

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



**Αποκεντρωμένη διαχείριση των 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 5.1.3 Αξιολόγηση δυνατοτήτων αξιοποίησης των παραγομένων τελικών προϊόντων
από το σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Κοινότητα Παλώδιας, Κύπρος

ΜΑΡΤΙΟΣ, 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 (ΠΙΤΗΛ)
 CPERI Chemical Process and Energy Research 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

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
EXECUTIVE SUMMARY	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΧΩΝΕΥΜΑΤΟΣ.....	14
2.1 Απευθείας διάθεση στο έδαφος.....	15
2.2 Διαχωρισμός φάσεων χωνεύματος.....	24
2.3 Παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας.....	26
2.3.1 Ανάκτηση θρεπτικών	26
2.3.2 Παραγωγή βιο-εξανθρακώματος (biochar).....	36
2.4 Παραγωγή ενέργειας.....	37
2.4.1 Ανακύκλωση χωνεύματος για επιπλέον παραγωγή μεθανίου	37
2.4.2 Παραγωγή βιοαιθανόλης	39
2.4.3 Θερμικές διεργασίες	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	44
3.1 Χρήση βιοαερίου για την παραγωγή θερμότητας από άμεση καύση	46
3.2 Χρήση βιοαερίου για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.....	46
3.3 Χρήση βιοαερίου σε κυψέλες καυσίμου.....	51
3.4 Χρήση βιοαερίου σε μικρο-στροβίλους.....	52
INTERREG V-A, BIOMA, Παραδοτέο 5.1.3	4

3.5 Αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθανίου	53
3.6 Χρήση βιοαερίου σε κινητήρες	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΑΛΩΔΙΑΣ	57
4.1 Εργαστηριακές αναλύσεις και σχολιασμός σύστασης χωνεύματος.....	57
4.2 Επεξεργασία Χωνεύματος	65
4.3 Εναλλακτικές χρήσεις χωνεύματος	72
4.4 Εργαστηριακές Αναλύσεις και σχολιασμός σύστασης βιοαερίου.....	75
4.5 Χρήσεις βιοαερίου.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	78
5.1 Εμπορευσιμότητα χωνεύματος	78
5.2 Εμπορευσιμότητα βιοαερίου.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχηματική σύνοψη των εναλλακτικών τεχνικών για την ανάκτηση θρεπτικών από το χώνευμα.....	27
Σχήμα 2: Χρήσεις βιοαερίου μέσω διαφορετικών τεχνολογιών αξιοποίησης	45
Σχήμα 3: Συσχέτιση των ολικών πτητικών στερεών (TVS), του ολικού αζώτου (TN) και του ολικού φωσφόρου (TP) του χωνεύματος με το υπόστρωμα του αναερόβιου χωνευτήρα.....	64
Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής ολοκληρωμένης μονάδας διαχείρισης βιοαποβλήτων στην κοινότητα Παλώδιας.....	67
Σχήμα 5: Αποτύπωση μονάδων παραγωγής βιοαερίου στα Ευρωπαϊκά κράτη	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μήτρα Καλής Χρήσης Ανανεώσιμων Λιπασμάτων	17
Πίνακας 2: Λειτουργίες προϊόντων λίπανσης και προϋποθέσεις χρήσης.....	19
Πίνακας 3: Σύσταση υγρού και στερεού κλάσματος χωνεύματος σε υγρή βάση.....	26
Πίνακας 4: Ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις στην Ελλάδα για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο προερχόμενο από βιομάζα	49
Πίνακας 5: Ισχύουσες κοινές απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής για το βιομεθάνιο στο σημείο εισόδου στα δίκτυα H και L φυσικού αερίου	54
Πίνακας 6: Απαιτήσεις, οριακές τιμές και συναφείς μέθοδοι δοκιμών για το φυσικό αέριο και το βιομεθάνιο ως καύσιμα αυτοκινήτων με κανονική ποιότητα MN	56
Πίνακας 7: Πλήρης φυσικοχημικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων χωνεύματος του αναερόβιου χωνευτήρα της Κοινότητας Παλώδιας.....	59
Πίνακας 8: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τροφοδοτούμενων υποστρωμάτων στον αναερόβιο χωνευτήρα της κοινότητας Παλώδιας.....	63
Πίνακας 9: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά διηθήματος.....	68
Πίνακας 10: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικής εκροής από SBR.....	68
Πίνακας 11: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κομποστ	68
Πίνακας 12: Σύγκριση προδιαγραφών στερεού οργανικού λιπάσματος κατά 2016/0084 COD με τη σύσταση του παραγόμενου κόμποστ από τη μονάδα διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας.....	70

Πίνακας 13: Σύγκριση προδιαγραφών υγρού οργανικού λιπάσματος κατά 2016/0084 COD με τη σύσταση της υγρής εκροής από τη μονάδα διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας	71
Πίνακας 14: Αξιοποίηση του διηθήματος προς παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων	74
Πίνακας 15: Σύσταση δειγμάτων βιοαερίου από μονάδα αναερόβιας χώνευσης διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας	75
Πίνακας 16: Ενδεικτικές τιμές πώλησης διαφόρων ειδών προϊόντων λιπασματοποίησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση	82

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν παραδοτέο συντάχθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Συνεργασίας Interreg V-A Ελλάδα – Κύπρος 2014 – 2020 BIOMA «Αποκεντρωμένη διαχείριση των βιοαποβλήτων και αξιοποίησή τους με χρήση εναλλακτικών και καινοτόμων συστημάτων επεξεργασίας». Εταιρικό σχήμα του έργου αποτελεί το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης / Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΙΠΤΗΛ) και Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ), το Τμήμα Περιβάλλοντος - Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και περιβάλλοντος Κύπρου, ο Δήμος Νάξου και Μικρών Κυκλάδων και η Κοινότητα Παλώδιας. Το έργο αποσκοπεί στη διαμόρφωση μιας βιώσιμης προσέγγισης για τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε αποκεντρωμένες περιοχές, μέσω της ανάπτυξης πρωτοποριακών και καινοτόμων τεχνικών διαχείρισης οι οποίες αφορούν στην αποτελεσματική Διαλογή στην Πηγή βιοαποβλήτων στις περιοχές της Κοινότητας Παλώδιας και του Δήμου Νάξου και Μικρών Κυκλάδων και κατόπιν περαιτέρω επεξεργασία.

Το καινοτόμο σύστημα διαχείρισης BIOMA των βιοαποβλήτων για την Κοινότητα της Παλώδιας περιλαμβάνει τη διαλογή στην πηγή, την οικιακή ξήρανση τους και την αναερόβια χώνευσή τους με αποτέλεσμα την παραγωγή δυο προϊόντων προστιθέμενης αξίας, το βιοαέριο και το χωνεύμα. Στο πλαίσιο αυτό, η έκθεση αυτή παρουσιάζει τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον έλεγχο της ποιότητας του χωνεύματος και του βιοαερίου που πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρωτόκολλο που ορίζει το παραδοτέο 5.1.2. Επιπλέον στο παραδοτέο αυτό αναλύονται οι δυνατότητες αξιοποίησης των παραγόμενων τελικών προϊόντων. Συγκεκριμένα αξιολογείται η χρήση του χωνεύματος για παραγωγή κόμποστ και η μετέπειτα εφαρμογή του σε καλλιέργειες, σύμφωνα με τα δεδομένα λειτουργίας της μονάδας αξιοποίησης του χωνεύματος που

περιλαμβάνεται στην μονάδα της κοινότητας της Παλώδιας. Επιπλέον, αξιολογούνται και βιβλιογραφικά εναλλακτικές χρήσεις τόσο του χωνεύματος όσο και του βιοαερίου.

EXECUTIVE SUMMARY

This Deliverable was prepared under the Interreg V-A Greece - Cyprus 2014-2020 BIOMA “Decentralized Management of Bio-waste and Their Utilization Using Alternative and Innovative Processing Systems”. The project aims to formulate a sustainable approach to the management of biowaste in decentralized areas, through the development of innovative management techniques related to the effective source separation of biowaste.

The innovative Biowaste Management System BIOMA for the Community of Palodia includes source sorting, home drying and anaerobic digestion resulting in the production of two value-added products, biogas and digestate. In this context, this deliverable presents the results of the compositional analysis of digestate and biogas that was carried out in accordance with the protocol defined by the deliverable 5.1.2. In addition, in this deliverable, the possibilities of utilization of the final products produced are analyzed. Specifically, the use of the digestate for the production of compost and its subsequent application in crops is evaluated, according to the operating data of digestate valorisation unit operation that is included in the treatment plant of Palodia community. In addition, alternative uses of both digestate and biogas are evaluated.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί άξονα προτεραιότητας για την ευρωπαϊκή κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Δίνεται σαφής έμφαση στην προσπάθεια μείωσης των παραγομένων αποβλήτων καθώς και στην ορθολογική και αποτελεσματική διαχείρισή τους, με στόχο τη συνετή διαχείριση των πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία, και κατ' επέκταση η εθνική μας νομοθεσία, θέτει σαφή χρονοδιαγράμματα και στόχους όσον αφορά τον τομέα αυτό, εστιάζοντας στην ένταξη της Διαλογής στην Πηγή στους χώρους παραγωγής των σύμμεικτων Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) ως μιας εκ των οποίων ουκ άνευ μεθόδου διαχείρισης. Έμφαση δίνεται παράλληλα και στην αποτελεσματική και ολοκληρωμένη διαχείριση των παραγομένων βιοαποβλήτων, καθώς αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΣΑ επιφέροντας σημαντικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις λόγω ανεπαρκούς ή λαθεμένης διαχείρισης. Επιπλέον, τα βιοαπόβλητα αποτελούν όχι μόνο σημαντική πηγή ενέργειας (π.χ. παραγωγή βιοαερίου), αλλά και πηγή δευτερογενών υλικών (π.χ. compost).

Στο πλαίσιο των προαναφερθέντων, στόχο της διασυνοριακής πρότασης συνεργασίας Ελλάδας – Κύπρου BIOMA είναι η διαμόρφωση μιας βιώσιμης προσέγγισης όσον αφορά στη διαχείριση των βιοαποβλήτων. Η πράξη BIOMA εστιάζει στη 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 παραγομένων αποβλήτων. Η πράξη BIOMA προτείνει για την Κοινότητα της Παλώδιας την οικιακή ξήρανση των παραγομένων βιοαποβλήτων και κατόπιν σε συνδυασμό με γεωργικά υπολείμματα, τη χρήση τους

σε μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Το προτεινόμενο έργο αποτελεί μία καινοτομία προσαρμοσμένη στα ιδιαίτερα γεωγραφικά δεδομένα της χώρας όπου υπάρχει πληθώρα απομακρυσμένων και αποκεντρωμένων περιοχών με σαφείς ελλείψεις στον τομέα της ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων.

Αντικείμενο του παρόντος παραδοτέου αποτελεί η αξιολόγηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης των παραγομένων τελικών προϊόντων του συστήματος διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Κοινότητα της Παλώδιας. Υπό αυτό το πρίσμα, μετά από ενδελεχή βιβλιογραφική πραγματοποιείται ανασκόπηση των πιθανών χρήσεων του χωνεύματος (Κεφάλαιο 0) και του βιοαερίου (Κεφάλαιο 3). Με ευθύνη του ΤΕΠΑΚ πραγματοποιήθηκαν όλες οι αναλύσεις του βιοαερίου, του χωνεύματος και όλων των αρχικών και ενδιάμεσων προϊόντων της μονάδας. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι παρατίθεται το σύνολο των αναλύσεων που τέθηκαν υπόψη μας. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται αναλυτικά η μελέτη περίπτωσης της κοινότητας Παλώδιας με αξιολόγηση της ποιότητας του βιοαερίου και του χωνεύματος και επακόλουθη αξιολόγηση των πιθανών τελικών χρήσεων τους συνυπολογίζοντας τόσο εναλλακτικές χρήσεις καταγεγραμμένες στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και τη δυνατότητα απορρόφησής τους στην εγχώρια και διεθνή αγορά (Κεφάλαιο 5).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΧΩΝΕΥΜΑΤΟΣ

Η αναερόβια χώνευση παράγει δύο βασικά προϊόντα: το υπόλειμμα (χώνευμα) και το βιοαέριο. Χώνευμα (digestate) είναι το υλικό που παραμένει μετά την αναερόβια χώνευση μιας βιοαποικοδομήσιμης πρώτης ύλης. Το χώνευμα αποτελείται από την οργανική ύλη που δεν βιοαποικοδομήθηκε και από τη μάζα των μικροοργανισμών. Ο όγκος του είναι περίπου το 90-95% του υποστρώματος που τροφοδοτήθηκε στον αναερόβιο χωνευτήρα. Το χώνευμα δεν είναι κόμποστ, αν και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Το κόμποστ είναι το προϊόν της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας οργανικών υλικών, δηλαδή απαιτεί οξυγόνο (αέρα) κατά την παραγωγή του.

Η χρήση και αξιοποίηση του χωνεύματος είναι πλέον επιβεβλημένη τόσο για τη βιωσιμότητα των μονάδων αναερόβιας χώνευσης όσο και για τη εφαρμογή και συμμόρφωση με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Η πιο συνηθισμένη χρήση του χωνεύματος είναι η χρήση του σε καλλιέργειες ως προϊόν λίπανσης ή εδαφοβελτιωτικό. Στις περισσότερες περιπτώσεις διαχείρισης του χωνεύματος εντός της μονάδας της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνει χώρα φυσικός διαχωρισμός των 2 κλασμάτων του χωνεύματος. Έτσι στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το χώνευμα μπορεί να υπάρξει στις εξής μορφές:

Χώνευμα (Whole digestate): Συνιστά το υπόλειμμα όπως εξέρχεται από τον αναερόβιο χωνευτήρα, ομοιάζει στην εμφάνισή του με υδαρή ιλύ, περιέχει λιγότερο από 5% ολικά στερεά.

Υγρό χώνευμα: πρόκειται για το υγρό κλάσμα του χωνεύματος, το οποίο έχει πολύ χαμηλότερη συγκέντρωση στερεών.

Στερεό κλάσμα χωνεύματος: πρόκειται για το στερεό κλάσμα του χωνεύματος, το οποίο έχει πολύ υψηλότερη συγκέντρωση στερεών μετά το διαχωρισμού του υγρού κλάσματος.

Εκτός από την απ' ευθείας διάθεση του χωνεύματος σε καλλιέργειες, έχουν διερευνηθεί και αναπτυχθεί οι ακόλουθοι άξονες αξιοποίησής του:

- **Παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας**, όπως η παραγωγή λιπασμάτων μέσω της στοχευμένης ανάκτησης θρεπτικών και η παραγωγή βιοπροσροφητικών μέσων και τροποποιητικών εδάφους μέσω της πυρόλυσης και παραγωγής βιο-εξανθρακώματος (biochar).
- **Παραγωγή ενέργειας** όπως η παραγωγή επιπλέον μεθανίου με την ανακύκλωση του χωνεύματος, η παραγωγή βιοαιθανόλης και η παραγωγή ενέργειας με τη χρήση άλλων θερμικών μεθόδων.

Όλες οι προαναφερόμενες εναλλακτικές χρήσεις του χωνεύματος θα περιγραφούν στις ακόλουθες παραγράφους.

2.1 Απευθείας διάθεση στο έδαφος

Το αναερόβιο χώνευμα και το κόμποστ μπορούν να θεωρηθούν ανανεώσιμα λιπάσματα. Το χώνευμα αποτελεί ένα αποτελεσματικό βιολίπασμα, που παρέχει σημαντικές ποσότητες αζώτου, κάτι που περιορίζει τις απαιτήσεις για την προσθήκη θρεπτικών στα συμβατικά λιπάσματα (όπως νιτρικό αμμώνιο). Ακόμη, περιέχει και άλλα χρήσιμα θρεπτικά όπως φώσφορο με τη μορφή οξειδίων του φωσφόρου, κάλιο με τη μορφή της ποτάσας, θείου, μαγνησίου και ιχνοστοιχείων. Το χώνευμα κρίνεται κατάλληλο και ασφαλές για χρήση του στον αγροτικό τομέα, την κηπουρική και τους βοσκοτόπους (αλλά και άλλες αγορές). Για χωνεύματα που προκύπτουν από απόβλητα τροφίμων και ζωικά παραπροϊόντα (Animal By-Products -ABP), πραγματοποιούνται συγκεκριμένοι έλεγχοι, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια των εν λόγω προϊόντων. Για την τυποποίηση της ασφαλούς χρήσης των ανανεώσιμων λιπασμάτων, έχει αναπτυχθεί η ακόλουθη «Μήτρα» Καλής Χρήσης Ανανεώσιμων Λιπασμάτων (Renewable Fertiliser Matrix) σε

συνεννόηση με την αγροτική ασφάλεια και άλλους εμπλεκόμενους φορείς στην αλυσίδα τροφίμων (Πίνακας 1). Καθορίζονται οι βασικοί κανόνες εφαρμογής του χωνεύματος ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα οι καλλιέργειες κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Ομάδα 1: Καλλιέργειες που ο καταναλωτής μπορεί να τρώει ωμές και που δεν έχουν προστατευτικό δέρμα που αφαιρείται πριν το φαγητό. Μπορούν επίσης να έχουν σημαντικό κίνδυνο ή ιστορικό μόλυνσεως από παθογόνα π.χ.μανιτάρια, φυλλώδη σαλατικά (συμπεριλαμβανομένων τυχόν λαχανικών που καταναλώνονται ωμά), σέλινο, κρεμμύδια, ραπανάκι, φρέσκα και κατεψυγμένα βότανα κλπ.
- Ομάδα 2: Καλλιέργειες που ο καταναλωτής μπορεί να τρώει ακατέργαστες και οι οποίες είτε έχουν προστατευτική φλούδα είτε δεν αναπτύσσονται από το έδαφος ή δεν έχουν ιστορικό μόλυνσης από παθογόνα π.χ. μήλο, φραγκοστάφυλο, βατόμουρο, φασόλι, μπρόκολο, λάχανο, καρότο, κουνουπίδι, κεράσι, κολοκυθάκι, αγγούρι, σκόρδο, πεπόνι, κρεμμύδι (κόκκινο και λευκό), μπιζέλι, αχλάδι, ροδάκινο, δαμάσκηνο, βατόμουρο, φράουλα, γλυκό καλαμπόκι, ντομάτα και καρύδια.
- Ομάδα 3: Καλλιέργειες που ο καταναλωτής πάντα μαγειρεύει π.χ. αγκινάρα, φασόλια, πράσο, πατάτα, κολοκύθα.
- Συνδυασμένες καλλιέργειες και καλλιέργειες για ζωοτροφές π.χ. σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, σίκαλη.
- Βοσκότοποι και χορτονομές – βοσκημένες.
- Βοσκότοποι και χορτονομές – θερισμένες.

Πίνακας 1: Μήτρα Καλής Χρήσης Ανανεώσιμων Λιπασμάτων

		Χώνευμα			
Τύπος καλλιέργειας		Παστεριωμένο ¹		Μη παστεριωμένο	
Φρέσκα προϊόντα	Ομάδα 1	✓	Πριν τη γεώτρηση ή τη φύτευση	X	Όχι εντός 12 μηνών από τη συγκομιδή και τουλάχιστον 6 μήνες πριν τη γεώτρηση ή τη φύτευση
	Ομάδα 2	✓	Πριν τη γεώτρηση ή τη φύτευση	X	Όχι εντός 12 μηνών από τη συγκομιδή και τουλάχιστον 6 μήνες πριν τη γεώτρηση ή τη φύτευση
	Ομάδα 3	✓	Πριν τη γεώτρηση ή τη φύτευση	✓	Πριν τη γεώτρηση ή τη φύτευση
Συνδυασμένα και ζωοτροφές		✓	Μπορεί να εφαρμοστεί πριν και μετά τη γεώτρηση ή τη φύτευση		Μπορεί να εφαρμοστεί πριν και μετά τη γεώτρηση ή τη φύτευση
Βοσκότοποι και χορτονομές – βοσκημένες		✓	Εφαρμόζονται θεσπισμένα διαστήματα μη χορτονομής	✓	Διάστημα 3 εβδομάδων μη-χορτονομής
Βοσκότοποι και χορτονομές -θερισμένες		✓	Θεσπισμένα διαστήματα μη συγκομιδής ¹	✓	Διάστημα 3 εβδομάδων μη-συγκομιδής

Χωνεύματα που έχουν πιστοποιηθεί σύμφωνα με την οδηγία BSI PAS110, στο πλαίσιο του Συστήματος Πιστοποίησης Βιολιπασμάτων (BCS) πληρούν όλα τα προκαθορισμένα ποιοτικά κριτήρια. Το BCS είναι ένα ανεξάρτητο σύστημα διασφάλισης ποιότητας, που διαπιστεύει στην αγορά ότι ένα αναερόβιο χώνευμα είναι ασφαλές, σταθερό και κατάλληλο για χρήση. Προκειμένου οι παραγωγοί, να εξασφαλίσουν την πιστοποίηση για το προϊόν τους, θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές της διεργασίας και του προϊόντος, οι οποίες:

- ✓ Διευκρινίζουν τις τροφοδοσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χωνεύματος και κόμποστ.

- ✓ Επιβάλλουν αυστηρούς ελέγχους για τη διασφάλιση της ασφαλούς επεξεργασίας της τροφοδοσίας.
- ✓ Προσδιορίζουν τις ελάχιστες ποιοτικές προδιαγραφές που θα έχει το τελικό χώνευμα, που πωλείται σε αγρότες (και άλλες αγορές).

Τα συστήματα πιστοποίησης επιτρέπουν στους αγρότες και τους καλλιεργητές να βελτιώσουν τις ισχύουσες προδιαγραφές ή να προσθέσουν νέες, όταν αυτό χρειάζεται. Γενικά, όταν χρησιμοποιείται ένα πιστοποιημένο υλικό, δεν κρίνεται απαραίτητη η εμπλοκή άλλων αρχών (Ειδικός Οργανισμός Περιβάλλοντος, SEPA ή NRW). Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου ένα ανανεώσιμο λίπασμα προέρχεται από απόβλητα τροφίμων ή άλλα ζωικά παραπροϊόντα, συνήθως, εφαρμόζονται και επιπλέον νομικοί περιορισμοί.

Σημειώνεται ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθετεί νέους Κανονισμούς προκειμένου να επιτευχθεί η εισαγωγή προϊόντων λιπασματοποίησης εναλλακτικής προέλευσης και φιλικής προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο στην εγχώρια αγορά της. Πιο συγκεκριμένα, τον Μάιο του 2019, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε και θέσπισε κανόνες σχετικούς με τη διάθεση προϊόντων λίπανσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην αγορά (2016/0084 COD), τροποποιώντας τις παλαιότερες νομοθετικές πράξεις (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 και (ΕΚ) αριθ. 1107/2009 και καταργώντας τον (ΕΚ) αριθ. 2003/2003. Οι απαιτούμενες προϋποθέσεις σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία αναφορικά με τη χρήση οργανικής κυρίως σύστασης προϊόντων λίπανσης που έχουν θεσμοθετηθεί παρατίθενται ακολούθως στον **Error! Reference source not found.2**.

Πίνακας 2: Λειτουργίες προϊόντων λίπανσης και προϋποθέσεις χρήσης

				Ανώτατα όρια		
Οργανικό λίπασμα	Εμπεριέχει οργανικό άνθρακα (C _{org}) και θρεπτικά στοιχεία αποκλειστικά οργανικής προέλευσης. Επιπρόσθετα δύναται να εμπεριέχονται τύρφη, λεοναρδίτης και λιγνίτης, όχι όμως άλλα απολιθωμένα ή ενσωματωμένα σε γεωλογικούς σχηματισμούς υλικά.	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)		40 mg/kg ξηράς ουσίας		
		Διουρία (C ₂ H ₅ N ₃ O ₂)		Δεν πρέπει να εμπεριέχεται		
		Χαλκός (Cu)		300 mg/kg ξηράς ουσίας		
		Ψευδάργυρος (Zn)		800 mg/kg ξηράς ουσίας		
		Παθογόνοι παράγοντες	Salmonella spp.	Για n=5, c=0, m=0	M= Απουσία σε 25g ή 25mL	
			Escherichia coli ή Enterococcaceae	Για n=5, c=5, m=0	M=1000 σε 1g ή 1mL	
		Ελάχιστα απαιτούμενα όρια				
			Όρια εφόσον περιέχεται ένα δηλούμενο κύριο θρεπτικό στοιχείο	Όρια εφόσον περιέχονται περισσότερα από ένα δηλούμενα κύρια θρεπτικά στοιχεία		
Στερεό οργανικό λίπασμα	Το στερεό οργανικό λίπασμα βρίσκεται σε στερεά μορφή.	Άζωτο (N)	2,5% κατά μάζα	1% κατά μάζα		
		Πεντοξείδιο του φωσφόρου (P ₂ O ₅)	2% κατά μάζα	1% κατά μάζα		
		Οξείδιο του καλίου (K ₂ O)	2% κατά μάζα	1% κατά μάζα		

		Οργανικός άνθρακας (C _{org})	15% κατά μάζα
Υλικό ασβέστωσης	Λειτουργία του υλικού ασβέστωσης αποτελεί η διόρθωση της οξύτητας των εδαφών. Το εν λόγω υλικό περιέχει οξείδια, υδροξείδια, ανθρακικά ή πυριτικά άλατα των θρεπτικών στοιχείων ασβέστιο (Ca) ή μαγνήσιο (Mg).	Ελάχιστη τιμή εξουδετέρωσης: 15 (ισοδύναμο CaO) ή 9 (ισοδύναμο HO ⁻)	
		Ελάχιστη αντιδραστικότητα: 10% (δοκιμή υδροχλωρικού οξέος) ή 50% μετά από 6 μήνες (δοκιμή επώασης)	
		Ελάχιστο μέγεθος κόκκου: τουλάχιστον 70% < 1 mm, εκτός από τον άνυδρο ασβέστη, το κοκκοποιημένο ασβεστώδες υλικό και την κιμωλία (τουλάχιστον 70% του ασβεστώδους υλικού να διέρχεται από κόσκινο με βροχίδες διαμέτρου 1mm).	
		Ανώτατα όρια	
		Κάδμιο (Cd)	2mg/kg ξηράς ουσίας
		Εξασθενές χρώμιο (Cr VI)	2mg/kg ξηράς ουσίας
		Υδράργυρος (Hg)	1mg/kg ξηράς ουσίας
		Νικέλιο (Ni)	90mg/kg ξηράς ουσίας
		Μόλυβδος (Pb)	120mg/kg ξηράς ουσίας
		Αρσενικό (As)	40mg/kg ξηράς ουσίας
		Χαλκός (Cu)	300mg/kg ξηράς ουσίας
Οργανικό βελτιωτικό εδάφους	Η λειτουργία ενός βελτιωτικού εδάφους αφορά στη διατήρηση, βελτίωση, προστασία των φυσικών ή χημικών ιδιοτήτων, της δομής ή της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους που προστίθενται. Το οργανικό βελτιωτικό εδάφους αποτελείται από υλικά	Πρέπει να περιέχεται τουλάχιστον 20% ξηρά ουσία	
		Ανώτατα όρια	
		Κάδμιο (Cd)	2mg/kg ξηράς ουσίας
		Εξασθενές χρώμιο (Cr VI)	2mg/kg ξηράς ουσίας
		Υδράργυρος (Hg)	1mg/kg ξηράς ουσίας
		Νικέλιο (Ni)	50mg/kg ξηράς ουσίας
		Μόλυβδος (Pb)	120mg/kg ξηράς ουσίας
		Ανόργανο αρσενικό (As)	40mg/kg ξηράς ουσίας
		Χαλκός (Cu)	300mg/kg ξηράς ουσίας
		Ψευδάργυρος (Zn)	800 mg/kg ξηράς ουσίας

Παραγωγή		Παραγωγή		Παραγωγή	
	βιολογικής προέλευσης κατά 95%, ενώ μπορεί να περιέχει τύρφη, λεοναρδίτη και λιγνίτη, όχι όμως άλλα απολιθωμένα ή ενσωματωμένα σε γεωλογικούς σχηματισμούς υλικά.	Παθογόνοι παράγοντες	Salmonella spp.	Για n=5, c=0, m=0	M=Απουσία σε 25g ή 25ml
			Escherichia coli ή Enterococcaceae	Για n=5, c=5, m=0	M=1000 σε 1g ή 1ml
		Οργανικός άνθρακας (C _{org})		7,5% κατά μάζα	
Υπόστρωμα καλλιέργειας	Η λειτουργία του υποστρώματος καλλιέργειας αφορά στην καλλιέργεια φυτών (και φυκών) και μανιταριών σε αυτό.	Ανώτατα όρια			
		Κάδμιο (Cd)		1,5mg/kg ξηράς ουσίας	
		Εξασθενές χρώμιο (Cr VI)		2mg/kg ξηράς ουσίας	
		Υδράργυρος (Hg)		1mg/kg ξηράς ουσίας	
		Νικέλιο (Ni)		50mg/kg ξηράς ουσίας	
		Μόλυβδος (Pb)		120mg/kg ξηράς ουσίας	
		Ανόργανο αρσενικό (As)		40mg/kg ξηράς ουσίας	
		Χαλκός (Cu)		200mg/kg ξηράς ουσίας	
		Ψευδάργυρος (Zn)		500 mg/kg ξηράς ουσίας	
		Παθογόνοι παράγοντες	Salmonella spp.	Για n=5, c=0, m=0	M=Απουσία σε 25g ή 25mL
			Escherichia coli ή Enterococcaceae	Για n=5, c=5, m=0	M=1000 σε 1g ή 1mL

Πηγή: 2016/0084 COD

Όταν χρησιμοποιούνται ανανεώσιμα λιπάσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία υποστρωμάτων όπως απόβλητα τροφίμων (ή άλλα επιτρεπόμενα ζωικά παραπροϊόντα), πρέπει πάντα να τηρούνται οι θεσμοθετημένες προδιαγραφές. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Αποτροπή πρόσβασης σε χωνεύματα που αποθηκεύονται εντός του χώρου των αγροκτημάτων, πριν την εφαρμογή τους στα εδάφη.
- Τήρηση των ελάχιστων χρονικών διαστημάτων για βοσκή και συγκομιδή, όπως ορίζει ο κανονισμός διάθεσης των χωνευμάτων.
- Διατήρηση αρχείου για την ανάδειξη των διαστημάτων βοσκής και συγκομιδής, που παρατηρούνται.

Σε κάποιες περιπτώσεις κάποια ζωικά παραπροϊόντα όπως η κοπριά μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας στα εδάφη, χωρίς προεπεξεργασία. Η δυνατότητα απευθείας διάθεσης τέτοιων παραπροϊόντων (ABP) επιτρέπει και την ενσωμάτωσή τους σε διεργασίες χώνευσης, χωρίς την προηγούμενη παστερίωσή τους. Όλοι οι άλλοι τύποι ζωικών παραπροϊόντων επιβάλλουν την υπό πίεση επεξεργασία τους, πριν την τροφοδότησή τους σε διεργασίες αναερόβιας χώνευσης. Ενώ υπάρχουν και ζωικά παραπροϊόντα για τα οποία οι διεργασίες πρέπει να περιλαμβάνουν ένα πρόσθετο στάδιο εξυγίανσης και παστερίωσης, το οποίο, συνήθως, λαμβάνει χώρα στους 70°C για μία ώρα.

Το στερεό κλάσμα του χωνεύματος μπορεί να διατεθεί με συμβατικά μηχανήματα διασποράς (διασκορπιστές), ενώ το χώνευμα και το υγρό χώνευμα εφαρμόζονται καλύτερα με εξειδικευμένο εξοπλισμό εναπόθεσης. Σε αυτήν την κατηγορία εμπεριέχονται συστήματα διανομής με βυτία και εκτόξευσης υλικού, με έγχυση σε λωρίδες στην επιφάνεια του εδάφους, ενσωμάτωση μέσα στο έδαφος, ή έγχυση στην επιφάνεια. Η έγχυση με ενσωμάτωση μέσα στο έδαφος μπορεί να μειώσει

σημαντικά τις απώλειες αμμωνίας και αζώτου και αυξήσει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών για τα φυτά.

Διατίθενται ειδικά λογισμικά, όπως τα MANNER-NPK και PLANET/PLANET Scotland, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για τον υπολογισμό των θρεπτικών του χωνεύματος, που είναι διαθέσιμα για την καλλιέργεια. Οι χρήστες θα πρέπει να στοχεύουν στην κάλυψη του 50-60% των συνολικών απαιτήσεων της καλλιέργειας σε άζωτο από το χώνευμα, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό θα πρέπει να υποκαθίσταται από συνθετικό αζωτούχο λίπασμα. Μία εξ ολοκλήρου κάλυψη των απαιτήσεων αζώτου, μόνο από το χώνευμα, δε συστήνεται, καθώς ενδέχεται να θέσει σε κίνδυνο την ποιότητα και τις αποδόσεις της καλλιέργειας. Σαν γενικός κανόνας, περίπου το 50% των φωσφορικών και το 80% του καλίου, που περιέχονται στο χώνευμα, είναι διαθέσιμα για την καλλιέργεια, κατά τη διάρκεια του χρόνου της εφαρμογής του. Οι τιμές αυτές είναι χρήσιμες στον υπολογισμό των απαιτήσεων της καλλιέργειας σε θρεπτικά, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις που αναμένεται απόκριση στην προσθήκη φωσφορικών και καλίου.

Ακόμη, το χώνευμα παρέχει σημαντικές ποσότητες θείου και μαγνησίου. Καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, που να αφορούν τα όρια των συγκεκριμένων στοιχείων για την ανάπτυξη της καλλιέργειας, η εισαγωγή τους πραγματοποιείται σε τέτοιες ποσότητες, ώστε να διατηρούνται τα φυσιολογικά αποθέματα του εδάφους, στα συγκεκριμένα συστατικά.

Η χρήση του χωνεύματος έναντι συνθετικών λιπασμάτων, μπορεί να περιορίσει το αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα των αγροκτημάτων που το χρησιμοποιούν. Η αντικατάστασή τους, μάλιστα, με χώνευμα από τροφικά απόβλητα δύναται να το μειώσει κατά 20 kg CO₂e/τόνο χωνεύματος που εφαρμόζεται, ή κατά 1 τόνο CO₂e/εκτάριο.

Η ενσωμάτωση του χωνεύματος στο συνολικό σχεδιασμό διαχείρισης θρεπτικών ενός αγροκτήματος, θα πρέπει να στοχεύει στη μεγιστοποίηση της χρήσης των παρεχόμενων αυτών

θρεπτικών. Τα θρεπτικά συστατικά που παρέχονται από ανανεώσιμα λιπάσματα, θα βοηθήσουν τους αγρότες να βελτιστοποιήσουν την απόδοση των καλλιεργειών τους, περιορίζοντας το κόστος της καλλιέργειας, καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της.

2.2 Διαχωρισμός φάσεων χωνεύματος

Ο διαχωρισμός του χωνεύματος σε δύο διαφορετικά κλάσματα (στερεό - υγρό) εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις με στόχο την αποτελεσματικότερη εφαρμογή των κλασμάτων στις καλλιέργειες. Παρ' όλα αυτά, είναι επίσης το αρχικό στάδιο στα περισσότερα συστήματα αξιοποίησης του χωνεύματος στοχεύοντας στη βελτίωση του χειρισμού του, στη διακοπή της εξέλιξης των αντιδράσεων αποικοδόμησης, στη μείωση του όγκου του και κατ' επέκταση του κόστους μεταφοράς. Συνήθεις τεχνικές που επιλέγονται είναι ο διαχωρισμός με κοχλία, οι ταινιοφιλτρόπρεσσες ή η φυγοκέντριση. Σε πολλές περιπτώσεις πραγματοποιείται και προσθήκη κατάλληλων κροκιδωτικών για την αύξηση της απόδοσης του διαχωρισμού. Πέραν από αυτές τις συμβατικές τεχνικές, έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις που στο σύστημα διαχωρισμού προστίθενται και τεχνικές μεμβρανών.

Μετά το διαχωρισμό, το στερεό κλάσμα του χωνεύματος (περίπου 20-25% TS) περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού, οργανικού αζώτου και φωσφόρου (

Πίνακας 3). Συγκεκριμένα, στο στερεό κλάσμα μεταφέρεται 40-80% της ξηράς ουσίας, 40-90% του περιεχόμενου φωσφόρου ενώ μόνο το 20-25% του αζώτου όταν χρησιμοποιούνται συμβατικές τεχνικές διαχωρισμού.

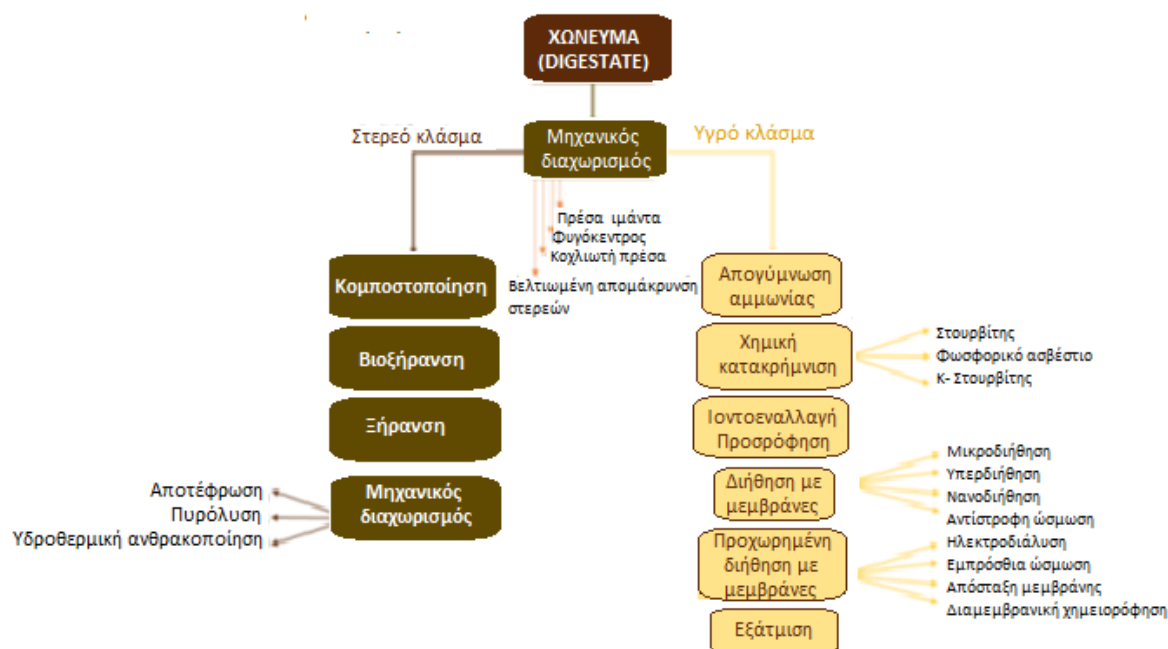
Πίνακας 3: Σύσταση υγρού και στερεού κλάσματος χωνεύματος σε υγρή βάση

	Υγρό κλάσμα	Στερεό κλάσμα
pH	7.8-7.9	7.7-8.5
TS (%)	3.3-6.6	19.3-24.7
Ολικός C (%)	2.64-3.15	9.0-10.1
Ολικό N (%)	0.32-0.51	0.33-0.65
Ολικό NH ₄ (%)	0.17-0.3	0.13-0.3
NH ₄ , (% Ολικό N)	40-80	26-49.4
Ολικός P (%)	0.03-0.1	0.08-0.25
Ολικό K (%)	0.29-0.52	0.25-0.48
Ολικό Mg (%)	0.03-0.05	0.09-0.10
Ολικό Ca (%)	0.04-0.06	0.16-0.19

2.3 Παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας

2.3.1 Ανάκτηση θρεπτικών

Η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση των θρεπτικών συστατικών του χωνεύματος, καθώς και η κρισιμότητα της παραγωγής των ανόργανων πρώτων υλών, όπως του φωσφόρου, καθιστούν την ανακύκλωση και την ανάκτηση των θρεπτικών συστατικών του χωνεύματος απαραίτητη για όλους τους ενδιαφερόμενους όπως γεωργούς, προμηθευτές τεχνολογίας και φορείς χάραξης πολιτικής. Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση του χωνεύματος ως πηγή παραγωγής θρεπτικών είναι μια πολλά υποσχόμενη επιλογή που μπορεί να προσφέρει διπλό όφελος: (α) τη βιωσιμότητα και ολοκλήρωση των μονάδων αναερόβιας χώνευσης και (β) την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών στην γεωργία με εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι τεχνολογικές εναλλακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν προς την κατεύθυνση της ανάκτησης των θρεπτικών.



Σχήμα 1: Σχηματική σύνοψη των εναλλακτικών τεχνικών για την ανάκτηση θρεπτικών από το χώνευμα.

2.3.1.1 Διαχείριση υγρού χωνεύματος

2.3.1.1.1 Απογύμνωση αμμωνίας (Ammonia stripping)

Η απογύμνωση αμμωνίας αποτελεί μια τεχνολογία απομάκρυνσης του αζώτου από το υγρό κλάσμα του χωνεύματος. Το θειικό αμμώνιο ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) που συνήθως ανακτάται, αποτελεί μία χημική πρώτη ύλη (platform chemical) με εμπορική αξία που χρησιμοποιείται στην παραγωγή βιο-λιπασμάτων και άλλων προϊόντων και εξυπηρετεί τους σκοπούς της κυκλικής οικονομίας. Ωστόσο, ιδιότητές του, όπως η σύσταση σε θείο και άζωτο (61–100 kg S/tn; 30–100 kg N/tn), ο διαβρωτικός και όξινος χαρακτήρας του (υψηλές αγωγιμότητες: 100–150 mS/cm; pH 2.5–7), και η περιορισμένη εμπιστοσύνη των αγροτών στα λιπασματικά του οφέλη καθιστούν χαμηλή τη διεύθυνσή του στην αγορά. Αν και για το σκοπό αυτό συνήθως χρησιμοποιείται το θειικό οξύ, σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και το νιτρικό οξύ. Το υψηλότερο περιεχόμενο σε άζωτο

του NH_4NO_3 το καθιστά ένα βιο-προϊόν με υψηλότερη αξία. Οι απαιτήσεις σε χημικά αποτελούν σημαντική παράμετρο στην αξιολόγηση της τεχνικής της απογύμνωσης αμμωνίας. Το υγρό προϊόν εκροής της διεργασίας εξακολουθεί να περιέχει θρεπτικά συστατικά και για το λόγο αυτό δύναται να χρησιμοποιηθεί στον αγροτικό τομέα, αφού προηγηθεί ρύθμιση του pH, συνήθως με τη χρήση H_2SO_4 .

Η απογύμνωση αμμωνίας πραγματοποιείται σε στήλη εκρόφησης. Η πιο συνηθισμένη διάταξη είναι οι πύργοι με πληρωτικό υλικό (packed towers), καθώς παρέχουν αυξημένη επιφάνεια μεταφοράς μάζας, και η εφαρμογή τους είναι πρακτικά εύκολη. Για τον περιορισμό λειτουργικών προβλημάτων, προ της διεργασίας απογύμνωσης, πρέπει να παρεμβληθεί ένα στάδιο αποσκλήρυνσης (softening) με CaO , κατά το οποίο, με αύξηση του pH, απομακρύνονται τα μεγαλύτερα ποσοστά μαγνησίου, ασβεστίου και ανθρακικών αλάτων. Για την πρόληψη φαινομένων φραγμού των πόρων του υλικού (fouling), είναι απαραίτητο ένα στάδιο διαχωρισμού στερεού- υγρού υψηλής αποτελεσματικότητας. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα είδη εξοπλισμού, όπως διαχύτες αέρα φυσαλίδων (bubble diffusers), πύργοι ψεκασμού (spray towers), αναρροφητές (aspirators), επιφανειακοί αεριστήρες (surface aerators). Ακόμη, προτείνεται και η χρήση νέου εξοπλισμού επαφής αερίου/υγρού (δοχείο ημι-διαλείποντος έργου με ρεύμα ανακύκλωσης μεγάλης ταχύτητας- semi batch jet loop vessel).

2.3.1.1.2 Χημική κατακρήμνιση

Στρουβίτης

Μία εναλλακτική τεχνική ανάκτησης P και/ή N από το χώνευμα είναι ο σχηματισμός στρουβίτη. Σε υψηλό pH και παρουσία ιόντων αμμωνίου, μαγνησίου και ιόντων φωσφόρου, παράγονται κρύσταλλοι στρουβίτη με ορθορομβικό πυραμιδικό κρυσταλλικό πλέγμα:



Ο σχηματισμός στρουβίτη πραγματοποιείται σε δύο στάδια: τη δημιουργία πυρήνων και την ανάπτυξη των κρυστάλλων. Τα στάδια αυτά επηρεάζονται από διάφορες παραμέτρους, όπως το pH, τον υπερκορεσμό, τη θερμοκρασία, την παρουσία άλλων ιόντων, την ενέργεια ανάδευσης, το χρόνο αντίδρασης, καθώς επίσης και την αναλογία $\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-}$. Για την κατακρήμνιση στρουβίτη απαιτούνται ισομοριακές συγκεντρώσεις NH_4^+ , PO_4^{3-} και Mg^{2+} , παρότι, στο χώνευμα, η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου παρουσιάζει, συνήθως, τη χαμηλότερη τιμή. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η προσθήκη μίας πηγής μαγνησίου, ώστε να προωθηθεί ο σχηματισμός του στρουβίτη. Οι συνήθεις ενώσεις Mg^{2+} που χρησιμοποιούνται είναι $\text{Mg}(\text{OH})_2$ και MgO , σε διαφορετικούς βαθμούς καθαρότητας. Το MgCl_2 αποτελεί μία ακόμη πιθανή ένωση, συνήθως προτιμώμενη, καθώς η παραγωγή της απαιτεί χαμηλότερα ποσά ενέργειας. Ωστόσο, σε αυτήν την περίπτωση οι αντιδράσεις είναι πιο αργές, με αποτέλεσμα να παραμένουν Cl^- στο διάλυμα. Το τελικό προϊόν, που προκύπτει από τη συγκεκριμένη διεργασία, μπορεί να εφαρμοστεί σε καλλιέργειες που παρουσιάζουν ανοχή στα χλωριόντα. Άλλες πηγές μαγνησίου που έχουν διερευνηθεί, περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά το στερεό άλας συμπυκνώματος άλμης (bittern), ανακύκλωση πυρολυμάτων στρουβίτη, πυρολύματα μαγνησίτη, καθώς επίσης και παραπροϊόντα του σταδίου διαπύρωσης κατά την παραγωγή μαγνησίτη.

Κατά το σχηματισμό του στρουβίτη, απαιτείται μια αλκαλική πηγή, η οποία καταναλώνεται σε μεγάλο βαθμό στο χώνευμα, λόγω της ρυθμιστικής χωρητικότητάς του, η οποία επηρεάζεται από την ιοντική ισορροπία ($\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$ and $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$). Ένας χαμηλός ρυθμός αερισμού περιορίζει τις ανάγκες σε αλκαλικό μέσο, λόγω της απογύμνωσης CO_2 και της συνεπακόλουθης αύξησης pH που παρατηρείται.

Η κατακρήμνιση στρουβίτη βελτιώνει, επίσης, το διαχωρισμό στερεού-υγρού του χωνεύματος και για το λόγο αυτό, μπορεί να προηγείται του σταδίου διαχωρισμού των κλασμάτων του χωνεύματος.

Ο στρουβίτης έχει εφαρμοσθεί αποτελεσματικά ως λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης, σε αρκετές καλλιέργειες, ιδιαιτέρως σε εκείνες με ανάγκες σε μαγνήσιο, όπως τα ζαχαρότευτλα. Αυτό αποδίδεται στην υψηλή θρεπτική του αξία ανά μονάδα βάρους, που περιορίζει συνήθη προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση λιπασμάτων (όπως απορροή θρεπτικών συστατικών, κάψιμο φυτών). Ακόμη, ο στρουβίτης μπορεί να περιέχει βαρέα μέταλλα, που προέρχονται από το αρχικό χώνευμα, οι συγκεντρώσεις των οποίων είναι αρκετά χαμηλότερες των επιτρεπτών ορίων, καθιστώντας εφικτή την εναπόθεσή του στα εδάφη.

Το κόστος παραγωγής του στρουβίτη κυμαίνεται μεταξύ 270-2060 €/τόνο στρουβίτη, ενώ η τιμή του μεταξύ 600-2500€/τόνο. Το μερίδιο που καταλαμβάνουν τα απαιτούμενα, για τη διεργασία, χημικά αντιπροσωπεύουν περίπου το 75% του συνολικού κόστους παραγωγής. Προκειμένου να διασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα του ανακτημένου λιπάσματος, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εμπορική τιμή των P, N και των μεταλλικών στοιχείων.

Κ-στρουβίτης

Κ-στρουβίτης ($\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) μπορεί να ανακτάται από το χώνευμα όταν η συγκέντρωση των ιόντων καλίου ξεπερνάει εκείνη του αμμωνίου, δεδομένων των σταθερών διαλυτότητας του στρουβίτη και του Κ-στρουβίτη. Στην Ολλανδία, τέσσερις εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας παράγουν Κ- στρουβίτη από χώνευμα κοπριάς βοοειδών.

Φωσφορικό Ασβέστιο

Ο φώσφορος δύναται να ανακτάται από χωνεύματα με τη μορφή φωσφορικού ασβεστίου. Η προσθήκη υδροξειδίου του ασβεστίου, στο υγρό κλάσμα του χωνεύματος, στους 70°C, προκαλεί μια αύξηση του pH στο 10 και συνεπακόλουθη ταχεία (5 λεπτά) καταβύθιση φωσφόρου, υπό μορφή $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ή $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. Ένα στάδιο απογύμνωσης μπορεί να προηγείται της καταβύθισης, προκειμένου να αποφευχθεί ο ανταγωνιστικός σχηματισμός ιζήματος CaCO_3 . Συνήθως, εξασφαλίζεται απομάκρυνση της τάξης του 50-60%, ενώ υψηλότερες αποτελεσματικότητες της τάξης του 80-100% έχουν επίσης καταγραφεί. Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες διάφορες διεργασίες ανάκτησης φωσφόρου. Τα κόστη κεφαλαίου υπολογίζονται περίπου στα 2300-2900€/kg P ενώ το λειτουργικό κόστος αντιπροσωπεύεται κυρίως από το $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

2.3.1.1.3 Ιοντοεναλλαγή και προσρόφηση

Η ανάκτηση θρεπτικών συστατικών (έως και 100% P και 83% N), από το υγρό κλάσμα του χωνεύματος, μέσω ιοντοεναλλαγής και προσρόφησης, λαμβάνει χώρα σε κλίνες σωματιδίων πληρωμένες με στερεό προσροφητικό μέσο, όπως ζεόλιθοι, ρητίνες και άργιλοι. Τα προσροφητικά αυτά υλικά μπορεί να είναι θερμικά ή χημικά τροποποιημένα. Η προσρόφηση διέπεται από διαμοριακές δυνάμεις και η ιοντοεναλλαγή από ιοντικές. Είναι δυνατή η εφαρμογή ασυνεχών ή συνεχών διεργασιών με πολλαπλές κλίνες. Ακόμη, μπορεί να πραγματοποιηθεί αναγέννηση του πληρωτικού υλικού, μέσω έκπλυσης με HNO_3 , NaCl ή και βιολογικά, ανάλογα με το πληρωτικό υλικό και τα τελικά προϊόντα.

Οι ζεόλιθοι έχουν διερευνηθεί εκτεταμένα ως προσροφητικά μέσα, για την απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών. Η συγκεκριμένη τεχνολογική προσέγγιση παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, όπως φαινόμενα φραγμού των πόρων του υλικού (πλήρωσης) λόγω του υψηλού

περιεχομένου σε αιωρούμενα στερεά του υγρού κλάσματος του χωνεύματος, ύπαρξη ανταγωνιστικών ξένων ιόντων, καθώς επίσης και μείωσης της ανταλλακτικής ικανότητας του πληρωτικού μέσου, ύστερα από κύκλους αναγέννησης. Ωστόσο, στην περίπτωση NH_4^+ - κλινοπιτιλόλιθου (κλινοπιτιλόλιθος με προσροφημένο αμμώνιο), το αμμώνιο αποδεσμεύεται από αυτόν με χαμηλό ρυθμό, λόγω του πορώδους του ζεόλιθου, ώστε αυτός να καθίσταται κατάλληλος για λίπασμα βραδείας απελευθέρωσης.

Λόγω των υφιστάμενων περιορισμών γύρω από τις εφαρμογές του υγρού κλάσματος του χωνεύματος, αναφέρονται μόνο ορισμένες εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας που επεξεργάζονται διαφορετικά υποστρώματα. Στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού λιπασμάτων βραδείας αποδέσμευσης, έχει εξεταστεί και η συζευγμένη κατακρήμνιση ζεόλιθου και στρουβίτη.

Το κόστος προμήθειας των πρώτων υλών για την περίπτωση της ιοντοεναλλαγής με ζεόλιθο είναι υψηλότερο από εκείνο της κατακρήμνισης στρουβίτη και της απογύμνωσης αμμωνίας, καθώς οι συνολικές απαιτήσεις είναι υψηλότερες από εκείνες των δύο διεργασιών σε MgO και CaO (lime) αντίστοιχα. Οι διεργασίες ιοντοεναλλαγής και προσρόφησης έχουν χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις και χαμηλότερο κόστος εργασίας, καθώς είναι λειτουργικά απλούστερες.

2.3.1.1.4 Διαχωρισμός με μεμβράνες

Ο διαχωρισμός με μεμβράνες αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο ανάκτησης θρεπτικών συστατικών. Οι κυρίαρχες τεχνικές είναι η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF), η νανοδιήθηση (NF) και η αντίστροφη ώσμωση (RO), οι οποίες επιτρέπουν τη συγκέντρωση των θρεπτικών, από το υγρό κλάσμα του χωνεύματος, στο βιολογικό λίπασμα, σε συνδυασμό με την παραγωγή υψηλής ποιότητας νερού.

Η μικροδιήθηση (πόροι $>0.1\mu\text{m}$, 0.1-3bar) και η υπερδιήθηση ($0.01<\text{πόροι}<0.2\mu\text{m}$ κολλοειδή, 2-10bar) αφαιρούν τα αιωρούμενα στερεά (MF) και τα μακρομόρια (UF), μέσω μια πορώδους μεμβράνης, ενώ τα διαλυμένα συστατικά παραμένουν στο διήθημα (permeate). Για τον περαιτέρω καθαρισμό του διηθήματος, εφαρμόζεται νανοδιήθηση και αντίστροφη ώσμωση. Η νανοδιήθηση έχει εξασφαλίσει αποτελεσματικότητες στο διαχωρισμό $\text{NH}_4^+\text{-N}$ και P που κυμαίνονται μεταξύ 5-23% και 97-98% αντίστοιχα. Στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης RO (χωρίς πόρους), τα διαλυμένα στερεά κατακρατούνται μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης, σε πίεση 10-100atm, εξασφαλίζοντας ανάκτηση της τάξης του 99-100% και παράγοντας ένα διήθημα, απαλλαγμένο από μολυσματικά συστατικά. Οι ενεργειακές απαιτήσεις σε συστήματα RO εκτιμώνται περίπου στα 4-6 kWh/m³.

Η αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη επιφανειοδραστικών ουσιών και υδατοδιαλυτών πολυμερών (χιτοζάνη, πολυαιθυλενιμίνη και πολυακρυλαμίδη) που δύνανται να συμπλοκοποιηθούν με μεταλλοϊόντα.

Οι UF και MF συστήνονται για τη συνολική απομάκρυνση παθογόνων (π.χ. E-coli) και παρασίτων (π.χ. νηματώδη). Χαρακτηριστικά, η εφαρμογή UF ($0.01\mu\text{m}$) σε αναερόβια χωνευμένη κοπριά έχει καταγραφεί να εξασφαλίζει πλήρη απομάκρυνση κολοβακτηριδίων και αιωρούμενων στερεών, με το COD να παραμένει αμετάβλητο.

Συνήθως, διεργασίες MF και UF προηγούνται των NF και RO, ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα φραγής των πόρων της μεμβράνης (fouling). Ωστόσο, η διαδοχή αυτή δεν εξαλείφει εξολοκλήρου το πρόβλημα, με τη φραγή των πόρων να παραμένει κύρια πρόκληση σε σχετικές διεργασίες. Άλλα σημαντικά ζητήματα, που αφορούν τεχνικές διαχωρισμού με μεμβράνες, είναι οι απαιτήσεις σε ενέργεια και η οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων.

2.3.1.1.5 Εξάτμιση

Η εξάτμιση αποτελεί μια εδραιωμένη τεχνική διαχείρισης, η οποία εξασφαλίζει συγκέντρωση (50%) του υγρού κλάσματος του χωνεύματος, παράγοντας ένα υγρό ρεύμα πλούσιο σε αμμωνία και πτητικά συστατικά. Το περιεχόμενο σε αμμωνία δύναται να περιοριστεί, αν προηγηθεί της εξάτμισης, ένα στάδιο όξινης προεπεξεργασίας. Για περαιτέρω συμπύκνωση, συστήνεται η εφαρμογή ξήρανσης. Οι υψηλές απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια της εξάτμισης μπορούν να καλυφθούν από την περίσσεια θερμότητα των εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης. Εναλλακτικά, για τη συμπύκνωση του υγρού κλάσματος του χωνεύματος, μπορεί να εφαρμοστεί και εξάτμιση υπό κενό.

2.3.1.2 Επεξεργασία στερεού κλάσματος χωνεύματος

Η τρέχουσα πρακτική διαχείρισης του στερεού κλάσματος του χωνεύματος είναι η εναπόθεση στα εδάφη. Ακολούθως, προτείνονται και αναλύονται εναλλακτικές οδοί, για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του συγκεκριμένου ρεύματος.

2.3.1.2.1 Κομποστοποίηση

Τα κύρια προβλήματα που συνδέονται με την κομποστοποίηση του στερεού κλάσματος του χωνεύματος είναι ο χαμηλός λόγος C/N, η βιο-αποικοδομησιμότητα και το υψηλό περιεχόμενο σε υγρασία. Για το λόγο αυτό, το προς κομποστοποίηση μίγμα του χωνεύματος, θα πρέπει να εμπλουτίζεται με όγκους κατάλληλων υλικών (π.χ. άχυρο, τσιπ ξύλου κλπ.) ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη αναλογία C/N και οι συνθήκες αερισμού. Παρότι κατά την κομποστοποίηση, τα θρεπτικά συστατικά εντοπίζονται σε σημαντικές συγκεντρώσεις, δύνανται να παρατηρηθούν και απώλειες σε N. Οι Rehl and Muller (2011) κατά την κομποστοποίηση διάρκειας 10 εβδομάδων, παρατήρησαν εκπομπές αμμωνίας έως και 20% του αμμωνιακού

αζώτου, οξειδίου του αζώτου έως 1.4% του ολικού αζώτου και μεθανίου έως 8.12% του ολικού άνθρακα. Οι Grigatti et al. (2020) παρατήρησαν ότι η κομποστοποίηση χωνεύματος από απόβλητα τροφίμων (food waste) δύναται να περιορίσει τις εκπομπές CO₂, χωρίς να επηρεάζει τις λιπασματικές ιδιότητες του προϊόντος. Η σύζευξη αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης μπορεί να αποδεχθεί ωφέλιμη, εξασφαλίζοντας ένα συνολικό σχεδιασμό, με μικρότερη διάρκεια κομποστοποίησης και προϊόντα υψηλής ποιότητας.

2.3.1.2.2 Βιοζήρανση

Η αρχή που διέπει τη βιοζήρανση είναι όμοια με εκείνη της κομποστοποίησης. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, τίθεται ως προτεραιότητα η πλήρης απομάκρυνση της υγρασίας, μαζί με τη διατήρηση του υψηλού περιεχομένου σε άνθρακα. Βιοξηραμένα χωνεύματα με 45% άνθρακα, δομικά σταθερά και απαλλαγμένα από οσμές, δύνανται να αξιοποιηθούν σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η διεργασία, ωστόσο, συνοδεύεται από υψηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου, η διαχείριση των οποίων χρήζει ιδιαίτερης μέριμνας.

Διάφορες τεχνικές ανάκτησης φωσφόρου από το ξηρό χώνευμα είναι εμπορικά διαθέσιμες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η σύζευξη υγρής οξείδωσης χαμηλής πίεσης και νανοδιήθησης, η υγρή χημική εκχύλιση και ο σχηματισμός στρουβίτη και η μεταλλουργική ανάκτηση P.

2.3.1.2.3 Ξήρανση

Η ξήρανση με θερμότητα οδηγεί στην παραλαβή ενός χωνεύματος 98% ξηρής βάσης, απελευθερωμένο από οσμές και αμμωνία. Οι ενεργειακές απαιτήσεις της διεργασίας, συνήθως καλύπτονται από την θερμότητα, που αποβάλλει η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Η

διαμόρφωση του τελικού προϊόντος σε pellets (πελετοποίηση) δύναται να βελτιώσει τις λιπασματικές του ιδιότητες, να μειώσει το κόστος μεταφοράς του και να διευκολύνει τις στρατηγικές εναπόθεσής του στα εδάφη. Η προσθήκη συνδετικών στοιχείων όπως άμυλο και ασβέστη CaO συμβάλλει στην παραγωγή pellets με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Έχει προταθεί ένα εύρος εφαρμογών τους στη γεωργία, τη διαμόρφωση τοπίων και σε συγκεκριμένες καλλιέργειες (π.χ. μανιταριών). Στην Ευρώπη είναι διαθέσιμη μια ποικιλία συστημάτων ξήρανσης χωνευμάτων, μεταξύ των οποίων τα πιο κυρίαρχα είναι: ξηραντήρες ταινίας, ξηραντήρες τυμπάνων, συστήματα ηλιακής ξήρανσης – ηλιακά ξηραντήρια.

2.3.2 Παραγωγή βιο-εξανθρακώματος (biochar)

Το πυρολυτικό εξανθράκωμα (pyrochar) είναι το προϊόν που λαμβάνεται από την πυρόλυση της οργανικής ύλης και αποτελεί ένα τύπο ξυλάνθρακα. Η παραγωγή του έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της παγκόσμιας κοινότητας, καθώς μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη δέσμευση του CO₂ της ατμόσφαιρας, συνεισφέροντας καθοριστικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Πράγματι, η μετατροπή της βιομάζας σε πυρολυτικό εξανθράκωμα δύναται να σταθεροποιήσει τον άνθρακα που δεσμεύεται στα φυτά, ο οποίος είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός στη βιοαποικοδόμηση. Χάρη στις φυσικοχημικές του ιδιότητες, τέτοιου τύπου βιο-εξανθρακώματα είναι πολύ χρήσιμα ως εδαφοβελτιωτικά, εμποδίζοντας φαινόμενα διάβρωσης του εδάφους, μία πρακτική που συνάδει με τις αρχές της οικολογίας και της βιώσιμης γεωργίας. Η διάθεσή τους στα εδάφη ενισχύει τη γονιμότητά τους και αποτελεί μία τεχνική, που εφαρμοζόταν ήδη, αιώνες πριν, από ιθαγενείς πληθυσμούς του Αμαζονίου. Τα βιο-εξανθρακώματα είναι πολύ πορώδη, κι έτσι διαθέτουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, που προσφέρεται για αποτελεσματική προσρόφηση, χημικές αντιδράσεις και ιοντοεναλλακτική ικανότητα. Χάρη στην υψηλά διαθέσιμη ειδική επιφάνειά τους και στο πορώδες

τους, τα εξανθρακώματα μπορούν να βελτιώσουν την ικανότητα συγκράτησης νερού των εδαφών, συμβάλλοντας έτσι και στην αντιμετώπιση φαινομένων λειψυδρίας περιοχών του κόσμου. Ακόμη, η εφαρμογή τους στα εδάφη περιορίζει τη διασπορά παρασιτοκτόνων και βαρέων μετάλλων, που μπορούν να μεταφερθούν στα φυτά. Από περιβαλλοντικής άποψης, η εναπόθεση βιοεξανθρακωμάτων στο έδαφος αναμένεται να μειώσει τις εκπομπές CO₂ λόγω της υψηλής σταθερότητας του άνθρακα σε αυτήν τη μορφή, αλλά και να μειώσει την απελευθέρωση N₂O και CH₄. Κατά τις εδαφικές του εφαρμογές, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το θέμα των τοξικών συστατικών (π.χ. βαρέα μέταλλα, PHAs) και η ενδεχόμενη διαρροή τους στο έδαφος. Οι μηχανισμοί που επεξηγούν την αλληλεπίδραση μεταξύ πυρολυτικών εξανθρακωμάτων και εδαφικών ιδιοτήτων δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί. Η μελέτη της μακροχρόνιας εναπόθεσής τους στα εδάφη θα εξασφαλίσει και μία καλύτερη κατανόηση της επίδρασής τους στην ποιότητα του εδάφους και των καλλιεργειών.

2.4 Παραγωγή ενέργειας

2.4.1 Ανακύκλωση χωνεύματος για επιπλέον παραγωγή μεθανίου

Απαραίτητες παράμετροι για την εξασφάλιση μιας αποτελεσματικής και φιλικής προς το περιβάλλον διεργασίας παραγωγής βιοαερίου, είναι η μέγιστη αξιοποίηση του υποστρώματος και ένα ελάχιστο δυναμικό υπολειμματικού μεθανίου.

Η αποθήκευση του χωνεύματος, σε δεξαμενές ανοιχτού τύπου, συνδέεται με προβλήματα από τις εκπομπές μεθανίου, οι οποίες επηρεάζονται από τη σύσταση του χωνεύματος, το διάστημα αποθήκευσης και τη θερμοκρασία.

Μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική, για τον περιορισμό των εκπομπών και την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου, είναι η ανακυκλοφορία του χωνεύματος εντός της εγκατάστασης. Το

δυναμικό μεθανίου ποικίλει και εξαρτάται κυρίως από τη φύση της τροφοδοσίας και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής εντός του χωνευτήρα. Ορισμένες έρευνες υποδεικνύουν τα οφέλη της ανακυκλοφορίας του χωνεύματος, στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου, που οδηγούν στον περιορισμό των εκπομπών κατά την εναπόθεση στα εδάφη ή την αποθήκευση σε δεξαμενές ανοικτού τύπου, αλλά και την αύξηση της απόδοσης σε βιοαέριο. Ακόμη, η εισαγωγή στο σύστημα εκπλυμένων μικροοργανισμών, ενισχύει την ανάπτυξη του μικροβιακού πληθυσμού, βελτιώνοντας την απόδοση του αντιδραστήρα.

Ωστόσο, μία υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας στο χώνευμα, δύναται να προκαλέσει αποτυχία της διεργασίας και συνεπακόλουθη χαμηλή παραγωγή μεθανίου. Το pH του χωνεύματος κυμαίνεται στην αλκαλική περιοχή, κάτι που ευνοεί την παρουσία ελεύθερης αμμωνίας. Για την αναστολή του σχηματισμού της, πρόσφατες έρευνες έχουν μελετήσει τεχνολογίες αναγωγής της αμμωνίας, σε ένα στάδιο που προηγείται της ανακυκλοφορίας του υγρού χωνεύματος. Αντίθετα, για τροφοδοσίες με χαμηλό περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά (π.χ. ενεργειακές καλλιέργειες, υπολείμματα καλλιεργειών) η ανακυκλοφορία παρουσιάζεται ως μια αρκετά βιώσιμη τεχνική. Μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους, περιορίζοντας τις προσθήκες θρεπτικών και νερού, καθώς επίσης και τον τελικό όγκο του χωνεύματος.

Τα βέλτιστα οικονομικά οφέλη διασφαλίζονται μέσω μιας μετεπεξεργασίας του συνολικού όγκου του χωνεύματος ή του στερεού κλάσματός του, πριν την ανακυκλοφορία του στην εγκατάσταση της αναερόβιας χώνευσης. Ο ρόλος της μετεπεξεργασίας είναι να ενισχύσει τη βιοαποικοδομησιμότητα των ανθεκτικών συστατικών του στερεού κλάσματος του χωνεύματος. Διάφορες τεχνικές μετεπεξεργασίας (π.χ. μηχανική, θερμική, θερμο-χημική, ενζυμική) έχουν διερευνηθεί για την ενίσχυση της παραγωγής μεθανίου από το χώνευμα. Η μετεπεξεργασία συνδέεται με δύο κύρια οικονομικά οφέλη: (1) αυξημένη ανάκτηση μεθανίου ανά τόνο

τροφοδοσίας και (2) χαμηλότερο κόστος μετεπεξεργασίας χωνεύματος από εκείνο της προεπεξεργασίας του αρχικού υποστρώματος. Παρ' όλα αυτά η ανακυκλοφορία του χωνεύματος, με ή χωρίς παρεμβαλλόμενο στάδιο μετεπεξεργασίας, οδηγεί σε δυναμικό μεθανίου παρόμοιο ή ελαφρώς χαμηλότερο από εκείνο των αντιδραστήρων, που επεξεργάζονταν μόνο το αρχικό ρεύμα της βιομάζας. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την ενέργεια, που παράγεται ανά όγκο χωνευτήρα, η ανακυκλοφορία του χωνεύματος δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερα ωφέλιμη, καθώς περιορίζει τη φόρτιση της τροφοδοσίας. Ωστόσο, η ανακυκλοφορία του στερεού κλάσματος του χωνεύματος αυξάνει την ανάκτηση ενέργειας, για το ίδιο ποσό αρχικής βιομάζας. Με τον τρόπο αυτό, ιδιαίτερα στην περίπτωση ενεργειακών καλλιεργειών, μειώνονται οι απαιτήσεις σε απαιτούμενη γεωργική έκταση. Όλες αυτές οι παράμετροι δύνανται να συμβάλλουν θετικά στο περιορισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των σύγχρονων εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης.

2.4.2 Παραγωγή βιοαιθανόλης

Η παραγωγή βιοαιθανόλης, μέσω βιολογικής ζύμωσης, αποτελεί μία ακόμη εναλλακτική αξιοποίησης, τόσο του στερεού όσο και του υγρού κλάσματος του χωνεύματος. Ιδιαίτερως το στερεό χώνευμα, χάρη στο υψηλό του περιεχόμενο σε κυτταρίνη, έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον ως υπόστρωμα για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Ωστόσο, η χωνευμένες κυτταρίνη δύναται να παρουσιάσει φυσικοχημικά εμπόδια στη διεργασία, όπως χαρακτηριστικά η παρουσία της λιγνίνης η οποία περικλείει τις απλούστερες υδρογονανθρακικές δομές και περιορίζει την αποικοδόμηση. Για το λόγο αυτό, συστήνεται η εφαρμογή ενός σταδίου επεξεργασίας, πριν την ενζυμική υδρόλυση και τη ζύμωση, προκειμένου να ξεπεραστούν οι φυσικοί αναστολείς της διεργασίας. Γενικά, επεξεργασία με αραιή βάση εφαρμόζεται για τη διαλυτοποίηση της λιγνίνης από το λιγνοκυτταρινικό πλέγμα και την αύξηση του περιεχομένου σε κυτταρίνη του

εναπομένοντος στερεού κλάσματος. Αποδεικνύεται ότι, το χώνευμα, που λαμβάνεται από διεργασίες αναερόβιας χώνευσης, παρουσιάζει πλεονεκτήματα στην παραγωγή βιοαιθανόλης, καθώς αυτό, συνήθως, εμπλουτίζεται σε κυτταρίνη η οποία καθίσταται εύκολα προσεγγίσιμη. Πρόσθετα, για να βελτιωθεί η συνολική διεργασία παραγωγής βιοαιθανόλης και από οικονομικής άποψης, σημειώνεται ότι, και το υγρό κλάσμα του χωνεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο, για την υποκατάσταση φρέσκου νερού και θρεπτικών συστατικών.

2.4.3 Θερμικές διεργασίες

Η θερμική μετατροπή (π.χ. καύση, υδροθερμική ανθρακοποίηση, πυρόλυση) έχει εξεταστεί ως μέθοδος επεξεργασίας αναερόβιου χωνεύματος αγροτικής προέλευσης, προς παραγωγή ενέργειας αλλά και για τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής αποτελεσματικότητας της αναερόβιας χώνευσης.

Η υδροθερμική ανθρακοποίηση (HTC), συνήθως, λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 250°C και υποβάλλει τη βιομάζα σε αντιδράσεις ανθρακοποίησης, οδηγώντας στο σχηματισμό στερεού βιοάνθρακα, που αποτελεί το κύριο προϊόν της διεργασίας. Πρόκειται για μία θερμοχημική διεργασία που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή υγρών οργανικών υποστρωμάτων σε προϊόντα πλούσια σε άνθρακα, τα οποία καλούνται hydrochars (βιοεξανθράκωμα που προκύπτει από HTC), των οποίων τα χημικά χαρακτηριστικά είναι παρόμοια με εκείνα των ορυκτού άνθρακα.

Η ατμοθερμική ανθρακοποίηση (VTC) αποτελεί άλλη μία θερμική διεργασία που έχει εξεταστεί για την επεξεργασία βιομάζας και την παραγωγή στερεού καυσίμου με πλούσιο ανθρακικό περιεχόμενο. Στην περίπτωση της VTC, η βιομάζα επεξεργάζεται με κορεσμένο ατμό και δεν αναμιγνύεται με νερό, όπως στην περίπτωση της HTC.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του υδροθερμικού βιο-εξανθρακώματος, καθώς είναι παρόμοιες με εκείνες του άνθρακα, επιτρέπουν τη χρήση του ως στερεό καύσιμο. Πρόσφατες έρευνες έχουν μελετήσει την παραγωγή του από στερεό χώνευμα για ενεργειακούς σκοπούς.

Σε αντίθεση με τις υδροθερμικές, άλλες διεργασίες θερμικής μετατροπής που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (π.χ. πυρόλυση και καύση) απαιτούν τη χρήση στερεού χωνεύματος, με χαμηλό περιεχόμενο σε υγρασία. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η παρεμβολή ενός έντονου σταδίου προεπεξεργασίας της τροφοδοσίας με ξήρανση, ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία της διεργασίας. Η ανάκτηση θερμότητας από συστήματα CHP (combined heat and power) μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά για την ξήρανση του στερεού χωνεύματος. Μετά την ξήρανση, τα στερεά χωνεύματα δύνανται να διαμορφωθούν σε pellets και να αξιοποιηθούν για καύση.

Η καύση αποτελεί μια θερμοχημική διεργασία, που βασίζεται στην πλήρη οξείδωση των οργανικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας υπό μορφή θερμότητας. Η καθαρή θερμογόνο δύναμη των πέλλετ χωνεύματος έχει βρεθεί να κυμαίνεται μεταξύ 16.5 και 17.3 MJ kg⁻¹, και είναι παρόμοια με την θερμογόνο δύναμη του ξύλου. Η χρήση των πέλλετ χωνεύματος αποτελεί μία καλή εναλλακτική προσέγγιση, καθώς μπορούν να αξιοποιούνται από τις τρέχουσες, εμπορικά διαθέσιμες, τεχνολογίες καύσης, ενώ οι εκπομπές καυσαερίων παραμένουν εντός των ορίων, που προδιαγράφονται για τα βιοκαύσιμα. Ωστόσο, το υψηλό περιεχόμενο σε τέφρα, του στερεού χωνεύματος, θέτει περιορισμούς στη χρήση του εν λόγω υποστρώματος σε καυστήρα καύσης.

Η πυρόλυση αποτελεί μία ακόμη τεχνολογία που διατίθεται για τη διαχείριση του στερεού χωνεύματος. Πρόκειται για μία ενδόθερμη θερμοχημική διεργασία, η οποία δύναται να ανακτήσει ενέργεια από την οργανική ύλη, ανεξαρτήτως της βιοαποικοδομησιμότητάς της. Κατά την

πυρόλυση, το ξηρό χώνευμα θερμαίνεται σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, και τα οργανικά συστατικά της τροφοδοσίας διασπώνται, προς το σχηματισμό βιο-εξανθρακώματος και μιας αέριας φάσης.

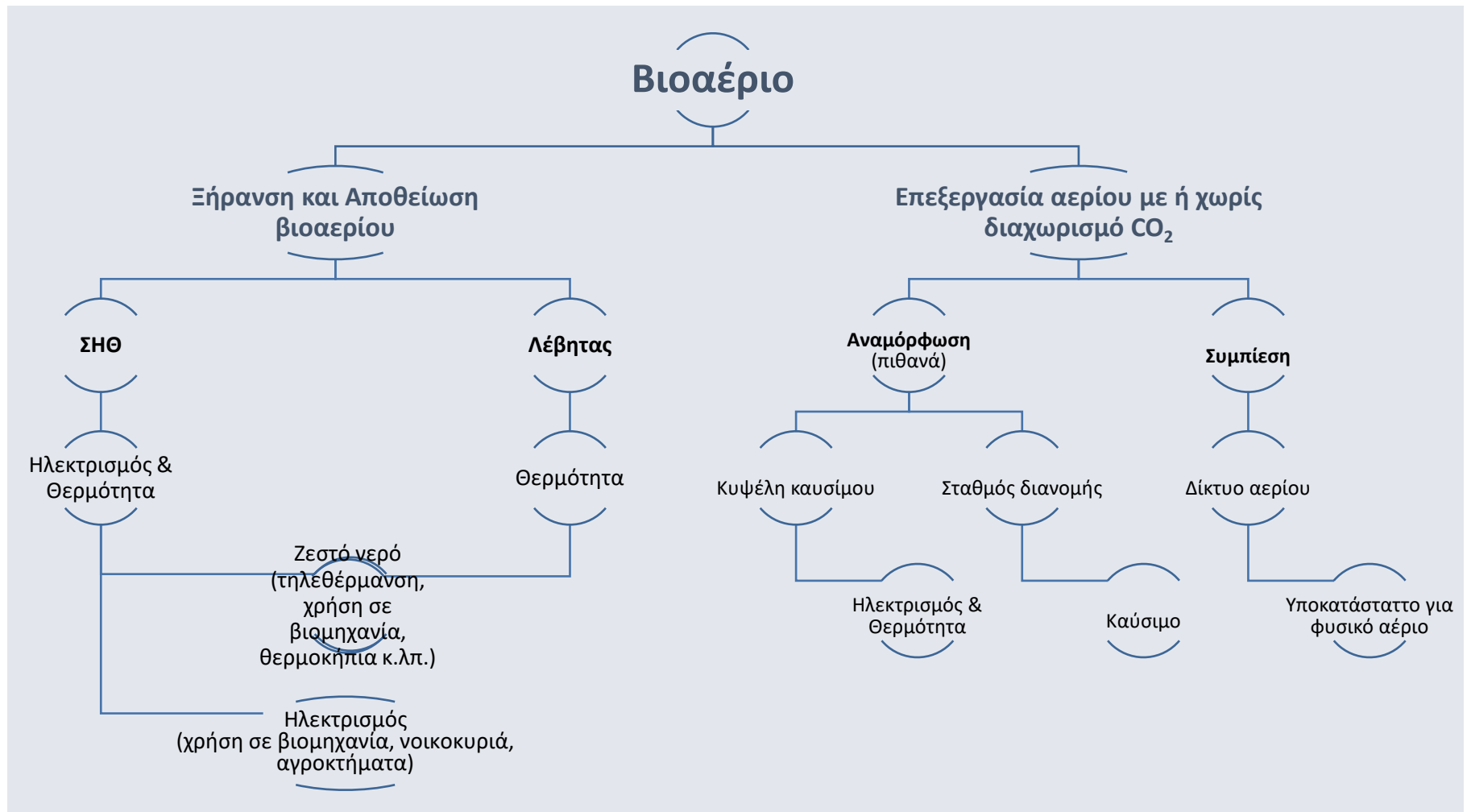
Με την ψύξη του ατμού, τα πολικά και υψηλού μοριακού βάρους συστατικά συμπυκνώνονται σε υγρό (βιο-έλαιο) ενώ τα μικρότερου μοριακού βάρους και πτητικά συστατικά παραμένουν στην αέρια φάση (syngas). Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, η πυρόλυση κατηγοριοποιείται σε βραδεία και ταχεία πυρόλυση. Γενικά, η βραδεία πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε χαμηλότερους ρυθμούς θέρμανσης ($<10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) και χρόνους παραμονής από λεπτά έως ώρες, ενώ η ταχεία πυρόλυση πραγματοποιείται με υψηλούς ρυθμούς θέρμανσης, εντός δευτερολέπτων ή λίγων λεπτών.

Τα προϊόντα που λαμβάνονται από τη βραδεία πυρόλυση είναι γενικά ο βιοάνθρακας (E35%) και το αέριο σύνθεσης (syngas) (E35%), ενώ το βιοέλαιο αποτελεί, κυρίως, προϊόν της ταχείας πυρόλυσης (E70%). Το αέριο σύνθεσης αποτελεί ένα μίγμα H_2 και CO_2 , αλλά περιέχει επίσης CH_4 , CO , H_2O και ορισμένα χαμηλού μοριακού βάρους πτητικά συστατικά. Το βιοέλαιο αποτελείται γενικά από μια υγρή και μία οργανική φάση, εκ των οποίων η οργανική είναι εκείνη, που αξιοποιείται για παραγωγή ενέργειας. Το βιοέλαιο περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος συστατικών όπως σάκχαρα, οξέα, κετόνες, φαινόλες και φουράνια. Διεργασίες πυρόλυσης έχουν εφαρμοστεί, ως μέθοδοι επεξεργασίας του στερεού χωνεύματος, για την παραγωγή ενέργειας και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης. Σε εφαρμογές και εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας π.χ. στα όρια ενός αγροκτήματος, ως πιο αποτελεσματική συστήνεται η μετατροπή του αερίου σύνθεσης και του βιοελαίου μέσω συνδυασμένων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP). Το αέριο σύνθεσης έχει επίσης διερευνηθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων (π.χ. βιοαιθανόλη, βουτανόλη,

βιονδρογόνο κ.α.), καθώς επίσης και χημικών, μέσω ζύμωσης με μικροοργανισμούς που μπορούν να το μεταβολίσουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που αφορά στη χρήση του για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), στην παραγωγή ενέργειας μέσω κυψελών καυσίμου ή μικρο-στροβίλων, όπως επίσης και στη χρήση του ως καύσιμο κινητήρων, και στην αναβάθμισή του σε βιομεθάνιο (Σχήμα 2). Πιο αναλυτικά, το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο. Λαμβάνοντας υπόψη βιοαέριο τυπικής περιεκτικότητας σε μεθάνιο 50%, η θερμαντική του ικανότητα είναι 21 MJ/Nm³ και η πυκνότητά του 1,22 kg/Nm³. Τόσο η σύνθεση όσο και οι ιδιότητες του βιοαερίου μπορούν να ποικίλουν σε κάποια έκταση ανάλογα με τον τύπο τροφοδοσίας, τις βιολογικές και διαχειριστικές παραμέτρους της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Η τυπική κατ' όγκο σύσταση του βιοαερίου περιλαμβάνει 50-75% CH₄, 25-45% CO₂, 2% (στους 20°C) - 7% (στους 40°C) H₂O, <2% O₂, <2% N₂, <1% NH₃, <1% H₂, και <1% H₂S, με τη μερίδα του λέοντος να αντιστοιχεί στο μεθάνιο το οποίο αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική πηγή ενέργειας έναντι του φυσικού αερίου.



Σχήμα 2: Χρήσεις βιοαερίου μέσω διαφορετικών τεχνολογιών αξιοποίησης

Πηγή: (Al Seadi, και συν., 2008) (Γιακουμέλος, 2012)

3.1 Χρήση βιοαερίου για την παραγωγή θερμότητας από άμεση καύση

Το βιοαέριο μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί μέσω άμεσης καύσης σε λέβητες ή καυστήρες για παραγωγή θερμότητας. Επιπρόσθετα, μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου είτε μεταφερόμενο μέσω αγωγού σε τελικούς χρήστες. Για σκοπούς θέρμανσης, το βιοαέριο δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία και το επίπεδο επιμόλυνσής του δεν περιορίζει τη χρήση του αερίου και σε άλλες εφαρμογές, παρόλο που πρέπει να υποβληθεί σε συμύκνωση και αφαίρεση σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και ξήρανση.

Στο πλαίσιο αυτό, δύο τύποι καυστήρων μπορούν να διακριθούν: ατμοσφαιρικοί καυστήρες και καυστήρες εξαναγκασμένης ροής αέρα. Στην πρώτη περίπτωση, οι εν λόγω καυστήρες λαμβάνουν τον αέρα καύσης τους με φυσική αναρρόφηση από τον αέρα του περιβάλλοντος. Η απαιτούμενη παροχή αερίου μπορεί να παρέχεται συχνά από μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου. Εν συνεχεία, για την περίπτωση ενός καυστήρα εξαναγκασμένης ροής αέρα, ο αέρας καύσης τροφοδοτείται από ανεμιστήρα, με απαιτούμενη πίεση τροφοδοσίας στον καυστήρα τουλάχιστον τα 15mbar. Για το λόγο αυτό, μπορεί να είναι απαραίτητη η χρήση ενός συμπιεστή αερίου για την παροχή.

3.2 Χρήση βιοαερίου για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού

Η συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) είναι η διαδοχική ή ταυτόχρονη παραγωγή πολλαπλών μορφών χρήσιμης ενέργειας (συνήθως μηχανικής και θερμικής) σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο σύστημα. Τα εν λόγω συστήματα αποτελούνται από έναν αριθμό μεμονωμένων εξαρτημάτων, και πιο συγκεκριμένα έναν κύριο κινητήρα (μηχανή θερμότητας), γεννήτρια, ανάκτηση θερμότητας και ηλεκτρική διασύνδεση τα οποία είναι διαμορφωμένα σε ένα ολοκληρωμένο σύνολο. Στο πλαίσιο αυτό, οι πιο συνηθισμένοι τύποι μονάδων CHP είναι μονάδες θερμικής ενέργειας τύπου μπλοκ (i.e. Block Type Thermal Power plants, BTTP) με κινητήρες

εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με βιοαέριο και είναι συνδεδεμένοι με μια γεννήτρια. Οι εν λόγω κινητήρες που έχουν αναπτυχθεί με βάση την αρχή του κινητήρα Otto δύνανται να χρησιμοποιηθούν και ως μονάδες ανάφλεξης με σπινθήρα (αρχή του κινητήρα ντίζελ). Οι μηχανές Gas-Otto μπορούν να κάνουν τροφοδοτηθούν απευθείας με βιοαέριο περιεκτικότητας σε μεθάνιο τουλάχιστον 45%. Οι μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα, ωστόσο, απαιτούν το πετρέλαιο ανάφλεξης το οποίο δεν μπορεί να φτάσει περισσότερο από το 10% της περιεκτικότητας καυσίμου που τροφοδοτείται για την καύση του βιοαερίου. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ήδη από τις αρχές του 2007, οι νέες εγκαταστάσεις δεν έχουν πλέον άδεια να χρησιμοποιούν έλαια ανάφλεξης προερχόμενα από ορυκτά καύσιμα.

Η χρήση του βιοαερίου σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (κινητήρες αερίου) αποτελεί μια μακροχρόνια εδραιωμένη και εξαιρετικά αξιόπιστη τεχνολογία, καθώς θεωρείται μία πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Το βιοαέριο πρέπει πρώτα να υποβληθεί σε προκατεργασία που περιλαμβάνει ξήρανση και καθαρισμό από προσμίξεις. Όλοι οι κινητήρες αερίου ορίζονται από μέγιστα όρια για την περιεκτικότητα σε υδρόθειο, αλογονωμένους υδρογονάνθρακες και σιλοξάνες στο βιοαέριο. Ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με CHP έχει απόδοση μέχρι και 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα. Τα νεότερα σχέδια παρουσιάζουν ηλεκτρική απόδοση έως 45%.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη CHP χρησιμοποιείται συνήθως για την κάλυψη των αναγκών των εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης και ειδικότερα των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια για το μηχανολογικό εξοπλισμό, π.χ. αντλίες, συστήματα ελέγχου και αναδευτήρες. Στην περίπτωση παραγωγής πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας, τότε πραγματοποιείται πώληση στο εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, η θερμότητα που παράγεται, χρησιμοποιείται συνήθως για τη θέρμανση του χωνευτή και του

κτηρίου. Η θερμότητα του βιοαερίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση καλλιεργειών, θρυμμάτων ξύλου ή για το διαχωρισμό και την περαιτέρω επεξεργασία του χωνεύματος. Τέλος, η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα «τροφοδοσίας θερμότητας-ψύξης-ζεύξης».

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα υπάρχει κείμενη νομοθεσία αναφορικά με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο προερχόμενο από βιομάζα. Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί παρατίθενται το σύνολο των συναφών νομοθετικών διατάξεων.

Πίνακας 4: Ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις στην Ελλάδα για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο προερχόμενο από βιομάζα

Νόμος		Σχολιασμός
Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04-06-2010)	Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.	Στην εν λόγω νομοθεσία περιλαμβάνονται οι συνθήκες που αφορούν στην ανάπτυξη έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).
		Επιπρόσθετα, καθορίζονται τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από μονάδες.
		Ακόλουθα, τροποποιείται ο Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129Α/27-06-2006) που αφορά στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις.
Υπουργική Απόφαση Δ6/Φ1/οικ. 13310 (ΦΕΚ 1153Β/10-07-2007):	Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.	
Υπουργική Απόφαση Α.Π. Δ5-ΗΛ/Β/οικ. 8311 (ΦΕΚ 655Β/17-05-2005)	Έγκριση του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.	Υπουργική Απόφαση Δ5/ΗΛ/Β/Φ.1.10/1086/10413 (ΦΕΚ 937Β/21-05-2008): Τροποποίηση των διατάξεων του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας σχετικά με την Τρίτη Μέρα Αναφοράς (ΦΕΚ Β'655/17.5.2005).
Προεδρικό διάταγμα 211/2006 (ΦΕΚ 211Α/05-10-2006)	Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό των υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	

Κανονισμός 1069/2009	Κανονισμός του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Οκτωβρίου 2009: περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την κατάργηση του Κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα).	
Κοινή Υπουργική Απόφαση Π. 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909Β/22-12-2003)	Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.	Εγκύκλιος οικ. 103731/1278/05-05-2004: Εφαρμογή νομοθεσίας για τη διαχείριση μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων.
Υπουργική Απόφαση Ειβ 221/65 (ΦΕΚ 138Β/24-2-1965)	Απόφαση περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων.	
Υπουργική Απόφαση 104247/ΕΥΠΕ/ΥΠ ΕΧΩΔΕ/2006	Διαδικασία προκαταρκτικής εκτίμησης και αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), σύμφωνα με το άρθρο 4 του ν. 1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του ν. 3010/2002.	Τροποποίηση από το Νόμο 3851/2010
Υπουργική Απόφαση 104248/ΕΥΠΕ/ΥΠ ΕΧΩΔΕ/2006	Περιεχόμενο, δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των προμελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΠΠΕ) και μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) καθώς και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).	

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

3.3 Χρήση βιοαερίου σε κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Με βάση τη λειτουργία τους μπορούν να συγκριθούν με τις μπαταρίες. Η διαφορά μεταξύ μιας μπαταρίας και μιας κυψέλης καυσίμου είναι ότι ενώ στις μπαταρίες τα αντιδραστήρια υπάρχουν μέσα στην μπαταρία και σιγά-σιγά εξαντλούνται κατά τη διάρκεια της χρήσης, σε μία κυψέλη καυσίμου νέα αντιδραστήρια ανατροφοδοτούνται συνεχώς. Το δομικό στοιχείο μιας κυψέλης καυσίμου αποτελείται από ένα στρώμα ηλεκτρολύτη σε επαφή με μια πορώδη άνοδο και κάθοδο και στις δύο πλευρές. Σε μία τυπική κυψέλη καυσίμου, το αέριο καύσιμο τροφοδοτείται συνεχώς στην άνοδο (δηλ. στο αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (δηλαδή οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχώς στην κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο). Μια ηλεκτροχημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στα ηλεκτρόδια, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Στο πλαίσιο αυτό, το βιοαέριο μπορεί είτε να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας κυψέλες καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας, ή να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία σε υδρογόνο. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν παραπάνω του ενός τύποι κυψελών καυσίμου κατάλληλοι για βιοαέριο, και οι οποίοι επονομάζονται κατ' αντιστοιχία με τον τύπο ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται. Οι κυψέλες αυτές μπορεί να είναι χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας, και η επιλογή του τύπου εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο αέριο καύσιμο και τη χρήση θερμότητας. Για παράδειγμα οι κυψέλες καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας έχουν τη δυνατότητα ηλεκτροπαραγωγικής ικανότητας που αγγίζει στο 50%. Πιο συγκεκριμένα: οι κυψέλες καυσίμου στερεού καταλύτη (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) δεν απαιτούν την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από το αρχικό αέριο, και λειτουργεί στους 750-1000°C. Η κυψέλη καυσίμου SOFC έχει υψηλή ηλεκτρική απόδοση και η αναμόρφωση του μεθανίου για

παραγωγή υδρογόνου μπορεί να λάβει χώρα εντός του κυττάρου. Η χρήση του βιοαερίου είναι κατάλληλη λόγω της χαμηλής ευαισθησίας του σε θείο.

Οι κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) μπορούν να λειτουργήσουν με αρχικό αέριο το οποίο περιέχει διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό ως και 40% κατ' όγκο και δεν επηρεάζονται από το μονοξείδιο του άνθρακα. Η θερμοκρασία λειτουργίας του ανέρχεται στους 600-700°C.

3.4 Χρήση βιοαερίου σε μικρο-στροβίλους

Οι μικρο-στρόβιλοι έχουν πολύ μικρότερη ηλεκτρική απόδοση από 26 έως 28%, αλλά παράγουν ατμό αντί για ζεστό νερό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικούς σκοπούς. Μία τέτοια μονάδα αντιπροσωπεύει μια εναλλακτική λύση στην κινητήρια χρήση του αερίου σε θάλαμο καύσης χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης και ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα περί τις 200kW. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία παραγωγής ξεκινά με την εισαγωγή και συμπίεση αέρα σε θάλαμο καύσης σε υψηλή πίεση και την κατόπιν ανάμειξή του με βιοαέριο. Το μίγμα αέρα-βιοαερίου καίγεται προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας και τη διόγκωση του μείγματος αερίου. Τα θερμά αέρια απελευθερώνονται μέσω ενός στροβίλου, ο οποίος συνδέεται με τη γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το κόστος των εν λόγω μονάδων παραμένει σχετικά υψηλό, και για το λόγο αυτό έρευνες προσανατολίζονται στην τεχνολογική τους αναβάθμιση και κατά συνέπεια στη μείωση κόστους. Η ηλεκτρική απόδοσή τους παραμένει σε σχετικά χαμηλά ποσοστά (περί το 28%), ενώ ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι περίπου 82%. Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες εντοπίζεται συνεχής καύση με περίσσεια αέρα και σε χαμηλές πιέσεις στο θάλαμο καύσης, οι μικρο-αεριοστρόβιλοι έχουν σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων από τους κινητήρες.

Ωστόσο, τα χρονικά διαστήματα μεταξύ της συντήρησής τους, τουλάχιστον για την περίπτωση των αεριοστροβίλων που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, είναι πολύ μεγαλύτερα σε σχέση με αυτά που αναλογούν στους κινητήρες.

3.5 Αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο

Εκτός από τον συμβατικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, το βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο για την παραγωγή φυσικού αερίου. Αυτό απαιτεί δαπανηρή προετοιμασία του βιοαερίου μέχρις ότου να έχει την ίδια ποιότητα με το φυσικό αέριο, ώστε να μπορεί να τροφοδοτείται στο δίκτυο φυσικού αερίου ως «βιομεθάνιο» με περιεκτικότητα σε μεθάνιο άνω του 95%. Το επεξεργασμένο βιοαέριο μπορεί να εγχυθεί σε διάφορους τύπους δικτύου και σε διαφορετικά επίπεδα πίεσης. Μια διάκριση είναι μεταξύ των δικτύων χαμηλής πίεσης (μέχρι 100mbar), (100 mbar έως 1 bar) και δίκτυα υψηλής πίεσης (1 έως 120bar). Είναι επίσης συχνή η διαφοροποίηση μεταξύ τεσσάρων (4) επιπέδων παροχής: διεθνές δίκτυο υπεραστικής μεταφοράς, υπερ-περιφερειακό δίκτυο μεταφοράς, το περιφερειακό δίκτυο μεταφοράς και περιφερειακό δίκτυο διανομής. Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το κόστος παροχής αερίου, η πίεση εξόδου από την επεξεργασία διαδικασία θα πρέπει να προσαρμοστεί στο υφιστάμενο δίκτυο πίεσης έτσι ώστε το κόστος της μετέπειτα συμπίεσης να μπορεί να περιοριστεί στο ελάχιστο. Προτού να μπορέσει να τροφοδοτηθεί το επεξεργασμένο βιοαέριο, η πίεση του πρέπει να αυξηθεί σε επίπεδο πάνω από το σημείο εισόδου στον αγωγό μεταφοράς. Επομένως, κάθε σημείο εισόδου πρέπει να έχει το δικό του έλεγχο πίεσης και τον σταθμό μέτρησης για την παρακολούθηση του επίπεδο πίεσης. Η τελική ποιότητα του βιομεθανίου υπαγορεύεται από τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του τοπικού δικτύου και από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την αναβάθμιση του βιοαερίου.

Η δυνατότητα έγχυσης του βιομεθανίου για αντικατάσταση ή χρήση ως επιπρόσθετου αερίου στη μεταφορά και στη διανομή δικτύων βασίζεται στην εφαρμογή των ευρωπαϊκών Οδηγιών 55/2003/ΕΚ και 28/2009/ΕΚ. Η εν λόγω νομοθεσία στοχεύει στη χρήση του αερίου που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προσδιορίζοντας το βιομεθάνιο ως μια πιθανή λύση για την επίτευξη των στόχων της Συνθήκης του Κιότο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Οι Οδηγίες αυτές απαιτούν από τα κράτη μέλη να εξασφαλίζουν ότι το αέριο που προκύπτει από τη ζύμωση βιομάζας και από θερμοχημικές διεργασίες, καθώς και άλλα αέρια (που προκύπτουν, για παράδειγμα, από τη μεθάνωση του υδρογόνου που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές), σύμφωνα με τις απαιτήσεις της καθορισμένης ποιότητας:

- να έχει μη διακριτή πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου, εφόσον παρέχεται, μεταφέρεται και συσσωρεύεται με ασφάλεια και
- ότι ο τελικός χρήστης μπορεί να το εκμεταλλευτεί χωρίς περαιτέρω κίνδυνο και με σεβασμό περιβάλλον.

Στον **Error! Reference source not found.** που ακολουθεί παρατίθενται τα απαιτούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά του βιομεθανίου για έγχυση στο δίκτυο.

Πίνακας 5: Ισχύουσες κοινές απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής για το βιομεθάνιο στο σημείο εισόδου στα δίκτυα H και L φυσικού αερίου

Παράμετροι	Μονάδα μέτρησης	Όρια τιμών		Μέθοδος
		ελάχιστο	μέγιστο	
Σύνολο πτητικής σιλικόνης	mgSi/m ³		0,3 (καθαρό) – 1 (αραιωμένο)	EN ISO 16017-1:2000 TDS-GC-MS
Έλαιο συμπίεστη		Χωρίς προσμίξεις		ISO 8573-2:2007
Προσμίξεις σκόνης		Χωρίς προσμίξεις		ISO 8573-4:2001
CO			0,1	EN ISO 6974 series
NH ₃			10	NEN 2826:1999 ή VDI 3496 Blatt 1:1982-04 NF X43-303:2011
Αμίνη			10	VDI 2467 Blatt 2:1991-08

Πηγή: (Wellinger, Report on the practical experiences with the application of European Biomethane Standards, 2017)

3.6 Χρήση βιοαερίου σε κινητήρες

Η χρησιμοποίηση του βιοαερίου ως καυσίμου οχήματος χρησιμοποιεί την ίδια διαμόρφωση κινητήρα και οχήματος με το φυσικό αέριο. Το 2005 υπήρχαν περισσότερα από 3 εκατομμύρια οχήματα φυσικού αερίου και περίπου 10.000 αυτοκίνητα και λεωφορεία με βιοαέριο, γεγονός που υποδεικνύει ότι η διαμόρφωση του οχήματος δεν αποτελεί πρόβλημα για τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου οχημάτων. Ωστόσο, οι απαιτήσεις ποιότητας του φυσικού αερίου είναι αυστηρές, επομένως κρίνεται αναγκαία η αναβάθμιση του ακατέργαστου βιοαερίου που προέρχεται από αναερόβια χώνευση. Ο λόγος αναβάθμισης του βιοαερίου στοχεύει:

- στην υψηλότερη θερμιδική αξία ούτως ώστε να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες χιλιομετρικές αποστάσεις οδήγησης,
- στη σταθερή ποιότητα του αερίου για την παροχή ασφαλούς οδήγησης,
- στη μείωση των φαινομένων διάβρωσης λόγω των υψηλών επιπέδων υδρογόνου σουλφιδίου, αμμωνίας και ύδατος, καθώς και
- στην απομάκρυνση μηχανικά επιβλαβών σωματιδίων.

Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αφαιρεθεί το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, η αμμωνία, τα σωματίδια και το νερό (και μερικές φορές άλλα ιχνοστοιχεία) έτσι ώστε το παραγόμενο αέριο προς χρήση ως καύσιμο οχημάτων να έχει περιεκτικότητα σε μεθανίου άνω του 95% κατ' όγκο. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο έχει χαρακτηριστεί ως το καθαρότερο καύσιμο για το περιβάλλον, το κλίμα και την ανθρώπινη υγεία. Το βιομεθάνιο θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο για οχήματα, ακόμη και σε σύγκριση με άλλα βιοκαύσιμα. Στον **Error! Reference source not found.** που ακολουθεί παρατίθενται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του βιομεθανίου για χρήση του σε μηχανές κίνησης.

Πίνακας 6: Απαιτήσεις, οριακές τιμές και συναφείς μέθοδοι δοκιμών για το φυσικό αέριο και το βιομεθάνιο ως καύσιμα αυτοκινήτων με κανονική ποιότητα MN

Παράμετροι	Μονάδα μέτρησης	Όρια τιμών		Μέθοδος
		ελάχιστο	μέγιστο	
Σύνολο πτητικής σιλίκονης	mgSi/m ³		0,3 (καθαρό) – 1 (αραιωμένο)	SP test method
Υδρογόνο	% mol/mol		2	EN ISO 6974-3 EN ISO 6974-6 EN ISO 6975
Σημείο δρόσου υδρογονανθράκων (από 0,1 έως 7MPa απόλυτης πίεσης)	°C	-	-2 (όπως στο EN 16726)	ISO 23874 ISO/TR 11150 ISO/TR 12148
Οξυγόνο	% mol/mol	-	1	EN ISO 6974 series EN ISO 6975
				NEN 2826:1999 ή VDI 3496 Blatt 1:1982-04 NF X43-303:2011
				VDI 2467 Blatt 2:1991-08

Πηγή: (Wellinger, Report on the practical experiences with the application of European Biomethane Standards, 2017)

Τα διαθέσιμα μοντέλα που μπορούν να τροφοδοτούνται με αέριο περιλαμβάνουν αυτά τα οποία έχουν αποκλειστική παροχή αερίου και μικρή δεξαμενή βενζίνης για έκτακτη ανάγκη, καθώς και τα υβριδικά με κινητήρα ικανό να χρησιμοποιήσει είτε αέριο ή βενζίνη. Λόγω του σημαντικού όγκου ασυμπίεστου βιοαερίου, το βιοαέριο αποθηκεύεται σε δεξαμενές πεπιεσμένου αερίου στα περίπου 200bar είτε στο πίσω ή κάτω μέρος του οχήματος. Από τον Ιούνιο του 2002, τα βιοκαύσιμα έχουν απαλλαγεί από φόρους, που δίνει τον απαραίτητο βαθμό ασφάλειας σχεδιασμού για την κατασκευή σταθμών ανεφοδιασμού με βιοαέριο. Το κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου είναι παρόμοιο με αυτό που απαιτείται για την τροφοδοσία σε ένα δίκτυο, στο οποίο πρέπει να προστεθεί η πρόσθετη δαπάνη της συμπίεσης του βιομεθανίου για την επίτευξη του απαραίτητου επιπέδου πίεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΑΛΩΔΙΑΣ

4.1 Εργαστηριακές αναλύσεις και σχολιασμός σύστασης χωνεύματος

Με εφαρμογή του πρωτοκόλλου δειγματοληψίας και εργαστηριακών αναλύσεων που περιεγράφηκε στο παραδοτέο 5.1.2, στη μονάδα διαχείρισης βιοαποβλήτων της Κοινότητας Παλώδιας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες του χωνεύματος και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο πλήρης χαρακτηρισμός αυτών των δειγμάτων. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των παραμέτρων ανάλυσης των εργαστηριακών δειγμάτων του χωνεύματος που ελήφθησαν στις διάφορες δειγματοληψίες. Συγκεκριμένα κάθε εργαστηριακό δείγμα χωνεύματος αναλύθηκε ως προς τις ακόλουθες παραμέτρους:

- pH
- Αγωγιμότητα (Conductivity-Cond.)
- Ολική Αλκαλικότητα (Total alkalinity-ALK)
- Πτητικά οξέα (Volatile acids-VA)
- Αλκαλικότητα Πτητικών οξέων (Volatile acids alkalinity-VA_ALK)
- Ολικά στερεά (Total Solids -TS)
- Ολικά πτητικά στερεά (Total Volatile Solids-TVS)
- Ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids -TSS)
- Ολικά πτητικά αιωρούμενα στερεά (Total Volatile Suspended Solids-TVSS)
- Ολικά διαλυτά στερεά (Total dissolved Solids-TDS)
- Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD)
- Ολικός φωσφόρος (Total phosphorus-TP)
- Φωσφορικά ιόντα (Phosphate ions- P-PO₄³)

- Ολικό άζωτο (Total Nitrogen-TN)
- Ολικό kjeldahl άζωτο (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)
- Αμμωνιακό άζωτο (Ammoniacal nitrogen- N-NH_3)

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι παρουσιάζονται οι πρωτογενείς μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με ευθύνη του ΤΕΠΑΚ και παραδόθηκαν στον Ανάδοχο.

Πίνακας 7: Πλήρης φυσικοχημικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων χωνεύματος του αναερόβιου χωνευτήρα της Κοινότητας Παλώδιας

A/A	Ημερομηνία Δειγματοληψίας	pH	Cond mS/cm	ALK mg /L CaCO ₃	VA mg /L CaCO ₃	VA_ALK mg /L CaCO ₃	TS %	TVS %	TSS g/L	VSS g/L	TDS g/L	COD mg/L	TN mg/L	TKN mg/L	N-NH ₃ mg/L	TP mg/L	P-PO ₄ ³⁻ mg/L
A	16/12/2019	8.27	25.7	6900	525	350	2.19	45.6	8.4	7.2	12.5	26900	3400	3304	2408	710	515
B	6/2/2020	7.88	23	7280	2280	1520	1.95	48.9	6.0	5.1	11.9	21750	3600	2156	1512	1230	980
Γ	9/3/2020	7.74	27.8	14800	750	500	3.47	58.8	22.2	12.4	13.8	30700	4100	2716	1792	810	760
Δ	16/3/2020	7.47	27.6	14785	710	470	3.63	60.4	21.1	15.3	13.9	31600	4290	2950	1834	980	890
E	23/3/2020	7.37	27.5	14750	675	450	3.77	62.6	19	18.4	13.6	32500	4500	3080	1904	1080	1060

Όταν το οργανικό υλικό χωνεύεται αναερόβια, τα περισσότερα από τα θρεπτικά συστατικά του υλικού τροφοδοσίας διατηρούνται στη διαδικασία και κατά συνέπεια καταλήγουν στο χώνευμα. Το χωνεμένο προϊόν περιέχει τα περισσότερα από τα μακροθρεπτικά συστατικά (N, P, K, Ca, S και Mg) και τα μικροθρεπτικά συστατικά (B, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo και Ni) του υλικού που τροφοδοτείται στον αναερόβιο χωνευτήρα. Εκτός από τη σύσταση της πρώτης ύλης, σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της σύστασης του χωνεύματος διαδραματίζουν και οι συνθήκες λειτουργίας του χωνευτή.

Στον αναερόβιο χωνευτήρα της Κοινότητας Παλώδιας που εξετάστηκε, κατά το χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες υπάρχει μια δυναμική εξέλιξη της λειτουργίας του χωνευτήρα, με εναλλαγή και των τροφοδοτούμενων υποστρωμάτων. Για να είναι εφικτή η συσχέτιση υποστρώματος- χωνεύματος, στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8) παρουσιάζεται ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός των υποστρωμάτων τροφοδοσίας που επεξεργάζονται αναερόβια για να προκύψουν τα αντίστοιχα χωνεύματα του Πίνακας 7. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η γραφική συσχέτιση των ολικών πτητικών στερεών (TVS), του ολικού αζώτου (TN) και του ολικού φωσφόρου (TP) στο εκάστοτε υπόστρωμα και το αντίστοιχο χώνευμα. Η μείωση των πτητικών στερεών και του αζώτου οφείλεται στην πρόοδο των βιολογικών δράσεων των αναερόβιων μικροοργανισμών, ενώ ο φώσφορος παραμένει σχεδόν αμετάβλητος στο χώνευμα.

Σύμφωνα με τις εργαστηριακές αναλύσεις το pH του χωνεύματος του αναερόβιου αντιδραστήρα της κοινότητας της Παλώδιας κυμαίνεται από 7.37 -8.27. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η τυπική περιοχή διακύμανσης του pH στο φρέσκο χωνεμένο προϊόν είναι 7,5 έως 9. Το pH επηρεάζεται κυρίως από την εξέλιξη των βιολογικών δράσεων της αναερόβιας χώνευσης καθώς και από τη σύνθεση του υποστρώματος. Το pH τείνει να αυξηθεί όταν καταναλώνονται τα πτητικά λιπαρά οξέα και / ή όταν βασικά κατιόντα (K^+ , Ca^{2+}) απελευθερώνονται, ενώ παρατηρείται μείωση του

pH λόγω των κατακρημνίσεων ανθρακικών και φωσφορικών αλάτων. Στον εξεταζόμενο χωνευτήρα η τιμή του pH μειώνεται σταδιακά και το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη συσσώρευση των πτητικών οξέων.

Τα ολικά στερεά του χωνεύματος κυμαίνονται από 1,5-45,7% σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και επηρεάζονται έντονα από την αντίστοιχη περιεκτικότητα της πρώτης ύλης και του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματός της. Το δε οργανικό κλάσμα του χωνεύματος μπορεί να φτάσει μέχρι και το 77% σε ξηρή βάση. Εντός του βιβλιογραφικού εύρους κυμαίνονται τόσο τα ολικά στερεά του χωνεύματος του αναερόβιου χωνευτήρα που εξετάζεται (με τιμές από 1,95 έως 3,77%), όσο και του οργανικού κλάσματος (45.6-62.5%).

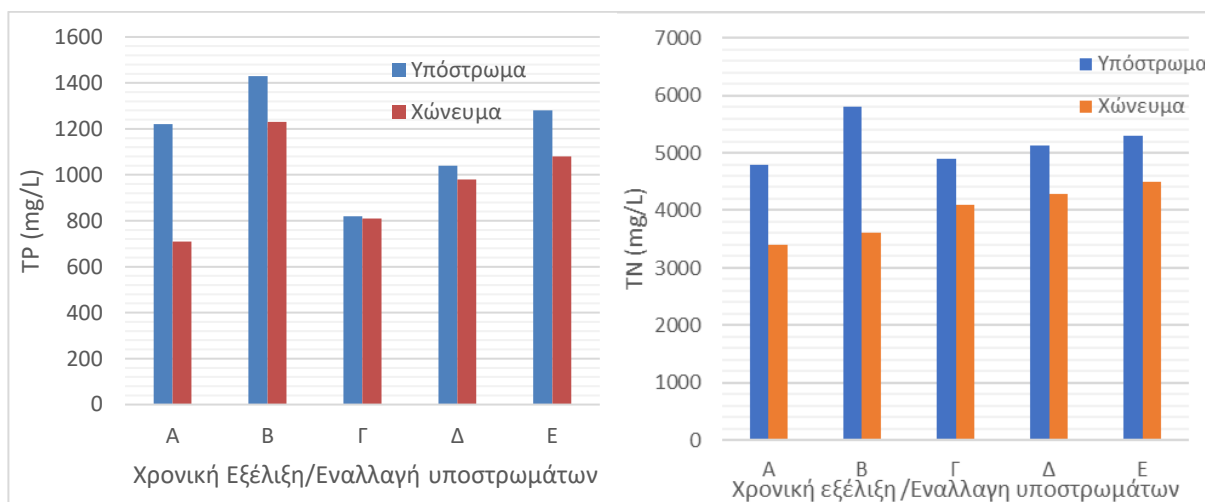
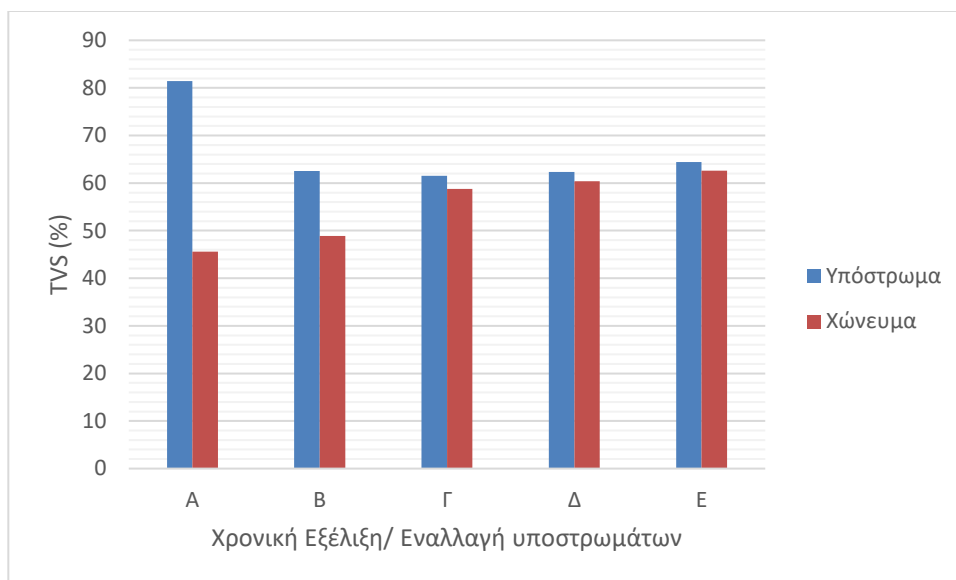
Όσον αφορά το άζωτο στο χώνευμα, έχουν αναφερθεί αυξημένες συγκεντρώσεις ολικού αζώτου (TN) (έως 21% d.b.) κυρίως υπό μορφή ολικού αμμωνιακού αζώτου (TAN) (35-81% TN). Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανώς στη χαμηλή αφομοίωση του οργανικού αζώτου από την αναερόβια ιλύ. Για την εξεταζόμενη περίπτωση της κοινότητας Παλώδιας, το χώνευμα παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα αζώτου της τάξης του $14 \pm 3\%$ σε ξηρή βάση, ενώ το αμμωνιακό άζωτο αποτελεί το 43% του ολικού αζώτου. Η υψηλή περιεκτικότητα του αζώτου μπορεί να αποδοθεί στη χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων χοίρων σε υψηλό ποσοστό στο εισερχόμενο υπόστρωμα. Επιπλέον, και το πρωτεϊνικό κλάσμα των υπολειμμάτων τροφών συνεισφέρει στην αύξηση του αζώτου.

Οι συνθήκες που επικρατούν στους αναερόβιους χωνευτές ευνοούν την παραγωγή φωσφορικών αλάτων και την καταβύθισή τους ως $Mg_3(PO_4)_2$ και $Ca_3(PO_4)_2$. Παρόλα αυτά, η περιεκτικότητα του χωνεύματος σε φωσφορικά άλατα είναι ανεξάρτητη από την αναερόβια βιολογική επεξεργασία αλλά επηρεάζεται μόνο από τη σύνθεση της πρώτης ύλης. Στο χώνευμα του

αναιερόβιου αντιδραστήρα διαχείρισης βιοαποβλήτων της Κοινότητας της Παλώδιας, τα φωσφορικά ιόντα συνιστούν την κύρια μορφή του φωσφόρου κατά 75-98%.

Πίνακας 8: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τροφοδοτούμενων υποστρωμάτων στον αναερόβιο χωνευτήρα της κοινότητας Παλώδιας

A/A	Ημερομηνία λήψης δείγματος	Υπόστρωμα	pH	Cond S/cm	TSS g/L	VSS g/L	TS %	TVS %	TDS g/L	COD mg /L	TN mg/L	TKN mg/L	N-NH ₃ mg/L	TP mg/L	P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)
A	16/12/2019	Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων	6.78	136	57.5	53	8.44	81.41		85600	4800	3976	3500	1220	1060
B	6/2/2020	Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων	7.70	26	28.5	22	5.39	62.55	12.6	58500	5800	3472	3220	1430	1420
Γ	9/3/2020	Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (50%), κοτόπουλων (25%), τυρόγαλα και σπάνια υπολείμματα φρούτων και κριθάρι	7.36	28.4	48.4	32.2	3.97	61.54	14	77500	4900	2856	2156	820	810
Δ	16/3/2020	Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (50%), κοτόπουλων (25%), τυρόγαλα (25%) και σπάνια υπολείμματα φρούτων και κριθάρι και ξηρά υπολείμματα τροφών	7.45	28.7	40.1	30.1	4.37	62.32	14.1	54500	5120	2990	2200	1040	1040
E	23/3/2020	Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (50%), κοτόπουλων (25%), τυρόγαλα (25%) και σπάνια υπολείμματα φρούτων και κριθάρι	7.51	28.9	34.1	24.1	4.75	64.43	14.4	44700	5300	3640	2240	1280	1250



Σχήμα 3: Συσχέτιση των ολικών πτητικών στερεών (TVS), του ολικού αζώτου (TN) και του ολικού φωσφόρου (TP) του χωνεύματος με το υπόστρωμα του αναερόβιου χωνευτήρα.

A: Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων(16/12/2019), B: Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (6/2/2020), Γ: Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (50%), κοτόπουλων (25%), τυρόγαλα και σπάνια υπολείμματα φρούτων και κριθάρι (9/3/2020), Δ: Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (50%), κοτόπουλων (25%), τυρόγαλα (25%) και σπάνια υπολείμματα φρούτων και κριθάρι και ξηρά υπολείμματα τροφών (16/3/2020), E: Κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων (50%), κοτόπουλων (25%), τυρόγαλα (25%) και σπάνια υπολείμματα φρούτων και κριθάρι (23/3/2020)

4.2 Επεξεργασία Χωνεύματος

Στο καινοτόμο σύστημα διαχείρισης των βιοαποβλήτων στην κοινότητα Παλώδιας (Σχήμα 4), εκτός από τον αναερόβιο χωνευτήρα, υπάρχει και γραμμή διαχείρισης του χωνεύματος.

Συγκεκριμένα η γραμμή διαχείρισης των χωνεύματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Διαχωρισμός των κλασμάτων του χωνεύματος
- Κομποστοποίηση του στερεού κλάσματος και
- Αερόβια βιολογική επεξεργασία του υγρού κλάσματος.

Ο διαχωρισμός του χωνεύματος σε υγρό και στερεό κλάσμα επιτυγχάνεται με δι-βάθμιο σύστημα περιλαμβάνοντας σακκόφιλτρα για τον πρώτο διαχωρισμό και υπερδιήθηση για να εξασφαλιστούν υψηλότερες αποδόσεις διαχωρισμού. Το στερεό κλάσμα του χωνεύματος που προκύπτει τόσο από τα σακκόφιλτρα όσο και από τη μονάδα μεμβρανών οδηγείται στη μονάδα κομποστοποίησης. Το διήθημα απαλλαγμένο από στερεά υφίσταται αερόβια βιολογική επεξεργασία με χρήση αντιδραστήρα τύπου SBR (Sequencing Batch Reactor, αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας). Στα συστήματα τύπου SBR, οι διεργασίες επιτελούνται σε μία και μόνο δεξαμενή, τον λεγόμενο αντιδραστήρα SBR, όπου τα λύματα υποβάλλονται σε επεξεργασία 5 φάσεων με χρονικό έλεγχο:

1. Πλήρωση
2. Μείξη και αερισμός
3. Απομάκρυνση ιλύος
4. Ηρεμία και καθίζηση αιωρούμενων στερεών
5. Εκκένωση

Είναι λοιπόν φανερό ότι η μονάδα διαχείρισης του χωνεύματος μπορεί να ενταχθεί στις τεχνολογικές επιλογές αξιοποίησης του χωνεύματος με παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης

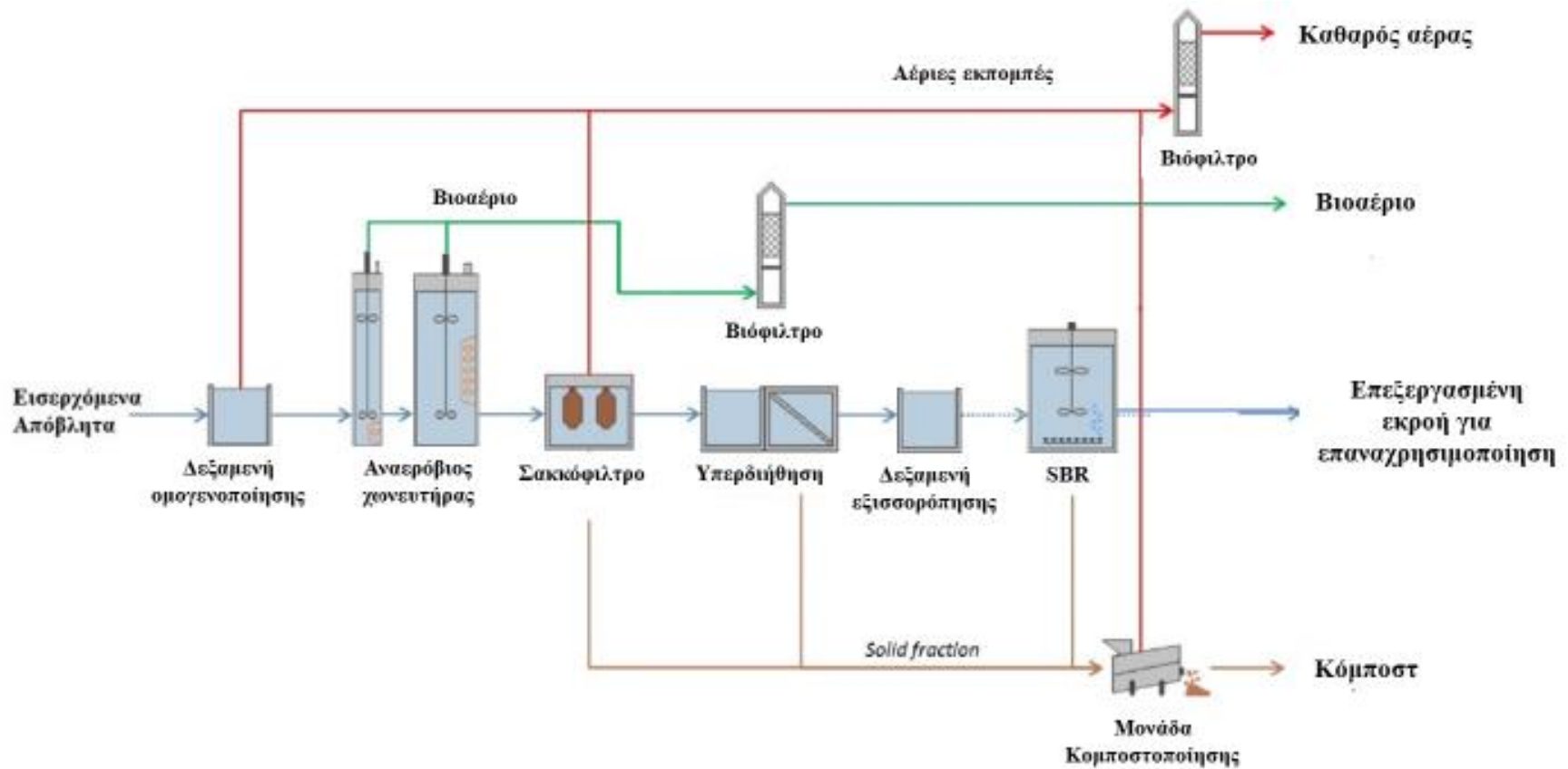
αξίας. Συγκεκριμένα παράγεται κόμποστ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα, αλλά και η επεξεργασμένη εκροή μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο ως νερό άρδευσης όσο και για να καλύψει τις ανάγκες της μονάδας διαχείρισης των βιοαποβλήτων.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η γραμμή διαχείρισης του χωνεύματος που έχει υιοθετηθεί στην καινοτόμο μονάδα της κοινότητας Παλώδιας παρουσιάζονται στη συνέχεια οι εργαστηριακές αναλύσεις των επιμέρους σταδίων, καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Στον

Πίνακας 9 παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του διηθήματος. Παρατηρείται από τη σύγκριση των δεδομένων του Πίνακας 7 που περιγράφει τα χαρακτηριστικά του χωνεύματος με τον Πίνακα 9, ότι το σύστημα διαχωρισμού των κλασμάτων του χωνεύματος, έχει υψηλή απόδοση

διαχωρισμού των αιωρούμενων στερεών που υπερβαίνει το 96% σε κάθε περίπτωση. Η κατατομή των θρεπτικών στα επιμέρους κλάσματα επιβεβαιώνει τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Συγκεκριμένα 50-65% του ολικού αζώτου παραμένει στην υγρή φάση. Η δε διαλυτή μορφή του αζώτου, δηλαδή το αμμωνιακό άζωτο, μεταφέρεται σε υψηλότερα ποσοστά, της τάξης του 55-83%. Σε αντίθεση με το άζωτο, ο φώσφορος παραμένει στο στερεό κλάσμα του χωνεύματος, αφού μόλις το 4-5% του φωσφόρου του χωνεύματος ανιχνεύεται στο διήθημα.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 10, η επεξεργασία του διηθήματος στον αντιδραστήρα SBR δεν μπορεί να θεωρηθεί αποδοτική, δεδομένου ότι το οργανικό φορτίο του ρεύματος όχι μόνο δεν μειώνεται αλλά αυξάνεται. Οι λειτουργικές παράμετροι του αερόβιου βιολογικού αντιδραστήρα θα πρέπει λοιπόν να επανεξεταστούν. Οι αναλύσεις του κόμποστ (Πίνακας 11) θα πρέπει να επαναξιολογηθούν ως προς ορισμένες αναλυτικές παραμέτρους. Η περιεκτικότητα των ολικών στερεών θα πρέπει να ισούται με το άθροισμα της οργανικής ύλης και της τέφρας σε κάθε περίπτωση, γεγονός που δεν ισχύει στις μετρήσεις που δόθηκαν.



Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής ολοκληρωμένης μονάδας διαχείρισης βιοαποβλήτων στην κοινότητα Παλώδιας

Πίνακας 9: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά διηθήματος

A/A	Ημερ Δειγμ	pH	Cond mS/cm	TSS mg/L	VSS mg/L	TS %	TVS %	TDS g/L	COD mg/L	TN mg/L	TKN mg/L	NH ₃ -N mg/L	TP mg/L	P-PO ₄ ³⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ g/L	ALK mg/L CaCO ₃
A	16/12/2019	8.88	20.2	92	86	0.89	18	9.7	5200	2160	2142	1988	70	68	340	179	990				
B	6/2/2020	8.14	18.9	222	174	1.05	38.51	9.3	3905	2480	1288	1134	58	50	220	126	820	1180	192		
Γ	9/3/2020	8.35	27	206	70	1.28	18.24	11.9	2525	2860	1351	980	40	39	335	168					
Δ	16/3/2020	8.28	25.7	178	88	1.14	27.62	12	2890	2650	1610	1190	44	43	329	163	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
E	23/3/2020	8.23	22.8	146	128	1.1	32.46	12	3260	2500	1960	1400	50	48	320	160	3410	1320	110	1800	11200

Πίνακας 10: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τελικής εκροής από SBR

A/A	Ημερ Δειγμ	pH	Cond mS/cm	D.O. mg/L	SVI mL/g MLSS	sOUR mgO ₂ /g MLVSS h	TS %	TVS %	TSS mg/L	VSS mg/L	TDS g/L	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	TN mg/L	TKN mg/L	N-NH ₃ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	TP mg/L	P-PO ₄ ³⁻ mg/L
A	16/12/2019																			
B	6/2/2020	8.76	18.2	7	2.92	2625	0.99	25.79	240	160	8.7	3880		2400	1232	840	575	67.5	130	57.5
Γ	9/3/2020	8.4	27	4.5	0.25	190.1	1.34	25.1	2800	1420	12	6050	1110	2900	1446	1344	34	250	90	86
Δ	16/3/2020	8.41	26.5	2.6	0.29	150.9	1.33	28.9	2510	1485	12.3	5795	1088	3104	1720	1378	36	275	87	83
E	23/3/2020	8.43	26.3	1.5	0.37	58.44	1.33	34.4	1900	1540	13	5130	945	3500	2590	1456	40	365	80	78

Πίνακας 11: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κομποστ

A/A	Ημερ Δειγμ	pH (2:5)	Cond (2:5) (mS/cm)	Bulk Density (g/L)	Υδατο χωρητικότητα (%)	Υγρασία (%)	TS (%)	VS (%)	Τέφρα %	TP (%)	TN (%)	NO ₃ ⁻ (% of TN)	NO ₂ ⁻ (% of TN)	SO ₄ ²⁺ (mg/kg)
A	16/12/2019	8.73	2.75	519.77	139.68					0.12	0.98	24.95	4	720
B	6/2/2020	8.3	3.9	328.5	80	66.95	33.05	15.1	2.7	0.26	0.68	8.85	17.29	550
Γ	9/3/2020	7.98	5.2	666.7	75	70.6	29.4	18.68	2.25	0.27	0.54	6.9	9.1	680
Δ	16/3/2020	8.05	5.29	999.3	101.4	72.44	27.56	22.03	3.74	0.31	0.63	5.6	7.91	693
E	23/3/2020	8.15	5.4	1082.9	160.1	77.95	22.05	35.44	6.37	0.37	0.75	1.61	4.83	700

Η αξιολόγηση της ποιότητας των τελικών προϊόντων θα γίνει με βάση την κείμενη ευρωπαϊκή νομοθεσία (2016/0084 COD) η οποία θεσπίζει τους κανόνες σχετικά με τη διάθεση προϊόντων λίπανσης της ΕΕ στην αγορά. Σύμφωνα με τις κατηγορίες λειτουργίας προϊόντος (ΚΛΠ) για προϊόντα λίπανσης της ΕΕ της εν λόγω οδηγίας τα τελικά προϊόντα της μονάδας διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας μπορούν να αξιολογηθούν ως οργανικά λιπάσματα. Το κόμποστ θα αξιολογηθεί ως στερεό οργανικό λίπασμα, ενώ η εκροή ως υγρό οργανικό λίπασμα. Συγκεκριμένα, ένα στερεό οργανικό λίπασμα περιέχει τουλάχιστον ένα από τα παρακάτω δηλούμενα κύρια θρεπτικά στοιχεία: άζωτο (N), πεντοξείδιο του φωσφόρου (P_2O_5) ή οξείδιο του καλίου (K_2O). Εάν ένα στερεό οργανικό λίπασμα περιέχει μόνο ένα δηλούμενο κύριο θρεπτικό στοιχείο, η εν λόγω περιεκτικότητα του θρεπτικού στοιχείου είναι τουλάχιστον η ακόλουθη: α) ολικό άζωτο (N) 2,5 % κατά μάζα, β) ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (P_2O_5) 2 % κατά μάζα, ή γ) ολικό οξείδιο του καλίου (K_2O) 2 % κατά μάζα. Εάν ένα στερεό οργανικό λίπασμα περιέχει περισσότερα από ένα δηλούμενα κύρια θρεπτικά στοιχεία, οι εν λόγω περιεκτικότητες του θρεπτικού στοιχείου είναι τουλάχιστον οι ακόλουθες: α) ολικό άζωτο (N) 1 % κατά μάζα, β) ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (P_2O_5) 1 % κατά μάζα, ή γ) ολικό οξείδιο του καλίου (K_2O) 1 % κατά μάζα. Το άθροισμα των εν λόγω περιεκτικότητων του θρεπτικού στοιχείου είναι τουλάχιστον 4 % κατά μάζα. Η περιεκτικότητα ενός στερεού οργανικού λιπάσματος σε οργανικό άνθρακα (C_{org}) είναι τουλάχιστον 15 % κατά μάζα.

Συγκεντρωτικά, στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις της νομοθεσίας και η σύσταση του κόμποστ της μονάδας της κοινότητας Πάλωδιας τροποποιημένη με τους προτεινόμενους από τον κανονισμό δείκτες.

Πίνακας 12: Σύγκριση προδιαγραφών στερεού οργανικού λιπάσματος κατά 2016/0084 COD με τη σύσταση του παραγόμενου κόμποστ από τη μονάδα διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας

Παράμετρος	Μονοθρεπτικό λίπασμα (2016/0084 COD)	Πολυθρεπτικό λίπασμα (2016/0084 COD)	Οργανικό εδαφοβελτιωτικό (2016/0084 COD)	Κομποστ κοινότητας Παλώδιας (υγρασία 67- 77%)	Ξηραμένο Κομποστ κοινότητας Παλώδιας (υγρασία 40%)
N (%)	2,5	1		0.716±0.08	1.4
P ₂ O ₅ (%)	2	1		0.61±0.11	1.2
K ₂ O (%)	2	1			
Άθροισμα θρεπτικών		4			
Corg (%)	15	15	7,5	12.78±4.97	26

Από τον Πίνακα 12 είναι φανερό ότι το παραγόμενο κόμποστ δεν μπορεί να θεωρηθεί οργανικό στερεό λίπασμα δεδομένου ότι βρίσκεται εκτός προδιαγραφών σε όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους. Η πιο απλή διορθωτική παρέμβαση που μπορεί να υιοθετηθεί είναι η μείωση της υγρασίας με εφαρμογή είτε βιοξήρανσης ή ηλιακής ξήρανσης έτσι ώστε να μειωθεί η υγρασία στο 40%. Δυστυχώς όμως και στην περίπτωση αυτή το κόμποστ δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της νομοθεσίας. Εν προκειμένου το εν λόγω προϊόν μπορεί να διακινηθεί μόνο ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό.

Όσον αφορά την υγρή εκροή του SBR αξιολογείται στο Πίνακα 13 ως υγρό οργανικό λίπασμα. Σύμφωνα με την νομοθεσία ένα υγρό οργανικό λίπασμα πρέπει είναι σε υγρή μορφή και να περιέχει τουλάχιστον ένα από τα ακόλουθα δηλούμενα κύρια θρεπτικά στοιχεία: άζωτο (N), πεντοξείδιο του φωσφόρου (P₂O₅) ή οξείδιο του καλίου (K₂O). Εάν ένα υγρό οργανικό λίπασμα περιέχει μόνο ένα δηλούμενο κύριο θρεπτικό στοιχείο, η εν λόγω περιεκτικότητα του θρεπτικού στοιχείου πρέπει να είναι τουλάχιστον η ακόλουθη: α) ολικό άζωτο (N) 2 % κατά μάζα, β) ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (P₂O₅) 1 % κατά μάζα, ή γ) ολικό οξείδιο του καλίου (K₂O) 2 % κατά μάζα. Εάν ένα υγρό οργανικό λίπασμα περιέχει περισσότερα από ένα δηλούμενα κύρια θρεπτικά

στοιχεία, οι εν λόγω περιεκτικότητες του θρεπτικού στοιχείου πρέπει να είναι τουλάχιστον οι ακόλουθες: α) ολικό άζωτο (N) 1 % κατά μάζα, β) ολικό πεντοξείδιο του φωσφόρου (P_2O_5) 1 % κατά μάζα, ή γ) ολικό οξείδιο του καλίου (K_2O) 1 % κατά μάζα. Το άθροισμα των εν λόγω περιεκτικοτήτων του θρεπτικού στοιχείου είναι τουλάχιστον 3 % κατά μάζα. Επιπλέον, σε ένα υγρό οργανικό λίπασμα η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (C_{org}) είναι τουλάχιστον 5 % κατά μάζα.

Πίνακας 13: Σύγκριση προδιαγραφών υγρού οργανικού λιπάσματος κατά 2016/0084 COD με τη σύσταση της υγρής εκροής από τη μονάδα διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας

Παράμετρος	Μονοθρεπτικό λίπασμα (2016/0084 COD)	Πολυθρεπτικό λίπασμα (2016/0084 COD)	Υγρή εκροή κοινότητας Παλώδιας
N (%)	2	1	0.29±0.05
P_2O_5 (%)	1	1	0.009±0.002
K_2O (%)	2	1	
Άθροισμα θρεπτικών		3	
C_{org} (%)	5	5	15.99±2.37

Και στην περίπτωση της υγρής εκροής δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της νομοθεσίας για αξιοποίηση του προϊόντος ως υγρό οργανικό λίπασμα. Η εναλλακτική της διάθεσης ως νερό προϋποθέτει περαιτέρω επεξεργασία για μείωση του οργανικού του φορτίου. Συνιστάται η ανακύκλωση του προϊόντος εντός της μονάδας διαχείρισης των βιοαποβλήτων για την κάλυψη των αναγκών σε νερό.

4.3 Εναλλακτικές χρήσεις χωνεύματος

Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των βιβλιογραφικών δεδομένων που παρουσιάστηκαν στο 2^ο Κεφάλαιο (Χρήσεις χωνεύματος) και τη λειτουργία του συστήματος διαχείρισης του χωνεύματος της μονάδας αξιοποίησης βιοαποβλήτων της κοινότητας της Παλώδιας όπως αποτυπώθηκε στις παραγράφους 4.1 και 4.2, θα περιγράψουν στη συνέχεια εναλλακτικές λύσεις και παρεμβάσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τόσο τη βιωσιμότητα της μονάδας όσο και να οδηγήσουν σε αποτελεσματικότερη αξιοποίηση του χωνεύματος.

Η απευθείας διάθεση του χωνεύματος στη γη/καλλιέργειες είναι μια εναλλακτική λύση που θα μπορούσε να υιοθετηθεί στην συγκεκριμένη μονάδα, υπό το πρίσμα ότι η μονάδα είναι μικρής κλίμακας και βέβαια υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν διαθέσιμες καλλιεργήσιμες εκτάσεις σε κοντινή απόσταση από τη μονάδα. Σημαντικό πρόβλημα σε μια τέτοια εναλλακτική συνιστά το γεγονός ότι οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό είναι εποχιακές, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη συσσώρευση του χωνεύματος κατά τους χειμερινούς μήνες.

Το πρόβλημα αυτό όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία μπορεί να μειωθεί σημαντικά με τον διαχωρισμό του χωνεύματος σε 2 κλάσματα: υγρό και στερεό. Στη μονάδα της κοινότητας της Παλώδιας έχει υιοθετηθεί ένα πολύ αποτελεσματικό σύστημα διαχωρισμού.

Στη συνέχεια το υγρό κλάσμα του χωνεύματος, δεδομένου ότι έχει απαλλαγή σχεδόν από στερεά θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων. Στο

Πίνακας 14 παρουσιάζονται οι επιμέρους τεχνολογίες που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στο διήθημα για ανάκτηση εμπορικών προϊόντων. Με βάση τη σύσταση του διηθήματος παρουσιάζεται και το δυναμικό (μέγιστη δυνατή ποσότητα) παραγωγής του εκάστοτε προϊόντος προστιθέμενης αξίας.

Πίνακας 14: Αξιοποίηση του διηθήματος προς παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων

Τεχνολογία	Προϊόν	Δυναμικό παραγωγή (g/L)	Παρατηρήσεις
Απογύμνωση αμμωνίας (ammonia stripping)	(NH ₄) ₂ SO ₄	11.93	Προσθήκη θεικών
Χημική Καταβύθιση	MgNH ₄ PO ₄ ·6H ₂ O	44.35	Προσθήκη επιπλέον φωσφόρου και μαγνησίου
Χημική Καταβύθιση	KMgPO ₄ ·6H ₂ O	24,40	Προσθήκη επιπλέον φωσφόρου και μαγνησίου
Χημική Καταβύθιση	CaHPO ₄ ·2H ₂ O	2,67	Προσθήκη επιπλέον φωσφόρου

Από τον Πίνακα 14 παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική δυναμική ως προς την παραγωγή των ανόργανων λιπασμάτων ως εμπορικά προϊόντα, ωστόσο θα πρέπει να συνεκτιμηθούν και επιπλέον οικονομοτεχνικοί παράγοντες.

Η υψηλή αγωγιμότητα της εκροής φανερώνει ότι τεχνικές ιοντοεναλλαγής θα παρουσίαζαν σημαντικά λειτουργικά προβλήματα.

Στην περίπτωση την μονάδα της κοινότητας της Παλώδιας θα μπορούσε να εξεταστεί και το σενάριο ανακύκλωσης του χωνεύματος ή του στερεού κλάσματος όπως υποδεικνύει η βιβλιογραφία για να παραχθεί επιπλέον μεθάνιο. Το προκαταρκτικό βήμα που θα καθόριζε εάν η εναλλακτική αυτή θα πρέπει να διερευνηθεί είναι η μέτρηση του δυναμικού παραγωγής βιοαερίου τόσο του χωνεύματος όσο και του στερεού κλάσματος αυτού.

Ως προς τη διαχείριση του στερεού κλάσματος, η κομποστοποίηση διαφαίνεται ως μια τεχνολογική επιλογή που μπορεί να οδηγήσει σε εμπορικό προϊόν λίπανσης. Θα πρέπει όμως να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία της μονάδας κομποστοποίησης για να προκύψει προϊόν σύμφωνα με τις προδιαγραφές της νομοθεσίας ή να γίνει ανάμιξη του υλικού με χημικά σκευάσματα ώστε να ρυθμιστεί η θρεπτική αξία του τελικού προϊόντος.

Τέλος η εναλλακτική παραγωγής βιοαιθανόλης από το χώνευμα, είναι τεχνολογία σε αρχική πειραματική ανάπτυξη και απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση σε μικρότερη κλίμακα. Οι θερμικές μέθοδοι από την άλλη, είναι τεχνολογίες με υψηλή ωριμότητα, αλλά με υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Συνεπώς για μεμονωμένες μικρές μονάδες βιοαερίου, δεν συνιστώνται.

4.4 Εργαστηριακές Αναλύσεις και σχολιασμός σύστασης βιοαερίου

Με εφαρμογή του πρωτοκόλλου δειγματοληψίας και των εργαστηριακών αναλύσεων που περιγράφηκαν στο παραδοτέο 5.1.2, στη μονάδα διαχείρισης βιοαποβλήτων της Κοινότητας Παλώδιας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες του βιοαερίου και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της σύστασης των δειγμάτων. Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των παραμέτρων ανάλυσης των εργαστηριακών δειγμάτων του βιοαερίου που ελήφθησαν στις διάφορες δειγματοληψίες.

Πίνακας 15: Σύσταση δειγμάτων βιοαερίου από μονάδα αναερόβιας χώνευσης διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας

A/A	Ημερ. Δειγμ.	CH ₄ %	CO ₂ %	N ₂ & O ₂ %	Υπόλοιπα %
I	20/2/2020	59.5	39.0	1	0.5
II	23/3/2020	63.6	35.2	1	0.2

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να αναφερθεί ότι μέχρι στις 20/2/2020 η τροφοδοσία του αναερόβιου χωνευτήρα απαρτιζόταν από κτηνοτροφικά απόβλητα χοίρων, κοτόπουλων και τυρόγαλα, ενώ στη συνέχεια η τροφοδοσία εμπλουτίστηκε και με τα ξηρά υπολείμματα τροφών που προέκυψαν από τη διαλογή στην πηγή και οικιακή ξήρανση των υπολειμμάτων τροφών στην κοινότητα Παλώδιας. Είναι φανερό ότι ο εμπλουτισμός του

εισερχόμενου υποστρώματος σε ξηρά υπολείμματα τροφών επιφέρει αύξηση της περιεκτικότητας του βιοαερίου σε μεθάνιο κατά 7%, με συνεπακόλουθη αύξηση του ενεργειακού του περιεχομένου.

4.5 Χρήσεις βιοαερίου

Προκειμένου να διερευνηθούν με ποσοτικά δεδομένα και να αξιολογηθούν τα εναλλακτικά σενάρια χρήσης του βιοαερίου, θα έπρεπε εκτός των ενδεικτικών συστάσεων του παραγόμενου βιοαερίου, να υπάρχουν και λεπτομερή δεδομένα των παροχών του.

Ελλείψει αυτών, αναφέρουμε ότι η κατώτερη θερμογόνου δύναμη του βιοαερίου που παράχθηκε από τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης της κοινότητας Παλώδιας μέχρι τις 20/2/2020 ανέρχεται σε 23,6 MJ/m³, ενώ μετά την προσθήκη των ξηρών υπολειμμάτων τροφών αυξήθηκε σε 25,25 MJ/m³.

Οι υπολογισμοί της κατώτερης θερμογόνου δύναμης του βιοαερίου πραγματοποιήθηκαν θεωρώντας ότι η τιμή κατώτερης θερμογόνου δύναμης (LHV) του CH₄ είναι 39,7 MJ/m³. Η αύξηση της θερμογόνου δύναμης υποδεικνύει ότι οποιαδήποτε εφαρμογή ανάκτησης ενέργειας από το βιοαέριο θα ήταν αποδοτικότερη στην περίπτωση του βιοαερίου που προέρχεται από την αναερόβια επεξεργασία ξηρών υπολειμμάτων τροφών.

Κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών χρήσεων του βιοαερίου μπορούν συνοπτικά να αναφερθούν τα ακόλουθα:

Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας: Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, που χρησιμοποιούνται εκτενώς για το βιοαέριο που παράγεται από μονάδες αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας.

Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP): Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου στις μονάδες αναερόβιας

χώνευσης και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας.

Πριν από τη μετατροπή της CHP, το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται.

Μικροστρόβιλοι βιοαερίου: Οι μικροστρόβιλοι βιοαερίου είναι πάρα πολύ ακριβοί ώστε να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί αλλά γίνονται πειράματα με το βιοαέριο και αναμένονται μακροπρόθεσμα μειώσεις στα κόστη.

Κυψέλες καυσίμου: Οι δαπάνες επένδυσης όλων των κυψελών καυσίμου βιοαερίου είναι πολύ υψηλές (12.000 €/kW). Για τον λόγο αυτό, και λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες εξελίξεις και τα πειραματικά αποτελέσματα, δεν είναι ακόμα διαθέσιμα εμπορεύσιμα συστήματα.

Αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθανίου για χρήση σε κινητήρες ή στο δίκτυο: Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου προέρχεται από το κόστος της επένδυσης, καθώς και από τη λειτουργία της εγκατάστασης και τη συντήρηση του εξοπλισμού. Στην περίπτωση των δαπανών επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της εγκατάστασης. Οι συνολικές δαπάνες επένδυσης αυξάνονται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένου δυναμικού είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές. Στην περίπτωση των λειτουργικών δαπανών, το ακριβότερο μέρος της επεξεργασίας είναι η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα. Συνεπώς για μονάδες αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας θα πρέπει να γίνεται λεπτομερή τεχνοοικονομική μελέτη ώστε να εξεταστεί η βιωσιμότητα του εγχειρήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Το ευρύ πλαίσιο τύπων πρώτης ύλης που δύνανται να χρησιμοποιηθούν στις μονάδες αναερόβιας χώνευσης, π.χ. υπολείμματα ενεργειακής και μη καλλιέργειας, βιοαπόβλητα νοικοκυριών-επιχειρήσεων εστίασης, στερεά και υδαρή ζωικά υπολείμματα, οργανικά υπολείμματα βιομηχανιών τροφίμων, ιλύς υγρών αποβλήτων κ.λπ., διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του παραγωγικού μοντέλου μίας τέτοιου είδους μονάδας μετριάζοντας τον κίνδυνο που προκύπτει από την περιοδικότητα της τροφοδοσίας.

5.1 Εμπορευσιμότητα χωνεύματος

Κατά την τελευταία δεκαετία, τα οικονομικά κίνητρα, συμπεριλαμβανομένων των feed-in tariffs, οδήγησαν σε μια σταθερή αύξηση της χρήσης της τεχνολογίας του βιοαερίου. Το 2013, περισσότερες από 14.500 εγκαταστάσεις βιοαερίου λειτουργούσαν στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων 9.035 εργοστασίων στη Γερμανία. Και παρόλο που το βιοαέριο είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την ανανεώσιμη ενέργεια, η βιώσιμη παραγωγή της εξαρτάται επίσης από την ικανότητα των εργοστασίων να διαχειρίζονται το υπολείμματα που έχουν παραμείνει μετά την αναερόβια επεξεργασία της βιοαποικοδομήσιμης πρώτης ύλης. Μέχρι σήμερα, το 95% του παραγόμενου στην Ευρώπη χωνεύματος χρησιμοποιείται ως οργανικό λίπασμα για καλλιέργειες στον αγρό σε γεωργικές εκτάσεις, όπου και υποκαθιστά τα χημικά λιπάσματα. Στο πλαίσιο αυτό η άμεση εφαρμογή σε εκτάσεις που ανήκουν στη μονάδα παραγωγής βιοαερίου αποτελεί τη βέλτιστη και πιο συνηθισμένη επιλογή, αποδίδοντας με αυτόν τον τρόπο το οικονομικό όφελος από την αγορά των θρεπτικών συστατικών. Άλλες επιλογές για χρήση των

διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών περιλαμβάνουν την εμπορία του κόμποστ σε επιχειρήσεις που ανήκουν στον γεωργικό και μη γεωργικό τομέα (π.χ. ιδιωτικοί κηπουροί). Οι υπεύθυνοι εργοστασίων βιοαερίου πρέπει να εξετάσουν αυτές τις εναλλακτικές λύσεις εάν δεν διαθέτουν επαρκές έδαφος ή εάν υπάρχει πλεόνασμα θρεπτικών ουσιών στην περιοχή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, η κύρια περιοχή της εφαρμογής του χωνεύματος είναι ως λίπασμα εδάφους στον αγροτικό τομέα με επιπρόσθετες ορισμένες εφαρμογές από διαφορετικές ομάδες ανάλογα με τις ιδιότητες και τον βαθμό επεξεργασίας του χωνεύματος, ομαδοποιώντας στα ακόλουθα τμήματα αγοράς:

- στον αγροτικό τομέα, η αντικατάσταση μέρους του λιπάσματος με χώνευμα αποτελεί μία πρακτική που ακολουθείται κυρίως στις οργανικές καλλιέργειες. Εκτός από την κοινή χρήση του χωνεμένου ως οργανικό λίπασμα, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως στρωμνή για τα ζώα.
- στον τομέα των κηπευτικών επιχειρήσεων, αναπτύσσεται σημαντική επενδυτική δραστηριότητα με βάση το χώνευμα στοχεύοντας από βρεφονηπιακούς σταθμούς μέχρι τις επαγγελματικές επιχειρήσεις κηπουρικής και τοπίου. Μία συνήθης πρακτική των επιχειρήσεων που ασχολήθηκαν με κομποστοποίηση στην αρχή αποτέλεσε η συνέχεια της επέκτασής τους σε δραστηριότητές σχετικές με τις εγκαταστάσεις βιοαερίου. Αυτοί οι συμμετέχοντες οι οποίοι είχαν ήδη δημιουργήσει επαφές στον κλάδο της κηπευτικής, είχαν ήδη δημιουργήσει ένα κανάλι επικοινωνίας με την αγορά αναφορικά με τα προϊόντα που σχετίζονται με το χώνευμα και μπορούσαν να καλύπτουν της ανάγκες των καταναλωτών που σχετίζονται με κηπευτικές δραστηριότητες. Τέτοιου είδους προϊόντα ποικίλλουν ευρέως στη διαμόρφωσή τους, από τα καλλιεργητικά μέσα για τους εγχώριους κηπουρούς έως τα οργανικά λιπάσματα για μεγάλης κλίμακας εξωραϊσμό τοπίου.

- Στον τομέα των λοιπών επιχειρήσεων συγκαταλέγονται τομείς για την εμπορία του χωνεύματος που βρίσκονται ακόμη σε αρχικά στάδια. Παραδείγματα αποτελούν περιπτώσεις με κηπουρικές δραστηριότητες όπου απαιτούνται μικρές ποσότητες οργανικών λιπασμάτων και κόμποστ για τους κήπους και τα φυτά εσωτερικού χώρου. Πρόκειται για μια αγορά η οποία θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί πολύ ευρύτερα από τα προϊόντα με βάση το χώνευμα. Άλλες δυνατότητες υπάρχουν εκτός του πεδίου εφαρμογής λιπάσματος, π.χ. την εμπορία pellet χωνεύματος ως στερεό καύσιμο σε ενεργειακές εταιρείες.

Στο πλαίσιο αυτό, οι παραγωγοί προϊόντων που σχετίζονται με το χώνευμα δυσκολεύονται να εδραιωθούν λαμβάνοντας υπόψη τους υφιστάμενους παραγωγούς εδαφικών και οργανικών λιπασμάτων οι οποίοι και ελέγχουν τις πωλήσεις στην αγορά επί του παρόντος. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι οι παραγωγοί χωνεύματος δεν έχουν πληθώρα συναφών προϊόντων εξαιτίας του μικρού μεγέθους των μονάδων παραγωγής. Αντίθετα, οι λιανοπωλητές και τα μεγάλα κέντρα κηπουρικής δραστηριότητας προτιμούν προμηθευτές που μπορούν να προσφέρουν μεγάλες ποσότητες και προτιμούν να είναι σε θέση να αγοράσουν ένα ευρύ φάσμα προϊόντων από μία μόνο πηγή. Επιπλέον, οι μεγαλύτεροι και ήδη εγκατεστημένοι προμηθευτές προσφέρουν συνήθως επιπλέον υπηρεσίες προσαρμοσμένες στις ανάγκες των λιανοπωλητών, καθώς και εγγυήσεις που διευκολύνουν την πώληση του λιανοπωλητή. Επιπλέον, οι εταιρίες λιανικής πώλησης και οι διανομείς λαμβάνουν έως και το 60% της τιμής ραφιού των προϊόντων τους, με αποτέλεσμα οι εκπτώσεις από την πλευρά του παραγωγού να μην είναι ελκυστικές για πολλούς παραγωγούς προϊόντων χωνεύματος. Επιπρόσθετα, οι ιδιώτες πελάτες προτιμούν επίσης εμπορικά σήματα και εξειδικευμένα προϊόντα σε βάρος προϊόντων γενικής χρήσης. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή για πολλούς ιδιώτες πελάτες είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ποιότητα ενός νέου

προϊόντος, καθίστανται εν τέλει πολύ σημαντικές τις υπηρεσίες που προηγούνται των πωλήσεων για αυτή τη μερίδα καταναλωτών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, ακολούθως στον **Error! Reference source not found.** παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές πώλησης διαφόρων ειδών προϊόντων λιπασματοποίησης, αντικατοπτρίζοντας το συγκριτικό πλεονέκτημα των υφιστάμενων μονάδων παραγωγής τυπικών λιπασμάτων. Πιο αναλυτικά, σημειώνεται ότι οι τιμές πώλησης του χωνεύματος είναι ελαφρώς πιο χαμηλές από αυτές του κόμποστ, δηλ. περί τα 3 έως 5 ευρώ/τόνο για ολόκληρο το χώνευμα που παράγεται από μία μονάδα υπολογίζοντας και τις απώλειες. Όπως προαναφέρθηκε, οι μονάδες παραγωγής χωνεύματος συνήθως χρησιμοποιούν για ίδια χρήση το προϊόν ή το διαθέτουν πληρώνοντας κάποιο αντίτιμο σε εταιρείες ή αγρότες. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, οι τιμές πώλησης προσεγγίζουν τα 10 ευρώ ανά τόνο με ορισμένα ξηρά υπολείμματα pellet να αγγίζουν τις τιμές μέχρι 150-250 ευρώ ανά τόνο. Οι τιμές πώλησης των αποξηραμένων υπολειμμάτων κυμαίνονται από 5 έως 30 ευρώ ανά τόνο και τα υγρά προϊόντα χώνευσης μεταξύ 0 και 8 ευρώ/τόνο. Το ευρύ φάσμα αντικατοπτρίζει τις διαφορές στην τοπική ζήτηση (οι περιοχές με υψηλότερη προσφορά κοπριάς τείνουν να αντικατοπτρίζουν τις χαμηλότερες τιμές πώλησης χωνεύματος).

Πίνακας 16: Ενδεικτικές τιμές πώλησης διαφόρων ειδών προϊόντων λιπασματοποίησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Προϊόν λιπασματοποίησης		Ενδεικτική τιμή στην Ευρωπαϊκή Ένωση (€/tn)
Κόμποστ		0-5
Χώνευμα		3-5
Συνθετικά λιπάσματα	Θειϊκό αμμώνιο	599
	Νιτρικό αμμώνιο (26% N χύμα)	493
	Ουρία	583
	Υπερφωσφορικό (18% P ₂ O ₅)	677
	Θειϊκό κάλιο	772
	Τριμερή μείγματα λιπασμάτων 9-9-18 (αναλογία NPK)	310
	Διμερή μείγματα λιπασμάτων 0-20-20 (αναλογία NPK)	328

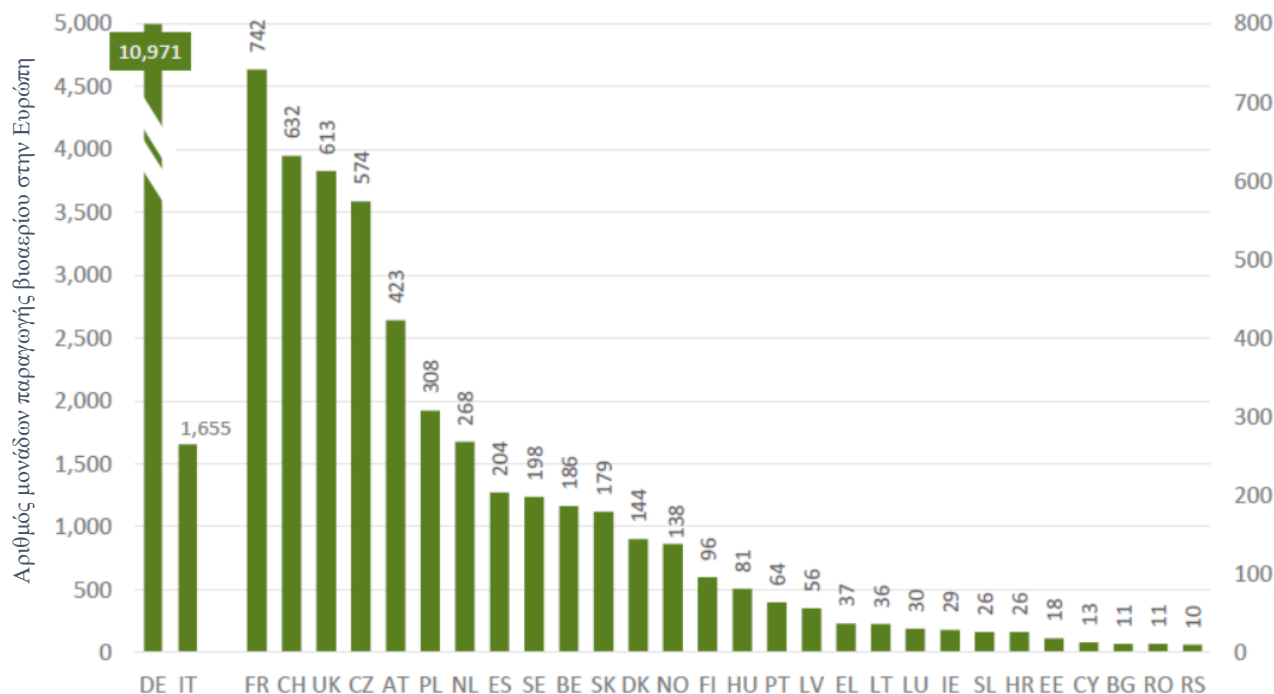
Πηγή: (Bertato, 2019)

Τέλος, όσον αφορά στο χώνευμα, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης σημειώνεται ότι παράγονται περίπου 180 εκατομμύρια τόνοι στο σύνολο των 28 κρατών-μελών της ανά έτος, με σχεδόν τη μισή ποσότητα να εντοπίζεται σε παραγωγικές μονάδες της Γερμανίας. Από την προαναφερθείσα ποσότητα, οι 120 εκατομμύρια τόνοι αφορούν στην παραγωγή αγροτικού χωνεύματος που αφορά συνήθως σε ένα μείγμα κοπριάς και φυτών, ιδίως ενεργειακών καλλιεργειών. Επίσης, σημειώνεται ότι περίπου 46 εκατομμύρια τόνοι παράγονται από το οργανικό κλάσμα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων μέσω της μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας, τουλάχιστον 7 εκατομμύρια τόνοι από βιοαποβλήτα προδιαλεγμένα στην πηγή και μικρότερες ποσότητες (περίπου 1,7 εκατομμύρια τόνοι το καθένα) από ιλύ λυμάτων και από υποπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων και τροφίμων. Η συντριπτική πλειοψηφία του χωνεύματος χρησιμοποιείται άμεσα ως λίπασμα.

5.2 Εμπορευσιμότητα βιοαερίου

Η σταθερή αύξηση του αριθμού των μονάδων παραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη την τελευταία δεκαετία αναδεικνύει την ισχυρή φύση του τομέα ενόψει της σημαντικής πολιτικής αβεβαιότητας. Μέχρι το τέλος του 2017, υπήρχαν 17.783 εγκαταστάσεις βιοαερίου και 540 μονάδες βιομεθανίου σε λειτουργία σε όλη την Ευρώπη. Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική δυναμικότητα βιοαερίου στα εργοστάσια της Ευρώπης αυξήθηκε κατά 5% το 2017 αγγίζοντας συνολικά τα 10.532MW και τις 65.179GWh ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή βιομεθανίου έχει επίσης αυξηθεί, φθάνοντας τις 19.352GWh, το 2017.

Τόσο η Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και η πλήρως συνυφασμένη Εθνική νομοθεσία έχουν στοιχειοθετηθεί με σκοπό την ενίσχυση επενδύσεων που σχετίζονται με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αναμενόμενα, έχει αυξηθεί το επενδυτικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Πιο συγκεκριμένα μέχρι το 2016, οι σχετικές αιτήσεις για όρους σύνδεσης που κατατέθηκαν στο Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) ανέρχονταν στις 80MW. Όπως αποτυπώνεται και στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 5) ωστόσο, η χώρα κινείται ακόμη σε χαμηλά ποσοστά. Πιο συγκεκριμένα, μόλις 28 μονάδες είχαν εγκατασταθεί μέχρι το 2015 στην Ελλάδα και 13 για την Κύπρο.



Σχήμα 5: Αποτύπωση μονάδων παραγωγής βιοαερίου στα Ευρωπαϊκά κράτη

Πηγή: (EBA, Statistical Report 2018 Annual Statistical Report of the European Biogas Association Abriged Version, 2018)

Αναφορικά με το μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς του βιοαερίου σημειώνεται πρόοδος η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο έχει αρχίσει να αναγνωρίζεται ως μία από τις πιο προηγμένες τεχνολογίες. Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχουν διάφορα κίνητρα για την έναρξη συναφών επιχειρήσεων. Συνήθως, η ανάπτυξη της αγοράς βιοαερίου ξεκινάει στο πεδίο της χώνευσης βιολογικών αποβλήτων ως μέθοδος αντιμετώπισης και αξιοποίησης των οργανικών αποβλήτων. Ειδικά για τις βιομηχανίες μεταποίησης τροφίμων και άλλων συναφών με βιομάζα, όπου παράγονται τεράστια ποσά οργανικών αποβλήτων, η άντληση και αξιοποίηση του βιοαερίου προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως το πρόσθετο εισόδημα από την πώληση ενέργειας προς τις αγορές.

Τα παραπάνω αποτελούν σημαντικές παραμέτρους κίνησης της σχετικής αγοράς, με αποτέλεσμα οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής να κρατούν τη μερίδα του λέοντος, γεγονός στο οποίο

συνηγορεί η πλειάδα νομοθετικών διατάξεων που έχουν συνταχθεί προς όφελος του εν λόγω προϊόντος. Ακόλουθα, τόσο η Ευρώπη όσο και η Ασία έχουν κερδίσει μερίδιο της αγοράς με τα χρόνια, με κυρίαρχες χώρες τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιταλία, την Κίνα και την Ινδία. Τα τελευταία χρόνια, επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι χώρες όπως το Μεξικό και η Χιλή έχουν θέσει τις βάσεις για την άνθιση του εμπορίου του βιοαερίου, οπότε αναμένονται αλλαγές στον παγκόσμιο χάρτη εμπορευσιμότητας.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η αξιοποίηση του βιοαερίου φέρει σημαντικά και πολύπλευρα οφέλη για την κοινωνία σε κάθε επίπεδο. Ειδικά για την περίπτωση των κοινωνιών που εντοπίζονται πλησίον της μονάδας επεξεργασίας, σημειώνονται ενδεικτικά τα ακόλουθα:

- ✓ Η τροφοδότηση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή εσόδων για τις τοπικές κτηνοτροφικές μονάδες και λοιπούς παραγωγούς σχετικών πρώτων υλών.
- ✓ Οι ίδιοι προμηθευτές πρώτης ύλης αναβαθμίζουν τον κοινωνικό τους ρόλο και κατ' επέκταση τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες και δικαιώματα για την επεξεργασία αποβλήτων και την προμήθεια ενέργειας.

Επίσης, αναφορικά με την εμπορευσιμότητα προϊόντων και πιο συγκεκριμένα του βιοαερίου που μπορεί να προκύψει από μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης σημειώνεται ότι η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με το Νόμο 3851/2010, καθορίζεται με βάση την τιμή ανά μεγαβατώρα της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο καθώς και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών και καθορίζεται:

- Στα 200€/MWh για ενέργεια που παράγεται από βιομάζα η οποία αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 1\text{MW}$ (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων).

- Στα 175€/MWh για ενέργεια που παράγεται από βιομάζα η οποία αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $>1\text{MW}$ και $\leq 5\text{MW}$ (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων).
- Στα 150€/MWh για ενέργεια που παράγεται από βιομάζα η οποία αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $>5\text{MW}$ (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων).
- Στα 220€/MWh για βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 3\text{MW}$.
- Στα 200€/MWh για βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ $>3\text{MW}$.

Επίσης ανάλογα με την περίπτωση (δηλ. τρέχουσα τιμή πετρελαίου θέρμανσης καθώς και οι οικονομικές ελαφρύνσεις ανά κράτος και ανά γεωγραφική περιοχή), η τιμή θέρμανσης μέσα από κάποιο δίκτυο τηλεθέρμανσης μπορεί να καταστεί ανταγωνιστική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, ο σκοπός αυτού του παραδοτέου ήταν να αποτελέσει τη βάση αξιολόγησης των παραγομένων τελικών προϊόντων από το σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων της κοινότητας της Παλώδιας, παρέχοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες τόσο στους εμπλεκόμενους εταίρους του Προγράμματος Συνεργασίας Interreg V-A Ελλάδα – Κύπρος 2014 – 2020 BIOMA όσο και σε όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς (stakeholders).

Αυτή η αναφορά παρουσιάζει μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των πιθανών χρήσεων τόσο του χωνεύματος όσο και του βιοαερίου. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της ποιότητας των τελικών προϊόντων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας της αναερόβιας χώνευσης των βιοαποβλήτων της κοινότητας Παλώδιας. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των προϊόντων βάση των αναλύσεων, αξιολογήθηκαν οι εναλλακτικές χρήσεις των προϊόντων. Η κλίμακα της μονάδας και η τεχνολογική ωριμότητα των εναλλακτικών χρήσεων συνεκτιμήθηκαν κατά την αξιολόγηση. Προέκυψε ότι για το χώνευμα ο διαχωρισμός των κλασμάτων, η κομποστοποίηση του στερεού κλάσματος και η ανάκτηση θρεπτικών από το υγρό κλάσμα μπορούν να προωθήσουν τη βιωσιμότητα της προτεινόμενης λύσης. Όσον αφορά το βιοαέριο, η ανάκτηση της ενέργειας είτε ως θερμότητα είτε ως συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μπορούν να θεωρηθούν βιώσιμες επιλογές για μονάδες αναερόβιας χώνευσης βιοαποβλήτων σε απομακρυσμένες κοινότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., & Janssen, R. (2008). *biogas HANDBOOK*. Denmark: lemvigbiogas.
- Alburquerque, J. A., de la Fuente, C., & Bernal, M. P. (2012). Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 15-22.
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 452-466.
- Baldé, H., VanderZaag, A. C., Burt, S. D., Wagner-Riddle, C., Crolla, A., Desjardins, R. L., & MacDonald, D. J. (2016). Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant. *Bioresour. Technol.*, 914-922.
- Bertato, V. (2019). *Digestate and compost as fertilisers: Risk assessment and risk management options*. United Kingdom: Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited.
- Bioenergy, I. (2005). *Biogas Production and Utilisation*. IEA Bioenergy.
- Boni, M. R., D'Amato, E., Poletti, A., Pomi, R., & Rossi, A. (2016). Effect of ultrasonication on anaerobic degradability of solid waste digestate. *Waste Manag.*, 209-217.
- Dahlin, J., Herbes, C., & Nelles, M. (2015). Biogas digestate marketing: Qualitative insights into the supply side. *Resources, Conservation and Recycling*, 152-161.
- EBA. (2018). *Statistical Report 2018 Annual Statistical Report of the European Biogas Association Abridged Version*. Brussels: EBA European Biogas Association.

- EBA. (2019, December 11). *European Biogas Association*. Ανάκτηση από European Biogas Association: Number of biogas plants in Europe: <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2015/02/Biogas-graph-20131.png>
- EPA. (2017). *Catalog of CHP Technologies*. US: EPA.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2006). *Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz*. Leipzig.
- FNR, F. N. (2010). *Guide to Biogas From production to use*. Germany: Technology Cooperation in the Energy Sector of the Deutsche Gesellschaft für Internationale, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).
- Fortune Business Insights. (2019). *Biogas Market Size, Share and Industry Analysis By Feedstock (Organic Residues & Waste, Energy Crops), By Application (Heating, Electricity, CHP, Others) And Regional Forecast 2019-2026*. Fortune Business Insights.
- Fuchs, W., & Drosch, B. (2010). *Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten*. Universität für Bodenkultur, Wien, pp. 215.
- Gioelli, F., Dinuccio, E., & Balsari, P. (2011). Residual biogas potential from the storage tanks of nonseparated digestate and digested liquid. *Bioresources*, 10248-10251.
- Grigatti, M., Barbanti, L., Hassan, M. U., & Ciavatta, C. (2020). Fertilizing potential and CO₂ emissions following the utilization of fresh and composted food-waste anaerobic digestates. *Science of The Total Environment*, 698, 134198.
- Iacovidou, E., Vlachopoulou, M., Mallapaty, S., Ohandja, D. G., Gronow, J., & Voulvoulis, N. (2013). Anaerobic digestion in municipal solid waste management: part of an integrated, holistic and sustainable solution. *Waste Management*, 1035-1036.

- Jäkel, K. (2002). *Management document 'Landwirtschaftliche*. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Jones, P., & Salter, A. (2013). Modelling the economics of farm-based anaerobic digestion in a UK whole-farm context. *Energy Policy*, 215-225.
- Kapman, B., Leguijt, C., Scholten, T., Tallat, J. K., Bruckman, R., Maroulis, G., . . . Elbersen, B. (2016). *Optimal use of biogas from waste streams An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020*. Brussels: European Commission.
- Kirchman, H., & Lundvall, A. (1993). Relationship between N-immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biology and Fertility of Soils*, 161-164.
- Kratzeisen, M., Starcevic, N., Martinov, M., Maurer, C., & Müller, J. (2010). Applicability of biogas digestate as solid fuel. *Fuel* 89, 2544–2548.
- Leven, L., Nyberg, K., & Schnurer, A. (2012). Conversion of phenols during anaerobic digestion of organic solid waste--a review of important microorganisms and impact of temperature. *Environmental Management*, 99-103.
- Maggioni, L., & Pieroni, C. (2016). *Deliverable D5.2: Report on the biomethane injection into national gas grid*. Italy: Horizon 2020 isaac project.
- Monlau, E., Sambusiti, C., Ficara, E., Aboulkas, A., Bakarar, A., & Carrere, H. (2012). *New opportunities for agricultural digestate valorization: current situation and perspectives*. Energy & Environmental Science.
- Nyberg, K., Schnurer, A., Sundh, I., Jarvis, A., & Hallin, S. (2006). Ammonia-oxidizing communities in agricultural soil incubated with organic waste residues. *Biology and Fertility of Soils*. *Biology and Fertility of Soils*, 315-323.

- Rehl, T., & Müller, J. (2011). Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. *Resour.Conserv. Recycl.*, 92-104.
- Risberg, K. (2015). *Quality and function of anaerobic digestion residues*. Uppsala: Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences.
- Sánchez-Rodríguez, A. R., Carswell, A. M., Shaw, R., Hunt, J., Saunders, K., Cotton, J., . . . Misselbrook, T. H. (2018). Advanced Processing of Food Waste Based Digestate for Mitigating Nitrogen Losses in a Winter Wheat Crop. *frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Saveyn, H., & Eder, P. (2014). *End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals*.
- Siegmund, T. (2019). *D2.5 Market handbook biogas*. Bonn: German BioEnergy Association (BBE).
- Vaneeckhaute, C., Meers, E., Michels, E., Buysse, J., & Tack, F. (2013). Ecological and economic benefits of the application of bio-based mineral fertilizers in modern agriculture. *Biomass Bioenergy*, 239-248.
- Wellinger, A. (2017). *Report on the practical experiences with the application of European Biomethane Standards*. Horizon 2020 biosurf project.
- Wellinger, A., Griffith, J., & Ford, J. R. (2005). Biogas Production and Utilisation. *BIOMASS & BIOENERGY*.
- Γιακουμέλος, Λ. (2012). *Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης Βιοαερίου*. Λάρισα: ΚΑΠΕ.
- Ευρωπαϊκή Ένωση (2003) ΚΟΙΝΗ ΘΕΣΗ (ΕΚ) αριθ. 55/2003 που καθορίστηκε από το Συμβούλιο στις 26 Ιουνίου 2003 για την έκδοση της οδηγίας 2003/. . ./ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της . . ., για την ασφάλεια των κοινοτικών

σιδηροδρόμων, η οποία τροποποιεί την οδηγία 95/18/EK του Συμβουλίου σχετικά με τις άδειες σε σιδηροδρομικές επιχειρήσεις και την οδηγία 2001/14/EK σχετικά με την κατανομή της χωρητικότητας των σιδηροδρομικών υποδομών και τις χρεώσεις για την χρήση σιδηροδρομικής υποδομής καθώς και με την πιστοποίηση ασφάλειας, Βρυξέλλες, 11.11.2003, accessed by <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52003AG0055&from=EN>

Ευρωπαϊκή Ένωση (2009) ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/EK ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/EK και 2003/30/EK (2016/0084 COD), τροποποιώντας τις παλαιότερες νομοθετικές πράξεις (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 και (ΕΚ) αριθ. 1107/2009 και καταργώντας τον (ΕΚ) αριθ. 2003/2003, Βρυξέλλες, 5.6.2009, accessed by <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

Μαθιουδάκης Δημήτριος (2016), *Αναερόβια χώνευση σε πιλοτικής κλίμακας αναερόβιο χωνευτήρα με ανακλαστήρες (PABR) – Μελέτη περίπτωσης εγκατάστασης μονάδας βιοαερίου στην περιοχή του Δ. Μετσόβου*, Διπλωματική εργασία στη Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2016.

Μαυρόπουλος, Α. (2008). *Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων*. Κρήτη: Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Sampling Date: 25/10/2019

Sampling Time: 08:45-10:00 am.

Mixed Inlet is consisted of: 50% pig slurry, 25% chicken manure, 25% cheese whey and rarely organic fruit waste and barley.

Table 1: Quality Characteristics from the WWTP of Nikos Arnenis & Sons Ltd Pig Farm, sampling date 25/06/2019

Sample	pH	Cond (mS/cm)	COD	TN	TKN	N-NH ₃	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	TAN (mg/L)	Organic Nitrogen (mg/L)	TP	TS (%)	TVS (%)
Pig Slurry	6,73	12,12 mS/cm	191,3 g/L	3040 mg/L	2730 mg/L	2190 mg/kg				1022 mg/L	12.08	81.69
Mixed Inlet 1 (left tank)	5,40 (1:2)	17,13 mS/cm (1:2)	370 g/kg	2,8 g/kg	2,61 g/kg	2,55 g/kg				0,83 g/kg	20.74	89.55
Mixed Inlet 2 (right tank)	5,42 (1:2)	16,65 mS/cm (1:2)	328 g/kg	3 g/kg	2,80 g/kg	1,98 g/kg				0,88 g/kg	19.83	89.28
Digester 1 (Bottom sludge)	7,98 (1:1)	24,5 mS/cm	17,25 g/L	3240 mg/L	2100 mg/L	1988 mg/L				254 mg/L	2.3	42.69
Digester 2 (Bottom sludge)	7,69 (1:1)	22,7 mS/cm	14,75 g/L	3400 mg/L	3360 mg/L	2240 mg/L				282 mg/L	2.19	44

Table 2: Quality Characteristics from the WWTP of Nikos Armenis & Sons Ltd Pig Farm, sampling date 25/10/2019

Sample	Total Alkanity (mg/L CaCO₃)	Volatile Aids (mg/L CaCO₃)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	SO₄²⁻	Cl⁻
Liquid Effluent of Digester 1	12740	630	1120	2980	168.5	600	375	1325
Liquid Effluent of Digester 2	12500	870	1075	3130	140	550	275	1400

5.1.3 Αξιολόγηση δυνατοτήτων αξιοποίησης των παραγομένων τελικών προϊόντων από το σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Κοινότητα Παλώδιας, Κύπρος

Sampling Date: 15/11/2019

Sampling Time: 08:30am

S. K Euromarket Ltd loaded the Dark Fermentation Reactor T200 with sludge from the digesters of Nikos Armenis & Sons Ltd and a small quantity of pig slurry (agitator was not working).

Table 3: Quality Characteristics from the Dark Fermentation Reactor T200, sampling date 15/11/2019

pH	Cond (mS/cm)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TKN (mg/L)	N-NH ₃ , (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	Organic Nitrogen (mg/L)	TP (mg/L)	P- PO ₄ ³⁺ (mg/L)	TDS (g/L) **	TSS (mg/L)	TVSS (mg/L)	TS (%)	TVS (%)
8.01	20	18400	2040	1932	1764	32	76	168	53	33.5	10	3672.7	2875.2	1.07 and 1.10	1.92 and 41.67

Table 4: Quality Characteristics from the Dark Fermentation Reactor T200, sampling date 15/11/2019

Total Alkalinity (mg/L CaCO ₃)	Volatile Acids (mg/L CaCO ₃)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
9835	1020	1080	2740	168	700	160	1440

Sampling Date: 15/11/2019

Sampling Time: 08:30 am

Samples: UF permeate and liquid digestate (only COD = 11930 mg/L)

Table 5: Quality Characteristics from the UF permeate tank, T600 sampling date 15/11/2019

UF permeate	
pH	8.39
Ca ²⁺ (mg/L)	210
Mg ²⁺ (mg/L)	92
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	58
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2000
TN (mg/L)	2220
TP (mg/L)	59.5
Na ⁺ (mg/L)	1080
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	180
COD (mg/L)	3384

Sampling Date: 25/11/2019

Sampling Time: 09:30am

S. K Euromarket Ltd loaded the Dark Fermentation Reactor T200 with sludge from the digesters of Nikos Armenis & Sons Ltd and a small quantity of pig slurry (agitator was not working).

Table 6: Quality Characteristics from the Dark Fermentation Reactor T200, sampling date 25/11/2019

pH	Cond (mS/cm)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TKN (mg/L)	N-NH ₃ , (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	Organic Nitrogen (mg/L)	TP (mg/L)	P- PO ₄ ³⁺ (mg/L)	TDS (g/L)	TSS (mg/L)	TVSS (mg/L)	TS (%)	TVS (%)
8.0	18	17200	2005	1900	1698	30	59	161	73	51	10	3592.2	2836.9	1.04 1.08	40.11 40.97

Table 7: Quality Characteristics from the Dark Fermentation Reactor T200, sampling date 25/11/2019

Total Alkalinity (mg/L CaCO ₃)	Volatile Acids (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
10038	1035	1118	2780	183	912	181	1520

Sampling Date: 25/11/2019

Sampling Time: 09:30am

pH	Conductivity (mS/cm)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TS (%)	TVS (%)	COD (mg /L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P- PO ₄ ³⁻ (mg/L)
6.78 (19°C)	136	57.5	53.0	8.44	81.41	85600	4800	1220	3976	3500	1060

date 25/11/2019

Table 8: Quality Characteristics from the UF permeate tank, T600 sampling

UF permeate	average
pH	8.39 (23.7)
Ca ²⁺ (mg/L)	340
Mg ²⁺ (mg/L)	179
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	70
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1960

pH	Cond (mS/ cm)	Total Alkalinity mg/L CaCO ₃	Volatile Acids mg/L CaCO ₃	Volatile Acids Alkalinity mg/L CaCO ₃	TS (%)	TVS (%)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TDS (g/L)	COD mg/L	TN mg/L	TP mg/ L	N- NH ₃ mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TKN (mg/L)
8.27	25.7	6900	525	350	2.19	45.6	8.4	7.2	12.5	26900	3400	710	2408	515	3304

Results from samples 16/12/2019-Project BIOMA

Pig Slurry

Anaerobic Digester

UF permeate

pH (2:5)	Conductivity (2:5) (mS/cm)	Water Content (%)	Bulk Density (g/l)	Water Retention (%)	TN (mg/kg)	Nitrates (% of TN)	Nitrites (% of TN)	Sulfates (mg/kg)	TP (mg/kg)	Organic Matter (%)	Ash (%)	TS (%)	Moisture (%)
8.73 (20°C)	2.75	79.2	519.77	139.68	9779.76	24.95	4	720	1200	29.87	18.12	27.09	72.91

Parameter	Value
pH	8.88 (19°C)
Conductivity (mS/cm)	20.2
TDS (g/L)	9.70
TSS (mg/L)	92
VSS (mg/L)	86
TS (%)	0.89
TVS (%)	18
Ca ²⁺ (mg/L)	340
Mg ²⁺ (mg/L)	179
K ⁺ (mg/L)	990
COD (mg/L)	5200
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	68
TP (mg/L)	70
NH ₃ -N (mg/L)	1988
TN (mg/L)	2160
TKN (mg/L)	2142

Compost

5.1.3 Αξιολόγηση δυνατοτήτων αξιοποίησης των παραγομένων τελικών προϊόντων από το σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Κοινότητα Παλώδιας, Κύπρος

Results from samples 16/12/2019-Project BIOMA

pH	Conductivity (mS/cm)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TS (%)	TVS (%)	COD (mg /L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P- PO ₄ ³⁻ (mg/L)
6.78 (19°C)	136	57.5	53.0	8.44	81.41	85600	4800	1220	3976	3500	1060

Pig Slurry

pH	Cond (mS/ cm)	Total Alkalinity mg/L CaCO ₃	Volatile Acids mg/L CaCO ₃	Volatile Acids Alkalinity mg/L CaCO ₃	TS (%)	TVS (%)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TDS (g/L)	COD mg/L	TN mg/L	TP mg/ L	N- NH ₃ mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TKN (mg/L)
8.27	25.7	6900	525	350	2.19	45.6	8.4	7.2	12.5	26900	3400	710	2408	515	3304

Anaerobic Digester

UF permeate

Parameter	Value
pH	8.88 (19°C)
Conductivity (mS/cm)	20.2
TDS (g/L)	9.70
TSS (mg/L)	92
VSS (mg/L)	86
TS (%)	0.89
TVS (%)	18
Ca ²⁺ (mg/L)	340
Mg ²⁺ (mg/L)	179
K ⁺ (mg/L)	990
COD (mg/L)	5200
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	68
TP (mg/L)	70
NH ₃ -N (mg/L)	1988
TN (mg/L)	2160
TKN (mg/L)	2142

Compost

pH (2:5)	Conducti vity (2:5) (mS/cm)	Water Content (%)	Bulk Density (g/l)	Water Retention (%)	TN (mg/kg)	Nitrates (% of TN)	Nitrites (% of TN)	Sulfates (mg/kg)	TP (mg/ kg)	Organic Matter (%)	Ash (%)	TS (%)	Moisture (%)
8.73 (20°C)	2.75	79.2	519.77	139.68	9779.76	24.95	4	720	1200	29.87	18.12	27.09	72.91

Results from samples 09032020-Project BIOMA

Mixing-Homogenization tank (mixed influent comprised of 50% pig slurry, 25% chicken manure, 25% cheese whey and rarely organic fruit waste and barley)

Anaerobic Digester

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)
7.36 (15°C)	28.4	48.4	32.2	3.97	61.54	14	77500	4900	820	2856	2156	810

pH	Cond (mS/ cm)	Total Alkalinity mg/L CaCO ₃	Volatile Acids mg/L CaCO ₃	Volatile Acids Alkalinity mg/L CaCO ₃	TS (%)	TVS (%)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TDS (g/L)	COD mg/L	TP mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TN mg/L	TKN (mg/L)	N- NH ₃ mg/L
7.74 (14.5 °C)	27.8	14800	750	500	3.47	58.8	22.2	12.4	13.8	30700	810	760	4100	2716	1792

UF permeate

Parameter	Value
pH	8.35 (15°C)
Conductivity (mS/cm)	27
TDS (g/L)	11.9
TSS (mg/L)	206
VSS (mg/L)	70
TS (%)	1.28
TVS (%)	18.24
TN (mg/L)	2860
NH ₃ -N (mg/L)	980
TKN (mg/L)	1351
COD (mg/L)	2525
Ca ²⁺ (mg/L)	335
Mg ²⁺ (mg/L)	168
TP (mg/L)	40
P-PO ₄ ³⁻ mg/L	39

Compost

pH (2:5)	Cond. (2:5) (mS/cm)	Water Content (%)	Bulk Density (g/l)	Water Retention (%)	TN (mg/kg)	Nitrates (% of TN)	Nitrites (% of TN)	Sulfates (mg/kg)	TP (mg/kg)	Organic Matter (%)	Ash (%)	TS (%)	Moisture (%)
7.98 (20°C)	5.2	254.97	666.7	75	5391.2 or 5.4 g/kg or 0,54%	6.9	9.1	680	2700 or 2.7 g/kg or 0,27 %	18.68	2.25	29.4	70.6

SBR

pH	Cond (mS/ cm)	Dis. Oxyg en (mg/ L)	SVI (mL/ gMLSS)	sOUR mgO ₂ / g MLVS S hr	TS (%)	TVS (%)	TSS (mg/ L)	VSS (mg/ L)	TDS (g/L)	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	TN mg/L	TP mg/ L	N-NH ₃ mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TKN (mg/ L)	NO ₃ ⁻ (mg/ L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)
8.40 (14 °C)	27	4.5	0.25	190.1	1.34	25.1	2800	1420	12.0	6050	1110	2900	90	1344	86	1449	34	250

Results from samples 16032020-Project BIOMA

Mixing-Homogenization tank (mixed influent comprised of 50% pig slurry, 25% chicken manure, 25% cheese whey and rarely organic fruit waste and

barley) + dry

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)
7.45 (16°C)	28.7	40.1	30.1	4.37	62.32	14.1	54500	5120	1040	2990	2200	1040

biowaste

pH	Cond (mS/ cm)	Total Alkalinity mg/L CaCO ₃	Volatile Acids mg/L CaCO ₃	Volatile Acids Alkalinity mg/L CaCO ₃	TS (%)	TVS (%)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TDS (g/L)	COD mg/L	TP mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TN mg/L	TKN (mg/L)	N- NH ₃ mg/L
7.47	27.6	14785	710	470	3.63	60.4	21.1	15.3	13.9	31600	980	890	4290	2950	1834

Anaerobic Digester

UF permeate

Parameter	Value
pH	8.28 (14°C)
Conductivity (mS/cm)	25.7
TDS (g/L)	12
TSS (mg/L)	178
VSS (mg/L)	88
TS (%)	1.14
TVS (%)	27.62
TN (mg/L)	2650
NH ₃ -N (mg/L)	1190
TKN (mg/L)	1610
COD (mg/L)	2890
Ca ²⁺ (mg/L)	329
Mg ²⁺ (mg/L)	163
Na ⁺ (mg/L)	Not determined
K ⁺ (mg/L)	Not determined
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Not determined
Cl ⁻ (mg/L)	Not determined
Total Alkalinity (mg/L) CaCO ₃	Not determined
TP (mg/L)	44
P-PO ₄ ³⁻ mg/L	43

Compost

pH (2:5)	Cond. (2:5) (mS/cm)	Water Content (%)	Bulk Density (g/l)	Water Retention (%)	TN (mg/kg)	Nitrates (% of TN)	Nitrites (% of TN)	Sulfates (mg/kg)	TP (mg/ kg)	Organic Matter (%)	Ash (%)	TS (%)	Moisture (%)
8.05 (20°C)	5.29	261.8	999.3	101.4	6337.12 or 6.34 g/kg or 0.63%	5.60	7.91	693	3092.7 or 3.09 g/kg or 0.31%	22.03	3.74	27.56	72.44

SBR

pH	Cond (mS/ cm)	Dissolved Oxygen (mg/L)	SVI (mL/ g MLS S)	sOUR mgO ₂ / g MLV SS hr	TS (%)	TVS (%)	TSS (mg/ L)	VSS (mg/ L)	TDS (g/L)	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	TN mg/L	TP mg/ L	N-NH ₃ mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TKN (mg/ L)	NO ₃ ⁻ (mg/ L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)
8.41 (15 °C)	26.5	2.6	0.29	150.9	1.33	28.9	2510	1485	12.3	5795	1088	3104	87	1378	83	1720	36	275

Results from samples 23032020-Project BIOMA

Mixing-Homogenization tank (mixed influent comprised of 50% pig slurry, 25% chicken manure, 25% cheese whey and rarely organic fruit waste and barley)

Anaerobic Digester

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)
7.51 (17°C)	28.9	34.1	24.1	4.75	64.43	14.4	44700	5300	1280	3640	2240	1250

pH	Cond (mS/ cm)	Total Alkalinity mg/L CaCO ₃	Volatile Acids mg/L CaCO ₃	Volatile Acids Alkalinity mg/L CaCO ₃	TS (%)	TVS (%)	TSS (g/L)	VSS (g/L)	TDS (g/L)	COD mg/L	TP mg/L	P- PO ₄ ³⁻ mg/L	TN mg/L	TKN (mg/L)	N- NH ₃ mg/L
7.37 (17°C)	27.5	14750	675	450	3.77	62.6	19	18.4	13.9	32500	1080	1060	4500	3080	1904

UF permeate

Parameter	Value
pH	8.23 (13°C)
Conductivity (mS/cm)	22.8
TDS (g/L)	12
TSS (mg/L)	146
VSS (mg/L)	128
TS (%)	1.1
TVS (%)	32.46
TN (mg/L)	2500
NH ₃ -N (mg/L)	1400
TKN (mg/L)	1960
COD (mg/L)	3260
Ca ²⁺ (mg/L)	320
Mg ²⁺ (mg/L)	160
Na ⁺ (mg/L)	1320
K ⁺ (mg/L)	3410
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	110
Cl ⁻ (mg/L)	1800
Total Alkalinity (mg/L) CaCO ₃	11200
TP (mg/L)	50
P-PO ₄ ³⁻ mg/L	48

Compost

pH (2:5)	Cond. (2:5) (mS/cm)	Water Content (%)	Bulk Density (g/l)	Water Retention (%)	TN (mg/kg)	Nitrates (% of TN)	Nitrites (% of TN)	Sulfates (mg/kg)	TP (mg/kg)	Organic Matter (%)	Ash (%)	TS (%)	Moisture (%)
8.15 (20°C)	5.40	271.2	1082.9	160.1	7449.33 or 7.45 g/kg or 0.75%	1.61	4.83	700	3653.9 or 3.65 g/kg or 0.37%	35.44	6.37	22.05	77.95

SBR

pH	Cond (mS/cm)	Dissolved Oxygen (mg/L)	SVI (mL/g MLS S)	sOUR mgO ₂ / g MLV SS hr	TS (%)	TVS (%)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	TDS (g/L)	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	TN mg/L	TP mg/L	N-NH ₃ mg/L	P-PO ₄ ³⁻ mg/L	TKN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)
8.43 (16 °C)	26.3	1.5	0.37	58.44	1.33	34.4	1900	1540	13	5130	945	3500	80	1456	78	2590	40	365

Χωρίς ξηρό υπόλειμμα (20/2/2020)

Μεθάνιο: 59.5%
Διοξείδιο του άνθρακα: 39.0%
Άζωτο + οξυγόνο: ~1.0%
Υπόλοιπα: 0.5%

Με ξηρό υπόλειμμα (23/3/2020)

Μεθάνιο: 63.6%
Διοξείδιο του άνθρακα: 35.2%
Άζωτο + οξυγόνο: ~1.0%
Υπόλοιπα: 0.2%