



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μ.Π.Σ.: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΔΙΑ)

**ΔΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΠΕΤΡΟΣ

Α.Μ.: 142423

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΓΚΡΙΛΛΑ ΕΛΕΝΗ

**ΠΑΤΡΑ
ΜΑΙΟΣ, 2024**

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παναγιωτόπουλου Πέτρου («συγγραφέα/δημιουργού») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ την Δρ. Γκρίλλα Ελένη, μεταδιδακτορική ερευνήτρια στο Εργαστήριο Τεχνολογιών Αειφορικής Διαχείρισης Αποβλήτων (Ε.Τ.Α.Δ.Α.) της Σχολής Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, για την επίβλεψη και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της κατά τη συγγραφή αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ κυρίως την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη, συναισθηματική και υλική, στις επιλογές και προσπάθειες μου.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη	9
Abstract.....	10
Λέξεις κλειδιά	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	12
1 Εισαγωγή.....	12
1.1 Κτηνοτροφικά απόβλητα	12
1.1.1 Κατηγορίες κτηνοτροφικών αποβλήτων	15
1.2 Χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων.....	17
1.2.1 Ποσοτικά Χαρακτηριστικά	17
1.2.2 Βιολογικά Χαρακτηριστικά	18
1.3 Ο κλάδος βιομηχανιών παραγωγής ζωικών μονάδων στην Ελλάδα..	19
1.3.1 Η γεωγραφική κατανομή των κτηνοτροφικών αποβλήτων στη χώρα μας.....	20
1.4 Καινοτομία Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	21
1.5 Σκοπός μελέτης	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	24
2 Νομοθετικό Πλαίσιο	24
2.1 Εθνικό πλαίσιο	25
2.2 Ευρωπαϊκό πλαίσιο	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	29
3 Συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων	29
3.1 Αναερόβια χώνευση	30
3.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την Αναερόβια Χώνευση.....	32
3.1.2 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της Αναερόβια Χώνευσης	33

3.2	Θερμική Επεξεργασία	35
3.2.1	Καύση.....	35
3.2.2	Αεριοποίηση.....	37
3.2.3	Πυρόλυση.....	38
3.3	Κομποστοποίηση.....	38
3.3.1	Ανοικτό σύστημα	39
3.3.2	Κλειστό σύστημα	40
3.3.3	Μεικτό σύστημα.....	41
3.3.4	Αρχές σχεδιασμού συστημάτων κομποστοποίησης.....	41
3.4	Ζωοτροφές.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο		44
4	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	44
4.1	Περιβαλλοντική ρύπανση από κτηνοτροφικά απόβλητα.....	44
4.2	Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.....	44
4.2.1	Επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα.....	44
4.2.2	Επιπτώσεις στο έδαφος	46
4.2.3	Επιπτώσεις στο νερό	48
4.3	Επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον και στη δημόσια υγεία (οχλήσεις δυσοσμίας, κίνδυνος διάδοσης ασθενειών)	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο		52
5	Αειφόρος Διαχείριση & Τεχνολογίες διαχείρισης φιλικές στο περιβάλλον	52
5.1	Αειφόρος διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων	52
5.2	Εναλλακτικές και βιώσιμες μέθοδοι διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων.....	54
5.2.1	Αναερόβια χώνευση	54
5.2.2	Κομποστοποίηση.....	56
5.2.3	Διαχείριση θρεπτικών συστατικών	57

5.2.4 Διαχωρισμός στερεών και υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων.....	59
5.2.5 Παραγωγή βιοαερίου.....	60
5.2.6 Φυτοεξυγείανση	62
5.3 Πειραματικές μέθοδοι διαχείρισης με δυνατότητα εφαρμογής σε ευρεία κλίμακα.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	69
6 Αξιοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων	69
6.1 Παραγωγή Ζωοτροφών	69
6.2 Διαδικασία Παραγωγής Βιοαερίου	71
6.3 Βιοεξανθράκωμα.....	73
6.4 Διαδικασία κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες.....	76
Κεφάλαιο 7 ^ο	79
7 Συμπεράσματα μελέτης.....	79
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	81

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Χάρτης από το δυναμικό των κτηνοτροφικών αποβλήτων (Πηγή: Κερατιώτης, 2017).....	20
Εικόνα 2: Στάδια αναερόβιας χώνευσης (Πηγή: Chen et al., 2008).....	32
Εικόνα 3: Ηλεκτροκροκίδωση (Electrocoagulation) (Πηγή: Reza and Chen, 2022)...	65
Εικόνα 4: Αρχή λειτουργίας μεθόδου AnMBR (Βιοαντιδραστήρες αναερόβιων μεμβρανών) (Πηγή: Zhen et al., 2019)	66
Εικόνα 5: Ποσοστά κατανάλωσης ζωοτροφών (Πηγή: Manning, 2019)	70
Εικόνα 6: Διαδικασία παρασκευής Βιοεξανθρακώματος (Biochar process) (Πηγή: Sanford, 2023)	74
Εικόνα 7: Σχηματική αναπαράσταση μεθόδου «κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες» (Vermicomposting process) (Πηγή: https://www.geeksforgeeks.org/vermicomposting)	77

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ποσοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται αναλόγως του είδους των εκτρεφόμενων ζώων (Πηγή: Κερατιώτης, 2017)	18
Πίνακας 2: Παράμετροι προσδιορισμού οργανικού φορτίου πτηνο-κτηνοτροφικών αποβλήτων (Πηγή: Κερατιώτης, 2017).	19
Πίνακας 3: Αέριοι ρύποι και το σύστημα παραγωγής τους (Πηγή: Akinbile et al., 2016).	45

Περίληψη

Η σύγχρονη κτηνοτροφία αντιμετωπίζει προκλήσεις που απαιτούν πρωτοποριακές λύσεις για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας του κλάδου και την εναρμόνιση με τις αρχές της αειφορίας. Σε αυτό το πλαίσιο, η διαχείριση και αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων αναδεικνύεται ως ένα ουσιώδες θέμα που απαιτεί συστηματική εξέταση και συνεπή δράση.

Η παρούσα εργασία αναλύει τη θεματική της αειφορικής διαχείρισης και αξιοποίησης των κτηνοτροφικών αποβλήτων, εστιάζοντας στις τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές πτυχές του θέματος. Μέσα από μια εκτενή ανασκόπηση της σχετικής νομοθεσίας και των ισχυρισμών της επιστημονικής κοινότητας, επιδιώκεται η ολοκληρωμένη κατανόηση των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι κτηνοτρόφοι και οι ενδιαφερόμενοι φορείς στον τομέα.

Με βάση την πρωταρχική αρχή της διατήρησης των φυσικών πόρων και της προστασίας του περιβάλλοντος, εξετάζονται οι καινοτόμες προσεγγίσεις και οι βέλτιστες πρακτικές που εφαρμόζονται παγκοσμίως για τη μείωση του αποτυπώματος των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων. Παράλληλα, εξετάζονται οι πιθανές οικονομικές επιπτώσεις και τα συνεπακόλουθα οφέλη από την ορθή διαχείριση των αποβλήτων.

Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία αποσκοπεί στην προώθηση της κατανόησης και της ευαισθητοποίησης γύρω από τη σημασία της αειφόρου διαχείρισης των κτηνοτροφικών αποβλήτων, παρέχοντας παράλληλα πρακτικές και αποτελεσματικές λύσεις που συμβάλλουν στην επίτευξη μιας ισορροπημένης συνύπαρξης μεταξύ της ανθρώπινης δραστηριότητας και του φυσικού περιβάλλοντος.

Abstract

Modern livestock farming faces challenges that require innovative solutions to ensure the viability of the sector and align with the principles of sustainability. Within this context, the management and utilization of livestock waste emerge as an essential issue that requires systematic examination and consistent action.

This study analyzes the topic of sustainable management and utilization of livestock waste, focusing on the technological, environmental and economic aspects of this field. Through an extensive review of the relevant legislation and the claims of the scientific community, a comprehensive understanding of the challenges faced by breeders and stakeholders in the sector is sought.

Based on the primary principle of conserving natural resources and protecting the environment, this paper investigates innovative approaches and best practices applied globally to reduce the footprint of livestock activities. At the same time, the possible economic effects and benefits resulting from proper waste management are examined.

On this basis, the study aims to promote understanding and awareness around the importance of sustainable livestock waste management, while providing practical and effective solutions that help achieve a balanced coexistence between human activity and the natural environment.

Λέξεις κλειδιά

- Αειφορία - Sustainability
- Κτηνοτροφικά απόβλητα – Livestock waste
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις – Environmental impacts
- Βιωσιμότητα - Viability
- Νομοθεσία – Legislation
- Μέθοδοι διαχείρισης – Treatment methods
- Εναλλακτικές τεχνολογίες – Alternative technologies
- Ενέργεια από βιομάζα – Biomass energy
- Δημόσια υγεία – Public health
- Κοινωνικές πτυχές – Social aspects
- Οικονομικές πτυχές – Financial aspects

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1 Εισαγωγή

1.1 Κτηνοτροφικά απόβλητα

Όλες οι διαδικασίες μετατροπής των αρχικών υλικών σε προϊόντα που έχουν χρησιμότητα προκαλούν τη δημιουργία αποβλήτων. Τον όρο "απόβλητα" χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε οποιαδήποτε υλικά, προϊόντα ή παραπροϊόντα που έχουν χάσει τη χρησιμότητά τους και απαιτούν την τελική τους απόρριψη από κάποιον αποδέκτη (Ghosh et al., 2016).

Η παραγωγή αποβλήτων στον κλάδο της κτηνοτροφίας περιλαμβάνει την απόρριψη περιττωμάτων όπως κοπριά και ούρα, τα οποία προέρχονται από συστατικά της τροφής που δεν μπορούν να υποστούν πέψη, καθώς και από απόβλητα που προκύπτουν λόγω διαρροής τροφής και νερού στα ζώα εντός των σταβλισμάτων. Αυτά τα απόβλητα παράγονται σε μορφή στερεής και υγρής ύλης. Κατά τη διαδικασία της πέψης, η τροφή υφίσταται μετατροπές καταλήγοντας σε μικρότερες μοριακές δομές. Αυτό συμβαίνει με σκοπό την απορρόφησή της από το αίμα προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας και υλικών για την ανάπτυξη των ζώων. Τα απόβλητα που προκύπτουν από αυτήν τη διαδικασία είναι γνωστά ως κτηνοτροφικά απόβλητα και η ποσότητά τους είναι στενά συνδεδεμένη με τον όγκο της εκτροφής και το πλήθος των ζώων που υπάρχουν στο στάβλο. Τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν εκπομπή οσμών και διαρροή οργανικών και ανόργανων ρύπων που επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον, είτε πρόκειται για έδαφος είτε για νερό. Συνεπώς, η αποτελεσματική διαχείρισή τους απαιτείται για τη μείωση ή ακόμη και την εξάλειψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Ghosh et al., 2016).

Απόβλητα που προέρχονται από την κτηνοτροφία περιέχουν ένα αυξημένο ποσοστό οργανικών ουσιών, το οποίο ξεπερνά το 70%. Αυτές οι οργανικές ουσίες κυρίως πηγάζουν από το πεπτικό σύστημα των ζώων, δηλαδή από κοπριά και ούρα, και λιγότερο εξαιτίας του διασκορπισμού των τροφών μέσα στις αποχετεύσεις. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικροοργανισμών, κυρίως μεθανοβακτηρίων, που αναπτύσσονται εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε

οργανική ύλη. Η ανάπτυξή τους βασίζεται σε παράγοντες όπως το οργανικό υπόστρωμα και τις συνθήκες περιβάλλοντος, όπως τη θερμοκρασία και το pH. Έτσι ως παράγωγα αυτής της βακτηριακής δραστηριότητας προκύπτουν νερό καθώς και αέρια όπως μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, αμμωνία και άλλες οσμώδεις ουσίες. Σημαντικό επίσης είναι να σημειωθεί ότι τα απόβλητα από τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, όπως άζωτο (N), φωσφόρο (P) και κάλιο (K) (Smith, Nandwani & Kankarla, 2017).

Η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος των εκτρεφόμενων ζώων, την ηλικία τους, τη μάζα τους καθώς και τη συχνότητα εκτροφής τους. Ωστόσο, υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού όγκου των αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αρχικός όγκος αραιώνεται με την προσθήκη νερού που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των χώρων σταβλισμού, με βρόχινο νερό, καθώς και από την προσθήκη στρωμνής, δηλαδή άχυρο, τρίχες ζώων και υπολείμματα από τροφές. Ως αποτέλεσμα, ο τελικός όγκος μπορεί να είναι πολλαπλάσιος του αρχικού, ειδικά σε κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις όπως τα χοιροστάσια (Smith, Nandwani & Kankarla, 2017).

Για τον υπολογισμό του τελικού όγκου των αποβλήτων, απαιτείται να ληφθεί υπόψη η αναλογία νερού προς στερεά συστατικά. Σύμφωνα με τη ρευστότητά τους, τα απόβλητα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (Smith, Nandwani & Kankarla, 2017):

- **Στερεά:** Αυτά τα απόβλητα χαρακτηρίζονται από υγρασία κάτω από 80% ή από περιεκτικότητα σε Ολικά Στερεά (ΟΣ) άνω του 20%. Συνήθως περιλαμβάνουν τα απεκκρίματα πτηνών, ή την κοπριά αμνοεριφίων, βοοειδών και χοίρων, όταν αναμειγνύονται με στρωμνή και άλλα στερεά από τα απόβλητα των εκτροφείων.
- **Ημί-στερεά:** Αυτά τα απόβλητα έχουν υγρασία από 80 έως 85% ή περιεκτικότητα Ολικών Στερεών (ΟΣ) 15-20%. Περιλαμβάνουν τα στερεά απόβλητα των βουστασίων, τα στερεά από τα χοιροστασίων μετά το διαχωρισμό και τα εμπλουτισμένα με νερό στερεά από τον διαχωρισμό των χοιροστασίων.

- **Ημί-ρευστά:** Αυτά τα απόβλητα έχουν υγρασία 85-90% ή περιεκτικότητα σε Ολικά Στερεά (ΟΣ) 5-15%. Περιλαμβάνουν τα υπολείμματα των βουστασίων και των χοιροστασίων, καθώς και τα υπολείμματα από τις δεξαμενές που συγκεντρώνουν και επεξεργάζονται τα απόβλητα.
- **Υγρά:** Αυτά τα απόβλητα έχουν υγρασία άνω του 95% ή περιεκτικότητα σε Ολικά Στερεά (ΟΣ) κάτω από 5%. Περιλαμβάνουν τα υγρά από τις μονάδες χοίρων, τα στραγγίσματα των κοπροσωρών και τα υγρά που προορίζονται για την τελική επεξεργασία.

Παγκοσμίως, η αντίληψη της ανάγκης επίλυσης των περιβαλλοντικών προβλημάτων και της ρύπανσης που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες έχει ενισχυθεί τα τελευταία χρόνια. Ειδικότερα, έχει δοθεί έμφαση στην ανάγκη διαχείρισης των αποβλήτων, που αποτελούν τον κύριο παράγοντα ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Κύριος στόχος αποτελεί η μείωση των απορριπτόμενων αποβλήτων και η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης μέσω της "πράσινης" διαχείρισης, προκειμένου να επιτευχθεί η περιβαλλοντική βελτίωση και η διατήρηση ενός υγιέστερου περιβάλλοντος.

Συχνά, επισημαίνεται η ανάγκη επίλυσης του αρνητικού αντίκτυπου των οργανικών αποβλήτων, με την ενίσχυση των μέτρων και των περιορισμών για την απόρριψή τους. Οι απαιτήσεις για τα συστήματα επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων έχουν αυξηθεί, με έμφαση στη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων.

Για τη διευθέτηση αυτού του ζητήματος, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθορίσει ορισμούς μέσω της Οδηγίας 2008/98/EK και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 σχετικά με τα απόβλητα και τη διαχείρισή τους. Σύμφωνα με αυτούς, ως "απόβλητο" ορίζεται η ουσία ή το αντικείμενο που ο κάτοχος του απορρίπτει ή είναι διατεθειμένος να απορρίψει. Τα "βιολογικά απόβλητα" περιλαμβάνουν τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που προέρχονται από κήπους, πάρκα και καταστήματα εστίασης.

Η έννοια της "διαχείρισης αποβλήτων" αφορά τη συλλογή, μεταφορά, ανάκτηση και διάθεση των αποβλήτων με σκοπό τη βελτίωση του περιβάλλοντος. Τα

"γεωργικά απόβλητα" αναφέρονται σε προϊόντα ή υποπροϊόντα που προκύπτουν από γεωργικές δραστηριότητες και έχουν χάσει την οικονομική τους αξία.

Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στα κτηνοτροφικά απόβλητα, που συχνά αναφέρονται ως "biowaste", παρουσιάζεται η σημασία της σύνθεσής τους και οι διάφοροι τρόποι επεξεργασίας, όπως η αναερόβια χώνευση, η κομποστοποίηση, η υγειονομική ταφή και η αποτέφρωση.

1.1.1 Κατηγορίες κτηνοτροφικών αποβλήτων

Τα κυριότερα κτηνοτροφικά απόβλητα κατηγοριοποιούνται ως εξής (Κερατιώτης, 2017):

- **Κτηνοτροφία Αιγοπροβάτων**

Τα απόβλητα που προκύπτουν από τα αιγοπρόβατα εμφανίζουν ποικίλα χαρακτηριστικά ανάλογα με τη φύση τους. Επειδή τα αιγοπρόβατα βόσκουν σε εκτάσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα, παράγουν απόβλητα τόσο σε στερεή όσο και σε υγρή μορφή, με σχετικά μικρό όγκο. Τα υγρά απόβλητα παρουσιάζονται κυρίως στα στάβλους κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών και των περιόδων βροχών, καθώς και από το νερό πλύσης των αμελκτηρίων.

Τα στερεά απόβλητα, τα οποία απαρτίζουν το μεγαλύτερο μέρος τους, περιλαμβάνουν κοπριά και την προστιθέμενη στρώση, όπως άχυρα και πριονίδια. Η χρήση πιο σύγχρονων μεθόδων σταβλισμού έχει οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής αποβλήτων, καθώς τα εκτρεφόμενα ζώα περνούν περισσότερο χρόνο μέσα στους στάβλους.

Η κοπριά που συγκεντρώνεται στις εγκαταστάσεις σταβλισμού κατά τη χειμερινή περίοδο, απομακρύνεται είτε σε ετήσια βάση, είτε σε πιο συχνά διαστήματα. Η αποθήκευση της κοπριάς σε κοπροσωρούς και η χρήση της ως λίπασμα στα χωράφια, αποτελεί μία πιθανή λύση με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

- **Κτηνοτροφία Βοοειδών**

Τα απόβλητα από τη βοοτροφία παρουσιάζουν ποικίλες χαρακτηριστικές ανάλογα με τον τρόπο εκτροφής και την είδος παραγωγής των ζώων. Στις μονάδες με

εντατική εκτροφή, όπως οι μονάδες γαλακτοπαραγωγής και οι μονάδες εντατικής πάχυνσης των μοσχαριών, τα απόβλητα είναι πολλά και παρουσιάζουν συνήθως στερεή ή ημι-στερεή μορφή, με ή χωρίς προσθήκη στρωμνής, και μπορεί να είναι υγρά όταν αναμειγνύονται με βρόχινο νερό ή νερά πλυσίματος. Περίπου το 70% των αποβλήτων ανήκει στην κατηγορία των στερεών ή ημι-στερεών και συλλέγονται μηχανικά με ξέστρα ή προωθητήρα.

Συνήθως, η διαχείριση των αποβλήτων περιλαμβάνει τη συγκέντρωση των υγρών σε κεντρική δεξαμενή, εκεί όπου μπορούν να οδηγηθούν και τα στερεά ή ημι-στερεά προς επεξεργασία και τελική διάθεση. Στις μονάδες εκτροφής βοοειδών γαλακτοπαραγωγής με περιορισμένο σταβλισμό, το ρεύμα αποβλήτων εντοπίζεται είτε σε ημι-στερεή είτε σε ημι-υγρή μορφή, αναλόγως της προστιθέμενης ποσότητας νερού. Αντίθετα, σε μονάδες με εκτατική εκτροφή, τα απόβλητα εμφανίζονται σε μικρότερο όγκο και διασπώνται στους βοσκότοπους χωρίς ειδική διαχείριση.

- **Κτηνοτροφία Πτηνών**

Στην Ελλάδα, η εκτροφή πτηνών υιοθετεί κυρίως δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη, γνωστή ως εκτατική ή χωρική μορφή, αποτελεί την παραδοσιακή μέθοδο, με περιορισμένο αριθμό πτηνών σε αυλές σπιτιών. Η δεύτερη είναι η εντατική μορφή, η οποία λαμβάνει χώρα σε σύγχρονες μονάδες και μπορεί να εξειδικεύεται στην παραγωγή αυγών ή κρέατος. Στην Ελλάδα, η πτηνοτροφία αποτελεί τον κύριο κλάδο της ζωικής παραγωγής, με υψηλή αυτάρκεια άνω του 90% σε αβγά και κρέας.

Τα παραγόμενα απόβλητα από πτηνοτροφικές μονάδες εμφανίζονται κυρίως σε στερεή ή ημι-στερεή μορφή και περιλαμβάνουν απόβλητα συλλογής από κοπροσωρούς, υπολείμματα στρωμνής και τροφών, καθώς και θρύμματα από κελύφη αυγών, πούπουλα και νερά έκπλυσης. Η παραγωγή αποβλήτων σε στερεή μορφή προκύπτει όταν στον χώρο εκτροφής υπάρχει στρωμνή, ενώ η ημι-στερεή μορφή εμφανίζεται όταν η εκτροφή γίνεται σε κλωβούς.

- **Χοιροτροφία**

Τα απόβλητα από τα χοιροστάσια κυρίως παρουσιάζουν υγρή και ημι-υγρή κατάσταση, με τα ούρα να αποτελούν περίπου το 55% του υλικού και τα κόπρανα το

υπόλοιπο 45%. Αυτά τα απόβλητα συνήθως συλλέγονται σε αποχετευτικά συστήματα. Επιπλέον, η υγρή μορφή περιλαμβάνει επίσης νερά πλυσίματος και διαρροές από τα υδρευτικά συστήματα των χοίρων. Ως εκ τούτου, η περιεκτικότητα σε νερό των αποβλήτων των χοιροστασίων εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 85% και 90%. Πέραν από τα απεκκρίματα, τα απόβλητα περιλαμβάνουν επίσης τρίχες, υπολείμματα ζωοτροφών και, όταν είναι παρούσα, φυσική στρωμνή.

1.2 Χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων

Όσον αφορά τα υποπροϊόντα της κτηνοτροφίας, αναδεικνύονται σημαντικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Το νερό που προκύπτει συνήθως από βροχές, τον καθαρισμό των χώρων εκτροφής και τις διαρροές του υδρευτικού συστήματος αποτελεί ένα σημαντικό μέρος αυτών των αποβλήτων. Όταν γίνεται λόγος για τα χαρακτηριστικά αυτών των υποπροϊόντων, γίνεται αναφορά στις ποσοτικές και βιολογικές τους πτυχές, όπως έχουν τεκμηριωθεί από την έρευνα των Klinghoffer και Castaldi (2013).

1.2.1 Ποσοτικά Χαρακτηριστικά

Για τη διαχείριση και αποθήκευση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, λαμβάνονται υπόψη ποσοτικοί παράγοντες που εκφράζουν τον όγκο και το βάρος των παραγόμενων αποβλήτων ανά χρονική μονάδα, όπως ανά ώρα, ημέρα, εβδομάδα ή έτος, ανάλογα με τη λειτουργία της μονάδας. Ο αρχικός όγκος περιλαμβάνει την κοπριά και τα ούρα ανά ημέρα, με βάση την ημερήσια παραγωγή αποβλήτων ανά είδος ζώου. Στη συνέχεια, τα απόβλητα αναμειγνύονται με νερό από διάφορες πηγές, προκειμένου να προκύψει ο τελικός όγκος σε κάθε κτηνοτροφική μονάδα. Αυτός ο τελικός όγκος, που ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό των διαστάσεων των εγκαταστάσεων επεξεργασίας σε κάθε μονάδα. Ο τελικός όγκος προκύπτει από τη συνολική ποσότητα των στερεών αποβλήτων. Σε πτηνοτροφεία ή και κονικλοτροφεία, τόσο ο αρχικός όγκος όσο και ο τελικός συνδυάζονται, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα στερεά όσο και τα ημι-στερεά απόβλητα (Klinghoffer & Castaldi, 2013).

Πίνακας 1: Ποσοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται αναλόγως του είδους των εκτρεφόμενων ζώων (Πηγή: Κερατιώτης, 2017)

Είδος ζώου	Πυκνότητα (Kg/L)	Ημερήσια παραγωγή αποβλήτων (L/Kg Ζωϊκού Βάρους)
Αγελάδες & μοσχίδια αντικατάστασης	1,010	0,084
Μοσχάρια	0,977	0,053
Χοίροι	0,977	0,058
Πρόβατα	0,977	0,040
Κουνέλια	0,650	0,089
Αίγες	0,978	0,042
Όρνιθες αυγοπαραγωγής	1,060	0,056
Όρνιθες κρεατοπαραγωγής	1,015	0,074
Γάλι / Γαλοπούλες	1,013	0,045
Πάπιες	0,996	0,110
Ίπποι	0,986	0,052

1.2.2 Βιολογικά Χαρακτηριστικά

Η εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης βασίζεται στον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένων των ολικών στερεών (ΟΣ), των πτητικών στερεών (ΠΣ), της βιοχημικής ζήτησης οξυγόνου για περίοδο 5 ημερών (BOD₅) και της χημικής ζήτησης οξυγόνου (COD). Επιπλέον, υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων όπως άζωτο, φωσφόρος και κάλιο. Οι ορισμοί των κάθε παραμέτρου είναι οι εξής (Ghatoura & Fattah, 2015):

- Ολικά στερεά (ΟΣ): το περιεχόμενο από τα μη διαλυμένα στερεά έπειτα από εξάτμιση στους 103°C.
- Πτητικά στερεά (ΠΣ): το περιεχόμενο από τα μη διαλυμένα στερεά έπειτα από εξάτμιση στους 103°C και ακολούθως την αποτέφρωσή τους σε θερμοκρασία 550°C.
- BOD₅: η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για τη βιολογική διάθεση του οργανικού φορτίου από μικροοργανισμούς, υπό ιδανικές συνθήκες σε διάστημα 5 ημερών.
- COD: το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο για τον υπολογισμό της οξείδωσης της οργανικής ύλης των αποβλήτων, χρησιμοποιώντας χημικά μέσα.

Πίνακας 2: Παράμετροι προσδιορισμού οργανικού φορτίου πτηνο-κτηνοτροφικών αποβλήτων (Πηγή: Κερατιώτης, 2017).

Είδος ζώου	ΟΣ (% κ.β. αρχικού όγκου)	ΠΣ (% κ.β. αρχικού όγκου)	BOD ₅ (% κ.β. αρχικού όγκου)	COD (% κ.β. αρχικού όγκου)	Ολικό άζωτο (kg/t)
Αγελάδες & μοσχίδια αντικατάστασης	12	9,9	2,2	10,8	4,7
Μοσχάρια	14	11,5	2,8	13	6
Χοίροι	10	8	3,1	9,6	5,5
Πρόβατα	25	21,3	2,3	29,5	9,4
Κουνέλια	43	37,2	-	-	11
Αίγες	32,5	21,3	2,3	29,5	9,8
Όρνιθες αυγοπαραγωγής	27	20	6,8	25,1	11
Όρνιθες κρεατοπαραγωγής	25,6	20	6,8	25,1	11,8
Γάλαι / Γαλοπούλες	25,3	20	6,8	25,1	12,6
Πάπιες	27	20	6,8	25,1	12,6
Ίπποι	29,6				5,5

1.3 Ο κλάδος βιομηχανιών παραγωγής ζωικών μονάδων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, ο κλάδος της παραγωγής ζωικών μονάδων ανήκει στον ευρύτερο τομέα της γεωργίας και κτηνοτροφίας. Ο κλάδος αυτός συμβάλλει σημαντικά στην εθνική οικονομία και αποτελεί σημαντικό τμήμα της αγροτικής δραστηριότητας. Στην πεδινή και ορεινή Ελλάδα, διάφορες ζωικές μονάδες επικεντρώνονται στην παραγωγή τροφής, όπως κρέας, γάλα, αυγά και άλλα ζωικά προϊόντα (Κερατιώτης, 2017).

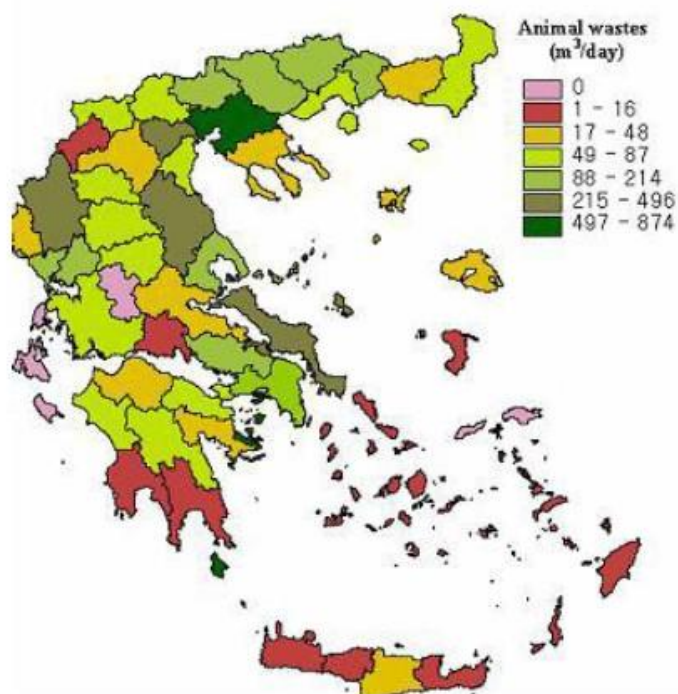
Οι κύριες κατηγορίες ζωικών μονάδων παραγωγής στην Ελλάδα περιλαμβάνουν (Κερατιώτης, 2017):

- Κτηνοτροφία Μικρών Κατοικίδιων: Παραγωγή γάλακτος, κρέατος, και άλλων προϊόντων από μικρά ζώα όπως πρόβατα και αίγες.
- Κτηνοτροφία Μεγάλων Κατοικίδιων: Κτηνοτροφία βοοειδών για την παραγωγή γάλακτος και κρέατος.
- Πτηνοτροφία: Κτηνοτροφία κοτόπουλων, πάπιες, γουρουνιών, και άλλων πτηνών για την παραγωγή αυγών και κρέατος.
- Εκτροφή Χοίρων: Παραγωγή χοιρινού κρέατος και παραγώγων προϊόντων.
- Εκτροφή Κουνελιών: Εκτροφή κουνελιών για την παραγωγή κρέατος.

Ο κλάδος της παραγωγής ζωικών μονάδων στην Ελλάδα έχει διαμορφωθεί σύμφωνα με τις αγροτικές συνθήκες και τις αγοραστικές ανάγκες. Οι παραγωγοί εργάζονται για τη διασφάλιση υψηλής ποιότητας και ποσότητας των προϊόντων τους, ενώ παράλληλα ενσωματώνουν βέλτιστες πρακτικές για τη διαχείριση των αποβλήτων και τη διατήρηση της βιωσιμότητας των εκμεταλλεύσεών τους (Κερατιώτης, 2017).

1.3.1 Η γεωγραφική κατανομή των κτηνοτροφικών αποβλήτων στη χώρα μας

Η γεωγραφική κατανομή των κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα είναι σημαντικός παράγοντας που απηχεί τη δομή και τη δραστηριότητα του τομέα της κτηνοτροφίας στη χώρα. Συνήθως, η κατανομή αυτή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, ο εδαφικός χαρακτήρας και η δομή της γεωργίας.



Εικόνα 1: Χάρτης από το δυναμικό των κτηνοτροφικών αποβλήτων (Πηγή: Κερατιώτης, 2017).

Στη Βόρεια Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία του χάρτη της Εικόνας 1 (για το δυναμικό των κτηνοτροφικών αποβλήτων στην ελληνική επικράτεια), επικεντρώνεται η κύρια δραστηριότητα της κτηνοτροφίας. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι περιοχές στο βόρειο τμήμα της χώρας έχουν υψηλότερο ποσοστό εκμετάλλευσης κτηνοτροφικών μονάδων, ενδεχομένως λόγω καλύτερων συνθηκών για την κτηνοτροφία, όπως ευνοϊκό κλίμα και ευρύτερες εκτάσεις για εκτόνωση (Κερατιώτης, 2017).

1.4 Καινοτομία Μεταπτυχιακής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία που εξετάζει την αειφορική διαχείριση και αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων προσφέρει σημαντική συνεισφορά στην υπάρχουσα γνώση για πολλούς λόγους, εκ των οποίων αναφέρονται ως εξής:

- Περιβαλλοντική Συμβολή: Η έρευνα αναδεικνύει τη σημασία της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στον κτηνοτροφικό τομέα. Με επίκεντρο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, παρέχει κατευθυντήριες αρχές για την ανάπτυξη πρακτικών που είναι περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον.
- Βιομηχανική Βιωσιμότητα: Με την εξέταση των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων, παρουσιάζει εναλλακτικές τεχνολογίες που μπορούν να συμβάλουν στη βιομηχανική βιωσιμότητα του κτηνοτροφικού τομέα.
- Διαχείριση Υγείας και Ασφάλειας: Η ανάλυση των επιπτώσεων στη δημόσια υγεία προσφέρει πληροφορίες για τους κινδύνους και τα μέτρα πρόληψης, ενισχύοντας τη διαχείριση της υγείας και της ασφάλειας.
- Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών: Η εισαγωγή καινοτόμων και εναλλακτικών τεχνολογιών στη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων, όπως είναι για παράδειγμα τα εργαλεία της γεωργίας ακριβείας (π.χ. αυτοματοποιημένος έλεγχος θερμοκρασίας και υγρασίας, και παροχής αέρα - οξυγόνου, κατά την κομποστοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων, η οποία υποβοηθείται από τη χρήση γαιοσκωλήκων) θα μπορούσε να συνεισφέρει στον τομέα της έρευνας και να οδηγήσει στη βιώσιμη βιομηχανοποίηση και βελτιστοποίηση της διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων.
- Πρακτικές για την Κοινωνική και Οικονομική Αειφορία: Διαμέσου της τεχνο-οικονομικής μελέτης που διενεργείται για ορισμένες εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης και αξιοποίησης κτηνοτροφικών αποβλήτων (όπως είναι η κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες ή η παραγωγή βιοαερίου), εστιάζοντας συγχρόνως στις κοινωνικές πτυχές της βιωσιμότητάς τους, η παρούσα έρευνα συμβάλλει στη βελτιστοποίηση και καλύτερη αξιοποίηση αυτών των καινοτόμων μεθόδων διαχείρισης, στα πλαίσια μιας υγιούς κυκλικής οικονομίας.

Τέλος, η σχετική βιβλιογραφία με την «Αειφορική διαχείριση και αξιοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων» θα πρέπει να καλύπτει πολλούς τομείς σχετικούς με την κτηνοτροφία, τη διαχείριση αποβλήτων, τη βιωσιμότητα και τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που διεξάγεται στην διπλωματική αυτή εργασία, αντλώντας πηγές από επιστημονικά περιοδικά και εργασίες και συγκεντρώνοντας την σχετική πληροφορία για την «αειφόρο διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων», η μελέτη αυτή συμβάλλει κατά αυτόν τον τρόπο στην ανάπτυξη της βιβλιογραφικής βάσης για αυτό το επιστημονικό πεδίο.

Βάσει όλων των παραπάνω λόγων λοιπόν, η συγκεκριμένη μελέτη συμβάλλει στην εμπλουτισμένη κατανόηση των προκλήσεων και των ευκαιριών που σχετίζονται με τη διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, προωθώντας την πρόοδο και τη βελτίωση των πρακτικών στον κτηνοτροφικό τομέα.

1.5 Σκοπός μελέτης

Η έρευνα αναλύει εκτενώς την πολυπλοκότητα των θεμάτων που περιβάλλουν τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία και αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων. Επικεντρώνεται στην ανάγκη για πρακτικές που προάγουν τη βιωσιμότητα, χαράσσοντας μια σφαιρική προσέγγιση για την αειφορική διαχείριση των αποβλήτων στον κτηνοτροφικό τομέα.

Οι βασικοί στόχοι περιλαμβάνουν τη μείωση του ανθρώπινου αποτυπώματος στο περιβάλλον μέσω της περιορισμένης χρήσης πόρων και της ελαχιστοποίησης των εκπομπών. Συγχρόνως, επιδιώκεται η ενίσχυση της οικονομικής αποδοτικότητας των κτηνοτροφικών επιχειρήσεων, με στόχο τη διατήρηση και ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς τους.

Επιπλέον, η έρευνα εξετάζει την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και καινοτόμων μεθόδων για την αξιοποίηση των αποβλήτων, στοχεύοντας σε αυξημένη αποτελεσματικότητα και βιωσιμότητα.

Στον τομέα της προστασίας της δημόσιας υγείας, η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μείωση του κινδύνου μετάδοσης ζωικών νόσων και επιπτώσεων

στην κοινωνία, ενώ παράλληλα δίνει έμφαση στις κοινωνικές και οικονομικές πτυχές που αφορούν τη βιωσιμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2 Νομοθετικό Πλαίσιο

Στον τομέα της παραγωγής ζωικών μονάδων, το θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο περιλαμβάνει νόμους και κανονισμούς που αφορούν την εκτροφή, την παραγωγή, την επεξεργασία και την εμπορία ζωικών προϊόντων. Ορισμένα θέματα που καλύπτονται από το θεσμικό πλαίσιο σε αυτόν τον τομέα περιλαμβάνουν (Ζαρκάδας, 2012):

1. **Υγειονομικοί Κανονισμοί:** Κανονισμοί που διέπουν την υγεία των ζώων, την πρόληψη των ασθενειών και τις πρακτικές υγιεινής στις ζωικές μονάδες.
2. **Διατροφικοί Κανονισμοί:** Νομοθεσία που ρυθμίζει τη διατροφή των ζώων, τα πρότυπα ποιότητας των ζωικών προϊόντων και τις διαδικασίες ελέγχου ποιότητας.
3. **Περιβαλλοντικοί Κανονισμοί:** Νομοθεσία που σχετίζεται με τη διαχείριση των αποβλήτων, την προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση της βιωσιμότητας.
4. **Κανονισμοί Ευζωίας Ζώων:** Κανονισμοί που αφορούν τη μεταχείριση των ζώων και τις συνθήκες διαβίωσής τους.
5. **Οικονομικά και Φορολογικά Θέματα:** Νομοθεσία που αφορά τη χρηματοοικονομική πτυχή της παραγωγής ζωικών μονάδων, όπως φορολογικές πολιτικές και ενισχύσεις.

2.1 Εθνικό πλαίσιο

Η νομοθεσία που διέπει τη διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων στην ελληνική επικράτεια, συνδυάζει την ελληνική νομοθεσία και την εφαρμογή των ευρωπαϊκών οδηγιών που αφορούν τον τομέα των αποβλήτων και της κτηνοτροφίας. Οι πιο σημαντικοί κανονισμοί και νομοθετικά κείμενα σχετικά με τη διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων περιλαμβάνουν (Ζαρκάδας, 2012):

- **Περιβαλλοντικός Νόμος 1650/1986:** Ο περιβαλλοντικός νόμος καθορίζει τους γενικούς κανόνες για την προστασία του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των θεμάτων διαχείρισης των ζωικών αποβλήτων.
- **Υγειονομική διάταξη Υ1β/2000/1995 – ΦΕΚ 343/Β/4-5-1995,** υγειονομική διάταξη «Περί όρων ιδρύσεως και λειτουργίας πτηνο-κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων». Η υγειονομική νομοθεσία απαιτεί τη συμμόρφωση με πρότυπα που αφορούν τις τοποθεσίες των σταβλισμών, την έκταση του εδάφους για την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων, τα χαρακτηριστικά των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, καθώς και τις διαδικασίες για τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία και διάθεση των υγρών και στερεών αποβλήτων. Επίσης, καθορίζει τα πρότυπα για την ίδρυση και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων.
- **Προεδρικό Διάταγμα 374/2001 – ΦΕΚ 251/Α/22-10-2001,** προστασία των ζώων σε εκτροφεία, σε συμμόρφωση με την οδηγία 98/58/ΕΚ του Συμβουλίου και σε εκτέλεση της Απόφασης 2000/50/ΕΚ της Επιτροπής. Ο βασικός στόχος του Προεδρικού Διατάγματος (ΠΔ) είναι η θέσπιση βασικών κανόνων για την προστασία των ζώων που εκτρέφονται, καθώς και η θέση των ελάχιστων προϋποθέσεων για τις κτηνοτροφικές μονάδες. Συγκεκριμένα, το ΠΔ αναφέρεται στα ζώα που εκτρέφονται, τα οποία περιλαμβάνουν τα βοοειδή, τους χοίρους και τις πτηνοειδείς που παράγουν αυγά.
- **Προεδρικό Διάταγμα 211/2006 – ΦΕΚ 211/Α/5-10-2006,** Συμπληρωματικά άρθρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και από το Συμβούλιο της 3ης Οκτωβρίου 2002 σχετικά με τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων για τα ζωικά υποπροϊόντα, μη προοριζόμενα για ανθρώπινη κατανάλωση.

- **Κανονισμός (ΕΚ) 181/2006:** Αφορά τις υγειονομικές κανόνες για τα κατάλοιπα από την παραγωγή, επεξεργασία και διανομή των προϊόντων ζωικής προέλευσης που προορίζονται για κατανάλωση από τους ανθρώπους.
- **Υπουργική Απόφαση 18528/2009:** Καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις για τη διαχείριση των ζωικών αποβλήτων και των υποπροϊόντων ζωικής προέλευσης.
- **Κανονισμός (ΕΚ) 1069/2009:** Ο κανονισμός αυτός καθορίζει τους κανόνες υγιεινής για τα ζωικά υποπροϊόντα και τα παράγωγά τους που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τους ανθρώπους. Καθορίζει τις απαιτήσεις για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία, χρήση και απόρριψη αυτών των υλικών.
- **Κανονισμός (ΕΚ) 142/2011:** Αναφέρεται στις λεπτομέρειες εφαρμογής του Κανονισμού 1069/2009, καθορίζοντας τις τεχνικές προδιαγραφές για την εφαρμογή των κοινοτικών κανόνων υγιεινής.
- **Νόμος υπ' αριθ. 4056 ΦΕΚ Β 52/12.3.2012:** ρυθμίσεις που αφορούν την κτηνοτροφία και τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις καθώς και άλλες διατάξεις. Ο Νόμος αναφέρει την κατάταξη των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων με βάση τα κτήρια και την δυναμικότητά τους, τις διαδικασίες αδειοδότησής τους, τη δημιουργία της επιτροπής σταβλισμού, την καθορισμένη θέση, την ελάχιστη έκταση και τις ελάχιστες αποστάσεις τους. Τέλος, παρέχονται οδηγίες για τη μεταβίβαση ή την παύση λειτουργίας των εγκαταστάσεων αυτών.
- **Υπουργική Απόφαση 1420/82031/2015 – ΦΕΚ 1709/Β/17-8-2015:** ο στόχος της Υπουργικής απόφασης είναι να παρέχει κατευθυντήριες γραμμές στους γεωργούς και κτηνοτρόφους, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και την διασφάλιση του εισοδήματός τους. Στο επίκεντρο βρίσκεται η αντιμετώπιση της ρύπανσης των υπογείων και επιφανειακών υδάτων.
- **Υπουργική Απόφαση 2001/118518/2015 – ΦΕΚ 2359/Β/3-11-2015,** τροποποίηση της αριθ. 1420/82031 (ΦΕΚ 1709/Β/2015) απόφασης του Αναπληρωτή Υπουργού Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος και Ενέργειας «Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από τη Νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση 612/118658/2020 - ΦΕΚ 1983/Β/23-5-2020:** Η Κοινή Υπουργική Απόφαση 612/118658/2020 αφορά τον καθορισμό των αναγκαίων συμπληρωματικών μέτρων προς εφαρμογή των κανονισμών (ΕΚ)

αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και (ΕΕ) αριθ. 142/2011 της Επιτροπής. Αυτοί οι κανονισμοί αναφέρονται στα ζωικά υποπροϊόντα και τους κανόνες υγιεινής για αυτά.

Αυτά τα νομοθετικά κείμενα και κανονισμοί θεσπίζουν τους κανόνες και τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούν οι κτηνοτρόφοι και οι επιχειρήσεις για τη σωστή διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα.

2.2 Ευρωπαϊκό πλαίσιο

Η διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ευρώπη υπόκειται σε διάφορες ευρωπαϊκές οδηγίες και κανονισμούς που καθορίζουν τα πρότυπα και τις διαδικασίες για τη συλλογή, επεξεργασία, αξιοποίηση και απόρριψη των κτηνοτροφικών αποβλήτων. Ορισμένες από τις κύριες οδηγίες περιλαμβάνουν:

- **Οδηγία του συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991:** Η οδηγία αποσκοπεί στην προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση που προέρχεται από γεωργικές δραστηριότητες. Ο βασικός στόχος της είναι η μείωση της ρύπανσης των υδάτων από νιτρικά ιόντα που οφείλονται είτε άμεσα είτε έμμεσα στη γεωργία, καθώς και η πρόληψη περαιτέρω ρύπανσης αυτού του είδους.
- **Οδηγία 2008/98/ΕΚ - Οδηγία για τα Απόβλητα:** Στην οδηγία αυτή περιγράφονται οι γενικοί ορισμοί και οι βασικές αρχές που αφορούν τη διαχείριση των αποβλήτων, θέτοντας το πλαίσιο για την κατάταξή τους με βάση μια ιεράρχηση επιλογών. Αυτή η ιεράρχηση δίνει προτεραιότητα στην πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων, στην ανακύκλωση υλικών, καθώς και στην αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση τους.
- **Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1069/2009/ΕΚ της 21ης Οκτωβρίου 2009:** Πρόκειται για μια παράθεση περί των υγειονομικών κανόνων που διέπουν τα ζωικά υποπροϊόντα και τα παράγωγα προϊόντα, τα οποία δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ περιλαμβάνει και την κατάργηση ενός συγκεκριμένου κανονισμού. Ο κύριος στόχος του νέου κανονισμού είναι η διασφάλιση της δημόσιας υγείας και της υγείας των ζώων σχετικά με αυτά τα προϊόντα. Ο κανονισμός αυτός προσδιορίζει κανόνες που αποσκοπούν στην

πρόληψη και τον περιορισμό των ενδεχόμενων κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία και την υγεία των ζώων από αυτά τα προϊόντα, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια της τροφικής αλυσίδας τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τα ζώα.

- **Κανονισμός (ΕΚ) 142/2011 - Κανονισμός Εφαρμογής για τα Ζωικά Υποπροϊόντα:** Αναφέρεται στις λεπτομέρειες εφαρμογής του Κανονισμού 1069/2009, περιλαμβάνοντας τεχνικές προδιαγραφές για την εφαρμογή των κοινοτικών κανόνων υγιεινής.
- **Κανονισμός (ΕΕ) 2015/9 της επιτροπής της 6ης Ιανουαρίου 2015:** Πρόκειται για τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 142/2011, ο οποίος αφορά την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, που αφορά τους υγειονομικούς κανόνες για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα. Ο στόχος αυτής της τροποποίησης είναι να γίνει η εφαρμογή της οδηγίας 97/78/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με τα συγκεκριμένα δείγματα και τεμάχια εξαιρούμενων από συνοριακούς κτηνιατρικούς ελέγχους, όπως ορίζεται στην εν λόγω οδηγία.
- **Οδηγία 91/676/ΕΟΚ - Οδηγία για τη Ρύπανση από Οργανικά Συστατικά:** Αφορά την προστασία των υδάτων για την αποφυγή ρύπανσής τους με οργανικά συστατικά προερχόμενα από γεωργικές πηγές, περιλαμβανομένων και των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.

Επιπλέον, κάθε χώρα μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης μπορεί να έχει και εθνική νομοθεσία που προσαρμόζεται στις ευρωπαϊκές οδηγίες, παρέχοντας περαιτέρω λεπτομέρειες και προδιαγραφές για τη διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3 Συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων

Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την κτηνοτροφία έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και επηρεάζουν την υγεία και ασφάλεια, και γενικά την ευημερία των αγροτών και των ζώων τους. Η σωστή διαχείριση της κτηνοτροφίας αποτελεί προτεραιότητα για την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας των ζώων. Η βέλτιστη πρακτική περιλαμβάνει την ανάγνωση του τρόπου με τον οποίο οι δραστηριότητες κτηνοτροφίας επηρεάζουν το περιβάλλον και τη λήψη μέτρων για τη μείωση των επιπτώσεων. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής διαχείρισης, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες. Επιπλέον, οι κτηνοτρόφοι πρέπει να συμμορφώνονται με τους κανόνες ορθής γεωργικής πρακτικής (Sorathiya et al., 2014).

Εκτός από την προστασία του περιβάλλοντος, οι σωστές πρακτικές στη γεωργία επηρεάζουν θετικά το εισόδημα των αγροτών. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί προσεκτικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Όπως έχει αναφερθεί, ο τύπος και ο όγκος των αποβλήτων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, και οι γεωργοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες κατά τον σχεδιασμό των υποδομών αποθήκευσης και επεξεργασίας των αποβλήτων (Sorathiya et al., 2014).

Σε γενικές γραμμές, τα στερεά κτηνοτροφικά απόβλητα είναι πιο ευαίσθητα στη διαχείριση σε σύγκριση με τα υγρά απόβλητα, με απλούστερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Συνιστάται η αποφυγή ή η ελαχιστοποίηση της ανάμειξής τους με υγρά, καθώς και η συλλογή και διαχείριση των σχετικά καθαρών υγρών αποβλήτων χωριστά, προκειμένου να διατηρηθεί η ποιότητα των στερεών αποβλήτων. Τέλος, σημαντικός παράγοντας αποτελεί η αντιμετώπιση των ημι-στερεών αποβλήτων (βουστάσια γαλακτοπαραγωγής), όπου η ανάμειξη με νερά καθαρισμού αμελκτηρίου ή επεξεργασμένων υγρών μπορεί να διευκολύνει τη διαδικασία του μηχανικού διαχωρισμού (Olarinmoye et al., 2011).

3.1 Αναερόβια χώνευση

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι μια βιοχημική διαδικασία που συμβαίνει σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, όπου το οργανικό υλικό μετατρέπεται σε πιο απλά χημικά στοιχεία. Οι μικροοργανισμοί που λειτουργούν σε αυτό το περιβάλλον αναμορφώνουν τα οργανικά υλικά, παράγοντας μεθάνιο (CH_4), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O) (Chen et al., 2008).

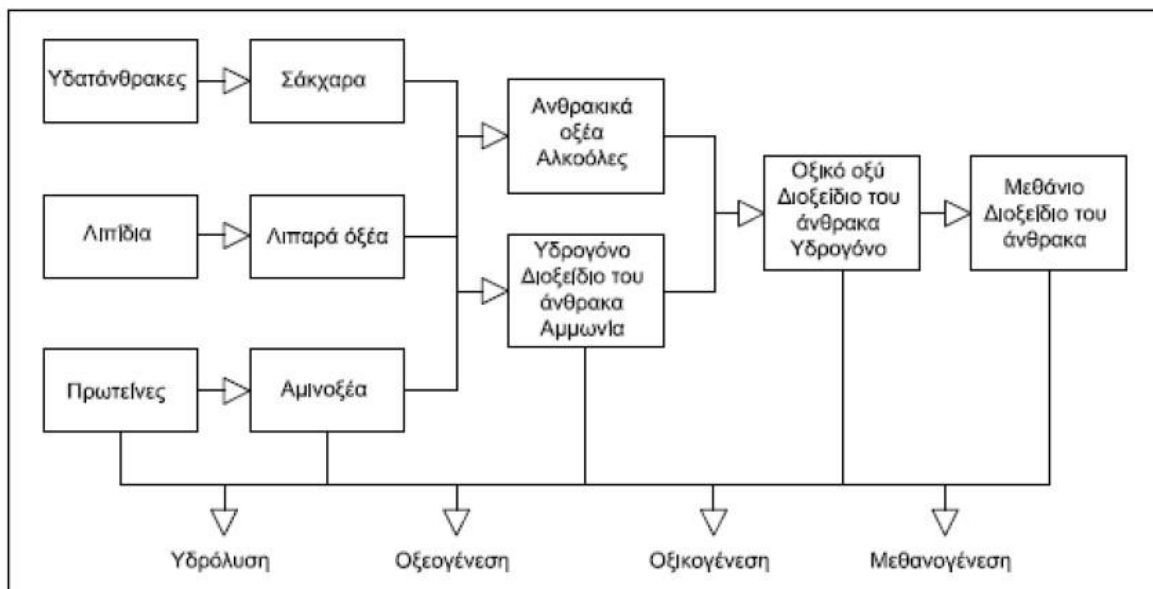
Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια ελεγχόμενη διαδικασία αποσύνθεσης οργανικών υλικών υπό συνθήκες χωρίς παρουσία οξυγόνου, με τη συμμετοχή κατάλληλων μικροοργανισμών. Αυτή η διαδικασία μετατρέπει τα απόβλητα οργανικού περιεχομένου σε βιοαέριο και υγρό υπόλειμμα, γνωστό ως χώνευμα. Το βιοαέριο περιλαμβάνει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, αλλά και μικρές ποσότητες υδρογόνου, αζώτου και υδροθείου.

Το υγρό υπόλειμμα υποβάλλεται σε επιπλέον επεξεργασία για σταθεροποίηση και μετατροπή σε κομπόστ, το οποίο βρίσκει εφαρμογή ως εδαφοβελτιωτικό ή ως καύσιμο υλικό. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό ανακύκλωσης σε αντιδραστήρες, προκειμένου να διατηρηθεί η απαραίτητη υγρασία (Chen et al., 2008).

Η αναερόβια χώνευση, επίσης γνωστή ως βιοαεριοποίηση, συμβαίνει σε φυσικά περιβάλλοντα όπως λίμνες, χώρους υγειονομικής ταφής, υδάτινα έργα και ακόμη και στο πεπτικό σύστημα των θηλαστικών ζώων. Ο στόχος της διαδικασίας είναι η παραγωγή ενέργειας, η ελάττωση του όγκου των αποβλήτων και η αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων με χρήση του υγρού υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικού. Ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας εξαρτάται από το πιο χρονοβόρο στάδιο των διάφορων φάσεων.

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνει βιολογικές διεργασίες που χωρίζονται σε τέσσερα βασικά στάδια: υδρόλυση, οξεογένεση, οξικογένεση και μεθανογένεση. Κάθε στάδιο χαρακτηρίζεται από τη διάσπαση του αρχικού υποστρώματος σε μικρότερα στοιχεία με τη βοήθεια διαφορετικών μικροοργανισμών (Chen et al., 2008):

- **Υδρόλυση:** Στο πρώτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, τα πολύπλοκα οργανικά πολυμερή υποκείμενα μετατρέπονται σε απλά διαλυτά μόρια. Εξωκυτταρικά ένζυμα προωθούν τη μετατροπή πρωτεϊνών, λιπιδίων και πολυμερών υδατανθράκων σε αμινοξέα, λιπαρά οξέα και απλές αλυσίδες σακχάρων. Τα υδρολυτικά βακτήρια εκκρίνουν ένζυμα που επιταχύνουν τον αποπολυμερισμό, δημιουργώντας διαλυτά μόρια που μεταφέρονται στα μικροβιακά κύτταρα για απορρόφηση και μετατροπή.
- **Οξεογένεση:** Στο δεύτερο στάδιο, οι οξεογενείς βακτήριοι μετατρέπουν τις ενδιάμεσες ενώσεις που προέκυψαν από την υδρόλυση σε οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Η οξεογένεση είναι το πιο γρήγορο στάδιο, καθώς η ροή των ενδιάμεσων ενώσεων εξαρτάται από την ποικιλία των οξεογενών βακτηρίων.
- **Οξικογένεση:** Στο τρίτο σε σειρά στάδιο, τα παράγωγα της οξεογένεσης υπόκεινται σε ανατροπή από μεθανογενή βακτήρια, παράγοντας υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ. Αυτό το στάδιο επηρεάζεται από παράγοντες όπως η σύνθεση του υποστρώματος, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης, η θερμοκρασία και το pH.
- **Μεθανογένεση:** Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει τη μετατροπή των οργανικών οξέων σε μεθάνιο και άλλα προϊόντα από μεθανογενή βακτήρια. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH και η σύνθεση του υποστρώματος επηρεάζουν την απόδοση αυτού του σταδίου, το οποίο αποτελεί κρίσιμο βήμα για την ομαλή λειτουργία της διαδικασίας.



Εικόνα 2: Στάδια αναερόβιας χώνευσης (Πηγή: Chen et al., 2008).

3.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την Αναερόβια Χώνευση

Η ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ). Οι λειτουργικές παράμετροι του χωνευτή πρέπει να παρακολουθούνται ώστε να ευνοείται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών για την αύξηση της απόδοσης της διεργασίας (Meegoda et al., 2018).

Η θερμοκρασία εντός του αντιδραστήρα επηρεάζει σημαντικά τις μεταβολικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών και, συνεπώς, τη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου. Κατηγορίες θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται κατά την Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ) είναι η ψυχρόφιλη ($T < 25^{\circ}\text{C}$), η μεσόφιλη ($25^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$) και η θερμόφιλη ($45^{\circ}\text{C} < T < 70^{\circ}\text{C}$). Η ιδανική θερμοκρασία στον αντιδραστήρα ποικίλει, αλλά πρέπει να διατηρείται σταθερή για τη διατήρηση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου. Γενικά, η Αναερόβια Χώνευση είναι πιο ενεργή σε μεσόφιλες και θερμόφιλες συνθήκες. Η υψηλότερη θερμοκρασία συνδέεται με αυξημένη παραγωγή μεθανίου, αυξημένους ρυθμούς φόρτισης και μείωση του όγκου στον αντιδραστήρα. Επιπλέον, η θερμόφιλη διεργασία παρέχει βελτιωμένη εξυγίανση.

Τα βακτήρια που συμμετέχουν στη διαδικασία της μεθανογένεσης είναι ευαίσθητα στις αλλαγές θερμοκρασίας, με την ιδανική θερμοκρασία να εντοπίζεται

μεταξύ 33°C και 38°C. Θερμοκρασίες μικρότερες από αυτό το εύρος μπορούν να επιβραδύνουν τη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου, ενώ υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσουν στον θάνατο των μεθανογόνων βακτηρίων (Meegoda et al., 2018).

Οι σύγχρονες μονάδες παραγωγής βιοαερίου συνήθως λειτουργούν σε θερμοφιλες περιοχές εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η υψηλότερη παραγωγή βιοαερίου χάρη στο μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης της οργανικής ύλης, ο υψηλότερος ρυθμός φόρτισης, η μείωση του όγκου του αντιδραστήρα και η καλύτερη εξυγίανση. Επιπλέον, η θερμοφιλή διεργασία επιτρέπει ταχύτερη υδρόλυση, καλύτερο διαχωρισμό υγρής-στερεάς φάσης, μειωμένο χρόνο παραμονής και αποτελεσματικότερη υποβάθμιση των στερεών υποστρωμάτων.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και μειονεκτήματα στη θερμοφιλή διεργασία, όπως η μειωμένη σταθερότητα του συστήματος, η ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις, η μεγαλύτερη ευαισθησία σε λειτουργικές μεταβλητές και σε συνθήκες περιβάλλοντος, καθώς και η υψηλή ευαισθησία σε υψηλά επίπεδα αμμωνίας που απελευθερώνονται από υλικά πλούσια σε πρωτεΐνες. Ωστόσο, η επιπλέον θερμότητα που απαιτείται μπορεί να προκύψει από το παραγόμενο βιοαέριο, καίγοντάς το (Meegoda et al., 2018).

Επιπλέον, οι απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας μπορούν να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη διεργασία, με τη συσσώρευση των πτητικών λιπαρών οξέων να αποτελεί ένα από τα πιθανά αποτελέσματα. Τα θερμοφιλά βακτήρια είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασιακές διαφορές $\pm 1^\circ\text{C}$ και απαιτούν επιπλέον χρόνο για προσαρμογή σε νέες θερμοκρασίες, σε αντίθεση με τα μεσόφιλα βακτήρια που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε διαφορές θερμοκρασίας $\pm 3^\circ\text{C}$ χωρίς να επηρεαστεί η παραγωγή βιοαερίου.

3.1.2 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της Αναερόβια Χώνευσης

Επιλέγοντας τη βιολογική διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης (AX) για τη διαχείριση κτηνοτροφικών απόβλητα, έρχονται στο προσκήνιο διάφορα πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα χρήσης της μεθόδου AX, τα βασικότερα από αυτά συνοψίζονται ως εξής (Yao et al., 2020):

- **Μείωση αερίων θερμοκηπίου:** Η Αναερόβια Χώνευση (AX) συμβάλλει στη μείωση των αερίων θερμοκηπίου, επιδιώκοντας ταυτόχρονα τη μεγιστοποίηση της παραγωγής μεθανίου χωρίς εκπομπές αερίων απόβλητα στην ατμόσφαιρα.
- **Ανανεώσιμη ενέργεια:** Το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, μειώνοντας τη ζήτηση για ορυκτά καύσιμα.
- **Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων:** Δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων, μειώνοντας τη ρύπανση των εδαφών και των υδάτων.
- **Μείωση οσμών και καταστροφή παθογόνων:** Ελαττώνονται οι οχλήσεις λόγω οσμών και καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, εξαλείφοντας ουσιαστικά την ανάγκη για επιβλαβή ζιζανιοκτόνα.
- **Οικονομικά οφέλη:** Τα προϊόντα της Αναερόβιας Χώνευσης (AX), όπως το βιοαέριο και το εδαφοβελτιωτικό, δύνανται να αξιοποιηθούν εμπορικά, συμβάλλοντας στην βιώσιμη λειτουργία των γεωργοκτηνοτροφικών μονάδων.
- **Μειωμένη απαίτηση χώρου:** Καταλαμβάνει λιγότερο χώρο σε σύγκριση με την αερόβια χώνευση.

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα της Αναερόβιας Χώνευσης περιλαμβάνουν (Yao et al., 2020):

- **Υψηλό κόστος:** Η Αναερόβια Χώνευση απαιτεί σημαντικό κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας, καθιστώντας την οικονομικά αποδοτική μόνο όταν χρησιμοποιούνται τα παράγωγα της επιπλέον.
- **Κίνδυνοι και αρνητικές επιπτώσεις:** Μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους και αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, απαιτώντας μείωση των ρίσκων και των επιπτώσεων.
- **Απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό:** Απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό για συνεχή λειτουργία, με προβληματισμούς για την υγεία των εργαζομένων.
- **Ευαισθησία σε παραμέτρους:** Είναι ευαίσθητη σε διάφορες μεταβολές παραμέτρων, όπως θερμοκρασία και pH.
- **Απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία:** Απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία των εκροών λόγω παθογόνων μικροοργανισμών.

- **Απόσταση και κόστος μεταφοράς:** Η απόσταση από τις κτηνοτροφικές μονάδες μπορεί να αυξήσει το κόστος μεταφοράς των αποβλήτων.

3.2 Θερμική Επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων, που περιλαμβάνει την καύση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση, στοχεύει στην ελάττωση του όγκου τους και συγχρόνως στη μετατροπή τους σε μη επιβλαβή υλικά για την υγεία του ανθρώπου. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στη δυνατότητα εκμετάλλευσης της παραγόμενης ενέργειας για θέρμανση, παραγωγή ατμού, παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή καυσίμου υλικού, όπως προβλέπεται από τις τεχνικές προδιαγραφές της Θερμικής Επεξεργασίας σύμφωνα με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/97.

Η καύση αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας σε σύγκριση με την πυρόλυση. Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της πυρόλυσης συμπεριλαμβάνουν τον περιορισμένο όγκο εκπομπών αερίων και τη μειωμένη περιεκτικότητα σε επιβλαβείς ουσίες στα υπολείμματα. Έτσι λοιπόν, παρατίθενται οι διάφορες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας, με εστίαση στην ευρέως χρησιμοποιούμενη καύση (Parihar et al., 2019).

3.2.1 Καύση

Η καύση αναφέρεται στη διαδικασία οξείδωσης, δηλαδή στον συνδυασμό χημικών στοιχείων με οξυγόνο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εκτελεστεί είτε παρέχοντας το απαιτούμενο οξυγόνο προς πλήρη καύση, είτε με την υπερβολική παροχή οξυγόνου πέρα από τον στοιχειομετρικό όγκο για καύση με περίσσεια. Συνήθως χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα στα συστήματα καύσης για την ανάμειξη, εξασφαλίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο την ομοιόμορφη παροχή αέρα σε όλο τον όγκο των απορριμμάτων (Font-Palma, 2019).

Τα συστήματα καύσης χωρίζονται συνήθως σε δύο κύριες κατηγορίες (Font-Palma, 2019):

1. **Συστήματα μαζικής καύσης (μεικτά στερεά απόβλητα):** Σε αυτά τα συστήματα, τα απόβλητα δεν υφίστανται σημαντική επεξεργασία πριν την εισαγωγή τους στο σύστημα καύσης. Η εν δυνάμει εκλυόμενη ενέργεια από την καύση των απορριμμάτων ενδέχεται να ποικίλει ανάλογα με την εποχή, τις κλιματικές συνθήκες και την προέλευση των απορριμμάτων. Παρά το γεγονός αυτό, αυτά τα συστήματα είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα για τη θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων.
2. **Συστήματα καύσης RDF (Refuse Derived Fuel):** Στα συστήματα αυτά, το RDF καίγεται σε μια κινούμενη εσχάρα. Η παραγόμενη μορφή του καυσίμου RDF είναι ως τεμαχίδια, ως σκόνη ή ως συμπιεσμένα τεμάχια, και πραγματοποιείται μέσω κατάλληλης προ-επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων. Τα συστήματα RDF απαιτούν μικρότερη έκταση εγκατάστασης λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας ενέργειας του καυσίμου. Επιπλέον, το σύστημα προ-επεξεργασίας μπορεί να απομακρύνει σημαντικές ποσότητες από μέταλλα, πλαστικά καθώς και άλλα υλικά, που ενδέχεται να επιφέρουν την εκπομπή βλαβερών αερίων ή στην έκλυση τοξικής ιπτάμενης τέφρας.

Κάποια από τα προνόμια της μεθόδου καύσης περιλαμβάνουν τόσο τη μείωση του όγκου των αποβλήτων, οδηγώντας σε μικρότερη απαίτηση έκτασης για την υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων, όσο και τη δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής σε μικρές και μεγάλες εγκαταστάσεις, ενώ συγχρόνως είναι δυνατή και η ανάκτηση και εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας από την καύση (Font-Palma, 2019).

Ωστόσο, στα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά της μεθόδου καύσης περιλαμβάνονται το υψηλό λειτουργικό κόστος των μονάδων, αλλά και το αυξημένο κόστος αρχικής επένδυσης, ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό, μη αξιοποίηση των χρήσιμων υλικών των απορριμμάτων, με αποτέλεσμα τη μη εξοικονόμηση φυσικών πόρων, δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας καθώς και ανάγκη για δαπανηρά συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Font-Palma, 2019).

Οι εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας με καύση ενέχουν και ορισμένες σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα σημεία (Font-Palma, 2019):

Η οπτική παρενόχληση συνδέεται με την ορατή ενόχληση από την εγκατάσταση, με τη λύση να βρίσκεται στην έμφαση στην αρχιτεκτονική της. Οι οσμές προκαλούνται από ενδεχόμενες διαρροές αέριων από την εγκατάσταση ή και από διαρροές στερεών πριν την αποτέφρωσή τους.

Ο θόρυβος προέρχεται από τη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού, με δυνατότητα περιορισμού μέσω προσεκτικού σχεδιασμού. Η σκόνη μπορεί να διαφεύγει κάτω από συγκεκριμένες λειτουργικές συνθήκες του αποτεφρωτήρα ή των συστημάτων διαχείρισης της τέφρας, με την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων να επιτυγχάνεται μέσω συστημάτων υγρής διαχείρισης της τέφρας.

Η αλλαγή χρήσεων γης επηρεάζει την περιοχή που εγκαθίσταται μία τέτοια μονάδα, υποβαθμίζοντας ουσιαστικά την αξία των γειτονικών ακινήτων.

Ακόμα η διάθεση της τέφρας παρά τις αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, εκτιμάται ότι είναι δυνατή η διαχείρισή της σε χωματερές, αποφεύγοντας σημαντικά προβλήματα.

Τα υγρά απόβλητα προέρχονται από την διαχείριση των απαιριών, απαιτώντας την ύπαρξη επιπλέον εγκατάστασης επεξεργασίας για αυτά.

Τέλος, επιβάλλεται έλεγχος και παρακολούθηση για ορισμένους αέριους ρύπους, όπως διοξίνες, φουράνες, οξειδία άνθρακα/αζώτου, με τη χρήση ειδικών συστημάτων.

3.2.2 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση αποτελεί μια διαδικασία όπου τα στερεά απόβλητα υφίστανται μερική καύση υπό συγκεκριμένες συνθήκες, με σκοπό τη δημιουργία ενός αερίου μεικτού, περιλαμβάνοντας μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και περιορισμένες ποσότητες κορεσμένων υδρογονανθράκων, κυρίως μεθανίου. Πρόκειται για μια τεχνική που αποβλέπει στη μείωση του όγκου των απορριμμάτων, ενώ παράλληλα αξιοποιεί την παραγόμενη ενέργεια. Σημαντικό είναι ότι αυτή η διαδικασία εστιάζεται στη μερική καύση υλικού που είναι πλούσιο σε άνθρακα με σκοπό την παραγωγή καυσίμου αερίου, αν και δεν έχει υποστηριχθεί ευρέως από αεριοποιητές γενικής χρήσης μέχρι σήμερα (Parihar et al., 2019).

3.2.3 Πυρόλυση

Η διαδικασία της πυρόλυσης αντιπροσωπεύει ένα θερμικό μέσο κατά το οποίο τα στερεά απόβλητα υφίστανται επεξεργασία χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Αυτό επιτρέπει τον διαχωρισμό των θερμικά ασταθών οργανικών υλικών σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Τα παραγόμενα προϊόντα περιλαμβάνουν τα εξής (Parihar et al., 2019):

- Ένα ρεύμα αερίων το οποίο περιλαμβάνει υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο άνθρακα, διοξείδιο άνθρακα και άλλα αέρια, ανάλογα με τη σύνθεση των αποβλήτων.
- Ένα υγρό κλάσμα που αποτελείται από ένα ρεύμα ελαίου ή πίσσας, που αν υποστεί περαιτέρω επεξεργασία, δύναται να αξιοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.
- Ένα υπόλειμμα σχεδόν καθαρού άνθρακα και άλλων αδρανών υλικών που υπήρχαν στα αρχικά στερεά απόβλητα.

Η μέθοδος της πυρόλυσης είναι εφαρμόσιμη και για μικρές ποσότητες αποβλήτων, προσφέροντας ενεργειακά οφέλη και αξιοποίηση πρώτων υλών. Ανακτώνται οπότε υλικά που δεν εμφανίζουν ιδιαίτερα προβλήματα στην αποθήκευσή τους, ενώ συγχρόνως παρουσιάζεται και μία ευελιξία στην αλλαγή σύνθεσης των επεξεργαζόμενων απορριμμάτων (Parihar et al., 2019).

3.3 Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση αποτελεί διεργασία αερόβιας θερμοφιλικής αποσύνθεσης του περιεχόμενου οργανικού υλικού στα στερεά απόβλητα. Στην ολοκλήρωσή της, παράγονται διοξείδιο άνθρακα, νερό και διάφορες άλλες ενώσεις, καθώς και σταθεροποιημένο οργανικό υλικό με υψηλό χημικό περιεχόμενο. Αν και το τελευταίο δεν είναι εντελώς αδρανές, δεν παρουσιάζει δυσάρεστες οσμές και χαρακτηρίζεται από μικρή έως μηδαμινή συγκέντρωση παθογόνων μικροοργανισμών, επιτρέποντας τη χρήση του ως εδαφοβελτιωτικού. Οπότε, βρίσκει εφαρμογές ως εδαφοβελτιωτικό ή

υπόστρωμα για φυτά, αλλά και σαν βιοφίλτρο, ή ακόμα και ως υλικό ηχομονώσεων (Gul et al., 2015).

Η διεργασία κομποστοποίησης απαιτεί την παροχή οξυγόνου και, ανάλογα με τον τρόπο αερισμού, διακρίνεται σε τρία είδη: ανοικτό, κλειστό και μεικτό σύστημα (δηλ. συνδυασμός ανοικτού και κλειστού). Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 6 έως 8 εβδομάδες και χαρακτηρίζεται από έντονη δραστηριότητα μικροοργανισμών. Στη συνέχεια το κομποστοποιημένο υλικό μεταφέρεται σε χώρους ωρίμανσης, όπου πραγματοποιούνται οι διαδικασίες χουμοποίησης. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, το υλικό απαλλάσσεται από φυτοτοξικές ουσίες και η διαδικασία ολοκληρώνεται συνήθως σε ένα έως δύο μήνες. Στο στάδιο του εξευγενισμού, το προϊόν καθαρίζεται από οποιεσδήποτε ξένες προσμίξεις, εξασφαλίζοντας την υψηλή ποιότητα του κομπόστ (Gul et al., 2015).

Τα οφέλη της διαδικασίας κομποστοποίησης περιλαμβάνουν την απομάκρυνση οργανικού υλικού και τη μείωση εκπομπών μεθανίου, καθώς επίσης και τη μείωση της ανάγκης για φυσικούς πόρους για την παραγωγή λιπασμάτων και τη μείωση του όγκου απορριμμάτων και της ανάγκης για χώρο ταφής. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η πιθανή εκπομπή οσμών, προβλήματα στη διάθεση του προϊόντος και πιθανά προβλήματα υγείας για τους εργαζομένους. Η διαδικασία κομποστοποίησης μπορεί να εφαρμοστεί και σε μικρότερη κλίμακα, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως τον αποτελεσματικό έλεγχο της ποιότητας, αλλά και του συστήματος διάθεσης του προϊόντος. Επιπλέον, η συνδυασμένη χρήση κομποστοποίησης και συστήματος διαλογής στην πηγή προάγει τη μείωση των μεταφορών απορριμμάτων προς τις εγκαταστάσεις διάθεσης, ενώ επιβάλλει την αύξηση της διάρκειας ζωής των τελικών χώρων διάθεσης, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ενέργειας μέσω της ανάκτησης υλικών, προσφέροντας έτσι επιπρόσθετους περιβαλλοντικούς πόρους (Parihar et al., 2019).

3.3.1 Ανοικτό σύστημα

Στο ανοικτό σύστημα κομποστοποίησης, η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε εξωτερικό χώρο, μερικές φορές καλυμμένος για προστασία από τη βροχή, ανάλογα με

τον τρόπο αερισμού του υποστρώματος. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι ανοικτών συστημάτων (Sorathiya et al., 2014):

- **Σύστημα με στατικές συνθήκες αερισμού:** Το υλικό τοποθετείται σε μεγάλους σωρούς γνωστούς ως σειράδια (windrows). Ο αερισμός πραγματοποιείται με τακτική ανάδευση, και ο συνήθης χρόνος παραμονής είναι 7-8 εβδομάδες.
- **Σύστημα με δυναμικές συνθήκες αερισμού:** Το υλικό συγκεντρώνεται και διαμορφώνεται σε διάφορα σχήματα (πεδία, "κανάλια" κλπ.), με αρχικό ύψος που δεν υπερβαίνει τα 2,5 μέτρα. Ο αερισμός μπορεί να γίνει με εισπνοή αέρα (σε μικρές μονάδες) ή αναρρόφηση (σε μεγαλύτερες μονάδες). Ο συνήθης χρόνος παραμονής είναι επίσης 7-8 εβδομάδες.
- **Μεικτό σύστημα:** Συνδυάζει τα δύο προηγούμενα συστήματα. Το δάπεδο διαιρείται σε 7-8 τμήματα, αντίστοιχα με τις εβδομάδες παραμονής, και κάθε τμήμα αερίζεται ανεξάρτητα με διαφορετικό σύστημα αερισμού. Η παροχή αέρα μειώνεται από το πρώτο προς το τελευταίο τμήμα κατά τη διάρκεια της παραμονής.

3.3.2 Κλειστό σύστημα

Στο κλειστό σύστημα κομποστοποίησης, η διαδικασία λαμβάνει χώρα εντός κλειστών δοχείων ή αντιδραστήρων, τα οποία είναι εγκατεστημένα είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια. Αυτά τα δοχεία λειτουργούν υπό πλήρως ελεγχόμενες και αυτοματοποιημένες συνθήκες αερισμού, θερμοκρασίας και υγρασίας του υλικού. Αντίστοιχα ο χρόνος που παραμένει το υλικό στο κλειστό σύστημα κυμαίνεται από 7 έως 14 ημέρες, ανάλογα με τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Έπειτα, γίνεται η μεταφορά των υλικών σε ανοικτούς χώρους ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης χρησιμοποιούνται συνήθως κοντά σε κατοικημένες περιοχές και θεωρούνται από τα πιο αποτελεσματικά, αν και έχουν υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.

3.3.3 Μεικτό σύστημα

Στο μεικτό σύστημα, το οποίο συνδυάζει χαρακτηριστικά των ανοικτών και κλειστών συστημάτων, το υλικό υπόκειται σε επεξεργασία για μερικές ημέρες σε κλειστό περιβάλλον. Στη συνέχεια, μεταφέρεται είτε σε ανοικτό σύστημα με δυναμικά μεταβαλλόμενες συνθήκες αερισμού για περίπου 5-6 εβδομάδες, είτε σε ανοικτό μεικτό σύστημα αερισμού για την ίδια χρονική περίοδο. Τα μεικτά συστήματα θεωρούνται αποτελεσματικά, χωρίς να απαιτούν υπερβολικά υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.

3.3.4 Αρχές σχεδιασμού συστημάτων κομποστοποίησης

Οι βασικές αρχές σχεδιασμού για τα συστήματα κομποστοποίησης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Gul et al., 2015):

- **Προεπεξεργασία – Προετοιμασία απορριμμάτων:** Η προεπεξεργασία αποσκοπεί στην απομόνωση του οργανικού υλικού από τα απορρίμματα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι απαιτητική, ειδικά όταν ο διαχωρισμός και η ανακύκλωση των ανόργανων υλικών πραγματοποιείται μηχανικά, και όχι στην πηγή.
- **Υγρασία:** Η ελάχιστη απαιτούμενη υγρασία για τη μικροβιακή δραστηριότητα είναι 12-15%, με την ιδανική περιεκτικότητα υγρασίας να είναι 50-60%. Σε περίπτωση ανεπαρκούς υγρασίας, το υλικό πρέπει να ξηραίνεται πριν από την ολοκλήρωση της σταθεροποίησης.
- **Θερμοκρασία:** Η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 55°C και 65°C, με υπερβάσεις να επιφέρουν ελάττωση της ταχύτητας μεταβολισμού των μικροοργανισμών. Όταν η θερμοκρασία διατηρείται στους 60~70°C για τουλάχιστον 24 ώρες, τότε εξασφαλίζεται ο έλεγχος των παθογόνων μικροοργανισμών.
- **pH:** Οι ιδανικές τιμές pH για βακτήρια είναι μεταξύ 6 και 7,5. Αντίστοιχα για τους μύκητες το pH προτιμάται να είναι μεταξύ 5 και 5,8. Όταν το pH υπερβαίνει το 8,5 τότε προκαλείται απώλεια αζώτου, εξαιτίας της εξάτμισης της αμμωνίας.

- **Περιεκτικότητα σε θρεπτικά:** Για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών η ιδανική αναλογία άνθρακα προς άζωτο εντοπίζεται κάπου μεταξύ 25:1 και 35:1. Η έλλειψη άζωτου επιβραδύνει τη διαδικασία, ενώ μικρότερες τιμές οδηγούν σε περίσσεια αζώτου.
- **Αερισμός:** Η κομποστοποίηση εξαρτάται σημαντικά από τον αερόβιο μεταβολισμό των μικροοργανισμών και επομένως απαιτεί αποτελεσματικό σύστημα αερισμού. Η βέλτιστη περιεκτικότητα οξυγόνου είναι μεταξύ 5% και 15%.
- **Χρόνος διαδικασίας:** Η θερμοφιλή φάση διαρκεί 6-8 εβδομάδες, ενώ η φάση ωρίμανσης συνήθως διαρκεί 8-12 εβδομάδες, ανάλογα με το υλικό και τις συνθήκες. Είναι σημαντικό να διατηρείται η θερμοκρασία σε όλο το υλικό με κατάλληλη ανάδευση.

3.4 Ζωοτροφές

Στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες, η αντιμετώπιση του προβλήματος με τις ζωοτροφές επικεντρώνεται στην περιορισμένη διαθεσιμότητα πηγών πρωτεΐνης. Παρά τις μεγάλες προσπάθειες που καταβάλλονται για την αναζήτηση εναλλακτικών συμπληρωμάτων, τα υπολείμματα καλλιεργειών αναδεικνύονται ως ενδιαφέρουσα πηγή. Αυτά τα υπολείμματα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και χαμηλά επίπεδα πρωτεΐνης, άμυλου και λιπαρών (Dou et al., 2018).

Επομένως, η συμβατική πρακτική αύξησης της ζωικής παραγωγής μέσω της συμπλήρωσης ζωοτροφών και βοσκοτόπων με σπόρους και συμπυκνώματα πρωτεϊνών ενδέχεται να μην είναι επαρκής για τις μελλοντικές ανάγκες σε πρωτεΐνες κρέατος. Η χρήση σιτηρών και πρωτεϊνών για την ανθρώπινη τροφή μπορεί να δημιουργήσει προσκόμματα στη διάθεση πόρων για ζωοτροφές. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, προτείνεται η χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας τους, ως ζωοτροφή για κατοικίδια ζώα (San Martin et al., 2016).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι διαχείρισης για τα κτηνοτροφικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των ζωοτροφών. Ορισμένες από αυτές περιλαμβάνουν (San Martin et al., 2016):

- **Τροφοδοσία στα ζώα:** Η χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων ως συστατικό των ζωοτροφών μπορεί να είναι μια βιώσιμη μέθοδος. Επίσης ενδεχομένως να έχει θετική επίδραση τόσο στην ελάττωση των αποβλήτων όσο και στην ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών.
- **Υγιεινή κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων:** Η διατήρηση υγιεινών συνθηκών στις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις είναι σημαντική για την πρόληψη ασθενειών και τη διατήρηση υψηλής ποιότητας των ζωοτροφών.
- **Κομποστοποίηση:** Η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή κτηνοτροφικών αποβλήτων σε κομπόστ, το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή ως φυτοδότης για τα φυτά.
- **Βιοαέριο:** Η παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα θεωρείται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας κατάλληλη για παραγωγή ηλεκτρισμού καθώς και για οικιακή θέρμανση.
- **Ανακύκλωση:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να ανακυκλώνονται για την παραγωγή νέων προϊόντων.

Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διαχείρισης αποβλήτων λαμβάνονται υπόψη ποικίλες παράμετροι, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και τα τοπικά κανονιστικά πλαίσια, οι συνθήκες λειτουργίας και οι υποδομές της κάθε εκμετάλλευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

4.1 Περιβαλλοντική ρύπανση από κτηνοτροφικά απόβλητα

Η επιστημονική κοινότητα αντιλαμβάνεται τις επιπτώσεις της κτηνοτροφίας στο περιβάλλον από τη δεκαετία του 1980. Αυτή η αντίληψη έχει ενταθεί με την πάροδο του χρόνου λόγω της αυξημένης χρήσης κοπριάς και της εντατικοποίησης της κτηνοτροφίας, με αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους, των υδάτων και της ατμόσφαιρας (Akinbile et al., 2016).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η κτηνοτροφία συνιστά το 14,5% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τον άνθρωπο. Επιπλέον, ευθύνεται για υψηλά ποσοστά απώλειας χερσαίας βιοποικιλότητας, οξίνιση εδαφών, υπερθέρμανση του πλανήτη και ρύπανση των υδάτων. Οι επιπτώσεις αυτές, μεταξύ άλλων, μπορούν να οδηγήσουν σε εξάπλωση ασθενειών στον άνθρωπο.

Οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις πηγάζουν από τη χρήση και την αποσύνθεση των ζωοτροφών, των περιττωμάτων και των ούρων των ζώων. Η ανεπαρκής διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων έχει επιζήμιες επιπτώσεις στα εδάφη, τα ύδατα (επιφανειακά και υπόγεια) και την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

4.2 Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

4.2.1 Επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα

Οι εκμεταλλεύσεις κτηνοτροφίας απελευθερώνουν ρυπαντικά αέρια, όπως αερολύματα, ατμοί και σκόνη, τα οποία έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και επηρεάζουν την υγεία των ζώων και των ανθρώπων, καθώς και τη διάβρωση των υλικών. Αυτά τα αέρια προκαλούν οσμές και μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας, ενώ συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση (Akinbile et al., 2016).

Κατά την αποικοδόμηση των ζωικών αποβλήτων, παράγονται διάφορα αέρια με δυνητικά αρνητικές επιπτώσεις. Ανάμεσά τους (Akinbile et al., 2016):

- **Αμμωνία:** Η αμμωνία προέρχεται από τα περιττώματα και τα ούρα των ζώων και μπορεί να οξύνει το έδαφος, να επηρεάσει αρνητικά τα ύδατα και να συμβάλλει στον ευτροφισμό και την απώλεια βιοποικιλότητας. Επίσης, προκαλεί ερεθισμούς στον άνθρωπο και τα ζώα.
- **Αέρια του θερμοκηπίου:** Ως αέρια του θερμοκηπίου σχετιζόμενα με την κτηνοτροφία, θεωρούνται το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, τα οποία συνεισφέρουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η μείωσή τους είναι στόχος για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- **Άλλα αέρια:** Επιπλέον, οξείδια του αζώτου και άζωτο απελευθερώνονται από τις κτηνοτροφικές μονάδες, αλλά δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη περιβαλλοντική ανησυχία όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Πίνακας 3: Αέριοι ρύποι και το σύστημα παραγωγής τους (Πηγή: Akinbile et al., 2016).

Αέρια	Σύστημα παραγωγής
Αμμωνία (NH ₃)	Σταβλισμός, αποθήκευση κοπριάς, επεξεργασία και διάσπαση
Οσμή	Σταβλισμός, αποθήκευση κοπριάς και εφαρμογή της στο έδαφος
Σκόνη (αερολύματα)	Σταβλισμός, άλεση και αποθήκευση ζωοτροφών, αποθήκευση κοπριάς και εφαρμογή της στο έδαφος και από την θέρμανση των εγκαταστάσεων
Μεθάνιο (CH ₄)	Σταβλισμός, αποθήκευση και επεξεργασία της κοπριάς
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	Σταβλισμός, αποθήκευση κοπριάς, επεξεργασία και διάσπαση
Οξείδια αζώτου (NO _x)	Σταβλισμός, αποθήκευση κοπριάς και εφαρμογή της στο έδαφος και από την θέρμανσή των εγκαταστάσεων
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	Σταβλισμός, ενέργεια που χρησιμοποιείται για θέρμανση και μεταφορά στην εγκατάσταση και βιογενές CO ₂ που μπορεί να εκπέμπεται στον αγρό

Η οσμή αποτελεί ένα τοπικό πρόβλημα που προκύπτει από την ανάπτυξη της κτηνοτροφίας και των αγροτικών οικιστικών περιοχών κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Αυτό μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στους γείτονες, καθώς η οσμή προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως οι χώροι συγκέντρωσης κοπριάς και οι εγκαταστάσεις σταβλισμού, αλλά και από τη διάχυση των αποβλήτων στο έδαφος. Η οσμή περιλαμβάνει θειούχες ενώσεις, φαινολικές ενώσεις πτητικών λιπαρών οξέων, αμμωνία και πτητικές αμίνες.

Σε περίπτωση που οι κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις τοποθετούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, η ποιότητα του αέρα γίνεται ανησυχητική, ιδίως όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια. Αυτά τα σωματίδια θεωρούνται σημαντικός παράγοντας κινδύνου για την υγεία, με αρνητικές συνέπειες για το αναπνευστικό σύστημα. Οι κύριες πηγές εκπομπής σκόνης περιλαμβάνουν τους χώρους σταβλισμού και τη διαχείριση των ζωοτροφών. Για την αποτροπή της σκόνης, απαιτείται συχνή καθαριότητα των χώρων των ζώων και του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (Akinbile et al., 2016).

4.2.2 Επιπτώσεις στο έδαφος

Η απόρριψη των αποβλήτων στο έδαφος φέρνει ορισμένα θετικά αποτελέσματα, καθώς παρέχει στα φυτά τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και βελτιώνει την ποιότητα του εδάφους. Ωστόσο, η υπερβολική χρήση μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση και περιβαλλοντική υποβάθμιση. Υπάρχουν δύο βασικές μορφές ρύπανσης που επηρεάζουν τον εδαφικό αποδέκτη: η οργανική και η ανόργανη.

Η μεταφορά των ρύπων προς το έδαφος ή τα υπόγεια ύδατα έχει να κάνει τόσο με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ρύπου, όσο και με τις ιδιαιτερότητες του εδάφους ή των υπόγειων υδάτων. Πολλές ενώσεις που προέρχονται από περιττώματα μεταφέρονται ως οργανικά συστατικά (ιοί, βακτήρια και αιωρούμενα ιζήματα) με αποτέλεσμα την απορρόφησή τους ως οργανικά σωματίδια στο έδαφος. Οπότε τα απορροφούμενα αυτά οργανικά σωματίδια μπορεί να μετακινηθούν προς τα επιφανειακά ύδατα, αφού αποτεθούν στην επιφάνεια του εδάφους λόγω της

πρόσκρουσης σταγονιδίων βροχής ή χερσαίας ροής. Οι μεγαλύτερες ουσίες εμποδίζονται από το έδαφος, λειτουργώντας ως φίλτρο, ενώ οι διαλυτές ουσίες μετακινούνται εύκολα μέχρι να παρεμποδιστούν από περιοριστικά στρώματα.

Η ανόργανη ρύπανση πηγάζει από τις ανόργανες ουσίες των ζωικών αποβλήτων, όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο, νάτριο, μαγνήσιο και βαρέα μέταλλα. Ενώ πολύ συχνά η προσοχή εστιάζεται στις εκπομπές φωσφόρου και άζωτου, τα βαρέα μέταλλα, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και βακτήρια, καθώς και τα φαρμακευτικά προϊόντα (Pharmaceutical compounds - PhCs) που περιέχονται στα απόβλητα, μπορούν να έχουν μακροπρόθεσμες αρνητικές συνέπειες.

Κατά την εφαρμογή του ανόργανου λιπάσματος, ένα μέρος της αμμωνίας μπορεί να επιστραφεί στο έδαφος, ενώ το υπόλοιπο μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα και μπορεί να επιδράσει σε μεγάλες αποστάσεις. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, οι ρυθμοί εκπομπής είναι υψηλοί κατά τις πρώτες ώρες και στη συνέχεια μειώνονται, με τα περιοριστικά στρώματα του εδάφους να εμποδίζουν τη μετακίνηση των ουσιών. Οι υψηλοί ρυθμοί αζώτου μπορούν να προκαλέσουν οικολογική ζημιά, όπως απώλεια βιοποικιλότητας και ευαισθησία στα δέντρα.

Όσον αφορά το φώσφορο, παρά τη σημασία του για τη γεωργία, η υπερβολική χρήση μπορεί να οδηγήσει σε έκπλυση στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, με αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους και την ανθρώπινη υγεία.

Η εκτεταμένη εκτροφή ζώων μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Ορισμένα από αυτά τα βαρέα μέταλλα (όπως Cu και Zn), αποτελούν αναγκαία στοιχεία για την υγιή ανάπτυξη των φυτών, ενώ άλλα, όπως το χλώριο, το μόλυβδος, ο υδράργυρος κ.ά., είναι επιβλαβή στο έδαφος. Η συσσώρευση αυτών των βαρέων μετάλλων στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφησή τους από τα φυτά, και κατ' επέκταση την κατάληξή τους στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα των παραγόμενων τροφίμων και, τελικά, στη δημόσια υγεία.

4.2.3 Επιπτώσεις στο νερό

Οι εκπομπές από εγκαταστάσεις που προκαλούν ρύπανση των υδάτων, είτε επιφανειακών είτε υπογείων, οφείλονται σε ανεπαρκείς εγκαταστάσεις ή λειτουργικές ανωμαλίες. Η χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, η συνεχής επιτήρηση και η τακτική συντήρηση του εξοπλισμού, καθώς και η σωστή λειτουργία, εμποδίζουν τη διαρροή οποιουδήποτε υλικού που θα μπορούσε να επιφέρει ρύπανση των υπογείων και των επιφανειακών υδάτων. Επιπλέον, η ρύπανση στα επιφανειακά νερά μπορεί να προέρχεται από την άμεση απόρριψη λυμάτων από την κτηνοτροφική μονάδα (Li et al., 2016).

Τα στοιχεία που επιδρούν στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα περιλαμβάνουν την οργανική ύλη, τα θρεπτικά συστατικά, καθώς και τα βακτήρια και μικροοργανισμούς. Επιπλέον, τα περιττώματα ζώων και πτηνών μπορούν να αυξήσουν την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων στο νερό, επιδρώντας τόσο τη διαύγειά του όσο και στην ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών, όπως τα φύκια, και το φυτοπλαγκτόν. Ο τρόπος που οι ρύποι επηρεάζουν το νερό εξαρτάται από τον τύπο και τη συγκέντρωσή τους, καθώς και από τις συνθήκες του υδάτινου περιβάλλοντος.

Με την είσοδο της οργανικής ύλης στο νερό, αρχίζει η διάσπασή της από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο υδάτινο περιβάλλον, καταναλώνοντας το διαθέσιμο οξυγόνο. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται αύξηση του αριθμού των μικροοργανισμών και μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Η έλλειψη οξυγόνου έχει ως αποτέλεσμα τη μετανάστευση ή θάνατο των ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών. Επιπλέον, η αποδόμηση των αποβλήτων ενδέχεται να προκαλέσει αλλαγές στο χρώμα του νερού και προβλήματα γεύσης, εάν το νερό χρησιμοποιείται για πόσιμο. Θρεπτικά στοιχεία στο νερό, όπως το άζωτο και ο φωσφόρος, ευθύνονται για το φαινόμενο του ευτροφισμού. Ειδικότερα, ο στοιχειακός φωσφόρος, με ενδεχόμενη τοξική συμπεριφορά, βιοσυσσωρεύεται με τρόπο παρόμοιο με τον υδράργυρο. Τέλος, τα απόβλητα που περιέχουν διάφορους μικροοργανισμούς, όπως βακτηρίδια, ιούς, παράσιτα και μύκητες, αποτελούν πηγή πιθανής μόλυνσης (Sakadevan & Nguyen, 2017).

4.3 Επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον και στη δημόσια υγεία (οχλήσεις δυσοσμίας, κίνδυνος διάδοσης ασθενειών)

Τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, κυρίως μέσω της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ορισμένες από τις βασικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν (Lepesteur, 2022):

- Ατμοσφαιρική Ρύπανση
- Υδάτινη Ρύπανση
- Εδαφική Ρύπανση
- Επιδράσεις στα ζωικά οικοσυστήματα

Η ανάλυση και ο έλεγχος των εκπομπών από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες είναι σημαντικοί παράγοντες για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος (Lepesteur, 2022).

Η διαχείριση και η επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων ενδέχεται να επιφέρει αρκετές αρνητικές συνέπειες τόσο στο αστικό περιβάλλον όσο και στη δημόσια υγεία. Ορισμένες από αυτές περιλαμβάνουν (Kondo et al., 2018):

- 1. Οχλήσεις Δυσοσμίας:** Τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορεί να προκαλέσουν έντονη δυσοσμία λόγω της παρουσίας οργανικής ύλης που αποβάλλεται. Αυτή η οσμή μπορεί να είναι ενοχλητική για τους κατοίκους της περιοχής και να δημιουργεί προβλήματα ποιότητας ζωής.
- 2. Κίνδυνος Διάδοσης Ασθενειών:** Η ανεπαρκής διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο διάδοσης ασθενειών. Εάν δεν υπάρχουν κατάλληλες μέθοδοι επεξεργασίας, μπορεί να παραμείνουν παθογόνοι μικροοργανισμοί στα απόβλητα, με δυνητικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.
- 3. Απορροφητική ικανότητα του εδάφους:** Η υπερβολική εφαρμογή κτηνοτροφικών αποβλήτων στο έδαφος μπορεί να υπερφορτώσει την απορροφητική ικανότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα τη διάβρωση του περιβάλλοντος και της υγείας.
- 4. Ρύπανση Επιφανειακών Υδάτων:** Αν η διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων δεν είναι αποτελεσματική, τα νερά των ποταμών και οι λίμνες

μπορεί να ρυπανθούν από θρεπτικές ουσίες, οργανική ύλη και άλλα ρυπαντικά, προκαλώντας προβλήματα υγείας και περιβαλλοντικά προβλήματα.

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης και επεξεργασίας των κτηνοτροφικών αποβλήτων, καθώς και την εφαρμογή κανονισμών και προτύπων για τον περιορισμό των αρνητικών συνεπειών στο αστικό περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

Ένα μεγάλο ποσοστό της παραγωγής συμπυκνώνεται σε περιορισμένες γεωγραφικές περιοχές, δημιουργώντας προβλήματα όπως η αποψίλωση των δασών, η απώλεια βιοποικιλότητας και η υπερβολική χρήση νερού. Επιπλέον, η εκτροφή ζώων συχνά συνδέεται με τη χρήση αντιβιοτικών και την εκπομπή αερίων με θερμοκηπιακή επίδραση, προσθέτοντας έναν ακόμη παράγοντα που συνδέεται με τις αλλαγές του κλίματος (Ekkel & de Vries, 2017).

Συνοπτικά, οι βιομηχανικές και εντατικές κτηνοτροφικές δραστηριότητες έχουν πολλαπλές επιπτώσεις στο περιβάλλον, την υγεία και τη βιωσιμότητα. Η ανάγκη για μια πιο βιώσιμη και ηθική προσέγγιση στην κτηνοτροφία είναι σημαντική για τη μείωση αυτών των αρνητικών επιπτώσεων.

Αναγνωρίζοντας τις επιπτώσεις των κτηνοτροφικών αποβλήτων στη δημόσια υγεία και στο περιβάλλον, είναι σημαντικό να εφαρμόζονται αποτελεσματικά μέτρα διαχείρισης και περιορισμού των επιπτώσεων αυτών. Καθώς τα κτηνοτροφικά απόβλητα παρουσιάζουν ποικίλες προκλήσεις, οι παρακάτω πρακτικές μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων (Ekkel & de Vries, 2017):

- 1. Βέλτιστη Διαχείριση Αποβλήτων:** Η υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών όσον αφορά τη συλλογή, επεξεργασία και αξιοποίηση των κτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις.
- 2. Τεχνολογικές Καινοτομίες:** Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών, όπως οι βιοαερόβιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας και οι συστήματα αξιοποίησης βιοαερίου, μπορεί να μειώσει την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου και τις επιπτώσεις στο νερό.

- 3. Διαχείριση Οσμών:** Η ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης οσμών μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις οχλήσεις δυσοσμίας, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων της περιοχής.
- 4. Προστασία Υδάτων:** Η διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων πρέπει να επικεντρώνεται στην προστασία των υδάτων από τυχόν ρύπανση. Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης σε επίπεδο αγροκτήματος και τη χρήση υδατοκαλλιέργειας.
- 5. Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση:** Η εκπαίδευση των κτηνοτρόφων και η ευαισθητοποίησή τους σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων είναι ουσιώδης για τη μείωση των επιπτώσεων.

Η συνεργασία μεταξύ κτηνοτρόφων, κοινοτήτων, και αρμόδιων αρχών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών στον τομέα της κτηνοτροφίας (Ekkel & de Vries, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5 Αειφόρος Διαχείριση & Τεχνολογίες διαχείρισης φιλικές στο περιβάλλον

5.1 Αειφόρος διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων

Η αειφόρος διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων αναφέρεται στις στρατηγικές και τις πρακτικές στις οποίες βασίζεται ο χειρισμός, η επεξεργασία και η χρήση των αποβλήτων που παράγονται από τα ζώα με τρόπο που ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενισχύει την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών και συμβάλλει στη συνολική βιωσιμότητα των γεωργικών συστημάτων. Η βιωσιμότητα, στο πλαίσιο αυτό, περιλαμβάνει την ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων που είναι οικονομικά & περιβαλλοντικά βιώσιμες και κοινωνικά υπεύθυνες μακροπρόθεσμα. Στόχος είναι η επίτευξη ισορροπίας ανάμεσα στις απαιτήσεις της κτηνοτροφικής παραγωγής και της διατήρησης της οικολογικής υγείας και της βιοποικιλότητας. Τα βασικά στοιχεία που διέπουν μια βιώσιμη διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι ένα μείγμα πρακτικών που θα πρέπει να εφαρμοστούν ως σύνολο δράσεων (Food and Agricultural Organization, 2017; NRCS, n.d.) και είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση των αποβλήτων στην πηγή: Εφαρμογή πρακτικών διαχείρισης ζωοτροφών που μειώνουν την παραγωγή αποβλήτων βελτιστοποιώντας τη διατροφική πρόσληψη των ζώων.
- Συλλογή και διαχωρισμός αποβλήτων: Αποτελεσματικά συστήματα συλλογής και διαχωρισμού στερεών και υγρών αποβλήτων, που διευκολύνουν την κατάλληλη επεξεργασία και αξιοποίησή τους.
- Διαχείριση θρεπτικών συστατικών: Πρακτικές που περιλαμβάνουν την προσεκτική διαχείριση των θρεπτικών συστατικών στα κτηνοτροφικά απόβλητα, όπως το άζωτο και ο φώσφορος, για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, ιδίως στα υδάτινα σώματα.

- Κομποστοποίηση και αναερόβια χώνευση: Βιολογικές διεργασίες που μετατρέπουν τα απόβλητα σε πολύτιμα υποπροϊόντα. Η κομποστοποίηση παράγει σταθερό κομπόστ για την τροποποίηση του εδάφους, ενώ η αναερόβια χώνευση παράγει βιοαέριο (ΑΠΕ) και χωνεμένο υπόλειμμα (πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά).
- Επεξεργασία υγρών αποβλήτων: Τεχνολογίες για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων για την απομάκρυνση των μολυσματικών παραγόντων πριν από την απόρριψη στο περιβάλλον ή την επαναχρησιμοποίηση σε γεωργικές εργασίες.
- Ενσωμάτωση στον πρωτογενή τομέα: Χρήση επεξεργασμένων κτηνοτροφικών αποβλήτων ως λίπασμα στη φυτική παραγωγή, κλείνοντας τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών και μειώνοντας την εξάρτηση από συνθετικά λιπάσματα.
- Νομικό πλαίσιο: Τήρηση περιβαλλοντικών κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών για την προστασία της δημόσιας υγείας και την περιβαλλοντική ακεραιότητα.

Στόχος της βιώσιμης και αειφόρου διαχείρισης των κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι η διατήρηση της περιβαλλοντικής ποιότητας, μέσω της πρόληψης της ρύπανσης και της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων. Επίσης η διαχείριση αυτή στοχεύει στην ενίσχυση της βιωσιμότητας με οικονομικούς όρους, μέσω της μείωσης του κόστους διαχείρισης απορριμμάτων και δημιουργώντας αξία από τα απόβλητα. Συνολικά, οι πρακτικές αυτές συμβάλλουν στη διασφάλιση της κοινωνικής ευημερίας, μέσω της εφαρμογής πρακτικών που είναι κοινωνικά αποδεκτές και συνεισφέρουν στην υγεία και την ανθεκτικότητα της κοινότητας.

5.2 Εναλλακτικές και βιώσιμες μέθοδοι διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων

Η αειφόρος διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων περιλαμβάνει μια σειρά τεχνικών που στοχεύουν στη μείωση της περιβαλλοντικής όχλησης και των αρνητικών επιπτώσεων, καθώς και την προώθηση της ανακύκλωσης των θρεπτικών συστατικών και την ενίσχυση της οικονομικής βιωσιμότητας των κτηνοτροφικών επιχειρήσεων. Κάποιες από τις σημαντικότερες αυτές τεχνικές διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι οι παρακάτω:

5.2.1 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) είναι μια πολύπλοκη βιολογική διεργασία που μετατρέπει τα οργανικά υλικά απουσία οξυγόνου σε βιοαέριο και χωνεμένο υπόλειμμα. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για τη βιώσιμη διαχείριση των αποβλήτων και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Λειτουργεί μέσω μιας σειράς βιοχημικών αντιδράσεων, ξεκινώντας με την υδρόλυση, όπου πολύπλοκες οργανικές ενώσεις διασπώνται σε απλούστερα μόρια. Τα επόμενα στάδια περιλαμβάνουν την οξεογένεση, όπου αυτά τα απλούστερα μόρια μετατρέπονται σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs), αλκοόλες, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, την ακετογένεση, όπου τα VFAs και οι αλκοόλες μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα και, τέλος, τη μεθανογένεση, όπου από τη δραστηριότητα των μεθανογόνων βακτηρίων παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, που αποτελούν τα κύρια συστατικά του βιοαερίου (Weiland, 2010). Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η μαζική παραγωγή κοπριάς ζώων προσφέρει μια υποσχόμενη πρώτη ύλη για παραγωγή βιοκαυσίμων. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται μόνο για περιορισμένες εφαρμογές, όπως η βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους και η καύση (Jung et al., 2021).

Τα οφέλη της αναερόβιας χώνευσης είναι πολλαπλά. Παράγει ανανεώσιμη ενέργεια μέσω της παραγωγής βιοαερίου, υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, μειώνει σημαντικά τον όγκο των αποβλήτων, μειώνοντας το κόστος διάθεσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διαδικασία αυτή

ανακυκλώνει επίσης τα θρεπτικά συστατικά, με το παραγόμενο χωνεμένο υπολείμμα να χρησιμεύει ως πλούσιο βιολογικό λίπασμα που ενισχύει την υγεία και τη γονιμότητα του εδάφους. Με τη δέσμευση του μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, η ΑΧ συμβάλλει στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, τα συστήματα ΑΧ μπορούν να προσφέρουν οικονομική βιωσιμότητα, μέσω της παραγωγής ενέργειας, της εξοικονόμησης αποβλήτων και των πιθανών εσόδων από την πώληση του χωνεμένου υπολείμματος (Bond & Templeton, 2011- Holm-Nielsen, Al Seadi, & Oleskowicz-Popiel, 2009).

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η εφαρμογή της ΑΧ έρχεται αντιμέτωπη με αρκετές προκλήσεις, όπως το απαιτούμενο κόστος κεφαλαίου, η ανάγκη για τεχνική εμπειρογνωμοσύνη και η διαχείριση του χωνεμένου υπολείμματος για την αποφυγή περιβαλλοντικών ζητημάτων, όπως η απορροή θρεπτικών ουσιών και η ρύπανση των υδάτων. Η αποδοτικότητα της παραγωγής βιοαερίου επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως η σύνθεση της πρώτης ύλης και ο χρόνος παραμονής της, καθώς και η θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτήρα, γεγονός που απαιτεί προσεκτική βελτιστοποίηση για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής και της αποδοτικότητας της διεργασίας (Weiland, 2010).

Η έρευνα των Jung et al. (2021) έδειξε ότι η ΑΧ έχει τη δυνατότητα να μειώσει την περιεκτικότητα σε ημικυτταρίνη και λιγνίνη, ενώ αυξήθηκε η περιεκτικότητα σε κυτταρίνη. Όσο διαρκεί η αναερόβια χώνευση, ενδέχεται να μειωθεί η περιεκτικότητα σε νερό. Τα παραπάνω δείχνουν ότι οι διαδικασίες υβριδικής αναερόβιας χώνευσης και παραγωγής βιοαλκοόλης συνιστώνται ιδιαίτερα για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής βιοαιθανόλης, βιοαερίου και λιπασμάτων.

Σε γενικές γραμμές, η αναερόβια χώνευση αποτελεί βασική τεχνολογία για τη μετάβαση προς πιο βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων και παραγωγής ενέργειας. Αν και οι προκλήσεις παραμένουν, τα δυνητικά οφέλη όσον αφορά την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, τη μείωση των αποβλήτων, την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και τον περιορισμό των εκπομπών σε αέρια του θερμοκηπίου είναι σημαντικά. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη κρίνεται απαραίτητη για την υπέρβαση των σημερινών περιορισμών και την επέκταση της υιοθέτησης των τεχνολογιών

Αναερόβιας Χώνευσης (Bond & Templeton, 2011- Holm-Nielsen, Al Seadi, & Oleskowicz-Popiel, 2009- Weiland, 2010).

5.2.2 Κομποστοποίηση

Πρόκειται για την ελεγχόμενη αερόβια διαδικασία που μετατρέπει τα οργανικά απόβλητα σε πολύτιμο εδαφοβελτιωτικό, γνωστό ως κομπόστ (Erstein, 2011). Μέσω της δράσης μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων και μυκήτων, οργανικά υλικά όπως η κοπριά, τα γεωργικά και διατροφικά υπολείμματα διασπώνται σε απλούστερες ουσίες. Η διαδικασία αυτή όχι μόνο ανακυκλώνει την οργανική ύλη αλλά και τη σταθεροποιεί, μειώνοντας τους παθογόνους μικροοργανισμούς, τις οσμές και την πιθανότητα παραγωγής επιβλαβών αερίων του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με την αναερόβια αποσύνθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Η διαδικασία της κομποστοποίησης περιλαμβάνει διάφορα στάδια, ξεκινώντας με τη μικροβιακή αποικοδόμηση των εύκολα αποικοδομήσιμων υλικών (σάκχαρα, αμινοξέα), η οποία ακολουθείται από τη διάσπαση των πιο σύνθετων ενώσεων. Η θερμοκρασία εντός του σωρού κομπόστ αυξάνεται λόγω της μικροβιακής δραστηριότητας, φτάνοντας σε θερμοφιλες θερμοκρασίες (55-65°C) που βοηθούν στην εξόντωση παθογόνων μικροοργανισμών και σπόρων ζιζανίων. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με μια φάση ωρίμανσης, όπου το κομπόστ σταθεροποιείται και καθίσταται κατάλληλο για χρήση ως εδαφοβελτιωτικό (Larney and Hao, 2007)

Ένα από τα κύρια οφέλη της κομποστοποίησης είναι η δυνατότητα της να βελτιώνει την υγεία και τη γονιμότητα του εδάφους. Το κομπόστ προσθέτει οργανική ύλη στο έδαφος, βελτιώνοντας τη δομή του, τη συγκράτηση νερού και τον αερισμό του, δημιουργώντας ένα περιβάλλον που είναι θετικό για την ανάπτυξη των φυτών. Παρέχει επίσης βασικά θρεπτικά συστατικά στα φυτά και αυξάνει τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους, ενισχύοντας την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, η κομποστοποίηση συμβάλλει στη συρρίκνωση των οργανικών αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές μεθανίου και εξοικονομώντας χώρο.

Ωστόσο, η επιτυχής κομποστοποίηση απαιτεί προσεκτική διαχείριση παραγόντων όπως η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N), η περιεχόμενη υγρασία, ο

αερισμός και η θερμοκρασία, ώστε να βελτιστοποιηθεί η μικροβιακή δραστηριότητα και να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική αποσύνθεση. Η ιδανική αναλογία C:N είναι περίπου 30:1, η περιεκτικότητα σε υγρασία πρέπει να διατηρείται στο 50-60% και ο σωρός πρέπει να αναποδογυρίζεται τακτικά για την παροχή οξυγόνου και τη διατήρηση ομοιόμορφων συνθηκών.

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματά της, η κομποστοποίηση μπορεί να αντιμετωπίσει προκλήσεις, όπως η εκπομπή δύσσομων ενώσεων εάν δεν γίνεται σωστή διαχείριση και η ανάγκη για σημαντικό χώρο και εργασία, ιδίως για μεγάλης κλίμακας εργασίες. Η έρευνα σχετικά με τις πρακτικές κομποστοποίησης συνεχίζει να εξελίσσεται συνεχώς, με καινοτομίες που αποσκοπούν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων και στη βελτίωση της ποιότητας του τελικού κομπόστ ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περισσότερες χρήσεις.

5.2.3 Διαχείριση θρεπτικών συστατικών

Στην βιώσιμη γεωργία χρησιμοποιείται η διαχείριση των θρεπτικών συστατικών που έχει στόχο την εξισορρόπηση της εφαρμογής θρεπτικών συστατικών στις καλλιέργειες με τη γεωργική παραγωγικότητα και την προστασία του περιβάλλοντος. Η οπτική αυτή περιλαμβάνει τη στρατηγική εφαρμογή τόσο οργανικών αλλά και ανόργανων λιπασμάτων για την κάλυψη των απαιτήσεων των καλλιεργειών σε θρεπτικά συστατικά, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τον κίνδυνο απώλειας θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον, ιδίως στους υδάτινους αποδέκτες. Η βιβλιογραφία υψηλού αντίκτυπου υπογραμμίζει τα πολύπλευρα οφέλη της, συμπεριλαμβανομένων των βελτιωμένων αποδόσεων των καλλιεργειών, της μειωμένης ρύπανσης του περιβάλλοντος και της βελτιωμένης υγείας του εδάφους.

Οι Sharpley et al. (2009) υπογραμμίζουν τη σημασία της διαχείρισης των θρεπτικών συστατικών στη μείωση των απωλειών φωσφόρου (P) από γεωργικές εκτάσεις σε παρακείμενα υδάτινα σώματα, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε ευτροφισμό. Η χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων για τη διαχείριση των αποθεμάτων φωσφόρου είναι μια συνήθης πρακτική και συγκεντρώνει το ερευνητικό ενδιαφέρον

(Ran et al., 2023). Οι Sharpley et al. (2009) αξιολογούν την αποτελεσματικότητα των στρατηγικών διαχείρισης του φωσφόρου (P), υποδεικνύοντας ότι ένας συνδυασμός δοκιμών εδαφικού P, κατάλληλου χρόνου εφαρμογής λιπασμάτων και χρήσης ρυθμιστικών λωρίδων μπορεί να μειώσει σημαντικά την απορροή P. Η έρευνα στοχεύει επίσης στην ανάπτυξη τεχνολογιών ανακύκλωσης φωσφόρου (P) από κοπριά ζώων, εκ των οποίων η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η κατακρήμνιση στρουβίτη και η προσρόφηση βιοαπανθράκων (Ran et al., 2023). Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση υπογραμμίζει την ανάγκη για ειδικά σχέδια διαχείρισης θρεπτικών ουσιών που θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα τοπικά χαρακτηριστικά του εδάφους και την υδρολογία.

Η βιώσιμη διαχείριση των θρεπτικών συστατικών περιλαμβάνει επίσης την εξέταση της διαχείρισης του αζώτου (N), δεδομένου του ρόλου του σε θέματα ποιότητας των υδάτων, όπως η έκπλυση νιτρικών αλάτων και ο σχηματισμός υποξικών ζωνών στα υδάτινα οικοσυστήματα. Οι Ju et al. (2009) διερευνούν τη βελτιστοποίηση των ποσοστών λίπανσης με άζωτο για την ενίσχυση της αποδοτικότητας χρήσης του αζώτου και τη μείωση των απωλειών αζώτου σε γεωργικά συστήματα. Τα συμπεράσματά τους υπογραμμίζουν τη δυνατότητα ολοκληρωμένων προσεγγίσεων για την επίτευξη περιβαλλοντικών και οικονομικών στόχων με την προσαρμογή των εφαρμογών λίπανσης στις ανάγκες των καλλιεργειών και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση οργανικών αποβλήτων, όπως η ζωική κοπριά και το κομπόστ, στις στρατηγικές διαχείρισης των θρεπτικών συστατικών, μπορεί να ανακυκλώσει τα θρεπτικά συστατικά πίσω στα γεωργικά συστήματα, μειώνοντας την εξάρτηση από τα συνθετικά λιπάσματα. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βελτιώνει την περιεκτικότητα και τη δομή της οργανικής ύλης του εδάφους, αλλά συμβάλλει επίσης στην ανακύκλωση των βασικών θρεπτικών στοιχείων, ενισχύοντας μακροπρόθεσμα τη γονιμότητα και την παραγωγικότητα του εδάφους (Kirchmann et al., 2008).

Η εφαρμογή της διαχείρισης των θρεπτικών συστατικών απαιτεί μια ολοκληρωμένη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των καλλιεργειών, των εδαφών και του περιβάλλοντος. Έχουν αναπτυχθεί προηγμένα εργαλεία και μοντέλα, όπως ο δείκτης φωσφόρου και ο δείκτης αζώτου, για να βοηθήσουν στην αξιολόγηση

των κινδύνων απώλειας θρεπτικών στοιχείων και να καθοδηγήσουν τις πρακτικές διαχείρισης (Ghebremichael et al., 2009). Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν την ανάπτυξη ακριβέστερων και αποτελεσματικότερων σχεδίων διαχείρισης των θρεπτικών στοιχείων, προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένα γεωργικά περιβάλλοντα.

5.2.4 Διαχωρισμός στερεών και υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων

Ο διαχωρισμός στερεού-υγρού αποβλήτου κτηνοτροφίας είναι μια κομβική διαδικασία στη διαχείριση της κοπριάς των ζώων, με σημαντικές επιπτώσεις στη διαχείριση των θρεπτικών συστατικών, στην προστασία του περιβάλλοντος και στην αποτελεσματικότητα των συστημάτων διαχείρισης της κοπριάς. Αυτή η τεχνολογία διαχωρίζει το στερεό τμήμα της κοπριάς από το υγρό, διευκολύνοντας την πιο στοχευμένη και αποτελεσματική χρήση κάθε υποπροϊόντος στις γεωργικές και περιβαλλοντικές πρακτικές διαχείρισης. Η βιβλιογραφία υψηλού αντίκτυπου παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους μηχανισμούς, τα οφέλη και τις προκλήσεις που σχετίζονται με τις τεχνολογίες διαχωρισμού στερεών-υγρών, δίνοντας έμφαση στο ρόλο τους στη βιώσιμη γεωργία.

Οι Møller, Sommer και Ahring (2002) διερευνούν την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού στερεών-υγρών για την κοπριά των ζώων και τον αντίκτυπό του στις στρατηγικές διαχείρισης της κοπριάς. Η μελέτη τους υπογραμμίζει ότι ο διαχωρισμός στερεών-υγρών μπορεί να μειώσει σημαντικά τον όγκο της κοπριάς που πρέπει να διακινηθεί, να αποθηκευτεί ή να υποστεί επεξεργασία, μειώνοντας ενδεχομένως το κόστος που συνδέεται με τη διαχείριση της κοπριάς. Επιπλέον, το διαχωρισμένο στερεό τμήμα, πλούσιο σε οργανική ύλη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους ή να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία μέσω κομποστοποίησης ή αναερόβιας χώνευσης, ενώ το υγρό τμήμα, που περιέχει εύκολα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα ως υγρό λίπασμα, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης των θρεπτικών συστατικών και μειώνοντας τον κίνδυνο απορροής θρεπτικών συστατικών στα υδάτινα σώματα.

Η αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών διαχωρισμού στερεών-υγρών ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του διαχωριστή που χρησιμοποιείται (π.χ. διαχωριστές με κόσκινο, φυγόκεντροι, κοχλιωτές πρέσες), τα χαρακτηριστικά της κοπριάς και τους

συγκεκριμένους στόχους διαχείρισης (Hjorth, Christensen, Christensen, and Sommer, 2010). Μέσω της έρευνα αυτής τονίζεται η σημασία της επιλογής της κατάλληλης τεχνολογίας διαχωρισμού με βάση την επιθυμητή τελική χρήση των διαχωρισμένων κλασμάτων και τους γενικούς στόχους του συστήματος διαχείρισης της κοπριάς.

Ο διαχωρισμός στερεών-υγρών διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτηνοτροφικών επιχειρήσεων. Με το διαχωρισμό της στερεάς από την υγρή φάση, η πιθανότητα έκπλυσης και απορροής θρεπτικών ουσιών μπορεί να μειωθεί σημαντικά, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων στα παρακείμενα υδάτινα οικοσυστήματα (Fangueiro, Hjorth, and Gioelli, 2015). Επιπλέον, η διεργασία μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των επόμενων διεργασιών επεξεργασίας της κοπριάς, όπως η αναερόβια χώνευση, με την απομάκρυνση ινώδους υλικού που μπορεί να εμποδίσει την απόδοση του χωνευτήρα.

Ωστόσο, στην εφαρμογή των τεχνολογιών διαχωρισμού στερεών-υγρών προκύπτουν διάφορα εμπόδια και προκλήσεις. Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας που συνδέεται με αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι σημαντικό και η αποτελεσματικότητά τους μπορεί να επηρεαστεί από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της κοπριάς. Επιπλέον, η διαχείριση των διαχωρισμένων κλασμάτων, ιδίως του στερεού κλάσματος, απαιτεί ειδικές διαδικασίες αποθήκευσης, μεταφοράς και διάθεσης, ενώ οι διαδικασίες αυτές πρέπει να είναι συμβατές με τη νομοθεσία περί περιβάλλοντος. (Fangueiro, Hjorth, and Gioelli, 2015).

5.2.5 Παραγωγή βιοαερίου

Η παραγωγή βιοαερίου σε λιμνοδεξαμενές αποτελεί σημαντική στρατηγική στο ευρύτερο πλαίσιο της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και της βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τη χρήση αναερόβιων λιμνοδεξαμενών καλυμμένων με εύκαμπτες, αδιαπέραστες μεμβράνες για τη δέσμευση του βιοαερίου - ενός μείγματος μεθανίου (CH_4) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) - που παράγεται από την αποσύνθεση οργανικών αποβλήτων, όπως τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Η βιβλιογραφία παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα, τα οφέλη και τις προκλήσεις της χρήσης αυτής, αναδεικνύοντας το σημαντικό ρόλο που έχει αυτή η διαδικασία στη βιώσιμη γεωργία και τα ενεργειακά συστήματα.

Μαζί με τις συμβατικές μονάδες βιοαερίου η χρήση αυτής της μεθόδου είναι οι δύο πιο κοινές πρακτικές στην Κύπρο, οι οποίες συγκρίθηκαν στη μελέτη των Lijo et al. (2018). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αναερόβιες λιμνοθάλασσες δεν αποτελούν κατάλληλη επιλογή για την αειφόρο διαχείριση των ζωικών αποβλήτων λόγω περιβαλλοντικών αλλά και κοινωνικών επιπτώσεων. Σε σύγκριση με τη συμβατική αναερόβια χώνευση όπου το χωνεμένο υπόλειμμα εφαρμόζεται απευθείας ως οργανικό λίπασμα, η τεχνολογία που προτείνεται στο έργο συνεπάγεται υψηλότερη τεχνολογική πολυπλοκότητα λόγω της αφαίρεσης αζώτου και της ανάκτησης φωσφόρου.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής (των λιμνοδεξαμενών) είναι το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης, όπως οι χωνευτήρες μηχανικής ανάμιξης ή οι χωνευτήρες εμβολικής ροής. Οι Boe και Angelidaki (2009) αποδεικνύουν ότι οι καλυμμένες λιμνοθάλασσες μπορούν να αποτελέσουν μια αποτελεσματική και οικονομικά βιώσιμη επιλογή για την παραγωγή βιοαερίου, ιδίως σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις με μεγάλες ποσότητες υγρής κοπριάς. Η έρευνα υπογραμμίζει τη δυνατότητα των καλυμμένων λιμνοδεξαμενών να συμβάλουν στην ενεργειακή αυτόαρκεια των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και να βελτιώσουν τις πρακτικές διαχείρισης της κοπριάς.

Ωστόσο, η απόδοση σε βιοαέριο από αυτή τη διαδικασία είναι γενικά αρκετά χαμηλότερη από εκείνη των πιο ελεγχόμενων συστημάτων αναερόβιας χώνευσης, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών και των λιγότερο βελτιστοποιημένων συνθηκών για τη μικροβιακή δραστηριότητα εντός της λιμνοθάλασσας. Αυτός ο περιορισμός υπογραμμίζει τη σημασία της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού και των πρακτικών διαχείρισης της λιμνοθάλασσας για την ενίσχυση της αποδοτικότητας της παραγωγής βιοαερίου. Οι Safley και Westerman (1994) αναλύουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των χωνευτήρων καλυμμένων λιμνοδεξαμενών, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, του χρόνου κατακράτησης και των ποσοστών οργανικής φόρτισης, προσφέροντας καθοδήγηση για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων βιοαερίου.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη από αυτή την πρακτική εκτείνονται πέρα από την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Με τη δέσμευση του μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου

του θερμοκηπίου, οι καλυμμένες λιμνοδεξαμενές συμβάλλουν στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, η πλούσια σε θρεπτικά συστατικά εκροή από τη λιμνοθάλασσα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα, προωθώντας την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών και μειώνοντας την εξάρτηση από συνθετικά λιπάσματα. Ωστόσο, η διαχείριση των λυμάτων για την αποφυγή της απορροής θρεπτικών ουσιών και την προστασία της ποιότητας των υδάτων παραμένει μια κρίσιμη πρόκληση, όπως τονίζεται στη βιβλιογραφία (Kararaju, Rintala, and Ahring, 2002). Παρά τα πλεονεκτήματά τους, η υιοθέτηση αυτής της διαδικασίας για την παραγωγή βιοαερίου αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η ανάγκη για μεγάλες εκτάσεις γης για την κατασκευή λιμνοδεξαμενών και πιθανά προβλήματα με την ανθεκτικότητα της μεμβράνης και τη διαρροή αερίου. Αυτές οι προκλήσεις καθιστούν αναγκαία τη συνεχή έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση των σχεδίων και των υλικών των λιμνοδεξαμενών, εξασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των συστημάτων καλυμμένων λιμνοδεξαμενών.

Σε συνέχεια αυτής της διαδικασίας, όπως αναφέρουν οι Thao et al. (2023), τα κτηνοτροφικά απόβλητα, μετά την αναερόβια χώνευση στη δεξαμενή βιοαερίου εξακολουθούν να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών, θρεπτικών ουσιών και άλλων ρύπων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά το περιβάλλον. Για αυτό υπάρχουν και περαιτέρω επεξεργασίες όπως η διήθηση βιοαπανθράκων, ο οζονισμός και ο συνδυασμός και των δύο. Οι Thao et al. (2023) αναφέρουν ότι η συνδυαστική επεξεργασία ταυτόχρονης διήθησης βιοαπάνθρακα και οζονισμού απέδωσε καλύτερα σε σχέση με τις άλλες δύο.

5.2.6 Φυτοεξυγίανση

Η φυτοεξυγίανση είναι μια καινοτόμος, βιώσιμη τεχνολογία που χρησιμοποιεί φυτά για την αποκατάσταση μολυσμένων εδαφών, νερού ή αέρα. Αξιοποιεί τις φυσικές διεργασίες με τις οποίες τα φυτά απορροφούν, συσσωρεύουν, μεταβολίζουν ή αποτοξινώνουν ρύπους, όπως βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα, διαλύτες και αργό πετρέλαιο, μεταξύ άλλων. Αυτή η φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση προσφέρει μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους αποκατάστασης, όπως η εκσκαφή του εδάφους ή η χημική επεξεργασία, οι οποίες

μπορεί να είναι δαπανηρές και περιβαλλοντικά επιζήμιες. Η βιβλιογραφία από επιστημονικά περιοδικά υψηλού αντίκτυπου παρέχει εκτεταμένες πληροφορίες σχετικά με τους μηχανισμούς, τις εφαρμογές και τις προκλήσεις της φυτοεξυγίανσης, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές της στην αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Ένας από τους βασικούς μηχανισμούς της φυτοεξυγίανσης είναι η ικανότητα ορισμένων φυτών, γνωστών ως υπερσυσσωρευτών, να απορροφούν και να συγκεντρώνουν ρύπους από το περιβάλλον στη βιομάζα τους. Οι Newman και Reynolds (2004) διερευνούν διάφορες στρατηγικές φυτοεξυγίανσης, συμπεριλαμβανομένων της φυτοεκχύλισης, όπου τα φυτά απομακρύνουν τα βαρέα μέταλλα από το έδαφος, και της φυτοαποικοδόμησης, όπου οι οργανικοί ρύποι διασπώνται από φυτικά ένζυμα. Η ανασκόπησή τους υπογραμμίζει την ευελιξία των τεχνικών φυτοεξυγίανσης στην αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος ρύπων, τονίζοντας τη σημασία της επιλογής των κατάλληλων φυτικών ειδών για συγκεκριμένους ρύπους και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η αποτελεσματικότητα της φυτοεξυγίανσης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος του ρύπου, τα χρησιμοποιούμενα είδη φυτών και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ο τύπος του εδάφους, το pH και η παρουσία μικροβιακών κοινοτήτων. Ο Pilon-Smits (2005) αναλύει τους φυσιολογικούς και μοριακούς μηχανισμούς που διέπουν τη φυτοεξυγίανση, τονίζοντας το ρόλο της γενετικής των φυτών στην ενίσχυση της πρόσληψης και του μεταβολισμού των ρύπων. Η έρευνα αυτή υποδεικνύει τη δυνατότητα της γενετικής μηχανικής να αναπτύξει φυτικά είδη με βελτιωμένες δυνατότητες φυτοεξυγίανσης, προσφέροντας μια πολλά υποσχόμενη οδό για την πρόοδο της τεχνολογίας.

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η φυτοεξυγίανση εμφανίζει αρκετές προκλήσεις. Η διαδικασία μπορεί να είναι αργή, απαιτώντας πολλαπλές καλλιεργητικές περιόδους για να επιτευχθεί σημαντική απομάκρυνση των ρύπων. Επιπλέον, η διάθεση της μολυσμένης φυτικής βιομάζας αποτελεί δυνητικό περιβαλλοντικό κίνδυνο και απαιτεί προσεκτική διαχείριση. Οι Salt et al. (1998) αντιμετωπίζουν αυτές τις προκλήσεις, προτείνοντας στρατηγικές για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της φυτοεξυγίανσης, όπως η χρήση χηλικών παραγόντων για την αύξηση της

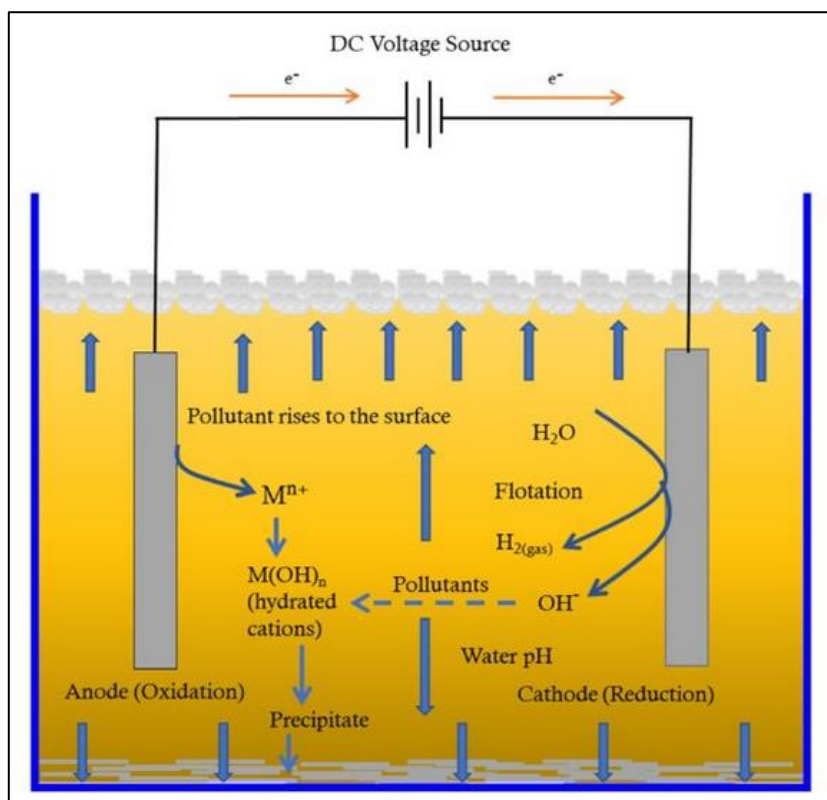
βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων και η ενσωμάτωση της φυτοεξυγίανσης με άλλες τεχνολογίες αποκατάστασης.

5.3 Πειραματικές μέθοδοι διαχείρισης με δυνατότητα εφαρμογής σε ευρεία κλίμακα

Στον τομέα της βιώσιμης διαχείρισης κτηνοτροφικών αποβλήτων, υπάρχουν διάφορες καινοτόμες και πειραματικές τεχνικές με στόχο επίτευξης υψηλότερης αποτελεσματικότητας, βιωσιμότητας και προστασίας του περιβάλλοντος. Αυτές οι προσεγγίσεις αξιοποιούν τις εξελίξεις στην τεχνολογία, τη βιοτεχνολογία και τη μηχανική για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τις παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης κοπριάς. Οι τεχνικές αυτές βρίσκουν εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα, οπότε και μπορούν να αποτελέσουν πραγματική λύση για την βιώσιμη γεωργία.

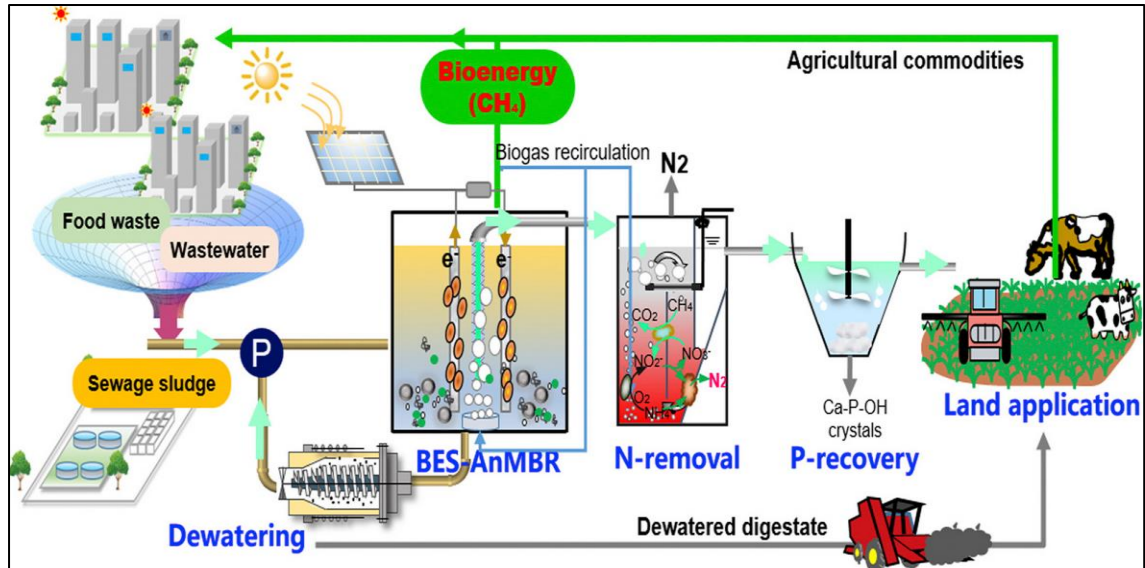
Μια από αυτές τις μεθόδους είναι η καλλιέργεια μικροφυκιών, η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση φυκιών για την επεξεργασία των λυμάτων των ζώων, με το διπλό όφελος της αφαίρεσης θρεπτικών ουσιών και της παραγωγής βιομάζας για χρήση σε βιοκαύσιμα, ζωοτροφές ή βιοπροϊόντα. Τα μικροφύκη (δηλαδή μικροσκοπικά φύκια αόρατα με γυμνό μάτι) είναι τύπος φυτοπλαγκτόν που απαντώνται συνήθως σε γλυκά και θαλάσσια συστήματα, ζώντας τόσο στην υδάτινη στήλη όσο και στο ίζημα. Αυτή η τεχνική εκμεταλλεύεται την ικανότητα των φυκιών να απορροφούν θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορος) από τα λύματα, μειώνοντας τους κινδύνους ευτροφισμού ενώ παράλληλα παράγουν πολύτιμη βιομάζα (Cai, Park and Li, 2013).

Μια ακόμη πειραματική και καινοτόμα μέθοδος είναι η Ηλεκτροκροκίδωση (Electrocoagulation) η οποία είναι μια πειραματική τεχνολογία επεξεργασίας νερού που χρησιμοποιεί ηλεκτρικά ρεύματα για την κροκίδωση των ρύπων, όπως οι θρεπτικές ουσίες και τα στερεά από τα λύματα των ζώων. Όπως αναφέρουν οι Mollah et al. (2004), αυτή η μέθοδος προσφέρει μια εναλλακτική λύση χωρίς χημικά για την επεξεργασία των λυμάτων, μειώνοντας δυννητικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ζωικών εργασιών.



Εικόνα 3: Ηλεκτροκοκκίδωση (Electrocoagulation) (Πηγή: Reza and Chen, 2022)

Οι Βιοαντιδραστήρες αναερόβιων μεμβρανών (AnMBR) συνδυάζουν την αναερόβια χώνευση με τη διήθηση με μεμβράνη, προσφέροντας μια προηγμένη επιλογή επεξεργασίας για τα κτηνοτροφικά απόβλητα που ανακτούν αποτελεσματικά ενέργεια με τη μορφή βιοαερίου ενώ παράγουν υψηλής ποιότητας λύματα. Αυτή η τεχνολογία αντιπροσωπεύει μια καινοτόμο προσέγγιση για τη διαχείριση των ζωικών αποβλήτων, με πιθανά οφέλη, όπως μειωμένο αποτύπωμα και βελτιωμένη ποιότητα αποβλήτων (Smith et al., 2012). Ως διαδικασία, η AnMBR περιγράφεται στην Εικόνα 4, και φαίνεται ότι μπορεί να βρει εφαρμογή σε μια σειρά από χρήσεις (κτηνοτροφικά απόβλητα, αστικά απόβλητα, κ.α.). Γίνεται επίσης κατανοητό ότι η διαδικασία AnMBR μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα.



Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας μεθόδου AnMBR (Βιοαντιδραστήρες αναερόβιων μεμβρανών) (Πηγή: Zhen et al., 2019)

Ακόμη ένα πεδίο που η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη είναι η γενετική τροποποίηση των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αποσκοπώντας στην ενίσχυση της παραγωγής βιοαερίου. Με τη βελτιστοποίηση των μεταβολικών οδών αυτών των μικροοργανισμών, μπορεί να είναι δυνατό να αυξηθεί η αποδοτικότητα της παραγωγής βιοαερίου από ζωικά απόβλητα, παρέχοντας μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και βελτιώνοντας τη διαχείριση των απορριμμάτων (Ahning et al., 2015).

Η υδροθερμική ενανθράκωση (hydrothermal carbonization - HTC) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία θερμοχημικής μετατροπής που επεξεργάζεται τη βιομάζα και τα κτηνοτροφικά απόβλητα, σε στερεό καύσιμο γνωστό ως υδρογονάνθρακα. Είναι μια φυσική διαδικασία σχηματισμού άνθρακα, όπου συμβαίνει σε μικρό χρονικό διάστημα σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Η διαδικασία HTC συμβάλλει στη διαχείριση των απορριμμάτων και στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Libra et al., 2011). Η διαδικασία ξεκινάει την προετοιμασία της βασικής πρώτης ύλης, και ακολουθεί υδροθερμική ενανθράκωση όπου η βιομάζα υποβάλλεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 180°C και 250°C υπό αυτοπαραγόμενη πίεση για αρκετές ώρες σε ένα σύστημα κλειστού αντιδραστήρα. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με τον σχηματισμό υδρογονάνθρακα, τον διαχωρισμό και την ξήρανση του και τέλος τη χρήση του.

Στη βιβλιογραφία που πλαισιώνει το αντικείμενο, αναφέρονται διάφορα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, όπως η βελτίωση στη διαχείριση απορριμμάτων, η παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), η απομόνωση άνθρακα και η ανάκτηση θρεπτικών συστατικών (Heidari, Dutta and Acharya, 2020). Η μέθοδος αυτή θεωρείται ότι έχει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες μεθόδους, κυρίως διότι παρακάμπτει το ενεργοβόρο βήμα ξήρανσης που απαιτείται για τη θερμική μετατροπή οργανικών πρώτων υλών υψηλής υγρασίας σε καύσιμο. Οι Jang et al. (2022) αναφέρουν ότι η αυξημένη περιεκτικότητα σε άνθρακα του βιοκάρβουνου που προέκυψε αναβάθμισε τις ιδιότητες καυσίμου του, οδηγώντας σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη διαδικασία επεξεργασίας. Μετά την υδροθερμική ενανθράκωση, οι αναλογίες H/C και O/C ήταν χαμηλότερες λόγω της χημικής μετατροπής.

Όλες οι παραπάνω καινοτόμες και πειραματικές τεχνικές αντιπροσωπεύουν το σύνορο της έρευνας στη βιώσιμη διαχείριση των ζωικών αποβλήτων. Ενώ προσφέρουν πολλά υποσχόμενους τρόπους για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κτηνοτροφικής παραγωγής, απαιτείται περαιτέρω έρευνα, ανάπτυξη και κλιμάκωση για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους και τη διασφάλιση της βιωσιμότητάς τους σε πρακτικές εφαρμογές.

Η εργασία των Vaishnav et al. (2023) καταλήγει ότι η κάθε μέθοδος είναι καταλληλότερη για έναν ειδικό τύπο κτηνοτροφικών αποβλήτων:

- Η αναερόβια οξείδωση αμμωνίας κρίνεται καταλληλότερη για λύματα χοίρων, πουλερικών και γαλακτοκομικών προϊόντων με υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας.
- Η αντίστροφη ώσμωση για γαλακτοκομικά λύματα με υψηλά επίπεδα διαλυμένων αλάτων.
- Η υπερδιήθηση για λύματα χοίρων και πουλερικών.
- Η βιοαντιδραστήρες μεμβράνης για γαλακτοκομικά και λύματα χοίρων.
- Η αναερόβια χώνεψη για λύματα χοιρινών και γαλακτοκομικών προϊόντων με υψηλή οργανική περιεκτικότητα.
- Η αερόβια διαδικασία για λύματα πουλερικών και χοίρων με χαμηλή οργανική περιεκτικότητα.
- Η χημική διαδικασία για όλους τους τύπους ζωικών λυμάτων.

- Οι λιμνοδεξαμενές για γαλακτοκομικά και χοιρινά λύματα με χαμηλή οργανική περιεκτικότητα.
- Η διαδικασία με τα μικροφύκια για τα λύματα που προέρχονται από εργασίες εντατικής κτηνοτροφίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6 Αξιοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων

6.1 Παραγωγή Ζωοτροφών

Εκτός από τις παραπάνω χρήσεις, μια αρκετά διαφορετική χρήση είναι η παραγωγή ζωοτροφών. Η εργασία της Παναγούλια (2022) αναφέρει ότι αυτή η πρακτική είναι διαδεδομένη και στις Ελληνικές επιχειρήσεις οι οποίες χρησιμοποιούν ειδικούς κλιβάνους αποστείρωσης στους οποίους καταλήγουν τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Αναλυτικότερα, τα υποπροϊόντα του σφαγείου μιας κτηνοτροφικής μονάδας όπως κεφαλές, πτερά, πόδια, κ.α. εισάγονται στον κλίβανο, αποστειρώνονται σε υψηλές θερμοκρασίες και στη συνέχεια διαχωρίζεται το λίπος και το αλεύρο. Το πρώτο χρησιμοποιείται για την διαδικασία παραγωγής ζωοτροφών και βιοκαυσίμων και τα δεύτερα αποκλειστικά για ζωοτροφές (Παναγούλια, 2022). Ωστόσο, η άμεση χρήση κοπριάς στις ζωοτροφές υπόκειται σε αυστηρές ρυθμίσεις λόγω ανησυχιών σχετικά με τις προσμίξεις και τη μετάδοση ασθενειών.

Εκτός από την παραπάνω προσέγγιση, η ιδέα της μετατροπής των ζωικών αποβλήτων σε ζωοτροφές περιλαμβάνει διάφορες καινοτόμες προσεγγίσεις, που εστιάζονται κυρίως στην ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και οργανικής ύλης για τη δημιουργία βιώσιμων επιλογών ζωοτροφών. Η διαδικασία συνήθως περιλαμβάνει επεξεργασία ζωικών αποβλήτων για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η θρεπτική αξία για χρήση στη διατροφή των ζώων. Μια άλλη προσέγγιση είναι η καλλιέργεια ζωοτροφών με τη βοήθεια του λιπάσματος. Η κοπριά χρησιμοποιείται ευρέως ως λίπασμα για την καλλιέργεια ζωοτροφών λόγω της πλούσιας σε θρεπτικά συστατικά της σύνθεσης. Αυτή η έμμεση μέθοδος μετατροπής των ζωικών αποβλήτων σε ζωοτροφή περιλαμβάνει την εφαρμογή επεξεργασμένης κοπριάς σε χωράφια για την ενίσχυση της ανάπτυξης ζωοτροφών, σιτηρών ή άλλων καλλιεργειών ζωοτροφών. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο ανακυκλώνει τα θρεπτικά συστατικά αλλά συμβάλλει επίσης στην υγεία του εδάφους (Lal, 2005). Η Manning (2019), αναφέρει ότι αυτό το

ποσοστό είναι μονάχα 14% ενώ το υπόλοιπο 86% αφορά τροφές τις οποίες δεν μπορεί να καταναλώσει ο άνθρωπος.



Εικόνα 4: Ποσοστά κατανάλωσης ζωοτροφών (Πηγή: Manning, 2019)

Μια ακόμα μέθοδος αξιοποίησης είναι η μετατροπή των ζωικών αποβλήτων σε μικροβιακή πρωτεΐνη. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη χρήση κοπριάς ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη συγκεκριμένων μικροοργανισμών, όπως ζυμομύκητες ή βακτήρια, που μπορούν να συλλεχθούν και να υποστούν επεξεργασία σε πρωτεϊνική τροφή υψηλής ποιότητας. Αυτή η προσέγγιση αξιοποιεί την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά της κοπριάς για να παράγει ένα πολύτιμο συστατικό ζωοτροφών, ενώ αντιμετωπίζει τις προκλήσεις διαχείρισης απορριμμάτων (Øverland and Skrede, 2017). Τέλος, η εκτροφή εντόμων αντιπροσωπεύει μια άλλη καινοτόμο προσέγγιση, όπου η κοπριά των ζώων χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια εντόμων, όπως οι προνύμφες μαύρων μυγών «στρατιωτών», οι οποίες στη συνέχεια συλλέγονται ως τροφή με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Αυτή η μέθοδος όχι μόνο παρέχει μια βιώσιμη πηγή τροφοδοσίας αλλά συμβάλλει επίσης στη μείωση των απορριμμάτων (Van Huis, 2013).

Συνολικά, η μετατροπή των ζωικών αποβλήτων σε ζωοτροφές απαιτεί προσεκτική εξέταση των θεμάτων ασφάλειας και κανονιστικών ρυθμίσεων, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου παθογόνων παραγόντων, της μείωσης των ρύπων και της διασφάλισης της διατροφικής επάρκειας του προϊόντος ζωοτροφής. Οι αυστηρές διαδικασίες θεραπείας και η τήρηση των κατευθυντήριων οδηγιών είναι απαραίτητες για τον μετριασμό των κινδύνων για την υγεία των ζώων αλλά και των ανθρώπων.

6.2 Διαδικασία Παραγωγής Βιοαερίου

Η παραγωγή βιοαερίου από ζωικά απόβλητα είναι μια διαδικασία κατά την οποία μετατρέπονται τα οργανικά υλικά σε αέριο πλούσιο σε μεθάνιο μέσω αναερόβιας χώνευσης. Αυτή η βιώσιμη τεχνολογία όχι μόνο παρέχει μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά συμβάλλει επίσης στη διαχείριση των αποβλήτων και στην προστασία του περιβάλλοντος. Η μετατροπή αυτή αποτελεί παράδειγμα μιας προσέγγισης κυκλικής οικονομίας, όπου τα απόβλητα μετατρέπονται σε πολύτιμους πόρους, μειώνοντας έτσι την περιβαλλοντική ρύπανση και παρέχοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η διαδικασία περιλαμβάνει πολλά στάδια, τα πιο βασικά από τα οποία είναι τα εξής (Weiland, 2010; Møller et al., 2004):

Το πρώτο στάδιο στη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου είναι η συλλογή ζωικών απορριμμάτων.

Το δεύτερο στάδιο είναι η προεπεξεργασία, που περιλαμβάνει την προετοιμασία των ζωικών αποβλήτων για αναερόβια χώνευση. Αυτό το βήμα μπορεί να περιλαμβάνει προσαρμογή της περιεκτικότητας σε υγρασία, του μεγέθους των σωματιδίων και της χημικής σύνθεσης των αποβλήτων για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πέψης ή την αφαίρεση μολυσματικών ουσιών που μπορεί να αναστείλουν τη μικροβιακή δραστηριότητα.

Το τρίτο και βασικό στάδιο είναι η Αναερόβια Χώνευση (AX), διαδικασία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι βασικές φάσεις είναι οι παρακάτω (Weiland, 2010):

- Υδρόλυση: Οι σύνθετες οργανικές ενώσεις στα απόβλητα των ζώων, όπως οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη, διασπώνται υπό την επίδραση υδρολυτικών ενζύμων, σε πιο απλά μόρια όπως σάκχαρα, αμινοξέα και λιπαρά οξέα.

- Οξεογένεση: Τα προϊόντα της υδρόλυσης διασπώνται περισσότερο από τα οξεογόνα βακτήρια σε πτητικά λιπαρά οξέα, αλκοόλες, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα.
- Ακετογένεση: Τα προϊόντα της οξεογένεσης μετατρέπονται από τα ακετογόνα βακτήρια σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα.
- Μεθανογένεση: Τα μεθανογόνα βακτήρια μετατρέπουν τα ενδιάμεσα από τα προηγούμενα στάδια (κυρίως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα) σε μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα οποία αποτελούν τα κύρια συστατικά του βιοαερίου.

Το επόμενο στάδιο στη διαδικασία είναι η συλλογή του βιοαερίου που παράγεται από την AX και συλλέγεται στην κορυφή του χωνευτήρα. Αυτό το αέριο περιέχει συνήθως 50-70% μεθάνιο, με το υπόλοιπο να αποτελείται βασικά από διοξείδιο του άνθρακα και εξαιρετικά μικρές ποσότητες άλλων αερίων π.χ. υδρόθειο.

Το πέμπτο στάδιο της διαδικασίας είναι ο καθαρισμός του βιοαερίου, διαδικασία απαραίτητη για να μπορεί να είναι αξιοποιήσιμο καθώς απομακρύνονται ακαθαρσίες και αυξάνεται έτσι η περιεκτικότητά του σε μεθάνιο.

Στη συνέχεια το βιοαέριο αξιοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, η χρήση του ως καύσιμο μαγειρέματος, η αναβάθμιση του σε βιομεθάνιο για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου ή χρήση ως καύσιμο οχημάτων.

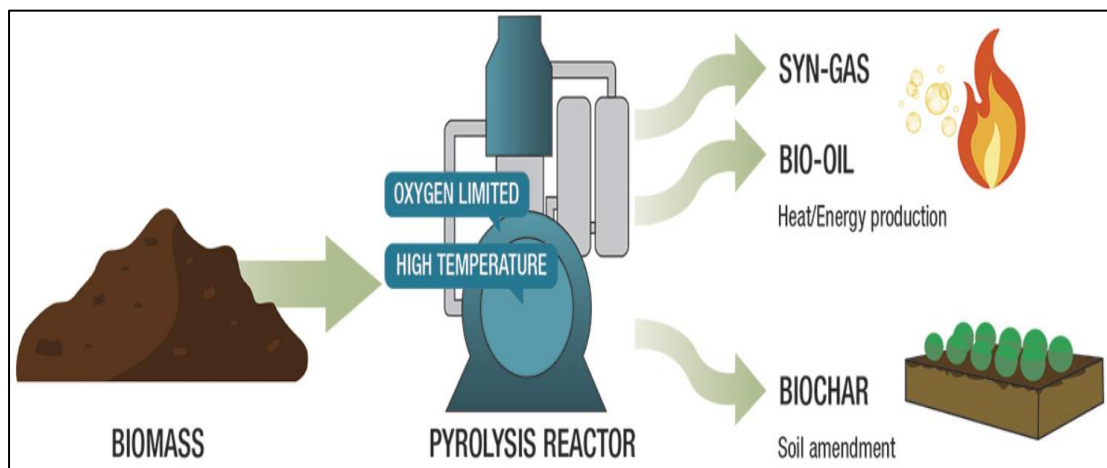
Τέλος, μετά τη διαδικασία της χώνευσης, το υπόλειμμα το οποίο είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, συλλέγεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιολίπασμα, ολοκληρώνοντας ουσιαστικά τον κύκλο των θρεπτικών συστατικών και συμβάλλοντας σε βιώσιμες γεωργικές πρακτικές.

Μια παραλλαγή αυτής της διαδικασίας είναι η συν-πυρόλυση, δηλαδή η ταυτόχρονη χρησιμοποίηση περιττωμάτων και απορριμμάτων βιομάζας όπως ροκανίδια, πριονίδι μπαμπού, φλοιός ρυζιού κ.α. Ειδικότερα, τα ροκανίδια και το πριονίδι μπαμπού έχουν πιο σημαντική επίδραση στην αύξηση της περιεκτικότητας σταθερού άνθρακα και της θερμαντικής αξίας και στη μείωση της περιεκτικότητας σε τέφρα του βιοκάρβουνου (Li et al., 2021). Η έρευνά αυτή δείχνει επίσης ότι τα περιττώματα διαφορετικών ζώων έχουν διαφορετική απόδοση θερμότητας σε βιοκάρβουνα, για παράδειγμα τα καύσιμα από περιττώματα χοίρων είναι καλύτερα από των πουλερικών.

6.3 Βιοξάνθρακωμα

Η τεχνική του βιοξάνθρακώματος - Biochar process - (που συναντάται και ως βιοαπανθράκωμα ή βιοάνθρακας ή βιοκάρβουνο), είναι μια διαδικασία κατά την οποία, ένα προϊόν πλούσιο σε άνθρακα που προέρχεται από την πυρόλυση της βιομάζας, εξετάζεται ως μέσο τροποποίησης του εδάφους για τη βελτίωση της διαχείρισης της κοπριάς. Εφαρμοσμένο στο έδαφος, το βιοκάρβουνο μπορεί να ενισχύσει τη διατήρηση των θρεπτικών ουσιών, να μειώσει τις εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου και να ακινητοποιήσει τα βαρέα μέταλλα, βελτιώνοντας έτσι την υγεία του εδάφους και μειώνοντας τη ρύπανση του περιβάλλοντος (Novak and Busscher, 2013). Ως διαδικασία, έχει κερδίσει σημαντική προσοχή για τις δυνατότητές της στη δέσμευση άνθρακα, την τροποποίηση του εδάφους και τη διαχείριση αποβλήτων (Lehmann και Joseph, 2015). Αυτή η τεχνική αντιπροσωπεύει έναν καινοτόμο τρόπο αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προκλήσεων και της βελτίωσης της γεωργικής παραγωγής.

Η πρώτη φάση της διαδικασίας είναι η συλλογή πρώτων υλών. Το βιοκάρβουνο μπορεί να παραχθεί από ένα μεγάλο εύρος οργανικών υλικών, τα οποία περιλαμβάνουν γεωργικά υπολείμματα, δασικά απόβλητα και κοπριά ζώων. Η επιλογή της πρώτης ύλης είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό της ποιότητας και των ιδιοτήτων του βιοαπανθράκων που προκύπτει. Η δεύτερη φάση είναι η πυρόλυση όπου η συλλεγόμενη πρώτη ύλη υποβάλλεται σε πυρόλυση, μια διαδικασία θερμικής αποσύνθεσης σε θερμοκρασίες που τυπικά φτάνουν από 300°C έως 800°C σε περιβάλλον απουσίας οξυγόνου ή παρουσίας κάποιου αδρανούς αερίου (όπως Αργό). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφορετικών μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης της αργής, γρήγορης και φλας πυρόλυσης, καθεμία από τις οποίες επηρεάζει την απόδοση, τα χαρακτηριστικά και τη δυνατότητα εφαρμογής του βιοαπανθρακώματος. Στη συνέχεια ο βιοαπάνθρακας ψύχεται και συλλέγεται. Οι συνθήκες υπό τις οποίες ψύχεται το biochar μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις ιδιότητές του. Τέλος, ο παραγόμενος βιοαπάνθρακας μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στο έδαφος ως τροποποίηση για τη βελτίωση της υγείας του εδάφους, να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία νερού για απομάκρυνση ρύπων ή να χρησιμοποιηθεί για δέσμευση άνθρακα για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 5: Διαδικασία παρασκευής Βιοεξανθρακώματος (*Biochar process*) (Πηγή: Sanford, 2023)

Σημαντικά περιβαλλοντικά και αγροτικά-κτηνοτροφικά οφέλη μπορούν να προκύψουν από τη μέθοδο αυτή (Woolf et al., 2010). Η εφαρμογή Biochar στο έδαφος μπορεί να βελτιώσει τη δομή του εδάφους, τον αερισμό, την ικανότητα συγκράτησης νερού και τη διατήρηση των θρεπτικών ουσιών, οδηγώντας σε βελτιωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών. Ακόμη, λόγω της σταθερής δομής του άνθρακα, το βιοκάρβουνο μπορεί να παραμείνει στο έδαφος για αιώνες, δεσμεύοντας έτσι τον άνθρακα και μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος, η διαδικασία της βιοαπανθράκωσης παρέχει μια βιώσιμη μέθοδο για τη διαχείριση των γεωργικών και δασικών αποβλήτων, τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων και τη μετατροπή τους σε πολύτιμα προϊόντα.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλά παραδείγματα παραγωγής Biochar από ζωικές πρώτες ύλες, τεχνολογία που ήδη εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα σε διεθνές επίπεδο. Μια από τις μεθόδους αυτές είναι η Biochar από τα απόβλητα των πουλερικών, τα οποία μαζί με ένα μείγμα κοπριάς, φτερών και υλικών στρωμνής, μπορούν να μετατραπούν σε βιοαπανθράκωμα (Cantrell et al., 2012). Αυτή η διαδικασία όχι μόνο αντιμετωπίζει την περιβαλλοντική ανησυχία που σχετίζεται με τη διάθεση των απορριμμάτων πουλερικών, αλλά παράγει επίσης ένα προϊόν με πιθανά γεωργικά οφέλη. Ακόμη, τα οστεάλευρα, τα οποία αποτελούν ένα υποπροϊόν της

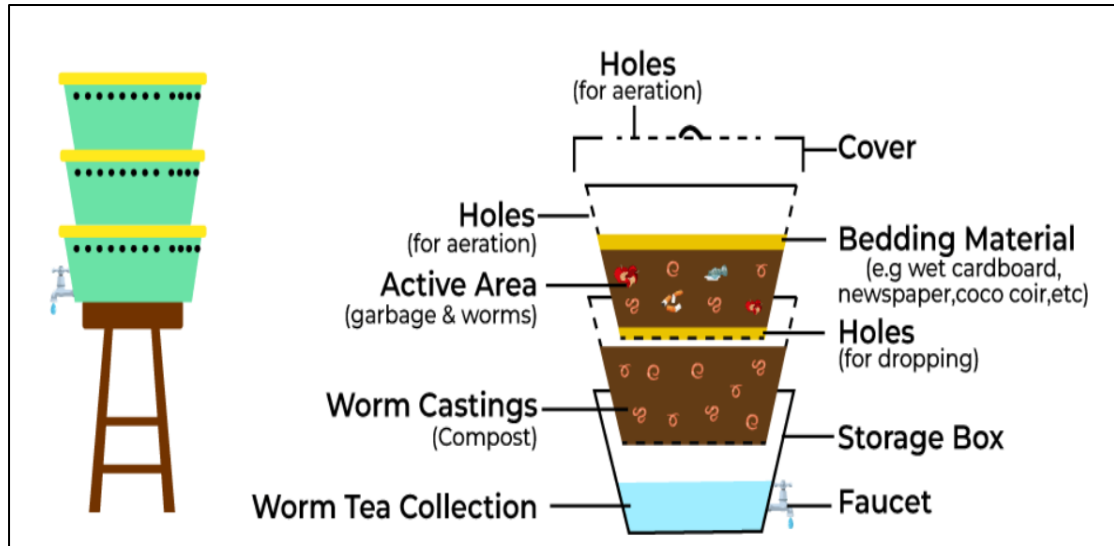
βιομηχανίας επεξεργασίας κρέατος, μπορεί να μετατραπεί σε βιοαπανθράκωμα (Sun et al., 2014). Το βιοκάρβουνο των οστεάλευρων είναι πλούσιο σε φώσφορο και ασβέστιο, καθιστώντας το ένα εξαιρετικό λίπασμα που μπορεί να βελτιώσει τη γονιμότητα και τη δομή του εδάφους. Αντίστοιχη διαδικασία επιτυγχάνεται και από τα απόβλητα των ψαριών μέσω πυρόλυσης, όπου το παραγόμενο βιοκάρβουνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των θρεπτικών ιδιοτήτων του εδάφους καθώς και ως πρόσθετο ζωοτροφών (Rajaraksha et al., 2015). Τα υπολείμματα ιχθύων είναι πηγή αζώτου και άλλων θρεπτικών συστατικών που είναι ευεργετικά για την ανάπτυξη των φυτών.

Τα παραπάνω χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος από περιπτώσεις όπως για λίπασμα εδάφους. Το βιοκάρβουνο που παράγεται από ζωικές πρώτες ύλες μπορεί να ενισχύσει τη γονιμότητα του εδάφους, την κατακράτηση νερού και τη μικροβιακή δραστηριότητα. Μπορεί επίσης να μειώσει την οξύτητα του εδάφους και να ακινητοποιήσει τους ρύπους του εδάφους, οδηγώντας σε βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών και μειωμένους περιβαλλοντικούς κινδύνους (Novak et al., 2009). Επίσης, χρησιμοποιείται για το φιλτράρισμα του νερού. Το Biochar κατασκευασμένο από ζωικά υλικά μπορεί να λειτουργήσει ως προσροφητικό φίλτρο για την απομάκρυνση των οργανικών ρύπων από το νερό βελτιώνοντας την καθαρότητα του. Η πορώδης φύση του επιτρέπει να προσροφά βαρέα μέταλλα, θρεπτικά συστατικά και άλλους ρύπους, βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού, όπως αναφέρουν οι Inyang et al. (2012). Τέλος, ο βιοάνθρακας που προέρχεται από ζώα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο στις ζωοτροφές για τη βελτίωση της υγείας και της παραγωγικότητας των ζώων (Leng et al., 2012). Με αυτή τη χρήση, μπορεί να προσροφήσει τοξίνες, να βοηθήσει στην πέψη και να παρέχει βασικά μέταλλα στα ζώα αναπαραγωγής.

6.4 Διαδικασία κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες

Η κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες, που στη βιβλιογραφία συχνά αναφέρεται ως *vermicomposting*, είναι μια ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία που μετατρέπει τα οργανικά απόβλητα σε λίπασμα το οποίο είναι ιδιαίτερα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά μέσω της δράσης των γαιοσκωλήκων. Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στην ανακύκλωση υπολειμμάτων κουζίνας, απορριμμάτων κήπου και άλλης οργανικής ύλης σε *vermicompost*, το οποίο είναι ένα εξαιρετικό βελτιωτικό του εδάφους. Η διαδικασία περιλαμβάνει την χώνευση του οργανικού υλικού από γαιοσκώληκες, οι οποίοι διασπών τα απόβλητα σε απλούστερες ουσίες, αποβάλλοντάς τα στη συνέχεια ως προϊόντα απέκκρισης (χούμους γαιοσκώληκα) που είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά.

Η διαδικασία περιγράφεται από τους Lazcano και Domínguez (2011) και ξεκινάει με την προετοιμασία μιας κατάλληλης στρώσης για τους γαιοσκώληκες, που συνήθως κατασκευάζεται από υγρά υλικά πλούσια σε άνθρακα, όπως τεμαχισμένη εφημερίδα, χαρτόνι, άχυρο ή τύρφη. Στη συνέχεια τα οργανικά απόβλητα προστίθενται στο στρώμα. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν υπολείμματα κουζίνας (εξαιρουμένου του κρέατος και των γαλακτοκομικών προϊόντων για την αποφυγή παρασίτων και οσμών), φυτικό υλικό, κατακάθι καφέ και τσόφλια αυγών. Στη συνέχεια εισάγονται γαιοσκώληκες, συνήθως ερυθροσκώληκες (*Eisenia fetida*) ή ευρωπαϊκά νυχτοπερπατίδια (*Eisenia hortensis*). Αυτά τα είδη είναι αποτελεσματικά στην κομποστοποίηση και μπορούν να ανεχθούν τις συνθήκες διαβίωσης υψηλής πυκνότητας των συστημάτων κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες. Οι γαιοσκώληκες καταναλώνουν το οργανικό υλικό, το οποίο διασπάται από μικροοργανισμούς στο έντερό τους. Το υλικό περνά μέσα από τους γαιοσκώληκες και απεκκρίνεται ως χούμους γαιοσκώληκα (*worm castings*), τα οποία είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και συγκεκριμένα άζωτο, φώσφορο και κάλιο. Μόλις το οργανικό υλικό υποστεί πλήρη επεξεργασία, το *vermicompost* μπορεί να συγκομιστεί. Το τελικό κομπόστ βρίσκεται συνήθως στο κάτω μέρος του κάδου και μπορεί να διαχωριστεί από τα σκουλήκια και το μη επεξεργασμένο υλικό για χρήση.



Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση μεθόδου «κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες» (Vermicomposting process) (Πηγή: <https://www.geeksforgEEKS.org/vermicomposting>)

Οι Domínguez και Edwards (2011) συγκρίνουν την μέθοδο με την παραδοσιακή κομποστοποίηση και αναφέρουν τα οφέλη της κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, δηλαδή το Vermicompost, είναι ένα υψηλής ποιότητας οργανικό λίπασμα και βελτιωτικό του εδάφους, που έχει την ικανότητά να βελτιώνει τη δομή του εδάφους, τη συγκράτηση της υγρασίας και τη μικροβιακή δραστηριότητα. Επίσης, παρέχει μια βιώσιμη μέθοδο για την ανακύκλωση οργανικών αποβλήτων, τη μείωση της χρήσης των χωματερών και του περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, σχετικών με την αποσύνθεση των αποβλήτων. Τέλος, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κομποστοποίησης, η κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες μπορεί να επεξεργαστεί τα οργανικά απόβλητα πιο γρήγορα, ακόμα και μέσα σε λίγους μήνες.

Ένα παράδειγμα αυτής της κομποστοποίησης με χρήση ζωικών αποβλήτων περιλαμβάνει την επεξεργασία της κοπριάς αγελάδας με το είδος γαιοσκώληκα *Eisenia fetida*. Η διαδικασία επιταχύνει την κομποστοποίηση της κοπριάς, με αποτέλεσμα την παραγωγή vermicompost που είναι ανώτερη σε θρεπτικά συστατικά σε σύγκριση με το παραδοσιακό κομπόστ. Η έρευνα που διεξήχθη από τους Ndegwa και Thompson (2001) διαπίστωσε ότι το vermicomposting μειώνει σημαντικά τα παθογόνα ενώ αυξάνει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών όπως το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο στο

κομπόστ, καθιστώντας το μια εξαιρετική τροποποίηση για γεωργικά εδάφη. Μια άλλη μελέτη από τους Lim et al. (2015) διερεύνησε τη λιπασματοποίηση της κοπριάς χοίρων χρησιμοποιώντας το ίδιο είδος γαιοσκωλήκων. Τα ευρήματα έδειξαν ότι η τεχνική Vermicomposting μείωσε αποτελεσματικά τον όγκο των αποβλήτων, ενώ παράλληλα εμπλουτίζει το τελικό προϊόν με ωφέλιμους μικροοργανισμούς και θρεπτικά συστατικά. Αυτή η διαδικασία μείωσε επίσης την οσμή που συνήθως σχετίζεται με την κοπριά χοίρων, υποδηλώνοντας ένα πρόσθετο πλεονέκτημα της βελτίωσης του εργασιακού περιβάλλοντος στις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις.

Η μέθοδος Vermicomposting έχει εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης πέρα από την τροποποίηση του εδάφους. Για παράδειγμα, το πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά vermicompost που παράγεται από ζωικά απόβλητα έχει χρησιμοποιηθεί ως μέσο ανάπτυξης στη βιώσιμη κηπουρική και γεωργία. Βελτιώνει τη δομή του εδάφους, ενισχύει την κατακράτηση νερού και παρέχει μια πηγή αργής αποδέσμευσης βασικών θρεπτικών συστατικών, οδηγώντας σε υγιέστερη ανάπτυξη των φυτών και αυξημένες αποδόσεις. Επιπλέον, το vermicompost έχει διερευνηθεί για τις δυνατότητές του σε έργα οικολογικής αποκατάστασης. Η εφαρμογή του σε υποβαθμισμένα εδάφη βοηθά στην αποκατάσταση της γονιμότητας και της δομής του εδάφους, διευκολύνοντας έτσι την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων. Αυτό υπογραμμίζει το ρόλο της μεθόδου vermicomposting όχι μόνο στη διαχείριση των απορριμμάτων αλλά και στις προσπάθειες οικολογικής διατήρησης και αποκατάστασης.

Τέλος, το υγρό υποπροϊόν της βερμικομποστοποίησης, γνωστό ως «vermiwash», έχει χρησιμοποιηθεί ως φυσικό υγρό λίπασμα και αποθητικό παρασίτων σε πρακτικές βιολογικής γεωργίας. Αυτό καταδεικνύει την ευέλικτη εφαρμογή των προϊόντων vermicomposting για την ενίσχυση των πρακτικών βιώσιμης γεωργικής και περιβαλλοντικής διαχείρισης. Τα παραδείγματα βερμικομποστοποίησης από ζωικά απόβλητα δείχνουν την αποτελεσματικότητά της ως στρατηγική διαχείρισης απορριμμάτων που μετατρέπει τα απόβλητα σε πολύτιμους πόρους. Μέσω της ακαδημαϊκής έρευνας, τα οφέλη της βερμικομποστοποίησης στη γεωργία, τη διατήρηση του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη διαχείριση της γης έχουν τεκμηριωθεί αποτελεσματικά, δείχνοντας τις δυνατότητές της να συμβάλει σε πιο βιώσιμα και παραγωγικά γεωργικά συστήματα.

Κεφάλαιο 7^ο

7 Συμπεράσματα μελέτης

Η παρουσίαση των παραπάνω μεθόδων έδειξε ότι υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής βιώσιμων τεχνικών για την αειφόρο εκμετάλλευση των κτηνοτροφικών αποβλήτων. Αφού αρχικά παρατέθηκε το πλαίσιο λειτουργίας των κτηνοτροφικών μονάδων, στη συνέχεια αναλύθηκε η υπάρχουσα κατάσταση και οι προοπτικές ως προς το θέμα της έρευνας.

- Οι βασικότερες εναλλακτικές και βιώσιμες μέθοδοι διαχείρισης είναι η αναερόβια χώνευση, η κομποστοποίηση, η διαχείριση θρεπτικών συστατικών, ο διαχωρισμός στερεών και υγρών αποβλήτων, η παραγωγή βιοαερίου και η φυτοεξυγείανση.
- Οι παραπάνω τεχνικές, αξιοποιούνται για την παραγωγή ζωοτροφών, τη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου, το βιοεξανθράκωμα (biochar) και την διαδικασία κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες (Vermicomposting).
- Εξετάστηκε η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και καινοτόμων μεθόδων για την αξιοποίηση των αποβλήτων και βρέθηκε ότι τέτοιες τεχνολογίες αξιοποιούνται ήδη στη χώρα μας και σε διεθνές επίπεδο.
- Μέσω των παραπάνω τεχνικών μπορεί να μειωθεί το ανθρώπινο αποτύπωμα στο περιβάλλον λόγω της ανακύκλωσης των αποβλήτων, της περιορισμένης χρήσης πόρων και της ελαχιστοποίησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
- Οι τεχνικές αυτές δεν αντιπαρατίθενται στην επιδίωξη της οικονομικής αποδοτικότητας των κτηνοτροφικών επιχειρήσεων, αντιθέτως συνεισφέρουν θετικά προσδίδοντας ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα με στόχο τη διατήρηση και ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς τους.

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον, όπου η διαχείριση των ζωικών αποβλήτων θα απαιτήσει την εφαρμογή μιας υποστηρικτικής πολιτικής και ρυθμιστικών πλαισίων σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο με σκοπό να δίνουν κίνητρα για βιώσιμες πρακτικές. Αυτές οι πολιτικές μπορεί να περιλαμβάνουν αυστηρότερους κανονισμούς για τη διάθεση απορριμμάτων, επιδοτήσεις για την υιοθέτηση τεχνολογιών βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων και προγράμματα που διευκολύνουν τη μεταφορά γνώσης μεταξύ των

αγροτών. Η διεθνής συνεργασία σε πρότυπα και πρακτικές μπορεί επίσης να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση παγκοσμίως της κλιματικής αλλαγής εξαιτίας της κτηνοτροφικής παραγωγής και των λοιπών περιβαλλοντικών της επιπτώσεων.

Επιπλέον, λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για προσεγγίσεις με βάση την κοινότητα και την κυκλική οικονομία στη διαχείριση των ζωικών αποβλήτων, η μελλοντική έρευνα θα επικεντρωθεί στη δημιουργία τοπικών συστημάτων όπου τα απόβλητα από μια διαδικασία χρησιμοποιούνται ως είσοδος για μια άλλη, ελαχιστοποιώντας έτσι τα απόβλητα και δημιουργώντας προϊόντα προστιθέμενης αξίας. Τέτοια παραδείγματα ενδεχομένως να περιλαμβάνουν τοπικούς συνεταιρισμούς παραγωγής βιοαερίου, κοινοτικά προγράμματα κομποστοποίησης και ολοκληρωμένα γεωργικά συστήματα όπου τα ζωικά απόβλητα υποστηρίζουν τη φυτική παραγωγή.

Τέλος, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη διαχείριση των ζωικών αποβλήτων, ως μέρος του ευρύτερου κινήματος της έξυπνης γεωργίας, αποτελεί μια περιοχή όπου υπάρχουν δυνατότητες για ανάπτυξη. Τεχνολογίες όπως η γεωργία ακριβείας, οι αισθητήρες IoT (Internet of Things) και το AI (Τεχνητή Νοημοσύνη) μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες συλλογής, επεξεργασίας και χρήσης απορριμμάτων. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική χρήση των πόρων, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και βελτιωμένη λήψη αποφάσεων στις πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Διπλωματικές & Πτυχιακές Εργασίες

- [1]. Ανδριόπουλος, Π. Ι. (2011). *Παραγωγή βιοαερίου και λιπάσματος από τα απορρίμματα κοτόπουλων. Σχεδιασμός, ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση. Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων*. (Μεταπτυχιακή διατριβή). Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Μ.Π.Σ. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Αθήνα.
- [2]. Βαρβάρας, Ι. Σ. (2009). *Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων, η περίπτωση της Ελλάδας, η απουσία διαχειριστικών αρχών, προτάσεις και προοπτικές*. (Μεταπτυχιακή διατριβή). Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μ.Π.Σ. «Γεωργία και Περιβάλλον», Μυτιλήνη.
- [3]. Κερατιώτης, Χ. (2017). *Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Περιφέρεια Κρήτης*. (Μεταπτυχιακή διατριβή). Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Μ.Π.Σ. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Αθήνα.
- [4]. Παναγούλια, Μ. Γ. (2022). *Αξιοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου: μια βιώσιμη προοπτική*. (Μεταπτυχιακή διατριβή). Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Διατμηματικό Μ.Π.Σ. «Επιχειρηματικότητα και συμβουλευτική στην αγροτική ανάπτυξη», Αθήνα.

Διδακτορικές διατριβές

- [1]. Ζαρκάδας, Ι. (2012). *Επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων με αναερόβια χώνευση στην περιοχή της Ηπείρου* (Διδακτορική διατριβή). Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Επιστημών και Τεχνολογιών, Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών, Ιωάννινα.

Άρθρα από επιστημονικά περιοδικά

- [1]. Akinbile, C. O., Erazua, A. E., Babalola, T. E., & Ajibade, F. O. (2016). Environmental Implications of Animal Wastes Pollution on Agricultural Soil and Water Quality. *Soil & Water Research*, 11(3).
- [2]. Boe, K., & Angelidaki, I. (2009). The effect of wet and dry digestion on biogas and methane production. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2693-2699. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.02.005>
- [3]. Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
- [4]. Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., & Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology*, 107, 419-428.
- [5]. Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource technology*, 99(10), 4044-4064.
- [6]. Domínguez, J., & Edwards, C. A. (2011). Relationships between composting and vermicomposting: A review. *Biodegradation*, 22(2), 377-392.
- [7]. Dou, Z., Toth, J. D., & Westendorf, M. L. (2018). Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications. *Global food security*, 17, 154-161.
- [8]. Ekkel, E. D., & de Vries, S. (2017). Nearby green space and human health: Evaluating accessibility metrics. *Landscape and urban planning*, 157, 214-220.
- [9]. Epstein, E. (2017). *The science of composting*. CRC press.
- [10]. Evenson, R. E., Santaniello, V., & Zilberman, D. (Eds.). (2002). *Economic and social issues in agricultural biotechnology*. CABI Publishing.
- [11]. Fangueiro, D., Hjorth, M., & Gioelli, F. (2015). The role of solid-liquid separation in manure management—A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 1089-1101. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0301-8>

- [12]. FAO. (2017). Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a0701e/a0701e.pdf>
- [13]. Font-Palma, C. (2019). Methods for the treatment of cattle manure—a review. *C*, 5(2), 27.
- [14]. Ghatoura, R. K., & Fattah, K. P. (2015). Sustainable management of animal waste in a rural setting in India. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2(05).
- [15]. Ghebremichael, L. T., Veith, T. L., & Hamlett, J. M. (2009). Integrated decision support system for optimal nutrient management. *Journal of Environmental Quality*, 38(5), 1646-1658. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0337>
- [16]. Ghosh, P. R., Fawcett, D., Sharma, S. B., & Poinern, G. E. J. (2016). Progress towards sustainable utilisation and management of food wastes in the global economy. *International journal of food science*, 2016.
- [17]. Gu, Y., Shen, S., Han, B., Tian, X., Yang, F., & Zhang, K. (2020). Family livestock waste: an ignored pollutant resource of antibiotic resistance genes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 197, 110567.
- [18]. Gul, S., Naz, A., Fareed, I., Khan, A., & Irshad, M. (2015). Speciation of heavy metals during co-composting of livestock manure. *Polish Journal of Chemical Technology*, 17(3), 19-23.
- [19]. Hawkins, G., & Muecke, S. (Eds.). (2002). *Culture and waste: The creation and destruction of value*. Rowman & Littlefield Publishers.
- [20]. Heidari, M., Dutta, A., & Acharya, B. (2020). A review on the role of hydrothermal carbonization (HTC) on biowaste conversion to hydrochar and its potential applications. *Fuel*, 262, 116659.
- [21]. Hjorth, M., Christensen, K. V., Christensen, M. L., & Sommer, S. G. (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 153-180. <https://doi.org/10.1051/agro/2009010>
- [22]. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource*

Technology, 100(22), 5478-5484.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>

- [23]. Inyang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A., Mosa, A., ... & Pullammanappallil, P. (2012). Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass. *Bioresource Technology*, 110, 50-56.
- [24]. Jang, E. S., Ryu, D. Y., & Kim, D. (2022). Hydrothermal carbonization improves the quality of biochar derived from livestock manure by removing inorganic matter. *Chemosphere*, 305, 135391.
- [25]. Ju, X. T., Kou, C. L., Zhang, F. S., & Christie, P. (2009). Nutrient management strategies for sustainable agronomic cropping systems in China. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(2), 595-605. <https://doi.org/10.1051/agro:2008059>
- [26]. Jung, S., Shetti, N. P., Reddy, K. R., Nadagouda, M. N., Park, Y. K., Aminabhavi, T. M., & Kwon, E. E. (2021). Synthesis of different biofuels from livestock waste materials and their potential as sustainable feedstocks—a review. *Energy Conversion and Management*, 236, 114038.
- [27]. Kaparaju, P., Rintala, J., & Ahring, B. K. (2002). Anaerobic treatment of solid waste: Enhancing methane production and methanogenesis. *Waste Management & Research*, 20(4), 337-344. <https://doi.org/10.1177/0734242X0202000403>
- [28]. Khalil, M., Berawi, M. A., Heryanto, R., & Rizalie, A. (2019). Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 323-331.
- [29]. Kirchmann, H., Bergström, L., Kätterer, T., Andersson, R., & Andrén, O. (2008). Can organic crop production feed the world? Organic crop production – ambitions and limitations. Springer, 39-72. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9316-6_3
- [30]. Klinghoffer, N. B., & Castaldi, M. J. (Eds.). (2013). *Waste to energy conversion technology*. Elsevier.

- [31]. Kondo, M. C., Fluehr, J. M., McKeon, T., & Branas, C. C. (2018). Urban green space and its impact on human health. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 445.
- [32]. Lal, R. (2005). World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*, 31(4), 575-584. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.09.005>
- [33]. Larney, F. J., & Hao, X. (2007). A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology*, 98(17), 3221-3227. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.005>
- [34]. Lazcano, C., & Domínguez, J. (2011). The use of vermicompost in sustainable agriculture: Impact on plant growth and soil fertility. *Soil Nutrients*, 1, 1-23.
- [35]. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation. 2nd edition. *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- [36]. Leng, R. A., Inthapanya, S., & Preston, T. R. (2012). Biochar reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local “Yellow” cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. *Livestock Research for Rural Development*, 24(11).
- [37]. Lepesteur, M. (2022). Human and livestock pathogens and their control during composting. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(10), 1639-1683.
- [38]. Li, F., Cheng, S., Yu, H., & Yang, D. (2016). Waste from livestock and poultry breeding and its potential assessment of biogas energy in rural China. *Journal of cleaner production*, 126, 451-460.
- [39]. Li, C., Xie, S., Wang, Y., Jiang, R., Wang, X., Lv, N., ... & Wang, Y. (2021). Multi-functional biochar preparation and heavy metal immobilization by co-pyrolysis of livestock feces and biomass waste. *Waste Management*, 134, 241-250.
- [40]. Libra, J. A., Ro, K. S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M.-M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., & Emmerich, K. H. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative

- review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2(1), 71-106.
- [41]. Lim, S. L., Wu, T. Y., Clarke, C., & Low, L. E. (2015). Vermicomposting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 158, 313-322.
- [42]. Lijó, L., Frison, N., Fatone, F., González-García, S., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2018). Environmental and sustainability evaluation of livestock waste management practices in Cyprus. *Science of The Total Environment*, 634, 127-140.
- [43]. Manning, L. (2019) Only a small % of what cattle eat is grain. 86% comes from materials humans don't eat. SacredCow [online] <https://www.sacredcow.info/blog/qz6pi6cvjowjhxsh4dqg1dogiznou6>
- [44]. Meegoda, J. N., Li, B., Patel, K., & Wang, L. B. (2018). A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. *International journal of environmental research and public health*, 15(10), 2224.
- [45]. Møller, H. B., Sommer, S. G., & Ahring, B. K. (2002). Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology*, 85(2), 189-196. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00091-0)
- [46]. Ndegwa, P. M., & Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*, 76(2), 107-112.
- [47]. Newman, L. A., & Reynolds, C. M. (2004). Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(3), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2004.04.006>
- [48]. Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., ... & Watts, D. W. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3, 195-206.
- [49]. Øverland, M., & Skrede, A. (2017). Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture. *Journal of*

- the Science of Food and Agriculture, 97(3), 733-742.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.8083>
- [50]. Olarinmoye, A. O., Tayo, G. O., & Akinsoyinu, A. O. (2011). An overview of poultry and livestock waste management practices in Ogun State, Nigeria. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(3&4), 643-645.
- [51]. Parihar, S. S., Saini, K. P. S., Lakhani, G. P., Jain, A., Roy, B., Ghosh, S., & Aharwal, B. (2019). Livestock waste management: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(3), 384-393.
- [52]. Parlato, M. C., Valenti, F., Midolo, G., & Porto, S. M. (2022). Livestock wastes sustainable use and management: Assessment of raw sheep wool reuse and valorization. *Energies*, 15(9), 3008.
- [53]. Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-39.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
- [54]. Rajapaksha, A. U., Vithanage, M., Zhang, M., Ahmad, M., Mohan, D., Chang, S. X., ... & Ok, Y. S. (2015). Pyrolysis condition affected biochar nutrient properties and its impact on soil properties related to plant growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6674-6681.
- [55]. Reza, A. and Chen, L. (2022) Electrochemical treatment of livestock waste streams. A review. *Environmental Chemistry Letters* 20(3). DOI: [10.1007/s10311-022-01393-1](https://doi.org/10.1007/s10311-022-01393-1)
- [56]. Safley, L. M., & Westerman, P. W. (1994). Biogas production from anaerobic lagoons. *Bioresource Technology*, 48(1), 35-41.
[https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90195-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90195-3)
- [57]. Sakadevan, K., & Nguyen, M. L. (2017). Livestock production and its impact on nutrient pollution and greenhouse gas emissions. *Advances in agronomy*, 141, 147-184.
- [58]. Sampat, A. M., Ruiz-Mercado, G. J., & Zavala, V. M. (2018). Economic and environmental analysis for advancing sustainable management of livestock waste: A Wisconsin Case Study. *ACS sustainable chemistry & engineering*, 6(5), 6018-6031.

- [59]. San Martin, D., Ramos, S., & Zufia, J. (2016). Valorisation of food waste to produce new raw materials for animal feed. *Food chemistry*, 198, 68-74.
- [60]. Sanford, J. (2023) Biochar as a potential tool for manure management. <https://www.agproud.com/articles/57209-biochar-as-a-potential-tool-for-manure-management>
- [61]. Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 643-668. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>
- [62]. Sharpley, A., Kleinman, P. J., Jordan, P., Bergström, L., & Allen, A. L. (2009). Evaluating the success of phosphorus management from field to watershed. *Journal of Environmental Quality*, 38(5), 1981-1988. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0086>
- [63]. Smith, G., Nandwani, D., & Kankarla, V. (2017). Facilitating resilient rural-tourban sustainable agriculture and rural communities. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(6), 485-501.
- [64]. Sorathiya, L. M., Fulsoundar, A. B., Tyagi, K. K., Patel, M. D., & Singh, R. R. (2014). Eco-friendly and modern methods of livestock waste recycling for enhancing farm profitability. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3, 1-7.
- [65]. Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhou, Y., ... & Yang, L. (2014). Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chemical Engineering Journal*, 240, 574-578.
- [66]. Taiganides, E. P., Chou, K. C., & Lee, B. Y. (1979). Animal waste management and utilisation in Singapore. *Agricultural wastes*, 1(2), 129-141.
- [67]. Thao, N. T. P., Nga, N. T. T., Kim, H. T. T., Kien, T. T., Hieu, T. T., Thang, N. V., ... & Le, T. H. (2023). Combination of biochar filtration and ozonation processes in livestock wastewater treatment and application for soil cultivation. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 100286.

- [68]. Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- [69]. Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849-860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>
- [70]. Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1, 56.
- [71]. Yao, Y., Huang, G., An, C., Chen, X., Zhang, P., Xin, X., ... & Agnew, J. (2020). Anaerobic digestion of livestock manure in cold regions: Technological advancements and global impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109494.
- [72]. Yong, R. N., Mulligan, C. N., & Fukue, M. (2014). *Sustainable practices in geoenvironmental engineering*. CRC Press.
- [73]. Zhen, G., Pan, Y., Lu, X., Li, Y. Y., Zhang, Z., Niu, C., ... & Xu, K. (2019). Anaerobic membrane bioreactor towards biowaste biorefinery and chemical energy harvest: Recent progress, membrane fouling and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115, 109392.

Νομοθεσία

- [1]. Κανονισμός (ΕΕ) 2015/9 της Επιτροπής, της 6ης Ιανουαρίου 2015 , σχετικά με την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 142/2011 για την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την εφαρμογή της οδηγίας 97/78/ΕΚ του Συμβουλίου όσον αφορά ορισμένα δείγματα και τεμάχια που εξαιρούνται από κτηνιατρικούς ελέγχους στα σύνορα οι οποίοι αναφέρονται στην εν λόγω οδηγία Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ

- [2]. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) αριθ. 142/2011 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 25ης Φεβρουαρίου 2011 για την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την εφαρμογή της οδηγίας 97/78/ΕΚ του Συμβουλίου όσον αφορά ορισμένα δείγματα και τεμάχια που εξαιρούνται από κτηνιατρικούς ελέγχους στα σύνορα οι οποίοι αναφέρονται στην εν λόγω οδηγία.
- [3]. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ 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).
- [4]. Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/1997 - ΦΕΚ 1016/Β/17-11-1997: Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
- [5]. Κοινή Υπουργική Απόφαση 612/118658/2020 - ΦΕΚ 1983/Β/23-5-2020: Καθορισμός των αναγκαίων συμπληρωματικών μέτρων για την εφαρμογή των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΕ L 300, 14.11.2009, σ.1) και (ΕΕ) αριθ. 142/2011 της Επιτροπής (ΕΕ L 054, 26.2.2011, σ. 1).
- [6]. Κοινή Υπουργική Απόφαση 612/118658/2020 - ΦΕΚ 1983/Β/23-5-2020: Καθορισμός των αναγκαίων συμπληρωματικών μέτρων για την εφαρμογή των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΕ L 300, 14.11.2009, σ.1) και (ΕΕ) αριθ. 142/2011 της Επιτροπής (ΕΕ L 054, 26.2.2011, σ. 1).
- [7]. Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την Υπουργική Απόφαση 1420/82031/2015: Προστασία των νερών από τη Νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης.
- [8]. Νόμος 1650/1986 - ΦΕΚ Α-160/16-10-1986: Για την προστασία του περιβάλλοντος.

- [9]. Νόμος 4056/2012 - ΦΕΚ Α-52/12-3-2012: Ρυθμίσεις για την κτηνοτροφία και τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις και άλλες διατάξεις.
- [10]. Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Νοεμβρίου 2008 , για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ)
- [11]. Οδηγία 91/676/ΕΟΚ - Οδηγία για τη Ρύπανση από Οργανικά Συστατικά
- [12]. Οδηγία 91/676/ΕΟΚ σχετικά με την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης
- [13]. Προεδρικό Διάταγμα 211/2006 - ΦΕΚ 211/Α/5-10-2006 (Καταργημένο): Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.
- [14]. Προεδρικό Διάταγμα 374/2001 - ΦΕΚ 251/Α/22-10-2001: Προστασία των ζώων στα εκτροφεία, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/58/εκ του Συμβουλίου και σε εκτέλεση της Απόφασης 2000/50/Ε.Κ. της Επιτροπής.
- [15]. Υγειονομική διάταξη Υ1β/2000/1995 - ΦΕΚ 343/Β/4-5-1995: «Περί όρων ιδρύσεως και λειτουργίας πτηνοκτηνοτροφικών εγκαταστάσεων».
- [16]. Υπουργική Απόφαση 1848/278812/2021 (ΦΕΚ 4855/Β` 20.10.2021): Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης
- [17]. Υπουργική Απόφαση 18528/2009
- [18]. Υπουργική Απόφαση 2001/118518/2015 – ΦΕΚ 2359/Β/3-11-2015, τροποποίηση της αριθ. 1420/82031 (ΦΕΚ 1709/Β/2015) απόφασης του Αναπληρωτή Υπουργού Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος και Ενέργειας «Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από τη Νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης».
- [19]. NRCS. (n.d.). Nutrient Management. USDA Natural Resources Conservation Service. Retrieved from <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/landuse/crops/nm/>