

Ένωση οικονομικών φορέων με τίτλο «Ι.Δ.Σ. ΕΠΕ – ΔΚΠ- ΣΥΝΟΧΗ»



Παροχή Υπηρεσιών υποστήριξης στο Δήμο Νέστου σε παραδοτέο του πακέτου εργασίας ΠΕ 4 «Ανακύκλωση οργανικών αποβλήτων» του έργου με τίτλο «"Πράσινη" απασχόληση στη διαχείριση βιο-αποβλήτων» «"Green" employment in the management of biowastes» με Ακρωνύμιο «GREEN-CREW» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από Εθνικούς Πόρους και στο πλαίσιο του διασυνοριακού προγράμματος Ευρωπαϊκής Εδαφικής Συνεργασίας «Ελλάδα- Βουλγαρία 2014-2020».

Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):

Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης

|  |   |
|--|---|
|    |   |
| European Regional Development Fund   |   |
|   | The Project is co-funded by the European Regional Development Fund (ERDF) and by national funds of the countries participating in the Interreg V-A "Greece-Bulgaria 2014-2020" Cooperation Programme. |
|   |   |
| COOPERATION PROGRAMME INTERREG V-A "GREECE - BULGARIA 2014 – 2020"   |   |
| PROJECT BENEFICIARY:   | MUNICIPALITY OF NESTOS  |
| PROJECT:   | "Green" employment in the management of biowastes (GREEN CREW)  |

ΙΟΥΛΙΟΣ 2020



Το Έργο συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και από εθνικούς πόρους των χωρών που συμμετέχουν στο Πρόγραμμα Συνεργασίας Interreg V-A «Ελλάδα-Βουλγαρία 2014-2020

## Περιεχόμενα

|   |    |
|---|----|
| 1. Παρουσίαση διαθέσιμων νέων τεχνολογιών Internet Of Things (IOT) .....  | 3  |
| 2. Ανάπτυξη υποστηρικτικών εργαλείων για την ανάληψη της επιχειρηματικής πρωτοβουλίας της ΚΟΙΝΣΕΠ για τη λειτουργία της πιλοτικής ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης..... | 4  |
| 2.1 Περιγραφή εργαλειοθήκης.....  | 4  |
| 3. Μεθοδολογία και ανάπτυξη πρωτοκόλλου κομποστοποίησης .....   | 6  |
| 3.1 Έλεγχος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης .....  | 6  |
| 3.2 Πρωτόκολλο μετρήσεων για την ανάπτυξη φασματικής βιβλιοθήκης.....   | 9  |
| 4. Λειτουργία πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης .....   | 12 |
| 4.1 Στάδια και διαδικασίες κομποστοποίησης.....   | 13 |
| 4.1.1. Συλλογή – προεπεξεργασία.....  | 13 |
| 4.1.2. Έλεγχος παραμέτρων .....   | 15 |
| 4.1.3. Αποτελέσματα μετρήσεων κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.....  | 18 |

## Τμήμα Γ- Εφαρμογή πιλοτικής ενέργειας και λειτουργία εγκατάστασης κομποστοποίησης

### 1. Παρουσίαση διαθέσιμων νέων τεχνολογιών Internet Of Things (IoT)

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του συστήματος κομποστοποίησης, έγινε παρουσίαση των διαθέσιμων τεχνολογιών Of Things (IoT), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της συλλογής και επεξεργασίας βιοαποβλήτων με πιθανά οφέλη στη μείωση του κόστους στην μεταφορά των βιοαποβλήτων, στην καλύτερη διαχείριση του χρόνου αλλά και στην διαχείριση των διαδικασιών της κομποστοποίησης.

Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) ονομάζεται ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο που επιτρέπει την επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ετερογενών συσκευών [«πράγματα»] μέσω ενός κεντρικού κόμβου. Το δίκτυο μπορεί να είναι το Internet, ή κάποιο τοπικό δίκτυο [ενσύρματο ή ασύρματο].

Μερικές από τις πιο χρήσιμες εφαρμογές του ΔτΠ στον τομέα της συλλογής και επεξεργασίας βιοαποβλήτων είναι:

- ❖ Η επιλογή βέλτιστων διαδρομών μέσω τεχνολογιών IoT που προσφέρουν υπηρεσίες όπως η παρακολούθηση της θέσης των οχημάτων μπορούν να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση χρόνου, πόρων αλλά και στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της διαδικασίας
- ❖ Τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα [smart electric grids], τα οποία συνδέουν πιο αποτελεσματικά τους καφέ κάδους και την τοποθεσία των βιοαποβλήτων, και παρέχουν πληροφορίες για τη θέση, τον όγκο, και τη διαθεσιμότητα των βιοαποβλήτων στους αγρούς με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος συγκομιδής.
- ❖ Οι αισθητήρες παρακολούθησης των παραμέτρων της κομποστοποίησης των βιοαποβλήτων, οι οποίοι αποτελούν αξιόπιστη μετρητική υποδομή, κάνοντας διαγνώσεις, ελέγχοντας την πρόοδο επεξεργασίας τους και ενεργοποιώντας επεμβάσεις για την τροποποίησή της.

## 2. Ανάπτυξη υποστηρικτικών εργαλείων για την ανάληψη της επιχειρηματικής πρωτοβουλίας της ΚΟΙΝΣΕΠ για τη λειτουργία της πιλοτικής ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου Green Crew για τη λειτουργία της πιλοτικής ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης, αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν από την ΚΟΙΝΣΕΠ επιχειρησιακά υποστηρικτικά εργαλεία, στα οποία εκπαιδεύτηκαν οι τοπικοί χειριστές, τα οποία αποτελούνταν από πρωτόκολλα και εφαρμογές για:

- Συλλογή δεδομένων τοποθεσίας, όγκου, διαθεσιμότητας, είδος βιοαποβλήτων σε αγροτεμάχια του Δήμου Νέστου, και
- Ελέγχου παραμέτρων κομποστοποίησης
- Βέλτιστων διαδρομών των οχημάτων συλλογής μέσω της εφαρμογής της διαγνωστικής εργαλειοθήκης.

Παρουσιάστηκε εφαρμογή κινητού για βέλτιστη διαδρομή οχημάτων συλλογής με βάση τη διαθεσιμότητα, την τοποθεσία και τον όγκο των βιοαποβλήτων του Δήμου.

Σκοπός είναι να επαναχρησιμοποιηθεί όλο το γεωργικό βιοαπόβλητο του Δήμου και να μειωθεί το αποτύπωμα άνθρακα της περιοχής αλλά και των παραγόμενων αγροτικών προϊόντων.

Αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε Πρωτόκολλο θρυμματοποίησης για σωστή κοκκομετρία των βιοαποβλήτων με βάση τη σύνθεσή τους για βελτιστοποίηση του χρόνου ζύμωσης.

Αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε Πρωτόκολλο κομποστοποίησης, ελέγχου και διαχείρισης των παραμέτρων για την ορθή λειτουργία της μονάδας με εφαρμογή διαχειριστικών αναφορών με βάση τα δεδομένα εισόδου από την εργαλειοθήκη μέσω του ΔΤΠ από τον κεντρικό κόμβο προς τους τοπικούς χειριστές. (άνοιγμα αεροσυμπιεστή, διόρθωση της αλκαλικότητας με προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου, προσθήκη υγρασίας με του αρδευτικού συστήματος ή προσθήκη NO<sub>3</sub> για τη διατήρηση του λόγου C/N). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος και παρακολούθηση των αβιοτικών (βάρος, τέφρα, υγρασία, pH, ηλ. αγωγιμότητα και θερμοκρασία κλπ) και βιοτικών παραμέτρων (μικροβιακή αναπνοή, ολικά βακτήρια, σύσταση βιομάζας) στο διαπιστευμένο με ISO 17025 εργαστήριο του ΔΚΠ. Αναπτύχθηκε πρωτόκολλο βέλτιστων συνθηκών ζύμωσης (Οξύτητα μεγαλύτερη του 7, υγρασία 60%, θερμοκρασία 55 C)

Η ανάπτυξη πρωτοκόλλου κομποστοποίησης, ελέγχου και διαχείρισης των παραμέτρων, η Διαγνωστική Εργαλειοθήκη, οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν, τα δεδομένα από το ΔΤΠ, η εφαρμογή για τη βελτιστοποίηση της συλλογής της βιομάζας, τα συστήματα λήψης απόφασης κατά την επεξεργασία και εφαρμογή του τελικού προϊόντος, η ανάπτυξη πρωτοκόλλου κομποστοποίησης, αποτέλεσαν απαραίτητα υποστηρικτικά εργαλεία για την επιχειρησιακή λειτουργία της ΚΟΙΝΣΕΠ έτσι ώστε να μπορέσει να υλοποιήσει το επιχειρηματικό της σχέδιο συλλογής, επεξεργασίας των βιοαποβλήτων και εφαρμογής του τελικού παραγόμενου κομποστ με αποτελεσματικό τρόπο.

### 2.1 Περιγραφή εργαλειοθήκης

Η τηλεδιαγνωστική εργαλειοθήκη (Diagnostic Toolbox) αποτελείται από ένα σύνολο αισθητήρων μέσω των οποίων γίνεται καταγραφή ποιοτικών χαρακτηριστικών κομπόστας. Πρόκειται επί της ουσίας για ένα κινητό εργαστήριο το οποίο παρουσιάζει μία σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με τη χρήση εργαστηριακών



### Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):

#### Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης

εγκαταστάσεων τα οποία συνοψίζονται στην αμεσότητα των μετρήσεων, στην ακρίβεια μέτρησης ευμετάβλητων μορφών στοιχείων και στο χαμηλό κόστος χρήσης. Η εργαλειοθήκη στηρίζεται μέσα από έναν κεντρικό κόμβο, το Κέντρο Ελέγχου (control room) στο οποίο αποστέλλονται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, και το οποίο τροφοδοτεί σύστημα λήψης απόφασης σχετικά με τις διεργασίες επεξεργασίας της κομπόστας.

Η εργαλειοθήκη διαθέτει μία σειρά αισθητήρων για μετρήσεις πεδίου. Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διασύνδεσης, ενώ διαθέτει και μία κεντρική εφαρμογή με την οποία συνδέονται όλοι οι αισθητήρες και πραγματοποιούνται οι μετρήσεις πεδίου [FD-TOOL]. Η εργαλειοθήκη χρησιμοποιήθηκε τόσο κατά την αναγνωριστική φάση ελέγχου των παραμέτρων ώστε να βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι της παραγωγικής διεργασίας του κομπόστ όσο και κατά τη φάση ενσωμάτωσης του τελικού προϊόντος στο έδαφος, για να ελεγχθούν οι παράμετροι της μεταβολής της εδαφικής υγείας του εδάφους μετά την προσθήκη της κομπόστας.



*Η διαγνωστική εργαλειοθήκη*

### 3. Μεθοδολογία και ανάπτυξη πρωτοκόλλου κομποστοποίησης

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου αναπτύχθηκε πρωτόκολλο κομποστοποίησης ως υποστηρικτικό εργαλείο της ΚΟΙΝΣΕΠ, αλλά και ως οδηγός για την αρμόδια Υπηρεσία του Δήμου Νέστου αλλά και για άλλους φορείς, για την συνέχιση της κομποστοποίησης από τον Δήμο μετά την λήξη του προγράμματος Green Crew.

#### 3.1 Έλεγχος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης θα πραγματοποιείται έλεγχος και παρακολούθηση των αβιοτικών (βάρος, τέφρα, υγρασία, pH, ηλ. αγωγιμότητα και θερμοκρασία κλπ) και βιοτικών παραμέτρων (μικροβιακή αναπνοή, ολικά βακτήρια, σύσταση βιομάζας) ώστε το παραγόμενο προϊόν (κομπόστ) να είναι τύπου Α σύμφωνα με τα κριτήρια και τις προδιαγραφές για το πιστοποιητικό Ecolabel της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή αντίστοιχο.

Συγκεκριμένα θα παρακολουθούνται για την ορθή λειτουργία της μονάδας κομποστοποίησης παράμετροι ως προς τα εισερχόμενα υλικά προς κομποστοποίηση ως προς τη διαμόρφωση σωρού την κομποστοποίηση και ωρίμανση. Ως προς τα εισερχόμενα υλικά προς κομποστοποίηση θα ελέγχεται η ποσότητα μέσω γεφυροπλάστιγγας ή εμπειρικά(κουβαδιές) καθημερινά. Θα γίνεται οπτικός έλεγχος του είδους και της ποιότητας επίσης καθημερινά και όταν γίνεται υποδοχή αποβλήτων από μεταποιητικές εγκαταστάσεις ή λυματολάσπη θα ελέγχεται η ποιότητα(βαρέα μέταλλα/οργανικοί ρυπαντές).Όσον αφορά στη διαμόρφωση της σωρού θα γίνεται μέτρηση διαστάσεων και υπολογισμός όγκου. Κατά την κομποστοποίηση θα ελέγχεται η θερμοκρασία της σωρού κατά την αρχική φάση της κομποστοποίησης για υγειονομοποίηση του υλικού και έπειτα καθημερινά βάσει της φάσης κομποστοποίησης. Θα μετράτε η υγρασία ανά δύο-τρεις ημέρες και εβδομαδιαία ο όγκος σωρού. Εάν απαιτείται θα προχωρούμε σε ενοποίηση σωρών μετά από μερικές εβδομάδες. Στην ωρίμανση θα μετράται η υγρασία και η θερμοκρασία εβδομαδιαίως ή πριν ή/και μετά την ανάδευση και κατά την ραφιναρία θα γίνεται εκτίμηση βάσει όγκου της ποσότητας υπολειμμάτων προς επαναχρησιμοποίηση/ταφή. Η αποθήκευση του κομποστ θα ακολουθείται από βασικό έλεγχο σε υγρασία, προσμίξεις, οσμή, ομοιογένεια και ύπαρξη μούχλας. Θα ελέγχεται η σταθερότητα του κομποστ και θα γίνεται δειγματοληψία και αναλύσεις από διαπιστευμένο εργαστήριο ώστε να χαρακτηριστεί ως προς την ποιότητά του. Επίσης σε αυτό το σημείο να τονιστεί πως κατά περίπτωση θα γίνεται μέτρηση οξυγόνου και άλλων αερίων όπως και pH.

#### Ανάλυση του τελικού προϊόντος (κομπόστ), για τον τελικό έλεγχο και αξιολόγησή του Ecolabel

Σύμφωνα με το **Ecolabel**, για την αξιολόγηση του τελικού προϊόντος θα πρέπει να ελεγχθούν οι παρακάτω παράμετροι:

| Παράμετρος    | (Αποφάσεις 2006/799& 2007/64 για το Ecolabel) |
|---------------|---|
| Cd (mg/kg dm) | 1   |
| Cr (mg/kg dm) | 100   |
| Cu (mg/kg dm) | 100   |
| Hg (mg/kg dm) | 1   |



**Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):**  
**Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης**

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Ni (mg/kg dm)                                 | 50                              |
| Pb (mg/kg dm)                                 | 100                             |
| Zn (mg/kg dm)                                 | 300                             |
| As (mg/kg dm)                                 | 10                              |
| Mo (mg/kg dm)                                 | 2                               |
| Se (mg/kg dm)                                 | 1,5                             |
| F (mg/kg dm)                                  | 200                             |
| Salmonella                                    | Απουσία στα 25g                 |
| Helminth Ova                                  | Απουσία στα 1,5g                |
| E. Coli (MPN)                                 | <1000/g                         |
| PCB's (mg/kg)                                 | -                               |
| PAHs (mg/kg)                                  | -                               |
| Φυσικοί ρυπαντές > 2mm (ξ.β.)                 | <0,5%                           |
| Πέτρες, χαλίκι > 5mm                          |                                 |
| Πλαστικό (% ξ.β.)                             |                                 |
| Γυαλί (% ξ.β.)                                |                                 |
| Υγρασία (%)                                   | <75                             |
| Οργανική Ουσία ((% ξ.β.)                      | ≥20                             |
| Total N ( %)                                  | ≤3 (organic N ≥ 80%)            |
| Electrical Conductivity, dS/m                 | <1,5 (applies to growing media) |
| Κοκκομετρική διαβάθμιση για το 90% κατά βάρος |                                 |

## Χουμικά

Για την ανάλυση των μορίων των χουμικών ουσιών, εκτός από την τεχνική της χρωματογραφίας διαχωρισμού θα εφαρμοστούν και αρκετές ακόμη τεχνικές, τόσο αναλυτικές, όσο και φασματοσκοπικές. Για τον υπολογισμό της κατά βάρος περιεκτικότητας των υλικών σε C,H,N,S, στοιχειακές αναλύσεις θα πραγματοποιηθούν με Στοιχειακό Αναλυτή. Για τον υπολογισμό της κατά βάρος περιεκτικότητας των υλικών σε οργανικό C, θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις σε αναλυτή ολικού οργανικού άνθρακα TOC-VCSH. Για τις μετρήσεις των μετάλλων θα χρησιμοποιηθεί φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με τη

μέθοδο φλόγας ή φούρνου γραφίτη. Τα αέρια που θα χρησιμοποιηθούν για τις μετρήσεις θα είναι C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> και αέρας. Για την ανίχνευση των μετάλλων θα χρησιμοποιηθούν καθοδικές λυχνίες πολυστοιχειακές ή μονοστοιχειακές. Για την παρασκευή των διαλυμάτων των χουμικών ουσιών θα χρησιμοποιηθεί υπερκαθαρό νερό. Για την περαιτέρω ταυτοποίηση θα χρησιμοποιηθούν Φασματοσκοπία Ορατού-Υπεριώδους (Ultraviolet-Visible, UV-Vis), Φασματοσκοπία Φθορισμού, Υπέρυθρη φασματοσκοπία με μετασχηματισμό Fourier (FTIR), Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (NMR), Φασματοσκοπική ανάλυση <sup>13</sup>C-NMR χουμικών και φουλβικών οξέων, Φασματοσκοπία Ηλεκτρονικού Παραμαγνητικού Συντονισμού (EPR)

Τα χουμικά και φλουβικά οξέα θα απομονώθουν χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο απομόνωσης που συστήθηκε από τη International Humic Substances Society (IHSS) (172), στο οποίο περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία και ο απαιτούμενος εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί.

### Μεθοδολογία για υπόλοιπες παραμέτρους:

Οι περισσότερες από τις υπόλοιπες παράμετρους μπορούν να προσδιοριστούν με τη χρήση φορητής διαγνωστικής εργαλειοθήκης. Όταν δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα δείγματα κομπόστ αναλύονται στο εργαστήριο εφαρμόζοντας διαπιστευμένες μεθόδους

- **Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>):** Ο προσδιορισμός μπορεί να γίνει με τη χρήση φορητής εργαλειοθήκης με τη χρήση φιαλιδίου μέτρησης CO<sub>2</sub> και σύριγγας για συλλογή 100 ml αέριου δείγματος και την παρατήρηση της μεταβολής του χρώματος του αερίου εντός φιαλιδίου.
- **Βαρέα Μέταλλα:** . Τα προτεινόμενα βαρέα Μέταλλα όπως προκύπτουν από την Ευρωπαϊκή Οδηγία την ΚΥΑ 114218/1997 αλλά και την αναθεωρημένη ΚΥΑ 56366/4351/2014 είναι τα ακόλουθα: Κάδμιο (Cd), Μόλυβδος (Pb), Χρώμιο (Cr), Χαλκός (Cu), Νικέλιο(Ni), Υδράργυρος(Hg), Ψευδάργυρος (Zn), Αρσενικό (As). Η τεχνική μέτρησης συνίσταται στην αναρρόφηση του υγρού δείγματος, το οποίο εξατμίζεται ο διαλύτης και τα ιόντα του μετάλλου ατομοποιούνται (εργαστηριακή μέθοδος)
- **Θερμοκρασία, Υγρασία, pH, Αγωγιμότητα:** Ο προσδιορισμός τους γίνεται με φορητούς αισθητήρες που περιλαμβάνονται στη φορητή εργαλειοθήκη.
- **Ουσίες Προτεραιότητας:** Σε αυτές ανήκουν τα Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια (PCBs) και οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAH). Προτεινόμενη μέθοδος είναι η φασματοσκοπία (είτε αέρια είτε υγρή) – εργαστηριακή μέθοδος
- **Οργανική Ουσία εδάφους:** Μπορεί να γίνει εμπειρικά με τη χρήση της φορητής εργαλειοθήκης . Η εκτίμηση της Οργανικής Ουσίας κομπόστ γίνεται με βάση το χρώμα του δείγματος και τη σύγκρισή του με πρότυπο χρωματολόγιο.
- **Ολικός Οργανικός Άνθρακας:** Ο Ολικός Οργανικός άνθρακας (TOC) είναι μια πιο βολική και άμεση έκφραση του περιεχομένου του ολικού οργανικού άνθρακα από το BOD, AOC ή το COD. Μπορεί να προσδιοριστεί είτε με τη χρήση φορητού αισθητήρα πεδίου είτε εργαστηριακά με τη μέθοδο Walkley Black. Η μέθοδος στηρίζεται στην οξείδωση της οργανικής ύλης με τη χρήση μείγματος K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> και H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- **Ολικό Άζωτο:** Γίνεται εργαστηριακά με τη μέθοδο Kjeldahl. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζουμε ποσοτικά το άζωτο που περιέχεται τόσο σε οργανικές όσο και ανόργανες ουσίες.



- **Μικροβιολογικές παράμετροι:** Όπως *Salmonellae* και *E. Coli*. Ο προσδιορισμός τους γίνεται εργαστηριακά, σύμφωνα με τις ανεπτυγμένες μεθόδους, με τη χρήση μικροσκοπίου.

Παράλληλα με τις παραπάνω μετρήσεις θα αναπτυχθεί φασματική βιβλιοθήκη στο εύρος 400-2500 nm. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν θα προέρχονται από μετρήσεις τόσο στην πρώτη ύλη κάτω από πραγματικές συνθήκες πεδίου (φορητή εργαλειοθήκη-φορητοί αισθητήρες), καθώς και σε δείγματα κομπόστ κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές μετρήσεις.

### 3.2 Πρωτόκολλο μετρήσεων για την ανάπτυξη φασματικής βιβλιοθήκης

Σχεδόν όλη η ύλη αλληλοεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται πάνω σε οποιοδήποτε σώμα μπορεί να υποστεί ανάκλαση, απορρόφηση ή μετάδοση. Για τα περισσότερα υλικά οι συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις με το φως σε ορισμένα μήκη κύματος μπορούν να παρατηρηθούν στο εύρος της ηλιακής ακτινοβολίας (Hunt 1980). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές είναι εξαρτώμενες από το μήκος κύματος. Έτσι, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται σε ένα σώμα μπορεί να ανακλάται σε κάποιο μήκος κύματος και να απορροφάται σε κάποιο άλλο. Η ανακλώμενη ακτινοβολία από ένα υλικό αποτελεί συνάρτηση του μήκους κύματος, της επιφανειακής απορρόφησης του υλικού και των χαρακτηριστικών της εκπομπής και της ανάκλασης. Με βάση τη βιβλιογραφία, οι αλληλεπιδράσεις ενέργειας-ύλης στις περιοχές του ορατού και κοντινού υπέρυθρου VNIR (400 έως 1100 nm), στο SWIR (Shortwave-Infrared, 1100 έως 2500 nm) και στο υπέρυθρο IR (2500 έως 12000 nm) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό ενός υλικού (Schwartz et al 2011). Έχει παρατηρηθεί ότι αρκετές από τις παραμέτρους που μετρούνται σε δείγματα κομπόστ παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά σημεία απορρόφησης στις φασματικές υπογραφές. Αναλυτικότερα σχετικά με τον οργανικό άνθρακα αναφέρεται πως συσχετίζεται με τα ακόλουθα μήκη κύματος του ορατού φάσματος από τα 550-650nm και στην περιοχή από τα 800 – 850 nm . Αυτό οφείλεται κυρίως στην αλλαγή στον χρωματισμό της κομπόστας ο οποίος παρατηρείται κατά την πάροδο των ημερών (συνήθως το δείγμα γίνεται πιο σκούρο). Ενώ στην περιοχή το υπέρυθρου παρατηρούνται συσχετίσεις κυρίως στις περιοχές από τα 1700 – 1900 nm και από τα 2150 -2400 nm [1,2,3]. Συστατικά όπως η κυτταρίνη και η λιγνίνη έχει βρεθεί ότι συσχετίζονται με τα εξής μήκη κύματος (1367, 1468, 1769, 2331 nm), επίσης έχει βρεθεί ότι η λιγνίνη παρουσιάζει ισχυρές απορροφήσεις στην περιοχή του μπλε [4]. Τα Βαρέα μέταλλα συσχετίζονται με την ποσότητα της οργανικής ουσίας στα δείγματα και με τα ορυκτά του σιδήρου και για το λόγο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί έμμεσα η περιεκτικότητά τους. Ακόμα έχει παρατηρηθεί σε μελέτες πως κάποια βαρέα μέταλλα παρουσιάζουν περισσότερες συσχετίσεις σε συγκεκριμένα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η περιοχή με τις περισσότερες πληροφορίες για το Pb ήταν τα 440-584 nm, για τον Zn τα 430 - 570 nm και τα 590 - 770 nm και για το Mn τα 390-550 nm και 580-710 nm. Για το Ni η πιο αντιπροσωπευτική περιοχή ήταν τα 870 - 990 nm και για το Cr τα 860 - 1001 nm. Γενικότερα καλύτερες προβλέψεις για τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων έχουν βρεθεί για τα Cu, Mn, Pb, Zn, Cr, και Ni. Για το λόγο αυτό τα απαραίτητα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της κομπόστας επιλέχθηκε να εκτιμηθούν με τη χρήση φασματοσκοπικών μεθόδων που

αξιοποιούν τις περιοχές του ορατού και του κοντινού υπέρυθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (400-2500nm).

Πιο συγκεκριμένα θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε συνθήκες εργαστηρίου αλλά και σε συνθήκες πεδίου. Για τη διενέργεια των φασματικών μετρήσεων είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο υψηλών προδιαγραφών, με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερες μετρήσεις οι οποίες με την σειρά τους να παράξουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Επιπλέον είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν μετρήσεις ανεπηρέαστες από εξωτερικούς παράγοντες όπως η αλλαγή της θερμοκρασίας, οι συνθήκες φωτισμού και η χρήση διαφορετικών οργάνων. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα πρωτόκολλα που εξασφαλίζουν συνέπεια, σταθερότητα και αξιοπιστία στις μετρήσεις. Σκοπός είναι τα χημικά και φασματικά δεδομένα να συγκεντρώνονται σε μια βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει τις φασματικές υπογραφές και τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις προκειμένου να πραγματοποιηθεί η συσχέτιση αυτών των δύο.

#### **Μετρήσεις σε συνθήκες εργαστηρίου**

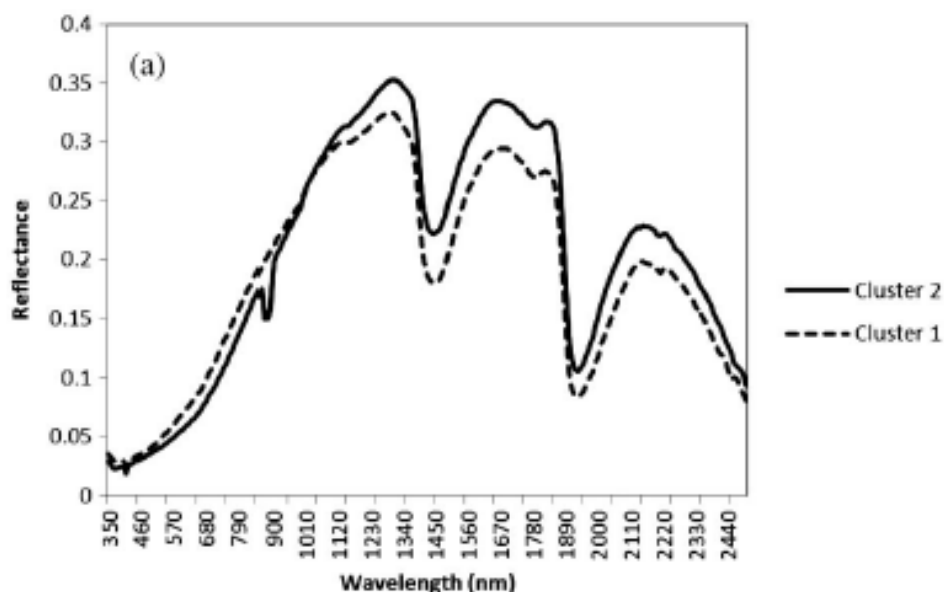
Βάση του πρωτοκόλλου αυτού χρησιμοποιήθηκε σκοτεινός θάλαμος ο οποίος αποτελεί ένα κλειστό κύκλωμα χωρίς εισροή εξωτερικού φωτισμού. Αντ' αυτού χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός από δύο λυχνίες αλογόνου βολφραμίου στο εσωτερικό του. Οι λυχνίες είναι όμοιες και τοποθετημένες σε καθορισμένη γωνία και απόσταση από τον στόχο. Πριν τις μετρήσεις θα πρέπει να έχουν θερμανθεί για μία ώρα.

Το φασματοφωτόμετρο βρίσκεται στο εσωτερικό του σκοτεινού θαλάμου και συνδέεται μέσω Bluetooth με ένα PDA το οποίο χρησιμοποιείται για να αποθηκεύονται οι μετρήσεις

- ❖ Το δείγμα θα μεταφέρεται στο εργαστήριο σε κλειστό σακουλάκι προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα του κατά την μεταφορά.
- ❖ Στη συνέχεια τοποθετείται σε τριβλίο petri, η επιφάνεια του λειαίνεται και τοποθετείται μέσα στον σκοτεινό θάλαμο προκειμένου να πάρουμε την φασματική του υπογραφή, βάση της ακόλουθης διαδικασίας:

Αρχικά πραγματοποιείται βαθμονόμηση του οργάνου με τη λήψη της φασματικής υπογραφής της λευκής πλάκας και έπειτα γίνεται η μέτρηση του δείγματος. Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται μετά από κάθε πέντε δείγματα.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή δείγματος κομπόστας χωρισμένο σε δύο cluster με τη χρήση της k-means clustering.



Σχήμα 1

### Μετρήσεις Πεδίου

Για τη λήψη φασματικών υπογραφών στο πεδίο χρησιμοποιούνται φορητά φασματοφωτόμετρα τα οποία αξιοποιούν υπο περιοχές του ορατού και του κοντινού υπέρυθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι συσκευές αυτές διασυνδέονται με οποιαδήποτε τυπική συσκευή Android εφοδιασμένη με σύνδεση στο διαδίκτυο, Bluetooth και δέκτη GPS. Αρχικά βαθμονομούνται με τη βοήθεια λευκής επιφάνειας αναφοράς. Στη συνέχεια, και αφού έχει λειανθεί η επιφάνεια μέτρησης με τη βοήθεια σπάτουλας, αποτίθεται το φασματοφωτόμετρο στο δείγμα ώστε να ληφθεί η υπογραφή. Η επιφάνεια μετράται αρκετές φορές και σε διαφορετικά γειτονικά (σχεδόν επαπτομενικά) σημεία. Ο αριθμός των φασματικών υπογραφών που προτείνεται να ληφθεί είναι μεγαλύτερος του 3. Τέλος, η τελική υπογραφή του σημείου δειγματοληψίας προκύπτει ως ο μέσος όρος των υπογραφών που ελήφθησαν. Με τη χρήση της εργαλειοθήκης πεδίου, λαμβάνεται και καταχωρείται η αντίστοιχη τιμή υγρασίας.

### Φασματικές υπογραφές κομπόστας

Η συστηματική ανάλυση των φασματικών υπογραφών της κομπόστας οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Παρατηρείται κορυφή (peak) στο μήκος κύματος των 900nm.
- ❖ Διαφορετικές κλάσεις μεγέθους κομπόστας χαρακτηρίζονται από διαφορετική φασματική υπογραφή. συγκεκριμένα υπάρχει μια άμεση συσχέτιση μεταξύ της τάξης μεγέθους των λιπασμάτων και των τιμών ανάκλασης στην περιοχή της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- ❖ Πιθανά υπολείμματα μπορούν να εντοπιστούν από υψηλές αντανakλάσεις στην περιοχή του μπλε ορατού φάσματος ή του πράσινου.

Η ύπαρξη ισχυρών συσχετίσεων μεταξύ τμημάτων των φασματικών υπογραφών και των φυσικοχημικών παραμέτρων του άνθρακα (C) και του αζώτου (N), αποτέλεσε το εφαλτήριο για το σχηματισμό φασματικών βιβλιοθηκών μεγάλου όγκου δεδομένων. Κάθε καταγραφή της βιβλιοθήκης αποτελείται από τα εξής μέρη:

- ❖ Το πρωτεύον κλειδί, το οποίο είναι και το αναγνωριστικό του δείγματος
- ❖ Τη φασματική υπογραφή για το οπτικό και κοντινό υπέρυθρο εύρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- ❖ Την εργαστηριακή μέτρηση της συγκέντρωσης Αζώτου
- ❖ Την εργαστηριακή μέτρηση της συγκέντρωσης Άνθρακα

Το παραπάνω σχεσιακό σχήμα, αποτελεί και τη βάση για την προσαρμογή εκτιμητικών μοντέλων, ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των ζητούμενων φυσικοχημικών παραμέτρων από δείγματα δια μέσου της φασματικής υπογραφής τους.

Για την εκτίμηση των φυσικοχημικών παραμέτρων της κομπόστας για τον έλεγχο καταλληλότητάς της, απαιτείται ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης N στο φυσικό δείγμα. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, έχει προσαρμόζεται ένα γραμμικό μοντέλο 4ης τάξης σύμφωνα με τους (Mukherjee & Laskar, 2018), όπου μπορεί αν εκτιμηθεί η επί τοις 100% περιεκτικότητα (όγκο κατ' όγκο). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου αυτού είναι οι αντανakλάσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα χαρακτηριστικά μήκη κύματος εντός του ορατού και σχεδόν υπέρυθρου εύρους. Η ακρίβεια του μοντέλου για τις υπογραφές που λαμβάνονται στο πεδίο δύναται να ξεπεράσει το 0,85 (μετρούμενο ως συντελεστής προσδιορισμού R<sup>2</sup>) ενώ για τις αντίστοιχες εργαστηριακές μετρήσεις ο συντελεστής προσδιορισμού ξεπερνά το 0,92.

Παράλληλα, μαζί με το άζωτο, υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ τμήματος των φασματικών υπογραφών της ορατής και κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας με τον ολικό Άνθρακα, και του διαλυμένου Οργανικού Άνθρακα. Η προσαρμογή μοντέλου Παλινδρόμησης Μερικών Ελαχίστων Τετραγώνων (Partial Least Squares Regression – PLSR) για την εκτίμηση της περιεκτικότητας Άνθρακα σε μη μετρημένα δεδομένα, επετεύχθη με υψηλή ακρίβεια λόγω της υψηλής συσχέτισης, δίνοντας συντελεστή προσδιορισμού R<sup>2</sup> ίσο με 0,89.

Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του λόγου C/N. Η σύνθεση των δύο υποδειγμάτων μοντελοποίησης, οδήγησε στο τελικό υπόδειγμα το οποίο με αντίστοιχο συντελεστή προσδιορισμού 0,67 επιτυγχάνει καλή εκτίμηση του ζητούμενου λόγου παραμέτρων.

#### **4. Λειτουργία πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης.**

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της πιλοτικής μονάδας κομποστοποίησης και την ανάπτυξη των παραπάνω υποστηρικτικών εργαλείων, στο Δήμο Νέστου, στο πλαίσιο του προγράμματος “Green Crew” ξεκίνησε η εφαρμογή του σχεδιασμού για την λειτουργία της πιλοτικής μονάδας.

Ο επιλεγμένος χώρος (αγρόκτημα Αγιάσματος), διαμορφώθηκε κατάλληλα από συνεργεία του Δήμου Νέστου με τις κατάλληλες υποδείξεις του αναδόχου.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο παραδοτέο η κομποστοποίηση στο δήμο Νέστου πραγματοποιήθηκε με ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης και συγκεκριμένα σε στατικούς γραμμικούς σωρούς.

Οι γραμμικοί σωροί των αγροτικών υπολειμμάτων προς κομποστοποίηση τοποθετήθηκαν πάνω σε ένα δίκτυο αεριστήρων και διαχείρισης της υγρασίας (εξοπλισμός ο οποίος αγοράστηκε από το Δήμο Νέστου στο πλαίσιο του προγράμματος), οι οποίοι παρείχαν τον απαραίτητο αέρα, είτε με θετική πίεση (παροχή αέρα στο σωρό) είτε με αρνητική πίεση (αναρρόφηση αέρα από το σωρό). Μέσω της απορρόφησης ή εμφύσησης αέρα ελεγχόταν και η θερμοκρασία των σωρών. Εξαιτίας της έλλειψης της διαδικασίας ανάδευσης, και για τη διατήρηση επιθυμητής θερμοκρασίας σε ολόκληρο το σώμα των σωρών, αυτοί σκεπαζόταν εξωτερικά με ένα γεωύφασμα, το οποίο λειτουργούσε θερμομονωτικά.



Αρχικά έγιναν 2 γραμμικοί σωροί με διαστάσεις (Μήκος 50μ X πλάτος 3,5μ X ύψος 1,5 -2μ). Στην συνέχεια εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας των βιοαποβλήτων δημιουργήθηκε ακόμη ένας γραμμικός σωρός.

## **4.1 Στάδια και διαδικασίες κομποστοποίησης**

### **4.1.1. Συλλογή – προεπεξεργασία**

Αρχικά τα βιοαπόβλητα, τα οποία ήταν κλαδέματα από καλλιέργειες και χώρους πρασίνου του Δήμου, συλλεγόταν στο αγρόκτημα του Αγιάσματος, εκεί όπου πραγματοποιήθηκε η κομποστοποίηση, σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των βιοαποβλήτων αποτελούταν κυρίως από κλαδέματα ελαιόδεντρων κι σε μικρότερο ποσοστό από κωνοφόρα, πλατάνια κλπ.

Στην συνέχεια γινόταν η προεπεξεργασία των βιοαποβλήτων δηλαδή κατάλληλος διαχωρισμός τους ώστε να έχουν κοινές φυσικές και χημικές ιδιότητες για τα επόμενα βήματα του σχεδιασμού.

Για να τοποθετηθούν στους σωρούς, μετά τον διαχωρισμό τους ακολουθούσε ο τεμαχισμός τους σε κατάλληλο μέγεθος και η τελική τους ανάμειξη, με την χρήση του μηχανικού κλαδοτεμαχιστή. Το μέγεθος των τεμαχιδίων προς κομποστοποίηση κυμαινόταν από 1,5-7,5 εκατοστά.



**Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):**  
**Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης**



Τα τεμαχισμένα πλέον βιοαπόβλητα τοποθετήθηκαν στο κατάλληλο διαμορφωμένο χώρο, με χρήση μηχανημάτων του Δήμου Νέστου και εκπαιδευμένο προσωπικό του αναδόχου, ώστε να δημιουργηθούν οι γραμμικοί σωροί που είχαν αρχικά σχεδιαστεί. Μετά από κάθε παραλαβή βιοαποβλήτων, αφού γινόταν η κατάλληλη επεξεργασία τους αυτά προσθέτονταν στους γραμμικούς σωρούς μέχρι αυτοί να φράσουν στις τελικές τους διαστάσεις (50μ X 3,5μ X 2μ).







Μέχρι το τέλος του πιλοτικού δημιουργήθηκαν 3 γραμμικοί σωροί οι οποίοι συνεχώς ανανεωνόταν.

#### 4.1.2. Έλεγχος παραμέτρων

Για να επιτευχθεί ο βασικός χαρακτηρισμός των ιδιοτήτων του παραγόμενου κομπόστ αλλά και για να βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι της κομποστοποίησης γινόταν έλεγχος μια σειράς παραμέτρων σύμφωνα με το πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου.

Οι μετρήσεις έγιναν αρχικά τόσο αρχικά στα συλλεχθέντα βιοαπόβλητα μετά τον τεμαχισμό τους όσο κι στην πορεία της διαδικασίας της κομποστοποίησης με λήψη δείγματος από διαφορετικά σημεία των σωρών. Στα συλλεχθέντα βιοαπόβλητα, για να παραμετροποιηθούν οι συνθήκες κατά τη φάση της ζύμωσης και να βελτιστοποιηθούν οι αβιοτικές συνθήκες της (διόρθωση οξύτητας, υγρασίας, θερμοκρασίας και αερισμού) έγινε συστηματική παρακολούθηση μέσω της τηλεδιαγνωστικής εργαλειοθήκης, των αβιοτικών συνθηκών που επικρατούσαν

Οι παράμετροι ελεγχόταν καθ' όλη την διάρκεια της κομποστοποίησης, τόσο στο διαπιστευμένο με ISO 17025 χημικό εργαστήριο του ΔΚΠ όσο και στο πεδίο με μετρήσεις πεδίου με την χρήση της διαγνωστικής εργαλειοθήκης της ΚΟΙΝΣΕΠ.

Εκτενής μελέτη της χημικής σύστασης και άλλων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών αρχικών δειγμάτων βιομάζας και των σχετικών κομπόστ πραγματοποιήθηκε στο χημικό εργαστήριο του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ (εταίρος του προγράμματος Green Crew) στο πλαίσιο του παραδοτέου 4.2.3 του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ

Με χρήση των αντίστοιχων αισθητήρων της εργαλειοθήκης άλλα και με εργαστηριακές αναλύσεις στο εργαστήριο του ΔΚΠ πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες μετρήσεις:

- Μέτρηση pH με φορητό pHμετρο.
- Μέτρηση EC με φορητό αγωγιμόμετρο.
- Μέτρηση έκλυσης CO<sub>2</sub>, με χρήση Dräger Detection Tubes for Carbon Dioxide 0,1%/a.
- Η αναλογία θρεπτικών συστατικών (λόγος C/N)

**Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):****Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης**

- Μέτρηση υγρασίας και θερμοκρασίας κομπόστας με χρήση ψηφιακού αισθητήρας υγρασίας, θερμοκρασίας (Decagon 5TE).
- Λήψη φασματικής υπογραφής κομπόστας με χρήσης κατάλληλου φορητού φασματοφωτόμετρου για συσχέτιση και εξαγωγή ποιοτικών χαρακτηριστικών κομπόστας, με χρήση φασματικών βιβλιοθηκών που έχουν χτιστεί μετά από εργαστηριακές αναλύσεις δειγμάτων κομπόστας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**

| ΕΙΔΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ                                   | ΜΕΘΟΔΟΣ   |  |
|--|---|--|
|  | ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ   | ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ –  |
| Ειδικό βάρος αποβλήτων, υλικού προς κομποστοποίηση | Εργαστηριακή ανάλυση                              | Επί τόπου ζύγισμα  |
| Ποσότητα αποβλήτων /υλικών                         |   | Ζύγισμα  |
| Λόγος C/N  | Εργαστηριακή ανάλυση/<br>Διαγνωστική εργαλειοθήκη |  |
| Αναλογία υλικού δομής στο μίγμα                    | -   | Προσθήκη κατάλληλων υλικών για την επίτευξη σωστής αναλογίας   |
| Όγκος/ μάζα σειραδίου                              | -   | Υπολογισμός όγκου επί τόπου ανάλογα με τις διαστάσεις  |
| Υγρασία μίγματος                                   | Εργαστηριακή ανάλυση/<br>Διαγνωστική εργαλειοθήκη | Μέτρηση επι τόπου  |
| pH μίγματος  | Εργαστηριακή ανάλυση/<br>Διαγνωστική εργαλειοθήκη | Μέτρηση επι τόπου  |
| Προφίλ θερμοκρασίας - χρόνου                       | -   | Μέτρηση θερμοκρασίας με αισθητήρες. Από την έναρξη της κομποστοποίησης μέχρι το στάδιο της ωρίμανσης θα δημιουργηθεί ένα προφίλ θερμοκρασίας χρόνου για κάθε σειράδιο λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις υγειονομοποίησης του υλικού |

**Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):**  
**Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης**

|  |                              |   |
|--|------------------------------|---|
| Δειγματοληψία για έλεγχο τελικού προϊόντος | Δειγματοληψία βάσει προτύπων | Δειγματοληψία από το προσωπικό του αναδόχου |
|--|------------------------------|---|

Η διάρκεια της κομποστοποίησης ήταν 8 μήνες και κατά την διάρκεια του πιλοτικού γινόταν έλεγχος των παραμέτρων της, καθώς κι ρύθμιση αυτών όταν κρινόταν απαραίτητο, από το προσωπικό του αναδόχου με την χρήση όλων των προαναφερόμενων υποστηρικτικών εργαλείων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του έργου. Παρακάτω δίνεται πίνακας με τις παραμέτρους που ελεγχόταν και την συχνότητα των ελέγχων αυτών.

| Παράμετρος                                   | Συχνότητα                                 |
|--|---|
| <b>Εισερχόμενα υλικά προς κομποστοποίηση</b> |   |
| Ποσότητα                                     | Καθημερινά                                |
| Είδος/ Ταυτοποίηση                           | Καθημερινά                                |
| Ποιότητα (Προσμίξεις)                        | καθημερινά                                |
| <b>Διαμόρφωση σειραδίων</b>                  |   |
| Είδος- Μέγεθος σειραδίου                     | Κατά την διαμόρφωση του σωρού             |
| <b>Κομποστοποίηση</b>                        |   |
| Θερμοκρασία σειραδίων (φάση κομποστοποίησης) | Καθημερινά                                |
| Θερμοκρασία σειραδίου (φάση υγειονοποίησης)( | Κατά την αρχική φάση της κομποστοποίησης  |
| Υγρασία σειραδίου                            | Ανά 2-3 ημέρες                            |
| Όγκος σειραδίου                              | εβδομαδιαίως                              |
| <b>Ωρίμανση</b>                              |   |
| Θερμοκρασία σειραδίου                        | Εβδομαδιαίως ή πριν και μετά την ανάδευση |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Υγρασία σειραδίου  |                                     |
| <b>Ραφινάρισμα</b>   |                                     |
| Ποσότητα υπολειμμάτων προς επαναχρησιμοποίηση/ταφή   |                                     |
| <b>Αποθήκευση κομπόστ</b>  |                                     |
| Ποσότητα κομπόστ   | Μετά το τέλος της διαδικασίας       |
| Βασικός έλεγχος κομπόστ<br>Υγρασία<br>Προσμίξεις<br>Οσμή<br>Ομοιογένεια<br>Ύπαρξη μούχλας  | Κάθε 15 ημέρες                      |
| Σταθερότητα κομπόστ  | Κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας |
| Χαρακτηρισμός κομπόστ<br>(Δειγματοληψίες – Αναλύσεις στο διαπιστευμένο εργαστήριο του ΔΚΠ) | Κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας |

#### 4.1.3. Αποτελέσματα μετρήσεων κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης

Πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις (στην αρχή της κομποστοποίησης-και στη διάρκεια της κομποστοποίησης) σε 3 διαφορετικά δείγματα τα οποία πάρθηκαν από διάφορες θέσεις των σειραδίων. Για να υπάρχει σύγκριση των αποτελεσμάτων το βάρος κάθε δείγματος είναι σταθερό στα 300 gr.

##### 1<sup>η</sup>- Αρχή Κομποστοποίησης

| Parameter      | Δείγμα Νο1        | Δείγμα Νο2        | Δείγμα Νο3        |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Θερμοκρασία °C | 22                | 23                | 24                |
| Υγρασία %      | 82                | 85                | 85                |
| Χρώμα/Οσμή     | Ανοιχτό/Δυσάρεστη | Ανοιχτό/Δυσάρεστη | Ανοιχτό/Δυσάρεστη |
| pH             | 8,78              | 8,04              | 8,74              |

**Παραδοτέο 2.3 (Π2.3):**  
**Ενδιάμεση έκθεση αναφοράς για την πιλοτική λειτουργία της ανοιχτής μονάδας κομποστοποίησης**

|            |       |      |      |
|------------|-------|------|------|
| EC (μS/cm) | 1669  | 1777 | 1396 |
| TOC (mg/L) | 1215  | 1384 | 1449 |
| TN (mg/L)  | 59,84 | 66,3 | 70,5 |
| TOC/TN     | 20,3  | 20,8 | 20,5 |

**2<sup>η</sup>-Στάδιο Κομποστοποίησης**

| Parameter      | Δείγμα Νο1      | Δείγμα Νο2      | Δείγμα Νο3      |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Θερμοκρασία °C | 22              | 22              | 23              |
| Υγρασία %      | 72              | 71              | 74              |
| Χρώμα/Οσμή     | Σκούρο/Ουδέτερη | Σκούρο/Ουδέτερη | Σκούρο/Ουδέτερη |
| pH             | 7,98            | 8,22            | 7,63            |
| EC (μS/cm)     | 1576            | 1612            | 1377            |
| TOC (mg/L)     | 1115            | 1282            | 1392            |
| TN (mg/L)      | 61,88           | 71,8            | 88,1            |
| TOC/TN         | 18,0            | 17,8            | 15,8            |

Στο τέλος της κομποστοποίησης θα πραγματοποιηθεί μια τελική μέτρηση στο τελικό παραγόμενο προϊόν (κομπόστ) και θα ακολουθήσει πιλοτική εφαρμογή του παραγόμενου προϊόντος σε 2 τύπους εδαφών και καλλιεργειών, καθώς και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και της απόδοσης της εφαρμογής του τόσο στο εργαστήριο όσο και επί τόπου με την χρήση της διαγνωστικής εργαλειοθήκης..