

Πρόγραμμα Διασυνοριακής Συνεργασίας Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020 (INTERREG V-A)



Αποκεντρωμένη Διαχείριση Βιοαποβλήτων και Αξιοποίησή τους με Χρήση Εναλλακτικών και Καινοτόμων Συστημάτων Επεξεργασίας (BIOMA)

Η πράξη συγχρηματοδοτείται κατά 85% από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ) και κατά 15% από εθνικούς πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου

Άξονας Προτεραιότητας: Διατήρηση και προστασία του περιβάλλοντος και πρόληψη κινδύνων

Παραδοτέο 5.5.2: Αξιολόγηση στερεού προϊόντος που προέρχεται από αναερόβια χώνευση

ΑΠΡΙΛΙΟΣ, 2020

ΕΤΑΙΡΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΕΡΓΟΥ ΒΙΟΜΑ	
 Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
 ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών	Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης / Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΙΠΤΗΛ)
 CPERI Chemical Process and Energy Resources Institute	Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης / Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ)
 Δήμος Νάξου και Μικρών Κυκλάδων	Δήμος Νάξου και Μικρών Κυκλάδων
 ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	Τμήμα Περιβάλλοντος - Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και περιβάλλοντος
 ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΠΑΛΩΔΙΑΣ THE COMMUNITY COUNCIL OF PALODIA	Κοινότητα Παλώδιας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1	ΠΡΟΟΙΜΙΟ	3
1.2	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	4
2	ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ/ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	5
3	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΒΙΟΜΑ	7
4	ΒΑΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΧΩΝΕΥΜΑΤΟΣ.....	9
5	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΩΣ ΛΙΠΑΣΜΑ Η ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	11
5.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΧΩΝΕΥΜΑΤΟΣ ΩΣ ΛΙΠΑΣΜΑ	11
5.1.1	Στερεό οργανικό λίπασμα	11
5.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΧΩΝΕΥΜΑΤΟΣ ΩΣ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	14
5.2.1	Οργανικό βελτιωτικό εδάφους.....	14
6	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΡΓΟΥ ΒΙΟΜΑ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ ΧΩΝΕΥΜΑΤΟΣ.....	16
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	6
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΧΟΙΡΩΝ.....	8
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	9
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ	10
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΈΞΟΔΟΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ	11
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – DARK FERMENTATION REACTOR T200.....	12
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – UF PERMEATE.....	13
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ	15
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – COMPOST.....	16
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – SBR.....	17
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΒΙΟΑΕΡΙΟ	18

1 Εισαγωγή

1.1 Προοίμιο

Το παρόν έγγραφο αποτελεί μέρος των παραδοτέων του Πακέτου Εργασίας (ΠΕ) 5 της πράξης BIOMA, η οποία αποτελεί μέρος του Διασυνοριακού Προγράμματος Συνεργασίας (ΠΣ) Interreg V-A «Ελλάδα – Κύπρος 2014-2020» (Κωδικός CCI 2014TC16RFCB055), που εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 27.07.2015 με την εκτελεστική απόφαση C(2015) 5319. Το ΠΕ5 αποτελεί την πέμπτη και τελευταία κατά σειρά ενότητα εργασίας που θα εξυπηρετήσουν όλες μαζί στην κάλυψη των αναγκών για τη διαμόρφωση μιας βιώσιμης προσέγγισης αναφορικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε αποκεντρωμένες περιοχές.

Βασικός σκοπός του έργου BIOMA είναι η διαχείριση των βιοαποβλήτων σε αποκεντρωμένες περιοχές μέσω καινοτόμων τεχνολογιών προς μια κατεύθυνση παραγωγής προϊόντων προστιθέμενης αξίας και μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία. Σημείο αναφοράς στην εν λόγω προσπάθεια είναι η διασυνοριακή συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων καθώς και η ανάδειξη των δημοτών ως αναπόσπαστο μέρος της διαχειριστικής αλυσίδας των παραγόμενων αποβλήτων.

Η επιλεγείσα περιοχή στην Κύπρο για την ανάπτυξη και εφαρμογή του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των βιοαποβλήτων, είναι η Κοινότητα της Παλώδιας. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η μέθοδος της οικιακής ξήρανσης των παραγόμενων βιοαποβλήτων σε συνδυασμό με γεωργικά υπολείμματα και κατόπιν διαχείρισης τους σε μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Το προτεινόμενο έργο αποτελεί μία καινοτομία προσαρμοσμένη στα ελληνικά δεδομένα όπου υπάρχει πληθώρα απομακρυσμένων και αποκεντρωμένων περιοχών με σαφείς ελλείψεις στον τομέα της ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων.

1.2 Αντικείμενο

Το παρόν έγγραφο αποτελεί το Παραδοτέο Γ της Σύμβασης ΤΠ 18/2018, που έχει ως αντικείμενο την παροχή υπηρεσιών για την αξιολόγηση του διαχειριστικού συστήματος βιοαποβλήτων και γεωργικών υπολειμμάτων που έχει θα εφαρμοστεί στην Κοινότητα Παλώδιας καθώς και την ανάπτυξη οδηγών καλής χρήσης του χωνεύματος που προκύπτει από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

Το περιεχόμενο του Παραδοτέου Γ αφορά στη μελέτη αξιολόγησης του στερεού προϊόντος που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση βιοαποβλήτων και ζωικών υποπροϊόντων στο πλαίσιο εφαρμογής του Έργου BIOMA, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστήριο του ΤΕΠΑΚ, μετά από τις δειγματοληψίες που διεξήγαγε το Τμήμα Περιβάλλοντος. Ειδικότερα, το προσωπικό του Τμήματος Περιβάλλοντος επισκεπτόταν σε τακτική βάση (περίπου μια φορά την εβδομάδα) την πιλοτική μονάδα η οποία βρίσκεται εγκατεστημένη στην περιοχή Μοναγρουλίου και πραγματοποιούσε όλες τις απαραίτητες δειγματοληψίες καθώς και τις επιτόπου μετρήσεις που χρειάζονταν για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης. Τα δείγματα συλλέγονταν από το Τμήμα Περιβάλλοντος και μεταφέρονταν στα εργαστήρια του ΤΕΠΑΚ, το οποίο εν συνεχεία πραγματοποιούσε τις εξειδικευμένες (εργαστηριακές) αναλύσεις.

2 Χρήσιμοι ορισμοί/ Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Ενέργεια από Ανανεώσιμες πηγές: η ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές ήτοι αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέρια (οδηγία 28/2009/ΕΚ).

Βιομάζα: το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων (οδηγία 28/2009/ΕΚ).

Βιοαέριο: Καύσιμο αέριο που παράγεται από βιομάζα ή/και από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων, το οποίο μπορεί να καθαριστεί και να αναβαθμιστεί σε ποιότητα φυσικού αερίου, για χρήση ως βιοκαύσιμο, ή ξυλαέριο (οδηγία 28/2009/ΕΚ).

Πρώτες ύλες για παραγωγή βιοαερίου:

α) Αστικά οργανικά απόβλητα, ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο

β) Υγρή ζωική κοπριά, ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο

γ) Ξηρή ζωική κοπριά, ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο

(οδηγία 28/2009/ΕΚ).

Βιολογικά απόβλητα: Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρειών από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων (οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Ζωικά υποπροϊόντα: Στον παρόντα κώδικα, ως ζωικά υποπροϊόντα χαρακτηρίζονται ο κόπρος και το περιεχόμενο του πεπτικού συστήματος τα οποία ανήκουν στην κατηγορία 2 του Κανονισμού (ΕΚ) 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.

Πλεονεκτήματα παραγωγής βιοαερίου: Χρήση γεωργικών υλικών, όπως η στερεή και η υγρή κοπριά, καθώς και άλλων αποβλήτων ζωικής ή οργανικής προέλευσης για την παραγωγή βιοαερίου προσφέρει, λόγω των σημαντικών δυνατοτήτων περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ουσιαστικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα τόσο για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού όσο και για την παραγωγή βιοκαυσίμων (οδηγία 28/2009/ΕΚ).

Υποπροϊόντα: Μια ουσία ή αντικείμενο που προκύπτει από μία διαδικασία παραγωγής, πρωταρχικός σκοπός της οποίας δεν είναι η παραγωγή αυτού του στοιχείου, μπορεί να θεωρείται ότι δεν συνιστά απόβλητο αλλά υποπροϊόν όπως αναφέρεται στο άρθρο 3, σημείο 1) της οδηγίας 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών).

Τελικό στερεό προϊόν: Το προϊόν της διεργασίας κομποστοποίησης του στερεού χωνεύματος που παράχθηκε κατά την αναερόβια ζύμωση των βιοαποβλήτων και των γεωργικών κλαδεμάτων που συλλέχθηκαν από την Κοινότητα Παλώδιας στο πλαίσιο του Έργου BIOMA.

3 Συνοπτική περιγραφή της διεργασίας διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων στο πλαίσιο του BIOMA

Ο κύριος στόχος της καινοτόμου πιλοτικής μονάδας που αξιοποιείται στο πλαίσιο του Έργου BIOMA είναι η ολοκληρωμένη διαχείριση κτηνοτροφικών και άλλων οργανικών αποβλήτων, με σκοπό την ανάκτηση υλικών και ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, η πιλοτική μονάδα σχεδιάστηκε, επανεγκαταστάθηκε και λειτουργεί στους χώρους της εταιρείας Armenis Biogas LTD, που βρίσκεται στο χωριό Μοναγρούλη της επαρχίας Λεμεσού. Η μονάδα είναι σχεδιασμένη για να επεξεργάζεται περίπου 90-100 m³ ανά έτος οργανικού αποβλήτου.

Η πρότυπη μονάδα που αναπτύχθηκε, αποτελείται από πέντε (5) κύρια τμήματα, τα οποία είναι:

- Μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης (AD) για την επεξεργασία οργανικού αποβλήτου προς παραγωγή βιοαερίου,
- Αερόβιος Αντιδραστήρας τύπου SBR (sequencing batch reactor) για την περαιτέρω επεξεργασία του υγρού μέρους του επεξεργασμένου αποβλήτου που προκύπτει από τον Αναερόβιο Αντιδραστήρα, με σκοπό την παραγωγή υψηλής ποιότητας νερού το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές,
- Μονάδα Κρυστάλλωσης (struvite crystallization reactor - SCR) για την ανάκτηση φωσφόρου από το υγρό επεξεργασμένο απόβλητο που προκύπτει από τον Αναερόβιο Αντιδραστήρα,
- Μονάδα Κομποστοποίησης για την συν-επεξεργασία (μαζί με άλλα ρεύματα όπως π.χ., κλαδέματα) του στερεού χωνεύματος που προκύπτει από τον Αναερόβιο Αντιδραστήρα, με σκοπό την παραγωγή υψηλής ποιότητας κόμποστ, και
- Το Σύστημα Απόσμησης για την εξάλειψη των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) που προκύπτουν από τις ανωτέρω διεργασίες, καθώς και το Σύστημα Καθαρισμού του βιοαερίου (εξάλειψη H₂S και NH₃).

Η διεργασία που σχεδιάστηκε για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων που συλλέγονται στο πλαίσιο του έργου BIOMA αρχίζει με την εισαγωγή των ρευστών αποβλήτων σε δεξαμενή ανάμειξης. Στη συνέχεια, το μίγμα τροφοδοτείται σε αναερόβιο αντιδραστήρα (AD) με χρόνο περίπου 28 ημέρες. Το χωνευμένο μίγμα περνά ακολούθως από σύστημα διαχωρισμού (σακκόφιλτρα), όπου διαχωρίζεται το στερεό από το υγρό μέρος. Το στερεό μέρος (στερεό χώνευμα) μεταφέρεται σε κομποστοποιητή, όπου αναμειγνύεται με πράσινα απόβλητα (κλαδέματα), σε αναλογία 1:10 (χώνευμα/πράσινα). Το υγρό μέρος που προκύπτει από τον αναερόβιο αντιδραστήρα περνά από σύστημα υπερδιήθησης (ultra-filtration) και στην συνέχεια οδηγείται είτε στον αερόβιο αντιδραστήρα (SBR) για παραγωγή καθαρού νερού, είτε στη Μονάδα Κρυστάλλωσης (SCR) για παραγωγή Στρουβίτη (οργανικό λίπασμα). Το πλεόνασμα λάσπης που παράγεται από τους Αντιδραστήρες (AD, SBR) τροφοδοτείται στον κομποστοποιητή. Οι εκπομπές αερίων που προκύπτουν από όλα τα τμήματα της πιλοτικής μονάδας, τροφοδοτούνται σε Σύστημα Απόσμησης (biotrickling filter), όπου και εξαλείφονται. Το βιοαέριο που προκύπτει από τον Αναερόβιο Αντιδραστήρα περνά από βιοφίλτρο για εξάλειψη του H_2S και της NH_3 .

4 Βασικά κριτήρια αξιοποίησης στερεού χωνεύματος

Τα βασικά κριτήρια περαιτέρω αξιοποίησης του στερεού χωνεύματος που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση είναι τα ακόλουθα:

1) Η περιεκτικότητα του χωνεύματος σε:

α) μακροσκοπικές προσμίξεις μεγέθους άνω των 2 mm σε ποσότητα όχι μεγαλύτερη από 3 g/kg ξηράς ουσίας σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες μορφές: γυαλί, μέταλλο ή πλαστικό, και

β) ποσότητα όχι μεγαλύτερη από 5 g/kg ξηράς ουσίας του συνολικού αθροίσματος των μακροσκοπικών προσμίξεων που αναφέρονται στο στοιχείο α).

Από τις 16 Ιουλίου 2026, η παρουσία πλαστικού μεγέθους άνω των 2 mm εντός των μέγιστων οριακών τιμών που αναφέρονται στο στοιχείο α) είναι σε ποσότητα όχι μεγαλύτερη από 2,5 g/kg ξηράς ουσίας. Έως τις 16 Ιουλίου 2029 η οριακή τιμή των 2,5 g/kg ξηράς ουσίας για πλαστικό μεγέθους άνω των 2 mm επανεξετάζεται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η πρόοδος που θα έχει επιτευχθεί στον τομέα της χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων [Κανονισμός (ΕΕ) 2019/1009 ΕΕ].

2) Το υπολειμματικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου, το οποίο ορίζεται ως η ένδειξη του αερίου που εκλύεται από χώνευμα σε περίοδο 28 ημερών, συγκρινόμενου με τα πτητικά στερεά που περιέχονται στο δείγμα. Η δοκιμή εκτελείται εις τριπλούν και χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων για να αποδειχθεί η συμμόρφωση με το κριτήριο. Τα πτητικά στερεά είναι εκείνα τα στερεά σε ένα δείγμα υλικού που χάνονται μετά την ανάφλεξη των ξηρών στερεών σε θερμοκρασία 550 °C. (όπως αυτά ορίζονται από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/1009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Ιουνίου 2019 για τη θέσπιση κανόνων σχετικά με τη διάθεση προϊόντων λίπανσης της ΕΕ στην αγορά και για την τροποποίηση των

κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 και (ΕΚ) αριθ. 1107/2009 και την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2003/2003).

— Κριτήριο: 0,25 l βιοαερίου/g πτητικών στερεών το μέγιστο.

5 Χαρακτηρισμός υλικού που προέρχεται από αναερόβια χώνευση ως λίπασμα ή βελτιωτικό εδάφους

Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2019/1009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Ιουνίου 2019 για τη θέσπιση κανόνων σχετικά με τη διάθεση προϊόντων λίπανσης της ΕΕ στην αγορά και για την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 και (ΕΚ) αριθ. 1107/2009 και την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2003/2003, παρέχει το νομοθετικό πλαίσιο και τα κριτήρια βάσει των οποίων τα υλικά που αποτελούν απόβλητα (όπως ορίζονται στην οδηγία 2008/98/ΕΚ), μπορεί να πάψουν να είναι απόβλητα εφόσον συμμορφώνονται με το νομοθετικό πλαίσιο των προϊόντων λίπανσης της Ε.Ε.. Έτσι, ένα εγκεκριμένο προϊόν λίπανσης με σήμανση CE, επιτρέπεται να περιέχει χώνευμα, το οποίο προέρχεται από αναερόβια χώνευση:

α) βιολογικών αποβλήτων προερχόμενα από χωριστή συλλογή βιολογικών αποβλήτων στην πηγή

β) ζωικών υποπροϊόντων

Ως εκ τούτου, το στερεό χώνευμα δύναται να χαρακτηριστεί ως λίπασμα ή βελτιωτικό εδάφους, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια αξιολόγησης που έχουν θεσπιστεί από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο.

5.1 Χαρακτηρισμός χωνεύματος ως λίπασμα

Ως λίπασμα ορίζεται ένα προϊόν λίπανσης με σήμανση CE που αποσκοπεί στην παροχή θρεπτικών συστατικών στα φυτά.

5.1.1 Στερεό οργανικό λίπασμα

Τα στερεά οργανικά λιπάσματα αποτελούν υποκατηγορία των λιπασμάτων και πιο συγκεκριμένα των οργανικών λιπασμάτων όπως ορίζονται από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/1009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. Το στερεό χώνευμα που προκύπτει από το έργο BIOMA, λόγω της φύσης και του οργανικού περιεχομένου

δύναται να αξιολογηθεί βάσει των κριτηρίων που δίδονται για τα στερεά οργανικά λιπάσματα.

Ένα στερεό οργανικό λίπασμα πρέπει να περιέχει:

- Οργανικό άνθρακα (C_{org}) αποκλειστικά βιολογικής προέλευσης, σε περιεκτικότητα τουλάχιστον 15 % κατά μάζα.
- Θρεπτικά συστατικά αποκλειστικά βιολογικής προέλευσης, με παρουσία τουλάχιστον ενός από τα δηλούμενα στην καθοριζόμενη ελάχιστη ποσότητα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Ελάχιστη περιεκτικότητα θρεπτικών συστατικών σε στερεά οργανικά λιπάσματα

Θρεπτικό συστατικό	Ελάχιστη ποσότητα
ολικό άζωτο (N)	2,5 % κατά μάζα
ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (P_2O_5)	2 % κατά μάζα
ολικό οξείδιο του καλίου (K_2O)	2 % κατά μάζα

Εφόσον το στερεό οργανικό λίπασμα περιέχει περισσότερα από ένα δηλωθέντα κύρια θρεπτικά στοιχεία, οι εν λόγω περιεκτικότητες του θρεπτικού στοιχείου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Ελάχιστη περιεκτικότητα θρεπτικών συστατικών σε στερεά οργανικά λιπάσματα, σε περίπτωση που σε αυτό περιέχονται πέραν του 1 συστατικού σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από αυτή που φαίνεται στον Πίνακα 1.

Θρεπτικό συστατικό	Ελάχιστη ποσότητα
ολικό άζωτο (N)	1 % κατά μάζα,
ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (P_2O_5)	1 % κατά μάζα
ολικό οξείδιο του καλίου (K_2O)	1 % κατά μάζα

και το άθροισμα αυτών τουλάχιστον 4% κατά μάζα

- Επίσης ένα στερεό οργανικό λίπασμα μπορεί να περιέχει τύρφη, λεοναρδίτη και λιγνίτη, όχι όμως άλλα απολιθωμένα ή ενσωματωμένα σε γεωλογικούς σχηματισμούς υλικά.
- Σε ένα στερεό οργανικό λίπασμα οι επιμολυντές δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις οριακές τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Οριακές τιμές συγκέντρωσης επιμολυντών σε στερεά οργανικά λιπάσματα

Επιμολυντές	Οριακή τιμή
Κάδμιο (Cd)	1,5 mg/kg ξηράς ουσίας,
Εξασθενές χρώμιο (Cr VI)	2 mg/kg ξηράς ουσίας,
Υδράργυρος (Hg)	1 mg/kg ξηράς ουσίας,
Νικέλιο (Ni)	50 mg/kg ξηράς ουσίας,
Μόλυβδος (Pb)	120 mg/kg ξηράς ουσίας,
Ανόργανο αρσενικό (As)	40mg/kg ξηράς ουσίας
Διουρία (C ₂ H ₅ N ₃ O ₂)	0

- Επίσης, η περιεκτικότητα σε χαλκό (Cu) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 300mg/kg ξηράς ουσίας και η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο (Zn) τα 800 mg/kg ξηράς ουσίας.
- Τέλος, δεν θα πρέπει να ανευρίσκονται παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως η *Salmonella* spp. σε δείγμα βάρους 25 g.και κανένας από τους δύο παρακάτω τύπους βακτηρίων σε συγκέντρωση μεγαλύτερη των 1000 CFU/g νωπού βάρους:

α) *Escherichia coli* ή

β) Enterococcaceae.

Αυτό αποδεικνύεται με μέτρηση της παρουσίας τουλάχιστον ενός από αυτούς τους δύο τύπους βακτηρίων.

- Ένα στερεό οργανικό λίπασμα περιέχει τουλάχιστον 40 % ξηρά ουσία κατά μάζα και είναι σε στερεή μορφή.

5.2 Χαρακτηρισμός χωνεύματος ως βελτιωτικό εδάφους

Ως βελτιωτικό εδάφους ορίζεται το προϊόν λίπανσης με σήμανση CE, που προορίζεται να εναποτεθεί στο έδαφος με στόχο τη διατήρηση, τη βελτίωση ή την προστασία των φυσικών ή χημικών ιδιοτήτων, της δομής ή της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους στο οποίο εναποτίθεται.

5.2.1 Οργανικό βελτιωτικό εδάφους

Τα οργανικά βελτιωτικά εδάφους αποτελούν υποκατηγορία των βελτιωτικών εδάφους όπως ορίζονται από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/1009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. Το στερεό χώνευμα που προκύπτει από το έργο BIOMA, λόγω της φύσης και του οργανικού περιεχομένου δύναται να αξιολογηθεί βάσει των κριτηρίων που δίδονται για τα οργανικά βελτιωτικά εδάφους.

Το οργανικό βελτιωτικό εδάφους αποτελείται από τουλάχιστον 95% υλικά βιολογικής προέλευσης. Μπορεί να περιέχει τύρφη, λεοναρδίτη και λιγνίτη όχι όμως άλλα απολιθωμένα ή ενσωματωμένα σε γεωλογικούς σχηματισμούς υλικά.

- Σε ένα οργανικό βελτιωτικό εδάφους οι επιμολυντές δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις οριακές τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Οριακές τιμές συγκέντρωσης επιμολυντών σε οργανικά βελτιωτικά εδάφους

Επιμολυντές	Οριακή τιμή
Κάδμιο (Cd)	2 mg/kg ξηράς ουσίας,
Εξασθενές χρώμιο (Cr VI)	2 mg/kg ξηράς ουσίας,
Υδράργυρος (Hg)	1 mg/kg ξηράς ουσίας,
Νικέλιο (Ni)	50 mg/kg ξηράς ουσίας,
Μόλυβδος (Pb)	120 mg/kg ξηράς ουσίας,
Ανόργανο αρσενικό (As)	40mg/kg ξηράς ουσίας

- Η περιεκτικότητα σε χαλκό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 300mg/kg ξηράς ουσίας και η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο (Zn) τα 800 mg/kg ξηράς ουσίας.
- Επίσης, δεν θα πρέπει να ανευρίσκονται παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως η *Salmonella* spp. σε δείγμα βάρους 25 g. και κανένας από τους δύο παρακάτω τύπους βακτηρίων σε συγκέντρωση μεγαλύτερη των 1000 CFU/g νωπού βάρους:

α) *Escherichia coli* ή

β) Enterococcaceae.

- Τέλος, θα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 20% ξηρά ουσία και η περιεκτικότητά του σε οργανικό άνθρακα (C_{org}) να είναι τουλάχιστον 7,5% κατά μάζα.

6 Αναλύσεις έργου BIOMA - Αξιολόγηση στερεού χωνεύματος

Στο πλαίσιο του έργου BIOMA, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες και χημικές αναλύσεις σε διάφορες χρονικές περιόδους και στάδια της διεργασίας της αναερόβιας ζύμωσης των αποβλήτων. Οι ημερομηνίες των δειγματοληψιών καθώς επίσης και τα στάδια της διεργασίας από τα οποία λήφθηκαν τα δείγματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται εκτενώς στο Παράρτημα Α του παρόντος εγγράφου.

Πίνακας 5: Πρόγραμμα δειγματοληψιών στο πλαίσιο του έργου BIOMA

Ημερομηνία Δειγματοληψίας	Είδος δείγματος/Στάδιο διεργασίας
25/10/2019	• Απόβλητα από την εκτροφή χοίρων • Δεξαμενές ανάμειξης αποβλήτων • Περιεχόμενο αναερόβιων αντιδραστήρων • Έξοδος αναερόβιων αντιδραστήρων
15/11/2019	• Dark Fermentation Reactor T200 • UF permeate
25/11/2019	• Dark Fermentation Reactor T200 • UF permeate
16/12/2019	• Απόβλητα από την εκτροφή χοίρων • Αναερόβιος αντιδραστήρας • UF permeate • Compost
06/02/2020	• Απόβλητα από την εκτροφή χοίρων • Αναερόβιος αντιδραστήρας • UF permeate • Compost • SBR

Ημερομηνία Δειγματοληψίας	Είδος δείγματος/Στάδιο διεργασίας
20/02/2020	• Βιοαέριο
24/02/2020	• Μείγμα ανεπεξέργαστων αποβλήτων • Αναερόβιος αντιδραστήρας • UF permeate • Compost • SBR
09/03/2020	• Μείγμα ανεπεξέργαστων αποβλήτων • Αναερόβιος αντιδραστήρας • UF permeate • Compost • SBR
16/03/2020	• Μείγμα ανεπεξέργαστων αποβλήτων • Αναερόβιος αντιδραστήρας • UF permeate • Compost • SBR
23/03/2020	• Μείγμα ανεπεξέργαστων αποβλήτων • Αναερόβιος αντιδραστήρας • UF permeate • Compost • SBR
23/03/2020	• Βιοαέριο

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από προσωπικό του Τμήματος Περιβάλλοντος, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο Δειγματοληψίας που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της εν λόγω Σύμβασης: Τ.Π. 18/2018. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από προσωπικό του ΤΕΠΑΚ, σε εργαστήριο του ιδρύματος.

Αναφορικά με το στερεό χώνευμα από την αναερόβια ζύμωση, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελεί προϊόν βιολογικής επεξεργασίας των ακόλουθων ρευμάτων αποβλήτων:

- Ξηρή βιομάζα, που αποτελεί το υλικό που συλλέχθηκε από τα διάφορα νοικοκυριά της Κοινότητας Παλώδιας, στο πλαίσιο του έργου BIOMA
- Κόπρος (περιττώματα και/ή ούρα εκτρεφόμενων ζώων) που προέρχεται από την εκτροφή χοίρων και πουλερικών
- Υγρά απόβλητα που προέρχονται από την παραγωγή τυροκομικών προϊόντων

Το στερεό προϊόν που προκύπτει από την κομποστοποίηση του στερεού χωνεύματος από την αναερόβια ζύμωση και ποσότητας κλαδεμάτων, αποτελεί το τελικό στερεό προϊόν της διεργασίας και ως εκ τούτου και το κύριο αντικείμενο της αξιολόγησης.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων καταδεικνύει ότι δεν μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με το αν το τελικό στερεό προϊόν που έχει προκύψει από τη διεργασία επεξεργασίας των βιοαποβλήτων στο πλαίσιο της εφαρμογής του έργου BIOMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως λίπασμα, είτε ως εδαφοβελτιωτικό. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας δυο κυρίως λόγων:

- 1) Πρώτον, κάποιες από τις βασικές ποιοτικές παραμέτρους του τελικού στερεού προϊόντος (π.χ. ολικό άζωτο, ολικά στερεά) βρέθηκε να είναι σε ορισμένες περιπτώσεις εκτός των ορίων που τίθενται στη σχετική ευρωπαϊκή νομοθεσία.
- 2) Δεύτερον, δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθεί ποσοτική ανάλυση για όλες τις παραμέτρους που προβλέπονται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία, έτσι όπως παρουσιάζονται στο Κεφ. 4 του παρόντος εγγράφου και ως εκ τούτου να καταστεί εφικτή μια συνολική αξιολόγηση.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται μια αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων από τις χημικές αναλύσεις στο τελικό στερεό προϊόν σε σχέση με τα σχετικά όρια για ταξινόμηση ενός υλικού ως στερεό οργανικό λίπασμα ή οργανικό βελτιωτικό εδάφους.

Πίνακας 6: Σύγκριση τελικού στερεού προϊόντος και ορίων νομοθεσίας για

ταξινόμηση ως στερεό οργανικό λίπασμα ή ως οργανικό βελτιωτικό εδάφους

Παράμετρος	Αποτελέσματα από χημικές αναλύσεις τελικού στερεού προϊόντος	Όριο ταξινόμησης στερεού χωνεύματος ως στερεό οργανικό λίπασμα	Όριο ταξινόμησης στερεού χωνεύματος ως οργανικό βελτιωτικό εδάφους
Ξηρά ουσία (% κ.μ)	22,05 – 33,05	≥40	≥20
Οργανικός άνθρακας (% κ.μ)	17,94 – 35,44	≥15	≥7,5
Ολικό άζωτο (% κ.μ)	0,49 – 0,97	≥2,5	-
Ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (% κ.μ)	/	≥2	-
Ολικό οξείδιο του καλίου (% κ.μ)	/	≥2	-
Κάδμιο (mg/kg)	0,06	≤1,5	≤2
Εξασθενές χρώμιο (mg/kg)	1,66	≤2	≤2
Υδράργυρος (mg/kg)	0,84	≤1	≤1
Νικέλιο (mg/kg)	2,01	≤50	≤50
Μόλυβδος (mg/kg)	0,24	≤120	≤120
Αρσενικό (mg/kg)	/	≤40	≤40
Χαλκός (mg/kg)	16,5	≤300	≤300
Ψευδάργυρος (mg/kg)	43	≤800	≤800
Salmonella spp. (σε 25 γρ. προϊόντος)	/	0	0
Escherichia coli (cfu/g)	/	≤1000	≤1000
Enterococcaceae (cfu/g)	/	≤1000	≤1000

Λαμβάνοντας υπόψη τα όρια ταξινόμησης για στερεό οργανικό λίπασμα ή οργανικό βελτιωτικό εδάφους, όπως αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2, παρατηρούνται τα ακόλουθα:

- 1) Το ποσοστό του οργανικού άνθρακα στο τελικό στερεό προϊόν είναι αρκετά υψηλό (17,94 – 35,44 % κ.μ.), ώστε αυτό να μπορεί να ταξινομηθεί τόσο ως λίπασμα, όσο και ως βελτιωτικό εδάφους.
- 2) Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων κάδμιο (Cd), εξασθενές χρώμιο (Cr VI), υδράργυρος (Hg), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb), χαλκός (Cu) και ψευδάργυρος (Zn) κινήθηκαν σε επίπεδα κάτω των προκαθορισμένων ορίων. Ως εκ τούτου, το στερεό χώνευμα δύναται να υπαχθεί και στις κατηγορίες προϊόντων λίπανσης.
- 3) Το ποσοστό του ολικού αζώτου, το οποίο αποτελεί κριτήριο για την κατηγοριοποίηση του στερεού χωνεύματος ως στερεό οργανικό λίπασμα, κινείται σε χαμηλά επίπεδα (0,49 – 0,97 % κ.μ.). Λαμβάνοντας υπόψη το όριο του 2,5% κ.μ. ολικού αζώτου λόγω της απουσία ανάλυσης για τα άλλα δύο σημαντικά μακροστοιχεία (φώσφορο και κάλιο), το υπό μελέτη στερεό χώνευμα δεν μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία του στερεού οργανικού λιπάσματος.
- 4) Το ποσοστό της ξηράς ουσίας στο τελικό στερεό προϊόν κινείται μεταξύ 22,05 και 33,05% κ.μ. και δεν ικανοποιεί την συνθήκη του ορίου του 40% κ.μ. για την ένταξη του στην κατηγορία του στερεού οργανικού λιπάσματος. Αντίθετα, το προαναφερθέν εύρος τιμών της ξηράς ουσίας του στερεού χωνεύματος υπερκαλύπτει το όριο του 20% για το χαρακτηρισμό του ως οργανικό βελτιωτικό εδάφους.

Βάσει των ανωτέρω στοιχείων ανάλυσης, προκύπτει το γεγονός ότι το τελικό στερεό προϊόν που προέρχεται από τη διεργασία στο πλαίσιο του BIOMA, θα μπορούσε υπό συνθήκες να χαρακτηριστεί ως οργανικό βελτιωτικό εδάφους. Σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι προς αυτή την κατεύθυνση, είναι η περαιτέρω και πιο λεπτομερή ανάλυση του προϊόντος λαμβάνοντας υπόψη

στοιχεία ανάλυσης όπως η συγκέντρωση των υπολοίπων βαρέων μετάλλων και το μικροβιακό φορτίο αυτού, ώστε να διασφαλιστεί η τήρηση των ορίων τους, όπως αυτά ορίζονται από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/1009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Ιουνίου 2019 για τη θέσπιση κανόνων σχετικά με τη διάθεση προϊόντων λίπανσης της ΕΕ στην αγορά και για την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 και (ΕΚ) αριθ. 1107/2009 και την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2003/2003. Η τήρηση των κριτηρίων δύναται να εξασφαλίσει την απρόσκοπτη και κυρίως ασφαλής εφαρμογή από τον τελικό χρήστη, χωρίς επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης αξιοποιούν ποικιλία πρώτων υλών, οι οποίες παρουσιάζουν τεράστια ποικιλομορφία ως προς τη σύνθεση τους. Αναπόφευκτα, η ποιότητα και σύσταση του τελικού προϊόντος που προκύπτει, είναι άμεσα συνυφασμένες με τις πρώτες ύλες που αξιοποιούνται για το σκοπό αυτό. Πολυάριθμές μελέτες συνηγορούν στο ανωτέρω συμπέρασμα, οι οποίες καταδεικνύουν την παραλλακτικότητα των βιοχημικών ιδιοτήτων που μπορεί να χαρακτηρίζουν χωνεύματα διαφόρων πρώτων υλών. Στοιχεία όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η ξηρά ουσία, η περιεκτικότητα σε μακροστοιχεία (άζωτο, φώσφορο και κάλιο), το μικροβιακό φορτίο, η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, η αναλογία κυτταρίνης/ λιγνίνης και η αναλογία άνθρακα/ αζώτου, έχουν μελετηθεί λεπτομερώς και έχει καταδειχθεί η σημαντική συσχέτιση του στερεού χωνεύματος και την χρησιμοποιηθείσα πρώτη ύλη (Svoboda et. al 2013 a,b- Teglia et al. 2011 a,b- Fouda 2011- Moller et al. 2010- Tambone et al. 2009- Nkoa 2014).

Γίνεται επομένως κατανοητό, πως η εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς το παραγόμενο τελικό στερεό προϊόν από μια τέτοια διεργασία δεν θα μπορούσε να αποτελέσει γενικό κανόνα για το σύνολο των μονάδων, λόγω της τεράστιας παραλλακτικότητας που εντοπίζεται στο κομμάτι των υπό αξιοποίηση πρώτων υλών. Για το λόγο αυτό, είναι θεμιτό το τελικό στερεό προϊόν που προκύπτει από

την εκάστοτε μονάδα βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων να αξιολογείται
ξεχωριστά, ώστε να διασφαλίζεται η καταλληλότητα του.

7 Βιβλιογραφία

1. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. (Not in force)
2. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. (Not in force)
3. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.
4. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC
5. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation)
6. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003.
7. Fouda S (2011) Nitrogen availability of biogas residues. Ph.D. thesis, Technische Universitat Munchen
8. Nkoa R. (2014) Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA: 34 (2), pp.473-492. doi: 10.1007/s13593-013-0196-z
9. Möller K, Schulz R, Müller T (2010) Substrate inputs, nutrient flows and nitrogen loss of two centralized biogas plants in southern Germany. Nutr Cycl Agroecosyst 87:307–325. doi:10.1007/s10705-009-9340-1
10. Svoboda N, Taube F, Wienforth B, Kluß C, Kage H, Herrmann A (2013a) Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. Soil Tillage Res 130:69–80. doi:10.1016/j.still.2013.02.006

11. Svoboda N, Taube F, Wienforth B, Kluβ C, Wienforth B, Kage H, Ohl S, Hartung E, Herrmann A (2013b) Crop production for biomass and water protection. A trade-off? Agric Ecosyst Environ 177:36–47. doi:10.1016/j.agee.2013.05.024
12. Teglia C, Tremier A, Martel JL (2011a) Characterization of solid digestates: part 1, review of existing indicators to assess solid digestates agricultural use. Waste Biomass Valor 2:43–58. doi:10.1007/s12649-010-9051-5
13. Teglia C, Tremier A, Martel JL (2011b) Characterization of solid digestates: part 2, assessment of the quality and suitability for composting of six digested products. Waste Biomass Valor 2:113– 126. doi:10.1007/s12649-010-9059-x

Παράρτημα Α1: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων - Απόβλητα από την εκτροφή χοίρων

Ημερομηνία δειγματοληψίας	pH	Cond. (mS/cm)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TS (%)	TVS (%)	TDS (g/L)	COD (mg /L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)
25/10/2019	6,73	12,12			12.08	81.69		191,3 g/L	3040	1022	2730	2190 mg/kg	
16/12/2020	6.78 (19oC)	136	57.5	53.0	8.44	81.41		85600	4800	1220	3976	3500	1060
06/02/2020	7.70 (17oC)	26	28.5	22	5.39	62.55	12.6	58500	5800	1430	3472	3220	1420

Παράρτημα Α2: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων - Δεξαμενές ανάμειξης αποβλήτων

Ημερομηνία δειγματοληψίας 25/10/2019	pH	Cond (mS/cm)	COD (g/kg)	TN(g/kg)	TKN (g/kg)	N-NH (g/kg)	TP (g/kg)	TS (%)	TVS (%)
Δείγμα 1 (Αριστερή δεξαμενή)	5,40 (1:2)	17,13 (1:2)	370	2,8	2,61	2,55	0,83	20.74	89.55
Δείγμα 2 (Δεξιά δεξαμενή)	5,42 (1:2)	16,65 (1:2)	328	3	2,80	1,98	0,88	19.83	89.28

Παράρτημα Α3: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων - Περιεχόμενο αναερόβιων αντιδραστήρων

Ημερομηνία δειγματοληψίας 25/10/2019	pH	Cond (mS/cm)	COD (g/L)	TN (mg/L)	TKN (mg/L)	N-NH (mg/L)	TP (mg/L)	TS (%)	TVS (%)
Αναερόβιος αντιδραστήρας 1 (Λάσπη)	7,98 (1:1)	24,5	17,25	3240	2100	1988	254	2.3	42.69
Αναερόβιος αντιδραστήρας 2 (Λάσπη)	7,69 (1:1)	22,7	14,75	3400	3360	2240	282	2.19	44

Παράρτημα Α4: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων - Έξοδος αναερόβιων αντιδραστήρων

Ημερομηνία δειγματοληψίας 25/10/2019	Total Alkanity (mg/L CaCO ₃)	Volatile Aids (mg/L CaCO ₃)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Αναερόβιος αντιδραστήρας 1 (Υγρό εξόδου)	12740	630	1120	2980	168.5	600	375	1325
Αναερόβιος αντιδραστήρας 2 (Υγρό εξόδου)	12500	870	1075	3130	140	550	275	1400

Παράρτημα Α5: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων – Dark Fermentation Reactor T200

Ημερομηνία δειγματοληψίας	15/11/2019	25/11/2019
pH	8.01	8
Cond (mS/cm)	20	18
COD (mg/L)	18400	17200
TN (mg/L)	2040	2005
TKN (mg/L)	1932	1900
N-NH ₃ , (mg/L)	1764	1698
N-NO ₃ - (mg/L)	32	30
N-NO ₂ - (mg/L)	76	59
Organic Nitrogen (mg/L)	168	161
TP (mg/L)	53	73
P- PO ₄ ³⁺ (mg/L)	33.5	51
TDS (g/L)**	10	10
TSS (mg/L)	3672.7	3592.2
TVSS (mg/L)	2875.2	2836.9
TS (%)	1.07 and 1.1	1.04 and 1.08
TVS (%)	41.92 and 41.67	40.11 and 40.97
Total Alkalinity (mg/L CaCO)	9835	10038
Volatile Acids (mg/L CaCO)	1020	1035
Na ⁺ (mg/L)	1080	1118
K ⁺ (mg/L)	2740	2780
Mg ²⁺ (mg/L)	168	183
Ca ²⁺ (mg/L)	700	912
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	160	181
Cl ⁻ (mg/L)	1440	1520

Παράρτημα Α6: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων – UF permeate

Ημερομηνία δειγματοληψίας	15/11/2019	25/11/2019	16/12/2019	06/02/2020	24/02/2020	09/03/2020	16/03/2020	23/03/2020
pH	8.39	8.39 (23.7)	8.88 (19oC)	8.14 (15oC)	8.65 (18oC)	8.35 (15oC)	8.28 (14oC)	8.23 (13oC)
Conductivity (mS/cm)			20.2	18.9	26.7	27	25.7	22.8
TDS (g/L)			9.70	9.30	11.5	11.9	12	12
TSS (mg/L)			92	222	196	206	178	146
VSS (mg/L)			86	174	124	70	88	128
TS (%)			0.89	1.05	1.01	1.28	1.14	1.1
TVS (%)			18	38.51	16.28	18.24	27.62	32.46
Ca ²⁺ (mg/L)	210	340	340	220	340	335	329	320
Mg ²⁺ (mg/L)	92	179	179	126	164	168	163	160
K ⁺ (mg/L)			990	820	3550		Δεν μετρήθηκε	3410

Ημερομηνία δειγματοληψίας	15/11/2019	25/11/2019	16/12/2019	06/02/2020	24/02/2020	09/03/2020	16/03/2020	23/03/2020
COD (mg/L)	3384		5200	3905	3270	2525	2890	3260
P-PO43- (mg/L)	58	70	68	50	38	39	43	48
TP (mg/L)	59.5		70	58	40	40	44	50
NH3-N (mg/L)			1988	1134	1288	980	1190	1400
TN (mg/L)	2220		2160	2480	2900	2860	2650	2500
TKN (mg/L)				1288	1400	1351	1610	
NH4+ (mg/L)	2000	1960						
Na+ (mg/L)	1080				1380		Δεν μετρήθηκε	1320
SO42- (mg/L)	180			192	120		Δεν μετρήθηκε	110
Cl- (mg/L)					1900		Δεν μετρήθηκε	1800
Total Alkalinity (mg/L) CaCO3					11600		Δεν μετρήθηκε	11200

Παράρτημα Α7: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων – Αναερόβιος αντιδραστήρας

Ημερομηνία δειγματοληψίας	16/12/2020	06/02/2020	24/02/2020	09/03/2020	16/03/2020	23/03/2020
pH	8.27	7.88 (16 °C)	7.76 (11.5 °C)	7.74 (14.5 °C)	7.47	7.37 (17 °C)
Cond (mS/ cm)	25.7	23	27.2	27.8	27.6	27.5
Total Alkalinity mg/L CaCO ₃	6900	7280	8940	14800	14785	14750
Volatile Acids mg/L CaCO ₃	525	2280	870	750	710	675
Volatile Acids Alkalinity mg/L CaCO ₃	350	1520	580	500	470	450
TS (%)	2.19	1.95	3.29	3.47	3.63	3.77
TVS (%)	45.6	48.9	57.1	58.8	60.4	62.6
TSS (g/L)	8.4	6000	13200	22.2	21.1	19
VSS (g/L)	7.2	5100	11900	12.4	15.3	18.4
TDS (g/L)	12.5	11.9	13.5	13.8	13.9	13.9
COD mg/L	26900	21750	29450	30700	31600	32500
TN mg/L	3400	1230	810	810	980	1080
TP mg/L	710	980	750	760	890	1060
N-NH ₃ mg/L	2408	3600	4600	4100	4290	4500
P-PO ₄ - mg/L	515	2156	2072	2716	2950	3080
TKN (mg/L)	3304	1512	1932	1792	1834	1904

Παράρτημα Α8: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων – Compost

Ημερομηνία δειγματοληψίας	16/12/2020	06/02/2020	24/02/2020	09/03/2020	16/03/2020	23/03/2020
pH (2:5)	8.73 (20°C)	8.30 (19.5 °C)	8.35 (21 °C)	7.98 (20 °C)	8.05 (20 °C)	8.15 (20 °C)
Conductivity (2:5) (mS/cm)	2.75	3.9	4.52	5.2	5.29	5.4
Water Content (%)	79.2	203.2	247.28	254.97	261.8	271.2
Bulk Density (g/l)	519.77	328.5	500.6	666.7	999.3	1082.9
Water Retention (%)	139.68	80	76.47	75	101.4	160.1
TN (mg/kg)	9779.76	6779.45 or 6.8 g/kg or 0,68%	4902.87 or 4.9 g/kg or 0,49%	5391.2 or 5.4 g/kg or 0,54%	6337.12 or 6.34 g/kg or 0.63%	7449.33 or 7.45 g/kg or 0.75%
Nitrates (% of TN)	24.95	8.85	10.4	6.9	5.6	1.61
Nitrites (% of TN)	4	17.29	1.36	9.1	7.91	4.83
Sulfates (mg/kg)	720	550	501	680	693	700
TP (mg/kg)	1200	2600 or 2.6 g/kg or 0,26%	2977 or 2.98 g/kg or 0,3%	2700 or 2.7 g/kg or 0,27%	3092.7 or 3.09 g/kg or 0.31%	3653.9 or 3.65 g/kg or 0.37%
Organic Matter (%)	29.87	15.1	17.94	18.68	22.03	35.44
Ash (%)	18.12	2.7	2.8	2.25	3.74	6.37
TS (%)	27.09	33.05	30.2	29.4	27.56	22.05
Moisture (%)	72.91	66.95	69.8	70.6	72.44	77.95

Παράρτημα A9: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων – SBR

Ημερομηνία δειγματοληψίας	06/02/2020	24/02/2020	09/03/2020	23/03/2020
pH	8.76 (15 °C)	8.61 (12 °C)	8.40 (14 °C)	8.43 (16 °C)
Cond (mS/ cm)	18.2	26.9	27	26.3
Dissolved Oxygen (mg/L)	7	4.1	4.5	1.5
SVI (mL/gMLSS)	2.92	0.34	0.25	0.37
sOUR mgO ₂ / g MLVSS hr	2625	372.7	190.1	58.44
TS (%)	0.99	1.11	1.34	1.33
TVS (%)	25.79	18.8	25.1	34.4
TSS (mg/L)	240	880	2800	1900
VSS (mg/L)	160	660	1420	1540
TDS (g/L)	8.7	12.1	12	13
COD mg/L	3880	5550	6050	5130
BOD ₅ mg/L		827	1110	945
TN mg/L	2400	2900	2900	3500
TP mg/L	130	70	90	80
N-NH ₃ mg/L	840	1848	1344	1456
P-PO ₄₃ - mg/L	57.5	68	86	78
TKN (mg/L)	1232	2016	1449	2590
NO ₃ - (mg/L)	575	26	34	40
NO ₂ - (mg/L)	67.5	160	250	365

Παράρτημα Α10: Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων – Βιοαέριο

Ημερομηνία δειγματοληψίας	20/02/2020	23/03/2020
Μεθάνιο (%)	58.5	63.3
Διοξείδιο του άνθρακα (%)	39	35.2
Άζωτο και οξυγόνο (%)	0.1	1.0
Υπόλοιπα (%)	0.5	0.2