεγχος.

4) Με βάση το διάγραμμα 12 και την εικόνα 29, οι ομάδες του τμήματος Α4 συμπέραναν ότι η σειρά γρηγορότερης αποσύνθεσης των οργανικών υλικών επηρεάζεται και από τους τέσσερις παράγοντες: νερό, φως, χρώμα, αέρας και συνδυασμός όλων, με τη φθίνουσα σειρά: Συνδυασμός όλων > Χρώμα > Αέρας > Φως > Υγρασία > Έλεγχος.

Για τη φροντίδα των φρούτων και των λαχανικών στα συμπεράσματα του φύλλου [εργασίας 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)), έγραψαν ότι πρέπει αυτά να τα απομακρύνουν από την υγρασία και το φως και να τα τοποθετούν σε σακούλες από τις οποίες έχουν αφαιρέσει καλά τον αέρα.



Εικόνα 28: Η εικόνα των υλικών την 5η εβδομάδα για τις πέντε ομάδες του τμήματος Α3

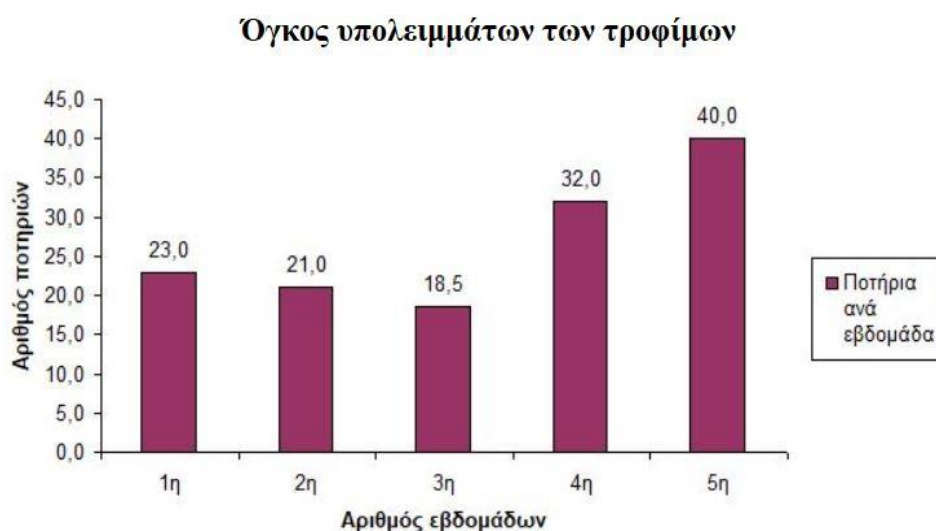


Εικόνα 29: Η εικόνα των υλικών την 5η εβδομάδα για τις έξι ομάδες του τμήματος Α4

3.8 Μεταβολή του όγκου των οργανικών υπολειμμάτων ανά οικογένεια με το χρόνο (8η διδακτική ώρα)

Οι μαθητές επέστρεψαν συμπληρωμένο τον [πίνακα 7 : «Είδος και Ποσό των Υπολειμμάτων των Τροφίμων»](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Ο αριθμός ποτηριών με οργανικά υπολείμματα ανά οικογένεια για το χρονικό διάστημα των πέντε εβδομάδων, απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα 13. Το κάθε ποτήρι αντιστοιχεί σε όγκο 430ml ή 0,43λίτρα/ ποτήρι. Προσθέτοντας τον αριθμό των ποτηριών (134,5 ποτήρια) και πολλαπλασιάζοντας επί

0,43λίτρα/ποτήρι, προέκυψε ότι η κάθε οικογένεια πετά στα σκουπίδια μέσο όρο: 57,8 λίτρα οργανικά υπολείμματα σε σύνολο πέντε εβδομάδων.



Διάγραμμα 13: Όγκος υπολειμμάτων των τροφίμων ανά εβδομάδα

Σχετικά με ποια μεταβλητή θα επηρεάσει περισσότερο τη διαδικασία της κομποστοποίησης, τι υλικά θα χρειαστούν και ποια διαδικασία θα εφαρμόσουν, δόθηκε στους μαθητές [το φύλλο εργασίας 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Διάβασαν προσεκτικά τα βήματα, πήραν ιδέες για την κατασκευή του ταχυνακυκλωτή και συμπλήρωσαν τη διερευνητική ερώτηση, τα υλικά που θα χρειαστούν για την έρευνα και την πειραματική διαδικασία που θα διεξάγουν. Τελικά οι κατασκευές των ταχυνακυκλωτών με βάση τις ιδέες που πήραν οι μαθητές: [Τρόποι για να φτιάξετε τον Ταχυνακυκλωτή Σας](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) και από έρευνα στο διαδίκτυο, κατέληξαν πώς θα τους κατασκευάσουν (εικόνα 30). Συμφωνήσαμε με τους μαθητές οι κατασκευές να υλοποιηθούν από εμένα και τη συνάδελφο όπως και η κοπή των οργανικών υλικών για το γέμισμά τους, ώστε να εξοικονομηθεί χρόνος και οι μαθητές να εστιαστούν στις μετέπειτα παρατηρήσεις και τις μετρήσεις.



Εικόνα 30: Η κατασκευή των ταχυνακυκλωτών στο σπίτι

3.9 Περιγραφή της διαδικασίας του πειράματος της “Πορείας του κομπόστ” και τα πρώτα πορίσματα από τις μετρήσεις τους (9η διδακτική ώρα)

Τοποθετήσαμε τα σακουλάκια των υλικών στους πάγκους των ομάδων, ένα ποτήρι των 250ml, μία λεκάνη και δύο ζευγάρια γάντια, τη σακούλα με τα κομμένα υλικά και [το φύλλο εργασίας 3](#) με τον [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Η ομάδα 1 ήταν ο έλεγχος (η ομάδα που δεν μελετούσε καμμία παράμετρο), η ομάδα 2 μελετούσε την παράμετρο υγρασία, η ομάδα 3 την υψηλή θερμοκρασία, η ομάδα 4 το ισορροπημένο μίγμα πράσινων και καφέ υλικών και η ομάδα 5 τον αερισμό και την ανάδευση.

Οι μαθητές άδειασαν τη σακούλα με τα υλικά στο μπωλ και στη συνέχεια με ένα ποτήρι των 220ml τοποθετούσαν τα υλικά στον ταχυνακυκλωτή μετρώντας συγχρόνως τον αριθμό των ποτηριών (εικόνα 31). Μέτρησαν τη μάζα των υλικών με ζυγό (εικόνα 33), τη θερμοκρασία των υλικών με θερμομέτρο οινόπνευματος (εικόνα 34) και το pH του μίγματος με πεχαμετρικό χαρτί (εικόνες: 35 και 36). Κατέγραψαν τις μετρήσεις τους στη στήλη της 1^{ης} εβδομάδας του [πίνακα 9 του φύλλου εργασίας 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Η ομάδα 2 πρόσθεσε επιπλέον νερό (για υγρασία), η ομάδα 3 κάλυψε το τοίχωμα του ταχυνακυκλωτή με μονωτικό υλικό (για υψηλή θερμοκρασία), η ομάδα 4 πρόσθεσε καφέ υλικά (ξερά κλαράκια, ξερά φύλλα, ροκανίδια και μικρά χαρτάκια από αβγοθήκες) μαζί με τα πράσινα υλικά σε

αναλογία 3:1 (καφέ : πράσινα, αντίστοιχα) και η ομάδα 5 άνοιξε τρύπες στα τοιχώματα του ταχυνακυκλωτή για τον αερισμό των υλικών.

Τοποθέτησαν τους πέντε ταχυνακυκλωτές (εικόνα 32) στο φως την ημέρα και τη νύχτα κάτω από την αναμμένη λάμπα ενός πορτατίφ στο εργαστήριο.



Εικόνα 31: Γέμισμα του ταχυνακυκλωτή



Εικόνα 32: Οι πέντε ταχυνακυκλωτές με τα υλικά την 1η εβδομάδα (A1)



Εικόνα 33: Μέτρηση της μάζας



Εικόνα 34: Μέτρηση της θερμοκρασίας



Εικόνα 35: Μέτρηση του pH



Εικόνα 36: Μέτρηση του pH

3.10 Αποτελέσματα των παρατηρήσεων και των δεδομένων (10η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες του τμήματος Α1 μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών του ταχυνακυκλωτή και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 2^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τις μετρήσεις τους διαπιστώθηκε ότι το ύψος της στήλης μειώθηκε και στους πέντε ταχυνακυκλωτές, περισσότερο όμως μειώθηκε στις ομάδες 3 και 5, δηλαδή σε αυτές που μελετούσαν τις παραμέτρους: υψηλή θερμοκρασία και αερισμό - ανάδευση (διάγραμμα 14).

Στη συνέχεια μέτρησαν με θερμομόμετρο οιοπνεύματος τη θερμοκρασία της στήλης των υλικών και κατέγραψαν τα δεδομένα τους στη στήλη της 2^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τη σύγκριση των μετρήσεων συμπέραναν ότι οι ομάδες που μελετούσαν την υψηλή θερμοκρασία και την υγρασία είχαν τις μεγαλύτερες τιμές 35°C και 34°C αντίστοιχα (διάγραμμα 15).

Μέτρησαν με πεχαμετρικό χαρτί το pH των υλικών των πέντε ταχυνακυκλωτών και τις μετρήσεις κατέγραψαν στη στήλη της 2^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τη σύγκριση των μετρήσεων οι ομάδες παρατήρησαν μείωση του pH των υλικών, δηλαδή το μίγμα των υλικών έγινε περισσότερο όξινο, εκτός από την ομάδα που μελετούσε την παράμετρο "Αερισμός - Ανάδευση" όπου το μίγμα έγινε λίγο αλκαλικό (διάγραμμα 16).

Με τον ογκομετρικό κύλινδρο μέτρησαν τον όγκο του παραγόμενου υγρού στον κάθε ταχυνακυκλωτή. Τη μεγαλύτερη τιμή του όγκου (152ml) μέτρησε η ομάδα 2 που μελετούσε την παράμετρο "υγρασία" ενώ τη μικρότερη τιμή (41ml) μέτρησε η ομάδα 5 που μελετούσε την παράμετρο "αερισμό- ανάδευση". Η εξήγηση που δόθηκε για τις παραπάνω τιμές ήταν ότι η ομάδα 2 αρχικά είχε προσθέσει κάποιο μικρό όγκο νερού ενώ στην ομάδα 5 εξατμίστηκε κάποιος όγκος νερού, λόγω αερισμού και ανάδευσης.

Για το χρώμα της στήλης των υλικών ανέφεραν και οι πέντε ομάδες ότι τα χρώματα από ζωηρά κυρίως πράσινα μετατράπηκαν σε σκούρα καφέ χρώματα, χωρίς να διακρίνονται τα χρώματα των αρχικών υλικών.

Πριν την ολοκλήρωση της ώρας μοιράσαμε στα παιδιά [το Δείγμα των Επιπρόσθετων Δραστηριοτήτων του κεφαλαίου της Κομποστοποίησης](#) (βλ. [Παράρτημα](#)). Για την προβολή της διαδικασίας της κομποστοποίησης, κατόπιν συζήτησης, προσανατολίστηκαν στη συλλογή του φωτογραφικού υλικού που είχαν συγκεντρώσει μέχρι τώρα, στην εκτύπωσή του και στην τοποθέτησή του με λεζάντες σε χαρτόνια που θα τα κολλούσαν σε ένα εμφανές μέρος του σχολείου.

3.11 Τι παρατηρούν και τι διαπιστώνουν από τις μετρήσεις τους; (11η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες του τμήματος Α1 μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών του ταχυνακυκλωτή και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 3^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3 του Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τις μετρήσεις τους διαπιστώθηκε ότι το ύψος της στήλης μειώθηκε και στους πέντε ταχυνακυκλωτές, περισσότερο όμως μειώθηκε στις ομάδες 3 και 5, δηλαδή σε αυτές που μελετούσαν τις παραμέτρους "υψηλή θερμοκρασία" και "αερισμό- ανάδευση" (διάγραμμα 14).

Από τη σύγκριση των μετρήσεων, οι ομάδες παρατήρησαν αύξηση του pH των υλικών, δηλαδή το μίγμα των υλικών έγινε ουδέτερο, εκτός από το μίγμα της ομάδας που μελετούσε

την παράμετρο "Φως" (έγινε λίγο όξινο) και τα υλικά των ομάδων που μελετούσαν τις παραμέτρους "Αερισμό - Ανάδευση" και "Υγρασία" (έγινε λίγο αλκαλικό) (διάγραμμα 16).

Με τον ογκομετρικό κύλινδρο μέτρησαν τον όγκο του παραγόμενου υγρού. Τη μεγαλύτερη τιμή του όγκου (161ml) μέτρησε η ομάδα 5 που μελετούσε την παράμετρο "αερισμό - ανάδευση" ενώ τη μικρότερη τιμή (39ml) μέτρησε η ομάδα 1 που ήταν ο έλεγχος.

Για το χρώμα της στήλης των υλικών ανέφεραν ότι ήταν κυρίως σκούρο καφέ και σκούρο πράσινο. Το καινούργιο στοιχείο ήταν η λευκή μούχλα που κάλυπτε την επιφάνεια της στήλης όλων των ταχυνακυκλωτών με μεγαλύτερη ποσότητα να εμφανίζεται στη στήλη της ομάδας 3 που μελετούσε την παράμετρο "Υψηλή θερμοκρασία" (εικόνα 37).



Εικόνα 37: Ανάπτυξη λευκής μούχλας στην επιφάνεια της στήλης των υλικών

Κάποιοι μαθητές έφεραν υλικό με σχέδια για τη δημιουργία αφίσας και διαφημιστικών που θα ετοίμαζαν στα επόμενα μαθήματα.

3.12 Η συνέχεια των συμπερασμάτων από την καταγραφή των δεδομένων (12η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες του τμήματος Α1 μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών του ταχυνακυκλωτή και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 4^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τις μετρήσεις τους διαπιστώθηκε ότι το ύψος της στήλης μειώθηκε και στους πέντε ταχυνακυκλωτές, περισσότερο όμως μειώθηκε στις στήλες των ομάδων 4 και 5, δηλαδή σε αυτές που μελετούσαν τις παραμέτρους "Ισορροπημένο μίγμα πράσινων και καφέ υλικών" και "Αερισμό- Ανάδευση" (διάγραμμα 14).

Μέτρησαν με θερμόμετρο οινοπνεύματος τη θερμοκρασία της στήλης των υλικών και κατέγραψαν τα δεδομένα τους στη στήλη της 4^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τη σύγκριση των μετρήσεων παρατήρησαν μείωση της θερμοκρασίας και στις πέντε ομάδες. Η μεγαλύτερη μείωση σημειώθηκε στις στήλες των υλικών που μελετούσαν τις παραμέτρους "Έλεγχο" και "Αερισμό - Ανάδευση" με τιμές 18°C και 19°C αντίστοιχα (διάγραμμα 15).

Μέτρησαν με πεχαμετρικό χαρτί το pH των υλικών των πέντε ταχυανακυκλωτών και τις μετρήσεις τους κατέγραψαν στη στήλη της 4^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

Από τη σύγκριση των μετρήσεων οι ομάδες παρατήρησαν αύξηση του pH των υλικών στις ομάδες που μελετούσαν τις παραμέτρους "Έλεγχο", "Φως" και "Ισορροπημένο μίγμα πράσινων και καφέ υλικών" με τιμές 8,5, 8,5 και 9,5 αντίστοιχα (διάγραμμα 16).

Με τον ογκομετρικό κύλινδρο μέτρησαν τον όγκο του παραγόμενου υγρού. Τη μεγαλύτερη τιμή του όγκου (141ml) μέτρησε η ομάδα 2 που μελετούσε την παράμετρο "Υγρασία" ενώ τη μικρότερη τιμή (100ml) μέτρησε η ομάδα 5 που μελετούσε την παράμετρο "Αερισμό - Ανάδευση".

Για το χρώμα της στήλης των υλικών ανέφεραν ότι ήταν κυρίως σκούρο καφέ. Η άσπρη μούχλα συνέχιζε να καλύπτει την επιφάνεια της στήλης όλων των ταχυανακυκλωτών με τη μεγαλύτερη ποσότητα να εμφανίζεται στη στήλη των υλικών που μελετούσε την παράμετρο "Υγρασία" και με μικρότερη στη στήλη των υλικών που μελετούσε την παράμετρο "Έλεγχο".

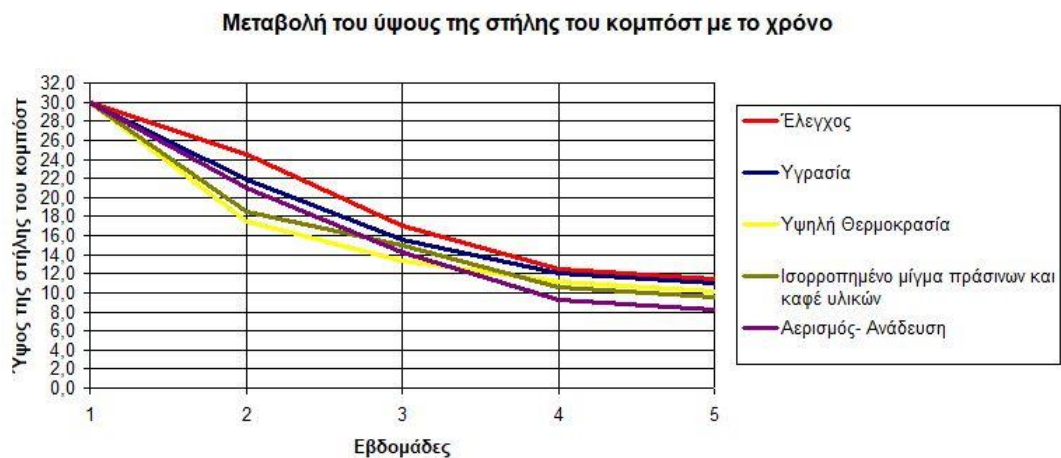
Για την οσμή του κομπόστ απάντησαν ότι το κομπόστ έχει τη μυρωδιά: "βρεγμένων φύλλων και χόματος", "της έντονης μυρωδιάς χόματος", "του χόματος με νερό όταν βρέχει" και "υγρασίας και χόματος".

Οι μαθητές εκτύπωσαν και έφεραν φωτογραφικό υλικό σχετικό με τις μετρήσεις που πήραν κατά την αποσύνθεση των υλικών και κατά την πορεία του κομπόστ για να το χρησιμοποιήσουν στην κατασκευή ενημερωτικής αφίσας.

3.13 Μεταβολές του ύψους, της θερμοκρασίας και του pH του κομπόστ με το χρόνο - τελικά συμπεράσματα (13η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες του τμήματος Α1 μέτρησαν το ύψος της στήλης των υλικών του ταχυνακυκλωτή τους και κατέγραψαν τη μέτρησή τους στη στήλη της 5^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

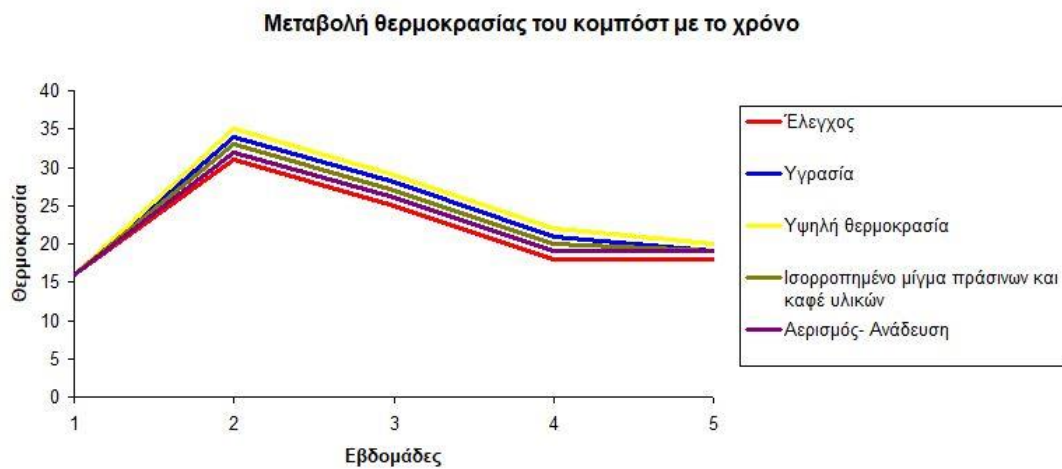
Από τις μετρήσεις τους διαπιστώθηκε ότι το ύψος της στήλης μειώθηκε και στους πέντε ταχυνακυκλωτές, με μεγαλύτερη μείωση στις ομάδες 4 και 5, δηλαδή σε αυτές που μελετούσαν τις παραμέτρους "Ισορροπημένο μίγμα πράσινων και καφέ υλικών" και "Αερισμός - Ανάδευση" αντίστοιχα (διάγραμμα 14).



Διάγραμμα 14: Μεταβολή του ύψους της στήλης των υλικών του ταχυνακυκλωτή με το χρόνο

Μέτρησαν με θερμομόμετρο οινόπνευματος τη θερμοκρασία της στήλης των υλικών και κατέγραψαν τα δεδομένα τους στη στήλη της 5^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

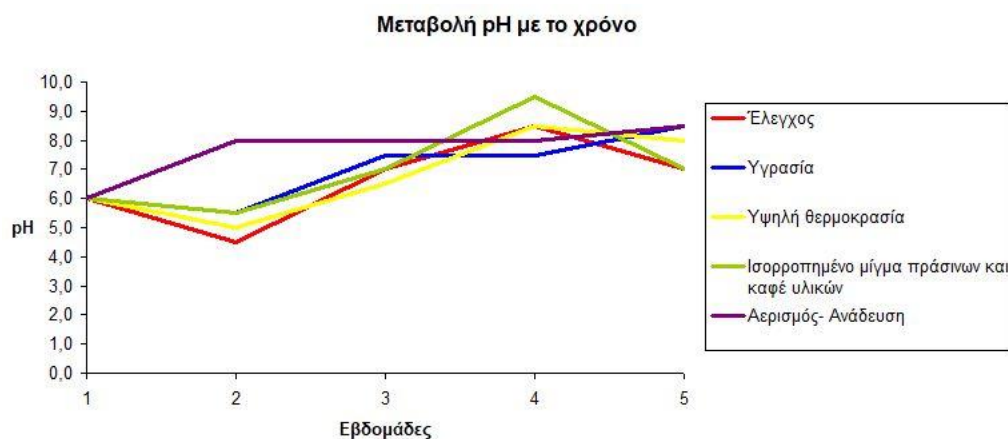
Από τη σύγκριση των μετρήσεων παρατήρησαν μείωση της θερμοκρασίας στις ομάδες 2, 3 και 4, δηλαδή στις ομάδες που μελετούσαν τις παραμέτρους υγρασία, υψηλή θερμοκρασία και ισορροπημένο μίγμα υλικών αντίστοιχα. Τη μικρότερη τιμή 18°C κατέγραψε η ομάδα "Έλεγχος" (διάγραμμα 15).



Διάγραμμα 15: Μεταβολή της θερμοκρασίας της στήλης των υλικών των ταχυνακυκλωτών με το χρόνο

Μέτρησαν με πεχαμετρικό χαρτί το pH των υλικών των πέντε ταχυνακυκλωτών και τις μετρήσεις τους κατέγραψαν στη στήλη της 5^{ης} εβδομάδας στο [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).

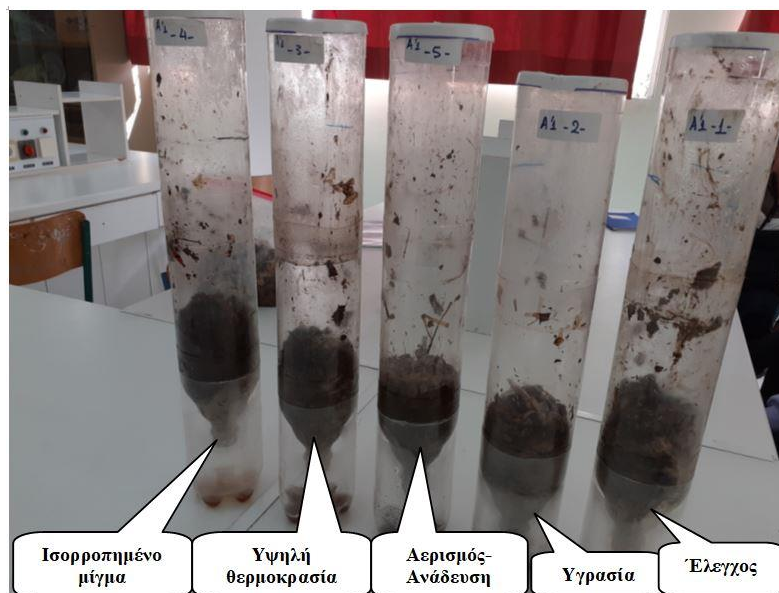
Από τη σύγκριση των μετρήσεων, οι ομάδες παρατήρησαν ότι το pH των υλικών κυμαίνεται από 7 μέχρι 8,5 (διάγραμμα 16). Δηλαδή τα υλικά των κομπόστ, την 5^η εβδομάδα είχαν ουδέτερο pH μέχρι λίγο βασικό.



Διάγραμμα 16: Μεταβολή του pH της στήλης των υλικών των ταχυνακυκλωτών με το χρόνο

Για το χρώμα της στήλης των υλικών ανέφεραν ότι ήταν κυρίως σκούρο καφέ. Η άσπρη μούχλα συνέχισε να καλύπτει την επιφάνεια της στήλης των ταχυνακυκλωτών της ομάδας 2 και της ομάδας 3 που μελετούσαν τις παραμέτρους "Υγρασία" και "Υψηλή θερμοκρασία".

αντίστοιχα. Τις παραπάνω τελικές παρατηρήσεις τους κατέγραψαν στα συμπεράσματα ολοκληρώνοντας το [φύλλο εργασίας 3](#) του [Πίνακα 9](#) (βλ. [Παράρτημα](#)).



Εικόνα 38: Οι πέντε ταχυνακυκλωτές με τα υλικά που μετατράπηκαν σε κομπόστ την 5η εβδομάδα (A1)

Με βάση τις τιμές του ύψους, της θερμοκρασίας και του pH των υλικών (διαγράμματα 14, 15 και 16) για το τμήμα A1 (ανάλογες ήταν και οι τιμές των τμημάτων A3 και A4) και από το χρώμα των υλικών (εικόνα 38), προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

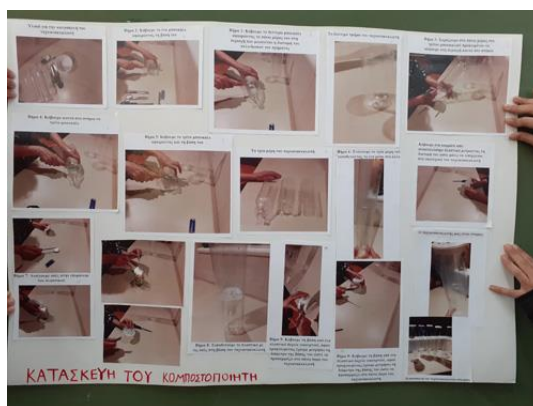
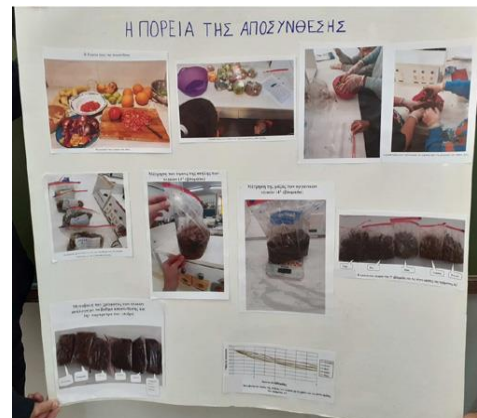
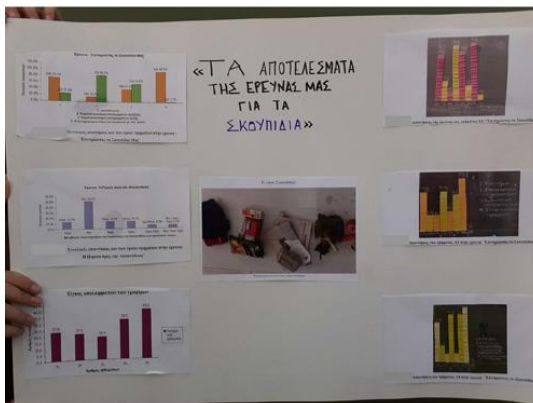
1) Και οι τέσσερις παράμετροι: υγρασία, φως, ισορροπημένο μίγμα, αερισμός - ανάδευση συντελούν στη ταχύτερη αποσύνθεση των οργανικών υλικών.

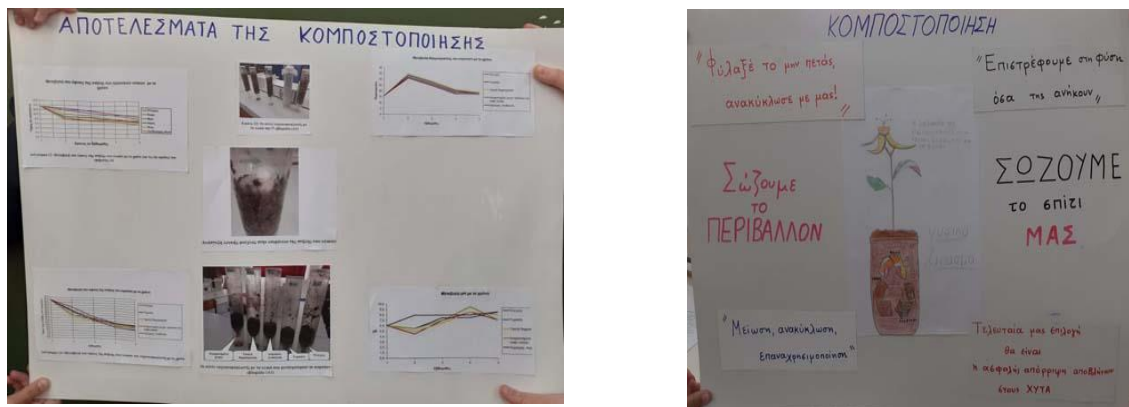
2) Η σειρά ταχύτερης αποσύνθεσης των οργανικών υλικών επηρεάζεται και από τους τέσσερις παράγοντες με την παρακάτω φθίνουσα σειρά:

- για το τμήμα A1: Ισορροπημένο μίγμα > Υψηλή θερμοκρασία > Αερισμός - Ανάδευση > Υγρασία > Έλεγχος.
- για το τμήμα A3: Υγρασία > Υψηλή θερμοκρασία > Αερισμός - Ανάδευση > Ισορροπημένο μίγμα > Έλεγχος.
- και για το τμήμα A4: Αερισμός - Ανάδευση > Υψηλή θερμοκρασία > Υγρασία > Συνδυασμός όλων > Ισορροπημένο μίγμα > Έλεγχος.

3.14 Η απεικόνιση – προβολή των σταδίων της Οικιακής Κομποστοποίησης (14η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες του τμήματος Α1 συγκέντρωσαν το φωτογραφικό υλικό που είχαν συλλέξει σε όλη τη διάρκεια του προγράμματος για να το κολλήσει η κάθε ομάδα σε ένα μεγάλο χαρτόνι. Συγκεκριμένα έκοψαν και κόλλησαν σε διαφορετικό χαρτόνι τις φωτογραφίες με: α) τα αποτελέσματα της έρευνας για τα σκουπίδια (ομάδα 1) β) την πορεία της αποσύνθεσης (ομάδα 2) γ) την κατασκευή του κομποστοποιητή (ομάδα 3) δ) την πορεία του κομπόστ (ομάδα 4) ε) την αφίσα της κομποστοποίησης και τα σχετικά ενημερωτικά μηνύματα (ομάδα 5) (εικόνα 39). Τα παραπάνω χαρτόνια με το φωτογραφικό υλικό αναρτήθηκαν σε εμφανές μέρος και στην ιστοσελίδα του σχολείου μας.



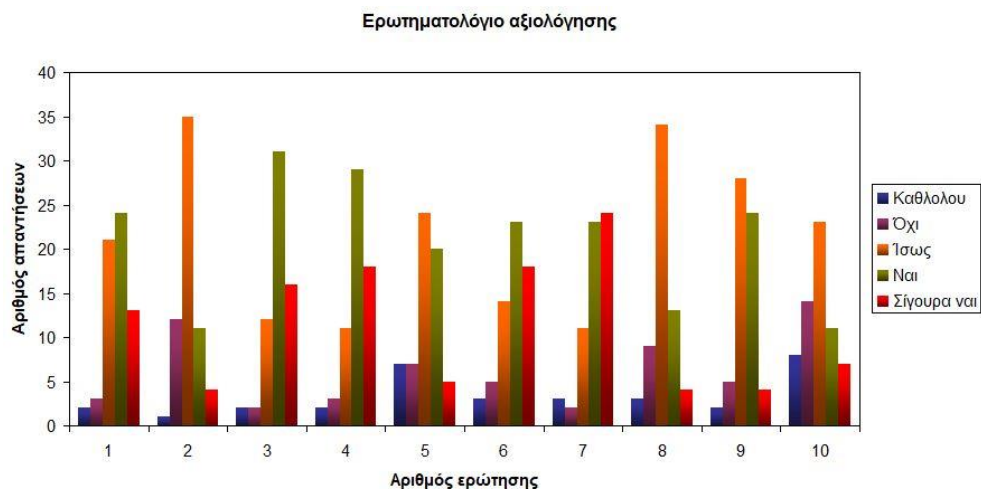


Εικόνα 39: Η απεικόνιση των σταδίων του προγράμματος της οικιακής κομποστοποίησης

3.15 Οι απαντήσεις του ερωτηματολογίου της αξιολόγησης (15η διδακτική ώρα)

Οι ομάδες ολοκλήρωσαν τα στάδια του προγράμματος στα αντίστοιχα χαρτόνια τους. Οι μαθητές και των τριών τμημάτων (συνολικά 63 μαθητές) συμπλήρωσαν ανώνυμα το [ερωτηματολόγιο 3](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) που τους δόθηκε για την αξιολόγηση του προγράμματος της οικιακής κομποστοποίησης.

Οι απαντήσεις του ερωτηματολογίου απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα 17.



Διάγραμμα 17: Απαντήσεις του ερωτηματολογίου αξιολόγησης

Από την ανάλυση των απαντήσεων: για όλες τις ερωτήσεις (εκτός της έβδομης ερώτησης) υπερисχύουν οι απαντήσεις: "ΙΣΩΣ" και "ΝΑΙ".

Για την ερώτηση της προστασίας του περιβάλλοντος υπερισχύει το "ΣΙΓΟΥΡΑ ΝΑΙ". Για το αν θα εφαρμόζαν την οικιακή κομποστοποίηση προηγείται η απάντηση: "ΙΣΩΣ" που σημαίνει ότι τα παιδιά προβληματίζονται ακόμα ως προς την εφαρμογή της κομποστοποίησης στα σπίτια τους.

Αν τους άρεσε η εφαρμογή της διαδικασίας στο σχολείο απαντούν οι περισσότεροι: "ΝΑΙ".

Με τη λήξη του προγράμματος δόθηκε ατομικά στα παιδιά να συμπληρώσουν ξανά το [ερωτηματολόγιο 2](#) (βλ. [Παράρτημα](#)) με ολοκληρωμένες απαντήσεις και αποδείξεις από τα συμπεράσματα των πειραμάτων που είχαν υλοποιήσει.

Οι μαθητές εφαρμόσαν την οικιακή κομποστοποίηση με τη χρήση του παραγόμενου κομπόστ ως λίπασμα στον κήπο του σχολείου τους (εικόνα 40).



Εικόνα 40: Οι μαθητές χρησιμοποιούν το παραγόμενο κομπόστ ως λίπασμα της μουσμουλιάς του σχολικού τους κήπου.

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν τα εξής:

- Σχετικά με τους παράγοντες: θερμοκρασία, αέρας, υγρασία και ισορροπημένο μίγμα υλικών αποδείξαμε ότι επιταχύνουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης εφόσον μειώνουν περισσότερο τον όγκο των οργανικών υλικών και παράγουν μεγαλύτερο όγκο αερίων και υγρών σε σύγκριση με τον έλεγχο.
- Ο βαθμός συμμετοχής στη διαδικασία της οικιακής κομποστοποίησης, όπως έδειξε το διάγραμμα 8, βρέθηκε μειωμένος εξαιτίας των εξής παραγόντων: έλλειψη ενημέρωσης, κινήτρων, γνώσης του τρόπου παρασκευής του κομπόστ και της χρησιμότητάς του.
- Η μετατροπή των οργανικών υλικών, μέσω της κομποστοποίησης, σε ένα σκούρο καφέ προϊόν, όμοιο με το φυτόχωμα που αγοράζουν για προσθήκη στα φυτά, στις γλάστρες και στον κήπο, απέδειξε ότι υπάρχει άγνοια για το οικονομικό όφελος (αποκομιδή μειωμένου όγκου απορριμμάτων, χρήση του κομπόστ ως λίπασμα).
- Από την παραγωγή αερίων κατά τη διαδικασία του "Αγώνα προς την Αποσύνθεση" στην οποία επικρατούσαν αναερόβιες συνθήκες αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, αποδείχθηκε η συμβολή της κομποστοποίησης στην προστασία του περιβάλλοντος με τη μείωση του μεθανίου που παράγεται από τα οργανικά απόβλητα στους χώρους υγειονομικής ταφής.

Για όλα τα παραπάνω προτείνω την ενίσχυση της πληροφόρησης μέσα από την εκπαιδευτική διαδικασία, όπως ένταξη σχετικών προγραμμάτων στο ωρολόγιο πρόγραμμα με ταυτόχρονη παροχή κινήτρων στους μαθητές π.χ. τιμητικές βραβεύσεις, παρότρυνση για τη δημιουργία λαχανόκηπου στο σχολείο με χρήση του παραγόμενου κομπόστ, προσφορά από την τοπική αυτοδιοίκηση του απαραίτητου εξοπλισμού για την παραγωγή του κομπόστ (κάδοι, κοπτικά εργαλεία) και προβολή του έργου αυτού στην τοπική κοινωνία.

Επίλογος

Μέσα από αυτή την εργασία έγινε μια προσπάθεια να διερευνηθεί σε ποια κατάσταση βρίσκεται η αντίληψη της χρησιμότητας της οικιακής κομποστοποίησης, σε τί βαθμό και με ποιο τρόπο εφαρμόζεται στο οικιακό περιβάλλον του μαθητικού πληθυσμού του σχολείου μου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μέσω της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας, της δημιουργικής έρευνας και της διαθεματικότητας. Μέσω της ερευνητικής πορείας οι μαθητές προσέγγισαν και εμβάθυναν τις γνώσεις τους για την οικιακή κομποστοποίηση, την εφαρμογή της καθώς και τη χρήση της.

Με την κομποστοποίηση, δηλαδή την ανακύκλωση των υπολειμμάτων της οργανικής ύλης, βάζουμε το δικό μας λιθαράκι στο κομμάτι της εξυγίανσης του φυσικού μας περιβάλλοντος, με το οποίο συνδέεται άρρηκτα η υγεία μας. Η μητέρα Γη, με τη συνεχή γονιμότητά της, θα μας ανταποδώσει αυτές τις φροντίδες μας.

Βιβλιογραφία

- Lakhdar A., Rabhi M., Ghnaya T., Montemurro F., Jedidi N. and Abdelly C., "Effectiveness of compost use in salt-affected soil", *Journal of Hazardous Materials*, 171, (2009), p. 29-37
- Αθανασάκης, Α. (2015). Περιβάλλον- Αγωγή και Εκπαίδευση. Αθήνα: Liberal Books.
- Άλκιμος Α. (2000). ΚΟΜΠΟΣΤ Οικολογικό εργαστήριο χουμοποίησης της Βιομάζας. Αθήνα: Ψύχαλος.
- Thompson, K. (2007). Τα μυστικά του ΚΟΜΠΟΣΤ. (Μτφ. Κ. Υφαντή), Αθήνα: Σταμούλη Α.Ε.
- Peign, J. and Girardin, P. (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices, *Water, Air, and Soil Pollut.* 153(1-4) 45-68.
- Brady, N. C. and Weil R. R. (1996). *The nature and properties of Soils*, 11th Ed., Prentice Hall.
- Sarkanen, K. V. and Ludwig, C. H. (1971). *Lignins: Occurrence, formation and reactions*, Wiley, New York.
- Bloomfield, C. (1964). Mobilization phenomena in soils. Report Rothamsted Expt Stn for 1963. pp 226-239.
- Brady, N, C. (1990). *The nature and properties of soils*. Tenth Edition. MacMillan Publishing Co. N. Y. Collier MacMillan Publishers London.

Jenkinson, D. S. (1981). The fate of plant and animal residue in soils. In: The Chemistry of soil processes (Eds) Greeland D. J., Haynes M. H. B., A Wiley Interscience Publication. John Wiley and Sons.

Σινάνης, Κ. (2022). Εδαφολογία. Αθήνα: Κάλλιπος.

Reign, J. and Girardin, P. (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices, Water, Air, and Soil Pollut. 153(1-4) 45-68.

Παπαθεοδώρου, Ε. Μ., Στάμου, Γ. Π. (2015). Εδαφικές Διεργασίες και Αποκατάσταση Εδαφών. Αθήνα: Κάλλιπος.

Stevenson, F.J. (1986). *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. New York: John Wiley.

Παναγιωτακόπουλος, Δ. (2007). Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων. Θεσσαλονίκη: Ζυγός.

Ipek, U., Obek, E., Akca, L., Arslan, E. I., Hasar, H., Dogru, M. and Baykara, O., (2002). Determination of degradation of radioactivity and its kinetics in aerobic composting, Bioresource Technology 84 283–286.

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

E. Epstein, THE SCIENCE OF COMPOSTING, CRC Press, 1997.

Paredes, C., Bernal, M. P., Roig, A. and Cegarra, J. (2001). Effects of olive mill wastewater addition in composting of agroindustrial and urban wastes, Biodegradation 12 225–234.

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

Καλύβας, Δ. (2003). Αξιολόγηση εδαφών, τοποκλιματικές συνθήκες και κρασί. Αθήνα: Ίων.

Schnitzer, M., and S. V. Khan, 1972. Humic Substances in the environment. Marcel Dekker, New York.

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

Carry, C. W., Stahl, J. F., Hansen, B. E. and Friess, P. L. (1990). Sludge management and disposal practices of the county sanitation districts of Los Angeles (USA), Water Science and Technology 22(12) 23-32.

Toffey, W. E. (1990). Large-scale sewage sludge composting: A case for maintaining a diversified program, Water Science and Technology 22(12) 107-116.

Kouloumbis, P., Rigas, F. and Mavridou, A. (2000). Environmental problems from the disposal of sewage sludge in Greece, International Journal of Environmental Health Research 10(1) 77-83.

O'Leary, P. R. and Walsh, P. W., (1995). Decision Maker's uide to Solid Waste Management, USEPA.

Palmizano, A. and Barlaz, M. (1996). Microbiology of Solid West. CRC Press.

Brinton, W. F. (2000). Compost quality standards & guidelines: An International View, Woods End Research Laboratory, pp. 32–35.

Nova Scotia. (2008). Environment Compost Maturity Study, Nova Scotia.

N. Trautmann και M. Krasny, Composting in the Classroom Scientific Inquiry for High School Students, Cornell Waste Management Institute, 1997.

C.A. Browne, The spontaneous heating and ignition of hay and other agricultural products, *Science* 77, 1933, pp. 223–229.

Said-Pullicino D., Kaiser K., Gyggenberge G., Gigliotti G. (2007). Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. *Chemosphere* 66: 2166-2176.

Marshall M.N., et.al (2004). Microbial ecology of compost. In: Lens, P., Hamelers, B., Hoitink, H., Bidlingmaier, W. (Eds.), *Resource Recovery and Reuse in Organic Solid Waste Management*. IWA Publishing, London
McGraw Hill International, 1993

Rynk. 1992, «Farm Composting Handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service» Ithaca, New York, USA.

Martínez-Blanco, J., Rieradevall, J., Antón, A., Muñoz, P., 2013, ‘Multifunctionality-solving approaches of compost application in crop rotations’, *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-12

Harper et.al. (1992). Physical management and interpretation of an environmentally controlled composting ecosystem. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 657-667.

Cho, K., Lee, S., Math, R., Islam, S., Kambiranda, D., Kim, J., Yun, M., Cho, J., Kim, J., Lee, Y., 2008, ‘Culture-independent analysis of microbial succession during composting of swine slurry and mushroom cultural wastes’, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18, pp. 1874-1883.

Beffa, T. 2002, «The Composting Biotechnology: A Microbial Aerobic Solid Substrate Fermentation Complex Process, The composting process and management», pp. 1-37

Miller F.C. (1993). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Metting F.B. Jr (Ed.). Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management, pp. 515-544. Marcel Dekker, Inc., New York. ISBN0824787374.

Diaz, L. F. and Savage, G. M., (2007b). Bioremediation. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, B. W. and S. E. (Eds.), Compost Science and Technology, Elsevier, Amsterdam, pp. 159-176.

Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, A., Cherif, A., Cherif, M. and Boudabous, A., (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste, Bioresource Technology 80 217-225.

Hellmann, B., Zelles, L., Palojarvi, A. and Bai, Q., (1997). Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting, Applied and Environmental Microbiology 63 1011–1018.

Jeong, Y. K. and Kim, J. S., (2001). A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes, Bioresource Technology 79 129–133.

Eklind, Y. and Kirchmann, H., (2000a). Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: Carbon turnover, Bioresource Technology 74(2) 115-124.

Miller, E. C., (1991). Biodegradation of solid wastes by composting. in: A. M. Martin (Ed.), Biological Degradation of Wastes, Elsevier Applied Science, London, pp. 1-30.

Cooperband, L. R., (2000). Composting: art and science of organic waste conversion to a valuable soil resource, Laboratory Medicine 31 283–289.

Miller, F. C. (1992). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. in: F. Blaine-Metting (Ed.), *Soil Microbial Ecology: Applications in Agriculture Environment Management*, Marcel Dekker Inc., New York, p. 646.

Finstein, M. S., Miller, F. C. and Strom, P. F. (1986). Waste treatment composting as a controlled system, *Biotechnology* 8 396–398.

Finstein, M. S. and Morris, M. L. (1975). Microbiology of municipal solid waste composting, *Advances in Applied Microbiology* 19 113–151.

M. S. Finstein et. al., Composting ecosystem management for waste treatment, *Bio/Technology* 1, 1983, pp. 347-353.

Diaz, L. F. and Savage, G. M. (2007). Factors that Affect the Process. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (Eds.), *Compost Science and Technology* Elsevier, Amsterdam, pp. 49-64.

Mena, E., arrido, A., Hernández, T. and arcía, C. (2003). Bioremediation of sewage sludge by composting, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34(7-8) 957-971.

Fermor, T. R., Wood, D. A. and Lynch, J. M. (1989). Microbiological processes in compost, *International Symposium on Compost Production and Use*, San Michele All’Adige, Italy, pp. 282–300.

Mosher, D. and Anderson, R. K. (1977). Composting sewage sludge by high-rate suction aeration techniques—the process as conducted at Bangor, ME, and some guidelines of general applicability, in: US Government Printing Office (Ed.), Washington, DC.

Hogg, D., Barth, J. and Faviono, E. (2002). Comparison of Compost Standards within the EU, North America, and Australasia, *The Waste and Resources Action Programme*, Banbury, Oxon, UK.

Bollen, G. J., Volker, D. and Wijnen, A. P. (1989). Inactivation of soil-borne plant pathogens during small scale composting of crop residues, *Netherlands Journal of Plant Pathology* 95 19–30.

Lopez-Real, J. and Foster, M. (1985). Plant pathogens survival during composting of agricultural organic wastes. in: J. K. R. Gasser (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*, Elsevier Applied Science, London, pp. 291–299.

Bollen, G. J. (1969). The selective effect of heat treatment of the microflora of a green house soil, *Netherlands Journal of Plant Pathology* 75 157–163.

de Bertoldi, M., Zucconi, F. and Civilini, M. (1988). Stabilization research -Temperature, pathogen control and product quality, *Biocycle* 29(2) 43–50.

Κουλουμπής, Π. και Τσαντήλας, Χ. (2007). *Εγχειρίδιο Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση της Ίλύος των Αστικών Λυμάτων*. Αθήνα: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Μιχαλόπουλος. (2010). *Σχεδιασμός πρότυπου συστήματος, οικιακού τύπου, για την αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων με αερόβιες διεργασίες*, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαλαμής, Δ. (2011). *Σχεδιασμός κατασκευή και λειτουργία βιοαντιδραστήρα για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων*, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα.

Gajalakshmi, S. and Abbasi, S. A. (2008). Solid waste management by composting: State of the art, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 38(5) 311-400.

Liang, C., Das, K. C. and McClendon, R. W. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend, *Bioresource Technology* 86(2) 131-137.

Margesin, R., Cimadom, J. and Schinner, F. (2006). Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures, *International Biodeterioration and Biodegradation* 57(2) 88-92.

Stentiford, E. I. (1996). Composting control: principles and practice. in: M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and T. Papi (Eds.), *The Science of Composting, Part 1*, Glasgow, pp. 49-59.

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

Nova Scotia. (2008). *Environment Compost Maturity Study*, Nova Scotia.

de Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. (1983). The biology of composting: A review, *Waste Management and Research* 1(2) 157-176.

Barrington, S., Choiniere, D., Trigui, M. and Knight, W. (2003). Compost convective airflow under passive aeration, *Bioresource Technology* 86 259–266.

Environment Agency, (2001). *Technical Guidance on Composting Operations (Draft)*, Environment Agency UK, Bristol.

Wesner, G. M., (1978). *Sewage Biosolids Composting, Technology Transfer Seminar, Publication on Sludge Treatment and Disposal*, Cincinnati, OH.

Alexander, F., Szmidt, R. and Cruz, P., (2002). Factsheet on composting biosolids. Remade Scotland.

Poincelot, R. P. (1977). The biochemistry of composting, Proc. National Conference on Composting of Municipal Residues and Sludges, Information Transfer, Inc., Rockville, MD, p. 33.

J.H. Crawford, Composting of agricultural wastes - a review, Process Biochem. 18, 1983, pp.14-18.

Pagans, E. L., Font, X. and Sánchez, A. (2005). Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases, Chemical Engineering Journal 113(2-3) 105-110.

Mena, E., Arrido, A., Hernández, T. and Arcía, C. (2003). Bioremediation of sewage sludge by composting, Communications in Soil Science and Plant Analysis 34(7-8) 957-971.

Ευθυμίου, Α.Α. (2012). Μικροβιακή ποικιλομορφία κατά τη συγκομποστοποίηση υπολειμμάτων εκκοκκισμού βάμβακος. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Environment Agency. (2001). Technical Guidance on Composting Operations (Draft), Environment Agency UK, Bristol.

O'Leary, P. R. and Walsh, P. W. (1995). Decision Maker's guide to Solid Waste Management, USEPA.

Γιδαράκος, Ε. (2007). Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων, Σημειώσεις Μαθήματος, Εργαστήριο τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Schaub, S. M. and Leonard, J. J. (1996). Composting: An alternative waste management option for food processing industries, Trends in Food Science and Technology 7(8) 263-268.

Haug, R. T. (1980). Compost Engineering, Principles and Practice I, Ann Arbor Science Publishers Inc/The Butterworth Group, Ann Arbor, Michigan.

Manios, T. (2004). The composting potential of different organic solid wastes: Experience from the island of Crete, Environment International 29(8) 1079-1089.

Βλοντάκης Σ. Γ. (2007). Η παραγωγή κομπόστ του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. Χανίων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Μυτιλήνη.

Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. and Moral, R., (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, Bioresource Technology 100(22) 5444-5453.

Golueke, C.G. (1991). Principles of composting, The Guide to The Art and Science of Composting, BioCycle staff ed., The JG Press Inc., Pennsylvania, USA, pp. 14 – 27.

Zucconi, F. and de Bertoldi, M., (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste, in: M. de Bertoldi, M. P. Ferranti, P.L'Hermite, F. Zucconi. (Eds), Compost: Production, Quality and use, Elsevier Applied Science, London, pp.30-50.

Gaur, A.C. (2000). Bulky organic manures and crop residues.in: H.L.S.Tandon(Ed.), Fertilizers, organic manures, recyclable wastes and biofertilizers, Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.

Trautmann, N., Krasny, M. (1998). Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students, Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, IA.

Goyal, S., Dhull, S. K. and Kapoor, K. K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, *Bioresource Technology* 96(14) 1584-1591.

Haug, R. T., (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A. and Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, *Bioresource Technology* 100(22) 5444-5453.

Tiquia, S. M. and Tam, N. F. Y. (2000). Fate of nitrogen during composting of chicken litter, *Environmental Pollution* 110(3) 535-541.

Kokkora, M. I., (2008). *Biowaste and vegetable waste compost application to agriculture*, School of Applied Sciences, Ph.D., Cranfield University National Soil Resource Institute, UK.

Henry, C., Sullivan, D., Rynk, R., Dorsey, K. and Cogger, C. (1999). *Managing N from Biosolids*, Washington State Department of Ecology.

Γυμνάσιο Delong, Eau Claire, Wisconsin, 2002, Hubbard Scientific, LLC.

Martins, O. and Dewes, T. (1992). Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes, *Bioresource Technology* 42 103-111.

van Haaren, R. (2009). *Large Scale Aerobic Composting of Source Separated Organic Wastes: A Comparative Study of Environmental Impacts, Costs, and Contextual Effects*. Unpublished Results, MS Thesis, Columbia University.

Κατσίρη, Α. (2003). "Λιπασματοποίηση απορριμμάτων". «Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και Ιλύος», Ε.Μ.Π.

Ανδρεαδάκης, Α., Κατσίρη, Α., Μαμάης, Δ., 2001, Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων, Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Τόμος Α. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Lazaridi, K. and Gruneklee E., (2000). World Health Organization, Regional Office for Europe, Biological Treatment of Organic Waste.

Άλκιμος, Α. (2000). Κομπόστ. Οικολογικό εργαστήριο χουμοποίησης της Βιομάζας. Εκδόσεις: Ψύχαλου.

Diaz, L. F., Savage, G.M., Eggerth, L.L. and Golueke, C.G. (2020). Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishres.

Li, Z., Lu, H. (2013). «Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review».

Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2012). «Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: an environmental assessment using life cycle assessment-modelling», *Waste Management*, 32, pp. 31-40.

ΕΠΠΕΡΑΑ, «Οδηγός Εφαρμογής Προγραμμάτων Διαλογή στην Πηγή & Συστημάτων Διαχείριση Των Βιοαποβλήτων», Αθήνα 2012

Βλοντάκης, Σ. Γ. (2019). Οικολογική καλλιέργεια σε μικρούς λαχανόκηπους. Εγχειρίδιο για ερασιτέχνες οικοκαλλιεργητές. Χανιά: «ΓΑΙΑ» ΣΥΝ.Π.Ε.

Πανάγος, Γ. (1980). ΚΟΜΠΟΣΤ. Το εμβόλιο γονιμότητας του εδάφους. Αθήνα: Καλλιεργητής.

Πανάγος, Γ. (1986). ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ χωρίς χημικά φυτοφάρμακα.

Αθήνα: Καλλιεργητής.

Domínguez, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M. (2010). «Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes». In: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M. (eds.) *Microbes at Work: From Wastes to Resources*. Berlin Heidelberg: Springer. pp. 93-114.

Fuhr, F. (1969). Tracer studies on the uptake of soil organic matter compounds by plant roots. In: Actes du Symp. Intern. de la Radiologie Centre d' etudes nucleaires la Cadarache p. 623-635.

Tiffin, L.O. and Brown, J. C. (1959). Absorption of iron from iron chelate by sunflower roots. *Science* 130: 274-275.

Aitken, J.B., Acock, B. and Senn T.L. (1964). The characteristics and effects of humic acids derived from leonardite. *South Carol. University Exp. Stn. Tech. Bull.* 1015, Clemson.

Mato, M.C. and Mendez, J. (1970). Inhibition of indolacetic acid oxidase by sodium humate. *Geoderma* 3: 255-258

Dell' Agnolla, G., Ferrari, G. and Nardi, S. (1981). Antidote action of humic substances on atrazine inhibition of sulfate uptake in barley roots. *Pestic. Biochem. Physiolog.* 15: 101-104.

Visser, S.A. (1986). Effects of humic substances on plant growth. In: Burns R.G. et al (Eds) *Humic substances effects on soils and plants REDA Edizioni per Agricoltura*, Milan, Italy.

Sladky, Z. (1965). Die durch Blatt dungun mit Humusstoffen hervorgerufenen anatomischen und physiologischen Veränderungen der Zuckerube. *Biol. Plant (Prague)* 7:251-260.

Dixit, V.K. and Kishore, N. (1967). Effect of humic and fulvic acid fraction of soil organic matter on seed germination. Indian J. Sci. 1:202-206.

Schnitzer, M. and Poapst, P.A. (1967). Effect of a soil humic Compound on root initiation. Nature (London) 213: 598-599.

ΕΠΠΕΡΑΑ, «Οδηγός Λειτουργίας Ανοιχτών Εγκαταστάσεων Κομποστοποίησης (Αερόβια Επεξεργασία) Προδιαλεγμένων Αποβλήτων», Αθήνα 2014.

Κουλαϊδής, Β. (Επιμ.) (2001). Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Αθήνα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Αθανασίου, Κ. (2015). Διδακτική της βιολογίας. Αθήνα: Κάλλιπος

Matthews, M.R. (1994). Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge

Παράρτημα

Ερωτηματολόγιο 1: «Επιτηρώντας τα Σκουπίδια μας»

Όνομα:

Ημερομηνία:.....

1. Ανακύκλωση: Ανακυκλώνει η οικογένειά σας;

Ναι Όχι

Εάν ναι, τι είδους αντικείμενα ανακυκλώνουμε;.....

2. Κομποστοποίηση: Κομποστοποιούμε τα υπολείμματα της κουζίνας στο σπίτι μας;

Ναι Όχι

Εάν ναι, περίπου πόσα λίτρα υπολειμμάτων κουζίνας κομποστοποιούμε κάθε εβδομάδα;.....

Ποια είδη υπολειμμάτων κουζίνας κομποστοποιούμε;

.....

3. Κομποστοποιούμε τα απορρίμματα της αυλής στο σπίτι μας;

Ναι Όχι

Εάν ναι, ποια απορρίμματα της αυλής κομποστοποιούμε;.....

Πού και πώς τα κομποστοποιούμε;.....

4. Επαναχρησιμοποιούμενα αντικείμενα: Επαναχρησιμοποιούμε ορισμένα αντικείμενα με ένα νέο τρόπο αντί να τα πετάξουμε;

Ναι Όχι

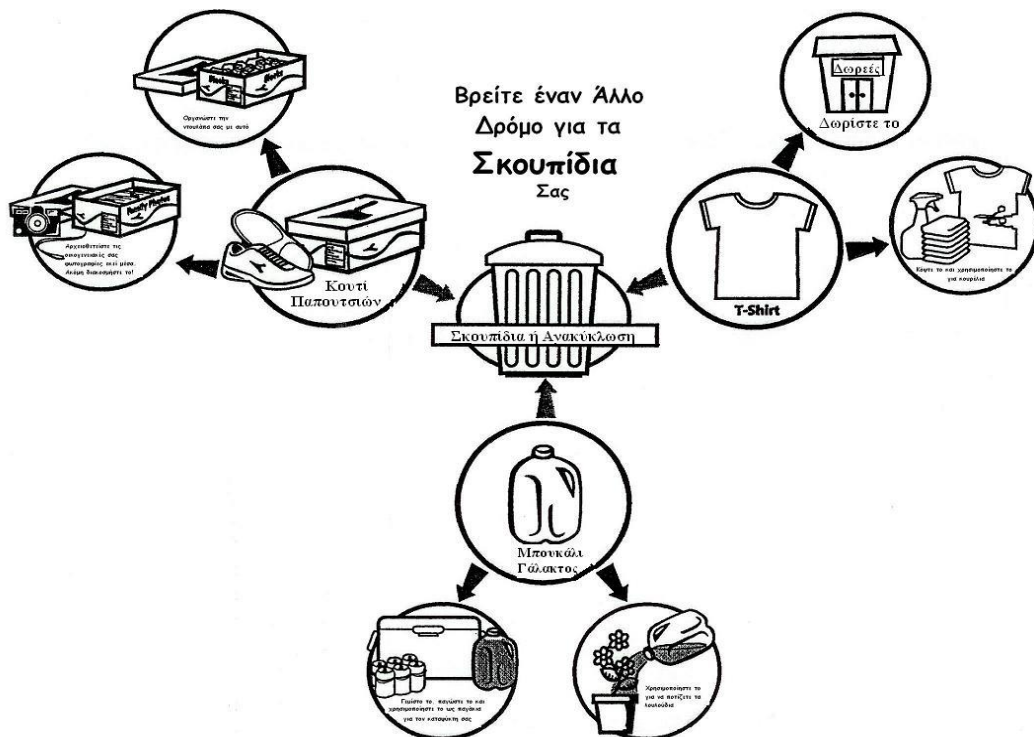
Εάν ναι, ονομάστε μερικά από τα αντικείμενα και πώς έχουν επαναχρησιμοποιηθεί.....

5. Με ποιους άλλους τρόπους προσπαθεί η οικογένειά μας να μειώσει τα σκουπίδια;

.....

Διαφάνεια

Αλλάξτε την Πορεία των Σκουπιδιών Σας



Εικόνα 41: Αλλάξτε την Πορεία των Σκουπιδιών σας

Πίνακας 7

Όνομα.....

Ημερομηνία Επιστροφής.....

Πίνακας Υπολειμμάτων Κουζίνας

- Καταγράψτε το ποσό των υπολειμμάτων του φαγητού που παράγει η οικογένειά σας κάθε ημέρα για πέντε ημέρες, κάνοντας χρήση του παρακάτω πίνακα 7.
- Χρησιμοποιήστε ένα φλιτζάνι για να μετρήσετε τα "άχρηστα" τμήματα που πετάμε από τον καθαρισμό των φρούτων και των λαχανικών, όπως των φλούδων πατάτας, καρότου, πεπονιού, το εσωτερικό των πιπεριών, μήλων και άλλων.
- Μην περιλαμβάνετε τα τρόφιμα που περιέχουν κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα ή λάδια.
- Μετρήστε τα υπολείμματα των τροφίμων που δημιουργήθηκαν από την προετοιμασία του γεύματος, καθώς επίσης και τα υπολείμματα που θα πεταχτούν μετά από το γεύμα.
- Στο τέλος των πέντε ημερών επιστρέψτε συμπληρωμένο τον πίνακα στο σχολείο για να προσθέσετε τις μετρήσεις σας στον πίνακα της τάξης.

Πίνακας 7: Είδος και ποσό των υπολειμμάτων των υλικών

	1 ^η Εβδομάδα	2 ^η Εβδομάδα	3 ^η Εβδομάδα	4 ^η Εβδομάδα	5 ^η Εβδομάδα
Αριθμός ποτηριώ ν
Είδος Υπολειμ μά- των

Φύλλο εργασίας 1

Ο Αγώνας προς την Αποσύνθεση

Όνομα:

Ημερομηνία:.....

Διερευνητική ερώτηση: Ποιες από τις μεταβλητές: αέρας, χώμα, φως, ή νερό θα γίνει η αιτία να αποσυντεθούν πιο γρήγορα τα φυτά;

Υπόθεση:θα προκαλέσει τη γρηγορότερη αποσύνθεση στα φυτά επειδή
.....

Σχεδιασμός Πειράματος:.....

Απαιτούμενα Υλικά:.....

Διαδικασία:
.....

Παρατηρήσεις:

Οι μαθητές στις ομάδες τους θα πρέπει να διαβάσουν τη δραστηριότητα: «Ο Αγώνας προς την Αποσύνθεση» και να προγραμματίσουν ποια φρούτα ή λαχανικά θα φέρουν για να βάλουν στην τσάντα της ομάδας τους, αν τα παρέχουν οι μαθητές. Είτε παρέχονται από το δάσκαλο είτε από τους μαθητές, τα φρούτα και τα λαχανικά θα πρέπει πρώτα να τεμαχίζονται στην τάξη.

Φύλλο εργασίας 2 - Πίνακας 8

Υλικά: Τσάντες με φερμουάρ (μία ανά ομάδα), ένα στυλό ή ένα μαρκαδόρο διάρκειας για κάθε ομάδα, κομμάτια φρούτων ή λαχανικών (παρέχονται από τους μαθητές ή από το δάσκαλο).

- Χρησιμοποιήστε ένα μαρκαδόρο διάρκειας και σημειώστε στην τσάντα σας τον αριθμό 1 (η ομάδα 1) και τα ονόματα των μαθητών της ομάδας σας. Παρομοίως τον αριθμό 2 (η ομάδα 2), τον αριθμό 3 (η ομάδα 3) κλπ

- Επιλέξτε τα ίδια είδη φυτών η κάθε ομάδα

- Κόψτε τα φυτά με το μαχαίρι σε κομματάκια, περίπου ίδιου μεγέθους,

- Μετρήστε με το ζυγό ίση ποσότητα ή με ένα φλυτζάνι ίσο όγκο από κάθε είδος φυτού και τοποθετήστε τα στην τσάντα με το φερμουάρ, έτσι ώστε να τοποθετήσετε ίσες ποσότητες, ίσου όγκου και ίδιου μικρού μεγέθους από κάθε είδος φυτού στην τσάντα με το φερμουάρ.

Μερικά παραδείγματα μπορούν να συμπεριλάβουν φύλλα μαρουλιού, φλούδες από μπανάνες, φέτες ντομάτας, φέτες μήλων ή οποιοδήποτε άλλο είδος φυτού έχετε διαθέσιμο.

- Καταγράψτε τα υλικά και τις μετρήσεις σας στη στήλη της 1ης Εβδομάδας στον Πίνακα του Αγώνα της Αποσύνθεσης.

- **Η ομάδα 1:** τοποθετήστε τα φυτά στην 1η τσάντα και αφαιρέστε προσεκτικά όσο το δυνατόν περισσότερο αέρα χωρίς να τη σφίξετε και στη συνέχεια κλείστε το φερμουάρ της. Η τσάντα με τον αριθμό 1 είναι ο έλεγχος.

- **Η ομάδα 2:** τοποθετήστε τα φυτά στην 2η τσάντα και προσθέστε αρκετό νερό για να τα καλύψετε, κατόπιν αφαιρέστε προσεκτικά τον αέρα και κλείστε το φερμουάρ της.

- **Η ομάδα 3:** προσθέστε τα φυτά στην 3η τσάντα, αφαιρέστε προσεκτικά τον αέρα και κλείστε με το φερμουάρ της. Αυτή είναι η μόνη τσάντα που θα βρίσκεται στο φως του ήλιου.

- **Η ομάδα 4:** προσθέστε χώμα (όχι αποστειρωμένο) στην 4η τσάντα, κατόπιν τα φυτά, αφαιρέστε προσεκτικά τον αέρα και σφραγίστε με το φερμουάρ της.

- **Η ομάδα 5:** Ανοίξτε προσεκτικά τρύπες στην 5η τσάντα και μην αφαιρείτε τον αέρα της. Κλείστε την με το φερμουάρ.

- Τοποθετήστε την 3η τσάντα εκεί που υπάρχει αρκετό φως, είτε κοντά σε ένα παράθυρο είτε κάτω από ένα φως. Οι υπόλοιπες τσάντες πρέπει να τοποθετηθούν εκεί που δεν υπάρχει κανένα φως, εκτός από το φως που θα υπάρχει όταν θα τις παρατηρούμε κάθε εβδομάδα.
- Προβλέψτε ποια από τις τσάντες θα περιέχει τα φυτά που θα «κερδίσουν» τον αγώνα της αποσύνθεσης. Με άλλα λόγια, ποια θα σαπίσει πιο γρήγορα;
- Αφού καταγράψτε τα είδη των υλικών στη στήλη της 1ης Εβδομάδας και τις αρχικές μετρήσεις στον πίνακα, μετά κάθε εβδομάδα (2η, 3η, 4η και 5η) παρατηρήστε τις τσάντες, πάρτε μετρήσεις και καταγράψτε αυτές στις επόμενες αντίστοιχες στήλες του πίνακα.

Πίνακας 8: Πίνακας Συλλογής Δεδομένων

ΟΜΑΔΑ 1: Έλεγχος / ΟΜΑΔΑ 2: Νερό / ΟΜΑΔΑ 3: Φως / ΟΜΑΔΑ 4: Χώμα / ΟΜΑΔΑ 5: Αέρας					
	1 ^η Εβδομάδα	2 ^η Εβδομάδα	3 ^η Εβδομάδα	4 ^η Εβδομάδα	5 ^η Εβδομάδα
Είδη υλικών:
Ύψος της Στήλης υλικών
Συνολική μάζα υλικών
Συνολικός Όγκος υλικών
Μεταβολή του χρώματος
Υλικά που σαπίζουν γρηγορότερα
Παραγωγή υγρών
Παραγωγή αερίου

Συμπέρασμα:

Γράψτε τα συμπεράσματά σας από τις παρατηρήσεις σας και τα στοιχεία που έχετε συλλέξει.

Προβλέψατε σωστά στην υπόθεσή σας; Γιατί ναι; ή γιατί όχι;

Σε ποιες από τις δοκιμασίες σας, με τον αέρα, το νερό, το φως ή το χρώμα διαπιστώσατε ότι επηρέασε περισσότερο την αποσύνθεση;.....

Εξηγήστε.....

Σκέψη:

Πώς αυτό επηρεάζει το πώς φροντίζετε τους φρέσκους καρπούς και τα λαχανικά στο σπίτι σας;

.....

Ένα Μάθημα από τη Μητέρα Φύση

Φανταστείτε πώς θα έμοιαζε ο κόσμος μας αν η Μητέρα Φύση δεν ανακύκλωνε.... Αυτό θα σήμαινε ότι κάθε φορά που θα πίναμε ένα ποτήρι νερό ή θα πλέναμε τα ρούχα μας, εκείνο το νερό θα χανόταν για πάντα. Εάν εισπνέαμε το οξυγόνο που είναι στον αέρα και εκπνέαμε διοξείδιο του άνθρακα, δεν θα υπήρχε κανένα φυτό που θα καθάριζε πίσω μας, παρέχοντάς μας περισσότερο οξυγόνο.

Και για όσους ανθρώπους απολαμβάνουν έναν ωραίο περίπατο μέσα στα δάση, καμία ανακύκλωση θα σήμαινε ότι όλα τα ξερά φύλλα, κλαδιά, δέντρα και ακόμη και ζώα θα συσσωρεύονταν παντού. Ευτυχώς, η Μητέρα Φύση ανακυκλώνει, έτσι το νερό μας καθαρίζεται, το οξυγόνο μας αντικαθίσταται, και όταν πεθαίνουν τα φυτά και τα ζώα αποσυντίθενται και για άλλη μια φορά γίνονται μέρος του κύκλου της ζωής στη Γη.

Στη φύση το νεκρό οργανικό υλικό αποσυντίθεται ή σαπίζει. Σπάει σε όλο και μικρότερα κομμάτια μέχρι να αναμιχθεί με το χρώμα στο δασικό έδαφος, στα χωράφια ή στο λιβάδι. Κατόπιν μπορεί να βοηθήσει στη διατροφή των νέων φυτών που θα φυτρώσουν εκεί. Ένα δάσος δεν χρειάζεται μια χωματερή για τα νεκρά του υλικά, τα ανακυκλώνει και τα επαναχρησιμοποιεί. Οι άνθρωποι μπορούν να πάρουν ένα μάθημα από τη Μητέρα Φύση. Κάθε ημέρα καθώς οι άνθρωποι προετοιμάζουν τα γεύματά τους, κόβουν το γρασίδι τους,

μαζεύουν με τη τσουγκράνα τα φύλλα ή ακόμα τρώγοντας ένα μήλο δημιουργούν οργανικά απόβλητα. Συχνά, σχεδόν το 1/3 των απορριμμάτων που πετούν οι άνθρωποι είναι οργανικά απόβλητα. Τι οργανικά υλικά πετάξατε εσείς ή η οικογένειά σας αυτήν την εβδομάδα; Πολλές πολιτείες έχουν έλλειψη χώρου στους χώρους ταφής τους και δεν θέλουν να τους γεμίσουν με τα απορρίμματα κήπων, όπως το κομμένο γρασίδι ή τα φύλλα. Όταν τα απορρίμματα των κήπων συσσωρεύονται και αρχίζουν να αποσυντίθενται στις χωματερές, μπορεί να παραχθεί ένα εκρηκτικό αέριο, το αποκαλούμενο μεθάνιο. Επίσης πολλές κοινότητες απαγορεύουν στους ανθρώπους να καίνε τα φύλλα των κήπων τους, επειδή συντείνει στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι οικογένειες πρέπει να βρουν έναν τρόπο να πετάξουν αυτά τα είδη οργανικών αποβλήτων. Πρέπει να θυμηθούν το μάθημα της Μητέρας Φύσης.

Η ανακύκλωση που συμβαίνει στη φύση μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο. Για αυτό οι άνθρωποι πρέπει να χρησιμοποιήσουν τα μαθήματα από την επιστήμη μαζί με το μάθημα της ανακύκλωσης από τη φύση. Οι επιστήμονες έχουν μάθει πολλά για την αποσύνθεση και έχουν πολλές προτάσεις για τη διαδικασία. Όταν οι άνθρωποι ανακυκλώνουν τα οργανικά υλικά, όπως τα απορρίμματα των κήπων ή τα υπολείμματα των λαχανικών με αυτήν τη γρηγορότερη διαδικασία, τότε μιλάμε για την κομποστοποίηση. Η κομποστοποίηση βοηθά με δύο τρόπους: μειώνονται τα οργανικά απόβλητα και παράγεται «κομπόστ» ή «χούμο» το οποίο είναι πολύ καλό για να προστεθεί στο χώμα για τα φυτά. Οι οικογένειες συγκεντρώνουν συχνά τα οργανικά υλικά σε σωρούς και μερικές φορές βάζουν ψιλό συρματόπλεγμα, περίφραξη ή ακόμα φτιάχνουν κάδους για να κρατήσουν το σωρό συγκροτημένο.

Λεξιλόγιο Κομποστοποίησης

- **Αερισμός**-----επιτρέπει την κυκλοφορία του αέρα στο κομπόστ για να παρασχεθεί οξυγόνο στους οργανισμούς οι οποίοι βοηθούν στην αποσύνθεση.
- **Αποδομούμενος**-----δυνάμενος στην αποσύνθεση από μικροσκοπικούς οργανισμούς.
- **Κομποστοποίηση**-----η επιτάχυνση της μετατροπής των οργανικών υλικών, όπως των απορριμμάτων των κήπων ή των φυτικών απορριμμάτων σε αποσυντεθειμένο υλικό, ευεργετικό για τις θρεπτικές ουσίες των σαπισμένων φύλλων ή του χώματος.
- **Έλεγχος**-----το πρότυπο του πειράματος, η παρασκευή του κομπόστ που οι άλλοι θα συγκρίνουν.
- **Αποσύνθεση**-----αποσυντίθεμαι ή σαπίζω.
- **Χούμο**-----το καφέ, πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, αποτέλεσμα του αποσυντεθειμένου οργανικού υλικού που μπορεί να προστεθεί στο χώμα.
- **Μεθάνιο αέριο**-----ένα αέριο που σχηματίζεται κατά την αποσύνθεση του φυτικού υλικού.
- **Μικροοργανισμοί**-----μικροσκοπικά έμβια όντα όπως τα βακτήρια, τα πρωτόζωα, οι μύκητες και η μούχλα που βοηθούν στη διάσπαση των οργανικών υλικών
- **Οργανικά απόβλητα**-----απόβλητα όπως τα φυτικά απορρίμματα ή των κήπων που μπορούν να αποσυντεθούν ή να σαπίσουν.
- **Ανακυκλώσιμα**-----υλικά που μπορούν να αλλάξουν για μια νέα χρήση.
- **Μεταβλητή**-----η παράμετρος που αλλάζει από τον έλεγχο σε ένα πείραμα.

Συνταγή για ένα άριστο κομπόστ

Υπάρχουν πολλές συνταγές για το τσίλι. Σχεδόν ο καθένας που μαγειρεύει τσίλι το κάνει με ένα δικό του τρόπο. Ακόμα κι αν όλα τα τσίλι είναι διαφορετικά, είναι σχεδόν όλα καλά. Το ίδιο ισχύει και για το κομπόστ. Δεν θα είναι μόνο ο σωρός της οικογένειάς σας διαφορετικός από του γείτονά σας, αλλά και ο δικός σας σωρός θα αλλάζει συνέχεια γιατί θα του προσθέτετε τα διάφορα απορρίμματα που έχετε στον κήπο ή στην κουζίνα σας.

Κάποιοι από τους παράγοντες που θα επηρεάσουν το πόσο καλά θα λειτουργεί ο ταχυανακυκλωτής σας είναι: τα τρόφιμα, ο αέρας, το νερό και η προστασία. Αυτά ίσως ακούγονται ως οδηγίες για τη φροντίδα ενός κατοικίδιου, αλλά αντί ενός κατοικίδιου φροντίζετε για τους μικροοργανισμούς που λειτουργούν για να αποσυνθέσουν τα οργανικά απόβλητα. Διαβάστε πώς κάθε παράγοντας επηρεάζει τη συνταγή.

- **Τρόφιμα**---Θα πρέπει να έχετε ένα μίγμα διαφορετικών ειδών οργανικών αποβλήτων, γιατί μερικά από τα οργανικά απόβλητα παρέχουν τον άνθρακα για την ενέργεια και μερικά από αυτά παρέχουν το άζωτο για την πρωτεΐνη. Μερικά από τα «τρόφιμα» για τους μικροοργανισμούς πρέπει να είναι καφέ (φύλλα, ροκανίδια, κλαράκια) για να παρέχουν τον άνθρακα. Μερικά από αυτά πρέπει να είναι πράσινα (κομμένο γρασίδι, υπολείμματα λαχανικών) για να παρέχουν το άζωτο. Το άζωτο βοηθά τα μικρόβια να χτίσουν τον οργανισμό τους. Μην προσθέσετε γαλακτοκομικά προϊόντα, κρέατα ή λιπαρά τρόφιμα στο μίγμα επειδή ίσως προσελκύσουν ζώα και επιβραδύνουν τη διαδικασία κομποστοποίησης.
- **Αέρας**---Οι μικροοργανισμοί, όπως και τα άλλα έμβια όντα, χρειάζονται οξυγόνο για να κάνουν δουλειά τους. Η ανάμιξη και το ανακάτεμα των συστατικών και η παροχή αέρα (αερισμός) μέσα στο σωρό των οργανικών υλικών θα το διατηρήσουν καλύτερα.
- **Νερό**---Εάν κομποστοποιείτε έξω, η βροχή μπορεί να προσθέσει περισσότερη υγρασία στο μίγμα. Εάν είναι ξηρό, θα πρέπει να ποτίσετε το σωρό. Εάν σχεδιάζετε ένα πείραμα κομποστοποίησης μέσα, θα πρέπει να προσθέτετε νερό συχνά, ώστε να είναι τόσο υγρό όσο ένα υγρό σφουγγάρι.
- **Προστασία**---Έχοντας αρκετό όγκο ή μέγεθος σε ένα σωρό κομποστοποίησης το βοηθάει να διατηρήσει τη θερμοκρασία που κάνει τους μικροοργανισμούς να λειτουργούν

και τη διαδικασία της αποσύνθεσης να προχωράει. Ένας ταχυνακυκλωτής που είναι έξω μπορεί να είναι ένα ξύλινο δοχείο, ένας συρμάτινος φράκτης ή απλά ένας μεγάλος σωρός. Εάν φτιάχνετε ένα πείραμα με ταχυνακυκλωτή μέσα, ίσως πρέπει να τον τυλίξετε με ένα μονωτικό υλικό που κρατάει τη θερμότητα σε αυτό το «στέγαστρο» του κομπόστ.

Ίσως να θελήσετε να προσθέσετε κάποιο κηπόχωμα στον εσωτερικό ή εξωτερικό σας ταχυνακυκλωτή για να εισάγετε τους μικροοργανισμούς στο μίγμα. Για το εσωτερικό πείραμά σας θα χρειαστείτε μόνο μερικές κουταλιές της σούπας.

Για το μεγαλύτερο εξωτερικό σας ταχυνακυκλωτή θα χρειαστείτε ένα στρώμα περίπου 2,5 εκατοστών για κάθε 30 έως 35 εκατοστά.

Η Συνταγή σας

Είναι καιρός να δημιουργήσετε τη «συνταγή του κομπόστ» σας. Ο δάσκαλός σας θα σας δώσει τις οδηγίες για το σχεδιασμό του πειράματός του κομπόστ σας. Χρησιμοποιήστε τι έχετε μάθει για να δημιουργήσετε έναν ταχυνακυκλωτή που μπορεί να αποσυνθέσει γρήγορα τα οργανικά απόβλητα. Θυμηθείτε να φροντίσετε καλά τους μικροοργανισμούς που θα εργαστούν τόσο σκληρά για σας. Μόλις βρείτε την τέλεια συνταγή για το κομπόστ, ίσως να θελήσετε να δοκιμάσετε ένα μεγαλύτερο έργο στην αυλή σας ή έξω στο σχολείο σας.

Ερωτηματολόγιο 2

Οι Μεγάλες Ερωτήσεις της Κομποστοποίησης

Τι σημαίνει κομποστοποίηση;.....

Γιατί θα έπρεπε οι άνθρωποι να κομποστοποιούν;.....

Τι μπορεί να κομποστοποιηθεί;.....

Μπορείτε να περιγράψετε τη διαδικασία κομποστοποίησης;

Ποιες μεταβλητές επηρεάζουν το πόσο καλά λειτουργεί η κομποστοποίηση;

.....

Σε τι μπορεί να χρησιμοποιηθεί το επεξεργασμένο προϊόν;.....

Φύλλο εργασίας 3

«Η Πρόκληση Σας για το Κομπόστ»

Βήμα 1: Το επόμενο βήμα σας για την εκμάθηση της κομποστοποίησης θα γίνει με τον πειραματισμό σας. Στη μικρή σας ομάδα σκεφτείτε τις ερωτήσεις που έχετε, όπως ποια υλικά θα αποσυντεθούν γρηγορότερα, ποιοι συνδυασμοί υπολειμμάτων της κουζίνας ή των κήπων λειτουργούν καλύτερα μαζί, και ποιες συνθήκες θα επηρεάσουν τη διαδικασία κομποστοποίησης. Επιλέξτε μια ερώτηση για την οποία ενδιαφέρεστε πιο πολύ και σχεδιάστε και διεξάγετε μια επιστημονική έρευνα. Ο σχεδιασμός του πειράματος πρέπει να περιλαμβάνει την ερευνητική ερώτηση, την υπόθεση, τα υλικά και τη διαδικασία που χρησιμοποιείται.

Βήμα 2: Στα επιστημονικά σας ημερολόγια πρέπει να σχεδιάσετε ένα διάγραμμα του πειραματικού σχεδίου σας και το πρότυπο του ελέγχου της τάξης. Ονομάστε τα διαγράμματά σας ώστε να είναι εύκολο με τις δύο κατασκευές να πείτε τι άλλαξε και τι έμεινε ίδιο. Γράψτε την ερώτηση που ερευνάτε εσείς και η ομάδα σας. Αποφασίστε ποιες πληροφορίες θα είναι σημαντικές για να καταγράψετε και σχεδιάστε ένα διάγραμμα ή έναν πίνακα για τη συλλογή των δεδομένων από τις παρατηρήσεις σας.

Βήμα 3: Φτιάξτε και γεμίστε τον ταχυανακυκλωτή σας.

Βήμα 4: Συνεχίστε τις παρατηρήσεις και την καταγραφή των δεδομένων. Αποφασίστε ποια όργανα ή υλικά θα χρειαστεί η ομάδα σας για τη συλλογή των δεδομένων. Μερικά παραδείγματα υλικών ή οργάνων που ίσως χρησιμοποιήσετε είναι θερμομέτρα, δείκτης pH, μια ζυγαριά και ένας χάρακας.

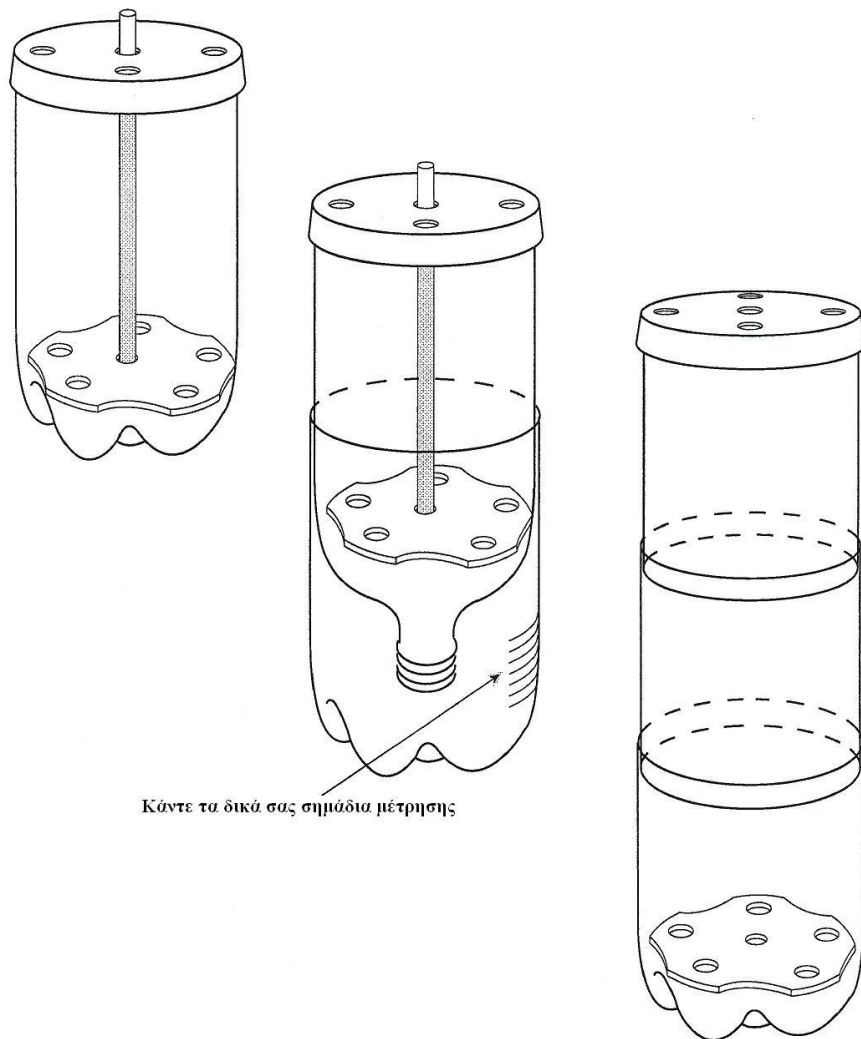
Βήμα 5: Καθώς τελειώνει το πείραμά σας, αποφασίστε πώς θα αναλύσετε τα στοιχεία σας. Θα είναι χρήσιμο να δημιουργήσετε μια γραφική παράσταση ή ένα ιστόγραμμα για να παρουσιάσετε την αλλαγή στη θερμοκρασία, στο pH, στη μάζα ή στον όγκο ή στο ύψος της στήλης του κομπόστ. Πώς μπορείτε να συγκρίνετε τα δεδομένα από το πείραμά σας με τα δεδομένα από το πείραμα ελέγχου της τάξης.

Βήμα 6: Χρησιμοποιήστε αποδείξεις από τις παρατηρήσεις και την ανάλυσή σας για να γράψετε μια εξήγηση για αυτό που συνέβη. Συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με τα αποτελέσματα της κατασκευής ελέγχου της τάξης.

Βήμα 7: Προετοιμάστε και παραδώστε μια ομαδική έκθεση στα άλλα μέλη της τάξης, μοιράζοντας το σχεδιασμό του πειράματός σας, τα συμπεράσματά σας και τα δεδομένα που χρησιμοποιήσατε για να καταλήξετε σε αυτά τα συμπεράσματα.

Βήμα 8: Ακολουθήστε τις οδηγίες του δασκάλου σας για τη κατανομή του κομπόστ σε μια περιοχή όπως ένας κήπος, γρασίδι ή γύρω από τα δέντρα. Ξεπλύνετε και ανακυκλώστε τα πλαστικά μπουκάλια.

Τρόποι για να Φτιάξετε τον Ταχρυνακυκλωτή Σας



Εικόνα 42: Ταχρυνακυκλωτές

Ερευνητικό Σχέδιο για το Κομπόστ

Όνόματα μελών της ομάδας:

Διερευνητική Ερώτηση: Ποιες /-α από τις μεταβλητές: το ισορροπημένο μίγμα πράσινων και καφέ υλικών, η υγρασία, ο αερισμός – η ανάδευση, η υψηλή θερμοκρασία επηρεάζουν περισσότερο την επιτυχία της κομποστοποίησης;.....

Υπόθεση:.....θα επηρεάσει περισσότερο την επιτυχία της κομποστοποίησης

Διαδικασία:.....

Σχεδιασμός Πειράματος:.....

Απαιτούμενα Υλικά:.....

Διαδικασία:

Πίνακας 9

Πίνακας 9: Κομπόστ

ΟΜΑΔΑ 1: Έλεγχος / ΟΜΑΔΑ 2: Ισορροπημένο μίγμα /					
ΟΜΑΔΑ 3: Υγρασία / ΟΜΑΔΑ 4: Αερισμός - ανάδευση /					
ΟΜΑΔΑ 5: Υψηλή θερμοκρασία					
	1^η	2^η	3^η	4^η	5^η
	Εβδομάδα	Εβδομάδα	Εβδομάδα	Εβδομάδα	Εβδομάδα
Είδη υλικών:
Συνολική μάζα υλικών
Αρχικός όγκος υλικών
Ύψος της Στήλης των υλικών
Θερμοκρασία
pH
Όγκος παραγόμενων υγρών
Χρώμα υλικών
Υλικά που σαπίζουν γρηγορότερα

Συμπέρασμα:

Γράψτε τα συμπεράσματά σας από τις παρατηρήσεις σας και τα στοιχεία που έχετε συλλέξει.

Προβλέψατε σωστά στην υπόθεσή σας; Γιατί ναι; ή γιατί όχι;.....

Σε ποιες από τις δοκιμασίες σας με: την υγρασία, την υψηλή θερμοκρασία, το ισορροπημένο μίγμα πράσινων και καφέ υλικών ή με τον αερισμό - ανάδευση διαπιστώσατε ότι επηρέασε περισσότερο την κομποστοποίηση; Εξηγήστε.....

Δείγμα Επιπρόσθετων Δραστηριοτήτων του Κεφαλαίου της Κομποστοποίησης

Σχέδια Κομποστοποίησης στο Σπίτι — Σχεδιάστε αφίσα για την Κομποστοποίηση — Οι μαθητές σε ζευγάρια, μικρές ομάδες ή μεμονωμένα μπορούν να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν μια αφίσα που να προτρέπει τους ανθρώπους να κομποστοποιούν.

Θα μπορούσε να παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα που έμαθαν από την ανάγνωσή τους. Οι αφίσες θα μπορούσαν να κολληθούν στο σχολείο ή να βρουν ένα παντοπωλείο, ένα βενζινάδικο ή έναν άλλο δημόσιο χώρο που να είναι πρόθυμοι να κολλήσουν την εργασία των μαθητών.

Διαφημιστικό Φυλλάδιο για την Κομποστοποίηση — Οι μαθητές μπορούν να φτιάξουν ένα φυλλάδιο που να εξηγεί τα οφέλη της οικιακής κομποστοποίησης καθώς επίσης και έναν «οδηγό» για να αρχίσουν οι άνθρωποι να κομποστοποιούν. Μπορεί να περιλαμβάνει ιστοσελίδες που θα επισκέπτονται για επιπρόσθετη βοήθεια.

Έρευνα στο Διαδίκτυο και Αναφορά στην Τάξη — Οι μαθητές μπορούν να δουλέψουν σε ζευγάρια ή σε τριάδες για να βρουν τις κοινότητες που ενθαρρύνουν την οικιακή κομποστοποίηση. Μπορούν να φτιάξουν μια παρουσίαση στο PowerPoint ή μια πιο παραδοσιακή παρουσίαση για να δείξουν στην υπόλοιπη ομάδα τα προγράμματα που τρέχουν αλλού.

Οι μαθητές μπορούν να οργανώσουν μια ενημερωτική απογευματινή συνάντηση όπου θα προσκαλούν τους γονείς ή και τα μέλη της κοινότητας.

Χρησιμοποιήστε τις εκθέσεις, τις αφίσες και τα φυλλάδια της παρουσίασής σας για να εξηγήσετε τα οφέλη και πώς να οργανώσετε έναν ταχυανακυκλωτή στο σπίτι.

Σχέδια Κομποστοποίησης στο Σχολείο — Πολλά σχολεία έχουν αρχίσει προγράμματα κομποστοποίησης, αλλά για το σχολείο τους ή για την κοινότητά τους. Ερευνήστε τι θα χρειαζόταν να έχει το σχολείο σας για να αρχίσει ένα τέτοιο πρόγραμμα. Όταν έχετε τις βασικές πληροφορίες για το «πώς να κομποστοποιείτε», συντάξτε μια πρόταση, προσκαλέστε τον διευθυντή σας για να μοιραστείτε τις πληροφορίες και την πρότασή σας.

Ερωτηματολόγιο 3

1. Η διαδικασία της κομποστοποίησης σας φάνηκε εύκολη;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

2. Θα εφαρμόζατε την Οικιακή κομποστοποίηση;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

3. Νομίζετε ότι η Οικιακή κομποστοποίηση είναι ωφέλιμη;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

4. Σας άρεσε η εφαρμογή της κομποστοποίησης στο σχολείο;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

5. Θα προτείνατε την εφαρμογή της Οικιακής κομποστοποίησης σε έναν φίλο;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

6. Η εφαρμογή της Οικιακής κομποστοποίησης προϋποθέτει συνεργασία;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

7. Η Οικιακή κομποστοποίηση προστατεύει το περιβάλλον;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

8. Είναι εύκολο να αποκτήσετε το δικό σας κομποστοποιητή;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

9. Αν είχατε δικό σας κομποστοποιητή θα προχωρούσατε στη δική σας κομποστοποίηση;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι

10. Θα αναζητούσατε περισσότερες πληροφορίες στη βιβλιογραφία ή στο διαδίκτυο σχετικά με τη κομποστοποίηση;

Καθόλου Όχι Ίσως Ναι Σίγουρα ναι