



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

Παραγωγή Βιοαερίου και Λιπάσματος από τα απορρίμματα κοτόπουλων Σχεδιασμός, Εξεργειακή και Περιβαλλοντική Ανάλυση. Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων

Παναγιώτης Ανδριόπουλος
Γεωπόνος

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρ. Κορωναίος

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Επισκ. Καθηγητής Χρ. Κορωναίος
Καθηγητής Κ. Κουτσόπουλος
Καθηγητής Δ.. Καλιαμπάκος

Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

**Παραγωγή Βιοαερίου και Λιπάσματος από τα
απορρίμματα κοτόπουλων
Σχεδιασμός, Εξεργειακή και Περιβαλλοντική
Ανάλυση.**

Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων

**Παναγιώτης Ανδριόπουλος
Γεωπόνος**

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρ. Κορωναίος

**Επιτροπή Παρακολούθησης:
Επισκ. Καθηγητής Χρ. Κορωναίος
Καθηγητής Κ. Κουτσόπουλος
Καθηγητής Δ.. Καλιαμπάκος**

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

Μεταπτυχιακή Εργασία

**«ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΑ
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΚΟΤΟΠΟΥΛΩΝ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΕΓΑΡΩΝ »**

**Παναγιώτης Ανδριόπουλος
Γεωπόνος**

Η παρούσα διπλωματική εξετάστηκε επιτυχώς.

Η τριμελής επιτροπή

.....
Κων/νος Κουτσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χριστ. Κορωνάιος
Επισκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτρ. Καλιαμπάκος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

*«Πατέρας είναι εκείνος που δείχνει σε ένα ομιλούν ον
πώς να ζει και να επιλέγει την ίδια του τη μοίρα.»
Ζακ Λακάν (1901 – 1981)*

.....στον Πατέρα μου.....

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Παραγωγή Βιοαερίου και λιπάσματος από τα απορίμματα κοτόπουλων. Σχεδιασμός, Εξεργειακή και Περιβαλλοντική Ανάλυση. Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων», έγινε στα πλαίσια του Διεπιστημονικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών *Περιβάλλον και Ανάπτυξη* του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Αθηνών. Η εργασία αυτή μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή Χριστοφή Κορωναίο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά τόσο για την παροχή πληροφοριών και γνώσεων, αλλά κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου την έρευνα ενός τόσο σημαντικού και επίκαιρου θέματος.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Κ. Κουτσόπουλος και τον Καθηγητή Δ. Καλιαμπάκο, που με τόση ευχαρίστηση συμμετείχαν στην τριμελή επιτροπή εξέτασης της μελέτης μου, καθώς και όλους τους καθηγητές του ΔΠΜΣ *Περιβάλλον και Ανάπτυξη*, για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που όλοι μας αποκομίσαμε κατά τη διάρκεια των σπουδών μας..

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους Παπαγιάννη Θωμά (Πτηνοτροφικό Συνεταιρισμό Μεγάρων), Δήμα Ιωάννη (Κτηνιατρική Υπηρεσία Μεγάρων) και Πανταζή Νικόλαο (ΔΕΜΑΕ) για τη βοήθεια και τα στοιχεία που μου παρείχαν σε ότι είχε να κάνει με τον Δήμο Μεγάρων, καθώς και τον κύριο Χρήστο Ζαφείρη από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου και την Ελένη για την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	1
Περιεχόμενα	2
Ευρετήριο Εικόνων	4
Ευρετήριο Πινάκων.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract	8
1. Εισαγωγή.....	10
2. Πτηνοτροφικά Απόβλητα	14
2.1. Πτηνοτροφία και πτηνοτροφικές μονάδες.....	15
2.2. Ανάλυση πτηνοτροφικών αποβλήτων	17
2.3. Περιβαλλοντικό κόστος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις	24
2.4. Τρόποι διαχείρισης	31
3. Μέθοδοι Αξιοποίησης Απορριμμάτων	32
3.1. Φυσικοί Μέθοδοι.....	32
3.2. Θερμικοί Μέθοδοι	33
3.2.1. Απευθείας καύση πτηνοτροφικών αποβλήτων	34
3.2.2. Πυρόλυση.....	36
3.2.3. Αεριοποίηση.....	37
3.2.4. Αξιολόγηση μεθόδων	39
3.2.5. Εφαρμογές μεθόδων.....	40
3.3. Βιολογικοί Μέθοδοι.....	42
3.3.1. Στάδια αερόβιας χώνευσης.....	42
3.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την αερόβια χώνευση και το τελικό προϊόν.....	45
3.3.3. Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης	48
3.3.4. Τελικό προϊόν	50
3.3.5. Αξιολόγηση μεθόδου.....	51
3.3.6. Εφαρμογές μεθόδου	52
3.4. Βιοχημικοί Μέθοδοι	52
3.4.1. Αναερόβια Χώνευση	52
3.4.2. Στάδια αναερόβια χώνευσης	54
3.4.3. Παράγοντες επηρεασμού αναερόβιας χώνευσης	55

3.4.4.	Τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων	59
3.4.5.	Τελικά προϊόντα	59
3.4.6.	Αξιολόγηση μεθόδου.....	59
3.4.7.	Εφαρμογές αναερόβιας χώνευσης.....	60
3.5.	Σύγκριση μεθόδων σε σχέση με τα πτηνοτροφικά απόβλητα	62
4.	Παραγωγή Βιοαερίου και Εδαφοβελτιωτικού	66
4.1.	Βιοαέριο.....	66
4.1.1.	Χρήση Βιοαερίου	70
4.1.2.	Τμήματα μονάδας βιοαερίου.....	72
4.1.3.	Μονάδες παραγωγής βιοαερίου	78
4.1.4.	Οικονομική ανάλυση παραγωγής βιοαερίου.....	80
4.1.5.	Αξιολόγηση παραγωγής βιοαερίου	82
4.2.	Εδαφοβελτιωτικό.....	83
5.	Καταγραφή και Ανάλυση της Φυσικής και Κοινωνικοοικονομικής Πραγματικότητας του Δήμου Μεγάρων.....	85
5.1.	Γεωγραφικά, μορφολογικά και πληθυσμιακά στοιχεία.....	85
5.2.	Γεωλογικά – Υδρολογικά - Εδαφολογικά δεδομένα.....	85
5.3.	Κλιματολογικά στοιχεία	87
5.4.	Χρήσεις γης	88
5.4.1.	Γεωργία στη περιοχή των Μεγάρων	88
5.4.2.	Ζωική παραγωγή	90
5.5.	Διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων	91
5.6.	Ενέργεια και ΑΠΕ	94
6.	Επιλεγμένη τεχνολογία	96
6.1.	Οικονομική ανάλυση συστήματος.....	106
6.2.	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	108
6.3.	Εξεργειακή ανάλυση	118
7.	Συμπεράσματα	123
	Βιβλιογραφία.....	127
	Παραρτήματα	136

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 : Διάγραμμα ροής συστήματος παραγωγής ενέργειας από την καύση πτηνοτροφικών απορριμμάτων.	34
Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής αεριοποίησης.....	37
Εικόνα 3: Θερμικοί μέθοδοι επεξεργασίας και προϊόντα	39
Εικόνα 4: Τυπική κατανομή θερμοκρασίας και pH κατά την διάρκεια των κυριότερων σταδίων της κομποστοποίησης	43
Εικόνα 5: Το θερμοκρασιακό προφίλ των φάσεων της διεργασίας της κομποστοποίησης.....	44
Εικόνα 6: Κύρια στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης	54
Εικόνα 7: Διάγραμμα ρυθμού παραγωγής βιοαερίου σε σχέση με την θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής.....	56
Εικόνα 8: Επίδραση ελεύθερης αμμωνίας στην παραγωγή μεθανίου στερεά	58
Εικόνα 9: Χρήσεις Βιοαερίου	70
Εικόνα 10: Κύρια τμήματα μονάδας βιοαερίου	73
Εικόνα 11: Δορυφορική λήψη της ευρύτερης περιοχής των Μεγάρων	85
Εικόνα 12: Χρήσεις Γης Λεκάνης Μεγάρων	89
Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής αναερόβιας χώνευσης για την περιοχή μελέτης.....	97
Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής εξέργειας - ενέργειας.....	121

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Κατάταξη πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων σε κατηγορίες ρευστότητας	18
Πίνακας 2: Φυσικό-χημικές ιδιότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων.....	19
Πίνακας 3: Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων	20
Πίνακας 4: Όγκος Αποβλήτων	22
Πίνακας 5: Σύγκριση θερμογόνου δύναμης διαφόρων στερεών καυσίμων.....	23
Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση ρύπων	24
Πίνακας 7: Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης	27
Πίνακας 8: Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης (β)	27
Πίνακας 9: Βαθμός διάδοσης – ενόχλησης από οσμές	30
Πίνακας 10: Ιδιότητες και επιπτώσεις των παραγόμενων αερίων σε πτηνο-κτηνοτροφικές μονάδες	30
Πίνακας 11: Ιδιότητες θερμικών μεθόδων	33
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων Αναερόβιας Χώνευσης	53
Πίνακας 13: Αναμενόμενες επιδράσεις των διαφόρων τεχνολογιών διαχείρισης αποβλήτων	64
Πίνακας 14: Οικονομικά στοιχεία κόστους μεθόδων επεξεργασίας.....	65
Πίνακας 15:Σύσταση του βιοαερίου	66
Πίνακας 16: Παραγωγή μεθανίου από διαφορετικές πρώτες ύλες	67
Πίνακας 17: Δυνητική παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα	68
Πίνακας 18: Βασικές παράμετροι βιοαερίου.	69
Πίνακας 19:Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων (1946-88)	88
Πίνακας 20: Εκμεταλλεύσεις και πληθυσμός ορνίθων για το έτος 2003.....	90
Πίνακας 21: Η συμμετοχή της κτηνοτροφίας στη γεωργική παραγωγή και των επιμέρους κτηνοτροφικών κλάδων στη ζωική παραγωγή.....	91
Πίνακας 22: Υφιστάμενη κατάσταση βιοαερίου στην Ελλάδα	95
Πίνακας 23: Πίνακας ροής αναερόβιας χώνευσης για την περιοχή μελέτης.....	105
Πίνακας 24: Παράμετροι, επιπτώσεις και κλίμακα επιπτώσεων έργου.....	110
Πίνακας 25: Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης και προτεινόμενου έργου	118

Περίληψη

Η χρήση της ενέργειας βρίσκεται σήμερα στο επίκεντρο των περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενώ πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα των σύγχρονων κοινωνιών έχουν ως σημείο αναφοράς τις τεχνολογίες παραγωγής και χρήσης ενέργειας. Οι ενεργειακοί πόροι αποτελούν αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εξάντλησης φυσικών πόρων, των οποίων η αλόγιστη χρήση επιφέρει δραματικές επιπτώσεις τόσο στο κόστος διαβίωσης όσο και στην ίδια τη ζωή στον πλανήτη.

Μέσα από την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται προσπάθεια να αναλυθεί ο τρόπος αξιοποίησης των πτηνοτροφικών αποβλήτων, ως ενεργειακού πόρου, από την οπτική των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Με δεδομένο το οξύ πρόβλημα που εμφανίζεται σε εθνικό αλλά και τοπικό επίπεδο στον τομέα της διαχείρισης των γεωργικών αποβλήτων και ιδιαίτερα των κτηνοτροφικών, η εξέταση του θέματος υπό το πρίσμα μιας σύγχρονης και λεπτομερούς μεθοδολογίας δύναται να αποδώσει νέα δεδομένα και να παράσχει κατευθύνσεις και αρχές που θα αποδειχθούν χρήσιμα στην αντιμετώπιση του θέματος.

Σκοπός λοιπόν είναι μια γενικότερη παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου που αφορά τα πτηνοτροφικά απόβλητα, τις υπάρχουσες μεθόδους αξιοποίησής τους και την επισκόπηση της υφιστάμενης κατάστασης στην Ελλάδα. Για τον προσδιορισμό του προβλήματος σε πραγματικές συνθήκες επιλέχθηκε η μελέτη της περίπτωσης του Δήμου Μεγάρων. Η περιοχή αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα δήμου με μεγάλο πτηνοτροφικό δυναμικό και έντονο πρόβλημα στην επεξεργασία των παραγόμενων αποβλήτων.

Στην εισαγωγή της μελέτης, *Κεφάλαιο 1*, αποτυπώνεται μια γενικότερη προσέγγιση του προβλήματος των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε σχέση με το ανθρωποκεντρικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια, κρίνεται απαραίτητο η παρουσία του προβλήματος γύρω από τα πτηνοτροφικά απόβλητα. Κατά συνέπεια στο *Κεφάλαιο 2* ορίζονται οι βασικές έννοιες των πτηνοτροφικών αποβλήτων, όπως είναι η σύσταση, ο όγκος παραγωγής αποβλήτων, το ρυπαντικό φορτίο, καθώς επίσης και το περιβαλλοντικό κόστος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που εσωκλείονται σε αυτές τις έννοιες.

Στο *Κεφάλαιο 3* γίνεται αναλυτική περιγραφή των σύγχρονων τεχνολογιών και μεθόδων, που βρίσκουν εφαρμογή παγκοσμίως στην αξιοποίηση των πτηνοτροφικών αποβλήτων και

πραγματοποιείται αναφορά στις παραμέτρους και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται προσπάθεια για μια γενικότερη αξιολόγηση και σύγκριση αυτών, σε σχέση πάντοτε με τα πτηνοτροφικά απόβλητα.

Στο *Κεφάλαιο 4* πραγματοποιείται μια λεπτομερής ανάλυση των τελικών προϊόντων της αναερόβιας χώνευσης, ως μεθόδου επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Έμφαση δίνεται τόσο στην κατασκευή μια αντίστοιχης μονάδας, στα τμήματα μονάδας, στην οικονομική ανάλυση, όσο και στην ικανότητα της μεθόδου και στους παράγοντες που την επηρεάζουν για παραγωγή βιοαερίου και εδαφοβελτιωτικού.

Ακολούθως, στο *Κεφάλαιο 5* οριοθετείται το πρόβλημα στο Δήμο Μεγάρων. Περιγράφεται η υφιστάμενη διαχειριστική πρακτική και γίνεται ανάλυση των συνθηκών που οφείλουν να συνυπολογιστούν στην αναπροσαρμογή αυτής. Τέτοιες συνθήκες έχουν αναφορά σε πληθυσμιακά δεδομένα, σχετίζονται με τη γεωγραφία/γεωμορφολογία της περιοχής, το κλίμα, τις χρήσεις γης, αλλά και την χρήση Α.Π.Ε..

Στο *Κεφάλαιο 6* γίνεται η ανάλυση της επιλεγμένης μεθόδου για την αξιοποίηση των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και ανάγκες του Δήμου Μεγάρων. Επιπρόσθετα, γίνεται προσπάθεια εφαρμογής και υλοποίησης ενός σχεδίου επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων, σύμφωνα με τα δεδομένα που προέκυψαν για την περιοχή μελέτης. Η οικονομική ανάλυση, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς και η εξεργειακή ανάλυση κρίνονται αναπόσπαστα κομμάτια μιας τέτοιας ανάλυσης.

Κλείνοντας στο *Κεφάλαιο 7* αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται τόσο για το πρόβλημα της επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων, όσο και για την εφαρμογή εναλλακτικής μορφής διαχείρισης αυτών, μέσω της προτεινόμενης μεθόδου για το Δήμο Μεγάρων.

Abstract

The use of energy is currently the focus of most human activities, while many of the environmental problems of modern societies refer as a benchmark of technology production and use. The energy resources are an example of exhaustion of natural resources, whose excessive use brings about a dramatic impact on both cost of living and life itself on earth.

This thesis aims to approach ways of utilization of poultry waste as an energy resource, from the perspective of Renewable Energy Sources (RES). Given the acute problem that occurs in both national and local level in the management of agricultural waste, particularly livestock, the examination in the light of a modern and detailed methodology may yield new data and provide useful guidelines and principles in addressing the issue.

The goal then is a general presentation of the theoretical framework for poultry waste, existing methods of management and evaluation of the present situation in Greece. The case of the Municipality of Megara is chosen in order to identify the problem in real conditions. The area is a representative example of a municipality with a large capacity of poultry and severe problem in waste management.

At the introduction, Chapter 1, a general approach to the problem of poultry waste in relation with the anthropocentric environment is attempted.

Then, the exposition of problems around poultry waste is essential. Thus, in Chapter 2 the basic concepts of poultry waste are defined, such as composition, production volume of waste, pollution load, and environmental costs and impacts.

In Chapter 3 a detailed description of modern technologies and methods with worldwide application as well as reference to the parameters and factors affecting them is accomplice. Furthermore an overall assessment and comparison of these methods is carried out in relation to poultry waste.

In Chapter 4 a detailed analysis of the final products of anaerobic digestion, as a method of treatment of poultry waste, is made, with emphasis on the construction of similar plant, plant parts, economic analysis, and ability of the method to produce biogas and compost.

Moreover, in Chapter 5 the problem in the Municipality of Megara is delineated. The current management waste practice is described and an analysis of parameters that must be taken under consideration in waste practice adjustment is accomplice. Such parameters have

reference to population data, region's geography / geology, climate, land use and the use of RES.

Chapter 6 is the analysis of method chosen for poultry waste utilization related to Municipality of Megara needs. Additionally, implementation and effectuation of a poultry waste management plan in accordance with the data obtained for the study area is attempted. Economic analysis, environmental impact, and exergy analysis consider integral parts of such an analysis.

In Chapter 7 the main conclusions drawn for both the problem of the management of poultry waste, and the application of alternative forms of management which are proposed for the Municipality of Megara are mentioned.

1. Εισαγωγή

Ο προηγούμενος αιώνας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο αιώνας της μεγάλης τεχνολογικής εξέλιξης, που οδήγησε σε εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης τις οικονομίες των αναπτυγμένων κρατών. Στις αναπτυγμένες χώρες η κατανάλωση αγαθών, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και γενικά η προσπάθεια του ανθρώπου για υλική ευημερία οδήγησε στην υπερκατανάλωση, στην διασπάθιση των πρώτων υλών και στην υπερεκμετάλλευση πόρων. Μέσω όλων αυτών των ανθρωπογενών και ανθρωποκεντρικών διεργασιών και δραστηριοτήτων προέκυψαν και προκύπτουν τα απόβλητα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως υποπροϊόντα ή παράγωγα που είτε έπαψαν να έχουν οποιαδήποτε οικονομική αξία, είτε ο παραπέρα χειρισμός ή επεξεργασία τους είναι οικονομικά ασύμφορος. Επιπρόσθετα, στα απόβλητα κατατάσσονται και τα διάφορα καταναλωτικά αγαθά, τα οποία μετά τη χρήση τους καθίστανται άχρηστα και απομακρύνονται, κυρίως ως απορρίμματα, καθώς και τα στερεά και υγρά απεκκρίματα των ανθρώπων και των ζώων.

Ο άνθρωπος δεν έδωσε εξ αρχής τη σημασία που έπρεπε στη σωστή διαχείριση των διάφορων άχρηστων υλών, που ο ίδιος παρήγαγε με συνεχώς επιταχυνόμενους ρυθμούς, αποτέλεσμα της καταναλωτικής του τάσης για υλική ευημερία, αλλά άφηνε τη φύση να πράττει για λογαριασμό του. Έγινε όμως αντιληπτό ότι πλησιάζει η στιγμή που η φύση δεν θα προλαβαίνει πια να «απορροφά» τις επιπτώσεις από τις δραστηριότητες αυτές με την ίδια ευκολία που το έκανε στο παρελθόν και έχει φθάσει η στιγμή που ο άνθρωπος καλείται να πληρώσει το ανάλογο κόστος.

Η σύγχρονη κοινωνία καλείται λοιπόν να αντιμετωπίσει ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά ζητήματα, αυτό της διαχείρισης των αποβλήτων, με σκοπό όχι μόνο τις διασφάλισης της δημόσιας υγείας, αλλά και εν γένει της διασφάλισης του περιβάλλοντος. Στις μέρες μας, κάθε άλλο παρά ποτέ είναι επιτακτική η ανάγκη για εφαρμογή ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης των αποβλήτων, με την έννοια της διαχείρισης αυτών να σχετίζεται με τις δυνατότητες αξιοποίησης, επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ενεργειακής αξιοποίησης αυτών.

Οι επιπτώσεις από τα αστικό-βιομηχανικά απόβλητα έγιναν αισθητές αρκετά νωρίς σε παγκόσμια κλίμακα. Σε αντίθεση, οι επιπτώσεις από τα απόβλητα των γεωργικών δραστηριοτήτων, πρωτογενούς και δευτερογενούς παραγωγής, έγιναν αισθητές μόλις τα τελευταία 50 χρόνια, εξαιτίας της εντατικοποίησης των διαδικασιών παραγωγής. Στις μέρες μας, ένα σημαντικό στοιχείο στη σχεδίαση της γεωργικής στρατηγικής δεν είναι μόνο η

ανάπτυξη του φυτικού και του κτηνοτροφικού κεφαλαίου, αλλά και η όλο και πιο απαιτητική διαχείριση του συνεχώς αυξανόμενου όγκου των γεωργικών αποβλήτων. Η παραγωγή γεωργικών αποβλήτων, αποβλήτων από όλο το φάσμα των γεωργικών και κτηνοτροφικών διεργασιών, αν και μικρότερης κλίμακας σε σύγκριση με τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, και περισσότερο τοπικού χαρακτήρα, θα πρέπει να αντιμετωπίζεται εξίσου αποτελεσματικά, στα πλαίσια της γενικότερης προσπάθειας προστασίας του περιβάλλοντος.

Παραδοσιακά τα απόβλητα των πτηνοτροφικών μονάδων εφαρμόζονταν απευθείας στους εδαφικούς αποδέκτες και λόγω των υψηλών ποσών τους σε θρεπτικά στοιχεία τα αποτελέσματα της απευθείας εφαρμογής τους στο έδαφος συνέβαλε στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους και της εν γένει παραγωγής. Στα πλαίσια της ανάπτυξης, η εντατικοποίηση της πτηνοτροφικής παραγωγής, δημιούργησε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα και προβλήματα διάθεσης του όλου και αυξανόμενου όγκου των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Στις μέρες μας, η απευθείας εφαρμογή των πτηνοτροφικών αποβλήτων δεν θεωρείται πλέον ως ενδεδειγμένη, λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εμπεριέχουν. Η εφαρμογή τους στο έδαφος είναι πεπερασμένη και η αλλαγή στις χρήσεις γης μειώνουν την διαθέσιμη αγροτική γη προς εφαρμογή και η σύνδεση με την υγιεινή των παρεχόμενων τροφίμων απαγορεύει την απευθείας διάθεση. Οι ανάπτυξη των τεχνολογιών έδωσε την δυνατότητα μια ορθολογικότερης διαχείρισης των αποβλήτων αυτών.

Πληθώρα μελετών και πειραμάτων επιβεβαίωσε ότι η αλόγιστη απευθείας χρήση και εφαρμογή τους στα εδάφη συνέβαλλε και συμβάλλει κατά το πλείστον στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, καθώς και εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Γενικότερα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τα πτηνοτροφικά απόβλητα εμφανίστηκαν και παρατηρήθηκαν στους φυσικούς αποδέκτες, το έδαφος, το νερό και την ατμόσφαιρα.

Η παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων όπως αναφέρετε εξαρτάται από διαφορετικούς και ποικίλους παράγοντες. Βιβλιογραφικά αναφέρονται διαφορετικές τιμές που είναι συνδεδεμένες με τις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε περιοχής μελέτης, τον τρόπο εκτροφής, την ηλικία των ζώων, καθώς επίσης και την κατεύθυνση παραγωγής. Γενικότερα, τα απόβλητα της βιομηχανίας πουλερικών περιλαμβάνουν ένα μίγμα αποβλήτων, που μπορεί να αποτελούνται από κοπριά, υπολείμματα τροφής, στρώμνης, φτερών, νεκρών ζώων και σπασμένων αυγών. Για της συνθήκες της Ελλάδας, το πρόβλημα των πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι κυρίως πρόβλημα επαρκούς επεξεργασίας και ορθολογικής διάθεσής τους και προστασίας των εδαφικών αποδεκτών

Οι προκύπτον περιορισμοί στην εφαρμογή των πτηνοτροφικών αποβλήτων στο έδαφος έδειξε το δρόμο προς την χρησιμοποίηση εναλλακτικών μορφών διαχείρισης όπως η αερόβια και η αναερόβια χώνευση και η θερμικοί μέθοδοι, όπως η απευθείας καύση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Από τις μεθόδους αυτές η αερόβια χώνευση είναι μια αργή μέθοδος, με μεγάλες εκπομπές αμμωνίας και περιορισμένη δυνατότητα ενεργειακής παραγωγής ([1],[2]) και η αναερόβια χώνευση έχει ως κύρια τελικά προϊόντα το βιοαέριο και χωνεμένο υπόλειμμα, με ικανοποιητικό ενεργειακό περιεχόμενο ([3],[4],[5]). Εναλλακτική διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων επιτυγχάνετε και με τις θερμικές μέθοδοι, όπως η απευθείας καύση ([6],[7]), η πυρόλυση ([8]) και η αεριοποίηση ([9],[10]), με τα τελικά προϊόντα τους να χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας.

Πληθώρα εφαρμογών παγκοσμίως, όλων των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων, καταδεικνύουν την δυνατότητα πραγματοποίησης ενεργειακής παραγωγής και αξιοποίησης των αποβλήτων αυτών. Η αξιοποίηση των πτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας θα συμβάλει στην εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, στη μείωση της εξάρτησης της χώρας από ξένες ενεργειακές πηγές, καθώς και στην προστασία και βελτίωση του περιβάλλοντος, καθώς η βιομάζα ως καύσιμο πλεονεκτεί και από περιβαλλοντικής απόψεως έναντι των συμβατικών καυσίμων. Το εύρος το χρήσεων μπορεί να είναι από την δημιουργία χωνεμένου υλικού ως χρήση εδαφοβελτιωτικού ([11],[12]), την τηλεθέρμανση της γύρω περιοχής, την θέρμανση των υπάρχων πτηνοτροφικών μονάδων, καθώς και την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης ή και ηλεκτρισμού ([13]). Εναλλακτικές χρήσεις πτηνοτροφικών αποβλήτων αναφέρονται και η παραγωγή ενεργού άνθρακα ([14],[15]) και οι προσπάθειες παραγωγής ζωοτροφών, υγιεινών και με καλή θρεπτική αξία. ([16],[17],[18]).

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να παρουσιάσει και να αναλύσει της διάφορες μεθόδους διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων, καθώς και κατά πόσο είναι εφικτή και οικονομικά βιώσιμη η χρήση αυτών ως εναλλακτική μορφή ενέργειας. Επίσης, γίνεται προσπάθεια να προταθεί μια ολοκληρωμένη διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων στην ιδιαίτερη κοινωνικό-οικονομική κατάσταση της Ελλάδας.

Συνοπτικά τα βήματα τα οποία θα πραγματοποιηθούν για την επίτευξη αυτού του στόχου συνοψίζονται στα εξής:

- Παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου που αφορά τα πτηνοτροφικά απόβλητα.
- Τις υπάρχουσες μεθόδους αξιοποίησής τους.

- Την επισκόπηση της υφιστάμενης κατάστασης στην Ελλάδα.
- Προσπάθεια αξιολόγησης και εφαρμογής στην περιοχή των Μεγάρων

Τα παραπάνω βήματα θα βοηθήσουν ώστε να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του ζητήματος της αξιοποίησης των πτηνοτροφικών αποβλήτων του Δήμου Μεγάρων, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής αλλά και τους περιορισμούς και τις δυνατότητες της υφιστάμενης κατάστασης της διαχείρισης των απορριμμάτων.

2. Πτηνοτροφικά Απόβλητα

Τα πτηνοτροφικά απόβλητα θεωρούνται υποκατηγορία των γεωργικών αποβλήτων. Ο όρος γεωργικά απόβλητα χαρακτηρίζει «κάθε μορφής υποπροϊόντα ή παράγωγα της γεωργικής δραστηριότητας, που έπαψαν να έχουν οποιαδήποτε οικονομική αξία για την επιχείρηση είτε η παραπέρα διαχείριση ή επεξεργασία τους κρίνεται οικονομικά ασύμφορη» ([19]).

Τα σημαντικότερα γεωργικά απόβλητα μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Στερεά και υγρά απόβλητα, που παράγονται από την γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή, όπως τα απόβλητα από χοιροστάσια, βουστάσια, πτηνοτροφεία, αιγοπροβατοστάσια, υπολείμματα τροφών και αυτά που παράγονται από την γεωργική παραγωγή, όπως υπολείμματα φυτικού κεφαλαίου, άχυρα, κλαδιά κλπ.
- Στερεά και υγρά απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων, που παράγουν φυτικά και ζωικά προϊόντα, για παράδειγμα τα τυροκομεία, σφαγεία, ελαιοτριβεία, κονσερβοποιεία κλπ.

Τα γεωργικά απόβλητα παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τον τρόπο παραγωγής τους, την ποσότητα και την σύσταση τους, και είναι ανάλογες της γεωργικής παραγωγικής διαδικασίας, από την οποία προέρχονται. Επομένως, μπορούμε να αποτυπώσουμε μια πληθώρα παραδειγμάτων γεωργικών αποβλήτων, όπως στερεά και υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, εγκαταστάσεων επεξεργασίας και παραγωγής ενσιρωμένης χλωρής νομής, εγκαταστάσεων παραγωγής κρασιού, γαλακτοκομικών προϊόντων, λαδιού, φρούτων, υλικά συσκευασίας, νεκρά ζώα, κατεστραμμένα γεωργικά εργαλεία, πλαστικά και υλικά καλύψεως θερμοκηπίων και πολλά ακόμα υποπροϊόντα γεωργικής δραστηριότητας.

Στοχεύοντας στην αποδοτικότερη διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων εγκαταστάσεων επιχειρηματικής μορφής που λειτουργούν σήμερα στη χώρα μας, δίνεται έμφαση στις παραμέτρους που είναι συναφή με τα πτηνοτροφικά απόβλητα. Ως υποκατηγορία των γεωργικών αποβλήτων, εμπεριέχουν γενικότερες έννοιες ως προς την φύση, την σύσταση, τις ιδιότητες και τους τρόπους διαχείρισης, οι οποίοι αναφέρονται και αναλύονται.

Σε όλα τα είδη των πτηνοτροφείων μπορούν να εντοπιστούν και να καταγραφούν πληθώρα μη χρήσιμων υλικών και προϊόντων, τα οποία θεωρούνται ως γεωργικά απόβλητα. Επομένως, η πτηνοτροφική παραγωγική διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγει μια μίξη αποβλήτων από στερεά και υγρά απόβλητα. Μια γενική κατηγοριοποίηση είναι η ακόλουθη.

- Απόβλητα συλλογής των κοπροσωρών ή τάφρων αποχέτευσης
- Απόβλητα νεκρών ζώων, σπασμένων αυγών, πούπουλα, αίμα, εντόσθια
- Απόβλητα στρωμνής, άχυρα, πριονίδια, ξυλώδους υπολειμμάτων, φυτικών κελύφους, άμμος, ψιλοκομμένου χαρτιού
- Απόβλητα τροφών
- Απόβλητα νερών πλυσίματος
- Απόβλητα οσμών ή οσμοαερίων

Συνήθως, στο τέλος της παραγωγικής διαδικασίας, τις περισσότερες φορές αναμιγνύονται και απομακρύνονται ταυτόχρονα, χωρίς κάποιον αρχικό διαχωρισμό. Ειδικότερα, στα πτηνοτροφεία παράγονται στερεής μορφής απόβλητα, που απομακρύνονται καθημερινά με μηχανικά μέσα (περίπτωση πτηνοτροφείων αυγοπαραγωγής) ή ανά δίμηνο - τρίμηνο (περίπτωση πτηνοτροφείων κρεατοπαραγωγής). Σε κάθε περίπτωση, τα παραγόμενα απόβλητα συγκεντρώνονται σε κοπροσωρούς έξω από τα κτίρια εκτροφής ή σε άλλους προεπιλεγμένους χώρους γύρω ή μακρύτερα από τη μονάδα.

2.1. Πτηνοτροφία και πτηνοτροφικές μονάδες

Πτηνοτροφεία καλούνται οι εγκαταστάσεις μέσα στις οποίες εκτρέφονται όρνιθες (κότες) αυγοπαραγωγής ή κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής, τα οποία και τα δύο προέρχονται από μονάδες αναπαραγωγής. Το 1993 λειτουργούσαν στη χώρα μας, σύμφωνα με στοιχεία της Αγροτικής Τράπεζας της Ελλάδος, 220 σύγχρονα πτηνοτροφεία αυγοπαραγωγής, δυναμικότητας πάνω από 10.000 όρνιθες, με συνολικό αριθμό 5.024.850 όρνιθες αυγοπαραγωγής και 120 σύγχρονα πτηνοτροφεία κρεατοπαραγωγής, δυναμικότητας πάνω από 100.000 κοτόπουλα, με συνολικό αριθμό 47.719.000 κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής, ενώ σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat για το 2003, ο πληθυσμός των ορνίθων αυγοπαραγωγής ανήλθε σε 14.425.233. Ανάλογα με την παραγωγή, στα Ιωάννινα και Νέα Αρτάκη-Πισσώνα Εύβοιας λειτουργούν πολλά πτηνοτροφεία κρεατοπαραγωγής, ενώ στα Μέγαρα και την Κορινθία, λειτουργούν πολλά πτηνοτροφεία αυγοπαραγωγής.

Στις μονάδες αναπαραγωγής εκτρέφονται κόκορες και κότες υψηλών αποδόσεων, γνωστά και ως πατρογονικά, τα οποία κατά κανόνα εισάγονται από το εξωτερικό σε ηλικία μιας ημέρας. Η περαιτέρω εκτροφή των πατρογονικών γίνεται πάνω στο δάπεδο των θαλάμων ή των

κτιρίων εκτροφής, το οποίο στρώνεται συνήθως με θερμή στρωμνή και κατά μήκος των πλευρών των θαλάμων εκτροφής υπάρχουν σειρές από πολυώροφες φωλιές, όπου γίνεται η εναπόθεση των αυγών.

Στα πτηνοτροφεία αυγοπαραγωγής οι κότες διατηρούνται για διάστημα από 12 έως 14 μήνες (ηλικίας από 5-6 έως 19-20 μηνών). Το ζωικό βάρος κάθε κότας (όρνιθας) κατά την έναρξη της παραγωγής αυγών και της είσοδο της στο κοπάδι είναι περίπου 1,5 - 1,6 κιλά και στο τέλος της περιόδου παραγωγής και εξόδου είναι 1,9 - 2,2 κιλά. Η κατασκευή των πτηνοτροφείων αυγοπαραγωγής αποτελείται συνήθως από μια σειρά κλειστών κτιρίων, ο αριθμός των ορνίθων μέσα σε αυτά είναι συνήθως από 15.000 έως 20.000 όρνιθες. Οι όρνιθες τοποθετούνται σε ομάδες των 5, σε κλουβιά διαστάσεων 0,50 μέτρων πλάτους, 0,50 μέτρων μήκους (βάθους) και 0,50 μέτρων ύψους. Ευρωπαϊκές οδηγίες περί της «ευζωίας» των ζώων προβλέπουν την αύξηση των διαστάσεων αυτών έως το 2007, προς όφελος της άνεσης των ορνίθων. Οι κλωβοστοιχίες, που είναι οι σειρές των κλουβιών τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη, βρίσκονται σε πολλαπλά επίπεδα ή ορόφους (συνήθως των 3 ή 4) και σε αντίστοιχες διατάξεις, πυραμιδοειδής ή κατακόρυφη, για την καλύτερη αξιοποίηση του χώρου. Η επιλογή της διάταξης εξαρτάται από την μέθοδο συλλογής των αποβλήτων. Στην πυραμιδοειδή διάταξη, το διάτρητο κάτω μέρος του κλουβιού είναι σε άμεση επαφή με την τάφρο αποχέτευσης, η οποία κατασκευάζεται συνήθως με βάθος 30-35 εκατοστά. Στην κατακόρυφη διάταξη, οι κλωβοστοιχίες βρίσκονται σε ορόφους, συνήθως των 4 ορόφων. Μεταξύ τους υφίσταται μια πλαστική μεταφορική ταινία, η οποία συλλέγει τα απόβλητα και τα μεταφέρει στο ένα άκρο του κτιρίου και με την βοήθεια άλλης μεταφορικής ταινίας ή κοχλιωτού μεταφορέα στοιβάζονται σε σωρό για άμεση απομάκρυνση από το κτίριο. Η επιλογή της κατακόρυφης διάταξης, το τελευταίο χρονικό διάστημα, έναντι της πυραμιδοειδής οφείλεται στο πλεονέκτημα της εξοικονόμησης χώρου, το οποίο παρέχει.

Τα πτηνοτροφεία κρεατοπαραγωγής αποτελούνται από επίμηκες κτιριακές κατασκευές, μέσα στις οποίες εκτρέφονται κότες με σκοπό την παραγωγή κρέατος. Η χρονική διάρκεια της πάχυνσης είναι από 55 έως 60 ημέρες, έως ότου να αποκτήσουν βάρος 1,8 έως 2 κιλών και η τοποθέτησή στο θάλαμο εκτροφής των νεογνών γίνεται σε ηλικία 15 ημερών. Οι σύνηθες κτιριακές διαστάσεις είναι 13 έως 16 μέτρα πλάτος, 30 μέτρα μήκος και πάνω από 3 μέτρα ύψος. Η χωρητικότητα αυτών ποικίλει από 5.000 έως 15.000 κοτόπουλα και συνήθως εκτρέφονται 4 με 5 σειρές κοτόπουλα το χρόνο. Άξιο αναφοράς θεωρείται η δημιουργία θερμής στρωμνής στο δάπεδο, με σταδιακή προσθήκη πριονιδιού ή άχυρου, η οποία πρέπει να αφαιρεθεί στο τέλος της εκτροφής και να απολυμανθεί το κτίριο πριν την έναρξη της

καινούργιας εκτροφής. Η διάθεσή της μπορεί να γίνει στο χώρο αποβλήτων ή μπορεί να διατεθεί απευθείας ως εδαφοβελτιωτικό ή ως υπόστρωμα καλλιέργειας μανιταριών.

Τέλος, σαν ένα αναπόσπαστο μέρος ενός πτηνοτροφείου μπορεί να θεωρηθεί και το αντίστοιχο σφαγείο και η παραγωγική διαδικασία η οποία ακολουθείτε.

2.2. Ανάλυση πτηνοτροφικών αποβλήτων

Τα γεωργικά απόβλητα παρουσιάζουν ποικίλη σύσταση, η οποία καθορίζει τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες και την αρχική τους υφή. Γενικότερα, τα γεωργικά απόβλητα παράγονται τόσο σε υγρή, όσο και σε στερεή μορφή και το ρυπαντικό τους φορτίο εξαρτάται από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες, την περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά και τα βιολογικά τους χαρακτηριστικά. Το κύριο συστατικό τους είναι η περιεκτικότητα σε νερό. Ως υγρής μορφής θεωρούνται τα απόβλητα με περιεκτικότητα σε νερό μεγαλύτερη του 95% και ρέουν ελεύθερα (φυσική ροή) ή με βοήθεια από αντλίες σε αγωγούς. Ως στερεάς μορφής θεωρούνται τα απόβλητα που περιέχουν κάτω του 80% νερό και σχηματίζουν σωρό αν εναποτεθούν στο έδαφος.

Η κατάταξη και η κατηγοριοποίηση της ρευστότητας των πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων είναι διαφορετική λόγω των βασικών διαφορών στην σύστασή τους, μια συστηματική κατάταξη τους παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 1. Η κοπριά ζώων όπως των αιγοπροβάτων, χοίρων και αγελάδων, περιέχουν κατά βάρος ποσοστό σε νερό μικρότερο του 80% και θεωρούνται ως στερεά απόβλητα. Σε αντίθεση όταν το κατά βάρος ποσοστό σε νερό των αποβλήτων υπερβαίνει το 95%, όπως στις περιπτώσεις των υγρών υπολειμμάτων από επεξεργασίας αποβλήτων ή αποβλήτων αραιωμένων με νερά βροχής, αυτά κατατάσσονται στην κατηγορία των υγρών αποβλήτων. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες των ημιστερεών και ημιυγρών αποβλήτων διαφοροποιούνται στην περιεκτικότητα σε νερό των τελικών αποβλήτων και είναι ανάλογη της εκάστοτε διαχείρισης. Ειδική κατηγορία αποτελούν τα απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων, τα οποία κατατάσσονται σε υγρά ή στερεά, βάση της αρχικής μορφής παραγωγής τους και μπορούν να μεταπέσουν σε ανάλογες κατηγορίες ρευστότητας, ανάλογα το χρόνο παραμονής τους ή την επεξεργασία τους.

Κατηγορίες ρευστότητας		
Κατηγορίες	Νερό (% κ.β.)	
Στερεά	<80%	<ul style="list-style-type: none"> - Κοπριά αιγοπροβάτων και πτηνών - Στερεά μηχανικού διαχωρισμού υγρών αποβλήτων χοιροστασίων - Κοπριά βουστασίων και χοιροστασίων αναμιγμένη με στρωμνή
Ημιστερεά	75-80 %	<ul style="list-style-type: none"> - Στερεά απόβλητα βουστασίων - Απόβλητα στερεάς μορφής μετά από διαβροχή μέχρι κορεσμού με νερό - Στερεά μηχανικού διαχωρισμού υγρών αποβλήτων χοιροστασίων μετά από διαβροχής τους μέχρι κορεσμού με νερό
Ημιυγρά	85-95%	<ul style="list-style-type: none"> - Απόβλητα χοιροστασίων και βουστασίων, όπως παράγονται από τα ζώα - Απόβλητα χοιροστασίων, όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά την αραίωσή τους με νερό πλυσίματος - Ιζήματα δεξαμενών συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης υγρών αποβλήτων
Υγρά	>95%	<ul style="list-style-type: none"> - Απόβλητα χοιροστασίων και βουστασίων, όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά την αραίωσή τους με νερό πλυσίματος και βροχής - Υγρά που προέρχονται από στράγγιση κοπρωσφρών - Υγρά εξόδου εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων πριν την διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη

Πίνακας 1: Κατάταξη πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων σε κατηγορίες ρευστότητας [19]

Πέραν του περιεχομένου σε νερό, τα απόβλητα αυτά εμπεριέχουν οργανικό άνθρακα, μικρότερα ποσοστά αζώτου και φωσφόρου, καθώς επίσης και ίχνη χλωρίου, ασβεστίου, μαγγανίου, μαγνησίου, χαλκού, σιδήρου, ψευδαργύρου και αρσενικού, καθώς επίσης και διαλυτά στερεά συστατικά, όπως ανόργανα συστατικά ιόντων (άλατα, ιχνοστοιχεία), και αδιάλυτα στερεά συστατικά, όπως χονδρόκοκκα σωματίδια, οργανικές ύλες (τρίχες, υπολείμματα τροφών κλπ), και συσσωματώματα κολλοειδών ουσιών. Το εμπεριεχόμενο άζωτο βρίσκονται σε πολλές μορφές και η αζωτούχος σύσταση των απόβλητων είναι ανάλογα τη μικροβιακή δραστηριότητα, την θερμοκρασία, το pH, την υγρασία και την συγκέντρωση του οξυγόνου. Η μορφή του αζώτου, και κυρίως η αμμωνιακή της μορφή, διαδραματίζει περεταίρω ρόλο στην διάθεση και την διαχείριση των αποβλήτων. Στα άμεσα απόβλητα, το άζωτο βρίσκεται σε οργανική μορφή (60-80%), υπό την μορφή ουρίας και πρωτεϊνών και μετασχηματίζεται (40-90%) σε αμμωνία, αέρια (NH₃) ή υδατοδιαλυτή ιοντική μορφή (NH₄⁺). Το ποσοστό των αμμωνιακών ιόντων συνεισφέρει και στις υψηλές

τιμές του pH, το οποίο οδηγεί σε προβλήματα διαχείρισης, αποθήκευσης και διάθεσης. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων της πτηνοτροφίας μπορούν να συνοψιστούν στον ακόλουθο πίνακα.

Οργανικά % (ξηρό βάρος)	85.38
pH	5.2-8.8
Υγρασία % (υγρό βάρος)	48.69
Ολικά αζωτούχα % (ξηρό βάρος)	3.56-8.5
Ανόργανα αζωτούχα % (ξηρό βάρος)	1.74
Αμμωνιακά % (ξηρό βάρος)	1.76
OCC/nitrogen ratio	10.89
TCC/nitrogen ratio	12.24
P ₂ O ₅ % (ξηρό βάρος)	0.71-3.5
K ₂ O ₅ % (ξηρό βάρος)	1.78-3.79
C/N	3-15
Volatile matter (wt.% dry matter, VS)	60-85
Total Solids (TS%)	10-30

Πίνακας 2: Φυσικό-χημικές ιδιότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων [7], [20], [21]

Τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα θεωρούνται κατεξοχήν οργανικής προέλευσης, 80% των ολικών στερεών είναι οργανικής σύστασης, καθώς επίσης και τα απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων που είναι πλούσια σε οργανικές ουσίες (70-90% ολικών στερεών). Η διαφορά τους έγκειται στο ότι τα απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού (μεγαλύτερες 90% κ.β.), επομένως είναι μεγαλύτερου όγκου παραγωγής, μικρότερου οργανικού φορτίου και αραιότερα σε σχέση με τα απόβλητα που παράγονται σε πτηνοκτηνοτροφικές μονάδες. Ειδικότερα, η σύσταση των πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων εξαρτάται από τις συνθήκες εκτροφής, το ημερήσιο σιτηρέσιο, την ηλικία και το είδος του εκτρεφόμενου ζώου και εν γένει των πτηνοτροφικών αποβλήτων και από τον αρχικό όγκο και την χρονική διαθεσιμότητα, την διατήρηση, στις μονάδες, τις πρακτικές καθαριότητας και την στρωμνή που χρησιμοποιείται. Σύνηθες φαινόμενο είναι η καθαριότητα να λαμβάνει χώρα κάθε 2 έως 4 χρόνια, αποτελώντας θέμα προς περαιτέρω συζήτηση ως προς την αποθήκευση και διαθεσιμότητά του. Μια γενικότερη σύγκριση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των πτηνοτροφικών αποβλήτων και των υπόλοιπων ζωικών αποβλήτων φαίνεται στο ακόλουθο πίνακα, όπως αυτά παράγονται από τα ζώα/πτηνά ως κοπριά και ούρα πριν την ανάμιξη τους με νερά πλυσίματος ή άχυρο στρώμνης. Το ειδικό βάρος των αποβλήτων εμφανίζεται μεγαλύτερο σε αγελάδες και πτηνά, ο ημερήσιος όγκος παραγωγής είναι μεγαλύτερος σε αγελάδες με μικρότερη παραγωγή στα πρόβατα, ενώ σε σχέση με τα ολικά στερεά η μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφανίζεται στα πτηνοτροφικά απόβλητα, το

οποίο υποδηλώνει και καλύτερη πιθανότητα αερόβιας μικροβιακής δραστηριότητας ([22]). Τα πτητικά στερεά, ένας από τους βασικούς παραμέτρους των αποβλήτων και του τρόπου διαχείρισης εμφανίζει παρόμοια ποσοστά σχεδόν σε όλα τα ζωικά απόβλητα, πλην των πτηνοτροφικών όπου έχουμε τις χαμηλότερες τιμές.

Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων				
Κατηγορία Ζώου	Παράμετρος			
	Ειδικό Βάρος (Kg L^{-1})	Ημερήσιος όγκος αποβλήτων ($\text{L}^{-1} \text{Kg Ζων Βάρους}$)	Ολικά Στερεά ($\text{Kg } 100\text{L}^{-1}$ αποβλήτων)	Πτητικά Στερεά (%ολικά στερεά κ.β.)
Αγελάδες	1,010	0,084	12	82
Μοσχάρια	0,997	0,053	14	82
Χοίροι	0,977	0,058	10	80
Πτηνά	1,060	0,056	27	74
Πρόβατα	0,997	0,040	25	85

Πίνακας 3: Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων [19]

Σημαντικά πτηνοτροφικά απόβλητα προκύπτουν και από την διαχείριση των κρεατοπαραγωγικών μονάδων και των σφαγείων. Κύρια υποπροϊόντα, τα οποία δεν μπορούν όμως να διατεθούν προ κατανάλωση, είναι το κρέας, υπολείμματα ή νεκρά ζώα, τα πούπουλα, τα κόκαλα, το αίμα και τα εντόσθια.

Η έως τώρα αντιμετώπιση αυτών ήταν και σε πολλές περιπτώσεις παραμένει η απευθείας εναπόθεσή τους σε χώρους ταφής ή η καύση τους, με τα αντίστοιχα περιβαλλοντικά προβλήματα της μόλυνσης του περιβάλλοντος και των μεγάλων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Τα υποπροϊόντα αυτά θεωρούνται δύσκολα προς επεξεργασία με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, λόγω των υψηλών ποσοστών σε πρωτεΐνες και λίπη, τα οποία οδηγούν στην δημιουργία αμμωνίας, επιπλεόντων υγρών και λιπαρών οξέων, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις θεωρούνται τοξικά και περιοριστικοί παράγοντες για την λειτουργία των αναερόβιων μικροοργανισμών ([8]). Σε αντίθεση, οι θερμικές μέθοδοι αποδείχτηκαν ως εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης για την αξιοποίησή τους ως ανανεώσιμο καύσιμο. Παρόλα αυτό, πολλές μελέτες αναφέρονται στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν, λόγω κυρίως του υψηλού ποσοστού σε υγρασία (>70%) και της αναγκαιότητας προεπεξεργασίας, ξήρανσης, ώστε να καθίστανται αξιοποιήσιμα.

Όγκος και Παραγωγή Πτηνοτροφικών Αποβλήτων

Ο όγκος των παραγόμενων γεωργικών αποβλήτων, για τα πτηνοκτηνοτροφικά εξαρτάται από το είδος και την ηλικία του ζώου, της ιδιότητες του χώρου και το τύπο του υλικού υποστρώματος, την χρονική περίοδο και την παρούσα υγρασία, καθώς και από το είδος και την μέθοδο διατροφής τους. Ενώ αντίστοιχα για τα απόβλητα της βιομηχανίας τροφίμων και των λοιπών γεωργικών αποβλήτων είναι ανάλογα της παραγωγικής διαδικασίας, της δραστηριότητας και της εν γένει χρήση τους.

Ο προσδιορισμός του δυναμικού ρύπανσης και του όγκου των αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων και των λοιπών γεωργικών αποβλήτων είναι περίπλοκος και δύσκολος, στηρίζεται στα διαθέσιμα βιβλιογραφικά στοιχεία, με την αντίστοιχη προσαρμογή τους στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της υπό εξέταση δραστηριότητας και την περαιτέρω εμπειρική ή ερευνητική τους συσχέτιση. Επομένως, δεν γίνεται κάποια συγκεκριμένη βιβλιογραφική αποτύπωση για αυτού του είδους τα απόβλητα, γιατί δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσης διατριβής.

Για τον αντίστοιχο προσδιορισμό των πτηνοκτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να γίνει χρήση και προσαρμογή αντίστοιχων πινάκων από διάφορες υπάρχουσες μελέτες, καθώς ο υπολογισμός των παραγόμενων πτηνοτροφικών αποβλήτων για κάθε διαφορετική πτηνοτροφική μονάδα είναι δύσκολος και διαφορετικός. Ενδεικτικές τιμές αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (βασισμένες στο Animal Waste, Taiganides, WHO, 1978,[23]), καθώς και επίσης και οι αντίστοιχες τιμές για άλλες κατηγορίες κτηνοτροφικών ζώων. Μεγαλύτερη παραγωγή αποβλήτων (κοπριάς) τόσο αναγόμενο σε κιλά ανά ζώο την ημέρα ή σε κιλά ζώντος βάρους ανά ημέρα εμφανίζουν όπως αναμενόταν τα βοοειδή λόγω του μεγέθους τους, με την μικρότερη παραγωγή να αντιστοιχεί στα πουλερικά Αντίστοιχα στον πίνακα παραγωγής αποβλήτων του πανεπιστημίου Maryland ([24]) μεγαλύτερη παραγωγή αποβλήτων ανά μονάδα ζώου (AU) ανά ημέρα εμφανίζουν οι λαγοί με 150119lbs manure /AU/day, ακολουθούμενες από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής (27.500lbs milk/yr) με παραγωγή στα 119lbs manure /AU/day, ενώ τα πουλερικά εμφανίζουν τιμές από 61-80119lbs manure /AU/day.

Όγκος Αποβλήτων					
Είδος Ζώου	Είδος σταυλισμού	Μέγεθος Ζώων kg/κεφ.	Χρόνος εκτροφής Ημέρες	Κοπριά	
				Kg/κεφ.ημ	Kg Ζ.Β.ημ.
Πουλερικά					
Κρεατοπαραγωγής	Στεγασμένα	0,2	40-60	0,05-0,06	
Αυγοπαραγωγής	Στεγασμένα	1,5-2	400	0,1-0,2	66
Βοοειδή					
Αγελάδες	Βουστάσιο	500-650	-	40-60	94
	Ελεύθερες	500-650	-	40-60	
Μοσχάρια	Βουστάσιο	500-650	100-180	40-60	46
	Ελεύθερα	250-500	100-180	10-30	
Χοίροι	Ανοικτός ή στεγασμένος	20-100	150-180	1-5	51
Πρόβατα	Στεγασμένο	30-60	40-150	2-4	36

Πίνακας 4: Όγκος Αποβλήτων [23]

Η παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων όπως αναφέρθηκε εξαρτάται από διαφορετικούς και ποικίλους παράγοντες. Βιβλιογραφικά αναφέρονται διαφορετικές τιμές που είναι συνδεδεμένες με τις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε περιοχής μελέτης, τον τρόπο εκτροφής, την ηλικία των ζώων, καθώς επίσης και την κατεύθυνση παραγωγής. Ο Γεωργακάκης ([25]) αναφέρει την παραγωγή στα 0,056L/Kg ζωικού βάρους.

Σύμφωνα με την έρευνα της εταιρίας Timmenga & Associates Inc. ([26]) όρνιθα κρεατοπαραγωγής βάρους 2lb δίνει 1,52lb αποβλήτων ανά κύκλο ανάπτυξης 37 ημερών (σε 6.5 κύκλους έδιναν 9.88lb ανά έτος). Ενώ οι Chamblee και Todd ([27]) ανέφεραν μέσες τιμές παραγωγή αποβλήτων ανά 1000 όρνιθες κρεατοπαραγωγής για τέσσερις πολιτείες των Η.Π.Α. 1-1.4, 1.2, 1-1.6 και 1.4 τόνων τον χρόνο.

Στην εργασία των Flora and Riahi-Nezhad ([28]) αναφέρονται τιμές 1,2 τόνων αποβλήτων ανά 1000 όρνιθες κρεατοπαραγωγής το χρόνο, 4 τόνων αποβλήτων ανά 1000 όρνιθες αυγοπαραγωγής και λιγότερα κατά 19%, σε σχέση με της κρεατοπαραγωγής, για τις υπόλοιπες όρνιθες. Επιπρόσθετα αναφέρεται η προβλεπόμενη παραγωγή βασισμένη στο σύστημα κατάταξης CAFO (Confined Animal Feeding Operation) της US EPA (US Environmental Protection Agency). Στην εργασία της WASTE CONCERN ([29]) αναφέρονται οι τιμές για όρνιθες αυγοπαραγωγής 136 gr την ημέρα (κοπριά 75% υγρασίας) και για όρνιθες κρεατοπαραγωγής 40 gr την ημέρα (κοπριά 25% υγρασίας).

Μια προσέγγιση της ποσότητας των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορούν γίνει μέσω των παρακάτω γενικών εξισώσεων ([20]):

$$Q_{w.m} = n * N \quad (1)$$

$$Q_{d.m} = Q_{w.m} (1 - w) \quad (2)$$

όπου

$Q_{w.m}$ ποσότητα κοπριάς σε υγρό βάρος (t/annual)

$Q_{d.m}$ ποσότητα κοπριάς σε ξηρό βάρος (t/annual)

N αριθμός ζώων

n παραγωγή κοπριάς ($t_{w.m}/\text{animal}/\text{annual}$)

w περιεκτικότητα σε υγρασία (%)

Θερμογόνος δύναμη πτηνοτροφικών αποβλήτων

Η θερμογόνος δύναμη των πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι περίπου 13.5GJ/ton, το μισό περίπου της θερμογόνου δύναμης του κάρβουνου, αλλά μειώνεται καθώς το ποσοστό της υγρασίας αυξάνεται. Όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακα 5, [26]) η θερμογόνος δύναμη του κάρβουνου, ανάλογα την προέλευση του, μπορεί να κυμαίνεται από 6.800 έως 15.000 Btu/Lb ή 16 έως 35 MJ/Kg, του ξύλου είναι περίπου 8.000 - 9.500 Btu/Lb ή 28.5 MJ/Kg, ενώ γενικά η θερμογόνος δύναμη των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να φθάσει τα 6.200 Btu/Lb ή 14.6 MJ/Kg. Ενώ η θερμογόνος δύναμη των πτηνοτροφικών αποβλήτων από όρνιθες κρεατοπαραγωγής κυμαίνεται από 4.637 έως 6.950 BTU/lb και μπορεί να φθάσει 7787 έως 9000 BTU/lb στην περίπτωση απαλλαγής των αποβλήτων από υγρασία και στάχτη ([30]).

Fuel	Heating Value Btu/Lb	Heating Value MJ/Kg
Coal, Anthracite	15.000	35
Coal, Bithumus	6.800 - 15.000	16 - 35
Good quality charcoal	13.300	30.7
Wood	8.000 - 9.500	28.5
Dried Hog manure	8.000	18.5 -22
Poultry litter pellets	6.000	14.0
Poultry litter	6.200	14.6

**Πίνακας 5: Σύγκριση θερμογόνου δύναμης διαφόρων στερεών καυσίμων (MJ/Kg dry weight)
Πηγή: [26]**

2.3. Περιβαλλοντικό κόστος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι φυσικοί ρυθμοί ανάπτυξης, ισορροπίας, διατήρησης και αποκατάστασης των οικοσυστημάτων διαταράχθηκαν και εξακολουθούν να διαταράσσονται από της ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και την αλόγιστη ανάπτυξη, προς όφελος του καπιταλιστικού και φιλελεύθερου πνεύματος που επικρατεί. Το φυσικό περιβάλλον, ως κρίκος πλέον του ανθρωποκεντρικού συστήματος, είναι πεπερασμένων δυνατοτήτων αφομοίωσης αποβλήτων, τα οποία προκύπτουν από τις δραστηριότητες του ανθρώπου, από τα προϊόντα και τις ουσίες που απλά χρησιμοποιεί και τα αποβάλλει ως άχρηστα στο περιβάλλον του. Το περιβάλλον άρχισε προ πολλού να εμφανίζει σημάδια «κόπωσης» και να ξεπερνάει τα όρια αντοχής του. Οι επιπτώσεις εμφανίζονται ως διατάραξη των κύκλων ισορροπίας και της κυκλοφορίας των διαφόρων μορφών ύλης και ενέργειας.

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος είναι η συνέπεια από τις ανθρώπινες δραστηριότητες ρύπανσης ή οποιασδήποτε άλλης μεταβολής στο περιβάλλον, η οποία είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και τις αισθητικές αξίες. Η ρύπανση εμφανίζεται πλέον με διάφορες μορφές και αντίστοιχες συνιστώσες των επιπτώσεων και του κόστους μπορούν να αναλυθούν στην αισθητική υποβάθμιση του ανθρώπου, στην αέρια ρύπανση με κύρια αιτία τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, στην ρύπανση οργανικής ή ανόργανης προέλευσης του εδάφους ή των υδατικών αποδεκτών και γενικότερα σε μόλυνση από παθογόνους μικροοργανισμούς (Πίνακα 6).

ΡΥΠΑΝΣΗ		
Κατηγορία Ρύπων	Αίτια	Φαινόμενα
Αισθητική	Αναρχη ανοικοδόμηση Έλλειψη πρασίνου	
Αέρια	Αέρια Θερμοκηπίου Συσσώρευση και διάσπαση αερίων με χρήση υπεριώδης ακτινοβολίας στην στρατόσφαιρα Σχηματισμός οξέων κατά την διάλυση αέριων ρύπων στο νερό της βροχής	Φαινόμενο Θερμοκηπίου Τρύπα Όζοντος Όξινη Βροχή
Οργανικής προέλευσης	Οργανικές ουσίες αποβλήτων	Κατανάλωση διαθέσιμου οξυγόνου
Ανόργανης προέλευσης	Αζωτο και φώσφορος (κυρίως) στα απόβλητα Αδιάλυτα άλατα Στοιχεία Cu, Zn, As κλπ	Ευτροφισμός Αλατότητα Τοξικότητα
Μόλυνση	Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Αρρώστιες

Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση ρύπων

Τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα αν και μεγάλου ρυπαντικού φορτίου δεν αποτελούν περίπλοκα περιβαλλοντικά προβλήματα προς λύση, λόγω πλέον της εφαρμογής νέων τεχνολογιών επεξεργασίας και την δημιουργία προηγμένων εγκαταστάσεων επεξεργασίας αυτών. Σε αντίθεση, τα γεωργικά απόβλητα εμφανίζουν σε πολλές περιπτώσεις περιβαλλοντικά προβλήματα, αν και μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοπικού χαρακτήρα, αποτελούν πλέον ένα σύνθετο πρόβλημα προς αντιμετώπιση. Για της συνθήκες της Ελλάδας, το πρόβλημα των γεωργικών αποβλήτων είναι κυρίως πρόβλημα επαρκούς επεξεργασίας και ορθολογικής διάθεσής τους και προστασίας των εδαφικών αποδεκτών, στους οποίους κατά κύριο λόγο γίνεται η απόθεσή τους. Σε αντίθεση, η βιομηχανία παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων αντιμετωπίζει εν μέρει ή στο σύνολό τους πρόβλημα με την εποχικότητα και τον όγκο παραγωγής αποβλήτων, σε συνδυασμό με την μορφή και το ρυπαντικό τους φορτίο και σε επίπεδο βιομηχανικής μονάδας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πτηνοτροφικών αποβλήτων εμφανίζονται στους φυσικούς αποδέκτες, οι οποίοι στοιχειοθετούν τα στοιχεία του περιβάλλοντος, που χρησιμοποιούνται για την τελική διάθεση αποβλήτων και συγκεκριμένα περιλαμβάνουν το έδαφος, το νερό και την ατμόσφαιρα.

Η ανεξέλεγκτη και συνεχής διάθεση ρύπων σε φυσικούς αποδέκτες μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις, αν ξεπεραστεί η δυνατότητα των τελευταίων να ‘απορροφούν’ και ‘εξουδετερώνουν’ τους ρύπους αυτούς. Η χρονική διάρκεια και οι επιπτώσεών τους σ’ έναν αποδέκτη μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη. Τα απόβλητα των πτηνοτροφικών μονάδων παραδοσιακά κατέληγαν και καταλήγουν ανεξέλεγκτα και χωρίς καμία προεπεξεργασία στους εδαφικούς αποδέκτες, με την πεποίθηση ότι η χρήση τους ως εδαφοβελτιωτικά-λίπασμα ήταν και είναι ωφέλιμη. Λόγο των υψηλών ποσών σε θρεπτικά συστατικά που εμπεριέχονται στα πτηνοτροφικά απόβλητα τα αποτελέσματα της απευθείας εφαρμογής στο έδαφος ήταν και είναι εμφανή στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους.

Ρυπαντικό φορτίο

Το δυναμικό ρύπανσης που ενέχουν τα γεωργικά απόβλητα εξαρτάται από την σύστασή τους, που είναι ανάλογο της προέλευσής τους. Για την εκτίμηση του ρυπαντικού φορτίου των γεωργικών αποβλήτων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω παράμετροι. Πέραν του υπολογισμού του βιολογικού ή οργανικού φορτίου των αποβλήτων, γίνεται και χρήση τους για τον έλεγχο της απόδοσης της εγκατάστασης.

- Πτητικά Στερεά (Π.Σ.)

Χρήση στον σχεδιασμό αναερόβιας ζύμωσης εγκαταστάσεων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων. Προκύπτουν από ξήρανση του δείγματος στους 103 °C για 24 ώρες και στην συνέχεια αποτέφρωσή τους στους 550 °C για 16 ώρες.

$$\text{ΠΣ (\%ΟΣ)} = \frac{\text{ξηρό δείγμα} - \text{τέφρα}}{\text{ξηρό δείγμα}} \times 100 \quad (3)$$

Όπου: ξηρό δείγμα= βάρος δείγματος μετά την ξήρανση

Τέφρα= βάρος δείγματος μετά την αποτέφρωση

Ο.Σ= ολικά στερεά στα απόβλητα

- Βιοχημική ζήτηση οξυγόνου πέντε ημερών- BOD₅

Χρήση στον προσδιορισμό οργανικού φορτίου αποβλήτων. Εκφράζει την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου (mgL⁻¹ αποβλήτων) που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την αποσύνθεση του βιοαποικοδομήσιμου μέρους του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, σε διάστημα 5 ημερών, υπό κατάλληλες συνθήκες.

- Χημική ζήτηση οξυγόνου – COD

Ευρύτερη χρήση στον σχεδιασμό αναερόβιων εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων, ιδιαίτερα εκείνων με υψηλό οργανικό φορτίο. Εκφράζει την ποσότητα οξυγόνου, που απαιτείται για την οξείδωση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων με χημικά μέσα.

- Ολικό άζωτο (N), φώσφορος (P) και κάλιο (K)

Μετρείται η περιεκτικότητα στα αντίστοιχα στοιχεία για τον προσδιορισμό και την συμμετοχή τους στα γεωργικά απόβλητα.

- Ισοδύναμο πληθυσμού μιας πηγής ρύπανσης προσδιορίζεται με την διαίρεση του ημερησίου οργανικού φορτίου (kg BOD₅/ημέρα) με την τιμή 54g/άτομο ημέρα και εκφράζει την αντιστοιχία ανά άτομο (σε ευρωπαϊκές συνθήκες διαβίωσης).

Ο υπολογισμός των παραπάνω παραμέτρων γίνεται με αναφορά στο ζωντανό βάρος, επομένως και για τον σχεδιασμό των αντίστοιχων εγκαταστάσεων θεωρείται ότι τα απόβλητα είναι ανάλογα με το ολικό ζωντανό βάρος των ζώων. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται ενδεικτικές τιμές, βιβλιογραφική αναφορά, για τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων ορισμένων εκτρεφόμενων ζώων. Τα πτηνοτροφικά απόβλητα εμφανίζουν από τις

μεγαλύτερες τιμές σε σύγκριση με τα υπόλοιπα κτηνοτροφικά ζώα, τόσο σε ειδικό βάρος και περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά, όσο και σε περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο και φώσφορο. Επιπρόσθετα, εμφανίζουν την μεγαλύτερη τιμή βιοχημικά καταναλισκόμενο οξυγόνο (BOD_5), του οξυγόνου που χρειάζεται για την βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών από αερόβιους μικροοργανισμούς και την δεύτερη μεγαλύτερη τιμή, μετά από τα απόβλητα των προβάτων, σε χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD), της απαιτούμενης δηλαδή ποσότητας οξυγόνου για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης -A					
Κατηγορία Ζώου	Παράμετρος				
	Ειδικό Βάρος ($Kg L^{-1}$)	Πτητικά Στερεά (%κ.β.)	BOD_5 (%κ.β.)	COD (%κ.β.)	COD/ BOD_5 (%κ.β.)
Αγελάδες	1,010	9,9	2,2	10,8	5,0
Μοσχάρια	0,997	11,5	2,8	13,0	4,7
Χοίροι	0,977	8,0	3,1	9,6	3,0
Πτηνά	1,060	20,0	6,8	25,1	3,7
Πρόβατα	0,997	21,3	2,3	29,5	13,1

Η % κ.β. υπολογίζεται επί του αρχικού όγκου αποβλήτων, χωρίς νερά αραίωσης

Πίνακας 7: Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης [19]

Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης -B					
Κατηγορία Ζώου	Παράμετρος ($g g^{-1}$ of animal-day $\times 10^{-3}$)				
	BOD	COD	Ολικό Άζωτο (N)	Φώσφορος (P_2O_5)	Κάλιο (K_2O)
Αγελάδες	0,31	1,15	0,23	0,34	0,12
Μοσχάρια	1,61	9,42	0,32	0,18	0,29
Χοίροι	3,1	6,4	0,51	0,42	0,40
Πτηνά	3,36	9,8	0,74	0,60	0,30
Πρόβατα	-	-	0,60	0,25	-

Πίνακας 8: Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης (β) [31]

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και κόστος πτηνοτροφικών αποβλήτων

Η εντατικοποίηση της πτηνοτροφικής παραγωγής, καθώς και η συγκέντρωση των εγκαταστάσεων περιμετρικά των αστικών κέντρων δημιούργησε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα και προβλήματα διάθεσης του όλου και αυξανόμενου όγκου πτηνοτροφικών αποβλήτων. Πληθώρα μελετών και πειραμάτων επιβεβαίωσε ότι η αλόγιστη απευθείας χρήση και εφαρμογή τους στα εδάφη συνέβαλλε και συμβάλλει κατά το πλείστον στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από πτηνοτροφικά απόβλητα, σε σύγκριση με αναφορές σε εκπομπές αερίων από απόβλητα βοοειδών ή χοίρων ([32], [33]), υφίσταται κενό σε λεπτομερή αναφορά και ανάλυση. Αναφορές γίνονται κυρίως στα προβλήματα σχετικά με τη συμπεριφορά του αζώτου, που εμπεριέχεται στα πτηνοτροφικά απόβλητα. Οι μεγάλες εκπομπές αζώτου σχετίζονται με το σχηματισμό της αέριας αμμωνίας. Η υψηλή τους περιεκτικότητα σε άζωτο μπορεί να μολύνει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή και τα επιφανειακά ύδατα με νιτρικά, λόγω της εύκολης διήθησης και μετακίνησης του αζώτου στο έδαφος. Η επαναλαμβανόμενες εφαρμογές οδηγούν σε υπερσυσσώρευση θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε φυτοτοξικότητες στα διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Σε περιοχές όπου είχε γίνει εφαρμογή πτηνοτροφικών αποβλήτων, μετρήθηκαν υψηλής περιεκτικότητας νιτρικών στα υπόγεια ύδατα, με σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, καρκίνος, αποβολές, αναπνευστικά προβλήματα κλπ. Επίσης, κατά την αερόβια χώνευση των κτηνοτροφικών και κατ' επέκταση και των πτηνοτροφικών αποβλήτων έχουν παρατηρηθεί μεγάλες απώλειες αζώτου, που μπορεί να κυμαίνονται από 21-77% ([2]).

Η παρουσία ιχνοστοιχείων στα πτηνοτροφικά απόβλητα και ειδικότερα των πτηνοτροφικών περιττωμάτων είναι ένα περίπλοκο και προς εξερεύνηση πεδίο. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για την συγκέντρωση αρσενικού στα πτηνοτροφικά περιττώματα. Ο κύριος λόγος είναι η διατροφή των πτηνών με όργανο-αρσενικά σιτηρέσια, και ειδικότερα με την ουσία Roxarsone (ROX). Αν και ακίνδυνη για την υγιεινή τόσο των πτηνών, όσο και των ανθρώπων, προέκυψε το ερώτημα της τύχης του αρσενικού από την απευθείας εναπόθεση των περιττωμάτων στο έδαφος. Η ολική συγκέντρωση του αρσενικού στα πτηνοτροφικά απόβλητα κυμαίνεται από <1 έως 40 mg kg⁻¹ ([34], [35]). Η απευθείας εφαρμογή, τα κομποστοποιημένα υλικά ή οι οργανικές παλέτες, σε εδάφη απελευθερώνει το αρσενικό και το μετατρέπει σε πιο ευδιάλυτη και κινητική μορφή ανόργανων συστατικών του. Η αύξηση αυτή πέρα του επιτρεπτού ορίου, προκαλεί την τοξικότητα του αρσενικού, τόσο στα εδάφη όσο και στα ύδατα, καθώς επίσης μπορεί να επηρεάσει την πρόσληψη και την συγκέντρωση του από τα φυτά ([36]). Συγκεντρώσεις αρσενικού εμφανίζονται και στα υπολείμματα τέφρας, αλλά σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις. Μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί στην μέτρηση και αναγνώριση του αρσενικού σε οργανικά συστατικά και στην αναγνώριση των περισσότερων τοξικών ανόργανων μορφών του σε εδάφη μετά την εφαρμογή πτηνοτροφικών αποβλήτων, απευθείας ή κομποστοποιημένου ([34], [35]) ή ακόμα και παλετών ([37]), στην συσχέτιση της συγκέντρωσής του με τις ιδιότητες του εδάφους, την ορυκτολογική σύσταση και τα οξείδια

του σιδήρου ([38]). Καθώς επίσης και στην διαχείριση των αποβλήτων για την μείωση της συγκέντρωσης του αρσενικού, με χρήση και ανάμιξη άλλων υλικών, όπως την ανάμιξη με υπολείμματα από την διεργασία επεξεργασίας πόσιμου νερού ([39]). Αν και οι περισσότερες πειραματικές διαδικασίες δεν δείχνουν συγκεντρώσεις ανόργανου αρσενικού σε υψηλότερα επίπεδα των επιτρεπτών ορίων, η μετακίνησή του και η συγκέντρωσή στο εδαφικό νερό δείχνει ότι μπορεί να αποδειχθεί τοξικό και επικίνδυνο.

Οι Jackson *et al.* ([40], [41]) παρατήρησαν επίσης την συμπεριφορά του νικελίου και του χαλκού στην απευθείας εφαρμογή των πτηνοτροφικών περιττωμάτων σε καλλιέργειες. Η συγκέντρωσή τους μετρήθηκε σε ίχνη, αλλά παρατηρήθηκε ότι είναι το ίδιο κινητικά και ευδιάλυτα, με ασταθή μορφή και το 70% αντίστοιχα να απαντώνται σε κατιονική μορφή.

Πέραν της αέριας και της οργανικής και ανόργανης ρύπανσης, που εμπίπτουν στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, στον εμπλουτισμό των υπογείων υδάτων με στοιχεία που οξύνουν το πρόβλημα του ευτροφισμού των υδάτων, στην διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών στο έδαφος, μπορούν να ειπωθούν για τα πτηνοτροφικά απόβλητα και η αισθητική ρύπανση και η εμφάνιση δυσάρεστων οσμών τοπικού χαρακτήρα.

Η αισθητική ρύπανση δεν έχει αναφερθεί βιβλιογραφικά, ούτε εμφανίζει κάποιο συγκεκριμένο ενδιαφέρον, καθώς δεν αποτελεί πρόβλημα. Η αρχική χωροθέτηση των πτηνοτροφικών μονάδων, έγινε στα περίχωρα των αστικών κέντρων, μη αποτελώντας πρόβλημα στον γενικότερο αρχιτεκτονικό ιστό μια πόλης.

Σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση, αν και θεωρείται τοπικού φαινομένου, αποτελεί η εκπομπή δυσάρεστων οσμών από πτηνοτροφικές μονάδες. Οι επιπτώσεις των παραγόμενων αερίων, η συγκέντρωσή τους, η περίοδος έκθεσης και τα συμπτώματα, ο βαθμός ενόχλησης στην διάρκεια της ημέρας και της νύχτας περιγράφονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες. Αέρια όπως οι αμμωνία, το υδρόθειο, το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα πλησίον των πτηνοτροφικών μονάδων, έχοντας ως επίπτωση όχι μόνο στην δυσάρεστη οσμή για την πλησίον περιοχή, αναλόγως τον άνεμο που επικρατεί, αλλά και κατά την παρατεταμένη εμφάνιση και εισπνοή από τους ανθρώπους, μπορούν να οδηγήσουν σε δυσάρεστες επιπτώσεις για τον ανθρώπινο οργανισμό, τόσο του προσωπικού που εργάζεται σε τέτοιους χώρους, όσο και των πλησίον κατοίκων.

Βαθμός διάδοσης – ενόχλησης από οσμές στη διάρκεια της νύχτας			
<i>Άνεμος</i>	<i>Καθαρός ουρανός</i>	<i>Ελαφρά συννεφιασμένος</i>	<i>Νεφοσκεπής</i>
Ασθενής	* * * * *	* * * * *	* * * * *
Μέτριος	* * * *	* * * *	* * *
Ισχυρός	* * *	* * *	* *
Βαθμός διάδοσης – ενόχλησης από οσμές στη διάρκεια της ημέρας			
<i>Άνεμος</i>	<i>Χωρίς ηλιοφάνεια</i>	<i>Ασθενής ηλιοφάνεια</i>	<i>Ισχυρή ηλιοφάνεια</i>
Ασθενής	* * * *	* * *	* *
Μέτριος	* * *	* *	*
Ισχυρός	* *	*	*
* = ελάχιστη έως ***** = μέγιστη			

Πίνακας 9: Βαθμός διάδοσης – ενόχλησης από οσμές [25]

Επιπτώσεις					
Αέριο	Οσμή	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση	Συγκέντρωση	Περίοδος έκθεσης	Συμπτώματα
		(ppm)	(ppm)	(λεπτά)	
Αμμωνία (NH₃)	Δριμεία	50	400-5.000	30' - 40'	Ερεθισμός λάρυγγα, ματιών Βήχας Ασφυξία Θάνατος
Υδρόθειο (H₂S)	Οσμή σάπιου αγού	10	100-1.000	30' - 60'	Ερεθισμός ματιών, μύτης, Πονοκέφαλος, Ζάλη, Ναυτία Ασφυξία, Θάνατος
Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)	Καμία	5.000	30.000- 3.000.000	30'	Έντονη αναπνοή, Πονοκέφαλος ,Ασφυξία, Θάνατος
Μεθάνιο (CH₄)	Καμία	1.000	5.000	-	Πονοκέφαλος, Ασφυξία

Πίνακας 10: Ιδιότητες και επιπτώσεις των παραγόμενων αερίων σε πτηνο-κτηνοτροφικές μονάδες [25]

2.4. Τρόποι διαχείρισης

Η παραγωγή γεωργικών αποβλήτων, αν και μικρότερης κλίμακας σε σύγκριση με τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, και περισσότερο τοπικού χαρακτήρα, θα πρέπει να αντιμετωπίζεται εξίσου αποτελεσματικά, στα πλαίσια της γενικότερης προσπάθειας προστασίας του περιβάλλοντος. Ως αρχικό και απαραίτητο προς υλοποίηση μέτρο συνίσταται η ενημέρωση του αγροτικού πληθυσμού, η οποία θα συμβάλλει στην απόκτηση της απαραίτητης περιβαλλοντικής συνείδησης, απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία κάθε εφαρμοζόμενου μέτρου για την προστασία του περιβάλλοντος. Ο γενικότερος σκοπός της επεξεργασίας των γεωργικών αποβλήτων αφορά την απομάκρυνση ή ελαχιστοποίηση του ρυπαντικού τους φορτίου, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Τα στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων, εμπιερχομένου και των πτηνοτροφικών μονάδων, θεωρούνται καθαρά οργανικά υπολείμματα ([19]) και αποτελούν πρώτη ύλη για άμεση αξιοποίησή τους. Παρόλα αυτό, πριν την χρησιμοποίηση οποιασδήποτε μεθόδου επεξεργασίας είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν κατάλληλοι και αντίστοιχοι προκαταρτικοί χειρισμοί.

Στην διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων απαιτείται ο κατάλληλος σχεδιασμός για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων, καθώς και των οσμών. Η έως τώρα επεξεργασία στηρίζεται στις ήδη υπάρχουσες και αναπτυσσόμενες τεχνολογίες και μεθόδους αποβλήτων, οι οποίες θα αναφερθούν στο επόμενο κεφάλαιο, ως το βασικό μέρος επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών. Γενικότερα μέτρα και προκαταρτικοί χειρισμοί μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα. Ο σχεδιασμός κατάλληλου αποχετευτικού δικτύου, το οποίο σχεδιάζεται για την συλλογή και απομάκρυνση των αποβλήτων από τους χώρους παραγωγής. Τα στερεά και ημιστερεά απόβλητα μπορούν να απομακρυνθούν με μηχανικό τρόπο, όπως για παράδειγμα μηχανικές ξέστρες και τα υγρά απόβλητα με χωριστή συλλογής απορρεόντων υγρών και κατασκευή ειδικών χώρων. Ο σχεδιασμός και ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος χώρου, συστήματα αερισμού και διαμόρφωση χώρου.

3. Μέθοδοι Αξιοποίησης Απορριμμάτων

Οι μέθοδοι διαχείρισης των γεωργικών αποβλήτων και απορριμμάτων και κατά επέκταση και των πτηνοτροφικών μονάδων διακρίνονται σε βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο και τα μέσα διαχείρισης. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στις πιο διαδεδομένες μεθόδους που βρίσκει εφαρμογή η διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων.

Οι φυσικοί μέθοδοι θεωρούνται ως οι μέθοδοι που αποσκοπούν στην απομάκρυνση χονδρόκοκκων αιωρούμενων και επιπλεόντων στερεών συστατικών, καθώς και στην ομογενοποίηση και διακίνηση των αποβλήτων.

Οι χημικοί μέθοδοι θεωρούνται αυτές που αποσκοπούν στην απομάκρυνση λεπτόκοκκων, κατά κύριο λόγο, αιωρούμενων και διαλυμένων συστατικών μετά από συσσωμάτωση και κατακρήμνισή τους στον πυθμένα της εγκατάστασης.

Οι θερμικοί μέθοδοι χρησιμοποιούν ως κύριο μέσο την καύση των απορριμμάτων για την παραγωγή θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι βιολογικοί μέθοδοι θεωρούνται ως οι μέθοδοι που βασίζονται στη δράση μικροοργανισμών, οι οποίοι διασπών τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων προς απλούστερα, απαλλαγμένα από βλαβερά συστατικά και οργανισμούς και ενεργειακά σταθερότερα προϊόντα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), η αμμωνία (CH_4), το νερό (H_2O), κ.λπ..

Πέραν αυτής της γενικής κατηγοριοποίησης, στις μέρες μας, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί με επιτυχία και καλύτερα αποτελέσματα νέοι μέθοδοι διαχείρισης, οι οποίοι αποτελούν συνδυασμό των προαναφερόμενων μεθόδων, όπως για παράδειγμα οι βιοχημικοί μέθοδοι επεξεργασίας. Στις ακόλουθες παραγράφους γίνεται αναφορά μόνο στις μεθόδους που βρίσκουν εφαρμογή στη διαδικασία επεξεργασίας και διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων.

3.1. Φυσικοί Μέθοδοι

Η απευθείας απόθεση των πτηνοτροφικών αποβλήτων, κυρίως σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις, ήταν και μπορεί να παραμένει η πιο διαδεδομένη μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων αυτών, σε παγκόσμια κλίμακα. Παρόλο τις θετικές επιπτώσεις της μεθόδου αυτής, αποδείχτηκε ότι προκαλεί σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλοντα χώρο. Οι επιπτώσεις δεν έγκειται μόνο στις

δυσάρεστες οσμές που εκλύονται, αλλά και στο φορτίο των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Το φορτίο αυτό μπορεί εύκολα να μετακινηθεί και να εκπλυθεί, ρυπαίνοντας αντίστοιχα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, μεταδίνοντας την ρύπανση και σε ευρύτερες περιοχές. Ιδιαίτερα προβλήματα εντοπίζονται από τις συγκεντρώσεις σε άζωτο και φώσφορο ([42]). Επιπρόσθετα, ο κίνδυνος της δημόσιας υγιεινής είναι μεγάλος, καθώς πληθώρα παθογόνων και τοξικών μικροοργανισμών βρίσκονται εν δυνάμει στα πτηνοτροφικά απόβλητα ([43]). Επομένως, υιοθετήθηκε η μέθοδος της υγειονομικής ταφής, την εγκατάσταση και την λειτουργία δηλαδή χώρων ελεγχόμενης απόθεσης των στερεών αποβλήτων-απορριμμάτων. Ένας σύγχρονος χώρος διάθεσης θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με γνώμονα τη διασφάλιση συνθηκών ευστάθειας, να διαθέτει σύστημα αντιπυρικής προστασίας, δίκτυο απορροής όμβριων υδάτων και σύστημα διαχείρισης των στραγγισμάτων, σύστημα μόνωσης και στεγανοποίησης για την αποφυγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων, σύστημα αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου και σύστημα παρακολούθησης του Χ.Υ.Τ.Α..

3.2. Θερμικοί Μέθοδοι

Οι πιο διαδεδομένοι και εφαρμόσιμοι μέθοδοι για την θερμική επεξεργασία πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι η απευθείας καύση (direct combustion), η πυρόλυση (pyrolysis) και η αεριοποίηση (gasification). Οι βασικές διαφορές των μεθόδων αυτών έγκειται στο ποσοστό ύπαρξης οξυγόνου κατά τη διαδικασία της καύσης.

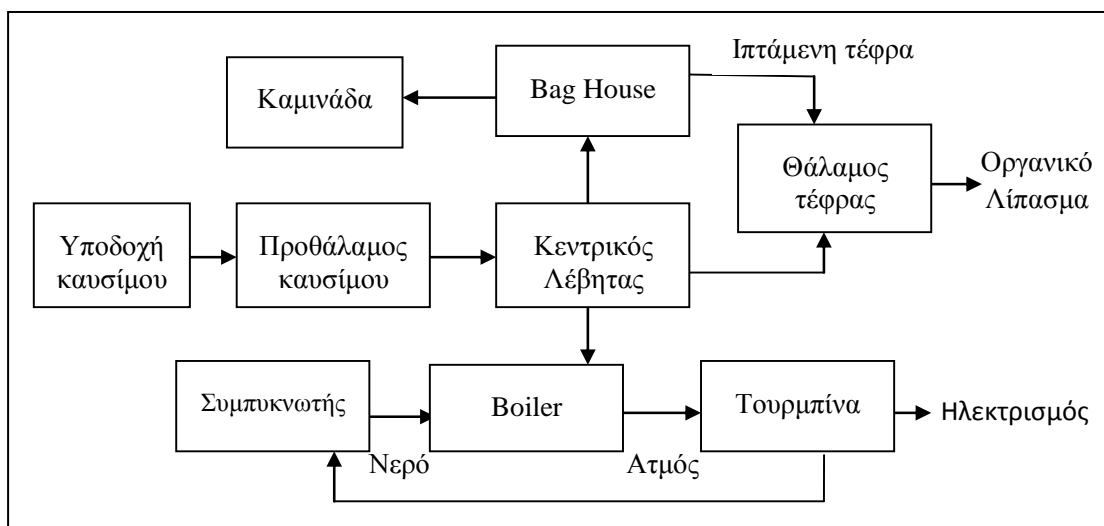
Η απευθείας καύση λαμβάνει χώρα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και απαιτεί ειδικές συνθήκες, ακριβής αναλογία αντιδραστηρίων ή περίσσεια οξυγόνου. Η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου και σχετικά μικρές θερμοκρασίες και η αεριοποίηση απαιτεί μέσες θερμοκρασίες και μικρές ποσότητες οξυγόνου κατά την διαδικασία (Πίνακας 11). Τα κύρια προϊόντα των θερμικών μεθόδων είναι αέρια, όπως το οξείδια του άνθρακα και υδρογόνο και στερεάς μορφής όπως είναι η τέφρα. Στην μέθοδο της αεριοποίησης εντοπίζεται και υποπροϊόν υγρής μορφής.

	Απευθείας Καύση	Πυρόλυση	Αεριοποίηση
Θερμοκρασία (F)	3600	390-1100	1100-1800
Παροχή O ₂	Περίσσεια	Καθόλου	Ελάχιστη
Παραγόμενα	CO ₂ , H ₂ O, τέφρα	CO, H ₂ , τέφρα	Λάδι, πίσσα

Πίνακας 11: Ιδιότητες θερμικών μεθόδων

3.2.1. Απευθείας καύση πτηνοτροφικών αποβλήτων

Η απευθείας καύση (direct combustion) έχει ως σκοπός την άμεση διάθεση των πτηνοτροφικών αποβλήτων για τη δημιουργία θέρμανσης ή για την παραγωγή ενέργειας σε πτηνοτροφία ή 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. Ένα γενικό διάγραμμα ροής ενός συστήματος απευθείας καύσης φαίνεται στην Εικόνα 1. Τα κύρια μέρη να είναι: Η υποδοχή του καυσίμου/αποβλήτων με την βοήθεια φορτηγών, ο προθάλαμος, όπου αποθηκεύεται το καύσιμο και ο κεντρικός λέβητας όπου συντελείται η αποτέφρωση στους 850°C για 2 δευτερόλεπτα. Κατόπιν το καύσιμο διαχωρίζεται. Από τη μια μεριά οδηγείται προς το Boiler, όπου έχουμε θέρμανση του νερού στους 450°C. Ο παραγόμενος ατμός κινεί την ηλεκτρική τουρμπίνα με συνέπεια την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή για την ανατροφοδότηση του συστήματος. Από την άλλη μεριά η παραγόμενη τέφρα και τα παραγόμενα αέρια εισέρχονται στον θάλαμο τέφρας και στο Bag House αντίστοιχα με τελικά προϊόντα για την μεν πρώτη περίπτωση οργανικό λίπασμα για τη δε δεύτερη αέρια στην καμινάδα, κυρίως ως εξατμιζόμενη μορφή νερού.



Εικόνα 1 : Διάγραμμα ροής συστήματος παραγωγής ενέργειας από την καύση πτηνοτροφικών απορριμμάτων.

Η θερμογόνος δύναμη των πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι περίπου 13.5GJ/ton, το μισό περίπου της θερμογόνου δύναμης του κάρβουνου, αλλά μειώνεται καθώς το ποσοστό της υγρασίας αυξάνεται. 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 το σύστημα καύσης.

Μετά 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 διαχειρίζονται 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 (selective non-catalytic reduction flue gas control, SNCR). Προς εξέταση βρίσκονται και οι εκπομπές αρσενικού στην ατμόσφαιρα, καθώς τα διατροφικά σκευάσματα των πτηνών είναι πλούσια σε οργανικό αρσενικό, με σκοπό την αύξηση του βάρους των πτηνών.

Τα συστήματα καύσης μπορεί να διαχωριστούν ανάλογα το τύπο του συστήματος καύσης, την φύση των απορριμμάτων προς καύση και την χωρητικότητά τους. Ωστόσο, μια ευρύτερη κατηγοριοποίηση των συστημάτων καύσης σύμφωνα με το Kelleher et al. ([7]) είναι η ακόλουθη.

- **Συστήματα καύσης μάζας (Mass-burn combustion)**

Πρόκειται για μεγάλης κλίμακας αποτεφρωτήρες με μία μονάδα/θάλαμο καύσης όπου πραγματοποιείται η καύση των απορριμμάτων. Μπορούν να διαχειριστούν 10 έως 50 τόνους την ώρα με επιτυχημένη εφαρμογή στη μετατροπή σε ενέργεια..

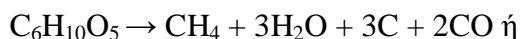
- **Σε άλλους τύπους συστημάτων (Other types of combustion)**

Περιλαμβάνει τις μικρές μονάδες καύσης, διαχείρισης από 1 έως 2 τόνους την ώρα. Υπάρχουν διαφόρων τύπων συστήματα όπως του ρευστού τύπου (fluidized bed type), της περιστροφικής καμίνου και των υγρών η αέριων αποτεφρωτήρων. Τα συστήματα ρευστού τύπου (Fluidized bed) κάνουν καύση διαφόρων τύπου απορριμμάτων -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 απορριμμάτων 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 αποδοτικότητά 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.

3.2.2. Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι η θερμική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων απουσία οξυγόνου, η οποία έχει ως κύρια παράγωγα τα καύσιμα αέρια, το λάδι και την ανθρακική τέφρα. Πρόκειται για μια διεργασία ισχυρά ενδόθερμη για την διεξαγωγή της οποίας απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Γενικές μορφές της αντίδρασης της πυρόλυσης είναι οι ακόλουθες:



Το ποσοστό από το κάθε ένα παραγόμενο συστατικό εξαρτάται από τις συνθήκες της διαδικασίας, τη θερμοκρασία, το βαθμό θέρμανσης και την προεργασία και τη σύσταση των αποβλήτων. Οι τυπικές και σύνηθες θερμοκρασίες της μεθόδου είναι από 300 έως 800 °C. Σε χαμηλές θερμοκρασίες και σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της διαδικασίας, παράγεται μεγαλύτερο ποσοστό λαδιού, ενώ σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες το ποσοστό του παραγόμενου αερίου αυξάνεται.

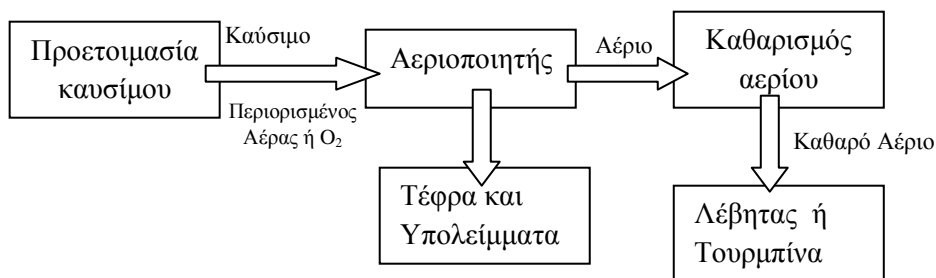
Το παραγόμενο αέριο αποτελείται κυρίως από διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μεθάνιο και σε μικρότερες συγκεντρώσεις από άλλους αέριους υδρογονάνθρακες και ασυμπύκνωτα λάδια. Το ποσοστό του παραγόμενου αερίου κυμαίνεται από 10 έως 29% και η θερμαντική του ικανότητα φθάνει περίπου στο μισό του φυσικού αερίου.

Το παραγόμενο «υγρό», αναφέρεται συνήθως ως bio-oil, pyrodiesel, biocrude ή λάδι της πυρόλυσης. Το ποσοστό του κυμαίνεται από 60 έως 70% και αποτελείται από μια πολύ σύνθετη χημική μορφή, αποτελούμενη κυρίως από υδρογονάνθρακες, λιγνίνη και άλλα αποσυντιθέμενα υλικά. Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτού του παραγόμενου υγρού είναι η μη σταθερότητά του, η ημίρρευστη μορφή του, η όξυτητά του, η διαβρωτική ικανότητά του, καθώς και η περιεκτικότητα σε τέφρα και νερό. Παρόλα αυτά με τον κατάλληλο εξευγενισμό του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του υγρού αυτού είναι ότι μπορεί να παραχθεί σε διαφορετικό μέρος, αλλά μπορεί να αποθηκευτεί σε υποδομές παρόμοιες με τα συμβατικά καύσιμα.

Το παραγόμενο στερεό της διαδικασίας είναι κυρίως η τέφρα (ash) και τα υπολείμματα της καύσης (char), τα οποία αποτελούνται από ανόργανα υλικά και άνθρακα. Η παραγόμενη περιεκτικότητα σε στερεά κυμαίνεται από 10 έως 40% και εξαρτάται από την σύνθεση των πτηνοτροφικών αποβλήτων και την συνθήκες της μεθόδου. Η σύνθεσή του εμπεριέχει φώσφορο, κάλιο ασβέστιο και άλλα στοιχεία, με το ποσοστό σε άζωτο να είναι αβέβαιο. Το παραγόμενο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή λιπάσματος καθιστώντας το οικονομικά αξιοποιήσιμο.

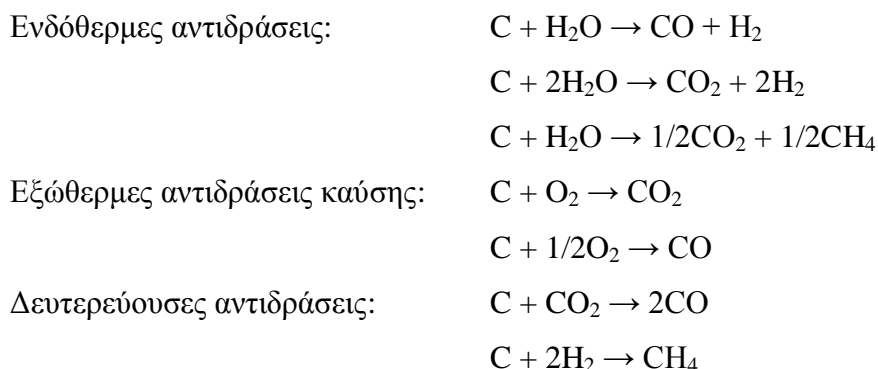
3.2.3. Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση ως διαδικασία μετατρέπει τα οργανικά απορρίμματα σε ένα μίγμα αερίων, σε συνθήκες ανεπάρκειας αέρα ή οξυγόνου. Το παραγόμενο μίγμα αερίων αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, αλλά και από διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και νερό. Το μίγμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για εσωτερικές μηχανές καύσης ή τουρμπίνες. Ένα γενικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας απεικονίζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής αεριοποίησης

Οι κύριες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την αεριοποίηση είναι οι εξής:



Η αεριοποίηση του κάρβουνου ως καύσιμη ύλη ήταν ήδη διαδεδομένη από τις αρχές του δέκατου όγδοου αιώνα, σε αντίθεση με την χρήση διαφορετικών υλικών ως καύσιμη ύλη που αναπτύχθηκε στις μέρες μας με την αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών. Όσο αφορά στα γεωργικά απόβλητα και ειδικότερα στα πτηνοτροφικά, διαφορετικά συστήματα και διαδικασίες έχουν αναπτυχθεί σε σχέση με το είδος, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπό καύση διαφόρων υλικών, την ύπαρξη ή μη αναμίξεων, τις υπό πίεσης και θερμοκρασίας συνθήκες της λειτουργίας του συστήματος, την παρουσία ή απουσία εισαγωγής ατμού και με τον εάν η θερμοκρασία της αντίδρασης παρέχεται από εξωτερική ή εσωτερική πηγή.

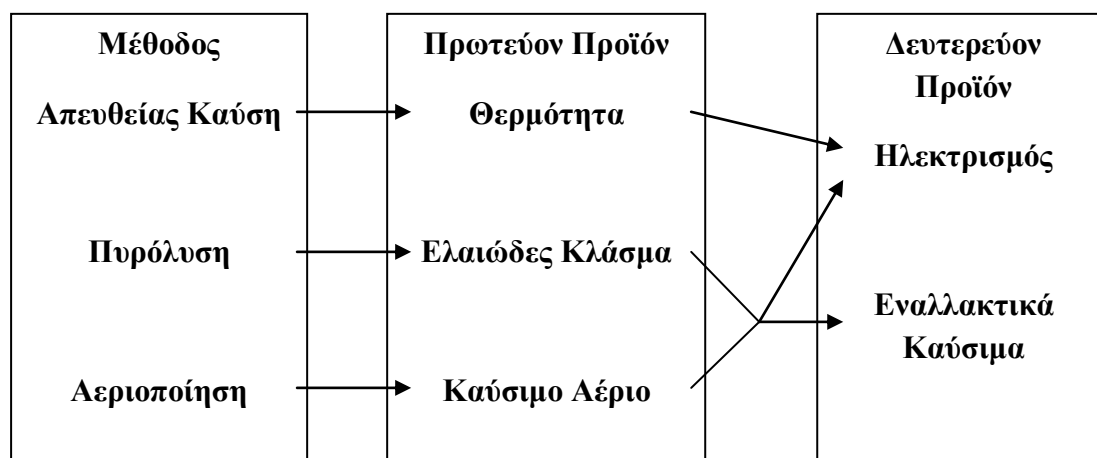
Η ποιότητα του παραγόμενου αερίου (H_2 , CO , CH_4 , κλπ) που δημιουργείται από το σύστημα επηρεάζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, από την διαμόρφωση-διάταξη του αεριοποιητή και της ποσότητας του παρεχόμενου αέρα ή οξυγόνου στο σύστημα. Ειδικότερα, η υγρασία των αρχικών αποβλήτων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία της αεριοποίησης. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό υγρασίας, τόσο μεγαλύτερη θερμότητα καταναλίσκεται για την εξάτμιση και τόσο λιγότερη ενέργεια παραμένει για την εξαέρωση ([44]). Καλύτερης ποιότητας αέριο παράγεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ωστόσο όταν η θερμοκρασία πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, η οξειδοαναγωγική αντίδραση αναστέλλεται και η συνολική θερμότητα που απελευθερώνεται μειώνεται ([9]). Τελικά προϊόντα της μεθόδου είναι το στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή και ένα συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα. Το στερεό υπόλειμμα παρουσιάζει προσροφητικές ιδιότητες παρόμοιες με τον εμπορικό ενεργό άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ή νερού που προορίζεται για διάφορες χρήσης

Η αεριοποίηση ως μέθοδος έχει μικρότερες εκπομπές σε οξείδια του αζώτου σε σχέση με την απευθείας καύση, λόγω των μικρότερων θερμοκρασιών που λαμβάνουν χώρα και του περιορισμένου όγκου αέρα ή οξυγόνου που απαιτείται. Οι βασικοί τύποι εγκαταστάσεων της

αεριοποίησης είναι η κάθετης ή η οριζόντιας σταθερής κλίνης, η ρευστοποιημένης κλίνης, των πολλαπλών εστιών και τις περιστρεφόμενου κλιβάνου.

3.2.4. Αξιολόγηση μεθόδων

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων με βάση τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα εκμεταλλεύσιμα προϊόντα τους. Οι θερμικοί μέθοδοι προσφέρουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να αξιοποιήσουν τα πτηνοτροφικά απόβλητα ως καύσιμη ύλη. Επομένως μπορούν να συμβάλουν στην τοπική κοινωνία, τόσο στο οικονομικό κομμάτι όσο και στην μείωση των αποβλήτων που θα πρέπει να διατεθούν στο έδαφος. Μειώνουν ή και εξαλείφουν τις οσμές και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα υποπροϊόντα των θερμικών μεθόδων μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω ως υλικά για αποκατάσταση χώρων ή λιπάσματα. Σε αντίθεση, οι θερμικές μεθόδους δημιουργούν αέριες εκπομπές, οι οποίες πρέπει να αναφερθούν. Επιπλέον, προαπαιτεί την συνεχή τροφοδοσία και την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων πτηνοτροφικών αποβλήτων. Το οικονομικό κόστος των μεθόδων αυτών είναι ευμετάβλητο και μεγάλου εύρους, ανάλογα τις χρησιμοποιούμενες επιπρόσθετες τεχνολογίες, προεπεξεργασίας, ξήρανσης, καθαρισμού βιοαερίου, εκπομπών αερίων και ηλεκτρικών γεννητριών.



Εικόνα 3: Θερμικοί μέθοδοι επεξεργασίας και προϊόντα

Η πλέον διαδεδομένη από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας με πολλές εγκαταστάσεις στην Ευρώπη είναι η απευθείας καύση όπου αξιοποιείται μόνο η θερμική ενέργεια των καυσαερίων της διεργασίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Σε σχέση με την διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων η μέθοδος της απευθείας καύσης

παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η παραγωγή ενέργειας, η μείωση του αρχικού όγκου των αποβλήτων, η συγκέντρωση φωσφόρου και καλίου στην υπολειπόμενη τέφρα κάνοντας εύκολη την μεταφορά της και το γεγονός ότι το άζωτο δεν υπάρχει καθόλου στην στερεή φάση. Βασικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας της καύσης συνοψίζονται σε θέματα αέριων εκπομπών και κυρίως μορφών αζώτου, με συνέπεια την χρήση πολυδάπανων συστημάτων καθαρισμού των αέριων ρύπων και οι υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου, καλίου, νατρίου, αρσενικού που μπορεί να εμφανιστούν στο στερεό υπόλειμμα που μένει ως παραπροϊόν της διεργασίας και το οποίο πρέπει να υποστεί επεξεργασία πριν την εναπόθεσή του στους ΧΥΤΑ.

Όσο αφορά την διεργασία της πυρόλυσης στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται η χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης που έχει ως συνέπεια την μικρότερη καταπόνηση της εγκατάστασης, οι μικρότερες εκπομπές αέριων ρύπων, η μη παραγωγή υπολειμματικής τέφρας, η μη οξείδωση των μετάλλων κατά την καύση (εμπορεύσιμα) και η μεγαλύτερη μείωση του όγκου των αρχικών απορριμμάτων σε σχέση με την απευθείας καύση. Βασικά όμως μειονεκτήματα αποτελούν οι εγκαταστάσεις καθαρισμού των αέριων και υγρών αποβλήτων, που απαιτούν μεγάλο κόστος και η μικρή σχετικά εμπειρία εφαρμογών.

Σε σχέση με την διεργασία της αεριοποίησης πέραν του πλεονεκτήματος ότι το τελικό προϊόν θεωρείται εναλλακτικό καύσιμο, το στερεό υπόλειμμα παρουσιάζει προσροφητικές ιδιότητες παρόμοιες με τον εμπορικό ενεργό άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ή νερού που προορίζεται για διάφορες χρήσης.

Σε αντίθεση, οι εμφανιζόμενοι ρυπαντές στο αέριο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης,, όπως τα πισσώδη υλικά, τα αλογόνα, τα βαρέα μέταλλα και οι αλκαλικές ενώσεις χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης, που συνεπάγεται επιπρόσθετο κόστος λειτουργίας.

3.2.5. Εφαρμογές μεθόδων

Στο Glanford της Αγγλίας λειτουργεί ένας από τους μεγαλύτερους σταθμούς καύσης πτηνοτοροφικών αποβλήτων, το οποίο από το 2000 και 2004 πήρε άδεια για καύση κρέατος και οστών και κάθε τύπου βιομάζας αντίστοιχα. Ο σταθμός παραγωγής στο Thetford ικανότητας 38.5MW, κατασκευάστηκε το 1999 και θεωρείται ο μεγαλύτερος παγκοσμίως στην διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων, αφού χρειάζεται 420.000 τόνους ετησίως για να λειτουργήσει ([7]). Στην Σκωτία από το 2001 λειτουργεί μονάδα καύσης πτηνοτροφικών

αποβλήτων, δυναμικότητας 110.00 τόνων και μάζιμουμ ικανότητας παραγωγής ενέργειας 9.8MW, με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και στην σύνκαυση των φτερών¹. Η υπολειπόμενη τέφρα από την καύση των περισσοτέρων σταθμών στην Αγγλία διαχειρίζεται ως λίπασμα, πλούσιο σε φώσφορο, κάλιο και ιχνοστοιχεία από την εταιρία Fibrophos Fertilisers, με παραγωγή το 2005/6 να ανέρχεται στους 70.000 τόνους². Παραδείγματα σε εφαρμογή παγκοσμίως, βρίσκει κανείς και από τις κατασκευαστικές εταιρίες Fibropower (1993, 2000) 14MWe με ταυτόχρονη καύση πτηνοτροφικών αποβλήτων και υπολειμμάτων ξύλου και προιονιδίων και Fibrowatt³ (1996-1999) 13.5MW και 38.5MW, με την τελευταία να εξελίσσει και αναπτύσσει το λέβητα για την καλύτερη διαχείριση της υγρασίας των αποβλήτων, με περαιτέρω εξέλιξη του συστήματος να γίνεται το 2000. Οι Habetz και Echols παρουσίασαν το 2006 [6] την απευθείας συνκαύση πτηνοτροφικών αποβλήτων, σε καθορισμένες συνθήκες μαζί με αστικά απόβλητα, σε υφιστάμενο κάμινο στην Αμερική. Ο κάμινος αυτός ήταν τύπου πολλαπλού δαπέδου (multiple heath furnace), χρησιμοποιώντας την πατέντα Circle Slots Jets για την καλύτερη διαχείριση του παρεχόμενου αέρα. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά τόσο για τις εκπομπές των παραγόμενων αερίων, όσο και για το υπόλειμμα της καύσης (ash) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως άριστο εδαφοβελτιωτικό.

Στην Ολλανδία η εταιρία BTG εξειδικεύεται στην τοποθέτηση αεριοποιητών μικρής κλίμακας ([10]). Έχει εγκαταστήσει κοντά σε πτηνοτροφική μονάδα 50.000πτηνών, αεριοποιητή που μπορεί να διαχειρίζεται 700 τόνους αποβλήτων ανά έτος (15% υγρασίας) παράγοντας 450MWh ανά έτος ηλεκτρικής ενέργειας, 350MWh θερμικής ενέργειας και 200 τόνους ανά έτος υπολείμματος (ash), τα οποία χρησιμοποιούνται για εσωτερική χρήση ή πώληση στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς και για βιομηχανική χρήση του υπολείμματος. Το κόστος μια τέτοιας εγκατάστασης είναι της τάξης των 450.00€ και η απόσβεσή του υπολογίζεται σε 7 χρόνια.

Όσον αφορά την πυρόλυση με σκοπό την διεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων και τις εφαρμογές των τελικών προϊόντων, πολλές από τις εφαρμογές και έως τώρα υλοποιησιμα σχέδια βρίσκονται σε μορφή πιλοτικών ακόμα προγραμμάτων.

Στο Παράρτημα 1 αναλύονται διεξοδικά εφαρμογές όλων των προαναφερόμενων μεθόδων σε παγκόσμια κλίμακα.

¹ Energy Power Resources Limited, www.eprl.co.uk

² Fibrophos, www.fibrophos.co.uk

³ Fibrowatt LLC, www.fibrowattusa.com

3.3. Βιολογικοί Μέθοδοι

Στην επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων με βιολογικές μεθόδους είναι ευρέως διαδεδομένη η αερόβια χώνευση ή κομποστοποίηση (composting). Γενικότερα, ο όρος κομποστοποίηση (composting) αναφέρεται στη βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες, θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού. Χαρακτηρίζεται ως η φυσική αερόβια χώνευση των οργανικών αποβλήτων, με την βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών, με τελικό αποτέλεσμα την μετατροπή του σε άοσμο και μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία οργανοχουμικό προϊόν, γνωστό ως κόμποστ.

Η κομποστοποίηση θεωρείται ως γρήγορη βιολογική μέθοδος, η οποία διαρκεί από 4 έως 6 εβδομάδες για την παραγωγή σταθεροποιημένου τελικού προϊόντος, γνωστού ως κόμποστ. Σε αντίθεση, η φυσική διαδικασία της χώνευσης χωρίς συχνή αναμόχλευση των σωρών και χωρίς εμπλουτισμό με αέρα, ξεπερνά συνήθως τους 6 μήνες και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ανεπαρκώς χωνεμένων τελικών προϊόντων και την ύπαρξη μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεων για την παρατεταμένη παραμονή και επεξεργασία των αποβλήτων αυτών.

Οι σκοποί της κομποστοποίησης συνοψίζονται:

- Η σταθεροποίηση της οργανικής ύλης.
- Η θανάτωση παθογόνων οργανισμών και σπόρων ζιζανίων.
- Η διατήρηση της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά.
- Η παραγωγή ενός ομοιογενούς, άοσμου και μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία τελικού προϊόντος, οικονομικά αξιοποιήσιμου ως λιπάσματος και εδαφοβελτιωτικού, λόγω των χουμικών συστατικών του (humic substances).

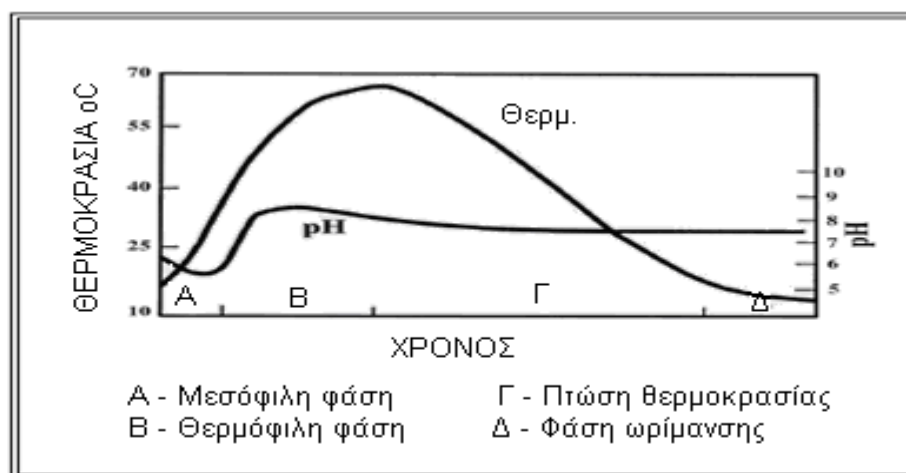
3.3.1. Στάδια αερόβιας χώνευσης

Η διαδικασία παραγωγής κόμποστ μπορεί να χωριστεί σε δύο στάδια

- Στάδιο σταθεροποίησης (χώνευσης) – θερμόφιλη φάση και μεσόφιλη φάση.
- Στάδιο ωρίμανσης.

Κατά το στάδιο της σταθεροποίησης παρατηρείται ταχεία άνοδος της θερμοκρασίας. Η ένταση και διάρκεια της φάσης αυτής εξαρτάται από τη σύνθεση της οργανικής ύλης και ιδιαίτερα από τα συστατικά εκείνα τα οποία αποτελούν πρόσφορο θρεπτικό υπόστρωμα, όπως είναι για παράδειγμα τα απλά σάκχαρα. Η αποδόμηση κατά την φάση αυτή πραγματοποιείται από θερμόφιλα είδη βακτηρίων, η δράση των οποίων δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες (>60°C) και τις αυξημένες τιμές του pH (8.0) (Εικόνα 4). Η

θερμοκρασία στο εσωτερικό του υλικού αυξάνεται ταχύτατα και μέσα σε λίγες μέρες μπορεί να φθάνει από 50 - 70°C, αν όμως πέσει κάτω των 45 °C απαιτείται αναμόχλευση (γύρισμα) των σωρών για επαναερισμό τους και έλεγχο της υγρασίας. Τα «γυρίσματα» απαιτούνται μέχρις ότου η θερμοκρασία να μη σημειώνει άλλη άνοδο, φθάνοντας έτσι στο τέλος του σταδίου της σταθεροποίησης. Η χρονική διάρκεια ποικίλλει ανάλογα με το είδος των αποβλήτων, συνήθως κυμαίνεται από 1 - 3 μήνες. Ο έλεγχος της υγρασίας του υλικού πριν από κάθε γύρισμα συνίσταται στο ότι αν η υγρασία μετρηθεί κάτω από 30 - 35% κ.β. θα πρέπει να επέλθει διαβροχή με νερό ή με τυχόν διαθέσιμα υγρά απόβλητα, μέχρι το επίπεδο των 40 - 60% κ.β., ανάλογα με την υφή του υλικού. Οι ενώσεις του αζώτου κατά την θερμόφιλη φάση αποδομούνται σχεδόν πλήρως και ταχύτατα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας που ανεβάζουν τις τιμές του pH σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Καθώς μειώνεται η διαθεσιμότητα των εύκολα αποδομήσιμων πηγών άνθρακα, εμφανίζονται θερμόφιλοι μύκητες-ακτινομύκητες, οι οποίοι αποδομούν ημικυτταρίνες και κυτταρίνες. Αντίθετα η λιγνίνη δεν αποδομείται σε θερμοκρασίες άνω των 65°C. Η αποδόμησή της συντελείται αργότερα σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες (<50°C), όταν επικρατούν πλέον οι λιγνολυτικοί μύκητες.

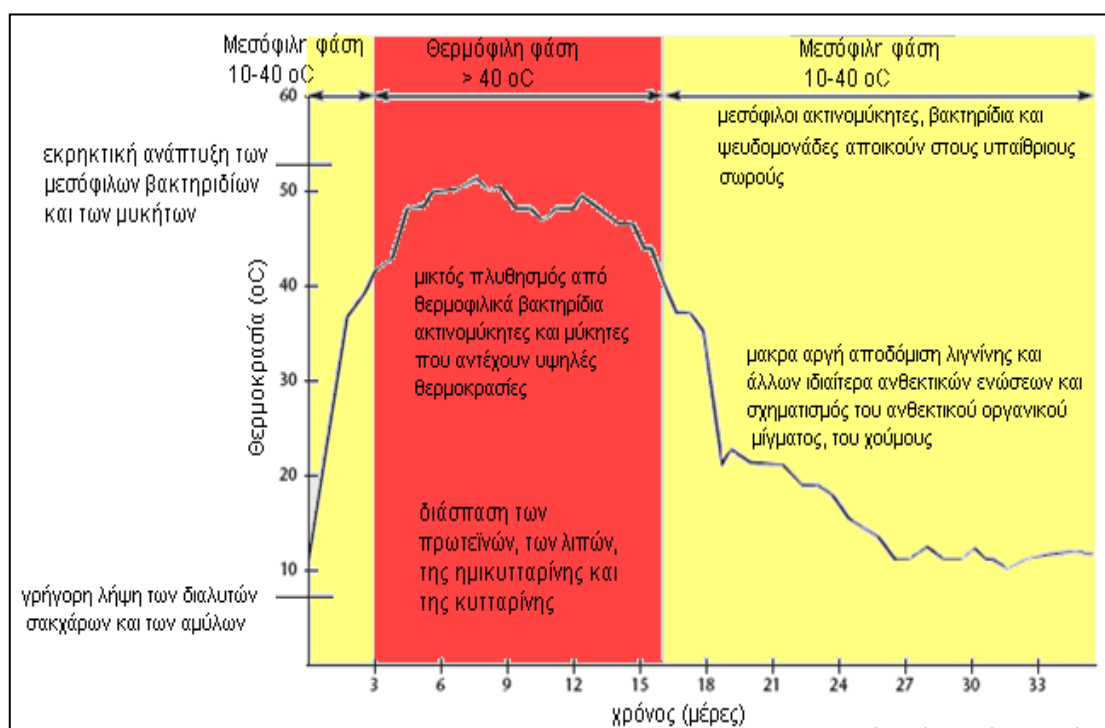


Εικόνα 4: Τυπική κατανομή θερμοκρασίας και pH κατά την διάρκεια των κυριότερων σταδίων της κομποστοποίησης (Πηγή: [1])

Καθώς μειώνεται η θερμοκρασία ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος μικροβιακής δραστηριότητας στον οποίο επικρατούν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, κυρίως μύκητες που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, οι οποίοι χρησιμοποιούν την κυτταρίνη που έχει απομείνει από το στάδιο της θερμόφιλης φάσης καθώς και την λιγνίνη. Τα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται με βραδύ ρυθμό και οι παραγόμενες ποσότητες θερμότητας δεν μπορούν

να αναπληρώσουν τις απώλειες. Κατά συνέπεια, η θερμοκρασία της διεργασίας εξακολουθεί να μειώνεται (Εικόνα 5).

Με το πέρας της δεύτερης μεσόφιλης φάσης το υλικό έχει πλέον αλλάξει την αρχική του μορφή, δομή και σύσταση. Το επόμενο στάδιο είναι η ωρίμανση του υποστρώματος η οποία είναι μία βίο-οξειδωτική βραδεία διαδικασία, η οποία μπορεί να διαρκέσει και μερικούς μήνες και πραγματοποιείται από μία μικτή μεσόφιλη μικροβιακή χλωρίδα. Επίσης κατά το στάδιο αυτό, επιτυγχάνεται η εξουδετέρωση τυχόν φυτοτοξικών ουσιών, που παρήχθησαν κατά τη διάρκεια της χώνευσης και εμπλουτίζεται το υλικό με διάφορα χουμικά οξέα. Για την ολοκλήρωση της κομποστοποίησης, οι σωροί των αποβλήτων σκεπάζονται με πλαστικό ή μεταφέρονται σε υπόστεγο, όπου και παραμένουν σε ηρεμία για 2-3 μήνες, χωρίς να είναι απαραίτητος ο συστηματικός αερισμός ή αναμόχλευσή τους ή το ύψος των σωρών.



Εικόνα 5: Το θερμοκρασιακό προφίλ των φάσεων της διεργασίας της κομποστοποίησης (Πηγή:[1])

Μετά το πέρας και του σταδίου της ωρίμανσης, το προϊόν είναι έτοιμο προς διάθεση και μπορεί να διατεθεί, χύμα ή σε σάκους, αφού πρώτα αφεθεί να στεγνώσει και να αποκτήσει υγρασία κάτω από 18% κ.β., είναι χρώματος φαιού μέχρι μαύρου, πρακτικά αδιάλυτο στο νερό, ελαφρώς γαιώδους οσμής και χαλαρής εύθρυπτης υφής.

3.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την αερόβια χώνευση και το τελικό προϊόν

Γενικότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ποσότητα και η ποιότητα του παραγόμενου χωνεμένου υλικού και οι γενικότεροι παράγοντες της σταθερότητας και της ωρίμανσης αυτού.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία της αερόβιας χώνευσης είναι η φύση του αρχικού προϊόντος, η σύστασή του, ο λόγος C/N, η θερμοκρασία, ο βαθμός τεμαχισμού, η περιεκτικότητα σε υγρασία, ο αερισμός και ο τρόπος διαχείρισής τους, μέθοδοι και ανάμιξη με άλλα υλικά. Οι παράγοντες αυτοί έχουν μεγάλη αλληλοσυσχέτιση και πολλές φορές πρέπει να εξετάζονται ταυτοχρόνως έτσι ώστε να ελεγχθεί και να βελτιστοποιηθεί η διεργασία της αερόβιας χώνευσης και η επίτευξη ενός κατάλληλου τελικού προϊόντος.

Καθώς το υπόστρωμα γίνεται η μοναδική πηγή τροφής για τους μικροοργανισμούς σε έναν σωρό κόμποστ, η φύση και τα χαρακτηριστικά, φυσικά και χημικά, του υποστρώματος είναι ο πιο βασικός παράγοντας ελέγχου σε οποιαδήποτε διεργασία της αερόβιας χώνευσης. Το πορώδες του υποστρώματος διευκολύνει την ανταλλαγή αερίου με την ατμόσφαιρα, καθιστώντας τον αερόβιο μεταβολισμό επικρατέστερο, απελευθερώνοντας θερμότητα άφθονα.

Το είδος των αρχικών υλικών, καθώς επίσης και το μέγεθος των τεμαχιδίων τους, επηρεάζουν σημαντικά την πορεία της αποσύνθεσης. Αν ο σωρός είναι πολύ μικρός ή μικρού πάχους, η θερμότητα χάνεται γρήγορα και η θερμοκρασία δεν μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Τέλος, τα υλικά θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από ουσίες που επιβραδύνουν την διαδικασία αποσύνθεσης και τα τεμάχιά τους θα πρέπει να έχουν μικρό μέγεθος, μεγάλο βαθμό τεμαχισμού, ώστε να προσβάλλονται ευκολότερα από τους μικροοργανισμούς

Προκειμένου να γίνει σωστά η διεργασία της αερόβιας χώνευσης, οι μικροοργανισμοί πρέπει να τροφοδοτηθούν με τα απαραίτητα θρεπτικά σε κατάλληλη αναλογία, σε μεγάλες ποσότητες είναι κατά σειρά προτεραιότητας ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K), και σε ιχνοστοιχεία, βόριο, κοβάλτιο, σίδηρο, μαγνήσιο, μολυβδαίνιο, σελήνιο, νάτριο, ψευδάργυρο. Έλλειψη ή περίσσεια τους επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης ή υπερσυγκέντρωση μπορεί να προκαλέσει τοξικότητες στους μικροοργανισμούς ([45], [46]).

Ο ρυθμός της αερόβιας χώνευσης των οργανικών αποβλήτων εξαρτάται πρωτίστως από τον λόγο άνθρακα προς άζωτο (C/N). Ο άνθρακας χρησιμεύει αρχικά ως πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο είναι κρίσιμο για την μικροβιακή πληθυσμιακή ανάπτυξη,

καθώς είναι ένα συστατικό της πρωτεΐνης που σχηματίζει πάνω από το 50% της ξηρής βακτηριακής κυτταρικής μάζας. Εάν το άζωτο είναι ο περιοριστικός παράγοντας, οι μικροβιακοί πληθυσμοί θα παραμείνουν μικροί και θα χρειαστεί περισσότερος χρόνος για να αποσυντεθεί ο διαθέσιμος άνθρακας. Η περίσσεια αζώτου, εκτός των μικροβιακών απαιτήσεων, χάνεται συχνά από το σύστημα ως αέριο αμμωνίας. Η ανοργανοποίηση (ή αποδόμηση) του αζώτου γενικά πραγματοποιείται σε δύο φάσεις, μια φάση γρήγορης εκθετικής ακινητοποίησης ή ανοργανοποίησης, ακολουθούμενη από μια αργή γραμμική φάση αναοργανοποίησης. Η αναλογία C/N του υποστρώματος καθορίζει εάν θα κυριαρχήσει η ακινητοποίηση ή ανοργανοποίηση του αζώτου στα αρχικά στάδια της αερόβιας χώνευσης. Αποτελεσματική παραγωγή κόμποστ επιτυγχάνεται όταν η αναλογία C/N κυμαίνεται από 25/1 έως 30/1.

Μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς το λόγο αυτό επιδρούν αρνητικά στην εξέλιξη της μεθόδου. Αν η αναλογία C/N είναι μεγαλύτερη από 35/1, τότε προκαλείται μια αργή αποσύνθεση που ευνοεί μεγαλύτερες απώλειες αζώτου. Εν αντίθεση, αν το αρχικό οργανικό υλικό παρουσιάζει χαμηλές τιμές C/N τότε ευνοούνται απώλειες αζώτου λόγω πτητικότητας της αμμωνίας

Ενδεικτικές τιμές C/N στα απόβλητα χοίρων κυμαίνονται μεταξύ 10 - 15:1 και περίπου στο μισό για τα πτηνοτροφικά. Για τα πτηνοτροφικά απόβλητα ένας μικρός λόγος C/N οδηγεί σε μεγάλες απώλειες αμμωνίας. Σύμφωνα με τον Rynk et al. ([47]), αν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ευνοϊκοί, ο χρόνος παραγωγής του κόμποστ εξαρτάται από το λόγο C/N ως ακολούθως:

$C/N = 20 : 1$ ή $20 - 50 : 1$ ή $78 : 1$ ο αντίστοιχος χρόνος σε ημέρες είναι 12 – 14 – 21.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ή ο ρυθμός με τον οποίον «στεγνώνουν» τα απόβλητα είναι βασικός παράγοντας στο ρυθμό διάσπασης των αποβλήτων και στην ικανότητα σταθεροποίησής τους. Επηρεάζει τις δράσεις των μικροβίων, καθώς παρέχει ένα μέσο για τη μεταφορά των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για τις μεταβολικές και φυσιολογικές δράσεις των μικροοργανισμών. Η ιδανική υγρασία για τη δημιουργία κόμποστ είναι 40 - 60 %, εξαρτώμενη σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο τεμαχισμού και την τεχνική αερισμού της μάζας των στερεών αποβλήτων. Πολύ χαμηλό (<30%) και πολύ υψηλό περιεχόμενο υγρασίας (>75%) αναστέλλει τις μικροβιακές δράσεις, απαγορευτικός παράγοντας έναρξης της διαδικασίας, εξαιτίας της πρόωρης αφυδάτωσης και της διαμόρφωσης αναερόβιων συνθηκών αντιστοίχως ([7]). Παράγοντες που συνεισφέρουν στην μείωση της υγρασίας είναι η εξάτμιση, η στράγγιση και ο τεχνικός ή φυσικός αερισμός.

Προβλήματα που εμφανίζονται από υψηλά επίπεδα υγρασίας, αντιμετωπίζονται με τον κατάλληλο αερισμό του μίγματος ή την αναμόχλευσή του

Κατά την κομποστοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων έχουν παρατηρηθεί μεγάλες απώλειες αζώτου, που μπορεί να κυμαίνονται από 21-77% ([2]). Οι μεγάλες εκπομπές αζώτου σχετίζονται με το σχηματισμό της αέριας αμμωνίας και είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον λόγο C/N, την υγρασία, την θερμοκρασία, τον αερισμό και τον τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων. Οι Elwell et al. ([48]) διαπίστωσαν ότι οι εκπομπές αμμωνίας από την κομποστοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι μεγαλύτερες συγκρινόμενες με τη χρήση άλλων κτηνοτροφικών αποβλήτων. Για τιμές C/N κάτω από 20/1, το άζωτο απελευθερώνεται με τη μορφή αμμωνίας και γι' αυτό είναι αναγκαία η προσθήκη υλικών πλούσιων σε οργανικό άνθρακα και φτωχών σε άζωτο, για παράδειγμα πριονιδιού, αργίλου, φλοιών καρύδας, φλοιών γκρέιπφρουτ που μπορεί να μειώσει έως και 80% τα επίπεδα εκπομπής της αμμωνίας προς την ατμόσφαιρα, να δεσμεύσει το άζωτο, να ομαλοποιήσει και να διευκολύνει την διεργασία της αερόβιας χώνευσης ([49], [50]).

Η διεργασία της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης εντείνει την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δύο από τις βασικές περιβαλλοντικές παραμέτρους, το οξυγόνο και τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία σε μια μάζα αερόβιας χώνευσης καθορίζει το ρυθμό κατά τον οποίο πολλές από τις βιολογικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα και έχει έναν εκλεκτικό ρόλο στην ανάπτυξη και τη διαδοχή των μικροβιακών κοινοτήτων. Το εύρος της θερμοκρασίας για την ομαλή βιολογική λειτουργία των μικροοργανισμών είναι μεταξύ 35 έως και 55°C ([51]), φθάνοντας στο τέλος της διαδικασίας την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σύνηθες δυσκολίες εμφανίζονται με την αλληλεπίδραση της υγρασίας, όπου υψηλά ποσοστά μπορούν να καθυστερήσουν χρονικά την έλευση της κατάλληλης θερμοκρασίας, καθώς και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 65°C, οι οποίες μπορούν να είναι θανατηφόρες για τους μικροοργανισμούς.

Παρατεταμένη υψηλή θερμοκρασία στο υπόστρωμα καταστρέφει ζιζάνια, παθογόνους μικροοργανισμούς, κάμπιες, και σκουλήκια και εμποδίζει την αναπαραγωγή μυγών. Μια θερμοκρασία των 65°C για τουλάχιστον τριάντα λεπτά θεωρείται ένα κρίσιμο κατώφλι-όριο για την αδρανοποίηση ή/και την εξουδετέρωση των παθογόνων μικροοργανισμών ([52]).

Η θερμοκρασία και το οξυγόνο διαμορφώνονται ανάλογα με την μικροβιακή δραστηριότητα, η οποία καταναλώνει οξυγόνο και παράγει θερμότητα. Οι παράμετροι αυτοί συνδέονται μέσω ενός κοινού μηχανισμού ελέγχου, τον αερισμό. Ο αερισμός είναι μία από τις συνιστώσες της

διαδικασίας ελέγχου, καθώς διασφαλίζει την ανάπτυξη επαρκών πληθυσμών αερόβιων μικροβίων και την εξέλιξη σταθεροποίησης της θερμοκρασίας ([53]). Ο σκοπός του αερισμού είναι να παρέχει το καταναλούμενο από τους μικροοργανισμούς οξυγόνο στο μείγμα της αερόβιας χώνευσης και απομακρύνει την περίσσεια θερμότητας από το σύστημα. Σε περίπτωση ανεπάρκειας οξυγόνου, πολλαπλασιάζονται οι αναερόβιοι οργανισμοί και τότε προκαλείται άσχημη μυρωδιά στο κόμποστ. Εάν δεν εξασφαλιστεί ο αερισμός, δεν δεσμεύεται το άζωτο σε οργανική μορφή και εντείνονται οι απώλειες του, καθώς επίσης δεν επιτυγχάνεται η ανάπτυξη της κατάλληλης θερμοκρασίας, που θα καταστρέψει τα παθογόνα μικρόβια. Η πλήρης αποσύνθεση απαιτεί την καλή οξυγόνωση ολόκληρου του σωρού.

Παρόλα αυτά έχει βιβλιογραφικά αναφερθεί η ανάμιξη πτηνοτροφικών αποβλήτων με άλλα οργανικά συστατικά, για παράδειγμα πριονίδια, υπολείμματα τροφών, πούπουλα, φυτικά υπολείμματα για παράδειγμα αραβόσιτο ([54]), σταφυλιών ([55]), σπόροι ελαιοκράμβης ([56]), λυματολάσπη ([57], [58]), ζωικά υπολείμματα ([59]), μίγματος φυτικών και ζωικών ([60], [61]), χαρτί ([58]) μπορεί να επηρεάσει θετικά ή αρνητικά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, προσφέροντας επίσης ένα μεγάλο εύρος τιμών C/N. Μπορεί να ανεβάσει το επίπεδο υγρασίας 73-80% ([62]), ή μπορεί να είναι ευνοϊκός παράγοντας για την αυτοθέρμανση του μίγματος, τη μικροβιολογική δραστηριότητα, τη μείωση των διαλυτών συστατικών και την εξάλειψη της φυτοτοξικότητας ([63]).

3.3.3. Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης

Η γενικότερη ταξινόμηση των συστημάτων αερόβιας χώνευσης γίνεται με βάση διάφορα κριτήρια. Η πιο βασική διάκριση μεταξύ των συστημάτων αερόβιας χώνευσης είναι το αν το υλικό περιέχεται σε έναν αντιδραστήρα ή όχι. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αντιδραστήρα είναι τα κλειστά συστήματα, ενώ αυτά που δεν χρησιμοποιούν είναι τα ανοιχτά συστήματα, υπάρχουν και τα μικτά συστήματα στα οποία γίνεται συνδυασμός των ανοιχτών και κλειστών συστημάτων.

Στην περίπτωση των πτηνοτροφικών αποβλήτων, το οποίο αποτελεί και επίκεντρο της παρούσας διατριβής, η διαχείριση στηρίζεται κυρίως στα ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης, με πειραματικές μεθόδους να βρίσκουν αναφορά σε κλειστά συστήματα και για τα οποία γίνεται αναφορά.

- Ανοικτά συστήματα κομποστοποίησης

Στα ανοικτά συστήματα, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ανοιχτούς χώρους ή χώρους τύπου θερμοκηπίου, με τη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού. Στα ανοικτά συστήματα συγκαταλέγονται τα σειράδια τύπου Hosoya και τύπου Okada και οι σταθεροί αεριζόμενοι σωροί. Οι βασικοί μηχανισμοί που ακολουθούνται και στα δύο συστήματα είναι παρόμοιοι, ο εξοπλισμός όμως που χρησιμοποιείται διαφέρει σημαντικά. Στην περίπτωση των σειραδίων το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των σταθερών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες.

- ο Σειράδια

Για τα στερεά απόβλητα των πτηνοτροφείων (αβγοπαραγωγής και κρεοπαραγωγής) έχουν δοκιμαστεί διάφορα μηχανικά συστήματα συνεχούς αναμόχλευσης - προώθησης - αερισμού με κοινό στοιχείο τη βαθμιαία οριζόντια μετακίνηση του υλικού από το σημείο εισόδου του στην εγκατάσταση στο σημείο εξόδου, στο οποίο φτάνει συνήθως σε διάστημα 15-30 ημερών. Δύο συστήματα είναι διαδεδομένα στις μέρες μας και τα δύο είναι ιαπωνικά και στηρίζονται σε ένα μηχανικό σύστημα αναμόχλευσης και κοπής των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε θερμοκηπιακού τύπου κατασκευές. Η αναμόχλευση πραγματοποιείται συνήθως ή με μετωπικούς αναμοχλευτές (straddle turners) ή με πλευρικούς αναμοχλευτές (Side-cutting windrow turners).

Ο τύπος Hosoya με το σχήμα του τούνελ να είναι οβάλ, αποτελείται από ένα ανοικτό, ρηχό, ωοειδές σχήματος κανάλι 80-100m μήκους και 4-6m εύρους, εξυπηρετώντας περίπου 100.000-120.000 στρώμα αποβλήτων, ύψους 1,0-1,2m, με συνεχής αναμόχλευση. Αποτέλεσμα του συστήματος είναι η εξαγωγή ενός μέρους υλικού να εξέρχεται του συστήματος, τόσο όσο εισέρχεται από την είσοδό του. Μειονέκτημα του συστήματος αυτού κατά τους Georgakakis και Krintas ([64]) σύμφωνα με την μελέτη τους είναι ότι διαδικασία της κομποστοποίησης δεν μπορεί να ολοκληρωθεί λόγω της μεγάλης πτώσης της θερμοκρασίας και του λιγοστού χρόνου παραμονής του υλικού, οπότε προτείνεται η χρήση του συστήματος ως προπαρασκευαστικού σταδίου της αερόβιας χώνευσης.

Ο τύπος Okada με το σχήμα του τούνελ να είναι ευθεία, με πλάτος τις εγκατάστασης από 4-5m, το μήκος της 60-100m, ανάλογα με την ημερήσια ποσότητα των αποβλήτων, ύψους 1-2m και το βάθος αναμόχλευσης να είναι 1,0 -1,10 m περίπου. Αποτέλεσμα είναι το υλικό να σπρώχνετε από το μηχανικό σύστημα προς την έξοδο.

ο Αεριζόμενοι σταθεροί σωροί (aerated static pile)

Με στόχο τη μείωση της απαιτούμενης έκτασης και τη βελτιστοποίηση της διεργασίας της κομποστοποίησης αναπτύχθηκαν οι τύποι σταθερών σωρών, όπου το μίγμα των υλικών σωριάζεται σε σταθερό σωρό στον οποίο εφαρμόζεται εξαναγκασμένος αερισμός.

Οι αεριζόμενοι σταθεροί σωροί διακρίνονται σε ατομικούς σωρούς (μέθοδος Rudgers) και σε εκτεταμένους σωρούς (μέθοδος Beltsville), που είναι και οι πιο σύνηθες λόγω της μικρότερης απαιτούμενης έκτασης. Ο αερισμός των σωρών μπορεί να γίνει με αναρρόφηση αέρα, ή εμφύσηση αέρα, ή με συνδυασμό και των δύο. Τα τελικά αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να αξιοποιηθεί πολύ καλύτερα το παρόν σύστημα, λόγω της μικρότερης έκτασης προς εγκατάσταση και λόγω των μικρότερων απωλειών σε θρεπτικά στοιχεία ([65], [63]). Μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί το υψηλός κόστος κατασκευής που μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες ευρώ για μικρές εγκαταστάσεις δίπλα στις πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, έως εκατομμύρια για μεγάλες εγκαταστάσεις και του αντίστοιχου χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού.

• Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης.

Στα συστήματα αυτά, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, κατακόρυφους, οριζόντιους ή περιστρεφόμενου τυμπάνου, όπου υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της παροχής αέρα, του pH, της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Εξαιτίας του μεγάλου κόστους των κλειστών συστημάτων αερόβιας χώνευσης, ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων είναι μικρός, μικρότερος των 5 ημερών, με αποτέλεσμα να μην παράγεται ένα σταθεροποιημένο τελικό προϊόν. Επομένως απαιτείται συνήθως συμπληρωματική σταθεροποίηση σε σωρούς. Στην ουσία οι κλειστοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται για να επιτελέσουν το πρώτο στάδιο της αερόβιας χώνευσης κατά το οποίο παράγονται οι περισσότερες οσμές και ο έλεγχος της διεργασίας είναι κρίσιμος.

3.3.4. Τελικό προϊόν

Ακόμα και σήμερα δεν υπάρχουν θεσμοθετημένες προδιαγραφές ποιότητας για το χωνεμένο υλικό (κόμποστ) παγκοσμίως, έχοντας ως αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη διακύμανση από χώρα σε χώρα ([66], [67]), η οποία συνήθως αντανακλά τις διαφορετικές προσεγγίσεις στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων και την αυστηρότητα στην προστασία του εδάφους.

Οι διαφορές που παρουσιάζονται στις προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ διεθνώς βασίζονται στο γεγονός ότι κάθε κράτος έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, και την

δική του πολιτική ως προς την κατάρτιση οριακών τιμών για τα Πιθανά Τοξικά Στοιχεία (PTEs) και των μεθόδων ελέγχου των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του κόμποστ.

Γενικότερα οι δημοσιευμένες προδιαγραφές παγκοσμίως αναφέρουν τα ελάχιστα κριτήρια που πρέπει να τηρούνται ως προς την συγκέντρωση Πιθανών Τοξικών Στοιχείων (Potential Toxic Elements-PTEs), τους οργανικούς ρύπους, τους παθογόνους μικροοργανισμούς, τις ακαθαρσίες και τα ζιζάνια και το επίπεδο ωρίμανσης-σταθεροποίησης του κόμποστ.

Στην γενικότερη μορφή του το τελικό προϊόν μπορεί να βρίσκεται προς διάθεση είτε ως κομποστοποιημένους σωρούς, χύμα διάθεση, είτε κατόπιν διεργασίας σε εμπορική μορφή παλετών, κόκκων ή σακιών.

3.3.5. Αξιολόγηση μεθόδου

Είναι πλέον ισχυρά τεκμηριωμένο ότι η προσθήκη κόμποστ στο έδαφος μπορεί να έχει θετική επίδραση σε μία μακρά σειρά χημικών, φυσικών και βιολογικών χαρακτήρων του. Το προϊόν αυτό είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία και χρησιμοποιείται ως οργανικό λίπασμα, με παραπλήσιες ιδιότητες και αποδόσεις αυτών των χημικών λιπασμάτων. Γενικότερα, το κόμποστ αυξάνει το περιεχόμενο του εδάφους σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο, μεταβάλλει την δομή του εδάφους εμπλουτίζοντάς το με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, αυξάνει την ικανότητα του εδάφους στο να συγκρατεί νερό και συμβάλλει στην μείωση του φαινομένου της διάβρωσης που σήμερα είναι έντονο σε παγκόσμιο επίπεδο. Τέλος, η χρήση του κόμποστ μπορεί επιπλέον να οδηγήσει σε έλεγχο ή ακόμη και σε εξάλειψη κάποιων παθογόνων μικροοργανισμών που βρίσκονται στα φυτά, να βελτιώσει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των εδαφών και των μέσων ανάπτυξης, να εφοδιάσει με ωφέλιμους μικροοργανισμούς το έδαφος, να σταθεροποιήσει το pH καθώς και να δράσει ως φίλτρο για τα βαρέα μέταλλα και τους οργανικούς ρύπους.

Σε αντίθεση, η διαδικασία της αερόβιας χώνευσης απαιτεί επαρκή χώρο εγκαταστάσεων, μακριά από κατοικημένες περιοχές, λόγω των αέριων οσμών και προστασία από τις βροχές, λόγω των εκπλύσεων που επιφέρονται. Για την επίτευξη κατάλληλου κόμποστ απαιτούνται ειδικές συνθήκες, θερμοκρασίας, υγρασίας, λόγου C/N κλπ., οι οποίες πολλές φορές δεν επιτυγχάνονται. Οι αέριες εκπομπές αμμωνίας επιπρόσθετα θέλουν ειδική διαχείριση και οι διάφοροι μέθοδοι κομποστοποίησης αυξάνουν το κόστος της εγκατάστασης. Η μεγάλη χρονική περίοδος ολοκλήρωσης της μεθόδου, καθώς και η ανάπτυξη ενός δικτύου διάθεσης, που συνεπάγεται την εξάρτηση από την αγορά του κόμποστ πολλές φορές κρίνεται ως

μειονέκτημα στην επιλογή της μεθόδου αυτής. Από οικονομικής άποψης, η κομποστοποίηση σε επίπεδο μονάδας μπορεί να ξεπεράσει της 100.000€, ενώ για μεγαλύτερη κλίμακα ή για διαφορετική μέθοδο αερόβιας χώνευσης, χρήση βιο-φίλτρων, μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ το εκατομμύριο.

3.3.6. Εφαρμογές μεθόδου

Στην παγκόσμια αγορά κανείς μπορεί να βρει πληθώρα εταιριών παραγωγής και διάθεσης προϊόντων κόμποστ. Η διαφορά αυτών έγκειται κυρίως στο γεγονός της χρήση διαφορετικού υποστρώματος για την παραγωγή κόμποστ. Επομένως, κανείς μπορεί να βρει κόμποστ παραγόμενο από φυτικής προέλευσης υπολείμματα, από ζωικής προέλευσης, από μίξη αυτών, από οργανικά απόβλητα διεργασιών, από φύκια θάλασσας και πολλών άλλων.

Από άποψη πτηνοτροφικών αποβλήτων ως υπόστρωμα, οι περισσότερες εταιρίες εντοπίζονται στην Αμερική, διαθέτοντας το προϊόν τους είτε χύδην, είτε σε μορφή κόκκων ή παλετών, είτε τέλος σε εμπορεύσιμα σακιά διαφόρου όγκου και σύστασης. Περισσότερες πληροφορίες για τις εταιρίες αυτές βρίσκονται στο Παράρτημα 1. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια δεν εντοπίζεται καμία εταιρία κομποστοποίησης, η οποία να χρησιμοποιεί ως υπόστρωμα τα πτηνοτροφικά απόβλητα, πλην της προσπάθειας που γίνεται πλέον από τον Δήμο Μεγάρων για την αξιοποίηση του υπάρχον δυναμικού του δήμου σε πτηνοτροφικά απόβλητα, χωρίς όμως την επαρκή εμπορική αξιοποίηση του τελικού προϊόντος.

3.4. Βιοχημικοί Μέθοδοι

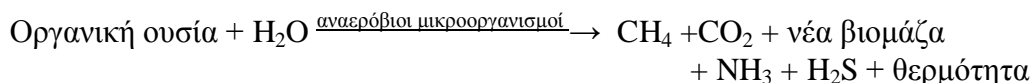
Οι βιοχημικοί μέθοδοι είναι ένας συνδυασμός βιολογικών και χημικών μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων. Η πιο συνήθης και ευρέως χρησιμοποιούμενη στη διεργασία επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι η Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ), η οποία εξετάζεται εκτενώς παρακάτω.

3.4.1. Αναερόβια Χώνευση

Αναερόβια χώνευση (ΑΧ) καλείται η βιοχημική διεργασία κατά την οποία σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, με τη βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών. Τα κύρια προϊόντα της διεργασίας αυτής είναι το βιοαέριο, αέριο καύσιμο αποτελούμενο κυρίως

από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, και το χωνεμένο υλικό, αποσυντεθειμένο υπόστρωμα επακόλουθο της διαδικασίας αυτής.

Η γενικότερη μορφή της διεργασία μπορεί να αποτυπωθεί στην ακόλουθη αντίδραση:



Ως πρώτη ύλη – υπόστρωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας, με κυριότερα τα ζωικά περιττώματα και οι πολτοί, τα γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα, τα οργανικά φυτικής και ζωικής βιομηχανίας, το οργανικό μέρος αστικών αποβλήτων, η λυματολάσπη και οι ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά μερικών εκ των υποστρωμάτων απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα.

Τύπος πρώτης ύλης	Οργανικό περιεχόμενο	Αναλογία C/N	ΞΟ%	VS% της ΞΟ	Παραγωγή βιοαερίου $\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{VS}$	Ανεπιθύμητες φυσικές ακαθαρσίες	Άλλα ανεπιθύμητα υλικά
Πολτός χοίρων	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50	Ξέσματα ξύλου, ύδωρ, σκληρές τρίχες, άμμος, σχοινιά, άχυρο	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά
Πολτός βοοειδών	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	6-20	5-12	80	0,20-0,30	σκληρές τρίχες, χώμα, ύδωρ, άχυρα, ξύλα	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά, NH_4^+
Πολτός πουλερικών	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	10-30	80	0,35-0,60	Αμμοχάλικο, άμμος, φτερά	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά, NH_4^+
Περιεχόμενα στομαχιών, εντέρων	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-5	15	80	0,40-0,68	Ζωικοί ιστοί	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά
Τυρόγαλο	75-80% λακτόζη 20-25% πρωτεΐνες	n.a.	8-12	90	0,35-0,80	Ακαθαρσίες μεταφοράς	
Συμπυκνωμένος ορός γάλακτος	75-80% λακτόζη 20-25% πρωτεΐνες	n.a.	20-25	90	0,80-0,95	Ακαθαρσίες μεταφοράς	
Άχυρο	Υδατάνθρακες, λιπίδια	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35	άμμος	

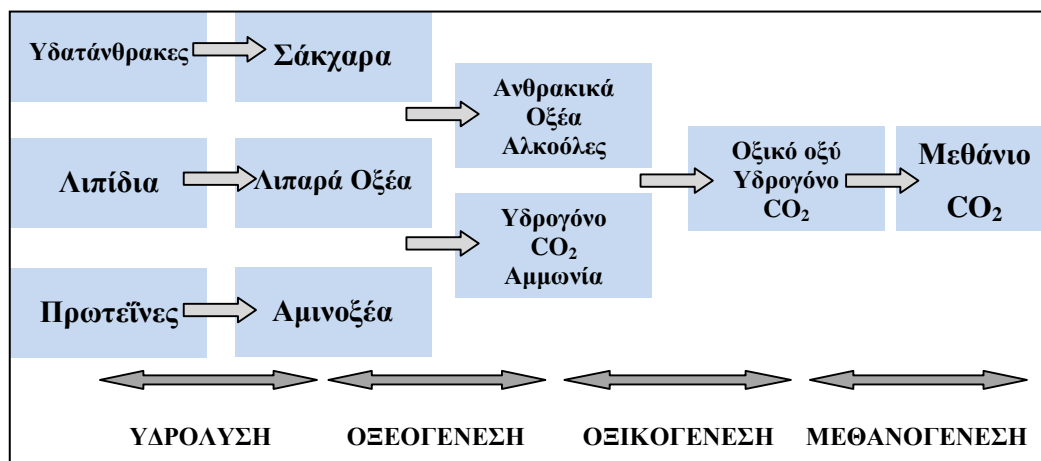
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων Αναερόβιας Χώνευσης [3]

Το μεθάνιο ως παράγωγο της διαδικασίας αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε λέβητες για θέρμανση ή για καύσιμο σε μηχανικές γεννήτριες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το υπόλοιπο στερεό υλικό που απομένει από την διεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Στις μέρες μας, η διεργασία αυτή πραγματοποιείται σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες, οι οποίες συνήθως ονομάζονται χωνευτήρες, με κύρια παράγωγα της διεργασίας αυτής το βιοαέριο και το χωνεμένο

υπόλειμμα. Στα συστήματα επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων απαιτείται ένα ελάχιστο συνεχές ποσό/όγκος αποβλήτων για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος. Η αναερόβια χώνευση των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να παράγει ένα συλλέξιμο μίγμα αερίων, μέσου όρου 60% περιεκτικότητας σε μεθάνιο.

3.4.2. Στάδια αναερόβια χώνευσης

Τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης προς παραγωγή βιοαερίου αποτελούν ένα συνδυασμό σταδίων κατά τα οποία το υπόστρωμα διασπάται σε μικρότερα στοιχεία από την παρουσία αναερόβιων μικροοργανισμών, τα οποία αποσυνθέτουν τα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων. Όλα τα στάδια της διεργασίας λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και στο χρόνο στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας αυτής. Ένα γενικό διάγραμμα ροής των διεργασιών και των βημάτων που πραγματοποιούνται απεικονίζεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Κύρια στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης

Τα τέσσερα κύρια βήματα, που λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και στον χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης είναι τα ακόλουθα.

- Υδρόλυση

Η σύνθετη οργανική ουσία, πολυμερή, διασπώνται από μια ποικιλία μικροοργανισμών σε απλούστερα στοιχεία, μόνο- και ολιγομερή. Επομένως έχουμε:

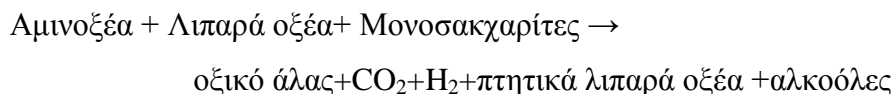
Λιπίδια → Λιπαρά οξέα, γλυκερόλη

Πολυσακχαρίτες / υδατάνθρακες → Μονοσακχαρίτες / σάκχαρα-κυτταρίνη-άμυλο

Πρωτεΐνες → Αμινοξέα

- Οξεογένεση

Τα προϊόντα υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτήρια σε μεθανογενή υπόστρωμα, επομένως:



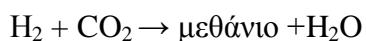
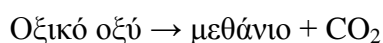
- Οξικογένεση

Μετατροπή σε μεθανογενή υπόστρωμα των προϊόντων οξεογένεσης που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο.

Πτητικά λιπαρά οξέα + αλκοόλες \rightarrow μεθανογενή υπόστρωμα (οξικό οξύ, H₂, CO₂)

- Μεθανογένεση

Τα ενδιάμεσα προϊόντα με τη βοήθεια μεθανογενών βακτηρίων παράγουν το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Το οξικό άλας δίνει το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου και το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του H₂ και του CO₂. Επομένως λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις.



Η μεθανοποίηση είναι η πιο αργή βιομηχανική αντίδραση της διεργασίας και η βιολογική δραστηριότητα των μικροοργανισμών επηρεάζεται άμεσα από τις συνθήκες λειτουργίας, την σύνθεση της πρώτης ύλης, τον ρυθμό τροφοδοσίας, τη θερμοκρασία, το pH και την παρουσία οξυγόνου.

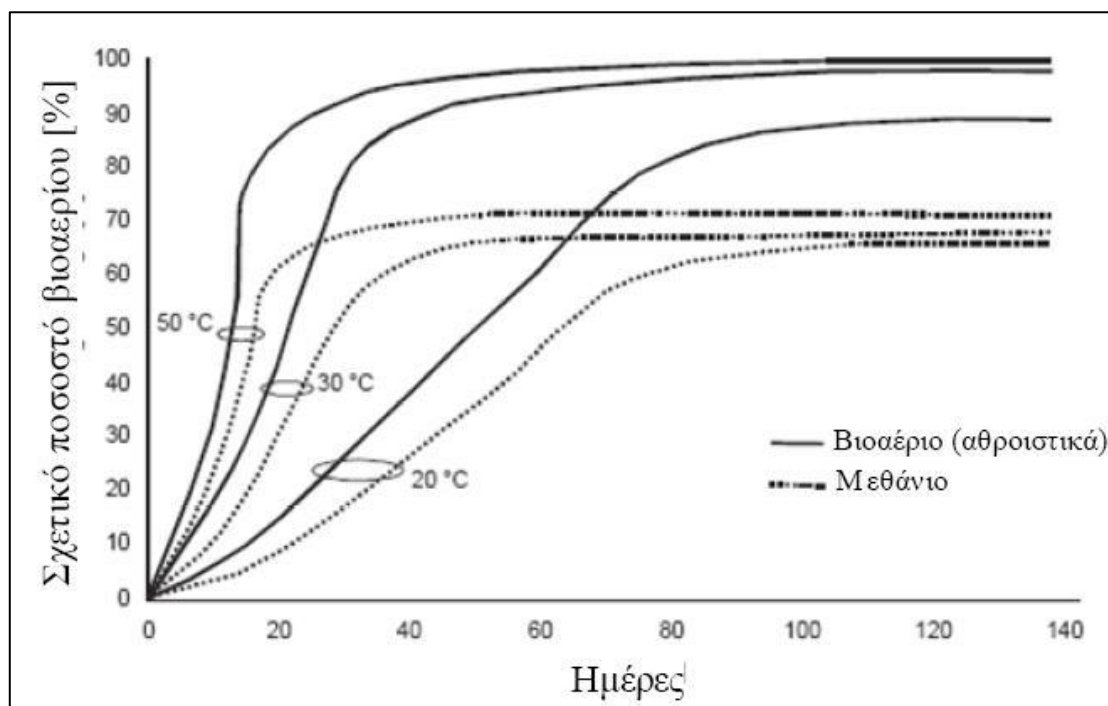
3.4.3. Παράγοντες επηρεασμού αναερόβιας χώνευσης

Γενικότερα, η παραγωγή βιοαερίου εξαρτάται από την σύνθεση και την βιοδιασπασιμότητα των αρχικών αποβλήτων, ενώ το ποσοστό παραγωγής εξαρτάται από τον βακτηριακό πληθυσμό, τις συνθήκες ανάπτυξης αυτών και τη θερμοκρασία της διαδικασίας.

Θερμοκρασία

Η σταθερότητα της θερμοκρασίας είναι επιτακτική στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, δεδομένου ότι διακυμάνσεις μπορεί να οδηγήσουν σε δυσμενείς επιπτώσεις στην παραγωγή

βιοαερίου. Σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου είναι πολύ μικρή. Η αναερόβια χώνευση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες οι οποίες ταξινομούνται σε τρία θερμοκρασιακά εύρη: το ψυχρόφιλο (κάτω από 25°C) με ελάχιστο χρόνο παραμονής 70-80 ημέρες, το μεσόφιλο (25- 45°C) με ελάχιστο χρόνο παραμονής 30-40 ημέρες, και το θερμόφιλο (45-70°C) με ελάχιστο χρόνο παραμονής 15-20 ημέρες, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Διάγραμμα ρυθμού παραγωγής βιοαερίου σε σχέση με την θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής [3]

pH

Το pH του υποστρώματος (αποβλήτων) επηρεάζει την αύξηση των μεθανογενών μικροοργανισμών, κατ' επέκταση τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Οι βιβλιογραφικές αναφορές καταγράφουν ως όρια για τον σχηματισμό του μεθανίου ένα σχετικά μικρό εύρος pH από 5,5 έως 8,5, με αναφορές για ένα βέλτιστο εύρος 6.5-8 για τους περισσότερους μεθανογενείς οργανισμούς και 5-6 για τα οξεογενή βακτήρια ([3], [68]). Η τιμή του pH των χωνευτήρων βιοαερίου επηρεάζεται και εξαρτάται από τη μερική πίεση του CO₂, τη συγκέντρωση της αμμωνίας, τη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων και τη συγκέντρωση αλκαλικών και όξινων συστατικών στην υγρή φάση με ανάλογες αυξήσεις ή μειώσεις της τιμής του pH. Τέλος, ο έλεγχος της τιμής του pH στους αναερόβιους αντιδραστήρες μπορεί να γίνει μέσω του συστήματος ανάσχεσης των διττανθρακικών αλάτων.

Πτητικά λιπαρά οξέα

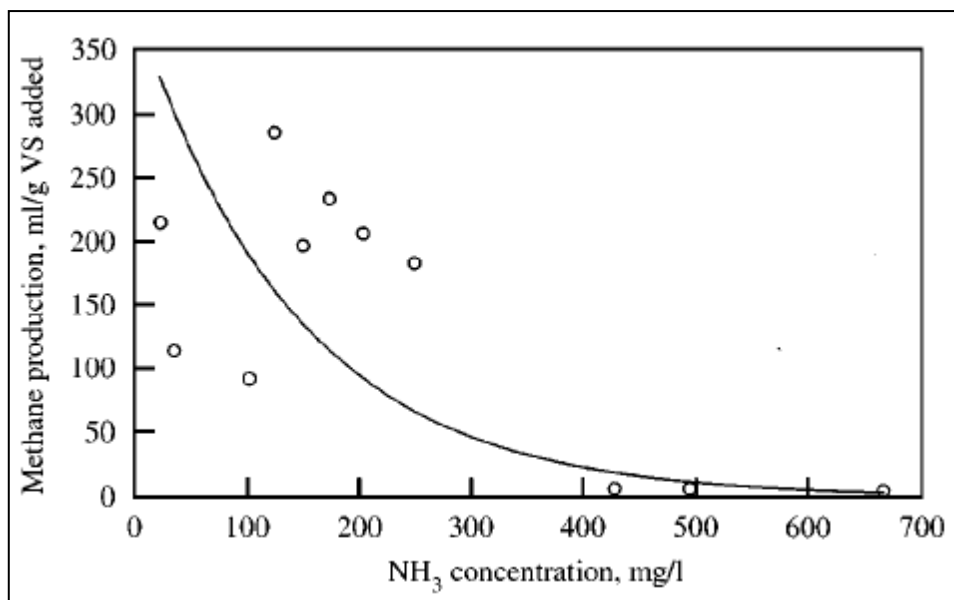
Τα πτητικά λιπαρά οξέα (οξικά, προπιονικά, γαλακτικά άλατα), ως ενδιάμεσα προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης και παραγόμενα κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, επηρεάζουν την ευστάθεια της διεργασίας. Στις περισσότερες των περιπτώσεων συσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής του pH και τις ανάλογες επιπτώσεις στη διεργασία.

Οργανικό φορτίο

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι ανάλογη του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, όσο υψηλότερα ποσοστά τόσο μειώνεται η παραγωγή μεθανίου από την διαδικασία αυτή. Βιβλιογραφικές τιμές αναφέρονται σε βέλτιστα αρχικά ποσοστά της τάξης των 10% σε στερεά ([69], [70]). Μεγαλύτερα ποσοστά του 10% αναφέρονται, αλλά ο χρόνος της διεργασίας για την παραγωγή μεθανίου αυξάνεται δραματικά. Προσπάθειες και πειράματα γίνονται για την ανάμιξη των αρχικών στερεών αποβλήτων με άλλα προϊόντα ή ήδη χωνεμένα προϊόντα.

Αμμωνία

Καθώς τα πτηνοτροφικά απόβλητα περιέχουν μεγαλύτερο βιοδιασπώμενο οργανικό φορτίο σε σύγκριση με τα άλλα ζωικά απόβλητα ([7]) και λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και αμινικά οξέα, εμπεριέχουν υψηλά επίπεδα οργανικού αζώτου. Επομένως, αρχικά ποσοστά 20-25% σε στερεά πτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να επιφέρουν μείωση ή και παρεμπόδιση λόγω της συσώρευσης αμμωνίας ([69]). Ο παρεμποδιστικός ρόλος της ελεύθερης αμμωνίας, οφείλεται στην ικανότητά της να διαχέεται μέσα στο πυρήνα των βακτηρίων. Η επίδραση της ελεύθερης αμμωνίας, σύμφωνα με τον Bujoczek et al. ([69]) απεικονίζεται στην Εικόνα 8, η οποία δείχνει μια τάση αρνητικού εκθετικού σχήματος. Σε συγκεντρώσεις ελεύθερης αμμωνίας έως 250mg/l η σχέση θεωρείται ανεξάρτητη, χωρίς ερμηνεία θεωρούνται οι τιμές μεταξύ 250 mg/l έως 400 mg/l και σε τιμές μεγαλύτερες η μεθανογένεση μειώνεται δραστικά. Γενικότερα αναφέρεται ότι σε τιμές ελεύθερης αμμωνίας μεγαλύτερες των 250 mg/l η παραγωγή μεθανίου μειώνεται δραματικά.



Εικόνα 8: Επίδραση ελεύθερης αμμωνίας στην παραγωγή μεθανίου; $r^2=0.78$ VS=πτητικά στερεά [69]

Η συγκέντρωση της ενδογενούς αμμωνίας και των νιτρικών αυξάνεται κατά τη διάρκεια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Καθώς ένα τμήμα των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιούνται από τα αναερόβια βακτήρια, η υπέρβαση του ορίου μπορεί να οδηγήσει στην παρεμπόδιση της αποδόμησης της οργανικής ουσίας, της παραγωγής πτητικών λιπαρών οξέων και της διαδικασίας της μεθανογέννεσης. Γενικότερα, οι διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να παρεμποδιστούν, κυρίως στις θερμοφιλες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις μεσόφιλες, ανάλογα με τη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας, η οποία είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία.

Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες, τοξικές ενώσεις

Η επιβίωση και η αύξηση των μικροοργανισμών εξαρτάται από την παροχή θρεπτικών ουσιών και ιχνοστοιχείων. Η ανεπάρκεια παροχής, καθώς επίσης και η πάρα πολύ υψηλή χωνευτικότητα του υποστρώματος, μπορεί να επιφέρει παρεμπόδιση και διαταραχές στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Η βέλτιστη αναλογία των θρεπτικών στοιχείων άνθρακα, αζώτου, φωσφόρου, και θείου (C:N:P:S) είναι 600:15:5:1 και ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο ή το βολφράμιο είναι εξίσου σημαντικά.

Η μεταφορά ή η δημιουργία κατά τη διάρκεια της διεργασίας τοξικών ενώσεων επηρεάζει ασαφώς τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών. Δεν υπάρχουν όμως

συγκεκριμένα όρια αφενός μεν επειδή αυτά τα είδη των υλικών μπορούν συχνά να δεσμευθούν με χημικές διεργασίες και αφετέρου επειδή οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί είναι σε θέση να προσαρμοστούν.

3.4.4. Τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων

Υπάρχουν πολλοί και διάφοροι τρόποι στην προσπάθεια να βελτιωθεί η αναερόβια χώνευση. Προσπάθειες και μελέτες έγιναν στη βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας με τη χρήση ηλιακής ενέργειας στη θερμόφιλη AX, στο ποσοστό των αρχικών ολικών στερεών που χρησιμοποιείται, ως μέγιστο όριο για την AX θεωρήθηκε το 10% ([69]) και ως κατώτατο το 5% ([71]), στο χρόνο παραμονής, στην προσθήκη επιφανειοδραστικών ή προσροφητικών ουσιών, όπως προσθήκη NH_4Cl , phosphorite, NiCl_2 , EDTA, FeSO_4 και στην ανάμιξή με διαφορετικού τύπου υλικά όπως ανάμιξη με τυροκομικά προϊόντα, άλλα ζωικά απόβλητα.

Τα υψηλά ποσοστά αμμωνίας έγινε προσπάθεια να αντιμετωπιστούν με την αραίωση του αρχικού στερεού μίγματος σε τιμές από 0.5% έως 3.0%, έχοντας όμως σαν αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των αποβλήτων που πρέπει να επεξεργαστούν. Περαιτέρω, η διαχείριση υψηλών ποσοστών σε αρχικά πτηνοτροφικά στερεά απόβλητα προκαλεί τη μεγάλη αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδικασίας.

3.4.5. Τελικά προϊόντα

Τα κύρια τελικά προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης είναι:

Το βιοαέριο, το οποίο οδηγείται σε κατάλληλο αεροφυλάκιο και αφού υποστεί διαδικασίες καθαρισμού και αφύγρανσης τροφοδοτεί μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστρόβιλους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Ειδικότερη αναφορά για το βιοαέριο γίνεται σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Το χωνεμένο υπόλειμμα, που με κατάλληλες διαδικασίες διαχωρισμού και αφύγρανσης μπορεί να μετατραπεί σε στερεό και υγρό λίπασμα.

3.4.6. Αξιολόγηση μεθόδου

Η αναερόβια χώνευση των οργανικών αποβλήτων παρέχει τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας (βιοαέριο) και υλικών (χωνεμένου υλικού). Η ύπαρξη ενός κλειστού συστήματος

καθιστά δυνατή τη συλλογή και εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου είτε σε καυστήρες ή λέβητες, είτε και σε καυστήρες φυσικού αερίου, που με μικρές μετατροπές μπορούν να χρησιμοποιήσουν απευθείας το παραγόμενο βιοαέριο αξιοποιώντας το για παραγωγή θέρμανσης μονάδων ή τηλεθέρμανσης. Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε εμβολοφόρους κινητήρες, τουρμπίνες αερίου ή ατμού, με την προϋπόθεση ότι το βιοαέριο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από συμπυκνωμένες μορφές και προσμίξεις. Το βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί και να αναβαθμιστεί σε ένα υψηλής θερμαντικής ενέργειας (BTU) αέριο, το οποίο μπορεί να διατεθεί μέσω του υπάρχοντος δικτύου παροχής φυσικού αερίου. Μειονέκτημα αποτελεί ότι το βιοαέριο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από προσμίξεις και να εφαρμοστεί η κατάλληλη πίεση λειτουργίας του συστήματος. Τέλος, το βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί σε άλλα χημικά, όπως η μεθανόλη, η αμμωνία ή σε ουρία, με την μεθανόλη να είναι η πιο οικονομικά εφικτή. Τέλος, λόγω των κλειστών συστημάτων υπάρχει το πλεονέκτημα της αποφυγής αέριων οσμών. Η χρήση του υπολείμματος ως κόμποστ έχει τις ίδιες θετικές επιδράσεις και μπορεί να διαχειρίζεται παρόμοια με το προϊόν που παράγεται από την διαδικασία της αερόβιας χώνευσης.

Στον αντίποδα, σημεία προς προβληματισμό αποτελούν οι εκπομπές αερίων, η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία του συστήματος και τα κόστη λειτουργίας και διατήρησης, καθώς γίνεται χρήση πολύπλοκης τεχνολογίας, όπου και απαιτείται συνεχούς επίβλεψης. Επιπρόσθετα, το κόστος συλλογής του βιοαερίου είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο ενός χώρου διάθεσης. Επιπρόσθετα, προβλήματα μπορεί να ανακύψουν από την σύνδεση και την διάθεση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στο εκάστοτε δίκτυο.

3.4.7. Εφαρμογές αναερόβιας χώνευσης

Το 1996 σε όλη την Ευρώπη υπήρχαν 470 εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης κτηνοτροφικών αποβλήτων με σκοπό την εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου, με την δυναμική τους να αυξάνεται με την προσθήκη άλλων 150 μέσα σε επτά χρόνια. Η Γερμανία είναι η χώρα με τις περισσότερες εγκαταστάσεις (55% των Ευρωπαϊκών προγραμμάτων), ακολουθούμενη από την Ελβετία (15%) και την Αυστρία (9%). Το 70% αυτών είναι μικρής ή μέσης κλίμακας και λειτουργούν πάνω από 35 χρόνια, με ικανότητα διαχείρισης υποστρώματος σε 1-20m³ την ημέρα.

Στην Γερμανία η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από βιοαέριο πωλείται προς 0.10\$/KWh, ενώ η θέρμανση διατίθεται προς 2000\$ το χρόνο. Αντίστοιχα στην Δανία, 65% σε μεθάνιο,

κοστίζει 0.28\$/ m³ και όταν χρησιμοποιείται για παραγωγή θέρμανσης και ηλεκτρισμού αξίζει 0.42\$/ m³. Δεδομένα αναφέρουν ότι η μικρής ή μέσης κλίμακας εγκαταστάσεις κοστίζουν για στάβλο 100 αγελάδες 100.000-120.000\$.

Στην Ολλανδία, το 1986 σε εγκατάσταση AX που εξυπηρετούσε απόβλητα από 45.000 κοτόπουλα (1.970 m³/έτος), σε μίξη με απόβλητα χοιροτροφείου (742 m³/έτος) και λυμάτων (614 m³/έτος) υπήρχε μια μέση παραγωγή βιοαερίου 236.436 m³/έτος, με περιεκτικότητα 64% σε μεθάνιο και 36% σε διοξείδιο του άνθρακα ([72]). Με τις αντίστοιχες τιμές κόστους και πώλησης η εγκατάσταση προβλέφθηκε ότι θα είχε απόσβεση σε έξι χρόνια.

Σύμφωνα με την μελέτη της WFG ([73]), το 2002 στην Γερμανία κατασκευάστηκε και λειτουργεί για λογαριασμό αγρότη ένας αναερόβιος χωνευτής, για την επεξεργασία μικτών γεωργικών αποβλήτων, 500τόνου/έτος πτηνοτροφικά απόβλητα και 9.500τόνων/έτος φυτικής παραγωγής υλικά (υπολείμματα κοπής, καλαμπόκι, σιτηρά, ηλίανθους κλπ). Με το υπόστρωμα να υφίσταται κατά 60% από ίδια παραγωγή και το υπόλοιπο να αγοράζεται, η εγκατάσταση κόστισε 1.700.000€ και είχε παραγωγή βιοαερίου 2,19Μιο m³ τον χρόνο και θερμαντικής ενέργειας 4,504Μιο kWh τον χρόνο.

Στην Κίνα, σύμφωνα με στοιχεία της εταιρίας DQY ([74]) έχει εγκατασταθεί μια από της μεγαλύτερες μονάδες AX επεξεργασία πτηνοτροφικών αποβλήτων και των χρησιμοποιούμενων νερών των πτηνοτροφικών εγκαταστάσεων. Η πτηνοτροφική μονάδα έχει περίπου 3.000.000 κοτόπουλα αυγοπαραγωγής και παράγει περίπου 220 τόνους αποβλήτων και 170 τόνους χρησιμοποιημένου νερού την ημέρα. Η επεξεργασία τους γίνεται σε 4 αναερόβιους χωνευτήρες συνολικής χωρητικότητας 6150m³, παράγοντας 7.000.000 m³ βιοαερίου το χρόνο, το οποίο χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι τις τάξης των 2*1.064MW και η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο τις Κίνας είναι περίπου 14.000MWh το χρόνο.

3.5. Σύγκριση μεθόδων σε σχέση με τα πτηνοτροφικά απόβλητα

Οι περισσότερες των μεθόδων παρουσιάζουν ένα μικρό μέρος των περιβαλλοντικών ζητημάτων που ανακύπτουν από την επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Η έλλειψη ή η απόκρυψη πολλές φορές στοιχείων ή δεδομένων για την λειτουργία και τις αποδόσεις, η έλλειψη συστηματικής καταγραφής δεδομένων λειτουργίας, δημιουργεί κενά στην ασφαλή σύγκριση των μεθόδων, ανάλογα πάντα τις εκάστοτε ανάγκες και ιδιομορφίες της περιοχής μελέτης. Αν και πληθώρα επιστημονικών άρθρων και εφαρμογών μπορούν να βρεθούν παγκοσμίως, για όλες τις μεθόδους, χρειάζεται η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας, έτσι ώστε οι περιβαλλοντικές και οι οικονομικές πτυχές των τεχνολογιών αυτών να μπορούν να συγκριθούν και να αξιολογηθούν. Επομένως η επιλογή της μεθόδου διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων ανάμεσα στις προαναφερόμενες, όπως προκύπτει, είναι μια περίπλοκη απόφαση, εξαρτώμενη από συγκεκριμένες κοινωνικό-οικονομικές-πολιτικές αποφάσεις, καθώς κάθε μέθοδος έχει τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Μια σφαιρική προσέγγιση στην σύγκριση των μεθόδων διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να γίνει βάση γενικών χαρακτηριστικών όπως την επίδραση κάθε μεθόδου στις αέριες εκπομπές, στα στερεά και υγρά απόβλητα, καθώς και βάση του όρου Net Plant Heat Rate.

Σύμφωνα με μια εκτεταμένη εργασία από το Technology Feasibility Assessment Panel ([75]) για τη διαχείριση αποβλήτων προέκυψε ο Πίνακας 13. Σε αυτόν περιγράφονται γενικά στοιχεία που προκύπτουν για μεθόδους διαχείρισης όπως η αναερόβια και αερόβια χώνευση, η αεριοποίηση και οι φυσικοί μέθοδοι. Ανάλογα την μέθοδο κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα τον εκάστοτε τρόπο διαχείρισης και έγινε προσπάθεια να περιγραφούν οι γενικότερες επιπτώσεις και επιδράσεις στα υγρά και στερεά απόβλητα και στις αέριες εκπομπές, με συγκεκριμένες αναφορές όπως στη συμπεριφορά του αζώτου, της αμμωνίας, του φωσφόρου, των παθογόνων οργανισμών, της διαλυτοποίησης των στερεών αποβλήτων, των αέριων εκπομπών μονοξειδίων άνθρακα ή αζώτου, υδρόθειου και μεθανίου, των οσμών και άλλων χαρακτηριστικών όπως αποτυπώνονται στον Πίνακα 13.

Για την σύγκριση μεταξύ των μεθόδων υιοθετείται ο όρος Net Plant Heat Rate (NPHR), ο οποίος υποδηλώνει τον αριθμό BTU που απαιτούνται για την παραγωγή μιας KWH ενέργειας. Η NPHR των πτηνοτροφικών αποβλήτων, από την αναερόβια χώνευση, εξαρτάται από την μέθοδο ηλεκτροπαραγωγής που υιοθετείται, για εμβολοφόρους μηχανές κυμαίνεται από 9200-11500 BTU/KWH, 15600 BTU/KWH για τουρμπίνες αερίου, 15000 BTU/KWH για

μικροτουρμπίνες, 11000 BTU/KWH για Stirling μηχανές και κυψέλες καυσίμου (Fuel cells). Η NPHR από την απευθείας καύση κυμαίνεται από 15.000 έως 16.000 BTU/KWH, με την θερμογόνο δύναμη των αποβλήτων να αναφέρεται από 3.400-6.300 BTU/lb και περιεκτικότητα σε υπολειπόμενη τέφρα (ash) σε 10-34%. Η NPHR σε συστήματα αεριοποίησης αναφέρεται περίπου σε 17.000-68.000 BTU/KWH.

Όσον αφορά γενικές παρατηρήσεις που μπορούν να επισημανθούν μεταξύ των διαφόρων μεθόδων διαχείρισης πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι οι ακόλουθες. Η αναερόβια χώνευση είναι η πιο ευαίσθητη διαδικασία, με πολλούς παράγοντες να επηρεάζουν την διαδικασία αυτή. Σαν διεργασία χρειάζεται μεγαλύτερο χρόνο για να αρχίσει σε σχέση με θερμικές μεθόδους. Χρειάζεται διαδικασία επεξεργασίας και διάθεσης υγρού υποπροϊόντος, το οποίο είναι πλούσιο σε φωσφορικά.

Η απευθείας καύση έχει σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος, αλλά προκύπτουν αυξημένες εκπομπές NO_x, SO₂, CO, βαρέων μετάλλων, διοξινών, φουρανίων και άλλων επικίνδυνων ενώσεων τόσο στα αέρια όσο και στα στερεά παραπροϊόντα, αυξάνοντας επομένως και το κόστος εγκατάστασης συστήματος καθαρισμού των παραγόμενων αερίων λόγω μεγάλης ογκομετρικής παροχής (περίσσεια αέρα). Επίσης έχει μειωμένη ενεργειακή αξιοποίηση του καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

Η πυρόλυση παρέχει την δυνατότητα παραγωγής πυρολυτικών ελαίων, τα οποία με επιμέρους επεξεργασία χρησιμοποιούνται σαν υποκατάστατα του πετρελαίου και αέριο σύνθεσης υψηλότερης θερμικής αξίας σε σχέση με την αεριοποίηση. Έχει μικρότερο κόστος συστήματος καθαρισμού αερίων σε σχέση με απευθείας καύση, αλλά μικρότερη εμπειρία εφαρμογών, καθώς και σχετικά μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας. Σε σχέση με αεριοποίηση έχει μειωμένη παραγωγή αερίου σύνθεσης

Η αεριοποίηση έχει αυξημένη παραγωγή αερίου σύνθεσης σε σχέση με πυρόλυση, με πληθώρα δυνατοτήτων αξιοποίησης παραγόμενου αερίου σύνθεσης. Παρέχει αυξημένη ηλεκτρική απόδοση λόγω άμεση χρήσης αερίου σύνθεσης σε τουρμπίνες αερίων. Μικρή εμπειρία εφαρμογών σε σχέση με την απευθείας καύση και μικρότερο κόστος συστήματος καθαρισμού αερίων, αλλά σχετικά μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.

Η αερόβια χώνευση θεωρείται αργή μέθοδος, με μικρό αρχικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, μεγάλες αέριες εκπομπές, κυρίως σε αμμωνία, με πληθώρα εμπορικών εφαρμογών, αλλά και ποικίλο κόστος χρήσης και εφαρμογής από τον τελικό χρήστη.

Τύπος Τεχνολογίας	Επίδραση στα υδατικά λύματα						Επίδραση στα στερεά απόβλητα						Επίδραση στις αέριες εκπομπές							
	Μείωση οργανικού αζώτου	Μείωση αμμωνίας	Μείωση φωσφόρου	Διαλυτοποίηση στερεών	Μείωση ολικών διαλυτών στερεών (TDS)	Μορφές νιτρικού αζώτου	Μείωση οργανικού αζώτου	Μείωση αμμωνίας	Μείωση φωσφόρου	Μείωση παθογόνων	Σταθεροποιημένη κοπριά/ μείωση εκπομπών	Μείωση όγκου κοπριάς	Μείωση εκπομπών αμμωνίας	Μείωση VOC εκπομπών	Μείωση εκπομπών μεθανίου	Μείωση εκπομπών υδρόθειου H ₂ S	Μείωση κάποιων εκπομπών	Μείωση οσμών	Παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα	Παραγωγή οξειδίου του αζώτου NO _x
Αερόβια Χώνευση																				
Αερόβια Χώνευση (Composting)																				
Unaerated Static Pile	-	-	-	-	-	-	N	?	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	-	-
Aerated Static Pile	-	-	-	-	-	-	N	Y	N	Y	Y	Y	9	9	9	9	9	Y	4	4
Windrows	-	-	-	-	-	-	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	?	8	Y	?	?
In-vessel	-	-	-	-	-	-	N	Y	N	Y	Y	Y	9	9	9	9	9	9	4	4
Αερόβια Χώνευση (Aerobic Digestion)																				
Stand Alone	Y	Y	N	Y	N	Y	-	-	-	-	-	-	Y	6	6	6	N	N	7	7
With subsequent treatment	Y	Y	Y	Y	5	Y	-	-	-	-	-	-	Y	6	6	6	N	N	7	7
Αναερόβια Χώνευση (Anaerobic Digestion)																				
Σε ανοιχτούς λάκκους (In open ponds)																				
	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	-	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-
Με παραγωγή και χρήση μεθανίου (With Methane capture & use)																				
Continuous flow	3	N	N	Y	N	N	N	?	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	?	?
Plug-flow	3	N	N	Y	N	N	N	?	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	?	?
Enhanced Mixing of Anaerobic / Facultive Pond																				
Mechanical stirring	N	N	N	Y	N	?	-	-	-	-	-	-	?	?	?	?	?	?	4	4
Air bubblers	N	N	N	Y	N	?	-	-	-	-	-	-	?	?	?	?	?	?	4	4
Αεριοποίηση (Gasification (raw manure or manure solids))																				
For direct combustion	?	?	?	?	N	?	?	?	N	Y	Y	Y	Y	?	Y	Y	?	Y	?	?
With ethanol production	?	?	?	?	N	?	?	?	N	Y	Y	Y	Y	?	Y	Y	?	Y	?	?
Διαχωρισμός στερεών – υγρών (Solids Separation for Wastewater)																				
Gravity or mechanical	1	2	1	N	N	N	-	-	-	-	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-
Chemical precipitation	1	2	Y	N	N	N	-	-	-	-	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-
Y = yes N = no ? = άγνωστο											6 Θα αυξηθούν οι εκπομπές									
1 Μεταφορά μερικής ρύπανσης στα στερεά κοπριά											7 Αν χρησιμοποιηθούν πετρελαιοκινητήρες, μπορεί να παραχθούν εκπομπές									
2 Απελευθέρωση μερικής ρύπανσης στον αέρα											8 Μπορεί να αυξηθούν κάποιες εκπομπές									
3 Ενδεχόμενη μετατροπή οργανικού αζώτου σε αμμωνία											9 Εκπομπές μπορεί να μειωθούν μέσω αέρας δέσμησης ή διαχείρισης									
4 Ελάχιστες επιδράσεις, εάν υπάρχουν																				

Πίνακας 13: Αναμενόμενες επιδράσεις των διαφόρων τεχνολογιών διαχείρισης αποβλήτων [75]

Από οικονομικής ανάλυσης δεν υπάρχουν συγκριτικά στοιχεία για το οικονομικό κόστος της αναερόβιας επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Μια γενικότερη οικονομική προσέγγιση, αρχικής δαπάνης, συνολικού κόστους, κόστος λειτουργίας, για τις διάφορες μεθόδους επεξεργασίας στην Ευρώπη αποτυπώνεται στο παρακάτω πίνακα ([76]).

Μέθοδος	Δυναμικότητα (τόνοι/έτος)	Αρχική Δαπάνη (10 ⁶ €)	Κόστος Λειτουργίας (€/τόνο)	Συνολικό Κόστος (€/τόνο)
ΧΥΤΑ	18000-500000	0,4-36,2	3,2-49	17-147
Αναερόβια επεξεργασία	2500-100000	0,75-18,5	0,2-60	71-79,5
Ανοιχτή αερόβια επεξεργασία	2000-100000	0,1-10	15-65	34-95
Κλειστή αερόβια επεξεργασία	1300-100000	0,4-16,1	13-148	35-189
Θερμική επεξεργασία	18700-600000	1-200	13,6-188	39-230

Πίνακας 14: Οικονομικά στοιχεία κόστους μεθόδων επεξεργασίας

4. Παραγωγή Βιοαερίου και Εδαφοβελτιωτικού

4.1. Βιοαέριο

Το βιοαέριο αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και παράγεται από την αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων, πέραν των αστικών και των λυμάτων των βιολογικών καθαρισμών, στο επίπεδο της γεωργία και ειδικότερα στο κλάδο της κτηνοτροφίας μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα από την χρήση των κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφείων, βουστασίων καθώς και άλλων αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων.

Τόσο οι ιδιότητες όσο και η σύστασης του βιοαερίου των πτηνοτροφικών αποβλήτων, ποικίλλουν ανάλογα με τη δομή και τον τύπο της πρώτης ύλης, την περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά (VS volatile solid), την ανάμιξη με άλλα υλικά, την περιεκτικότητα σε άζωτο, το σύστημα της μονάδας διαχείρισης, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες. Το βιοαέριο είναι πολύ σταθερό, μη-τοξικό, άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) 55-70% και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) 30-45%, αλλά αναφέρονται και τιμές μεθανίου από 50-80% , με συνηθέστερη αναφορά περιεκτικότητας μεθανίου των πτηνοτροφικών αποβλήτων να κυμαίνεται μεταξύ 60-65% ([7], [21] [28], [77], [78], [79], [80]). Επίσης, για τα πτηνοτροφικά απόβλητα από σφαγεία, η παραγωγή μεθανίου είναι της τάξης 0.14 έως 0.55 m^3/kg VS ή γύρω από τιμές του 60% ([81], [82]). Επίσης περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο, κάποιες από τις μέσες τιμές της σύστασης του βιοαερίου εμφανίζονται στον Πίνακα 15.

Συστατικό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (κατ' όγκο-%)
Μεθάνιο	CH_4	50-75
Διοξείδιο του άνθρακα	CO_2	25-45
Υδρατμοί	H_2O	2 (20°C) -7 (40°C)
Οξυγόνο	O_2	<2
Άζωτο	N_2	<2
Αμμωνία	NH_3	<1
Υδρογόνο	H_2	<1
Υδρόθειο	H_2S	<1

Πίνακας 15:Σύσταση του βιοαερίου [3]

Η αντίστοιχη παραγωγή σε μεθάνιο των διαφόρων υποστρωμάτων της ΑΧ εξαρτάται από το περιεχόμενό τους σε πρωτεΐνες, λίπη, και υδατάνθρακες όπως αποτυπώνεται στον Πίνακα 16. Από τον πίνακα αυτό και σε σχέση με τον Πίνακα 17, εξάγεται το συμπέρασμα σε σχέση με τα κτηνοτροφικά απόβλητα ότι μεγαλύτερη παραγωγή μεθανίου προέρχεται από τα πτηνοτροφικά απόβλητα και είναι της τάξης του 60%, με αντίστοιχη παραγωγή βιοαερίου σε 80m³/t ανά φρέσκια πρώτη ύλη, καθώς επίσης και ως παραγωγή βιοαερίου στα πτηνοτροφικά απόβλητα φθάνει στα 43.000Btu ανά ημέρα. Όμοια περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο, 50-60% ,αναφέρεται και σε δύο περιπτώσεις-έργα στην Κροατία ([83]). Επιπρόσθετα, το δυνητικό παραγωγής τόσο για ηλεκτροπαραγωγή, όσο και θερμότητας εμφανίζεται μεγαλύτερο στα πτηνοτροφικά απόβλητα, 1.58-2.44 KWH/day και 18.920-29.240Btu/day αντίστοιχα. Η σύγκριση της παραγωγής μεθανίου και βιοαερίου των πτηνοτροφικών αποβλήτων τόσο σε σχέση με φυτικά προϊόντα, όσο και με τα υπόλοιπα κτηνοτροφικά απόβλητα δείχνει τη μεγαλύτερη δυνητική παραγωγή που εμπεριέχεται στα πτηνοτροφικά απόβλητα.

Μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου έχει παρατηρήθηκε επίσης και σε πτηνοτροφικά απόβλητα από κοτόπουλα αναμεμιγμένα με υπολείμματα σφαγείων, λόγω της μικρότερης ανάμιξης σε διάφορα υλικά, όπως πριονίδια. Η συγκέντρωση του μεθανίου στο βιοαέριο παρατηρήθηκε από 44-52% , ικανοποιητικό ποσοστό για την χρήση του για θέρμανση και ηλεκτροπαραγωγή ([84]). Παρόλα αυτά η ανάμιξη των οργανικών ζωικών αποβλήτων, μεταξύ τους ή με φυτικά υπολείμματα μπορεί να οδηγήσει στην μείωση στην παραγωγή βιοαερίου, όπως αναφέρεται σε εργαστηριακά πειράματα ([80], [85]), και αυτό λόγω της μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH και των συνολικών διαλυμένων στερεών καθώς και των πτητικών στερεών.

Πρώτη ύλη	Παραγωγή μεθανίου [%]	Παραγωγή βιοαερίου [m ³ /tΦΠΥ*]
Υδαρής κοπριά βοοειδών	60	25
Υδαρής κοπριά χοίρων	65	28
Υπολείμματα αποστακτηρίων με διαλυτά	61	40
Στερεή κοπριά βοοειδών	60	45
Στερεή κοπριά χοίρων	60	60
Στερεή κοπριά πουλερικών	60	80
Τεύτλα	53	88
Οργανικά απόβλητα	61	100
Σωρός καλαμποκιού	52	202
Σωρός χλόης	54	172

* ΦΠΥ (FF) = Φρέσκια Πρώτη Ύλη (Fresh Feedstock)

Πίνακας 16: Παραγωγή μεθανίου από διαφορετικές πρώτες ύλες

Ζώο	Πτητικά στερεά lb/day/1000 lb weight	Αναμενόμενη αποδόμηση πτητικών στερεών	Παραγωγή Βιοαερίου Cu.ft/day	Βιοαέριο Btu/day ¹	Δυνητικό δυναμικό ηλεκτρ/γής KWH/day ²	Δυνητικό δυναμικό θερμότητας Btu/day ³
Κύκνοι	4.8	50%	29	17.400	0.64-0.99	7.650-11.830
Βοοειδή	5.9	45%	30	18.000	0.66-1.02	7.920-12.240
Αγελάδες	8.6	48%	44	26.000	0.95-1.47	11.440-17.680
Πουλερικά	9.4	60%	72	43.000	1.58-2.44	18.920-29.240

1 = Βιοαέριο (60% μεθάνιο); 600 Btu/cu. Ft
 2 = Ηλεκτρισμός; 15,000 Btu/KWH generated (22% efficiency)
 3 = Θερμική ενέργεια: Καύση βιοαερίου 80% αποδοτικότητα

Πίνακας 17: Δυνητική παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα [86]

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την ΑΧ βρίσκεται χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο και η θερμογόνος δύναμή του κυμαίνεται από 20 έως 25 MJ/m³. Η ανώτερη (HHV) θερμογόνος δύναμη, καθώς και η κατώτερη θερμογόνος δύναμη (LHV) του μεθανίου είναι HHV = 23,890 Btu/lb ή 994.7 Btu/ft³ και LHV = 21,518 Btu/lb or 896.0 Btu/ft³ στους 68 °F και πίεσης 14.7 psia ([87]). Θεωρώντας ότι το βιοαέριο περιέχει 50% μεθάνιο, η μέση θερμοαντική τιμή του είναι περίπου 21 MJ/Nm³, η μέση πυκνότητα 1.22 kg/Nm³ και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα (1,29 kg/Nm³) ([3]). Διατυπωμένο διαφορετικά, το περιεχόμενο του μεθανίου παράγει περισσότερη θερμότητα 891 kJmol⁻¹ (16gmol⁻¹) ανά μονάδα μάζας αερίου, σε σύγκριση με άλλους περίπλοκους υδρογονάνθρακες. ([84]). Επιπρόσθετα στο Πίνακα 18 γίνεται αναφορά στις βασικές παραμέτρου του Βιοαερίου.

Όσο αφορά τα πτηνοτροφικά απόβλητα, σε σχέση με την αναερόβια χώνευση, οι Flora και Riahi-Nezhad ([28]) υπολόγισαν το ενεργειακό περιεχόμενο τους από τον τύπο:

$$EV = VM * DVM * BDVM * CB \quad (4)$$

EV energy content (BTU/lb litter)

VM volatile matter (lb VS/lb litter)

DVM destruction of volatile matter (ft³ biogas/ lb VS destroyed)

BDVM biogas per lb of volatile matter destroyed (lb VS destroyed/ lbVS)

CB composition of biogas (BTU/ ft³ biogas)

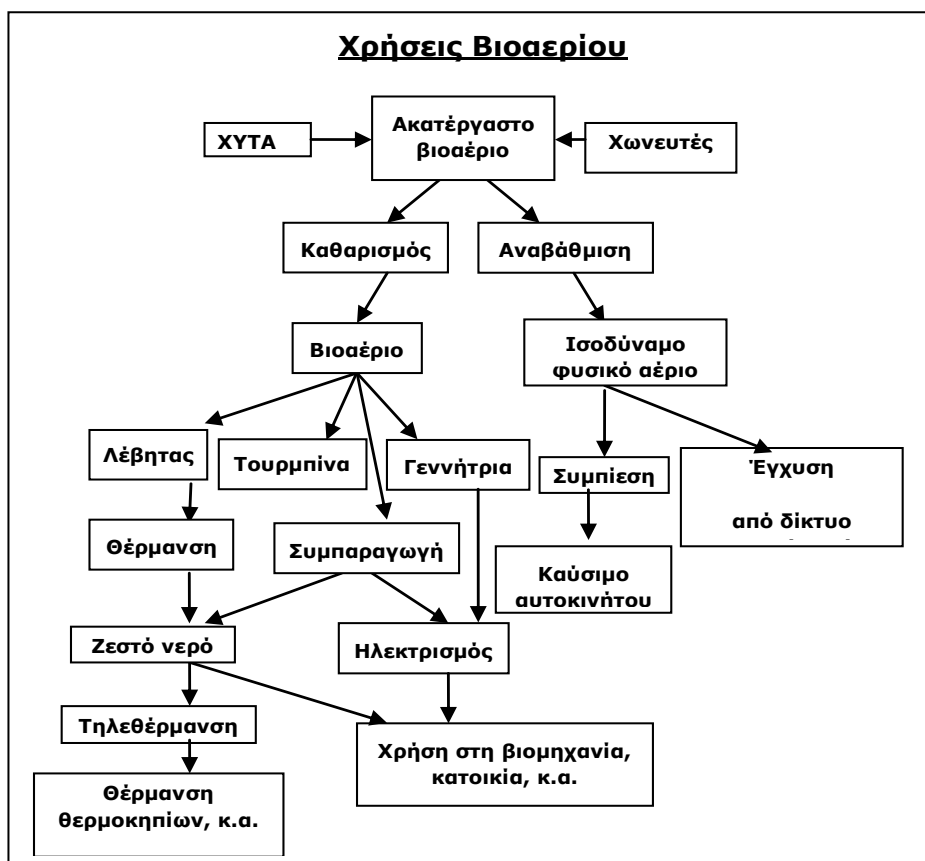
Στην ίδια μελέτη, η σύσταση του βιοαερίου σε μεθάνιο κυμαίνεται από 55% έως 70% και τυπικά θεωρήθηκε 60%, το πτητικό περιεχόμενο των πτηνοτροφικών αποβλήτων θεωρήθηκε 47.3% (VM), η διάσπαση αυτών στο 60% (DVM), η παραγωγή βιοαερίου από τη διάσπαση του πτητικού περιεχομένου 13 ft³ biogas/ lb VS destroyed (BDVM) και για βιοαέριο περιεκτικότητας 60% σε μεθάνιο σε 600 BTU/ft³(CB). Επομένως, το ενεργειακό περιεχόμενο των πτηνοτροφικών αποβλήτων υπολογίστηκε σε 2200BTU/lb αποβλήτων. Στην μελέτη του Βουρδούμπα ([88]) η παραγωγή βιοαερίου από όρνιθες (2-2.5kg), με οργανικό φορτίο 0.02 kg ανά ημέρα, το παραγόμενο βιοαέριο ανέρχεται σε 0.28NM³ ανά χιλιόγραμμα οργανικών ουσιών ζύμωσης 20 ημερών.

1 Μονάδα Ζώντος Βάρους –MZB (Livestock Unit – LU)	400-500 m ³ βιοαέριο/έτος
10 στρέμματα αραβόσιτου προς ενσίρωση/ τεύτλων	8.000-12.000 m ³ βιοαέριο
10 στρέμματα αραβόσιτου (σε μείγματα με σπάδικες).	6.000-7.000 m ³ βιοαέριο
10 στρέμματα σιτηρών προς ενσίρωση	6.000-8.000 m ³ βιοαέριο
1 τόνος ζωικά απόβλητα	20-40 m ³ βιοαέριο
1 τόνος αραβόσιτου προς ενσίρωση	180-230 m ³ βιοαέριο
1 τόνος αραβόσιτου (σε μείγματα με σπάδικες)	400-600 m ³ βιοαέριο
1 τόνος σιτηρών προς ενσίρωση	80-120 m ³ βιοαέριο
100 MZB – οριζόντιος χωνευτής	150 m ³ όγκος χωνευτή
100 MZB – κάθετος χωνευτής	250 m ³ όγκος χωνευτή
10 στρέμματα αραβόσιτου προς ενσίρωση/ τεύτλων	10-20 m ³ όγκος χωνευτή
1 MZB	0,15-0,20 kW εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς
2.500 m ³ βιοαερίου	1 kW εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς
10 στρέμματα αραβόσιτου προς ενσίρωση/ τεύτλων	Παραγόμενο βιοαέριο ισοδύναμο με 20 MZB
1 m ³ βιοαερίου	5,0-7,0 kWh συνολική ενέργεια
1 m ³ βιοαερίου	1,5-2,5 kWh _{el}
Μονάδα συμπαραγωγής (Dual-Fuel-Engine)	700-1.200 €/kW (120-30 kW _{el})
Μονάδα συμπαραγωγής (Gas-Otto-Engine)	500-1.900 €/kW (400-15 kW _{el})
Κόστος επένδυσης ανά m ³ όγκου χωνευτή	250-450 €
Κόστος επένδυσης ανά MZB	800-2.000 €
Κόστος επένδυσης ανά kW εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος.	3.000-6.000 € 400-30 kW _{el}

Πίνακας 18: Βασικές παράμετροι βιοαερίου.

4.1.1. Χρήση Βιοαερίου

Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις (Εικόνα 9), σε συνάρτηση με τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Γενικά, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, για την παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες[καυσίμου ή μικροστροβίλους, ή την συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), περαιτέρω μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο οχημάτων ή στον υπάρχον δίκτυο του φυσικού αερίου.



Εικόνα 9: Χρήσεις Βιοαερίου

Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας

Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες. Επομένως δύναται να καίει είτε επί τόπου, είτε μπορεί να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές θέρμανσης το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση, ενώ το επίπεδο μόλυνσής του δεν περιορίζει τη χρήση του αερίου σε σχέση με άλλες εφαρμογές. Εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού διοξειδίου του

άνθρακα που περιέχει αποτρέπεται ο κίνδυνος έκρηξης, επομένως το βιοαέριο θεωρείται ένα πολύ ασφαλές καύσιμο για τις αγροτικές κατοικίες. Ωστόσο, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και ξήρανση.

Κατά την καύση του βιοαερίου με περιεκτικότητα 60-70% σε μεθάνιο παράγεται μπλε φλόγα ενώ παράλληλα εκλύεται θερμογόνος δύναμη των 4500-5500 kcal/m³ ή (18.8-23.0 MJ/m³). Η θερμική δύναμή του είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ποσοστό του περιεχόμενου σε αυτό μεθανίου. Η περιεκτικότητα σε μεθάνιο με τη σειρά της εξαρτάται από την φύση των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται κατά την χώνεψη. Η καύση 1 m³ βιοαερίου μπορεί να παράγει 4500-5500 kcal/m³ ή 18.8-23.0 MJ/m³ θερμικής ενέργειας, καθώς επίσης και από 1 m³ μπορεί να παραχθούν 2kWh ηλεκτρισμού ([74]). Όταν η καύση του γίνεται σε ειδικά σχεδιασμένους καυστήρες, οι οποίοι έχουν απόδοση περίπου 60%, θα μας δώσει 2700-3200 kcal/m³ ή (11.3-13.4 MJ/m³) ωφέλιμης ενέργειας. Συνεπώς αυτή η ωφέλιμη θερμότητα (3000 kcal/m³ κατά μέσο όρο) επαρκεί για βράσει περίπου 100 kg νερού από τους 20⁰C ή να ανάψει μια λάμπα των 60-100 Watt για 4-5 ώρες.

Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση για την παραγωγή ενέργειας. Μια τυπική μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα.

Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου συστοιχίας (BTTP), με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι κινητήρες καύσης μπορεί να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές. Οι εναλλακτικές τεχνολογίες που είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης είναι οι μικροί αεριοστρόβιλοι και οι κυψέλες καυσίμου. Οι μέθοδοι αυτοί εκμεταλλεύονται είτε την ανάμιξη βιοαερίου και συμπιεσμένου αέρα, είτε την μετατροπή της χημικής ενέργειας μιας αντίδρασης άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Αν και οι μικροστρόβιλοι βιοαερίου, όσο και οι κυψέλες καυσίμου είναι πάρα πολύ ακριβοί ώστε να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί, για παράδειγμα το κόστος επένδυσης όλων των κυψελών καυσίμου βιοαερίου είναι πολύ υψηλά (12.000 €/kW), η τάση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας μειώνεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τους άλλους τρόπους διαχείρισης, με προοπτική να είναι περίπου σε ίδια επίπεδα το 2030 ([89]).

Η χρήση της παραγόμενης θερμότητας συντελεί στην ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτών (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραγόμενης ενέργειας δύναται να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές χρήσεις, όπως για παράδειγμα στις βιομηχανικές διεργασίες, στις αγροτικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτιρίων.

Αναβάθμιση του βιοαερίου (παραγωγή βιομεθανίου)

Το βιοαέριο μπορεί να διανεμηθεί μέσω των υπάρχοντων δικτύων φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς με το φυσικό αέριο ή μπορεί να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων. Για την χρήση του αυτή όμως το βιοαέριο πρέπει να υποστεί μία διαδικασία αναβάθμισης, όπου αφαιρούνται όλοι οι μολυσματικοί παράγοντες και το διοξείδιο του άνθρακα και να ενισχυθεί το περιεχόμενό του σε μεθάνιο, από το συνηθισμένο 50-75% σε περισσότερο από 95%, το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται βιομεθάνιο.

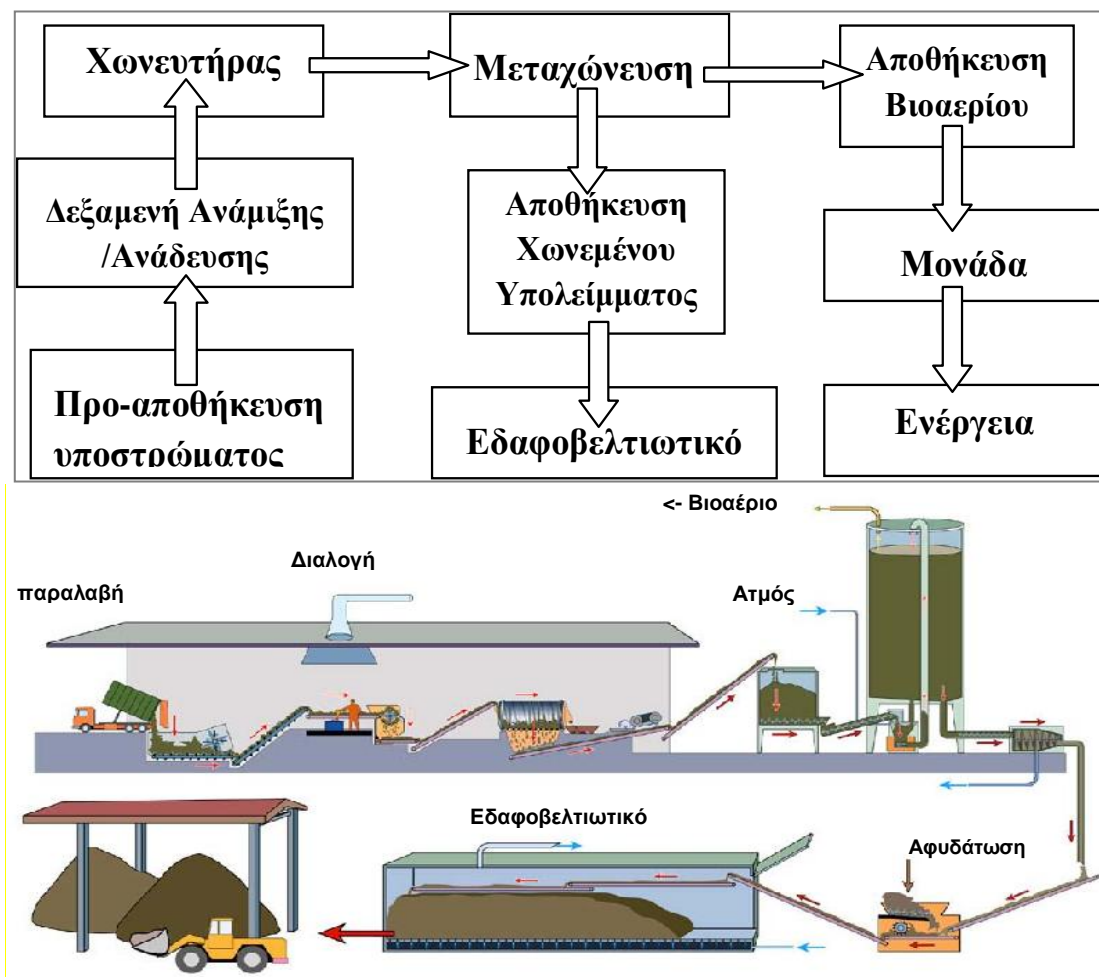
Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα για την αναβάθμιση του βιοαερίου είναι κυρίως οι εξής: Selexol, Pressure Swing Absorption (PSA), χημική απορρόφηση και απορρόφηση νερού. Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου εσωκλείει το κόστος της επένδυσης, της λειτουργίας της μονάδας και της συντήρησης του εξοπλισμού. Στην περίπτωση του κόστους επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της μονάδας, αυξάνεται με την αύξηση της δυναμικότητας. Σε αντίθεση το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές (οικονομία κλίμακας). Στην περίπτωση των λειτουργικών δαπανών, το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασίας αφορά στην αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα.

4.1.2. Τμήματα μονάδας βιοαερίου

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια πολυσύνθετη μονάδα, που αποτελείται από διάφορα τμήματα. Η διάταξη της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Δεδομένου ότι υπάρχει πληθώρα διαφορετικών τύπων πρώτης ύλης, διαφορετικής προέλευσης, που είναι κατάλληλοι για χώνευση σε μονάδες βιοαερίου, υπάρχουν, αντίστοιχα, διάφορες τεχνικές για το χειρισμό αυτών, αλλά και διαφορετικές

κατασκευές χωνευτών και συστήματα λειτουργίας. Επιπρόσθετα, ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τις συνθήκες λειτουργίας της κάθε μονάδας βιοαερίου, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για τη βελτίωση, την αποθήκευση και τη χρήση του βιοαερίου. Καθώς επίσης και για την αποθήκευση και τη χρήση του χωνεμένου υπολείμματος.

Τα κύρια τμήματα μιας εγκατάστασης/μονάδας βιοαερίου απεικονίζονται στην παρακάτω Εικόνα 10.



Εικόνα 10: Κύρια τμήματα μονάδας βιοαερίου

Προ-Αποθήκευση της πρώτης ύλης

Η αποθήκευση της πρώτης ύλης χρησιμεύει πρωτίστως στο να αντισταθμιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις του εφοδιασμού πρώτης ύλης. Επίσης διευκολύνει την ανάμειξη των διαφορετικών υποστρωμάτων για συνεχή εφαρμογή στο χωνευτή. Ο τύπος και η διάσταση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης, τις ποσότητες που πρόκειται να αποθηκευθούν, καθώς και από τις καθημερινές ποσότητες τροφοδοσία του

χωνευτήρα.. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης μπορούν να ταξινομηθούν κυρίως σε αποθήκες τύπου σιλό για τη στερεή πρώτη ύλη (φυτικά υπολείμματα) και σε δεξαμενές αποθήκευσης της υγρής πρώτης ύλης (κτηνοτροφικά απόβλητα).

Βελτίωση πρώτης ύλης

Η βελτίωση της πρώτης ύλης επηρεάζει τη ροή και την αποδοτικότητα της διεργασίας της ΑΧ. Στόχος της βελτίωσης της πρώτης ύλης είναι αφενός να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις υγιεινής και αφετέρου να αυξηθεί η δυνατότητα χώνευσης και παραγωγής βιοαερίου. Η μηχανική σύνθλιψη, οι διεργασίες αποσύνθεσης (χρησιμοποιούνται ήδη στην επεξεργασία λυμάτων), και το στάδιο της ανάντη υδρόλυσης είναι οι πιο βασικές δυνατότητες για βελτίωση της πρώτης ύλης και βελτιστοποίηση του οργανικού φορτίου της μονάδας.

Σύστημα τροφοδοσίας

Το σύστημα τροφοδοσίας εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης και την ικανότητα άντλησής της. Η κατηγορία της αντλήσιμης πρώτης ύλης, η οποία συμπεριλαμβάνει τις ζωικές υδαρείς κοπριές και ένα μεγάλο αριθμό υγρών οργανικών αποβλήτων (επιπλέουσα ιλύς, απόβλητα γαλακτοκομίας, ιχθυέλαια κλπ.), μεταφέρεται με αντλίες από τις δεξαμενές αποθήκευσης στο χωνευτή. Οι αντλίες μπορεί να είναι φυγοκεντρικές ή αντλίες μετατόπισης Η κατηγορία της μη αντλήσιμης πρώτης ύλης (ινώδη υλικά, χλόη, χορτονομή αραβοσίτου, στερεή κοπριά με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο, κ.λπ.) μεταφέρετε από έναν φορτωτή στο σύστημα τροφοδοσίας και έπειτα διοχετεύεται στο χωνευτή, μέσω ενός συστήματος κοχλιωτού σωλήνα. Και οι δύο τύποι πρώτης ύλης μπορούν να τροφοδοτούνται ταυτόχρονα στο χωνευτή.

Η σταθερή θερμοκρασία της διεργασίας είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη σταθερή λειτουργία της μονάδας και την υψηλή παραγωγή βιοαερίου. Οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, χρονικές, εποχικές, τοπικές, μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια της διεργασίας της ΑΧ. Επομένως, για να αντισταθμιστούν οι απώλειες θερμότητας, οι χωνευτές πρέπει να μονώνονται και να θερμαίνονται από εξωτερικές πηγές θέρμανσης, όπως επιτυγχάνεται συνηθέστερα με την χρήση μέρους της παραγόμενης θερμότητας του συστήματος.

Χωνευτές

Ο πυρήνας της μονάδας βιοαερίου είναι ο χωνευτής, ο οποίος είναι ένας αεροστεγής αντιδραστήρας όπου πραγματοποιείται η αποσύνθεση της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου, και παράγεται το βιοαέριο. Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, χάλυβα, τούβλο ή πλαστικό, είναι διαμορφωμένοι ως σιλό, σκάφες, λεκάνες ή λιμνούλες, και μπορεί να τοποθετούνται υπόγεια ή επιφανειακά.

Η επιλογή του σχεδίου και ο τύπος του χωνευτή καθορίζονται από το περιεχόμενο σε ξηρή ουσία του χωνευμένου υποστρώματος. Η υγρή χώνευση, όταν το μέσο περιεχόμενο ξηρής ουσίας του υποστρώματος είναι χαμηλότερο από 15%, περιλαμβάνει συνήθως την ΑΧ της κοπριάς και της λυματολάσπης, ενώ η ξηρή χώνευση, περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία 20-40%, εφαρμόζεται στην παραγωγή βιοαερίου από στερεή κοπριά με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο, από οικιακά απόβλητα και στερεά αστικά βιο-απόβλητα, κλαδέματα και χλόη από τη συντήρηση κήπων, ενεργειακές καλλιέργειες.

Γενικότερα, υφίστανται διάφοροι τύποι χωνευτών, όπως αναφέρονται παγκοσμίως: fixed-film reactor, attached-film bioreactor, plug flow, anaerobic rotating biological reactor, up-flow anaerobic sludge blanket (UASB), continuously stirred tank reactor (CSTR) ή αλλιώς complete mix system, anaerobic hybrid reactor (AHR), two-stage anaerobic systems κλπ. Από την άποψη της εισαγωγής και εξαγωγής της πρώτης ύλης, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι χωνευτών.

- Ασυνεχούς τύπου

Η ιδιαιτερότητα στη λειτουργία των χωνευτών ασυνεχούς τύπου είναι ότι βασίζεται στην πλήρωση με ένα μέρος νωπής πρώτης ύλης, το οποίο αφήνεται να χωνευθεί και έπειτα αφαιρείται εντελώς. Ένα νέο μέρος τροφοδοτείται στο χωνευτή και η διεργασία επαναλαμβάνεται. Οι χωνευτές ασυνεχούς τύπου είναι απλοί στην κατασκευή τους και χρησιμοποιούνται συνήθως για ξηρή χώνευση.

- Συνεχούς τύπου

Σε ένα χωνευτή συνεχούς τύπου τα υποστρώματα της πρώτης ύλης τροφοδοτούνται στο χωνευτή συνεχώς. Το υλικό κινείται μέσα στο χωνευτή είτε μηχανικά είτε υπό την πίεση του νέου-τροφοδοτούμενου υποστρώματος που εξωθεί το χωνεμένο υλικό. Η παραγωγή βιοαερίου είναι σταθερή και προβλέψιμη, καθώς το βιοαέριο παράγεται χωρίς διακοπή για τη φόρτωση νέας πρώτης ύλης και την εκφόρτωση των χωνεμένων υπολειμμάτων.

Υπάρχουν τρία βασικά είδη συνεχών χωνευτών: κατακόρυφοι, οριζόντιοι και συστήματα πολλαπλών δεξαμενών. Ανάλογα με τη λύση που επιλέγεται για την ανάδευση του υποστρώματος ΑΧ, οι συνεχείς χωνευτές μπορούν να ταξινομηθούν στους χωνευτές πλήρους ανάμιξης, που είναι κυρίως κατακόρυφοι και τους χωνευτές στρωτής ροής, που είναι οριζόντιοι.

Καθώς η παθητική ανάδευση δεν επαρκεί για τη βέλτιστη λειτουργία του χωνευτή, εφαρμόζεται η ενεργητική ανάδευση με τη χρήση μηχανικού, υδραυλικού ή πνευματικού εξοπλισμού, κατά το πλείστον των μονάδων χρησιμοποιείται η μηχανική ανάδευση.

Μονάδες αποθήκευσης και καθαρισμού βιοαερίου

Σήμερα υπάρχουν διάφορες επιλογές για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου. Η πιο απλή λύση είναι η αποθήκευση του βιοαερίου στο επάνω μέρος των χωνευτών με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης, ενώ σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις δημιουργούνται ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης, που μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλή, μέση ή υψηλή πίεση.

Για τον καθαρισμό του βιοαερίου υπάρχουν εγκαταστάσεις και συστήματα για την αποθείωση, αφαίρεση του υδρόθειου (H_2S) από το βιοαέριο, η οποία μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους βιολογικές ή χημικές στο εσωτερικό ή εξωτερικά του χωνευτή

Η σχετική υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτή είναι 100%, για την προστασία της εγκατάστασης από διάβρωση και ενδεχόμενες βλάβες, μπορεί να αφαιρεθεί το νερό από το παραγόμενο βιοαέριο, με διαχωριστές συμπυκνωτές ή δοχεία ψύξης.

Παράμετροι λειτουργίας

Η κατασκευή των μονάδων βιοαερίου απαιτεί ένα συνδυασμό διαφορετικών αλληλοεξαρτώμενων παραγόντων και εκτιμήσεων. Για την επίτευξη μια μέγιστης παραγωγής βιοαερίου που λαμβάνεται από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος θα απαιτούσε ένα μεγάλο υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) και ένα αντίστοιχο μέγεθος χωνευτή. Στην πράξη όμως, η επιλογή του συστήματος (μέγεθος και τύπος του χωνευτή) βασίζεται σε έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου και της οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας.

Οργανικό φορτίο

Το οργανικό φορτίο είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας, η οποία δείχνει πόση οργανική ξηρή ουσία μπορεί να τροφοδοτηθεί στον χωνευτή, ανά m^3 όγκου και μονάδα χρόνου και μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$BR = m * c / VR \quad (5)$$

Όπου BR οργανικό φορτίο [$kg/d * m^3$], m μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου [kg/d], c συγκέντρωση οργανικής ουσίας [%] και VR όγκος του χωνευτή [m^3]

Υδραυλικός χρόνος παραμονής (YXΠ)

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (YXΠ) είναι το μέσο χρονικό διάστημα κατά το οποίο διατηρείται το υπόστρωμα μέσα στη δεξαμενή του χωνευτή. Επομένως, ο YXΠ σχετίζεται με τον όγκο του χωνευτή (VR), και τον όγκο του υποστρώματος (V) που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου, και μπορεί να δοθεί από την εξίσωση:

$$YXΠ = VR / V \quad (6)$$

Όπου YXΠ υδραυλικός χρόνος παραμονής [ημέρες], VR όγκος του χωνευτή [m^3] και V όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου [m^3/d]

Επομένως, όσο αυξάνεται το οργανικό φορτίο θα μειώνεται ο YXΠ. Ένας μικρός YXΠ παρέχει μια καλή παροχή υποστρώματος αλλά χαμηλή παραγωγή αερίου. Ο χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των βακτηρίων που αφαιρείται με το χωνεμένο υπόλειμμα δεν θα είναι υψηλότερη από την ποσότητα των αναπαραγόμενων βακτηρίων (π.χ. ο ρυθμός διπλασιασμού των αναερόβιων βακτηρίων είναι 10 ημέρες ή περισσότερο).

Είναι σημαντικό ο YXΠ να προσαρμόζεται στο συγκεκριμένο ρυθμό αποσύνθεσης των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων. Ξέροντας το επιθυμητό YXΠ, την καθημερινή εισαγωγή πρώτης ύλης και τον ρυθμό αποσύνθεσης του υποστρώματος, είναι δυνατό να υπολογιστεί ο απαραίτητος όγκος του χωνευτή.

Ο YXΠ για τα πτηνοτροφικά απόβλητα στην αναερόβια χώνευση ποικίλει και έχει αναφερθεί βιβλιογραφικά ([28], [68], [78], [80], [88], [90], [91], [92], [93]) από 13 ώρες έως και 91 ημέρες ανάλογα το στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, την ανάμιξη με άλλα υλικά και τις συνθήκες της διαδικασίας. Επιπρόσθετα, για τα πτηνοτροφικά απόβλητα των σφαγείων, ο YΠΧ αναφέρεται από 4 έως 40 ημέρες ([81], [82]), ανάλογα με τους προαναφερόμενους παράγοντες.

Άλλες παράμετροι λειτουργίας

Μία σειρά διαφορετικών παραμέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των μονάδων βιοαερίου και τη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων.

Γενικότερα μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες παραμέτρων:

- Στοιχεία λειτουργίας, τα οποία μπορούν να καθοριστούν από μετρήσεις
- Παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν από καταγραφές

4.1.3. Μονάδες παραγωγής βιοαερίου

Στις μέρες μας λειτουργούν μια πληθώρα μονάδων βιοαερίου, από μικρής ή μέσης κλίμακας, έως μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις.

Υφίστανται εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας δημοτικών στερεών αποβλήτων, βιομηχανικές εγκαταστάσεις βιοαερίου, εγκαταστάσεις ανάκτησης αερίου χωματερών, καθώς και αγροτικές μονάδες βιοαερίου.

Αγροτικές μονάδες βιοαερίου

Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου επεξεργάζονται τα υποστρώματα πρώτης ύλης που κυρίως προέρχονται από την αγροτική παραγωγή. Τα συνηθέστερα είδη πρώτης ύλης για αυτές τις εγκαταστάσεις είναι η ζωική στερεή και η υδαρής κοπριά, τα υπολείμματα και τα υποπροϊόντα από τη συγκομιδή λαχανικών και άλλων αγροτικών προϊόντων και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Ο σχεδιασμός και η τεχνολογία των μονάδων βιοαερίου διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα εθνικά πλαίσια (νομοθεσία και πολιτικές σε θέματα ενέργειας), την ενεργειακή διαθεσιμότητα και προσιτότητα. Σύμφωνα με το σχετικό τους μέγεθος, τη λειτουργία και θέση τους, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες αγροτικών εγκαταστάσεων ΑΧ:

Οι μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας (μικρής κλίμακας)

χρησιμοποιούν πολύ απλές τεχνολογίες. Η πρώτη ύλη της ΑΧ που χρησιμοποιείται σε αυτές τις μονάδες βιοαερίου προέρχεται από τα νοικοκυριά και/ή τη μικρή αγροτική τους δραστηριότητα και το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα και το φωτισμό. Οι χωνευτές είναι απλοί, φθηνοί, γεροί, εύκολοι στη λειτουργία και τη συντήρησή τους. Οι τύποι που βρίσκονται σε χρήση είναι: Κινέζικος τύπος, Ινδικός τύπος, τύπος μετατόπισης.

Οι μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας)

Είναι διαφόρου μεγέθους, σχήματος, σχεδιασμού και τεχνολογίας. Ωστόσο, όλες έχουν μια κοινή αρχή σχεδίασης: η στερεή κοπριά συλλέγεται σε μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης (κοντά στον χωνευτή) και αντλείται στο χωνευτή, ο οποίος είναι μια αεροστεγής δεξαμενή, κατασκευασμένη από χάλυβα ή σκυρόδεμα, μονωμένη ώστε να διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία διεργασίας. Οι χωνευτές μπορεί να είναι οριζόντιοι ή κατακόρυφοι, συνήθως με συστήματα ανάδευσης, που βοηθούν στη μείξη και την ομογενοποίηση του υποστρώματος και συντελούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων σχηματισμού επιπλεόντων στρωμάτων και ιζηματογένεσης. Εκτός από το χωνευτή που είναι εξοπλισμένος με σύστημα ανάδευσης, η μονάδα μπορεί να περιλαμβάνει δεξαμενή προ-αποθήκευσης για τη νωπή βιομάζα, δεξαμενή αποθήκευσης για τη χωνεμένη βιομάζα και για το βιοαέριο, καθώς και μια μονάδα Συνδυασμένης παραγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας.

Οι κεντρικές μονάδες βιοαερίου / κοινή συγχώνευση (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας)

Η κεντρική συγχώνευση είναι μια έννοια που βασίζεται στη χώνευση ζωικής στερεής και υδαρούς κοπριάς που συλλέγεται από διάφορα αγροκτήματα, σε μια μονάδα βιοαερίου, η οποία είναι εγκατεστημένη κεντρικά στην περιοχή συλλογής της κοπριάς. Η κεντρική θέση των μονάδων βιοαερίου στοχεύει στο να μειώσει τις δαπάνες, τον χρόνο και το εργατικό δυναμικό για τη μεταφορά της κοπριάς από και προς την μονάδα βιοαερίου. Η στερεή κοπριά υφίσταται συγχώνευση με ποικίλους άλλους τύπους κατάλληλης πρώτης ύλης (π.χ. τα χωνευόμενα αγροτικά υπολείμματα, απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων και ιχθύων, οργανικά απόβλητα διαχωριζόμενα στην πηγή, λυματολάσπη, κ.λπ). Το σύστημα τροφοδοσίας είναι συνεχές και το μείγμα βιομάζας αντλείται μέσα και έξω από τους χωνευτές σε ίσες ποσότητες μέσω αλληλουχιών ακριβείας των αντλιών. Το χωνεμένο υπόλειμμα, όπως αντλείται από τον χωνευτή, μεταφέρεται με σωληνώσεις στις δεξαμενές αποθήκευσης. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μονάδες αυτού του είδους καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, όπου πραγματοποιείται η συλλογή της συμπληρωματικής παραγωγής βιοαερίου (μέχρι 15% του συνόλου) σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Εφαρμογές βιοαερίου

Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 3000 μονάδες βιοαερίου, που λειτουργούν σε εμπορική κλίμακα στην Ευρώπη. Η συνολική παραγωγή βιοαερίου το 2002 εκτιμήθηκε σε 92 PJ/έτος, ενώ το συνολικό δυναμικό σε ευρωπαϊκό επίπεδο, για το 2020 εκτιμάται σε 770 PJ/έτος ([94]). Ενδεικτικό της δυναμικής του βιοαερίου είναι το ότι στη Σουηδία υπάρχουν 200

μονάδες βιοαερίου, εκ των οποίων οι 140 είναι βιολογικοί καθαρισμοί με συνολική παραγωγή βιοαερίου περίπου 1400 GWh. Επίσης υπάρχουν 20 μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου, ακόμη υπάρχουν 36 δημόσιοι σταθμοί διανομής βιοαερίου (30 σταθμοί είναι υπό κατασκευή) και 4300 οχήματα κινούνται με μεθάνιο. Το 40% των πωλήσεων αερίου αφορά το βιοαέριο - το υπόλοιπο αναφέρεται στο φυσικό αέριο. Στην Ελλάδα, ο σταθμός των Άνω Λιοσίων είναι από τους μεγαλύτερους με καύσιμο βιοαέριο παγκοσμίως και η κατασκευή του ίδιου και των δικτύων διανομής κόστισε περισσότερο από 20 εκατομμύρια ευρώ. Η μονάδα έχει δυνατότητα να παρέχει 8.000 κυβικά μέτρα βιοαερίου την ώρα, ενώ παράγει ηλεκτρισμό ισχύος 13MW και θερμότητα 16MW.

Σχετικά με την ανάπτυξη της παραγωγής βιοαερίου, έχουν γίνει σημαντικά βήματα για την αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων στην Δανία, την ανάπτυξη μονάδων κατά το μεγαλύτερο μέρος μικρής κλίμακας αγροτοκτηνοτροφικών στην Γερμανία και την Ελβετία και τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου για μεταφορές στην Σουηδία. Στην Ελλάδα την δεκαετία του '80 έγιναν πολλές προσπάθειες για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου παραγόμενου από επεξεργασία ζωικών αποβλήτων και οργανικών αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών. Τα περισσότερα από αυτά τα έργα είχαν χαρακτήρα επιδεικτικό και μετά τον αρχικό ενθουσιασμό και την ασφάλεια της επιστημονικής υποστήριξης, οδηγήθηκαν σε αχρηστία. Η κυρία αιτία ήταν η έλλειψη πληροφόρησης, κατάλληλης υποδομής, κρατικού ενδιαφέροντος και οικονομικών κινήτρων. Επομένως, παρόλο που η χώρας μας έχει υψηλό δυναμικό κτηνοτροφικών αποβλήτων, δεν υπάρχει καμία μονάδα διαχείρισης για παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα και αγροτοβιομηχανικά λύματα.

4.1.4. Οικονομική ανάλυση παραγωγής βιοαερίου

Μια πλήρης οικονομική ανάλυση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου απαιτεί την συλλογή και αξιολόγηση πληθώρα διαφορετικών δεδομένων και οικονομικών αναλύσεων, διαφοροποιούμενες κάθε φορά ανάλογα την περιοχή μελέτης και τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Για το λόγο ότι οι παράγοντες που εμπλέκονται στην διενέργεια της οικονομικής αποτίμησης του βιοαερίου είναι περίπλοκοι, αναφέρονται μόνο οι κατευθυντήριες οικονομικές αναλύσεις που πρέπει να διενεργούνται για τον υπολογισμό κόστους-οφέλους του βιοαερίου.

Οι οικονομικοί πρόσδοδοι από την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να συνοψιστούν στα οικονομικά οφέλη από την χρήση της παραγόμενης θερμότητας, από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπάρχων δίκτυο, από την διαχείριση του

παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού, από τα αντίστοιχα αντισταθμιστικά οφέλη στην τοπική κοινωνία, από το αντίτιμο εισόδου στο δίκτυο διαχείρισης ή από την χρήση βιοκαυσίμων. Σε αντίθεση, στο ολικό κόστος παραγωγής απαιτείται ο συνυπολογισμός των επιπρόσθετων οικονομικών κοστών, όπως είναι το κόστος μεταφοράς των αποβλήτων από την πηγή στην μονάδα επεξεργασίας, το κόστος υλοποίησης των εγκαταστάσεων, το κόστος εύρεσης και αγοράς του χώρου, των εργαστηριακών αναλύσεων, του κόστους σύνδεσης στο υπάρχων ηλεκτρικό δίκτυο, του κόστους των εγκαταστάσεων διαχείρισης της θερμότητας, του κόστους αναβάθμισης του βιοαερίου και σύνδεσης με το δίκτυο, καθώς και το κόστος των εκπομπών της μεθόδου παραγωγής του βιοαερίου.

Επειδή το συνολικό κόστος του εξοπλισμού είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις εκάστοτε ιδιαιτερότητες, το μέγεθος εγκατάστασης, την ποσότητα αποβλήτων κλπ είναι δύσκολο να βρεθούν ακριβής τιμές εξοπλισμού από κατασκευαστές. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται βιβλιογραφικές αναφορές σύμφωνα με το εκάστοτε υλοποιημένο ή μη σχέδιο. Παρόλα αυτά οι αναφορές σχετικά με τον εξοπλισμό για διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι περιορισμένες. Στην μελέτη των Flora και Riahi-Nezhad ([28]) αναφέρεται το κόστος μιας μελέτης αναερόβιας χώνευσης στα 5.950\$/KW από την διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων. Σε αντίθεση με το κόστος εγκατάστασης για την απευθείας καύση στα 2.500 - 2.900\$/KW για 12 έως 40MW εγκατάσταση με Οι Lichtenberg et al. ([95]) και για την αεριοποίηση των πτηνοτροφικών αποβλήτων για σύστημα 0.5MW στα 1.520\$/KW και για σύστημα 1MW στα 1121\$/KW([96]), καθώς και 2.000\$/KW και 1.500\$/KW για συστήματα 100KW και 1MW αντίστοιχα ([97]). Σύμφωνα του ΚΑΠΕ, το πραγματικό κόστος επένδυσης βιοαερίου μπορεί να ανέλθει σε 2.600€ ανά εγκατεστημένο MW ([98]), με το ανώτατο ποσοστό δημόσιας επιχορήγησης σύμφωνα με το ΕΠΑΝ να μην υπερβαίνει το 40% των επιλέξιμων δαπανών, ενώ η αντίστοιχη εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπααραγωγή για τα έργα βιοαερίου να ανέρχεται σε 87,84€/MWh για το 2010 ([99]). Η Σουηδία αποτελεί από τα καλύτερα Ευρωπαϊκά παραδείγματα στην οικονομική ανάλυση της παραγωγής και διαχείρισης του βιοαερίου, όπου το κόστος παραγωγής βιοαερίου είναι 0,17 - 0,50€/m³, η τιμή αγοράς του αναβαθμισμένου βιοαερίου ανέρχεται σε 0,50 - 0,80€/m³ και του φυσικού αερίου σε 0,50-0,70 €/m³. Ενώ, οι τιμές πετρελαίου και βενζίνης αντίστοιχα ανέρχονται σε 0,9€/m³ και 1,1€/m³ και το κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε μονάδες μεγαλύτερες των 250m³/h υπολογίζεται περίπου σε 0,11€/m³ ([100], [101]). Περαιτέρω, παραδείγματα οικονομικής ανάλυσης για την διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων αναφέρονται στο Παράρτημα 2.

Στην περίπτωση της παραγωγής εδαφοβελτιωτικού από την αερόβια χώνευση των πτηνοτροφικών απόβλητων, σύμφωνα με Lichtenberg et al. ([95]), το κόστος παραγωγής σε μικρής κλίμακας εγκατάσταση (on-farm) αναφέρεται στα 16.59\$ ανά τόνο, σε μέσης έως μεγάλης κλίμακας (off-farm) στα 35.77\$, 28.23\$ 27.10\$ ανά τόνο για αντίστοιχες χωρητικότητες 10.000-40.000-80.000 τόνων. Με μια μέση τιμή πώληση χύδην εδαφοβελτιωτικού στα 18.10\$ ανά τόνο διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος έχει αρνητικά αποτελέσματα. Επιπρόσθετα, το κόστος για την εμπορική συσκευασία του προϊόντος σε σακιά ανέρχεται στα 56.08\$-41.16\$-38.80\$ ανά τόνο για τις αντίστοιχες χωρητικότητες 10.000-40.000-80.000 τόνων. Με την μέση τιμή να κυμαίνεται στα 44.20\$ τον τόνο, κέρδος θα προκύψει μόνο για μεγάλες εγκαταστάσεις διαχείρισης πτηνοτροφικών αποβλήτων.

Γενικότερα, μπορεί να ειπωθεί ότι τα επόμενα εμπόδια που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την οικονομική βιωσιμότητα ενός έργου βιοαερίου στην Ελλάδα είναι η ενιαία τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που ισχύει σήμερα, η μη διαφοροποίηση μεταξύ των τεχνολογιών ΑΠΕ, η διακύμανση και η διαθεσιμότητα της «πρώτης ύλης», τα υψηλά κόστη επένδυσης, η περιορισμένη πρόσοδος, πρακτικά υφίστανται έσοδα κυρίως από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, και η απουσία προσόδου από «Πράσινα Πιστοποιητικά» ή «Γέλους Απόθεσης». Συνεπώς, συνυπολογίζοντας όλα αυτά προκύπτει ότι ευνοείτε η πιο ώριμη, τεχνικά και οικονομικά μορφή ΑΠΕ που είναι η αιολική ενέργεια.

4.1.5. Αξιολόγηση παραγωγής βιοαερίου

Η χρήση του βιοαερίου έχει μικτά οφέλη. Στο επίπεδο της προστασίας του περιβάλλοντος, βοηθάει να επιλυθούν τα προβλήματα διαχείρισης των αποβλήτων, επειδή τα χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη. Επιτυγχάνει την παραγωγή ρεύματος και θερμότητας, χωρίς να εκλύονται κατά τη διαδικασία αυτή αέρια θερμοκηπίου, το συνολικό ισοζύγιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγεται κατά την καύση του βιοαερίου είναι ισοδύναμο αυτού που απορροφάται κατά την παραγωγή του, άρα δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Η παραγωγή βιοαερίου εξασφαλίζει τη δυνατότητα χρήσης του ως καύσιμο μεταφορών αντικαθιστώντας τα συμβατικά καύσιμα σε ποσοστό που μπορεί να φτάσει το 15-20%, δίνοντας τη δυνατότητα να λειτουργήσουν μηχανές εσωτερικής καύσης, εκλύοντας λιγότερα ρυπογόνα αέρια. Οι μηχανές που καίνε βιοαέριο έχουν περίπου 60% λιγότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων. Σε οικονομικό επίπεδο βοηθάει στη ανεξάρτηση της ενεργειακής εξάρτησης από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος. Το

αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί να διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή υδρογόνου (fuel cell). Αναφέρεται ότι μια μεγάλη μονάδα βιοαερίου με ικανότητα εισροής βιομάζας 70 - 100 τόνους ανά ημέρα, μπορεί να παράγει 2.800 - 4.600m³ βιοαέριο την ημέρα, που αντιστοιχεί σε εγκατεστημένη ισχύ 3MW και παραγωγή θερμικής ενέργειας 6.500 MWth το χρόνο και από την επεξεργασία της λάσπης προκύπτουν 100 τόνοι εδαφοβελτιωτικών. Τα κέρδη μόνο από την πώληση του ρεύματος στη ΔΕΗ το έτος υπολογίζεται σε 967.500 ευρώ ενώ κάθε 1 MW εγκατεστημένης ισχύος προκύπτουν 2 - 3 θέσεις εργασίας ([102]). Τέλος, οφέλη προκύπτουν και από τη μείωση των παθογόνων οργανισμών στα χωνεμένα κοπριά και την χρήση του στερεού υποπροϊόντος ως προϊόν λίπανσης.

Μειονεκτήματα στην παραγωγή βιοαερίου θεωρούνται η συλλογή - μεταποίηση - μεταφορά - αποθήκευση της βιομάζας ή των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων και ο μεγάλος αρχικός όγκος αυτών. Αυτό συνεπάγεται την δημιουργία των μονάδων παραγωγής πλησίον των πηγών των αποβλήτων για την αποδοτικότερη αξιοποίηση και τη μείωση του οικονομικού κόστους, ώστε να μπορεί να είναι βιώσιμη μια τέτοια επένδυση. Επιπρόσθετα, απαιτούνται περαιτέρω βελτιώσεις των μεθόδων καθαρισμού και αναβάθμισης του βιοαερίου και έρευνας στη περίπτωση παραγωγής υδρογόνου από αναβαθμισμένο βιοαέριο, για τη χρήση του σε κυψέλη καυσίμου και μικροαεροστροβίλους με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Τέλος, γενικά μειονεκτήματα και προβλήματα που μπορεί να ανακύψουν έχουν να κάνουν με τις εκάστοτε κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές συνθήκες που επικρατούν, όπως το υψηλό κόστος κατασκευής, ο ανταγωνισμός με άλλα καύσιμα, η έλλειψη στατιστικών στοιχείων και αποδόσεων, το υπάρχον δίκτυο διανομής, η απουσία πρόβλεψη τιμών και η απουσία πολιτικής και νομοθετικής βούλησης

4.2. Εδαφοβελτιωτικό

Το χωνεμένο υπόλειμμα της ΑΧ είναι πιο ομογενοποιημένο σε σχέση με την ακατέργαστη υδαρή κοπριά και με μια βελτιωμένη ισορροπία αζώτου-φωσφόρου (N-P). Δύναται να έχει ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο φυτικών θρεπτικών ουσιών, που επιτρέπει την ακριβή δοσολογία και την ένταξη στα σχέδια λίπανσης των αγροκτημάτων και περιέχει περισσότερο ανόργανο άζωτο, ευκολότερα απορροφήσιμο από τα φυτά. Το τελικό προϊόν είναι απαλλαγμένο από οσμές, παθογόνους μικροοργανισμούς, βακτήρια και ιούς και από σπόρους ζιζανίων. Η αναερόβια χώνευση, σαν μέθοδος, παράγει μικρές ποσότητες λάσπης, 3 έως 20

φορές λιγότερες σε σχέση με τις αερόβιες μεθόδους επεξεργασίας, για το λόγο ότι ο συντελεστής απόδοσης βιομάζας των αναερόβιων βακτηρίων είναι σχετικά μικρός. Σε αερόβιες συνθήκες το 50% περίπου του οργανικού άνθρακα μετατρέπεται σε βιομάζα, ενώ σε αναερόβιες μόνο το 5%. Επομένως, για κάθε τόνο οργανικού υλικού που αποδομείται αερόβια έχουμε 20 έως 150 κιλά βιολογικής λάσπης, έναντι 400 έως 600 κιλών που προκύπτουν κατά την αερόβια χώνευση ([103]). Το ποσοστό αυτό όμως επηρεάζεται από της συνθήκες της αναερόβιας χώνευσης και ενδέχεται να είναι πολύ μεγαλύτερο, προσεγγίζοντας το ποσοστό αποδόμησης της αερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα, το παραγόμενο χωνεμένο υπόλειμμα μπορεί να υποστεί και περαιτέρω τεχνικές βελτίωσης, αφού περιέχει ποσοστά της αρχικής οργανικής ξηρής ουσίας. Η χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό, σύμφωνα με τους κανόνες της ορθής γεωργικής πρακτικής, αυξάνει αρκετά την αποδοτικότητα σε άζωτο και ελαχιστοποιηθεί τις απώλειες των θρεπτικών ουσιών από τη δύλιση και την εξάτμιση. Για τη βέλτιστη χρήση του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό πρέπει να εξεταστούν οι ίδιες βασικές πτυχές, όπως αναφέρθηκαν στην μέθοδο της κομποστοποίησης, όπως η ικανότητα αποθήκευσης (ελάχιστο 6 μηνών), οι εποχιακοί περιορισμοί για την εφαρμογή ως εδαφοβελτιωτικό, η ποσότητα που εφαρμόζεται ανά εκτάριο (με βάση το σχέδιο λίπανσης) και η τεχνική εφαρμογής (άμεση ενσωμάτωση και ελάχιστες θρεπτικές απώλειες).

5. Καταγραφή και Ανάλυση της Φυσικής και Κοινωνικοοικονομικής Πραγματικότητας του Δήμου Μεγάρων

5.1. Γεωγραφικά, μορφολογικά και πληθυσμιακά στοιχεία

Η πόλη των Μεγάρων βρίσκεται στην νοτιοδυτική πλευρά του Νομού Αττικής, 41 χλμ. από την Αθήνα δεξιά του οδικού άξονα Αθηνών – Κορίνθου. Ο δήμος Μεγάρων (Εικόνα 11) απλώνεται σε έκταση 322 τετραγωνικών χιλιομέτρων και πέραν τα Μεγάρων περιλαμβάνει τους οικισμούς Πάχης, Κινέττας, και Αλεποχωρίου. Η κύρια οικιστική ανάπτυξη εντοπίζεται μεταξύ δύο παράλληλων οροσειρών, της οροσειράς του «Πατέρα» (υψόμετρο 1.132μ) στα βορειοανατολικά και της οροσειράς των «Γερανείων» (υψόμετρο 1.380μ) στα δυτικά-νοτιοδυτικά. Στα νοτιοανατολικά βρέχεται από τα νερά του Σαρωνικού κόλπου ενώ στα βορειοδυτικά από τα νερά του Κορινθιακού κόλπου και συγκεκριμένα από τα νερά του μικρότερου κόλπου, των Αλκυονίδων. Με την απογραφή του 2001 ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 27.672 κατοίκους.



Εικόνα 11: Δορυφορική λήψη της ευρύτερης περιοχής των Μεγάρων

(Πηγή: www.googleearth.com)

5.2. Γεωλογικά – Υδρολογικά - Εδαφολογικά δεδομένα

Η περιοχή των Μεγάρων αποτελείται από σχηματισμούς του (α) Νεοπαλαιοζωϊκού, αποτελούμενοι κυρίως από αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμίτες, (β) του Μεσοζωϊκού,

φυλλίτες και ψαμμίτες με παρεμβολές ασβεστόλιθων και δολομιτών, (γ) του Νεογενούς, αποτελούμενοι από θαλάσσια και λιμναία ιζήματα (λευκοκίτρινες μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τοπικά από αμμοψαμμίτες και κροκαλοπαγή μικρού πάχους) και χαλαρές αποθέσεις, ηπειρογενετικής προέλευσης (ερυθρές αργίλους και πηλούς) και από (δ) Τεταρτογενούς, αποτελούμενοι από δίλουβιακές αποθέσεις, αλλουβιακές αποθέσεις

Χαρακτηριστικό αποτελεί το γεγονός ότι εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, υπάρχουν στο μητρικό πέτρωμα βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις, και λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο.

Στην περιοχή της λεκάνης απορροής των Μεγάρων έχουν γίνει επιμέρους μετρήσεις τόσο για την ποιότητα των επιφανειακών νερών, όσο και για τους υδροφόρους ορίζοντες. Οι σημαντικότερη εξ αυτών πραγματοποιήθηκε το 1994 από την Γεωλογική Εταιρία ([104]) και το 2002 από το Γραφείο Γεωλογικών Υδρογεωλογικών Μελετών Παρασχούδης ([105]), με τα σημαντικότερα συμπεράσματα να παρουσιάζονται παρακάτω:

- Στη λεκάνη των Μεγάρων γίνεται συστηματική υπεράντληση από το 1980 μέχρι και το 1992 σε βαθμό που το αντλούμενο νερό να μην αναπληρώνεται ετήσια με συνέπεια τη συνεχή πτώση της στάθμης.
- Αμμωνιακά, νιτρικά, νιτρώδη ανιχνεύτηκαν τοπικά μόνο σε ορισμένες γεωτρήσεις των περιοχών Κολλάτα και Αγία Ελεούσα και οφείλονται στην παρουσία πτηνοτροφείων, ποιμνιοστασιών και στην υπερβολική χρήση λιπασμάτων λόγω κηπευτικών καλλιεργειών.
- Σε ορισμένες γεωτρήσεις ανιχνεύτηκαν δείκτες μόλυνσης, που οφείλονται σε μετατροπή αυτών σε βόθρους.
- Κάποιες περιοχές έχουν επιβαρυνθεί ποιοτικά από τη διείσδυση της θάλασσας
- Η ζώνη μεταξύ της θάλασσας και της Νέας Εθνικής Οδού ήταν εξ αρχής ποιοτικά βεβαρυσμένη λόγω δυσμενών γεωλογικών-υδρογεωλογικών συνθηκών (ανοιχτό στη θάλασσα και βαθύ KARST) και στη συνέχεια επιδεινώθηκε λόγω υπεράντλησης (Ζώνη Περάμου-Μεγάρων).
- Σχεδόν στο σύνολο της περιοχής της Πεδιάδας Μεγάρων, που δομείται από αποθέσεις του Νεογενούς, υπάρχουν λίγα εγκλωβισμένα υπόγεια νερά. Λόγω των συνθηκών αυτών, τα εν λόγω νερά δεν υπόκεινται σε ετήσια επαναπλήρωση, με αποτέλεσμα τη σχετικά γρήγορη εξάντληση τους σε περίπτωση αντλήσεων.

Σύμφωνα με τα δεδομένα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή των Μεγάρων από το Ν. Θέο ([106]) προέκυψαν και αναφέροντα τα σημαντικότερα σύμφωνα με φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των εδαφών.

Τα περισσότερα εδάφη βάσει της κοκκομετρική τους σύστασης χαρακτηρίζονται σε ελαφριά έως μέσα. Η ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου θεωρείται γενικά πολύ υψηλή εφ' όσον τα περισσότερα έχουν ποσοστό ολικού ανθρακικού ασβεστίου άνω του 25% με μέσο όρο 35.4%. Η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία αφού κυμαίνεται μεταξύ 1.6-3.9% χαρακτηρίζεται επαρκής, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις περιεκτικότητες των ελληνικών εδαφών. Οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 7.6-8.4 και συνεπώς τα εδάφη θεωρούνται έως ελαφρώς έως μέσος αλκαλικά. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους βρέθηκε ότι έχει μέση τιμή 1516μS/cm, με εύρος 990-2820μS/cm, χωρίς προβλήματα αλατότητας.

Οι συγκεντρώσεις του αφομοιώσιμου φωσφόρου βρέθηκαν να είναι υψηλές, ομοίως και για το ανταλλάξιμο ασβεστίου και μαγνησίου, θεωρούνται επαρκής έως υψηλές. Επιπρόσθετα, οι ολικές συγκεντρώσεις των πέντε (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd) εκ των επτά βαρέων μετάλλων που μελετήθηκαν βρέθηκαν να είναι παρόμοιες με αντίστοιχες άλλων γεωργικών περιοχών σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε αντίθεση, ο ολικός μόλυβδος παρουσίασε τιμές στην συγκέντρωση του με κύμανση από 11.0 - 38.0mgKg⁻¹ στο σημείο και μέση τιμή 21.7mg Kg⁻¹ οριακές για την ρύπανση των εδαφών, με πιθανή αιτία για τις αυξημένες συγκεντρώσεις σε κάποια σημεία της ύπαρξης πλησίον της Εθνικής οδού Αθηνών-Κορίνθου. Ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις σε νικέλιο (190-304mg Kg⁻¹) οφείλονται στην φύση του μητρικού πετρώματος.

5.3. Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα της περιοχής μελέτης ανήκει στο μεσογειακό τύπο, στον οποίο οι βροχές περιορίζονται στο ψυχρό εξάμηνο (Οκτώβριος-Μάρτιος) . Τα Μέγαρα όπως και όλη η δυτική βορειοδυτική Αττική ανήκει στην κύρια μεταβατική ζώνη μεταξύ ηπειρωτικών και γνήσιων μεσογειακών κλιμάτων ([107]).

Ο χειμώνας αρχίζει κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου και διαρκεί έως τα μέσα Μαρτίου. Σ' αυτό το διάστημα σημειώνονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του έτους και το μεγαλύτερο ύψος των βροχοπτώσεων. Η άνοιξη στην Αττική είναι σύντομη όπως σ'

ολόκληρη τη χώρα, γιατί το καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα, από το τρίτο δεκαήμερο του Μαΐου και παρατείνεται έως τα μέσα του Σεπτεμβρίου.

Η ηλιοφάνεια, το κυριότερο χαρακτηριστικό του Αττικού ουρανού, συνεχίζεται και κατά το μεγαλύτερο μέρος του χειμώνα. Οι νεφοσκεπείς ημέρες δεν υπερβαίνουν τις 45 με 47 και μόνο 17 ημέρες το χρόνο είναι εντελώς ανήλιες και ο ουρανός καλύπτεται ολόκληρος από σύννεφα. Από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους, κατά το διάστημα αυτό ο ουρανός είναι αίθριος, η ξηρασία διαρκής, και η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι 32,2°C. Όσον αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, στοιχεία υπάρχουν από το βροχομετρικό σταθμό των Μεγάρων (Ε.Μ.Υ., Υψόμετρο σταθμού : 1μ , Περίοδος παρατηρήσεων: 1946-1988, Έτη παρατηρήσεων : 43 έτη) και από την υδρογεωλογική έρευνα που διεξάχθηκε από την εταιρεία "ΓΕΩΔΟΜΗΣΗ" ([107]), όπως απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα.

ΜΗΝΑΣ	Μετεωρολογικός Σταθμός Μεγάρων		Υδρολογική λεκάνη Μεγάρων	
	Μέση βροχόπτωση (mm)	Μέση θερμοκρασία (°C)	Μέση βροχόπτωση (mm)	Μέση θερμοκρασία (°C)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	44	9.6	46.8	9.5
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	38.2	10	40	9.9
ΜΑΡΤΙΟΣ	39.2	12.7	40	12.6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	29.5	16.4	28	21.1
ΜΑΪΟΣ	15.3	21.2	16	25.9
ΙΟΥΝΙΟΣ	7.7	26.1	8	28.6
ΙΟΥΛΙΟΣ	4.2	28.8	4.5	27.8
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6.9	27.9	6.5	24.7
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ	9.3	24.9	10	19.2
ΟΚΤΩΒΡΗΣ	40.1	19.4	44	14.5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	51.6	14.4	52	11.3
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	57.4	11.3	60	

Πίνακας 19:Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων (1946-88) [107]

5.4. Χρήσεις γης

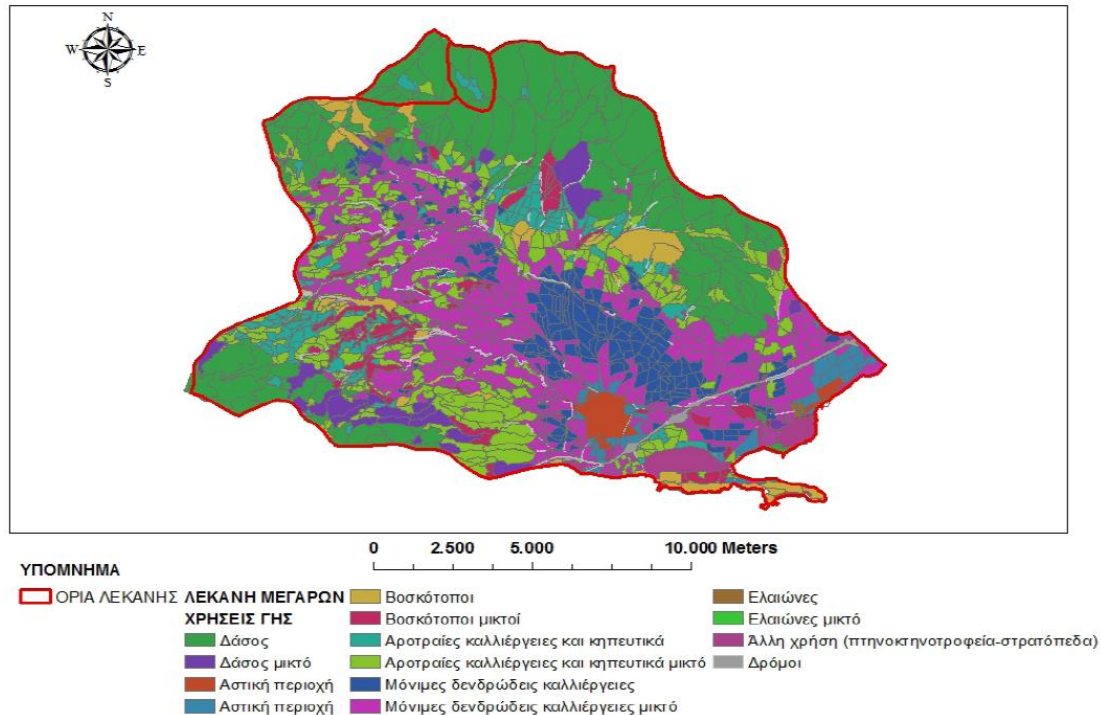
5.4.1. Γεωργία στη περιοχή των Μεγάρων

Σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Πληροφοριών στην πεδιάδα των Μεγάρων υπάρχουν εκτεταμένοι ελαιώνες, πολλοί εκ των οποίων εμφανίζουν έντονα σημάδια «γήρανσης» και γενικά «εγκατάλειψης». Επίσης υπάρχουν εκτεταμένοι αμπελώνες που

καλύπτουν κατ' εκτίμηση έκταση 3.000-4.000 στρέμματα, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες δημιουργήθηκαν δενδροκαλλιέργειες (κυρίως φυσικόδεντρα), οι οποίες αρδεύονται με πολύ βεβαρημένο (υφάλμυρο) νερό. Τέλος υπάρχουν και πολλά θερμοκήπια κηπευτικών, καλύπτοντας σε μεγάλο ποσοστό τις ανάγκες των Αθηνών σε κηπευτικά, κυρίως των χειμώνα. Οι χρήσεις γης της λεκάνης των Μεγάρων φαίνονται στην Εικόνα 12 ([106]).

Οι εκτάσεις που αρδεύονται με υπόγεια νερά στην ευρύτερη περιοχή των Μεγάρων ανέρχονται περίπου σε 15.000 στρέμματα έναντι των 100.000 στρεμμάτων που θα μπορούσαν θεωρητικά να αρδευτούν αν υπήρχε διαθέσιμο νερό και διαθέσιμο ανθρώπινο αγροτικό δυναμικό. Η αγροτική δραστηριότητα, σήμερα, σε ποσοστό μέχρι και 70% γίνεται από αλλοδαπούς μετανάστες ([105]).

Οι κυριότερες αιτίες υποβάθμισης των εδαφικών και υδατικών πόρων της περιοχής των Μεγάρων οφείλονται στην χρήση των αγροχημικών στην γεωργία σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες γεωργικές δραστηριότητες και πρακτικές (μηχανική καλλιέργεια, υπεράντληση υδροφόρων κ.α.)



Εικόνα 12: Χρήσεις Γης Λεκάνης Μεγάρων
Πηγή [106]

5.4.2. Ζωική παραγωγή

Η κτηνοτροφία, στην Ελλάδα παραμένει στάσιμη με φθίνουσα τάση, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια για ανάπτυξή της. Η πτηνοτροφία στην Ελλάδα απαριθμούσε το 2003 14.425.223 όρνιθες αυγοπαραγωγής (Στοιχεία Eurostat [108]). Στην περιοχή των Μεγάρων η ζωική παραγωγή στηρίζεται κατά κόρων στην πτηνοτροφία και σε πολύ μικρότερο ποσοστό στις υπόλοιπες κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις. Η πτηνοτροφία, με σκοπό την παραγωγή αυγών είναι τόσο ανεπτυγμένη, ώστε τα Μέγαρα να χαρακτηρίζονται σαν ένα από τα μεγαλύτερα πτηνοτροφικά κέντρα της χώρας.

Για το έτος 2003 σύμφωνα με την ΕΣΥΑ ([109]) και την έρευνα που έγινε, προέκυψαν οι τιμές σύμφωνα με τον Πίνακα 20 για της εκμεταλλεύσεις και το πλήθος των πουλερικών, όπως αναγράφονται για το σύνολο της χώρας και την Νομαρχία Δυτικής Αττικής, όπου υπάγεται και ο Δήμος Μεγάρων. Επίσης προέκυψε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό, 126 σε 221 εκμεταλλεύσεις αυγοπαραγωγής, έχουν πληθυσμό πουλερικών από 1000 έως 5000, 41 πληθυσμό από 5000-10000, και 14 πληθυσμό μεγαλύτερο των 10000.

	Κοτόπουλα Κρεατοπαραγωγής		Όρνιθες αυγοπαραγωγής		Άλλες όρνιθες που δεν γεννούν και κοκόρια	
	ΕΚΜ/ΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΕΣ	ΕΚΜ/ΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΕΣ	ΕΚΜ/ΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΕΣ
Σύνολο χώρας	176792	25649927	315264	-	112172	-
ΝΟΜ.ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	25	-	221	-	0	0

Πίνακας 20: Εκμεταλλεύσεις και πληθυσμός ορνίθων για το έτος 2003 Πηγή: [109]

Όσο αφορά ξεχωριστά των Δήμο Μεγάρων τα σημερινά δεδομένα⁴ το δυναμικό των εκμεταλλεύσεων είναι 140 για παραγωγή αυγών και 30 για χωρική κτηνοτροφία (πάχυνση 20-25 ημερών), με το πληθυσμό να ανέρχεται περίπου σε 1.400.000 και 250.000 όρνιθες αντίστοιχα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η συμμετοχή της κτηνοτροφίας της Ελλάδας στην Ακαθάριστη Αξία Παραγωγής του Γεωργικού Τομέα και η συμμετοχή ενός εκάστου των κλάδων της στην Ακαθάριστη Αξία της Κτηνοτροφικής Παραγωγής. Στον Πίνακα 21 παρουσιάζεται, για το 1995 και 2005.

⁴ Προσωπική συνέντευξη με τον Δήμα Ι. της Κτηνιατρικής Υπηρεσίας Μεγάρων και τον Παπαγιάννη Θ. Πρόεδρο Πτηνοτροφικού Συνεταιρισμού Μεγάρων.

Η συμμετοχή της κτηνοτροφίας στη γεωργική παραγωγή και των επιμέρους κτηνοτροφικών κλάδων στη ζωική παραγωγή					
Συγκρινόμενα μεγέθη	ΑΑΠ (εκατομ. €)		Εκατοστιαία μεταβολή 2005/1995	Εκατοστιαία συμμετοχή	
	1995	2005		1995	2005
Ακαθάριστη Αξία (εκατομμύρια €)					
Φυτική Παραγωγή	7.279,2	8.928,2	22,6	72,9	72,6
Ζωϊκή Παραγωγή	2.361,2	2.903,5	23,0	23,7	23,6
Πρώτη μεταποίηση	339,6	462,9	36,3	3,4	3,8
Γεωργική παραγωγή	9.980,0	12.294,8	23,2	100,0	100,0
Ζωική παραγωγή:	2.361,2	2.903,5	23,0	100,0	100,0
Ζώα:					
Αιγο-προβατοτροφία	725,8	924,9	27,4	30,7	31,9
Χοιροτροφία	227,8	227,1	0,0	9,6	7,8
Βοοειδή	244,8	310,2	26,7	10,4	10,7
Πτηνοροφία	152,0	149,3	-1,8	6,5	5,1
Λοιπά ζώα	28,0	41,9	49,6	1,2	1,4
Σύνολο	1.378,4	1.653,4	20,0	58,4	56,9
Προϊόντα:					
Γάλα	778,4	1.027,0	31,9	33,0	35,4
Αυγά	146,5	138,3	-5,6	6,2	4,8
Λοιπά	57,8	84,8	46,7	2,4	2,9
Σύνολο	982,7	1.250,1	27,2	41,6	43,1
Ζώα + προϊόντα:					
Αιγο-προβατοτροφία*	1.309,6	1.705,4	30,2	55,6	58,7
Χοιροτροφία	227,8	227,1	0,0	9,6	7,8
Βοοειδή*	439,5	556,7	26,7	18,6	19,2
Πτηνοτροφία (Ζώα+αυγά)	298,5	287,6	-3,7	12,6	9,9
Λοιπά ζώα και προϊόντα	85,8	126,7	47,7	3,6	4,4
Σύνολο	2.361,2	2.903,5	23,0	100,0	100,0
Η αξία του γάλακτος επιμερίζεται στα βοοειδή και στα αιγοπρόβατα με βάση την ποσότητα παραγωγής και τις τιμές					

Πίνακας 21: Η συμμετοχή της κτηνοτροφίας στη γεωργική παραγωγή και των επιμέρους κτηνοτροφικών κλάδων στη ζωική παραγωγή [110]

5.5. Διαχείριση πτηνοτροφικών αποβλήτων

Η εντατική πτηνοτροφία στην περιοχή των Μεγάρων απαιτεί πολλές διαφορετικές εισροές, ενώ δημιουργεί μεγάλο όγκο αποβλήτων. Επίσης απαιτεί τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από τα ζώα, ενώ απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία της μονάδας αυτής καθαυτή, καθώς και για συμπληρωματικές εργασίες, όπως η επεξεργασία των

αποβλήτων. Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε μια έντονη στροφή προς την εντατικοποίηση της παραγωγής σε όλους τους τομείς της οικονομίας μας. Η στροφή αυτή στον τομέα της ζωικής παραγωγής εκδηλώθηκε με τη μετάβαση από την παραδοσιακή και οικογενειακή στην επιχειρηματική κτηνοτροφία με τη δημιουργία εκατοντάδων νέων σύγχρονων κτηνοτροφικών μονάδων.

Σύμφωνα με στοιχεία της European Bioenergy Networks για το έτος 2003 ([111]) η εκτιμώμενη παραγωγή κτηνοτροφικών αποβλήτων ήταν περίπου 22.170.000m³ (55%) από βοοειδή, 1.700.000 m³ (42%) από αιγοπρόβατα, 1.000.000 m³ (3%) από χοίρους και 60.000 m³ (0.1%) από την πτηνοτροφία. Επιπρόσθετα, αναφέρεται ότι η ημερήσια παραγωγή κτηνοτροφικών αποβλήτων ήταν 38kt/day, με δυναμικότητα παραγωγή μεθανίου στα 1.4 εκατομμύρια κυβικών μέτρων μεθανίου, ισοδύναμο με 1.2 MtOE ενέργειας. Στην Ελλάδα το εκτιμώμενο δυναμικό παραγωγής κτηνοτροφικών αποβλήτων ανέρχεται σε 6.7 εκατομμύρια τόνων ([72]). Ο υπολογισμός της παραγωγής ξηρών αποβλήτων βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν σε 1723 κιλά ξηρών αποβλήτων ανά χρόνο για βοοειδή, 199 κιλά ανά έτος για αιγοπρόβατα, 182 κιλά ανά έτος για χοίρους και 58.4 κιλά ανά έτος για πουλερικά.

Στην περιοχή των Μεγάρων εκπονήθηκε για πρώτη φορά το 1991 τεχνικό-οικονομική μελέτη για την ίδρυση μονάδας μετατροπής των πτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής σε οργανοχουμικό λίπασμα ([112]). Τα κύρια σημεία της μελέτης ανέφεραν πτηνοτροφικά απόβλητα από 2.800.000 όρνιθες αυγοπαραγωγής, με εκτιμώμενη μέση ημερήσια και ετήσια παραγωγή 448 και 163.000 τόνων αντίστοιχα στο σύνολο του πληθυσμού ορνίθων και πτηνοτροφικά απόβλητα από 700.000 όρνιθες κρεατοπαραγωγής, με εκτιμώμενη μέση ετήσια παραγωγή σε 6.720 τόνους στο σύνολο του πληθυσμού ορνίθων. Επίσης, ανέφεραν το μεγάλο βαθμό διασποράς των πτηνοτροφικών μονάδων, 600 σε σύνολο, από χωροταξική άποψη, με δυναμικό ημερήσιας παραγωγής πτηνοτροφικών αποβλήτων περίπου 1 τόνου ανά ημέρα και ανέλυαν τρία εναλλακτικά σενάρια, του μεγέθους της μονάδας επεξεργασίας σε σχέση με το ύψος της επένδυσης και τη μορφή του τελικού προϊόντος.

Στις μέρες μας, στην περιοχή των Μεγάρων έχει εγκατασταθεί μονάδα παραγωγής οργανικών λιπασμάτων από την επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής. Η αρχική εγκατάστασή της, σε απομακρυσμένη περιοχή από τον οικιστικό ιστό της πόλης των Μεγάρων σε έκταση οκτώ στρεμμάτων, είχε ως μέθοδο επεξεργασίας την αποξήρανση των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Η Δημοτική Επιχείρηση Παραγωγής και Εμπορίας Οργανικών Λιπασμάτων (ΔΕΜ Α.Ε.) συστήθηκε κοντά στο 1992 με την συνδρομή του Δήμου Μεγάρων και της ΦΕΡΤΙΚΟΜ με διάρκεια ζωής έως το 1999 όπου έκλεισε. Περίπου πριν δύο χρόνια η

μονάδα επεξεργασία άρχισε να λειτουργεί και πάλι με αποκλειστική διαχείριση από τον Δήμο Μεγάρων.. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πλέον αποτελούνται από θερμοκηπιακού τύπου συστήματα, όπου πλέον η μέθοδος επεξεργασίας των αποβλήτων είναι η αερόβια χώνευση. Πλέον το πλήθος των πτηνοτροφικών μονάδων ανέρχεται στις 150 και των ορνίθων στις 1.200.000 κατά το πλείστον αυγοπαραγωγής. Η μονάδα φέρεται να διαχειρίζεται από 20 -100 τόνους την ημέρα πτηνοτροφικών αποβλήτων⁵, με την προσθήκη 30-40 τόνων φυτικού υλικού, πριονίδι, τεμαχισμένα υπολείμματα από κοπές του δήμου ή των όμορων αυτού, με σκοπό την επίτευξη του σωστού λόγου C/N. Η διαδικασία της αερόβιας χώνευσης διαρκεί περίπου 6 μήνες, 1.5μήνα κομποστοποίηση (65°C), 2 μήνες περίπου για την πλήρη κομποστοποίηση (55°C) με εναλλαγή στους αερισμούς και του υπόλοιπους για την πλήρη ωρίμανση (35°C). Το τελικό προϊόν έχει 3.5 μονάδες σε άζωτο και 50% σε οργανική ουσία και πωλείται χύδην για 10€/m³, περίπου 600 κιλά. Τέλος, η μεταφορά των πτηνοτροφικών αποβλήτων πραγματοποιείται από τους παραγωγούς με έξοδα του δήμου και κατά εκτίμηση κοστίζει 50€/m³.

Μια τέτοια μονάδα είχε και έχει σημαντικές ευνοϊκές επιπτώσεις στο περιβάλλον, δεδομένου ότι η περιοχή απαλλάσσεται από σημαντικές ποσότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων, που προκαλούν προβλήματα στους κατοίκους λόγω της τοξικότητάς τους και του κινδύνου διάδοσης μολυσματικών ασθενειών. Συμβάλλει όμως και στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, τα οποία θα απαιτούνταν για την κατ' άλλο τρόπο παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων ίσης λιπαντικής αξίας. Παρόλο τις θετικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τη λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας, μια πληθώρα ερωτημάτων, ελλείψεων και προβλημάτων ανακύπτουν. Δεν εμφανίζεται πουθενά καμία συστηματική καταγραφή δεδομένων, τόσο για των ημερήσιο όγκο των αποβλήτων, την διαδικασία της αερόβιας χώνευσης, των συνθηκών και των παραμέτρων της μεθόδου, όσο και για το τελικό προϊόν, παντελής έλλειψη χημικής ανάλυσης του. Επιπρόσθετα, καμία προσπάθεια δεν έχει γίνει για την τυποποίηση του τελικού προϊόντος και την ανάπτυξη δικτύου προς διάθεση. Συνυπολογίζοντας όλους τους παράγοντες, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η μονάδα επεξεργασίας βρίσκεται σε βρεφικό στάδιο και αποτελεί και παραμένει απλά μια εύκολη λύση απόθεσης των πτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής.

⁵ Όλα τα στοιχεία για την μονάδα επεξεργασίας προέκυψαν έπειτα από προσωπική συνέντευξη με τον Πανταζή Ν., φυσικού της ΔΕΜ Α.Ε..

5.6. Ενέργεια και ΑΠΕ

Η εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας των διαφόρων τομέων κατανάλωσης στην Ελλάδα είναι χαρακτηριστική για την εξέλιξη της οικονομίας και δείχνει τον προσανατολισμό προς μια οικονομία υπηρεσιών όπου η βιομηχανία μειώνεται αισθητά και ο οικιακός με τον τριτογενή τομέα αναπτύσσουν σταδιακά τα δικά τους αντίστοιχα μερίδια. Μπορεί η κατανάλωση του αγροτικού τομέα να ήταν 1,1 Mtoe το 2006 παραμένοντας στα επίπεδα του 1990, το μερίδιό του ως καταναλωτής έχει μειωθεί όμως κατά 1.5%, από 7% το 1990 έφτασε σε επίπεδα 5.5% το 2006 ([113]). Το μεγαλύτερο κομμάτι του αγροτικού τομέα στηρίζεται στην κατανάλωση ενέργειας από πετρελαϊκά προϊόντα και ακολουθεί σε μεγάλη απόσταση η χρήση του ηλεκτρισμού, με την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ, για το χρονικό διάστημα 1990 έως 2006. Αναπόφευκτα, ο κτηνοτροφικός τομέας, ως καταναλωτής ενέργειας, στηρίζεται στις ίδιες πηγές με τις προαναφερόμενες. Η παντελής έλλειψη ενεργειακών στοιχείων για το δήμο Μεγάρων αναδεικνύει και το υφιστάμενο πρόβλημα. Η χρήση ΑΠΕ στο δήμο βρίσκεται σε βρεφικό στάδιο με ελάχιστα παραδείγματα να εντοπίζεται στη χρήση κάδων ανακύκλωσης και της υπάρχουσας εγκατάστασης επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων για την δημιουργία χωνεμένου υλικού.

Γενικότερα στην Ελλάδα, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) έχει εγκρίνει δέκα αιτήσεις για άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση βιοαερίου συνολικής ισχύος 48 MW ([102]). Παραμένει όμως αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στη χώρα μας, παρά το υψηλό δυναμικό που υπάρχει στην κτηνοτροφία, δεν έχουμε καμία μονάδα διαχείρισης για παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα και αγροτοβιομηχανικά λύματα. Στη χώρα μας, οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 28 MW και εντοπίζονται στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων (184.000 κυβικών μέτρων βιοαερίου την ημέρα, με εγκατεστημένη ισχύ 13 MW) και στην Ψυττάλεια (60.000 κυβικών μέτρων βιοαερίου την ημέρα με εγκατεστημένη ισχύ 7.5 MW). Τα υπόλοιπα 8 MW παράγονται από μικρότερες μονάδες, με τη χρήση μόνο αστικών απορριμμάτων ή αποβλήτων από βιολογικούς καθαρισμούς, χωρίς να γίνεται αναφορά χρήσης ζωικών αποβλήτων, απορριμμάτων σφαγείων ή άλλων πηγών ζωικής προέλευσης.

Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του ΚΑΠΕ για το 2009 [113], η συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας ήταν σταθερή και κυμαινόταν σε ποσοστό της τάξεως του 5.5-6.5% και της τάξης του 17.7%, σε επίπεδο εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς

ενέργειας. Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ το 2008 ήταν 1.8Μtoe, από τα οποία τα 600ktoe περίπου οφείλονται στη χρήση βιομάζας στα νοικοκυριά, 264 ktoe στη χρήση βιομάζας στη βιομηχανία για ίδιες ανάγκες (συνολικό ποσοστό βιομάζας 53.6%), από την παραγωγή βιοκαυσίμων 63ktoe (3.5%), 357ktoe (19.7%) από την παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών, 193ktoe (10.7%) από την παραγωγή των αιολικών, 174ktoe (9.6%) από την παραγωγή των θερμικών ηλιακών συστημάτων, 35ktoe (2%) από το βιοαέριο, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και 17ktoe (1%) από την παραγωγή γεωθερμικών συστημάτων. Όσο αφορά την εγκατεστημένη ισχύ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από την χρήση του βιοαερίου, εμφανίζει αυξανόμενη εξέλιξη από την εμφάνισή της το 2000. Η μικτή παραγωγή ηλεκτρικής παραγωγής παρουσιάζει την ίδια ανοδική πορεία, φθάνοντας στα 191GWh, που αντιστοιχεί στο 3% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για το έτος 2008. Παρόμοια, η πρωτογενής παραγωγή από την χρήση ΑΠΕ και ειδικότερα από την χρήση βιοαερίου ήταν ανοδική από το 2000 έως το 2008. Η υφιστάμενη κατάσταση του βιοαερίου, για δεδομένα από το 2000 έως το 2008, αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα.

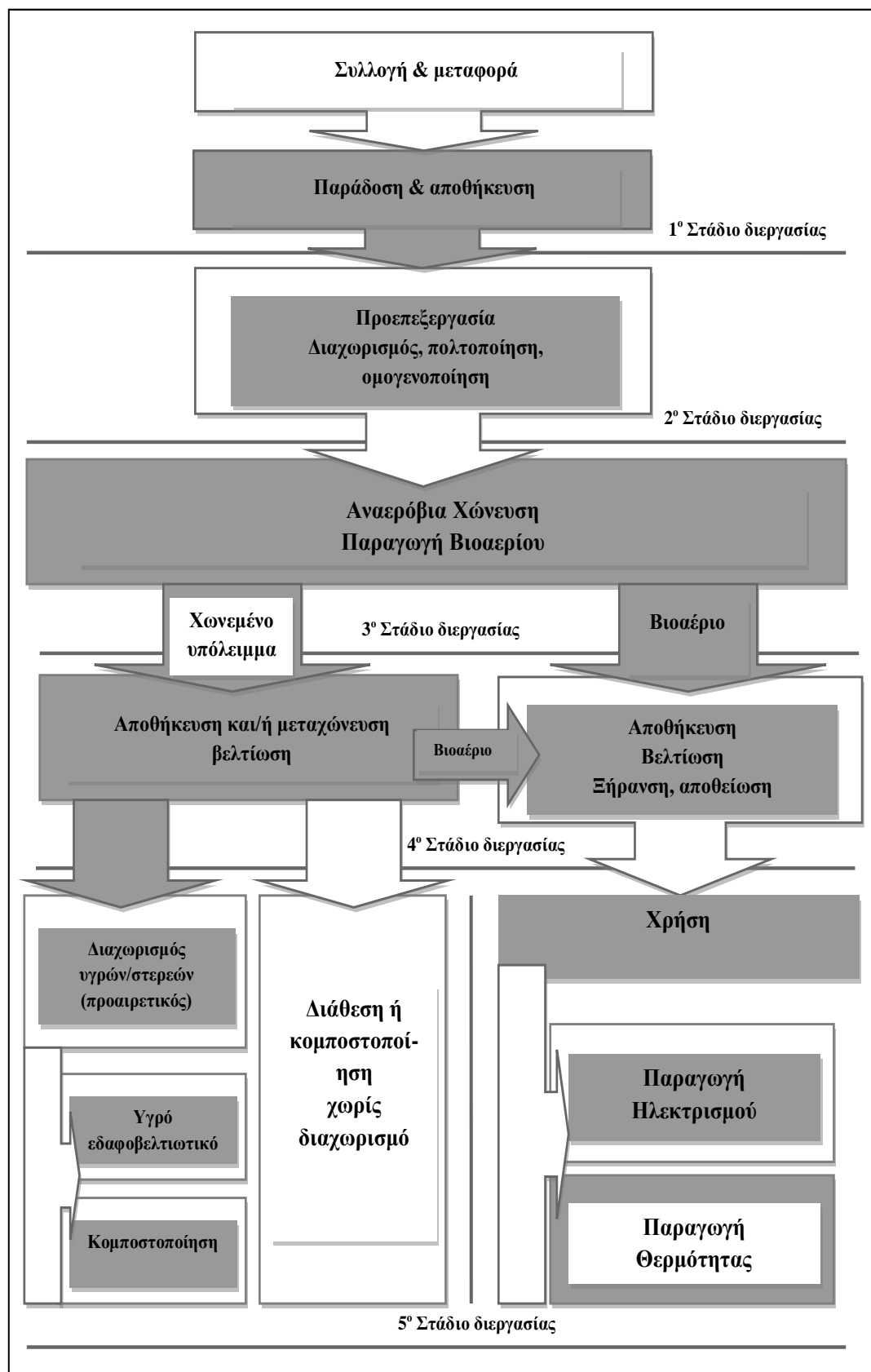
Τεχνολογία ΑΠΕ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Ισχύς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (MW)</i>									
<i>Βιοαέριο</i>	1	22	22	22	24	24	24	39	40
<i>Μικτή Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (GWh)</i>									
<i>Βιοαέριο</i>	0	79	126	105	123	122	85	160	191
<i>Πρωτογενής Παραγωγή από ΑΠΕ (ktoe)</i>									
	1	33	48	36	36	33	33	35	35

Πίνακας 22: Υφιστάμενη κατάσταση βιοαερίου στην Ελλάδα (Πηγή: [113])

6. Επιλεγμένη τεχνολογία

Η επιλογή της μεθόδου για την επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων στηρίχθηκε στην έως τώρα ανάλυση που πραγματοποιήθηκε. Η έλλειψη βασικών στοιχείων για την περιοχή μελέτης αποτελεί ίσως και το μόνο πρόβλημα για μια πιο εμπειριστατωμένη και ολοκληρωμένη επιλογή ανάμεσα στις μεθόδους επεξεργασίας. Παρόλα αυτά, η επιλογή της αναερόβιας χώνευσης έγινε σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση της περιοχής, τις συγκεκριμένες ανάγκες της, την σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών και των αντίστοιχών αποτελεσμάτων σε σχέση με τα πτηνοτροφικά απόβλητα. Η αναερόβια χώνευση αποτελεί την πιο αξιόπιστη λύση για την περιοχή μεθόδου και τα απόβλητα που δύναται να επεξεργαστεί, βρίσκει τις περισσότερες παγκοσμίως εφαρμογές, παρέχει τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά οφέλη για την τοπική κοινωνία και υπερτερεί σε σχέση με την υπάρχουσα επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων, την αερόβια χώνευση. Μια μελλοντική εργασία, στοχευόμενη τόσο στην συλλογή των απαραίτητων δεδομένων και στην περαιτέρω σύγκριση των μεθόδων, σε σχέση πάντα με τα πτηνοτροφικά απόβλητα, θα αναδείξει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μεθόδων και ίσως ενδυνάμωση την επιλογή της αναερόβιας χώνευσης ως μέθοδο διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων.

Η μονάδα επεξεργασίας θα επεξεργάζεται κυρίως τα πτηνοτροφικά απόβλητα της ευρύτερης περιοχής, τα οποία κατά το μεγαλύτερο μέρος είναι η πτηνοτροφική κοπριά και δευτερευόντως τα υπόλοιπα πτηνοτροφικά απόβλητα, όπως νεκρά ζώα, ακατάλληλα αυγά ή και φυτικά υπολείμματα. Τα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα των αποβλήτων αυτών αναπτύχθηκαν εκτενώς στα προηγούμενα κεφάλαια. Το γενικότερο διάγραμμα ροής της προεκτεινόμενης εγκατάστασης απεικονίζεται στην Εικόνα 13. Κατά τα δύο πρώτα στάδια της διεργασίας εντοπίζεται η συλλογή και μεταφορά των πτηνοτροφικών αποβλήτων από την πηγή, καθώς επίσης και η αποθήκευσή τους. Στο τρίτο στάδιο διεργασιών έχουμε την προεπεξεργασία των αποβλήτων, ώστε να έρθουν σε κατάλληλη μορφή προς τροφοδοσία στο τέταρτο και βασικότερο στάδιο διεργασίας όπου είναι η αναερόβια χώνευση. Κατά την αναερόβια χώνευση παράγεται βιοαέριο και χωνεμένο υπόλειμμα, τέταρτο στάδιο αποθήκευση και βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων. Στο τελευταίο στάδιο διεργασίας, το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα δύναται να αξιοποιηθούν στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή θερμικής ενέργειας, καθώς επίσης και αξιοποιήσιμου εδαφοβελτιωτικού.



Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής αναερόβιας χώνευσης για την περιοχή μελέτης

Πλεονεκτήματα εγκατάστασης της μονάδας επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων στην περιοχή μελέτης

Στην περιοχή υφίσταται ήδη μονάδα επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων με την μέθοδο της αερόβια χώνευσης. Επομένως, πλεονεκτήματα της περιοχής μελέτης έγκειται στο ότι η περιοχή βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από τον οικιστικό ιστό, υφίσταται οδικό δίκτυο, το περιβάλλον της περιοχής είναι ήδη επιβαρυνμένο από την παρουσία πτηνοτροφικών μονάδων, οι μονάδες αυτές οριοθετούνται στην εμβέλεια της μονάδας επεξεργασίας, η περιοχή δεν παρουσιάζει αρχαιολογικό ενδιαφέρον και το οπτικό πεδίο της περιοχής δεν θα επηρεαστεί από την ανέγερση των εγκαταστάσεων.

Διαδικασία συλλογής και μεταφοράς πτηνοτροφικών αποβλήτων

Στα πλαίσια της μελέτης υπάρχουν τρεις εναλλακτικές λύσεις που αφορούν την διαδικασία συλλογής και μεταφοράς των αποβλήτων προς τις εγκαταστάσεις της μονάδας επεξεργασίας.

Η απλούστερη θεωρείται η μεταφορά των αποβλήτων από τους ίδιους τους παραγωγούς από τις πτηνοτροφικές μονάδες προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Η επιλογή αυτή όμως κρίνεται ασύμφορη, καθώς θα πρέπει κάθε παραγωγός να διαθέτει το δικό του μεταφορικό μέσο, αυξάνοντας το οικονομικό κόστος της επιχείρησης.

Η πιο περίπλοκη εναλλακτική λύση συλλογής και μεταφοράς είναι η δημιουργία ειδικών ενδιάμεσων δεξαμενών συλλογής πτηνοτροφικών αποβλήτων από τους ίδιους τους παραγωγούς και η μετέπειτα συλλογή και μεταφορά να γίνεται από ένα ιδιωτικό ή δημοτικό φορέα. Οι ενδιάμεσοι σταθμοί απόθεσης είναι εφικτό να χωροθετηθούν μέσω των συγκεκριμένων θέσεων των πτηνοτροφικών μονάδων. Σε αντίθεση όμως, το οικονομικό και κοινωνικό κόστος από την εγκατάσταση των δεξαμενών, κόστος κατασκευής και συντήρησης, κόστος αγοράς μηχανημάτων και οχημάτων, το επιπρόσθετο εργασιακό προσωπικό, η κοινωνική αποδοχή στην χωροθέτηση των δεξαμενών, καθιστούν την λύση αυτή μη βιώσιμη.

Η πιο εφικτή λύση αφορά την περίπτωση κατά την οποία ο οργανισμός που διαχειρίζεται την μονάδα επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων, ιδιωτικός, δημοτικός ή δημόσιος, να συλλέγει και να μεταφέρει τα απόβλητα στην μονάδα, με δικό της οικονομικό κόστος. Ένας σωστός προγραμματισμός σε δυναμικό οχημάτων, εργατικού δυναμικού και δρομολογίων καθιστά την λύση αυτή οικονομικά βιώσιμη. Η έως τώρα διαχείριση στηρίζεται σε αυτόν το σχεδιασμό, με την συλλογή και μεταφορά από ιδιωτικά οχήματα, τα οποία μισθώνονται από τον δήμο, που έχει την εποπτεία και διαχείριση της υπάρχουσας μονάδας αερόβιας χώνευσης.

Περιγραφή εγκατάστασης

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια πολυσύνθετη μονάδα, που αποτελείται από διάφορα τμήματα. Η διάταξη της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Δεδομένου ότι υπάρχει πληθώρα διαφορετικών τύπων πρώτης ύλης, διαφορετικής προέλευσης, που είναι κατάλληλοι για χώνευση σε μονάδες βιοαερίου, υπάρχουν, αντίστοιχα, διάφορες τεχνικές για το χειρισμό αυτών, αλλά και διαφορετικές κατασκευές χωνευτών και συστήματα λειτουργίας. Επιπρόσθετα, ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τις συνθήκες λειτουργίας της κάθε μονάδας βιοαερίου, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για τη βελτίωση, την αποθήκευση και τη χρήση του βιοαερίου. Καθώς επίσης και για την αποθήκευση και τη χρήση του χωνεμένου υπολείμματος. Μια μορφή προτεινόμενης εγκατάστασης που μπορεί να εφαρμοστεί στην περιοχή μελέτης, περιγράφεται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Προ-αποθηκευτικός χώρος

Η αποθήκευση της πρώτης ύλης χρησιμεύει πρωτίστως στο να αντισταθμιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις του εφοδιασμού πρώτης ύλης. Επίσης διευκολύνει την ανάμειξη των διαφορετικών υποστρωμάτων για συνεχή εφαρμογή στο χωνευτή. Λόγω έλλειψη στοιχείων για την καθημερινή παροχή αποβλήτων από τις πτηνοτροφικές μονάδες της περιοχής, δεν μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς ο όγκος των υφιστάμενων αποβλήτων. Επομένως, ενδείκνυται η σχεδίαση και η εγκατάσταση προ-αποθηκευτικού χώρου, με την ικανότητα συνδιαχείρισης διαφόρων τύπου αποβλήτων, αφού υπάρχει και η δυνατότητα εύρεσης φυτικών υπολειμμάτων από των δήμο και του όμορους δήμους της περιοχής. Ο ενδεδειγμένος τύπος των εγκαταστάσεων αποθήκευσης των πτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής μπορεί να είναι δεξαμενές αποθήκευσης υγρής πρώτης ύλης.

Δεξαμενή εξισορρόπησης και ομογενοποιήσεως ανεπεξέργαστων λυμάτων

Η δεξαμενή εξισορρόπησης αποτελεί το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των αποβλήτων. Ο βασικός ρόλος της είναι η εξισορρόπηση την παροχή των πτηνοτροφικών αποβλήτων στον αναερόβιο χωνευτή, ομογενοποιώντας τα διαφορετικά λύματα που ενδέχεται να εισέρθουν για επεξεργασία. Η μηχανική σύνθλιψη, οι διεργασίες αποσύνθεσης και το στάδιο της ανάντη υδρόλυσης είναι οι πιο βασικές δυνατότητες για βελτίωση της πρώτης ύλης και βελτιστοποίηση του οργανικού φορτίου της μονάδας.

Σύστημα τροφοδοσίας

Το σύστημα τροφοδοσίας είναι το σύστημα που τροφοδοτεί των αναερόβιο χωνευτή. Η αντλήσιμη πρώτη ύλη μπορεί να μεταφερθεί με φυγοκεντρικές ή αντλίες μετατόπισης.

Σύστημα θέρμανσης - θέρμανση χωνευτή

Αν και οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της περιοχής μελέτης δεν είναι μεγάλες και εμφανίζονται ελάχιστες φορές σύμφωνα με τα δεδομένα κλιματολογικά στοιχεία, κρίνεται απαραίτητο η εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης του χωνευτή. Ο χωνευτής πρέπει να μονωθεί και να θερμαίνεται από εξωτερικές πηγές θέρμανσης, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επαναχρησιμοποίηση μέρους της παραγόμενης θερμότητας του συστήματος.

Χωνευτής

Ο πυρήνας της μονάδας είναι ο χωνευτής, ο οποίος είναι ένας αεροστεγής αντιδραστήρας όπου πραγματοποιείται η αποσύνθεση της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου, για παραγωγή βιοαερίου. Η κατασκευή είναι ανάλογη των απαιτήσεων και του παραγόμενου όγκου του βιοαερίου. Επομένως, η κατασκευή του μπορεί να είναι από σκυρόδεμα, χάλυβα ή πλαστικό, διαμορφωμένη ως σε λεκάνες εγκαταστημένος σε τάφρο εσκαφής, με ελεύθερο χώρο αποθήκευσης βιοαερίου.

Ο τύπος του αντιδραστήρα μπορεί να είναι συνεχούς τύπου, πλήρης ανάδευσης (complete mix system), όπου τα υποστρώματα της πρώτης ύλης τροφοδοτούνται στο χωνευτή συνεχώς. Η επιλογή αυτή είναι θεωρητική καθώς ο χωνευτής αυτός έχει τις περισσότερες εφαρμογές παγκοσμίως και μπορεί να επεξεργαστεί μεγαλύτερο εύρων αποβλήτων, περιεκτικότητας από 3-10% ολικών στερεών ([114], [115]). Ο τύπος αυτός του χωνευτή πλεονεκτεί έναντι άλλων, στο ότι μπορεί να είναι τετράγωνος ή κυκλικός,, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα κλίματα, το υπόστρωμα μπορεί να είναι τραχύ, το ολικά στερεά μπορεί να κυμαίνονται από 3-10% και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής κυμαίνεται γύρο στις 10 με 30 ημέρες ([77], [80], [116], [117], [118], [119]), με μέση σύνθεση του βιοαερίου σε μεθάνιο στα 60%. Το υλικό μπορεί να κινείται μέσα στο χωνευτή είτε μηχανικά είτε υπό την πίεση του νέου-τροφοδοτούμενου υποστρώματος που εξωθεί το χωνεμένο υλικό. πλεονέκτημα στην παραγωγή βιοαερίου είναι ότι θα παρέχεται σταθερή και προβλέψιμη παραγωγή βιοαερίου, καθώς δεν υφίσταται διακοπή για τη φόρτωση νέας πρώτης ύλης και την εκφόρτωση των χωνεμένων υπολειμμάτων.

Στον αναερόβιο χωνευτή τα πτηνοτροφικά απόβλητα μπορεί να εισέρχονται και απευθείας. Η επιλογή του εύρους θερμοκρασιών λειτουργίας του χωνευτή (ψυχρόφιλη, μεσόφιλη, ή θερμόφιλη περιοχή) εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Γενικά, περισσότερες αγροτικές εφαρμογές παγκοσμίως εμφανίζουν οι χωνευτές μεσόφιλης περιοχής, καθώς η διαδικασία θεωρείται πιο σταθερή, ευπροσάρμοστη στις μεταβολές του αρχικού υλικού και μικρότερου κόστους από τις θερμόφιλες, λόγω των μικρότερων απαιτήσεων σε θερμική ενέργεια ([114]). Τα απόβλητα θα μπορούν να παραμείνουν για περίοδο 12 με 30 ημέρες σε μεσόφιλες συνθήκες (30 - 40°C) με εκτίμηση ότι το 85-90% των πτητικών στερεών θα μετατραπεί σε βιοαέριο. Το ποσοστό μετατροπής του οργανικού φορτίου είναι υψηλό λόγω της φύσης των αποβλήτων.

Ο αντιδραστήρας μπορεί να είναι εμβολικής ροής με ελαφριά κλίση για την συσσώρευση και απομάκρυνση τυχόν στερεών που καθιζάνουν. Η υπέργεια κατασκευή θα είναι χαμηλού ύψους, με τον αντιδραστήρα να διαμορφώνεται σε εσκαμμένη, υδατοστεγανή τάφρο και θα είναι ημι-υπόγειος. Ο αντιδραστήρας μπορεί να στεγαστεί με υπέργειο θόλο που θα λειτουργεί και ως χώρος αποθήκευσης του παραγόμενου βιοαερίου.

Μονάδες διαχείρισης παραγόμενου βιοαερίου

Για την αποδοτικότερη διαχείριση του παραγόμενου βιοαερίου απαιτούνται επιπρόσθετες εγκαταστάσεις. Οι εγκαταστάσεις αυτές μπορούν να διαχωριστούν γενικότερα στις σωληνώσεις μεταφοράς του βιοαερίου, στους εναλλάκτες θερμότητας διπλού σωλήνα για τη ρύθμιση της υγρασίας στην έξοδο του βιοαερίου, καθώς η σχετική υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτή είναι 100%. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο για την προστασία της εγκατάστασης από διάβρωση και ενδεχόμενες βλάβες να δημιουργηθούν οι εγκαταστάσεις αυτές ώστε να αφαιρείται το νερό από το παραγόμενο βιοαέριο. Επιπρόσθετα, απαραίτητα κρίνονται και οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης και περαιτέρω διάθεσης του βιοαερίου.

Μονάδες διαχείρισης στερεών υποπροϊόντων

Στις μονάδες αναερόβιου χωνευτή παράγονται και στερεά υποπροϊόντα, τα οποία είναι δυνατών για περαιτέρω διαχείριση και οικονομική αξιοποίηση. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικά. Η αξιοποίηση αυτή απαιτεί τον εκ νέου σχεδιασμό μονάδας επεξεργασίας, πλησίον της μονάδας παραγωγής βιοαερίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με κοχλιοπρέσες μηχανικού διαχωρισμού, διαχωριστήρες και δεξαμενές αερόβιας χώνευσης ή να σχεδιαστεί εξ ολοκλήρου ένα σύστημα, όπως το υπάρχων, για την εμπορική αξιοποίηση των υποπροϊόντων της διαδικασίας.

Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από παραγόμενο βιοαέριο

Το παραγόμενο βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση έχει διάφορες χρήσεις. Η προτεινόμενη μονάδα χρήσης βιοαερίου, θα έχει ως τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η συμπαραγωγή αυτή μπορεί να επιτευχθεί από διάφορα συστήματα, μικροτουρμπίνες ή τουρμπίνες αερίου (microturbines - gas turbines), από μηχανές εσωτερικής καύσης (internal combustion engines, IC) και από κυψέλες καυσίμου (fuel cells). Η αξιολόγηση των συστημάτων αυτών αναφέρεται στο Παράρτημα 3. Η χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης, τύπου διπλού καυσίμου (dual fuel) ή μηχανών ανάφλεξης σπινθήρα (spark ignition engines), θεωρούνται πιο σταθερές και αξιόπιστες, για αυτό η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη στην συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ([114]). Επομένως, η προτεινόμενη διαστασιολόγηση του συστήματος για την καύση του βιοαερίου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι τύπου διπλού καυσίμου (dual fuel), η οποία λειτουργεί με αέριο καύσιμο, χρησιμοποιώντας μικρή ποσότητα καυσίμου diesel για πιλοτική έναυση και συντήρηση της καύσης. Η κατανάλωση diesel υπολογίζεται περίπου 15% επί της παραγόμενης ενέργειας και η απόδοση της γύρω στο 36%, με απόδοση ανάκτησης θερμικής ενέργειας είναι 50%.

Κατευθύνσεις στο σύστημα παραγωγής βιοαερίου και παραγωγής ενέργειας

Για την σωστή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος παραγωγής βιοαερίου και παραγωγής ενεργείας μπορεί να αναφερθούν γενικές κατευθύνσεις σχεδιασμού της μονάδας. Επομένως, απαραίτητη κρίνεται η τοποθέτηση οργάνων μέτρησης του παραγόμενου αερίου, η τήρηση αρχείου για την ποιότητα και ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου, η σήμανση των χώρων, η τοποθέτηση πυροσβεστικών σημείων, η προσθήκη αισθητήριων οργάνων για την καταγραφή εκπεμπόμενων ρύπων και η τοποθέτηση καλύπτρων γύρω από τον καυστήρα καύσης βιοαερίου. Επιπρόσθετα, εισηγήσεις μπορούν να δοθούν και στο σχεδιασμό των σωληνώσεων, αντλιοστασίων και των λοιπών εξαρτημάτων των εγκαταστάσεων του έργου. Άρα, μπορεί να σχεδιαστούν συστήματα μονώσεων για την μείωση του παραγόμενου θορύβου, την επιλογή ανοξείδωτων υλικών, την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου για την πρόληψη δυσάρεστων οσμών και την δημιουργία βοηθητικών εγκαταστάσεων για την εκτόνωση των προκυπτουσών κινδύνων.

Βασικοί υπολογισμοί μονάδας επεξεργασίας

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (1) και (2) της 2.2. παραγράφου και την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης μπορεί να γίνει μία θεωρητική προσέγγιση της παραγόμενης ποσότητας των πτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής των Μεγάρων, καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα, τόσο για την παραγωγή αποβλήτων από κάθε μονάδα, όσο και αντίστοιχο το ζώων βάρος. Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις:

$$Q_{w.m} = n * N \text{ και } Q_{d.m} = Q_{w.m} (1 - w) \quad (7)$$

και αντικαθιστώντας με τα γνωστά βιβλιογραφικά πλέον δεδομένα

$N = 1.200.000$ (αριθμός ζώων)

$n = 0,04 - 0,1$ kg/ ανά ζώο/ημέρα ή παραγωγή κοπριάς, $t_{w.m}/$ ανά ζώο/χρόνο ([23],[24],[29])

$w = 85\%$ (περιεκτικότητα σε υγρασία %) ([20])

προκύπτει ότι θα έχουμε μια παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων ([20]):

Ποσότητα κοπριάς σε υγρό βάρος: $Q_{w.m}$ από **17.520** έως **43.800** τόνων ανά χρόνο
ή **48** έως **120** τόνους ανά ημέρα

Ποσότητα κοπριάς σε ξηρό βάρος: $Q_{d.m}$ από **2.630** έως **6.550** τόνων ανά χρόνο
ή **8** έως **40** τόνους την ημέρα

Καθώς επίσης δεν υπάρχει παρόμοιο υλοποιημένο σχέδιο επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων με αναερόβια χώνευση στην περιοχή των Μεγάρων, η αντίστοιχη παραγωγή βιοαερίου στηρίζεται στα παγκόσμια και βιβλιογραφικά δεδομένα. Μια γενική προσέγγιση παραγωγής βιοαερίου μπορεί να γίνει σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις ([20]):

$$B = Q_{d.m} \cdot G_{d.m} \cdot C_{CH_4} / 1000 \quad (8)$$

όπου

B είναι η παραγωγή μεθανίου σε χιλιάδες κυβικά μέτρα το χρόνο (m^3/a)

$Q_{d.m}$. η ποσότητα κοπριάς σε ξηρό βάρος σε τόνους ανά χρόνο ($t_{d.m.}/a$)

$G_{d.m}$. – ο δείκτης παραγωγής μεθανίου ανά ξηρό βάρος ($m^3/t_{d.m}$)

C_{CH_4} – η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο

1000 – ο συντελεστής μετατροπής από m^3 σε χιλιάδες m^3

Επομένως για την περιοχή μελέτης μας με γνωστά τα

$Q_{d.m.} = 2.630 - 6.670 t_{d.m.}/a$

$G_{d.m.} = 500 m^3/t_{d.m}$ ([20])

$C_{CH_4} = 60\% - 70\%$

Προκύπτει ότι η παραγωγή μεθανίου B για το εύρος του αναμενόμενου όγκου πτηνοτροφικών αποβλήτων που βρέθηκε παραπάνω είναι:

Για περιεκτικότητα του βιοαερίου σε 60% μεθάνιο θα είναι:

$$B = 780 - 2.000 \text{ χιλιάδες m}^3/\text{a}$$

και για περιεκτικότητα του βιοαερίου σε 70% μεθάνιο:

$$B = 920 - 2.300 \text{ χιλιάδες m}^3/\text{a}$$

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης θερμότητας από την καύση του βιοαερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γενικότερη εξίσωση:

$$E_{\text{biogas}} = B * LHV_{\text{CH}_4} \quad (9)$$

όπου

E_{biogas} – είναι η απελευθερωμένη θερμότητα από την καύση του βιοαερίου (GJ/a)

B είναι η παραγωγή μεθανίου σε χιλιάδες κυβικά μέτρα το χρόνο (m^3/a)

LHV_{CH_4} είναι η κατώτερη θερμική δύναμη του μεθανίου (MJ/m^3)

Με την κατώτερη θερμική δύναμη του μεθανίου να είναι $35.6 \text{ MJ}/\text{m}^3$ ([20]) ή $33.4 \text{ MJ}/\text{m}^3$ ([87]), και B οι αντίστοιχες υπολογισμένες παραγωγές μεθανίου η θερμότητα που αναμένεται να απελευθερωθεί θα είναι της τάξης:

Για περιεκτικότητα του βιοαερίου σε 60% μεθάνιο θα είναι:

$$E_{\text{biogas}} = 28.000 - 33.000 \text{ GJ/a}$$

και για περιεκτικότητα του βιοαερίου σε 70% μεθάνιο:

$$E_{\text{biogas}} = 70.000 - 82.000 \text{ GJ/a}$$

Εκφράζοντας την παραγόμενη ποσότητα σε GWh, όπου $1 \text{ GWh} = 360 \text{ GJ}$ θα έχουμε

$$E_{\text{biogas, 60\%}} = 7,8 - 9,1 \text{ GWh}$$

$$E_{\text{biogas, 70\%}} = 19,5 - 22,7 \text{ GWh}$$

Για την καύση του βιοαερίου θεωρείται ότι η ολική απόδοση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι 85% όπου η απόδοση μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 30% και η απόδοση μετατροπής της θερμότητας το 55% ([120]).

Αν θεωρηθεί ότι η καύση του βιοαερίου λαμβάνει χώρα στην μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power unit (CHP)) η παραπάνω υπολογισμένη ενέργεια εμπεριέχει και την ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί από την ίδια την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης. Η οποία διαιρείται στην ενέργεια της επεξεργασίας των αποβλήτων, όπως είναι η ενέργεια διατήρησης της θερμοκρασίας του χωνευτή και την κατανάλωση ενέργειας για άντληση και μίξη των αποβλήτων και στην ενέργεια που

απαιτείται για την καύση του βιοαερίου, όπως την ηλεκτρική ενέργεια για άντληση του νερού, διοχέτευσης του βιοαερίου και του αέρα, τις απώλειες μετάδοσης του ηλεκτρισμού και της θερμικής ακτινοβολίας, τις απώλειες σε βιοαέριο και της ηλεκτρικής γεννήτριας και άλλων. Επομένως η απαιτούμενη ενέργεια για τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είναι για την ηλεκτρική κατανάλωση της ΑΧ στο 11% της συνολικής απελευθερούμενης ενέργειας και στο 13% για τη θερμική κατανάλωση της συνολικής απελευθερούμενης ενέργειας ([121]). Αφαιρώντας από την συνολική παραγόμενη ενέργεια την απαιτούμενη προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια της ΑΧ από την χρήση του ηλεκτρισμού και της θερμότητας. Στον Πίνακα 23 αναλύεται το διάγραμμα ροής της ΑΧ για την ποσότητα των πτηνοτροφικών αποβλήτων που βρέθηκε παραπάνω και για τις περιπτώσεις όπου η σύνθεση του βιοαερίου σε μεθάνιο είναι 60% και 70%.

Μέθοδος		Θερμότητα απελευθερούμενη από την καύση του βιοαερίου GWh	Συνολική παραγωγή ενέργειας GWh	Απαιτούμενη ενέργεια από την ΑΧ	Παραγόμενη ενέργεια GWh	Συνολική παραγόμενη ενέργεια GWh
ΑΧ 60%	Ηλεκτρισμός	7.8-9.1	2.35-2.73	0.87-1.0	1.48-1.73	4.78-5.55
	Θερμότητα		4.30-5.00	1.0-1.18	3.30 – 3.82	
ΑΧ 70%	Ηλεκτρισμός	19.5-22.7	5.90-6.82	2.15-2.50	3.70-4.30	11.90-13.80
	Θερμότητα		10.72-12.50	2.53-2.95	8.20-9.50	

Πίνακας 23: Πίνακας ροής αναερόβιας χώνευσης για την περιοχή μελέτης

Ο όγκος του χωνευτή μπορεί να υπολογιστεί από τα δεδομένα που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση. θεωρώντας ότι η παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι από 0,04 έως 0,1kgf ανά όρνιθα ([19], [29]) και για 1200000 όρνιθες, προκύπτει η ημερήσια παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων 48 έως 120 τόνους ανά ημέρα. Με την πυκνότητα των πτηνοτροφικών αποβλήτων να θεωρείται στα 600-700kgf/m³ ([122], [123]) προκύπτει ότι ο αναμενόμενος όγκος των αποβλήτων θα είναι από **80 έως 200m³**. Από την εξίσωση (6) (ΥΧΠ) αν ο χρόνος παραμονής στο χωνευτή κυμαίνεται από 15 έως 20 ημέρες, βρίσκεται ότι ο συνολικός όγκος του χωνευτή θα πρέπει να είναι **1200 – 4000m³**, ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί με την δημιουργία περισσότερων από ενός χωνευτή.

Σαν τελικό προϊόν συνυπολογίζεται και το αναμενόμενο εδαφοβελτιωτικό ή βιο-λίπασμα, το οποίο προκύπτει κατά την αναερόβια χώνευση. Η απόδοση των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε εδαφοβελτιωτικό κυμαίνεται από 25 έως 50% του νωπού προϊόντος για την αναερόβια χώνευση ([112]) και 15% για την αναερόβια χώνευση ([103]). Με 48 έως 120 τόνους ανά ημέρα νωπών πτηνοτροφικών αποβλήτων, 75% υγρασίας και επομένως περίπου 5% απόδοση, μπορεί να υφίσταται ένα εύρος παραγωγής εδαφοβελτιωτικού προς περαιτέρω αξιοποίηση από 7.2 έως 18 τόνους ανά ημέρα.

Σύμφωνα με την κατασκευαστική εταιρία Zorg Biogas AG [124] για εισροή πτηνοτροφικών αποβλήτων (75% υγρασίας) 40 έως 120 τόνων την ημέρα απαιτούνται από 1 έως 4 αναερόβιοι χωνευτές και έκταση από 7 έως 20 στρέμματα. Το παραγόμενο εδαφοβελτιωτικό θα είναι της τάξης των 17-51 τόνων την ημέρα στερεού βιο-λιπάσματος και 18-55m³ ανά ημέρα υγρού βιο-λιπάσματος. Επιπρόσθετα, αναφέρουν τιμές για τον ίδιο όγκο αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου 4125-12375m³ ανά ημέρα, την ηλεκτρική κατανάλωση από 23-69kW και την θερμική κατανάλωση του συστήματος από 147-383kW.

Η ισχύς του συστήματος μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας την παραγόμενη ενέργεια του συστήματος, ηλεκτρική και θερμική, με τον ετήσιο μέγιστο χρόνο λειτουργίας της μονάδας, που συνήθως αναφέρεται σε 8.000ώρες τον χρόνο ([20]). Επομένως, για την μονάδα μας, με παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από 1,48-4,3GWh και θερμική 3,3-9,5GWh, προκύπτει η ισχύς του συστήματος, ηλεκτρική ισχύ 0,2-0,5MWh και θερμική ισχύ 0,4-1,2 MWh.

6.1. Οικονομική ανάλυση συστήματος

Η οικονομική μελέτη της δημιουργίας μια τέτοιας μονάδας επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων απαιτεί πολλαπλά και ακριβή δεδομένα. Στην παρούσα φάση δεν μπορεί να γίνει λεπτομερής και ακριβή αποτύπωση των οικονομικών στοιχείων που απαιτούνται, λόγω της παντελούς έλλειψης δεδομένων. Στη βιβλιογραφία, προς διευκόλυνση της οικονομικής συγκριτικής αξιολόγησης κατασκευάζονται προσεγγιστικά μοντέλα ([76]) που προκύπτουν από στατιστικές μεθόδους και δίνουν συναρτήσεις κόστων για την κάθε τεχνολογία και διαφορετικά εύρη δυναμικότητας. Στην περίπτωσή μας όμως, λόγω του μικρού ετήσιου όγκου των πτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής δεν βρέθηκε κάποιο που να το προσεγγίζει. Παρόλα αυτά μπορεί να γίνει μια γενικότερη προσέγγιση των οικονομικών όρων, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως βάση για μια πληρέστερη μελέτη βιωσιμότητας του έργου. Στοιχεία από κατασκευαστικές εταιρίες, παρόμοια υλοποιημένα

έργα και βιβλιογραφικές αναφορές μπορεί να χρησιμοποιηθούν επίσης ως ένα αρχικό βήμα στον οικονομικό σχεδιασμό, καθώς η απαιτήσεις και οι συνθήκες είναι και θα είναι πάντοτε διαφορετικές ανάλογα την εκάστοτε περιοχή.

Η κεφαλαιουχική δαπάνη συνυπολογίζει γενικότερα το κόστος κατασκευής της μονάδας επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων και των επιμέρους εγκαταστάσεων, των μηχανολογικό εξοπλισμό και την αγορά χώρου όπου απαιτείται. Σε καθαρά θεωρητικό επίπεδο εκτιμάται ότι η κεφαλαιουχική δαπάνη για την ανέγερση της μονάδας επεξεργασίας θα πρέπει να αναληφθεί από τους χρήστες του συστήματος που είναι οι κτηνοτρόφοι. Όμως, έχει διαφανεί ότι η πραγματικότητα δεν επιτρέπει αυτή τη διαδικασία, είτε με άμεση καταβολή των εξόδων, είτε με έμμεση καταβολή ολόκληρου του ποσού της κεφαλαιουχικής δαπάνης σε βραχυπρόθεσμη βάση από τους κτηνοτρόφους. Το γεγονός αυτό εξάγει το συμπέρασμα ότι για την άμεση ή έμμεση υλοποίηση του έργου απαιτείται η συμβολή είτε του κράτους είτε τις ιδιωτικής πρωτοβουλίας, με ότι αυτό συνεπάγεται. Όπως στην περίπτωση της κεφαλαιουχικής δαπάνης, έτσι και στην περίπτωση της λειτουργικής δαπάνης της μονάδας, υπό κανονικές συνθήκες η ανάληψη των εξόδων λειτουργίας και συντήρησης, θα έπρεπε να επιβαρύνει ολοκληρωτικά τους άμεσα ωφελούμενους, τους κτηνοτρόφους. Όμως η επιβολή ψηλού τέλους στους χρήστες του συστήματος θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κλίματος που θα αποτρέπει τους κτηνοτρόφους να χρησιμοποιούν τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας με κατάληξη να συνεχιστεί το σημερινό φαινόμενο μη επαρκούς επεξεργασίας των αποβλήτων.

Η κάλυψη των παραπάνω οικονομικών αναγκών μπορεί να γίνει με την αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου, είτε με τη πώληση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στην ΔΕΗ, είτε με την αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας στις γύρω περιοχές και με την αξιοποίηση του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού και την εμπορία του.

Στην οικονομική μελέτη δεν μπορεί να παραληφθεί το οικονομικό κόστος μεταφοράς των πτηνοτροφικών αποβλήτων από την πηγή στη κεντρική μονάδα διαχείρισης. Οι βιβλιογραφικές αναφορές δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα της περιοχής, επομένως απαιτείται ακριβής συλλογή δεδομένων από τις διάφορες μεταφορικές, ιδιώτες και τους εμπλεκόμενους φορείς, καθώς επίσης και της τιμής του καυσίμου για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οικονομικότερη πάντως λύση αναφέρεται η μεταφορά των πτηνοτροφικών αποβλήτων με φορτηγά, σε σχέση με τη δημιουργία κεντρικού αγωγού μεταφορά και για τη μεταφορά του βιοαερίου με την εγκατάσταση αγωγού, σε σχέση με τη μεταφορά με φορτηγά υψηλής πίεσης.

Βασική οικονομικοί υπολογισμοί για την προτεινόμενη μονάδα επεξεργασίας

Αν η εγγυημένη τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας παραμείνει στα 87.84 Ευρώ/MWh ([99]) και με δεδομένο το δυναμικό παραγωγής, μπορεί να προκύψει ένα όφελος της τάξης **125.000 έως 365.000€ το χρόνο**, από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος στην ΔΕΗ.

Με την αξιοποίηση του εδαφοβελτιωτικού, ακόμα και με την τωρινή τιμή πώλησης από τον δήμο 10€ ανά κυβικό (1m³ περίπου 700kg) και με γνωστό το δυναμικό παραγωγής, θα μπορούσε να προκύψει ένα όφελος της τάξεως 100-260€ την ημέρα ή **35.000 έως 95.000€ ετησίως**.

Όσο αφορά την πάγια επένδυση και τα αντίστοιχα λειτουργικά έξοδα την προτεινόμενης μονάδας αναερόβιας χώνευσης των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να γίνει μια γενική προσέγγιση βάση των βιβλιογραφικών τιμών ([125]) για τα ζωικά απόβλητα, όπου για τα πτηνοτροφικά απόβλητα αναφέρεται ότι η πάγια επένδυση κυμαίνεται από 2000-8000€/KWh (εγκατεστημένη) και ως λειτουργικά έξοδα τα 0,02€/ KWh. Επομένως, για την ηλεκτρική ισχύς του συστήματος προκύπτει ένα πάγιο κόστος της τάξης **370.000-1.500.000€** και λειτουργικού κόστους από 4-11€/ KWh ή **30.000-280.000€ ετησίως**.

Στηριζόμενοι στα οικονομικά δεδομένα της κατασκευαστικής εταιρίας Zorg Biogas AG ([124]) και τον αντίστοιχο τιμοκατάλογο της προκύπτει ότι για αναερόβιο χωνευτή χωρητικότητας από 40 έως 120 τόνων την ημέρα θα έχουμε τα αντίστοιχα οικονομικά κόστη: για την προετοιμασία του φακέλου 61.200-75.600€, για την επίβλεψη και την εκπαίδευση 26.400-28.000, για τον εξοπλισμό 936.000- 1.680.000€, και για την κατασκευή 588.000-948.000€. επομένως το αναμενόμενο συνολικό κόστος κατασκευής θα είναι της τάξης από 1.600.000 έως 2.700.000€ περίπου.

6.2. Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός μιας εγκατάστασης παραγωγής και διαχείρισης πτηνοτροφικών αποβλήτων, με σκοπό την παράγωγή βιοαερίου, δεν μπορεί να στηριχθεί μόνο στην κατασκευή και λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και διαχείρισης των παραγόμενων προϊόντων της επεξεργασίας αυτής. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα προκύψουν από την δημιουργία ενός τέτοιου έργου, συνιστά εξίσου σημαντικό παράγοντα στον σχεδιασμό. Ο βαθμός επηρεασμού του περιβάλλοντος της περιοχής θα πρέπει να μελετηθεί για όλα τα στάδια της κατασκευής, δηλαδή για την φάση της

κατασκευής, λειτουργίας και αποξήλωσης του έργου. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα πρέπει να αφορούν τις παραμέτρους που λαμβάνουν χώρα, τις πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς και την κλίμακα αυτών των επιπτώσεων

Λόγω έλλειψη βασικών στοιχείων για τα πτηνοτροφικά απόβλητα της περιοχής μελέτης, δεν είναι εφικτή μια συγκεκριμένη και ακριβή ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την συγκεκριμένη περιοχή. Παρόλο αυτούς τους περιορισμούς, μια γενικότερη ανάλυση και αποτύπωση των βασικών παραμέτρων και επιπτώσεων μπορεί να συμβάλει στον γενικότερο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης και να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μια περαιτέρω ειδικότερη μελέτη. Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται οι γενικότερες εκτιμήσεις που έχουν να κάνουν με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πιθανών από την κατασκευή και λειτουργία του σταθμού επεξεργασίας συνοψίζεται στο Πίνακα 24. Ο βαθμός επηρεασμού του περιβάλλοντος μελετάται τόσο για την φάση κατασκευής όσο και κατά τη λειτουργία και αποξήλωση της μονάδας. Επίσης, αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παρούσας διαδικασίας διαχείρισης των αποβλήτων και τα περιβαλλοντικά οφέλη της ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

	Παράμετρος	Κλίμακα επιπτώσεων
Φάση έργου Κατασκευής	Υποδομή - Ολική απώλεια γης	Αμελητέες, Τοπικού χαρακτήρα
	Οδικό δίκτυο	Καμία
	Κυκλοφοριακή Επιβάρυνση	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες
	Τοπογραφία	Μικρές, Τοπικού χαρακτήρα
	Έδαφος	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες
	Χωματουργικές εργασίες	Περιορισμένες, Βραχυχρόνιες
	Θόρυβος και δονήσεις	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες
	Χρήση νερού	Αμελητέες, Βραχυπρόθεσμες
	Χρήση ενέργειας	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες
	Χρήση γης	Καμία
	Είδη υλικών	Μικρή
	Ποιότητα νερών	Καμία
	Αέρια Ρύπανση	Μικρές, Τοπικού χαρακτήρα
	Εργασιακές θέσεις	Σημαντικές, Θετικές, Μακροπρόθεσμες
	Αισθητική τοπίου	Μικρές
	Ανθρωπογενές Περιβάλλον	Αμελητέες, Βραχυπρόθεσμες

	Παράμετρος	Κλίμακα επιπτώσεων
Λειτουργίας	<i>Ποιότητα Αέρα</i>	
	Εκπομπή σκόνη	Ελάχιστες, μόνιμου χαρακτήρα
	Οσμές Μεταφορά - Λειτουργία	Μικρές, Τοπικού χαρακτήρα
	Αέρια απόβλητα	Μικρές, Ευρύτερου χαρακτήρα
	Έντομα	Μικρές
	<i>Ποιότητα νερού και εδάφους</i>	
	Υδατικό οικοσύστημα	Σημαντικές, Θετικές, Μόνιμες
	Ποιότητα εδάφους	Μικρές, Θετικές, Μόνιμες
	<i>Κοινωνικές Επιπτώσεις</i>	
	Κυκλοφορία	Σημαντικές, Θετικές, Μόνιμες
	Ανθρωπογενές περιβάλλον	Μικρές, Αρνητικές, Μόνιμες
	Θέσεις εργασίας	Σημαντικές, Θετικές, Μόνιμες
	Αισθητική τοπίου	Ελάχιστες, Μόνιμες
	<i>Επεξεργασία Αποβλήτων</i>	
	Υγρά απόβλητα	Καμιά
	Στερεά απόβλητα	Σημαντικές, Θετικές, Μόνιμες
<i>Χρήση ενέργειας</i>	Σημαντικές, Θετικές, Μόνιμες	
Αποξήλωσης	Αέρια απόβλητα	Μικρές, Τοπικού χαρακτήρα
	Χρήση νερού	Αμελητέες, Βραχυπρόθεσμες
	Χρήση ενέργειας	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες
	Στερεά απόβλητα	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες
	Κυκλοφοριακή επιβάρυνση	Μηδαμινές, Βραχυπρόθεσμες
	Αισθητική τοπίου	Μικρές, Θετικές
	Ανθρωπογενές περιβάλλον	Μικρές, Βραχυπρόθεσμες

Πίνακας 24: Παράμετροι, επιπτώσεις και κλίμακα επιπτώσεων έργου

Για την κατασκευή του έργου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο ήδη υπάρχον χώρος της περιοχής μελέτης 8 στρεμμάτων. Επομένως, η ολική απώλεια γης θα είναι αμελητέα, ενώ και η κλίμακα των επιπτώσεων θα είναι τοπικού χαρακτήρα. Η πρόσβαση στις εγκαταστάσεις εξασφαλίζεται από υφιστάμενο δρόμο, επομένως δεν υφίσταται καμία επιπλέον επίπτωση στο περιβάλλον. Όσο αφορά τη κυκλοφοριακή επιβάρυνση στο υπάρχον οδικό δίκτυο θα υπάρξει αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου λόγω της διακίνησης των εργαζομένων, φορτηγών οχημάτων και των υλικών κατασκευής. Ο μεγάλος φόρτος εργασιών αφορά τους

μήνες που θα διαρκέσουν οι εργασίες, επομένως η κλίμακα των επιπτώσεων θα είναι μικρές και βραχυπρόθεσμες.

Οι επιπτώσεις στην τοπογραφία της περιοχής θα είναι πολύ μικρές, και επομένως δεν θα υπάρξει αλλαγή ανάγλυφου. Το χώμα εκσκαφής των εγκαταστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου. Επιπρόσθετα, ορατό θα είναι τμήματα εγκαταστάσεων της μονάδα αεριοποίησης και των βοηθητικών εγκαταστάσεων. Η κλίμακα των επιπτώσεων αναμένεται να είναι μικρή και τοπικού χαρακτήρα. Όσο αφορά το έδαφος που θα προκύψει κατά την διάρκεια κατασκευής του έργου για την κατασκευή των έργων υποδομής θα χρησιμοποιηθεί στη διαμόρφωση επιφανειών μέσα στα έργα και γύρω από αυτά. Επομένως αναμένονται μικρές και τοπικού χαρακτήρα επιπτώσεις.

Οι αναγκαίες χωματουργικές εργασίες, αναφορικά με το κίνδυνο ρύπανσης των νερών, του εδάφους, της ατμόσφαιρας, το θόρυβο, τις δονήσεις, το φωτισμό, τη θερμότητα, την ακτινοβολία και την κατεύθυνση πνοής ανέμων σε σχέση με την θέση οικιστικής περιοχής θα είναι μέτριας κλίμακας και περιορισμένου χρόνου. Προϋποθέτει τη διασφάλιση της προστασίας ρύπανσης από ατύχημα ή εφαρμογής κακών πρακτικών από τα μηχανήματα κατασκευής με κατάλληλα μέτρα. Κύρια πηγή θορύβου είναι η λειτουργία εκσκαφών για εκχέρσωση γης όπου θα οριοθετηθούν οι εγκαταστάσεις του έργου και η διαμόρφωση του τεμαχίου. Ο απαιτούμενος χρόνος των χωματουργικών εργασιών είναι μικρός στο σύνολο.

Μικρότερης έντασης πηγή θορύβου θα προκύψει από την κίνηση φορτηγών οχημάτων μεταφοράς υλικών και εξοπλισμού στο εργοτάξιο, με μέγιστη συχνότητα 6 την ημέρα. Η κλίμακα των επιπτώσεων εκτιμάται ως μικρές και βραχυπρόθεσμες. Μικρές ποσότητες νερού θα απαιτηθούν για τις οικοδομικές εργασίες και την διαβροχή του εδάφους προς αποφυγή δημιουργίας σκόνης και για τις ανάγκες των εργαζομένων. Οι επιπτώσεις θα είναι αμελητέες και βραχυπρόθεσμες.

Κατά τη φάση κατασκευής οι ενεργειακές ανάγκες που θα προκύψουν, θα καλυφθούν από ηλεκτρογεννήτρια diesel που θα εγκατασταθεί στο εργοτάξιο, με μικρές και βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις. Όσο αφορά τη διαφοροποίηση των χρήσεων γης δεν θα επηρεαστεί ιδιαίτερα η οικονομική αξία από τα κατασκευαστικά έργα, καμία περιβαλλοντική επίπτωση, καθώς η περιοχή εγκατάστασης είναι μακριά από το αστικό κορμό και σε απόσταση από τουριστικές περιοχές έντονης οικοδόμησης. Τα είδη υλικών, όπως μπετόν, σκυρόδεμα, μεταλλικές και πλαστικές σωληνώσεις, προστατευτικές επικαλύψεις, ηλεκτρολογική εγκατάσταση, μεταλλικές βαλβίδες και σύστημα ελέγχου θα αποτελούν τα κύρια είδη υλικών που θα

απαιτηθούν, τα οποία μπορεί να είναι ανακυκλώσιμα ή και επαναχρησιμοποιήσιμα. Η κλίμακα των επιπτώσεων στο περιβάλλον θεωρείται μικρή.

Τα έργα δεν επηρεάζουν τον υδροφόρο ορίζοντα και την ποιότητα των νερών. Η συνολική επιφάνεια της εγκατάστασης είναι σχετικά μικρή και επομένως η φυσική απορροή των όμβριων υδάτων δεν επηρεάζεται, επομένως δεν θα αναμένεται καμιά περιβαλλοντική επίπτωση. Η αέρια ρύπανση κατά την κατασκευή του έργου, έγκειται στις ελκυόμενες σκόνες κατά την διάρκεια των κατασκευαστικών εργασιών, οι οποίες μπορεί να αντιμετωπιστούν με την τακτική διαβροχή του χώρου, καθώς και οι επικείμενες εκλυόμενες ποσότητες καυσαερίων θεωρούνται μικρές, αν ληφθεί υπόψη ο περιορισμένος αριθμός των οχημάτων και των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιούνται.

Η κατασκευή των έργων θα δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας και εξειδικευμένο επιστημονικό και εργατικό προσωπικό που θα μπορεί να αναλάβει και άλλα πρωτοποριακά έργα αυτού του είδους. Ειδικά η τεχνολογία αναερόβιας χώνευσης είναι πρωτοποριακή και το κέρδος τεχνογνωσίας που θα προκύψει είναι υψηλής προστιθέμενης αξίας. Επομένως, οι επιπτώσεις είναι θετικές και σημαντικές, καθώς και θεωρούνται ως μακροπρόθεσμες.

Η αισθητική του τοπίου δεν θα μεταβληθεί σε μεγάλο βαθμό. Οι εγκαταστάσεις θα είναι ορατές, αλλά δεν θεωρείται ότι επιβαρύνουν την αισθητική του περιβάλλοντος χώρου, επομένως οι επιπτώσεις είναι μικρές. Τα έργα κατασκευής του σταθμού επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων δεν θα δημιουργήσουν αναστολή της λειτουργίας του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Επομένως, δεν αναμένονται αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις από την κατασκευή των εγκαταστάσεων στην περιοχή επιρροής ούτε σημαντική υποβάθμιση της αξίας της περιοχής, αμελητέες και βραχυχρόνιες επιπτώσεις.

Στην φάση λειτουργίας του έργου οι γενικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν να κάνουν με τις παραμέτρους που αφορούν την ποιότητα του αέρα, την ποιότητα του νερού και του εδάφους, στην χρήση ενέργειας και νερού, στις κοινωνικές επιπτώσεις και στα τελικά απόβλητα της επεξεργασίας. Η ποιότητα του αέρα αφορά στην εκπομπή σε σκόνη από την κίνηση των οχημάτων από και προς το σταθμό και από τις εκπομπές της αναερόβιας χώνευσης. Οι επιπτώσεις μπορεί να θεωρούνται αρνητικές και μόνιμες, αλλά αν οι εγκαταστάσεις λειτουργούν σύμφωνα με την νομοθεσία είναι ελάχιστες.

Η μεταφορά των πτηνοτροφικών αποβλήτων θα γίνεται με οχήματα που ελευθερώνουν δυσοσμία στον αέρα, αλλά θεωρείται τοπικού χαρακτήρα. Στην λειτουργία των εγκαταστάσεων η αναερόβια δεξαμενή επιδρά θετικά στις εκπεμπόμενες οσμές, καθώς

μειώνει σημαντικά την επιφάνεια της αερόβιας εγκατάστασης. Οσμές θα ελευθερώνονται στις εγκαταστάσεις της αερόβιας χώνευσης, αλλά είναι χαμηλής έντασης και μπορούν να γίνουν αισθητές μόνο σε μικρή απόσταση. Οι αναμενόμενες οσμές που ελευθερώνονται από τη δεξαμενή υποδοχής λυμάτων, μπορεί να οδηγηθούν σε ειδικό φίλτρο κατακράτησης οσμών, ώστε να μην επιβαρύνεται ο εργασιακός χώρος του σταθμού.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θεωρούνται αρνητικές, αλλά θα είναι ελάχιστες και τοπικού χαρακτήρα. Αέρια απόβλητα θα προκύψουν κατά την καύση του βιοαερίου στην ηλεκτρογεννήτρια. Το προϊόν της καύσης είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, που όμως δεν προσμετρείται στο αρνητικό ισοζύγιο του CO₂, καθώς το βιοαέριο και το αέριο σύνθεσης από βιομάζα εμπίπτουν στην κατηγορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Χαμηλές εκπομπές αερίων ρυπαντών θα ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, με συγκεντρώσεις όμως κατά πολύ χαμηλότερες της σχετικής νομοθεσίας. Τα εκπεμπόμενα καυσαέρια μπορεί να ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω καπνοδόχου, χωρίς να επηρεάζουν το σταθμό και να διασκορπίζονται σε μεγάλη απόσταση. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ευρύτερου χαρακτήρα, αρνητικές, αλλά θεωρούνται μικρές. Η εμφάνιση εντόμων θα εντοπίζεται μόνο στις εγκαταστάσεις της αερόβιας χώνευσης των υποπροϊόντων, με μικρές και τοπικού χαρακτήρα επιπτώσεις στην περιοχή.

Το υδατικό οικοσύστημα δεν θα υποστεί καμία αρνητική περιβαλλοντική επίπτωση. Σε αντίθεση, η ποιότητα των υπέργειων και υπόγειων νερών, αφού θα τηρεί τις νομοθετικές προδιαγραφές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή άρδευσης. Η χρήση του στη γεωργία θα βοηθήσει στη διατήρηση των φυσικών πόρων και τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών, επομένως οι επιπτώσεις είναι θετικές και μόνιμες. Αντίστοιχα, η ποιότητα του εδάφους της περιοχής δεν αναμένεται να υποβαθμιστεί. Η απόθεση του προκύπτον εδαφοβελτιωτικού υλικού σε καλλιεργήσιμη γη διενεργείται με την ενδεδειγμένη γεωργική πρακτική και λαμβάνοντας υπόψη πως υποκαθιστά τα λιπάσματα χημικής σύστασης, τεκμαίρεται πως δεν θα προκαλέσει σχεδόν καμία αρνητική επίπτωση στο οικοσύστημα. Επομένως, αναμένονται μικρές, αλλά θετικές και μόνιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι κοινωνικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετίζονται με την κυκλοφορία και το οδικό δίκτυο, το ανθρωπογενές περιβάλλον, τις θέσεις εργασίας και την αισθητική του τοπίου. Η επιβάρυνση του τοπικού δικτύου θα υπάρξει κυρίως λόγω του ότι σε καθημερινή βάση θα εισέρχονται οχήματα μεταφοράς πτηνοτροφικών αποβλήτων. Ο σωστός και συστηματικός προγραμματισμός των δρομολογίων αναμένεται να βελτίωση το κυκλοφοριακό φόρτο.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα είναι σημαντικές και μόνιμες και μπορεί να θεωρηθούν θετικές επιπτώσεις για το περιβάλλον. Στο ανθρωπογενές περιβάλλον εφόσον θα λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα καταπολέμησης οσμών δεν θα αναμένεται επιβάρυνση στο ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής, καθώς επίσης και η παραγωγή νερού για άρδευση θεωρείται θετική εξέλιξη για τη γεωργία των γύρω εκτάσεων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να είναι αρνητικές και μόνιμες, αλλά είναι μικρές για την τοπική κοινωνία. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων θα δημιουργήσει μόνιμες μακροχρόνιες θέσεις εργασίας. Επιπρόσθετα, η οικονομικές εισροές από την διαχείριση του βιοαερίου και του εδαφοβελτιωτικού μπορεί να βοηθήσουν εμμέσως στην ανάπτυξη νέων θέσεων εργασίας. Επομένως οι επιπτώσεις είναι σημαντικές, θετικές και μόνιμες. Η αισθητική του τοπίου θα επηρεαστεί από της μόνιμες εγκαταστάσεις, που θα υφίστανται στο χώρο. Οι επιπτώσεις αυτές θα είναι μόνιμες και ελάχιστες και σε μεγάλο βαθμό θα είναι υποκειμενικού χαρακτήρα.

Απόβλητα επεξεργασίας θεωρούνται τα υγρά και στερεά απόβλητα της διαδικασίας επεξεργασίας. Τα αναμενόμενα υγρά απόβλητα που θα προκύψουν από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων είναι ελάχιστα και μικρού ρυπαντικού φορτίου, χωρίς καμία επίπτωση προς το περιβάλλον. Όσο αφορά τα στερεά απόβλητα, το υποπροϊόν της αναερόβιας χώνευσης είναι η δημιουργία καλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού. Επιπρόσθετα, η μείωση του όγκου της εισερχόμενης ποσότητας των πτηνοτροφικών αποβλήτων συνεπάγεται χαμηλότερα έξοδα μεταφοράς και ευκολότερη διαχείριση ενός προϊόντος το οποίο αυτή τη στιγμή παρουσιάζει δυσκολίες διάθεσης λόγω κορεσμού των διαθέσιμων καλλιεργείων. Επομένως, οι επιπτώσεις προς το περιβάλλον είναι σημαντικές, θετικές και μόνιμες.

Η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που θα απαιτηθεί για την λειτουργία των εγκαταστάσεων θα παραχθεί από την ίδια την μονάδα, επομένως ενεργειακά η μονάδα είναι αυτόνομη. Ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας θα αξιοποιηθεί σε ίδια χρήση εντός της μονάδας και το υπόλοιπο θα πωλείται στο υπάρχον δίκτυο. Η παραγόμενη ενέργεια από πτηνοτροφικά απόβλητα ανήκει στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και επομένως έχει θετικό αντίκτυπο στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, με σημαντικές και μόνιμες επιπτώσεις προς το περιβάλλον.

Για την ολοκληρωμένη διαχείριση και υλοποίηση ενός παρόμοιου έργου, καθίσταται επιτακτικός και ο σχεδιασμός και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την φάση της αποξήλωσης του έργου. Γενικότερα, στο τέλος της ζωής ενός έργου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφορούν παρόμοιους παραμέτρους με την φάση κατασκευής του έργου.

Επομένως, έχουμε επιπτώσεις στο περιβάλλον από αέρια απόβλητα, τη χρήση του νερού και της ενέργειας, την κυκλοφοριακή επιβάρυνση, τα παραγόμενα στερεά απόβλητα, την αισθητική του τοπίου και το ανθρωπογενές περιβάλλον.

Τα αέρια απόβλητα συνίστανται από τις σκόνες που θα εκλυθούν κατά την διάρκεια των εργασιών αποξήλωσης, οι οποίες θα αντιμετωπισθούν με την τακτική διαβροχή του χώρου και από τις ποσότητες καυσαερίων των οχημάτων και των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιούνται. Οι επιπτώσεις θεωρούνται μικρές, βραχυπρόθεσμες και τοπικού χαρακτήρα. Μικρές ποσότητες νερού θα απαιτηθούν για τις οικοδομικές εργασίες και την καταβροχή του εδάφους προς αποφυγή δημιουργίας σκόνης και για τις ανάγκες των εργαζομένων. Επομένως η περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση του νερού θα είναι αμελητέες και βραχυπρόθεσμες.

Όπως και κατά τη φάση κατασκευής οι ενεργειακές ανάγκες που θα παρουσιαστούν θα καλυφθούν από ηλεκτρογεννήτρια diesel που θα εγκατασταθεί στο εργοτάξιο, με αντίστοιχες μικρές και βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις προς το περιβάλλον. Μπετόν, σκυρόδεμα, μεταλλικές και πλαστικές σωληνώσεις, προστατευτικές επικαλύψεις, ηλεκτρολογική εγκατάσταση και μεταλλικά εξαρτήματα θα αποτελούν τα κύρια στερεά απόβλητα που θα δημιουργηθούν κατά τη φάση αποξήλωσης του σταθμού. Το μεγαλύτερο μέρος των υλικών είναι ανακυκλώσιμα επομένως δεν αναμένεται παραμονή σκουπιδιών μετά την παράδοση του χώρου, με τα αδρανή υλικά να μπορούν να απορριφθούν σε εγκεκριμένο χώρο.

Όσο αφορά την κυκλοφοριακή επιβάρυνση, η κίνηση οχημάτων θα είναι μικρή και κατά τη φάση αποξήλωσης, οπότε θα υπάρξουν μηδαμινές και βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις. Σε σχέση με την αισθητική τοπίου, η αποξήλωση της εγκατάστασης θα δημιουργήσει ελεύθερο χώρο προς αξιοποίηση. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν αν και είναι μικρές θεωρούνται θετικά. Τέλος, όσο αφορά το ανθρωπογενές περιβάλλον, τα έργα αποξήλωσης της μονάδας δεν αναμένεται να επηρεάσουν την ανθρώπινη δραστηριότητα της περιοχής καθώς είναι μικρής διάρκειας.

Μέτρα αντιμετώπισης και περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατασκευής του έργου

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλες τις φάσεις της κατασκευής του έργου μπορούν να αντιμετωπιστούν με τον κατάλληλο σχεδιασμό και προγραμματισμό. Για ένα ακριβέστερο και ορθολογικότερο σχεδιασμό απαιτούνται συγκεκριμένα δεδομένα, τα οποία για την

περιοχή μελέτης χρειάζεται να αναβρεθούν με συστηματικό και σαφή προγραμματισμό. Παρόλα της παρούσας έλλειψης βασικών δεδομένων, μπορεί να αναλυθεί μια γενικότερη κατεύθυνση με σκοπό την παρουσίαση των βασικών μέτρων αντιμετώπισης και περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που ανακύπτουν σε όλες της φάσης της κατασκευής του έργου.

Επομένως, ως μέτρα αντιμετώπισης του θορύβου που μπορούν να εφαρμοστούν είναι ο έλεγχος του θορύβου των μηχανημάτων του εργοταξίου με χρήση μοντέλων με μειωμένες εκπομπές θορύβου, η εφαρμογή τεχνικών λύσεων με κατασκευή προσωρινών ηχοπετασμάτων περί τον χώρο του εργοταξίου και χρήση κινητών αντιθορυβικών πετασμάτων στα σημεία εκπομπής υψηλής στάθμης θορύβου και την επιλογή τη διάταξη των εργοταξίων και τον προγραμματισμό των εργασιών έτσι ώστε να προκληθεί η ελάχιστη δυνατή παρενόχληση στο περιβάλλον. Επειδή κατά τη λειτουργία του έργου θα χρησιμοποιείται ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα ηχομόνωσης, ούτως ώστε να αποτραπούν οι υψηλές στάθμες θορύβου.

Σε σχέση με την ομαλή οπτική ένταξη του έργου στο περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής θα μπορούσαν να εφαρμοστούν μέτρα τοποιοτέχνησης, όπως είναι η φύτευση δένδρων περιμετρικά της εγκατάστασης, τα οποία θα παρέχουν επαρκή οπτική κάλυψη των εγκαταστάσεων.

Όσο αφορά τα αέρια απόβλητα αναμένονται άμεσες επιπτώσεις από τις εκπομπές σκόνης λόγω των χωματουργικών εργασιών στην περιοχή άμεσης επιρροής του έργου. Ο έλεγχος των εκπομπών σκόνης γίνεται με απλές μεθόδους διαχείρισης και το επίπεδο όχλησης εξαρτάται σημαντικά από τα μέτρα ελέγχου στην πηγή. Τα μέτρα μπορεί να αφορούν την ύγρανση των διαδρομών κίνησης, την προφύλαξη από της κλιματικές συνθήκες (άνεμο), την ορθολογική διαχείριση και μεταφοράς των υλικών και την χρήση κατάλληλων μηχανημάτων. Στην φάση λειτουργίας του έργου. Δεν αναμένονται άμεσες επιπτώσεις από τις εκπομπές αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων στους αποδέκτες θα βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια την νομοθεσίας. Επομένως, ίσως δεν θα απαιτηθούν επιπλέον μέτρα μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά τη φάση λειτουργίας του έργου.

Τα στερεά απόβλητα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ανακύπτουν από αυτά θα μπορούσαν να διαχειριστούν μέσω προληπτικών ή άλλων συγκεκριμένων μέτρων. Τα στερεά κατάλοιπα κατά την λειτουργία των εγκαταστάσεων μπορούν μέσω περαιτέρω διαδικασίας να αποτεθούν σε κατάλληλους διαμορφωμένους χώρους ταφής ή να χρησιμοποιηθούν

ανάλογα την σύστασή τους. Η διάθεση τους θα πρέπει να είναι πλήρως ελεγχόμενη, ώστε να αποφεύγονται οποιοδήποτε αρνητικές επιπτώσεις. Το πρόγραμμα καθαρισμού των δεξαμενών και των λοιπών χώρων θα πρέπει να καταγράφεται λεπτομερώς, αν δύναται να γίνεται χημική ανάλυση των υποπροϊόντων και να αποθηκεύονται σε ειδικούς χώρους

Γενικότερα μέτρα πρόληψης και εξασφάλισης σε της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων μπορεί να έγκειται στην εγκατάσταση συστήματος πυρανίχνευσης – πυρόσβεσης, στην επιμελής καθαριότητα των χώρων της εγκατάστασης, σε σύστημα αυτόματης απενεργοποίησης μηχανημάτων σε περίπτωση κινδύνου και στην τήρηση όλων των ειδικών προδιαγραφών υγιεινής και ασφάλειας που προβλέπονται για μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

Επιπτώσεις μη κατασκευής του έργου

Για σκοπούς σύγκρισης, παρουσιάζεται συνοπτικά η υπάρχουσα κατάσταση διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων του Δήμου Μεγάρων, σε σύγκριση με την προτεινόμενη διαχείριση (Πίνακας 25). Στην ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης γίνεται αναφορά σχετικά με το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Όμως η μέχρι τώρα εμπειρία και τα εξαγόμενα συμπεράσματα αποδεικνύουν την μικρή αποτελεσματικότητα του υπάρχων συστήματος διαχείρισης. Η διαχείριση με την αερόβια χώνευση και με τον συγκεκριμένο τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται εγκυμονεί τόσο περιβαλλοντικούς κινδύνους, όσο και οικονομικά προβλήματα για την περαιτέρω βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Στα σημαντικότερα οφέλη της δημιουργίας μια εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης, στην θέση των υπαρχόντων εγκαταστάσεων, περιλαμβάνονται η παραγωγή ενέργειας και θερμότητας από Α.Π.Ε, τα μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη από την διαχείριση αυτών, οι μικρότεροι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και το εδαφοβελτιωτικό προς απόθεση. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζεται η σύγκριση μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης, αερόβιας χώνευσης και της προτεινόμενης μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης. Από τον πίνακα προκύπτει το συμπέρασμα ότι με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, παρά την αρχικά υψηλότερη οικονομική επένδυση, μακροπρόθεσμα μπορεί να είναι αποδοτική και ανταγωνιστική της υπάρχουσας τεχνολογίας. Βέβαια σημαντικότερο είναι και το περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από τη μη χρήση ορυκτών καυσίμων (αέρια του θερμοκηπίου) και τη μείωση των αερίων ρυπαντών. Προκαταρκτικές εκτιμήσεις έχουν δείξει ότι, η συμβολή της βιολογικής επεξεργασίας βιοδιασπάσιμων αποβλήτων σε αέρια

θερμοκηπίου ανέρχεται σε ισοδύναμα 30 και 90 kg CO₂/1000 kg επεξεργασμένων αποβλήτων, στις περιπτώσεις της αερόβιας και της αναερόβιας χώνευσης, αντίστοιχα, επομένως με μια πλήρη αξιοποίησι του δυναμικού του Ελλαδικού χώρου θα ήταν δυνατή η μείωση ετησίως στην ΕΕ-15 εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της τάξης των 2 Gg σε ισοδύναμο CO₂ στην περίπτωση αερόβιας χώνευσης και 6 Gg στην περίπτωση αναερόβιας χώνευσης ([126], [127]).

Παράμετρος	Τωρινή Κατάσταση	Προτεινόμενη Ανάπτυξη
Πτηνοτροφικά Απόβλητα	Αερόβια Χώνευση	Αναερόβια Χώνευση
Ποσότητα Λυμάτων	48-120ton/d	48-120ton/d
Διαχείριση	Δήμος Μεγάρων	Δήμος Μεγάρων
Απόσταση Μεταφοράς	Ευρύτερη περιοχή	Ευρύτερη περιοχή
Ανάγκες γης	8στρ.	7-20στρ.
Παραγωγή Ενέργειας από Βιοαέριο	0	4.78-13.8GWh
Όφελος από παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	0	125.000-356.000€/έτος
Κόστος λειτουργίας	-	30.000-280.000€/ έτος
Πάγιο κόστος	-	370.000-1.500.000€
Όφελος από παραγόμενη θερμική ενέργεια	0	11-13GWh
Είδος Απόθεσης	Εδαφοβελτιωτικό	Εδαφοβελτιωτικό
Ποσότητα προς Διάθεση	14- 36 ton/d	7.2- 18 ton/d
Οικονομικό όφελος	70.000-180.000	35.000-95.000€/έτος
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	Μικρή	2-3 φορές μικρότερη

Πίνακας 25: Συγκριτικός πίνακας υφιστάμενης κατάστασης και προτεινόμενου έργου

6.3. Εξεργειακή ανάλυση

Για την κατανόηση των διεργασιών μετατροπής ενέργειας και υλικών σε κάθε σχεδιασμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξεργειακή ανάλυση. Η ενέργεια και η ύλη δεν δημιουργούνται και δεν καταστρέφονται, απλώς μπορούν να μετασχηματίζονται σε διαφορετικές μορφές, λόγω της υποβάθμισης της ποιότητας. Επομένως, τόσο οι ροές ενέργειας, αλλά και της ύλης μπορούν να θεωρηθούν ως διαφορετικά φαινόμενα που μεταφέρουν ποιότητα. Όλες οι μεταβολές είναι μη αντιστρεπτές, επομένως πραγματοποιούνται με αναπόφευκτες απώλειες, άρα κάθε επιθυμητή μεταβολή του συστήματός μας πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες.

Η εξέργεια είναι ένας τεχνικός όρος σχετικά πρόσφατος και αντιπροσωπεύει το διαθέσιμο προς εκμετάλλευση ποσό ενέργειας ενός συστήματος από το περιβάλλον, για παράδειγμα το ποσό του έργου που μπορεί να παράγει ένα μηχανικό σύστημα στο περιβάλλον του.

Επομένως η εξέργεια μπορεί να οριστεί ως το τμήμα της ενέργειας που είναι μετατρέψιμο σε όλες τις άλλες μορφές ενέργειας ([128]).

Όσο αφορά ένα σύστημα, η εξέργειά του σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον είναι η ποσότητα του μέγιστου μηχανικού έργου που μπορεί να αποβληθεί από το σύστημα σε αυτό το περιβάλλον ([128]). Με άλλα λόγια, η εξέργεια είναι το μέγιστο ποσό έργου που μπορεί να αποληφθεί κατά την διαδικασία στην οποία θα πραγματοποιηθεί η ισορροπία μεταξύ του περιβάλλοντος A με το περιβάλλον A₀.

Επιπρόσθετα, και οι πηγές ενέργειας μπορεί να αναλυθούν με την έννοια της εξέργειας. Οι πιο καθαρές μορφές ενέργειας είναι η μηχανική και η ηλεκτρική για τις οποίες η αρνητική εντροπία είναι 0, και σε αντίθεση η ενέργεια με τη μορφή θερμότητας έχει τη χαμηλότερη ποιότητα. Το περιεχόμενο των πηγών ενεργείας σε εξέργεια είναι πολύ κοντά στις τιμές που συχνά τους αποδίδονται και είναι είτε σε μορφή μηχανικής ενέργειας, που εξ ορισμού είναι πλήρη σε εξέργεια, είτε σε χημική μορφή, που είναι επίσης υψηλής ποιότητας και που η ενθαλπία τους είναι σχεδόν ίση με την εξέργεια τους ([128]). Γενικότερα, σε οποιαδήποτε μετατροπή, όπου λαμβάνει χώρα παραγωγή θερμότητας χρησιμοποιείται ένα μεγάλο μέρος εξέργειας.

Η γενικότερη εξίσωση της εξέργειας ενός συστήματος δίνεται από την εξίσωση ([129]):

$$E_{\text{sys}} = E^{\text{PH}} + E^{\text{KN}} + E^{\text{PT}} + E^{\text{CH}} \quad (10)$$

όπου

E^{PH} είναι η φυσική εξέργεια ενός συστήματος, λόγω της απόκλισης/παρέκκλισης της θερμοκρασίας και της πίεσης του συστήματος σε σχέση με το περιβάλλον.

E^{KN} είναι η κινητική εξέργεια, λόγω της ταχύτητας του συστήματος, μετρούμενη σε σχέση με το περιβάλλον.

E^{PT} είναι η δυναμική εξέργεια λόγω του ύψους του συστήματος, μετρούμενη σε σχέση με το περιβάλλον.

E^{CH} είναι η χημική εξέργεια, της απόκλισης/παρέκκλισης της χημικής σύστασης του συστήματος σε σχέση με το περιβάλλον.

Η βασική εξεργειακή εξίσωση για ένα kg ουσίας σε ανοιχτά συστήματα, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι όροι της κινητικής και δυναμικής εξεργειας είναι ([128]):

$$E_x = \Delta H - \Delta S = (H - H_0) - T_0 (S - S_0) \quad (11)$$

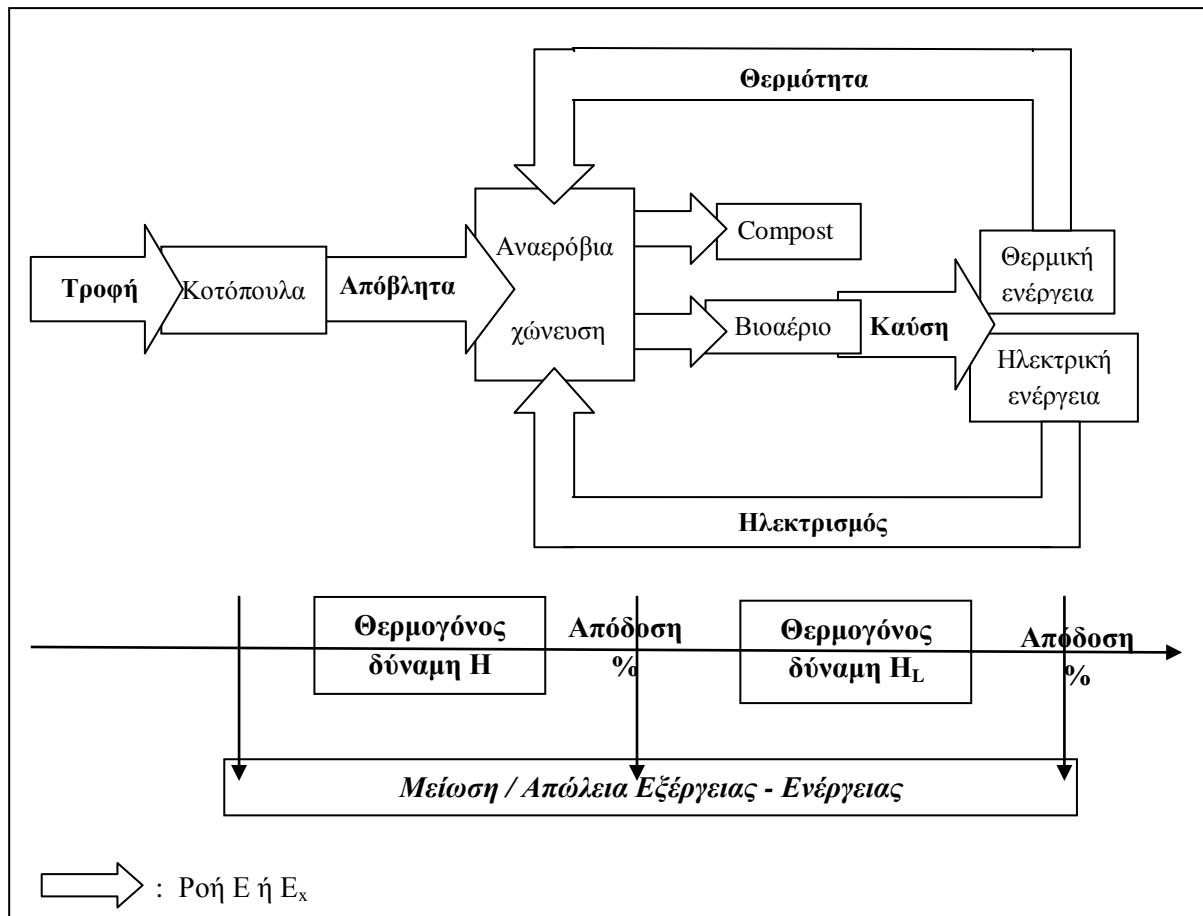
όπου E είναι η εξεργεια, H η ενθαλπία, S η εντροπία και T₀ η θερμοκρασία περιβάλλοντος για περιβάλλον A και A₀.

Από την παραπάνω εξίσωση φαίνεται ότι η έννοια της εξεργειας πηγάζει από την έννοια της εντροπίας, όπου μια ενδεχόμενη υποβάθμιση της ποιότητας είναι ισοδύναμη ουσιαστικά με την αύξηση εντροπίας, αφού η εντροπία ως έννοια θεωρείται αρνητική και υποδηλώνει έλλειψη ποιότητας.

Στην βιβλιογραφία μπορεί να βρει κανείς αρκετές μελέτες σε σχέση με την εξεργειακή ανάλυση και την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων ([130], [131], [132], [133]), καθώς επίσης και με την ενεργειακή ανάλυση των αποβλήτων των βοοειδών ([134]), καμία όμως δεν έχει γίνει σε σχέση με την διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Επομένως, για μια λεπτομερή εξεργειακή ανάλυση όλης της διαδικασίας του προτεινόμενου σχεδίου διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων απαιτούνται λεπτομερή και ακριβή δεδομένα. Αν θεωρήσουμε το σύστημά ενιαίο από την τροφή για τις όρνιθες έως τα τελικά παράγωγα της διαδικασίας της επεξεργασίας των πτηνοτροφικών αποβλήτων, θα πρέπει να υπάρξουν αναλύσεις ή να βρεθούν στοιχεία για όλα τα χρησιμοποιούμενα συστατικά και παράγωγα προϊόντα. Η έλλειψη τέτοιων αναλύσεων και δεδομένων στερεί την δυνατότητα υλοποίησης μια πληρέστερης εξεργειακής ανάλυσης, αλλά δύναται να γίνει μια γενικότερη προσέγγιση του θέματος, ως βάση για μια περαιτέρω ενασχόληση με το θέμα των πτηνοτροφικών αποβλήτων.

Η εξεργειακή ανάλυση σε σχέση με τα πτηνοτροφικά απόβλητα δείχνει τις μονάδες διαδικασίας όπου η μεγαλύτερη αναποτελεσματικότητα (απώλειες εξεργειας) λαμβάνουν χώρα και ως εκ τούτου καθιστά ουσιαστική συμβολή στη βελτίωση των τεχνικών πτυχών της διαδικασίας. Επομένως, μπορεί να προσδιοριστούν οι μονάδες ή περιοχές του συστήματος με τη μεγαλύτερη μη αναστρεψιμότητα της διαδικασίας. Αυτές οι μονάδες ή περιοχές του συστήματος έχουν τη μεγαλύτερη υποβάθμιση της ενέργειας και υλικών και οδηγούν σε

μείωση του δυναμικού εργασία. Μια γενικότερη αποτύπωση της ροής της εξέργειας και της ενέργειας φαίνεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής εξέργειας - ενέργειας

Το σύστημά μας χαρακτηρίζεται ως ανοιχτό συστήματα, στο οποία μπορεί να γίνει ανταλλαγή ύλης και ενέργειας με το περιβάλλον. Επομένως, στο σύστημα μας υπάρχουν είτε ως τελικά, είτε ως ενδιάμεσα, ποικίλα προϊόντα και πολλές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα, έχοντας ως συνέπεια τη μείωση της συνολικής διαθέσιμης εξέργειας. Διασπώντας το σύστημά μας σε τρία ανεξάρτητα συστήματα, για καλύτερη προσέγγιση, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το πρώτο σύστημα αποτελείται από το σύστημα από την τροφή ως την παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων, το δεύτερο από την συλλογή ως την παράδοση στην μονάδα επεξεργασίας και το τρίτο από τα πτηνοτροφικά απόβλητα έως το τέλος της διαδικασίας, παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Το πρώτο σύστημα είναι το πιο περίπλοκο και απαιτεί εκτενή και λεπτομερή ανάλυση των ενεργειακών και εξεργειακών εισροών, της χημικής σύστασης της τροφής, την διαδικασία που λαμβάνει χώρα στους ζωντανούς οργανισμούς (όρνιαθες) και την σύσταση και δυναμικό των πτηνοτροφικών αποβλήτων. Στο δεύτερο σύστημα απαιτείται ιδιαίτερη ανάλυση στην μεταφορά αυτών ως την μονάδα επεξεργασίας, τις απώλειες εξέργειας που λαμβάνουν χώρα κατά την συλλογή, την μεταφορά και την παράδοση των αποβλήτων στην μονάδα, πως αυτά συσχετίζονται με τα εμπλεκόμενα μέσα, όπως άνθρωποι, μηχανήματα και την ενεργειακή και εξεργειακή δυναμική των τελικών αποβλήτων. Στο τελικό σύστημα απαιτείται η ανάλυση των ενεργειακών και εξεργειακών ροών και απωλειών.

Μια γενικότερη προσέγγιση του τρίτου συστήματος μπορεί να γίνει θεωρώντας ότι τα πτηνοτροφικά απόβλητα έχουν μια θερμογόνο αρχική δύναμη H σε θερμοκρασία T . Με την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχουμε ως παράγωγα το βιοαέριο και το εδαφοβελτιωτικό. Αγνοώντας το εδαφοβελτιωτικό, το βιοαέριο έχει μια θερμογόνο δύναμη H_L σε αντίστοιχη θερμοκρασία T_L , η μεταφορά και μετατροπή αυτή της ενέργειας και της εξέργειας δεν έγινε χωρίς απώλειες. Θεωρώντας ότι η απόδοση της μεθόδου είναι 80-90% προκύπτει ότι υπάρχει απώλεια θερμογόνου δύναμης. Επιπρόσθετα, συνυπολογίζοντας και της απώλειες διαφυγής αερίων, θερμοκρασιακού εύρους του χωνευτή, σωληνώσεων, συστημάτων, διαφυγή βιοαερίου, η εξέργεια του συστήματος μειώνεται αφού δεν υπάρχουν ικανοποιητικές εισροές. Συνεχίζοντας, αν θεωρήσουμε πηγή ενέργειας το παραγόμενο βιοαέριο από την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, μετά την καύση του παράγεται θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Στο σύστημά μας, η χημική ενέργεια στο βιοαέριο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, όχι όμως χωρίς απώλειες. Οι απώλειες αυτές σχετίζονται με την απόδοση του συστήματος παραγωγής, που μπορεί να είναι στο 85%, 50% σε παραγωγή θερμότητας, 35% σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και 15% σε απώλειες του συστήματος. Επομένως, αν η εντροπία της μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0, ο υπολογισμός του συστήματος θα είναι σύμφωνα με την εντροπία του συστήματος για θερμοκρασίες της μεθόδου επεξεργασίας περίπου 55°C και περιβάλλοντος περίπου 25°C:

$$E_X = \Delta H = H_{50} - H_{25}$$

Για να ελαχιστοποιηθεί η συνολική ροή των πτηνοτροφικών αποβλήτων και το κόστος, υπάρχουν πολλά ρεύματα ανακύκλωσης της ενέργειας εντός του συστήματος, μειώνοντας και το συνολικό ποσό της εξέργειας που ελευθερώνονται στο περιβάλλον.

7. Συμπεράσματα

Το δυναμικό ρύπανσης – μόλυνσης που ενέχουν τα πτηνοτροφικά απόβλητα αν και αποτελεί μέρος μόνο ενός προβλήματος σε μια χώρα, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών, κρίνουν επιτακτική την ορθολογικότερη διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων προς όφελος της κοινωνίας. Η εδαφική διάθεση επεξεργασμένων ή μη πτηνοτροφικών αποβλήτων δεν είναι πλέον πανάκεια, και πέραν του ισχυρισμού του εποχιακού της χαρακτήρα, αν δε υφίσταται σωστή μελέτη και προγραμματισμός μπορεί να δημιουργήσει έντονα προβλήματα, ιδιαίτερα σε μεγάλα αστικά ή βιομηχανικά κέντρα, όπως είναι και του Δήμου Μεγάρων.

Η χρήση των πτηνοτροφικών αποβλήτων ως εναλλακτικό υλικό προς διαχείριση έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το ότι είναι φθηνότερο από το φυσικό αέριο και τον ηλεκτρισμό, επομένως παρέχει την ικανότητα απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα, αποφεύγει το κόστος απόθεσης των αποβλήτων, μειώνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα των πτηνοτροφικών αποβλήτων, όπως οσμές, σημειακές ρυπάνσεις νερού και εδάφους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ατμού, θέρμανση και ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, παρέχει την δυνατότητα εναρμόνισης με την ευρωπαϊκή νομοθεσία και της ευρωπαϊκές περιβαλλοντικές επιταγές. Το αποτέλεσμα της αναερόβιας χώνευσης είναι η παραγωγή του βιοαερίου, που αποτελείται από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα αναλογίας 2/3 και 1/3 αντιστοίχως, καθώς και το στερεό υπόλειμμα της διαδικασίας που είναι ένα άριστο εδαφοβελτιωτικό, συγκρινόμενο με ήδη τα χημικά λιπάσματα. Η αναερόβια χώνευση των πτηνοτροφικών αποβλήτων θα προσφέρει ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων από σημειακές μολύνσεις, από οσμές και παθογόνους μικροοργανισμούς, θα προσφέρει στην μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και θα μειώσει την αισθητική υποβάθμιση του τοπίου. Τα κύρια προϊόντα της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το εδαφοβελτιωτικό. Η παραγωγή βιοαερίου και εδαφοβελτιωτικού αποτελεί τμήμα της

ολιστικής γεωργίας-κτηνοτροφίας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα οικονομικά κόστη και κέρδη, όσο και τα περιβαλλοντικά ζητήματα.

Στην περίπτωση του Δήμου Μεγάρων τεκμηριώνεται η ανάγκη αναπροσαρμογής του υφιστάμενου συστήματος διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων, με την χρήση της αερόβιας χώνευσης, καθώς η εξακολούθηση του υφιστάμενου καθεστώτος μόνο αρνητικές επιπτώσεις επιφέρει. Όπως είναι αναμενόμενο το υφιστάμενο καθεστώς μπορεί να έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ωστόσο αποδίδει μικρότερο οικονομικό-κοινωνικό όφελος και επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον, σε σχέση με τις εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης των πτηνοτροφικών αποβλήτων και ιδιαίτερα αυτής της αναερόβιας χώνευσης. Η επιλογή της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης έγινε κατόπιν σύγκρισης των υφιστάμενων τεχνολογιών και μεθόδων διαχείρισης πτηνοτροφικών αποβλήτων, ανάλογα με την υφιστάμενη κατάσταση και δυναμική της περιοχής μελέτης. Αν και η έλλειψη βασικών δεδομένων για την πληρέστερη και πιο εμπειριστατωμένη τεκμηρίωση της επιλογής μπορεί να αναφερθεί ως τροχοπέδη σε μια ενδεχόμενη υλοποίηση ενός τέτοιου σχεδίου, δεν αποτελεί εμπόδιο για την σκιαγράφηση των βασικών αρχών και κανόνων που πρέπει να ακολουθηθούν, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί αυτό το έργο. Η αναερόβια επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια μονάδα επεξεργασία, με το χρόνο απόσβεσης της μονάδας να εξαρτάται από τον χρόνο λειτουργίας της ανά έτος, το μέγεθος των καταναλωτών θερμικής ενέργειας, το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρισμού και την τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο. Παράμετροι όπως η σταθερή διαθεσιμότητα των αποβλήτων, εποχιακή παραγωγή αποβλήτων και η σύνθεσή τους είναι σημαντικοί για την βιολογική διαδικασία και την παραγωγή βιοαερίου. Η δυναμικότητα της περιοχής σε πτηνοτροφικά απόβλητα είναι της τάξης των 48-120 τόνων ανά ημέρα, το οποίο έχει δυναμική παραγωγής ενέργειας της τάξεως των 4.78-13.8GWh και εδαφοβελτιωτικού της τάξης των 7- 18 τόνων την ημέρα. Από οικονομική άποψη αν και το κόστος μια αντίστοιχης μονάδας, ηλεκτρικής παραγωγής, κυμαίνεται 370.000-1.500.000€ για το πάγιο κόστος και 30.000-280.000€/ έτος για το λειτουργικό κόστος της μονάδας. Σε αντίθεση, τα αντίστοιχα οφέλη εκτιμώνται σε 125.000-356.000€/έτος από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και 35.000-95.000€/έτος από την πώληση του εδαφοβελτιωτικού.

Κατά την αξιολόγησης της μελέτης, περιβαλλοντικής και εξεργειακής ανάλυσης ανακύπτουν συμπεράσματα, τόσο για την καλύτερη και πληρέστερη αξιοποίησης της ροής ενέργειας, των περιβαλλοντικών ζητημάτων που ανακύπτουν, όσο και για τα εμπόδια που προκύπτουν κατά

την υλοποίηση μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης και μονάδα διαχείρισης βιοαερίου. Εμφανή είναι τα χρηματοοικονομικά εμπόδια. Στην περίπτωση της Ελλάδας η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλή συγκρινόμενη με την αντίστοιχη μέση τιμή στην Ε.Ε.. Η ενιαία τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που ισχύει σήμερα, είναι σχετικά χαμηλή για τα Ευρωπαϊκά δεδομένα, συνεπώς ευνοεί την πιο ώριμη, τεχνικά και οικονομικά, μορφή ΑΠΕ που είναι η αιολική ενέργεια. Το υψηλό κόστος επένδυσης χωρίς την ύπαρξη αντισταθμιστικών οφελών αποτρέπει την εμπλοκή του ιδιωτικού τομέα. Η απουσία επιτυχών παραδειγμάτων στον γεωργικό τομέα ή αντίστοιχων βιώσιμων έργων αποτελεί εμπόδιο εξειδίκευσης και τεχνογνωσίας. Τέλος, τα σοβαρότερα πλέον εμπόδια στην οποιαδήποτε περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα, είναι η συνεχιζόμενη έλλειψη ενός εθνικού χωροταξικού σχεδίου και η έλλειψη γνώσης και συστηματικής καταγραφής για το δυναμικό των αποβλήτων και της εναλλακτικής δυνατότητας εκμετάλλευσης του βιοαερίου, είτε ως αγορά θερμότητας, είτε ως παραγωγή καυσίμων για οχήματα. Όσο αφορά τα εμπόδια που σχετίζονται με την διαχείριση του εδαφοβελτιωτικού έγκειται στο γεγονός της βρεφικής ανάπτυξης της αγοράς και του δικτύου προώθησης και την αναβάθμισής του εδαφοβελτιωτικού.

Μελλοντικά θέματα προς περαιτέρω διερεύνηση και εξέταση αποτελούν οι οικονομικοί, οι τεχνικοί, οι περιβαλλοντικοί, οι κοινωνικοί και οι πολιτικοί παράγοντες, οι οποίοι θα πρέπει να εξεταστούν σε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης. Θέματα προς διερεύνηση μπορεί να αναφερθούν η ανάπτυξη εξειδικευμένης τεχνολογίας για την κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία νέων χωνευτών, η αυτοματοποίηση της ολοκληρωμένης αλυσίδας παραγωγής ενέργειας από την πρώτη ύλη ως το τελικό προϊόν, η ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διανομής αερίου και θερμότητας, η βελτίωση των μεθόδων αναβάθμισης του βιοαερίου και ενίσχυση της διείσδυσής του στο δίκτυο του φυσικού αερίου και ως καυσίμου μεταφορών. Επιπρόσθετα, για τα κτηνοτροφικά απόβλητα και την διαχείρισή τους ενδιαφέρον παρατηρείται σε θέματα ανάλυση κύκλου ζωής, δικαιώματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και διαχείρισης ρύπων, στην ανάπτυξη του εμπορικού δικτύου του εδαφοβελτιωτικού, στον προγραμματισμό παραγωγής και αξιοποίησης της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και στις εναλλακτικές μορφές διαχείρισης, όπως είναι η παραγωγή κτηνοτροφικών προϊόντων, ο ενεργός άνθρακας και η παραγωγή υδρογόνου για κυψέλες καυσίμου.

Η χρήση της ενέργειας βρίσκεται σήμερα στο επίκεντρο των περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενώ πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα των σύγχρονων κοινωνιών έχουν ως σημείο αναφοράς τις τεχνολογίες παραγωγής και χρήσης ενέργειας. Οι γενικότερες επιπτώσεις και ενοχλήσεις από την ύπαρξη πτηνοτροφικών αποβλήτων δεν μπορούν να εκλείψουν, ακόμα και με την ύπαρξη άριστης επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών, αλλά μπορούν να ελαχιστοποιηθούν και να αξιοποιηθούν προς όφελος της τοπικής κοινωνίας. Στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας και διατήρησης των φυσικών πόρων, η ανθρωπότητα πρέπει να προωθήσει, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό, εκτός των άλλων διαδικασίες μετατροπής των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε ενεργειακό δυναμικό. Στόχος πρέπει να είναι η αποφυγή της σπατάλης και η εκμετάλλευση των παρεχόμενων πόρων σε όλο τον κύκλο χρήσης τους.

Βιβλιογραφία

- [1] Trautmann N. and Krasny M., (1997). "Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students". Kendall/Hunt Publishing Co. Dubuque, IA. Available: <http://ecommons.cornell.edu/bitstream/1813/3338/1/CompostingInTheClassroom.pdf>. [Accessed 10 May 2011].
- [2] Tiquia S.M. and Tam N.F.Y., (2000). Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environmental Pollution* 110, pp. 535-541.
- [3] Σιούλας Κ., Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R., (2008). βιοαερίου. Στα πλαίσια του έργου Big>East 2007-2010, (μεταφ. Νούκα Α. και Μαλαματένιος Χ.), ΚΑΠΕ. Διαθέσιμο: http://el.rurener.eu/files/2011/01/Egxeiridio_vioaeriu_final_low.pdf [25 Ιουνίου 2010]
- [4] Agriculture and Agri-Food Canada (1997). A Review of Poultry Manure Management: Directions for the Future. Poultry Section. Available: <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection/A84-3-1990E.pdf>. [Accessed: 20 January 2011]
- [5] Jiang Z, Steinsberger S.C, Shih J., (1987). In situ utilization of Biogas on poultry farm: heating, drying and animal brooding. *Biomass* 14, pp. 269-281.
- [6] Habetz D. and Echlos R., (2006). Development of successful poultry litter-to-energy furnace. 20006 ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon 9-12 July 2006. USA. Available: <http://www.americanheatandpower.com/pdf/ASABE-06%20Poultry%20Litter%20to%20Energy.pdf>. [Accessed: 20 June 2011]
- [7] Kelleher B.P., Leahy J.J., Henihan A.M, O'Dwyer T.F, Sutton D. and Leahy M.J. (2002). Advantages in poultry disposal technology. Review Paper. *Bioresource Technology* 83, pp. 27-36.
- [8] Marculescu C., Stana C., (2011). Poultry processing industry waste to energy conversion. *Energy Procedia* 6, pp. 550–557.
- [9] Murphy M. (2001). Repowering options: Retrofit of coal-fired power boilers using fluidized bed biomass gasification. *Energy Products of Idaho*. <http://www.energyproducts.com/documents/Gasifier%20Retrofit%20MLM.PDF>. [Accessed: 15 January 2011]
- [10] BTG, Energy from poultry litter. Netherlands. Available: www.btgworld.com. [Accessed: 15 January 2011]
- [11] Van de Mark S. and Stehouwer R, (2010). Converting poultry manure from waste to resource. pp. 201-210. A sustainable Chesapeake: Better model conservation. Editor Burke and Dunn. The conservation Fund. Available: http://www.conservationfund.org/sites/default/files/The_Conservation_Fund_Chesapeake_Bay_Better_Models_for_Conservation_Chapt_5_Waste_Reclaim_Mine_Lands_PA.pdf. [Accessed: 15 January 2011].
- [12] Salminen E., Rintanla J., Harkonen J., Kuitunen M., Hogmander H., Oikari A., (2001a). Anaerobically digested solid poultry slaughterhouse waste to be used as fertilizer on agricultural soil. *Bioresource Technology* 78, 81-88
- [13] Breslin M. (2009). Poultry litter recycled to create fertilizers and renewable energy. *American Recycler*. Vol.12, Issue 12.
- [14] Cui H., Cao Y., Pan W., (2007). Preparation of activated carbon for mercury capture from chicken waste and coal. *Journal of analytical and applied pyrolysis* 80, 319-324.
- [15] Huang Y., Jin B., Zhong Z., Zhong W, Xiao R., (2008). Characteristic and mercury adsorption of activated carbon produced by CO₂ of chicken waste. *Journal of Environmental Science* 20, 291-296.

- [16] Jalil M.H., Faid M., Elyachioui M., (2001). A biotechnological process for treatment and recycling poultry waste manure as a feed ingredient. *Biomass and Bioenergy* 21, 301-309.
- [17] Kherrati B., Faid M., Elyachioui M, Wahmane A., (1998). Process for recycling slaughterhouse wastes and by-products by fermentation. *Bioresource Technology* 63, 75-79.
- [18] El-Ashry M.A., Khattab H.M., El-Serafy A., Soliman H., Abd Elmoula S.M., (1987). Nutritive value of poultry wastes for sheep. *Biological Wastes* 19, 287-298.
- [19] Γεωργακάκης Δ. (2003). Διαχείριση στερεών αποβλήτων. Στερεά γεωργικά απόβλητα. Τόμος Γ. Πάτρα. Εκδόσεις: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- [20] Kapustina V. (2010). The methods of possible joint treatment of manure and sewage sludge in the leningrad region. Master Thesis LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Available: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/62940/nbnfi-fe201006041970.pdf?sequence=4> [Access: 17 July 2011]
- [21] Iteleji K., Martin C. and Jones D., (2008). Basics of Energy Production through Anaerobic Digestion of Livestock Manure. Purdue Agriculture. [Online]. Available: <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ID/ID-406-W.pdf>. [Accessed: 15 September 2011].
- [22] Leggett J.A., Lanyon E. L. and Graves E. R., (1996). Biological Manipulation of Manure: Getting What You Want from Animal Manure. Agricultural and Biological Engineering. Pennsylvania State University.
- [23] Πρίφτης Ι. (2009). Κτηνοτροφικά απόβλητα – Βιοδιύλιση. Εργασία μαθήματος Βιομάζα. ΔΠΜΣ Παράγωγή και διαχείριση ενέργειας. ΕΜΠ. Διαθέσιμο: <http://www.chemeng.ntua.gr/courses/bpy/files/priftis.pdf>. [Προσπέλαση: 1 Αυγούστου 2010]
- [24] Agricultural Nutrient Management Program, (2009). Manure Production Rate. University of Maryland. Available: http://anmp.umd.edu/files/Manure_production_rate.pdf. [Accessed 22 August 2011]
- [25] Γεωργακάκης Δ., (1998). Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων & γεωργικών βιομηχανιών. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις ΓΠΑ, Αθήνα.
- [26] Timmenga & Associates Inc., (2003). Report: Evaluation of Options for Fraser Valley Poultry Manure Utilization. Prepared for Broiler Hatching Egg Producers' Association, BC Chicken Growers Association, BC Turkey Association, Fraser Valley Egg Producers' Association. USA. Available: http://www.agf.gov.bc.ca/poultry/publications/documents/evaluation_poultry_manure.pdf. [Accessed 12 August 2011]
- [27] Chamblee, T. N and Todd, R. L. (2002). Mississippi Broiler Litter: Fertilizer Value and Quantity Produced. Mississippi State University Extension Service Research Report. Vol. 23 No. 5. Available: <http://msucares.com/pubs/researchreports/rr23-5.pdf>. [Accessed 17 July 2011]
- [28] Flora R.V. J and Riahi-Nezhad C. (2006). Availability of Poultry Manure as a Potential Bio-fuel Feedstock for Energy Production. Final Report. Prepared for the: Southeastern Regional Biomass Energy Program. USA. Available: <http://www.statelibrary.sc.gov/scedocs/B8595InE/000493.pdf>. [Accessed 19 August 2011].
- [29] WASTE CONCERN, (2005). CDM Project Potential In the Poultry Waste Management Sector In Bangladesh. FINAL REPORT. Bangladesh Available: <http://www.wasteconcern.org/Publication/Poultry%20Final.pdf>. [Accessed: 7 April 2011].
- [30] Perera R., Perera P., Vlosky R. and Darby P., (2010). Potential of Using Poultry Litter as a Feedstock for Energy Production. Louisiana Forest Products Development Center. Working Paper #88.

- [31] Middlebrooks E.J. (1974) Animal wastes and management and characterization. Review Paper. Water Research, Vol.8, pp. 697-712.
- [32] Key N. and Sneeringer S., (2011). Carbon prices and the adoption of methane digester on dairy and hog farms. United States Department of Agriculture (USDA)
- [33] Eastern Research Group, (2005). An evaluation of a mesophilic, modified plug flow anaerobic digester for dairy cattle manure. Final Report. Prepared By: John H. Martin. Submitted to: Kurt Roos, AgSTAR Program.
- [34] Jackson, B.P., and P.M. Bertsch. 2001. Determination of arsenic speciation in poultry wastes by IC-ICP-MS. Environmental Science Technology 35, pp. 4868–4873. Available online: <http://www.mendeley.com/research/determination-arsenic-speciation-poultry-wastes-icicpms/#page-1> [Accessed 20/4/2011].
- [35] Garbarino, A.J., J.R. Bednar, D.W. Rutherford, R.S. Beyer, and R.L. Wershaw. 2003. Environmental fate of roxarsone in poultry litter: I. Degradation of roxarsone during composting. Environmental Science Technology 37, 1509–1514.
- [36] Rutherford, D.W., A.J. Bednar, J.R. Garbarino, R. Needham, K.W. Staver, and R.L. Wershaw. 2003. Environmental fate of roxarsone in poultry litter: Part II. Mobility of arsenic in soils amended with poultry litter. Environmental Science Technology 37, 1515–1520.
- [37] Nachman K., Mihalc J., Burke A., Geyh A., (2008). Comparison of arsenic content in pelletized poultry waste and biosolids fertilizer. Chemosphere 71, 500-506.
- [38] Han F.X., Kingery W.L., Selim H.M., Gerard P.D., Cox M.S., Oldham J.L., (2004). Arsenic solubility and distribution in poultry waste and long-term amended soil. The Science of the Total Environment 320, 51-61.
- [39] Makris K., Salazar J., Quazi S., ndra S., Sarkar D, Bach S., Datta R., (2008). Controlling the Fate of Roxarsone and Inorganic Arsenic in Poultry Litter. Journal of Environmental Quality 37, 963–971.
- [40] Jackson B.P., Seaman J.C., Bertsch P.M., (2006). Fate of arsenic compounds in poultry litter upon land application. Chemosphere 65, 2028–2034
- [41] Jackson, B.P., Bertsch P.M., Cabrera M.L., Camberato J.J., Seaman J.C., and Wood C.W.. (2003). Trace element speciation in poultry litter. Journal of Environmental Quality 32, 535–540.
- [42] Wiedemann S.G. and Zadow E. N., (2010). Investigation of soil nutrient distribution on egg farms using EM technology Proceedings 2010 Poultry Information Exchange, Gold Coast Australia.
- [43] Ogishi A., Zilberman D., Metcalfe M., (2003). Integrated agribusinesses and liability for animal waste. Environmental Science & Policy 6, 181–188.
- [44] Baranyai V., (2008). Turning Chesapeake Bay Watershed Poultry Manure and Litter into Energy: An Analysis of the Impediments and the Feasibility of Implementing Energy Technologies in the Chesapeake Bay Watershed in Order to Improve Water Quality. Chesapeake Research Consortium Chesapeake Bay Program Office. Available: http://www.chesapeakebay.net/content/publications/cbp_17018.pdf. [Accessed: 17 November 2010]
- [45] Tiquia S.M., (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. Chemosphere 79, pp. 506–512.
- [46] Lhadi E.K., Tazi H., Aylaj M., Genevini P.L., Adani F., (2006). Organic matter evolution during co-composting of the organic fraction of municipal waste and poultry manure. Bioresource Technology 97, pp. 2117-2123.
- [47] Rynk R., Kamp M., Willson G., Singley M., Richard T., Kolega J., Gouin F. (1991). On-farm composting handbook. North-East Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY, USA.

- [48] Elwell D.L., Keener H.M., Carey D.S., Schlak P.P., (1998). Composting unamended chicken manure. *Compost Science Utilisation* 6, 22-35.
- [49] Kithome, M., Paul, J.W., Bomke, A.A., 1999. Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments. *Journal of Environmental Quality* 28, 194–201.
- [50] Raviv, M., Medina, S., Shamir, Y., (1999). Cocomposting-a method to improve results of poultry manure composting. *Composting Science Utilisation* 7, 70–73.
- [51] Lau D. and Wu M., (1987). Manure composting as an option for utilization and management of animal waste. *Resources and Conservation* 13, 145-156.
- [52] Bollen G.J., Volker D. and Wijnen A.P., (1989). "Inactivation of soil-borne plant pathogens during small scale composting of crop residues". *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 95: 19–30.
- [53] Barrington S., Choiniere D., Trigui M. and Knight W., (2003). "Compost convective airflow under passive aeration". *Bioresource Technology*, 86: 259–266.
- [54] Akanbi W.B. and Togun A.O., (2002). "The influence of maize-stover compost and nitrogen fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of amaranth". *Scientia Horticulturae*, 93: 1–8.
- [55] Ferrer J., Paez G., Marmol Z. and Ferrer A., (2001). "Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes". *Bioresource Technology*, 76: 39–44.
- [56] Abdelhamid M.T., Horiuchi T. and Oba S., (2004). "Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effects on faba bean (*Vicia faba* L.) growth and soil properties". *Bioresource Technology*, 93: 183–189.
- [57] Levy J.S. and Taylor B.R., (2003). "Effects of pulp mill solids and three composts on early growth of tomatoes". *Bioresource Technology*, 89: 297–305.
- [58] Beauchamp C.J., Charest M.H. and Gosselin A., (2002). "Examination of environmental quality of raw and composting de-inking paper sludge". *Chemosphere*, 46: 887–895.
- [59] Boulter J.I., Boland G.J. and Trevors J.T., (2002). "Assessment of compost for suppression of *Fusarium patch* (*Microdochium nivale*) and *Typhula blight* (*Typhula ishikariensis*) snow molds of turfgrass". *Biological Control*, 25: 162–172.
- [60] Reuveni R., Raviv M., Krasnovsky A., Freiman L., Medina S., Bar A. and Orion D., (2002). "Compost induces protection against *Fusarium oxysporum*, in sweet basil". *Crop Protection*, 21: 583–587.
- [61] Tiquia S.M., Richard T.L. and Honeyman M.S., (2002a). "Carbon, nutrient and mass loss during composting". *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 62: 15–24.
- [62] Fernandes L., Zhan W., Panti N.K., Yjui P., (1994). Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles. *Bioresource Technology* 48, 257-263.
- [63] Tiquia S.M., Wan J.H.C., Tam N.F.Y., (2001). Extracellular enzyme profiles during co-composting of poultry manure and yard trimmings. *Process Biochemistry* 36, pp. 813–820.
- [64] Georgakakis D. and Krintas T., (2000). Optimal use of the Hosoya system in composting poultry manure. *Bioresource Technology* 72, pp. 227-233.
- [65] Tiquia S.M., Wan J.H.C., Tam N.F.Y., (2002). Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry* 37, pp. 869–880.
- [66] California Compost Quality Council, (2001). "Compost Maturity Index". Nevada City, CA 95959, Available: <http://www.calrecycle.ca.gov/organics/Products/Quality/CompMaturity.pdf>. [Accessed 10 July 2011].
- [67] Brinton W., (2000). Compost Quality Standards & Guidelines. Final Report. New York State Association of Recyclers. Available: <http://compost.css.cornell.edu/Brinton.pdf>. [Accessed 17 July 2011].

- [68] Sakar S., Yetilmezsoy K. and Kocak E. (2009). Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment – a literature review. *Waste Management Research* 27, 3-18
- [69] Bujoczek G., Oleszkiewicz J., Sparling R., Cenkowski S., (2000). High solid anaerobic of chicken manure. *Journal of Agriculture Engineering Research* 76, 51-60.
- [70] Barik S., Forgacs T., Isbister J., (1991). Bioconversion of chicken wastes to value-added products. *Bioresource Technology* 36, pp. 229-234.
- [71] Itodo I.N., Awulu J.O., (1999). Effect of total solids concentrations of poultry, cattle and piggery waste slurries on biogas yield. *Transaction ASAE* 42, pp. 1853-1855.
- [72] Escobar G. and Heikkilä M., (1999). Action reference no.: TEKES/30.3.99/6: Biogas production in farms, through anaerobic digestion of cattle and pig manure. Case Studies and research activities in Europe. Prepared for TEKES, OPET Finland. Available : http://www.agrienvarchieva.ca/bioenergy/download/biogas_europe.pdf. [Accessed: 24 September 2010]
- [73] WFG, (2008). Biogas plant “Wolfring Biogas Plant”. Biogas Regions Shining example. Germany. Available: http://www.biogasregions.org/doc/shining_examples/21.pdf. [Accessed 18 July 2011].
- [74] DQY, (2009). DQY-China’s first zero-emission poultry farm. First Greek-Chinese Forum on the Environment, TEE, 3-4/12/2009, Athens. Available: http://library.tee.gr/digital/m2470/m2470_qing.pdf. [Accessed 18 July 2011].
- [75] The San Joaquin Valley Dairy Manure Technology Feasibility Assessment Panel (2005). An Assessment of Technologies for Management and Treatment of Dairy Manure in California’s San Joaquin Valley. Available: <http://www.arb.ca.gov/ag/caf/dairypnl/dmtfaprprt.pdf>. [Accessed 18 July 2011].
- [76] Τσιλέμου Κ. και Παναγιωτακόπουλος Δ., (2005). Μια στατιστική μεθοδολογία παραγωγής συναρτήσεων εγκαταστάσεων επεξεργασίας στερεών απόβλητων. Heleco '05, TEE, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005. http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_tsilemou.pdf
- [77] Lusk P., (1998). Methane Recovery from Animal Manures The Current Opportunities Casebook. National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-580-25145. Anavailable: <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25145.pdf>. [Accessed: 16 July 2011]
- [78] Converse J.C., Evans G.W. Verhoeven C.R. Gibbon W and Gibbon M. (1977). Performance of a large size anaerobic digester for poultry litter. Paper – American Society of Agricultural Engineers, June 26-29, 77-4051. ASAE Publication, Raleigh, NC, USA.
- [79] Ciotolaa R., Lansing S , Martina J. (2011). Emergy analysis of biogas production and electricity generation from small-scale agricultural digesters. *Ecological Engineering* 37, 1681– 1691.
- [80] Fantozzi F. and Buratti C. (2009). Biogas production from different substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester. *Bioresource Technology* 100, 5783–5789.
- [81] Salminen and Rintala (2002). Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. *Bioresource Technology* 83, 13–26.
- [82] Webb A.R. and Hawkes R.F. (1985). The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium-nitrogen levels agricultural. *Wastes* 14, 35-156.
- [83] Kulisic B., (2010). Biogas Show Cases in the target region of Croatia. Project: BiG>East (EIE/07/214). http://www.big-east.eu/downloads/fr-reports/ANNEX%203-33_WP6_D6.4%20Case%20Study%20Croatia.pdf. [Accessed 20 July 2011].

- [84] Dubrovskis V., Plume I., Kotelenecs V., Straume I., 2009. Investigation of biogas production from relatively dry biomass. *Engineering for rural development*. Jelgava, 28.-29.05.2009.
- [85] Al-Masri M.R., (2001). Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. *Bioresource Technology* 77, 97-100.
- [86] Midwest Energy Research Center (2000). Turning manure into gold: Converting agricultural waste to energy. Prepared for: The Ohio Biomass Energy Program <http://www.puco.ohio.gov/emplibrary/files/util/biomass/publications/TurningManuretoGold.pdf>. [Accessed 20 July 2011].
- [87] Ludington D. Calculating the Heating Value of Biogas. Available: http://www.dairyfarmenergy.com/DLtech_Publications/Heating_Value_of_Biogas.pdf. [Accessed: 23 September 2011].
- [88] Βουρδούμπας Γ. (2002). Εισαγωγή στις τεχνολογίες της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (Μ.Α.Ι.Χ.). Διαθέσιμο: <http://www.chania.teiher.gr/docs/fp/vourdoubas/biomass2002.pdf> [Προσπέλαση 24 Ιουλίου 2011]
- [89] Goldstein L., Hedman B., Knowles D., Freedman I.S., Woods R., Schweizer T., (2003). Gas-Fired Distributed Energy Resource Technology Characterizations. Prepared under Task No. AS73.2002. National Renewable Energy Laboratory U.S. Available: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34783.pdf>. [Accessed 17 July 2011]
- [90] Anozie A.N., Layokun S.K. and Okeke C.U. (2005). An evaluation of a batch pilot-scale digester for gas production from agricultural wastes. *Energy Sources* 27, 1301-1311.
- [91] Rao G., Prakash S., Joseph J, Reddy R., Sarma P.N., (2011). Multi stage high rate biomethanation of poultry litter with self mixed anaerobic digester. *Bioresource Technology* 102, 729–735.
- [92] Gelegenisa J., Georgakakis D., Angelidaki I., Mavris V. (2007). Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. *Renewable Energy* 32, 2147–2160.
- [93] Ueno, Y., Tataru, M., Fukui, H., Makiuchi, T., Goto, M., Sode, K., 2007. Production of hydrogen and methane from organic solid wastes by phase-separation of anaerobic process. *Bioresource Technology* 98, 1861–1865.
- [94] Κομπολίτη Σ., (2007). Ολοκληρωμένη Διαχείριση και Αξιοποίηση της Βιομάζας του Νομού Ιωαννίνων προς την παραγωγή ενέργειας και εδαφοβελτιωτικού. Μεταπτυχιακή εργασία στα πλαίσια του ΔΠΜΣ Περιβάλλον & Ανάπτυξη. ΕΜΠ. Αθήνα.
- [95] Lichtenberg E., Parker D., Lynch L., (2002). Economic Value of Poultry Litter Supplies In Alternative Uses. Center for Agricultural and Natural Resource Policy –Policy Analysis No.02-02. Available: <http://www.arec.umd.edu/Extension/WaterQuality/02-02.pdf> [Accessed 19 August 2011].
- [96] Reardon, J.P., Lilley, A., Browne, K., Beard, K., Wimberly, J., Avens, J. 2001. Demonstration of a small modular biopower system using poultry litter. Community Power Corporation, DOE SBIR Phase I Final Report., Available: <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/794292-61279H/native/> [Accessed July 30, 2011].
- [97] Bilek, E.M., Skog, K.E., Fried, J., and Christensen, G. “Fuel to Burn: Economics of Converting Forest Thinnings to Energy Using Biomax in Southern Oregon.” USDA Forest Digitized by South Carolina State Library22 Service, Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-GTR-157. Available: http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr157/fpl_gtr157.pdf, [Accessed 7 August 2011].

- [98] Βασιλάκος Ν.,(2005). Το θεσμικό και χρηματοοικονομικό πλαίσιο υλοποίησης έργων ΑΠΕ στην Ελλάδα. Πρόγραμμα LIFE – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ΚΑΠΕ. Διαθέσιμο: http://www.cres.gr/kape/pdf/download/02_Thesmiko%20Adeiiodotiko%20&%20Xrimato%20oikomkio%20plaisio%20ergon%20APE%20stin%20Ellada.pdf. [Προσπέλαση: 22 Αυγούστου 2011]
- [99] ΡΑΕ & ΚΑΠΕ (2009).5η ΕΘΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2010 (ΑΡΘΡΟ 3 ΟΔΗΓΙΑΣ 2001/77/ΕΚ). Ελληνική Δημοκρατία. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής. Γενική διεύθυνση ενέργειας διεύθυνση ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας Διαθέσιμο : <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ysYxrE3Ia94%3D&tabid=285>. [Προσπέλαση 3 Σεπτεμβρίου 2011]
- [100] Oosterveen P. (2008).An explorative study analyzing differences in economical feasibility at large scale biogas plants in Sweden. M. Sc. Thesis Business Economics group, Wageningen University, the Netherlands, with assistance of the Economics group, SLU Uppsala, Sweden. Available: <http://edepot.wur.nl/3776>. [Accessed 1 September 2011].
- [101] Ζαφείρης Χ.. Ενεργειακή Αξιοποίηση του Βιοαερίου: Τάσεις & Προοπτικές. ΚΑΠΕ. Διαθέσιμο: http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth_3460/kdth_3460_zafiris.pdf. [Προσπάλαση 3 Σεπτεμβρίου 2011].
- [102] Σιούλας Κ., (2008). Πακέτο Εργασίας 3.2. Έκθεση σχετικά με τα εμπόδια υλοποίησης έργων Βιοαερίου στην Ελλάδα. Έργο: BiG>East. ΚΑΠΕ. Διαθέσιμο: http://www.big-east.eu/downloads/IR-reports/ANNEX%202-28_WP3_Task_3.2-Barrier-Greece-GR.pdf. [Προσπάλαση 3 Σεπτεμβρίου 2011].
- [103] Κάλφα Χ., (2007).Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση προεπεξεργασμένου και μη ελαιοπολτού. Διδακτορική Διατριβή Χημικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Πατρών. Διαθέσιμο: http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/1449/1/Nimertis_Kalfas.pdf. [Προσπέλαση 23 Σεπτεμβρίου 2011].
- [104] Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXX/4, 183-190, 1994.
- [105] Παρασχούδης Β. 2002 Υδρογεωλογική Μελέτη Δυτ. Αττικής (Πεδιάδας Μεγάρων-Θριάσιου Πεδίου) τεύχος 1^ο: Υδρογεωλογική Έκθεση, Αθήνα Πρακτικά Τόμος 2-80 Διεθνές Υδρογεωλογικό Συνέδριο της Ελλάδας, Αθήνα 2008 ,p.577-586
- [106] Θεός Ν, (2010). Περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [107] Σαχπάζης. Κ. (Γεωδότηση Ε.Π.Ε.) 1994 Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδάτινων πόρων Ν. Αττικής, Αθήνα.
- [108] Γεωργακάκης Δ. (2008). Περιβάλλον και Γεωργο-Πτηνο-Κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Διαχείρισης Αποβλήτων. Τεύχος 1. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [109] ΕΣΥΕ. Έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων έτους 2003. Διαθέσιμο: http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1007/Other/A1007_SPK52_TB_2Y_00_2003_39_F_GR.pdf. Προσπέλαση: [5 Ιουνίου 2011] .
- [110] Βακάκης Φ., (2007). Ο ρόλος της κτηνοτροφίας στην ολοκληρωμένη αγροτική ανάπτυξη. Γεωργία-Κτηνοτροφία. Τεύχος 4/2007.
- [111] Zabaniotou A., Skoulou V and Karagiannidis A., (2007).Thermal processing of animal and agricultural wastes with environmental safety. Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 1 - 5 October 2007. Available:http://www.wtert.gr/attachments/article/206/Karagiannidis_ThermalProcessAnimalWastes.pdf. [Accessed 12 August 2011]

- [112] Βακάκης και συνεργάτες, (1991). Τεχνικό-οικονομική μελέτη σκοπιμότητας για την ίδρυση μονάδας μετατροπής των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε οργανοχουμικό λίπασμα στην περιοχή πόλεως Μεγάρων. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).
- [113] ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2009, Ετήσια Έκθεση 2009. Διαθέσιμο: www.cres.gr/kape/CRES_annual_report_2009.pdf. [Προσπέλαση 10 Μαΐου 2011]
- [114] Haren M. and Fleming R., (2005). Electricity and Heat Production Using Biogas from the Anaerobic Digestion of Livestock Manure - Literature Review. Prepared for: Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ridgetown College – University of Guelph Ridgetown, Ontario, Canada. Available: http://www.ridgetownc.uoguelph.ca/research/documents/fleming_Electricity_and_Heat_from_manure.pdf. [Access 10 September 2011]
- [115] Monnet F., (2003). An Introduction to Anaerobic of Organic Waste. Final Report. Remade Scotland Article. Available: http://www.biogasmax.eu/media/introanaerobicdigestion_073323000_1011_24042007.pdf. [Accessed: 19 August 2011]
- [116] Deublein D. and Steinhauser A. (2008). Biogas from Waste and Renewable Resources. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Available: <http://zorg-biogas.com/upload/pdf/BiogasfromWasteandRenewableResources.pdf>. [Access: 20 August 2011]
- [117] Cantrell K., Ducey T., Ro K., Hunt P. (2008). Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. Review. Bioresource Technology 99, 7941–7953
- [118] Roos K.F., Martin, J.B. and Moser M.A., (2004). AgSTAR Handbook. A Manual For Developing Biogas Systems at Commercial Farms in the United States. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Second Edition.
- [119] Safley L.M., Vetter L.R. and Smith D. (1987). Operating a Full-Scale Poultry Manure Anaerobic Digester. Biological Wastes 19, 79-90.
- [120] Berglund M. (2006). Biogas Production from a Systems Analytical Perspective. Doctoral Dissertation LUND UNIVERSITY, Sweden. Available: http://www.miljo.lth.se/svenska/internet/publikationer_internet/pdf-filer/kappa%20MBe.pdf. [Access: 07 September 2011].
- [121] Borjesson P. and Berglund M. (2006). Environmental systems analysis of biogas systems—Part I: Fuel-cycle emissions. Biomass and Bioenergy 30, 469–485.
- [122] Bernhart M., (2007). Characterization of poultry litter for storage and process design. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of Auburn University, Alabama. Available: http://etd.auburn.edu/etd/bitstream/handle/10415/851/BERNHART_MATTHEW_25.pdf?sequence=1. [Accessed 27 May 2011]
- [123] STD 001-01. 2001. Standards for technological design of poultry enterprises. Approved by Ministry of Agriculture of the Russian Federation. [Online]. In Russian. Available from: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/10/10094/index.php. [Accessed 27 May 2011]
- [124] Zorg Biogas AG. Price list for biogas plant on natural manure. http://zorg-biogas.com/upload/pdf/price/en/zorg-biogas-ag-price_eng.pdf
- [125] Μαρνέλλος Γ. (2007). Ενεργειακή αξιοποίηση ζωικών υποπροϊόντων- απορριμμάτων σε κτηνοτροφικές μονάδες. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ. ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Διαθέσιμο: <http://www.ccs-net.gr/PDM/marnellos2.pdf>. [Προσπέλαση 17 Αυγούστου 2011].
- [126] Μαναριώτης Ι. και Γιαννόπουλος Π., (2005). Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Τεχνολογιών Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων και Προοπτικές. Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 2-3 2005, Tech. Chron. Sci. J. TCG, I, No 2-3. Διαθέσιμο:

- <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=6873> [Προσπέλαση 17 Ιουνίου 2011].
- [127] Commission of the European Communities, (2001). “Third Communication from the European Community Under the UN Framework Convention on Climate Change”, Commission staff working paper, 30 Nov. 2001, SEC (2001) 2053, Brussels, 20.12.2001. Available: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/eunc3.pdf>. [Accessed 17 June 2011].
- [128] Κορωναίος Χ.,(2006). Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Διδακτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διεπιστημονικό πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη.
- [129] Tsatsaronis G., (2007) Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy* 32, 249–253.
- [130] Brehmer B., (2008) Chemical Biorefinery Perspectives. The valorisation of functionalised chemicals from biomass resources compared to the conventional fossil fuel production route. Ph.D. Thesis Wageningen University, the Netherlands, 2008
- [131] Ptasinski K., Prins M., Pierik A., (2007). Exergetic evaluation of biomass gasification. *Energy* 32, 568–574.
- [132] Kaushika C. S., Reddy V., S.K. Tyagib K. S., (2011). Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 1857–1872.
- [133] Göran Wall G,(1986). Exergy – A useful concept. 3rd Edition. Physical Resource Theory Group. Göteborg. Available: <http://www.exergy.se/ftp/thesis.pdf>. [Accessed 19 October 2011].
- [134] Chen C. L., Mehta D. C., Ishimi T. & Fan T. L., (1985). Thermodynamic Analysis of Anaerobic Digestion of Cattle Manure. *Agricultural Wastes* 14, 79-96.
- [135] Kramer J., (2004). Agricultural Biogas Casebook – 2004 Update. Available: www.rs-inc.com [Accessed 14 November 2010]
- [136] Antares Group Incorporated , T.R. Miles Technical Consulting, Inc., Foster Wheeler Development Corporation. (1999).Economic and Technical Feasibility of Energy Production from Poultry Litter and Nutrient Filter Biomass on the Lower Delmarva Peninsula. FINAL REPORT. Prepared for: Northeast Regional Biomass Program.
- [137] AgSTAR Database. Operational Anaerobic Digester Projects. EPA United States Environmental Protection Agency. Available: http://www.epa.gov/agstar/downloads/digesters_poultry.xls. [Accessed 14 April 2010]
- [138]Lazarus W. F. and Rudstrom M.(2004).Profits from Manure Power? Economic Analysis of the Haubenschild Farms Anaerobic Digester. William Lazarus University of Minnesota. Available: <http://documents.apec.umn.edu/Lazarus-RudstromSem05.pdf>. [Accessed:20 August 2011]
- [139] Φραγκόπουλος Χ., Καρυδογιάννης Η., Καραλής, Γ. (1994). ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ. Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, ΕΛΚΕΠΑ, στα πλαίσια Ευρωπαϊκού Προγράμματος SAVE της Ευρωπαϊκής Επιτροπής / ΓΔ XVII Ενέργειας.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1

Στο παράρτημα αυτό αναφέρονται παγκόσμια παραδείγματα εφαρμογών διαχείρισης των πτηνοτροφικών αποβλήτων.

Εταιρία	Περιοχή	Προϊόν - Μορφή	Τιμή
Planet Natural	ΗΠΑ	σε σακιά	3.5\$ ανά 30lb σακί
Sustane/Natural Fertilizer of America	ΗΠΑ	σε κόκκους	
Seven Springs Farm	ΗΠΑ	σε σακιά	50 lb bag - US \$14.50 10 bags - \$13.50 per bag 20 bags - \$12.50 per bag 1 ton - \$11.00 per bag 2 tons - \$10.00 per bag
Arthur Yates & Co. Ltd.	Αυστραλία, ΗΠΑ	χύδην	
Euro-Bio Consult	Ολλανδία	Παλέτες	
AGricultural ORganic, Inc.	ΗΠΑ	Κόκκοι -παλέτες	
Πηγή: [26]			

	Description	Scale	Litter Requirement	Energy output	Operation/ Maintenance	Emissions	Ash	Cost
Combustion								
Pilot Scale Combustion Test: Energy Products of Idaho (EPI)	The objectives of this test program were to: (1) evaluate the slagging tendency of EPI's technology and explore conditions that could reduce or eliminate it completely; and (2) evaluate the emission potential of poultry litter when used as a fuel.	Commercial/ large scale (scaled down for research)	21.4 tons/hour On a yearly basis it could be supplied by 11 million birds	20 MW	- The litter was not pre-processed - No significant ash slagging or accumulation Typical operating temperature out of the furnace was below 1750 °F	- NO _x : SNCR was used (emission was lower than expected → ammonia or urea-based compounds in the manure) - 100% of the sulfur was captured with lime - Significant HCl capture	The ash is suitable for use as a soil supplement. Other disposal methods will also be evaluated.	No info
Poultry Litter-Fueled Power Plants in the UK: Energy Power Resources Ltd	<i>Mass burning and step-grade combustion systems.</i> Energy Power Resources Ltd was the first company in the world to succeed in turning poultry litter into energy. They have since constructed plants at a number of locations in the UK, including Eye, Thetford, Westfield, and Glanford.	Commercial	110,000-420,000 tons of litter per year	10-55 MW	24/7 operators required	The emissions are controlled and meet the applicable air emission standards.	The ash is further processed to produce high quality agricultural fertilizer. After size grading, the ash is marketed by Fibrophos	No info
Poultry Litter-Fueled Power Plant in the US: Fibrominn	Fibrominn is the first poultry litter-fueled power plant in the U.S. It began operation in	Commercial	500,000 tons/year (2,000 – 2,500	55 MW	24/7 operators required	-NO _x emissions controlled by SNCR	The ash will be sent to a nearby facility operated by	Cost of project: Approximately \$150 million

(Benson, Minnesota)	mid-2007. It was built by Fibrowatt LLC.		tons/day) They will burn mainly turkey litter, although the plant will also burn hay, straw, out-of-condition grain, and upland hay.			- SO ₂ , H ₂ SO ₄ , HCl controlled by a spray-dry absorber - Particulate matter controlled by a fabric filter baghouse	North American Fertilizer to be converted into high value fertilizer.	
Proposed Poultry-Litter Fueled Power Plant: FibroShore (Maryland's Eastern Shore)	FibroShore is a poultry-litter fueled power plant that has been proposed by Fibrowatt LLC	Commercial	Up to 300,000 tons of poultry litter and 50,000 tons of forestry residue annually.	38.5 MW	24/7 operators required	Emission control techniques would be used to control particulate matter, NO _x , CO, VOCs, SO ₂ , and HCL	No info	Cost of project: Approximately \$125 million
Development of a Poultry Litter-to-Energy Furnace: American Heat and Power LLC	A modified Multiple Hearth Furnace has been developed in which the combustion air is introduced by Circle Slot Jets that create high turbulence and increased air-to-fuel mixing. The poultry litter is burned in a controlled environment at temperatures high enough to allow complete combustion, but low enough to avoid agglomeration and slagging in the ash end exhaust.	Large commercial or industrial scale. This technology is best suited for a large regional plant. Though technically feasible for on-farm application, they have found that it is not economically feasible.	For stand-alone economical viability (no government subsidy), the plant should be sized to process at least 100 tons of litter per day. Typically, capacities would range from 250 tons per day to as much as 1000 tons per day (with multiple units) at a single regional plant.	Steam only output: 100,000 - 350,000 lbs/hour Electricity only output: 10 - 50 MW Combined heat and power plants would provide a combination of these.	The facility would require a full-time staff. Plant operators would probably work three 8-hour shifts. - Maintenance would be commensurate with a mid-sized energy plant. Normal maintenance would be provided by the operators. - Long term service	-HCL, Cl ₂ , SO ₂ , HF, and PM reduction by wet scrubber - Very low NO _x emissions	Concentrated fertilizer	These are multi-million dollar units and although the units have standard sizing criterion, a unique system would need to be specifically designed for each project. As such, pricing is specific to the project. However, as a ballpark estimate, a hypothetical 15 MW plant would cost roughly \$2500 per kW

					agreements with equipment suppliers could provide a large portion of the plant's major equipment maintenance.			and a biomass to steam plant would cost approximately \$120 per lb/hour of steam capacity installed
Study: Combustion of Poultry Litter in a Fluidized Bed Combustor (Portugal, Ireland)	Atmospheric bubbling fluidized bed combustor. This project studied the effect of the moisture content on combustion, the variations in excess air level along the freeboard, and air staging.	Pilot scale/ research	No info	No info	The addition of peat was used to improve combustion due to the uncertain combustibility of the high moisture content poultry litter. - Operation temperature: 1290°F - 1830°F	The air staging in the freeboard lowered the NOx emissions	No info	No info
Fluidized Bed Combustors: Biomass Heating Solutions Limited (County Limerick, Ireland)	This company manufactures fluidized bed combustors to combust chicken litter for heat/energy	Small / farm scale	80 lb/hr litter with a moisture content of 25 - 50%.	45-115 KW	No info	No info	7 lb/hr (suitable for use as a fertilizer)	No info
Feasibility Study: Poultry Litter Combustion (University of	Broiler litter-fired direct combustor prototype manufactured by Lynndale Systems Inc.	Small / farm scale	1 ton of litter per day in winter	Peak heat output: 93k btu/h (to achieve significant	Doesn't require a full time operator. - The fuel would	Excessive CO (indicator of incomplete combustion)	A small amount of ash was recovered (this implies that a	According to Tom Costello (University of Arkansas), a reasonably

Arkansas)	The purpose of this test was to determine whether on-farm litter combustion is feasible. The system was designed to provide heat for poultry houses.			savings in propane this needs to be 175k btu/h)	be loaded two to four times per day and an occasional furnace check would be needed. - 15-30 minutes of labor per day plus 30 minutes ash handling every 1-3 days.	-NOx emissions levels were not high - PM levels were not measured	significant amount of particulates may have been released into the air)	efficient furnace could pay for itself as long as the capitol costs were less than \$20,000-\$30,000. It remains to be seen what the sales price for a commercial product would be.
Retrofitting Conectiv Vienna Power Station (Vienna, Maryland)	Conectiv considered replacing systems in this power plant with systems exclusively designed to be fueled by poultry litter. Two different system modifications were proposed: (1) the addition of a new stoker boiler, or (2) a new fluidized-bed boiler specifically designed for poultry-derived fuel. Eventually, Conectiv sold the Vienna plant and the matter of retrofitting the facility was dropped	Commercial	1,920 tons per day (400,000 tons of poultry litter per year)	35 MW	No info	NOx: air staging SO2, HCl: lime addition - PM: cyclone and baghouse	The ash could have been used as a fertilizer	Expected cost: \$52. 2 million
Study: Using Poultry Litter as a Fuel Source at the Eastern Correctional	Working with MES, PPRP completed a study that analyzed the reliability and suitability of litter as a	Commercial	54,000 tons of litter per year	4 MW	No info	Emission controls required for NOx, HCl, and PM	Ash would have been used as a fertilizer or fertilizer	Cost of modifications: \$5.9 million + an additional 30% identified later

Institution Cogeneration Facility (ECICF) (Princess Anne, Maryland)	fuel source and the ability of ECICF to burn litter as a fuel. They identified the modifications that would be needed for ECICF to primarily burn litter and a full-scale litter test burn was conducted.						feedstock.	
Study: Co-Firing of Coal and Broiler Litter (Texas A&M University)	This study looked at co-firing coal and broiler litter fuels for power generation. As part of this study, a 90:10 blend (coal 90: litter 10) was used to fuel existing coal-fired combustion devices.	Research scale	No info	No info	No info	No info	No info	No info This blend resulted in a fuel quality and cost that was similar to coal and a fouling potential that was less than pure litter.
Project: Poultry Litter as a Fuel Source for Poultry Growers (Penn State)	Penn State received a grant from the PA Dept. of Ag. The co-investigators are Dennis Buffington, Mike Hulet, and Paul Patterson. They will assist a number of farms in installing litter-to-energy systems that will serve as demonstration sites. Combustion systems and gasification systems may be used.	Farm scale	Varies depending on system	Varies depending on system	Unknown Goal: No more than one hour per day for farmer	No info	The ash could be used as fertilizer. The farmer could either keep the ash or it could potentially be shipped back to the integrator.	The costs of the systems vary. The goal is to use systems that would have a 3-year payback (based on propane use). At this time, it is thought that this is a reasonable goal; however, this project is still in its early stages. The first system is not expected to be installed until

								early 2008.
Gasification								
Case Study: Poultry Litter-Fueled Boiler at Perdue Feed Mill (Bridgeville, Maryland)	A case study was conducted to evaluate the feasibility of building a poultry litter fueled boiler at the Perdue Feed Mill in Bridgeville, MD to produce steam for the feed mill operation.	Small scale	24,000 tons per year	8 mm Btu per hour	The two maintenance and operation workers that are already working at the mill would have handled the operation	-Baghouse dust collector on the fuel handling system - Mechanical collector for PM	30 tons of ash per week (agricultural use)	\$600,000 to \$1,200,000 depending on the plant configuration
Feasibility Study: Gasification Facility (Beltsville, Maryland)	USDA ARS is conducting a feasibility study on the construction and use of a gasification facility at the Beltsville Agricultural Research Center (BARC). This unit will be used to test the suitability of a variety of feedstocks, including animal manure. This study will also look at whether this technology could be transferred to rural communities and farm cooperatives	Research scale	No info	1-2 MW Electricity and steam generated by this unit will be used by the BARC labs, offices, and farm buildings	No info	No info	No info	No info
Demonstration Project: On-farm Gasification	A <i>fixed bed gasification unit</i> was constructed on the	Small/ farm scale	500-1000 lbs/hr	No info	-A control panel measures the temperature and the	- NO _x , and SO _x can be controlled	The ash content of the litter is	\$600,000. Funding is provided for

System, Frye Poultry Farm (Wardensville, West Virginia)	Frye poultry farm. This unit will produce heat from poultry manure to provide heating for the farm's chicken houses. This unit was constructed by Coaltec Energy.				emissions. This system can be managed remotely. The computer calls for fuel when it's needed. - A hopper will be attached to the unit which will gradually feed the gasifier. - The litter doesn't need any preparation.	- The system meets all air emission requirements	18%-20% - Plan to market the ash for land application - Bio-char could be produced instead, but finding a market for it would be more difficult at this time	portions of this project by NRCS through a Conservation Innovation Grant and from the West Virginia Department of Agriculture.
Proposed Cogeneration Facility: Allen Family Foods, Inc. (Hurlock, Maryland)	CHx Engineering proposed constructing and operating a cogeneration facility at the existing Allen Foods poultry processing plant to generate electricity and steam using litter as the primary fuel. Finally,	Commercial	40,000 tons per year	4 MW	No info	-NO _x emissions reduction by staged oxidation - No significant air quality impact, in compliance with regulations	The ash would have been used as commercial fertilizer	due to financial difficulties and problems with the design firm, which was unable to meet the conditions of the contract, the plans were dropped.
Proposed Poultry Litter Gasification Unit: Allen's Hatchery, Inc. (Linkwood, Maryland)	Allen's Hatchery, Inc. in cooperation with REM Engineering, Inc. was planning to construct a poultry litter gasification unit. They were planning to begin construction in September 2006, but for several reasons, the	Commercial	1 ½ tractor-trailer loads per day (14,000 tons per year, supplied by 25-30 farms)	15 million BTU per hour	No info	NO _x cleaned by the naturally occurring ammonia in the litter Sulfur-oxides captured by the calcium within the manure	The ash would be sent to fertilizer companies to be mixed with nitrogen	No info

	county government would not allow this unit to be installed.						- PM removed by fabric filter	
Proposed Poultry Litter Gasification (CHP) Unit: Tyson Foods, Inc. (Virginia's Eastern Shore)	Tyson Foods, Inc. worked on a project to have a litter gasifier electric-producing unit built at its processing plant site on the Eastern Shore of Virginia. For a variety of reasons, this unit was not built.	No info	No info	No info	No info	No info	The ash would have been used as fertilizer.	No info
Poultry Litter Gasifier System: Biomass Technology Group (The Netherlands)	Biomass Technology Group (BTG) developed a farm-scale gasifier system with close cooperation from poultry farmer Duis v.o.f. This system uses a <i>bubbling fluid bed gasifier</i> .	Farm-scale	900 tons per year	-Annual electricity output: 450 MWh - Electricity is mainly used on-site; the surplus is delivered to the power grid - Heat of the CHP unit is supplied to the boiler	No info	No info	Ash could be sold as fertilizer or for road construction	€ 450,000 (approximately \$614,000), resulting in a payback period of 7 years.
Poultry Litter-Fueled Power Plant: Plant Carl (Franklin County, Georgia)	Built by Earth Resources, Inc. (ERI), typical boiler-turbine operation that will feed the fuel (chicken litter, woody biomass, and other renewable	Commercial-scale	Chicken litter and woody inert biomass will be placed into the furnace at a rate of 800	20 MW	Will be operated on a 24-hour continual basis for a planned 350 days per year.	No info	The ash will be sold at the site as a fertilizer.	Received a \$28 million loan from USDA Rural Development's Utilities Program.

	resources) into a <i>bubbling fluidized bed</i> . Construction is expected to be completed in late 2008.		tons/ day.					
Poultry Litter Gasification System: Hillandale-Gettysburg LLC Poultry Farm (Adams County, Pennsylvania)	This plant is being built by Energy Works North America LLC. It is expected to be completed in late 2008.	Large farm-scale	This plant will use manure from the 3.5 million chickens on the farm. It will get rid of 85% of the farm's manure	3.5 million kilowatt-hours of electricity per year.	There will be one full-time person working at the facility 8 hours per day. When there is no one working after hours, someone will be on-call just in case a problem arises	Not yet determined	They are planning to try to market the ash as both a feed supplement and a fertilizer	\$6.5 million. Primarily being funded through private investment, although the project also received a \$410,250 state grant
	Gasifier – Boiler, Georgetown, DE		40tons/day, 16.000 tons/year	Target Steam Rate: 16,000 pph, 16MMBtuh	Steam Capacity: 500 HP, 17,250 pph			1.500.000-1.800.000\$
Pyrolysis								
Pilot Project: Mobile Pyrolysis Unit, Renewable Oil International LLC and Mills Poultry Farm (Franklin County, Alabama)	This pilot project uses a mobile pyrolysis unit to produce nutrient rich ash and vapor that is converted to bio-oil. The technology provider is Renewable Oil International, LLC	Farm-scale	Pilot project will treat 3 poultry houses on the Mills Poultry Farm (22,000 birds per house).	Creates bio-oil, which is a low-grade fuel that can be used for furnaces or heaters to warm poultry houses	No info	No info	The nutrient-rich ash is a marketable product	Received a grant from the Farm Pilot Project Coordination, Inc.
Study: Pyrolysis Technology	Foster Agblevor of Virginia Tech and his	Small/ farm-scale	No info	No info	No info	The gaseous emissions should	An objective of the project	The NFWF's Chesapeake Bay

(Foster Agblevor, Virginia Tech)	research team are working on developing a <i>rapid pyrolysis technology</i> to produce value added products, such as bio-oil, slow-release fertilizer, and producer gas, from poultry litter. Through their research they successfully pyrolyzed poultry litter samples in a <i>bubbling fluidized bed pyrolysis reactor</i> .					be analyzed through the pyrolysis process and during the combustion of the bio-oil.	is to evaluate the char fraction as a slow release fertilizer for land application.	Targeted Watershed Program funds their research through a \$1 million grant. \$406,000 of the grant will be devoted to the construction, installation, and demonstration of a portable pyrolysis unit (see next row).
Portable Pyrolysis Unit: Oren Heatwoles's Poultry Farm (Rockingham County, Virginia)	Researchers from Virginia Tech, Virginia Cooperative Extension, and other ag and environmental agencies are conducting a pilot project that will use a portable pyrolysis unit to turn poultry litter into bio-oil and char. They plan on installing the unit in late 2007 on Heatwole's farm. If the unit works, they may move the portable unit to other nearby farms.		Farm-scale	No info	Create bio-oil to be used on the Heatwole farm to heat the poultry houses and possibly the farmer's residence. - The synthetic gas byproduct will be used to run the pyrolysis unit.	No info	The char could be used as a slow-release fertilizer.	This project has received grants from the National Fish and Wildlife Federation, the Virginia Poultry Federation, and the Farm Pilot Project Coordination Inc.
Πηγή: [44]								

Anaerobic Digestion								
Project	Farm Type (Head Feeding Digester)	Digester Type Category	Utilization Equipment	Heat Applications	kW Installed Capacity	Total Cost to Make Operational	Cost Comments and Details	Total Cost per Head (and per AU) (Grant Funds Included)
Maple Leaf Farms 1988	duck (500,000)	complete-mix	Hess/Daewoo 200 kW (biogas rated) engine-generator set, operates as induction, also back-up boiler	digester, offices, lab, utility bldg (when engine working), boiler digester only	-	\$804,000	\$534,000 (digester cost converted to 2002 dollars) + \$270,000 energy generation equipment costs. Got \$65,000 from WI Dept. of Administration (\$270,000 cost)	\$1.6 (\$161) duck – based on current population of 500,000 (5,000 AU)
Herrema Dairy 2002	dairy (3,750)	mixed plug-flow loop (x2)	2 Hess 350 kW (biogas rated) engine-generator sets, induction	digester, hope to use for floor heat in barn, alleyway	600	-	-	-
Haubenschild Manure Digester Study	800-cow farm					\$355,000, or \$444/cow for the 800-cow operation		
Darrell Smith Farm	70,000 caged layer hens	Complete-mix with metal tank, 28 ft x 31 ft diameter	Biogas Production: 17,000 ft ³ /d initially (58% methane content) 1.21,000 ft ³ /d through 1997(62% methane content)2.42,000 ft ³ /d estimated 1998		Electricity Production:300,000 kWh with original on-peak operating strategy.520,000 kWh 1996 estimate	Capital Cost: \$225,000 for primary system.	Annual O&M Cost: Estimated to be \$5,000	
Wenning Poultry Farm, 2008		Mixed Plug Flow	Baseline SystemStorage Lagoon:		600			
Πηγή: [77], [95] [135], [136], [137], 138]								

Παράρτημα 2

Στο παράρτημα αυτό αναφέρονται οικονομικά δεδομένα από μελέτες που έχουν γίνει παγκοσμίως σε σχέση με την διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων.

Στην εργασία των Lichtenberg et al. ([95]) αναφέρονται οι παρακάτω πίνακες που έχουν σχέση με τα οικονομικά δεδομένα ήδη υλοποιημένων μονάδων διαχείρισης.

Κόστος παραγωγής αερόβιας χώνευσης για τις αγορές των Screened και Bagged	Off-Farm		
	Capacity (tons)	10.000	40.000
Litter (tons)	6.500	26.000	52.000
Sawdust (tons)	3.500	14.000	28.000
Finished Product (tons)	8.920	35.920	71.840
Land Required (acres)	3.7	10.1	19.7
Annual Capital Cost per, Ton Compost	\$27.90	\$12.98	\$10.62
Annual Variable Cost per, Ton Compost	\$11.59	\$11.59	\$11.59
Cost for Sawdust, per Ton Compost	\$6.30	\$6.30	\$6.30
Clean Out Costs, per Ton Compost	\$3.00	\$3.00	\$3.00
Hauling Litter to Facility, per Ton Compost	\$7.29	\$7.29	\$7.29
Total Cost per Ton Compost	\$56.08	\$41.16	\$38.80
Average Price for Bulk Compost	\$44.82	\$44.82	\$44.82
Implicit Value Poultry Litter, per Ton Compost	-\$11.26	\$3.66	\$6.02
Implicit Value Poultry Litter, per Ton Litter	-\$8.21	\$2.67	\$4.39

Οικονομική αποτίμηση πτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας

	Vienna Retrofit	Vienna Greenfield	Fibrowatt	FibroShore
Capacity (MW)	25.0	25.0	12.6	40.0
Capital Cost	\$37,500,000	\$62,500,000	\$36,372,214	\$104,000,000
Annual Power Production (MWH)	153,000	153,000	100,800	321,600
Annual Poultry Litter Consumption (Tons)	248,000	240,000	140,800	500,000
Levelized Capital Cost	\$5,991,055.14	\$9,985,091.90	\$5,810,878.35	\$16,615,192.92
Annual Operation and Maintenance Costs	\$1,875,000	\$3,125,000	\$1,999,979	\$8,664,225
Ash Fraction	0.157	0.157	0.100	0.100
Ash Generated	38,936	37,680	14,080	50,000
Ash Value (at \$49.60 per ton)	\$1,931,225.60	\$1,868,928.00	\$698,368.00	\$2,480,000.00
Total Cleanout and Transport Cost	\$3,472,000.00	\$3,360,000.00	\$1,971,200.00	\$0.008
Levelized Capital Cost/KWH	\$0.039	\$0.065	\$0.058	\$0.052
O&M Cost/KWH	\$ 0.012	\$ 0.020	\$ 0.020	\$0.027
Total Capital and O&M Costs	\$0.051	\$0.086	\$0.077	\$0.079
Ash Value/KWH	\$0.013	\$0.012	\$0.007	\$0.008
Cleanout/Transport Cost/KWH	\$ 0.023	\$0.022	\$0.020	\$0.022
Electric power cost including ash sales revenue and litter transport cost	\$ 0.061	\$ 0.095	\$ 0.090	\$0.093
Implicit Value of Poultry Litter (per ton)	-\$10.14	-\$32.38	-\$36.34	-\$56.64
Value of Poultry Litter with 1.7 cent/KWH renewable energy tax credit	-\$7.44	-\$29.33	-\$29.13	-\$48.66
Annualization of capital costs based on a 15.0% rate of return on capital and a 20 year financing period. Price of electricity assumed to equal the 2001 PJM wholesale electricity price of 3.2 cents per kilowatt-hour. Cleanout cost assumed to equal \$4.00 per ton. Transportation cost assumed to average \$10.00 per ton. Fibrowatt capital costs adjusted from 1992 to 2001 dollars using the producer price index for manufacturing. Fibrowatt operation and maintenance costs adjusted from 1992 to 2000 dollars using employment cost index (total compensation) for manufacturing. FibroShore operation and maintenance costs and power production based on year 15 estimates.				

Παράρτημα 3

	IC Engine	Microturbine	Fuel Cell
<i>Γενικά Χαρακτηριστικά</i>			
Εύρος ηλεκτροκινητήρα (kW)	1 έως 5000+	30 έως 250	Έως 3000+
Ηλεκτρική Απόδοση (%)	25 έως 45	25 έως 30	33 έως 50
Τυπική απαγόμενη θερμοκρασία (°C)	600	230 έως 315	Μικρότερη: 120; Υψηλότερη: 600 έως 850
Μέγιστη Θερμική Ενέργεια	65 %	45 %	58 %
<i>Προεπεξεργασία Βιοαερίου</i>			
Απομάκρυνση υδρατμών	Προτεινόμενο	Ναι	Ναι
Απομάκρυνση H ₂ S	Προτεινόμενο	Όχι	Ναι
Συμπίεση αέρα	Όχι	Ναι	Όχι
<i>Οικονομικό Κόστος</i>			
Βασικού εξοπλισμού (US\$/kW)	500 έως 1400	1000 έως 2000	3500 έως 10000
<i>Ηχορύπανση</i>			
Για συστήματα ισχύος (kW)	500	45	250
Επίπεδο θορύβου (qualitative/db)	Μέτριο έως υψηλό (~110 db)	Μέτριο έως υψηλό (~70 db σε 3m)	Χαμηλό (60 db σε 30m)
<i>Αέριες Εκπομπές</i>			
Για συστήματα ισχύος (kW)	500	45	250
NO _x	0.0026- 0.017	0.00115	0.0000041
SO _x	0.00001- 0.005	0.00003	0.0000006
CO	0.008 -0.010	0.00265	0.00025
CO ₂	0.97- 1.70	1.188	0.94
VOC	0.0015- 0.002	0.00004	0.00015
Πηγή: [114]			

Σύστημα	Ηλεκ. Ισχύς	Μέση ετήσια διαθεσιμότητα	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης %		Όλικός βαθμός απόδοσης %	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα
	MW		%	Πλήρες φορτίο		
Ατμοστροβίλου	0,5 - 100*	90 - 95	14 - 30	12 - 25	60 - 85	0,1 - 0,3
Αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου	0,1 - 100	90 - 95	20 - 35	15 - 29	60 - 80	0,5 - 0,8
Αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου	0,5 - 100	90 - 95	30 - 35	30 - 35	60 - 80	0,5 - 0,8
Συνδυασμένου κύκλου αεριο/ατμοστροβίλου	4 - 100*	77 - 85	35 - 45	25 - 35	70 - 88	0,6 - 1,1
Κινητήρα Diesel	0,07 - 40	80 - 90	35 - 45	32 - 40	60 - 80	1,2 - 2,4
Πακέτο με παλινδρομικό κινητήρα	0,015 - 2	80 - 85	27 - 35	25 - 32	60 - 80	0,5 - 0,7
Κυψέλες καυσίμου	0,04 - 50	90 - 92	37 - 45	37 - 45	85 - 90	0,8 - 1,0
Μηχανές Stirling	0,003-1,5	85 - 90 (αναμενόμενη)	35 - 50	34 - 49	60 - 80	1,2 - 1,7

(*) Η τιμή των 100 MW είναι το πιο συνηθισμένο άνω όριο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Συστήματα του είδους αυτού κατασκευάζονται και με μεγαλύτερες ισχύεις.

Πηγή: [139]