



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ»

ΜΑΡΙΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ(05107051)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΛΟΙΖΙΔΟΥ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017



Εικόνα 1: Φωτογραφία από μονάδα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου στο Retford της Αγγλίας

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
1° Κεφάλαιο: Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων	8
1.1 Γενική εισαγωγή	8
1.1.1 Γενικά Στοιχεία	8
1.1.2 Βιολογικά Χαρακτηριστικά των Αποβλήτων	9
1.1.3 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον από τη Διάθεση των Κτηνοτροφικών Αποβλήτων	10
1.1.4 Διαχείριση των αποβλήτων μέσα στον στάβλο	11
1.1.5 Διαχείριση των αποβλήτων έξω από τους στάβλους	12
1.1.6 Απαραίτητοι χειρισμοί στα απόβλητα πριν την επεξεργασία τους (πρωτογενής επεξεργασία)	14
1.2 Είδη δευτερογενούς επεξεργασίας	15
1.2.1 Φυσική επεξεργασία	16
1.2.2 Χημική επεξεργασία	17
1.2.3 Βιολογική επεξεργασία	17
1.3. Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα και διεθνώς	19
1.3.1 Παρούσα κατάσταση	19
1.3.2 Δυναμικότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα	20
1.3.3 Δυναμικότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ε.Ε.	21
1.3.4 Δυναμικότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων διεθνώς	23
1.4. Νομοθετικό πλαίσιο(Ευρωπαϊκό και Εθνικό).....	26
1.4.1 Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο.....	26
1.4.2 Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο	28
2° Κεφάλαιο: Μέθοδοι επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων	36
2.1 Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης	36
2.1.1 Πήξη και διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης	36
2.1.2 Πρέσσα πίεσης	36
2.1.3 Κόσκινα, σχάρες, ιμάντες διαχωρισμού	36
2.1.4 Φυγοκέντρηση.....	37
2.1.5 Φυσική καθίζηση.....	37
2.2 Κατεργασία υγρής φάσης	37
2.2.1 Υπερδιήθηση	37
2.2.2 Ηλεκτροοξειδωση	38
2.2.3 Διεργασία όζοντος.....	38
2.2.4 Νιτροποίηση-απονιτριποίηση	38

2.2.5 Υγροποίηση στροβίτη.....	39
2.2.6 Τεχνητοί υγρότοποι.....	39
2.3 Κατεργασία στερεής φάσης	40
2.3.1 Κομποστοποίηση.....	40
2.3.2 Αναερόβια Χώνευση.....	43
2.3.3 Καύση	55
2.3.4 Αεριοποίηση.....	56
2.3.5 Πυρόλυση.....	58
3° Κεφάλαιο: Case Studies συστημάτων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων σε Ελλάδα και διεθνώς	61
4° Κεφάλαιο: Πολυκριτηριακή ανάλυση για τη σύγκριση των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας.....	89
4.1 Κριτήρια αξιολόγησης case studies.....	89
4.2 Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης	89
4.3 Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας.....	91
4.4 Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου.....	91
4.5 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	93
4.6 Μέθοδος SAW (Simple Additive Weighting)	93
4.7 Παραδείγματα εφαρμογής πολυκριτηριακής ανάλυσης σε μονάδες επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων παγκοσμίως	94
4.7.1 Γαλλία	94
4.7.2 Κένυα.....	94
4.7.3 Αυστρία.....	95
4.7.4 Ιταλία.....	95
4.7.5 Ινδία.....	96
5° Κεφάλαιο: Εφαρμογή και αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης	97
5.1 Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης	97
5.1.1 Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης	97
5.1.2 Κατεργασία υγρής φάσης.....	111
5.1.3 Κατεργασία στερεής φάσης	125
5.2 Συνοπτικά συμπεράσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης	136
6ο Κεφάλαιο:Γενικά Συμπεράσματα	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ:	139

Περιεχόμενες Εικόνες

<i>Εικόνα 1: Φωτογραφία από μονάδα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου στο Retford της Αγγλίας</i>	2
<i>Εικόνα 2: Βιομάζα γεωκτηνοτροφικών αποβλήτων από την πρωτογενή παραγωγή σε τόνους (Πηγή: Σιούλας 2009)</i>	20
<i>Εικόνα 3: Βιομάζα εφαρμοζόμενων λιπασμάτων από την πρωτογενή παραγωγή σε τόνους (Πηγή: Σιούλας 2009)</i>	21
<i>Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση μονάδας κομποστοποίησης</i>	41
<i>Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής αναερόβιας χώνευσης(Πηγή: Agroenergy A.E.)</i>	44
<i>Εικόνα 6: Στάδια παραγωγής βιοαερίου(Πηγή: Mc Carty, P.L.(1982))</i>	45
<i>Εικόνα 7: Διάγραμμα τυπικού αναερόβιου χωνευτήρα</i>	51
<i>Εικόνα 8: Διάγραμμα μονάδας πυρόλυσης κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ολλανδία το 2001</i>	60
<i>Εικόνα 9: Solid-liquid separation, scenario 1</i>	100
<i>Εικόνα 10: Solid-liquid separation, scenario 2</i>	101
<i>Εικόνα 11: Solid-liquid separation, scenario 3</i>	103
<i>Εικόνα 12: Solid-liquid separation, scenario 4</i>	105
<i>Εικόνα 13: Solid-liquid separation, scenario 5</i>	106
<i>Εικόνα 14: Solid-liquid separation, scenario 6</i>	108
<i>Εικόνα 15: Solid-liquid separation, scenario 7</i>	109
<i>Εικόνα 16 : Solid-liquid separation, scenario 8</i>	111
<i>Εικόνα 17 : Treatment of liquid fraction, scenario 1</i>	114
<i>Εικόνα 18 : Treatment of liquid fraction, scenario 2</i>	115
<i>Εικόνα 19: Treatment of liquid fraction, scenario 3</i>	117
<i>Εικόνα 20 : Treatment of liquid fraction, scenario 4</i>	118
<i>Εικόνα 21 : Treatment of liquid fraction, scenario 5</i>	120
<i>Εικόνα 22 : Treatment of liquid fraction, scenario 6</i>	121
<i>Εικόνα 23 : Treatment of liquid fraction, scenario 7</i>	123
<i>Εικόνα 24 : Treatment of liquid fraction, scenario 8</i>	124
<i>Εικόνα 25 : Treatment of solid fraction, scenario 1</i>	128
<i>Εικόνα 26 : Treatment of solid fraction, scenario 2</i>	129
<i>Εικόνα 27 : Treatment of solid fraction, scenario 3</i>	130
<i>Εικόνα 28 : Treatment of solid fraction, scenario 4</i>	131
<i>Εικόνα 29 : Treatment of solid fraction, scenario 5</i>	133
<i>Εικόνα 30 : Treatment of solid fraction, scenario 6</i>	134
<i>Εικόνα 31 : Treatment of solid fraction, scenario 7</i>	135
<i>Εικόνα 32 : Treatment of solid fraction, scenario 8</i>	136

Περίληψη

Τα κτηνοτροφικά απόβλητα αποτελούν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό της συνολικής ποσότητας βιομάζας παγκοσμίως με τεράστιες δυνατότητες παραγωγής ενέργειας και αξιοποίησης των προϊόντων. Η επεξεργασία τους και η εξεύρεση του βέλτιστου συστήματος κατεργασίας αποτελούσε και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και είναι ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια βιβλιογραφική αναζήτηση για τα είδη επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων(βιολογική, φυσική, χημική), την επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα και στον κόσμο (αποτύπωση μονάδων, έκτασης, δυναμικότητας) και τέλος το νομοθετικό πλαίσιο (ελληνικό και ευρωπαϊκό) που διέπει την επεξεργασία. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται όλες οι διαθέσιμες τεχνικές επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων χωρισμένες σε τρεις κατηγορίες: διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης, επεξεργασίας της υγρής φάσης και τέλος, επεξεργασίας της στερεής φάσης. Στο τρίτο κεφάλαιο αποτυπώνονται σε παραστατικούς πίνακες και με λεπτομέρειες τα Case Studies(επιτυχή παραδείγματα) συστημάτων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων σε Ελλάδα και διεθνώς. Για την επίτευξη του σκοπού της διπλωματικής, δηλαδή την εξεύρεση του καλύτερου συστήματος επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε πολυκριτηριακή ανάλυση πάνω στις μεθόδους του δεύτερου κεφαλαίου με βάση συγκεκριμένα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Έτσι στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα γενικά στοιχεία της διαδικασίας της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, δηλαδή ο ορισμός, γιατί εφαρμόζεται και ποιος είναι ο στόχος της. Επίσης αναλύεται πιο ειδικά η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε, δηλαδή η μέθοδος της απλής πρόσθετης στάθμισης(Μέθοδος SAW-Simple Additive Weighting) καθώς και κάποιες περιπτώσεις εφαρμογής πολυκριτηριακής ανάλυσης σε επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων διεθνώς. Η πολυκριτηριακή ανάλυση έγινε βάση σεναρίων σε καθένα από τα οποία ήταν διαφορετική η σχετική βαρύτητα που έπαιρναν είτε τα τεχνικά είτε τα οικονομικά κριτήρια και με αυτό τον τρόπο άλλαξε και το ποια μέθοδος ήταν πιο κατάλληλη κάθε φορά. Όλα αυτά παρουσιάζονται στο πέμπτο μέρος, όπου γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και ένας γενικότερος σχολιασμός. Τέλος, η διπλωματική κλείνει με κάποια γενικότερα συμπεράσματα, στο έκτο κεφάλαιο.

Abstract

Livestock waste is a fairly large proportion of the total amount of biomass worldwide with a huge renewable energy production. The processing and the finding of the optimal treatment system of livestock waste has always been a very important issue for all stakeholders and it is the aim of this thesis. The first chapter deals with a literature search for livestock waste treatment methods, the units, the scale and the capacity in Greece and the world as well as the legislative framework (Greek and European) which governs the processing. In the second chapter, the methods of treatment were studied and divided into three categories: the solid-liquid separation, the treatment of the liquid phase and the treatment of the solid phase. The third chapter presents schematically some successful examples(case studies) of livestock waste treatment applications in various countries of the world.To achieve the purpose of the thesis, that of finding the best system of livestock waste management, multi-criteria analysis was performed on the methods of second chapter based on certain technical and financial

criteria. Thus the fourth chapter describes the general features of the process of Multicriteria Analysis, ie the definition, the cause of its appliance and what its goal is. Also it is analyzed more specifically the method of MCA used, namely the method of simple additive weighting (Method SAW-Simple Additive Weighting) and some cases of MCA application in livestock waste treatment internationally. The multi-criteria analysis was based on scenarios in each of which was different the relative gravity receiving either technical or economic criteria and thereby changing which method is more suitable every time. All this are presented in the fifth chapter, where the work results and a more general comment are deprinted. Finally are given some conclusions and comments concerning overall the thesis.

1^ο Κεφάλαιο: Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων

1.1 Γενική εισαγωγή

1.1.1 Γενικά Στοιχεία

Η διατήρηση και εκτροφή των αγροτικών ζώων μέσα στους στάβλους έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή υγρών ή στερεών απόβλητων, που είναι αποτέλεσμα του μεταβολισμού των τροφών που παρέχονται σε αυτά, αλλά και των διαφυγών κατά την διάρκεια διανομής της τροφής και του νερού, συνήθως μέσα ή κοντά στους χώρους εκτροφής. Η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων είναι ανάλογη του βαθμού εντατικοποίησης της εκτροφής και της πυκνότητας των εκτρεφόμενων ζώων. Αποτέλεσμα αυτής της παραγωγής των αποβλήτων είναι η έκλυση ενοχλητικών οσμών και η μεταφορά προς το περιβάλλον οργανικής και ανόργανης μορφής ρύπων, που μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα του τελικού τους αποδέκτη, υδάτινου ή εδαφικού. Η διαχείριση των πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων, εν γένει, είναι οι ενέργειες και οι διαδικασίες, που θα πρέπει να εφαρμοσθούν σε κάθε περίπτωση για την ελαχιστοποίηση ή και ακόμα την πλήρη εξουδετέρωση των δυσμενών αυτών επιπτώσεων. Χαρακτηριστικά των πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων είναι η οργανική τους προέλευση, ο μικρός σχετικά όγκος τους, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα απόβλητα των βιομηχανικών τροφίμων και πολύ περισσότερο με τα λύματα αστικών και περιαστικών περιοχών και η μεγάλη τους πυκνότητα. Η κατηγορία αυτή των αποβλήτων περιέχει μικρή ποσότητα νερού και ως εκ τούτου εμφανίζονται με πολύ μεγάλες τιμές ρυπαντικών φορτίων ανά μονάδα όγκου. Πιο συγκεκριμένα, τα κτηνοτροφικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες ποσοστό μεγαλύτερο του 70% είναι οργανικής σύστασης. Οι οργανικές ουσίες προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις ζωοτροφές που δεν αφομοιώθηκαν κατά την διέλευσή τους από το πεπτικό σύστημα των ζώων και κατά μικρότερο μέρος από τις ζωοτροφές που παρασύρθηκαν ή διασκορπίστηκαν μέσα στα αποχετευτικά κανάλια. Συνέπεια της προέλευσης αυτής είναι ο εμπλουτισμός τους με μικροοργανισμούς, κύρια μεθανοβακτήρια από το πεπτικό σύστημα των ζώων. Αυτοί οι μικροοργανισμοί βρίσκουν άφθονο οργανικό υπόστρωμα και αναπτύσσονται σε μεγάλο ή μικρό βαθμό ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος κατά κύριο λόγο, διάσπασης του οργανικού φορτίου, θερμοκρασίας και pH. Προϊόντα της ανάπτυξης των μικροοργανισμών είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, η αμμωνία, το μεθάνιο και διάφορες άλλες δύσοσμες ουσίες. Τα εκλυόμενα αυτά προϊόντα είναι οι γνωστές μας δυσάρεστες οσμές και προκαλούν ανεπιθύμητες καταστάσεις διάφορης έντασης στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στον αποδέκτη. Η ένταση των οσμών αυτών εξαρτάται από τις συνθήκες διατήρησης των αποβλήτων. Ο δε όγκος των αποβλήτων εξαρτάται από το είδος και την ηλικία ή το βάρος των ζώων, καθώς επίσης και από το σύστημα διατροφής. Ο τελικός όγκος, όμως των αποβλήτων που προκύπτει είναι μεγαλύτερος λόγω της αραίωσης τους με νερό από πλυσίματα των χώρων, βροχοπτώσεις ή και διαρροών καθώς επίσης από την προσθήκη στρωμνής (άχυρο, υπολείμματα ζωοτροφών, φτερά, τρίχες κλπ). Πρακτικά πολλές φορές η αραίωση αυτή φτάνει ακόμα και πλέον του δεκαπλάσιου του αρχικού όγκου, στην περίπτωση των χοιροστασίων. Αυτό το χαρακτηριστικό των αποβλήτων έχει οικονομικό αντίκτυπο στο χειρισμό και στο σχεδιασμό της επεξεργασίας τους και αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε μονάδα οπότε και πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση. Με βάση τη σχέση νερού και στερεών συστατικών τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν στερεής, ημιστερεής, ημιρευστής και υγρής μορφής. (Κ. Θεσσαλού- Α. Παπαθεοδώρου- Δ. Γεωργακάκη, 1988)

- Στερεά : Τα κτηνοτροφικά απόβλητα με υγρασία λιγότερη από 80 % ή Ολικά Στερεά (ΟΣ) περισσότερα από 20%. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται:

1. Κοπριά αιγοπροβάτων και πτηνών
 2. Βουστασίων και χοιροστασίων αναμιγμένη με στρωμνή
 3. Στερεά φυγοκεντρικού διαχωρισμού υγρών αποβλήτων χοιροστασίων
- Ημιστερεά : Τα κτηνοτροφικά απόβλητα που περιέχουν υγρασία 80-85% ή Ολικά Στερεά (ΟΣ) περισσότερα από 15-20%. Αυτή τη μορφή έχουν:
 1. Τα στερεά απόβλητα των βουστασίων
 2. Τα στερεά διαχωρισμού (με κόσκινα) υγρών αποβλήτων χοιροστασίων
 3. Στερεά της προηγούμενης μορφής εμπλουτισμένα με νερό (κύρια βροχής)
 - Ημίρευστα : Τα κτηνοτροφικά απόβλητα με υγρασία 85-90% ή Ολικά Στερεά (ΟΣ) περισσότερα από 5-15%. Αυτή τη μορφή έχουν:
 1. Απόβλητα χοιροστασίων και βουστασίων όπως παράγονται από τα ζώα (κοπριά και ούρα)
 2. Απόβλητα χοιροστασίων όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά από την αραίωσή τους με νερά πλύσεως κλπ
 3. Λάσπες των δεξαμενών συγκέντρωσης, επεξεργασίας και αποθήκευσης
 - Υγρά : Τα κτηνοτροφικά απόβλητα που περιέχουν υγρασία πάνω από 95% ή Ολικά Στερεά (ΟΣ) λιγότερα από 5%. Αυτή τη μορφή έχουν τα:
 1. Τα υγρά απόβλητα των χοιροστασίων όπως βγαίνουν από τους στάβλους (συμπεριλαμβανομένων των νερών πλυσίματος και βροχής).
 2. Τα υγρά που προέρχονται από την στράγγιση των κοπροσωρών (χοιροστασίων και βουστασίων)
 3. Τα υγρά τα προερχόμενα από τα συστήματα με προορισμό τον τελικό αποδέκτη. (Κ. Θεσσαλού- Α. Παπαθεοδώρου- Δ. Γεωργακάκη, 1988)

1.1.2 Βιολογικά Χαρακτηριστικά των Αποβλήτων

Ο προσδιορισμός του ρυπαντικού δυναμικού του οργανικού μέρους των αποβλήτων γίνεται με τις εξής παραμέτρους : τα πτητικά στερεά (Π.Σ.), το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών (BOD5) και το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD). Οι ίδιοι παράμετροι χρησιμοποιούνται και για το σχεδιασμό και τον έλεγχο της απόδοσης των συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων. Πιο αναλυτικά, τα Πτητικά Στερεά για 24h προκύπτουν μετά από ξήρανση του δείγματος των αποβλήτων στους 103 °C και στη συνέχεια αποτέφρωση τους στους 550 °C. Τα Πτητικά Στερεά εκφράζονται συνήθως επί τις εκατό (%) των ολικών στερεών . Όπου τα Ολικά Στερεά εκφράζονται συνήθως επί τις εκατό (%) του βάρους των αποβλήτων. Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών (BOD5) έχει καθιερωθεί ως η ικανή παράμετρος να μας δείξει την ικανότητα των αποβλήτων να προκαλέσουν οργανική ρύπανση και κατ' επέκταση ποιοτική υποβάθμιση του αποδέκτη τους και αφορά την ποσότητα του Οξυγόνου που χρειάζεται να καταναλώσουν οι μικροοργανισμοί για να αποσυνθέσουν το βιοαποδομήσιμο μέρος του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, σε διάστημα 5 ημερών, όταν βρεθούν σε ιδανικές συνθήκες (20°C, επάρκεια θρεπτικών συστατικών και απουσία τοξικών ουσιών). Η τιμή της (BOD5) για τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα αντιπροσωπεύει το 16- 60% της ολικής BOD, σε σύγκριση με τα αστικά λύματα για τα οποία το BOD5 φθάνει το 80-90 % του ολικού BOD. Σαν εναλλακτική παράμετρος της BOD5 ή και συμπληρωματικά χρησιμοποιείται το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) που δείχνει την ποσότητα του Οξυγόνου που χρειάζεται για να διαλυθεί όλη η οργανική ύλη των αποβλήτων με χημικό τρόπο. Η COD είναι πάντα μεγαλύτερη από τη BOD5 γιατί οξειδώνει την οργανική ουσία που δεν αποδομείται από τους μικροοργανισμούς ή αποδομείται δύσκολα, καθώς και μέρος των ανόργανων συστατικών των αποβλήτων. Η διαφορά στην τιμή της COD βασίζεται στο γεγονός ότι όλη η οργανική ύλη, εκτός ορισμένων εξαιρέσεων, μπορεί

να οξειδωθεί με την βοήθεια ισχυρών οξειδωτικών μέσων κάτω από όξινες συνθήκες και να μετατραπεί σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. (Κ. Θεσσαλού- Α. Παπαθεοδώρου- Δ. Γεωργακάκη, 1988). Ο πίνακας που ακολουθεί απεικονίζει τον μέσο όρο των χαρακτηριστικών κτηνοτροφικών αποβλήτων από τρία είδη εκτρεφόμενων ζώων ανά μονάδα ζώου και σε κιλά ανά ημέρα:

Μέσος Όρος Χαρακτηριστικών Κτηνοτροφικών αποβλήτων(kg/day)			
Παράμετρος	Χοίροι	Βοοειδή	Πουλερικά(κότες)
Οργανικά υλικά(Organic Matter)	0,448	0,755	0,026
Αιωρούμενα Υλικά(Suspended Matter)	0,470	0,728	0,029
COD	0,726	1,259	0,047
BOD5	0,191	0,180	0,012
Ολικό Άζωτο	0,041	0,036	0,002
Άζωτο Αμμωνιακών	0,022	0,011	0,002
Φώσφορος	0,014	0,011	0,001
Νάτριο	0,016	0,036	0,001

Πίνακας 1: Μέσος Όρος Χαρακτηριστικών Κτηνοτροφικών αποβλήτων(kg/day) (Πηγή: Ανθή Χαραλάμπους, 2014)

1.1.3 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον από τη Διάθεση των Κτηνοτροφικών Αποβλήτων

Οι ζωντανοί οργανισμοί βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση και επαφή με το φυσικό τους περιβάλλον, από το οποίο προσλαμβάνουν τις πρώτες ύλες (τροφές κλπ) και στο οποίο αποδίδουν ότι δεν τους χρειάζεται. Με τον όρο περιβάλλον εννοούμε, το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες. Όπως κάθε οργανισμός, έτσι και ο άνθρωπος, πάντοτε ρύπαιναν το περιβάλλον με τα υποπροϊόντα των δραστηριοτήτων τους. Τη ρύπανση αυτή όμως ήταν σε θέση να αντιμετωπίσουν τα οικοσυστήματα μέσω των μηχανισμών που διαθέτουν. Από τη στιγμή όμως που οι δραστηριότητες του ανθρώπου απέκτησαν εντατικό χαρακτήρα, η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων άχρηστων υλικών ή υποπροϊόντων σε μικρό χώρο δημιούργησε τα προβλήματα ρύπανσης, που είναι εντονότερα, όσο εντονότερες και πιο συγκεντρωμένες είναι οι δραστηριότητες αυτές. Μέσα σε αυτές τις δραστηριότητες υπάγεται και η πτηνοκτηνοτροφική παραγωγή που τις τελευταίες δεκαετίες απέκτησε έντονα επιχειρηματική μορφή με συγκέντρωση μεγάλου αριθμού ζώων σε μικρό χώρο. Συνέπεια αυτής της εντατικοποίησης είναι η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων, οργανικής όπως ειπώθηκε προέλευσης, γύρω από τις μονάδες και η επιτακτική ανάγκη διάθεσής τους στο γύρω περιβάλλον. Τα οικοσυστήματα αδυνατούσαν να αντεπεξέλθουν σε αυτό το μεγάλο μέγεθος αποβλήτων και έτσι προκλήθηκε υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Σε ορισμένες περιοχές το πρόβλημα έγινε εντονότερο με την προσθήκη αποβλήτων κι από άλλες δραστηριότητες. Η προκαλούμενη μόλυνση και ρύπανση δημιουργούν προβλήματα σε μια περιοχή από την διάθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων (κοπριά, ούρα, νερό πλυσίματος χώρων, υπολείμματα ζωοτροφών, νερά βροχής σε ακάλυπτους χώρους διακίνησης των ζώων). Η μόλυνση αφορά την ανάπτυξη και διάδοση των παθογόνων μικροοργανισμών και εξαρτάται κυρίως από την υγιεινονομική κατάσταση και την καθαριότητα των ζώων, καθώς και των χώρων διαβίωσής τους στην μονάδα. Οι επιδημιολογικοί παράγοντες που είναι δυνατόν να εμφανισθούν στα απόβλητα είναι ακίνδunami για τον άνθρωπο, αλλά όχι για τα ζώα. Με σωστό χειρισμό των αποβλήτων αδρανοποιούνται ή και καταστρέφονται σε μεγάλο βαθμό. Ο κίνδυνος της μόλυνσης μπορεί να αντιμετωπισθεί πρακτικά με φυσική ή χημική απολύμανση. Φυσική απολύμανση είναι η εφαρμογή φυσικών

μεθόδων όπως αερισμός, υψηλές θερμοκρασίες και παρατεταμένος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους. Χημική απολύμανση είναι η προσθήκη χλωρίου, ασβεστίου κλπ. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, τόσο αβλαβέστερα γίνονται από υγειονομικής πλευράς, ιδιαίτερα μάλιστα αν συνδυάζονται και με εδαφική διάθεση. Όταν ο τελικός αποδέκτης είναι υδάτινος, η φυσική απολύμανση είναι απαραίτητο να συμπληρώνεται με χημική απολύμανση. Στη ρύπανση υπάγονται η αισθητική υποβάθμιση, η έλκυση δυσσομίας και η ανόργανη και οργανική ρύπανση. Η αισθητική υποβάθμιση αφορά την εμφάνιση των χώρων μέσα και γύρω από τις κτηνοτροφικές μονάδες. Η έκλυση δυσσομίας είναι από τις συνηθέστερες αιτίες προστριβών με τους περίοικους και παρά το ότι τα αέρια που εκλύονται δεν προκαλούν ασθένειες, η ενόχληση που προκαλούν είναι ανάλογη της συγκέντρωσής τους. Γι αυτό, κατά την επιλογή της θέσης της μελλοντικής μονάδας και του χώρου διάθεσης των επεξεργασμένων αποβλήτων θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν η κατεύθυνση των επικρατούντων ανέμων στην περιοχή, το ανάγλυφο του εδάφους και η ιδιαιτερότητα των προσκείμενων κατοικημένων περιοχών. Η ανόργανη ρύπανση προκαλείται από τα διάφορα ανόργανα στοιχεία των αποβλήτων. Κατά σειρά σπουδαιότητας τα συστατικά αυτά είναι το άζωτο, ο φωσφόρος, το κάλιο και ακολουθούν τα άλατα ασβεστίου, μαγνησίου και νατρίου και τέλος τα βαρέα μέταλλα χαλκού, σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου και άλλων. Η κύρια επίπτωση αυτών είναι η εμφάνιση ευτροφισμού σε στάσιμα νερά. Επίσης μπορεί να προκληθεί αύξηση της αλατότητας στα νερά ή στο έδαφος καθώς επίσης και εμφάνιση τοξικότητας από υπερβολική συγκέντρωση ορισμένων συστατικών π.χ. αμμωνίας. Τέλος, η οργανική ρύπανση αφορά στη διάθεση οργανικών ουσιών στον αποδέκτη, συνέπεια της οποίας είναι η ανάπτυξη κατά προτεραιότητα αερόβιων μικροοργανισμών που ενυπάρχουν σε αυτά ή στον αποδέκτη με ρυθμό ανάλογο της ποσότητας της οργανικής ύλης και του βαθμού βιοαποικοδομησιμότητάς της. Συνέπεια αυτής της ανάπτυξης είναι η κατανάλωση του οξυγόνου του αποδέκτη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από λίγες ώρες, έως λίγες εβδομάδες. Ο βαθμός μείωσης τελικά του διαθέσιμου οξυγόνου στον αποδέκτη, εξαρτάται από τον ρυθμό αναπλήρωσης του σε αυτόν. Συνεπώς αν ο ρυθμός κατανάλωσης υπερέχει σε σχέση με τον ρυθμό αναπλήρωσης, όπως συνήθως συμβαίνει στους υδάτινους αποδέκτες, τότε γρήγορα δημιουργείται έλλειψη οξυγόνου και θάνατος των αερόβιων οργανισμών από ασφυξία. (Κ. Θεσσαλού- Α. Παπαθεοδώρου- Δ. Γεωργακάκη, 1988)

1.1.4 Διαχείριση των αποβλήτων μέσα στον στάβλο

Ο χειρισμός των αποβλήτων μέσα στα κτίρια στέγασης των ζώων, έχει σκοπό την διατήρηση των χώρων καθαρών και του περιβάλλοντος των ζώων απαλλαγμένου από οσμές και αέρια, που επηρεάζουν δυσμενώς την ανάπτυξή τους και τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού. Επιπλέον αποβλέπει στην ελαχιστοποίηση των ενοχλήσεων των περιοίκων και περαστικών από την δυσσομία, που συνήθως επικρατεί γύρω από τις πτηνοκτηνοτροφικές μονάδες. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με :

- Σωστή σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος
- Τακτική και προγραμματισμένη απομάκρυνση των αποβλήτων
- Σωστό αερισμό των χώρων διαβίωσης των ζώων.

Επιτυχημένο αποχετευτικό σύστημα θεωρείται εκείνο που έχει σχεδιασθεί για την χωρίς πρόβλημα διατήρηση και απομάκρυνση των αποβλήτων, ανάλογα με τη μορφή και τον όγκο τους. Για τα στερεά και ημιστερεά απόβλητα η απομάκρυνση γίνεται με μηχανικά ξέστρα και πτύα προσαρμοσμένα σε ελκυστήρα ή αυτόματα με συνεχή ταινία, αλυσίδα ή κοχλία. Στις περιπτώσεις αυτές δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα λειτουργίας και η απομάκρυνση των αποβλήτων είναι συνήθως ικανοποιητική αρκεί ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός να είναι ο κατάλληλος για την μορφή και τον όγκο των αποβλήτων. Για τα υγρά και ημιυγρά

απόβλητα, η απομάκρυνση γίνεται με φυσική ροή μέσα στο αποχετευτικά κανάλια κατά τακτά χρονικά διαστήματα ή συνεχώς με υπερχειλίση. Σε αυτήν την περίπτωση συνιστάται η συγκέντρωση των αποβλήτων μέσα στα κανάλια για διάστημα από 1 μέχρι 15 ημερών και στην συνέχεια ανοίγεται μια θυρίδα στο άκρο των καναλιών και τα απόβλητα ρέουν έξω από το κτίριο προς το κεντρικό σημείο συλλογής τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις η διατήρησή του περιεχομένου μέσα στα κανάλια μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 3 μήνες (αποθηκευτικά κανάλια). Για την αποτελεσματικότερη διακίνηση των αποβλήτων μέσα στα κανάλια μπορεί να προστεθεί νερό σε προκαθορισμένες ποσότητες. Οι τύποι των καναλιών είναι τρεις:

- Τα στενά και βαθιά κανάλια : αυτά συγκεντρώνουν και απομακρύνουν τα υγρά απόβλητα από κελιά με συμπαγές έδαφος. Είναι αυτοεκκενούμενα και δεν επιτρέπουν την καθίζηση των στερεών στον πυθμένα του καναλιού λόγω μικρού χρόνου παραμονής. Η γρήγορη εκκένωση περιορίζει την παραγωγή αερίων και την έκλυση οσμών.
- Τα κανάλια ρυθμιζόμενης εκκένωσης: αυτά είναι ρηχά σχήματος V ,U,ή Y κάτω από εσχαρωτά δάπεδα. Τα απόβλητα παραμένουν σε αυτά για περίοδο 4 μέχρι 7 ημερών συνήθως. Στη συνέχεια αποφράσσεται το ένα άκρο τους με την μετακίνηση εμβόλου, σωλήνα ή άλλου μέσου και εκκενώνονται εκτός κτιρίου.
- Τα κανάλια συνεχούς ροής: αυτά χρησιμοποιούνται στα βουστάσια αλλά και κάτω από τα εσχαρωτά δάπεδα των χοιροστασιών. Στο κατώτερο άκρο τους υπερυψώνονται κατά 15-20 cm ώστε να υπερχειλίζει η περίσσεια των υγρών. Σε αυτά το πλάτος δεν είναι περιοριστικός παράγοντας, αντίθετα είναι σημαντικό να διατηρείται το περιεχόμενό τους σε υγρή κατάσταση και το στόμιο εξόδου των καναλιών να μην επιτρέπουν την επιστροφή των δύσσομων αερίων ή την εισαγωγή κρύου αέρα από τον χώρο διακίνησης των αποβλήτων προς τον χώρο διατήρησης των ζώων.

Για την διατήρηση των αποβλήτων σε υγρή μορφή συνιστάται η προσθήκη νερού κατά διαστήματα και ιδιαίτερα αμέσως μετά την εκκένωσή τους με άνοιγμα θυρίδας. Στα κανάλια συνεχούς ροής συνιστάται η εκκένωση και το πλύσιμό τους με νερό για πλήρη απομάκρυνση των στερεών που καθιζάνουν στον πυθμένα. Τέλος, με την διατήρηση των καναλιών εμβαπτισμένα στα υγρά αποφεύγεται η εισροή αερίων από τους χώρους διακίνησης των αποβλήτων προς τον χώρο διατήρησης των ζώων. Εκτός από τη σωστή σχεδίαση και λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος, η αποτελεσματική αντιμετώπιση των οσμών ολοκληρώνεται με τον ενδεδειγμένο αερισμό στο επίπεδο των καναλιών. Ο αερισμός στο επίπεδο των καναλιών μπορεί να γίνει είτε μέσω διάτρητου αεραγωγού κατά μήκος των αποχετευτικών καναλιών, είτε μέσω θαλαμίσκων εφοδιασμένων με ανεμιστήρες εξαερισμού πλευρικά των αποχετευτικών καναλιών. Οι ανεμιστήρες αυτοί, λόγω του ότι λειτουργούν κάτω από έντονα διαβρωτικές συνθήκες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση π.χ. ανοξείδωτο χάλυβα ή πλαστικό. (Κ. Θεσσαλού- Α. Παπαθεοδώρου- Δ. Γεωργακάκη, 1988)

1.1.5 Διαχείριση των αποβλήτων έξω από τους στάβλους

Η διαχείριση των αποβλήτων έξω από τους χώρους παραγωγής τους είναι ζήτημα επεξεργασίας και διάθεσης του τελικού προϊόντος. Πριν από κάθε προσπάθεια διαχείρισης πρέπει να εξετάζεται με κάθε λεπτομέρεια ο τρόπος λειτουργίας της μονάδας που παράγει τα απόβλητα και οι δυνατότητες του τελικού αποδέκτη που προορίζεται να τα δεχτεί. Ένα σύστημα διαχείρισης αποβλήτων με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος θεωρείται επιτυχημένο, όταν συνδυάζει διάφορες εναλλακτικές λύσεις που παρέχουν αποδεκτό επίπεδο ποιότητας περιβάλλοντος και παράλληλα εξασφαλίζουν οικονομία και απλότητα στη λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων. Οι διάφορες εναλλακτικές λύσεις μπορεί να επηρεάζονται από νομικούς, διοικητικούς, δανειοδοτικούς και κοινωνικοπολιτικούς περιορισμούς, ανάλογα με τις απαιτήσεις προστασίας του περιβάλλοντος σε κάθε περιοχή. Βασική αρχή κατά την επιλογή ενός συστήματος επεξεργασίας και διάθεσης

αποβλήτων θα πρέπει να αποτελεί το γεγονός ότι σε καμιά περίπτωση δεν επιτρέπεται να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα με τη μεταφορά του ή τη δημιουργία νέου σε κάποια άλλη περιοχή. Ως εκ τούτου η λύση του θέματος επί τόπου είναι και η καλύτερη. Το μέγεθος και το είδος των απαιτούμενων εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αποβλήτων μιας γεωργοκτηνοτροφικής δραστηριότητας καθορίζεται βασικά από τον τύπο και το μέγεθος της δραστηριότητας που τα δημιουργεί, καθώς επίσης και από τις δυνατότητες του αποδέκτη και την ισχύουσα νομοθεσία, που ορίζει τους όρους διάθεσης. Όσον αφορά τον αποδέκτη των επεξεργασμένων αποβλήτων, εξετάζεται αν αυτός είναι το φυσικό έδαφος, κάποιο υδάτινο ρέμα ή ποτάμι ή τέλος ο κεντρικός σταθμός επεξεργασίας αστικοβιομηχανικών αποβλήτων της περιοχής. Παράλληλα εκτιμώνται οι ιδιαίτερες συνθήκες του αποδέκτη, όπως τα ρεύματα του αέρα, η σχέση βροχόπτωσης και επιφανειακής απορροής, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, οι προβλεπόμενες προδιαγραφές ποιότητας του νερού, η απόσταση από κατοικημένες περιοχές, η ύπαρξη και η πυκνότητα τυχόν, άλλων εστιών ρύπανσης στην περιοχή οι οποίες και χρησιμοποιούν τον ίδιο αποδέκτη και τέλος οι κοινωνικοπολιτικές συνθήκες της περιοχής. Άλλη μια επιπλέον παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι η εξέταση της μελλοντικής ανάπτυξης της περιοχής π.χ. η διαμόρφωση των κοινωνικοπολιτικών συνθηκών (επέκταση οικιστικών- βιομηχανικών ζωνών, οι τυχόν αυξημένες απαιτήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος κλπ). Η τυχόν ύπαρξη αναπτυξιακών μελετών, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη σε μια τέτοια περίπτωση. Μετά την εξέταση των παραπάνω παραγόντων γίνεται δυνατή η επιλογή του καταλληλότερου κατά περίπτωση συστήματος επεξεργασίας των αποβλήτων. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της μονάδας και όσο πιο ακατάλληλος είναι ο αποδέκτης τόσο εντονότερη και συστηματικότερη επεξεργασία των αποβλήτων απαιτείται. Αντίθετα, όσο μικρότερη είναι η μονάδα και καταλληλότερος ο αποδέκτης, τόσο απλούστερη και οικονομικότερη μπορεί να είναι η λύση, που μπορεί να προταθεί. Για το βαθμό της απαιτούμενης επεξεργασίας υπάρχουν γενικά τρεις επιλογές :

- ✓ Η πρώτη επιλογή αφορά στη μερική επεξεργασία των αποβλήτων με σκοπό την ελάττωση του άμεσα αποικοδομήσιμου ρυπαντικού τους φορτίου με στόχο την εξάλειψη των οσμών και τη βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων (απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων και φερτών υλών κλπ) και χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα του γύρω περιβάλλοντος. Η επιλογή αυτή αφορά στις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο τελικός αποδέκτης είναι το φυσικό έδαφος καλλιεργούμενο ή μη.
- ✓ Η δεύτερη επιλογή αφορά στη μέγιστη δυνατή επεξεργασία των αποβλήτων και συνιστά την ακριβότερη λύση. Κρίνεται όμως επιβεβλημένη για ορισμένες περιπτώσεις που οι ιδιαίτερες συνθήκες το απαιτούν π.χ. λειτουργία της μονάδας κοντά σε κατοικημένες ή πολυσύχναστες περιοχές, ελλείψει επαρκούς επιφάνειας εδαφικού αποδέκτη, ύπαρξη επιφανειακών νερών καλής ποιότητας, υψηλός υπόγειος υδάτινος ορίζοντας κλπ.
- ✓ Η τρίτη επιλογή αφορά στη χρησιμοποίηση μεθόδων, που καθιστούν τα απόβλητα ή ορισμένων από τα συστατικά τους άμεσα αξιοποιήσιμων π.χ. λίπασμα, ζωοτροφή, βιοαέριο κλπ

Από τις τρεις επιλογές η πρώτη θα πρέπει να εξετάζεται κατά προτεραιότητα, λόγω της μεγαλύτερης οικονομικότητας και ευελιξίας κατά την εφαρμογή της. Από την φύση τους οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες ιδιαίτερα εκείνες μικρού και μεσαίου μεγέθους, προσιδιάζουν προς την επιλογή αυτή. Αντίθετα, η δεύτερη επιλογή προσιδιάζει περισσότερο σε μεγάλες, σύγχρονες, βιομηχανικού τύπου μονάδες και γενικότερα στις βιομηχανίες τροφίμων. Η τρίτη επιλογή έχει την δυνατότητα εφαρμογής σε όλες τις περιπτώσεις σε συνδυασμό όμως, με κάποια από τις άλλες δύο και αφορά μάλλον ειδικού τύπου περιπτώσεις διάθεσης των τελικών υγρών και στερεών για λίπανση καλλιεργειών, που αποκτά ημέρα με την ημέρα όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Με

τα σημερινά δεδομένα και τις τάσεις που επικρατούν, για την προστασία των ευαίσθητων υδάτινων αποδεκτών, η πρώτη επιλογή τείνει να αποτελέσει πια τον κανόνα. Ένα αποδεκτό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων θα πρέπει να είναι τεχνικά άρτιο, οικονομικά ανταγωνιστικό, να απαιτεί ελάχιστη συντήρηση και γενικά παρακολούθηση, να είναι απλό στη λειτουργία του, να μη δημιουργεί ενοχλήσεις ή κακές συνθήκες εργασίας του προσωπικού, στους περίοικους και στα αγροτικά ζώα. Τέλος θα πρέπει να επιτρέπει προσαρμογή σε νέα τεχνολογία, να είναι ευέλικτο και να επιδέχεται επέκταση. Η απλότητα και η αξιοπιστία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αποβλήτων είναι μεγάλης σημασίας, παρά το ότι θεωρείτο δευτερεύουσας σημασίας η απασχόληση με τα απόβλητα και όχι άμεσου οικονομικού ενδιαφέροντος για τον παραγωγό. Ως εκ τούτου θα πρέπει να μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά με το λιγότερο δυνατό προσωπικό, τόσο σε αριθμό όσο και σε επίπεδο εξειδίκευσης. (Δ. Γεωργακάκης, 1998)

1.1.6 Απαραίτητοι χειρισμοί στα απόβλητα πριν την επεξεργασία τους (πρωτογενής επεξεργασία)

Πριν εφαρμοστεί η δευτερογενής επεξεργασία των αποβλήτων είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιοι χειρισμοί που έχουν σκοπό την απομάκρυνση του μεγαλύτερου ποσοστού από τα χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αιωρούμενα, καθιζήσιμα και επιπλέοντα συστατικά που υπάρχουν στα απόβλητα και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων βιολογικής επεξεργασίας. Οι χειρισμοί αυτοί είναι γενικά :

1. Ο διαχωρισμός ή η αποφυγή ανάμιξης βρόχινου νερού από στέγες που 'βλέπουν' στους ανοιχτούς χώρους άσκησης των ζώων με τα απόβλητα.
2. Η απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων και φερτών υλικών από τα απόβλητα με τη χρήση μεταλλικών εσχάρων.
3. Η εξισορρόπηση του όγκου των αποβλήτων με την προσωρινή τους αποθήκευση σε δεξαμενές εξισορρόπησης ή ομογενοποίησης για διάστημα ολίγων ωρών ή μιας- δύο κατά προσέγγιση ημερών πριν την διοχέτευσή τους στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Η δεξαμενή αυτή ονομάζεται δεξαμενή συλλογής-εξισορρόπησης και μπορεί να φέρει κάλυμμα από πλαστικό δίχτυ ή φύλλα PVC για ελάττωση των οσμών. Συνιστάται η εγκατάστασή της σε τέτοιο σημείο ώστε τα απόβλητα από το αποχετευτικό σύστημα να καταλήγουν σε αυτή με φυσική ροή. Επιβάλλεται η παράλληλη πλήρης ομοιογενοποίηση του περιεχομένου της με σύστημα τύπου προπέλας ή ιδιαίτερης αντλίας βορβόρου.
4. Η απομάκρυνση φερτών υλών για παράδειγμα απόβλητα σφαγείων, υπολείμματα τροφής κ.α για να αποφευχθεί η απόφραξη των αγωγών μεταφοράς των αποβλήτων, των αντλιών και γενικά των εγκαταστάσεων κύριας επεξεργασίας.

Η απομάκρυνση των συστατικών αυτών για τα χοιροστάσια με ή χωρίς σφαγείο γίνεται με την εγκατάσταση και λειτουργία των μηχανικών διαχωριστών. Οι μηχανικοί διαχωριστές είναι περιστρεφόμενες σήτες, στατικά, δονούμενα ή φυγοκεντρικά κόσκινα ή τέλος κόσκινα με σύστημα κυλίνδρων συμπίεσης και βουρτσών σάρωσης των στερεών. Μετά τον μηχανικό διαχωρισμό των υγρών και στερεών, τα υγρά απόβλητα των χοιροστασίων καταλήγουν με φυσική ροή σε μια τσιμεντένια συνήθως ή χωμάτινη δεξαμενή χωρητικότητας 5-15 ημερών. Εκεί τα απόβλητα παραμένουν σε ηρεμία και έτσι απομακρύνονται με φυσική καθίζηση και επίπλευση όλα τα λεπτόκοκκα συστατικά π.χ. μικροβιακά συσσωματώματα, τρίχες. Σχηματίζεται έτσι ένα ίζημα ή ιλύς στον πυθμένα και μια αφρώδης κρούστα στην επιφάνεια, τα οποία υφίστανται βραδεία χώνευση. Στη δεξαμενή αυτή

απομακρύνονται συνήθως το 15 % της BOD5 και το 25 % της COD και το 25% των ολικών στερεών, ανάλογα με την πυκνότητά τους και τη σύνθεση της τροφής. Τα υγρά στη συνέχεια απομακρύνονται με υπερχειλίση ή άντληση προς τις εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας. Η μέθοδος της καθίζησης όταν εφαρμόζεται πριν την κανονική επεξεργασία των αποβλήτων ονομάζεται πρωτογενής καθίζηση. Μπορεί να εφαρμοσθεί όμως και μετά την αερόβια βιολογική επεξεργασία οπότε ονομάζεται δευτερογενής καθίζηση. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση του βιολογικού ιζήματος από τα υγρά εκροής. (Δ. Γεωργακάκης, 1998). Στον πίνακα 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ανεπιθύμητες ουσίες, οι ανασταλτικές ουσίες και τα συχνά προβλήματα που οι ουσίες αυτές δημιουργούν αν δεν απομακρυνθούν πριν την δευτερογενή επεξεργασία των αποβλήτων:

Είδος εκτροφείου	Ανεπιθύμητες ουσίες	Ανασταλτικές ουσίες	Συχνά προβλήματα
Χοιροστάσια	Αχυροστρωμνή, τρίχες	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά	Αφρισμός, ιζήματα
Βουστάσια	Τρίχες, στρωμνή, NH ₄ ⁺	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά	Χαμηλή μετατροπή σε βιοαέριο
Πτηνοτροφεία(κότες)	NH ₄ ⁺ , άμμος, φτερά	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά	Πρόβλημα με αμμωνία, αφρισμός

Πίνακας 2: Ανεπιθύμητες ουσίες, ανασταλτικές ουσίες και συχνά προβλήματα που αυτές δημιουργούν σε περίπτωση μη απομάκρυνσης τους πριν την δευτερογενή επεξεργασία των κτηνοτροφικών αποβλήτων (Πηγή: Ανθή Χαραλάμπους, 2014)

1.2 Είδη δευτερογενούς επεξεργασίας

Η άμεση διασπορά της κοπριάς είναι συχνά η προτιμώμενη μέθοδος χρησιμοποίησης της, αλλά κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό. Εάν το έδαφος που πρέπει να εφαρμοστεί είναι μακριά από την εκμετάλλευση ή η τοποθεσία είναι κοντά σε κατοικημένη περιοχή και υπάρχει πρόβλημα με την οσμή, θα πρέπει να υπάρχει κάποιο είδος επεξεργασίας πριν από τη εφαρμογή της. Δυστυχώς όμως η επεξεργασία δεν μπορεί να μειώσει την ανάγκη μεγάλης έκτασης γης που απαιτείται για την εφαρμογή και μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απώλεια αζώτου(ως αμμωνία) από την κοπριά.

Η κοπριά επεξεργάζεται για τους εξής λόγους:

- Για να μειωθεί ο όγκος και το βάρος της
- Για να μειωθεί η μυρωδιά της
- Για να σκοτωθούν οι παθογόνοι οργανισμοί και οι σπόροι των ζιζανίων.

Οι διαδικασίες επεξεργασίας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες : φυσική, χημική και βιολογική. Η φυσική επεξεργασία περιλαμβάνει απλές διαδικασίες όπως αυτή της καθίζησης, διήθησης, ξήρανσης και έχει σκοπό να αλλάξει τα χαρακτηριστικά της κοπριάς. Η χημική επεξεργασία γίνεται με την προσθήκη ουσιών. Τέλος η βιολογική επωφελείται των φυσικών μικροοργανισμών που υπάρχουν στην κοπριά για να αλλάξουν τις ιδιότητες της. (Βαρβάρας Ιωάννης, 2009)

1.2.1 Φυσική επεξεργασία

Μερικές φορές χρειάζεται να διαχωριστούν τα στερεά και υγρά μέρη της κόπρου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με φυσική επεξεργασία για τους ακόλουθους σκοπούς:

- Για επαναχρησιμοποίηση της κοπριάς ως κλινοστρωμνή.
- Για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και η διηθητικότητα των αγρών.
- Για να χρησιμοποιηθούν τα υγρά ως ξέπλυμα.
- Για να μειωθεί ο όγκος των αποβλήτων κατά τη μεταφορά τους.

Και περιλαμβάνει:

1. Ομογενοποίηση

Η ομογενοποίηση της κοπριάς (κόπρανα+ούρα+στρωμνή κ.λ.π.) είναι το πρώτο στάδιο πριν από την έναρξη της επεξεργασίας της. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την ομογενοποίησή της και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι ανάλογα με το είδος και τις ιδιότητες της κοπριάς. Η φρέσκια κοπριά μεταφέρεται με το σύστημα απομάκρυνσής της από το στάβλο στη δεξαμενή συγκέντρωσης. Εδώ δεν πρέπει να παραμείνει παραπάνω από 7 ημέρες, προκειμένου να αποφευχθεί η διάσπασή της και να μη σχηματιστεί επιφανειακή κρούστα, καθώς και να μην κατακαθίσει στον πυθμένα.

Το ύψος της κοπριάς μέσα στη δεξαμενή συγκέντρωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2,80 έως 3,00 μέτρα, διότι για μεγαλύτερο ύψος καθίσταται δύσκολη η ομογενοποίησή της και απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς μηχανημάτων για την ομογενοποίηση.

Στη δεξαμενή συγκέντρωσης γίνεται η ομογενοποίηση της κοπριάς. Η δεξαμενή αυτή πρέπει να είναι κυλινδρική δεδομένου ότι συνήθως έχει χαμηλότερο κατασκευαστικό κόστος, αλλά και χαμηλότερο κόστος ομογενοποίησης της κοπριάς.

2. Διαχωρισμός

Όταν σε μια κτηνοτροφική μονάδα παράγονται μεγάλες ποσότητες κοπριάς ή εάν πρέπει η κοπριά που παράγεται να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο καταλληλότερος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής πλευράς είναι να γίνει διαχωρισμός της κοπριάς σε στερεή και υγρή φάση.

Αφού ομογενοποιηθεί η κοπριά αντλείται προς την εγκατάσταση του συστήματος διαχωρισμού. Βασικά υπάρχουν δύο συστήματα διαχωρισμού ανάλογα με την πυκνότητα της κοπριάς, το σκοπό για τον οποίο γίνεται ο διαχωρισμός και την οικονομικότητα του όλου συστήματος:

α) Παλινδρομικοί διαχωριστές (με κόσκινο), όπου ο διαχωρισμός γίνεται μηχανικά ανάλογα με το μέγεθος των συστατικών της κοπριάς.

β) Περιστροφικοί διαχωριστές, με τους οποίους ο διαχωρισμός γίνεται με τη φυγόκεντρο δύναμη (φυγοκεντρικοί διαχωριστές) ανάλογα με το ειδικό βάρος των συστατικών της κοπριάς, ή με περιστρεφόμενη ταινία.

Η υφή της υγρής φάσης είναι υδαρής και μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα σε απλές χωμάτινες δεξαμενές, χωρίς προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος (οσμής κ.λ.π.), εφόσον η διαπερατότητα του εδάφους είναι χαμηλή και δεν υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Επίσης δεν υπάρχει πρόβλημα δημιουργίας κρούστας ή κατακάθισης λάσπης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πλαστική επικάλυψη.

Η στερεή φάση της κοπριάς, μετά το διαχωρισμό της περιέχει ξηρή ουσία σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20% και μπορεί να διατηρηθεί για απεριόριστο χρόνο κάτω από υπόστεγο για να προστατευτεί από την

έκπλυση εξαιτίας της βροχής. Η διαδικασία της ζύμωσης στη στερεή φάση αρχίζει αμέσως μετά το διαχωρισμό της κοπριάς.

3. Ξήρανση

Χρησιμοποιείται κυρίως για τη μείωση του όγκου αφού βοηθάει το νερό να εξατμιστεί, συγκεντρώνοντας έτσι μόνο τα στερεά. Τα συστήματα ξήρανσης πρέπει να καλύπτονται για την προστασία τους από τις βροχοπτώσεις, και συμπληρωματικά αυτοί οι χώροι να θερμαίνονται ή να αερίζονται επαρκώς ώστε να επιτυγχάνεται ταχεία εξάτμιση. (Βαρβάρας Ιωάννης, 2009)

1.2.2 Χημική επεξεργασία

Γίνεται χρήση χημικών παραγόντων για την πήξη της κοπριάς όπως χλωριούχος τρισθενής σίδηρος, ασβέστης και οργανικά πολυμερή τα οποία μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αφυδάτωση της κοπριάς. Αυτές οι χημικές ουσίες ενώνουν τα στερεά μέσα στην κοπριά και συσσωματώνοντας τα μικρότερα σωματίδια βελτιώνουν την απομάκρυνση τους με διήθηση. Η χρήση αυτών των ουσιών θα πρέπει να γίνεται με προσοχή γιατί μερικοί προκαλούν διάβρωση και άλλοι είναι πολύ ολισθηροί σε περίπτωση που χυθούν κατά λάθος. Η αύξηση του pH της κοπριάς σε pH 12 για 30 λεπτά σκοτώνει πολλούς από τους μικροοργανισμούς που ζουν στην κοπριά. Το αποτέλεσμα είναι η εξαφάνιση της μυρωδιάς και ο περιορισμός της εξάπλωσης οποιασδήποτε νόσου, αν αυτή υπάρχει. Ο ασβέστης(CaO) ή ο ένυδρος ασβέστης(CaOH) χρησιμοποιούνται συνήθως για να αυξήσουν το επίπεδο του pH των αποβλήτων των ζώων. Η άμεση απώλεια της αμμωνίας από την κοπριά είναι ένας περιορισμός σε αυτό τον τρόπο επεξεργασίας. Τόσο ο ασβέστης όσο και ο ένυδρος ασβέστης είναι υψηλής δραστηριότητας και πρέπει να αντιμετωπίζονται με εξαιρετική προσοχή. Αντιθέτως τα οργανικά πολυμερή γίνονται από χημικές ουσίες, μικρόβια, βακτήρια, ένζυμα, χρησιμοποιούνται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό και έχουν ως κύριο σκοπό τον περιορισμό της οσμής. Η αποτελεσματικότητα των προσθέτων ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κοπριάς. (Βαρβάρας Ιωάννης, 2009)

1.2.3 Βιολογική επεξεργασία

1.2.3.1 Αναερόβια επεξεργασία

Η μέθοδος αυτή στερεοποιεί τα κτηνοτροφικά απόβλητα χρησιμοποιώντας φυσικές διεργασίες, οι οποίες αναπτύσσονται απουσία οξυγόνου και υψηλής πίεσης που αναπτύσσονται μέσα στις κλειστές υπόγειες δεξαμενές εναπόθεσης τους(χωνευτήρια). Το πλεονέκτημά τους είναι η μείωση των οσμών στην κοπριά η οποία στη συνέχεια θα εφαρμοστεί.

Ενώ τα μειονεκτήματα είναι :

- Σε περίπτωση λάθους στην κατασκευή θα υπάρχει πρόβλημα με τις μυρωδιές.
- Η αμμωνία χάνεται στην ατμόσφαιρα.
- Χρειάζεται μεγάλες εγκαταστάσεις σε σχέση με αυτές για την απλή εναπόθεση και αποθήκευση της κοπριάς.

- Η λάσπη στον πυθμένα θα πρέπει να καθαρίζεται συχνά ώστε να λειτουργεί σωστά η εγκατάσταση.
- Χρειάζεται μεγάλη ποσότητα νερού κατά την έναρξη της διαδικασίας.
- Έχει μεγάλο κόστος κατασκευής.
- Θέλει εξειδικευμένο προσωπικό.

Η διαδικασία αυτή έχει δύο στάδια. Στο πρώτο μια ομάδα από βακτήρια μετατρέπουν το λίπασμα σε οργανικά οξέα. Ενώ στο δεύτερο μια άλλη ομάδα μετατρέπει τα οργανικά οξέα σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί την δημιουργία του σωστού περιβάλλοντος για τα βακτήρια τα οποία δεν θέλουν απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας ή του pH. Η υψηλή θερμοκρασία ευνοεί την όλη διαδικασία η οποία διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ ο χαλκός, το αρσενικό και τα αντιβιοτικά είναι τοξικά για ορισμένα βακτήρια που αναπτύσσονται.

Έτσι μπορούμε να πούμε πως αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου. Αυτό στη συνέχεια συγκεντρώνεται στην οροφή της δεξαμενής, όπου αντλείται και μεταφέρεται σε υπέργειες δεξαμενές υπό πίεση για περαιτέρω χρήση. (Βαρβάρας Ιωάννης, 2009)

1.2.3.2 Αερόβια επεξεργασία

A. Ανοικτές δεξαμενές

Στην επεξεργασία αυτή χρησιμοποιούνται εξωτερικές ανοικτές δεξαμενές και η στερεοποίηση των αποβλήτων του ζωικού κεφαλαίου επέρχεται μέσω της προσθήκης του οξυγόνου. Με την προσθήκη μεγάλης ποσότητας οξυγόνου στην κοπριά, εμφανίζονται βακτηρίδια που αρχίζουν να διαχωρίζουν την κοπριά και να μειώνουν τη μυρωδιά σε περίοδο από έναν έως έξι μήνες. Η αερόβια πέψη είναι μια διαδικασία που δεν έχει πολλά στάδια. Τα βακτήρια χρησιμοποιούν το οξυγόνο για να μετατρέψουν τα κτηνοτροφικά απόβλητα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Οι δεξαμενές μπορούν να έχουν είτε φυσικό αερισμό είτε μηχανικό. Αυτές με φυσικό αερισμό καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο και έχουν βάθος περίπου 0,5 με 1,5 μέτρα ενώ οι άλλες έχουν αντλίες επιφανείας ή εσωτερικές για να διοχετεύουν τον απαραίτητο αέρα σε όλο το μίγμα.

Τα πλεονεκτήματα του αυτού του συστήματος είναι:

- Ελαχιστοποίηση των οσμών.
- Μικρότερος χρόνος απ' ότι στην αναερόβια διαδικασία.
- Χαμηλότερο κόστος κατασκευής.
- Η διαδικασία διαρκεί πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα.

B. Κλειστές υπόγειες δεξαμενές όπου γίνεται χορήγηση ατμοσφαιρικού αέρα.

Σε αυτή την περίπτωση στη μάζα της κοπριάς, με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων αερισμού χορηγούμε ατμοσφαιρικό αέρα. Ο αέρας χορηγείται με τη μορφή όσο το δυνατόν πιο μικρών (μικρότερης διαμέτρου) φυσαλίδων. Είναι μια εξωθερμική αερόβια επεξεργασία της υγρής φάσης

της κοπριάς, η οποία γίνεται μέσα σε αντιδραστήρες(ειδικές δεξαμενές με θερμική μόνωση των τοιχωμάτων τους). Οι οργανικές ουσίες της κοπριάς οξειδώνονται σε CO₂, νερό, νιτρικές, θειικές και φωσφορικές ενώσεις. Μόνο ένα μικρό μέρος των οργανικών αυτών ουσιών δεν αποσυντίθενται. Η ενέργεια, η οποία είναι δεσμευμένη στις οργανικές ουσίες, απελευθερώνεται κατά την οξείδωσή τους και έτσι ανεβάζει τη θερμοκρασία της μάζας της κοπριάς σε 36-45°C. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω της τοποθέτησης εναλλακτών θερμότητας μέσα στους αντιδραστήρες και να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση νερού, χώρων, θέρμανση δαπέδου κ.λ.π. (Βαρβάρας Ιωάννης, 2009)

1.3. Επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα και διεθνώς

1.3.1 Παρούσα κατάσταση

Στην Ελλάδα υλοποιήθηκε μία σειρά έργων για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιαερίου με πρώτη ύλη κυρίως κτηνοτροφικά απόβλητα και απόβλητα από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, όπως απόβλητα ελαιοτριβείων, κατά τη δεκαετία του 1980. Κάποια από αυτά ήταν έργα επίδειξης τα οποία, μετά τον αρχικό ενθουσιασμό και την εξασφάλιση επιστημονικής υποστήριξης σταμάτησαν την λειτουργία τους. Στις μέρες μας, η εκμετάλλευση του βιοαερίου αποτελεί μια γνωστή τεχνολογία στις περιπτώσεις των ΧΥΤΑ και των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Ωστόσο, υπάρχει ακόμη έλλειψη γνώσης και πληροφόρησης όχι μόνο των αγροτών αλλά και των βιομηχανιών και του ευρύτερου κοινού γενικότερα, σχετικά με τις δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων, της τελικής τους χρήσης (π.χ. παραγωγή ηλεκτρισμού, κάλυψη θερμικών αναγκών, έγχυση στο δίκτυο του φυσικού αερίου, χρήση ως καύσιμο στις μεταφορές) και των πλεονεκτημάτων τους. Γενικά, η Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ) χρησιμοποιείται ως μία μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων και δε συνοδεύεται από την παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας σε ευρεία κλίματα μέχρι στιγμής. Στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται διάθεση των αποβλήτων μετά από κάποια επεξεργασία, αντί της υιοθέτησης μιας γνωστής και ολοκληρωμένης τεχνολογίας - όπως είναι η αναερόβια χώνευση - για την παράλληλη παραγωγή βιοαερίου και τη χρήση του υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό. Επιπλέον, η διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων δεν έχει δημιουργήσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα έως τώρα, σε σύγκριση με τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Στις περισσότερες μάλιστα περιπτώσεις, η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» δεν εφαρμόζεται επαρκώς, αν και η ελληνική περιβαλλοντική νομοθεσία είναι αυστηρή. Το 2006 οι ΑΠΕ συνεισέφεραν 1,8 ΜΤΙΠ της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης. Η βιομάζα συνεισέφερε το 56% αυτού καλύπτοντας κυρίως θερμικές ανάγκες. Το βιοαέριο που παρήχθη από ΕΕΛ, ΧΥΤΑ και λίγες βιομηχανικές εφαρμογές συνεισέφερε 36 χιλιάδες ΤΙΠ, κυρίως λόγω της ηλεκτροπαραγωγής. Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων βιοαερίου ανήλθε σε 24MW, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ ήταν 3.894 MW. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο ανήλθε σε 92 GWh (1,1% στο σύνολο της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ). Το έτος 2007 στην Ελλάδα λειτουργούσαν δεκαπέντε μονάδες βιοαερίου. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η εκμετάλλευση του βιοαερίου καλύπτει τις θερμικές ανάγκες των μονάδων. Παρ' όλα αυτά, η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο ανήλθε σε 37,4 MW και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε 155,9 GWh. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας παρήχθη στην Αθήνα, λόγω της λειτουργίας μονάδων βιοαερίου στην ΕΕΛ της Ψυτάλλειας και στον ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων, χώροι οι οποίοι επεξεργάζονται υγρά και στερεά απόβλητα αντίστοιχα. Η κύρια αγορά βιοαερίου στην Ελλάδα αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή (από ΧΥΤΑ και Βιολογικούς Καθαρισμούς) ενώ η κάλυψη θερμικών αναγκών είναι

περιορισμένη (γίνεται μόνο για εσωτερική χρήση στις μονάδες ΑΧ). Σήμερα υπάρχει μία αρκετά ώριμη ενεργειακή αγορά στην Ελλάδα σχετικά με το βιοαέριο. Εντούτοις χρειάζεται η περαιτέρω ενδυνάμωση της εγχώριας ενεργειακής βιομηχανίας, με στόχο να προωθηθεί παραπάνω η ανάπτυξη έργων βιοαερίου και να μειωθούν τα κόστη επένδυσης. (Σιούλας, 2009)

1.3.2 Δυναμικότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ελλάδα

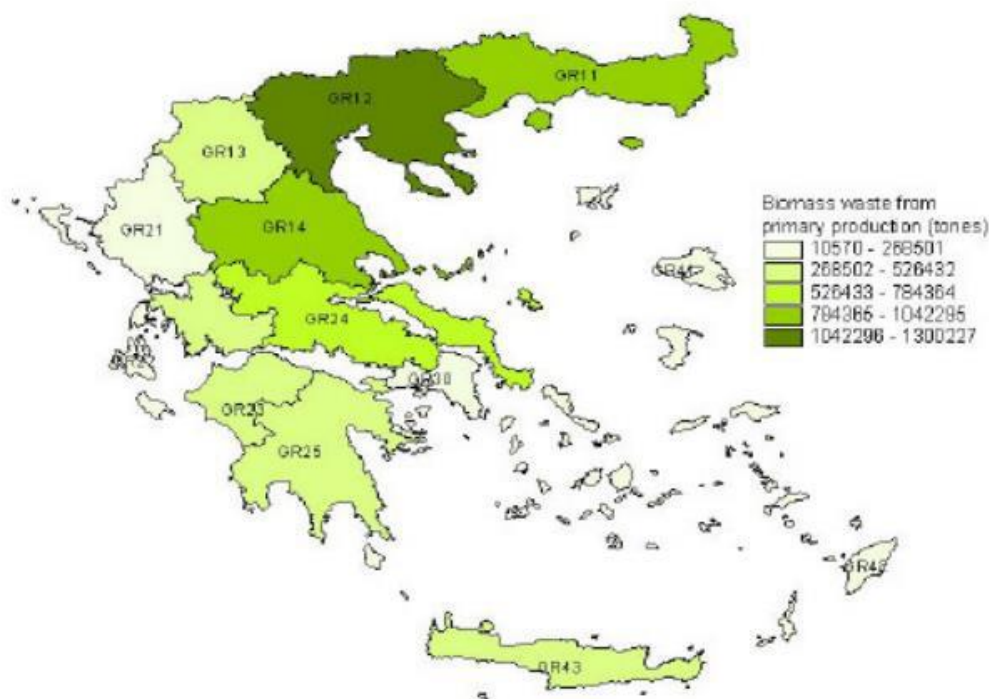
Όπως έχει ήδη αναφερθεί η πρώτη ύλη για μονάδες ΑΧ προέρχεται κυρίως από τρεις κατηγορίες αποβλήτων:

- Γεωκτηνοτροφικά απόβλητα και ενεργειακές καλλιέργειες

- Οργανικά απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων

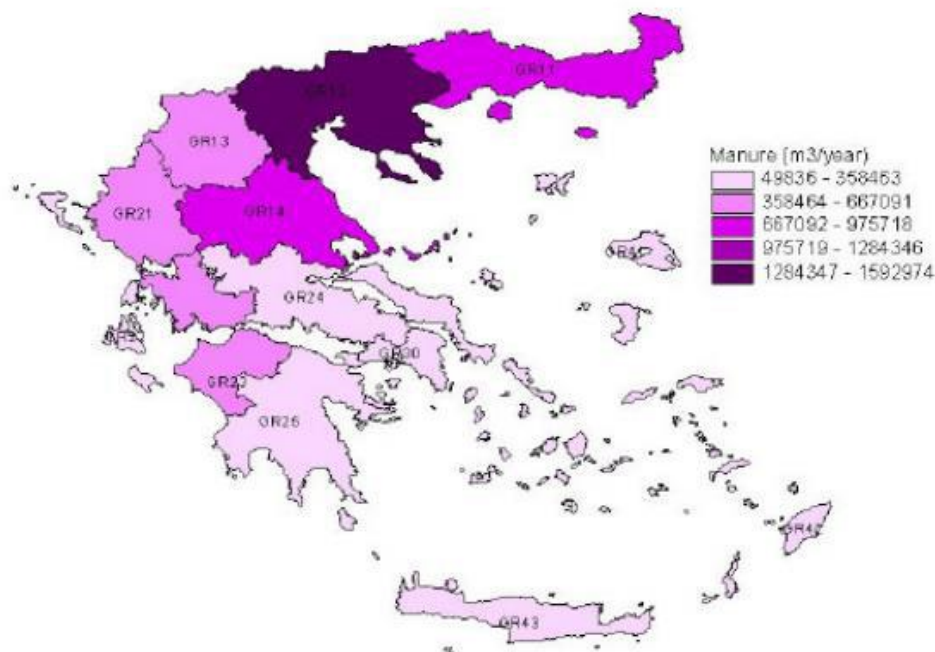
- Δημοτικά απόβλητα

Στην Ελλάδα την ευθύνη για την συλλογή και διαχείριση των δημοτικών αποβλήτων την έχει η Τοπική Αυτοδιοίκηση σε συνεργασία με τους Περιφερειακούς – Εθνικούς φορείς αντίστοιχα. Αντίθετα τα απόβλητα των αγροτικών καλλιεργειών, των κτηνοτροφικών μονάδων και τα οργανικά υπολείμματα των βιομηχανιών τροφίμων αποτελούν ιδιαίτερη πρόκληση κυρίως λόγω του υψηλού τους δυναμικού και της διασποράς τους σε ολόκληρη τη χώρα. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή τροφίμων και στην κτηνοτροφία. Επίσης, ένα τμήμα από τα υπολείμματα ετήσιων καλλιεργειών (πχ. καλαμπόκι, δημητριακά κλπ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου.



Εικόνα 2: Βιομάζα γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων από την πρωτογενή παραγωγή σε τόνους (Πηγή: Σιούλας 2009)

Αναφορικά στα κτηνοτροφικά απόβλητα ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοαερίου παρουσιάζουν κυρίως τα απόβλητα των βουστασίων και των χοιροστασίων ενώ τα ζωικά απόβλητα άλλων ζώων όπως αιγοπρόβατα σκορπίζονται άμεσα στις βοσκούμενες εκτάσεις και δεν μπορούν να αξιοποιηθούν.



Εικόνα 3: Βιομάζα εφαρμοζόμενων λιπασμάτων από την πρωτογενή παραγωγή σε τόνους (Πηγή: Σιούλας 2009)

Πίνακας 3: «Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου από απόβλητα αγροτοβιομηχανιών», Χρήστος Ζαφείρης, 2012

Πηγές	Ζωικές Μονάδες	Απόβλητα(Τόνοι/ χρόνο)	Ισχύς(MW)
Βουστάσια	755665 βοοειδή	13601970	233
Χοιροτροφεία	147920 χοιρομητέρες	2227072	36
Πτηνοτροφεία	33875054 κοτόπουλα	813001	86
Μεταποίηση γάλακτος	1175319 αγελάδες	822723	14
Σύνολο		17514766	369

Όπως αποτυπώνεται στις παραπάνω εικόνες και στον παραπάνω πίνακα, στην Ελλάδα υπάρχει σημαντικό δυναμικό οργανικών αποβλήτων, κυρίως ζωικών. Συνολικά η ετήσια παραγωγή βιομάζας από οργανικά απόβλητα στη χώρα μας κυμαίνεται από 14 -17 εκατομμύρια τόνους (V. Skouliou et al. 2005), ενώ υπολογίζεται ότι η αναερόβια χώνευση ζωικών αποβλήτων, υπολειμμάτων αγροτικών καλλιεργειών και βιομηχανικών τροφίμων επαρκούν για την τροφοδοσία μονάδων παραγωγής συνολικής ισχύος 350 MW με μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 1.121.389 MWh (Χ. Ζαφείρης 2007)

1.3.3 Δυναμικότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ε.Ε.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές ποσότητες κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ε.Ε. των 27 ανά χώρα, ανά εκτρεφόμενο είδος και συνολικά:

Πίνακας 4: Δυναμικό κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ε.Ε.

Χώρα	Βοοειδή (1000 κεφάλια)	Χοίροι (1000 κεφάλια)	Βοοειδή (1000 μονάδες ζωικού κεφαλαίου)	Χοίροι (1000 μονάδες ζωικού κεφαλαίου)	Κοπριά βοοειδών (10 ⁶ τόνοι)	Κοπριά χοίρων (10 ⁶ τόνοι)	Συνολική κοπριά (10 ⁶ τόνοι)
Αυστρία	2051	3125	1310	261	29	6	35
Βέλγιο	2695	6332	1721	529	38	12	49
Βουλγαρία	672	931	429	78	9	2	11
Κύπρος	57	498	36	42	1	1	2
Τσεχία	1397	2877	892	240	20	5	25
Δανία	1544	13,466	986	1124	22	25	46
Εσθονία	250	340	160	28	4	1	4
Φινλανδία	950	1365	607	114	13	3	16
Γαλλία	19,383	15,02	12,379	1254	272	28	300
Γερμανία	13,035	26,858	8324	2242	183	49	232
Ελλάδα	600	1000	383	83	8	2	10
Ουγγαρία	723	4059	462	339	10	7	18
Ιρλανδία	7000	1758	4470	147	98	3	102
Ιταλία	6314	9272	4032	774	89	17	106
Λεττονία	371	436	237	36	5	1	6
Λιθουανία	792	1073	506	90	11	2	13
Λουξεμβούργο	184	85	118	7	3	0	3
Μάλτα	18	73	11	6	0	0	0
Ολλανδία	3862	11,153	2466	931	54	20	75
Πολωνία	5483	18,112	3502	1512	77	33	110
Πορτογαλία	1443	2348	922	196	20	4	25
Ρουμανία	2812	6589	1796	550	40	12	52
Σλοβακία	580	1300	370	109	8	2	11
Σλοβενία	451	534	288	45	6	1	7
Ισπανία	6700	25,25	4279	2107	94	46	140
Σουηδία	1619	1823	1034	152	23	3	26
Ηνωμένο Βασίλειο	10,378	4851	6628	405	146	9	155

Ε.Ε.-27	91,364	160,53	58,348	13,399	1284	295	1578
----------------	--------	--------	--------	--------	------	-----	------

1.3.4 Δυναμικότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων διεθνώς

Τα στοιχεία των πινάκων που ακολουθούν προέρχονται από στατιστικά στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας(F.A.O.)

Στον Πίνακα 3 απεικονίζονται οι συνολικοί αριθμοί εκτρεφόμενων ζώων(σε εκατομμύρια) ανά είδος και ανά ήπειρο:

Πίνακας 5: Συνολικοί αριθμοί εκτρεφόμενων ζώων ανά είδος και ανά ήπειρο

Χώρα	Είδη ζώων(εκατομμύρια)				
	Βοοειδή	Πουλερικά	Αίγες	Χοίροι	Πρόβατα
Ασία	455	7180	462	551	371
Ευρώπη	101	1257	15	164	129
Αφρική	230	1276	219	18	250
Βόρεια Αμερική	110	1988	1	72	8
Νότια Αμερική	309	1765	22	55	75
Ανεπτυγμένες χώρες	326	4358	30	282	381
Αναπτυσσόμενες χώρες	1026	10501	708	641	675

Στον Πίνακα 4 απεικονίζονται οι ποσότητες υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων(ανά ζώο) που συγκεντρώνονται σε υγρούς λάκκους και τα θρεπτικά τους συστατικά για τα κυριότερα είδη εκτρεφόμενων ζώων:

Πίνακας 6: Ποσότητες υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων(ανά ζώο) που συγκεντρώνονται σε υγρούς λάκκους και τα θρεπτικά τους συστατικά για τα κυριότερα είδη εκτρεφόμενων ζώων

Είδος ζώου	Παραγόμενη κοπριά (kg/έτος)	Συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών (kg 1000 l ⁻¹)			
		Ολικό N	NH ₃ -N	P	K
Χοίρος (από γέννηση μέχρι τελικό στάδιο)	17 007	3.4	1.9	1.3	2.3

Αγελάδα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων	24 490	3.7	0.7	0.8	1.9
Αγελάδα(μικρής ηλικίας)	11 338	3.8	0.7	0.7	2.8
Μοσχάρι	13 605	2.4	0.8	0.8	2.4
Πουλερικό(ωοτόκος όρνις)	59	6.8	4.4	2.7	3.3
Πουλερικό(ορνίθι)	38	7.6	1.6	2.1	2.9
Πουλερικό(γαλοπούλα)	128	6.4	1.9	2.1	2.9

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι ποσότητες κτηνοτροφικών αποβλήτων(ανά ζώο) που συγκεντρώνονται σε λιμνοθάλασσες εκρών και τα θρεπτικά τους συστατικά για τα κυριότερα είδη ζώων:

Πίνακας 7: Ποσότητες κτηνοτροφικών αποβλήτων(ανά ζώο) που συγκεντρώνονται σε λιμνοθάλασσες εκρών και τα θρεπτικά τους συστατικά για τα κυριότερα είδη ζώων

Είδος ζώου	Παραγόμενη κοπριά (kg/έτος)	Συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών (kg/έτος)			
		Ολικό N	NH ₃ -N	P	K
Χοίρος(γέννηση- τελικό στάδιο)	29 025	16	15	5	11
Αγελάδα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων	41 270	21	19	4	12
Βοοειδές πάχυνσης	19 955	12	11	4	10
Οι τιμές της παραγόμενης κοπριάς εκφράζονται ανά κεφάλι ζώου για την αγελάδα, το μοσχάρι και τον χοίρο και ανά πτηνό για το πουλερικό.					

Τέλος στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι ποσότητες στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων(ανά ζώο) και τα θρεπτικά τους συστατικά για τα κυριότερα είδη ζώων:

Πίνακας 8: Ποσότητες στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων(ανά ζώο) και τα θρεπτικά τους συστατικά για τα κυριότερα είδη ζώων

Είδος ζώου	Παραγόμενη κοπριά (kg/έτος)	Συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών (kg Mt ⁻¹)
------------	-----------------------------------	---

		<i>Ολικό N</i>	<i>NH₃-N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>
Χοίρος(από γέννηση μέχρι τελικό στάδιο)	7773	5.8	2.5	1.4	1.7
Αγελάδα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων	12 698	4.1	0.8	0.5	2.0
Αγελάδα(μικρής ηλικίας)	5896	4.1	0.8	0.5	2.4
Μοσχάρι	6077	2.9	1.2	0.7	2.4
Πουλερικό(ωοτόκος όρνις)	18	14.0	4.9	9.2	8.9
Πουλερικό(ορνίθι)	8	18.9	4.9	9.5	12.3
Πουλερικό(γαλοπούλα)	21	16.5	3.3	9.0	10.2
Οι τιμές της παραγώμενης κοπριάς εκφράζονται ανά κεφάλι ζώου για την αγελάδα, το μοσχάρι και τον χοίρο και ανά πτηνό για το πουλερικό.					

Έτσι προκύπτει ο Πίνακας 7 στον οποίον φαίνονται οι συνολικές ποσότητες των κτηνοτροφικών αποβλήτων ανά είδος και ανά ήπειρο και συνολικά στον κόσμο ανά έτος:

Πίνακας 9: Συνολικές ποσότητες των κτηνοτροφικών αποβλήτων ανά είδος και ανά ήπειρο και συνολικά στον κόσμο ανά έτος

Συνολική ποσότητα κοπριάς(εκατομμύρια kg/έτος)						
	Είδη ζώων					
Ήπειρος	Βοοειδή	Πουλερικά	Κατσίκες	Χοίροι	Πρόβατα	Σύνολο(Όλα τα είδη)
Ασία	8303750	524140	505890	603345	406245	10343370
Ευρώπη	1843250	91761	16425	179580	141255	2272271
Αφρική	4197500	93148	239805	19710	273750	4823913
Βόρεια Αμερική	2007500	145124	1095	78840	8760	2241319
Νότια Αμερική	5639250	128845	24090	60225	82125	5934535
Ανεπτυγμένες χώρες	5949500	318134	32850	308790	417195	7026469
Αναπτυσσόμενες χώρες	18724500	766573	775260	701895	739125	21707353
Σύνολο(κόσμος)	24674000	1084707	808110	1010685	1156320	28733822

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η συνολική ποσότητα κτηνοτροφικών αποβλήτων από τα κυριότερα εκτρεφόμενα ζώα στον κόσμο ανά έτος είναι 28733822 εκατομμύρια κιλά ή περίπου 28730 εκατομμύρια τόνοι. Αυτή η ποσότητα μπορεί να τροφοδοτήσει μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος 718250 MW.

1.4. Νομοθετικό πλαίσιο(Ευρωπαϊκό και Εθνικό)

1.4.1 Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο

1.4.1.1 Περιβαλλοντικά ορθή λειτουργία

Η περιβαλλοντικά ορθή λειτουργία όσον αφορά τη διαχείριση της παραγόμενης βιομάζας σύμφωνα με την Εγκύκλιο 4/2012 έχει ως εξής:

Η παραγόμενη βιομάζα αποτελεί οργανικό λίπασμα - βελτιωτικό εδάφους εφόσον:

- η πρώτη ύλη είναι κοπριά, άλλα ζωικά απόβλητα, γεωργικά απόβλητα, απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων, πράσινα, υπολείμματα ενεργειακών φυτών, κλπ.

- Εφαρμόζονται οι διατάξεις για την Δημόσια Υγεία οι οποίες είναι οι εξής:
 - i. *Κανονισμός 1069/2009 «περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την κατάργηση του κανονισμού ΕΚ/1774/2002»*

 - ii. *Κανονισμός 142/2011² «για την εφαρμογή του κανονισμού 1069/2009¹ 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»*

- Τα επίπεδα βαρέων μετάλλων είναι χαμηλά
Απόφαση 2006/799/ΕΚ περί οικολογικών κριτηρίων βελτιωτικών εδάφους

- Εφαρμόζονται οι απαιτήσεις σχετικά με τη διάθεση αζώτου του Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής και της νομοθεσίας για την νιτρορύπανση:
 - i. Υ.Α. 85167/820/2000 (Φ.Ε.Κ. 477/Β/06-04-2000) Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής
 - ii. Υ.Α. 125347/568/2004 Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής
 - iii. ΚΥΑ οικ. 16190/1335/1997 (ΦΕΚ519/Β/25-06-1997).

¹ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΚ/1069/2009: ζωικά υποπροϊόντα

Διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων κατηγορίας 2

(κοπριά, γάλα, προϊόντα με βάση το γάλα, σφάγια, κλπ.) : λιπασματοποιούνται ή μετασχηματίζονται σε βιοαέριο

Τα κατάλοιπα διάσπασης από μετασχηματισμό σε βιοαέριο ή το λίπασμα έχουν τη δυνατότητα να διατεθούν στην αγορά και να χρησιμοποιηθούν ως οργανικά λιπάσματα ή βελτιωτικά εδάφους.

Απαιτήσεις σε μονάδες βιοαερίου ανάλογα με τις πρώτες ύλες
Απόβλητα κατηγορίας 2 και 3

- πρέπει να διαθέτουν μονάδα παστερίωσης/εξυγίανσης θερμοκρασία 70 °C εντός μίας ώρας
- μεταποίηση - μείωση μεγέθους (50 mm - 12 mm)
- καταγραφή θερμοκρασιών
- κατάλληλο σύστημα ασφαλείας για την πρόληψη ανεπαρκούς θέρμανσης.

(εκτός από περιπτώσεις κόπρου, υλικών χωρίς μεταδοτικές ασθένειες ή υλικά τα οποία έχουν υποστεί μεταποίηση)

²Κανονισμοί 1069/2009 και 142/2011

Απαιτούμενα χαρακτηριστικά οργανικών λιπασμάτων - βελτιωτικών εδάφους (κατάλοιπα διάσπασης) από μονάδες παραγωγής βιοαερίου:

✓ Μέτρηση των επιπέδων μικροβιακού φορτίου στην βιοιλύ (σαλμονέλλα, E. coli)

✓ Συμμόρφωση με όρια Κανονισμών

(«Άρθρο 6: Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων», Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

1.4.1.2 Κανονισμοί ορίων για τα βαρέα μέταλλα

Όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα θα πρέπει να γίνεται έλεγχος των εισερχομένων πρώτων υλών: παραλαβή μόνο κτηνοτροφικών αποβλήτων, σφαγείων, ενσιρρωμάτων, κλπ.

ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ 2006/799/ΕΚ

(Κοινοτικό Οικολογικό Σήμα σε Βελτιωτικά Εδάφους)

Πίνακας 10: Οριακές τιμές σε βελτιωτικά εδάφους

Παράμετροι	Οριακές τιμές (mg/kg ξηράς ουσίας)
Κάδμιο	1
Χαλκός	100
Νικέλιο	50
Μόλυβδος	100
Ψευδάργυρος	300
Υδράργυρος	1
Χρώμιο	100

1.4.1.3 Ορθή γεωργική πρακτική για τη νιτρορύπανση (ΚΥΑ 16190/1335/1997)

- Τα κτηνοτροφικά απόβλητα εφόσον πραγματοποιείται ορθή εφαρμογή τους στο έδαφος θα πρέπει να θεωρηθούν σαν πηγές θρεπτικών στοιχείων και η εφαρμογή τους να συνδυαστεί με υποκατάσταση χημικών λιπασμάτων
- Σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες ζώνες για την νιτρορύπανση επιτρέπεται η διάθεση μέχρι 17 Kg N/στρέμμα ετησίως. («Άρθρο 6: Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων», Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

1.4.2 Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο

1.4.2.1 Γενικά Μέτρα Διαχείρισης των Κτηνοτροφικών Αποβλήτων

1. Οι παραγωγοί προκειμένου να προβούν στον καλύτερο δυνατό σχεδιασμό των χώρων αποθήκευσης και επεξεργασίας των κτηνοτροφικών αποβλήτων (δεξαμενές και στεγανές πλατφόρμες), ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα νιτρορύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών νερών, πρέπει να γνωρίζουν ότι η μορφή και ο όγκος των παραγόμενων κτηνοτροφικών αποβλήτων από την κτηνοτροφική εκμετάλλευσή τους εξαρτάται από:

α. το είδος και την ηλικία των εκτρεφόμενων ζώων

β. τις κλιματικές συνθήκες

γ. το σιτηρέσιο

δ. το είδος σταβλισμού

ε. τον τρόπο συλλογής και απομάκρυνσης των αποβλήτων από τους χώρους εκτροφής, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά συστατικά (Ο.Σ.)

2. Ο χειρισμός των στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι ευκολότερος από τον χειρισμό των υγρών, τόσο από πλευράς κατασκευής των εγκαταστάσεων, όσο και από πλευράς λειτουργίας των τελευταίων. Γι αυτόν τον λόγο πρέπει να αποφεύγεται η άσκοπη ανάμιξη νερού σε στερεής μορφής κτηνοτροφικά απόβλητα, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός τους ως αμιγώς στερεών και παράλληλα να παραμένει η μικρότερη δυνατή ποσότητα υγρών για επεξεργασία. Ως εκ τούτου:

- πρέπει να παίρνονται μέτρα αποφυγής ανάμιξης των στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων με νερά βροχής απευθείας ή μέσω απορροής από στέγες, φροντίζοντας για τον περιορισμό των ζώων σε στεγασμένους χώρους ή προαυλία, την εγκατάσταση υδρορροών κ.ά.
- στις περιπτώσεις παραγωγής υγρών αποβλήτων σχετικά καθαρών, όπως είναι τα νερά πλυσίματος αμελκτηρίων κ.ά. και εφόσον τα παραγόμενα κτηνοτροφικά απόβλητα είναι στερεής μορφής, τα ξηπλύματα συνιστάται να συλλέγονται και να αποθηκεύονται χωριστά από τα απόβλητα των ζώων, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα τα τελευταία να συλλέγονται, αποθηκεύονται, υφίστανται επεξεργασία και διατίθενται ως στερεά. Εξαίρεση συνιστά η περίπτωση των βουστασιών γαλακτοπαραγωγής, όπου επιδιώκεται η ανάμιξη των εκκρινόμενων από τα ζώα ημιστερεών αποβλήτων με τα νερά πλυσίματος του αμελκτηρίου, συμπληρούμενων όπου χρειάζεται ακόμα και με τελικά επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Με το χειρισμό αυτό επιδιώκεται η αραίωση των αρχικά παραγόμενων αποβλήτων των ζώων, ώστε να μπορέσουν να διέρχονται επιτυχώς από μηχανικό διαχωρισμό.

(«Άρθρο 6: Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων», Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

1.4.2.2 Ορθές Γεωργικές Πρακτικές για την Διαχείριση και Αποθήκευση των Στερεών Κτηνοτροφικών Αποβλήτων

1. Η αποθήκευση των στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους αποθήκευσης και χειρισμού, όπου σχηματίζουν απλούς κοπροσωρούς . Οι χώροι αυτοί οφείλουν να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

α. Οι διαστάσεις τους πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε ο όγκος αποθήκευσης να επαρκεί για όλο το χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν ενδείκνυται ή απαγορεύεται η διασπορά κτηνοτροφικών αποβλήτων στο έδαφος, σύμφωνα με την παράγραφο 11 του άρθρου 7 της παρούσας, καθώς και για ένα πρόσθετο χρονικό περιθώριο ασφαλείας 30 ημερών για τις περιπτώσεις όπου καθίσταται αδύνατη η εδαφική διάθεση λόγω έκτακτων μετεωρολογικών φαινομένων π.χ. ξαφνικές βροχές, παγετός κ.ά. ή λόγω αστοχιών στον προγραμματισμό των αγροτικών εργασιών. Το χρονικό αυτό διάστημα ανέρχεται στους 4 μήνες για την ελληνική επικράτεια και μπορεί να εξειδικεύεται στα Προγράμματα Δράσης ανά συγκεκριμένη περιοχή.

β. Κατά τη χωροθέτησή τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κύρια κατεύθυνση των ανέμων, ώστε να αποφεύγεται η μεταφορά ενοχλητικών οσμών προς κατοικημένες περιοχές.

γ. Πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 100 μέτρα από πηγές, πηγάδια και γεωτρήσεις και τουλάχιστον 50 μέτρα από επιφανειακά νερά -ποτάμια, λίμνες, αποστραγγιστικές τάφρους.

δ. Να διαθέτουν τις απαραίτητες άδειες κατασκευής και τήρησης των περιβαλλοντικών όρων, σύμφωνα με το ν. 4056/2012 (ΦΕΚ Α' 52) όπως ισχύει, και να λαμβάνονται όλα τα αναγκαία μέτρα για την πρόληψη της επιφανειακής απορροής, καθώς και της διαφυγής υγρών σε υπόγεια νερά.

ε. Το δάπεδό τους πρέπει να είναι στεγανό, ελαφρά υπερυψωμένο, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα με κλίση 5-6% προς ένα προβλεπόμενο κανάλι συλλογής υγρών στράγγισης, μέσω του οποίου τα τελευταία να καταλήγουν σε φρεάτιο συλλογής ή στην προβλεπόμενη στεγανή δεξαμενή συλλογής υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων. Επίσης, το δάπεδο πρέπει να φέρει προστατευτικό τοίχιο κατά μήκος των δύο ή τριών πλευρών του, ύψους τουλάχιστον 1,5 μέτρου, για αποφυγή διασκορπισμού του υλικού. Το τοίχιο που θα κατασκευαστεί κατά μήκος της μιας μεγάλης πλευράς, πρέπει να φέρει κάθετες 'σχισμές' πλάτους 3-5 εκατοστών μέχρι ύψος ενός μέτρου, για διευκόλυνση της στράγγισης του κοπροσωρού. Η ανάγκη λήψης μέτρων αποστράγγισης αμβλύνεται σημαντικά, αν ο κοπροσωρός τοποθετηθεί κάτω από ελαφρύ, π.χ. θερμοκηπιακού τύπου, στέγαστρο.

2. Εάν τα στερεά κτηνοτροφικά απόβλητα δεν έχουν υποστεί έστω και μερική χώνευση κατά την παραμονή τους στο στάβλο, πρέπει να παραμένουν στον κοπροσωρό για διάστημα 3-6 μηνών, ανάλογα με τη συχνότητα συστηματικής επέμβασης του παραγωγού για αναμόχλευση (γύρισμα) και ύγρανσης, μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία φυσικής χώνευσής τους.

Με την προσθήκη στα στερεά κτηνοτροφικά απόβλητα τυχόν διαθέσιμων υλών που αυξάνουν την περιεκτικότητα του μίγματος σε οργανικό άνθρακα ή μειώνουν την υπερβολική υγρασία των φρέσκων στερεών αποβλήτων ή τέλος βοηθούν την κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό του σωρού (π.χ. υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βάμβακος, λέπυρα ρυζιού, τρίμματα λιγνίτη, τριμμένη ελαφρόπετρα, πριονίδι, άχυρο κ.ά.), επιτυγχάνεται ταχύτερη χώνευση και μειωμένη έκλυση δυσάρεστων οσμών.

3. Η χρήση στρωμνής γενικά δημιουργεί απόβλητα στερεής μορφής, όπως στην περίπτωση των πτηνοτροφείων κρεοπαραγωγής και των αιγο-προβατοστασιών, καθώς ενδεχομένως και μικρής δυναμικότητας βουστασιών. Κατά τον υπολογισμό του όγκου του κοπροσωρού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι ο όγκος της στρωμνής μειώνεται σημαντικά (περίπου κατά 50%) με τη χρήση της. Στις περιπτώσεις εκτροφής σε θερμή στρωμή στις παραπάνω τύπου εκμεταλλεύσεις, η κοπριά παραμένει στο στάβλο για επαρκές, λόγω και της σύστασής της, διάστημα (2-8 μήνες, ανάλογα με το είδος της κτηνοτροφικής μονάδας), με αποτέλεσμα κατά την ώρα της απομάκρυνσής της μαζί με τη στρωμή να έχει ήδη υποστεί σε σημαντικό βαθμό χώνευση. Ως εκ τούτου, δεν απαιτείται η μακρόχρονη παραμονή της σε κοπροσωρούς, αλλά μπορεί να διατίθεται κατευθείαν ως οργανικό λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό σε καλλιεργούμενα εδάφη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όταν η εφαρμογή της σε καλλιεργούμενα εδάφη ή η πώληση είναι εξασφαλισμένες, δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή μόνιμου χώρου αποθήκευσης του κοπροσωρού.

4. Στις περιπτώσεις παραγωγής ημιστερεών αποβλήτων, όπως αυτών που προέρχονται κυρίως από τα βουστάσια γαλακτοπαραγωγής, τα απόβλητα πρέπει να αραιώνονται με τα απόνερα πλυσίματος του αμελκτηρίου και των λοιπών χώρων στέγασης των ζώων, ή ακόμα και με υγρά των δεξαμενών αποθήκευσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων όπου αυτό είναι αναγκαίο, και στη συνέχεια να υφίστανται χειρισμούς ανάλογους με αυτούς για τα υγρά απόβλητα.

5. Η κοπριά που στερείται υγρών στράγγισης, όπως η κοπριά στρωμνής, μπορεί να αποθηκευτεί και πάνω σε συμπίεμένο έδαφος μόνο προσωρινά, για μέγιστο χρονικό διάστημα 3 εβδομάδων, εφόσον φυσικά έχει προβλεφθεί η παρεμπόδιση εισροής βρόχινου νερού με την κατασκευή περιφερειακής αυλακιάς και την κάλυψη με πλαστικό φύλλο

Η θέση που θα επιλεγεί για την προσωρινή αποθήκευση πρέπει :

- να καταλαμβάνει την ελάχιστη δυνατή έκταση,
- να μην υπόκειται σε κίνδυνο πλημμύρας ή κορεσμού,

– να μην βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων από υπόγεια νερά (πηγές, πηγάδια και γεωτρήσεις) ή σε απόσταση μικρότερη των 10 μέτρων από επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες και αποστραγγιστικές τάφρους),

– να μην έχει κλίση μεγαλύτερη από 8%.

(«Άρθρο 6: Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων», Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

1.4.2.3 Ορθές Γεωργικές Πρακτικές για τη Διαχείριση και Αποθήκευση Υγρών Κτηνοτροφικών Αποβλήτων

1. Τα υγρά κτηνοτροφικά απόβλητα που προκύπτουν κυρίως από τα χοιροστάσια και δευτερευόντως από τα βουστάσια γαλακτοπαραγωγής πρέπει να διαχωρίζονται σε αμιγώς στερεό και αμιγώς υγρό κλάσμα με τη βοήθεια κατάλληλου τύπου μηχανικού διαχωριστή για την απαλλαγή τους από όλα εκείνα τα υλικά και τις προσμίξεις που δημιουργούν προβλήματα στον παραπέρα χειρισμό τους. Ο τελικός όγκος των παραγομένων αποβλήτων στα χοιροστάσια και τα βουστάσια είναι πολλαπλάσιος του αρχικού όγκου των εκκρινόμενων από τα ζώα αποβλήτων, κυρίως στα χοιροστάσια και τα βουστάσια, λόγω της αναπόφευκτης ή επιβαλλόμενης ανάμιξης σημαντικής ποσότητας νερού αραίωσης (διαφυγές συστήματος ύδρευσης, πλυσίματα χώρων και εξοπλισμού). Ταυτόχρονα, ο παραγωγός πρέπει να λαμβάνει πρόνοια συγκράτησης της αύξησης του τελικού όγκου των υγρών αποβλήτων που παράγονται στη μονάδα του, για λόγους οικονομίας και ευκολίας χειρισμού τους, ελέγχοντας με προσοχή τη διαδικασία αραίωσης.

2. Τα υγρά κτηνοτροφικά απόβλητα των χοιροστασίων και των βουστασίων γαλακτοπαραγωγής συγκεντρώνονται καθημερινά σε μια κεντρική τετράγωνη ή κυκλική υπόγεια τσιμεντένια δεξαμενή συλλογής – ομογενοποίησης – εξισορρόπησης παροχής, βάθους 2 – 3 μέτρων και χωρητικότητας ίσης τουλάχιστον με τον ημερήσιο παραγόμενο όγκο αποβλήτων στη μονάδα. Από τη δεξαμενή αυτή, τα απόβλητα μετά από ομογενοποίηση, αντλούνται καθημερινά προς το μηχανικό διαχωριστή.

Η δεξαμενή πρέπει απαραίτητα να είναι εφοδιασμένη με μηχανικό αναδευτήρα, τύπου εμβαπτιζόμενης προπέλας (μίξερ), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης ομογενοποίηση του περιεχομένου της. Η δεξαμενή πρέπει να είναι στεγασμένη (κλειστή από παντού), για λόγους οσμής και αποφυγής ανάμιξης βρόχινου νερού.

3. Ο μηχανικός διαχωριστής στερεών – υγρών συνιστάται να είναι τελευταίας τεχνολογίας, κλειστός (για λόγους οσμής), για παράδειγμα τύπου κοχλία συμπίεσης, με οπές στα κόσκινα διαμέτρου 0,50-0,75 χιλιοστών.

Στο μηχανικό διαχωριστή, τα υγρά κτηνοτροφικά απόβλητα διαχωρίζονται σε δύο διακριτά κλάσματα:

α. αμιγώς υγρής μορφής με όγκο ίσο με 75-95% του αρχικού και υγρασία πάνω από 90% κ.β. και

β. αμιγώς στερεής μορφής με όγκο ίσο με 5-25% του αρχικού και υγρασία κάτω από 75% κ.β.

των οποίων ο επί μέρους χειρισμός είναι πολύ ευκολότερος από εκείνον της αρχικής μορφής των αποβλήτων.

Μετά το διαχωρισμό τους τα απόβλητα οδηγούνται σε χωριστές εγκαταστάσεις αποθήκευσης – επεξεργασίας.

4. Τα στερεά διαχωρισμού μεταφέρονται στον προβλεπόμενο χώρο αποθήκευσης των στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων (κοπρωσωρό), ενώ τα υγρά διαχωρισμού καταλήγουν με φυσική ροή, μέσω κλειστού αγωγού στην προβλεπόμενη βαθειά (πάνω από 4,0 μέτρα) ανοιχτή χωμάτινη αναερόβια δεξαμενή (Α' ΑΧΑΔ) φυσικής αναερόβιας χώνευσης και στη συνέχεια, υπερχειλίζουν προς μια ίδιου τύπου κατασκευής, βαθειά επίσης, συνεχόμενη της πρώτης, ΑΧΑΔ αποθήκευσης.

5. Στη δεύτερη ΑΧΑΔ ή ΑΧΑΔ αποθήκευσης (Β' ΑΧΑΔ), τα υγρά παραμένουν αποθηκευμένα, υφιστάμενα παράλληλα, συμπληρωματική φυσική αναερόβια χώνευση για διάστημα 120-180 ημερών, πριν διατεθούν την κατάλληλη εποχή στον προβλεπόμενο εδαφικό αποδέκτη. Σε περιπτώσεις κυρίως βουστασιών γαλακτοπαραγωγής μικρού όγκου παραγόμενων αποβλήτων, μπορεί να προβλέπεται η αντικατάσταση των δύο ΑΧΑΔ από μια κοινή ΑΧΑΔ στην οποία συγχωνεύονται οι όγκοι των δύο προαναφερθεισών. Το περιεχόμενο της δεύτερης ή της κοινής ΑΧΑΔ, αφαιρουμένου ενός μόνιμου όγκου που πρέπει να διατηρείται για να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική βιολογική λειτουργία της, μπορεί να διατίθεται σταδιακά και προγραμματισμένα στον προβλεπόμενο εδαφικό αποδέκτη μετά τη λήξη της περιόδου απαγόρευσης και κυρίως κατά τη θερινή περίοδο για λίπανση καλλιεργειών, κυρίως φυτών αραβοσίτου, ή για απορρόφηση σε εδαφικό – φυτικό φίλτρο ανάπτυξης αυτοφυών φυτών, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 7.

6. Η χωρητικότητα της Β' ΑΧΑΔ πρέπει να είναι τέτοια ώστε τα απόβλητα να παραμένουν εκεί όλο το χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν ενδείκνυται ή απαγορεύεται η διασπορά κτηνοτροφικών αποβλήτων στο έδαφος, σύμφωνα με την παράγραφο 11 του άρθρου 7 της παρούσας, καθώς και για ένα πρόσθετο χρονικό περιθώριο ασφαλείας 30 ημερών για τις περιπτώσεις όπου καθίσταται αδύνατη η εδαφική διάθεση, λόγω έκτακτων μετεωρολογικών φαινομένων π.χ. ξαφνικές βροχές, παγετός κ.ά. ή λόγω αστοχιών στον προγραμματισμό των αγροτικών εργασιών. Το χρονικό αυτό διάστημα ανέρχεται στους 4 μήνες για την Ελληνική επικράτεια και μπορεί να εξειδικεύεται στα Προγράμματα Δράσης ανά συγκεκριμένη περιοχή.

7. Απαγορεύεται η εγκατάσταση ΑΧΑΔ υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων σε απόσταση μικρότερη από 50 μέτρα από επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες, αποστραγγιστικές τάφρους) και σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων από υπόγεια νερά (πηγές, πηγάδια και γεωτρήσεις).

8. Οι ΑΧΑΔ πρέπει να στεγανοποιούνται με ειδικά πλαστικά φύλλα στον πυθμένα και τα πρανή τους.

9. Η ανάγκη πρόβλεψης μεγάλου όγκου της Α' ΑΧΑΔ, για τις ανάγκες της χρονοβόρου φυσικής ψυχρόφιλης αναερόβιας χώνευσης του υγρού περιεχομένου της, καθιστά επιβεβλημένη, ιδιαίτερα στις μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες, την εξέταση της δυνατότητας αντικατάστασής της, μερικώς ή ολικώς, από μικρότερου όγκου, κλειστού τύπου θερμαινόμενες εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης, γνωστές ως μεσόφιλοι αναερόβιοι χωνευτήρες ή βιοαντιδραστήρες.

Οι εγκαταστάσεις αυτές λειτουργούν σταθερά σε θερμοκρασίες 35-45°C τροφοδοτούμενες καθημερινά, εκτός από το ως άνω υγρό κλάσμα κτηνοτροφικών αποβλήτων (φτωχών σε οργανικό άνθρακα) και με άλλα υγρά απόβλητα ή υπολείμματα της παραγωγικής διαδικασίας τροφίμων (πλούσιων σε οργανικό άνθρακα), όπως τυρόγαλα, υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων, υπολείμματα σφαγιοτεχνικών εγκαταστάσεων κ.ά.). Η δημιουργία κατάλληλων μιγμάτων με τις προαναφερθείσες πρώτες ύλες επιτρέπει την υψηλή παραγωγή βιοαερίου (αέριο μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα), το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί στην παραγωγή θερμικής ή και ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διαδικασία αυτή μειώνει σε μεγάλο βαθμό το ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων και επιπλέον προσφέρει τα πλεονεκτήματα της απουσίας ενοχλητικών οσμών και του μικρότερου κατά 5-10 φορές απαιτούμενου μεγέθους εγκατάστασης, καθώς και τη δυνατότητα αποκόμισης οικονομικού οφέλους από την πώληση ή την ίδια χρήση της παραγόμενης ενέργειας από το βιοαέριο.

Οι κτηνοτροφικές μονάδες θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλοι χώροι εγκατάστασης μονάδων παραγωγής βιοαερίου, καθόσον διαθέτουν ήδη τις απαιτούμενες εγκαταστάσεις υποδοχής, επεξεργασίας και αποθήκευσης των υγρών εκροής των αναερόβιων χωνευτήρων, που προκύπτουν από την παραγωγή του βιοαερίου.

10. Ο παραγωγός έχει τη δυνατότητα, εφόσον αντιμετωπίζει δυσκολία στην εξασφάλιση της απαιτούμενης έκτασης για τη διάθεση των αποβλήτων, να προβεί στην εγκατάσταση μιας επιπλέον βαθμίδας αερόβιας επεξεργασίας – νιτροποίησης των υγρών, η οποία θα παρεμβληθεί μεταξύ της Α' και της Β' ΑΧΑΔ. Εφόσον γίνεται παραγωγή βιοαερίου, η βαθμίδα αυτή αερόβιας επεξεργασίας παρεμβάλλεται μεταξύ του αναερόβιου χωνευτήρα και της Β' ΑΧΑΔ, με την Α' ΑΧΑΔ να μειώνεται σημαντικά σε όγκο ή να υποκαθίσταται πλήρως από τον αναερόβιο χωνευτήρα.

Λόγω της ύπαρξης της Β' ΑΧΑΔ, η εγκατάσταση αερόβιας νιτροποίησης των υγρών μπορεί να είναι μειωμένου σχετικά κόστους κατασκευής και λειτουργίας, π.χ. χωμάτινη επενδυμένη με ειδικά πλαστικά φύλλα, εφοδιασμένη με πολύστροφους χαμηλού κόστους επιφανειακούς πλωτούς οξυγονωτές, και ενσωματωμένη εσωτερικά (αντί χωριστής εξωτερικής) δεξαμενή καθίζησης.

Στη Β' ΑΧΑΔ, πραγματοποιείται απονιτροποίηση και ολοκληρώνεται η αναερόβια χώνευση του υγρού περιεχομένου της, με αποτέλεσμα τα τελικά υγρά εκροής, άοσμα και με μειωμένα σε σημαντικό βαθμό τα νιτρικά ιόντα, να μπορούν να διατίθενται την κατάλληλη εποχή στους προβλεπόμενους εδαφικούς αποδέκτες, σύμφωνα με το άρθρο 7. («Άρθρο 6: Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων», Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

2^ο Κεφάλαιο: Μέθοδοι επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων

2.1 Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης

2.1.1 Πήξη και διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρωσης, καθίζησης ή αποστράγγισης

Η πήξη και η κροκίδωση είναι χημικές προ-επεξεργασίες που βελτιώνουν τη μηχανική διαχωρισμού στερεού-υγρού πολλών εναιωρημάτων. Στα περισσότερα εναιωρήματα, τα κολλοειδή σωματίδια δεν συσσωματώνονται, επειδή είναι αρνητικά φορτισμένα και απωθούνται. Ωστόσο, η συσσωμάτωση διευκολύνεται με την προσθήκη (1), πολυσθενών κατιόντων ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, κλπ) που προκαλούν πήξη και / ή (2) πολυμερών (-PAM- πολυακρυλαμίδιο, χιτοζάνη, κτλ), οπότε λαμβάνει χώρα κροκίδωση. Η προσθήκη πολυσθενών κατιόντων ενισχύει επίσης την κατακρήμνιση του φωσφόρου. Τα πολυσθενή ιόντα και τα πολυμερή πρέπει να προστεθούν προσεκτικά στην κοπριά για να επιτευχθεί ικανοποιητική συσσωμάτωση των σωματιδίων. Εάν χρησιμοποιούνται δύο πρόσθετα, το πολυσθενές ιόν προστίθεται πρώτα στην κοπριά, η οποία στη συνέχεια αναδεύεται για να εξασφαλισθεί ομοιογενής κατανομή των ιόντων και ξηρά ύλη. Στη συνέχεια, μερικά λεπτά αργής ανάδευσης είναι αναγκαία για να λάβει χώρα η εξουδετέρωση φορτίου και η πήξη. Στη συνέχεια, το πολυμερές προστίθεται αργά σε μικρές δόσεις κατά τη διάρκεια της έντονης ανάδευσης, που ακολουθείται από βραδεία ανάδευση, η οποία είναι απαραίτητη για να συμβεί γεφύρωση του πολυμερούς και του έμπλαστρου κροκίδωσης. Η ανάδευση που εφαρμόζεται (δηλαδή ο χρόνος και ταχύτητα), έχει ένα μεγάλο αντίκτυπο στη διαμόρφωση των συσσωματωμάτων. Πολύ χαμηλή ανάδευση προκαλεί τα αδρανή υλικά να είναι ανομοιόμορφα και ασταθή με χαμηλή απορροή των σωματιδίων, ενώ πολύ υψηλή ανάδευση προκαλεί τα συσσωματώματα να καταστραφούν. Μετά τη διαδικασία πήξης-κροκίδωσης, η κοπριά μπορεί να μεταφερθεί σε συνήθεις διαχωριστήρες στερεού-υγρού. (Flotats et al., 2011)

2.1.2 Πρέσσα πίεσης

Αυτή είναι μια φυσική διαδικασία που συνίσταται στην εφαρμογή πιέσεως για το διαχωρισμό με διήθηση των διαλυμένων στερεών, που περιέχεται σε ένα (ημι) υγρό ρεύμα σε δύο διαφορετικά κλάσματα (δηλαδή στερεά και υγρά κλάσματα). Το υλικό προς διαχωρισμό εισέρχεται σε ένα κυλινδρικό κόσκινο (0,5-1 mm) με τη βοήθεια ενός κοχλίου. Το υγρό περνάει μέσα από το κόσκινο και συλλέγεται σε ένα δοχείο που περιβάλλει το κόσκινο. Στο τέλος του άξονα το πλούσιο σε ξηρή ύλη κλάσμα πιέζεται ενάντια σε έναν δίσκο. Η μάζα ιλύος συμπιέζεται κατά την διήθηση. Η πίεση εξασφαλίζει ότι η πρέσα μπορεί να παράγει ένα στερεό κλάσμα με υψηλή περιεκτικότητα σε ξηρά ύλη. Η αύξηση της πίεσης που εφαρμόζεται αυξάνει την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία του στερεού κλάσματος. (Flotats et al., 2011)

2.1.3 Κόσκινα, σχάρες, ιμάντες διαχωρισμού

Οι διαχωριστές με κόσκινο μπορεί να είναι στατικοί ή παλλόμενοι. Περιλαμβάνουν κόσκινα συγκεκριμένου μεγέθους των πόρων που επιτρέπει μόνο στερεά σωματίδια μικρότερα σε μέγεθος από τα ανοίγματα να περάσουν μέσα. Το υγρό ρέει μέσα από την οθόνη και αποστραγγίζεται. Αυτό το είδος του διαχωρισμού γενικά

λειτουργεί καλύτερα αν η κοπριά έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά (<2%). Υπάρχει εξαρτώμενη σχέση μεταξύ μεγέθους κόσκινου, απόδοση διαχωρισμού, και κινδύνου απόφραξης. Πράγματι, η απόφραξη του κόσκινου είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα στατικού διαχωριστήρα. Όμως ο κίνδυνος μειώνεται σε παλλόμενα κόσκινα λόγω κραδασμών. Αν η ροή είναι πολύ υψηλή, μια μεγάλη ποσότητα νερού μπορεί να παραμείνει στο στερεό κλάσμα. Από την άλλη πλευρά, τέτοιες συσκευές χρειάζονται μια σταθερή παροχή ιλύος για την αποτροπή της ξήρανσης των σωματιδίων. Οι διαχωριστήρες με κόσκινα χρησιμοποιούνται συνήθως ως προεπεξεργασία προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα καθίζησης κατά την αποθήκευση, ως διαδικασία προετοιμασίας πριν από την άντληση ή σε συνδυασμό με πιο αποτελεσματικά συστήματα διαχωρισμού. (Flotats et al., 2011)

2.1.4 Φυγοκέντρηση

Σε φυγοκεντρικές απόχυσης μία φυγόκεντρος δύναμη παράγεται για να προκαλέσει το διαχωρισμό των στερεών από το υγρό. Υπάρχουν κάθετες και οριζόντιες μορφές φυγοκέντρησης. Η οριζόντια φυγόκεντρος χρησιμοποιεί ένα κλειστό κύλινδρο με συνεχή περιστροφική κίνηση (3000-4000 rpm). Η φυγόκεντρος δύναμη διαχωρίζει τα στερεά και υγρά σε ένα εσωτερικό στρώμα με υψηλό ξηρό περιεχόμενο και ένα εξωτερικό στρώμα που αποτελείται από ένα υγρό που περιέχει ένα εναιώρημα κolloειδών, οργανικά συστατικά και άλατα. Οι στερεές και υγρές φάσεις μεταφέρονται σε κάθε άκρο της φυγοκέντρησης με περιστροφή ολόκληρου του φυγοκεντρική σε υψηλή ταχύτητα και με ταυτόχρονη περιστροφή του μεταφορέα με μια ταχύτητα που διαφέρει ελαφρώς από την ταχύτητα του μπολ (εξωτερικό κωνικό κέλυφος). Τα στερεά σωματίδια μεταφέρονται προς το κωνικό άκρο και περνάνε έξω μέσω των ανοιγμάτων αποβολής στερεών, ενώ το υπερκείμενο ρευστό ρέει προς το μεγαλύτερο άκρο του κυλίνδρου που σχηματίζεται από την λεκάνη και τον μεταφορέα. Κατά τη μεταφορά της κοπριάς, τα σωματίδια διαχωρίζονται από το υγρό και η υγρή φάση αποβάλλεται διαμέσου των ανοιγμάτων στο ευρύ άκρο της φυγόκεντρος. Η αύξηση του χρόνου κατακράτησης με μείωση του ρυθμού ογκομετρικής τροφοδοσίας έχει παρατηρηθεί να αυξάνει την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού της κοπριάς. (Flotats et al., 2011)

2.1.5 Φυσική καθίζηση

Οι περισσότερες δεξαμενές καθίζησης αποτελούνται από ένα δοχείο το οποίο είναι κυλινδρικό στην κορυφή και κωνικό στο κάτω μέρος. Κατά τη λειτουργία κατά παρτίδες, η κοπριά προστίθεται στην κορυφή της δεξαμενής και τα στερεά κατακάθονται στον πυθμένα του κωνικού τμήματος από όπου μπορούν να απομακρυνθούν. Για την βελτίωση της καθίζησης και την αύξηση της μεταφοράς των στερεών στις μικρές δεξαμενές καθίζησης μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα δόνησης ενώ στις μεγαλύτερες δεξαμενές συνήθως προστίθενται ξέστρα που απομακρύνουν τα στερεά από τα τοιχώματα. Οι δεξαμενές καθίζησης μπορούν επίσης να λειτουργήσουν σε συνεχή λειτουργία, όπου κοπριά προστίθεται συνεχώς, ενώ η στερεή και υγρή φάση απομακρύνεται με τον ίδιο ρυθμό όπως προστίθεται κοπριά. Στην περίπτωση αυτή, η κοπριά πρέπει να προστεθεί στη ζώνη διαχωρισμού. (Flotats et al., 2011)

2.2 Κατεργασία υγρής φάσης

2.2.1 Υπερδιήθηση

Η υπερδιήθηση (UF) γίνεται με κλάσμα υγρού διαχωρισμού. Είναι ένα είδος προ-κατεργασίας για την επεξεργασία της αντίστροφης όσμωσης (RO). Και οι δύο τεχνολογίες είναι μέρος μιας εγκατάστασης επεξεργασίας κοπριάς υψηλής τεχνολογίας, όπου το υγρό μέρος καθαρίζεται μέχρι να βγει καθαρό νερό. Η

διαδικασία της υπερδιήθησης αφαιρεί τα αιωρούμενα στερεά, όπως επίσης και βακτήρια και ιούς, ενώ τα μικρά διαλυμένα μόρια περνούν το φιλτράρισμα και μπορούν να απομακρυνθούν με αντίστροφη όσμωση, όπου το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών είναι μικρότερο. (Flotats et al., 2011)

2.2.2 Ηλεκτροοξειδωση

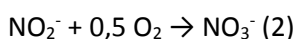
Οι οργανικοί και τοξικοί ρύποι που υπάρχουν στην κατεργασία των λυμάτων συνήθως καταστρέφονται από μία άμεση ανοδική διαδικασία ή με μια έμμεση ανοδική οξείδωση μέσω της παραγωγής οξειδωτικών όπως υδροξύλιο ή ρίζες χλωρίου. Επιπλέον δεν απαιτείται πάντοτε αντιδραστήριο και, ως εκ τούτου, δευτερογενείς ρυπαντές δεν παράγονται. Μερικοί από τα τυπικά πιθανά χημικά αντιδραστήρια είναι: $\text{H}_2\text{O} / \bullet\text{OH}$ (ρίζα υδροξύλιου), O_2 / O_3 (όζον), $\text{SO}_4^{2-} / \text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ (υπεροξειδοθειικό), $\text{Cl} / \text{ClO}_2^-$ (διοξειδίο του χλωρίου), Cl / Cl_2 (χλώριο), $\text{Cr}^{3+} / \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (διχρωμικό) ή $\text{H}_2\text{O} / \text{O}_2$ (οξυγόνο) (Chen, 2004-Διεργασίες ηλεκτροοξειδωσης). Η ανοδική οξείδωση δεν χρειάζεται την προσθήκη ενός μεγάλου ποσού των χημικών ουσιών σε υγρά απόβλητα ή την τροφοδότηση O_2 στις καθόδους, χωρίς τάση για παραγωγή δευτερογενών διεργασιών μόλυνσης. Έμμεση ηλεκτροοξείδωση: Η χρήση του χλωρίου και του υποχλωριώδους που δημιουργούνται ανοδικά για να καταστρέψουν τους ρύπους, η προσθήκη αλάτων Fe_2 που σχηματίζονται από μία διάλυση της ανόδου στο σίδηρο για να γίνει μια αντίδραση, συνήθως ονομάζεται μεσολαβητές και οξειδώνονται επί μιας ανόδου από μία σταθερή, χαμηλή κατάσταση σθένους σε μία αντιδραστική, υψηλή κατάσταση σθένους (Ag^{2+} , Co^{3+} , Fe^{3+} , Ce^{4+} και Ni^{2+}). Ο στόχος της ηλεκτροοξείδωσης είναι η δυνατότητα υποβάθμισης ανθεκτικών ουσιών, όπως οι φαινόλες, χωρίς την προσθήκη αντιδραστηρίων. Αυτή η κατεργασία εφαρμόζεται μετά την απομάκρυνση οργανικών-κολλοειδών υλικών, η οποία θα μπορούσε να παρέμβει στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. (Flotats et al., 2011)

2.2.3 Διεργασία όζοντος

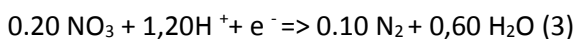
Το όζον είναι ένα πολύ ισχυρό οξειδωτικό μέσο και αντιδρά πολύ γρήγορα με σχεδόν τα πάντα. Το όζον πρέπει να παράγεται τοπικά επειδή είναι ασταθές και δεν μπορεί να αποθηκευθεί. Κατεργασία με το όζον σε συνδυασμό με την επίπλευση του αιωρούμενου υλικού στην κοπριά σχηματίζει ένα διαυγές υγρό και μία συμπυκνωμένη ιλύ. Το υγρό μπορεί στη συνέχεια να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία σε πολύ υψηλή ποιότητα εκροής, ενώ το κλάσμα της ιλύος θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως επίπλευση λάσπης. Η χρήση του όζοντος μπορεί να εφαρμοστεί για την αποκατάσταση των ενοχλητικών οσμών σε υγρή κοπριά. Αέριο όζον διοχετεύεται απ' ευθείας εντός υγρής κοπριάς σε ένα συνεχώς αναδευόμενο αντιδραστήρα. Μετρήσεις καταδεικνύουν μια σημαντική μείωση σε οσμές στα δείγματα με όζον σε σύγκριση με τα πρώτα και οξυγονωμένα δείγματα, με μεγάλη διακύμανση όμως μεταξύ των προμηθευτών τεχνολογίας. Ο Watkins et al. (1997) βρήκε ότι οι συγκεντρώσεις πτητικών λιπαρών οξέων, νιτρικών και φωσφορικών ήταν αμετάβλητες από τη διεργασία όζοντος. Η οξείδωση της οργανικής ύλης από το όζον επιτρέπει την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας σε μια αύξηση της οξύτητας και σε εξάτμιση. Όζον μπορεί να δημιουργηθεί από τον αέρα ή με καθαρό οξυγόνο. Το λειτουργικό κόστος για την παραγωγή του όζοντος είναι σχετικά υψηλό. Αν και είναι θεωρητικά δυνατό να οξειδωθεί ένα πολύ μεγάλο τμήμα της οργανικής ύλης στην κοπριά με όζον, αυτό δεν είναι οικονομικά εφικτό. (Flotats et al., 2011)

2.2.4 Νιτροποίηση-απονιτριποίηση

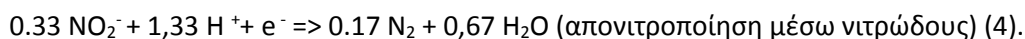
Κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης, το ιόν του αμμωνίου σε αερόβιες συνθήκες οξειδώνεται σε νιτρώδη (1) από τα βακτήρια του αμμωνίου-οξειδωτικά, και στη συνέχεια νιτρώδες οξειδώνεται σε νιτρικό από τα νιτρώδη βακτήρια -οξειδωτικά (2).



Κατά την απονιτροποίηση το νιτρικό μετατρέπεται σε αέριο άζωτο όπως φαίνεται στην αντίδραση (3) .



Ο αερισμός είναι μία από τις κύριες λειτουργικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης με θεωρητικές απαιτήσεις των 4,57 kg O₂/kg N. Οι οργανικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της απονιτροποίησης είναι περίπου 6,0 kg COD/ kg NO₃-N. Προ-επεξεργασίες όπως ο διαχωρισμός και η αναερόβια χώνευση μπορούν να περιορίσουν τη διαθεσιμότητα του βιοαποδομήσιμου οργανικού άνθρακα κατά τη διάρκεια της απονιτροποίησης. Η θερμοκρασία της διεργασίας επηρεάζει την κινητική διαδικασία (βέλτιστη: 35 ° C). Συνήθως εφαρμογή πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη αιωρούμενη βιομάζα (ενεργού ιλύος) κάτω από τα ποσοστά φόρτωσης έως και 0,25 kg Nm⁻³d⁻¹. Ένα τυπικό σύστημα επεξεργασίας έχει δύο διαφορετικές εξόδους: την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και τη βιολογική λάσπη. Η συντόμευση αντί της κλασικής απόδοσης μέσω νιτρικών αλάτων μπορεί να υιοθετηθεί για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση του 25% σε εξαερισμό και 40% σε οργανικό άνθρακα (1+4)



Διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν για την αποφυγή σχηματισμού νιτρικού: υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας μέσα στον αντιδραστήρα νιτροποίησης, βέλτιστη θερμοκρασία σε συνδυασμό με χαμηλό χρόνο παραμονής στερεών, χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, κλπ. Πρέπει να είναι βέβαιο ότι αυτή η στρατηγική απόδοσης δεν συνεπάγεται αύξηση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (Rajagopal και Beline, 2011).

2.2.5 Υγροποίηση στρουβίτη

Ο σχηματισμός στρουβίτη (struvite) σημαίνει την κρυστάλλωση του N και P στη μορφή στρουβίτη (MgNH₄PO₄ · 6H₂O), που ονομάζεται επίσης MAP, το οποίο είναι ένα πολύτιμο και βραδείας απελευθέρωσης αζώτου λίπασμα για καλλιέργειες. Η κατακρήμιση στρουβίτη ωθείται με εισαγωγή του Mg²⁺ ιόντος, για παράδειγμα με τη μορφή Mg(OH)₂ ή MgCl₂ · 6H₂O, όταν η συγκέντρωση του Mg²⁺ / NH₄⁺ και PO₄³⁻ υπερβεί το προϊόν διαλυτότητας. Η ρύθμιση του pH είναι συχνά απαραίτητη για να ωθήσει τη διαδικασία (βέλτιστο pH > 9). Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας είναι: σχεδιασμός αντιδραστήρα, ιδιότητες καθίζησης και θερμοκρασία της διεργασίας. Οι περισσότερες από τις παρακάτω παραμέτρους επηρεάζουν το μέγεθος των σχηματιζόμενων κρυστάλλων ή την πυρήνωση: παρουσία ανταγωνιστικών κατιόντων (Ca²⁺ με πιθανό σχηματισμό άλλων αλάτων, όπως: υδροξυαπατίτης Ca₅(PO₄)₃OH, μονενίτης (CaHPO₄) ή μπρουσίτης (CaHPO₄ · 2H₂O)), παρουσία οργανικής ύλης (επηρεάζει την καθαρότητα του ληφθέντος άλατος). (Flotats et al., 2011)

2.2.6 Τεχνητοί υγρότοποι

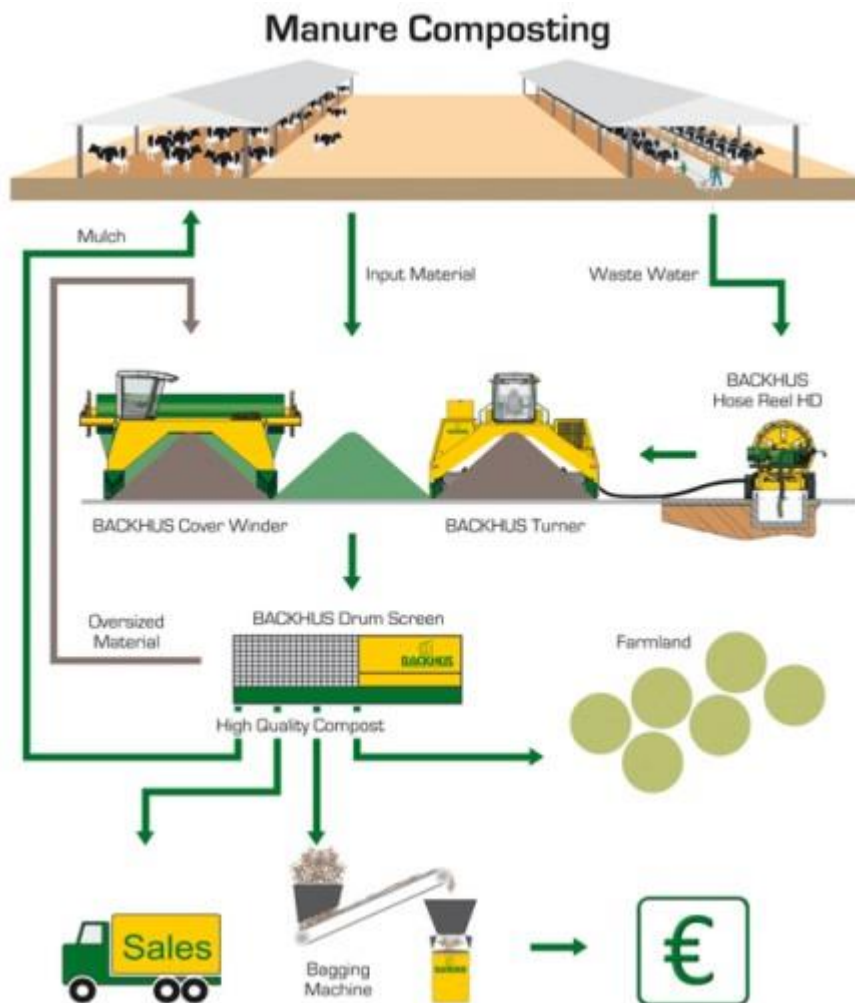
Οι τεχνητοί υγρότοποι (constructed wetlands) είναι μηχανικά συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για την προσομοίωση φυσικών υγροτόπων. Είναι χαμηλού κόστους, απλής και χαμηλής ενεργειακής στάθμης τεχνολογίες που απαιτούν ελάχιστη συντήρηση μετά την κατασκευή. Η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη στην κοπριά μειώνεται κατά την βιολογική αποσύνθεση. Εκτός από τα στερεά και την οργανική ύλη, τα πιο σημαντικά συστατικά στην υγρή κοπριά είναι το άζωτο και ο φώσφορος και αυτά μπορούν και τα δύο να προσληφθούν από τα φυτά σε τεχνητούς υγρότοπους αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Οι υγρότοποι έχουν με επιτυχία εφαρμοστεί, επίσης, σε βιομηχανική κλίμακα, για την επεξεργασία της κοπριάς από γαλακτοκομικές εκμεταλλεύσεις, τα βοοειδή, τους χοίρους και τα πουλερικά. Παρόλα αυτά η αποτελεσματικότητα της αφαίρεσης του αζώτου είναι συνήθως πολύ χαμηλή, 20-60%. Μια πιο σωστή προσέγγιση, για την ανάκτηση θρεπτικών συστατικών, είναι η χρήση των πλωτών υδρόβιων μακροφυτών που χαρακτηρίζεται από υψηλότερες

αποδόσεις πρόσληψης αζώτου, πάνω από το 90% σε βελτιστοποιημένες συνθήκες. Επιπλέον, τα επιπλέοντα είδη προσφέρουν απλά συστήματα συλλογής, από τη συλλογή με το χέρι μέχρι μηχανικούς μεταφορείς. Αμμωνία (NH_4) μπορεί να χαθεί από το σύστημα μέσω πτητικότητας (NH_3 , NH_4^+), που λαμβάνεται από τα φυτά ή τα μικρόβια, ή οξειδώνεται σε νιτρώδη στη διαδικασία της νιτροποίησης, ενώ το νιτρικό (NO_3^-) και τα νιτρώδη (NO_2^-) αφαιρούνται από την πρόσληψη των φυτών κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης. Η απονιτροποίηση είναι η πιο σημαντική οδός απομάκρυνσης αζώτου στην πλειονότητα των υγροτόπων, με κίνδυνο όμως τις εκπομπές N_2O , ενώ η προσρόφηση σε στερεά είναι ο κύριος υπεύθυνος της απομάκρυνσης του φωσφόρου (Cronk., 1996). Ορισμένα παραδείγματα τεχνητών υγροτόπων: Στις ΗΠΑ, οι υγρότοποι που χρησιμοποιούνται για τη διάθεση του υγρού κλάσματος που συλλέγονται από εκτροφεία (Foged, 2009), στην Ολλανδία για την απόρριψη του νερού από μια μονάδα νιτροποίησης –απονιτροποίησης (Foged, 2009), και στη Δανία υγρότοποι είναι σε σύνδεση με μονάδες παραγωγής βιοαερίου υψηλής τεχνολογίας. Η NRCS (Υπηρεσία Διατήρησης Εθνικών Πόρων, ΗΠΑ) αναφέρει ότι οι υγρότοποι για την επεξεργασία των λυμάτων των ζώων έχουν σχεδιαστεί με τις ακόλουθες απαιτήσεις: Επιτρεπόμενο φορτίο BOD5 σε ποσοστό $73 \text{ kg ha}^{-1} / \text{ημέρα}$, χρόνος παραμονής τουλάχιστον 12 ημερών. (Flotats et al., 2011)

2.3 Κατεργασία στερεής φάσης

2.3.1 Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση (composting) είναι μια φυσική βιολογική διαδικασία η οποία έχει απαίτηση σε αέρα, υγρασία και σωστή αναλογία άνθρακα στο άζωτο για να σταθεροποιήσει το οργανικό υλικό. Αυτό είναι κυρίως μια αερόβια διαδικασία και χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση όλων των τύπων οργανικών αποβλήτων. Κατά τη διαδικασία χρησιμοποιείται το οξυγόνο και απελευθερώνεται θερμότητα, νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τις εύκολα βιοδιασπώμενες ουσίες ως πηγή τροφής τους. Το προϊόν που παραμένει μετά από αυτή τη διαδικασία μοιάζει με το φυτόχωμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, οργανικό λίπασμα. Επίσης με την κομποστοποίηση μειώνεται ο όγκος και η μάζα των πρωταρχικών υλικών από 40 έως 80% και καταστρέφονται παράλληλα και όλα τα παθογόνα εάν η διαδικασία ελέγχεται κατάλληλα. Στη συμβατική κομποστοποίηση, τα συστατικά είναι συγκεντρωμένα, αναμεμιγμένα, και στοιβαγμένα σε όλα μαζί σε έναν σωρό ενώ το μίγμα πρέπει να γυρίζεται κάθε τρεις ή τέσσερις μέρες, αλλά μερικές φορές κάθε ημέρα ή μόνο εβδομαδιαία ή μηνιαία. Σε κάποιες περιπτώσεις προστίθεται αέρας για να ελέγχεται η θερμοκρασία και για να υπάρχει μέσα στον σωρό από τα υλικά αρκετό οξυγόνο. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί ελάχιστη ή καμία παραγωγή θερμότητας, το υλικό μετακινείται, αναμιγνύεται και τοποθετείται σε νέο σωρό για αρκετούς μήνες.



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση μονάδας κομποστοποίησης

Τύποι κομποστοποίησης:

(α) το σύστημα σειραδίων (windrows),

(β) το σύστημα του αεριζόμενου στατικού σωρού (static aeration piles) και

(γ) κλειστοί βιοαντιδραστήρες

Το πιο διαδεδομένο σύστημα είναι αυτό των σειραδίων, το οποίο :

- συνίσταται στην τοποθέτηση σε παράλληλους σωρούς τριγωνικής, τραπεζοειδούς ή ορθογώνιας διατομής, οι οποίοι αναδεύονται σε τακτά διαστήματα με μηχανικό τρόπο για επίτευξη επαρκούς αερισμού και ομοιογένειας στον σωρό.
- συχνά προστίθεται ανακυκλοφορούμενο προϊόν της βιοσταθεροποίησης ή/ και κάποιοι προσθετικοί παράγοντες για αύξηση των αερόκενων και βελτίωση της σύστασης του υποστρώματος όσον αφορά

την υγρασία, τα οργανικά και τα άλλα θρεπτικά καθώς και τους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την βιοσταθεροποίηση.

- επίσης μπορεί να προστεθεί και οργανικό ή ανόργανο διογκωτικό υλικό (όπως μικρά τεμάχια ξύλου) με σκοπό την παροχή δομικής στήριξης και την αύξηση του πορώδους του προς βιοσταθεροποίηση μείγματος.
- οι σωροί μπορεί να αερίζονται πρόσθετα από φυσητήρες, προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής παροχή οξυγόνου, ρύθμιση της θερμοκρασίας και να απομακρυνθεί η πρόσθετη υγρασία.

Οι βασικές λειτουργικές παράμετροι που μπορούν να ρυθμιστούν είναι:

- η σχετική πρόσμιξη πρόσθετων ή προϊόντος ή διογκωτικού υλικού δομής (π.χ. πριονίδι),
- η παροχή αέρα (εφόσον παρέχεται πρόσθετος αερισμός),
- οι χρόνοι παραμονής σε κάθε στάδιο και
- η συχνότητα ανάδευσης.

Ο αερισμός κατά την βιοσταθεροποίηση εξυπηρετεί δύο κυρίως σκοπούς:

- την παροχή επαρκούς οξυγόνου για τη βιολογική οξειδωση,
- τη ξήρανση του προς βιοσταθεροποίηση μείγματος

Η ενέργεια η οποία απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας κατά την βιοσταθεροποίηση και για την εξάτμιση της υγρασίας, παράγεται από την απελευθερούμενη ενέργεια κατά την βιοαποδόμηση.

Ο συνδυασμός αναερόβιας χώνευσης-κομποστοποίησης προσφέρει πλήρη καθετοποιημένη αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων μέσω παραγωγής ενέργειας από το βιοαέριο και από το κομπόστ αντίστοιχα. Επιπλέον δεν παράγει απόβλητα.

Συνοπτικά:

- Για κτηνοτροφικά απόβλητα οι Silvey et al εκτιμούν ότι το δυναμικό παραγωγής μεθανίου είναι 0,19 m³ /kgVS.
- Τυπικά παράγονται (ανά τόνο απορρίμματος) 100- 200 m³ βιοαερίου, ανάλογα με τη σύσταση των απορριμμάτων με περιεκτικότητα σε μεθάνιο 55-70% και 200-300 kg compost.
- Η αναερόβια χώνευση τυπικά απαιτεί το 20-40% της παραγόμενης ενέργειας.
- Με μέση θερμιδική αξία 5,5 kWh/m³ , η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τυπικά 100- 250 kWh/ton.

➤ Πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αφορούν:

- Εξυγίανση: Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι λάρβες εντόμων και οι σπόροι ζιζανίων θανατώνονται άμεσα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Οχλήσεις από έντομα και τρωκτικά και δυσάρεστες οσμές εξουδετερώνονται με τη γρήγορη αποδόμηση του οργανικού υλικού.
- Μείωση όγκου και βάρους του αρχικού υλικού: Μέρος του οργανικού άνθρακα μεταβολίζεται σε CO₂. Επιπλέον, η ποιότητα του τελικού προϊόντος (compost) είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του αρχικού υλικού.
- Εξοικονόμηση ενέργειας: Το προϊόν της κομποστοποίησης μειώνει τη χρήση λιπασμάτων, αφού επιστρέφονται στο έδαφος θρεπτικά στοιχεία απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών σε οργανική μορφή. Επίσης, λόγω της αποδόμησης των εύκολα αφομοιώσιμων μορφών οργανικού άνθρακα, μειώνεται ο κίνδυνος ακινητοποίησης του εδαφικού αζώτου.
- Αντικατάσταση της τύρφης από προϊόντα κομποστοποίησης: Η τύρφη χρησιμοποιείται εκτενώς σε μίγματα φυτοχωμάτων, υποστρώματα πολλαπλασιαστηρίων, φυτώρια κλπ. Ωστόσο, οι πηγές αποθεμάτων είναι περιορισμένες και οι αντίστοιχες οργανικές ουσίες πρέπει να βρεθούν ως εναλλακτικές λύσεις πριν τα αποθέματα εξαντληθούν. Εκτός αυτού, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον σε σχέση με τον περιβαλλοντικό κίνδυνο που προκύπτει από την εντατική εξόρυξη τύρφης.
- Μείωση των κινδύνων ρύπανσης στους χώρους υγιεινής απορριμμάτων: Τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διάθεση αποβλήτων στο έδαφος, αφορούν κυρίως τη μόλυνση των υπόγειων υδροφόρων οριζώντων. Η μέθοδος της ταφής έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση στο νερό των προϊόντων αναερόβιας αποδόμησης και την αύξηση της περιεκτικότητας του νερού σε βαρέα μέταλλα. Η έλλειψη οξυγόνου και θρεπτικών στοιχείων, η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου περιβάλλοντος και ο μικρός αριθμός μικροοργανισμών που μπορούν να αποικοδομήσουν τις ουσίες αυτές, συντελούν στη μεγιστοποίηση του προβλήματος.
- Εμπλουτισμός του εδάφους σε οργανική ουσία – ευεργετική επίδραση στη ριζόσφαιρα των φυτών: Η εντατική καλλιέργεια των εδαφών με παράλληλη χρήση χημικών λιπασμάτων έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση της οργανικής ουσίας στα περισσότερα εδάφη. Ο ρόλος της οργανικής ουσίας σε ένα έδαφος σχετίζεται με τη δομή, την υδατοϊκανότητα, τη συγκράτηση ανόργανων στοιχείων και οργανικών μορίων με όσα ευνοϊκά αποτελέσματα για την υγιή ανάπτυξη των φυτών επιφέρει.

➤ Μειονεκτήματα της κομποστοποίησης

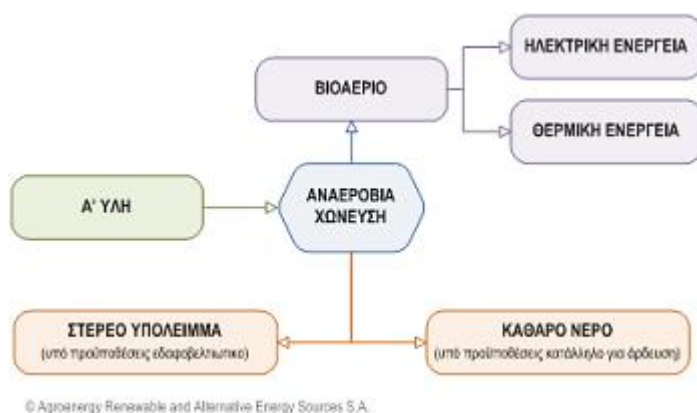
Τα μειονεκτήματα της κομποστοποίησης, όπως αναφέρει ο Epstein, (1997), είναι τα ακόλουθα:

- Αέρια και δυσοσμίες, μπορούν να εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτά τα αέρια και οι δυσοσμίες μπορούν να περιοριστούν με την καλύτερη σχεδίαση του χώρου κομποστοποίησης και διαχείρισης των λειτουργιών της.
- Η κομποστοποίηση ως μέθοδος χρειάζεται περισσότερο χώρο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες διαχείρισης αποβλήτων. Οι απαιτήσεις χώρου συχνά, αφορούν την αποθήκευση και τις ανάγκες της αγοράς.
- Το προϊόν της κομποστοποίησης πρέπει να πουληθεί στην αγορά.

2.3.2 Αναερόβια Χώνευση

I. Ορισμός

Η Αναερόβια Χώνευση (anaerobic digestion) είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών και μετατρέπονται σε βιοαέριο. Με άλλα λόγια, κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε μικρότερα μόρια όπως το μεθάνιο (CH_4) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και σε θερμοκρασιακή περιοχή περίπου μεταξύ $20-55^\circ \text{C}$. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης συναντάται και στη φύση καθώς μεθάνιο παράγεται μέσω της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από μικροβιακές δραστηριότητες συνήθως σε έλη τύρφης, λίμνες ή θαλάσσια ιζήματα και ζωικές δραστηριότητες, όπως στο στομάχι των μηρυκαστικών. Εκτός όμως από το φυσικό περιβάλλον η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την παραγωγή βιοαερίου σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες ή αλλιώς χωνευτήρες. Σε μια εγκατάσταση βιοαερίου, τα παράγωγα προϊόντα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο και το κομπόστ.

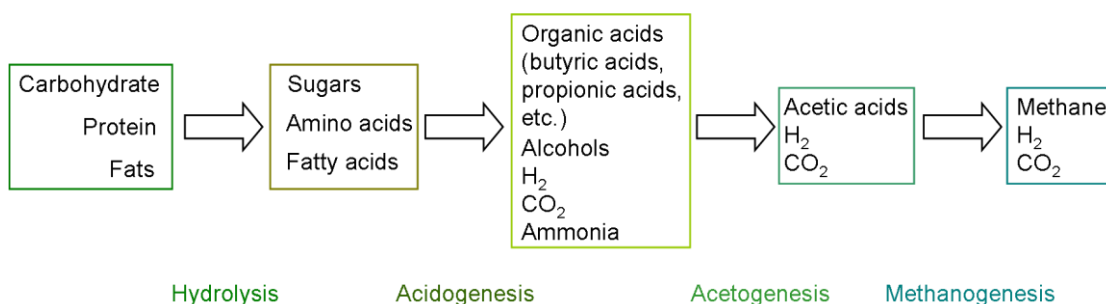


Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής αναερόβιας χώνευσης (Πηγή: Agroenergy A.E.)

Η αναερόβια χώνευση διαφορετικά ονομάζεται και βιολογική μετατροπή της βιομάζας σε βιοαέριο. Εκτός από τη βιολογική μετατροπή υπάρχει και η θερμική παροχή όπου παράγεται ένα μίγμα αερίων με τελικό προϊόν το μεθάνιο με γρήγορο ρυθμό σε υψηλή θερμοκρασία αλλά και υψηλό κόστος. Ο ρυθμός της βιολογικής μετατροπής είναι μικρότερος σε σχέση με τη θερμική παροχή ισορροπημένου χημικού και θρεπτικού περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, μεγάλο μέρος της οργανικής ύλης περί τα 30-50% δεν μπορεί να παράγει βιοαέριο διότι δεν είναι βιοαποικοδομήσιμο (Γεωργακάκης 2010).

II. Βιοχημική Διαδικασία Παραγωγής βιοαερίου

Η βιοχημική διεργασία της παραγωγής βιοαερίου και κατ' επέκταση μεθανίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνει τέσσερις κύριες φάσεις όπου σε κάθε στάδιο η αρχική ύλη διασπάται διαδοχικά σε μικρότερες μονάδες μέσω κάθε φορά διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών.



Εικόνα 6: Στάδια παραγωγής βιοαερίου(Πηγή: Mc Carty, P.L.(1982))

Την πρώτη φάση αποτελεί η υδρόλυση όπου σύνθετες οργανικές μακρομοριακές ενώσεις όπως είναι τα νουκλειικά οξέα, τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες μετατρέπονται σε απλούστερα ολιγομερή και μονομερή με την βοήθεια έξω-ενζύμων. Τα ένζυμα αυτά παράγονται από μία ομάδα βακτηρίων που ονομάζονται οξεοπαράγωγα (Bacterides, Clostridia κ.α.) και μέσω της υδρόλυσης οι σύνθετες οργανικές ενώσεις διασπώνται σε απλές διαλυτές οργανικές ενώσεις μικρότερης μοριακής αλυσίδας όπως τα λιπαρά οξέα, τα σάκχαρα και τα αμινοξέα. Η φάση της υδρόλυσης είναι πολύ σημαντική γιατί καθορίζει την ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου.

Στη δεύτερη φάση πραγματοποιείται η διαδικασία της οξεογένεσης. Κατά τη διάρκεια της τα προϊόντα της υδρόλυσης αποικοδομούνται με τη βοήθεια οξεογενών βακτηρίων και μετατρέπονται σε οξικό οξύ (CH_3COOH) σε ποσοστό 50%, σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρογόνο (H_2) κατά 20%, καθώς και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες κατά 30%. Το οξικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο αποτελούν μεθανογενή υποστρώματα και μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο. Αντίθετα, τα λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες πρέπει να περάσουν από το επόμενο στάδιο της ακετογένεσης.

Στην κετογένεση τα προϊόντα από την οξεογένεση που δεν μετατράπηκαν στο προηγούμενο στάδιο μετατρέπονται σε αυτό το στάδιο σε μεθανογενή υποστρώματα με την επέμβαση μιας κατηγορίας εξειδικευμένων αναερόβιων μικροοργανισμών που ονομάζονται μεταβατικά βακτήρια. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα.

Το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί η μεθανογένεση. Σε αυτή τη φάση σχηματίζεται το μεθάνιο σε ποσοστό περίπου 70% από τα οξεότροφα μεθανοβακτήρια (*Methanosarcina* spp., *Methanothrix* spp.) τα οποία αποικοδομούν τα οργανικά οξέα που παράχθηκαν όπως το οξικό οξύ. Το υπόλοιπο 30% περίπου προέρχεται από την αναγωγή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα μέσω των υδρογονοτρόφων μεθανοβακτηρίων (*Methanobacterium* spp., *Methanococcus* spp. κ.α.) (Ahring 2003 ; Yadvika et al.2004). Τα υδρογονοτρόφα μεθανοβακτήρια χρειάζονται κάποια ιχνοστοιχεία όπως είναι το κοβάλτιο, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο και το σελήνιο τα οποία όταν βρίσκονται σε υψηλή περιεκτικότητα στην πρώτη ύλη αυξάνουν τον ρυθμό της διεργασίας (Lebuhn et al.2008). Αποτελεί κρίσιμο στάδιο, καθώς είναι η πιο αργή και ρυθμορυθμιστική αντίδραση της όλης διεργασίας.

Τα μεθανοβακτήρια παρουσιάζουν το βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης (περίπου το 20% του ρυθμού ανάπτυξης των οξυγενών βακτηρίων) από όλους τους αναερόβιους μικροοργανισμούς στη διεργασία, πολύ μεγάλη ευαισθησία και επηρεάζονται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα. Είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ομαλότητας στη διαδικασία τα πτητικά οξέα και το υδρογόνο να βρίσκονται σε σταθερά επιθυμητά επίπεδα μέσα στον χωνευτήρα ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ των οξεοπαραγωγών και των μεθανοβακτηρίων. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός της τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας (μεσοφιλικά και θερμοφιλικά βακτήρια), η αυξημένη παρουσία διαλυμένου οξυγόνου (DO) οδηγούν στη μείωση ή ακόμα και τον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου (Agroenergy A.E. 2012).

III. Υποστρώματα βιομάζας

Υπάρχουν διάφορα είδη βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για την παραγωγή βιοαερίου μέσω της Αναερόβιας Χώνευσης. Οι πιο συνηθισμένες πηγές είναι:

- Ζωικά απόβλητα ή και φυτικά υπολλείματα
- Βιομηχανικά απόβλητα κυρίως από βιομηχανίες τροφίμων, σφαγείων και αγροτοβιομηχανίες
- Αστικά οικιακά οργανικά απόβλητα και η λυματολάσπη
- Ενεργειακές καλλιέργειες όπως αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο, τριφύλλι κ.α. αλλά και υδάτινες όπως άλγη.

Τα ζωικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από εγκαταστάσεις βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων ενώ τα φυτικά υπολλείματα από τις τροφές των ζωικών εγκαταστάσεων όπως άχυρο, κριθάρι. Η χρήση των ζωικών αποβλήτων ως πρώτη ύλη για την αναερόβια χώνευση πλεονεκτεί έναντι άλλων ειδών βιομάζας. Το φυσικό περιεχόμενό τους σε αναερόβια βακτήρια, η υψηλή περιεκτικότητά τους σε νερό το οποίο ενεργεί ως διαλύτης για τα άλλα υποστρώματα και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμιξη και ροή της βιομάζας, το χαμηλό κόστος της πρώτης ύλης και η εύκολη προσβασιμότητα, καθώς αποτελούν απόβλητα/υποπροϊόντα που συλλέγονται καθημερινά, κάνει ελκυστική την επεξεργασία τους (Agroenergy A.E. 2012).

IV. Πλεονεκτήματα

- Η αναερόβια χώνευση πρόκειται για μια καθαρή διαδικασία παραγωγής ενέργειας. Το παραγόμενο βιοαέριο και συγκεκριμένα το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας καλύπτοντας τη μικρή δαπάνη ενέργειας που απαιτεί η διαδικασία και το αρχικό κόστος της επένδυσης (Gray 2004). Η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο ενώ η περίσσεια θερμότητα να εξυπηρετήσει τις ανάγκες θέρμανσης κτηρίων, προσφέροντας οικονομικό όφελος.
- Η παραγωγή ενέργειας από μη ορυκτά καύσιμα είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς μειώνει τις επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη, μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών μεθανίου από την ακατέργαστη κοπριά που αποθηκεύεται ή εναποθέτεται στο έδαφος. Επιπλέον, καθότι το βιοαέριο θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας μπορεί να μειώσει τη ζήτηση σε συμβατικά καύσιμα (Swoboda 2003).
- Αποτελεσματική καταστροφή μεγάλου φάσματος παθογόνων μικροοργανισμών.
- Οσμές και πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν αποτελεσματικά.
- Δυνατότητα χρήσης του στερεού υπολλείματος της αναερόβιας χώνευσης μετά από κατάλληλη επεξεργασία (κομποστοποίηση) ως εδαφοβελτιωτικού και λιπάσματος. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη μείωση του οργανικού φορτίου, υψηλό ποσοστό άμεσα διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών, απαραίτητα στους φυτικούς οργανισμούς και μικρότερο βαθμό αλατότητας σε σχέση με την αναερόβια κομποστοποίηση.
- Μικρότερες απαιτήσεις σε χώρο άρα και μειωμένο κόστος σε σύγκριση με την αερόβια κομποστοποίηση. Αυτό οφείλεται στον μειωμένο όγκο των αποβλήτων για μετέπειτα διάθεση, καθώς η ποσότητα που παράγεται είναι 3-20 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στην αερόβια επεξεργασία. (Lettinga et al. 1980, Dennis and Burke 2001).
- Δυνατότητα συνδιαχείρισης με άλλα είδη οργανικών αποβλήτων όπως βιομηχανικά απόβλητα.

V. Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος κεφαλαίου και εξάρτηση από την κατανάλωση ενέργειας(Swoboda 2003)
- Απαιτήση εξειδικευμένου προσωπικού για την τεχνική υποστήριξη και τον συνεχή έλεγχο της διαδικασίας.
- Διαχείριση ενός μέρους των αποβλήτων και όχι του συνόλου.
- Ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας των εκροών, όπως παστερίωση, για ασφαλή διάθεσή τους στο περιβάλλον, καθώς παρατηρείται μικρότερη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία(Gray 2004).
- Ευαισθησία των συστημάτων σε μεταβολές διαφόρων παραμέτρων όπως η οργανική φόρτιση, το pH ,η θερμοκρασία και η παρουσία τοξικών ενώσεων των μεθανογόνων μικροοργανισμών.
- Αργότερη διεργασία από την αερόβια χώνευση, λόγω του μεγάλου χρονικού διαστήματος προσαρμογής της μικροβιακής καλλιέργειας στις νέες συνθήκες (Gerardi 2003). Τα μεθανοβακτήρια παρουσιάζουν επίσης μικρό ειδικό ρυθμό ανάπτυξης (Bitton 2005).
- Δυσσομία του συστήματος ειδικότερα όταν υπάρχουν θειικά στην εισροή.
- Συχνά, μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιείται επιτόπου, εξαιτίας της απομακρυσμένης απόστασης της εγκατάστασης βιοαερίου από την πτηνο-κτηνοτροφική μονάδα. Το μικρό μέγεθος της μονάδας άρα και οι μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια καθιστούν το κόστος μεταφοράς απαγορευτικό. Επίσης, οι μονάδες βιοαερίου είναι εγκατεστημένες μακριά από τα αστικά κέντρα, και άρα η διοχέτευση του παραγόμενου βιοαερίου στο δίκτυο επιβάλλει την κατασκευή αγωγών μεταφοράς του αυξάνοντας την δαπάνη του έργου συνολικά.

VI. Παράγοντες ομαλής λειτουργίας αναερόβιας χώνευσης

Η αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης διαφορετικής σύστασης αποβλήτων και της απόδοσης του αναερόβιου χωνευτήρα κρίνεται από:

- Τον ρυθμό παραγωγής μεθανίου
- Τον βαθμό ελάττωσης του οργανικού φορτίου
- Τη σταθερότητα της μικροβιακής δραστηριότητας
- Την ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται
- Την οικονομική βιωσιμότητα της διαδικασίας

Τα κριτήρια αυτά επηρεάζονται από κάποιους βασικούς παράγοντες οι οποίοι ελέγχονται με προσοχή καθώς υποδηλώνουν κατά πόσον λειτουργούν ορθά και βέλτιστα οι αναερόβιοι αντιδραστήρες. Τέτοιες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, το pH, η χημική σύσταση του υποστρώματος , η οργανική φόρτιση και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, η τοξικότητα και η παρεμπόδιση. Όλες οι παράμετροι παρουσιάζουν σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

➤ **Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία αποτελεί το κύριο περιβαλλοντικό παράγοντα που επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Διακρίνουμε πέντε θερμοκρασιακές περιοχές για τη βέλτιστη ανάπτυξη των μικροοργανισμών: α) Υπερθερμόφιλοι $T > 80^{\circ}\text{C}$, θερμοόφιλοι $65-75^{\circ}\text{C}$, μεσόφιλοι $30-40^{\circ}\text{C}$, ψυχροαυτοθεκτικοί $20-30^{\circ}\text{C}$, ψυχρόφιλοι $10-20^{\circ}\text{C}$ (Καραγκούνη-Κύρτσου Αμαλία, 1999). Η επεξεργασία των αποβλήτων στην αναερόβια χώνευση γίνεται κυρίως σε μεσόφιλες και σε θερμοόφιλες συνθήκες λόγω της υψηλής απόδοσής τους. Ακόμα και μικρές θερμοκρασιακές αλλαγές κατά τη λειτουργία ενός συστήματος αναερόβιας χώνευσης

μπορεί να αποβούν μοιραίες και αυτό γιατί οι μεθανογόνοι κυρίως μικροοργανισμοί που είναι και η πιο ευαίσθητοι της διεργασίας εισέρχονται σε λανθάνουσα φάση ώστε να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες. Αυτό γίνεται ακόμα πιο σημαντικό συμπεριλαμβανομένου του μικρού μέγιστου ειδικού ρυθμού αύξησης των μεθανογόνων σε σχέση με τους οξικογόνους. Συνολικά η θερμοφιλή αναερόβια χώνευση φαίνεται να υπερτερεί της μεσόφιλης, αφού παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως: α) μικρότερο όγκο εγκαταστάσεων, β) μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης των οργανικών και ως εκ τούτου αύξηση του ρυθμού παραγωγή βιοαερίου, γ) ταχύτερη υδρόλυση και δ) καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών. Οι υψηλές όμως απαιτήσεις σε ενέργεια, σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις, καθώς και με τη μειωμένη ευστάθεια των συστημάτων αυτών καθιστούν συνήθως την θερμοφιλή αναερόβια χώνευση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη (Ward, 2007, Κάλφας, 2007)

➤ pH

Η ενζυμική λειτουργία και διεργασία της αναερόβιας χώνευσης επηρεάζονται από το pH. Οι ζυμωτικοί μικροοργανισμοί έχουν ικανοποιητική ενζυμική λειτουργία ακόμα και σε τιμές pH 5, κάτι που δεν ισχύει για τους μεθανογόνους οι οποίοι αναπτύσσονται με πολύ αργούς ρυθμούς σε τιμές pH κάτω του 6.6 (Angelidaki, et al., 2003). Οι περισσότεροι μεθανογόνοι αναπτύσσονται και λειτουργούν χωρίς προβλήματα, για pH μεταξύ 6.8 και 7.4, υπάρχουν όμως και αναφορές για μεθανογόνους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται σε ακραίες συνθήκες όπως σε τιμή pH 3.5 (Kotsyurbenko et al., 2004).

Κατά την αναερόβια χώνευση δύνανται να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις από αυτή την περιοχή λόγω της συσσώρευσης όξινων ή βασικών μεταβολικών προϊόντων όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα ή η αμμωνία, αντίστοιχα. Η αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων είναι από τα πιο κοινά προβλήματα των αναερόβιων συστημάτων και συμβαίνει συνήθως όταν οι οξικογόνοι ή οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί έχουν παρεμποδιστεί με αποτέλεσμα τα οξέα να μην καταναλώνονται και να συσσωρεύονται στον χωνευτήρα. Αυτό οδηγεί στην εκτροπή της διεργασίας. Υπό φυσιολογικές συνθήκες η πτώση στο pH του συστήματος ρυθμίζεται από τα HCO_3^- ιόντα (η αλκαλικότητα οφείλεται κυρίως στα HCO_3^- ιόντα), και στη κατανάλωση των οξέων κατά τη μεθανογένεση. Συνήθως μία σημαντική μείωση στην αλκαλικότητα οδηγεί σε αλλαγή του pH. Η ολική αλκαλικότητα κατά την αναερόβια χώνευση, η οποία εκφράζεται $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 3000-6000 CaCO_3/l (Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater). Συνηθέστερα χημικά που προσθέτονται για την ρύθμιση της αλκαλικότητας σε σύστημα είναι ασβέστης $\{\text{Ca}(\text{OH})_2\}$, υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3), άνυδρη αμμωνία (NH_3), όξινο ανθρακικό αμμώνιο (NH_4HCO_3), όξινο ανθρακικό κάλιο (KHCO_3). Η ευαισθησία στη μείωση του pH είναι μεγαλύτερη για τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς απ' ότι για τους ζυμωτικούς.

➤ Χημική σύσταση του υποστρώματος

Η χημική σύσταση του υποστρώματος είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε ένα αναερόβιο χωνευτήρα. Επικρατούν οι μικροοργανισμοί εκείνοι που μπορούν να μεταβολίσουν τα ανόργανα και οργανικά συστατικά της τροφοδοσίας. Κάποια συστατικά πολυσύνθετων υποστρωμάτων όπως για παράδειγμα η λιγνίνη, μπορεί να

είναι μη βιοαποδομήσιμα, οπότε δεν έχουμε πλήρη απομάκρυνση του οργανικού υλικού (Bitton, 2005). Το προς επεξεργασία απόβλητο πρέπει να έχει επαρκείς ποσότητες σε άζωτο (N) και φώσφορο (P) (τα οποία καλούνται και θρεπτικά), καθώς και θείου (S). Αν το υλικό δεν περιέχει τις απαιτούμενες ποσότητες, η εξισορρόπηση με τη προσθήκη θρεπτικών είναι αναγκαία. Οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί λόγω του περίπλοκου ενζυμικού συστήματος τους και για τη σωστή τους λειτουργία έχουν απαιτήσεις σε ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος (Fe), το κοβάλτιο (Co), το μολυβδαίνιο (Mo), το νικέλιο (Ni), το μαγνήσιο (Mg), το ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na), χαλκός (Cu), το βάριο (Ba), το σελήνιο (Se) και ο ψευδάργυρος (Zn). Ο ρόλος όλων των ιχνοστοιχείων είναι πολύ σημαντικός για την σωστή ενζυμική λειτουργία και ιδιαίτερα για τη μετατροπή του οξικού οξέος σε μεθάνιο (Gerardi, 2003). Τα χαρακτηριστικά και η σύνθεση του υποστρώματος, είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό και σωστή λειτουργία της αναερόβιας διεργασίας (Kotz et al., 1969).

➤ **Οργανική φόρτιση και υδραυλικός χρόνος παραμονής**

Ως υδραυλικό χρόνο παραμονής (Hydraulic Retention Time, HRT ή ΥΧΠ) ορίζεται το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο το διαθέσιμο προς χώνευση υλικό παραμένει σ' αυτόν και δίνεται από τη σχέση: $HRT = VR/F_w$ όπου VR είναι ο όγκος του χωνευτήρα και F_w η ημερήσια ογκομετρική παροχή απόβλητου. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής ενός χωνευτήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να επιτρέπει στους αναερόβιους μικροοργανισμούς να ολοκληρώσουν το κυτταρικό τους κύκλο. Ο ρυθμός με τον οποίο το οργανικό υλικό παρέχεται σε ένα σύστημα αναερόβιας χώνευσης, είναι καθοριστικής σημασίας για τη σταθερότητα της διεργασίας. Υψηλός ρυθμός οργανικής φόρτισης μπορεί να επιφέρει προβλήματα όπως τη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων και άλλων παρεμποδιστών με αποτέλεσμα την εκτροπή της διεργασίας.

➤ **Τοξικότητα και παρεμπόδιση**

Πολλές ενώσεις και στοιχεία εκδηλώνουν τοξικότητα στην αναερόβια χώνευση. Η τοξικότητα μιας ουσίας μπορεί να εμφανιστεί γρήγορα ή με πιο αργούς ρυθμούς και αυτό εξαρτάται από το είδος της τοξικής ουσίας, τη συγκέντρωσή της, την ύπαρξη άλλης παρεμποδιστικής ουσίας όπου δρουν συνεργατικά και την προσαρμοστικότητα των μικροοργανισμών. Συνήθως οι μεθανογόνοι παρεμποδίζονται λόγω τοξικότητας καθ' ότι η πιο ευαίσθητη ομάδα της διεργασίας. Αυτό οδηγεί στη μείωση της παραγωγής μεθανίου και στη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων.

i. **Οξυγόνο**

Για τους αυστηρά αναερόβιους μικροοργανισμούς όπως είναι οι περισσότεροι μεθανογόνοι, παρουσία οξυγόνου ακόμα και σε ίχνη είναι παράγοντας παρεμπόδισης για την αναερόβια χώνευση.

ii. **Αμμωνία**

Η μη ιονισμένη αμμωνία έχει παρεμποδιστική δράση. Η τιμή της συγκέντρωσης που είναι τοξική στους μικροοργανισμούς εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι το pH. Γενικά συγκεντρώσεις αμμωνίας άνω των 4 g/l επιφέρουν αναστολή της διεργασίας ανεξαρτήτως pH. Οι οξικολυτικοί μεθανογόνοι είναι πιο ευαίσθητοι από τους υδρογονοτροφικούς μεθανογόνους. Έρευνες έχουν δείξει ότι έπειτα από κατάλληλη προσαρμογή για κάποιο χρονικό διάστημα (έξι μήνες), οι μικροοργανισμοί μπορούν να αντέξουν σε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας (4-6 g/l) (Gallert et al., 1997).

iii. **Θειούχα και θειικά ανιόντα**

Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται το θείο για την ανάπτυξή τους. Για την ικανοποίηση αυτής της ανάγκης, δεσμεύουν το διαλυτό θείο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση (HS^-). Ωστόσο σε συγκεντρώσεις άνω των 200 mg/l τα θειικά ανιόντα δύναται να προκαλέσουν παρεμπόδιση (Σκιαδάς, 1998).

iv. Βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα (για παράδειγμα Cu^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+}) βρίσκονται σε βιομηχανικά κυρίως απόβλητα. Πολλά από αυτά τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα για τη σωστή ενζυμική λειτουργία των μεθανογόνων. Ωστόσο σε συγκεντρώσεις ανώτερες από τη συγκέντρωση ανάπτυξης, είναι τοξικά για την αναερόβια χώνευση.

v. Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες

Οι χλωριωμένοι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες είναι ισχυροί παρεμποδιστές της μεθανογένεσης. Έρευνες έχουν δείξει ότι ακόμα και σε συγκεντρώσεις κάτω των 18mg/l επέρχεται κατά 50% αναστολή της μεθανογένεσης (Σκιαδάς, 1998).

vi. Φορμαλδεΐδη

Οι μεθανογόνοι παρεμποδίζονται σε συγκεντρώσεις φορμαλδεΐδης 100 mg/l. Η λειτουργία τους αποκαθίσταται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις (Hickey et al., 1987)

vii. Αρωματικές ενώσεις

Αρωματικές ενώσεις όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο και οι φαινόλες παρεμποδίζουν τη μεθανογένεση. Οι φαινολικές ενώσεις περιλαμβάνουν τις νιτροφαινόλες, τις χλωροφαινόλες και τις τανίνες. Σύμφωνα με τον Smith, A., η ικανότητα των φαινολικών ενώσεων να δημιουργούν σύμπλοκα με μακρομόρια και μέταλλα είναι η κύρια αιτία της παρεμποδιστικής τους δράσης στους μικροοργανισμούς (Smith et al., 2005).

viii. Ανόργανα στοιχεία

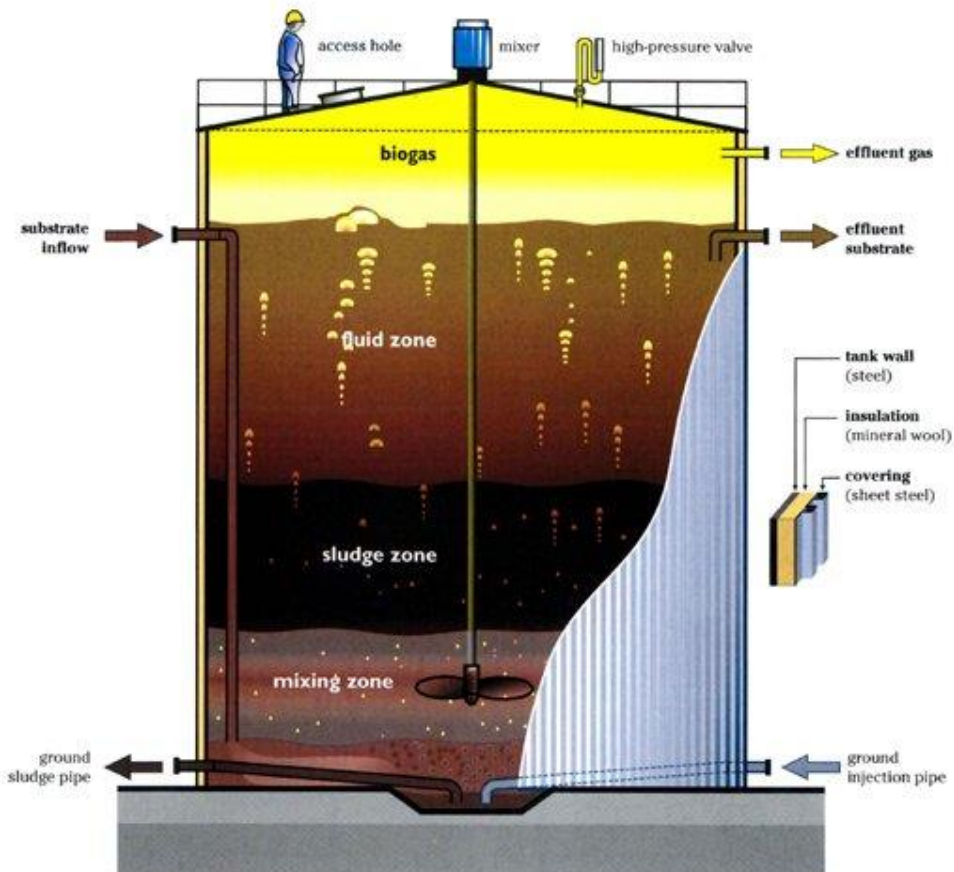
Τα ανόργανα κατιόντα Na^+ , K^+ , Ca^{+2} και Mg^{+2} σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν παρεμπόδιση στην διεργασία της αναερόβιας χώνευσης (De Baere et al., 1984)

ix. Ανώτερα λιπαρά οξέα και πτητικά λιπαρά οξέα

Τα ανώτερα λιπαρά οξέα (π.χ ολεϊκό, καπρικό, μυριστικό, λαουρικό), έχουν στην αλυσίδα τους 8-18 άτομα άνθρακα. Είναι παρεμποδιστές για την αναερόβια χώνευση και ειδικότερα το λαουρικό εμφανίζει τη μεγαλύτερη τοξικότητα (Koster, 1987). Η χημική σύνθεσή τους και η δομή τους είναι παρόμοια με αυτή των

λιπιδικών συστατικών της κυτταρικής μεμβράνης των οξικολυτικών μεθανογόνων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προσκολλώνται και να διαλύονται στη κυτταρική μεμβράνη των κυττάρων μειώνοντας έτσι τη δραστικότητα των κυττάρων (Gerardi, 2006). Τα πτητικά λιπαρά οξέα, όπως το οξικό και το βουτυρικό, όπως έχει αναφερθεί είναι ενδιάμεσα προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης και εμφανίζουν μικρή τοξικότητα όταν το pH είναι ουδέτερο. Αντίθετα, το προπιονικό οξύ σε υψηλές συγκεντρώσεις, είναι τοξικό για όλο το μικροβιακό πληθυσμό της αναερόβιας χώνευσης (Anderson, 2003).

VII. Συστήματα αναερόβιας χώνευσης



Εικόνα 7: Διάγραμμα τυπικού αναερόβιου χωνευτήρα

Από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης, είναι η επιλογή του κατάλληλου συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί. Κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος είναι τα τεχνοοικονομικά και τα φυσικά, χημικά, βιολογικά χαρακτηριστικά του προς επεξεργασία αποβλήτου.

Ο Lettinga, προσδιόρισε τις συνθήκες που πρέπει να πληρεί ένα αποδοτικό αναερόβιο σύστημα (Lettinga, 1995):

- Υψηλή κατακράτηση της ενεργού βιομάζας στον αντιδραστήρα, κατά την διάρκεια της λειτουργίας του.
- Επαρκής επαφή μεταξύ της βιομάζας και του διαθέσιμου προς χώνευση απόβλητου.
- Υψηλούς ρυθμούς αντιδράσεων και απουσία περιορισμών από φαινόμενα μεταφοράς.
- Ικανότητα προσαρμογής της βιομάζας σε διαφορετικούς τύπους αποβλήτων.
- Επικράτηση ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλα τα είδη των μικροοργανισμών, στις επιβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες.

a) Συμβατική αναερόβια χώνευση

Είναι ο απλούστερος σχεδιασμός αναερόβιου χωνευτήρα και αποτελείται κατά πλείστον από μια κυλινδρική δεξαμενή. Η λειτουργία του βασίζεται στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε αιώρημα και η ανάμιξη μπορεί να είναι πλήρης ή μερική. Γίνεται είτε με μηχανικό αναδευτήρα είτε με ανακυκλοφορία του παραγόμενου βιοαερίου ή και με ανακυκλοφορία υγρού μέσα από εναλλάκτες θερμότητας.

Η διεργασία συμβατικής αναερόβιας χώνευσης ενός σταδίου παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (Hall, 1992):

- Είναι κατάλληλη για απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών.
- Είναι κατάλληλη για πολύ ισχυρά υγρά απόβλητα.
- Η λειτουργία της και η παρακολούθησή της είναι απλή.
- Η πλήρης ανάδευση ελαχιστοποιεί τους νεκρούς όγκους.
- Δεν λαμβάνονται υπόψη οι ιδιότητες καθίζησης της βιομάζας.

Τα μειονεκτήματα της είναι τα εξής:

- Απαιτούνται συνήθως μεγάλοι όγκοι αντιδραστήρων.
- Η ανάμιξη είναι δύσκολη, για απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών.
- Η απόδοση μετατροπής του οργανικού υλικού σε βιοαέριο είναι χαμηλή και είναι ευαίσθητη σε τοξικές ουσίες και αιφνίδιες αυξήσεις της οργανικής φόρτισης.

b) Συμβατική αναερόβια χώνευση δύο σταδίων

Αυτού του είδους η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα σε δύο χωνευτήρες, εκ των οποίων θερμαίνεται συνήθως μόνο ο πρώτος. Το βασικότερο μέρος της βιολογικής επεξεργασίας γίνεται στον πρώτο αντιδραστήρα, ενώ ο δεύτερος διαχωρίζει τα στερεά (βιομάζα και αιωρούμενα στερεά που δεν πρόλαβαν να υδρολυθούν) από το υγρό. Η λάσπη που συγκεντρώνεται επιστρέφει στον πρώτο αντιδραστήρα, αυξάνοντας έτσι τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών και μεθανογόνων μικροοργανισμών.

Η διεργασία συμβατικής αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα (Hall, 1992):

- Είναι κατάλληλη για πολύ ισχυρά υγρά απόβλητα.
- Η λειτουργία της και η παρακολούθησή της είναι απλή.
- Η πλήρης ανάδευση ελαχιστοποιεί τους νεκρούς όγκους.
- Είναι εφικτή σχετικά υψηλότερη απόδοση μετατροπής οργανικού υλικού.
- Απαιτείται μικρότερος όγκος χωνευτήρων.

Τα μειονεκτήματα αυτής της διεργασίας είναι τα εξής:

- Τα χαρακτηριστικά καθίζησης επηρεάζουν την απόδοση της διεργασίας.
- Δεν είναι κατάλληλη για απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση στερεών.
- Μπορεί να είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία για την βελτίωση των χαρακτηριστικών καθίζησης της βιομάζας.

c) Ταχύρυθμες και υβριδικές διατάξεις αναερόβιας χώνευσης

Η λειτουργία της ταχύρυθμης αναερόβιας χώνευσης βασίζεται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών προσκολλημένων σε στερεή επιφάνεια και παρουσιάζει πλεονεκτήματα στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων μέτριας οργανικής ισχύος, με ελάχιστα αιωρούμενα στερεά. Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού σχηματίζοντας έτσι βιολογικό στρώμα (biofilm) ή προσκολλώνται μεταξύ τους δημιουργώντας συσσωματώματα. Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν χαρακτηριστικά διαφόρων διατάξεων αναερόβιας χώνευσης, με σκοπό τη διατήρηση θετικών στοιχείων και την εξάλειψη των αδυναμιών.

-Αναερόβια φίλτρα

Στα αναερόβια φίλτρα, το προς επεξεργασία απόβλητο εισέρχεται κατακόρυφα είτε ανοδικά είτε καθοδικά σε μία στήλη που είναι γεμάτη με κάποιο αδρανές στερεό πληρωτικό υλικό όπως χαλίκι, γυάλινες χάντρες ή διάτρητο πολυεστέρα.

Το πληρωτικό υλικό δρα ως μία επιφάνεια στην οποία προσκολλώνται οι μικροοργανισμοί. Μεγάλο μέρος της βιομάζας βρίσκεται στον χώρο ανάμεσα στα σωματίδια του πληρωτικού υλικού, όπου εγκλωβίζεται και συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην αποδόμηση του οργανικού υλικού.

Συνοψίζοντας, τα αναερόβια φίλτρα παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα (Hall, 1992):

- Λειτουργούν με υψηλή συγκέντρωση βιομάζας και μεγάλους χρόνους παραμονής στερεών.
- Δέχονται υψηλούς ρυθμούς οργανικής φόρτισης σε μικρού όγκου αντιδραστήρες.
- Παρουσιάζουν σταθερότητα σε διακυμάνσεις της τροφοδοσίας.
- Δεν απαιτείται μηχανική ανάδευση.
- Η έκλυση βιοαερίου και η ανακυκλοφορία εξασφαλίζουν ομοιόμορφες συνθήκες λειτουργίας στο εσωτερικό του φίλτρου.

Τα μειονεκτήματα των αναερόβιων φίλτρων είναι:

- Η υπερβολική συσσώρευση βιομάζας μπορεί να έχει αρνητικό αποτέλεσμα στην ομαλή λειτουργία του φίλτρου.
- Είναι ακατάλληλα για επεξεργασία αποβλήτων με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών.
- Πρέπει να γίνεται περιοδική απομάκρυνση βιομάζας.
- Η λήψη δειγμάτων από το εσωτερικό του φίλτρου είναι δύσκολη.
- Το κόστος του πληρωτικού υλικού και της στήριξης του είναι υψηλό.

-Διαστελλόμενες και ρευστοποιημένες κλίνες

Στις διαστελλόμενες και ρευστοποιημένες κλίνες ο μικροβιακός πληθυσμός συγκρατείται από πληρωτικό υλικό μικρής διαμέτρου και συνεπώς μεγάλης ειδικής επιφάνειας, που επιτρέπει καλύτερη μεταφορά μάζας από την υγρή φάση προς την βιολογική μεμβράνη. Το συνηθέστερο πληρωτικό υλικό είναι σφαιρικοί κόκκοι πυριτικής άμμου διαμέτρου 0.2 έως 0.5 χιλιοστών. Σε διεργασίες διαστελλόμενης κλίνης αναπτύσσονται ταχύτητες ροής, ώστε η διαστολή της κλίνης να κυμαίνεται μεταξύ 15 % και 30 %, ενώ σε διεργασίες ρευστοποιημένης κλίνης ταχύτητες ροής, ώστε η διαστολή της κλίνης να κυμαίνεται μεταξύ 25% και 300% (Σταματελάτου 1999). Ως πλεονεκτήματα των διαστελλόμενων και ρευστοποιημένων κλινών μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω (Hall, 1992):

- Λειτουργούν με υψηλή συγκέντρωση βιομάζας και μεγάλους χρόνους παραμονής μικροοργανισμών.
- Δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για μεταφορά μάζας.
- Απαιτείται μικρός όγκος χωνευτήρων.
- Είναι εφικτή μεγαλύτερη απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού, σε σχέση με τα αναερόβια φίλτρα.
- Παρουσιάζουν σταθερότητα σε διακυμάνσεις της τροφοδοσίας.
- Δεν απαιτείται μηχανική ανάδευση.
- Η έκλυση βιοαερίου και η ανακυκλοφορία εξασφαλίζουν ομοιόμορφες συνθήκες λειτουργίας στο εσωτερικό της κλίνης.

Τα μειονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- Η εκκίνησή τους είναι δύσκολη.
- Είναι ενεργοβόρες.
- Ο έλεγχος και η εκτίμηση της συγκέντρωσης βιομάζας παρουσιάζει δυσκολίες.
- Είναι πάντοτε υπαρκτός ο κίνδυνος έκπλυσης της ενεργού βιομάζας.
- Είναι ακατάλληλες για επεξεργασία αποβλήτων με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών.
- Έχουν πολύπλοκο σχεδιασμό.
- Το κόστος του πληρωτικού υλικού είναι υψηλό.

-Καλυμμένη αναερόβια λεκάνη

Είναι μια βραδύρρυθμη διεργασία αναερόβιας χώνευσης, η οποία αποτελεί βελτίωση της μεθόδου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με αναερόβιες λίμνες (Hall, 1992). Το απόβλητο εισρέει από τη μια άκρη της μακρόστενης ορθογωνικής δεξαμενής και εκρέει από την άλλη.

-Χωνευτήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης

Ο αντιδραστήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος λάσπης (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, UASBR) είναι ένας μη αναδευομένος αντιδραστήρας, ο οποίος επιτρέπει τη στρωτή διάχυση του υποστρώματος, το οποίο εισέρχεται από τη βάση του, στη μικροβιακή λάσπη που έχει κατακαθίσει στον αντιδραστήρα, δημιουργώντας έτσι ένα είδος κλίνης.

Παρόμοιος τύπος αντιδραστήρα με τον UASBR είναι ο διασταλμένης κλίνης κοκκώδους υλίου (Expanded Granular Sludge Bed Reactor, EGSBR) όπου συγκριτικά με τον UASBR επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός οργανικής φόρτισης και καλύτερη ομογενοποίηση του υλικού. Μία σημαντική διαφορά με τον UASBR, είναι ότι λόγω της επιμήκους κατασκευής του, η υδροστατική πίεση στη λάσπη που βρίσκεται στο κάτω τμήμα είναι αυξημένη. Αυτό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το μικροβιακό πληθυσμό (Seghezzi et al., 1998).

Οι χωνευτήρες UASB έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα (Hall, 1992):

- Λειτουργούν με υψηλή συγκέντρωση βιομάζας και μεγάλους χρόνους παραμονής στερεών.
- Ο σχεδιασμός τους είναι σχετικά απλός.
- Δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για μεταφορά μάζας.
- Απαιτείται μικρός όγκος χωνευτήρων.
- Είναι εφικτή υψηλή απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού.
- Παρουσιάζουν σταθερότητα σε διακυμάνσεις της τροφοδοσίας, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης βιομάζας.
- Η έκλυση βιοαερίου εξασφαλίζει ομοιόμορφες συνθήκες λειτουργίας στο εσωτερικό του χωνευτήρα.
- Ευνοείται ο σχηματισμός συμπαγών κόκκων βιομάζας.

Τα μειονεκτήματα των UASBR είναι τα εξής:

- Τα χαρακτηριστικά καθίζησης επηρεάζουν την απόδοση της διεργασίας.
- Δεν είναι κατάλληλοι για απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση στερεών.
- Ο σχηματισμός συμπαγών κόκκων βιομάζας απαιτεί τον έλεγχο και τη ρύθμιση πολλών λειτουργικών παραμέτρων.

-Αναερόβιος χωνευτήρας με ανακλαστήρες

Ο αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες (Anaerobic Baffled Reactor, ABR), χωρίζεται σε διαμερίσματα με κατακόρυφους ανακλαστήρες και εξαναγκάζει το απόβλητο να ρέει πάνω και κάτω από αυτούς, καθώς κατευθύνεται από την είσοδο προς στην έξοδο. Οι μικροοργανισμοί ανυψώνονται και καθιζάνουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ροής και την παραγωγή βιοαερίου, τελικά όμως τείνουν να συσσωρεύονται στο κάτω τμήμα του χωνευτήρα. Με τον τρόπο αυτό το απόβλητο έρχεται σε επαφή με μεγαλύτερη ποσότητα ενεργού λάσπης, καθώς διέρχεται μέσα από τον αντιδραστήρα.

Ένας αντιδραστήρας όπου η λειτουργία του βασίζεται σε αυτή του ABR, είναι ο αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες διαμοιρασμένης τροφοδοσίας (splitfeed anaerobic baffled reactor, SFABR). Στον αντιδραστήρα τύπου SFABR τροφοδοτούνται ταυτόχρονα όλα τα διαμερίσματα. Έτσι εξασφαλίζεται ο καλύτερος εγκλιματισμός και η ισοκατανομή της βιομάζας στα διαμερίσματα, υψηλό ποσοστό αποδόμησης οργανικού υλικού και μείωση της ευαισθησίας του συστήματος σε τοξικές ουσίες λόγω του διαμοιρασμού της τροφοδοσίας (Sallis, 2003).

Ο ABR παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα (Hall, 1992):

- Χαρακτηρίζεται από απλό σχεδιασμό και φθηνή κατασκευή.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερη κατασκευή για διαχωρισμό βιοαερίου -στερεών -υγρού.
- Η εναλλασσόμενη ανοδική και καθοδική ροή ελαχιστοποιεί την έκπλυση της βιομάζας.
- Μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χωρίς να είναι απαραίτητη η αφαίρεση περίσσειας λάσπης.
- Είναι σταθερός σε διαταραχές της οργανικής ή της υδραυλικής φόρτισης.

Τα μειονεκτήματα του ABR είναι ότι:

- Είναι κατάλληλος μόνο για την χώνευση αποβλήτων με μικρή συγκέντρωση στερεών.
- Η κατακράτηση βιομάζας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά καθίζησης.
- Ο χρόνος παραμονής στερεών εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής.

-Συνδυασμός συστημάτων αναερόβιας χώνευσης

Γενικά, σε μια μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ένας αντιδραστήρας είτε συνδυασμός δύο ή περισσότερων αντιδραστήρων. Στη δεύτερη περίπτωση, ανάλογα με τη διάταξη που χρησιμοποιείται, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες διεργασιών (Κάλφας, 2007):

- Οι παράλληλες διεργασίες, οι οποίες περιλαμβάνουν δύο ή και περισσότερους αναερόβιους αντιδραστήρες και οι οποίοι λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη.
- Οι διεργασίες δύο ή περισσότερων σταδίων, οι οποίες περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερους αναερόβιους αντιδραστήρες και οι οποίοι είναι διατεταγμένοι σε σειρά.
- Οι διεργασίες δύο φάσεων, κατά τη διάρκεια των οποίων η ζύμωση και η μεθανογένεση συντελούνται σε δύο χωριστούς αντιδραστήρες.

2.3.3 Καύση

Η απευθείας καύση (direct combustion) έχει ως σκοπό την άμεση διάθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων για τη δημιουργία θέρμανσης ή για την παραγωγή ενέργειας στην κτηνοτροφία ή σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Τα σύγχρονα συστήματα αποτελούνται από αποδοτικότερες εγκαταστάσεις καύσης με ένα περίπλοκο σύστημα καθαρισμού του παραγόμενου αερίου, τα οποία παράγουν ενέργεια και μειώνουν τα απόβλητα σε ένα αδρανές υπόλειμμα μειωμένης ρύπανσης. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος απευθείας καύσης είναι: η υποδοχή καυσίμου/αποβλήτων με την βοήθεια φορητών, ο προθάλαμος, όπου αποθηκεύεται το καύσιμο και ο κεντρικός λέβητας όπου συντελείται η αποτέφρωση. Από τη μια μεριά οδηγείται προς τον Boiler όπου έχουμε θέρμανση του νερού στους 450°C. Ο παραγόμενος ατμός κινεί την ηλεκτρική τουρμπίνα με συνέπεια την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή για την ανατροφοδότηση του συστήματος. Από την άλλη μεριά η παραγόμενη τέφρα και τα παραγόμενα αέρια εισέρχονται στον θάλαμο τέφρας αντίστοιχα με τα τελικά προϊόντα για την μεν πρώτη περίπτωση οργανικό λίπασμα και για τη δε δεύτερη αέρια στην καμινάδα, κυρίως ως εξατμιζόμενη μορφή νερού. Η θερμοκρασία καύσης, το μίγμα αέρα και η περιεκτικότητα σε υγρασία αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που πρέπει να ελέγχονται και να διατηρούνται στα όρια των βέλτιστων προδιαγραφών, ανάλογα με το σύστημα καύσης. Μέτα το πέρας της διαδικασίας παράγεται ένα υπόλειμμα τέφρας, το οποίο διατηρεί το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού φωσφορικού άλατος και του ανθρακικού καλίου των απορριμμάτων. Η τέφρα αυτή είναι σταθερή, αποστειρωμένη, πιο εύκολα διαχειρίσιμη και εμπορικά αξιοποιήσιμη ως οργανικό λίπασμα. Προσοχή όμως πρέπει να δίνεται στα άγωνα και μη αξιοποιήσιμα υπολείμματα της διαδικασίας που πρέπει να διαχωρίζονται με κατάλληλο εξοπλισμό. Πλεονέκτημα της μεθόδου σε περιβαλλοντικό επίπεδο θεωρείται η μικρή ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω της χαμηλής συνεισφοράς σε διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της απομάκρυνσης των νιτρικών από τη στερεή φάση. Εγκυμονεί όμως ο κίνδυνος τα δεύτερα να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα ως οξείδια του αζώτου με αποτελέσματα όπως η όξινη βροχή και η ρύπανση των υδάτων. Επομένως απαιτείται και ένα επαρκές σύστημα διασφάλισης των αέριων ρύπων, όπως για παράδειγμα το επιλεκτικό μη καταλυτικό σύστημα ελέγχου αερίων (SNCR). Τα συστήματα καύσης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τον τύπο του συστήματος καύσης, την φύση των απορριμμάτων προς καύση και την χωρητικότητά τους. Ωστόσο μια ευρύτερη κατηγοριοποίηση των συστημάτων καύσης σύμφωνα με τον Kehheler et al είναι η ακόλουθη :

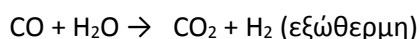
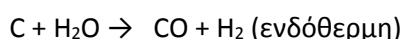
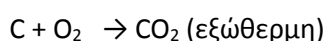
- Συστήματα καύσης μάζας : Πρόκειται για μεγάλης κλίμακας αποτεφρωτήρες σε μία μονάδα/θάλαμο καύσης όπου πραγματοποιείται η κάυση των απορριμμάτων. Μπορούν να διαχειριστούν 10 έως 50 τόνους την ώρα με επιτυχημένη μετατροπή σε ενέργεια.
- Άλλοι τύποι συστημάτων : Περιλαμβάνει τις μικρές μονάδες καύσης, διαχείρισης από 1 έως 2 τόνους την ώρα. Υπάρχουν διαφόρων τύπων συστήματα όπως του ρευστού τύπου, της περιστροφικής καμίνου και των υγρών ή αέριων αποτεφρωτήρων. Τα συστήματα ρευστού τύπου κάνουν καύση διαφόρων

τύπου απορριμάτων-στερεά, αστικά, βιομάζα, λύματα σε πυρίμαχο θάλαμο-όπου ο αέρας καύσης εισέρχεται από το κάτω μέρος του συστήματος. Ο αέρας αυτός διατηρεί το στρώμα των απορριμάτων σε υγρή ή κινούμενη κατάσταση, επιτυγχάνοντας καλύτερη επαφή του καυσίμου με τον αέρα καύσης. Περαιτέρω, οι ρευστού τύπου διαχωρίζονται σε bubbling, και turbulent circulating τύπους, για τους οποίους η γενική αρχή λειτουργίας τους είναι η γρήγορη θέρμανση ως το σημείο ανάφλεξης παρέχοντας επαρκή χρόνο στον αντιδραστήρα για την πλήρη καύση. Λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας των τύπων αυτών χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις θέρμανσης χώρων. Σημειώνεται ότι κρίνεται απαραίτητη η σωστή διαχείριση της υγρασίας των αποβλήτων, οπότε δύναται να απαιτηθεί προεργασία στεγνώματος των αποβλήτων. Ανάλογα με τον ρυθμό τροφοδοσίας των αποβλήτων, μπορεί να απαιτηθούν ποσότητες ενέργειας για τη διατήρηση της σωστής θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα. Η αποδοτικότητα τους εξαρτάται και από το ποσοστό του εισερχόμενου αέρα καθώς επίσης και από το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα εντός του συστήματος. Η αποδοτικότητα του συστήματος μειώνεται σε ποσοστά μεγαλύτερα του 10% σε παρεχόμενο αέρα. (Ανδριόπουλος, 2011)

2.3.4 Αεριοποίηση

❖ Περιγραφή της μεθόδου

Η αεριοποίηση (thermal gasification) είναι μια διαδικασία ατελούς καύσης στην οποία τα στερεά απόβλητα καίγονται με λιγότερο από το απαιτούμενο στοιχειομετρικά οξυγόνο. Σαν φυσικοχημική διαδικασία είναι γνωστή από τα τέλη του προηγούμενου αιώνα, αλλά η εφαρμογή της στα στερεά απόβλητα είναι σχετικά πρόσφατη. Κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης, λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις:



Όπως φαίνεται από τις αντιδράσεις, η θερμότητα η οποία συντηρεί τη διαδικασία αεριοποίησης παράγεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο, δηλαδή τα κύρια συστατικά του παραγόμενου καυσίμου αερίου, παράγονται από ενδόθερμες αντιδράσεις.

❖ Συστήματα αεριοποίησης

Υπάρχουν πέντε βασικοί τύποι εγκαταστάσεων αεριοποίησης:

- Εγκαταστάσεις κάθετης κλίσης.
- Εγκαταστάσεις οριζόντιας κλίσης.
- Εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίσης
- Εγκαταστάσεις περιστρεφόμενου κλιβάνου
- Εγκαταστάσεις πολλαπλών εστιών

❖ Προϊόντα

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- Αέριο πλούσιο σε μονοξειδίο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Το αέριο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε λέβητες θέρμανσης κλπ.
- Στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα που είναι παρόμοιο με αυτό της πυρόλυσης.

Οι εγκαταστάσεις αεριοποίησης μπορούν να λειτουργήσουν είτε με τροφοδοσία αέρα, είτε με τροφοδοσία καθαρού οξυγόνου. Λόγω της παρουσίας του αζώτου, η θερμογόνος δύναμη του αέριου προϊόντος είναι χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στα 150 Btu/ft³. Η λειτουργία εγκαταστάσεων αεριοποίησης με τροφοδοσία αέρα, παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα σε μεγάλο εύρος παροχών. Στην περίπτωση που η τροφοδοσία είναι καθαρό οξυγόνο, το ενεργειακό περιεχόμενο του αέριου προϊόντος ανεβαίνει στα 300 Btu/ft³.

❖ Περιορισμοί – Απαιτήσεις

Οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί για τη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι παρόμοιες με εκείνες της πυρόλυσης. Έτσι και στην αεριοποίηση, το κάτω όριο με βάση τη διεθνή εμπειρία εκτιμάται στους 8.000 t. Χρειάζεται όμως να επισημανθεί πως οι γοργοί ρυθμοί εξέλιξης της τεχνικής αυτής συνεπάγονται μια σχετική αβεβαιότητα ως προς το παραπάνω όριο. Επιπλέον, όπως και στην πυρόλυση, η ύπαρξη της ανάλογης επιτυχημένης εμπειρίας από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτήν θεωρείται κατά κάποιον τρόπο απαραίτητη εξαιτίας της ραγδαίας της ανάπτυξης και των δυνατοτήτων βελτιστοποίησης της μεθόδου.

❖ Οικονομικά στοιχεία

Λαμβάνοντας υπόψη της σχετικά μικρή ηλικία της μεθόδου και τη μέχρι σήμερα περιορισμένη εφαρμογή της δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία. Ενδεικτικά, το κόστος επένδυσης μιας μονάδας αποτέφρωσης είναι της τάξης των 350 – 600 €/t δυναμικότητας. Το κόστος λειτουργίας της μονάδας είναι μεταξύ 60 – 100 €/t. Θα πρέπει να τονισθεί, ότι το λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας μειώνεται από την αξιοποίηση των ενεργειακών προϊόντων, ενώ μπορεί να αυξηθεί λόγω της απαίτησης για διάθεση επικινδύνων και μη υπολειμμάτων. Να σημειωθεί ότι τα λειτουργικά κόστη περιλαμβάνουν κόστη προσωπικού, ενέργειας, αναλώσιμων, κ.λπ. Τα τελικά gate fees (τέλη εισόδου), διαμορφώνονται με βάση το μέσο χρηματοδότησης του έργου. Τα διαθέσιμα στοιχεία αναφέρονται σε τεχνολογία η οποία δεν έχει ακόμη εφαρμοσθεί βιομηχανικά για ΑΣΑ, RDF ή/και SRF και η σύγκρισή τους με οικονομικές εκτιμήσεις από διαφορετικές πηγές δεν είναι εφικτή. Ως εκ τούτου, η αξιοπιστία των διαθέσιμων στοιχείων ελέγχεται. Για την εφαρμογή της αεριοποίησης στα βιοδιασπάσιμα οργανικά των ΑΣΑ απαιτείται δαπανηρή ξήρανση. Η μέθοδος είναι καταλληλότερη για το ξηρό κλάσμα των ΑΣΑ, αλλά στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τηρηθούν τα αυστηρά όρια εκπομπών που ισχύουν για τις συμβατικές εγκαταστάσεις καύσης.

❖ Παραδείγματα εφαρμογής

- Παράδειγμα εφαρμογής σε φάρμα στις Η.Π.Α το 2008 με 5600 χοίρους(K.S. Ro et al.,2008)

Εδώ αναφέρεται ένα σύστημα που λειτούργησε αρχικά σαν πιλοτική μονάδα για την επεξεργασία 35 τόνων / ημέρα και επεκτάθηκε σε μονάδα που θα μπορεί να επεξεργάζεται 1000 τόνους / ημέρα. Το κόστος της μονάδας

ανέρχεται στα 16 εκατ. Δολάρια. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τέσσερις φάσεις. Οι φάσεις αυτές είναι : 1. Υποδοχή, τεμαχισμός, πυρόλυση 2. Ψύξη και διαχωρισμός υπολείμματος 3. Παραγωγή ατμού 4. Καθαρισμός των αερίων. Η τροφοδοσία είναι συνεχής σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο και τα εξερχόμενα αέρια περνάνε πάνω από τα εισερχόμενα απορρίμματα για να υποβοηθηθεί η πυρόλυση. Επίσης, χρειάζονται μεγάλες ποσότητες βοηθητικού καυσίμου. Τα εξερχόμενα αέρια περνάνε σε άλλη μονάδα καύσης όπου αναμειγνύονται με τον αέρα και καίγονται. Η θερμοκρασία σε αυτή τη φάση είναι πολύ υψηλή (1000°C). Μετά περνούν από ένα εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού. Τα αέρια πριν διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα πρέπει να καθαριστούν αλλά η διαδικασία είναι απλούστερη από ότι στην περίπτωση της καύσης, διότι τα αιωρούμενα σωματίδια είναι πολύ λιγότερα. Η μονάδα αυτή παράγει αέριο με χαμηλή θερμογόνο δύναμη αλλά λόγω της πολύ χαμηλής περιεκτικότητάς του σε αιωρούμενα σωματίδια έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το φυσικό αέριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι επέρχεται μεγάλη μείωση του όγκου μέχρι και 95% του αρχικού, καθώς επίσης και του βάρους μέχρι 75%. (Ανδριόπουλος, 2011)

2.3.5 Πυρόλυση

❖ Περιγραφή της μεθόδου

Η πυρόλυση(pyrolysis) είναι η διαδικασία θερμικής διάσπασης των απορριμμάτων κάτω από συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Ένα από τα πιο συνηθισμένα λάθη είναι η ταύτιση της πυρόλυσης με την αεριοποίηση των απορριμμάτων. Οι δύο μέθοδοι έχουν ομοιότητες και τελικά μετασχηματίζουν τα στερεά απόβλητα σε αέρια, στερεά και υγρά καύσιμα.

Η βασική τους διαφορά όμως, μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Η πυρόλυση χρησιμοποιεί μια εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιήσει τις ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των στερεών αποβλήτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου.
- Η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί στοιχειομετρική αναλογία οξυγόνου για να επιτύχει ατελή καύση των στερεών αποβλήτων.

Οι οργανικές ουσίες που απαντώνται στα απορρίμματα είναι θερμικά ασταθείς. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη διάσπασή τους, στο βαθμό που θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Η διάσπαση αυτή είναι αποτέλεσμα αντιδράσεων θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης, οι οποίες καταλήγουν σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα. Η διαδικασία αυτή συνοψίζεται στον όρο πυρόλυση. Σε αντίθεση με την αποτέφρωση και την αεριοποίηση, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονα εξώθερμες αντιδράσεις, η διαδικασία της πυρόλυσης χαρακτηρίζεται από έντονα ενδόθερμες αντιδράσεις και κατά συνέπεια απαιτεί τη διαρκή θέρμανση από εξωτερική πηγή θερμότητας. Συχνά, λόγω της παραπάνω διαφοράς με την αποτέφρωση και την αεριοποίηση, η πυρόλυση καλείται (συνήθως στην ξένη βιβλιογραφία) και “καταστροφική απόσταξη” (destructive distillation). Η πυρόλυση δεν έχει εφαρμοστεί σε μονάδες μεγάλης κλίμακας στην Ευρώπη, ενώ στις ΗΠΑ υπάρχει περιορισμένη εμπειρία. Αντίθετα, πολλές μικρές μονάδες πυρόλυσης έχουν λειτουργήσει διεθνώς, χωρίς όμως ιδιαίτερη επιτυχία και μακρόχρονη επιβίωση.

❖ Προϊόντα

Τα τελικά προϊόντα της πυρόλυσης είναι τριών ειδών:

- Αέρια. Τα παραγόμενα αέρια αποτελούνται από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια που εξαρτώνται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των στερεών

αποβλήτων που καίγονται. Τα αέρια που παράγονται υπολογίζονται σε 700 m³ /t απορριμμάτων, στην παραλλαγή της θερμόλυσης (θερμοκρασία θαλάμου 500°C).

- Υγρά. Το υγρό κλάσμα των αποβλήτων αποτελείται από ένα μίγμα ελαιώδους μορφής, υψηλής πυκνότητας και ιξώδους, το οποίο αποτελείται από οξικό οξύ, ακετόνη, μεθανόλη και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία, το υγρό κλάσμα των αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συνθετικό καύσιμο.

- Στερεά. Το στερεό υπόλειμμα αποτελείται από σχεδόν καθαρό άνθρακα που συσσωματώνεται με τα διάφορα αδρανή που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Η μέθοδος εμφανίζει πολλές παραλλαγές στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων, μία εκ των οποίων (η πιο πρόσφατη) καλείται θερμόλυση. Κατά τη διαδικασία της θερμόλυσης, το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων εισάγεται στο θάλαμο πυρόλυσης (σε θερμοκρασία περίπου 500°C) μαζί με μικρή ποσότητα ασβέστη. Στο τελευταίο μέρος του θαλάμου συσσωρεύεται το στερεό υπόλειμμα, το οποίο δρα σαν φίλτρο ενεργού άνθρακα για ρύπους, όπως τα βαρέα μέταλλα κλπ. Το φθόριο και το χλώριο που απελευθερώνεται αντιδρούν με το υδρογόνο των παραγομένων αερίων (βλ. και παρακάτω) και σχηματίζουν οξέα τα οποία εξουδετερώνονται από τον ασβέστη. Τα παραγόμενα άλατα δεσμεύονται από το στερεό υπόλειμμα, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται σε λουτρό νερού, σε συνθήκες απουσίας αέρα για να αποφευχθούν αντιδράσεις οξειδωσης. Τα δεσμευμένα άλατα ασβεστίου διαλύονται στο νερό, ενώ με ειδική επεξεργασία μπορούν να απομακρυνθούν τυχόν μεταλλικές προσμίξεις και ογκώδη υπολείμματα. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της θερμόλυσης είναι ότι τα παραγόμενα αέρια βρίσκονται σε θερμοκρασία 300° C και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποκαταστήσουν, μερικά, την εξωτερική πηγή θερμότητας που απαιτείται. Όσον αφορά τις αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την πυρόλυση, στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται το κλασικό παράδειγμα της κυτταρίνης: $3(C_6H_{10}O_5) \rightarrow 8H_2O + C_6H_8O + 2CO + 2CO_2 + CH_4 + H_2 + 7C$.

Το υγρό απόβλητο συμβολίζεται με τον όρο C₆H₈O. Σύμφωνα με εκτεταμένες έρευνες που έχουν γίνει, η κατανομή των προϊόντων μεταξύ αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων αλλάζει δραστικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας πυρόλυσης.

Η άνοδος της θερμοκρασίας πυρόλυσης μεγαλώνει την περιεκτικότητα σε υδρογόνο και αιθυλένιο, ενώ μειώνει την περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα. Αξιοσημείωτη είναι, επίσης, και η μορφή καμπίνας που παρουσιάζουν το μεθάνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα. Το ενεργειακό περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων υπολογίζεται στα 9.000 Btu/lb, ενώ για τα αέρια της πυρόλυσης, σε συνθήκες που ευνοούν την παραγωγή αερίων προϊόντων (υψηλές θερμοκρασίες) το ενεργειακό περιεχόμενο υπολογίζεται σε 700 Btu/lb.

❖ Περιορισμοί – Απαιτήσεις

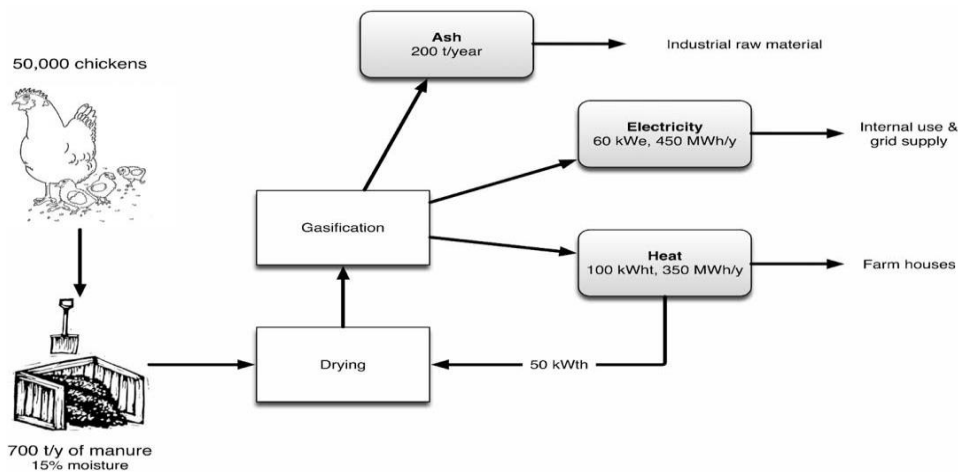
Επειδή η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται σε διαρκή εξέλιξη, το κάτω όριο που θα προσδιοριστεί δεν έχει το ποσοστό ασφαλείας που χαρακτηρίζει άλλες τεχνολογίες. Εμπειρικά, σύμφωνα και με τις μονάδες που έχουν προταθεί σε διάφορες περιοχές και με την επιφύλαξη ότι η υπάρχουσα εμπειρία είναι περιορισμένη, το κάτω όριο προσδιορίζεται στους 8.000 t. Η ουσιαστική προϋπόθεση για την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών είναι η αποδεδειγμένη λειτουργικότητά τους. Επειδή πρόκειται για ραγδαία αναπτυσσόμενη τεχνολογία, με πολλά πλεονεκτήματα αλλά και σοβαρές δυνατότητες βελτίωσης, που επιτυγχάνουν δραστική μείωση του όγκου των προς ταφή απορριμμάτων και παραγωγή αξιοποιήσιμων παραπροϊόντων, κρίνεται σκόπιμο να υπάρχει αποδεδειγμένη θετική εμπειρία από τη λειτουργία τέτοιων μονάδων.

❖ Οικονομικά στοιχεία

Λαμβάνοντας υπόψη της σχετικά μικρή ηλικία της μεθόδου και τη μέχρι σήμερα περιορισμένη εφαρμογή της δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία. Ενδεικτικά, το κόστος επένδυσης μιας μονάδας πυρόλυσης είναι της τάξης των 700 – 950 €/t δυναμικότητας. Το κόστος λειτουργίας της μονάδας είναι μεταξύ 80 – 120 €/t . (Ανδριόπουλος, 2011)

❖ Παραδείγματα εφαρμογής

- Παράδειγμα εφαρμογής σε στάβλο στον Καναδά το 2016 με 25 άλογα και δυναμικότητα επεξεργασίας 350 kg κοπριάς ανά ημέρα.(Sonil Nanda et al.,2016)
- Παράδειγμα εφαρμογής σε φάρμα στην κεντρική Ιταλία το 2013 με 80000 κοτόπουλα και δυναμικότητα επεξεργασίας 1200 τόνους κοπριάς ανά έτος.(Franco Cotanaa et al.,2013)
- Παράδειγμα εφαρμογής σε φάρμα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων στη Νέα Υόρκη το 2002 με δυναμικότητα 45 m³ κοπριάς ανά ώρα.
(Lincoln Young, Carlson C.P. Pian,2002)
- Παράδειγμα εφαρμογής σε φάρμα στην Ολλανδία το 2001 με 50000 κοτόπουλα και δυναμικότητα επεξεργασίας 700 τόνους κοπριάς ανά έτος .(N.H. Florin et al., 2006) Το διάγραμμα ροής της διεργασίας παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 8: Διάγραμμα μονάδας πυρόλυσης κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ολλανδία το 2001

3^ο Κεφάλαιο: Case Studies συστημάτων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων σε Ελλάδα και διεθνώς

Τα case studies που παρουσιάζονται παρακάτω αποτελούν επιτυχή παραδείγματα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων με αναερόβια χώνευση ή με συνδυασμούς μεθόδων επεξεργασίας. Οι πίνακες που ακολουθούν απεικονίζουν παραστατικά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά καθώς και άλλες πληροφορίες (π.χ. οικονομικά στοιχεία) που σχετίζονται με τις μεθόδους κατεργασίας που χρησιμοποιούνται στις κάτωθι μονάδες ανά τον κόσμο.

Πίνακας 11: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ολλανδία

1^ο Case Study

Πηγή	Solomie A. Gebrezgabher et al., 2014
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	1. Αναερόβια χώνευση 2. Διαχωρισμός
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	1.7 εκατομμύρια χοίροι 0.63 εκατομμύρια αγελάδες 10 εκατομμύρια κοτόπουλα
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	22.5 m ³ βιοαερίου/τόννο κοπριάς
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	Αέρια: 7200 κιλτοτόννοι CO ₂ (1990) 5000 κιλτοτόννοι CO ₂ (2020)
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (22.5 m ³ /τόννο κοπριάς)
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	

Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	Εξοικονόμηση εισοδήματος(€/έτος) λόγω υιοθέτησης της αναερόβιας χώνευσης: Φάρμα με αγελάδες: 17716 Φάρμα με χοιρομητέρες: 8832 Φάρμα με χοίρους: 12682

Πίνακας 12 : Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Φινλανδία

2° Case Study

Πηγή	P. Kararaju, J. Rintala et al., 2011
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	Φάρμα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων: 2000m ³ κοπριά/έτος Φάρμα με χοιρομητέρες: 2000m ³ κοπριά/έτος Φάρμα με χοίρους: 800m ³ κοπριά/έτος
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	Συνολικές εκπομπές CH ₄ : Φάρμα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων:10020 kg CH ₄ /έτος Φάρμα με χοιρομητέρες:1359 kg CH ₄ /έτος Φάρμα με χοίρους:746 kg CH ₄ /έτος Άμεσες εκπομπές N ₂ O: Φάρμα γαλακτοκομικών εκμεταλλεύσεων:2.7 kg N ₂ O/έτος Φάρμα με χοιρομητέρες:3.6 kg N ₂ O/έτος Φάρμα με χοίρους:4 kg N ₂ O/έτος
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	

Πίνακας 13: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στον Καναδά

3o Case Study

Πηγή	A.C. VanderZaag et al., 2014
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	<u>Farm A</u> : 63 θηλάζουσες αγελάδες, 12 αγελάδες, 52 αγελάδες μικρής ηλικίας και 15 μοσχάρια <u>Farm B</u> : 98 θηλάζουσες αγελάδες, 15 αγελάδες, 90 αγελάδες μικρής ηλικίας, 18 μοσχάρια, 1 ταύρος
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	Συνολικές εκπομπές από τη φάρμα A: 31.7kg/ημέρα Εκπομπές από την αποθήκευση της κοπριάς στη φάρμα A: 37.5 kg CH ₄ /ημέρα Συνολικές εκπομπές από τη φάρμα B: 120kg/day Εκπομπές από την αποθήκευση της κοπριάς στη φάρμα B: 59.4 kg CH ₄ /ημέρα
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	

Πίνακας 14: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στο Βιετνάμ

4o Case Study

Πηγή	T.K.V. Vu et al., 2007
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήμα επεξεργασίας	<ol style="list-style-type: none"> 1. Μη επεξεργασία με απευθείας διάθεση στο έδαφος ή σε υδατοσυλλογές 2. Κομποστοποίηση 3. Αποθήκευση 4. Παραγωγή βιοαερίου
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	7000 χοίροι
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	40 L νερού ανά χοίρο ανά ημέρα
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	Όγκος δεξαμενών:3.8 m ³ , χωρητικότητα χωνευτήρων:16m ³

Πίνακας 15: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ιταλία

5o Case Study

Πηγή	Antonio Pantaleo et al., 2013
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	Αριθμός ζώων: 24965 Αριθμός από φάρμες:774 Μονάδες ζωικού κεφαλαίου ανά φάρμα: 32.2 Βάρος μονάδων ζωικού κεφαλαίου: 0.6 τόννοι/μονάδα ζωικού κεφαλαίου
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	Καθημερινή παραγόμενη κοπριά ανά μονάδα ζωικού κεφαλαίου: 0.072 τόννοι/τόννο ζωικής μονάδας/ημέρα Ετήσια παραγόμενη κοπριά: 15.77 τόννοι/μονάδα ζωικού κεφαλαίου/έτος Μέγιστη διαθέσιμη κοπριά: 9.46 τόννοι/μονάδα ζωικού κεφαλαίου/έτος
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	

Πίνακας 16: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στις Η.Π.Α.

60 Case Study

Πηγή	L.P. Walker et al.,1985
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	<ol style="list-style-type: none"> 1. Αποθήκευση 2. Αναερόβια χώνευση 3. SBR 4. Φίλτρο 5. Φίλτρο βιοκλίνης 6. Αποκρυστάλλωση στρουβίτη
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	200 αγελάδες
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	18400000 m ² Διαστάσεις χωνευτήρα:(22.6m* 6.1m*2.4m)
Κατανάλωση ενέργειας	800 GJ βενζίνης
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	Μέση διαθέσιμη κοπριά: 9.3m ³ /ημέρα
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο: (370-450 m ³ /ημέρα) ή 1.85-2.25 m ³ βιοαέριο ανά αγελάδα ανά ημέρα
Ποιότητα εισροής	Ph=7.6, TS=14.8%, VS=12.85%, Mg N ανά g κοπριάς: NH-N=1.48, Org-N=3.225, TKN=4.78
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	Συνολικό κόστος επένδυσης για το σύστημα: 68500\$
Λειτουργικό κόστος	Ετήσιο λειτουργικό κόστος: 300\$ με 1000\$
Κόστος μεταφοράς	Αέριο μεταφοράς:400\$
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	Κόστος κεφαλαίου ανά αγελάδα: 380\$

	Κόστος ανά όγκο χωνευτήρα:204\$/m ³
--	--

Πίνακας 17: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ταιβάν

7ο Case Study

Πηγή	Wen-Tien Tsai, Che-I Lin, 2009	
Διάγραμμα ροής		
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	<ol style="list-style-type: none"> 1. Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης by screening method 2. Αναερόβια χώνευση 3. Αερόβια επεξεργασία(μέθοδος ενεργού ιλύος) 	
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος		
Δυναμικότητα	Μέσος αριθμός ζώων ανά φάρμα:578	
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)		
Κατανάλωση ενέργειας		
Κατανάλωση νερού		
Απόδοση συστήματος		
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα		
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση		
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (5kg CH ₄ /κεφάλι/έτος) ή 11.75m ³ βιοαερίου/κεφάλι/έτος	
Ποιότητα εισροής	Χαρακτηριστικά λυμάτων	Όριο τιμών ^a
	pH	6.0–9.0
	Φθοριούχα	15.0 mg/L
	Νιτρικά-Άζωτο	50 mg/L
	Αμμωνία-Άζωτο	10.0 mg/L
	Ορθοφωσφορικά	4.0 mg/L
	Χαλκός	3.0 mg/L

	Ψευδάργυρος	5.0 mg/L	
	Βιολογικά Απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	80 mg/L	
	Ολικά Στερεά (SS)	150 mg/L	
	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	600 mg/L	
		450 mg/L	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων			
Κόστος			
CAPEX			
OPEX			
Transportation cost/ κόστος μεταφοράς			
Other /Άλλες πληροφορίες			
Other information/ Άλλη πληροφορία		<p>Μείωση μεθανίου: 21.5 Gg year⁻¹.</p> <p>Παραγωγή ηλεκτρισμού: 7.2 × 10⁷ kW-h year⁻¹.</p> <p>Εξοικονόμηση ισοδύναμου ηλεκτρικού ρεύματος: 7.2 × 10⁶ US\$ year⁻¹.</p> <p>Μετριασμός ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα: 494.5 Gg year⁻¹.</p>	

Πίνακας 18: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στη Νότια Κορέα

8o Case Study

Πηγή	Young-Man Yoon et al., 2014
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήμα επεξεργασίας	Batch Αναερόβιος χωνευτήρας σε μεσοφιλικές συνθήκες (38 °C)
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	100000 πτηνά ή 24 kg κοπριάς/ημέρα

Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	1858 m ²	
Κατανάλωση ενέργειας		
Κατανάλωση νερού	1050 m ³ /ημέρα	
Απόδοση συστήματος	Παραγωγή μεθανίου στο 80% σε 10 ημέρες	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα		
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	22.36 kg N/1000 κεφάλια 0.164 kg P ₂ O ₅ /1000κεφάλια 0.459kg K ₂ O/ 1000 κεφάλια	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	35.4 Nm ³ CH ₄ /1000 κεφάλια	
Ποιότητα εισροής	Υλικό Κοπριά και φτέρωμα	
	Λίπος (w/w, %)	8.58 (0.39)
	Ίνες (w/w, %)	10.23 (0.33)
	Πρωτείνες (w/w, %)	59.75 (0.43)
	C (w/w, %)	38.7
	H (w/w, %)	5.7
	O (w/w, %)	31.0
	N (w/w, %)	9.6
	S (w/w, %)	0.7
	TS (g kg ⁻¹)	331.6 (3.8)
	VS (g kg ⁻¹)	277.5 (0.5)
	TKN (g kg ⁻¹)	61.4 (4.3)
	NH ₄ -N (g kg ⁻¹)	15.3 (2.9)
	TP (mg kg ⁻¹)	411.0

	K (mg kg ⁻¹)	2540.0		
	Ca (mg kg ⁻¹)	223.5		
	Mg (mg kg ⁻¹)	615.0		
	Na (mg kg ⁻¹)	511.2		
	Fe (mg kg ⁻¹)	2549.4		
	Co (mg kg ⁻¹)	0.3		
	Ni (mg kg ⁻¹)	4.0		
	Cu (mg kg ⁻¹)	24.4		
	Zn (mg kg ⁻¹)	21.4		
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων				
Κόστος				
Κεφαλαιουχικές δαπάνες				
Λειτουργικό κόστος				
Κόστος μεταφοράς				
Άλλες πληροφορίες				
Άλλη πληροφορία				

Πίνακας 19: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ολλανδία

9ο Case Study

Πηγή	Roland W. Melse, Maikel Timmerman, 2009
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	Νιτροποίηση-Απονιτροποίηση
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	660,000 m ³ κοπριάς ανά έτος
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	Τα συστήματα συνεχούς λειτουργίας αποτελούνται από τρία

	ομόκεντρα τμήματα: τον εξωτερικό δακτύλιο (όγκος: 2900 m ³ ; υγρή επιφάνεια: 531 m ²) που αερίζεται συνεχώς, και τον εσωτερικό δακτύλιο (όγκος: 1400 m ³ ; υγρή επιφάνεια: 261 m ²) ο οποίος δεν αερίζεται αλλά αναμιγνύεται συνεχώς από δύο μηχανικά μίξερ. Το κεντρικό τμήμα είναι ένας διυλιστήρας.
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	Τυπικές απομακρύνσεις του συστήματος είναι 95% για COD, 99% για BOD ₅ , 99% για TKN, 99% για NH ₄ -N, και 95% για P με αποτέλεσμα τις εξής συγκεντρώσεις λυμάτων: COD = 0.7 g/L, BOD ₅ = 0.1 g/L, TKN = 0.02 g/L, NH ₄ ⁺ = 0.002 g/L και P = 0.02 g/L
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	Οι αγρότες πληρώνουν EUR 9.50/τόννο για επεξεργασία (εξαιρουμένης της μεταφοράς της λάσπης στη μονάδα κατεργασίας).
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	

Πίνακας 20: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ολλανδία

10o Case Study

Πηγή	Roland W. Melse, Maikel Timmerman, 2009
Διάγραμμα ροής	Η μονάδα παραγωγής βιοαερίου επεκτάθηκε το 2006 και

	<p>λειτουργεί σε μεσοφιλικές συνθήκες (στους 40°C). Το σημερινό εργοστάσιο αποτελείται από εγκαταστάσεις αποθήκευσης κοπριάς, κάθετους ανοξειδωτού χάλυβα CSTR (πλήρους μίξης) χωνευτήρες 620 m³) για την αποθήκευση αερίου, καθαρισμού βιοαερίου και απομάκρυνση του υδρόθειου (H₂S) καθώς και ένα (ΣΗΘ), μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ενέργειας που αποτελείται από έναν κινητήρα αερίου 330 kWe και μια τουρμπίνα αερίου 60 kWe.</p>	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	Αναερόβια χώνευση	
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος		
Δυναμικότητα	Χωρητικότητα μονάδας	9471 τόννοι/έτος (60% κοπριά χοίρων και 40% συν-υποστρώματα)
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)		
Κατανάλωση ενέργειας		
Κατανάλωση νερού		
Απόδοση συστήματος		
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα		
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση		
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Παραγωγή βιοαερίου	1,297,820 m ³ /έτος ή 860 m ³ /τόννο ξηρού υλικού
Ποιότητα εισροής		
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων		
Κόστος		
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	Τα άμεσα κόστη για την αγορά των προϊόντων, τα κόστη διάθεσης, παραγωγής και συντήρησης της μονάδας ΣΗΘ είναι περίπου EUR 0.085 ανά kWh.	
Λειτουργικό κόστος		
Κόστος μεταφοράς		
Άλλες πληροφορίες		
Άλλη πληροφορία	Ώρες λειτουργίας	8397 (96% του συνολικού χρόνου)

	Ώρες πλήρους φόρτισης	7130 (81% του συνολικού χρόνου)
	Παραγωγή ηλεκτρισμού	2353 MWh

Πίνακας 21 : Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ισπανία

11o Case Study

Πηγή	Xavier Flotats et al., 2009
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	Η διαδικασία βασίζεται στον συνδυασμό αναερόβιας χώνευσης, εξατμίσης κενού και περαιτέρω ξήρανσης.
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	

Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	Τα κόστη (102.8–118.7€/m ³ κοπριάς την περίοδο 2004–2005) περιλαμβάνουν κόστη λειτουργίας και συντήρησης (20%), επένδυσης (10%), μεταφοράς και διαχείρισης (5%) και απαιτήσεων σε φυσικό αέριο (65%).
Λειτουργικό κόστος	Η πώληση ηλεκτρικής ενέργειας είναι το κύριο οικονομικό εισόδημα, το οποίο ήταν για την ιλύ από 86,5 έως 120,4 € / m ³ κατά την περίοδο 2004-2005, συμπεριλαμβανομένων των 34 € / τόνο από τις πωλήσεις του προϊόντος.

Πίνακας 22: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ισπανία

12o Case Study

Πηγή	Xavier Flotats et al., 2009
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	Κομποστοποίηση
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	Κεντρική κομποστοποίηση κοπριάς βοοειδών και πουλερικών (αναλογία 9: 1) που παράγεται από 66 αγροκτήματα (15.000 m ³ / έτος)
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	

Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Κομπόστ(4000-5600 τόννους/έτος)
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	Τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας είναι περίπου 6€/τόννο κοπριάς
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	

Πίνακας 23: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ισπανία

<p>Πηγή</p>	<p>Xavier Flotats et al., 2009</p>
<p>Διάγραμμα ροής</p>	
<p>Μέθοδοι-Βήμα επεξεργασίας</p>	
<p>Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος</p>	
<p>Δυναμικότητα</p>	<p>3700 m³ κοπριάς/έτος</p>
<p>Απαιτήσεις σε έκταση (m²)</p>	
<p>Κατανάλωση ενέργειας</p>	<p>79.4MWh/έτος</p>
<p>Κατανάλωση νερού</p>	
<p>Απόδοση συστήματος</p>	
<p>Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα</p>	
<p>Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση</p>	
<p>Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)</p>	<p>10.3 με 15.4 m³ βιοαερίου/m³ λάσπης</p>
<p>Ποιότητα εισροής</p>	
<p>Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων</p>	
<p>Κόστος</p>	

Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα τα κόστη υπολογίστηκαν σε 1.04€/m ³ κοπριάς τα οποία συμπεριλάμβαναν 55% κόστος επένδυσης και 45% κόστος λειτουργίας, συντήρησης και επίβλεψης.
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	Τα μέσα έσοδα ήταν 1.14€/m ³ κοπριάς

Πίνακας 24: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ισπανία

14o Case Study

Πηγή	Xavier Flotats et al., 2009
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήμα επεξεργασίας	Νιτροποίηση-απονιτροποίηση
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	400 χοιρομητέρες (15000m ³ κοπριάς/έτος)
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	

Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	3.5–5.0€/m ³
Λειτουργικό κόστος	Λειτουργικά κόστη: 50000€
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	Κόστος επένδυσης: 100000€ Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:100000€

Πίνακας 25: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Κύπρο

15^ο Case Study

Πηγή	Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU Animalia Genetics Ltd
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	1. Αποθήκευση 2. Αναερόβια χώνευση
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	27720 τόνοι κοπριάς ανά έτος
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	1400KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα

Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (12000 m ³ /ημέρα)
Ποιότητα εισροής	Ολικά Στερεά(%): 5 Άζωτο(%TS):3500 Φώσφορος (%TS):175
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	ΣΗΘ
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	<p>ΣΗΘ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • παραγωγή 18000KWh ηλεκτρισμού και 10000KWh θερμότητας ανά ημέρα • κατανάλωση 850KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα και 2000L πετρελαίου ανά μήνα

Πίνακας 26: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Κύπρο

Πηγή	Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU Andreas Kailas and Sons Ltd.
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	1. Αποθήκευση 2. Αναερόβια χώνευση 3. SBR
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	55000 τόννοι κοπριάς ανά έτος (54.5%) από αγελάδες (36.5%) από χοίρους
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	1024KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	100 τόννοι στερεών αποβλήτων ανά ημέρα
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (4700m ³ /ημέρα)
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	ΣΗΘ
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	ΣΗΘ: • παραγωγή 10000KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα

Πίνακας 27: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Κύπρο

Πηγή	Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU Andreou Brothers Piggeries Ltd.
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	1. Αποθήκευση 2. Αναερόβια Χώνευση 3. SBR
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	80000 τόννοι υποστρώματος ανά έτος
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	5500KWh ανά ημέρα για ενέργεια και ηλεκτρισμό στους δύο αναερόβιους χωνευτήρες 1000KWh ανά ημέρα για ηλεκτρισμό στον SBR
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (2200 m ³ /ημέρα/φάρμα)
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	ΣΗΘ
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	ΣΗΘ <ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή 5000KWh ηλεκτρισμού και 5000KWh θερμότητας ανά ημέρα • Κατανάλωση 2000KWh ηλεκτρισμού και 2L πετρελαίου ανά ημέρα

Πίνακας 28: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Κύπρο

Πηγή	Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU Armenis Nikos And Sons Ltd
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	1. Αποθήκευση 2. Αναερόβια χώνευση 3. SBR
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	45625 τόνοι κοπριάς ανά έτος (80%) χοίροι (16%) πουλερικά (4%) αγελάδες
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	150KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα για τον χωνευτήρα 100KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα για τον SBR
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (1000 m ³ /ημέρα)
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	ΣΗΘ
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	ΣΗΘ: <ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή 850 KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα και 3400KWh θερμότητας ανά ημέρα • Κατανάλωση 30KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα

Πίνακας 29: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Κύπρο

19o Case Study

Πηγή	Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU S. & P. Lagos Farm Ltd
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	1. Αποθήκευση 2. Αναερόβια χώνευση 3. SBR
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	22500 τόνοι κοπριάς ανά έτος
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	2750KWh ηλεκτρισμού ανά ημέρα
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (3600 m ³ /ημέρα)
Ποιότητα εισροής	Οξύτητα (pH): 8.71 Αγωγιμότητα: 1,360μS/cm Ολικά Στερεά : 65.40% (w/w) Υγρασία: 34.60% Περιεχόμενο SAR: 4.09 Ολικό Άζωτο (TKN): 17.68 g/kg Ασβέστιο: 15.180g/kg Νάτριο: 3.412g/kg Μαγνήσιο: 6.833g/kg
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	ΣΗΘ
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	
Λειτουργικό κόστος	

Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	<p>ΣΗΘ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή 2770383KWh ηλεκτρισμού και 3195000KWh θερμότητας ανά ημέρα • Κατανάλωση 38653L ντίζελ ανά ημέρα

Πίνακας 30: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Ισπανία

20o Case Study

Πηγή	<p>Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU</p> <p>A farm in Castilla, Spain</p>
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	<ol style="list-style-type: none"> 1. Πρέσσα πίεσης 2. Διαχωρισμός στερεής φάσης με πήξη 3. Νιτροποίηση-απονιτροποίηση (NDN)
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	<p>300 χοίροι</p> <p>14500 m³ κοπριάς ανά έτος</p>
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Waste, Wastewater and Products/ Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	

Waste-Wastewater produced (type and quantity) and disposal/ Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Products type and quantity/ Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	
Products quality/ Ποιότητα εισροής	
Products market potential uses/ Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	
Costs/ Κόστος	
CAPEX	Κόστος επένδυσης: 350000€
OPEX	
Transportation cost/ κόστος μεταφοράς	
Other /Άλλες πληροφορίες	
Other information/ Άλλη πληροφορία	

Πίνακας 31: Σύστημα επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Δανία

21o Case Study

Πηγή	Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU Manure management in Denmark
Διάγραμμα ροής	
Μέθοδοι-Βήματα επεξεργασίας	Αναερόβια χώνευση(2*2325m ³)
Λειτουργικά χαρακτηριστικά και απόδοση συστήματος	
Δυναμικότητα	230 τόννοι κοπριάς ανά ημέρα
Απαιτήσεις σε έκταση (m ²)	
Κατανάλωση ενέργειας	
Κατανάλωση νερού	
Απόδοση συστήματος	
Στερεά απόβλητα, υγρά απόβλητα και προϊόντα	
Παραγόμενα απόβλητα (είδος και ποσότητα) και διάθεση	
Παραγόμενα προϊόντα (είδος και ποσότητα)	Βιοαέριο (2.9 εκατομμύρια Nm ³ /έτος)
Ποιότητα εισροής	
Πιθανές χρήσεις παραγόμενων προϊόντων	Μονάδα ΣΗΘ
Κόστος	
Κεφαλαιουχικές δαπάνες	Κόστος επένδυσης: 3910972.5 ευρώ
Λειτουργικό κόστος	
Κόστος μεταφοράς	
Άλλες πληροφορίες	
Άλλη πληροφορία	Μέση απόσταση μεταφοράς: 7.5km Θερμοκρασία διαδικασίας:53°C

4^ο Κεφάλαιο: Πολυκριτηριακή ανάλυση για τη σύγκριση των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας

4.1 Κριτήρια αξιολόγησης case studies

Η αξιολόγηση των case studies θα γίνει μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης με βάση τα κάτωθι κριτήρια:

- Περιβαλλοντικά
- Τεχνολογικά/Τεχνικά
- Οικονομικά

4.2 Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης

Η πολυκριτηριακή ανάλυση ορίζεται ως μία συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων που προκύπτουν από αντικρουόμενους στόχους. Η ικανοποίηση όλων των στόχων αυτών δεν μπορεί να είναι πλήρης. Οι διαθέσιμες επιλογές σε ένα τέτοιο πρόβλημα παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς έναν ή περισσότερους – αλλά ποτέ ως προς όλους – τους στόχους, γιατί τότε δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης: η επιλογή που θα ικανοποιούσε μια τέτοια συνθήκη θα ήταν η άριστη. Είναι αναγκαίος λοιπόν ένας συμβιβασμός μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων στόχων. Πρέπει δηλαδή ο υπεύθυνος για τη λήψη της απόφασης να επιλέξει τον ή τους στόχους, τους οποίους επιθυμεί να μεγιστοποιήσει και να αριστοποιήσει, καθώς και τις αντισταθμιστικές απώλειες που είναι διατεθειμένος να αποδεχθεί ως προς τους υπόλοιπους στόχους. Η έννοια του συμβιβασμού και κατ' επέκταση της συμβιβαστικής λύσης – σε αντίθεση με την άριστη λύση – δηλώνει το χαρακτηριστικό των αποφάσεων – λύσεων, που αναζητούνται στα πολυκριτηριακά προβλήματα. Οι λύσεις αυτές είναι άριστες μόνο κατά την άποψη του ατόμου που αποφασίζει για την επιλογή.

Η επιστημονική περιοχή της πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει κατ' αρχήν ένα θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο αναπτύσσεται η βασική λογική για την προσέγγιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Επίσης προσδιορίζονται τα κύρια δομικά στοιχεία του προβλήματος και αναλύονται οι βασικές τους ιδιότητες. Με βάση αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος τεχνικών, κατάλληλων για την αντιμετώπιση ενός μεγάλου εύρους προβλημάτων που προκύπτουν πρακτικά. Αν και η ταξινόμηση των τεχνικών αυτών σε ιδιαίτερες κατηγορίες δεν είναι αυστηρή, διακρίνονται τρεις βασικές ομάδες μεθόδων:

- Πολυκριτηριακή ιεράρχηση επιλογών
- Πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας

Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί τις δύο πρώτες κατηγορίες είναι το είδος του συνόλου των επιλογών. Συγκεκριμένα, η πρώτη κατηγορία εφαρμόζεται σε προβλήματα που εξετάζουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών επιλογών, ενώ η δεύτερη σε προβλήματα με συνεχές σύνολο άπειρου αριθμού επιλογών, στα οποία

κατ' αναλογία με τα προβλήματα γραμμικού μονοκριτηριακού προγραμματισμού, οι μεταβλητές απόφασης μπορεί να παίρνουν οποιαδήποτε τιμή εντός ενός καθορισμένου πεδίου. Τέλος, η τρίτη κατηγορία μεθόδων εφαρμόζεται και σε συνεχές και σε διακριτό σύνολο επιλογών και στηρίζεται στη λογική της αναγωγής του πολυκριτηριακού σε μονοκριτηριακό πρόβλημα μέσω του προσδιορισμού μιας συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας που συνθέτει τις επιμέρους (ανά κριτήριο) προτιμήσεις του αποφασίζοντα σε ένα ενιαίο μέτρο με βάση το οποίο προχωράει στη λήψη της απόφασης.

Όσον αφορά στην ταυτοποίηση προβλημάτων πολυκριτηριακής ανάλυσης επισημαίνεται το εξής: Κάθε πρόβλημα προσδιορίζεται από ορισμένα δομικά χαρακτηριστικά, που απορρέουν είτε από την ίδια τη φύση του προβλήματος είτε από τις απόψεις και τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα. Η ταυτοποίηση του αντικειμένου της πολυκριτηριακής ανάλυσης ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελεί ένα πρώτο στάδιο της αναλυτικής διαδικασίας, που διευκολύνει την κατανόηση του προβλήματος και επιτρέπει την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επίλυσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται:

♦ Στο στάδιο δόμησης του προβλήματος:

- καθορισμός του προβλήματος και επιλογή των πιθανών εναλλακτικών σεναρίων,
- επιλογή των κριτηρίων,
- μέτρηση των επιδόσεων και ταξινόμηση των κριτηρίων,
- εκτίμηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου,
- δημιουργία του μοντέλου αξιολόγησης,
- καθορισμός των πιθανών περιοριστικών παραμέτρων ανάλογα με το αντικείμενο του εξεταζόμενου προβλήματος,
- τελική ταξινόμηση των εξεταζόμενων σεναρίων κατά σειρά βαθμολογίας με βάση τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που θα επιλεχθεί (το σενάριο με την υψηλότερη βαθμολογία αντιστοιχεί στην ευνοϊκότερη περίπτωση).

♦ Στο στάδιο ανάλυσης των αποτελεσμάτων:

- ανάλυση ευαισθησίας της λύσης,
 - προσδιορισμός της σύγκρουσης των κριτηρίων.
- ♦ Το μαθηματικό μοντέλο υποβοηθά τον αποφασίζοντα στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης και στην καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας και των συνεπειών της απόφασής του.

Ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία που πρέπει να αναφερθούν σε σχέση με το πρόβλημα είναι τα εξής:

- ♦ Τα βασικά στοιχεία του προβλήματος είναι η μήτρα αξιολόγησης που περιλαμβάνει ένα σύνολο διακριτών επιλογών, ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης και την επίδοση της κάθε επιλογής στο αντίστοιχο κριτήριο και το σύστημα προτιμήσεων του αποφασίζοντα που εμπεριέχει τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων, την

κατεύθυνση προτίμησης των επιδόσεων (ελάχιστο ή μέγιστο) και τα όρια ανοχής.

- ◆ Το ζητούμενο από την επίλυση του προβλήματος είναι:
 - ο προσδιορισμός της σχετικά βέλτιστης λύσης,
 - η ιεράρχηση του συνόλου των λύσεων,
 - η ταξινόμηση των λύσεων σε ομάδες.
- ◆ Η μέθοδος επίλυσης του προβλήματος:
 - μέθοδοι σύνθεσης των επιδόσεων: αναγωγή σε μονοκριτηριακό πρόβλημα, όπου το ένα κριτήριο εκφράζει τη συνολική χρησιμότητα της επιλογής,
 - μέθοδοι ιεράρχησης των επιλογών: δυαδική σύγκριση των επιλογών σε κάθε κριτήριο και διατύπωση σχέσεων επικράτησης. (Σπανός 2004, Τεκίδης 2015)

4.3 Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας

Ο βαθμός σπουδαιότητας των εφαρμοζόμενων κριτηρίων για την αξιολόγηση των διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων καθορίζεται από το συντελεστή βαρύτητας που αποδίδεται στα κριτήρια αυτά. Αναλόγως με την περίπτωση, χρησιμοποιούνται είτε άμεσοι είτε έμμεσοι συντελεστές βαρύτητας. Οι άμεσοι συντελεστές βαρύτητας χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που ο αριθμός των κριτηρίων είναι μικρός και είναι δυνατή η επιλογή συντελεστών βαρύτητας. Οι έμμεσοι συντελεστές βαρύτητας προσδιορίζονται με την ταξινόμηση των κριτηρίων κατά σειρά σπουδαιότητας, την απόδοση ενός συνολικού συντελεστή βαρύτητας ή ενός μέγιστου συντελεστή βαρύτητας και στη συνέχεια τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας σε σχέση με το άθροισμα όλων των συντελεστών βαρύτητας ή σε σχέση με το μεγαλύτερο συντελεστή. Επιπλέον, είναι δυνατή η χρήση κριτηρίων, στα οποία δεν έχει αποδοθεί συντελεστής βαρύτητας.

Οι συντελεστές βαρύτητας αντικατοπτρίζουν το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Δηλαδή, ο προσδιορισμός της σπουδαιότητας του κάθε κριτηρίου βασίζεται στην ιδιαίτερη σημασία που δίνουν οι ενδιαφερόμενοι φορείς για κάθε κριτήριο. Συνεπώς, ανάλογα με το είδος του προβλήματος είναι δυνατό να παρουσιάζουν μεγαλύτερη σημασία για τους ενδιαφερόμενους φορείς τα περιβαλλοντικά κριτήρια σε σχέση με τα οικονομικά ή και το αντίστροφο. Έτσι, για τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας απαιτείται η προσεκτική ιεραρχική ταξινόμηση των διαφόρων κριτηρίων από τους ενδιαφερόμενους φορείς. (Σπανός 2004, Τεκίδης 2015)

4.4 Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου

Έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός μεθόδων και υπολογιστικών προγραμμάτων, τα οποία είναι δυνατό να προσδιορίσουν το βέλτιστο σενάριο για κάθε διαχειριστικό πρόβλημα. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην εκτίμηση της συνολικής απόδοσης ενός σεναρίου με βάση τις επιμέρους επιδόσεις σε κάθε κριτήριο και μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

1. Υπολογισμός της συνολικής προτίμησης για κάθε σενάριο. Στην περίπτωση αυτή, η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου βασίζεται στην επιλογή του σεναρίου, που παρουσιάζει την υψηλότερη βαθμολογία ανεξάρτητα από τα επιμέρους κριτήρια.
2. Προσέγγιση της προτίμησης ενός σεναρίου σε σχέση με ένα άλλο, η οποία βασίζεται στη δοκιμή της υπόθεσης, ότι ένα σενάριο (α) είναι καλύτερο από ένα σενάριο (β), εφόσον το σενάριο (α) είναι τουλάχιστον τόσο καλό (ή όχι χειρότερο) από το σενάριο (β). Η προσέγγιση αυτή στηρίζεται στη δυαδική σύγκριση των επιλογών σε κάθε μεμονωμένο κριτήριο. Στην περίπτωση αυτή, πριν τη συγκριτική ταξινόμηση των κριτηρίων ανάλογα με τη βαθμολογία τους τίθενται κάποιοι περιοριστικοί όροι, οι οποίοι εκφράζουν την προτίμηση σε κάποια κριτήρια σε σχέση με άλλα. Με τη χρήση της μεθόδου αυτής η εύρεση του βέλτιστου σεναρίου βασίζεται εν μέρει στον προσδιορισμό της συνολικής βαθμολογίας για κάθε σενάριο και περισσότερο στη σύγκριση μεταξύ των επιμέρους σεναρίων.
3. Διαδραστική προσέγγιση, όπου τα μοντέλα, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του βέλτιστου σεναρίου, βασίζονται σε επαναληπτικές μεθόδους. (Σπανός 2004, Τεκίδης 2015)

4.5 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

- ◆ Analytic hierarchy process (AHP)
- ◆ Analytic network process (ANP)
- ◆ Inner product of vectors (IPV)
- ◆ Multi-attribute value theory (MAVT)
- ◆ Multi-attribute utility theory (MAUT)
- ◆ Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ)
- ◆ Goal programming
- ◆ ELECTRE (Outranking)
- ◆ PROMETHÉE (Outranking)
- ◆ Data envelopment analysis
- ◆ The evidential reasoning approach
- ◆ Dominance-based Rough Set Approach (DRSA)
- ◆ Aggregated Indices Randomization Method (AIRM)
- ◆ Nonstructural Fuzzy Decision Support System (NSFDSS)
- ◆ Grey relational analysis (GRA)
- ◆ Superiority and inferiority ranking method (SIR method)
- ◆ Potentially All Pairwise Rankings of all possible Alternatives (PAPRIKA)
- ◆ Value Engineering (VE)
- ◆ Value analysis (VA)

4.6 Μέθοδος SAW (Simple Additive Weighting)

Η μέθοδος SAW, όπως τονίζεται από τον Hwang και Yoon, 1981, είναι μία από τις πιο απλές αλλά ωστόσο καλή μέθοδος λήψης αποφάσεων, καθώς τα αποτελέσματά της πλησιάζουν τα αποτελέσματα πιο αναλυτικών μεθόδων. Η μέθοδος αυτή αποτελείται από τρία βασικά στάδια: Δημιουργία κλίμακας για τα σκορ, ώστε να είναι συγκρίσιμα, εφαρμογή βαρών και πρόσθεση των τιμών τους για κάθε πηγή κριτηρίων.

Εφόσον επιτρέπονται μηδενικές τιμές για τα σκορ εφαρμόζονται οι ακόλουθοι παράγοντες κλίμακας, όπου d είναι οι αποφάσεις:

$$v_{ij} = \frac{d_{ij} - d_j^{\min}}{d_j^{\max} - d_j^{\min}}, \text{ για ποιοτικά κριτήρια}$$

$$v_{ij} = \frac{d_j^{\max} - d_{ij}}{d_j^{\max} - d_j^{\min}}, \text{ για κριτήρια κόστους}$$

Με βάση αυτή την κλίμακα, όλα τα σκορ βρίσκονται στο διάστημα [0,1], ενώ το καλύτερο σκορ παίρνει την τιμή 1 και το χειρότερο σκορ παίρνει την τιμή 0. Αυτή η ιδιότητα βεβαιώνει τη συγκρισιμότητα των σκορ. Το τελικό προτιμητέο σκορ για κάθε πηγή δίνεται από τη σχέση $S_i = \sum_j w_j v_{ij}$, όπου $w_j = (w_1, \dots, w_j)$. (Adriyendi, 2015)

4.7 Παραδείγματα εφαρμογής πολυκριτηριακής ανάλυσης σε μονάδες επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων παγκοσμίως

4.7.1 Γαλλία

Οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιδόσεις των πέντε συστημάτων παραγωγής βοείου κρέατος Charolais (τρεις εξειδικευμένες σε βόειο κρέας περιπτώσεις ελέγχου παραγωγής σε περιοχές βοσκής και δύο μικτές περιπτώσεις δοκιμής κτηνοτροφικών καλλιεργειών με μια πιο συστηματική εντατική παραγωγή) εκτιμήθηκαν με τη σύζευξη ενός μοντέλου οικονομικής βελτιστοποίησης ("Ort'INRA") με ένα μοντέλο της αξιολόγησης των εκπομπών αερίων των μη-ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (MAA), της κατανάλωσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου ("PLANETE"). Οι δοκιμαστικές περιπτώσεις που μελετήθηκαν καλύπτουν ένα σχετικά ευρύ φάσμα διάθεσης και πώλησης των ζώων: μοσχάρι-απογαλακτισμένο ή συστήματα με μοσχάρια σε βόειο κρέας (ζώα που πωλούνται: απογαλακτισμένα από 10 έως 36 μηνών). Το 2006, η κατανάλωση MAA κυμαίνονταν από 26.440 έως 31.863 MJ / τόνο ζώντος βάρους που παράγεται άνω του 1 έτους. Καύσιμα και λιπαντικά ήταν οι κύριοι παράγοντες της κατανάλωσης MAA, που ακολουθείται από τα λιπάσματα και τον αγροτικό εξοπλισμό. Η κτηνοτροφία ήταν η βασική αιτία υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου υπολογίστηκαν σε 14,3 - 18,3 tCO₂eq / t LW. Με φόντο την αύξηση του κόστους της ενέργειας, τα μικτά συστήματα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων απολαμβάνουν μεγαλύτερη ευελιξία στην προσαρμογή των μεθόδων τους από τα συστήματα που βασίζονται σε αγροκτήματα, δίνοντάς τους έτσι τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης της μείωσης του εισοδήματος. Σε αυτό το ίδιο σκηνικό, οι παραγωγοί βοείου αντιμετωπίζουν μια πτώση 15-25% στο εισόδημα. Σε όλα τα σενάρια που τρέχουν, οι προσαρμογές του συστήματος που αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της πτώσης του εισοδήματος έχουν μόνο ένα πολύ περιορισμένο αντίκτυπο στην κατανάλωση MAA και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. (P. Veysset et al., 2009)

4.7.2 Κένυα

Η ενεργειακή φτώχεια είναι μια παγκόσμια απειλή για την αειφόρο ανάπτυξη και τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, κι ως εκ τούτου η διαθεσιμότητα καθαρών, προσιτών, αξιόπιστων και βιώσιμων μορφών ενέργειας αποτελεί κεντρικό ζήτημα για την εθνική ανάπτυξη της Κένυα. Η τεχνολογία βιοαερίου στην Κένυα, έχει προβλεφθεί ως μία από τις βασικές κινητήριες δυνάμεις προς την κατεύθυνση της εξάλειψης της ενεργειακής φτώχειας στην πλειοψηφία των αγροτικών νοικοκυριών και για το σκοπό αυτό διάφορα μοντέλα χώνευσης και παραγωγής βιοαερίου προωθούνται ενεργά. Κατά συνέπεια, η αξιολόγηση της βιωσιμότητας των συστημάτων βιοαερίου στην Κένυα είναι ένα από τα επίκαιρα θέματα προς συζήτηση σχετικά με την ανάπτυξη του βιοαερίου. Η έρευνα που διεξήχθη αναλύει συγκριτικά τα συστήματα παραγωγής βιοαερίου στην Κένυα, συνδέοντας την ενέργεια από το βιοαέριο με τις υποδομές της παραγωγής. Μια διαδικασία πολλαπλών κριτηρίων χρησιμοποιείται για την ανάλυση εστιάζοντας στις τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις της αειφορίας. Η αξιολόγηση στο έργο ακολουθεί την μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αειφορίας (LCSA) με βάση το πρότυπο ISO 14040 και 14044 των αρχών διαχείρισης του περιβάλλοντος. Έχει παρατηρηθεί ότι οι σωληνοειδείς και οι σταθερού θόλου χωνευτήρες με τις αντίστοιχες βαθμολογίες πολλαπλών κριτηρίων αειφορίας του 70% και 57% είναι οι πιο βιώσιμοι με τη ζωική κοπριά ως κυρίαρχη πρώτη ύλη. Η προσέγγιση της αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων αειφορίας που παρουσιάζεται σε αυτή τη μελέτη μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για τις παρεμβάσεις στον τομέα της ενέργειας του βιοαερίου. Το βιοαέριο με την πολλαπλών κριτηρίων προσέγγιση αξιολόγησης βιωσιμότητας, όπως παρουσιάζεται στην εργασία αυτή θα μπορούσε να είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την χάραξη της πολιτικής του βιοαερίου στην Κένυα καθώς και σε άλλες αναπτυσσόμενες χώρες. (Charles Nzila et al., 2011-2012)

4.7.3 Αυστρία

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε εκτελεί μια αξιολόγηση των 41 αγροτικών μονάδων βιοαερίου που βρίσκονται στην Αυστρία για να καθορίσει τη σχετική απόδοση τους σε όρους οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων και των αντίστοιχων δεικτών. Η σύγκριση αυτών των μονάδων μετατροπής ανανεώσιμης ενέργειας βασίζεται σε δύο συμπληρωματικές αναλύσεις. Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (DEA) διεξήχθη για να παρέχει μέτρα ακτινικής απόδοσης σε σχέση με τα παρατηρούμενα σύνορα των δυνατοτήτων παραγωγής. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (MCDA), χρησιμοποιώντας το IRIS /τη μεθοδολογία ELECTRE TRI, διεξήχθη για την απόκτηση μιας διαφορετικής προοπτικής για τα αποτελέσματα, και ως εργαλείο που θα δώσει τη δυνατότητα να παρθούν εύκολα προτιμήσεις management. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το IRIS, διατηρώντας παράλληλα το πνεύμα της DEA, τα κριτήρια αξιολόγησης ορίστηκαν ως διαφορετικές αναλογίες εξόδου / αποδοτικότητας των εισροών, και καμμία πληροφορία σχετικά με τα κριτήρια-βάρη δεν εισήχθη από την αρχή. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η MCDA, και η χρήση του IRIS ειδικότερα, αποτελεί μια χρήσιμη προσέγγιση που μπορεί να εφαρμοστεί με συμπληρωματικό τρόπο για την DEA. (Reinhard Madlener et al., 2007-2008)

4.7.4 Ιταλία

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα η ενέργεια από βιομάζα, συμβάλουν στην αειφόρο ανάπτυξη του εδάφους. Ταυτόχρονα, με τη χρήση βιομάζας για την παραγωγή βιοενέργειας, βιοπαραγωγίσιμη γη είναι αφιερωμένη στον ενεργειακό εφοδιασμό. Καθώς η βιοπαραγωγίσιμη έκταση σε ευρωπαϊκό επίπεδο μειώνεται, η βιοενέργεια ανταγωνίζεται έναντι άλλων απαιτήσεων, όπως η παραγωγή τροφίμων, βιομηχανικών πόρων ή πολιτιστικών αγαθών και υπηρεσιών, κι ως εκ τούτου η σωστή αξιολόγηση του διαθέσιμου τοπικού δυναμικού

είναι σημαντική για τους τοπικούς και περιφερειακούς σχεδιασμούς. Επιπλέον, το σύστημα βιοενέργειας είναι ένα κοινωνικο-οικολογικό σύστημα που απαιτεί ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αξιολόγηση των παραγόντων, των συστατικών και των αλληλεπιδράσεων ενός τέτοιου συστήματος, θεωρώντας ότι η γεωργία αποτελεί μια από τις σημαντικότερες κινητήριες δυνάμεις της αλλαγής της χρήσης γης και την απώλεια της βιοποικιλότητας. Επομένως, το έργο επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη της προσέγγισης για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του βιοαερίου και παρέχει υποστήριξη για τη λήψη αποφάσεων στη βιομηχανία βιοενέργειας σε τοπική κλίμακα. Η προσέγγιση εκμεταλλεύεται τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των εδαφικών μονάδων (δηλαδή, μια ανάλυση γειτνίασης), και ενσωματώνει χρονοσειρές συνεχών και διακριτών στοιχείων. Βασίζεται στην αναλυτική διαδικασία ιεραρχία (AHP) σε συνδυασμό με τη GIS ανάλυση, και αναπτύσσει ένα σύστημα εδαφικής πληροφορίας για την υποστήριξη και το σχεδιασμό μονάδας βιοαερίου, ανάλυση της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου από διαφορετικές πηγές δυναμικού και παραγωγή αληθοφανών σεναρίων για την αναγνώριση κατάλληλων για βιοαέριο εδαφικών σχηματισμών. (Alyona Zubaryeva et al., 2011)

4.7.5 Ινδία

Η ανάγκη για αξιόπιστες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται μέρα με τη μέρα και με αυτή την ανάγκη αναβίωσε το ενδιαφέρον για το βιοαέριο και την τεχνολογία παραγωγής του, ειδικά για την αντιμετώπιση του αγροτικού μαγεϊρέματος και τις ανάγκες σε ενέργεια φωτισμού. Ο MNRE, ο οποίος είναι ο κομβικός οργανισμός για όλα τα προγράμματα, έχει προωθήσει περίπου 15 μοντέλα παραγωγής βιοαερίου. Ωστόσο, δεν υπάρχει διαθέσιμη τεκμηρίωση σχετικά με το πώς είναι τα μοντέλα εγκεκριμένα, αφήνοντας την επιλογή του μοντέλου στους τελικούς χρήστες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την προώθηση των μοντέλων με βάση την (Κυβερνητικών και μη κυβερνητικών) εμπειρογνωμοσύνη του οργανισμού στην κατασκευή ορισμένων μοντέλων παρά την συνειδητή επιλογή του τελικού χρήστη. Μία από τις απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα, είναι ένα εργαλείο πολλαπλών κριτηρίων λήψης αποφάσεων που μπορεί να βοηθήσει στην προώθηση των διαφορετικών τεχνολογιών βιοαερίου με βάση διάφορα κοινωνικο-οικονομικά-περιβαλλοντικά κριτήρια. Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τις αποφάσεις από διάφορες οπτικές γωνίες π.χ. η κυβέρνηση, οι ΜΚΟ, οι χρήστες, κ.λπ. Η μελέτη που έγινε αναλαμβάνει μια ανάλυση με βάση το εργαλείο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP) για τις τεχνολογίες του βιοαερίου που προωθούνται από την κυβέρνηση της Ινδίας με την προοπτική της συνολικής αυτοδυναμίας της χώρας. Μια μελέτη περίπτωσης έχει απεικονισθεί για μια μικρή μονάδα παραγωγής βιοαερίου στα 2 m³, με την προοπτική της βιώσιμης ανάπτυξης. Ένα σύνολο από 17 χαρακτηριστικά, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, έχουν χρησιμοποιηθεί σε μια ιεραρχία δύο επιπέδων για τη διεξαγωγή της AHP. (Bakul Raoa et al., 2013)

5^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή και αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης

5.1 Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης

Η κατηγοριοποίηση των συστημάτων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων έγινε σε τρεις κατηγορίες: τον διαχωρισμό στερεής και υγρής φάσης, την κατεργασία της υγρής φάσης και τέλος την κατεργασία της στερεής φάσης. Η κατηγοριοποίηση αυτή έγινε για να καλυφθεί όλο το φάσμα των δυνατών τεχνολογιών επεξεργασίας. Στη συνέχεια έγινε η σχετική σύγκριση κάθε διαθέσιμης τεχνολογίας καθενός από τα τρία συστήματα, με βάση συγκεκριμένα τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να δούμε πως επηρεάζεται κάθε φορά με διαφορετικά σενάρια η καταλληλότητα των εναλλακτικών διαθέσιμων τεχνολογιών όταν μεταβάλλεται η σχετική βαρύτητα των κριτηρίων σύγκρισης. Στόχος αυτής της διαδικασίας της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι να αποτυπωθεί με ποιο τρόπο επηρεάζεται η τελική επιλογή μεθόδου βάση της βαρύτητας που δίνεται σε κάθε κατηγορία κριτηρίου. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι δεν έγινε ξεχωριστή μελέτη για τα διαφορετικά είδη κοπριάς αλλά έγινε μια συνολική που παίρνει τους μέσους όρους από κάθε περίπτωση.

5.1.1 Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης

Όσον αφορά στον διαχωρισμό στερεής-υγρής φάσης εξετάζονται οι εξής εναλλακτικές:

- 1) πήξη και διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης (coagulation-flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage),
- 2) πρέσσα πίεσης (screw pressing)
- 3) ταινιοφιλτρόπρεσσα (belt filter press)
- 4) φυγοκέντρηση (centrifuge) και
- 5) φίλτρα και μονάδα υπερδιήθησης (filter bags and ultrafiltration unit)

Τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η σύγκριση είναι:

- a. Οικονομικά κριτήρια (κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος)
- b. Τεχνικά κριτήρια που αφορούν τα στερεά κλάσματα (% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) και
- c. Πολυπλοκότητα

Όσον αφορά τα οικονομικά κριτήρια και τα τεχνικά κριτήρια τα σχετικά με τα στερεά κλάσματα οι τιμές τους λήφθηκαν από πηγές που παρουσιάζονται στο τέλος της διπλωματικής. Για την πολυπλοκότητα που πήρε τιμές από 0 έως 100 ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

-η τιμή 33.3 στο κριτήριο της πολυπλοκότητας σημαίνει μικρό βαθμό πολυπλοκότητας, η τιμή 66.7 μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας και η τιμή 80 πολύ μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας.

Από την πολυκριτηριακή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε πάνω στις μεθόδους διαχωρισμού της στερεής και υγρής φάσης των κτηνοτροφικών αποβλήτων εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

CRITERIA

	Capital cost (€/m³/h)	Operational cost (€/m³)	Separation Index: % dry matter in the solid fraction	Separation Index: % TN in the solid fraction	Separation Index: % NH₄-N in the solid fraction	Separation Index: % TP in the solid fraction	Complexity (scale 0 - 100)
ALTERNATIVES	<i>min is better</i>	<i>min is better</i>	<i>max is better</i>	<i>max is better</i>	<i>max is better</i>	<i>max is better</i>	<i>min is better</i>
Coagulation-Flocculation + other separation	20000	0,80	70	43	20	79	66,7
Screw pressing	24530	0,66	37	15	10	17	33,3
Belt filter press	7020	1,50	44	27	23	34	66,7
Centrifuge	28570	0,70	61	28	16	71	66,7
Filter bags + Ultrafiltration unit	11500	2,25	99,7	50,2	13,7	65,4	80,0

Πίνακας 30: Solid-liquid separation-Valuation table

Πίνακας 31: Αντιστοίχιση μεθόδου διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης με αριθμό εναλλακτικής

Μέθοδος	A/A
Πήξη και διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης	1
Πρέσσα πίεσης	2
Ταινιοφιλτρόπρεσσα	3
Φυγοκέντρηση	4
Φίλτρα και μονάδα υπερδιήθησης	5

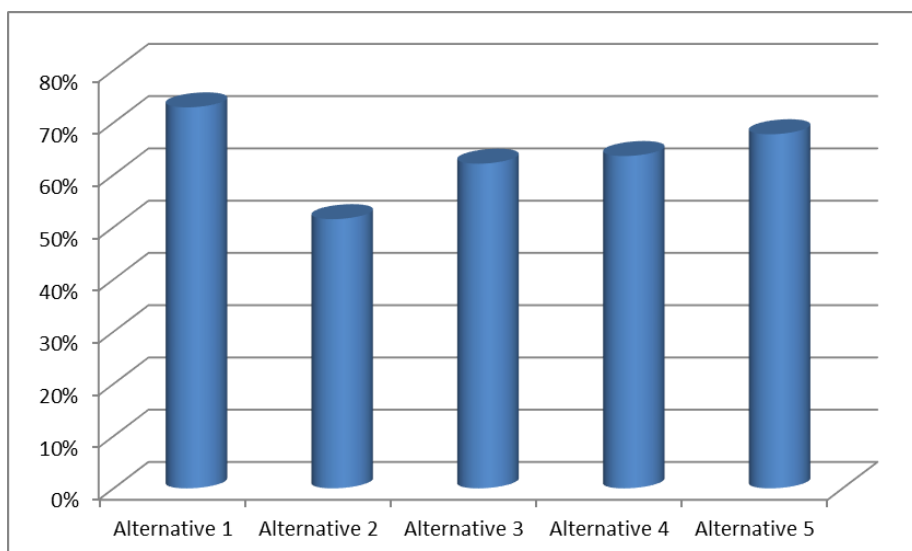
ΣΕΝΑΡΙΟ 1(σχετική βαρύτητα κάθε κριτηρίου ξεχωριστά:14.3%)

Πίνακας 32: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 1, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)	14,29%	28,57%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)	14,29%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter	14,29%	57,14%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN	14,29%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N	14,29%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP	14,29%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)	14,29%	14,29%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	73%
Alternative 2	Screw pressing	52%
Alternative 3	Belt filter press	62%
Alternative 4	Centrifuge	64%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	68%

Πίνακας 33: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 1, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 9: Solid-liquid separation, scenario 1

Όταν η σχετική βαρύτητα κάθε κριτηρίου ξεχωριστά είναι 14.3% ή αλλιώς όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 28.57%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 57.14% και της πολυπλοκότητας είναι 14.29%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της πήξης και του διαχωρισμού μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης με 73%, ακολουθεί η υπερδιήθηση με φίλτρα με 68%, η φυγοκέντρηση με 64%, η ταινιοφιλτρόπρεσα με 62% και τέλος η πρέσα πίεσης με 52%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 2(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων: 90%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:8% , πολυπλοκότητας:2%)

Πίνακας 34: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 2, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

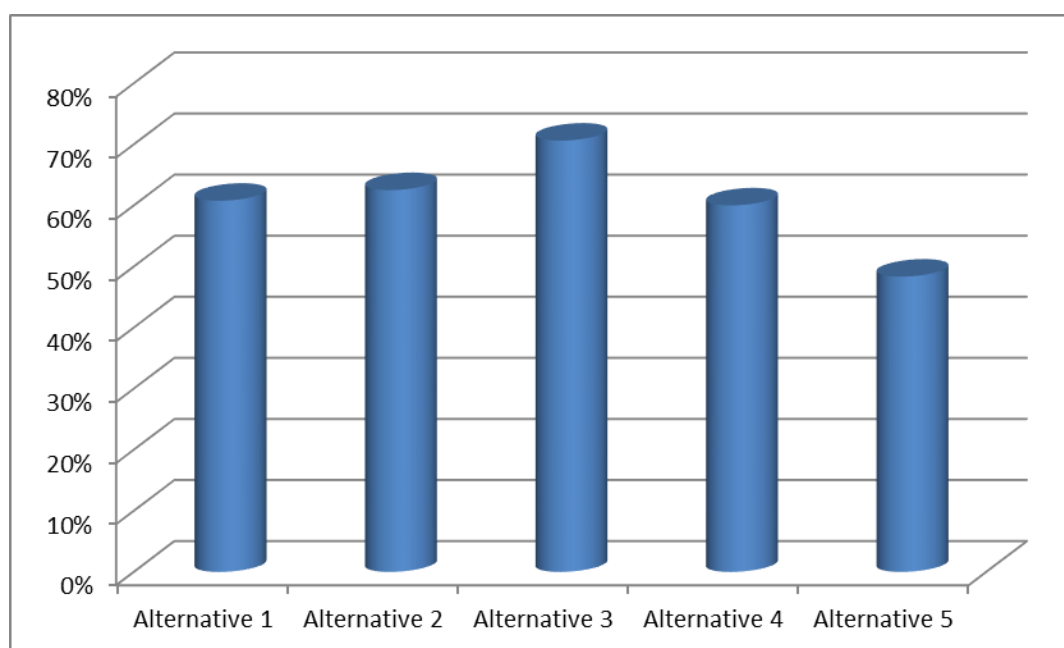
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)	45,00%	90,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)	45,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter	2,00%	8,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN	2,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N	2,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP	2,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)	2,00%	2,00%

100,00%

100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	61%
Alternative 2	Screw pressing	63%
Alternative 3	Belt filter press	71%
Alternative 4	Centrifuge	60%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	48%

Πίνακας 35: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 2, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 10: Solid-liquid separation, scenario 2

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων (κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 90%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα (% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 8% και της πολυπλοκότητας είναι 2%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της ταινιοφιλτρόπρεσσας με 71%, ακολουθεί η πρέσσα πίεσης με 63%, η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης με 61%, η φυγοκέντρηση με 60% και τέλος η υπερδιήθηση με φίλτρα με 48%.

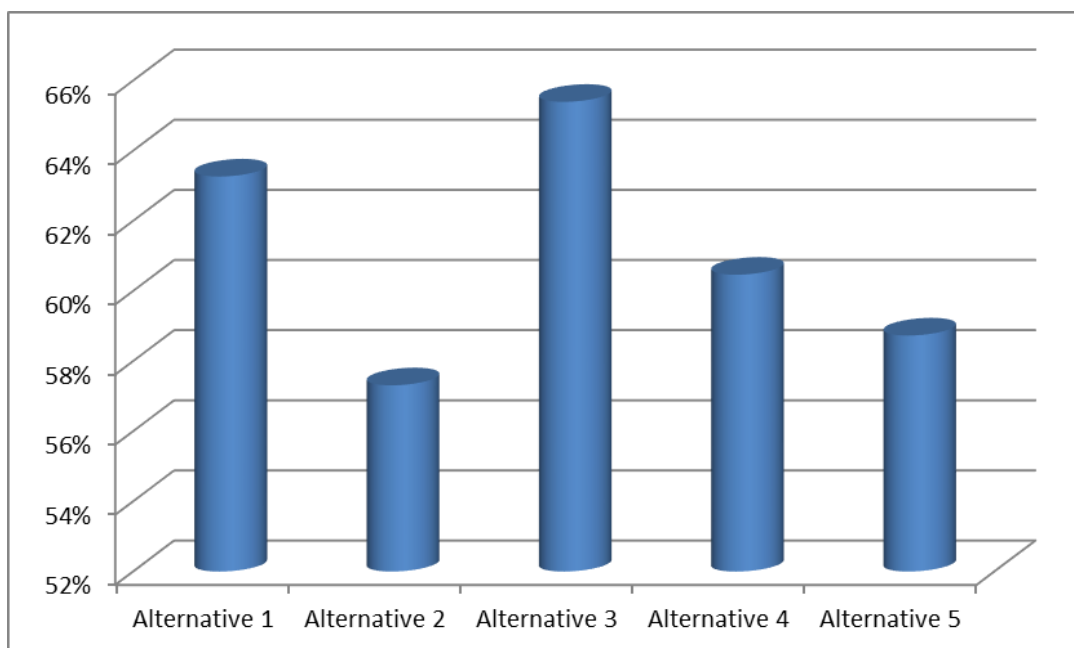
ΣΕΝΑΡΙΟ 3(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων: 70%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα: 27.5%, πολυπλοκότητας: 2.5%)

Πίνακας 36: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 3, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)		35,00%	70,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)		35,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter		20,00%	27,50%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN		2,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N		2,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP		2,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)		2,50%	2,50%
			100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	63%
Alternative 2	Screw pressing	57%
Alternative 3	Belt filter press	65%
Alternative 4	Centrifuge	60%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	59%

Πίνακας 37: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 3, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 11: Solid-liquid separation, scenario 3

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 70%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 27.5% και της πολυπλοκότητας είναι 2.5%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της ταινιοφιλτρόπρεσσας με 65%, ακολουθεί η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης με 63%, η φυγοκέντρηση με 60%, η υπερδιήθηση με φίλτρα με 59% και τέλος η πρέσσα πίεσης με 57%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 4(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:60%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:37.5%, πολυπλοκότητας:2.5%)

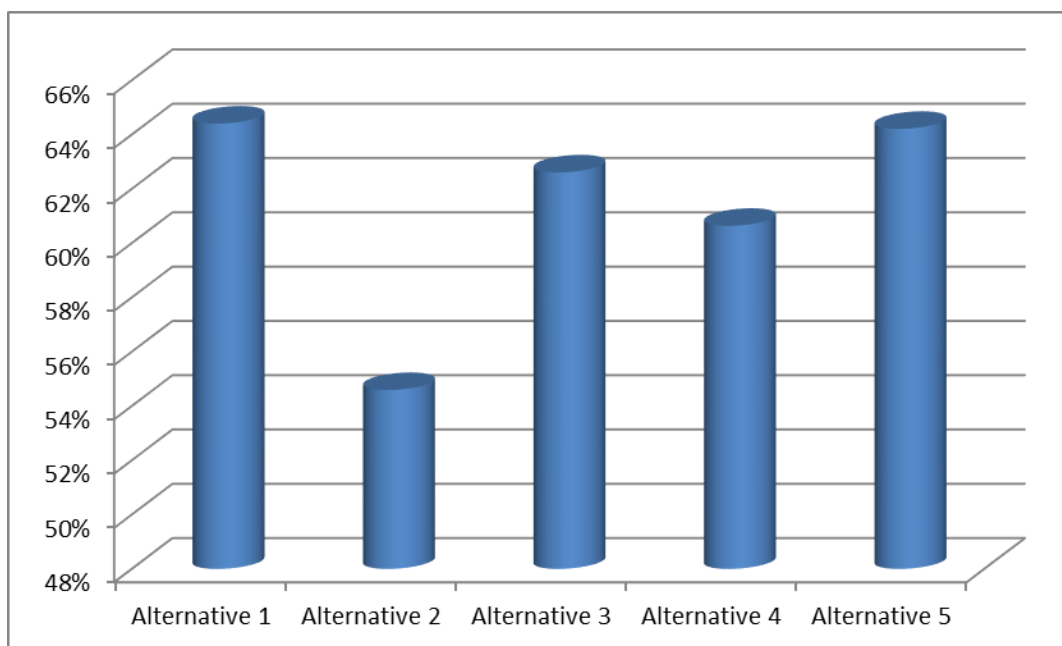
Πίνακας 38: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 4, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)	30,00%	60,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)	30,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter	30,00%	37,50%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN	2,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N	2,50%	

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP	2,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)	2,50%	2,50%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	64%
Alternative 2	Screw pressing	55%
Alternative 3	Belt filter press	63%
Alternative 4	Centrifuge	61%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	64%

Πίνακας 39: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 4, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 12: Solid-liquid separation, scenario 4

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 60%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 37.5% και της πολυπλοκότητας είναι 2.5%, τότε καταλληλότερες κρίνονται η μέθοδος της πήξης και του διαχωρισμού μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης μαζί με την υπερδιήθηση με φίλτρα με ποσοστό 64% η καθεμία, ακολουθεί η ταινιοφιλτρόπρεσσα με 63%, η φυγοκέντρηση με 61% και τέλος η πρέσσα πίεσης με 55%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 5(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:50%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:45%, πολυπλοκότητας:5%)

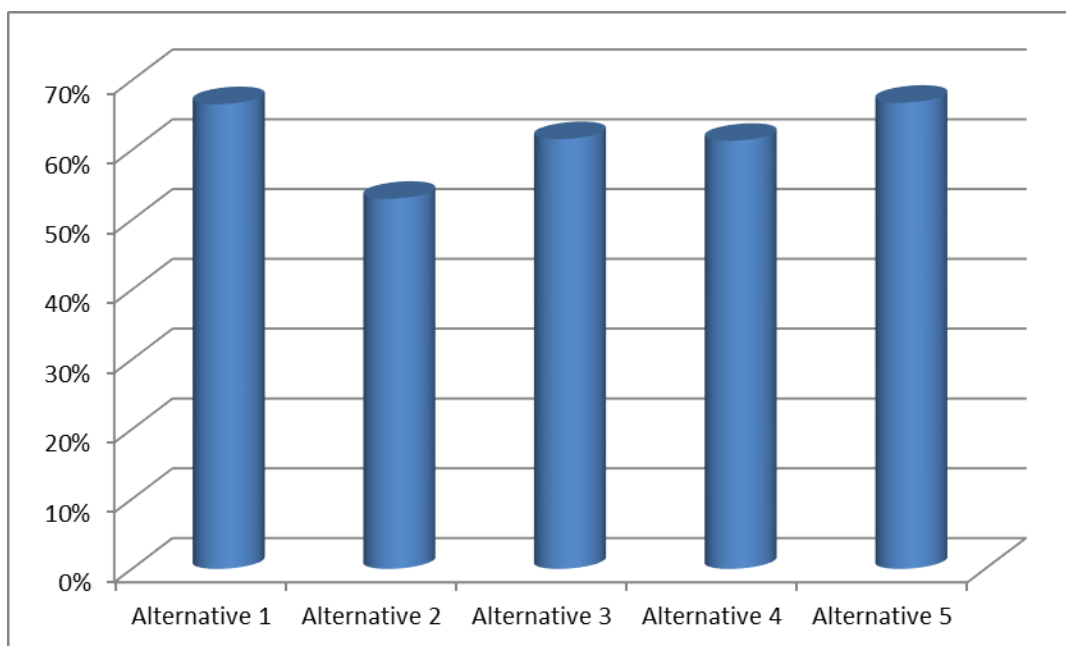
Πίνακας 40: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 5, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)	25,00%	50,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)	25,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter	30,00%	45,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP	5,00%	

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)	5,00%	5,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	67%
Alternative 2	Screw pressing	53%
Alternative 3	Belt filter press	62%
Alternative 4	Centrifuge	61%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	67%

Πίνακας 41: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 5, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 13: Solid-liquid separation, scenario 5

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 50%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 45% και της πολυπλοκότητας είναι 5%, τότε καταλληλότερες κρίνονται η μέθοδος της πήξης και του διαχωρισμού μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης μαζί με την υπερδιήθηση με φίλτρα με ποσοστό 67% η καθεμία, ακολουθεί η ταινιοφιλτρόπρεσσα με 62%, η φυγοκέντρηση με 61% και τέλος η πρέσσα πίεσης με 53%.

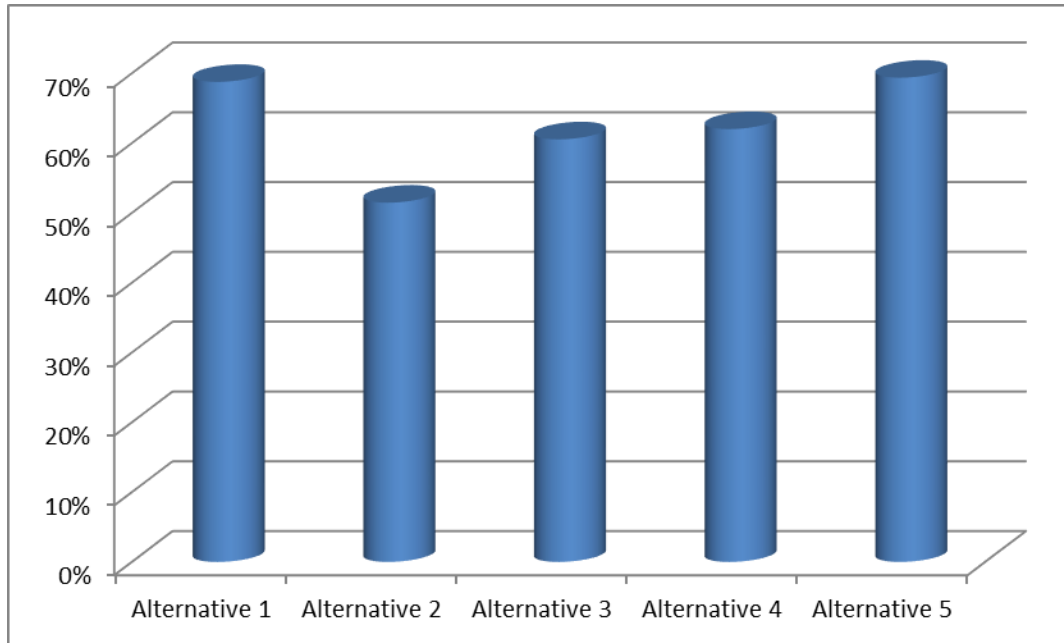
ΣΕΝΑΡΙΟ 6(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων: 40%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:52.5%, πολυπλοκότητας:7.5%)

Πίνακας 42: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 6, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)		20,00%	40,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)		20,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter		30,00%	52,50%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN		7,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N		7,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP		7,50%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)		7,50%	7,50%
			100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	69%
Alternative 2	Screw pressing	51%
Alternative 3	Belt filter press	61%
Alternative 4	Centrifuge	62%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	69%

Πίνακας 43: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 6, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 14: Solid-liquid separation, scenario 6

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 40%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 52.5% και της πολυπλοκότητας είναι 7.5%, τότε καταλληλότερες κρίνονται η μέθοδος της πήξης και του διαχωρισμού μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης μαζί με την υπερδιήθηση με φίλτρα με ποσοστό 69% η καθεμία, ακολουθεί η φυγοκέντρηση με 62%, η ταινοφιλτρόπρεσσα με 61% και τέλος η πρέσσα πίεσης με 51%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 7(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:30%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα :60%, πολυπλοκότητας:10%)

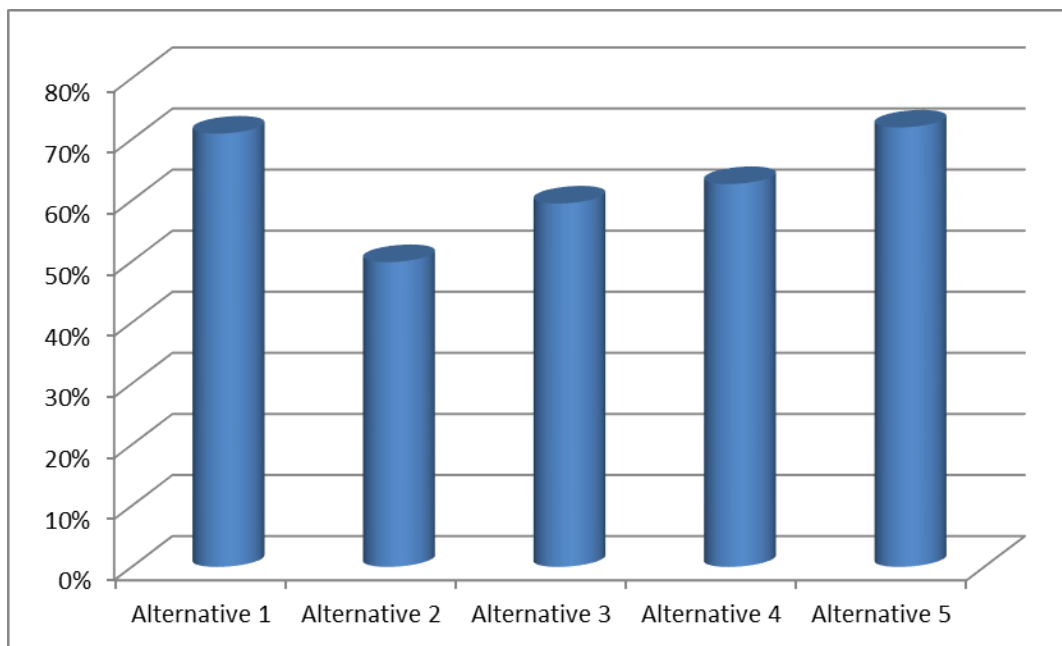
Πίνακας 44: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 7, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)	15,00%	30,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)	15,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter	30,00%	60,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN	10,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N	10,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP	10,00%	

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)	10,00%	10,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	71%
Alternative 2	Screw pressing	50%
Alternative 3	Belt filter press	60%
Alternative 4	Centrifuge	63%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	72%

Πίνακας 45: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 7, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 15: Solid-liquid separation, scenario 7

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων (κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 30%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα (% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 60% και της πολυπλοκότητας είναι 10%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της υπερδιήθησης με φίλτρα με 72%, ακολουθεί η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης με 71%, η φυγοκέντρηση με 63%, η ταινιοφιλότρεσσα με 60% και τέλος η πρέσσα πίεσης με 50%.

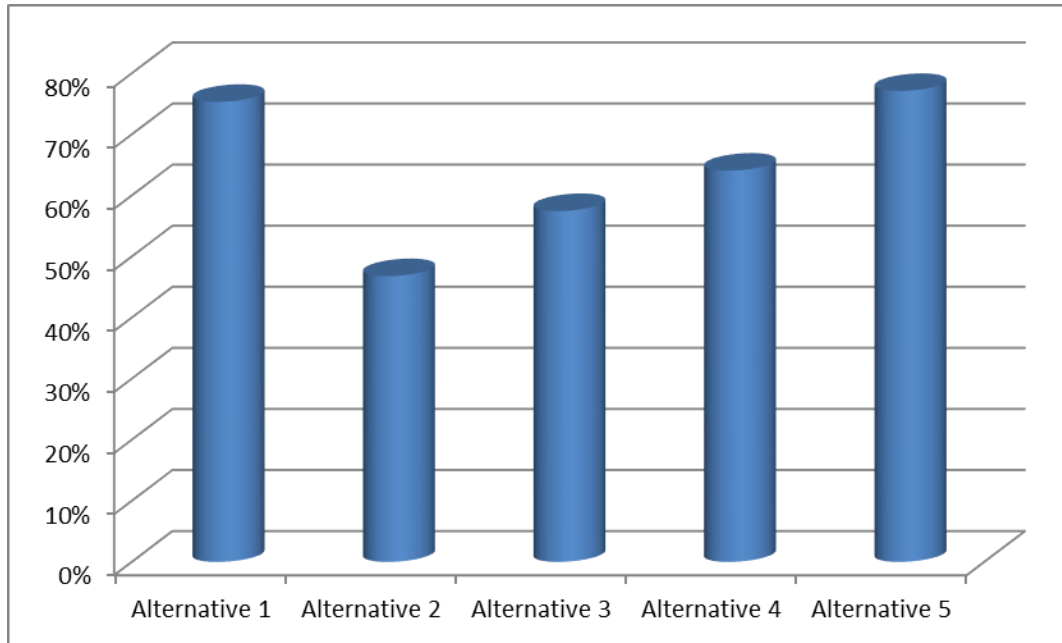
ΣΕΝΑΡΙΟ 8(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:10%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:75%, πολυπλοκότητας 15%)

Πίνακας 46: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 8, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /h)	5,00%	10,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³)	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % dry matter	30,00%	75,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TN	15,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % NH ₄ -N	15,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	Solid fraction: % TP	15,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0 - 100)	15,00%	15,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Coagulation-Flocculation + separation through centrifuge, sedimentation or drainage	75%
Alternative 2	Screw pressing	47%
Alternative 3	Belt filter press	57%
Alternative 4	Centrifuge	64%
Alternative 5	(filter bag + ultrafiltration)	77%

Πίνακας 47: Διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης, σενάριο 8, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 16 : Solid-liquid separation, scenario 8

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 10%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% ξηρή ύλη, % όγκος, % TN, % NH₄-N, %TP) είναι 75% και της πολυπλοκότητας είναι 15%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της υπερδιήθησης με φίλτρα με 77%, ακολουθεί η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης με 75%, η φυγοκέντρηση με 64%, η ταινιοφιλτρόπρεσσα με 57% και τέλος η πρέσσα πίεσης με 47%.

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι η μέθοδος της υπερδιήθησης με φίλτρα κρίνεται σε περισσότερα σενάρια (5 στα 8) ως καταλληλότερη μέθοδος διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης. Ακολουθεί η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης ως πιο κατάλληλη μέθοδος σε 4 από τα 8 σενάρια και η ταινιοφιλτρόπρεσσα ως πιο κατάλληλη εναλλακτική σε 2 από τα 8 σενάρια. Η πρέσσα πίεσης και η φυγοκέντρηση δεν κρίθηκαν σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες μέθοδοι διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης της κοπριάς.

5.1.2 Κατεργασία υγρής φάσης

Όσον αφορά στην κατεργασία της υγρής φάσης εξετάζονται οι εξής εναλλακτικές:

- 1) ηλεκτροχημικός αντιδραστήρας (electrochemical reactor),
- 2) νιτροποίηση-απονιτροποίηση (nitrification-denitrification),
- 3) batch αντιδραστήρας σε αλληλουχία(sequencing batch reactor),
- 4) τεχνητοί υγρότοποι (constructed wetlands) και
- 5) κατακρήμνιση στρουβίτη(struvite precipitation)

Τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η σύγκριση είναι:

- a. Οικονομικά κριτήρια(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος)
- b. Τεχνικά κριτήρια που αφορούν τα στερεά κλάσματα (% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal)
- c. Λοιπά τεχνικά κριτήρια (πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων)

Από την πολυκριτηριακή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε πάνω στις μεθόδους κατεργασίας της υγρής φάσης της κοπριάς προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

	CRITERIA							
	Capital cost (€/m ³ /d)	Operational cost (€/m ³)	TSS removal (%)	COD removal (%)	TN removal (%)	NH ₄ -N removal (%)	TP removal (%)	Complexity (scale 0-100)
ALTERNATIVES	<i>min</i> <i>is better</i>	<i>min</i> <i>is better</i>	<i>max</i> <i>is better</i>	<i>max</i> <i>is better</i>	<i>max</i> <i>is better</i>	<i>max</i> <i>is better</i>	<i>max</i> <i>is better</i>	<i>min</i> <i>is better</i>
Electro-chemical reactor	5360	1,90	49,0	99	99	99	76	100,0
Nitrification Denitrification (NDN) – unit	6100	2,60	11,0	89	96	98	15	66,7
Sequencing reactor (SBR) batch	2670	5,50	98,0	95	96	97	90	66,7
Constructed Wetlands	650	1,30	53,0	65	42	48	42	33,3
Struvite Precipitation + SBR)	4200	2,00	12,0	78	79	97	93	66,7

Πίνακας 32: Treatment of liquid fraction, Valuation Table

Όσον αφορά τα οικονομικά κριτήρια και τα τεχνικά κριτήρια τα σχετικά με τα στερεά κλάσματα οι τιμές τους λήφθηκαν από πηγές που παρουσιάζονται στο τέλος της διπλωματικής. Για την πολυπλοκότητα που πήραν οι εναλλακτικές τιμές από 0 έως 100 ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: -η τιμή 33.3 στο κριτήριο της πολυπλοκότητας σημαίνει μικρό βαθμό πολυπλοκότητας, η τιμή 66.7 μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας και η τιμή 100 πολύ μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας.

Μέθοδος	A/A
Ηλεκτροχημικός αντιδραστήρας(Ηλεκτροοξειδωση)	1
Νιτροποίηση-απονιτριποίηση	2
Batch αντιδραστήρας σε αλληλουχία(SBR)	3
Τεχνητοί υγρότοποι	4
Κατακρήμιση στρουβίτη	5

Πίνακας 33: Αντιστοίχιση μεθόδου επεξεργασίας υγρής φάσης με αριθμό εναλλακτικής

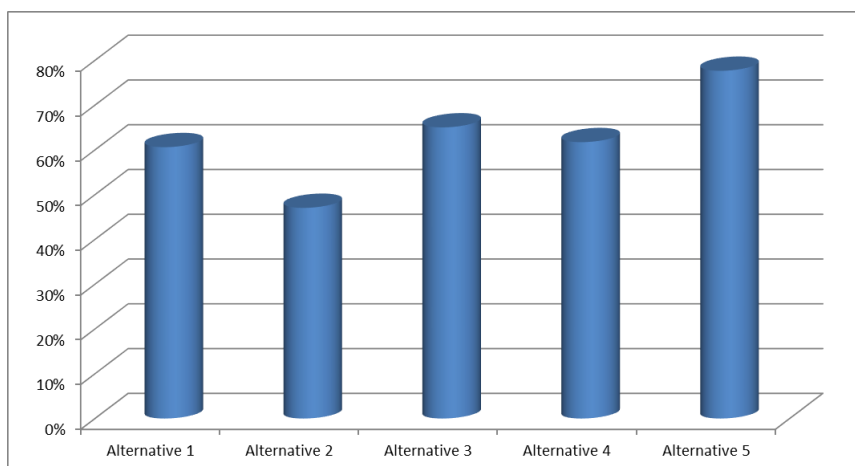
ΣΕΝΑΡΙΟ 1(σχετική βαρύτητα κάθε κριτηρίου:11.11%)

Πίνακας 48: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 1, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	11,11%	22,22%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	11,11%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	11,11%	55,55%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	11,11%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	11,11%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH ₄ -N removal (%)	11,11%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	11,11%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	11,11%	11,11%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	11,12%	11,12%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	61%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification-Denitrification)	47%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	65%
Alternative 4	Constructed Wetlands	62%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	78%

Πίνακας 49: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 1, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 17 : Treatment of liquid fraction, scenario 1

Όταν η σχετική βαρύτητα κάθε κριτηρίου είναι 11.11% ή αλλιώς όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 22.22%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 55.55% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 22.22% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κατακρήμνισης στρουβίτη με 78%, ακολουθεί ο SBR με 65%, οι τεχνητοί υγρότοποι με 62%, η ηλεκτροοξειδωση με 61% και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 47%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 2(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:90%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:7%, λοιπών τεχνικών κριτηρίων:3%)

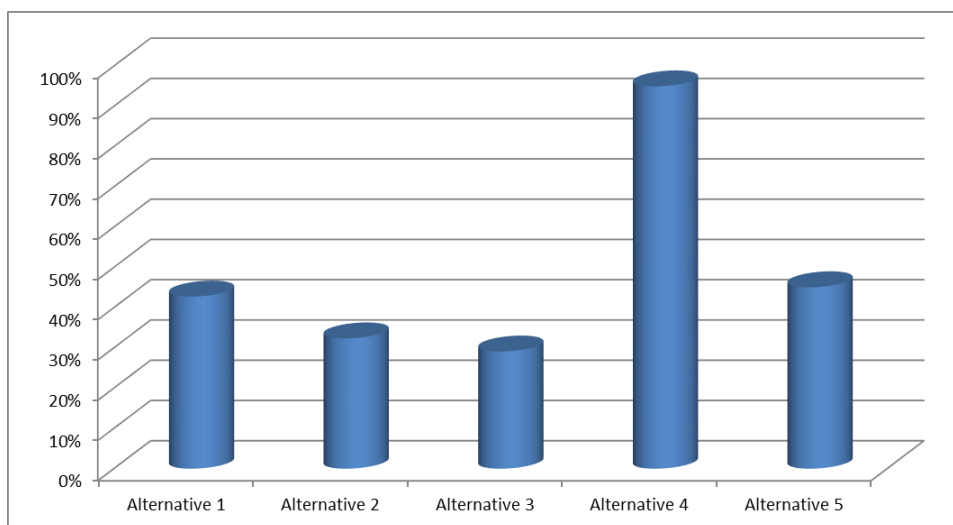
Πίνακας 50: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 2, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	45,00%	90,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	45,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	1,40%	7,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	1,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	1,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH ₄ -N removal (%)	1,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	1,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	1,40%	1,40%

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	1,60%	1,60%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	43%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification- Denitrification)	32%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	29%
Alternative 4	Constructed Wetlands	95%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	45%

Πίνακας 51: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 2, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 18 : Treatment of liquid fraction, scenario 2

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 90%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 7% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων (πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 3%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος των τεχνητών υγρότοπων με 95%, ακολουθεί η κατακρήμνιση στρουβίτη με 45%, η ηλεκτροοξειδωση με 43%, η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 32% και τέλος ο SBR με 29%.

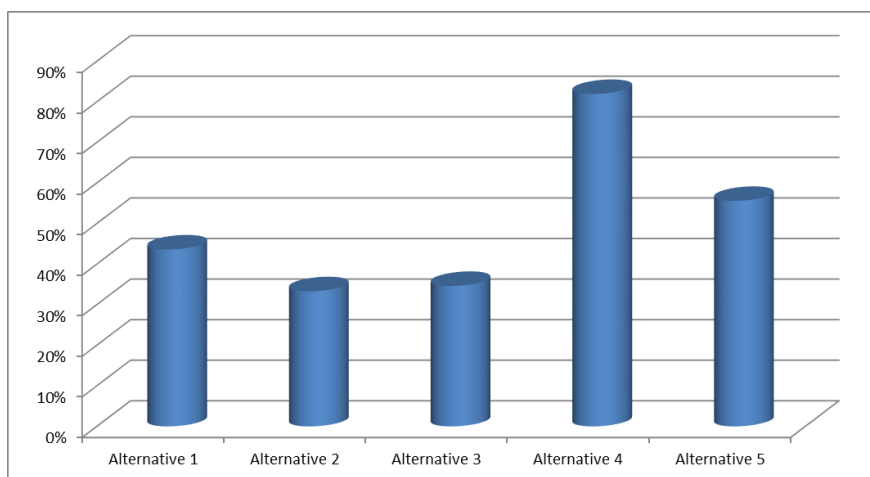
ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:70%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:16.5%, λοιπών τεχνικών κριτηρίων:13.5%)

Πίνακας 52: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 3, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΣΕΝΑΡΙΟ 3			
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	35,00%	70,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	35,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	3,30%	16,50%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	3,30%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	3,30%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH4-N removal (%)	3,30%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	3,30%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	3,50%	3,50%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	10,00%	10,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	44%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification-Denitrification)	33%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	35%
Alternative 4	Constructed Wetlands	82%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	56%

Πίνακας 53: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 3, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 19: Treatment of liquid fraction, scenario 3

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 70%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 16.5% και των υπόλοιπων τεχνικών κριτηρίων (πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 13.5% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος των τεχνητών υγρότοπων με 82%, ακολουθεί η κατακρήμνιση στρουβίτη με 56%, η ηλεκτροοξειδωση με 44%, ο SBR με 35% και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 33%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 4(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:60%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:25%, λοιπών τεχνικών κριτηρίων15%)

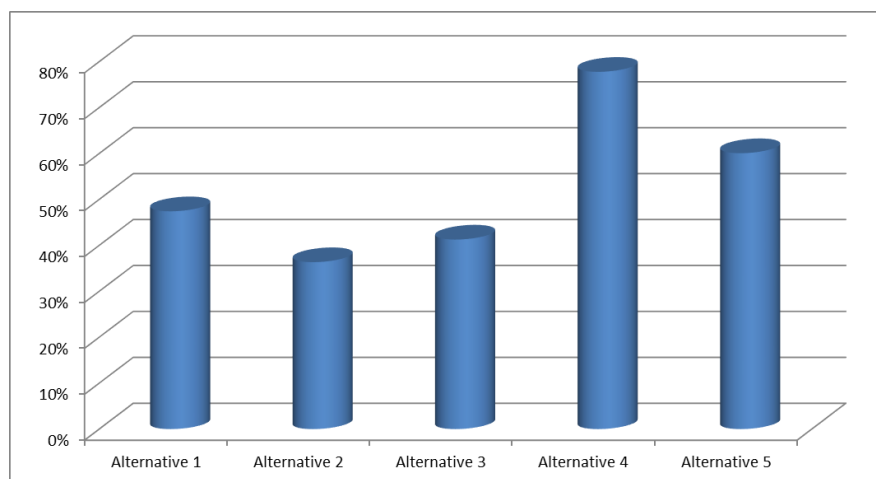
Πίνακας 54: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 4, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	30,00%	60,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	30,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	5,00%	25,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH ₄ -N removal (%)	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	5,00%	5,00%

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	10,00%	10,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	47%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification- Denitrification)	36%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	41%
Alternative 4	Constructed Wetlands	78%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	60%

Πίνακας 55: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 4, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 20 : Treatment of liquid fraction, scenario 4

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 60%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 25% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 15%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος των τεχνητών υγρότοπων με 78%, ακολουθεί η κατακρήμνιση στρουβίτη με 60%, η ηλεκτροοξειδωση με 47%, ο SBR με 41% και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 36%.

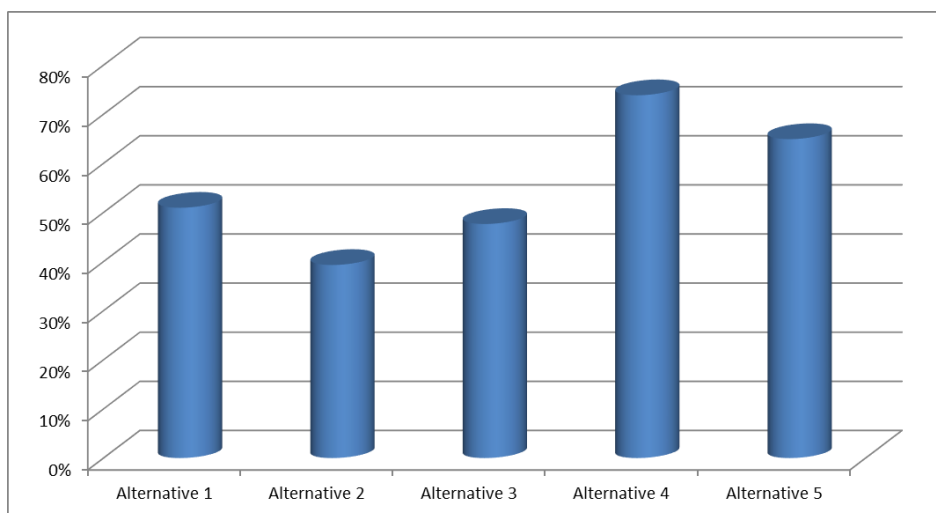
ΣΕΝΑΡΙΟ 5(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:50%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:33%, λοιπών τεχνικών κριτηρίων:17%)

Πίνακας 56: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 5, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	25,00%	50,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	25,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	6,60%	33,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	6,60%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	6,60%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH4-N removal (%)	6,60%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	6,60%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	7,00%	7,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	10,00%	10,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	51%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification-Denitrification)	39%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	48%
Alternative 4	Constructed Wetlands	74%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	65%

Πίνακας 57: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 5, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 21 : Treatment of liquid fraction, scenario 5

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 50%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 33% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα,αξιοποίηση λυμάτων) είναι 17%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος των τεχνητών υγρότοπων με 74%, ακολουθεί η κατακρήμνιση στρουβίτη με 65%, η ηλεκτροοξειδωση με 51%, ο SBR με 48% και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 39%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 6(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:40%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:42%,λοιπών τεχνικών κριτηρίων:18%)

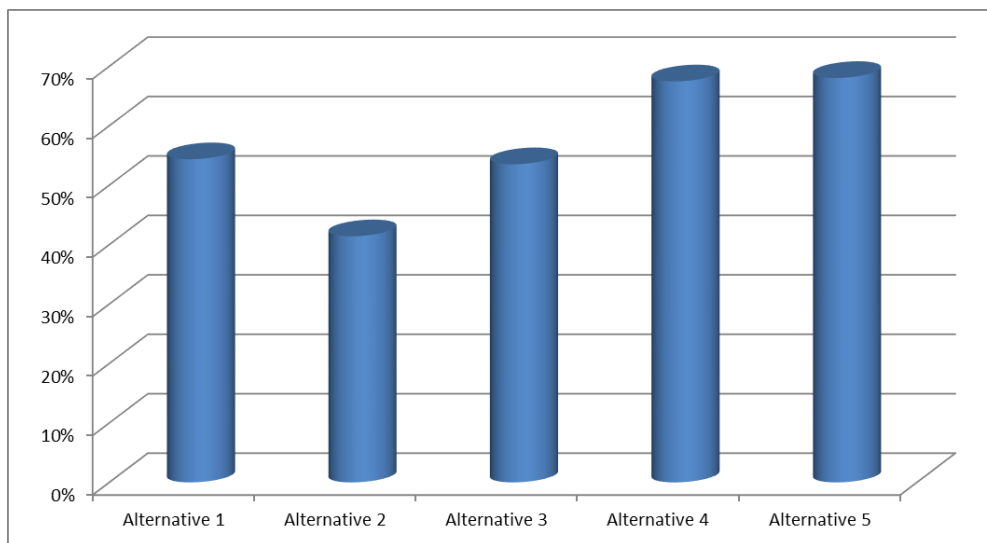
Πίνακας 58: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 6, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	20,00%	40,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	20,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	8,40%	42,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	8,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	8,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH ₄ -N removal (%)	8,40%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	8,40%	

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	6,00%	6,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	12,00%	12,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	54%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification-Denitrification)	41%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	54%
Alternative 4	Constructed Wetlands	67%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	68%

Πίνακας 59: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 6, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 22 : Treatment of liquid fraction, scenario 6

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 40%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 42% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 18%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κατακρήμνισης στρουβίτη με 68%, ακολουθούν οι τεχνητοί υγρότοποι με 67%, η ηλεκτροοξειδωση μαζί με τη μέθοδο του SBR με ποσοστό 54% η καθεμία και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με ποσοστό 41%.

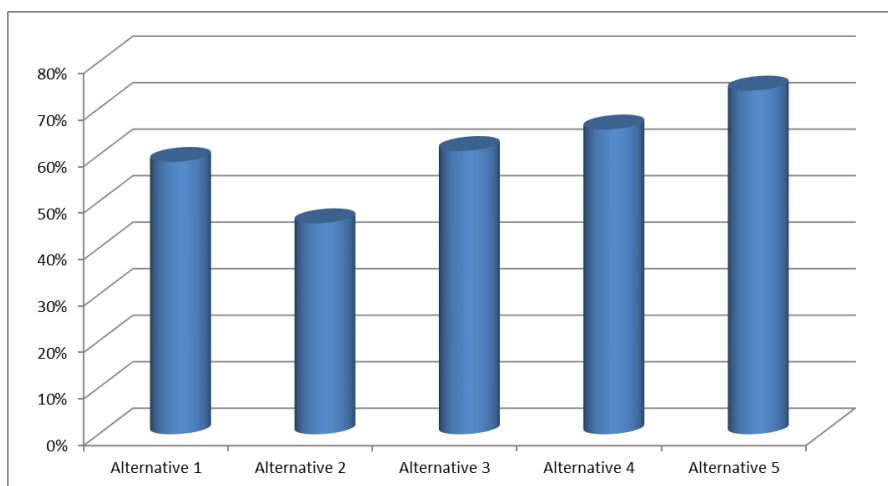
ΣΕΝΑΡΙΟ 7 (σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:30%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:50%, λοιπών τεχνικών κριτηρίων:20%)

Πίνακας 60: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 7, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΣΕΝΑΡΙΟ 7			
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	15,00%	30,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	15,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	10,00%	50,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	10,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	10,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH ₄ -N removal (%)	10,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	10,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	10,00%	10,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	10,00%	10,00%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	59%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification-Denitrification)	45%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	61%
Alternative 4	Constructed Wetlands	66%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	74%

Πίνακας 61: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 7, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 23 : Treatment of liquid fraction, scenario 7

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 30%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 50% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 20%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κατακρήμνισης στρουβίτη με 74%, ακολουθούν οι τεχνητοί υγρότοποι με 66%, ο SBR με 61%, η ηλεκτροοξειδωση με 59% και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 45%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 8(σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:10%, τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα:64%, λοιπών τεχνικών κριτηρίων:26%)

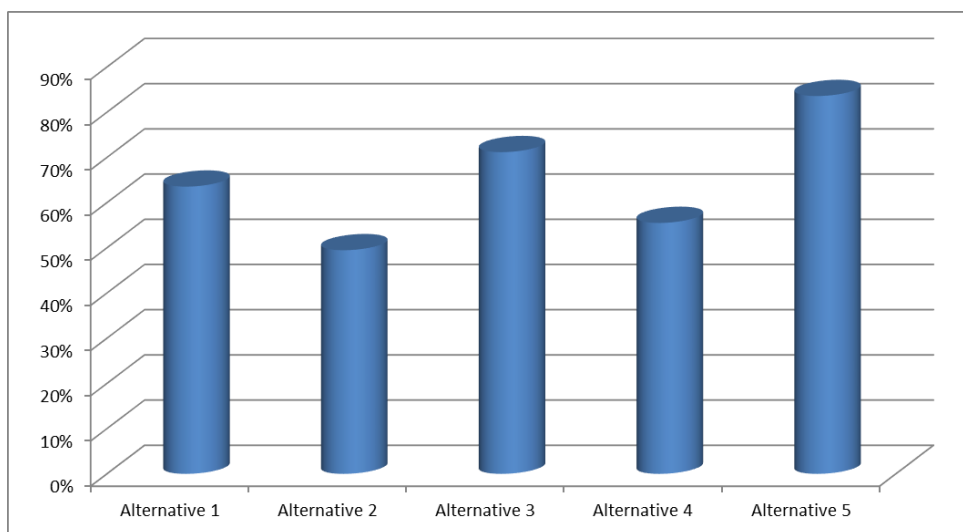
Πίνακας 62: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 8, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost (€/m ³ /d)	5,00%	10,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost (€/m ³ liquid stream to be treated)	5,00%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TSS removal (%)	12,80%	64,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	COD removal (%)	12,80%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TN removal (%)	12,80%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	NH ₄ -N removal (%)	12,80%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_I	TP removal (%)	12,80%	
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Complexity (scale 0-100)	12,80%	12,80%

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ_II	Valorisation of wastewater (scale 0-100)	13,20%	13,20%
		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Alternative 1	Electro-chemical reactor (Electro-oxidation)	64%
Alternative 2	NDN unit (Nitrification- Denitrification)	49%
Alternative 3	SBR (Sequencing Batch Reactor)	71%
Alternative 4	Constructed Wetlands	56%
Alternative 5	(Struvite precipitation + SBR)	84%

Πίνακας 63: Κατεργασία υγρής φάσης, σενάριο 8, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 24 : Treatment of liquid fraction, scenario 8

Όταν η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος επένδυσης, λειτουργικό κόστος) είναι 10%, των τεχνικών κριτηρίων που αφορούν τα στερεά κλάσματα(% TSS removal, % COD removal, % TN removal, % NH₄-N removal, %TP removal) είναι 64% και των λοιπών τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, αξιοποίηση λυμάτων) είναι 26%, τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κατακρήμνισης στρουβίτη με 84%, ακολουθεί ο SBR με 71%, η ηλεκτροοξειδωση με 64%, οι τεχνητοί υγρότοποι με 56% και τέλος η νιτροποίηση-απονιτροποίηση με 49%.

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι η κατακρήμνιση στρουβίτη κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας της υγρής φάσης σε ίδιο αριθμό σεναρίων (4 στα 8) με τους τεχνητούς υγρότοπους. Από την άλλη, η ηλεκτροοξειδωση, η νιτροποίηση-απονιτροποίηση και ο SBR δεν βγαίνουν σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες εναλλακτικές.

5.1.3 Κατεργασία στερεής φάσης

Όσον αφορά στην κατεργασία της στερεής φάσης εξετάζονται οι εξής εναλλακτικές:

- 1) καύση(combustion),
- 2) αεριοποίηση(thermal gasification)
- 3) πυρόλυση(pyrolysis)
- 4) κομποστοποίηση(composting)

Τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η σύγκριση είναι:

- a. Τεχνικά κριτήρια(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων)
- b. Οικονομικά κριτήρια(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα).

Όσον αφορά τα οικονομικά κριτήρια και το περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά οι τιμές τους λήφθησαν από πηγές που παρουσιάζονται στο τέλος της διπλωματικής. Για το κριτήριο της πολυπλοκότητας που πήρε τιμές από 0 έως 100 ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

-η τιμή 33 στο κριτήριο της πολυπλοκότητας σημαίνει μικρό βαθμό πολυπλοκότητας και η τιμή 100 δείχνει ότι η μέθοδος έχει το μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας.

Από την πολυκριτηριακή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε πάνω στις μεθόδους κατεργασίας της στερεής φάσης της κοπριάς προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

ALTERNATIVES	CRITERIA				
	Complexity (scale 0-100) <i>min</i> <i>is better</i>	Nutrient content of end-products (kgP/tn) <i>max</i> <i>is better</i>	Capital cost (€/tn manure/y) <i>min</i> <i>is better</i>	Operational cost (€/tn of raw manure/y) <i>min</i> <i>is better</i>	Quantifiable incomes (€/tn of raw manure) <i>max</i> <i>is better</i>
Combustion (FBC)	100	93,0	287,0	34,0	54,5
Thermal gasification	100	62,0	132,0	51,2	364,0
Pyrolysis and production of activated carbon	100	60,5	242,0	218,0	218,0
LIVESTOCK technology (Composting)	33	4,9	56,3	0,4	6,3

Πίνακας 34: Treatment of solid fraction, Valuation Table

Πίνακας 35: Αντιστοίχιση μεθόδου επεξεργασίας στερεής φάσης με αριθμό εναλλακτικής

Μέθοδος	A/A
Καύση	1
Αεριοποίηση	2
Πυρόλυση	3
Κομποστοποίηση	4

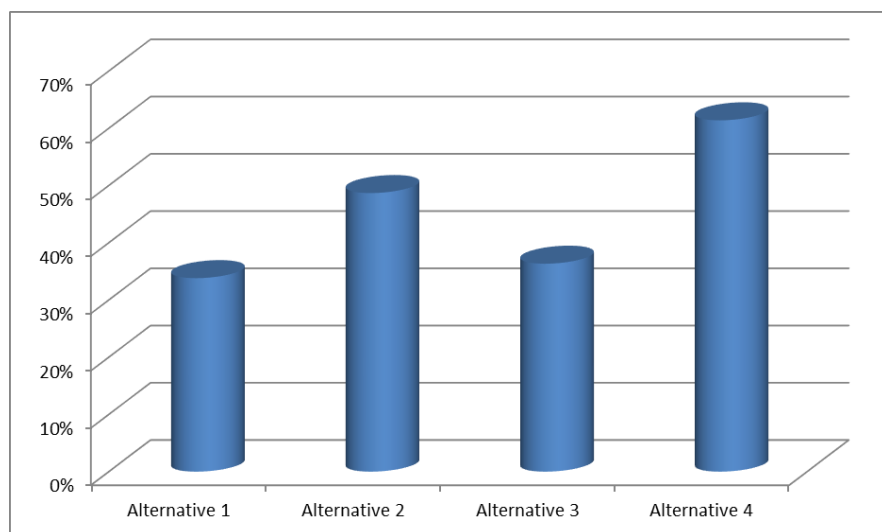
ΣΕΝΑΡΙΟ 1(σχετική βαρύτητα κάθε κριτηρίου:20%)

Πίνακας 64: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 1, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	20,00%	40,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	20,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	20,00%	60,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	20,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	20,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	34%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	49%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	36%

Πίνακας 65: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 1, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 25 : Treatment of solid fraction, scenario 1

Όταν η σχετική βαρύτητα κάθε κριτηρίου είναι 20% ή όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων (πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 40% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων (κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 60% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με 61%, ακολουθεί η αεριοποίηση με 49%, η πυρόλυση με 36% και τέλος η καύση με 34%.

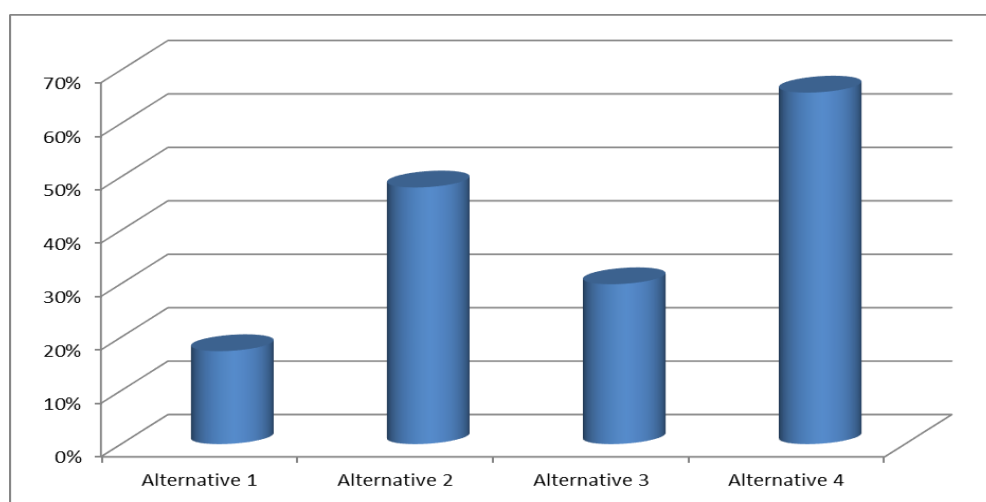
ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων: 10%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων: 90%)

Πίνακας 66: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 2, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	5,00%	10,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	5,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	30,00%	90,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	30,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	30,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	17%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	48%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	30%
Εναλλακτική 4	(Composting)	66%

Πίνακας 67: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 2, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 26 : Treatment of solid fraction, scenario 2

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 10% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 90% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με 66%, ακολουθεί η αεριοποίηση με 48%, η πυρόλυση με 30% και τέλος η καύση με 17%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 3(σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων:30%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων 70%)

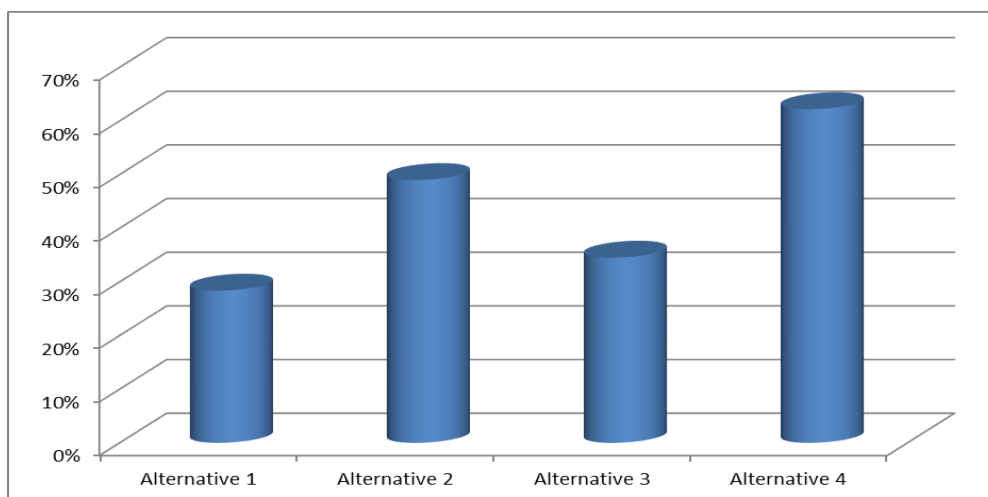
Πίνακας 68: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 3, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΣΕΝΑΡΙΟ 3			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	15,00%	30,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	15,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	23,00%	70,00%

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	23,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	24,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	28%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	49%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	35%
Εναλλακτική 4	(Composting)	62%

Πίνακας 69: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 3, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 27 : Treatment of solid fraction, scenario 3

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 30% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 70% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με 62%, ακολουθεί η αεριοποίηση με 49%, η πυρόλυση με 35% και τέλος η καύση με 28%.

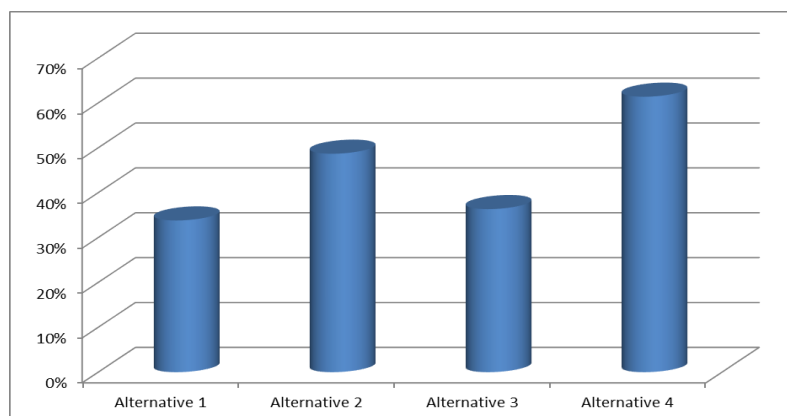
ΣΕΝΑΡΙΟ 4(σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων:40%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων: 60%)

Πίνακας 70: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 4, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	20,00%	40,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	20,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	20,00%	60,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	20,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	20,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	34%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	49%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	36%
Εναλλακτική 4	(Composting)	61%

Πίνακας 71: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 4, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 28 : Treatment of solid fraction, scenario 4

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 40% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου,

λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 60% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με 61%, ακολουθεί η αεριοποίηση με 49%, η πυρόλυση 36% και τέλος η καύση με 34%.

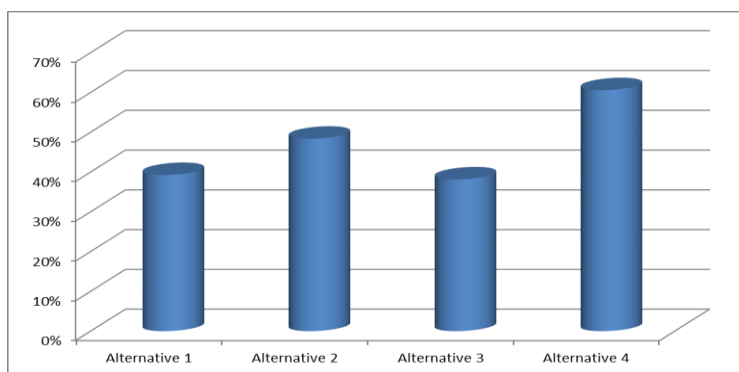
ΣΕΝΑΡΙΟ 5(σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων:50%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:50%)

Πίνακας 72: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 5, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	25,00%	50,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	25,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	17,00%	50,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	17,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	16,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	39%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	48%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	38%
Εναλλακτική 4	(Composting)	61%

Πίνακας 73: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 5, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 29 : Treatment of solid fraction, scenario 5

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 50% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι επίσης 50% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με ποσοστό 61%, ακολουθεί η αεριοποίηση με 48%, η καύση με 39% και τέλος η πυρόλυση με 38%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 6(σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων:60%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:40%)

Πίνακας 74: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 6, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	30,00%	60,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	30,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	15,00%	40,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	15,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	10,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

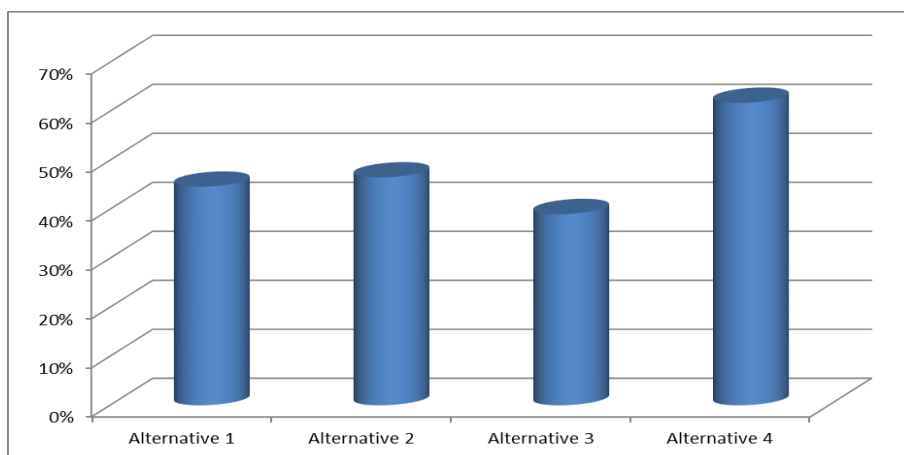
Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	45%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	47%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	39%

Εναλλακτική 4

(Composting)

62%

Πίνακας 75: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 6, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 30 : Treatment of solid fraction, scenario 6

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 60% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 40% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με 62%, ακολουθεί η αεριοποίηση με 47%, η καύση με 45% και τέλος η πυρόλυση με 39%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 7(σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων:70%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:30%)

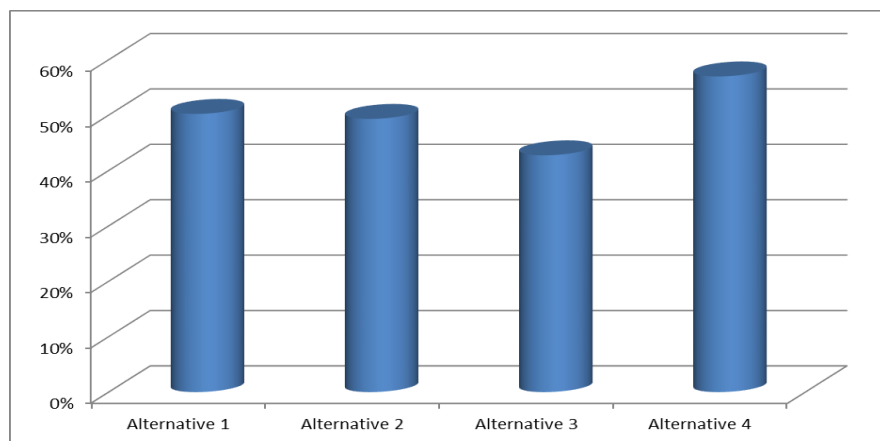
Πίνακας 76: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 7, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	35,00%	70,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	35,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	10,00%	30,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	10,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	10,00%	
CHECK:		100,00%	100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	50%

Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	49%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	43%
Εναλλακτική 4	(Composting)	57%

Πίνακας 77: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 7, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 31 : Treatment of solid fraction, scenario 7

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 70% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 30% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της κομποστοποίησης με 57%, ακολουθεί η καύση με 50%, η αεριοποίηση με 49% και τέλος η πυρόλυση με 43%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 8(σχετική βαρύτητα τεχνικών κριτηρίων:90%, σχετική βαρύτητα οικονομικών κριτηρίων:10%)

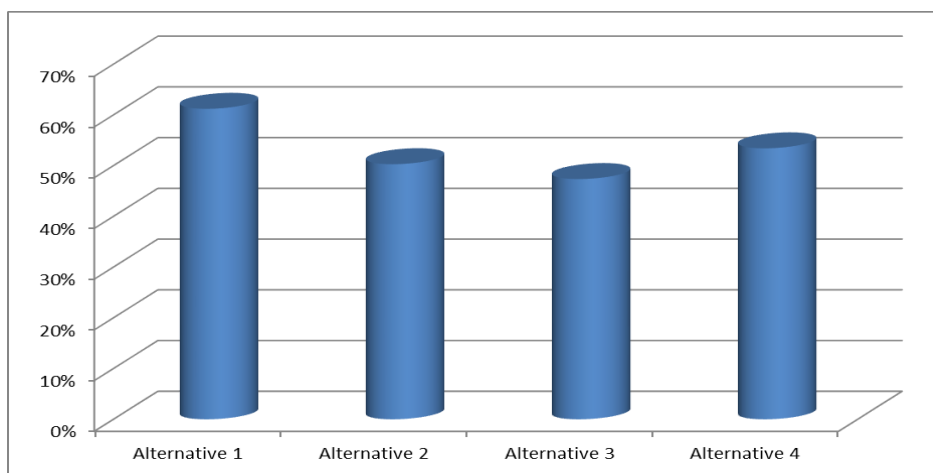
Πίνακας 78: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 8, πίνακας σχετικής βαρύτητας κριτηρίων

ΣΕΝΑΡΙΟ 8			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Complexity(0-100)	45,00%	90,00%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Nutrient content of end products(kg P/tn)	45,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Capital cost(euros/tn raw manure/year)	3,00%	10,00%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Operational cost(euros/tn raw manure)	3,00%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Quantifiable incomes(euros/tn of product)	4,00%	

CHECK: 100,00% 100,00%

Εναλλακτική	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ
Εναλλακτική 1	Combustion (FBC)	61%
Εναλλακτική 2	Thermal Gasification	50%
Εναλλακτική 3	Pyrolysis and production of activated carbon	47%
Εναλλακτική 4	(Composting)	53%

Πίνακας 79: Κατεργασία στερεής φάσης, σενάριο 8, πίνακας προτίμησης μεθόδων



Εικόνα 32 : Treatment of solid fraction, scenario 8

Όταν η σχετική βαρύτητα των τεχνικών κριτηρίων(πολυπλοκότητα, περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά των τελικών προϊόντων) είναι 90% και η σχετική βαρύτητα των οικονομικών κριτηρίων(κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος, ποσοτικά έσοδα) είναι 10% τότε καταλληλότερη κρίνεται η μέθοδος της καύσης με 61%, ακολουθεί η κομποστοποίηση με 53%, η αεριοποίηση με 50% και τέλος η πυρόλυση με 47%.

Από τα παραπάνω, βγαίνει το συμπέρασμα ότι ξεκάθαρα σχεδόν σε κάθε περίπτωση η κομποστοποίηση κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας της στερεής φάσης (καταλληλότερη εναλλακτική σε 7 από τα 8 σενάρια). Η μόνη περίπτωση που δεν κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος είναι όταν τα οικονομικά κριτήρια παίζουν πολύ μικρό ρόλο (σχετική βαρύτητα 10%) στη διαμόρφωση του αποτελέσματος, οπότε υπερτερεί η καύση. Η αεριοποίηση και η πυρόλυση δεν κρίνονται σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες εναλλακτικές.

5.2 Συνοπτικά συμπεράσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης

- Όσον αφορά στον διαχωρισμό στερεής-υγρής φάσης της κοπριάς βγαίνει το συμπέρασμα ότι η μέθοδος της υπερδιήθησης με φίλτρα κρίνεται σε περισσότερα σενάρια (5 στα 8) ως καταλληλότερη μέθοδος. Ακολουθεί η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης ως πιο κατάλληλη μέθοδος σε 4 από τα 8 σενάρια και η ταινιοφιλτρόπρεσσα ως πιο κατάλληλη εναλλακτική σε 2 από τα 8 σενάρια. Η πρέσσα πίεσης και η φυγοκέντρηση δεν κρίθηκαν σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες μέθοδοι διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης της κοπριάς.
- Όσον αφορά στην επεξεργασία της υγρής φάσης, βγαίνει το συμπέρασμα ότι η κατακρήμνιση στρουβίτη κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας της υγρής φάσης σε ίδιο αριθμό σεναρίων (4 στα 8) με τους τεχνητούς υγρότοπους. Από την άλλη, η ηλεκτροοξειδωση, η νιτροποίηση-απονιτροποίηση και ο SBR δεν βγαίνουν σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες εναλλακτικές.
- Όσον αφορά στην επεξεργασία της στερεής φάσης της κοπριάς, βγαίνει το συμπέρασμα ότι ξεκάθαρα σχεδόν σε κάθε περίπτωση η κομποστοποίηση κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας της στερεής φάσης (καταλληλότερη εναλλακτική σε 7 από τα 8 σενάρια). Η μόνη περίπτωση που δεν κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος είναι όταν τα οικονομικά κριτήρια παίζουν πολύ μικρό ρόλο (σχετική βαρύτητα 10%) στη διαμόρφωση του αποτελέσματος, οπότε υπερτερεί η καύση. Η αεριοποίηση και η πυρόλυση δεν κρίνονται σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες εναλλακτικές.

6ο Κεφάλαιο:Γενικά Συμπεράσματα

- Από τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις παράγονται απόβλητα με διαφορετικά βιολογικά χαρακτηριστικά ανά είδος ζώου και με δυσάρεστες συνέπειες σε περίπτωση άμεσης εναπόθεσή τους στο περιβάλλον. Γι αυτούς τους λόγους αλλά και βάση νομοθεσίας (ελληνικής και ευρωπαϊκής) που διέπουν την ορθή γεωργική πρακτική, επιβάλλεται η επεξεργασία τους και η σωστή διαχείρισή τους μέσα ή έξω από τους στάβλους.
- Τα κτηνοτροφικά απόβλητα αποτελούν ένα πολύ σημαντικό ποσοστό της διαθέσιμης βιομάζας, τόσο στην ελληνική επικράτεια όσο και συνολικά στην υφήλιο, με τεράστιο δυναμικό παραγωγής ενέργειας. Παραδείγματα επιτυχών εφαρμογών μεθόδων επεξεργασίας της κοπριάς μπορούν να βρεθούν σε όλο τον κόσμο, σε διάφορες χώρες.
- Οι μέθοδοι επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων χωρίζονται σε φυσικές, βιολογικές και χημικές. Επίσης μπορούν να χωριστούν σε μεθόδους διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης της κοπριάς , επεξεργασίας της υγρής φάσης και επεξεργασίας της στερεής φάσης.
- Στην διπλωματική αυτή στόχος της ήταν η εξεύρεση του βέλτιστου συστήματος επεξεργασίας. Γι αυτό τον λόγο πραγματοποιήθηκε πολυκριτηριακή ανάλυση, δηλαδή διαδικασία εξεύρεσης της βέλτιστης λύσης, πάνω σε όλες τις διαθέσιμες μεθόδους επεξεργασίας έτσι ώστε να καλυφτούν όσο γίνεται καλύτερα όλες οι δυνατές περιπτώσεις. Με το εργαλείο της μεθόδου SAW(Simple Additive Weighting) εξετάστηκαν διαφορετικά σενάρια, στα οποία άλλαζε κάθε φορά η σχετική βαρύτητα των κριτηρίων(τεχνικών, οικονομικών) με βάση τα οποία γινόταν η σύγκριση των διαθέσιμων εναλλακτικών/μεθόδων και έτσι έβγαινε η βέλτιστη για κάθε σενάριο μέθοδος/εναλλακτική.
- Όσον αφορά στον διαχωρισμό στερεής-υγρής φάσης της κοπριάς βγαίνει το συμπέρασμα ότι η μέθοδος της υπερδιήθησης με φίλτρα κρίνεται σε περισσότερα σενάρια (5 στα 8) ως καταλληλότερη μέθοδος. Ακολουθεί η πήξη και ο διαχωρισμός μέσω φυγοκέντρησης, καθίζησης ή αποστράγγισης ως πιο κατάλληλη μέθοδος σε 4 από τα 8 σενάρια και η ταινιοφιλτρόπρεσσα ως πιο κατάλληλη εναλλακτική σε 2 από τα 8 σενάρια. Η πρέσσα πίεσης και η φυγοκέντρηση δεν κρίθηκαν σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες μέθοδοι διαχωρισμού στερεής-υγρής φάσης της κοπριάς.
- Όσον αφορά στην επεξεργασία της υγρής φάσης, βγαίνει το συμπέρασμα ότι η κατακρήμνιση στρουβίτη κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας της υγρής φάσης σε ίδιο αριθμό σεναρίων (4 στα 8) με τους τεχνητούς υγρότοπους. Από την άλλη, η ηλεκτροοξείδωση, η νιτροποίηση-απονιτροποίηση και ο SBR δεν βγαίνουν σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες εναλλακτικές.
- Όσον αφορά στην επεξεργασία της στερεής φάσης της κοπριάς, βγαίνει το συμπέρασμα ότι ξεκάθαρα σχεδόν σε κάθε περίπτωση η κομποστοποίηση κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας της στερεής φάσης (καταλληλότερη εναλλακτική σε 7 από τα 8 σενάρια). Η μόνη περίπτωση που δεν κρίνεται ως πιο κατάλληλη μέθοδος είναι όταν τα οικονομικά κριτήρια παίζουν πολύ μικρό ρόλο (σχετική βαρύτητα 10%) στη διαμόρφωση του αποτελέσματος, οπότε υπερτερεί η καύση. Η αεριοποίηση και η πυρόλυση δεν κρίνονται σε κανένα σενάριο ως πιο κατάλληλες εναλλακτικές.
- Η κατάσταση στην Ελλάδα όσον αφορά την επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων υστερεί ακόμη πολύ σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο υπάρχει τόσο το δυναμικό όσο και η θέληση να αλλάξει αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ:

A.C. VanderZaag, T.K. Flesch, R.L. Desjardins, H. Baldé, T. Wright. Measuring methane emissions from two dairy farms: Seasonal and manure-management effects. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 194, 15 August 2014, Pages 259-267

Ackerman, J., Jordaan, E., Rezanja, B., Cicek, N. 2014. Phosphorus Removal from Solids Separated Hog Manure by Air Stripping. *Canadian Biosystems Engineering*. Vol 56.

Adriyendi. 2015. Multi-Attribute Decision Making Using Simple Additive Weighting and Weighted Product in Food Choice. *I.J. Information Engineering and Electronic Business* 6. 8-14 pp. DOI: 10.585/ijieeb. 2015.06.02

Agroenergy A.E., Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων, «Η ιδέα της κεντρικής μονάδας συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης στην Ελλάδα», www.agroenergy.gr/content/categories/βιοκαύσιμα, 2012

Ahring, Applications of the Anaerobic Digestion Process Environment and Resources-Biomethanion 2, *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*, vol. 82, pp. 1-33,2003

Alkoaik, F.N. 2009. Ozone Treatment of Animal Manure for Odor Control. *American Journal of Environmental Sciences* 5 (6). 765-771 pp.

Alyona Zubaryeva a,c,*¹, Nicola Zaccarelli a, Cecilia Del Giudice b, Giovanni Zurlini a. Spatially explicit assessment of local biomass availability for distributed biogas production via anaerobic co-digestion e Mediterranean case study. a Department of Biological and Environmental Sciences and Technologies, Ecotekne, University of Salento, Prov.le Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italy b Department of Engineering for Innovation, University of Salento, Prov. le Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italy c European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Westerduinweg 3, NL-1755 LE Petten, The Netherlands, 2011

Anderson, Anaerobic treatment processes. *Handbook of Water and Wastewater Microbiology* pages 391-426, 2003

Angelidaki, I., Ellegaard, L. and Ahring, B.K. Applications of the Anaerobic Digestion Process Environment and Resources-Biomethanion 2, *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*, vol. 82, pp. 1-33, 2003

Anglada, A., Urtiaga, A., Ortiz, I. 2009. Contributions of electrochemical oxidation to waste-water treatment: fundamentals and review of applications. *J Chem Technol Biotechnol* 84, 1747-1755 pp. OR Jelena Radjenovic, and David L. Sedlak. 2015. Challenges and Opportunities for Electrochemical Processes as Next-Generation Technologies for the Treatment of Contaminated Water OR <http://www.intechopen.com/sci-hub.ac/books/organic-pollutants-ten-years-after-the-stockholm-convention-environmental-and-analytical-update/electrochemical-incineration-of-organic-pollutants-for-wastewater-treatment-past-present-and-prospec>

Antonio Pantaleo, Bernardo De Gennaro, Nilay Shah. Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 20, April 2013, Pages 57-70

Bakul Raa*, Archana Maneb, Anand B. Raa, Vishal Sardeshpandea, c. 4th International Conference on Advances in Energy Research 2013, ICAER 2013 Multi-criteria analysis of alternative biogas technologies. a Centre for Technology Alternatives for Rural Areas, Indian Institute of Technology, Bombay, Mumbai 400076, India b Mechanical Department, MIT Academy of Engineering, Alandi, Pune 412105, India c ATE Entreprises Pvt. Ltd., Pune, India.

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

Bitton, *Wastewater Microbiology*, Third Ed. Wiley-Liss, New York, 2005, chapter C, pages 211-371

Charles Nzila a, Jo Dewulf a,, Henri Spanjers b, David Tuigong c, Henry Kiriamiti d, Herman van Langenhove a. Multi criteria sustainability assessment of biogas production in Kenya. a Research Group ENVOC, Ghent University, Coupure Links 653, B9000 Ghent, Belgium b Delft University of Technology, Faculty Civil Engineering & Geosciences, Stevinweg 1, P.O. Box 5048, NL-2600 GA Delft, The Netherlands c Department of Manufacturing, Industrial and Textile Engineering, Moi University, P.O. Box 3900, 30100 Eldoret, Kenya d Department of Chemical and Process Engineering, Moi University, P.O. Box 3900, 30100 Eldoret, Kenya, 2011-2012

Ching-Lai Hwang, Kwangsun Yoon. *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*, 1981

Cronk., *Agriculture, Ecosystem and Environment*, pages 97-114, 1996

De Baere, L. A., Devocht, M., Van Assche, P. and Verstraete, W. Influence of high sodium chloride and ammonium chloride salt levels on methanogenic associations. *Water Research*, 18, 543-548, 1984

Dennis and Burke, *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*, pages 3-42, 2001

Drouiche, M., Lounici, H., Belhocine, D., Grib, H., Piron, D., Mameri, N. 2001. Economic study of the treatment of surface water by small ultrafiltration units. *Water SA Vol. 27 No. 2*.

Edition: CVR, Centro para a Valorização de Resíduos. ISSN: 2183-0568. 587-592 pp.

Epstein, *The Science of Composting*. Lancaster, Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company. 487 pp 1997

Fernandez-Lopez, M., López-González, D., Puig-Gamero, M., Valverde, J.L., Sanchez-Silva, L. 2016. CO₂ gasification of dairy and swine manure: A life cycle assessment approach. *Renewable Energy* 95. 552-560 pp.

Fernandez-Lopez, M., Puig-Gamero, M., Lopez-Gonzalez, D., Avalos-Ramirez, A., Valverde, J., Sanchez-Silva, L. 2015. Life cycle assessment of swine and dairy manure: Pyrolysis and combustion processes. *Bioresource Technology* 182. 184-192 pp.

Flotats, X., Bonmatí, A., Fernández, B., Magrí, A. 2009. Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies - NE Spain as case study. *Bioresource Technology* 100. 5519-5526 pp.

Flotats, X., Bonmatí, A., Palatsi, J., Foged, H.L. 2003. Trends on manure processing in Europe. In *Book of Proceedings, 2nd International Conference of WASTES: solutions, treatments and opportunities*. Braga (Portugal), 11-13 September.

Flotats, Xavier, Henning Lyngsø Foged, August Bonmati Blasi, Jordi Palatsi, Albert Magri and Karl Martin Schelde. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment. 184pp.

Flotats, Xavier, Henning Lyngsø Foged, August Bonmati Blasi, Jordi Palatsi, Albert Magri and Karl Martin Schelde. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. (a)

Foged, Strategy for utilizing manure on cropland, 2009

Foged, Henning Lyngsø. 2010. Best Available Technologies for Manure Treatment – for Intensive Rearing of Pigs in Baltic Sea Region EU Member States. Published by Baltic Sea 2020, Stockholm. 102 pp. (d)

Franco Cotanaa, Valentina Cocciaa,* , Alessandro Petrozzia, Gianluca Cavalagliaa, Mattia Gelosiaa, Maria Cleofe Mericoa. 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013 Energy valorization of poultry manure in a thermal power plant: experimental campaign. a University of Perugia – Department of Industrial Engineering.

Fugère, R., Mameri, N., Gallot, J.E., Comeau, Y. 2005. Treatment of pig farm effluents by ultrafiltration. Journal of Membrane Science 255. 225-231 pp.

Gerardi, The Microbiology of Anaerobic Digesters. Wiley, Hoboken ,NJ, pages 81-117, 2003

Gerardi, Wastewater Microorganisms , pages 53-117,2006

Glueckstern, P. & Priel, M. 2002. Comparative Cost of UF vs. Conventional Pretreatment for SWRO Systems. Available at: <http://132.68.226.240/english/pdf/IDS/57.pdf>

Gray, “How U.S. Farm Programs and Crop Revenue Insurance Affect Returns to Farm Land,” Review of Agricultural Economics, 26(2):238-253,2004

Gunes, K., Tuncsiper, B., Masi, F., Ayaz, S., Leszczynska, D., Findik Hecan, N., Ahmad, H. 2011. Construction and maintenance cost analyzing of constructed wetland systems. Water Practice & Technology. Vol 6. No 3. DOI: 10.2166/wpt.2011.043.

Hall, The strategic analysis of intangible resources, 1992,pages 181-195

Hickey, R. F., Vanderwielen, J. and Switzenbaum, M. S. (1987b) The effects of organic toxicants on methane production and hydrogen gas levels during the anaerobic digestion of waste activated sludge. Water Research, 21, (11), 1417-1427, 1987

High-temperature, air-blown gasification of dairy-farmwastes for energy production Lincoln Young, Carlson C.P. Pian *Mechanical Engineering Division, Alfred University, 1 Saxon Drive, Alfred, NY 14802, USA, 6 April 2002

Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice: A review. Agron. Sustain. Dev. 30. 153-180 pp. (1.10.2)

- Hjorth, M., Christensen, M.L., Vittrup Christensen, P. 2009. Flocculation, coagulation, and precipitation of manure affecting three separation techniques. *Bioresource Technology* 99. 8598-8604 pp. (1.10.1)
- Humenik, F. 2001. Manure Treatment Options – Lesson 25. North Carolina State University. US. Available at: https://articles.extension.org/sites/default/files/w/f/f2/LES_25.pdf
- K.S. Ro *, K.B. Cantrell, P.G. Hunt, T.F. Ducey, M.B. Vanotti, A.A. Szogi. Thermochemical conversion of livestock wastes: Carbonization of swine solids. United States Department of Agriculture, ARS, Coastal Plains Soil, Water, and Plant Research Center, 2611 W. Lucas St., Florence, SC 29501, USA
- Konieczny, K., Kwiecińska, A., Gworek, B. 2011. The recovery of water from slurry produced in high density livestock farming with the use of membrane processes. *Separation and Purification Technology* 80. 490-498 pp.
- Koster, Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long-chain fatty acids. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:403–409. 1987
- Kotsyurbenko Oleg R., Kuk-Jeong Chin, Mikhail V. Glagolev, Stephan Stubner, Maria V. Simankova, Ala N. Nozhevnikova, Ralf Conrad, Acetoclastic and hydrogenotrophic methane production and methanogenic populations in an acidic West-Siberian peat bog ,2004
- Kumar, R. & Pal, P. 2015. Assessing the feasibility of N and P recovery by struvite precipitation from nutrient-rich wastewater: a review. *Environ Sci Pollut Res* 22. 17453-17464 pp.
- L.P. Walker, R.A. Pellerin, M.G. Heisler, G.S. Farmer, L.A. Hills. Anaerobic digestion on a dairy farm: Overview. *Energy in Agriculture*, Volume 4, 1985, Pages 347-363
- Laasonen, V. 2014. Social profitability of combustion technology in poultry manure management – A cost-benefit analysis of co-combustion of poultry manure with natural gas in the Leningrad region, Russia. Master Thesis. Department of Economics and Management. University of Helsinki. Finland. Available at: http://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/pro_gradu_-_ville_laasonen.pdf
- Lebuhn, M., Liu, F., Heuwinkel, H. & Gronauer, A. (2008). Biogas production from mono-digestion of maize silage-long-term process stability and requirements. *Water Science and Technology*, 58(8), p. 1645, 2008
- Lettinga G., A. F. M. van Felsen, S. W. Hobma, W. de Zeeuw and A. Klapwijk. Use of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket(USB-) Reactor. Concept for the Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment. *Biotech. Bioeng.* 22, 699-734. 1980
- Lettinga, Anaerobic reactor technology: reactor and process design. In *International Course on Anaerobic Treatment*. Wageningen Agricultural University/IHE Delft, Wageningen, 1995
- Li, Z., Ren, X., Zuo, J., Liu, Y., Duan, E., Yang, J., Chen, P., Wang, Y. 2012. Struvite Precipitation for Ammonia Nitrogen Removal in 7-Aminocephalosporanic Acid Wastewater. *Molecules* 17. 2126-2139 pp.
- Lima, I.M., McAloon, A., Boateng, A.A. 2008. Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and Bioenergy* 32. 568-572 pp.

Lucas Seghezzo, Marcelo A. Gutiérrez, Aníbal P. Trupiano, María E. Figueroa, Carlos M. Cuevas, Grietje Zeeman and Gatze Lettinga. The effect of sludge discharges and upflow velocity on the removal of suspended solids in a UASB reactor treating settled sewage at moderate temperatures ,1998

Lyngbye, M., Jonassen, K., Rasmussen, D.K. 2008. Ozone treatment of slurry from finishers in climate chambers. Danish Pig Production & Carsten Christophersen, Bio-Aqua A/S. Available at: <http://www.pigresearchcentre.dk/~media/pdf/eng/Engelsk%20hjemmeside%20-%20Research%20-%20Environment/Report0801.pdf>

Martínez-Huitle, C.A. & Ferro, S. 2006. Electrochemical oxidation of organic pollutants for the wastewater treatment: direct and indirect processes. Chemical Society Review 35. 1324-1340 pp.

Masse, L., Massé, D.I., Pellerin, Y. 2007. The use of membranes for the treatment of manure: a critical literature review. Biosystems Engineering 98. 371-380 pp.

Mc Carty, P.L.Organic contaminant behavior during rapid infiltration of secondary wastewater at the Phoenix 23rd Avenue Project. Technical Report No. 264, Department of Civil Engineering, Stanford University , Stanford CA, 1982

Meers, E., Tack, F. M. G., Tolpe, I., Michels, E. 2008. Application of a Full-scale Constructed Wetland for Tertiary Treatment of Piggery Manure: Monitoring Results. Water Air Soil Pollution. DOI 10.1007/s11270-008-9664-5.

Müller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G. 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. Bioresource Technology 74. 223-229 pp. (3.10.1)

N.H. Florin, A.R. Maddocks, S. Wood, A.T. Harris. High-temperature thermal destruction of poultry derived wastes for energy recovery in Australia. Laboratory for Sustainable Technology, School of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Sydney, NSW 2006, Australia

Nolan, T., Troy, S.M., Gilkinson, S., Frost, P., Xie, S., Zhan, X., Harrington, C., Healy, M.G., Lawlor, P.G. 2012. Economic analysis of pig manure treatment options in Ireland. Bioresource Technology 105. 15-23 pp. Available at: [https://aran.library.nuigalway.ie/xmlui/bitstream/handle/10379/3238/\(ARAN\)_Nolan_et_al._Biores_Tech_costs_paper.pdf?sequence=1](https://aran.library.nuigalway.ie/xmlui/bitstream/handle/10379/3238/(ARAN)_Nolan_et_al._Biores_Tech_costs_paper.pdf?sequence=1)

NRCS (Υπηρεσία Διατήρησης Εθνικών Πόρων, ΗΠΑ), Animal manure management www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/nra/rca/?cid=nrcs143_014211

Omer, A.R., Walker, P.M. 2011. Treatment of Swine Slurry by an Ozone Treatment System to Reduce Odor. Journal of Environmental Protection 2. 867-872 pp.

OTHER (UNUSED): United Nations. 2003. Waste-Water Treatment Technologies: A General Review. Economic and Social Commission for Western Asia. New York. US. Available at: http://www.igemportal.org/Resim/Wastewater%20Treatment%20Technologies_%20A%20general%20review.pdf

P. Kaparaju, J. Rintala. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. Renewable Energy, Volume 36, Issue 1, January 2011, Pages 31-41

- P. Veysset *, M. Lherm, D. Babin. Energy consumption, greenhouse gas emissions and economic performance assessments in French Charolais suckler cattle farms: Model-based analysis and forecasts, 2009
- Radha, K.V., Sridevi, V., Kalaivani, K. 2009. Electrochemical oxidation for the treatment of textile industry wastewater. *Bioresource Technology* 100. 987-990 pp.
- Rajagopal and Beline, Nitrogen removal via nitrite pathway and the related oxide emission during piggery wastewater treatment, 2011
- Reinhard Madlener a,*, Carlos Henggeler Antunes b, Luis C. Dias c. Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. a Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN), Faculty of Economics/E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University, Templergraben 55, 52056 Aachen, Germany b Department of Electrical Engineering and Computers, University of Coimbra and INESC Coimbra, Rua Antero de Quental, 199 Coimbra, Portugal c Faculty of Economics, University of Coimbra and INESC Coimbra, Rua Antero de Quental, 199 Coimbra, Portugal, 2007-2008
- Report on Success Stories Dealing With the Management of Livestock Waste in EU, pages 30-64
- Riaño, B. & García-González, M.C. 2014. On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. *Journal of Environmental Management* 132. 87-93 pp.
- Roland W. Melse, Maikel Timmerman. Sustainable intensive livestock production demands manure and exhaust air treatment technologies. *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 22, November 2009, Pages 5506-5511
- Sallis, Anaerobic treatment processes. *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*, pages 391-426, 2003
- Shepherd, T.A. 2007. Concentration and extraction of phosphorus from swine manure slurries as struvite. *Retrospective Theses and Dissertations. Paper 14866. Available at: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=15865&context=rtd>*
- Silvey, J.K.G. and A.W. Roach *J. Am. Water Works Assoc.*, 1953
- Smith, S. R., Lang, N. L., Cheung, K. H. M., and Spanoudaki, K., Factors controlling pathogen destruction during anaerobic digestion of biowastes. *Waste Management* 25, 417-425, 2005
- Solomie A. Gebrezgabher, Miranda P.M. Meuwissen, Alfons G.J.M. Oude Lansink. A multiple criteria decision making approach to manure management systems in the Netherlands. *European Journal of Operational Research*, Volume 232, Issue 3, 1 February 2014, Pages 643-653
- Sonil Nanda a, Ajay K. Dalai b, Iskender Gökalp c, Janusz A. Kozinski a. Valorization of horse manure through catalytic supercritical water gasification. a Department of Earth and Space Science and Engineering, Lassonde School of Engineering, York University, Ontario, Canada b Department of Chemical and Biological Engineering, University of Saskatchewan, Saskatchewan, Canada c Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Orléans, France.

Swoboda I.F., Provision of research and design of pilot schemes to minimise livestock pollution to the water environment in Scotland. QLC 9/2. Anaerobic digestion, storage, oligolysis, lime, heat and aerobic treatment of livestock manures. Final report, FEC Services Ltd, Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, CV8 2LS, 2003

T.K.V. Vu, M.T. Tran, T.T.S. Dang. A survey of manure management on pig farms in Northern Vietnam. *Livestock Science*, Volume 112, Issue 3, December 2007, Pages 288-297

US EPA. 1999. Wastewater Technology Fact Sheet Ozone Disinfection, United States Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. Available at: <http://fliphtml5.com/fbvn/lrtj/basic>

V. Skoulou, A. Zabaniotou, Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production. Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, University Box 455, University Campus, Thessaloniki 541 24, Greece, 2005

Wang, M., Cao, W., Wu, Y., Lu, H., Li, B. 2016. Electrochemical oxidation of the poultry manure anaerobic digested effluents for enhancing pollutants removal by *Chlorella vulgaris*. DOI: 10.1080/09593330.2015.1119199.

Ward, Water Requirements for Livestock, Office of Agriculture Food and Rural Affairs, 2007

Watkins, B.D. et al. , Ozonation of swine manure wastes to control odors and reduce the concentrations of pathogens and toxic fermentation metabolites , *Ozone Sci. Eng.*, 19, 425-437, 1997

Wen-Tien Tsai, Che-I Lin. Overview analysis of bioenergy from livestock manure management in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 9, December 2009, Pages 2682-2688

Xavier Flotats, August Bonmatí, Belén Fernández, Albert Magrí. Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies. NE Spain as case study. *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 22, November 2009, Pages 5519-5526

Yadvika, S., T. R. Sreekrishnan, S. Kohli, and V. Rana. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: A review. *Bioresource Tech.* 95(1): 1-10. ,2004

Young-Man Yoon, Seung-Hwan Kim, Seung-Yong Oh, Chang-Hyun Kim. Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse. *Waste Management*, Volume 34, Issue 1, January 2014, Pages 204-209

Ανδριόπουλος, «Παραγωγή Βιοαερίου και Λιπάσματος από τα απορρίματα κοτόπουλων. Σχεδιασμός, Εξεργειακή και Περιβαλλοντική Ανάλυση. Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων», Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, σελ.32-55, 2011

Ανθή Χαραλάμπους, «Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων με αναερόβια χώνευση», Παρουσίαση σε Power-Point, σελ.5, Ημερίδα LIVEWASTE, ΤΕΠΑΚ, Κύπρος, 7-10-2014.

Απόφαση 2006/799/ΕΚ, Κοινοτικό Οικολογικό Σήμα σε Βελτιωτικά Εδάφους

Άρθρο 6: Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Βαρβάρας Ιωάννης, «Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων: Η περίπτωση της Ελλάδας, η απουσία διαχειριστικών αρχών, προτάσεις και προοπτικές», Διπλωματική εργασία, σελ.19-25, Μυτιλήνη 2009

Γεωργακάκης, Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία Γεωργο-Βιομηχανικών Αποβλήτων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τεύχος 3ο Μέρος Α. Αθήνα, Έκδοση ΓΠΑ, σελ. 83-92, 2010

Γεωργακάκης, «Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Πτηνοκτηνοτροφικών Μονάδων και Γεωργικών Βιομηχανιών, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών», 1998

Διαχείριση Βιοστερεών, Τεχνική Επιτροπή Ε.Δ.Ε.Υ.Α., Μάιος 2009

Εγκύκλιος 4/2012, Περιβαλλοντικά ορθή λειτουργία διαχείρισης της παραγόμενης βιοβούτυρου

Κ. Θεσσαλός- Α. Παπαθεοδώρου- Δ. Γεωργακάκης, « Γεωργοκτηνοτροφικές Εφαρμογές», σε συνεργασία των Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών (Γ.Π.Α) και της Δ/σης Μονόπλων και Μυρρηκαστικών του Υπουργείου Γεωργίας.

Κάλφας, Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση προεπεξεργασμένου και μη ελαιολάδου. Διδακτορική Διατριβή. Πάτρα, σελ.63-179, 2007

Κανονισμός 1069/2009, «περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την κατάργηση του κανονισμού ΕΚ/1774/2002»

Κανονισμός 142/2011, «για την εφαρμογή του κανονισμού 1069/2009 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»

Καραγκούνη-Κύρτσου Αμαλία, Μικροβιολογία, Εκδόσεις Σταμούλη, σελ.230, 1999

Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας(FAO.), Livestock manure and related statistics, [www.fao.org/.../First FAO Agronomic Importance of manure Kigali 30112015.pdf](http://www.fao.org/.../First_FAO_Agronomic_Importance_of_manure_Kigali_30112015.pdf)

Σιούλας, « Εγχειρίδιο Βιοαερίου», Εκδόθηκε από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), 19ο χλμ. Λεωφόρου Μαραθώνος, Πικέρμι, Αττική, 2009

Σκιαδάς, Περιοδικός Αναερόβιος Χωνευτήρας Εναλασσομένης Καθοδικής και Ανοδικής Ροής, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 1998

Σπανός, «Αναλυτική μελέτη πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων», Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, σελ.11-16, 2004

Σταματελάτου , Optimization of anaerobic digestion systems.Thesis (in Greek), University of Patras, Patras, Greece, σελ.321-326, 1999

Τεκίδης, «Βελτιστοποίηση χωροθέτησης μονάδας αναερόβιας χώνευσης κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Μυγδονία λεκάνη με τη βοήθεια πολυκριτηριακής ανάλυσης και χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών», Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, σελ.65-67, 2015

Υ.Α. 125347/568/2004 ΚΥΑ οικ. 16190/1335/1997 (ΦΕΚ519/Β/25-06-1997) Κώδικας Ορθής Γεωργικής πρακτικής

Υ.Α. 85167/820/2000 (Φ.Ε.Κ. 477/Β/06-04-2000)Κώδικας Ορθής Γεωργικής πρακτικής

Χρήστος Ζαφείρης, « Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου από απόβλητα αγροτοβιομηχανιών»,σελ.17 "Ημερίδα βιομάζας,ΕΜΠ-Σχολή Χημικών Μηχανικών-ΜΕC Expo-center",Παιανία 07.10.2012.

Χ. Ζαφείρης, « Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου», Παρουσίαση σε Power-Point, σελ.6 , Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2007