



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ  
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

**«Παραγωγή βιοαερίου από εκχύλισμα  
ημικομποστοποιημένων στερεών πτηνοτροφικών  
αποβλήτων με τυρόγαλα στη μεσόφιλη περιοχή.  
Τεχνο-οικονομική διερεύνηση εφαρμογής των  
αποτελεσμάτων σε τυροκομείο στην Αργολίδα»**

---

Φιλίππου Παύλος

Επιβλέπων Καθηγητής

Δημήτριος Γεωργακάκης

Αθήνα 2012

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Παραγωγή βιοαερίου από εκχύλισμα ημι-κομποστοποιημένων στερεών πτηνοτροφικών αποβλήτων με λιοζούμια στη μεσόφιλη περιοχή. Τεχνο-οικονομική διερεύνηση εφαρμογής των αποτελεσμάτων σε πτηνοτροφείο στη Κόρινθο »

ΦΙΛΙΠΠΟΥ ΠΑΥΛΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής

Δημήτριος Γεωργακάκης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτρης Γεωργακάκης

Νικόλαος Δέρκας

Χρήστος Καραβίτης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση της ενέργειας βρίσκεται σήμερα στο επίκεντρο των περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων μ 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 στο πλανήτη .

Μέσα από την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται προσπάθεια να αναλυθεί ο τρόπος αξιοποίησης των πτηνοτροφικών αποβλήτων σε συνδυασμό με απόβλητα ελαιοτριβείων (λιοζούμια) , ως ενεργειακού πόρου για την παραγωγή βιοαερίου .Με δεδομένο το οξύ πρόβλημα που εμφανίζεται σε εθνικό αλλά και τοπικό επίπεδο στο τομέα της διαχείρισης των γεωργικών αποβλήτων και ιδιαίτερα των κτηνοτροφικών , η εξέταση του θέματος υπό το πρίσμα μια σύγχρονης και λεπτομερούς μεθοδολογίας δύναται να αποδώσει νέα δεδομένα και να παράσχει κατευθύνσεις και αρχές που θα αποδειχθούν χρήσιμα στην αντιμετώπιση του θέματος . Η ΑΧ είναι μια μικροβιολογική διεργασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, απουσία οξυγόνου, η οποία είναι συνήθης σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα και εφαρμόζεται σήμερα για να παραχθεί το βιοαέριο σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες, οι οποίες συνήθως ονομάζονται χωνευτήρες. Ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών εμπλέκεται στην αναερόβια διεργασία που έχει δύο κύρια τελικά προϊόντα: το βιοαέριο και το κομπόστ.

Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο που αποτελείται από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και από μικρές ποσότητες άλλων αερίων και ιγνοστοιχείων. Σκοπός λοιπόν είναι η παρουσίαση θεωρητικά και πειραματικά του πλαισίου που αφορά τη παραγωγή βιοαερίου με αναερόβια χώνευση από τα πτηνοτροφικά απόβλητα σε συνδυασμό με τα απόβλητα ελαιοτριβείων.

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

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

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή των ελαιοτριβείων αλλά και των αποβλήτων που παράγονται από αυτά .Ακολουθεί εκτενή αναφορά στο βιαέριο και

τα οφέλη αυτού στη σύγχρονη κοινωνία .Εν συνεχεία παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος της μελέτης μας που είναι η παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια επεξεργασία ημικομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείων και δευτερευόντως μίγμα αυτών με λιοζούμια , σε εργαστηριακούς αντιδραστήρες ωφέλιμου όγκου 19lt με ανάλυση των τελικών αποτελεσμάτων της αναερόβιας επεξεργασίας με συγκρίσεις των λόγων των ΠΣ από τις πρώτες ύλες , την παρουσίαση της ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου καθώς και τον βέλτιστο ΧΠ των αποβλήτων στον ΑΧ .Επίσης ακολουθεί προσομοίωση της αναερόβιας επεξεργασίας στην πραγματικότητα αλλά και η οικονομική αποτίμηση αυτής .

Λέξεις κλειδιά :Αναερόβια χώνευση ,υγρά μηχανικού διαχωρισμού, ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ,λιοζούμια ,ημικομποστοποιημένα πτηνοτροφικά απόβλητα .

## Abstract

Today the use of the energy is considered to be at the center of many human activities while many of the environmental problems of modern societies have as their main point the technologies of production and the use of energy. The energy resources are a representative example of the reduction of the natural resources, which the reckless use, has dramatic consequences at the cost of living and at life of the entire planet.

At this thesis it had been an effort to analyze the way of exploitation of the poultry waste in conjunction with oil waste like energy resources for the production of biogas . Given the huge problem that there is at national and local level of sector of agricultural waste management and particularly the poultry waste. the examination of the subject in the light of a modern, detailed methodology can give new data and directions and principals which may proved useful for the solution of the subject. The a.d is a microbiological process decomposition of the organic substance. The lack of oxygen, which is very common in many natural environmental and it is used at nowadays for the production of the biogas in airtight tanks which operate like reactors .A big range of micro orgasms is involved at the anaerobic digestion which has to products: biogas and compost.

The biogas is a gas fuel which consists of methane, carbon dioxide and small quantities of other gases and trace. The purpose is the theoretically and experimentally presentation of the concerning the biogas production with anaerobic digestion of the poultry waste in conjunction with the oils waste.

At the introduction of the study you can find a general approach of the poultry waste in relation to the anthropocentric environment.

Subsequently the basic principles of the poultry waste like the composition, the waste production, the pollution load and also the environmental cost and the environmental consequences which concern at these concepts.

At the next chapter there is a general description of the mills and the waste that are produced of these. Then there is an extensive report at the biogas and its benefits at the society. Furthermore is presented the experiment of this study which concern the biogas production of anaerobic process of semicomposted poultry waste and secondly a mix of these with oils waste in laboratory reactors usable volume of 19lt with analysis of final results of anaerobic process in contrast with the ratios of volatile solids of the raw material, the presentation of volumetric production biogas and also the best residence time of the waste of a.d. Finally you can find the simulation of the anaerobic process in reality and the economic situation of this.

Keywords: anaerobic digestion ,semicomposted poultry waste ,mechanical separation ,biogas production .

## Περιεχόμενα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
1. ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ .....	14
1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	15
1.2 ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	19
1.3 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....	21
1.4 ΡΥΠΑΝΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ .....	21
1.5 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	23
1.6 ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	24
2. ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ .....	25
2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....	31
2.2 ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ.....	37
2.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....	38
2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ. ....	41
2.5 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ .....	42
2.5.1 ΑΡΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΑΕ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΕΚΡΟΕΣ .....	42
2.5.2 ΤΟ ΡΥΠΑΝΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΤΩΝ ΥΑΕ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΑΥΤΟ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ . ....	42
2.5.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΑΕ .....	43
3. ΒΙΟΑΕΡΙΟ .....	44
3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	44
3.2 ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΦΘ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	45
3.3 ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ.....	45
3.4 ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	46
3.5 ΜΕΙΩΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....	46
3.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	46
3.7 ΕΥΕΛΙΚΤΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	47
3.8 ΧΑΜΗΛΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ .....	47

3.9 ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΓΡΟΤΕΣ .....	47
3.10 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤ ΩΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ .....	47
3.11 ΚΛΕΙΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....	48
3.12 ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ .....	48
3.13 ΜΕΙΟΥΜΕΝΕΣ ΟΣΜΕΣ ΚΑΙ ΜΥΓΕΣ .....	49
3.14 ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	50
3.15 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΧ .....	50
3.16 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	52
3.17 ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ .....	53
3.17.1 Η ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΧ.....	58
3.18 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΧ.....	62
3.19 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	68
3.20 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ .....	69
3.21 ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	70
3.22 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	79
3.23 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	80
3.24 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	81
3.25 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΘ).....	82
3.26 ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΕΡΙΟΥ ΟΤΤΟ- STIRLING .....	84
3.27 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	85
3.28 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤ.....	87
3.29 ΑΧ- ΜΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΖΩΙΚΩΝ ΠΕΡΙΤΤΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΤΩΝ.....	88
3.30 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	91
3.31 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	96
3.32 ΘΕΤΙΚΕΣ /ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	98
4.ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΒΕΙΩΝ.....	100
II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	100
1.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	100
2.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	103

2.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ.....	103
2.2 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ .....	106
2.3. ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ .....	108
3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	110
III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	113
1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ / ΜΕΘΑΝΙΟΥ .....	113
1.1 ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ Χ.Π. 16 ΗΜΕΡΩΝ.....	114
1.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ Χ.Π 21 ΗΜΕΡΩΝ .....	119
1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ Χ.Π 32.....	124
1.4 ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	131
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	137
1.5.1 ΕΥΡΕΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ .....	137
1.5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	139
1.5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	140
2.ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....	143
2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	147
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	159
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	160

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝ1 Κατάταξη πτηνοτροφικών αποβλήτων σε κατηγορίες ρευστότητας.....	17
ΠΙΝ1.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων.....	18
ΠΙΝ1.2 Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων..	19
ΠΙΝ 1.3 Όγκος πτηνοτροφικών αποβλήτων.....	20
ΠΙΝ1.4 Σύγκριση θερμογόνου δύναμης διαφόρων στερεών καυσίμων.....	21
ΠΙΝ1.5 Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης Α ....	23
ΠΙΝ 1.6 Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης Β.....	23



ΠΙΝ1.7 Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων..	25
ΠΙΝ 2 Ετήσιος όγκος αποβλήτων ελαιοτριβείων ανάλογα με τον τύπο.....	29
ΠΙΝ2.1 Η επί τοις εκατό σύσταση του κλάσματος των ανόργανων αλάτων.....	36
ΠΙΝ 3 Βιοαπόβλητα κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία ,σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κατάλογο.....	54
ΠΙΝ3.1 Τα χαρακτηριστικά μερικών τύπων κατάλληλα για χώνευση πρώτων υλών.....	56
ΠΙΝ3.2 Κανόνες υγιεινής.....	58
ΠΙΝ3.3 Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της διαλυτότητας μερικών αερίων στο νερό...	64
ΠΙΝ3.4 Ποικίλες παράμετροι εγκαταστάσεων βιοαερίου.....	69-70
ΠΙΝ3.5 Μέσες τιμές σύνθεσης βιοαερίου.....	80
ΠΙΝ3.6 Βιοχημική σύνθεση πρώτης ύλης.....	81
ΠΙΝ3.7 Παραγωγές μεθανίου των διαφορετικών υλικών πρώτης ύλης.....	81
ΠΙΝ3.8 Χρόνος επιβίωσης μικροοργανισμών.....	97

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΠΙΝ1 Χαρακτηριστικά ημι-κομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείου(α περίοδος).....	103
ΠΙΝ2 Χαρακτηριστικά εκχυλίσματα πτηνοτροφείου με νερό (α περίοδος).....	104
ΠΙΝ2.1 Χαρακτηριστικά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό (β περίοδος).....	105
ΠΙΝ3 Χαρακτηριστικά υπολείμματος πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με νερό (α περίοδος).....	105
ΠΙΝ4 Χαρακτηριστικά λιοζουμιού.....	106
ΠΙΝ5 Χαρακτηριστικά υπολείμματος πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με λιοζούμια.....	106
ΠΙΝ6 Χαρακτηριστικά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμια (α περίοδος).....	107

ΠΙΝ6.1 Χαρακτηριστικά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμα (β περίοδος).....	107
ΠΙΝ6.2 Χαρακτηριστικά εξόδου α χωνευτήρα (α περίοδος).....	108
ΠΙΝ6.3 Χαρακτηριστικά εξόδου β χωνευτήρα (α περίοδος).....	108
ΠΙΝ6.4 Χαρακτηριστικά εξόδου α χωνευτήρα (β περίοδος).....	109
ΠΙΝ6.5 Χαρακτηριστικά εξόδου β χωνευτήρα (β περίοδος).....	110
ΠΙΝ6.6 Αναλογίες μίγματος αποβλήτων στα 3 στάδια του χωνευτήρα.....	112
ΠΙΝ6.7 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στους 2 χων.(Χ.Π16).....	114
ΠΙΝ6.8 Λόγοι εκχυλισμάτων.....	115
ΠΙΝ6.9 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στους 2 χων.(Χ.Π21)... 120-121	
ΠΙΝ6.10 Λόγοι εκχυλισμάτων μίγματος σε κάθε στάδιο παραγωγής (Χ.Π=21).....	121
ΠΙΝ6.11 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στους 2 χων.(Χ.Π32).....	124
ΠΙΝ6.12 Λόγοι εκχυλισμάτων μίγματος σε κάθε στάδιο παραγωγής (Χ.Π=32).....	125
ΠΙΝ6.13 Διαφοροποιημένος λόγος εκχυλισμάτων μίγματος και παραγωγή βιοαερίου στα δύο στάδια ΧΠ 16 ημερών.....	127
ΠΙΝ6.14 Χαρακτηριστικά Παραγωγής βιοαερίου /Μεθανίου στον χωνευτήρα Β πριν και μετά την διαφοροποίηση στα Π.Σ(Χ.Π=16).....	128
ΠΙΝ6.15 Διαφοροποιημένος λόγος εκχυλισμάτων μίγματος και παραγωγή βιοαερίου στα δύο στάδια ΧΠ 21ημ.....	129
ΠΙΝ6.16 Διαφοροποιημένος λόγος εκχυλισμάτων μίγματος και παραγωγή βιοαερίου στα δύο στάδια ΧΠ 32ημ.....	129
ΠΙΝ6.17 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στο χωνευτήρα Β πριν και μετά τη διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ=21).....	130
ΠΙΝ6.18 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στο χωνευτήρα Β πριν και μετά τη διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ=32)... 130-131	
ΠΙΝ6.19 Συνολική ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά ΧΠ.....	131
ΠΙΝ6.20 Τυπική περιεκτικότητα Α' υλών σε ΠΣ%κ.β.....	133
ΠΙΝ6.21 Λόγοι εκχυλισμάτων μίγματος και οργανική φόρτιση (ΧΠ=25).....	134
ΠΙΝ6.22 Χαρακτηριστικά Χωνευτήρα Β για βέλτιστη Παραγωγή Βιοαερίου (ΧΠ optimum=25)... 136	

ΠΙΝ6.23 Χαρακτηριστικά Βέλτιστης Παραγωγής Βιοαερίου στο χωνευτήρα της μονάδας.....	139-140
ΠΙΝ6.24 Χαρακτηριστικά χωνευτήρα μονάδας.....	140
ΠΙΝ6.25 Ενεργειακό Δυναμικό Παραγόμενου Βιοαερίου/Μεθανίου.....	141
ΠΙΝ6.26 Συμπαραγωγή Θερμικής/Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	142
ΠΙΝ6.27 Εσόδων –Εξόδων.....	151-152
ΠΙΝ6.28 Δείκτες.....	152

### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚ1 Σημεία αναφοράς για τις ειδικές παραγωγές μεθανίου.....	57
ΕΙΚ2 Απλουστευμένο διάγραμμα διεργασίας της ΑΧ.....	59
ΕΙΚ3 Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη υποστρώματος....	60
ΕΙΚ4 Σχετικοί ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με τη θερμοκρασία και το ΧΠ...	63
ΕΙΚ5 Σχετικός ρυθμός αύξησης των ψυχρόφιλων ,μεσόφιλων και θερμόφιλων μεθανογενέσεων....	64
ΕΙΚ6 Αντιδραστήρας για τα οικιακά απόβλητα .....	73
ΕΙΚ7 Μονάδα ΣΗΘ.....	74
ΕΙΚ8 Οριζόντιος χωνευτήρας ,κατασκευασμένος στη Δανία.....	75
ΕΙΚ9 Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία .....	75
ΕΙΚ10 Εγκατάσταση συγχώνευσης από τη Δανία.....	77
ΕΙΚ11 Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκ ΑΧ.....	78
ΕΙΚ12 Βασικές αρχές των κεντρικών εγκαταστάσεων χώνευσης.....	78
ΕΙΚ13 Τελικές χρήσεις βιοαερίου.....	80
ΕΙΚ14 Καυστήρας βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας.....	82
ΕΙΚ15 Μηχανές Otto.....	84
ΕΙΚ16 Απλουστευμένο σχηματικό διάγραμμα μιας κυψέλης καυσόμων..	85
ΕΙΚ17 Η πρώτη παγκοσμίως κυψέλη καυσίμου τύπου MCFC.....	87
ΕΙΚ18 Εφαρμογή κομπόστ.....	89
ΕΙΚ19 Τα βήματα της διεργασίας των τεχνολογιών βιοαερίου.....	92
ΕΙΚ20 Συνιστώσες αντιδραστήρα.....	93
ΕΙΚ21 Γενικό διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής βιοαερίου....	94

ΕΙΚ22 Απλουστευμένη απεικόνιση αγροτικής εγκατάστασης.....	95
ΕΙΚ23 Α.Χ εργαστηρίου.....	111
ΕΙΚ24 Ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	113
ΕΙΚ25 Διάγραμμα ροής εγκατάστασης.....	138

#### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓ1 Διάγραμμα ροής ελαιοτριβείου.....	30
ΔΙΑΓ2 Παραγωγή αποβλήτων από 100kg ελαιοκάρπου.....	32
ΔΙΑΓ3 Διάγραμμα ροής ανάλυσης επικινδυνότητας ελαιοτριβείων .....	37
ΔΙΑΓ4 Σενάριο εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου και «πετρελαϊκή αιχμή».....	44
ΔΙΑΓ5 Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου από ΑΧ.....	49
ΔΙΑΓ6(Α) Συγκεντρώσεις των πτητικών λιπαρών οξέων με δυσάρεστη οσμή στον μη επεξεργασμένο και χωνευμένο πολτό. (Β) Η συγκέντρωση οσμών σε δείγματα αέρα που συλλέχθηκαν επάνω από τους αγρούς μετά από την εφαρμογή του μη επεξεργασμένου και του χωνευμένου πολτού.....	50
ΔΙΑΓ7 Χρήση αζώτου από χωνευμένο κομποστ.....	91

#### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΔΙΑΓ1 Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο ΠΣΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν σε Χ.Π. 16 ημερών (3 σημεία).....	116
ΔΙΑΓ2 Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο ΠΣΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν σε Χ.Π. 16 ημερών (2 σημεία).....	117
ΔΙΑΓ3 Σχέση παραγόμενου βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π 16ημερών (3 σημεία) .....	118
ΔΙΑΓ4 Σχέση παραγόμενου βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π 16ημερών (2 σημεία) .....	118
ΔΙΑΓ5 Σχέση λόγου ΠΣΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 16 ημερών (3 σημεία).....	119
ΔΙΑΓ6 Σχέση λόγου ΠΣΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 16 ημερών (2 σημεία).....	119

ΔΙΑΓ7 Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο ΠΣ ΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν σε Χ.Π. 21 ημερών (2 σημεία).....	122
ΔΙΑΓ8 Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 21 ημερών.....	123
ΔΙΑΓ9 Σχέση λόγου ΠΣΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 21 ημερών.....	123
ΔΙΑΓ10 Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο ΠΣΕΚΧΠ+Λ/ΠΣΕΚΧΠ+Ν σε Χ.Π 32ημερών.....	125
ΔΙΑΓ11 Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 32 ημερών.....	126
ΔΙΑΓ12 Σχέση λόγου ΠΣΕΚΧπ+λ/ΠΣΕΚΧπ+ν με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 32 ημερών.....	126
ΔΙΑΓ13 Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων για το Χωνευτήρα Β(min) VS ΧΠ 25 ημερών.....	132
ΔΙΑΓ14 Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων για το Χωνευτήρα Β(max) VS ΧΠ 25 ημερών.....	133
ΔΙΑΓ15 Λόγοι εκχυλισμάτων μίγματος και οργανική φόρτιση.....	135

*Ευχαριστίες....*

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν με τον τρόπο τους στην ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας.*

*Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Δημήτριο Γεωργακάκη , για την εύστοχη καθοδήγηση του και τη διαρκή παρουσία του .Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Νικόλαο Δέρκα και τον κ. Χρήστο Καραβίτη για την αποδοχή τους να αξιολογήσουν την παρούσα μελέτη .*

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το περιβάλλον σήμερα έρχεται αντιμέτωπο με σοβαρότατα προβλήματα ρύπανσης ,τα οποία προκαλεί η ανθρώπινη δραστηριότητα απευθείας η εμμέσως .Ένα από αυτά ,είναι η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων κάθε είδους και μορφής .Απαράδεκτες πρακτικές όπως ανεξέλεγκτη διάθεση ή εναπόθεση αποβλήτων στο περιβάλλον είναι μη αποδεκτές .Το ενδιαφέρον στρέφεται στην ανάπτυξη μεθόδων που θα στοχεύουν στη προστασία του περιβάλλοντος , τη μείωση της ρύπανσης και την αξιοποίηση των αποβλήτων .

Οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ορίζουν ως δεσμευτικό στόχο την κάλυψη των ευρωπαϊκών ενεργειακών αναγκών από ανανεώσιμες πηγές σε ποσοστό 20% έως το 2020 , και μάλιστα ένα σημαντικό μέρος των τελευταίων θα προέρχεται από τους χώρους της γεωργίας .Ο τομέας με τον οποίο σχετίζεται η παρούσα μελέτη , είναι η παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια επεξεργασία εκχυλισμάτων αποβλήτων πτηνοτροφικών με λιοζούμια.

Πιο συγκεκριμένα , στόχος της μελέτης είναι η παραγωγή βιοαερίου μίγματος αποβλήτων πτηνοτροφικών με λιοζούμια , .

## 1.ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

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

- 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 υποπροϊόντα για παράδειγμα τα τυροκομεία , σφαγεία , ελαιολαβεία κλπ .

Τα γεωργικά απόβλητα παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τον τρόπο παραγωγής τους ,την ποσότητα και την σύσταση τους , 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 .

Στοχεύοντας στην αποδοτικότερη διαχείριση των πτηνοτροφικών αποβλήτων εγκαταστάσεων που λειτουργούν σήμερα στη χώρα μας , δίνεται έμφαση στις παραμέτρους που είναι συναφή με τα πτηνοτροφικά απόβλητα .

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

- Απόβλητα συλλογής των κοπροσωρών ή τάφρων αποχέτευσης
- Απόβλητα νεκρών ζώων , σπασμένων αυγών , πούπουλα αίμα ,
- Απόβλητα στρώμνης , άχυρα , πριονίδια ,
- 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 η μακρύτερα από τη μονάδα .

## **1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

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 ιδιότητες , την περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά και τα βιολογικά τους χαρακτηριστικά .Το κύριο συστατικό τους είναι η

περιεκτικότητα τους σε νερό .Ως υγρής μορφής θεωρούνται τα απόβλητα με περιεκτικότητα σε νερό μεγαλύτερη του 95% και ρέουν ελεύθερα ή με βοήθεια από αντλίες σε αγωγούς .Ως στερεάς μορφής θεωρούνται τα απόβλητα που περιέχουν κάτω από 80% νερό και σχηματίζουν σωρό αν εναποτεθούν στο έδαφος .

Η κατάταξη και κατηγοριοποίηση της ρευστότητας των πτηνοτροφικών αποβλήτων είναι διαφορετική λόγω των βασικών διαφορών στην σύσταση τους , μια συστηματική κατάταξη τους παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα .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 στη 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"> <li>- Κοπριά αιγοπροβάτων και πτηνών</li> <li>- Στερεά μηχανικού διαχωρισμού υγρών αποβλήτων χοιροστασίων</li> <li>- Κοπριά βουστασίων και χοιροστασίων αναμειγμένη με στρωμνή</li> </ul>
Ημιστερεά	75-80 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Στερεά απόβλητα βουστασίων</li> <li>- Απόβλητα στερεάς μορφής μετά από διαβροχή μέχρι κορεσμού με νερό</li> <li>- Στερεά μηχανικού διαχωρισμού υγρών αποβλήτων χοιροστασίων μετά από διαβροχής τους μέχρι κορεσμού με νερό</li> </ul>
Ημιυγρά	85-95%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Απόβλητα χοιροστασίων και βουστασίων, όπως παράγονται από τα ζώα</li> <li>- Απόβλητα χοιροστασίων, όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά την αραίωσή τους με νερό πλυσίματος</li> <li>- Ιζήματα δεξαμενών συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης υγρών αποβλήτων</li> </ul>
Υγρά	>95%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Απόβλητα χοιροστασίων και βουστασίων, όπως βγαίνουν από τους στάβλους μετά την αραίωσή τους με νερό πλυσίματος και βροχής</li> <li>- Υγρά που προέρχονται από στράγγιση κοπροσωρών</li> <li>- Υγρά εξόδου εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων πριν την διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη</li> </ul>

Κατάταξη πτηνοτροφικών αποβλήτων σε κατηγορίες ρευστότητας  
Πίνακας 1

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 , και αδιάλυτα στερεά συστατικά ,όπως χονδρόκοκκα σωματίδια , οργανικές ύλες κλπ. Το εμπεριεχόμενο άζωτο βρίσκεται σε πολλές μορφές και η αζωτούχος σύσταση των αποβλήτων είναι ανάλογη με την μικροβιακή δραστηριότητα , την θερμοκρασία το pH , την υγρασία και την συγκέντρωση του οξυγόνου .Η μορφή του αζώτου και κυρίως η αμμωνιακή της μορφή , διαδραματίζει περαιτέρω ρόλο στην διάθεση και στη διαχείριση των αποβλήτων . Στα άμεσα απόβλητα , το άζωτο βρίσκεται σε οργανικά μορφή (60-80%) , υπό την μορφή ουρίας και πρωτεϊνών και μετασχηματίζεται (40-90%) σε αμμωνία αέρια ή υδατοδιαλυτή ιοντική μορφή .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 (1.1).

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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % (ξηρό βάρος)	0.71-3.5
K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % (ξηρό βάρος)	1.78-3.79
C/N	3-15
Volatile matter (wt.% dry matter, VS)	60-85
Total Solids (TS%)	10-30

Φυσικοχημικές ιδιότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων(πίνακας1.1)

Τα πτηνοτροφικά 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 91%κ.β) , επομένως είναι μεγαλύτερου όγκου παραγωγής , μικρότερου οργανικού φορτίου και αραιότερο σε σχέση με τα απόβλητα που παράγονται σε πτηνοτροφικές μονάδες .Ειδικότερα, η σύσταση των πτηνοτροφικών 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 στρώμη που χρησιμοποιείται .Σύνηθες φαινόμενο είναι η καθαριότητα να λαμβάνει χώρα κάθε 2 έως 4 χρόνια .Μια γενικότερη σύγκριση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των πτηνοτροφικών αποβλήτων και των υπόλοιπων ζωικών αποβλήτων φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα , όπως αυτά παράγονται από τα ζώα/πτηνά ως κοπριά και ούρα πριν την ανάμιξη τους με νερά πλυσίματος ή άχυρο στρώμης .Το ειδικό βάρος των αποβλήτων εμφανίζεται μεγαλύτερο σε αγελάδες και πτηνά , ο ημερήσιος όγκος παραγωγής είναι μεγαλύτερος σε αγελάδες με μικρότερη παραγωγή , ενώ σε σχέση με τα ολικά στερεά η μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφανίζεται στα πτηνοτροφικά απόβλητα ,το οποίο υποδηλώνει και καλύτερη πιθανότητα αερόβιας μικροβιακής δραστηριότητας .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 .

<b>Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων</b>				
Κατηγορία Ζώου	Παράμετρος			
	Ειδικό Βάρος (Kg L <sup>-1</sup> )	Ημερήσιος όγκος αποβλήτων (L <sup>-1</sup> Kg Ζων Βάρους)	Ολικά Στερεά (Kg 100L <sup>-1</sup> 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

Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων(πίνακας1.2)

## **1.2 ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

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

Για τον προσδιορισμό των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να γίνει χρήση και προσαρμογή αντίστοιχων πινάκων , καθώς ο υπολογισμός των παραγόμενων πτηνοτροφικών αποβλήτων για κάθε διαφορετικά πτηνοτροφική μονάδα είναι δύσκολος και διαφορετικός .Ενδεικτικές τιμές αναφέρονται στο παρακάτω πίνακα(1.3) καθώς και οι αντίστοιχες τιμές για άλλες κατηγορίες κτηνοτροφικών αποβλήτων .

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 1.3)

Η παραγωγή πτηνοτροφικών αποβλήτων όπως αναφέρθηκε εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες .Βιβλιογραφικά αναφέρονται διαφορετικές τιμές που είναι συνδεδεμένες με τις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε περιοχής μελέτης ,τον τρόπο εκτροφής ,την ηλικία των ζώων ,καθώς και την κατεύθυνση παραγωγής .Ο Γεωργακάκης αναφέρει την παραγωγή στα 0,0561/kg ζωικού βάρους .

Μια προσέγγιση της ποσότητας των πτηνοτροφικών αποβλήτων μπορεί να γίνει μέσω των παρακάτω γενικών εξισώσεων :

$$Q_{w.m} = n * N$$

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

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 ( $t_{w.m}/animal/annual$ )

$w$  περιεκτικότητα σε υγρασία (%)

### 1.3 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

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 .

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

Σύγκριση Θερμογόνου δύναμης διαφόρων στερεών καυσίμων (πίνακας 1.4)

### 1.4 ΡΥΠΑΝΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Το δυναμικό της ρύπανσης που ενέχουν τα γεωργικά απόβλητα εξαρτάται από την σύσταση 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 αποτέφρωση τους στους 550<sup>0</sup>C για 16 ώρες .

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

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 –BOD<sub>5</sub>  
Χρήση στον προσδιορισμό οργανικού φορτίου αποβλήτων .Εκφράζει την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την αποσύνθεση του βιοαποικοδομήσιμου μέρους του οργανικού φορτίου των αποβλήτων , σε διάστημα 5 ημερών σε κατάλληλες συνθήκες .
- Χημική ζήτηση οξυγόνου –COD  
Ευρύτατη χρήση στον σχεδιασμό αναερόβιων εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων , ιδιαίτερα εκείνων με υψηλό οργανικό φορτίο .Εκφράζει την ποσότητα οξυγόνου , που απαιτείται για την οξειδωση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων με χημικά μέσα .
- Ολικό άζωτο (N) , φώσφορος (P) και κάλιο (K)  
Μετριέται η περιεκτικότητα στα αντίστοιχα στοιχεία για τον προσδιορισμό και τη συμμετοχή τους στα γεωργικά απόβλητα .
- Το ισοδύναμο πληθυσμού μια πηγής ρύπανσης προσδιορίζεται με την διαίρεση του ημερήσιου οργανικού φορτίου (kg BOD<sub>5</sub>/day) με την τιμή 54g/άτομο ημέρα και εκφράζει την αντιστοιχία ανά άτομο .

Ο υπολογισμός των παραπάνω παραμέτρων γίνεται με αναφορά στο ζωντανό βάρος ,επομένως και για το σχεδιασμό των αντίστοιχων εγκαταστάσεων θεωρείται ότι τα απόβλητα είναι ανάλογα με το ολικό ζωντανό βάρος των ζώων .

<b>Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης -A</b>					
Κατηγορία Ζώου	Παράμετρος				
	Ειδικό Βάρος (Kg L <sup>-1</sup> )	Πτητικά Στερεά (%κ.β.)	BOD <sub>5</sub> (%κ.β.)	COD (%κ.β.)	COD/BOD <sub>5</sub> (%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					

Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης(πίνακας 1.5)

<b>Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης -B</b>					
Κατηγορία Ζώου	Παράμετρος (g g <sup>-1</sup> of animal-day x 10 <sup>-3</sup> )				
	BOD	COD	Ολικό Άζωτο (N)	Φόσφορος (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Κάλιο (K <sub>2</sub> O)
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	-

Παράμετροι προσδιορισμού ρυπαντικού φορτίου οργανικής προέλευσης(πίνακας 1.6)

## 1.5 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

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 συμβάλει 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 και αποτελούν πρώτη ύλη για άμεση αξιοποίηση τους .Παρόλα αυτό , πριν την χρησιμοποίηση οποιασδήποτε μεθόδου επεξεργασίας είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν κατάλληλοι και αντίστοιχοι προκαταρκτικοί χειρισμοί .

Στην διαχείριση πτηνοτροφικών απόβλητων απαιτείται ο κατάλληλος σχεδιασμός για την επεξεργασία των στέρεων απόβλητων, καθώς και των οσμών. Η έως τώρα

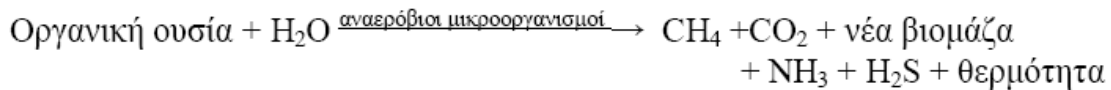
επεξεργασία στηρίζεται στις ήδη υπάρχουσες και αναπτυσσόμενες τεχνολογίες και μεθόδους απόβλητων, ως το βασικό μέρος επεξεργασίας των απόβλητων αυτών. Γενικότερα μέτρα και προκαταρτική χειρισμοί μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα , ο σχεδιασμός κατάλληλου αποχετευτικού δικτύου, το οποίο σχεδιάζεται για την συλλογή και απομάκρυνση των απόβλητων από τους χώρους παραγωγής.

## 1.6 ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι βιοχημικοί μέθοδοι είναι ένας συνδυασμός βιολογικών και χημικών μεθόδων επεξεργασίας απόβλητων. Η πιο συνήθης και ευρέως χρησιμοποιούμενη στη διεργασία επεξεργασίας πτηνοτροφικών απόβλητων είναι η αναερόβια χώνευση (ΑΧ).

Αναερόβια χώνευση καλείται η βιοχημική διεργασία κατά την οποία σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, με την βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών. Τα κύρια προϊόντα της διεργασίας αυτής είναι το βιοαέριο, αέριο καύσιμο αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, και το χωνευτικό υλικό, αποσυντιθειμένο υπόστρωμα επακόλουθο της διαδικασίας αυτής

Η γενικότερη μορφή της διεργασίας 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(1.7) .



Τύπος πρώτης ύλης	Οργανικό περιεχόμενο	Αναλογία C/N	ΞΟ%	VS% της ΞΟ	Παραγωγή βιοαερίου $m^3 kg^{-1} VS$	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 βοειδών	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 1.7)

Το μεθάνιο ως παραγωγό 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 χωνεύτηρες, με κύρια παράγωγα της διεργασίας αυτής το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα, στα σύστημα επεξεργασίας πτηνοτροφικών αποβλήτων απαιτείται ένα ελάχιστο συνεχές ποσό/όγκος απόβλητων για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος. η αναερόβια χώνευση των πτηνοτροφικών απόβλητων μπορεί να παράγει ένα συλλέξιμο μίγμα αέριων, μέσου όρου 60%περιεκτικότητας σε μεθάνιο.

## 2.ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΑ

Τα ελαιοτριβεία αποτελούν γεωργο-βιομηχανικές μονάδες, μέσου οικονομικού δυναμικού, συνεταιριστικές (13%) ή ιδιωτικές (87%), εποχιακής λειτουργίας (από τέλη

Οκτωβρίου δηλαδή ως αρχές Μαρτίου). Επεξεργάζονται τον ελαιόκαρπο για την παραλαβή ελαιολάδου, παράγοντας περίπου 1,300,000 τόνους υγρών αποβλήτων (Γεωργακάκης, 1994).

Τα τελευταία, χρόνια παρά την αύξηση της παραγωγής ελαιολάδου, παρατηρείται σημαντική μείωση του αριθμού τους, η οποία οφείλεται στη συγχώνευση των μονάδων και στον εκσυγχρονισμό του εξοπλισμού τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικής τους ικανότητας.

Τα ελαιοτριβεία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : στα κλασσικού τύπου, τα οποία αποτελούν και το 30% περίπου του συνολικού αριθμού των ελαιοτριβείων και στα φυγοκεντρικού τύπου, τα οποία αποτελούν και το 70% περίπου του συνόλου των ελαιοτριβείων της χώρας. Τα κλασσικού τύπου διακρίνονται περαιτέρω σε διάφορους τύπους, αναλόγως με τον μηχανολογικό εξοπλισμό τους (αριθμό και τύπο πιεστηρίων, γιόλων κ.λ.π.), όπως επίσης διαφοροποιούνται και τα φυγοκεντρικού τύπου, αναλόγως του τύπου και της δυναμικότητας των οριζόντιων φυγοκεντρικών διαχωριστών, που διαθέτουν.

Η παραγωγική ικανότητα των ελαιοτριβείων εξαρτάται, για τα μεν κλασσικού τύπου από τον αριθμό των πιεστηρίων, για τα δε φυγοκεντρικού από την απόδοση των οριζόντιων φυγοκεντρικών διαχωριστών. Τα ελαιοτριβεία, που λειτουργούν στην Ελλάδα μπορούν με βάση τη δυναμικότητά τους, να διακριθούν σε μικρής (500 – 1.000 kg/h επεξεργασμένου ελαιοκάρπου), μεσαίας (1.000 – 1.250 kg/h) και μεγάλης (1.250 – 2.000 kg/h) απόδοσης (Γεωργακάκης, 1994).

Ο συνολικός όγκος των υγρών αποβλήτων – που προκύπτει από την επεξεργασία του ελαιοκάρπου – και στους δύο τύπους ελαιοτριβείων, αποτελείται από τα νερά πλύσης του ελαιοκάρπου και των μηχανημάτων του ελαιουργικού συγκροτήματος, καθώς επίσης από τους φυσικούς χυμούς και νερό αραιώσης, που προκύπτουν κατά το στάδιο διαχωρισμού του ελαιοπυρήνα και της τελικής φυγοκέντρισης. Η ποσότητα αυτή επηρεάζεται από την ποικιλία και την ποιότητα του ελαιοκάρπου, αλλά κυρίως καθορίζεται από την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις επεξεργασίας και η οποία εξαρτάται τόσο από τον βαθμό ωρίμανσης και την μέθοδο συλλογής, όσο και από τον τρόπο λειτουργίας και τον τύπο του ελαιοτριβείου.

Η χρησιμοποίηση της φυγόκεντρης δύναμης, αντί της πίεσης, για τον διαχωρισμό του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη, υπήρξε διαρκής πρόκληση για τους ειδικούς της ελαιοτεχνίας. Η προσπάθεια αυτή ξεκίνησε στο τέλος του 19ου αιώνα και αφού πέρασε από διάφορα εξελικτικά στάδια κατέληξε στην κατασκευή του φυγοκεντρικού διαχωριστή με οριζόντιο άξονα (decanter) κατά την διάρκεια της δεκαετίας 1960 – 1970.

Όλοι οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές ελαιοζύμης χαρακτηρίζονται από:

- Οριζόντιο άξονα

- Οριζόντιο τύμπανο
- Εξωθητικό κοχλία, που περιστρέφεται με ελαφρά λιγότερες στροφές, αλλά κατά την ίδια φορά με το τύμπανο, έτσι ώστε να μετατοπίζει συνεχώς τις στερεές ύλες προς το άκρο του τυμπάνου.

Ο φυγοκεντρικός αυτός διαχωριστής με οριζόντιο άξονα και εξωθητικό κοχλία, είναι γνωστός στην βιομηχανία ελαιολάδου, ως decanter. Διαχωρίζει την ελαιοζύμη σε τρεις χωριστές φάσεις, την ελαιοπυρήνα, το ελαιόλαδο και τα φυτικά υγρά και νερά. Είναι συνεχούς λειτουργίας, με τη λάσπη (ελαιοπυρήνα), να ωθείται συνεχώς έξω από τον ελαιοδιαχωρηστή, με τη βοήθεια κοχλία μεταφοράς

Έτσι, ενώ μέχρι πριν από λίγα χρόνια τα ελαιοτριβεία με υδραυλικό πιεστήριο ήταν το μόνο σύστημα έκθλιψης του ελαιοκάρπου, η έλλειψη εργατικών χεριών, η ανάγκη αυτοματισμού της επεξεργασίας και η μείωση του κόστους παραγωγής του ελαιολάδου, είχε σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή αντικατάσταση τους από τον φυγοκεντρικό τύπο.

Τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του ελαιοκάρπου σε ένα ελαιοτριβείο φυγοκεντρικού τύπου είναι τα εξής :

1. Παραλαβή ελαιοκάρπου
2. Πλύσιμο
3. Άλεση
4. Μάλαξη ελαιοζύμης
5. Φυγοκέντρωση ελαιοζύμης (decanter)
6. Φυγοκέντρωση ελαιολάδου και φυτικών υγρών ( διαχωριστές )
7. Παραλαβή ελαιολάδου

Τα μηχανήματα είναι συνδεδεμένα υπό μορφή συνεχούς γραμμής, πλήρως αυτοματοποιημένης σε ό,τι αφορά τη λειτουργία. Χαρακτηριστικό αυτού του τύπου ελαιοτριβείο είναι η συνεχής ροή του υλικού από το στάδιο του καρπού ως τα τελικά προϊόντα, το ελαιόλαδο και την ελαιοπυρήνα. Η ελαιοπυρήνα περιέχει 12% περίπου λάδι, γεγονός που την καθιστά αξιοποιήσιμη και για αυτό το λόγο οδηγείται στα πυρηνελαιουργεία για εξαγωγή πυρηνελαίου με εκχύλιση. Το κατάλοιπο της διαδικασίας αυτής είναι το πυρηνόξυλο, υλικό με εμπορική αξία (χρησιμοποιείται για θέρμανση).

Από τις πρώτες κιάλας εφαρμογές, που πραγματοποιήθηκαν, δεν υπήρξαν βασικές διαφορές όσον αφορά στην ποσότητα του παραγόμενου ελαιολάδου. Υπήρξαν όμως διαφορές ως προς την ποσότητα των αποβλήτων, λόγω χρήσης περισσότερου νερού στα φυγοκεντρικού τύπου ελαιοτριβεία. Οι διαφορές των δύο προαναφερθέντων τύπων ελαιοτριβείου παρουσιάζονται πιο κάτω υπό μορφή πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων.

### **A. Κλασσικού τύπου**

#### ***Πλεονεκτήματα***

- Σημαντικά μικρότερο κόστος αγοράς
- Μικρότερο ποσοστό υγρασίας στον ελαιοπυρήνα
- Κόστος αντικατάστασης ελαιοσφυρίδων
- Κατασκευασμένα από σίδηρο
- Παραγωγή ποιοτικού ελαιολάδου

#### ***Μειονεκτήματα***

- Απαιτείται αρκετά μεγάλο κόστος εργατικών
- Χρήση ελαιοσφυρίδων
- Μικρή απόδοση σε ελαιόλαδο

### **B. Φυγοκεντρικού τύπου**

#### ***Πλεονεκτήματα***

- Μικρότερο κόστος εργατικών ( μέχρι και 70% )
- Κατασκευασμένος από ανοξείδωτο μέταλλο
- Αυτόματη λειτουργία
- Μεγαλύτερη απόδοση σε ελαιόλαδο

#### ***Μειονεκτήματα***

- Μεγάλο κόστος αγοράς
- Μεγαλύτερη υγρασία στην ελαιοπυρήνα
- Απαιτείται εξειδικευμένο πρόσωπο
- Μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και νερού

- Παραγωγή μη ποιοτικού ελαιολάδου

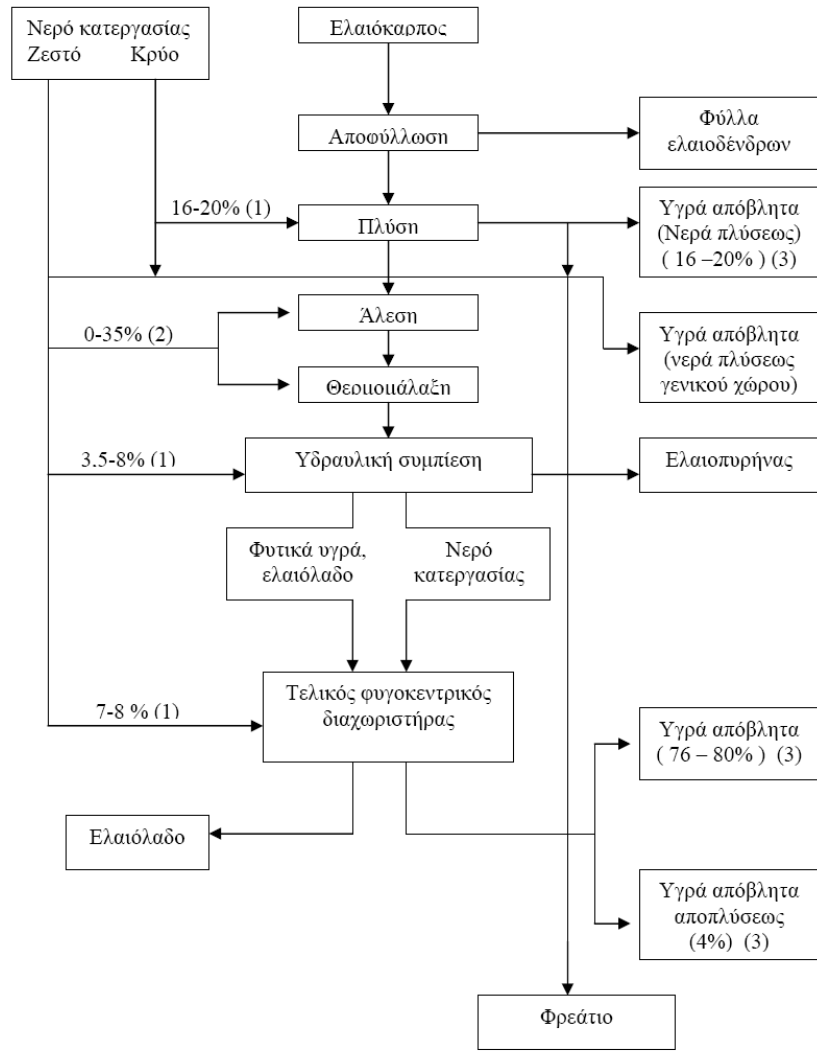
Εν τούτοις, παρά την εξάντληση της ελαιοζύμης μέχρι ποσοστού κατά μέσον όρο 88% του περιεχομένου σ' αυτήν ελαιολάδου και στις δύο περιπτώσεις διαχωριστών, η ποσότητα του ελαιοπυρήνα, που διαχωρίζεται στην περίπτωση του φυγοκεντρικού διαχωριστή περιέχει 45 – 50% υγρασία, ενώ στην περίπτωση του παραδοσιακού πιεστηρίου μόνο 25%.

Όπως, επίσης μπορούμε να διαπιστώσουμε και από τα ακόλουθα (Πίνακας (2) Διάγραμμα (2)), σε ότι αφορά τη χρήση νερού δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο συστημάτων, δεδομένου ότι και στα δύο συστήματα, το νερό χρησιμοποιείται σε ανάλογα στάδια επεξεργασίας, όχι όμως και σε ανάλογες ποσότητες. Προκύπτει ακόμη, ότι ο όγκος των υγρών αποβλήτων, που παράγονται από την επεξεργασία 100 kg ελαιοκάρπου, διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο κατηγοριών ελαιοτριβείων. Είναι χαρακτηριστικό πάντως, ότι ο όγκος των αποβλήτων των κλασσικού τύπου ελαιοτριβείων, μολοντί ποικίλει, είναι κατά πολύ μικρότερος αυτού των φυγοκεντρικού τύπου και αντιστοιχεί σε αναλογία 1/1,7 περίπου (Γεωργακάκης, 1994).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει διακύμανση στην παροχή καθώς και στον ετήσιο όγκο αποβλήτων κατά τη διάρκεια της ελαιοκομικής περιόδου, ανάλογα με την δυναμικότητα και τον τύπο του ελαιοτριβείου

Ελαιοτριβείο	Δυναμικότητα		Παροχή	Αποβλήτων	Συνολική Παραγωγή
			Μέγιστη	Μέση	
Τύπος	Μέγεθος	Kg/h	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup>
Κλασσικός	Πολύ μικρό	500	7,8	0,78	75
	Μικρό	550-1.000	7,3-15,6	1,17-2,34	112-225
	Μεσαίο	1.000-1.250	15,6-19,5	3,13-3,90	300-374
	Μεγάλο	1.250-2.000	19,5-31,2	5,46-9,74	524-837
	Πολύ μεγάλο	>2.000	31,2-62,4	10,92-21,94	1.048-2.096
Φυγοκεντρικό	Μεσαίο	1.000-1.250	26,4-33,0	14,52-18,15	1.394-1.742
	Μεγάλο	1.250-2.000	33,0-52,8	18,15-29,04	1.742-2.788

(πίνακας 2)



(Διάγραμμα 1)

- (1) Ποσότητες προστιθέμενου νερού (% του συνολικού όγκου των υγρών αποβλήτων)
- (2) Το νερό προστίθεται στο στάδιο της αλέσεως ή της μαλάξεως, μόνο σε περιπτώσεις που ο ελαιοκάρπος στερείται υγρασίας (0 – 50% της ποσότητας του ελαιοκάρπου)
- (3) Υγρά απόβλητα του ελαιοτριβείου τα οποία αποτελούνται από 76 - 80% υγρά απόβλητα και από 4% υγρά πλυσίματος

## 2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ο όγκος των παραγόμενων φυτικών υγρών είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια σε ένα ελαιοτριβείο καθώς και σε μια περιοχή, επειδή εξαρτάται από:

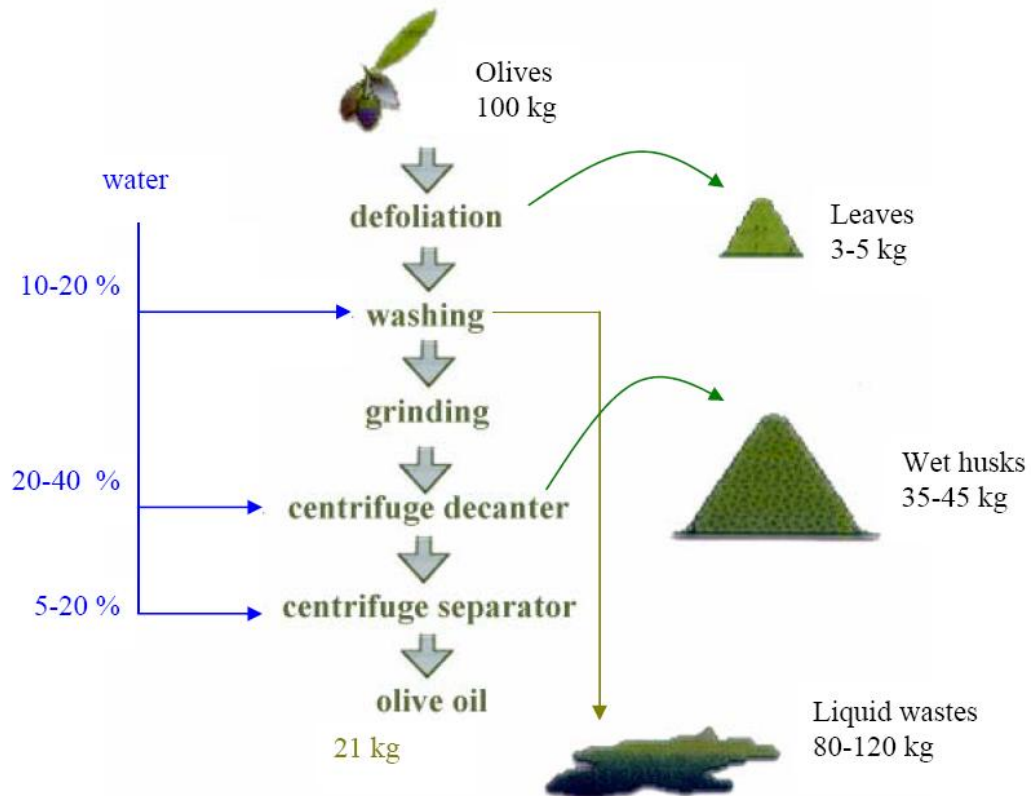
- Την ποικιλία προέλευσης του ελαιοκάρπου, το στάδιο ωριμότητας και τον χρόνο αποθήκευσης πριν την ελαιοποίηση.
- Το χρόνο διαχωρισμού του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη. Στάδιο όπου λαμβάνει χώρα εκπίεση της ελαιοζύμης σε υδραυλικό πιεστήριο με φυγοκέντρησή της, αφού έχει προηγηθεί σχετική αραίωση με χλιαρό νερό σε φυγοκεντρικό διαχωριστή με οριζόντιο άξονα (decanter), κλπ.
- Το διαθέσιμο νερό στο ελαιοτριβείο, καθώς και το κόστος προμήθειάς του. Σε πολλές περιοχές της Ισπανίας, της Εγγύς Ανατολής, της Β. Αφρικής καθώς και σε πολλά ελληνικά νησιά, όταν το νερό είναι λιγιστό αλλά και ακριβό, το πλύσιμο του ελαιοκάρπου παραλείπεται.
- Τις συνήθειες των διαφόρων ελαιοτριβείων.

Σε γενικές γραμμές όμως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι από 100 kg ελαιοκάρπου παράγονται 100 - 120 kg υγρών αποβλήτων, με μέση ημερήσια τιμή ανά ελαιοτριβείο 15 - 20 τόνους, Διάγραμμα(3) Πιο απλά, για κάθε κιλό παραγόμενου ελαιολάδου δημιουργούνται κατά μέσο όρο 5 κιλά υγρών αποβλήτων μεγάλου οργανικού φορτίου. Όσον αφορά την διάθεση αυτών των αποβλήτων, πρέπει να αναφερθεί ότι από βιβλιογραφικά δεδομένα το 58,3% περίπου των ελαιοτριβείων διοχετεύει τα απόβλητα

του σε ρεματιές, με φυσικό επακόλουθο την κατάληξη τους σε υδατικούς αποδέκτες. Το 11,3% των ελαιοτριβείων διοχετεύουν τα απόβλητά τους κατ' ευθείαν στη θάλασσα και σε ποτάμια και τέλος μόνο το 19,8% σε εδαφικούς αποδέκτες .

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι ο όγκος των παραγόμενων αποβλήτων είναι εποχιακής φύσεως και μικρός σε σύγκριση με εκείνο των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, αλλά και με αυτά του κτηνοτροφικού χώρου, όπως π.χ. τα υγρά απόβλητα, που παράγονται από τα χοιροστάσια, αλλά σημαντικά μεγαλύτερου ρυπαντικού φορτίου.

**Διάγραμμα(2) : Παραγωγή αποβλήτων από 100 Kg ελαιοκάρπου, (Γεωργακάκης, 2002).**



Για τα ελαιοτριβεία, που λειτουργούν στον ελλαδικό χώρο, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο Πίνακα , ο παραγόμενος όγκος αποβλήτων συνήθως κυμαίνεται μεταξύ  $1.000 \text{ m}^3$  και  $4.000 \text{ m}^3$  το χρόνο, ο οποίος για μεγάλα ελαιοτριβεία μπορεί να ανέλθει και στα  $7.000 \text{ m}^3$  .



Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων προέρχονται, όπως προκύπτει και από τα Διαγράμματα επεξεργασίας των δύο τύπων ελαιοτριβείων, από τους χυμούς του ελαιοκάρπου, από τα υπολείμματα της ελαιομάζας, τα οποία είναι ιδιαίτερα αυξημένα στις επιτραπέζιες ποικιλίες, και τέλος από το προστιθέμενο νερό πλυσίματος και αραίωσης της ελαιοζύμης στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του ελαιοκάρπου στο ελαιοτριβείο. Ως εκ τούτου, τα απόβλητα αυτά δεν περιέχουν πρόσθετες χημικές ή άλλου είδους ουσίες ή παθογόνους μικροοργανισμούς, καθώς η μοναδική επέμβαση στην διαδικασία είναι η προσθήκη ζεστού νερού. Επομένως, ο κίνδυνος μόλυνσης είναι πρακτικά ανύπαρκτος, ενώ αντίθετα αυξημένος εμφανίζεται ο κίνδυνος φυτοτοξικότητας, λόγω των οργανικών οξέων και των φαινολικών που περιέχουν.

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων χαρακτηρίζονται από σκούρο χρώμα, σχεδόν μαύρο, είναι θολά, με ιδιάζουσα οσμή, όξινα (pH 4,5 – 5,5) και υψηλού ρυπαντικού φορτίου. Περιέχουν υψηλό ποσοστό νερού και μεγάλο αριθμό διαλυμένων και αιωρούμενων συστατικών, όπως τεμάχια μαλακών ιστών, πούλπα, κολλοειδή, πτητικά οξέα, φαινολικές ενώσεις, άλατα καλίου, φωσφόρου, αμμωνίας, σάκχαρα, υπολείμματα ελαιολάδου, πολυαλκοόλες, διάφορες χρωστικές κλπ. Η σύνθεση, τα φυσικοχημικά και τα βιολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται από την ποικιλία της ελιάς, τις κλιματολογικές συνθήκες, το στάδιο ωρίμανσης, την εποχή συγκομιδής, τη κατάσταση θρέψης, την προσβολή από εχθρούς και παθογόνα, το σύστημα συλλογής, το χρόνο αναμονής του ελαιοκάρπου στο ελαιοτριβείο και τη μέθοδο ελαιοτρίβησης. Τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τα κύρια συστατικά των αποβλήτων δίνονται στους Πίνακες.

Μολονότι, τα απόβλητα των ελαιοτριβείων μπορεί να διαφέρουν από ελαιοτριβείο σε ελαιοτριβείο, όπως και από παρτίδα σε παρτίδα στο ίδιο ελαιοτριβείο, εν τούτοις, είναι απόβλητα με αρκετά ιδιότυπη σύνθεση. Όπως, προαναφέρθηκε περιέχουν ένα πλήθος χημικών ενώσεων, πολλές από τις οποίες απαντώνται σε εκχυλίσματα πολλών άλλων φυτικών ειδών, αλλά και αρκετές οι οποίες είναι χαρακτηριστικές αυτού του είδους των αποβλήτων.

Τα συστατικά αυτά μπορούν άμεσα ή/και έμμεσα να επηρεάσουν την αύξηση των φυτών μέσω των εδαφικών μικροοργανισμών, πολλοί εκ των οποίων είναι δυνατόν να τα χρησιμοποιήσουν ως υποστρώματα αυξήσεως ή/και να τα μετατρέψουν σε άλλα προϊόντα, όπως τοξίνες, ρυθμιστές αυξήσεως, αντιβιοτικά, σταθεροποιητές εδάφους και χουμικές ενώσεις.

Παρά το γεγονός, ότι τα σάκχαρα αποτελούν το σημαντικότερο ποσοτικά τμήμα των αποβλήτων των ελαιοτριβείων, σπουδαιότερες από ποιοτικής πλευράς είναι οι φαινολικές ενώσεις και τα λίπη, οι οποίες προσδίδουν ανεπιθύμητες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες (χρώμα, φυτοτοξικότητα, εμμονή στο περιβάλλον) στα απόβλητα.

ΝΟΜΟΣ	Αρ. Κλασσικού τύπου	Αρ. Φυγοκεντρ. τύπου	Αρ. Συνδυαστικού* τύπου	Σύνολο	Μ.Ο. Δυναμικότητας (του. Ελ./8-ώρες)		
					Κλασσ	kW	Φυγοκ.
ΑΙΤΩΛΟΑ/ΝΙΑ	54	33	15	102	8,3	60	16,9
ΑΡΓΟΛΙΔΑ	53	38	13	104	5,9	67	14,7
ΑΡΚΑΔΙΑ	12	30	0	42	8,1	76	14,5
ΑΡΤΑ	0	7	0	7	0,0	83	20,0
ΑΤΤΙΚΗ	20	34	2	56	5,4	67	14,3
ΑΧΑΪΑ	87	60	0	148	9,2	80	15,2
ΒΟΙΩΤΙΑ	0	47	0	47	0,0	95	14,0
ΔΡΑΜΑ	0	2	0	2	0,0	88	14,0
ΑΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	17	29	2	48	3,6	232	9,0
ΕΒΡΟΣ	0	4	0	4	0,0	80	18,0
ΕΥΒΟΙΑ	50	56	0	106	6,4	66	15,4
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ	0	2	0	2	0,0	72	7,6
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	7	38	0	45	9,5	77	15,2
ΗΛΕΙΑ	31	135	0	166	11,2	146	18,6
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	65	249	1	315	9,5	91	18,9
ΘΕΣΣΠΡΩΤΙΑ	20	19	0	39	3,4	51	13,5
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0	6	0	6	0,0	115	24,1
ΚΑΒΑΛΑ	8	12	0	20	7,9	82	13,6
ΚΕΡΚΥΡΑ	35	99	0	134	3,5	66	14,4
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ	8	7	4	19	5,6	66	8,9
ΚΟΡΙΝΘΙΑ	10	80	0	90	5,8	83	13,1
ΛΑΚΩΝΙΑ	119	68	0	187	7,9	69	13,9
ΛΑΡΙΣΑ	0	19	1	20	0,0	78	12,8
ΛΑΣΙΘΙΟΥ	1	73	0	74	12,0	129	26,3
ΛΕΣΒΟΥ	15	57	0	74	13,1	98	19,3
ΛΕΥΚΑΔΑ	20	7	0	28	4,5	39	21,7
ΜΑΓΝΗΣΙΑ	29	31	0	60	5,8	69	13,7
ΜΕΣΣΗΝΙΑ	72	260	0	332	8,2	92	21,2
ΞΑΝΘΗ	0	2	0	2	0,0	88	16,0
ΠΕΡΙΑ	0	5	0	5	0,0	87	13,1
ΠΡΕΒΕΖΑ	3	30	0	33	5,2	87	13,6
ΡΕΘΥΜΝΟ	5	96	0	102	3,9	82	13,8
ΣΑΜΟΣ	14	20	1	35	3,7	63	12,2
ΣΕΡΡΕΣ	1	11	0	12	8,0	103	15,9
ΤΡΙΚΑΛΑ	0	0	5	5	0,0	91	0,0
ΦΘΙΩΤΙΔΑ	4	59	0	65	10,8	106	20,2
ΦΩΚΙΔΑ	0	24	0	24	0,0	76	11,1
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	24	34	1	59	8,5	76	15,5
ΧΑΝΙΑ	7	134	4	145	6,8	109	17,1
ΧΙΟΣ	11	11	0	22	6,3	66	10,0
ΣΥΝΟΛΟ	802	1.928	49	2.786	7,5	89	17,0

\* Χρήση και των δυο συστημάτων – μεικτού τύπου

Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιοτριβείων,  
(Γεωργακάκης, 1994).

Παράμετρος	Όρια τιμών
Νερό	83 – 94%
Οργανικά συστατικά	4 – 16%
Ανόργανα συστατικά	1 – 2%
Πυκνότητα	1.024%
Αγωγιμότητα	800 – 16.000 μS
pH	4,5 – 6,5
Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD <sub>5</sub>	14.000 – 110.000 mg/ l
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, COD	41.400 – 130.000 mg/ l

Συστατικά	Αναλογία (%)	Κύριες ενώσεις
Νερό	83.0 – 92.0	
Λίπη	0.03 – 1.0	Υπολείμματα ελαίου
Αζωτούχες ενώσεις	1.2 – 2.4	Γλουταμίνη, Προλίνη, Ιστιδίνη, Γλυκίνη, Αργινίνη, κλπ.
Σάκχαρα	2.0 – 8.0	Ραφινόζη, Μανόζη, Σακχαρόζη, Γλυκόζη, Αραβινόζη, κλπ.
Οργανικά οξέα	0.5 – 1.5	Οξικό, Κιτρικό, Ηλεκτρικό, Γλυκερινικό, Γαλακτικό, Μηλικό, Μηλονικό, Τρυγικό, κλπ.
Πολυαλκοόλες	0.5 – 1.5	Γλυκερίνη
Πηκτίνες, Ταννίνες	0.4 – 1.5	
Φαινολικές ενώσεις	0.3 – 0.8	Φλαβονοειδή, Φαινόλες, Ελαιουρωπαΐνη, κλπ.
Άλατα (600 °C)	0.4 – 1.5	K, P, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, S

Το κλάσμα των ανόργανων συστατικών των αποβλήτων περιλαμβάνει κυρίως, καλιούχα άλατα (το κάλιο ως  $K_2O$ , αποτελείτο 60 - 70% του συνόλου), φωσφορικά άλατα του ασβεστίου και του σιδήρου (ο φωσφόρος εκφρασμένος ως  $P_2O_5$  ανέρχεται στο 14% του συνόλου των αλάτων) και σε μικρότερο ποσοστό άλατα νατρίου, μαγνησίου, χλωριούχα, θειικά όπως και ίχνη χαλκού, μαγγανίου και άλλων μετάλλων. Πιο αναλυτικά, η επί τοις εκατό, σύσταση του κλάσματος των ανόργανων συστατικών φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα(2.1) . Τα ανόργανα συστατικά, όπως το κάλιο, ο φώσφορος, το μαγνήσιο, καθώς

και πολλά ιχνοστοιχεία, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της μεγάλης θρεπτικής τους αξίας.

Βέβαια, τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται ενωμένα με οργανικά, κυρίως, συστατικά και κατά συνέπεια δεν είναι άμεσα διαθέσιμα στα φυτά. Μπορούν όμως να καταστούν διαθέσιμα και αξιοποιήσιμα μετά την εποικοδομητική δράση των μικροοργανισμών στα απόβλητα αυτά.

*Η επί τοις εκατό σύσταση του κλάσματος των ανόργανων αλάτων,  
(Αποστολοπούλου Ε., 2000).*

K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	FeO	MgO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	CO <sub>2</sub>
0,87%	0,25%	0,12%	0,10%	0,01%	0,70%	0,50%	0,04%	0,03%	0,37%

Πίνακας (2.1)

Θεωρείται πλέον βέβαιο ότι για την φυτοτοξική δράση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων ευθύνονται οι φαινολικές ενώσεις τους, στις οποίες πρέπει να προστεθούν και οι πολυμερείς ουσίες καστανόμαυρου χρώματος, που σχηματίζονται δευτερογενώς, μέσω ενζυμικών αντιδράσεων, που αρχίζουν αμέσως μετά την έκθλιψη του ελαιοκάρπου. Δευτερευόντως, υπεύθυνα για την φυτοτοξικότητα των αποβλήτων των ελαιοτριβείων είναι και τα οργανικά οξέα. Οι συγκεντρώσεις αυτών είναι δυνατόν να αυξηθούν σε ορισμένες συνθήκες των αποβλήτων, με αποτέλεσμα την αύξηση των φυτοτοξικών ιδιοτήτων και των δυσάρεστων οσμών.

Η περιεκτικότητα αυτών των αποβλήτων σε άζωτο είναι σχετικά μικρή και απ' αυτή, μόνο ένα μικρό ποσοστό είναι πρωτεϊνικής φύσεως (από το ολικό άζωτο μόνο το 12 - 14% βρίσκεται υπό μορφή αμινοξέων).

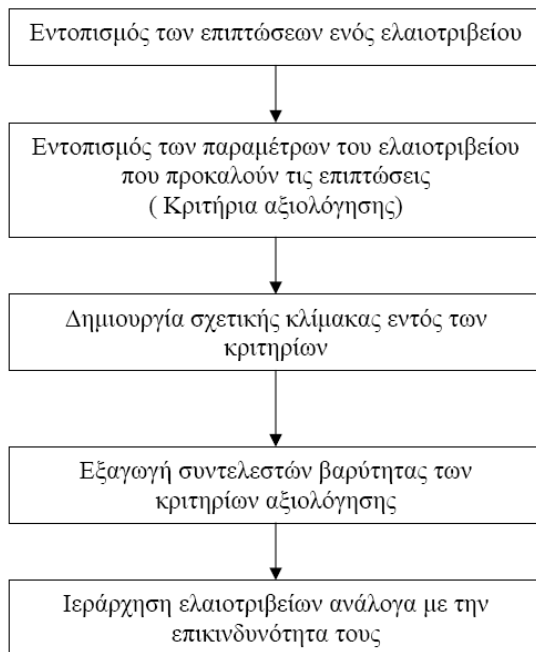
Από τα πρωτογενή συστατικά των αποβλήτων των ελαιοτριβείων, το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι φαινολικές ενώσεις και τα λίπη για τους εξής λόγους :

- Περιορίζουν το φάσμα και την δράση των μικροοργανισμών, αυτών που θα μπορούσαν να εγκατασταθούν και να αποδομήσουν τα άλλα συστατικά.
- Προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι φυτών και πολλών ευαίσθητων υδρόβιων ζωικών ειδών.
- Βιοαποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες, αλλά σχετικά ολιγάριθμες ομάδες μικροοργανισμών.

Εν κατακλείδι, μπορεί να λεχθεί ότι τα απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι το υδατικό εκχύλισμα του ελαιοκάρπου, το οποίο εκ προελεύσεως είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, έχει αυξημένο οργανικό φορτίο και φυτοτοξικές ιδιότητες. Επομένως, η αλόγιστη διάθεση τους εγκυμονεί κινδύνους για το περιβάλλον. Θα πρέπει όμως να τονιστεί και το γεγονός ότι τα απόβλητα αυτά είναι κατά κανόνα ελεύθερα ενώσεων υψηλού περιβαλλοντικού κινδύνου και δεν περιέχουν, όπως άλλοι τύποι βιομηχανικών αποβλήτων, βαρέα μέταλλα, αμίαντο ή μη βιοαποδομήσιμες σύνθετες οργανικές ουσίες.

## 2.2 ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ

Στις παραγράφους που ακολουθούν πραγματοποιείται μια ανάλυση του περιβαλλοντικού και κατ' επέκταση του κοινωνικού και οικονομικού κινδύνου που συνεπάγεται η ύπαρξη και η λειτουργία των ελαιοτριβείων. Η επικινδυνότητα αποτελεί ένα δείκτη, σε σχετική κλίμακα, που εκφράζει την πιθανότητα ύπαρξης δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον και η ανάλυση της ακολουθεί τα βήματα του διαγράμματος(6)



*Διάγραμμα ροής ανάλυσης επικινδυνότητας ελαιοτριβείων*

(Διάγραμμα 3)

## 2.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι πιθανές επιπτώσεις των ελαιοτριβείων, στη γενική τους μορφή, βρέθηκαν από τη ΚΥΑ αριθμ. 69269/5387/1990, «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε).

Οι πιθανές επιπτώσεις που ένα ελαιοτριβείο μπορεί να προκαλέσει είναι οι εξής:

### 1. Διαταραχή του εδάφους

- Καταστροφή, επικάλυψη ή αλλαγή οποιουδήποτε μοναδικού γεωλογικού ή φυσικού χαρακτηρισμού.
- Αλλαγές (ποσοτικές και ποιοτικές) στη δημιουργία λάσπης, στην εναπόθεση ή διάβρωση που μπορούν να αλλάξουν την κοίτη ενός ποταμού ή ρυακιού ή τον πυθμένα της θάλασσας ή οποιουδήποτε κόλπου, ορμίσκου ή λίμνης.

### 2. Επιπτώσεις στον αέρα.

- Δυσάρεστες οσμές.
- Ατμοσφαιρική ρύπανση.

### 3. Επιπτώσεις στα υπόγεια νερά.

- Εισροή υγρών αποβλήτων σε υπόγεια νερά με μεταβολή (υποβάθμιση) της ποιότητας τους.
- Αλλαγές στο ρυθμό απορρόφησης στις οδούς αποστράγγισης.
- Αλλαγή στην ποσότητα των υπόγειων υδάτων δι' απευθείας απόληψης αυτού.
- Σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού, που θα ήταν κατά τα άλλα διαθέσιμο για το κοινό (ύδρευση – άρδευση).

### 4. Επιπτώσεις σε χείμαρρο ή ποταμό.

- Απορρίψεις υγρών αποβλήτων σε χείμαρρο ή ποταμό με μεταβολή (υποβάθμιση) της ποιότητας τους.
- Αλλαγές στο ρυθμό απορρόφησης στις οδούς αποστράγγισης ή στο ρυθμό και την ποσότητα απόπλυσης του εδάφους.

- Αλλαγή στην ποσότητα των υδάτων χειμάρρου ή ποταμού δι' απευθείας απόληψης αυτού.
- Σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού, που θα ήταν κατά τα αλλά διαθέσιμο για το κοινό (ύδρευση – άρδευση).

5. Επιπτώσεις στη θάλασσα ή σε κλειστό κόλπο.

- Απορρίψεις υγρών αποβλήτων στη θάλασσα ή σε κλειστό κόλπο με μεταβολή της ποιότητας του.

6. Διαταραχή στη χλωρίδα.

- Αλλαγή στην ποικιλότητα των ειδών ή στο αριθμό οποιωνδήποτε ειδών και φυτών.
- Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπάνιων ή υπό εξαφάνιση ειδών φυτών.
- Παρεμπόδιση της φυσιολογικής ανανέωσης των υπαρχόντων ειδών φυτών.
- Καταστροφή ή μείωση της έκτασης οποιασδήποτε αγροτικής καλλιέργειας.

7. Διαταραχή στην πανίδα.

- Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών ζώων (πτηνών, ζώων περιλαμβανόμενων των ερπετών, ψαριών και θαλασσινών, βενθικών οργανισμών ή εντόμων).
- Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπάνιων ή υπό εξαφάνιση ειδών ζώων.
- Παρεμπόδιση της αποδημίας ή των μετακινήσεων των ζώων.
- Υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος των υπαρχόντων ψαριών ή άγριων ζώων.

8. Πρόβλημα θορύβου.

- Αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου.
- Έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου.

9. Πρόβλημα στις χρήσεις γης.

- Σημαντική μεταβολή της παρούσας ή της προγραμματισμένης για το μέλλον χρήσης γης.

10. Ζημιά φυσικών πόρων.

- Αύξηση του ρυθμού χρήσης /αξιοποίησης οποιουδήποτε φυσικού πόρου.

11. Επηρεασμός της κατάστασης κατοικίας.

- Την υπάρχουσα κατάσταση κατοικίας.

12. Πρόβλημα στην κυκλοφορία.

- Δημιουργία σημαντικής επιπρόσθετης κίνησης τροχοφόρων.
- Επιπτώσεις στις υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης.
- Αύξηση των κυκλοφοριακών κινδύνων.

13. Πρόβλημα στη χρήση καυσίμων – ενέργειας.

- Χρήση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμων ή ενέργειας.

14. Σημαντικές αλλαγές σε τομείς κοινής ωφέλειας.

- Στην ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στους εξής τομείς κοινής ωφέλειας: υπονόμους ή σηπτικούς βόθρους, σε στερεά απόβλητα και διάθεση αυτών.

15. Προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία.

- Δημιουργία οποιουδήποτε κινδύνου ή πιθανότητας κινδύνου για βλάβη της ανθρώπινης υγείας (μη συμπεριλαμβανομένης της ψυχικής υγείας).

16. Διατάραξη της αισθητικής του τοπίου.

- Παρεμπόδιση οποιασδήποτε κοινής θέας ή να καταλήξει στη δημιουργία ενός μη αποδεκτού αισθητικά τοπίου, προσιτού στην κοινή θέα.

17. Διατάραξη της αναψυχής.



- Επιπτώσεις στην ποιότητα ή ποσότητα των υπάρχων δυνατοτήτων αναψυχής.
- Επιπτώσεις στην πολιτιστική κληρονομιά.
- Προβλήματα στην αξιοποίηση ή καταστροφή κάποιας αρχαιολογικής περιοχής.

18. Προβλήματα σε υπό προστασία περιοχές.

- Το ελαιοτριβείο δεν μπορεί να βρίσκεται εντός υπό προστασίας περιοχή, σύμφωνα με το άρθρο 21 του Ν. 1650/86, δηλαδή εντός: Ζ.Ο.Ε, περιοχών απόλυτης προστασίας της φύσης, περιοχών προστασίας της φύσης, εθνικών πάρκων, προστατευμένων φυσικών σχηματισμών, προστατευμένων τοπίων και στοιχείων του τοπίου, περιοχών οικοανάπτυξης.

19. Προβλήματα σε περιοχές CORINE.

Το ελαιοτριβείο δεν μπορεί να βρίσκεται εντός ή η λειτουργία του να επηρεάζει αρνητικά περιοχή, καταγεγραμμένη από τη βάση δεδομένων CORINE.

## **2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ.**

Η επεξεργασία και η διάθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείων (ΥΑΕ) μπορεί να επιτευχθεί απευθείας στο ελαιουργείο ή σε κεντρικό εργοστάσιο επεξεργασίας, το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί είτε τα ΥΑΕ που παράγονται από τα διάφορα ελαιοτριβεία ή το φυτικό νερό της ελιάς είτε και τα αστικά λύματα.

Η επιλογή της θέσης του εργοστασίου επεξεργασίας εξαρτάται από πολλούς τοπικούς παράγοντες και από την επιλεγόμενη μέθοδο επεξεργασίας. Γενικά, τα κεντρικά εργοστάσια επεξεργασίας, εάν και απαιτούν μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς των ΥΑΕ, είναι περισσότερο οικονομικά για να λειτουργήσουν. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα εργοστάσια μπορούν να λειτουργήσουν με πιο ειδικευμένο προσωπικό, με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερη απόδοση όσο αφορά την επεξεργασία των ΥΑΕ από ότι το προσωπικό των ελαιοτριβείων οι οποίοι όπως είναι κατανοητό ενδιαφέρονται περισσότερο για τη διεργασία εξαγωγής του ελαιολάδου. Οι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την καταλληλότητα των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας των ΥΑΕ δίνονται στη συνέχεια.

## **2.5 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ**

Το παραδοσιακό σύστημα των ελαιοπρεσσών παράγει τα “ ισχυρότερα ” ΥΑΕ, με συγκεντρώσεις της τάξης των 100 – 200 g COD/l. Στα συνεχή συστήματα παραγωγής του ελαιολάδου όμως, ο ελαιοπολτός αραιώνεται με αποτέλεσμα να παράγονται πιο αραιωμένα ΥΑΕ. Σύμφωνα όμως με τις πρόσφατες εξελίξεις στην παραγωγή του ελαιολάδου (Διεργασία των 2 – Φάσεων), τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από την ελιά μπορούν να μειωθούν στο ελάχιστο μεταφέροντας τα συγκεκριμένα απόβλητα προς τον ελαιοπυρήνα. Αυτή η τεχνική θεωρείται ότι είναι αρκετά υποσχόμενη αλλά στην πραγματικότητα απλά μεταφέρει το πρόβλημα από τα ελαιοτριβεία στα πυρηνελουργεία, επειδή το λασπώδες στερεό απόβλητο που παράγεται από τη διεργασία των 2 – Φάσεων, πριν την εκχύλιση του με εξάνιο για την παραγωγή πυρηνελαίου, θα πρέπει να ξηραθεί με σημαντικά υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις από ότι στην περίπτωση των παραδοσιακών ή συνεχών διεργασιών παραγωγής του ελαιολάδου.

### **2.5.1 ΑΡΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΑΕ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΕΚΠΡΟΣ**

Η αραιώση μπορεί να επιτευχθεί στο αποχετευτικό σύστημα είτε απευθείας μέσα στο ελαιοτριβείο (κυρίως προσθέτοντας το νερό που χρησιμοποιείται για το πλύσιμο του ελαιοκάρπου) είτε έξω από το ελαιοτριβείο προσθέτοντας αστικά λύματα. Η αραιώση θεωρείται ως θετική ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι λοιπόν είναι προφανώς αρνητική εάν στα σχέδια μας είναι να χρησιμοποιήσουμε μια διεργασία συμπύκνωσης των ΥΑΕ ή την αποθήκευσή τους σε δεξαμενές πριν την επεξεργασία τους, ενώ η αραιώση από μόνη της μειώνει την συγκέντρωση των ΥΑΕ και επομένως μας διευκολύνει να πετύχουμε τα απαιτούμενα κριτήρια που καθορίζονται από τη νομοθεσία για την τελική διάθεση των ΥΑΕ.

### **2.5.2 ΤΟ ΡΥΠΑΝΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΤΩΝ ΥΑΕ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΑΥΤΟ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ .**

Η αναλογία μεταξύ των φορτίων μόλυνσης από τα ελαιοτριβεία και από τον μόνιμο πληθυσμό στον περιβάλλοντα χώρο μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ. Έτσι λοιπόν, όταν το φορτίο των ΥΑΕ είναι χαμηλότερο, σε σχέση με τα αστικά λύματα, τότε μπορούμε να διαθέσουμε τα ΥΑΕ σε ένα υπάρχον ή υπό σχεδιασμό εργοστάσιο επεξεργασίας λυμάτων, με αποτέλεσμα φυσικά να έχουμε μια αρκετά υπολογίσιμη οικονομία κεφαλαίου. Όταν όμως το φορτίο

των ελαιοτριβείων είναι μεγαλύτερο [αναλογία φορτίου (ΥΑΕ) / (Αστικών Λυμάτων)>1], τότε η ανεξάρτητη επεξεργασία των δυο διαφορετικών αποβλήτων θεωρείται ότι είναι η περισσότερο κατάλληλη μέθοδος.

Τέλος θα πρέπει να τονίσουμε ότι, το θέμα της απορρύπανσης των ΥΑΕ είναι ένα αρκετά σύνθετο πρόβλημα το οποίο έχει διαφορετικές βέλτιστες λύσεις ανάλογα με τους διάφορους τοπικούς παράγοντες όπως είναι, η διεργασία εξαγωγής του ελαιολάδου, η δυνατότητα να αποθηκεύσουμε τα απόβλητα και η αναλογία μεταξύ του φορτίου μόλυνσης των ελαιοτριβείων και του φορτίου μόλυνσης που σχετίζεται με τον τοπικό πληθυσμό (Rozzi and Malpei, 1996

### **2.5.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΑΕ**

Η εκτίμηση της βέλτιστης μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ είναι ένα αρκετά πολυσύνθετο πρόβλημα, σύμφωνα με το οποίο θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που παίζουν σημαντικό ρόλο ως προς την επεξεργασία των ΥΑΕ. Αυτοί οι παράγοντες μπορεί να είναι:

Η % μείωση του COD που επιτυγχάνεται σε κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ ,

Το επενδυτικό κόστος της κάθε μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ ,

Το λειτουργικό κόστος ( π.χ. το κόστος κατανάλωσης ενέργειας, νερού, χημικών ουσιών, το κόστος πληρωμής του προσωπικού κ.τ.λ) για την κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ.

Η ποσότητα της ιλύος που παράγεται στην κάθε μέθοδο επεξεργασίας των ΥΑΕ και εάν μπορούμε να τη διαθέσουμε προς τους φυσικούς αποδέκτες ή απαιτείται επιπλέον επεξεργασία της ιλύος,

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κάθε μεθόδου επεξεργασίας των ΥΑΕ ,

Η δυνατότητα που παρουσιάζει κάθε μέθοδος επεξεργασίας των ΥΑΕ ,για την ανάκτηση πολύτιμων συστατικών που περιέχουν τα ΥΑΕ,

Οι λειτουργικές δυσχέρειες που εμφανίζονται σε κάθε μέθοδο ,επεξεργασίας των ΥΑΕ

Ο χρόνος που απαιτείται σε κάθε μέθοδο για ικανοποιητική απορρύπανση των ΥΑΕ.

### 3. ΒΙΟΑΕΡΙΟ

#### 3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

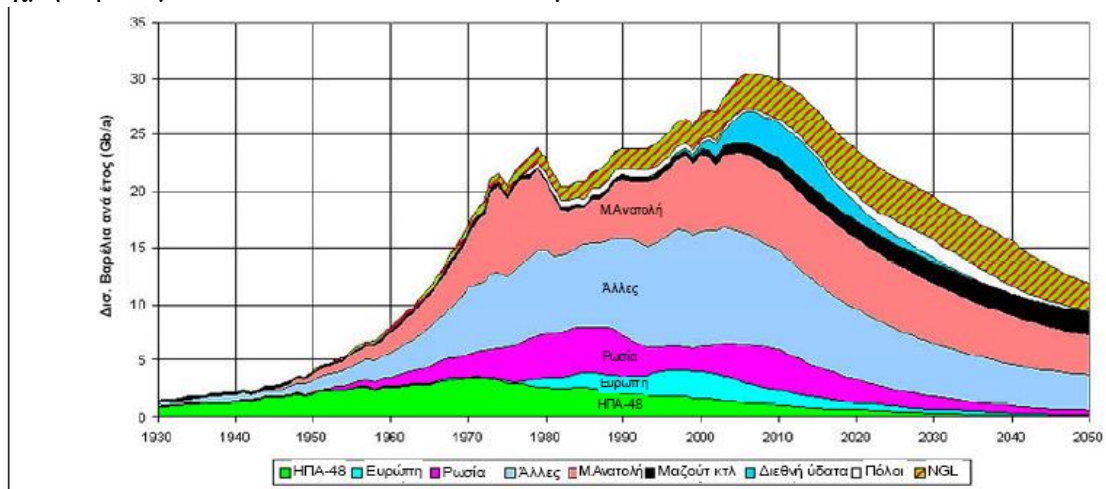
Η παραγωγή και η χρήση του βιοαερίου από την ΑΧ παρέχουν πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικό-οικονομικά οφέλη για το σύνολο και για τους εμπλεκόμενους αγρότες. Η χρήση της αλυσίδας εσωτερικής τιμής της παραγωγής του βιοαερίου ενισχύει τις τοπικές οικονομικές ικανότητες, προστατεύει τις θέσεις εργασίας στις αγροτικές περιοχές και αυξάνει την περιφερειακή αγοραστική δύναμη. Βελτιώνει το βιοτικό επίπεδο και συμβάλλει στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη.

#### Οφέλη για την κοινωνία

##### Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Η παγκόσμια ενεργειακή τροφοδοσία σήμερα εξαρτάται ιδιαίτερα από τις ορυκτές πηγές ενέργειας (ακατέργαστο πετρέλαιο, λιγνίτης, λιθάνθρακας, φυσικός αέριο). Οι πηγές αυτές είναι τα απολιθωμένα κατάλοιπα νεκρών φυτών και ζώων, που έχουν εκτεθεί σε θερμότητα και πίεση στον φλοιό της γης κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών. Για τον λόγο αυτό, τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμοι πόροι και τα αποθέματα τους μειώνονται πολύ γρηγορότερα απ' ό,τι διαμορφώνονται νέα.

Οι οικονομίες σε όλο τον κόσμο σήμερα εξαρτώνται από το αργό πετρέλαιο. Υπάρχει κάποια διαφωνία μεταξύ των επιστημόνων για το πόσο θα διαρκέσει αυτό το ορυκτό καύσιμο, αλλά σύμφωνα με κάποιους ερευνητές, έχει ήδη επέλθει η «πετρελαϊκή αιχμή» ή αναμένεται να επέλθει πολύ σύντομα.



Σενάριο εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου και «πετρελαϊκή αιχμή» (ASPO,2008) (Διάγραμμα 4)

Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, το βιοαέριο από την ΑΧ είναι μόνιμα ανανεώσιμο, καθώς έχει παραχθεί από βιομάζα, η οποία είναι μία έμβια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης. Το βιοαέριο από την ΑΧ δεν βελτιώνει μόνο το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας αλλά συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος.

### 3.2 ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΦΘ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η χρήση των στερεών καυσίμων όπως ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, το ακατέργαστο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μετατρέπει τον άνθρακα, που είναι αποθηκευμένος για εκατομμύρια έτη στον φλοιό της Γης, και τον απελευθερώνει ως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση της υφιστάμενης συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα προκαλεί την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου δεδομένου ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ). Η καύση του βιοαερίου επίσης απελευθερώνει CO<sub>2</sub>, αλλά η κύρια διαφορά, όταν συγκρίνεται με τα ορυκτά καύσιμα, είναι ότι ο άνθρακας στο βιοαέριο ελήφθη πρόσφατα από την ατμόσφαιρα, από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Ο κύκλος άνθρακα του βιοαερίου είναι έτσι κλειστός μέσα σε έναν πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (μεταξύ ενός και αρκετών ετών). Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ μειώνει επίσης τις εκπομπές του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) και του νιτρώδους οξειδίου (N<sub>2</sub>O) από την αποθήκευση και τη χρήση των ζωικών περιττωμάτων ως λίπασμα. Το δυναμικό ΑΦΘ του μεθανίου είναι 23 φορές και του νιτρώδους οξειδίου 296 φορές υψηλότερα απ' ό,τι του διοξειδίου του άνθρακα. Η χρήση του βιοαερίου υποκαθιστά τα ορυκτά καύσιμα από την παραγωγή ενέργειας και τις μεταφορές και μειώνει έτσι τις εκπομπές του CO<sub>2</sub>, του CH<sub>4</sub> και του N<sub>2</sub>O, συμβάλλοντας στο να μετριαστεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

### 3.3 ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Τα ορυκτά καύσιμα είναι περιορισμένα και συγκεντρώνονται σε πολύ λίγες γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη. Αυτό, για τις χώρες που βρίσκονται εκτός αυτής της περιοχής, δημιουργεί ένα μόνιμο και μη ασφαλές αίσθημα εξάρτησης από τις εισαγωγές ενεργειακών πόρων. Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες έχουν σημαντική εξάρτηση από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων από περιοχές πλούσιες σε αυτά, όπως είναι η Ρωσία ή η Μέση Ανατολή. Η ανάπτυξη και υλοποίηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι το βιοαέριο από ΑΧ, στηριζόμενοι σε εθνικούς και περιφερειακούς

πόρους, θα αυξήσει την αειφορία και την ασφάλεια του εθνικού ενεργειακού εφοδιασμού και θα μειώσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας.

### 3.4 ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η αντιμετώπιση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι μια από τις κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής και της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ. Οι Ευρωπαϊκοί στόχοι της ανανεώσιμης ενεργειακής παραγωγής, της μείωσης των εκπομπών ΑΦΘ, και της αειφόρου διαχείρισης των αποβλήτων είναι βασισμένοι στην αποδοχή εκ μέρους των χωρών μελών της ΕΕ να εφαρμόσουν τα κατάλληλα μέτρα για να φθάσουν σε αυτούς. Η παραγωγή και η χρήση του βιοαερίου από την ΑΧ παρέχουν τη δυνατότητα συμμόρφωσης και με τους τρεις αυτούς στόχους συγχρόνως.

### 3.5 ΜΕΙΩΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της παραγωγής βιοαερίου είναι η δυνατότητα μετασχηματισμού των αποβλήτων σε έναν πολύτιμο πόρο, με την χρήση τους ως πρώτη ύλη για την ΑΧ. Πολλές ευρωπαϊκές χώρες αντιμετωπίζουν τα τεράστια προβλήματα που σχετίζονται με μια υπερπαραγωγή οργανικών αποβλήτων από τη βιομηχανία, τη γεωργία και τα νοικοκυριά. Η παραγωγή βιοαερίου είναι ένας άριστος τρόπος συμμόρφωσης με τους όλο και περισσότερο περιοριστικούς εθνικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς σε αυτήν την περιοχή και χρήσης των οργανικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας ακολουθούμενη από την ανακύκλωση ως λιπάσματα. Οι τεχνολογίες του βιοαερίου συμβάλλουν στη μείωση του όγκου των αποβλήτων και των δαπανών για τη διάθεσή τους.

### 3.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ απαιτεί εργατικό δυναμικό για την παραγωγή, συλλογή και μεταφορά της πρώτης ύλης ΑΧ, την κατασκευή του τεχνικού εξοπλισμού, την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη ενός εθνικού τομέα βιοαερίου συμβάλλει στη δημιουργία νέων επιχειρήσεων, κάποιων με σημαντικό οικονομικό δυναμικό, αυξάνει τα εισοδήματα στις αγροτικές περιοχές και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

### 3.7 ΕΥΕΛΙΚΤΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο είναι ένας ευέλικτος ενεργειακός φορέας, κατάλληλος για πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Μία από τις απλούστερες εφαρμογές του βιοαερίου είναι το μαγείρεμα και ο φωτισμός, όπως συμβαίνει σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ στις ανεπτυγμένες χώρες το βιοαέριο χρησιμοποιείται για τη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ή αναβαθμίζεται και τροφοδοτείται στα δίκτυα φυσικού αερίου, χρησιμοποιείται ως καύσιμο οχημάτων ή σε κυψέλες καυσίμου.

### 3.8 ΧΑΜΗΛΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Ακόμα και όταν συγκρίνεται με άλλα βιοκαύσιμα, το βιοαέριο έχει μερικά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι για να γίνει η διεργασία της ΑΧ χρειάζεται τη μικρότερη ποσότητα νερού. Αυτή η πτυχή είναι τόσο σημαντική όσο η ενεργειακή αποδοτικότητα του βιοαερίου, λόγω των αναμενόμενων μελλοντικών ελλείψεων ύδατος σε πολλές περιοχές του κόσμου.

### 3.9 ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΓΡΟΤΕΣ

#### **Εναλλακτικό εισόδημα για τους εμπλεκόμενους αγρότες**

Η παραγωγή της πρώτης ύλης για την λειτουργία των εγκαταστάσεων βιοαερίου καθιστά τις τεχνολογίες του βιοαερίου οικονομικά ελκυστικές για τους αγρότες και συμβάλλει στην αύξηση του εισοδήματός τους. Επίσης, οι αγρότες αποκτούν μια νέα και σημαντική κοινωνική λειτουργία ως προμηθευτές ενέργειας και χειριστές της επεξεργασίας των αποβλήτων.

### 3.10 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤ ΩΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ

Μια εγκατάσταση βιοαερίου δεν είναι μόνο προμηθευτής ενέργειας. Η χωνευμένη πρώτη ύλη βιομάζας, το ονομαζόμενο κομπόστ, είναι ένα πολύτιμο λίπασμα εδάφους, πλούσιο σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο και θρεπτικούς οργανισμούς, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί στα εδάφη με τον συνηθισμένο εξοπλισμό εφαρμογής των υγρών λιπασμάτων και των πολτών. Σε σχέση με το ακατέργαστο ζωικό λίπασμα, το κομπόστ δεν έχει βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης λόγω της ομοιογένειας και της υψηλότερης διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών, την καλύτερη αναλογία C/N και την σχεδόν πλήρη απώλεια οσμών.

### 3.11 ΚΛΕΙΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

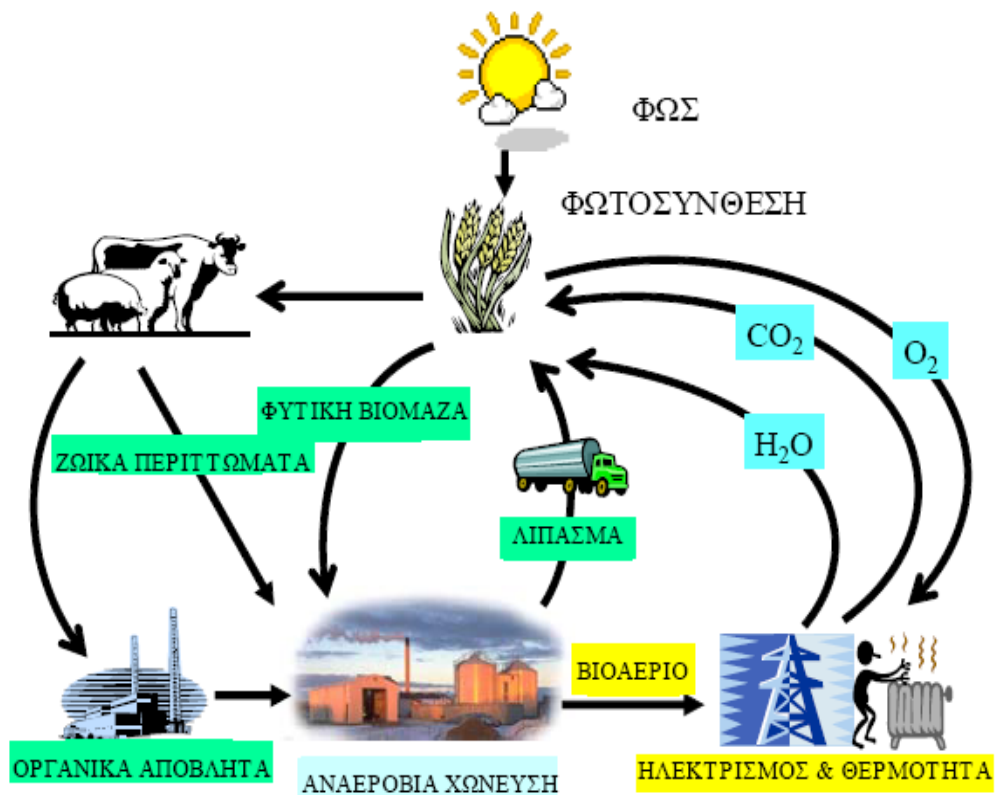
Από την παραγωγή της πρώτης ύλης έως την εφαρμογή του κομπόστ ως λίπασμα, το βιοαέριο από την ΑΧ παρέχει ένα κλειστό κύκλο θρεπτικών συστατικών και άνθρακα (Σχήμα ). Το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και ξανά δεσμεύεται από τη βλάστηση κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Μερικές ενώσεις άνθρακα παραμένουν στο κομπόστ, βελτιώνοντας την περιεκτικότητα σε άνθρακα των εδαφών όταν αυτό εφαρμόζεται ως λίπασμα. Η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να ενσωματωθεί τέλεια στη συμβατική και οργανική καλλιέργεια, όπου το κομπόστ αντικαθιστά τα λιπάσματα, που παράγονται με την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

### 3.12 ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Πολλοί διαφορετικοί τύποι πρώτης ύλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του βιοαερίου: ζωικά περιττώματα και πολτοί, υπολείμματα καλλιέργειών, οργανικά απόβλητα από τη γαλακτοκομική παραγωγή, τις βιομηχανίες τροφίμων και τις αγροτοβιομηχανίες, λάσπη υδάτινων αποβλήτων, οργανικό μέρος των δημοτικών στερεών αποβλήτων, τα οργανικά απόβλητα από τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις εστίασης, ενεργειακές καλλιέργειες κλπ. Βιοαέριο μπορεί επίσης να συλλεχθεί, με ειδικές εγκαταστάσεις, από τις χωματερές.

Ένα κύριο πλεονέκτημα της παραγωγής βιοαερίου είναι η δυνατότητα χρήσης τύπων «υγρής βιομάζας» ως πρώτη ύλη, που χαρακτηρίζονται από περιεχόμενο υγρασίας περισσότερο από 60-70% (π.χ. ιλύς καθαρισμού λυμάτων, πολτός από τις γαλακτοκομικές μονάδες και τα χοιροτροφεία ή λάσπη επίπλευσης από την επεξεργασία τροφίμων). Τα τελευταία χρόνια, ένα πλήθος από ενεργειακές καλλιέργειες (σιτηρά, αραβόσιτος, αγριοκράμβη), χρησιμοποιήθηκαν κατά ένα μεγάλο μέρος ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου σε χώρες όπως η Αυστρία ή η Γερμανία. Εκτός από αυτές, όλα τα είδη γεωργικών υπολειμμάτων, οι κατεστραμμένες συγκομιδές και καλλιέργειες ακατάλληλες για τροφή ή προκύπτουσες ως αποτέλεσμα της δυσμενούς ανάπτυξης και δυσμενών καιρικών συνθηκών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν βιοαέριο και λίπασμα. Ένας αριθμός ζωικών υποπροϊόντων, μη κατάλληλων για κατανάλωση από ανθρώπους, μπορούν επίσης να υποβληθούν σε επεξεργασία στις εγκαταστάσεις βιοαερίου.

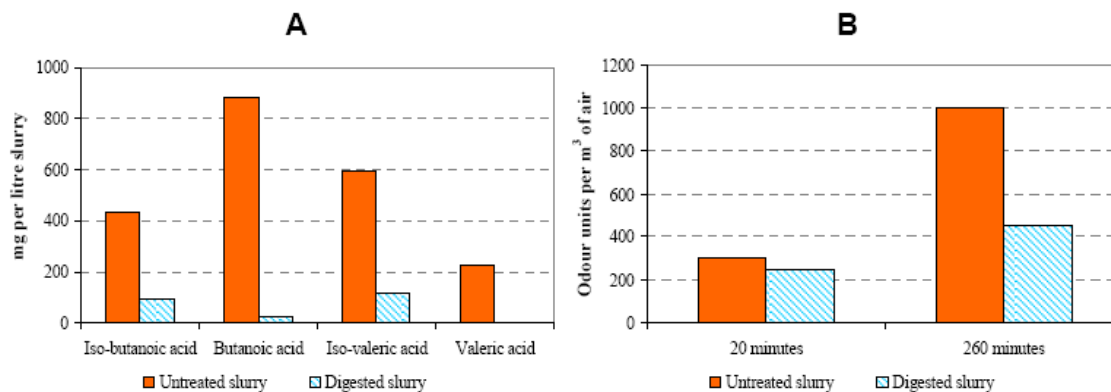




Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου από ΑΧ (Τ. Al Seadi, 2002)(Διάγραμμα 5)

### 3.13 ΜΕΙΟΥΜΕΝΕΣ ΟΣΜΕΣ ΚΑΙ ΜΥΓΓΕΣ

Η αποθήκευση και η εφαρμογή του υγρού λιπάσματος, της ζωικής κοπριάς και πολλών οργανικών αποβλήτων αποτελούν την πηγή επίμονων, δυσάρεστων οσμών και προσέλκυσης μυγών. Η ΑΧ μειώνει αυτές τις οσμές κατά 80% (Σχήμα ). Το κομπόστ είναι σχεδόν άοσμο και οι υπόλοιπες αναθυμιάσεις αμμωνίας εξαφανίζονται σε λίγες ώρες μετά από την εφαρμογή.



(A) Συγκεντρώσεις των πτητικών λιπαρών οξέων με δυσάρεστη οσμή στον μη επεξεργασμένο και χωνευμένο πολτό. (B) Η συγκέντρωση οσμών σε δείγματα αέρα που συλλέχθηκαν επάνω από τους αγρούς μετά από την εφαρμογή του μη επεξεργασμένου και του χωνευμένου πολτού (Hansen et al., 2004)(διάγραμμα 6)

### 3.14 ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η χρήση του κομπόστ ως λίπασμα βελτιώνει την κτηνιατρική ασφάλεια, όταν συγκρίνεται με τα μη επεξεργασμένα περιττώματα ζώων και τους πολτούς. Η ΑΧ υπονοεί την ελεγχόμενη υγιεινή του κομπόστ, προκειμένου να είναι κατάλληλο για τη χρήση του ως λίπασμα. Η υγιεινή του κομπόστ μπορεί να παρασχεθεί μέσω της παραμονής στη θερμοφιλή θερμοκρασία χώνευσης, την παστερίωση ή την αποστείρωση υπό πίεση, ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο στόχος είναι να αδρανοποιηθούν τα παθογόνα, να καθαριστούν οι σπόροι και οι άλλοι βιολογικοί κίνδυνοι και να σπάσει η αλυσίδα της μετάδοσης ασθενειών.

### 3.15 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΧ

#### Παρούσα κατάσταση και τάσεις εξέλιξης της ΑΧ

Κατά τα τελευταία έτη οι παγκόσμιες αγορές για το βιοαέριο αυξήθηκαν κατά 20 ως 30% το χρόνο και πολλές χώρες έχουν αναπτύξει σύγχρονες τεχνολογίες βιοαερίου και έχουν πετύχει να καθιερώσουν ανταγωνιστικές εθνικές αγορές βιοαερίου μετά από δεκαετίες εντατικής Ε&ΤΑ λαμβάνοντας σημαντικές κυβερνητικές επιχορηγήσεις και δημόσια υποστήριξη.

Ο Ευρωπαϊκός τομέας του βιοαερίου αριθμεί χιλιάδες εγκαταστάσεις, και χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία, η Δανία και η Σουηδία είναι μεταξύ των τεχνικών προδρόμων, με τον μεγαλύτερο αριθμό σύγχρονων εγκαταστάσεων βιοαερίου. Ένας σημαντικός αριθμός τέτοιων εγκαταστάσεων λειτουργούν επίσης σε άλλα μέρη του κόσμου. Στην Κίνα, εκτιμάται ότι το 2006 λειτουργούσαν πάνω από 18 εκατομμύρια

αγροτικοί οικιακοί χωνευτήρες βιοαερίου, και το συνολικό δυναμικό βιοαερίου της Κίνας υπολογίζεται ότι είναι 145 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Στην Ινδία την περίοδο αυτή βρίσκονται σε λειτουργία περίπου 5 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου μικρής κλίμακας. Άλλες χώρες όπως το Νεπάλ και το Βιετνάμ έχουν επίσης σημαντικούς αριθμούς οικιακών εγκαταστάσεων βιοαερίου πολύ μικρής κλίμακας.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ασία χρησιμοποιούν απλές τεχνολογίες, και επομένως είναι εύκολο να σχεδιαστούν και να γίνει αναπαραγωγή τους. Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, χώρες όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς και πολλές χώρες της Λατινικής Αμερικής έχουν ξεκινήσει την ανάπτυξη σύγχρονων τομέων βιοαερίου και παράλληλα εφαρμόζονται ευνοϊκά πολιτικά πλαίσια, για την υποστήριξη αυτής της ανάπτυξης. Σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες σε συνδυασμό με εφαρμογές σε πλήρη κλίμακα διεξάγονται σε όλο τον κόσμο, με σκοπό την βελτίωση των τεχνολογιών μετατροπής, καθώς και της ευστάθειας και απόδοσης της λειτουργίας και της διεργασίας. Συνεχώς αναπτύσσονται και δοκιμάζονται νέοι χωνευτήρες, νέοι συνδυασμοί υποστρωμάτων ΑΧ, συστήματα τροφοδοσίας, εγκαταστάσεις αποθήκευσης και άλλες συνιστώσες του εξοπλισμού.

Παράλληλα με τους παραδοσιακούς τύπους πρώτης ύλης ΑΧ, σε μερικές χώρες έχει εισαχθεί η χρήση ενεργειακών καλλιεργείων για την παραγωγή βιοαερίου, ενώ ερευνητικές προσπάθειες καταβάλλονται προς την κατεύθυνση της αύξησης της παραγωγικότητας και της ποικιλομορφίας των ενεργειακών καλλιεργείων καθώς και για την αξιολόγηση του δυναμικού τους για την παραγωγή βιοαερίου. Έχουν εισαχθεί νέες πρακτικές καλλιέργειας και αναμένεται να καθοριστούν νέα συστήματα αμειψισπορών, όπου η δια-καλλιέργεια και η συνδυασμένη καλλιέργεια αποτελούν επίσης αντικείμενα εντατικής έρευνας.

Η χρήση του βιοαερίου για συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) έχει καταστεί μια τυποποιημένη εφαρμογή για το κύριο μέρος των σύγχρονων εφαρμογών του βιοαερίου στην Ευρώπη. Σε χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία και η Γερμανία, αναβαθμισμένο βιοαέριο χρησιμοποιείται ως βιοκαύσιμο στις μεταφορές. Σε αυτές τις χώρες εγκαθίστανται δίκτυα σταθμών αναβάθμισης και πλήρωσης με καύσιμο. Η αναβάθμιση και τροφοδότηση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή και οι πρώτες εγκαταστάσεις, στη Γερμανία και την Αυστρία, τροφοδοτούν με βιο-μεθάνιο τα δίκτυα του φυσικού αερίου. Η νεώτερη χρήση του βιοαερίου είναι στις κυψέλες καυσίμου, οι οποίες αποτελούν μία ώριμη εμπορική τεχνολογία, και ήδη λειτουργούν σε χώρες όπως η Γερμανία και οι ΗΠΑ.

Η συνδυασμένη παραγωγή βιοκαυσίμων (βιοαέριο, βιοαιθανόλη και βιοντίζελ), τροφίμων και πρώτων υλών για τη βιομηχανία, ως τμήμα της ίδιας αρχής των βιοδυλιστηρίων αποτελεί σήμερα έναν από τους σημαντικούς τομείς της έρευνας, όπου το βιοαέριο παρέχει την ενέργεια διεργασίας για την παραγωγή των υγρών βιοκαυσίμων

και χρησιμοποιεί τα απόβλητα υλικά της διεργασίας ως πρώτη ύλη για την ΑΧ. Η συνδυασμένη αρχή των βιοδυλιστηρίων θεωρείται ότι μπορεί να προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα, τις οικονομικές επιδόσεις και τη μείωση των εκπομπών ΑΦΘ.

Γι' αυτό το λόγο, στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο έχουν υλοποιηθεί διάφορα πιλοτικά έργα και τα αποτελέσματα τους σε πλήρη κλίμακα θα είναι διαθέσιμα τα επόμενα έτη.

### 3.16 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Οι υπάρχουσες πηγές βιομάζας στον πλανήτη, παρέχουν μία ιδέα για το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Το δυναμικό αυτό εκτιμήθηκε από διάφορους ειδήμονες και επιστήμονες, σύμφωνα με διάφορα σενάρια και υποθέσεις. Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων αυτών, το τελικό συμπέρασμα όλων ήταν ότι σήμερα χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό μέρος αυτού του δυναμικού, ενώ υπάρχει δυνατότητα σημαντικής αύξησης της πραγματικής παραγωγής του βιοαερίου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Βιομάζας (ΑΕΒΙΟΜ) υπολογίζει ότι η Ευρωπαϊκή παραγωγή ενέργειας που βασίζεται στην βιομάζα μπορεί να αυξηθεί από τα 72 Μtoe που ήταν το 2004 σε 220 Μtoe το 2020. Το μεγαλύτερο δυναμικό για αύξηση εμφανίζει η βιομάζα που προέρχεται από τη γεωργία όπου το βιοαέριο παίζει σημαντικό ρόλο. Σύμφωνα με την ΑΕΒΙΟΜ, 20 έως 40 εκατομμύρια εκτάρια (Mha) εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, χωρίς καμία επίδραση στον ευρωπαϊκό ανεφοδιασμό με τρόφιμα.

Το Γερμανικό Ινστιτούτο για την Ενέργεια και το Περιβάλλον δηλώνει ότι το δυναμικό του βιοαερίου στην Ευρώπη είναι πολύ υψηλό, τόσο που είναι δυνατό να αντικαταστήσει την συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου, μέσω της έγχυσης αναβαθμισμένου βιοαερίου (βιομεθάνιο) στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Η εκτίμηση του δυναμικού του βιοαερίου στην Ευρώπη εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες και υποθέσεις που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς, όπως για παράδειγμα η διαθεσιμότητα των γαιών για γεωργικές χρήσεις που δεν έχει επιπτώσεις στην παραγωγή τροφίμων, η παραγωγικότητα των ενεργειακών καλλιεργειών, η παραγωγή μεθανίου από τα υποστρώματα των πρώτων υλών και η ενεργειακή αποδοτικότητα της τελικής χρήσης του βιοαερίου.

### 3.17 ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η ΑΧ είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα όπως τα ιζήματα θαλάσσιου ύδατος, το στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη τύρφης. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της ΑΧ είναι το *βιοαέριο* και το *κομπόστ*. Όταν το υπόστρωμα για την ΑΧ είναι ένα ομοιογενές μίγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών (π.χ. ζωικοί πολτοί και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων) τότε έχουμε την λεγόμενη «συγχώνευση» η οποία είναι κοινή με πολλές από τις εφαρμογές του βιοαερίου σήμερα.

#### **Υποστρώματα για την αναερόβια χώνευση**

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ . Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου στην Ευρώπη παρατίθενται παρακάτω και στον Πίνακα(3)

- Ζωικά περιττώματα και πολτοί
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα που μπορούν να υποστούν χώνευση από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων και από τις επιχειρήσεις εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Λυματολάσπη
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο, τριφύλλι)

**Βιοαπόβλητα, κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων 2007 (EWC)(Πίνακας 3)**

Κωδικός αποβλήτων	Περιγραφή αποβλήτων	
02 00 00 <sup>1</sup>	Απόβλητα από τη γεωργία, τη δενδροκτηποκομία, τις υδατοκαλλιέργειες, τη δασοκομία, το κυνήγι και την αλιεία, την προετοιμασία και επεξεργασία των τροφίμων	Απόβλητα από τη γεωργία, τη δενδροκτηποκομία, την υδατοκαλλιέργεια, τη δασοκομία, το κυνήγι και την αλιεία
		Απόβλητα από την προετοιμασία και την επεξεργασία του κρέατος, των ψαριών και άλλων τροφίμων ζωικής προέλευσης
		Απόβλητα από την προετοιμασία και την επεξεργασία των φρούτων, των λαχανικών, των δημητριακών, των ελαίων, του κακάο, του τσαγιού και του καπνού- την κονσερβοποιία - την παραγωγή ζύμης και παραγών ζύμης, την προετοιμασία και ζύμωση μελάσσας
		Απόβλητα από την επεξεργασία ζάχαρης
		Απόβλητα από τη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων
		Απόβλητα από την αρτοποιία και την ζαχαροπλαστική
		Απόβλητα από την παραγωγή των οινόπνευματούχων και μη ποτών (εκτός από τον καφέ, το τσάι και το κακάο)
03 00 00	Απόβλητα από την επεξεργασία ξυλείας και την παραγωγή κουφομάτων, επίπλων, πολτού, χαρτιού και χαρτονιού	Απόβλητα από την επεξεργασία της ξυλείας και την παραγωγή κουφομάτων και επίπλων
		Απόβλητα από την παραγωγή και την επεξεργασία πολτού, χαρτιού και χαρτονιών
04 00 00	Απόβλητα από τις βιομηχανίες δερμάτων, γυνών και τις κλωστοϋφαντουργίες	Απόβλητα από τη βιομηχανία δέρματος και γούνας
		Απόβλητα από την κλωστοϋφαντουργία
15 00 00	Απόβλητα συσκευασιών, απορροφητικά, υφάσματα καθαρισμού, υλικά φίλτρων και προστατευτικό ιματισμό ή μη καθοριζόμενα αλλιώς	Συσκευασίες (συμπεριλαμβανομένων των χωριστά συλλεχθέντων δημοτικών αποβλήτων από συσκευασίες)
19 00 00	Απόβλητα από τις εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων, τις εξωτερικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας υδάτινων αποβλήτων και την προετοιμασία του πόσιμου νερού και του ύδατος για βιομηχανική χρήση	Απόβλητα από την αναερόβια επεξεργασία των αποβλήτων
		Απόβλητα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υδάτων αποβλήτων που δεν διευκρινίζονται αλλιώς
		Απόβλητα από την προετοιμασία του πόσιμου νερού ή του ύδατος για βιομηχανική χρήση
20 00 00	Δημοτικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρόμοια εμπορικά, βιομηχανικά και σχολικά απόβλητα), συμπεριλαμβανομένων των χωριστά συλλεχθέντων μερών	Χωριστά συλλεχθέντα μέρη (εκτός από αυτά του 15 01)
		Απόβλητα κήπων και πάρκων (συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων των νεκροταφείων)
		Άλλα δημοτικά απόβλητα

Η χρήση των ζωικών περιττωμάτων και πολτών ως πρώτη ύλη για την ΑΧ έχει μερικά πλεονεκτήματα λόγω των ιδιοτήτων τους:

- Του φυσικού περιεχομένου τους σε αναερόβια βακτηρίδια.
- Του υψηλού περιεχομένου τους σε νερό (4-8% ΞΟ στους πολτούς), το οποίο ενεργεί ως διαλύτης για τα άλλα ομο-υποστρώματα και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμιξη και ροή της βιομάζας.
- Της οικονομικής τιμής.
- Της υψηλής προσβασιμότητας, καθώς συλλέγονται ως υπόλειμμα από τη ζωική καλλιέργεια.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών ΑΧ οι γνωστές ως «ειδικού προορισμού»

ενεργειακές καλλιέργειες (ΕΠΕΚ), οι οποίες καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας αντίστοιχα με την παραγωγή βιοαερίου. Οι ΕΠΕΚ μπορεί να είναι ποώδεις (χλόη, αραβόσιτος, αγριοκράμβη κλπ.) αλλά και ξυλώδεις καλλιέργειες (ιτιά, λεύκα, βελανιδιά), αν και οι ξυλώδεις καλλιέργειες χρειάζονται ειδική προ-επεξεργασία για την απολιγνίτωσή τους πριν την ΑΧ.

Επιπλέον, τα υποστρώματα της ΑΧ μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με διάφορα κριτήρια: την προέλευσή τους, την ξηρή ουσία (ΞΟ), την παραγωγή περιεχόμενου μεθανίου κλπ. Ο Πίνακας παρέχει μια επισκόπηση των χαρακτηριστικών μερικών από τους τύπους των κατάλληλων για χώνευση πρώτων υλών. Τα υποστρώματα με περιεκτικότητα ΞΟ χαμηλότερη από 20% χρησιμοποιούνται για την λεγόμενη υγρή χώνευση (υγρή ζύμωση). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τους ζωικούς πολτούς και κοπριές καθώς επίσης και διάφορα υγρά οργανικά απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων. Όταν η περιεκτικότητα σε ΞΟ είναι αρκετά υψηλή (π.χ. 35%), τότε μιλάμε για ξηρά χώνευση (ξηρά ζύμωση), που είναι χαρακτηριστική για τις ενεργειακές καλλιέργειες και τις χορτονομές. Η επιλογή του τύπου και της ποσότητας της πρώτης ύλης για το μίγμα του υποστρώματος της ΑΧ εξαρτάται από την περιεκτικότητα ΞΟ καθώς επίσης και από την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, λιπίδια και πρωτεΐνες.

**Τα χαρακτηριστικά μερικών τύπων κατάλληλων για χώνευση πρώτων υλών(πίνακας3.1)**

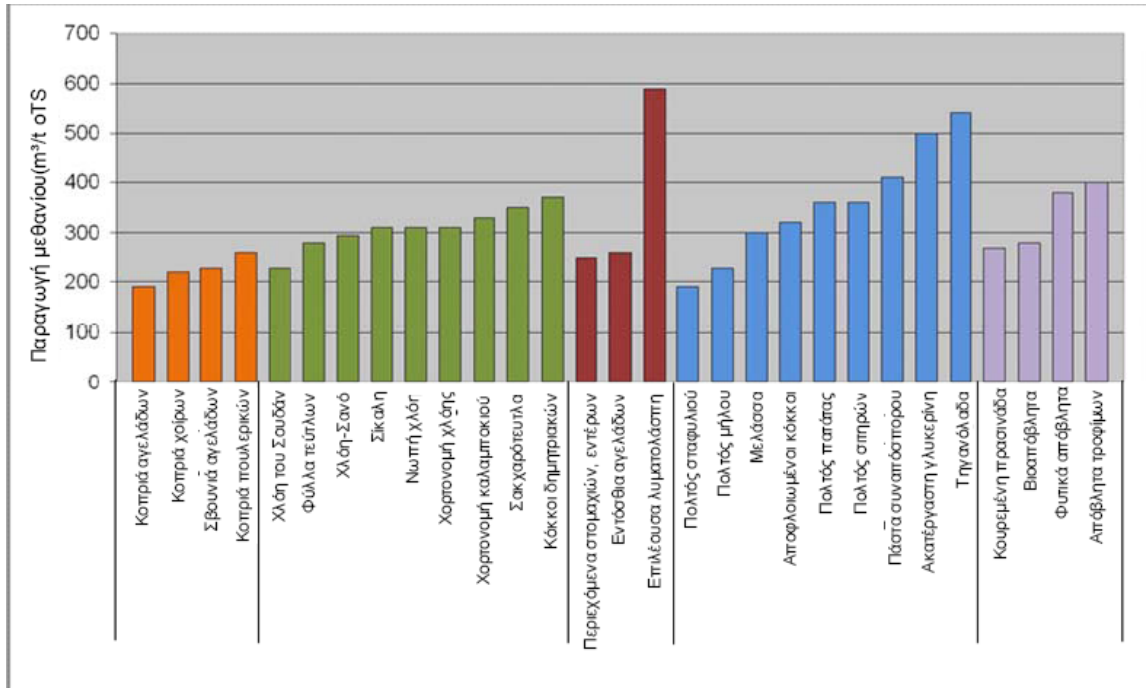
Τύπος πρώτης ύλης	Οργανικό περιεχόμενο	Αναλογία C:N	ΞΟ %	VS % της ΞΟ	Παραγωγή βιοαερίου $m^3*kg^{-1}$ VS	Ανεπιθύμητες φυσικές ακαθαρσίες	Άλλα ανεπιθύμητα υλικά
Πολτός χοίρων	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50	Ξέσματα ξύλου, σκληρές τρίχες, ύδωρ, άμμος σκοινιά, άχυρο	Αντιβιοτικά, απολυμαντικά
Πολτός βοοειδών	Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια	6-20	5-12	80	0,20-0,30	Σκληρές τρίχες, χόμα, 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 στομαχικών, 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	
Λάσπη επίπλευσης	65-70% πρωτεΐνες 30-35% λιπίδια					Ζωικοί ιστοί	Βαριά μέταλλα, απολυμαντικά, οργανικοί ρύποι
Αποπλύματα της ζύμωσης	Υδατάνθρακες	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78	Τα μη διασπώμενα υπολείμματα φρούτων	
Άχυρο	Υδατάνθρακες, λιπίδια	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35	Άμμος, αμμοχάλικο	
Απόβλητα κήπων		100-150	60-70	90	0,20-0,50	Χόμα, κυτταρινικά συστατικά	Φυτοφάρμακα
Χλόη		12-25	20-25	90	0,55	Αμμοχάλικο	Φυτοφάρμακα
Σωρός χλόης		10-25	15-25	90	0,56	Αμμοχάλικο	
Απόβλητα φρούτων		35	15-20	75	0,25-0,50		
Ιχθυέλαια	30-50% λιπίδια	n.a.					
Έλαια σόγιας/μαργαρίνη	90% φυτικά έλαια	n.a.					
Αλκοόλ	40% αλκοόλ	n.a.					
Υπολείμματα τροφίμων			10	80	0,50-0,60	Κόκαλα, πλαστικό	Απολυμαντικά
Οργανικά οικιακά απόβλητα						Πλαστικό, μέταλλο, πέτρες, ξύλο, γυαλί	Βαριά μέταλλα, οργανικοί ρύποι
Λυματολάσπη							Βαριά μέταλλα, οργανικοί ρύποι

Τα υποστρώματα που περιέχουν υψηλές ποσότητες λιγνίνης, κυτταρίνης και ημικυτταρινών μπορούν επίσης να αφομοιωθούν, αλλά σε αυτήν την περίπτωση συνήθως εφαρμόζεται μια προ-επεξεργασία προκειμένου να ενισχυθεί η ικανότητα χώνευσής τους.

Η πιθανή παραγωγή μεθανίου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης των διαφορετικών υποστρωμάτων της ΑΧ (εικόνα 1). Αξιοσημείωτο είναι ότι, τα ζωικά περιττώματα έχουν μια σχετικά χαμηλή παραγωγή μεθανίου. Γι' αυτό, στην πράξη, τα ζωικά περιττώματα δεν υφίστανται χώνευση μόνα τους, αλλά



αναμιγνύονται και με άλλα ομο-υποστρώματα, με υψηλή παραγωγή μεθανίου, προκειμένου να προωθηθεί η παραγωγή βιοαερίου. Τα πιο κοινά ομο-υποστρώματα που προστίθενται για συγχώνευση μαζί με τα περιττώματα και τους πολτούς είναι ελαιούχα υπολείμματα από τις βιομηχανίες τροφίμων, αλιείας και τροφών, αλκοολούχα απόβλητα από τις βιομηχανίες ζυθοποιίας και ζάχαρης ή ΕΠΕΚ.



Σημεία αναφοράς για τις ειδικές παραγωγές μεθανίου (PRABL, 2007)(εικόνα 1 )

Η πρώτη ύλη για την ΑΧ μπορεί να περιέχει χημικούς, βιολογικούς ή φυσικούς μολυσματικούς παράγοντες. Ο ποιοτικός έλεγχος όλων των τύπων πρώτης ύλης είναι ουσιαστικός προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής ανακύκλωση του κομπόστ ως λίπασμα. Ο Πίνακας(3.2) παρουσιάζει το πιθανό φορτίο των ακαθαρσιών, μολυσματικούς παράγοντες και παθογόνους οργανισμούς για μερικούς κοινούς τύπους πρώτης ύλης ΑΧ. Τα απόβλητα ζωικής προέλευσης απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή εάν παρέχονται ως υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση. Ο Κανονισμός 1774/2002 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου καθόρισε τους κανόνες υγιεινής σχετικά με το χειρισμό και τη χρήση των ζωικών υποπροϊόντων που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

(Πίνακας 3.2)

		Κίνδυνος				
		Ασφάλει	Υγειονομικοί κίνδυνοι	Περιέχει προβληματικά υλικά	Κίνδυνος για μολυσματικούς παράγοντες	
Πρώτη ύλη	Υλικά κοινοτικών υπολειμμάτων	Πρασινάδα, υπολείμματα κουράς του γρασιδιού		Βιολογικά απόβλητα, πρασινάδα στην άκρη των δρόμων		
	Υλικά βιομηχανικών υπολειμμάτων	Φυτικά απόβλητα, πολτοποίηση, στέμφυλα, κλπ.	Ληγμένα τρόφιμα, τρόφιμα με φθορές κατά την μεταφορά		Υπόλειμμα από την παραγωγή φυτικού ελαίου	
	Γεωργικά υπολείμματα	Ρευστή κοπριά, στερεή κοπριά				Cu και Zn
		Φύλλα τεύτλων, άχυρο				
Ανανεώσιμες πρώτες ύλες	Σωρός καλαμποκιού,					
		χορτονομή				
	Απόβλητα σφαγείων		Πεπτικό σύστημα, περιεχόμενα στομαχιών-εντέρων, διαχωρισμένα λίπη, πηγμένο αίμα, κλπ.		Διαχωρισμένα λίπη	
	Διάφορα		Απόβλητα βιομηχανικών κουζινών, οικιακά απόβλητα			

Ο Κανονισμός θέτει τους ελάχιστους κανόνες και τα μέτρα που πρέπει να εφαρμόζονται και καθορίζει επίσης ποιοι τύποι ζωικών υποπροϊόντων μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία στις εγκαταστάσεις βιοαερίου. Ο κανονισμός είναι διαθέσιμος ως πλήρες κείμενο στην διεύθυνση: <http://europa.eu/scadplus/leg/el/lvb/f81001.htm>.

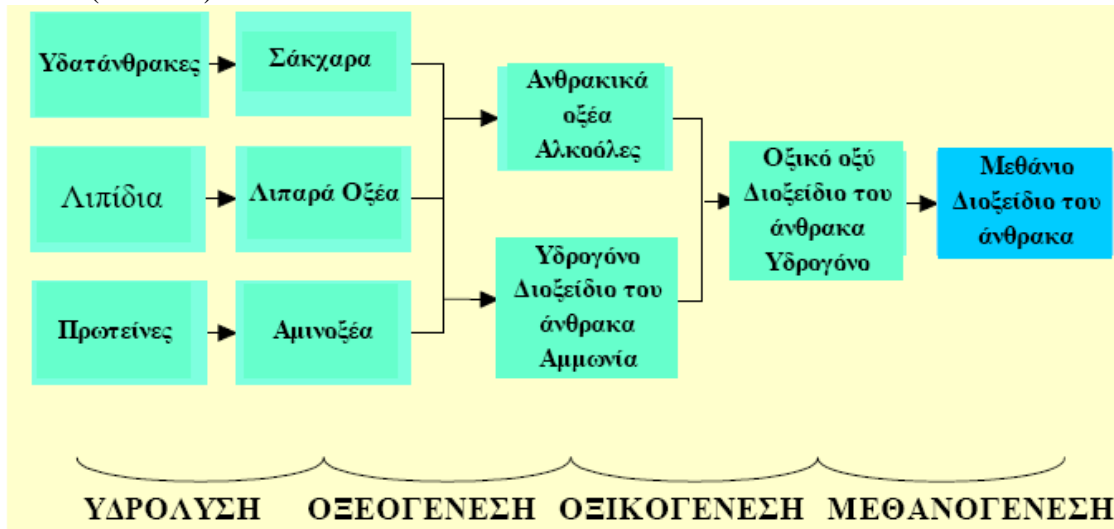
### 3.17.1 Η ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΧ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ΑΧ είναι η μικροβιολογική διαδικασία αποσύνθεση της οργανικής ουσίας απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το κομπόστ είναι το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα, επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου.

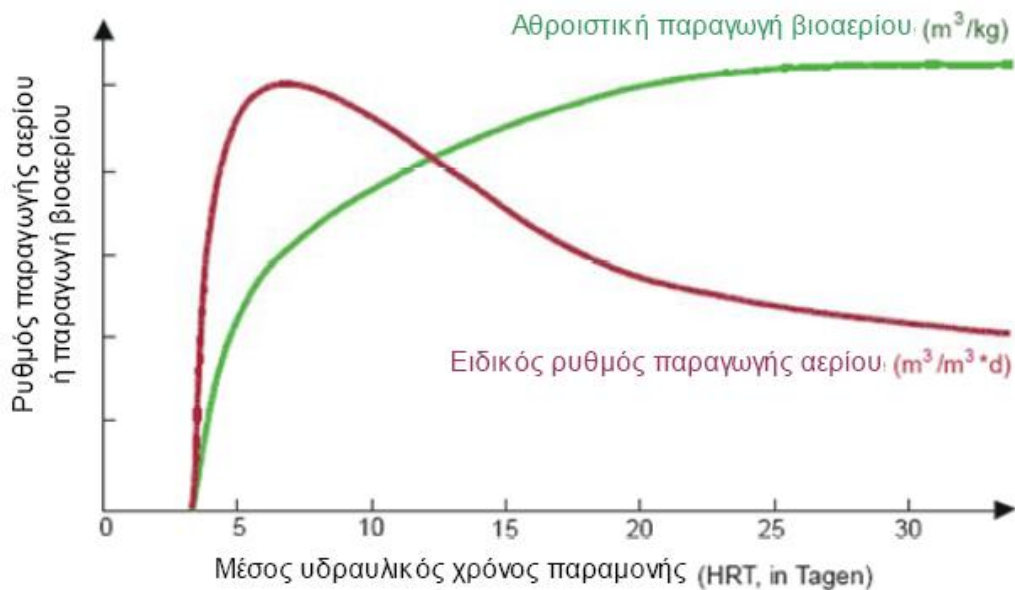
Κατά τη διάρκεια της ΑΧ, παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια (παρουσία οξυγόνου) αποσύνθεση, όπως η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.

Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών βημάτων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα βήματα. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων βημάτων. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα της διεργασίας της ΑΧ παρουσιάζεται στην εικόνα (2) , όπου διακρίνονται τα τέσσερα κύρια βήματα της διεργασίας: η υδρόλυση, η οξεογένεση, οξικογένεση, και μεθανογένεση.

(εικόνα 2)



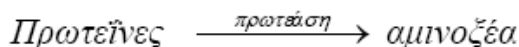
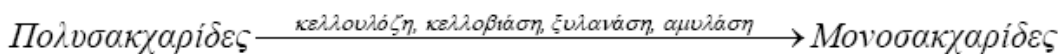
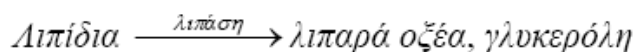
Τα στάδια της διεργασίας που αναφέρονται στην εικόνα(3) λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των εγκαταστάσεων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη ή λιγνίνη, η υδρόλυση είναι αυτή που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας. Κατά την υδρόλυση, παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση.



Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη του υποστρώματος (STMUGV, 2004) εικόνα(3)

## Υδρόλυση

Η υδρόλυση είναι θεωρητικά το πρώτο βήμα της ΑΧ, κατά τη διάρκεια της οποίας η σύνθετη οργανική ουσία (πολυμερή) αποσυντίθεται σε μικρότερα στοιχεία (μονο- και ολιγομερή). Τα πολυμερή όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες μετατρέπονται σε γλυκόζη, σε γλυκόλη, πουρίνες, πυριδίνες, κλπ. Τα υδρολυτικά βακτηρίδια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις όπως παρουσιάζεται παρακάτω:



Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών εμπλέκονται στην υδρόλυση, η οποία πραγματοποιείται από τα εξωένζυμα, που παράγονται από τους μικροοργανισμούς εκείνους που αποσυνθέτουν το αδιάλυτο μοριακό υλικό. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την υδρόλυση αποσυντίθενται περαιτέρω από τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις δικές τους διεργασίες μεταβολισμού.

## Οξεογένεση

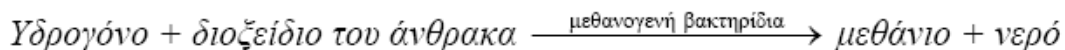
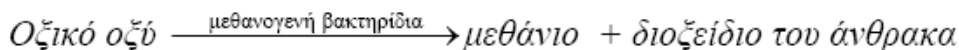
Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα απλά σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (70%), καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) και αλκοόλες (30%).

## Οξικογένεση

Κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, τα προϊόντα από την οξεογένεση που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτηρίδια μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από δύο δεσμούς και οι αλκοόλες με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από ένα δεσμό οξειδώνονται σε οξικό οξύ και υδρογόνο. Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει την μερική πίεση του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «υπόλειμμα» της οξικογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογενών βακτηριδίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

## Μεθανογένεση

Η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτηρίδια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του CO<sub>2</sub> σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Η μεθανογένεση είναι ένα κρίσιμο βήμα σε ολόκληρη τη διεργασία της χώνευσης, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση της διεργασίας. Η μεθανογένεση επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι παραδείγματα παραγόντων που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι

αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου.

### 3.18 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΧ

Η αποδοτικότητα της ΑΧ εξαρτάται από μερικές κρίσιμες παραμέτρους, έτσι είναι σημαντικό να παρέχονται οι κατάλληλοι όροι για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανάπτυξη και η δραστηριότητά τους επηρεάζεται σημαντικά από τον αποκλεισμό του οξυγόνου, την θερμοκρασία, την τιμή του pH, τον ανεφοδιασμό με θρεπτικές ουσίες, την ένταση της ανάδευσης, καθώς και από την παρουσία και την ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων (π.χ. αμμωνία). Τα βακτηρίδια μεθανίου είναι δύσκολοι αναερόβιοι οργανισμοί, οπότε πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η παρουσία οξυγόνου στη διεργασία της χώνευσης.

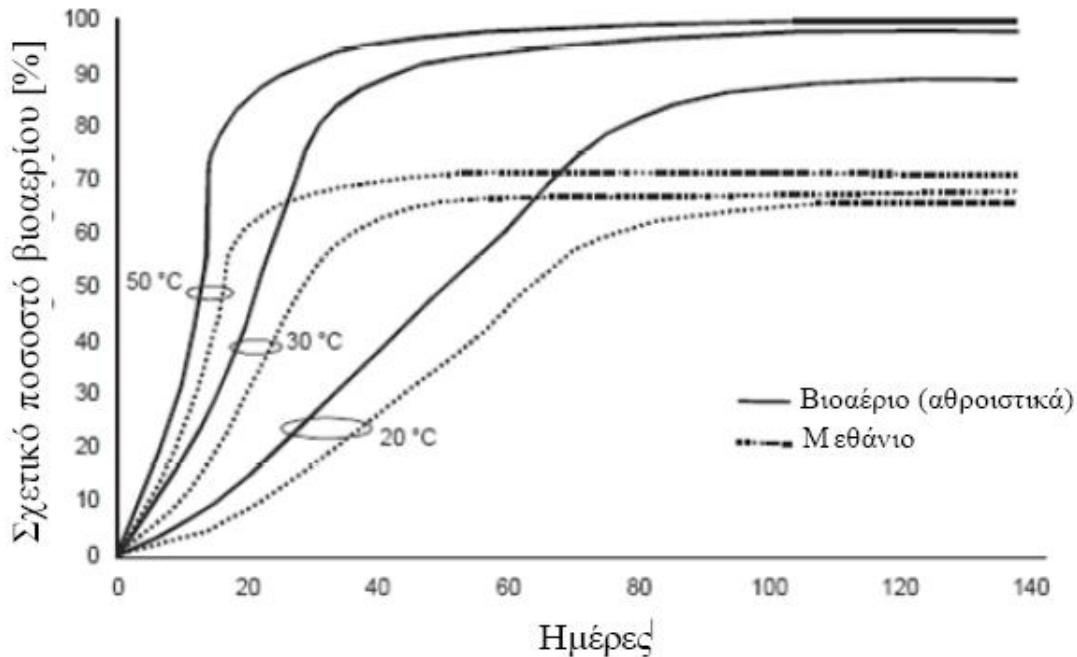
#### Θερμοκρασία

Η διεργασία της ΑΧ μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες, που χωρίζονται σε τρία θερμοκρασιακά εύρη: ψυχρόφιλη (κάτω από 25°C), μεσόφιλη (25- 45°C), και θερμόφιλη (45-70°C). Υπάρχει μια άμεση συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας της διεργασίας και του ΥΧΠ

Πίνακας 3.4: Θερμικά στάδια και χαρακτηριστικοί χρόνοι παραμονής

Θερμικό στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος χρόνος παραμονής
ψυχρόφιλη	< 20 °C	70 έως 80 ημέρες
μεσόφιλη	30 έως 42 °C	30 έως 40 ημέρες
θερμόφιλη	43 έως 55 °C	15 έως 20 ημέρες

Η σταθερότητα της θερμοκρασίας έχει καθοριστική σημασία για την ΑΧ. Στην πράξη, η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται σε συνάρτηση με την χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη και η θερμοκρασία διεργασίας συνήθως παρέχεται από ενδοδαπέδια ή επιτοίχια συστήματα θέρμανσης, μέσα στον χωνευτήρα. Η εικόνα 4 δείχνει τους σχετικούς ρυθμούς παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής.



Σχετικοί ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής (STMUGV, 2004) (εικόνα 4)

Πολλές σύγχρονες εγκαταστάσεις βιοαερίου λειτουργούν σε θερμοφίλες θερμοκρασίες διεργασίας, καθώς η θερμοφίλη διεργασία παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα, έναντι της μεσόφιλης και ψυχρόφιλης διεργασίας όπως:

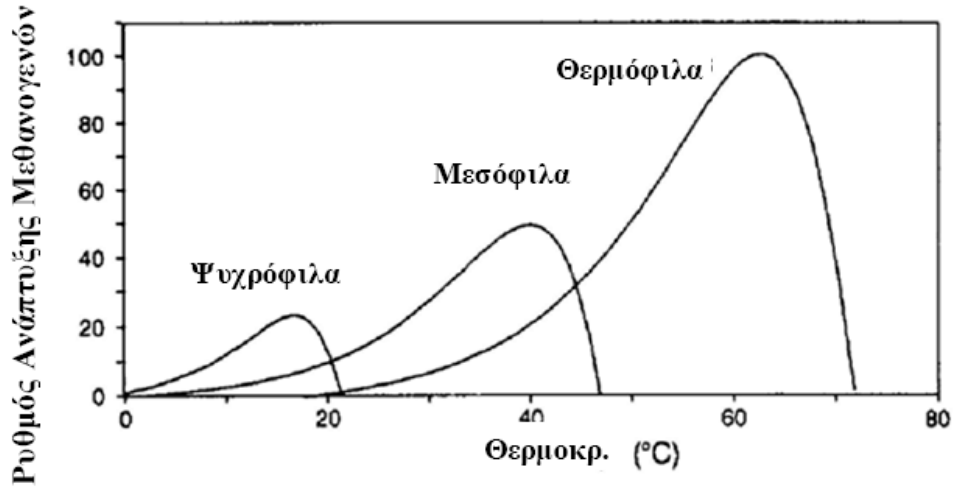
- αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων οργανισμών,
- υψηλότερο ποσοστό αύξησης μεθανογενών βακτηριδίων σε υψηλότερες θερμοκρασίες,
- μειωμένος χρόνος παραμονής, που καθιστά τη διεργασία γρηγορότερη και αποδοτικότερη,
- βελτιωμένη ικανότητα χώνευσης και διαθεσιμότητα των υποστρωμάτων,
- καλύτερη υποβάθμιση των στερεών υποστρωμάτων και καλύτερη χρήση των υποστρωμάτων,
- καλύτερη δυνατότητα διαχωρισμού των υγρών και στερεών μερών.

Τα κύρια μειονεκτήματα της θερμοφίλης διεργασίας είναι:

- ο μεγάλος βαθμός ανισορροπίας,
- η μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας,
- ο υψηλότερος κίνδυνος παρεμπόδισης της αμμωνίας.

Η θερμοκρασία λειτουργίας επηρεάζει την τοξικότητα της αμμωνίας. Αυτή αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και μπορεί να ελαττωθεί με τη μείωση της θερμοκρασίας της διεργασίας. Εντούτοις, κατά τη μείωση της θερμοκρασίας στους 50°C ή και λιγότερο, ο ρυθμός αύξησης των θερμοφίλων μικροοργανισμών θα μειωθεί δραστικά, και μπορεί να εμφανιστεί ένας κίνδυνος ξεπλύματος του μικροβιακού πληθυσμού, λόγω ενός ρυθμού αύξησης χαμηλότερου από τον πραγματικό ΥΧΠ (Angelidaki, 2002). Αυτό

σημαίνει ότι, ένας καλά λειτουργών θερμοφίλος χωνευτήρας μπορεί να φορτωθεί σε ένα υψηλότερο βαθμό ή να λειτουργήσει σε ένα χαμηλότερο ΥΧΠ απ' ό,τι π.χ. ένας μεσόφιλος, εξαιτίας του ρυθμού αύξησης των θερμοφίλων οργανισμών). Η εμπειρία δείχνει ότι σε υψηλή φόρτωση ή σε χαμηλό ΥΧΠ, ένας χωνευτήρας που λειτουργεί θερμοφιλά έχει υψηλότερη παραγωγή αερίου και μεγαλύτερο ρυθμό μετατροπής σε σχέση μ' ένα μεσόφιλο χωνευτήρα.



Σχετικός ρυθμός αύξησης των ψυχρόφιλων, μεσόφιλων και θερμοφίλων μεθανογενέσεων (ANGELIDAKI, 2002)(εικόνα 5)

Η διαλυτότητα των διάφορων συστατικών ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , VFA) εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία (Πίνακας 3.3). Αυτό μπορεί να έχει μεγάλη σημασία για τα υλικά που έχουν ανασταλτική επίδραση στη διεργασία.

Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της διαλυτότητας μερικών αερίων στο νερό (ANGELIDAKI, 2002)(πίνακας 3.3)

Αέριο	Θερμοκρασία (°C)	Διαλυτότητα mmol/l νερού	Μεταβολή διαλυτότητας 50°C-35°C
$\text{H}_2$	35	0,749	3,3 %
	50	0,725	
$\text{CO}_2$	35	26,6	36 %
	50	19,6	
$\text{H}_2\text{S}$	35	82,2	31 %
	50	62,8	
$\text{CH}_4$	35	1,14	19 %
	50	0,962	

Το ιξώδες των χωνευμένων συστατικών είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας. Το υπόστρωμα είναι περισσότερο ρευστό στις υψηλές θερμοκρασίες και διευκολύνεται έτσι η διάχυση του διαλυμένου υλικού. Η θερμοφιλή θερμοκρασία



λειτουργίας οδηγεί σε γρηγορότερους ρυθμούς χημικής αντίδρασης, κατά συνέπεια σε καλύτερη αποδοτικότητα παραγωγής μεθανίου, υψηλότερη διαλυτότητα και χαμηλότερο ιξώδες.

Η υψηλότερη ζήτηση ενέργειας στη θερμοφιλή διεργασία δικαιολογείται λόγω της υψηλότερης παραγωγής βιοαερίου. Είναι σημαντικό να κρατηθεί μια σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διεργασίας της χώνευσης, δεδομένου ότι οι αλλαγές ή οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην παραγωγή του βιοαερίου. Τα θερμοφιλά βακτηρίδια είναι πιο ευαίσθητα σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  και απαιτούν περισσότερο χρόνο στο να προσαρμοστούν σε μια νέα θερμοκρασία, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή μεθανίου. Τα μεσόφιλα βακτηρίδια είναι λιγότερο ευαίσθητα. Είναι δυνατόν να εμφανιστούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της τάξης των  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  χωρίς σημαντικές μειώσεις στην παραγωγή μεθανίου.

### **Τιμές pH και βέλτιστα διαστήματα**

Η τιμή του pH είναι το μέτρο της οξύτητας/αλκαλικότητας του διαλύματος (αντίστοιχα με το μίγμα του υποστρώματος, στην περίπτωση της AX) και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Το pH του υποστρώματος της AX επηρεάζει την αύξηση των μεθανογενών μικροοργανισμών, και μπορεί να έχει επιπτώσεις στο διαχωρισμό μερικών ενώσεων που έχουν σημασία για την διεργασία της AX (αμμωνία, σουλφίδιο, οργανικά οξέα). Η εμπειρία δείχνει ότι ο σχηματισμός του μεθανίου πραγματοποιείται μέσα σε ένα σχετικά μικρό εύρος pH, περίπου από 5,5 έως 8,5, με ένα βέλτιστο εύρος 7-8 για τους περισσότερους μεθανογενείς οργανισμούς. Οι οξικογενείς οργανισμοί έχουν, σε πολλές περιπτώσεις, μια χαμηλότερη τιμή του βέλτιστου pH.

Το βέλτιστο εύρος pH για τη μεσόφιλη χώνευση είναι μεταξύ 6,5 και 8, και η διεργασία παρεμποδίζεται σοβαρά εάν η τιμή του pH μειωθεί κάτω από 6 ή ανέλθει πάνω από το 8,3. Η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο ύδωρ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή του pH στους θερμοφίλους χωνευτήρες είναι επομένως υψηλότερη απ' ό,τι στους μεσόφιλους, καθώς το διαλελυμένο διοξείδιο του άνθρακα διαμορφώνει ανθρακικό οξύ από την αντίδραση του με το νερό. Η τιμή του pH μπορεί να αυξηθεί από την αμμωνία που παράγεται κατά την υποβάθμιση των πρωτεϊνών, ή από την παρουσία αμμωνίας στο ρεύμα τροφοδοσίας, ενώ η συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) μειώνει την τιμή του pH.

Η τιμή του pH στους αναερόβιους αντιδραστήρες ελέγχεται κυρίως από το σύστημα ανάσχεσης των διττανθρακικών αλάτων. Επομένως, η τιμή του pH των χωνευτήρων βιοαερίου εξαρτάται από τη μερική πίεση του  $\text{CO}_2$  και τη συγκέντρωση αλκαλικών και όξινων συστατικών στην υγρή φάση. Εάν συμβαίνει συσσώρευση βάσεων ή οξέων, η ικανότητα ανάσχεσης ισοσταθμίζει τις αλλαγές στο pH μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο. Όταν ξεπερνιέται η ικανότητα ανάσχεσης του συστήματος, εμφανίζονται

δραστικές αλλαγές στις τιμές του pH, εμποδίζοντας εξολοκλήρου τη διεργασία. Για τον λόγο αυτό δεν μπορεί να συστηθεί μια τιμή του pH ως αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας.

Το δυναμικό προσωρινής αποθήκευσης του υποστρώματος της AX μπορεί να ποικίλλει. Η εμπειρία από τη Δανία δείχνει ότι το δυναμικό της προσωρινής αποθήκευσης της κοπριάς των βοοειδών ποικίλλει ανάλογα με την εποχή, επηρεαζόμενη ενδεχομένως από τη σύνθεση της τροφής των βοοειδών. Η τιμή του pH της ζωικής κοπριάς είναι επομένως μια μεταβλητή που είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ανισορροπίας της διεργασίας, δεδομένου ότι αλλάζει πολύ λίγο και πολύ αργά. Είναι, εντούτοις, σημαντικό να σημειωθεί ότι η τιμή του pH μπορεί να είναι ένας γρήγορος, σχετικά αξιόπιστος και φθηνός τρόπος καταγραφής της ανισορροπίας στα συστήματα με χαμηλές δυνατότητες προσωρινής αποθήκευσης, όπως είναι η AX των διάφορων τύπων υγρών αποβλήτων.

### **Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)**

Η ευστάθεια της διεργασίας της AX επηρεάζεται από την συγκέντρωση των ενδιάμεσων προϊόντων όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα (VFA). Τα VFA είναι ενδιάμεσες ενώσεις (οξικά, προπιονικά, βουτυρικά, γαλακτικά άλατα), που παράγονται κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, με μια αλυσίδα άνθρακα από έξι ή λιγότερα άτομα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αστάθεια στη διεργασία θα οδηγήσει στη συσσώρευση VFA μέσα στον χωνευτήρα, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της τιμής του pH. Η συσσώρευση VFA, εντούτοις, δεν εκφράζεται πάντοτε ως πτώση του pH, λόγω της ικανότητας ανασχεσης μερικών τύπων βιομάζας. Π.χ. τα ζωικά περιττώματα έχουν ένα πλεόνασμα αλκαλικότητας, το οποίο σημαίνει ότι η συσσώρευση VFA πρέπει να υπερβεί ένα ορισμένο επίπεδο προτού να μπορέσει να ανιχνευθεί λόγω της σημαντικής μείωσης της τιμής του pH. Σε ένα τέτοιο σημείο, η συγκέντρωση οξέων στο χωνευτήρα θα είναι τόσο υψηλή ώστε η διεργασία της AX θα έχει ήδη εμποδιστεί σοβαρά.

Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι δύο διαφορετικοί χωνευτήρες μπορεί να συμπεριφέρονται τελείως διαφορετικά ως προς την ίδια συγκέντρωση VFA, με την έννοια ότι η συγκεκριμένη συγκέντρωση VFA μπορεί να είναι βέλτιστη για μία δεξαμενή χώνευσης, αλλά ανασταλτική για μία άλλη. Μια από τις πιθανές εξηγήσεις είναι το γεγονός ότι η σύνθεση των πληθυσμών μικροοργανισμών ποικίλλει από χωνευτήρα σε χωνευτήρα. Για τον λόγο αυτό, όπως και στην περίπτωση του pH, η συγκέντρωση των VFA δεν μπορεί να προταθεί ως μια αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας.

## Αμμωνία

Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) είναι μια σημαντική ένωση, με ιδιαίτερη λειτουργία στη διεργασία της ΑΧ. Η αμμωνία είναι μια σημαντική θρεπτική ουσία που χρησιμεύει σαν πρόδρομος των τροφίμων και των λιπασμάτων και κανονικά συναντάται ως αέριο, με την χαρακτηριστική έντονη μυρωδιά. Οι πρωτεΐνες είναι η κύρια πηγή αμμωνίας στην διεργασία της ΑΧ. Η πολύ υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας μέσα στο κομπόστ, ειδικότερα στην ελεύθερη αμμωνία (στη μη ιονισμένη μορφή της), είναι υπεύθυνη για την παρεμπόδιση της διεργασίας. Αυτό είναι σύνηθες στην ΑΧ των ζωικών περιττωμάτων, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας που προέρχονται από την ουρία. Γι' αυτό τον λόγο, η συγκέντρωση της αμμωνίας πρέπει να διατηρείται κάτω από 80 mg/l. Τα μεθανογενή βακτηρίδια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην παρεμπόδιση της αμμωνίας. Η συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία, οπότε υπάρχει ένας αυξημένος κίνδυνος παρεμπόδισης λόγω της αμμωνίας των διεργασιών ΑΧ που λαμβάνουν χώρα στις θερμοφιλες θερμοκρασίες, σε σύγκριση με τις μεσόφιλες.

Η συγκέντρωση ελεύθερης αμμωνίας υπολογίζεται από τη σχέση ισορροπίας:

$$[NH_3] = \frac{[T - NH_3]}{\left(1 + \frac{H^+}{ka}\right)}$$

όπου [NH<sub>3</sub>] και [T-NH<sub>3</sub>] είναι οι συγκεντρώσεις της ελεύθερης και της συνολικής αμμωνίας, αντίστοιχα, και ka είναι η σταθερά διαχωρισμού, με τιμές που αυξάνονται με τη θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει ότι το αυξανόμενο pH και η αυξανόμενη θερμοκρασία θα οδηγήσουν σε αυξανόμενη παρεμπόδιση, δεδομένου ότι αυτοί οι παράγοντες θα αυξήσουν το ποσοστό της ελεύθερης αμμωνίας. Όταν μια διεργασία παρεμποδίζεται με την αμμωνία, μια αύξηση στη συγκέντρωση των VFA θα οδηγήσει σε μείωση του pH. Αυτό θα αλληλο-αναιρέσει εν μέρει την επίδραση της αμμωνίας, λόγω μιας μείωσης στη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας.

## Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και τοξικές ενώσεις

Τα ιχνοστοιχεία όπως το σίδηρο, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο ή το βολφράμιο είναι εξίσου σημαντικά για την αύξηση και την επιβίωση των μικροοργανισμών της ΑΧ όπως είναι ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το θείο. Η βέλτιστη αναλογία των θρεπτικών στοιχείων άνθρακα, αζώτου, φωσφόρου, και

θείου (C:N:P:S) είναι 600:15:5:1. Η ανεπαρκής παροχή θρεπτικών ουσιών και ιχνοστοιχείων, καθώς επίσης και η πάρα πολύ υψηλή χωνευτικότητα του υποστρώματος μπορούν να προκαλέσουν παρεμπόδιση και διαταραχές στη διεργασία της ΑΧ.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών είναι η παρουσία τοξικών ενώσεων. Αυτές μπορούν να μεταφερθούν στο σύστημα ΑΧ μαζί με την πρώτη ύλη, αλλά μπορούν επίσης να παραχθούν κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Είναι δύσκολη η εφαρμογή κατώτατων οριακών τιμών για τα τοξικά υλικά, 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, εντός ορισμένων ορίων, στις περιβαλλοντικές συνθήκες, δια του παρόντος με την παρουσία τοξικών ενώσεων.

### 3.19 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

#### **Οργανικό φορτίο**

Η κατασκευή των εγκαταστάσεων βιοαερίου απαιτεί ένα συνδυασμό οικονομικών και τεχνικών εκτιμήσεων. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που λαμβάνεται από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος θα απαιτούσε ένα μεγάλο ΥΧΠ και ένα αντίστοιχο μέγεθος χωνευτήρα. Στην πράξη, η επιλογή του συστήματος (π.χ. το μέγεθος και ο τύπος χωνευτήρα) βασίζεται σε έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου και της δικαιολογήσιμης οικονομίας. Από αυτή την άποψη, το οργανικό φορτίο είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας, η οποία δείχνει πόσο πολύ οργανική ξηρή ουσία μπορεί να τροφοδοτηθεί στον χωνευτήρα, ανά m<sup>3</sup> όγκου και μονάδα χρόνου, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$BR = m \cdot c / VR$$

$$BR = \text{οργανικό φορτίο [kg/d} \cdot \text{m}^3]$$

$$M = \text{μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου [kg/d]}$$

$$c = \text{συγκέντρωση οργανικής ουσίας [%]}$$

$$VR = \text{όγκος του χωνευτήρα [m}^3]$$

### Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ)

Μια σημαντική παράμετρος για τη διαστασιολόγηση του χωνευτήρα είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ). Ο ΥΧΠ είναι το μέσο χρονικό διάστημα κατά το οποίο διατηρείται το υπόστρωμα μέσα στη δεξαμενή του χωνευτήρα. Ο ΥΧΠ σχετίζεται με τον του χρόνου, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{ΥΧΠ} = \text{VR} / \text{V}$$

ΥΧΠ υδραυλικός χρόνος παραμονής [ημέρες]

VR όγκος του χωνευτήρα [m<sup>3</sup>]

V όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου [m<sup>3</sup>/d]

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, όσο αυξάνεται το οργανικό φορτίο θα μειώνεται ο ΥΧΠ. Ο χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετά μακρύς για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των βακτηριδίων που αφαιρούνται με τα απόβλητα αποχέτευσης (κομπόστ) δεν θα είναι υψηλότερη από την ποσότητα των αναπαραγόμενων βακτηριδίων (π.χ. ο ρυθμός διπλασιασμού των αναερόβιων βακτηριδίων είναι 10 ημέρες ή περισσότερο). Ένας μικρός ΥΧΠ παρέχει μια καλή παροχή υποστρώματος αλλά χαμηλή παραγωγή αερίου. Είναι επομένως σημαντικό να προσαρμοστεί ο ΥΧΠ στον συγκεκριμένο ρυθμό αποσύνθεσης των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων. Ξέροντας τον στοιχειοθετημένο ΥΧΠ, την καθημερινή εισαγωγή πρώτης ύλης και τον ρυθμό αποσύνθεσης του υποστρώματος, είναι δυνατό να υπολογιστεί ο απαραίτητος όγκος του χωνευτήρα.

### 3.20 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Ποικίλες παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των εγκαταστάσεων βιοαερίου (Πίνακας 3.4) και τη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων. Στη βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν δύο κύριες κατηγορίες παραμέτρων

Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδα	Τρόπος καθορισμού
Θερμοκρασία	T	°C	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
Πίεση λειτουργίας	P	mbar	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
Ικανότητα, ρυθμοαπόδοση	V	m <sup>3</sup> /d; t/d	Μέτρηση
Όγκος αντιδραστήρα	V <sub>R</sub>	m <sup>3</sup>	Καθορισμένος από την κατασκευή
Ποσότητα αερίου	V ανά ημέρα V ανά έτος	m <sup>3</sup> /d; m <sup>3</sup> /a	Μέτρηση κατά τη λειτουργία και μετατροπή σε Nm <sup>3</sup>
Χρόνος παραμονής (υδραυλικός, ελάχιστος εγγυημένος)	ΥΧΠ, ΕΕΧΠ	d	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Οργανικό φορτίο		kg οTS / (m <sup>3</sup> * d)	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας

Συγκέντρωση μεθανίου στο βιοαέριο	CH <sub>4</sub>	%	Μέτρηση κατά τη λειτουργία
Ειδική παραγωγή βιοαερίου		%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Ειδική παραγωγή βιοαερίου		m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Ακαθάριστη ενέργεια		kWh	Προσδιορισμός από την ποσότητα του βιοαερίου και την συγκέντρωση μεθανίου
Παραγωγή ηλεκτρισμού		kWh	Μέτρηση στη γεννήτρια ΒΤΠ
Τροφοδοσία στο δίκτυο		kWh	Μέτρηση μετά από τη γεννήτρια ΒΤΠ
Αποδοτικότητα του ΒΤΠ	η	%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Ανεφοδιασμός σταθμού θερμικός/ηλεκτρικός		kWh	Βάσει σχεδιασμού, κατόπιν μέτρηση κατά τη λειτουργία
Ειδικός ανεφοδιασμός σταθμού θερμικός/ηλεκτρικός		kWh/m <sup>3</sup> Input kWh/GV	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Παραγωγή ενέργειας		kWh	Άθροισμα της ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Αποδοτικότητα εγκατάστασης	η	%	Η καθαρή ενέργεια που προέρχεται από την ακαθάριστη ενέργεια
Διαθεσιμότητα		%	Ποσοστό των ωρών σε ένα έτος κατά τις οποίες λειτουργεί πλήρως η εγκατάσταση
Χρήση		%	Αναλογία της πραγματικής ποσότητας εισόδου προς την προβαλλόμενη ικανότητα
Συνολική επένδυση		€	Όλες οι δαπάνες που προκαλούνται όλες από την εγκατάσταση βιοαερίου
Επιχορηγήσεις		€	Προκαθορισμένος
Ποσοστό επιχορήγησης		%	Ποσοστό όλων των επιχορηγήσεων ως προς τις συνολικές επενδύσεις
Ειδικές επενδύσεις		€/m <sup>3</sup> χωνευτήρα €/GV	Λογικό μόνο όταν χρησιμοποιείται πρώτιστα ως κοπριά από την κτηνοτροφική παραγωγή
Ειδικές δαπάνες επεξεργασίας		€/m <sup>3</sup> εισόδου €/GV	Υπολογισμός

### 3.21 ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ χρησιμοποιείται ευρέως από τη σύγχρονη κοινωνία για την επεξεργασία των αποβλήτων από εκτρεφόμενα ζώα (ζωικά περιττώματα και πολτοί). Σκοπός είναι να παραχθεί ανανεώσιμη ενέργεια και να βελτιωθούν οι ιδιότητες λίπανσης της κοπριάς. Στις ανεπτυγμένες χώρες με μεγάλη γεωργική παραγωγή, οι συνεχώς αυστηρότεροι κανονισμοί σχετικά με την αποθήκευση και ανακύκλωση του λιπάσματος, των φυτικών αποβλήτων, αύξησαν το ενδιαφέρον για την ΑΧ. Επιπλέον, οι πρόσφατες εξελίξεις στην Ευρώπη, την Αμερική και άλλα μέρη

στον κόσμο έχουν επίσης καταδείξει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον μεταξύ των αγροτών για τις ενεργειακές καλλιέργειες, με στόχο να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Η ΑΧ αποτελεί επίσης την κύρια τεχνολογία σταθεροποίησης της πρωτεΐνης και δευτερεύουσας λυματολάσπης, για την επεξεργασία των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, από βιομάζα, από την επεξεργασία τροφίμων και τις βιομηχανίες ζύμωσης καθώς επίσης και από την επεξεργασία του οργανικού μέρους των αστικών στερεών αποβλήτων. Μια ειδική εφαρμογή είναι η ανάκτηση του βιοαερίου από τις χωματερές.

## **Αγροτικές εγκαταστάσεις βιοαερίου**

Οι αγροτικές εγκαταστάσεις βιοαερίου επεξεργάζονται τα υποστρώματα πρώτης ύλης που κυρίως προέρχονται από την αγροτική παραγωγή. Τα συνηθέστερα είδη πρώτης ύλης για αυτές τις εγκαταστάσεις είναι τα ζωικά περιττώματα και οι πολτοί, τα υπολείμματα και τα υποπροϊόντα από τις συγκομιδές λαχανικών και άλλων γεωργικών προϊόντων και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Τα περιττώματα και οι πολτοί από βοοειδή και χοίρους είναι η κύρια πρώτη ύλη των περισσότερων αγροτικών εγκαταστάσεων βιοαερίου αν και ο αριθμός των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τις ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες αυξάνεται τα τελευταία έτη.

Οι ακατέργαστες κοπριές και πολτοί συνήθως χρησιμοποιούνται ως οργανικά λιπάσματα, αλλά η ΑΧ βελτιώνει την τιμή λίπανσής τους ως εξής:

- Οι κοπριές και οι πολτοί από διαφορετικά ζώα (π.χ. βοοειδή, χοίροι, πουλερικά) αναμιγνύονται στον ίδιο χωνευτήρα, παρέχοντας έτσι ένα περισσότερο ισορροπημένο περιεχόμενο σε θρεπτικές ουσίες.
  - Η ΑΧ διαλύει τα σύνθετα οργανικά υλικά (συμπεριλαμβανομένου του οργανικού αζώτου) και αυξάνει την ποσότητα των διαθέσιμων από φυτά θρεπτικών ουσιών.
  - Η χώνευση των περιττωμάτων με άλλα υποστρώματα (π.χ. απόβλητα σφαγείων, υπολείμματα από λίπη και έλαια, οικιακά απόβλητα, φυτικά υπολείμματα, κλπ.) προσθέτει σημαντικές ποσότητες θρεπτικών ουσιών στο μίγμα της πρώτης ύλης.
- Ο σχεδιασμός και η τεχνολογία των εγκαταστάσεων βιοαερίου διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα εθνικά πλαίσια (νομοθεσία και ενεργειακές πολιτικές), την ενεργειακή διαθεσιμότητα και προσιτότητα.. Σύμφωνα με το σχετικό τους μέγεθος, λειτουργία και θέση, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες αγροτικών εγκαταστάσεων ΑΧ:
- Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας (μικρής κλίμακας)
  - Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας)
  - Οι κεντρικές εγκαταστάσεις βιοαερίου / κοινή συγχώνευση (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας) .

## Εγκαταστάσεις βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας

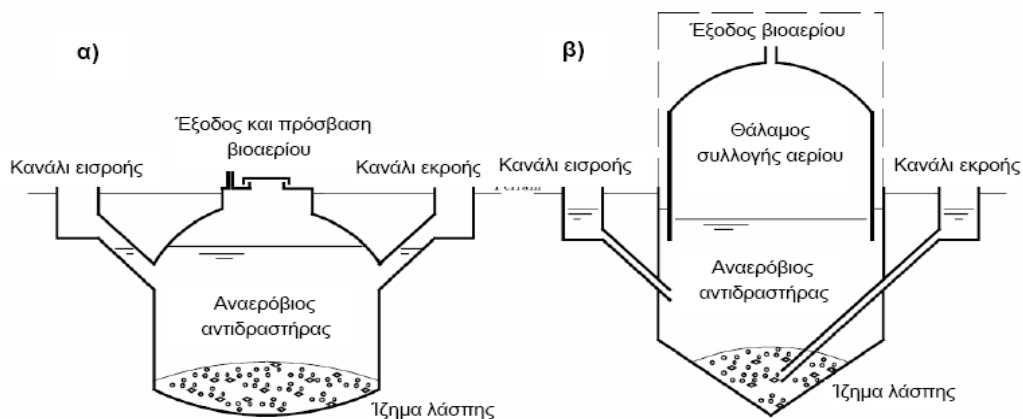
Στις αναπτυσσόμενες χώρες όπως το Νεπάλ, η Κίνα ή η Ινδία λειτουργούν εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας, οι οποίες χρησιμοποιούν πολύ απλές τεχνολογίες. Η πρώτη ύλη της ΑΧ που χρησιμοποιείται σε αυτές τις εγκαταστάσεις βιοαερίου προέρχεται από τα νοικοκυριά και/ή τη μικρή αγροτική τους δραστηριότητα και το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα και το φωτισμό. Οι χωνευτήρες είναι απλοί, φθηνοί, γεροί, εύκολοι στη λειτουργία και την συντήρησή τους, και μπορούν να κατασκευαστούν με τοπικά παραγόμενα υλικά. Συνήθως, δεν υπάρχουν όργανα ελέγχου και καμία διεργασία θέρμανσης (ψυχρόφιλη ή μεσόφιλη λειτουργία), καθώς πολλά από αυτά λειτουργούν σε θερμότερα κλίματα και έχουν μεγάλους χρόνους ΥΧΠ.

α) Ο Κινέζικος τύπος (Σχήμα α) είναι ένας υπόγειος αντιδραστήρας τυπικά 6 έως 8 m<sup>3</sup>. Τροφοδοτείται με οικιακά λύμα, ζωικά περιττώματα και οργανικά οικιακά απόβλητα. Ο αντιδραστήρας λειτουργεί κατά έναν ημι-συνεχή τρόπο, όπου νέο υπόστρωμα προστίθεται μια φορά την ημέρα και αντίστοιχα μία παρόμοια ποσότητα μεταγγισμένου αναμεμιγμένου υγρού αφαιρείται μια φορά την ημέρα. Ο αντιδραστήρας δεν ανακατώνεται, οπότε η ιζηματογένεση των αιωρούμενων στερεών πρέπει να αφαιρείται 2-3 φορές το χρόνο. Με αυτήν την ευκαιρία, αφαιρείται ένα μεγάλο μέρος του υποστρώματος και αφήνεται ως μαγιά ένα μικρό μέρος (περίπου το ένα πέμπτο της περιεκτικότητας του αντιδραστήρα).

β) Ο Ινδικός τύπος (εικόνα 6) είναι παρόμοιος με τον Κινεζικό τύπο δεδομένου ότι είναι ένας απλός υπόγειος αντιδραστήρας για τα οικιακά απόβλητα και τα απόβλητα μικρών καλλιιεργειών. Η διαφορά είναι ότι τα απόβλητα εκροής συλλέγονται στο κατώτατο σημείο του αντιδραστήρα και μια καμπάνα επιπλέοντος αερίου λειτουργεί ως δεξαμενή του βιοαερίου.

γ) Μια άλλη μικρής κλίμακας εγκατάσταση βιοαερίου είναι ο τύπος μετατόπισης, ο οποίος αποτελείται από έναν οριζόντιο κυλινδρικό αντιδραστήρα. Το υπόστρωμα τροφοδοτείται από τη μία πλευρά και το κομπόστ συλλέγεται στην αντίθετη πλευρά. Το υπόστρωμα κινείται μέσω του αντιδραστήρα ως ροή, και ένα μέρος της εξόδου ανακυκλοφορεί για να αραιώσει τη νέα εισαγωγή και να παράσχει την αναγκαία μαγιά.





(εικόνα 6)

## Εγκαταστάσεις βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος

Μια εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος είναι συνδεδεμένη με ένα μόνο αγρόκτημα, χωνεύοντας την πρώτη ύλη που παράγεται σε εκείνο το αγρόκτημα. Επίσης σε πολλές εγκαταστάσεις γίνεται συγχώνευση μικρών ποσοτήτων υποστρωμάτων πλουσιών σε μεθάνιο (π.χ. ελαιούχα απόβλητα από την επεξεργασία ψαριών και υπολείμματα φυτικού ελαίου), με στόχο την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου. Είναι επίσης δυνατό μια εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος να λαμβάνει και να επεξεργάζεται ζωικούς πολτούς από ένα ή περισσότερα γειτονικά αγροκτήματα (π.χ. μέσω σωληνώσεων, που συνδέουν τα αγροκτήματα αυτά με την αντίστοιχη μονάδα ΑΧ).

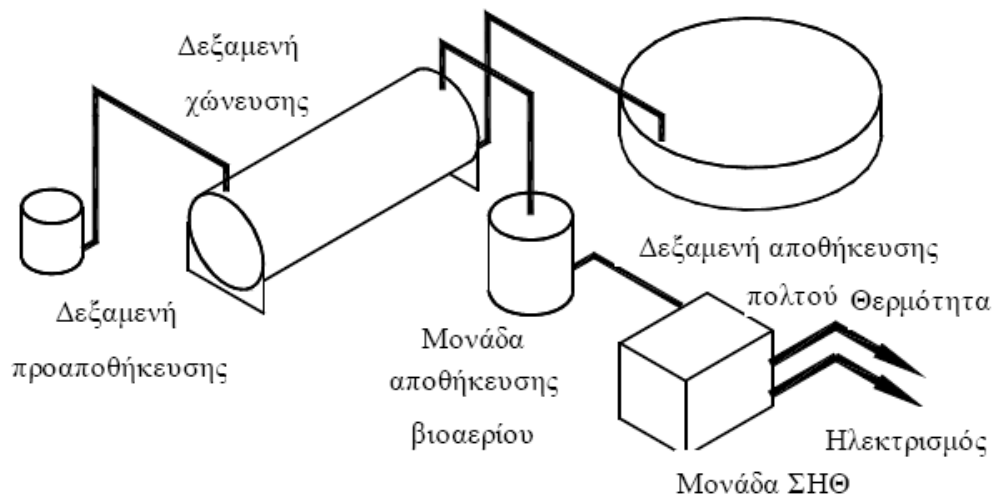
Υπάρχουν πολλοί τύποι και βασικοί σχεδιασμοί εγκαταστάσεων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία και η Δανία είναι πρωτοπόρες στην παραγωγή βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος. Το ενδιαφέρον των Ευρωπαίων αγροτών για τις εφαρμογές της ΑΧ αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, όχι μόνο επειδή η γεωργική παραγωγή βιοαερίου μετατρέπει τα απόβλητα σε πολύτιμους φυσικούς πόρους και παράγει υψηλής ποιότητας λίπασμα, αλλά και επειδή δημιουργεί νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τους εμπλεκόμενους αγρότες και τους δίνει μία νέα υπόσταση, ως προμηθευτές ανανεώσιμης ενέργειας.

Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος έχουν διάφορα μεγέθη, σχεδιασμούς και τεχνολογίες. Μερικές είναι πολύ μικρές και τεχνολογικά απλές, ενώ άλλες είναι πολύ μεγάλες και σύνθετες, παρόμοιες με τις κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευση Εντούτοις, όλες έχουν μια κοινή αρχή διαμόρφωσης: η κοπριά συλλέγεται

σε μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης, κοντά στον χωνευτήρα και αντλείται στο χωνευτήρα, ο οποίος είναι μια αεροστεγής δεξαμενή, κατασκευασμένη από χάλυβα ή σκυρόδεμα, μονωμένη ώστε να διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία διεργασίας. Οι χωνευτήρες μπορεί να είναι οριζόντιοι ή κάθετοι, συνήθως με συστήματα ανάδευσης, που βοηθούν στη μίξη και την ομογενοποίηση του υποστρώματος, και συντελούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων σχηματισμού επιπλέοντων στρωμάτων και ιζηματογενέσεων.

Ο μέσος ΥΧΠ είναι συνήθως μεταξύ 20 και 40 ημέρες, ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος και την θερμοκρασία χώνευσης.

Το κομπόστ χρησιμοποιείται ως λίπασμα στο αγρόκτημα και το πλεόνασμα μπορεί να πωληθεί σε άλλα γεωργικά αγροκτήματα της περιοχής. Το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μια μηχανή αερίου, για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Περίπου το 10 με 30% της παραχθείσας θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την λειτουργία της εγκατάστασης του βιοαερίου και για τις οικιακές ανάγκες του αγρότη, ενώ το πλεόνασμα πωλείται στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού και, αντίστοιχα, στους γειτονικούς καταναλωτές θερμότητας.



(εικόνα 7)

Εκτός από το χωνευτήρα που είναι εξοπλισμένος με σύστημα ανάδευσης, η εγκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει δεξαμενή προ-αποθήκευσης για τη νωπή βιομάζα, δεξαμενή αποθήκευσης για τη χωνευμένη βιομάζα και για το βιοαέριο, καθώς και μια μονάδα ΣΗΘ.



**Οριζόντιος χωνευτήρας, κατασκευασμένος στην Δανία (Nordisk Folkecenter, 2001)(εικόνα 8)**

Ο χωνευτήρας μπορεί επίσης να είναι κάθετος, με ή χωρίς κωνική βάση, γνωστός και ως «δύο σε μία» δεξαμενή αποθήκευσης πολτού και χώνευσης, όπου ο χωνευτήρας κατασκευάζεται εντός της δεξαμενής αποθήκευσης του υλικού χώνευσης. Οι δύο δεξαμενές καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, η οποία διογκώνεται από το παραγόμενο αέριο, και υφίστανται ανάδευση από μια ηλεκτρική έλικα. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχει μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης για το ομο-υπόστρωμα και μια μονάδα ΣΗΘ.



**Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία, που επεξεργάζεται κοπριάς από χοίρους, πουλερικά και σωρούς χόρτων (KRIEG AND FISHER, 2008)( εικόνα 9)**

Μια πρόσφατη εξέλιξη των εγκαταστάσεων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος είναι ο σχεδιασμός των βασιζόμενων στις ενεργειακές καλλιέργειες εγκαταστάσεων βιοαερίου. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ενεργειακών καλλιεργιών είναι πολύ υψηλότερο απ' ότι αυτό των περισσότερων οργανικών αποβλήτων. Εντούτοις, περιορισμοί και ανησυχίες προκύπτουν όσον αφορά στα κόστη λειτουργίας, καθώς και τη χρήση και τη διαθεσιμότητα του εδάφους.

### **Κεντρικές (κοινές) εγκαταστάσεις συγχώνευσης**

Η κεντρική συγχώνευση είναι μια έννοια που βασίζεται στην χώνευση ζωικών περιττωμάτων και πολτών, που συλλέγονται από διάφορα αγροκτήματα, σε μια μονάδα βιοαερίου, που είναι εγκατεστημένη κεντρικά στην περιοχή συλλογής της κοπριάς. Η κεντρική θέση των εγκαταστάσεων βιοαερίου στοχεύει στο να μειώσει τις δαπάνες, τον χρόνο και το εργατικό δυναμικό για τη μεταφορά της κοπριάς από και προς την εγκατάσταση βιοαερίου. Τα ζωικά περιττώματα υφίστανται συγχώνευση με ποικίλους άλλους τύπους κατάλληλης πρώτης ύλης (π.χ. τα χωνευόμενα υπολείμματα από τη γεωργία, τις βιομηχανίες τροφίμων και ιχθύων, οργανικά απόβλητα χωριζόμενα στην πηγή, λυματολάσπη, κλπ). Οι κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης (ονομάζονται επίσης και κοινές εγκαταστάσεις συγχώνευσης) αναπτύσσονται και εφαρμόζονται ευρέως στη Δανία (εικόνα 10), αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου με εντατική ζωική καλλιέργεια.

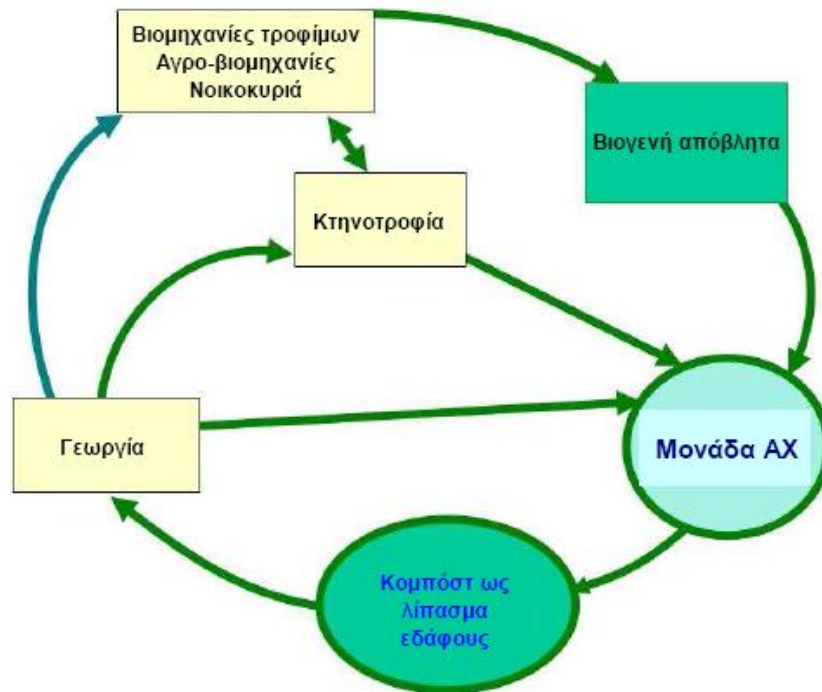
Ζωικά περιττώματα και πολτοί συλλέγονται από τις δεξαμενές προ-αποθήκευσης ή από τα κανάλια πολτού του αγροκτήματος και μεταφέρονται με ειδικά βυτιοφόρα κενού στην εγκατάσταση του βιοαερίου, σύμφωνα με ένα προσυμφωνημένο χρονοδιάγραμμα. Εκεί, αυτά αναμιγνύονται με άλλα ομο-υποστρώματα, ομογενοποιημένα και αντλούμενα στη δεξαμενή του χωνευτήρα. Η εγκατάσταση του βιοαερίου είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και τη μεταφορά της νωπής κοπριάς και του πολτού από τους αγρότες στην εγκατάσταση βιοαερίου και του κομπόστ από την εγκατάσταση βιοαερίου στους αγρότες. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του κομπόστ ενίοτε είναι κοινές για πολλούς αγρότες.

Η διεργασία της χώνευσης πραγματοποιείται σε μεσόφιλες ή θερμόφιλες θερμοκρασίες και ο ΥΧΠ είναι 12-25 ημέρες. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, μια ελεγχόμενη διεργασία υγιεινής του υποστρώματος λαμβάνει θέση πριν από την χώνευση, προκειμένου να παρασχεθεί μια αποτελεσματική μείωση των παθογόνων και των ζιζανίων και να εξασφαλισθεί η ασφαλής ανακύκλωση του κομπόστ ως λίπασμα.

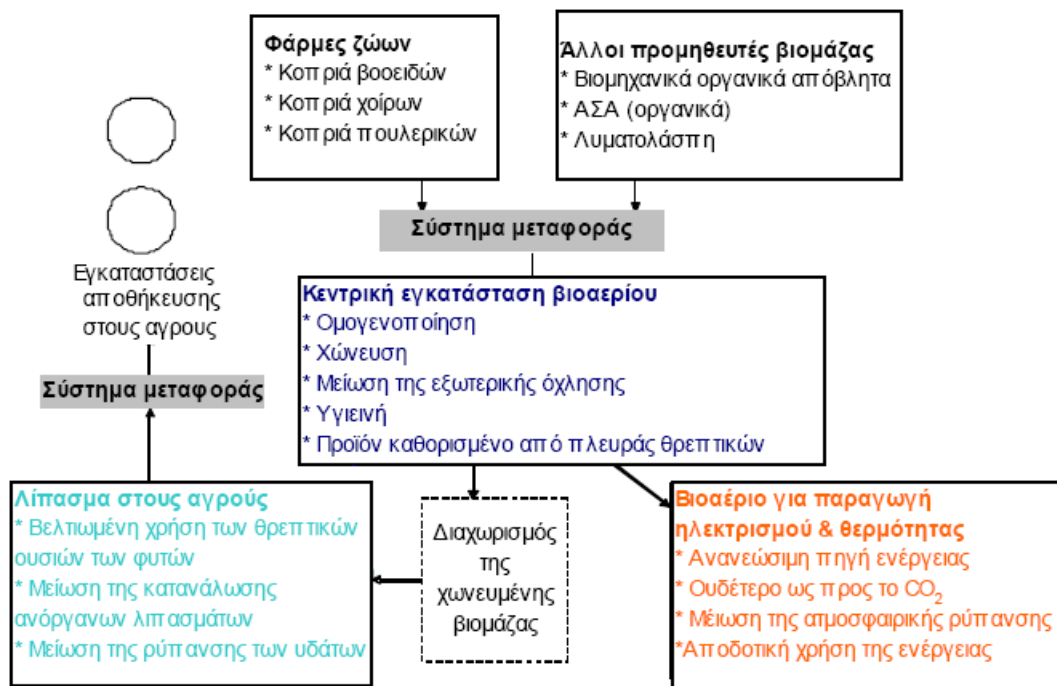


**Εικόνα μιας εγκατάστασης συγχώνευσης από τη Δανία (LEMVIG BIOGAS)( εικόνα 10)**

Το σύστημα τροφοδοσίας είναι συνεχές, και το μίγμα βιομάζας αντλείται μέσα και έξω από τους χωνευτήρες σε ίσες ποσότητες και σε ακριβείς ακολουθίες των αντλιών. Το κομπόστ, όπως αντλείται από τον χωνευτήρα, μεταφέρεται με σωληνώσεις στις δεξαμενές αποθήκευσης. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτές καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, όπου πραγματοποιείται η συλλογή της συμπληρωματικής παραγωγής βιοαερίου (μέχρι 15% του συνόλου) σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Πριν από την έξοδό του από την εγκατάσταση βιοαερίου, το παραγόμενο κομπόστ αναλύεται και καθορίζονται τα θρεπτικά συστατικά του ( $\text{ΞΟ}$ ,  $\text{VS}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{pH}$ ). Οι αγρότες παραλαμβάνουν μόνο εκείνη την ποσότητα του κομπόστ που από το νόμο επιτρέπεται να διασκορπιστεί στους αγρούς. Η περίσσεια πωλείται ως λίπασμα στους καλλιεργητές της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση, το κομπόστ ενσωματώνεται στο σχέδιο λίπανσης κάθε αγροκτήματος, αντικαθιστώντας τα ανόργανα λιπάσματα. Με τον τρόπο αυτό, η παραγωγή βιοαερίου είναι μέρος του κλειστού κύκλου ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών από τις κοπριές και τα οργανικά απόβλητα (εικόνα 11). Όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις βιοαερίου εξοπλίζονται επίσης με μονάδες διαχωρισμού του κομπόστ σε υγρά και στερεά μέρη.



Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκεντρωμένης αναερόβιας χώνευσης (AL SEADI, 2003)( εικόνα 11)



Τα κύρια ρεύματα της ολοκληρωμένης βασικής αρχής των κεντρικών εγκαταστάσεων χώνευσης (TAFDRUP, 1994 και AL SEADI, 2003)( εικόνα 12)

Με αυτό τον τρόπο, η κεντρική συγχώνευση αντιπροσωπεύει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων και ανακύκλωσης θρεπτικών ουσιών. Η εμπειρία δείχνει ότι το σύστημα (Σχήμα13 ) μπορεί να δημιουργήσει γεωργικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη για τους αγρότες και την κοινωνία, όπως:

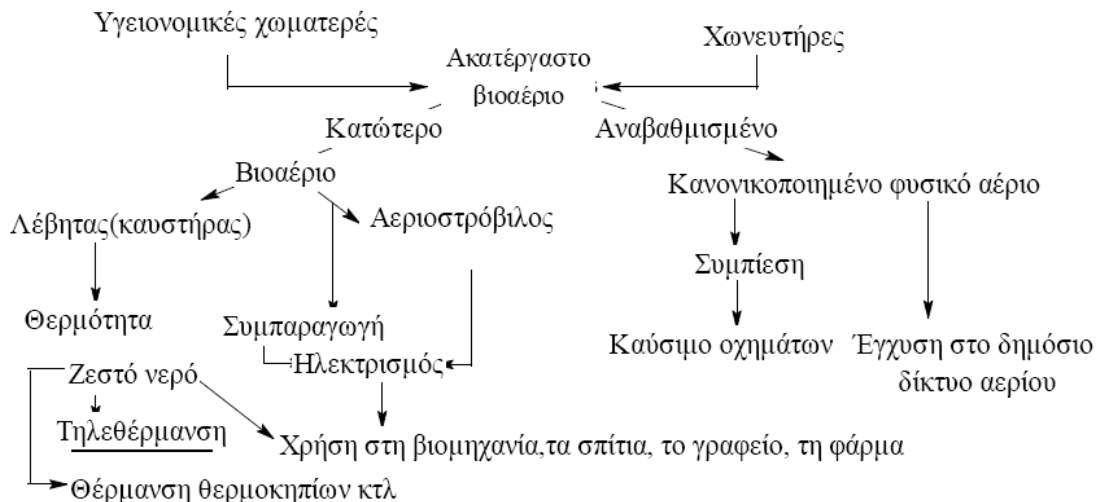
- παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας,
- φθηνή και περιβαλλοντικά ασφαλή ανακύκλωση των κοπριών και των οργανικών αποβλήτων,
- μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου,
- βελτιωμένη κτηνιατρική ασφάλεια μέσω της υγιεινής του κομπόστ,
- βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης,
- μειωμένη όχληση από οσμές και μύγες,
- οικονομικά οφέλη για τους αγρότες.

Οι περισσότερες κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης οργανώνονται ως συνεταιριστικές επιχειρήσεις, με τους αγρότες να παραδίδουν την κοπριά (πρώτη ύλη) στις εγκαταστάσεις ως μέτοχοι και ιδιοκτήτες. Συνήθως, αυτές οι επιχειρήσεις έχουν ένα διοικητικό συμβούλιο, αρμόδιο για τη διαχείριση της εγκατάστασης και την απασχόληση του απαραίτητου προσωπικού, καθώς και για όλες τις οικονομικές και δεσμευτικές ως προς τους νόμους συμφωνίες σχετικά με την κατασκευή της εγκατάστασης, του ανεφοδιασμού με πρώτη ύλη, την διανομή και πώληση του κομπόστ, την πώληση του βιοαερίου ή/και της ενέργειας, και την αναγκαία χρηματοδότηση. Στη Δανία, έχει αποδειχθεί ότι η συνεταιριστική επιχείρηση είναι μια οικονομικά εφικτή και λειτουργική οργανωτική δομή, αλλά είναι συχνοί και άλλοι τύποι επιχειρήσεων όπως οι Εταιρείες Περιορισμένης Ευθύνης (ΕΠΕ) ή οι δημοτικές επιχειρήσεις.

### 3.22 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις, ανάλογα 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, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων.

### Τελικές χρήσεις βιοαερίου



(εικόνα 13)

### 3.23 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την ΑΧ είναι χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο. Οι ιδιότητες και η σύνθεση του βιοαερίου ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και τη δομή της πρώτης ύλης, το σύστημα της εγκατάστασης, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες. Στον Πίνακα(3.5) παρουσιάζονται κάποιες από τις μέσες τιμές σύνθεσης του βιοαερίου που βρέθηκαν στις περισσότερες βιβλιογραφικές παραπομπές. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο έχει 50% περιεχόμενο σε μεθάνιο, η μέση θερμαντική τιμή του είναι περίπου 21 MJ/Nm<sup>3</sup>, η μέση πυκνότητα 1,22 kg/Nm<sup>3</sup> και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα (1,29 kg/Nm<sup>3</sup>).

Συστατικό	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα (Vol.-%)
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	50-75
Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	25-45
Υδρατμί	H <sub>2</sub> O	2 (20°C) -7 (40°C)
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	<2
Αζωτο	N <sub>2</sub>	<2
Αμμωνία	NH <sub>3</sub>	<1
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	<1
Υδρόθειο	H <sub>2</sub> S	<1

(πίνακας 3.5)

Η βιοχημική σύνθεση των διαφορετικών τύπων πρώτης ύλης ποικίλλει και είναι καθοριστική για τη θεωρητική παραγωγή του μεθανίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα(3.6)



(πίνακας 3.6)

Υπόστρωμα	Λίτρα αερίου / kg TS	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]
Ακατέργαστη πρωτεΐνη	700	70 με 71	29 με 30
Ακατέργαστο λίπος	1 200 με 1 250	67 με 68	32 με 33
Υδατάνθρακες	790 με 800	50	50

Η παραγωγή μεθανίου των υποστρωμάτων της ΑΧ εξαρτάται από το περιεχόμενο σε πρωτεΐνες, λίπη, και υδατάνθρακες, όπως φαίνεται στον Πίνακα (3.7)

#### Παραγωγές μεθανίου των διαφορετικών υλικών πρώτης ύλης

Πρώτη ύλη	Παραγωγή μεθανίου [%]	Παραγωγή βιοαερίου [m <sup>3</sup> /tΦΠΥ*]
Υγρό κοπριά βοοειδών	60	25
Υγρό κοπριά χοίρων	65	28
Υπολείμματα αποστακτηρίων με διαλυτά	61	40
Κοπριά βοοειδών	60	45
Κοπριά χοίρων	60	60
Κοπριά πουλερικών	60	80
Τεύτλα	53	88
Οργανικά απόβλητα	61	100
Γλυκό σόργο	54	108
Τεύτλα	51	111
Σωρός χλόης	54	172
Σωρός καλαμποκιού	52	202

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

(πίνακας 3.7)

### 3.24 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, που χρησιμοποιούνται εκτενώς στις αναπτυσσόμενες χώρες, για το βιοαέριο που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτήρες.

Η άμεση καύση εφαρμόζεται στις αναπτυγμένες χώρες, σε καυστήρες φυσικού αερίου. Το βιοαέριο μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου, είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές θέρμανσης το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση, και το επίπεδο μόλυνσης δεν περιορίζει την χρήση του αερίου τόσο όσο και στην περίπτωση άλλων εφαρμογών. Εντούτοις, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και αφυδάτωση.

### 3.25 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΘ)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την ΑΧ σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Πριν από τη μετατροπή της ΣΗΘ, το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται. Οι περισσότερες μηχανές αερίου έχουν μέγιστα όρια για το σουλφίδιο υδρογόνου, τους αλογονημένους υδρογονάνθρακες και τις σιλοξάνες στο βιοαέριο. Μια 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 κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι γεννήτριες έχουν συνήθως μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής (1.500 περιστροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατές με τη συχνότητα του δικτύου. Οι κινητήρες μπορούν να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές. Τόσο οι μηχανές αερίου Ντίζελ όσο και οι Otto λειτουργούν χωρίς πετρέλαιο ανάφλεξης, σύμφωνα με την αρχή του Otto. Η διαφορά αυτών των μηχανών είναι μόνο στη συμπίεση. Κατά συνέπεια, στο υπόλοιπο κείμενο και οι δύο μηχανές θα αναφέρονται ως μηχανές Otto. Οι εναλλακτικές λύσεις στις προαναφερθείσες εφαρμογές είναι οι μικροί αεριοστρόβιλοι, οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου, τεχνολογίες που είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης



Καυστήρας βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας (AGRINZ GmbH, 2008)( εικόνα 14)

Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως είναι οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες. Σε πολλές χώρες με υψηλά τιμολόγια αγοράς της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, όλη η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Ένα σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου είναι η χρήση της παραχθείσας θερμότητας. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτήρων (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραχθείσας ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές ανάγκες. Πολλές εγκαταστάσεις βιοαερίου, σε χώρες όπως η Γερμανία, σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για λόγους ηλεκτροπαραγωγής, χωρίς πρόβλεψη για χρήση της θερμότητας. Σήμερα, για την επίτευξη καλής οικονομίας της εγκατάστασης είναι υποχρεωτική η χρήση της θερμότητας. Οι τιμές των προϊόντων (π.χ. για το καλαμπόκι) έχουν αυξηθεί και, για πολλές εγκαταστάσεις, δεν είναι αρκετή μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας. Οι νεο-εγκαθιστώμενες μονάδες βιοαερίου πρέπει επομένως να περιλαμβάνουν πάντα στο γενικό σχεδιασμό τη χρήση της θερμότητας.

Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις βιομηχανικές διεργασίες, στις γεωργικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτιρίων. Ο καταλληλότερος χρήστης της θερμότητας είναι η βιομηχανία, δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η ποιότητα της θερμότητας (θερμοκρασία) είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Η χρήση της θερμότητας από βιοαέριο για την θέρμανση κτιρίων και νοικοκυριών (θέρμανση μίνι-δικτύου ή περιοχής) είναι μια άλλη επιλογή, αν και αυτή η εφαρμογή έχει χαμηλή ζήτηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και υψηλή, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση προϊόντων, τεμαχίων ξύλου ή για το χωρισμό του κομποστ. Τέλος, η θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα «ηλεκτρισμού, θερμότητας, δροσισμού». Αυτή η διεργασία είναι γνωστή από τα ψυγεία και χρησιμοποιείται π.χ. για την εν ψυχρώ αποθήκευση τροφίμων ή τον κλιματισμό. Η ενέργεια εισαγωγής είναι θερμότητα, η οποία μετατρέπεται σε ψύξη μέσω μιας διεργασίας απορρόφησης, όπου γίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ της προσρόφησης και της διεργασίας δροσισμού με απορρόφηση. Το πλεονέκτημα της ψύξης μέσω της απορρόφησης είναι οι μικρές φθορές, λόγω των λίγων μηχανικών μερών, και η μικρή κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις δροσισμού με συμπίεση. Η χρήση του συνδυασμού ηλεκτρισμός-θερμότητα-δροσισμός στις εγκαταστάσεις βιοαερίου εξετάζεται αυτήν την περίοδο μέσω διάφορων πιλοτικών προγραμμάτων.

### 3.26 ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΕΡΙΟΥ ΟΤΤΟ- STIRLING

Οι κινητήρες Otto αναπτύσσονται συγκεκριμένα για τη χρήση του βιοαερίου σύμφωνα με την αρχή του Otto. Οι μηχανές (ισχύς καύσης) λειτουργούν με πλεόνασμα αέρα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα. Αυτό οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση αερίου και μειωμένη απόδοση του κινητήρα, τα οποία αντισταθμίζονται με τη χρήση ενός στροβιλοφουσητήρα καυσαερίων. Οι μηχανές αερίου Otto απαιτούν βιοαέριο με τουλάχιστον 45% περιεχόμενο μεθανίου. Οι μικρότερες μηχανές, μέχρι τα 100 kWel, είναι συνήθως μηχανές Otto. Για υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση, χρησιμοποιούνται συναθροίσεις προσαρμοσμένων ντιζελοκινητήρων. Και οι δύο μηχανές ονομάζονται «Μηχανές Αερίου Otto» δεδομένου ότι η βασική λειτουργία τους είναι βασισμένη στην αρχή του Otto. Οι μηχανές Otto (εικόνα 15) μπορούν να λειτουργούν με βιοαέριο ή φυσικό αέριο. Αυτό είναι χρήσιμο κατά την φάση της εκκίνησης των εγκαταστάσεων βιοαερίου, όταν η θερμότητα χρησιμοποιείται για να θερμάνει τους χωνευτήρες.



(εικόνα 15)

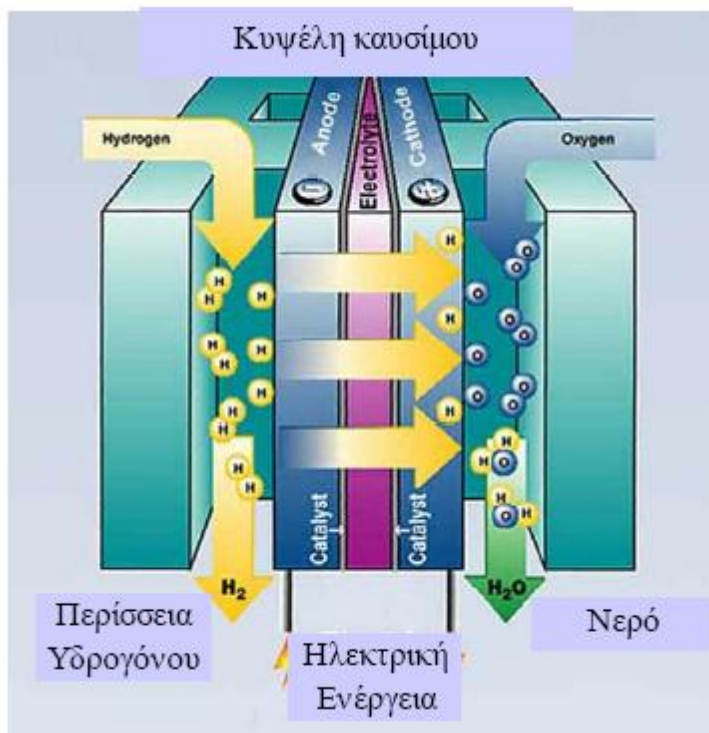
## STIRLING

Η μηχανή Stirling λειτουργεί χωρίς εσωτερική καύση, βάση της αρχής ότι οι αλλαγές στη θερμοκρασία των αερίων οδηγούν σε αλλαγές του όγκου. Τα έμβολα της μηχανής κινούνται από την διαστολή ενός εσώκλειστου αερίου, ως αποτέλεσμα της έγχυσης θερμότητας από μια εξωτερική πηγή ενέργειας. Η απαραίτητη θερμότητα μπορεί να παρασχεθεί από διάφορες πηγές ενέργειας, όπως ένας καυστήρας αερίου που λειτουργεί με βιοαέριο. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι μηχανές Stirling για το βιοαέριο είναι απαραίτητη κάποια τεχνική προσαρμογή τους. Λόγω της εξωτερικής καύσης, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί βιοαέριο με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο.

Η ηλεκτρική αποδοτικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 24 και 28%, που είναι χαμηλότερη από την αποδοτικότητα των μηχανών αερίου Otto. Οι θερμοκρασίες των καυσαερίων είναι μεταξύ 250 και 300°C. Η δυναμικότητα των μηχανών Stirling είναι συνήθως χαμηλότερη από 50 kWel. Λόγω της χαμηλής φθοράς των συνιστωσών της μηχανής Stirling, μπορούν να αναμένονται χαμηλές δαπάνες συντήρησης. Η μηχανή Stirling θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου μονάδας.

### 3.27 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βασική φυσική δομή (δομική μονάδα) μιας κυψέλης καυσίμου αποτελείται από μια στρώση ηλεκτρολύτη σε επαφή με μια πορώδη άνοδο και κάθοδο και στις δύο πλευρές (εικόνα 16). Σε μια χαρακτηριστική κυψέλη καυσίμου, τα αεριώδη καύσιμα (βιοαέριο) τροφοδοτούνται συνεχώς στο διαμέρισμα της ανόδου (το αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (δηλ., οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της καθόδου (το θετικό ηλεκτρόδιο). Μια ηλεκτροχημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στα ηλεκτρόδια, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.



Απλοστευμένο σχηματικό διάγραμμα μιας κυψέλης καυσίμου (EMERGING ENVIRONMENTAL ISSUES, 2005)( εικόνα 16)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου που ονομάζονται σύμφωνα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρολύτη. Μπορούν να είναι χαμηλής (AFC, PEM), μέσης (PAFC) ή υψηλής θερμοκρασίας (MCFC, SOFC) κυψέλες καυσίμου. Η επιλογή της κυψέλης καυσίμου εξαρτάται από το αέριο εισαγωγής και τη χρήση της θερμότητας. Η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το βιοαέριο. Λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας της που είναι 80°C, η θερμότητα μπορεί να τροφοδοτηθεί άμεσα σε ένα δίκτυο θερμότητας/ζεστού ύδατος. Ο τύπος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται επηρεάζει τη λειτουργική ζωή των PEM, που είναι πολύ ευαίσθητες στις ακαθαρσίες του αέριου καυσίμου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα. Για τον λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντικός ο καθαρισμός του αερίου.

Η περισσότερο αναπτυγμένη κυψέλη καυσίμου είναι η κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέως (PAFC), που συχνά χρησιμοποιείται παγκοσμίως με φυσικό αέριο. Σε αντίθεση με άλλες κυψέλες καυσίμου, η ηλεκτρική αποδοτικότητά της είναι χαμηλή αλλά το πλεονέκτημά της είναι το γεγονός ότι είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρουσία διοξειδίου του άνθρακα και μονοξειδίου του άνθρακα στο αέριο.

Η MCFC (κυψέλη καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων) χρησιμοποιείται με μια ροή ρευστού άνθρακα ως ηλεκτρολύτη. Η MCFC δεν επηρεάζεται από το μονοξείδιο του άνθρακα, ενώ ανέχεται συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα μέχρι 40% του όγκου. Λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας της, που είναι από 600 έως 700°C, η μετατροπή του μεθανίου σε υδρογόνο, γνωστή και ως ανασχηματισμός, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στην κυψέλη. Η διάσπαρτη θερμότητά της, μπορεί, για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί σε έναν κατάντη στρόβιλο.

Μια άλλη υψηλής θερμοκρασίας κυψέλη καυσίμου είναι η SOFC (κυψέλη καυσίμου σταθεροποιημένων οξειδίων), η οποία λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 750 και 1 000°C.

Η κυψέλη καυσίμου SOFC έχει υψηλή ηλεκτρική αποδοτικότητα και ο ανασχηματισμός του μεθανίου σε υδρογόνο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στη κυψέλη. Είναι ιδανική για τη χρήση βιοαερίου λόγω της χαμηλής ευαισθησίας της στο θείο.



**Η πρώτη παγκοσμίως κυψέλη καυσίμου τύπου MCFC για βιοαέριο, που λειτουργεί στη Γερμανία (RUTZ, 2007)( εικόνα 17)**

Οι δαπάνες επένδυσης όλων των κυψελών καυσίμου βιοαερίου είναι πολύ υψηλές (12.000 €/kW), και είναι πολύ πιο υψηλές απ' ό,τι των BTTPs που λειτουργούν με μηχανές. Για τον λόγο αυτό, και λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες εξελίξεις και τα πειραματικά αποτελέσματα, δεν είναι ακόμα διαθέσιμα εμπορεύσιμα συστήματα.

### 3.28 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΟΜΠΟΣΤ

Η παραγωγή γεωργικού βιοαερίου αποτελεί ένα ενδογενές στοιχείο της ολιστικής γεωργίας, η οποία λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα οικονομικά κόστη και κέρδη των γεωργικών δραστηριοτήτων, αλλά και κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Η παραγωγή γεωργικού βιοαερίου παρέχει έναν συνδυασμό γεωργικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών και, για το λόγο αυτό, οι πρωτοπόροι των τεχνολογιών βιοαερίου στην Ευρώπη, μετά από την πετρελαϊκή κρίση, ήταν οι οργανικοί αγρότες που έβλεπαν την ΑΧ όχι μόνο ως έναν τρόπο για παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, αλλά και βελτίωση της ποιότητας λίπανσης των ζωικών περιττωμάτων.

### 3.29 AX- ΜΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΖΩΙΚΩΝ ΠΕΡΙΤΤΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΤΩΝ

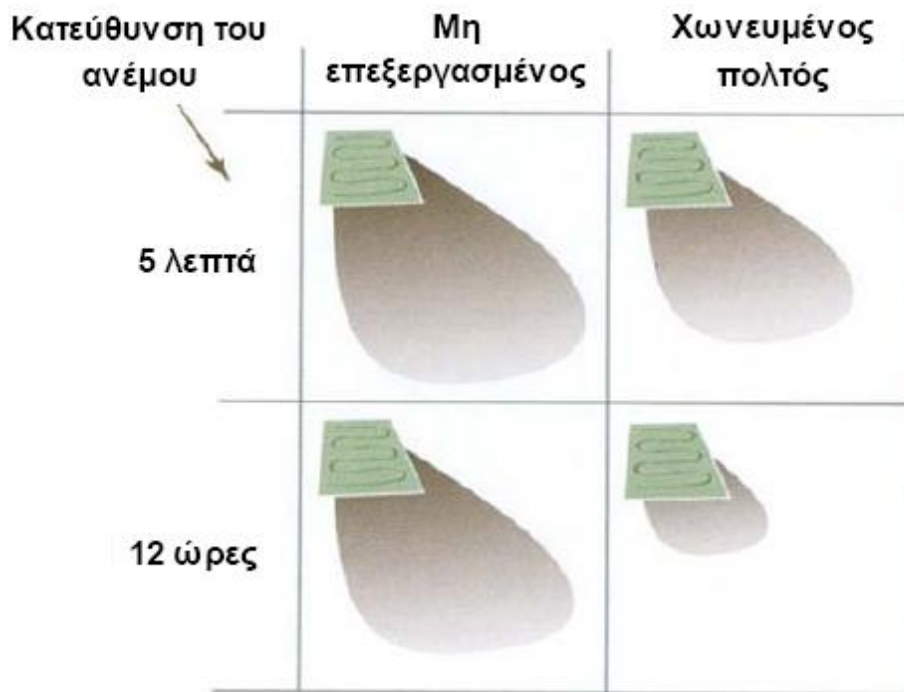
Η κτηνοτροφία είναι επίσης γνωστή για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ζωικών περιττωμάτων. Συνηθέστερα, οι γεωργικές εκτάσεις που διαθέτουν οι κτηνοτροφικές μονάδες δεν επαρκούν για τη βέλτιστη χρήση των παραχθέντων περιττωμάτων και πολτών ως λιπάσματος. Το πλεόνασμα των ζωικών περιττωμάτων απαιτεί τη λήψη επαρκών μέτρων για τη διαχείρισή τους, ώστε να αποτραπούν πιθανές σοβαρές επιπτώσεις από την υπερβολική λίπανση με ζωικά περιττώματα σε αυτές τις περιοχές, όπως είναι:

- η ρύπανση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων μέσω της διαρροής θρεπτικών ουσιών,
- η καταστροφή της δομής και της μικροβιολογίας του εδάφους,
- η καταστροφή συγκεκριμένων πληθυσμών χορτολιβαδικής βλάστησης και ο σχηματισμός χαρακτηριστικής «βλάστησης πολτού», σοβαροί κίνδυνοι εκπομπών μεθανίου και αμμωνίας,
- η όχληση λόγω οσμών και μυγών, από την αποθήκευση και την εφαρμογή της κοπριάς,
- ο κίνδυνος μόλυνσης και διάδοσης των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Η AX των ζωικών περιττωμάτων και των πολτών μπορεί να είναι η λύση στα ανωτέρω προβλήματα, επιτρέποντας τις φιλικές προς το περιβάλλον γεωργικές πρακτικές.



## Μείωση των οσμών

Μια από τις αξιοπρόσεχτες θετικές αλλαγές που πραγματοποιούνται μέσω της ΑΧ της κοπριάς, είναι η σημαντική μείωση των ευωδών ουσιών (πτητικά οξέα, φαινόλη και παράγωγα φαινόλων). Η εμπειρία δείχνει ότι από την ΑΧ μπορεί να μειωθεί μέχρι και το 80% των οσμών στα υποστρώματα πρώτης ύλης. Είναι όχι μόνο μια μείωση της έντασης και της διατήρησης των οσμών (εικόνα 18), αλλά και μια θετική αλλαγή στη σύνθεση των οσμών, καθώς το κομπόστ δεν έχει πλέον τη δυσάρεστη μυρωδιά του πολτού, αλλά μυρίζει περισσότερο όπως η αμμωνία. Ακόμα κι αν αποθηκεύεται για μακρύτερες χρονικές περιόδους, το κομπόστ δεν παρουσιάζει καμία αύξηση στην εκπομπή των οσμών. Στην εικόνα 18 δείχνει ότι 12 ώρες μετά από την εφαρμογή του κομπόστ, η μυρωδιά έχει σχεδόν εξαφανιστεί.



(εικόνα 18)

## Υγιεινή

Η διεργασία της ΑΧ αδρανοποιεί τους ιούς, τα βακτηρίδια και τα παράσιτα στα επεξεργασμένα υποστρώματα πρώτης ύλης, επίδραση που συνήθως καλείται “υγιεινή”. Η αποδοτικότητα της υγιεινής της ΑΧ εξαρτάται από το χρόνο παραμονής της πρώτης ύλης μέσα στο χωνευτήρα (ΥΧΠ), τη θερμοκρασία της διεργασίας, την τεχνική ανάδευσης και τον τύπο του χωνευτήρα. Η βέλτιστη υγιεινή επιτυγχάνεται στις

θερμόφιλες θερμοκρασίες (50-55°C) σε έναν επιμήκη αντιδραστήρα στρωτής ροής, με τον κατάλληλο χρόνο παραμονής. Σε αυτόν τον τύπο χωνευτήρα δεν λαμβάνει χώρα καμία μίξη του κομποστ με την νωπή πρώτη ύλη, επιτρέποντας την καταστροφή άνω του 99% όλων των παθογόνων να καταστραφεί. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η κτηνιατρικός ασφαλής ανακύκλωση του κομποστ ως λίπασμα, η Ευρωπαϊκή νομοθεσία απαιτεί συγκεκριμένα μέτρα υγιεινής στην περίπτωση των τύπων πρώτης ύλης ζωικής προέλευσης. Ανάλογα με τον τύπο της πρώτης ύλης απαιτείται προ-υγιεινή μέσω παστερίωσης, ή μέσω αποστείρωσης υπό πίεση πριν την παροχή του υποστρώματος στον χωνευτήρα.

### **Καταστροφή των σπόρων των ζιζανίων**

Μια σημαντική μείωση της ικανότητας δημιουργίας βλάστησης των σπόρων των ζιζανίων εμφανίζεται μέσω της διεργασίας της ΑΧ. Με αυτόν τον τρόπο, η παραγωγή του βιοαερίου συμβάλλει στην οικολογική μείωση των ζιζανίων. Η εμπειρία δείχνει ότι, η απώλεια της ικανότητας δημιουργίας βλάστησης μπορεί να εμφανιστεί για την πλειοψηφία των σπόρων ζιζανίων μέσα σε 10-16 ημέρες ΥΧΠ, αν και υπάρχουν διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των διαφορετικών τύπων σπόρων των φυτών. Όπως και στην περίπτωση της υγιεινής, η επίδραση αυξάνεται με τον χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία.

### **Αποφυγή του καψίματος των φυτών**

Η εφαρμογή του ακατέργαστου πολτού ως λιπάσματος μπορεί να προκαλέσει το κάψιμο των φύλλων των φυτών, που οφείλεται στην επίδραση των χαμηλής πυκνότητας λιπαρών οξέων, όπως το οξικό οξύ. Κατά τη λίπανση με κομποστ, αποφεύγεται το κάψιμο των φυτών, δεδομένου ότι τα περισσότερα λιπαρά οξέα έχουν διαλυθεί από τη διεργασία της ΑΧ. Το κομποστ ρέει ευκολότερα από τα φυτά απ' ότι ο μη χωνευμένος πολτός, πράγμα που μειώνει το χρόνο της άμεσης επαφής μεταξύ του πολτού /κομποστ και των εναέριων μερών των φυτών και μέσω αυτού τον κίνδυνο ζημίας των φύλλων.

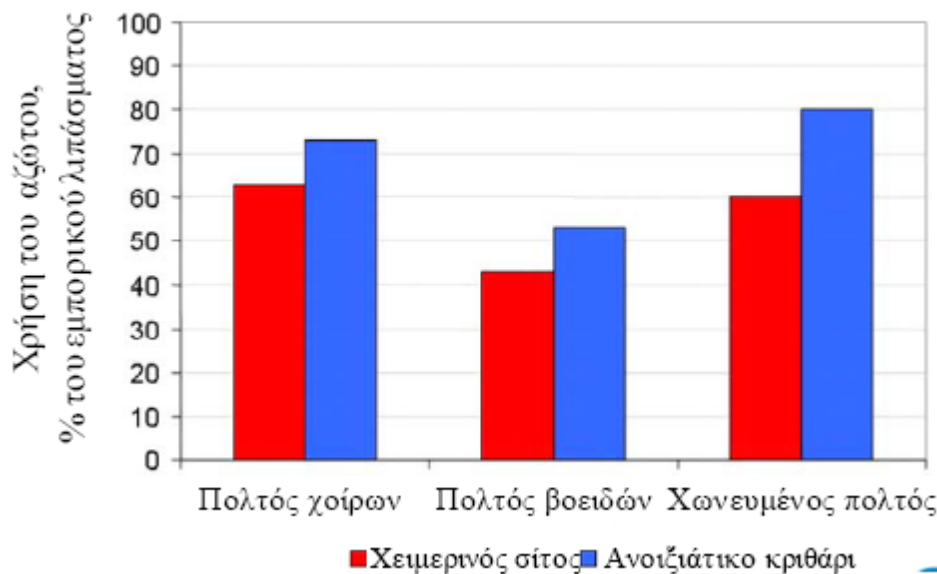
### **Βελτίωση του λιπάσματος**

Μέσω της διεργασίας της ΑΧ, οι πιο οργανικά συνδεδεμένες θρεπτικές ουσίες, ιδιαίτερα το άζωτο, είναι μεταλλοποιημένες και διατίθενται εύκολα στα φυτά. Το διάγραμμα 11 παρουσιάζει την χρήση του αζώτου από χωνευμένο πολτό, που εφαρμόζεται στο χειμερινό σίτο και το ανοιξιάτικο κριθάρι, έναντι της χρήσης αζώτου

από μη επεξεργασμένο πολτό. Λόγω της αυξανόμενης διαθεσιμότητας του αζώτου, το κομπόστ μπορεί να ενσωματωθεί πλήρως στα σχέδια λίπανσης των αγροκτημάτων, καθώς είναι δυνατό να υπολογιστούν τα αποτελέσματα λίπανσής του με τον ίδιο τρόπο όπως και για τα ορυκτά λιπάσματα.

Το κομπόστ έχει χαμηλότερη αναλογία C/N, έναντι του ακατέργαστου λιπάσματος, η χαμηλότερη αναλογία C/N σημαίνει ότι το κομπόστ έχει μια καλύτερη επίδραση βραχυπρόθεσμης N-λίπανσης. Όταν η τιμή της αναλογίας C/N είναι πάρα πολύ υψηλή, οι μικροοργανισμοί υπερισχύουν στο χώμα, καθώς ανταγωνίζονται επιτυχώς με τις ρίζες των φυτών για το διαθέσιμο άζωτο.

### Αξία λιπάσματος



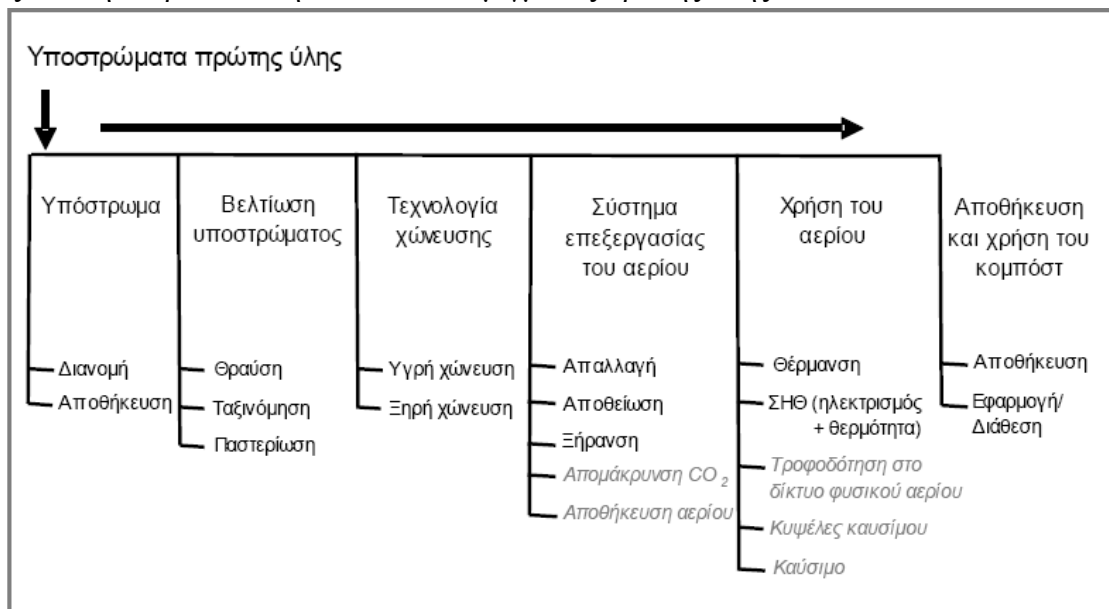
(Διάγραμμα 7)

### 3.30 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη εγκατάσταση, αποτελούμενη από μία ποικιλία κύριων στοιχείων. Η διάταξη μιας τέτοιας εγκατάστασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πρώτης ύλης, διαφορετικής προέλευσης, που είναι κατάλληλοι για χώνευση σε εγκαταστάσεις βιοαερίου, υπάρχουν, αντίστοιχα, διάφορες τεχνικές για τον χειρισμό αυτών των τύπων πρώτης ύλης, αλλά και διαφορετικές κατασκευές χωνευτήρων και συστημάτων λειτουργίας. Επιπλέον, ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τις συνθήκες λειτουργίας της κάθε εγκατάστασης βιοαερίου, είναι δυνατόν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για τη βελτίωση, την αποθήκευση και

την χρήση του βιοαερίου. Όσον αφορά στην αποθήκευση και τη χρήση του κομπόστ, αυτό που πρωτίστως ενδιαφέρει είναι η χρησιμοποίησή του ως λίπασμα και τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος που σχετίζονται με αυτό.

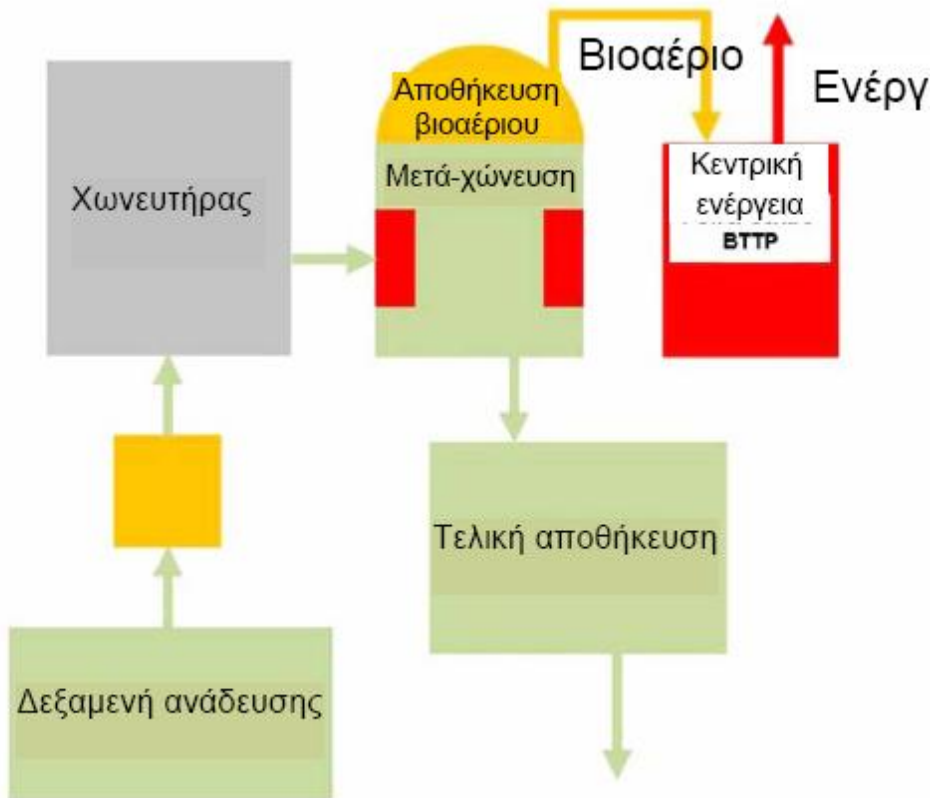
Τα κύρια βήματα της διεργασίας σε μια εγκατάσταση βιοαερίου παρουσιάζονται στην εικόνα 19 . Τα βήματα της διεργασίας που περιγράφονται με πλάγιους χαρακτήρες δεν αποτελούν κοινές πρακτικές για τις γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου. Η διαφοροποίηση της υγρής και ξηρής ΑΧ είναι μόνο θεωρητική, δεδομένου ότι οι μικροβιολογικές διεργασίες πραγματοποιούνται πάντα σε ρευστά μέσα. Το όριο μεταξύ της υγρής και της ξηρής χώνευσης καθορίζεται από την «αντλησιμότητα» της πρώτης ύλης. Ένα περιεχόμενο ξηρής ουσίας (ΞΟ) άνω του 15% σημαίνει ότι το υλικό δεν είναι «αντλήσιμο» και η ΑΧ σε αυτήν την περίπτωση ορίζεται ως ξηρή χώνευση. Η άμεση τροφοδοσία σχετικά ξηρής πρώτης ύλης (όπως π.χ. η χορτονομή) στον χωνευτήρα αυξάνει την περιεκτικότητα σε ΞΟ του μίγματος πρώτης ύλης.

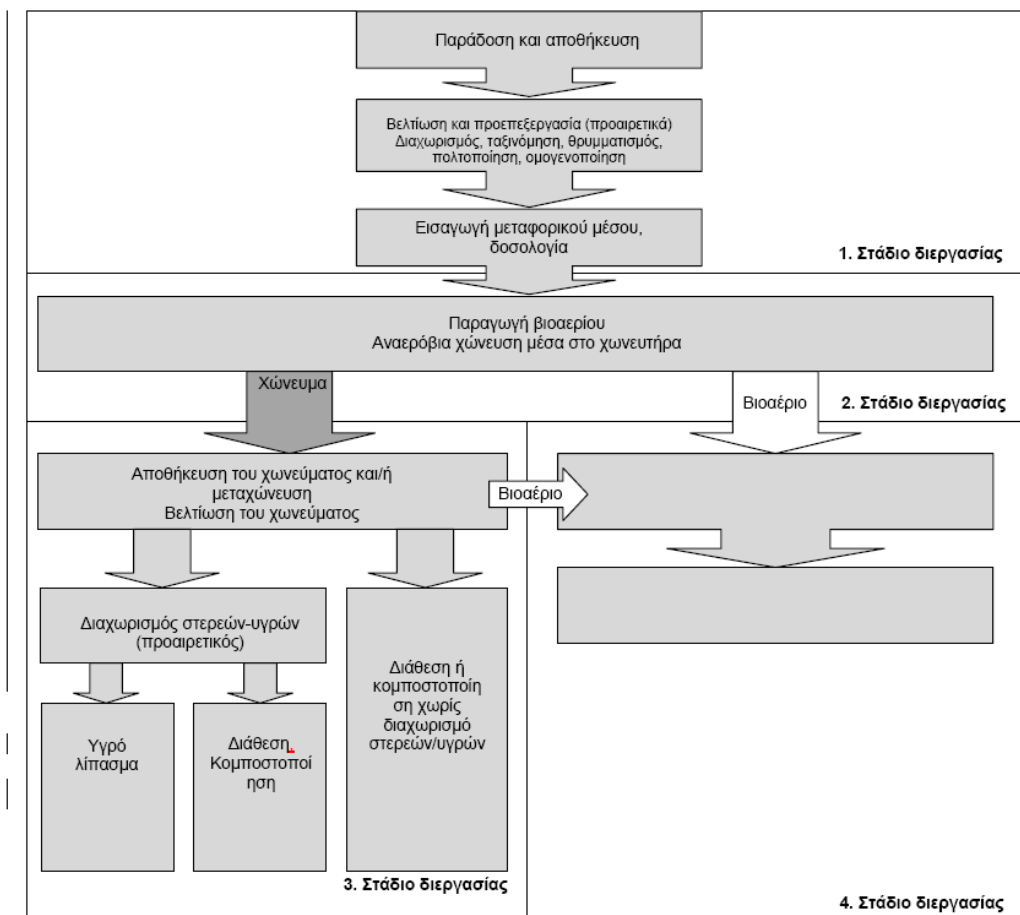


Τα βήματα της διεργασίας των τεχνολογιών βιοαερίου (PRABL, 2008)(εικόνα 19)

Η κύρια συνιστώσα μιας εγκατάστασης βιοαερίου είναι ο χωνευτήρας (η δεξαμενή του αντιδραστήρα της AX), ο οποίος συνοδεύεται από έναν αριθμό άλλων συνιστωσών

(εικόνα 20)





Γενικό διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου (PRABL, 2008)(εικόνα 21)

Οι αγροτικές εγκαταστάσεις βιοαερίου λειτουργούν συνήθως με τέσσερα διαφορετικά στάδια διεργασίας (εικόνα 21 ):

1. Μεταφορά, παράδοση, αποθήκευση και προεπεξεργασία της πρώτης ύλης.
2. Παραγωγή βιοαερίου (Αναερόβια Χώνευση).
3. Αποθήκευση του κομπόστ, ενδεχόμενη βελτίωση και χρήση.
4. Αποθήκευση του βιοαερίου, βελτίωση και χρήση.

Τα στάδια της διεργασίας του Σχήματος παρουσιάζονται ευκρινέστερα στην εικόνα 22 το οποίο έχει μια απλουστευμένη απεικόνιση μιας χαρακτηριστικής αγροτικής εγκατάστασης συγχώνευσης.

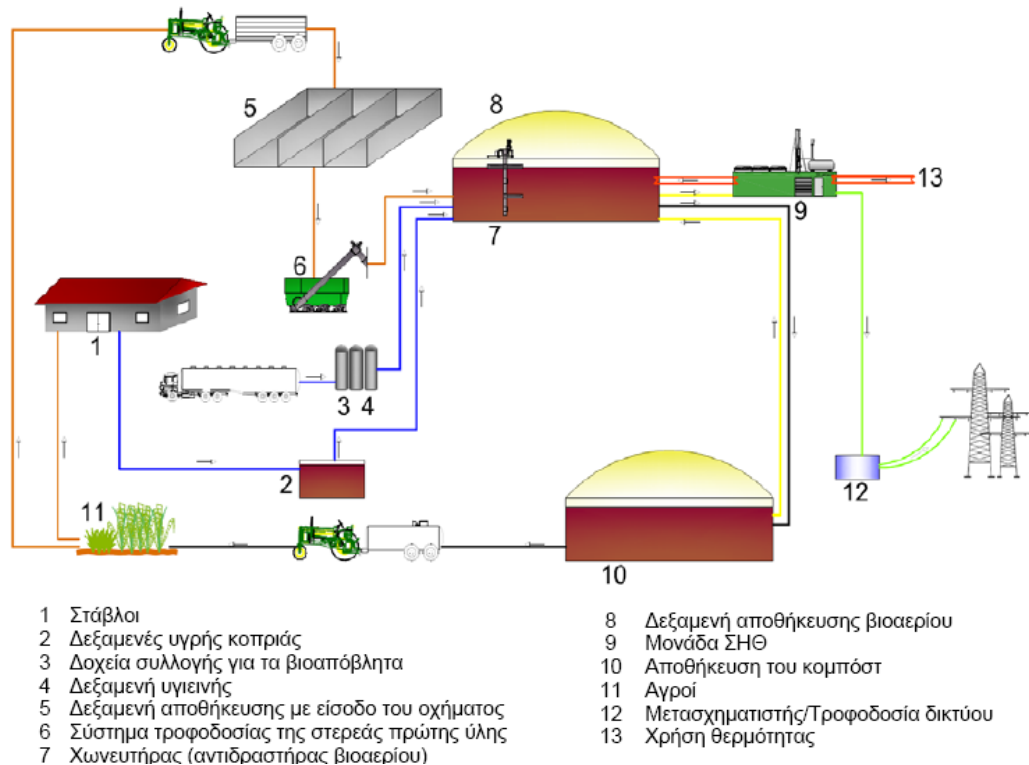
1. Το πρώτο στάδιο της διεργασίας (αποθήκευση, βελτίωση, μεταφορά και εισαγωγή της πρώτης ύλης) περιλαμβάνει την δεξαμενή αποθήκευσης της κοπριάς (2), τα δοχεία συλλογής (3), τη δεξαμενή υγιεινής (4), τις δεξαμενές αποθήκευσης με είσοδο οχήματος (5) και το σύστημα τροφοδοσίας της στερεής πρώτης ύλης (6).
2. Το δεύτερο στάδιο της διεργασίας περιλαμβάνει την παραγωγή του βιοαερίου στον

αντιδραστήρα βιοαερίου (7), γνωστός επίσης ως χωνευτήρας.

3. Το τρίτο στάδιο της διεργασίας αντιπροσωπεύεται από την δεξαμενή αποθήκευσης για το κομπόστ (10) και τη χρήση του κομπόστ ως λίπασμα στους αγρούς (11).

4. Το τέταρτο στάδιο της διεργασίας (αποθήκευση, βελτίωση και χρήση του βιοαερίου) πραγματοποιείται στην δεξαμενή αποθήκευσης αερίου (8) και τη μονάδα συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) (9).

Αυτά τα τέσσερα στάδια της διεργασίας συνδέονται στενά μεταξύ τους (π.χ.: το στάδιο 4 κανονικά παρέχει την απαραίτητη θερμότητα διεργασίας για το στάδιο 2).



(εικόνα 22)

Όταν κατασκευάζεται μία μονάδα βιοαερίου, η επιλογή του τύπου και του σχεδιασμού της εγκατάστασης εξαρτώνται πρωτίστως από την ποσότητα και τον τύπο της διαθέσιμης πρώτης ύλης. Η ποσότητα της πρώτης ύλης καθορίζει τη διαστασιολόγηση του μεγέθους του χωνευτήρα, των δυναμικών αποθήκευσης και της μονάδας ΣΗΘ. Η ποιότητα της πρώτης ύλης (περιεχόμενο ΞΟ, δομή, προέλευση κλπ.) καθορίζει την τεχνολογία της διεργασίας. Ανάλογα με τη σύνθεση της πρώτης ύλης, μπορεί να είναι απαραίτητο να διαχωριστούν τα προβληματικά υλικά, να τεμαχιστεί η πρώτη ύλη, ή να προστεθεί ύδωρ, προκειμένου να μετατραπεί σε ένα μίγμα ικανό να αντληθεί. Εάν η παρεχόμενη πρώτη ύλη είναι επιρρεπής σε μολύνσεις είναι απαραίτητο

να περιληφθεί ένα βήμα υγιεινής στη γενική διάρθρωση του σχεδίου της μελλοντικής εγκατάστασης.

Στην περίπτωση της υγρής AX, συνήθως χρησιμοποιούνται μονής βαθμίδας εγκαταστάσεις AX που λειτουργούν με διεργασία δια μέσου της ροής. Στη διεργασία διπλής βαθμίδας, ένας προ-χωνευτήρας τοποθετείται πριν από τον κύριο χωνευτήρα. Ο προ-χωνευτήρας δημιουργεί τις βέλτιστες συνθήκες για τα πρώτα δύο βήματα της διεργασίας της AX (υδρόλυση και σχηματισμός οξέων). Μετά από τον προ-χωνευτήρα, η πρώτη ύλη εισάγεται στον κύριο χωνευτήρα, όπου πραγματοποιούνται τα επόμενα βήματα της AX.

Το χωνευμένο υπόστρωμα (κομπόστ) αντλείται από το χωνευτήρα και αποθηκεύεται σε δεξαμενές αποθήκευσης. Αυτές οι δεξαμενές αποθήκευσης πρέπει να καλύπτονται με αεροστεγείς μεμβράνες, όπου μπορεί να συνεχιστεί, η παραγωγή και συλλογή του βιοαερίου, στην θερμοκρασία περιβάλλοντος (μετα-χώνευση). Εναλλακτικά, το κομπόστ μπορεί να αποθηκευτεί σε ανοικτά δοχεία με φυσικό ή τεχνητό επιπλέον στρώμα, που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των επιφανειακών εκπομπών.

Το παραγόμενο βιοαέριο αποθηκεύεται, βελτιώνεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Η τυπική χρήση του βιοαερίου είναι για ΣΗΘ π.χ. σε θερμικές εγκαταστάσεις τύπου μονάδας (BTTP), για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

### 3.31 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η αποτελεσματική μείωση των παθογόνων στο κομπόστ παρέχεται από την εφαρμογή μιας χωριστής διαδικασίας προ-υγιεινής, για τους τύπους πρώτης ύλης που απαιτούν ιδιαίτερη υγειονομία (π.χ. υγρά απόβλητα από σφαγεία, απόβλητα τροφών και υπηρεσιών σίτισης, επιπλέονσα λάσπη κλπ.). Για τους τύπους πρώτης ύλης που δεν απαιτούν χωριστή υγιεινή (ζωική κοπριά και πολτοί, ενεργειακές καλλιέργειες, φυτικά υπολείμματα όλων των ειδών κλπ.) η απαραίτητη υγιεινή και μείωση των παθογόνων εξασφαλίζονται με την ίδια τη διεργασία της AX. Μερικές παράμετροι της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος παραμονής μέσα στο χωνευτήρα, το pH κλπ., έχουν άμεση ή έμμεση επιρροή στην αποδοτικότητα της υγιεινής της διεργασίας AX.



## Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία της διεργασίας έχει μια επίδραση υγιεινής στα παρεχόμενα υποστρώματα. Σε περίπτωση προεπεξεργασίας της πρώτης ύλης, η αποδοτικότητα της μείωσης των παθογόνων αυξάνεται με την αύξηση των θερμοκρασιών.

## Χρόνος παραμονής

Στην περίπτωση των εγκαταστάσεων βιοαερίου που επεξεργάζονται ζωική κοπριά και πολτούς, φυτική βιομάζα από δραστηριότητες καλλιέργειας καθώς επίσης και άλλους μη- προβληματικούς τύπους πρώτης ύλης, η υγιεινή είναι ένα αποτέλεσμα του συνδυασμού των θερμοκρασιών και του ελάχιστου εγγυημένου χρόνου παραμονής (EEXΠ). Η επίδραση της θερμοκρασίας και του EEXΠ στην καταστροφή των παθογόνων καταδεικνύεται στον Πίνακα , που παρουσιάζει τους χρόνους αποδεκατισμού για μερικούς κοινούς τύπους παθογόνων από τους ζωικούς πολτούς. Στην περίπτωση π.χ. της *Salmonella typhi murium*, η καταστροφή του 90% του πληθυσμού συμβαίνει σε 0,7 ώρες σε ένα χωνευτήρα που λειτουργεί στους 53oC (θερμόφιλη χώνευση), σε 2,4 ημέρες σε ένα χωνευτήρα που λειτουργεί στους 35oC (μεσόφιλη χώνευση), αλλά η ίδια μείωση της Σαλμονέλας μπορεί να πάρει 2 έως 6 εβδομάδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε μη επεξεργασμένο πολτό.

## Τιμή του pH

Η μείωση των μικροοργανισμών (βακτηρίδια) μπορεί να συμβεί σε όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, η προ-υδρόλυση συγκεκριμένων τύπων βιομάζας προκαλεί μια σημαντική πτώση στην τιμή του pH και μειώνει τους μικροοργανισμούς μέχρι 90% (λόγω μιας τοξικής επίδρασης των οργανικών οξέων).

Βακτήρια	Πολτός που χρησιμοποιείται από την AX		Μη επεξεργασμένος πολτός	
	53 <sup>o</sup> C (θερμοκρασία θερμοφίλης διεργασίας)	35 <sup>o</sup> C (θερμοκρασία θερμοφίλης διεργασίας)	18-21 <sup>o</sup> C	6-15 <sup>o</sup> C
	ώρες	ημέρες	εβδομάδες	εβδομάδες
<i>Salmonella typhi murium</i>	0,7	2,4	2,0	5,9
<i>Salmonella dublin</i>	0,6	2,1	-	-
<i>Escherichia coli</i>	0,4	1,8	2,0	8,8
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,5	0,9	0,9	7,1
<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	0,7	6,0	-	-
<i>Coliform bacteria</i>	-	3,1	2,1	9,3
<i>Ομάδα των D-Streptococi</i>	-	7,1	5,7	21,4
<i>Streptococcus faecalis</i>	1,0	2,0	-	-

\*Ο χρόνος αποδεκατισμού T-90 είναι ο χρόνος επιβίωσης των μικροοργανισμών που παρακολουθούνται. Ο χρόνος αποδεκατισμού T-90, ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για τις εφικτές μετρήσεις ενός πληθυσμού έως ότου μειωθεί κατά μία λογαριθμική μονάδα (log10), το οποίο ισοδυναμεί με μία μείωση κατά 90% (SCHLUNDT, 1984).

(πίνακας 3.8)

## **Προέλευση της υγρής κοπριάς**

Η διάρκεια ζωής των παθογόνων εξαρτάται από την προέλευση της υγρής κοπριάς. Οι Σαλμονέλες για παράδειγμα επιζούν περισσότερο στον πολτό των βοοειδών, αλλά ο πολτός των χοίρων, από την άλλη, περιέχει πιο μολυσματικούς οργανισμούς λόγω της υψηλότερης πυκνότητας των σταβλισμένων ζώων και της παρουσίας παθογόνων στην τροφή.

### **3.32 ΘΕΤΙΚΕΣ /ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ**

Η προστατευτική συσσώρευση των μικροοργανισμών (βακτηρίδια) μπορεί να παρατείνει τη διαδικασία αδρανοποίησης των παθογόνων.

#### **Περιεχόμενο ξηρής ουσίας**

Κάποια από τα χαρακτηριστικά της σαλμονέλας επιζούν περισσότερο σε υλικά με περιεχόμενο ΞΟ μεγαλύτερο από 7%.

#### **Περιεκτικότητα σε αμμωνία**

Η αδρανοποίηση των παθογόνων είναι αποτελεσματικότερη στα υποστρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία. Όπως η συγκέντρωση αμμωνίας στο κομπόστ είναι υψηλότερη απ' ό τι στον ακατέργαστο πολτό, έτσι είναι και η αποδοτικότητα της αδρανοποίησης των παθογόνων.

#### **Σύστημα χωνευτήρα**

Στους πλήρως αναμιγμένους χωνευτήρες, η νωπή πρώτη ύλη μπορεί πάντα να μολύνει το ήδη υγιεινοποιημένο υπόστρωμα. Ακόμη και σε έναν αντιδραστήρα στρωτής ροής, όπου τα σωματίδια κινούνται ομοιόμορφα διαμέσου του αντιδραστήρα, δεν μπορούν να αποτραπούν οι συντομότεροι δρόμοι. Επομένως, δεν μπορεί να διασφαλισθεί ένας ελάχιστος χρόνος παραμονής στους μικτούς αντιδραστήρες. Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί μόνο σε μια δέσμη ή σε ένα κατά δέσμες ασυνεχές σύστημα, όπου ο χωνευτήρας αρχικά γεμίζεται πλήρως και έπειτα εκκενώνεται εντελώς μετά από την χώνευση (π.χ. μέθοδος δεσμών ξηρού συστήματος AX).

## Βιολογικοί δείκτες

Είναι αδύνατο να αναλυθεί το κομπόστ για όλα τα παθογόνα είδη που μπορούν να είναι παρόντα, έτσι υπάρχει μια απαίτηση για τον προσδιορισμό βιολογικών δεικτών που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της μείωσης των παθογόνων στο κομπόστ. Η χρήση βιολογικών δεικτών για την αξιολόγηση της θανάτωσης των πιθανών παθογόνων βασίζεται στην ενεργοποίηση, την αύξηση και τη μολυσματικότητα των δοκιμαστικών οργανισμών.

Μια από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι ο log10 του FS, που βασίζεται στη μέτρηση των περιττωματικών στρεπτόκοκκων (*Faecale Streptococci* - FS) στο κομπόστ. Διάφορα κτηνιατρικά ερευνητικά προγράμματα στη Δανία ερεύνησαν την επιβίωση των βακτηριδίων, των ιών και των αυγών των παρασίτων στις ζωικές κοπριές υπό ποικίλες συνθήκες αποθήκευσης και αναερόβιας επεξεργασίας. Επιλέχθηκε ο βιολογικός δείκτης περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι (εντερόκοκκοι) (FS) επειδή αυτό το είδος στρεπτόκοκκου επιζεί στη θερμική επεξεργασία για πολύ χρόνο μετά απ' ό,τι τα άλλα παθογόνα βακτηρίδια, ιοί και αυγά παρασίτων σκοτώνονται ή χάνουν τη βιωσιμότητά τους. Στη Γερμανία ερευνήθηκε από την άποψη της υγιεινής η τροφοδοσία λυματολάσπης και βιοαποβλήτων ως πρώτης ύλης για τις αναερόβιες εγκαταστάσεις ομο-χώνευσης. Χρησιμοποιήθηκαν ως οδηγίες οι απαιτήσεις που έχουν ήδη τεθεί σε ισχύ όσον αφορά τις πτυχές υγιεινής της αεροβικής παραγωγής λιπάσματος, και πολλοί από τους πιθανούς βιολογικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στη μικροβιολογία της δημόσιας υγείας απορρίφθηκαν λόγω της υπάρχουσας επικράτησής τους στα περιβάλλοντα των εδαφών και των υδάτων. Όσον αφορά την ομο-χώνευση των βιοαποβλήτων, ο Böhm και οι συνεργάτες του κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η απουσία της σαλμονέλας παρείχε τον καλύτερο δείκτη της αποτελεσματικής υγιεινής στις εγκαταστάσεις ΑΧ ομο-χώνευσης. Είδη Σαλμονέλας ανιχνεύθηκαν σε πάνω από το 90% των επιλεγμένων δειγμάτων των αποβλήτων. Συνεπώς, προτάθηκε να χρησιμοποιείται η Σαλμονέλα ως ένας βιολογικός δείκτης, με τη σύσταση ότι η Σαλμονέλα πρέπει να είναι απύουσα από τα δοκιμασμένα δείγματα των 50g. Αντίθετα από τη μέθοδο FS που χρησιμοποιείται στη Δανία, η διαδικασία του τεστ Σαλμονέλας απαιτεί στάδια καλλιέργειας προ- εμπλουτισμού και εμπλουτισμού σε ρυθμιστικό διάλυμα νερού πεπτόνης και επιλεκτικά μέσα, πριν από τον θετικό προσδιορισμό.

Η ανάγκη εξασφάλισης της φυτο-υγιεινής έχει ερευνηθεί επίσης στη Γερμανία. Αντίθετα από το βακτηριακό σύστημα, δεν υπάρχει κανένας αναγνωρισμένος βιολογικός δείκτης για την πιθανή παρουσία παθογόνων στα φυτά. Ο μόνος δείκτης που είναι ευρέως καταναημένος στα οικιακά βιοαπόβλητα είναι οι σπόροι ντομάτας. Έτσι, στη Γερμανία, ο όρος «φυτο- υγιεινή ασφάλεια» έχει καθοριστεί ως η απουσία στα επεξεργασμένα απόβλητα και τα απόβλητα ύδατα περισσότερων από δύο σπόρων

ντομάτας ικανών για βλάστηση ή/και αναπαραγωγήσιμων μερών φυτών σε ένα λίτρο επεξεργασμένων αποβλήτων. Αντίστοιχες μελέτες έχουν καταδείξει την επίδραση της θερμοκρασίας στην αδρανοποίηση των ιών. Για την πλειοψηφία των υπό δοκιμή ιών, η θερμότητα βρέθηκε να είναι το μόνο και πιο σημαντικό αντιβιοτικό. Στην περίπτωση του κοκκίου, άλλοι παράγοντες εκτός της θερμότητας συνέβαλαν ουσιαστικά στη γενική απώλεια της βιωσιμότητας. Αυτό συμφωνεί με τα συμπεράσματα άλλων ερευνητών, που ισχυρίζονται ότι παράγοντες όπως το υψηλό pH, η αμμωνία, τα καθαριστικά και οι μικροβιακοί μεταβολίτες μπορούν να συμβάλουν στην αδρανοποίηση των ιών.

## 4.ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΒΕΙΩΝ.

Στο πείραμα μας ακολουθήσουμε την νέα τάση διαχείρισης αποβλήτων όπου εφαρμόσαμε μηχανικό διαχωρισμό (των αποβλήτων πριν την αναερόβια χώνευση σε αντίθεση με τον έως τώρα τρόπο επεξεργασίας όπου είχαμε εφαρμογή μηχανικού διαχωριστή μετά την αναερόβια χώνευση .Εφαρμόζοντας τα εκχυλίσματα πτηνοτροφείου και λιοζουμιου πετύχαμε την απομάκρυνση των χονδρόκοκκων υλικών με σκοπό να εκμεταλλευτούμε τα υδροδιαλυτά στερεά των αποβλήτων μας και να αποφύγουμε την είσοδο στον ΑΧ μη βιοδιασπώμενων υλικών .

## II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο της Διαχείρισης Αποβλήτων του τμήματος Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. Για την πραγματοποίηση του χρησιμοποιήθηκαν 2 μεταλλικοί ανοξείδωτοι αναερόβιοι χωνευτήρες ,με συνολική χωρητικότητα ο καθένας 24 L. Ο κάθε χωνευτήρας περιείχε σταθερή ποσότητα 19 L υγρών αποβλήτων. Στο ανώτερο τμήμα του υπήρχε στόμιο τροφοδοσίας και στο κατώτερο αντίστοιχα μια βάνα λήψης των εξερχόμενων υγρών.

Σε κάθε χωνευτήρα υπήρχε μια σύνδεση μέσω σωληνώσεων με ένα μεταλλικό βαρέλι το οποίο περιείχε μία ποσότητα νερού. Ο όγκος του παραγόμενου βιοαερίου από τον χωνευτήρα εκτόπιζε το νερό από το βαρέλι ( αρχή συγκοινωνούντων δοχείων ) προς μία οπή εξόδου το οποίο συλλεγόταν σε ένα άλλο βαρελάκι και ζυγιζόταν. Επίσης υπήρχε ένα λεπτό σωληνάκι συνδεδεμένο με το κάτω μέρος του βαρελιού με κατεύθυνση προς τα πάνω όπου έβλεπες την στάθμη του νερού εσωτερικά και έκανες την διόρθωση της κάθε φορά που μετρούσες το βιοαέριο.

Το πείραμα διενεργήθηκε στην μεσόφιλη περιοχή δηλαδή γύρω στους 35<sup>0</sup> C (± 5<sup>0</sup> C). Για να επιτευχθεί η συγκεκριμένη θερμοκρασία, στη βάση κάθε χωνευτήρα υπήρχε

ηλεκτρική εστία θέρμανσης και ένας συνδεδεμένος θερμοστάτης. Ένα επιπλέον στοιχείο ήταν η βαλβίδα ασφαλείας, όπου σε περίπτωση δυσλειτουργίας η πίεση από το παραγόμενο βιοαέριο εκτονώνονταν μέσω αυτής προς την ατμόσφαιρα.

Στο τέλος κάθε μέτρησης του παραγόμενου βιοαερίου, και αφού είχε γίνει η τροφοδοσία του χωνευτήρα με φρέσκο υλικό, γινόταν αναπλήρωση του νερού στο βαρέλι μέχρι το ύψος που βρισκόταν το σωληνάκι εκροής του νερού. Η πλήρωση γινόταν μέσω δικτύου με νερό βρύσης.

Στην διάρκεια του πειράματος εκτός από το βιοαέριο μετρήθηκαν και οι εξής παράμετροι: ΡΗ, Θερμοκρασία εξερχόμενων υγρών, τα ολικά και πτητικά στερεά της πρώτης ύλης και των εξερχόμενων υγρών των χωνευτήρων, καθώς και το ποσοστό μεθανίου επί του βιοαερίου. Οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίστηκαν περιγράφονται παρακάτω.

- **Μέτρηση ΡΗ και θερμοκρασίας**

Η μέτρηση του ΡΗ γινόταν ανά 48 ώρες με την χρήση ηλεκτρονικού πεχάμετρου – θερμομέτρου στα υγρά εξόδου του αναερόβιου χωνευτήρα. Επίσης με ένα άλλο ηλεκτρόδιο της ίδιας συσκευής γινόταν η μέτρηση της θερμοκρασίας τους.

- **Προσδιορισμός Ολικών Στερεών (% κ.β. )**

Κατά την διάρκεια του πειράματος προσδιορίζονται τα Ο.Σ. στην πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαμε και συγκεκριμένα στα ημικομποστοποιημένα απόβλητα πτηνοτροφείου και στο εκχύλισμα λιοζουμιού με πτηνοτροφείο καθώς και στα υγρά εξόδου από τους χωνευτήρες όταν αυτοί είχαν σταθεροποιηθεί. Ο υπολογισμός τους γινόταν με την χρήση κάψων πορσελάνης οι οποίες ζυγίζονταν κενές αφού είχαν θερμανθεί στους 105 °C στον φούρνο ξηράνσεως. Κάθε μια από αυτές σημειώνονταν με μαρκαδόρο και στην συνέχεια αφού προσθέταμε μία της ύλης που μας ενδιέφερε, ξαναζυγίζονταν. Ακολουθούσε η ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο ξηράνσεως Memmert (Type U15) σε θερμοκρασία 105 °C για 24 ώρες. Μετά την πάροδο του απαιτούμενου χρόνου τοποθετούνταν σε γυάλινο σκεύος, το οποίο περιείχε αφυγραντικό υλικό, έως ότου κρυώσουν και έπειτα ζυγίζονταν οι κάψες με τα ξηρό δείγμα.

Ο ζυγός που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου Mettler H10 μοντέλο 4/10, ακριβείας  $\pm 0,0001$  gr.

Αφού προσδιορίστηκαν οι παραπάνω τιμές με την χρήση του παρακάτω τύπου υπολογίστηκαν τα Ολικά Στερεά.

$$\text{Ο.Σ.} = (\text{Βάρος Ξηρού Δείγματος} / \text{Βάρος Νωπού Δείγματος}) * 100$$

- **Προσδιορισμός Πτητικών στερεών (%Ο.Σ.)**

Για τον προσδιορισμό των πτητικών στερεών οι κάψες που περιείχαν το ξηρό δείγμα τοποθετούνται σε αποτεφρωτήρα Thermolyne Sybron (Type 1400 Furnace) για την καύση των οργανικών τους ουσιών στους 550° C για 12-16 ώρες. Έπειτα τις βάζουμε στο γυάλινο σκεύος να κρυώσουν χωρίς να απορροφήσουν υγρασία και τις ζυγίζουμε.

Ο τύπος που προσδιορίζει τα πτητικά στερεά είναι:

$$\text{Π.Σ.} = (\text{Βάρος Ξηρού Δείγματος} - \text{Τέφρα} / \text{Βάρος Ξηρού Δείγματος}) * 100$$

- **Προσδιορισμός ποσοστού μεθανίου επί του βιοαερίου**

Κατά την λειτουργία των αναερόβιων χωνευτήρων παράγεται το βιοαέριο, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο 65-80%, CO<sub>2</sub>, υδρατμούς και σε πολύ μικρή μέσω της καύσης είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο.

Το ποσοστό του μεθανίου επί του βιοαερίου προσδιορίζεται με μία συσκευή που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών. Η συσκευή αυτή είναι ένα γυάλινο βάζο αεροστεγώς κλεισμένο, που έχει 2 σωληνάκια στο καπάκι του, εκ των οποίων το ένα καταλήγει στην βάση του και το άλλο ψηλότερα. Μέσα στο βάζο υπάρχει κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του Καλίου (KOH) το οποίο έχει την δυνατότητα να κατακρατεί το CO<sub>2</sub>.

Για την μέτρηση του μεθανίου με μία πλαστική σύριγγα των 30 ml αντλούμε βιοαέριο από τον σωλήνα διαφυγής του βιοαερίου που συνδέεται με τον αναερόβιο χωνευτήρα. Η σύριγγα αυτή (Α) τοποθετείται στο σωληνάκι του βάζου που καταλήγει στον πυθμένα του ενώ παράλληλα στο άλλο σωληνάκι τοποθετούμε ομοίως μια σύριγγα (Β) χωρίς αέρα. Καθώς πιέζουμε την πρώτη και το βιοαέριο διαχέεται στο υγρό, από την άλλη η κενή σύριγγα μετατοπίζεται. Έτσι ο λόγος μεταξύ τους αποτελεί το ποσοστό του μεθανίου.

-  $\text{Μεθάνιο (\% Βιοαερίου)} = \text{Όγκος Β} / \text{Όγκος Α}$

## 2.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

### 2.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΟΥ

Τα ημι-κομποστοποιημένα στερεά πτηνοτροφείου από την πτηνοτροφική μονάδα Σκούρτη στη Κόρινθο αφότου παραλαμβάνονταν στο εργαστήριο αποθηκεύονταν σε σκιερό και δροσερό μέρος. Έπειτα πραγματοποιούταν η επεξεργασία για την παρασκευή των εκχυλισμάτων (κατ όγκο επεξεργασία). Στα ημι-κομποστοποιημένα στερεά πτηνοτροφείου, στο εκχύλισμα και στο υπόλειμμα πτηνοτροφείου με νερό έγιναν μετρήσεις των παραμέτρων τους σχετικά με το pH, τα Ο.Σ. και Π.Σ. Οι μετρήσεις γίνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα και παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες.

**Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Ημι-κομποστοποιημένων Αποβλήτων Πτηνοτροφείου (α' περίοδος)**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	pH
1	30/10/2011	56,40	67,80	
		56,84	67,16	
2	12/12/2011	62,21	64,63	
		62,80	63,82	
3	14/12/2011	63,30	67,69	
		62,94	68,47	
4	30/12/2011	56,43	65,37	
		56,33	64,74	
5	13/1/2012	37,11	66,55	<b>9,78</b>
		38,38	67,00	
6	15/1/2012	60,06	63,80	
		60,44	64,46	
7	25/1/2012	59,47	67,93	
		60,55	68,84	
8	8/2/2012	48,86	70,93	
		50,37	70,80	
	M.O.	<b>55,78</b>	<b>66,87</b>	

**Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος Πτηνοτροφείου με Νερό (α' περίοδος)**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(O<sub>2</sub>)</sub>	pH
1	30/10/2011	5,48	66,83	
		5,45	66,61	
2	18/11/2011	1,08	68,19	<b>9,4</b>
		1,23	69,21	
3	30/11/2011	1,25	71,02	
		1,22	70,15	
4	12/12/2011	1,32	61,65	<b>9,44</b>
		1,66	61,68	
5	14/12/2011	1,19	56,82	<b>9,51</b>
		1,22	54,21	
6	30/12/2011	2,48	66,30	<b>9,08</b>
		2,18	65,83	
7	5/1/2012	1,31	66,16	<b>9,75</b>
		1,25	63,37	
8	15/1/2012	1,36	75,89	
		1,33	74,38	
9	25/1/2012	1,28	76,29	<b>9,67</b>
		1,09	71,62	
10	8/2/2012	0,89	89,34	<b>9,47</b>
		0,89	87,82	
11	24/2/2012	1,05	71,73	<b>9,03</b>
		1,03	70,75	
13	5/3/2012	2,18	77,22	
		2,16	80,20	
14	7/3/2012	1,24	57,84	
		1,33	58,51	
15	11/3/2012	0,81	71,62	<b>9,85</b>
		0,88	70,63	
	<b>M.O.</b>	<b>1,64</b>	<b>69,35</b>	<b>9,46</b>



**Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος Πτηνοτροφείου με Νερό (β' περίοδος )**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	ρΗ
1	2/4/2012	2,57	60,55	1,55	
		2,30	60,38	1,39	
2	18/4/2012	1,95	62,27	1,21	
		1,99	66,18	1,31	
3	2/5/2012	0,46	68,67	0,31	
		0,49	70,96	0,34	
4	18/5/2012	4,43	70,47	3,12	
		4,06	68,61	2,78	
5	28/5/2012	4,69	70,29	3,29	
		4,63	70,85	3,28	
6	9/6/2012	3,10	67,01	2,08	
		2,75	67,95	1,87	
7	9/7/2012	5,85	69,42	4,06	
		5,88	71,02	4,17	
	M.O.	<b>3,22</b>	<b>67,47</b>	<b>2,20</b>	

**Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Υπολείμματος Πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με νερό (α' περίοδος )**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ρΗ
1	12/12/2011	45,81	68,53	
		46,63	69,00	
2	14/12/2011	44,63	67,33	
		44,97	68,24	
3	25/1/2012	31,01	67,99	
		36,55	67,88	
4	8/2/2012	32,51	67,03	
		31,27	65,45	
5	1/3/2012	35,02	70,34	<b>8,86</b>
		35,90	69,86	
	M.O.	<b>38,43</b>	<b>68,17</b>	

## 2.2 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ

Η προμήθεια των υγρών αποβλήτων (λιοζουμιών) γινόταν από ένα γειτονικό τριφασικό ελαιοτριβείο της Κορινθίας. Μετά τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο, τα πλαστικά βαρέλια με το λιοζούμι τοποθετούνταν σε σκιερό μέρος, δεδομένου ότι το λιοζούμι δεν απαιτεί ιδιαίτερες συνθήκες φύλαξης. Οι μετρήσεις του pH, των Ο.Σ. και των Π.Σ. αφορούσαν το λιοζούμι, το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι και το υπόλειμμα του πτηνοτροφείου μετά από τη διαβροχή του με λιοζούμι. Τα στοιχεία παρουσιάζονται στους πίνακες παρακάτω:

**Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά του Λιοζουμιού**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	pH
1	30/12/2011	2,82	92,47	2,61	<b>5,29</b>
		2,75	93,74	2,58	
2	25/1/2012	5,25	88,69	4,66	<b>5,09</b>
		5,23	88,91	4,65	
3	24/2/2012	4,64	91,08	4,23	<b>5,08</b>
		5,04	90,20	4,54	
4	3/3/2012	5,18	90,14	5,40	<b>5,63</b>
		5,90	89,71	4,70	
	<b>M.O.</b>	<b>4,67</b>	<b>90,62</b>	<b>4,17</b>	<b>5,27</b>

**Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Υπολείμματος πτηνοτροφείου μετά από διαβροχή με λιοζούμι (α' περίοδος)**

Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>
1	8/2/2012	38,49	74,82
		35,82	71,31
2	1/3/2012	36,61	67,76
		36,59	68,19
	<b>M.O.</b>	<b>36,88</b>	<b>70,52</b>

**Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι (α΄ περίοδος)**

Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>	ρΗ
30/12/2011	3,25	85,12	2,76	<b>7,21</b>
	3,29	85,23	2,81	
25/1/2012	6,80	82,48	5,60	<b>7,10</b>
	6,79	83,39	5,66	
8/2/2012	9,44	87,37	8,24	<b>6,80</b>
	11,93	85,37	10,19	
24/2/2012	12,21	81,20	9,91	<b>5,26</b>
	14,35	81,68	11,72	
3/3/2012	6,37	90,67	5,78	<b>6,48</b>
	5,73	89,15	5,11	
7/3/2012	7,32	85,79	6,28	
	7,42	86,23	6,40	
11/3/2012	7,94	86,69	6,89	
	6,56	73,90	4,85	
<b>M.O.</b>	<b>7,81</b>	<b>84,59</b>	<b>6,59</b>	<b>6,50</b>

**Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά Εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι (β΄ περίοδος)**

Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ% <sub>(ΟΣ)</sub>	ΠΣ% <sub>(κ.β.)</sub>
2/4/2012	9,53	77,33	7,37
	9,65	77,03	7,43
18/4/2012	7,99	76,53	6,11
	7,92	76,59	6,07
2/5/2012	3,47	74,44	2,58
	3,47	73,13	2,54
18/5/2012	3,58	71,52	2,56
	3,62	71,11	2,57
28/5/2012	3,35	67,82	2,27
	3,04	67,01	2,03
9/6/2012	7,60	77,50	5,89
	7,68	77,55	5,95
<b>M.O.</b>	<b>5,91</b>	<b>73,96</b>	<b>4.37</b>

### 2.3. ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ

#### Χαρακτηριστικά Χωνευτήρων (Α) και (Β) για τις 2 περιόδους .

Όπως και με τα υλικά τροφοδοσίας των χωνευτήρων, όπου έγιναν μετρήσεις των παραμέτρων τους σχετικά με το pH, τα Ο.Σ. και Π.Σ , ανάλογες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και υγρά εξόδου των 2 χωνευτήρων για τα 2 περιόδους , τα οποία και παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες .

**Πίνακας 6.2:Χαρακτηριστικά εξόδου α χωνευτήρα (α΄ περίοδος )**

Εξ. Χωνευτήρα Α					
Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ%	ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (%Κ.Β)	PH
1	18/12/2011	1,05	50,58	0,53	7,68
		1,01	47,55	0,48	
2	20/12/2011	1,14	54,60	0,62	7,52
		1,18	57,84	0,68	
3	22/12/2011	1,54	67,36	1,04	7,54
		1,32	67,24	0,89	
4	24/12/2011	0,91	49,29	0,45	7,64
		0,96	51,45	0,49	
5	5/3/2012	0,87	64,33	0,55	8,2
		0,88	55,23	0,48	
6	7/3/2012	0,87	68,07	0,59	8,22
		0,88	68,58	0,60	
7	11/3/2012	0,94	56,87	0,53	8,3
		0,99	64,19	0,63	
	<b>Μ.Ο.</b>	<b>1,04</b>	<b>58,80</b>	<b>0,61</b>	<b>7,87</b>

**Πίνακας 6.3:Χαρακτηριστικά εξόδου β χωνευτήρα (α΄ περίοδος )**

Εξ. Β χωνευτήρα				
Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ%	pH
1	5/3/2012	2,50	73,09	7,31
		2,50	73,09	
2	7/3/2012	2,45	75,09	7,2
		2,43	75,63	
3	11/3/2012	2,60	66,80	<b>7,24</b>
		2,58	66,86	
	<b>Μ.Ο.</b>	<b>2,51</b>	<b>71,76</b>	<b>7,25</b>

**Πίνακας 6.4:Χαρακτηριστικά εξόδου α χωνευτήρα (Β' περίοδος )**

Εξ. Α χωνευτήρα				
Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ%	ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (%Κ.Β)	ΡΗ
8/5/2012	1,13	56,41	0,71	<b>7,65</b>
	1,24	52,62	0,65	
10/5/2012	1,30	56,25	0,73	<b>7,52</b>
	1,35	60,70	0,82	
12/5/2012	1,30	58,49	0,76	<b>7,54</b>
	1,37	58,95	0,80	
14/5/2012	1,27	58,60	0,74	<b>7,64</b>
	1,24	53,79	0,67	
19/6/2012	2,09	63,24	1,32	<b>8,15</b>
	2,00	61,30	1,22	
21/6/2012	2,18	57,25	1,25	<b>8,22</b>
	2,28	60,54	1,38	
23/6/2012	2,16	61,52	1,33	<b>8,24</b>
	2,11	65,56	1,38	
25/6/2012	2,46	58,04	1,43	<b>8,34</b>
	2,48	59,02	1,46	
9/7/2012	2,54	63,36	1,60	<b>8,33</b>
	2,65	65,86	1,75	
<b>Μ.Ο.</b>	<b>1,87</b>	<b>59,53</b>	<b>1,11</b>	<b>7,95</b>

**Πίνακας 6.5: Χαρακτηριστικά εξόδου β χωνευτήρα (β' περίοδος )**

Εξ. Β χωνευτήρα					
Μετρήσεις	Ημερομηνία	ΟΣ%	ΠΣ%	ΠΣ% <sub>(κ,β,)</sub>	pH
1	8/5/2012	2,59	64,59	1,67	7,84
		2,59	64,36	1,67	
2	10/5/2012	2,62	67,63	1,77	7,72
		2,67	71,52	1,91	
3	12/5/2012	2,47	64,52	1,59	<b>7,75</b>
		2,36	60,64	1,43	
4	14/5/2012	2,26	61,39	1,39	7,72
		2,32	62,03	1,43	
5	19/6/2012	3,93	66,68	2,62	<b>8,29</b>
		4,37	67,02	2,93	
6	21/6/2012	2,86	61,26	1,75	<b>8,25</b>
		2,79	63,08	1,76	
7	23/6/2012	2,96	83,43	2,47	<b>8,32</b>
		2,84	63,38	1,80	
8	25/6/2012	3,05	60,08	1,83	<b>8,29</b>
		3,14	59,02	1,88	
	<b>M.O.</b>	<b>2,86</b>	<b>65,04</b>	<b>1,87</b>	<b>8,02</b>

### 3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν ημικομποστοποιημένα απόβλητα πτηνοτροφείου και λιοζούμι. Το πείραμα διήρκεσε περίπου 4 μήνες. Ο χρόνος παραμονής των υγρών ήταν 16 ημέρες και ο ωφέλιμος όγκος του χωνευτήρα 19 L.

Τα ημικομποστοποιημένα απόβλητα πτηνοτροφείου προέρχονταν από διαδικασία κομποστοποίησης στο πτηνοτροφείο του Σκούρτη τα οποία και υφίσταντο μηχανικό διαχωρισμό από εμάς είτε μέσα από σήτα Νο 5 και είτε από ποιο ψιλή σήτα. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε η σήτα είναι οι συχνές βλάβες του συστήματος μηχανικού διαχωρισμού.

Το λιοζούμι που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του εκχυλίσματος προέρχεται από 3φασικό ελαιοτριβείο όπου γειτόνευε με την πτηνοτροφική μονάδα . Για την εξαγωγή του εκχυλίσματος τοποθετήσαμε σε αναλογία 1 προς 1 κ.ο. ημικομπ. Απόβλητα πτηνοτροφείου με νερό βρύσης. Στην συνέχεια το μίγμα αναδεύτηκε ελαφρώς και έπειτα περάστηκε από σίτα Νο 5. Το υγρό συλλέχθηκε και τοποθετήθηκε σε βαρελάκια των 3 L τα οποία μπήκαν στην κατάψυξη.

Για τη διεξαγωγή του παρόντος πειράματος στη μεσόφιλη περιοχή (θερμοκρασία 35 °C) χρησιμοποιήθηκαν δύο χωνευτήρες, ωφέλιμου όγκου 19L ο καθένας, από τους οποίους ο ένας λειτουργούσε μόνο ως μάρτυρας (χωνευτήρας Α) ενώ ο άλλος περιελάμβανε το υπό εξέταση μίγμα των αποβλήτων (χωνευτήρας Β). Η διάρκεια του πειράματος ήταν 4 μήνες (Νοέμβριος 2011 - Μάρτιος 2012), ενώ ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στους αναερόβιους αντιδραστήρες ήταν 16 ημέρες. Η τροφοδότηση του κάθε χωνευτήρα γινόταν ανά 48 ώρες με 2,4L υγρών αποβλήτων. Κάθε φορά προστίθετο και 50ml απιονισμένο νερό για τη διόρθωση της στάθμης του υγρού περιεχομένου του χωνευτήρα η οποία μειωνόταν λόγω της εξάτμισης.



(εικόνα 23)

Ταυτόχρονα πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες μετρήσεις για τον υπολογισμό των παραμέτρων όπως το pH και η θερμοκρασία των εξερχόμενων υγρών. Ο έλεγχος του pH των υγρών εξόδου παρείχε πληροφορίες για τη σταθερότητα του συστήματος. Επίσης, γινόταν η μέτρηση της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου στο διάστημα των δύο ημερών με ζύγισμα της ποσότητας του εκτοπιζόμενου νερού από το παραγόμενο βιοαέριο. Μετά τη σταθεροποίηση της παραγωγής βιοαερίου σε κάθε χωνευτήρα μετρήσιον η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο και ο προσδιορισμός των Ο.Σ. και Π.Σ. στα υγρά εισόδου και εξόδου.

Η τροφοδότηση του μάρτυρα (Α) γινόταν αποκλειστικά με 2,4 L εκχυλίσματος ημι-κομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής με νερό καθόλη τη διάρκεια του πειράματος.

Η τροφοδότηση του δεύτερου αντιδραστήρα (B) γινόταν με 2,4L εκχυλίσματος ημι-κομποστοποιημένων αποβλήτων πτηνοτροφείου με λιοζούμια σε διάφορες αναλογίες μέχρι το τελικό στάδιο. Η διαδικασία αποτελείται από τρεις φάσεις όπως περιγράφονται στον Πίνακα 6.5 που ακολουθεί:

**Πίνακας 6.6: Αναλογίες μίγματος αποβλήτων στα 3 στάδια του χωνευτήρα B**

Στάδια	Εκχ. Πτην.+Νερό (L)	Εκχ. Πτην.+Λιοζ.(L)	Σύνολο
1 <sub>ο</sub>	2,4	0	2,4
2 <sub>ο</sub>	1,2	1,2	2,4
3 <sub>ο</sub>	0,9	1,5	2,4

Στο πρώτο στάδιο, που διήρκεσε περίπου δύο μήνες, ο χωνευτήρας B τροφοδοτήθηκε με 2,4L εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό ανά 48ωρο. Το ίδιο εκχύλισμα χρησιμοποιείτο και για τη τροφοδότηση του πρώτου χωνευτήρα (A). Αποτελούσε μια φάση προσαρμογής του συστήματος μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία και σταθεροποίηση των εξεταζόμενων παραμέτρων.

Στο δεύτερο στάδιο το είδος και η ποσότητα των υγρών εισόδου στον χωνευτήρα B διαφοροποιούνται. Οι ποσότητες τροφοδοσίας διαμορφώνονται με βάση το χρόνο παραμονής και τη συνολική χωρητικότητα του χωνευτήρα. Μετά τη σταθεροποίηση ακολούθησε σταδιακή αλλαγή στο είδος και τις ποσότητες των υγρών εισόδου όπου μέρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό αντικαταστάθηκε από εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι, έχοντας ως σκοπό να επιτευχθεί η τελική επιθυμητή αναλογία. Συγκεκριμένα, η κάθε δόση τροφοδοσίας του αντιδραστήρα αποτελούνταν από 1,2L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό και με 1,2L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι. Δεδομένου ότι η συνολική δόση ήταν 2,4L, τα υγρά του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με το λιοζούμι αποτελούσαν το 1/2 (50%) της συνολικής ποσότητας και τα υγρά του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό το υπόλοιπο 1/2 (50%). Το στάδιο αυτό αποτελούσε μεταβατική φάση των αναερόβιων χωνευτήρων, απαραίτητη ώστε να αποφευχθεί μια ανισορροπία του συστήματος (shock) και να μην επηρεαστούν αρνητικά οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί από μια απότομη αλλαγή στις αναλογίες των δόσεων.

Στο τρίτο στάδιο διαμορφώνονται οι τελικές ποσότητες των υγρών εισόδου. Σε κάθε δόση τροφοδοσίας διοχετεύονταν στο αντιδραστήρα 1,5L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι και 0,9L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Όταν σταθεροποιήθηκε η παραγωγή βιοαερίου και το pH των υγρών εξόδου δεν παρουσιάστηκαν μεγάλες διακυμάνσεις, λαμβάνονταν πιο συστηματικά οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων και ιδιαίτερη προσοχή δινόταν στη μέτρηση του ποσοστού του μεθανίου στο βιοαέριο.



### III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ / ΜΕΘΑΝΙΟΥ

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που προκύπτουν από τους πίνακες (2-7 α' περίοδος) μπορούμε να υπολογίσουμε ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των δύο χωνευτήρων, τα οποία παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τον έλεγχο της λειτουργίας τους και για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου.

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Α' Υλών (εικόνα 24)

<b>Α'ΥΛΕΣ</b>	<b>Ο.Σ%</b>	<b>Π.Σ%(Ο.Σ)</b>	<b>Π.Σ%(Κ.Β)</b>
<b>ΗΣΠτ(πυκν.0,6kg/m<sup>3</sup>)</b>	55,79	66,88	37,31
<b>ΕΚΧ<sub>Π+Ν</sub></b>	1,64-3,23	69,36-67,48	1,14-2,18
<b>ΛΙΟΖΟΥΜΙ</b>	5,17	90,85	4,17
<b>ΕΚΧ<sub>Π+Λ</sub></b>	7,81-5,91	84,59-73,96	6,61-4,37

## 1.1 ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ Χ.Π. 16 ΗΜΕΡΩΝ

**Πίνακας 6.7: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου/Μεθανίου στους δύο χωνευτήρες (Χ.Π=16)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Α	Χωνευτήρας Β
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	16	
Ημερήσια ποσότητα μίγματος τροφοδοσίας (L/ημέρα)	1,2 ΕΚΧπ+ν*	0,75 ΕΚΧπ+λ** + 0,45 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.) μίγματος τροφοδοσίας	ΕΚΧπ+ν = 1,14 %	ΕΚΧπ+ν = 1,14 %
		ΕΚΧπ+λ = 6,61 %
Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,014	0,0547
Ογκομετρική οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,72	2,88
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	0,31	1,18
Μεθάνιο (%Βιοαερίου)	80%	73%
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	0,25	0,86
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,34	0,30
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,44	0,41
Μείωση Φορτίου %	55,41	84,46
pH εξερχόμενων υγρών	7,59	7,25

\* ΕΚΧπ+ν: εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό

\*\* ΕΚΧπ+λ: εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι

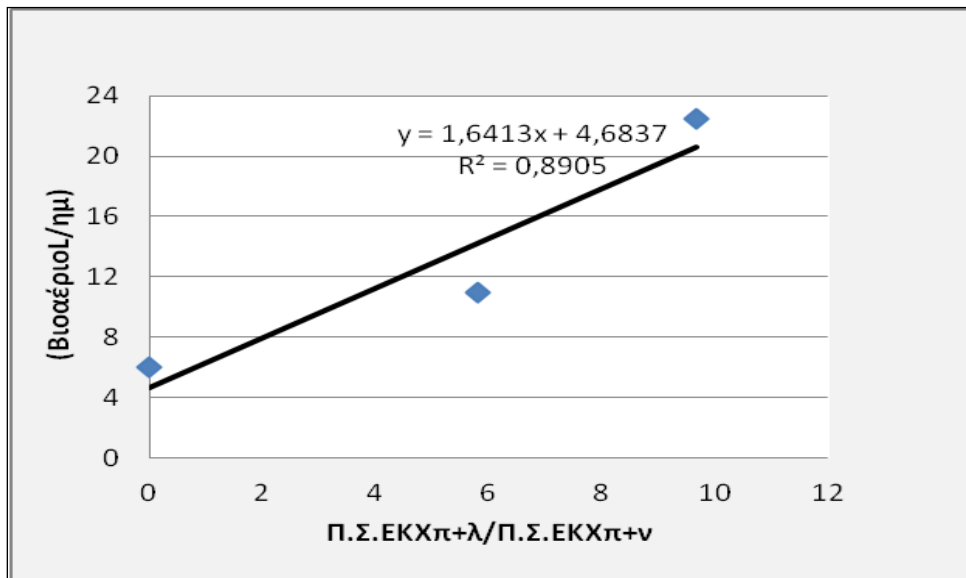
Ακολουθώντας από τα ποσοστά των πτητικών στερεών κατά βάρος (ΠΣ% κ.β.) των εκχυλισμάτων που προέκυψαν, είναι δυνατό να δοθούν οι μεταξύ τους λόγοι σε κάθε στάδιο τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι λόγοι των πτητικών στερεών κατά βάρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι προς τα πτητικά στερεά κατά βάρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό, σύμφωνα με τις αναλογίες των εκχυλισμάτων που καθόριζαν το κάθε στάδιο τροφοδοσίας στον χωνευτήρα Β. Οι λόγοι διαμορφώθηκαν ως εξής:

**Πίνακας: 6.8**

Στάδια	Βιοαέριο (L) /ημ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+Λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Φ
1	5,97	0,00	0,72
2	11,00	5,80	2,39
3	22,50	9,67	2,88

Στο πρώτο στάδιο ο λόγος των πτητικών είναι μηδενικός, καθώς στο χωνευτήρα προστίθεντο μόνο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Στο δεύτερο ο λόγος διαμορφώθηκε σε 5,8/1 πράγμα που σημαίνει ότι σε 1,2 L δόσης τροφοδοσίας το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι έχει σχεδόν 6 φορές περισσότερα ΠΣ από ότι έχει το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Στο τρίτο στάδιο αντίστοιχα ο λόγος ήταν 9,67/1 άρα το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι έχει περίπου 10 πλάσια περιεκτικότητα σε ΠΣ από το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό στο μίγμα των 1,2 L. Επομένως, όταν προσθέτουμε λιοζούμι στο μίγμα αυξάνεται σημαντικά η περιεκτικότητά του σε πτητικά στερεά. Στο Διάγραμμα 1 αποτυπώνεται γραφικά η τάση παραγωγής του βιοαερίου στο χωνευτήρα Β σε σχέση με τον λόγο των ΠΣ. Η γραμμή τάσης σχηματίστηκε με τη βοήθεια 3 σημείων, όσα ακριβώς είναι και τα στάδια.

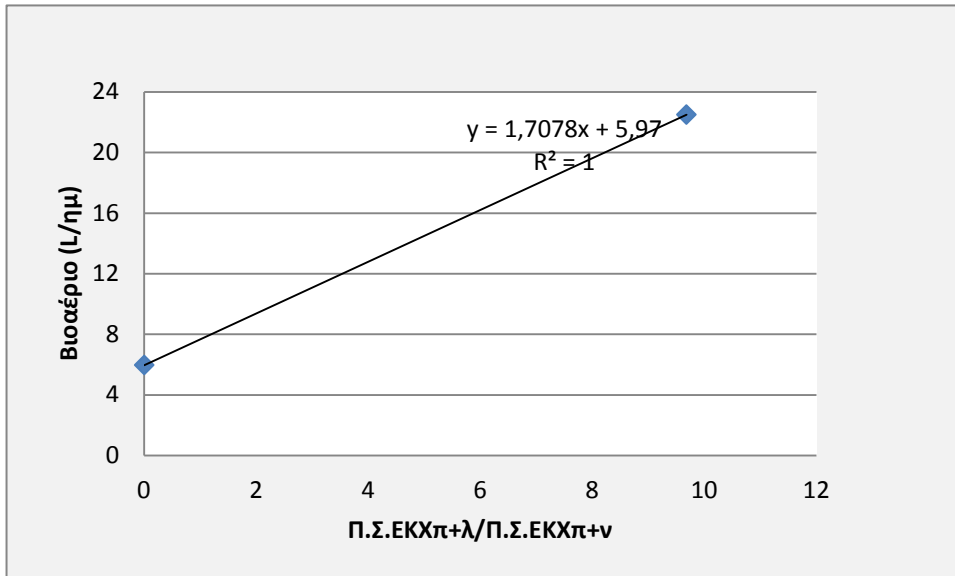
**Διάγραμμα 1. Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο  $\frac{\text{Π.Σ.ΕΚΧ}\pi+\lambda}{\text{Π.Σ.ΕΚΧ}\pi+\nu}$  σε Χ.Π. 16 ημερών (3 σημεία)**



Από το Διάγραμμα 1 προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο λόγος των πτητικών στερεών προσθέτοντας λιοζούμι, τόσο αυξάνεται η παραγωγή βιοαερίου στο χωνευτήρα. Η σχέση  $y = 1,6413x + 4,6837$  εκφράζει αυτή τη θετική συσχέτιση. Με τη χρήση της εξίσωσης αυτής και του λόγου των πτητικών 9,67/1 μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου στις 16 ημέρες. Η μέγιστη ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου σε μία ημέρα είναι 20,5L ενώ η ογκομετρική παραγωγή του  $\frac{20,5}{19} = 1,08 \text{ Nm}^3/\text{M}^3 \text{ χων-ημ}$ . Σε Χ.Π. = 16 ημέρες ο χωνευτήρας θα παράγει  $16 \times 1,08 = 17,28 \text{ Nm}^3/\text{M}^3$  αποβλήτων.

Η γραμμή τάσης παραγωγής βιοαερίου μπορεί να σχηματιστεί και από τη χρήση δύο μόνο σημείων, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από το πρώτο και τρίτο στάδιο (Διάγραμμα 2).

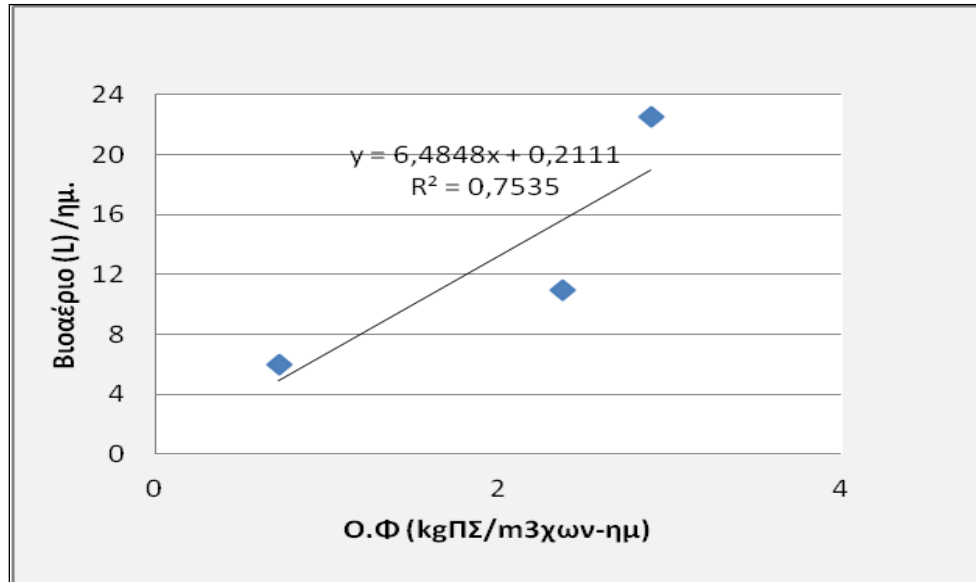
**Διάγραμμα 2. Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο  $\Pi\Sigma_{\text{EKX}\pi+\lambda}/\Pi\Sigma_{\text{EKX}\pi+\nu}$  σε Χ.Π. 16 ημερών (2 σημεία)**



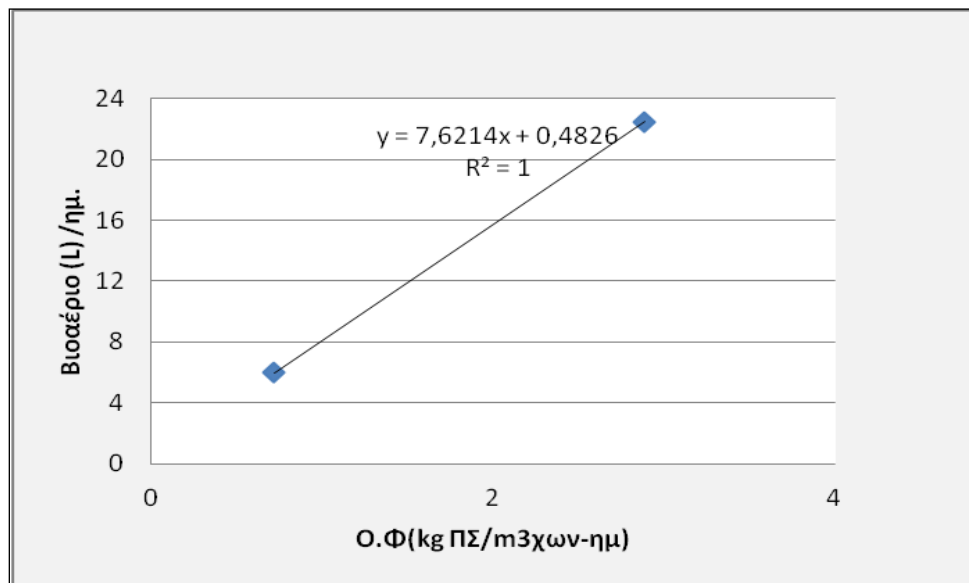
Η εξίσωση που εκφράζει τη σχέση παραγόμενου βιοαερίου με το λόγο των πτητικών στερεών  $y = 1,7078x + 5,97$  παρουσιάζει μικρή απόκλιση από εκείνη που προέκυψε στο προηγούμενο διάγραμμα. Τοποθετώντας το λόγο των πτητικών 9,67/1 στην εξίσωση, η μέγιστη ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου σε μία ημέρα είναι 22,484 L, ενώ η ογκομετρική παραγωγή  $22,484/19=1,18 \text{ Nm}^3/\text{M}^3 \text{ χων-ημ}$ . Σε 16 ημέρες ο χωνευτήρας μπορεί να παραγάγει  $16*1,18=18,934 \text{ Nm}^3/\text{M}^3$  αποβλήτων, παρατηρούμε λοιπόν ότι η διαφορά είναι ελάχιστη εφαρμόζοντας τα 2 σημεία.

Επίσης, η σχέση του παραγόμενου βιοαερίου μπορεί να απεικονιστεί σε σχέση με την ογκομετρική οργανική φόρτιση όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα 3,

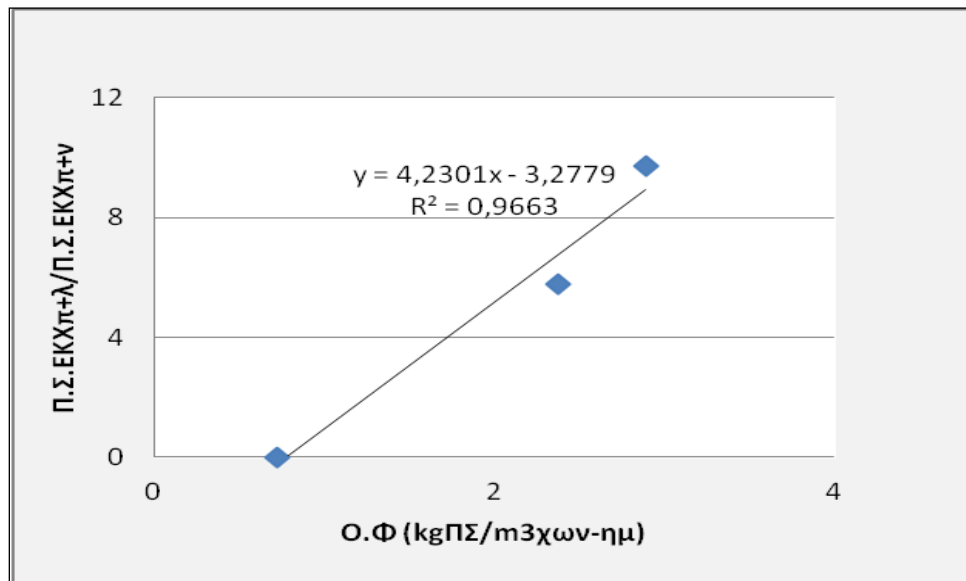
**Διάγραμμα 3. Σχέση παραγόμενου βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π 16ημερών (3 σημεία)**



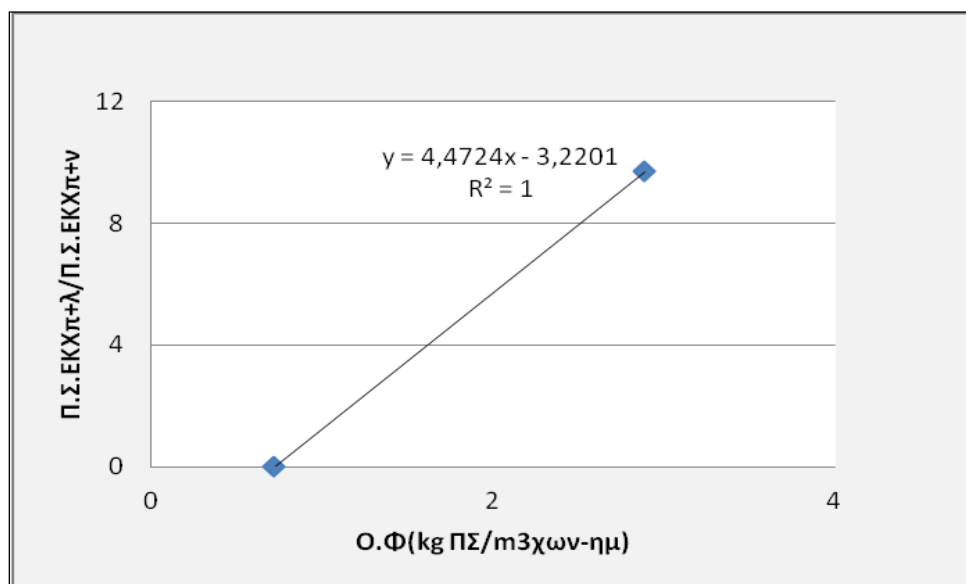
**Διάγραμμα 4. Σχέση παραγόμενου βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π 16ημερών (2 σημεία)**



**Διάγραμμα 5. Σχέση λόγου  $\Pi\Sigma_{\text{EKX}\pi+\lambda}/\Pi\Sigma_{\text{EKX}\pi+\nu}$  με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 16 ημερών (3 σημεία)**



**Διάγραμμα 6. Σχέση λόγου  $\Pi\Sigma_{\text{EKX}\pi+\lambda}/\Pi\Sigma_{\text{EKX}\pi+\nu}$  με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 16 ημερών (2 σημεία)**



## 1.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ Χ.Π 21 ΗΜΕΡΩΝ

Στο εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών έπειτα από τη πειραματική διαδικασία που αφορούσε το χρόνο παραμονής 16 ημερών, ακολούθησε η ίδια διαδικασία για

χρόνους παραμονής 21 και έπειτα 32 ημερών, από ομάδα προπτυχιακών φοιτητών<sup>(\*)</sup>. Το είδος των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκε για τη τροφοδοσία των χωνευτήρων Α και Β ήταν το ίδιο, όμως διέφεραν οι αναλογίες των ποσοτήτων. Τα ΠΣ των εκχυλισμάτων που υπολογίστηκαν και καταγράφηκαν στον Πίνακα σε συνδυασμό με

<sup>(\*)</sup> Βαχαβιώλο Φώτη, Θεοδωρή Ματίλντα και Μίχου Φωτεινή

τα ΠΣ των πρώτων υλών διαφέρουν εν μέρει από τα αντίστοιχα στοιχεία που αφορούσαν το χρόνο παραμονής 16 ημερών. Τα νέα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών βιοαερίου στους δύο χωνευτήρες αναφέρονται στη πειραματική διαδικασία .

Στον χρόνο παραμονής των 21 ημερών η ημερήσια ποσότητα τροφοδοσίας ήταν 0,9 L. Ο χωνευτήρας Α τρεφόταν εξολοκλήρου με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό, ενώ ο χωνευτήρας Β μόνο κατά το πρώτο στάδιο. Στο τελικό στάδιο του χωνευτήρα Β η αναλογία του υλικού τροφοδοσίας άλλαξε, καθώς προστίθεντο ημερησίως 0,55 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζύμι και 0,35 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Τα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα παρακάτω

**Πίνακας 6.9: Χαρακτηριστικά Παραγωγής Βιοαερίου/Μεθανίου στους δύο χωνευτήρες**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Α	Χωνευτήρας Β
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	21	
Ημερήσια ποσότητα μίγματος τροφοδοσίας (L/ημέρα)	0,9 ΕΚΧπ+ν*	0,55 ΕΚΧπ+λ** + 0,35 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.) μίγματος τροφοδοσίας	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %	ΕΚΧπ+ν = 2,18 % ΕΚΧπ+λ = 4,37 %
Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,02	0,032
Ογκομετρική οργανική Φόρτιση (kg Π.Σ./M <sup>3</sup> χων-ημέρα)	1,03	1,67
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	0,92	1,3
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,89	0,81



Μείωση Φορτίου %	42,92	77,34
pH εξερχόμενων υγρών	8,03	8,3

\* ΕΚΧπ+ν: εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό

\*\* ΕΚΧπ+λ: εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι

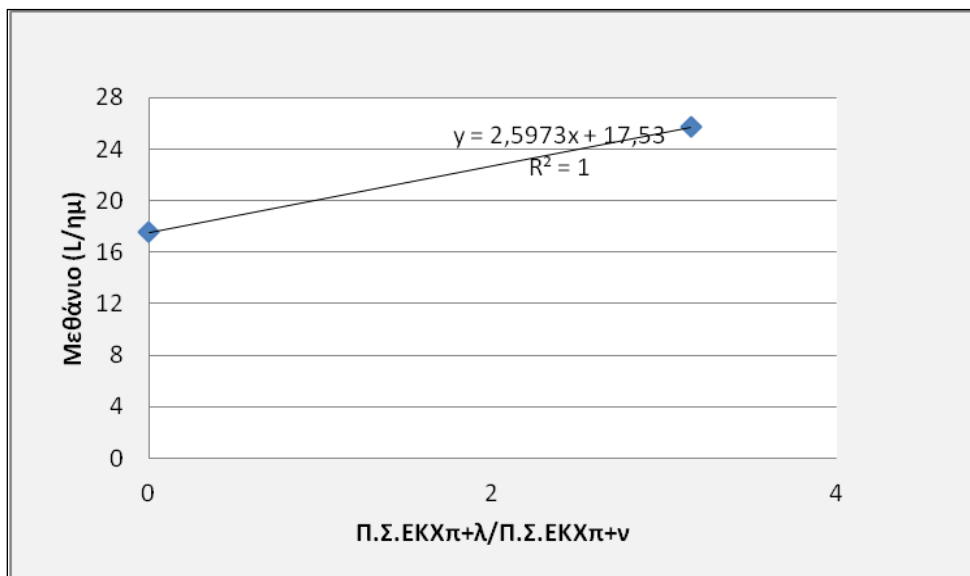
Έπειτα σχηματίζεται ο Πίνακας με τους λόγους των ΠΣ των εκχυλισμάτων που χρησιμοποιούνται στον χωνευτήρα Β σε δύο στάδια στο αρχικό και στο τελικό.

**Πίνακας 6.10 : Λόγοι εκχυλισμάτων μίγματος σε κάθε στάδιο παραγωγής (Χ.Π=21)**

Στάδια	Βιοαέριο (L) /ημ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Φ
1	17,53	0	1,0.
2	25,72	3,15	1.67

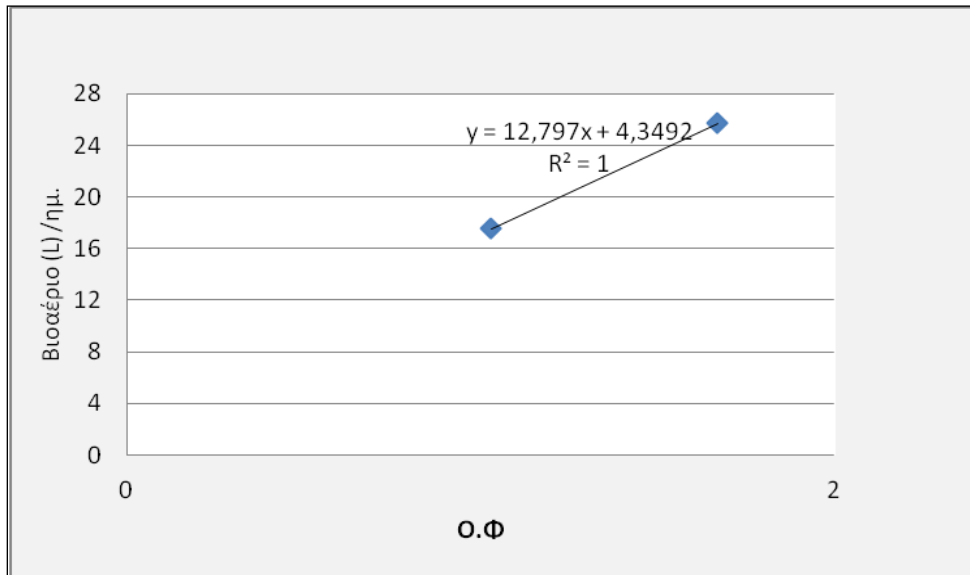
Στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας του χωνευτήρα Β δεν χρησιμοποιείται καθόλου εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι, άρα ο λόγος μεταξύ των ΠΣ των εκχυλισμάτων είναι μηδενικός. Στο δεύτερο στάδιο τα ΠΣ<sub>κ.β.</sub> των εκχυλισμάτων διαμορφώνουν τον λόγο των πτητικών στερεών εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι προς τα πτητικά στερεά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό στο 3,153/1. Επομένως, σε 0,9 L μίγματος τροφοδοσίας τα ΠΣ του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι είναι 3 φορές περισσότερα απ' ό τι στο εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Παρατηρείται ότι ο λόγος είναι λίγο μικρότερος από τον αντίστοιχο λόγο των εκχυλισμάτων που προέκυψε στο μίγμα τροφοδοσίας του χωνευτήρα Β σε χρόνο παραμονής 16 ημερών. Η σχέση των λόγων των ΠΣ των εκχυλισμάτων με το παραγόμενο βιοαέριο στα δύο στάδια δίδεται στο Διάγραμμα

**Διάγραμμα7 : Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο  $\frac{\text{ΠΣ}_{\text{ΕΚΧ}\pi+\lambda}}{\text{ΠΣ}_{\text{ΕΚΧ}\pi+\nu}}$  σε Χ.Π. 21 ημερών (2 σημεία)**

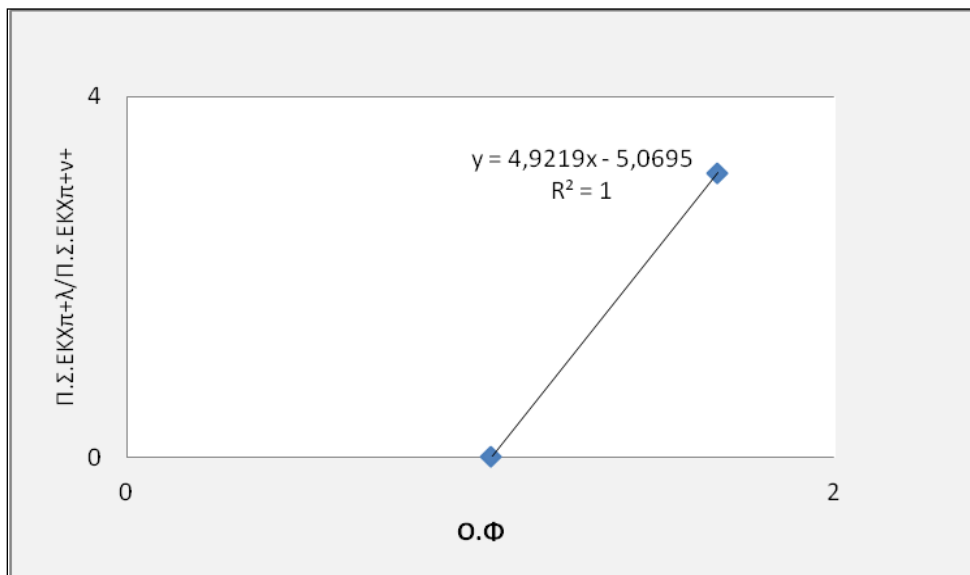


Από το διάγραμμα προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο λόγος των πτητικών στερεών προσθέτοντας λιοζούμι , τόσο αυξάνεται η παραγωγή βιοαερίου στο χωνευτήρα. Η εξίσωση  $y = 2,5973x + 17,53$  εκφράζει αυτή τη θετική συσχέτιση. Με τη χρήση της εξίσωσης αυτής και του λόγου των πτητικών 3,15/1 μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου στις 21 ημέρες. Η μέγιστη ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου σε μία ημέρα είναι 25,72 L ενώ η ογκομετρική παραγωγή του χωνευτήρα είναι  $\frac{25,72}{19} = 1,35 \text{ Nm}^3/\text{M}^3\text{χων}$ . Σε 21 ημέρες ο χωνευτήρας μπορεί να παραγάγει  $21 * 1,35 = 28,42 \text{ Nm}^3/\text{M}^3\text{αποβλήτων}$ .

**Διάγραμμα 8. Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 21 ημερών**



**Διάγραμμα 9. Σχέση λόγου  $\frac{\text{ΠΣ}_{\text{ΕΚΧ}\pi+\lambda}}{\text{ΠΣ}_{\text{ΕΚΧ}\pi+\nu}}$  με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 21 ημερών**



### 1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ Χ.Π 32

Το πείραμα συνεχίστηκε και για χρόνο παραμονής 32 ημερών όπου η ημερήσια ποσότητα τροφοδοσίας ήταν 0,6 L. Ο χωνευτήρας Α τρεφόταν εξολοκλήρου με εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό, ενώ ο χωνευτήρας Β μόνο κατά το πρώτο στάδιο. Στο τελικό στάδιο του χωνευτήρα Β η αναλογία του υλικού τροφοδοσίας άλλαξε και μεταβλήθηκε καθώς προστίθεντο ημερησίως 0,375 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι και 0,225 L εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Τα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα 6.11 παρακάτω:

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Α	Χωνευτήρας Β
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	32	
Ημερήσια ποσότητα μίγματος τροφοδοσίας (L/ημέρα)	0,6 ΕΚΧπ+ν*	0,375 ΕΚΧπ+λ** + 0,225 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.) μίγματος τροφοδοσίας	ΕΚΧπ+ν = 2,18 %	ΕΚΧπ+ν = 2,18 % ΕΚΧπ+λ = 4,37 %
Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,01	0,02
Οργανική Ογκομετρική Φόρτιση (kg Π.Σ./M <sup>3</sup> χων-ημέρα)	1,03263	1,12
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	0,19	0,2842
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,28	0,51
Μείωση Φορτίου %	14,37	52,24
pH εξερχόμενων υγρών	7,62	7,85

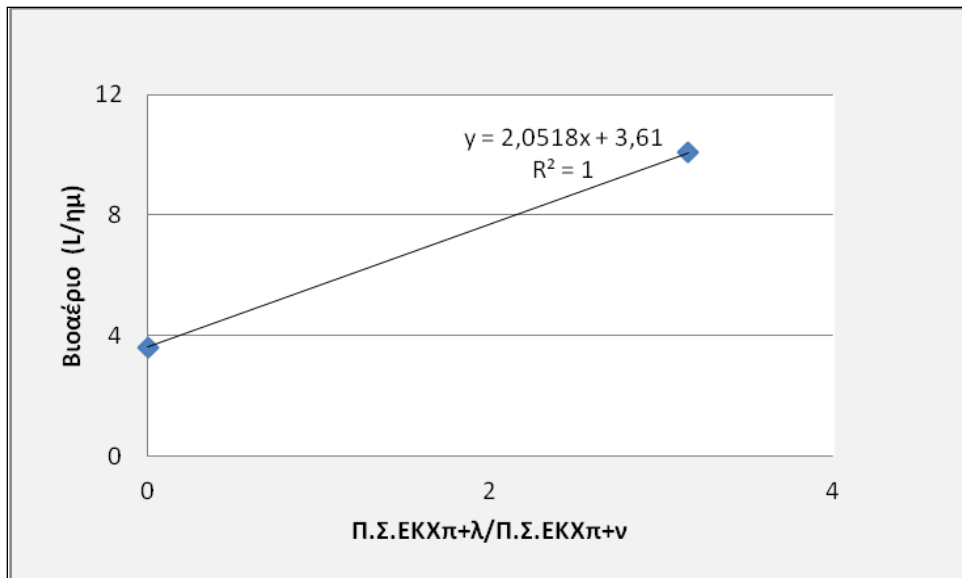
Έπειτα σχηματίζεται ο Πίνακας με τους λόγους των (ΠΣ%κ.β) των εκχυλισμάτων που χρησιμοποιούνται στον χωνευτήρα Β σε δύο στάδια στο αρχικό και στο τελικό λόγω απλούστευσης.

Πίνακας 6.12:

Στάδια	Βιοαέριο (L) /ημ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	Ο.Φ
1	3,61	0	0,69
2	10,08	3,15	1,12

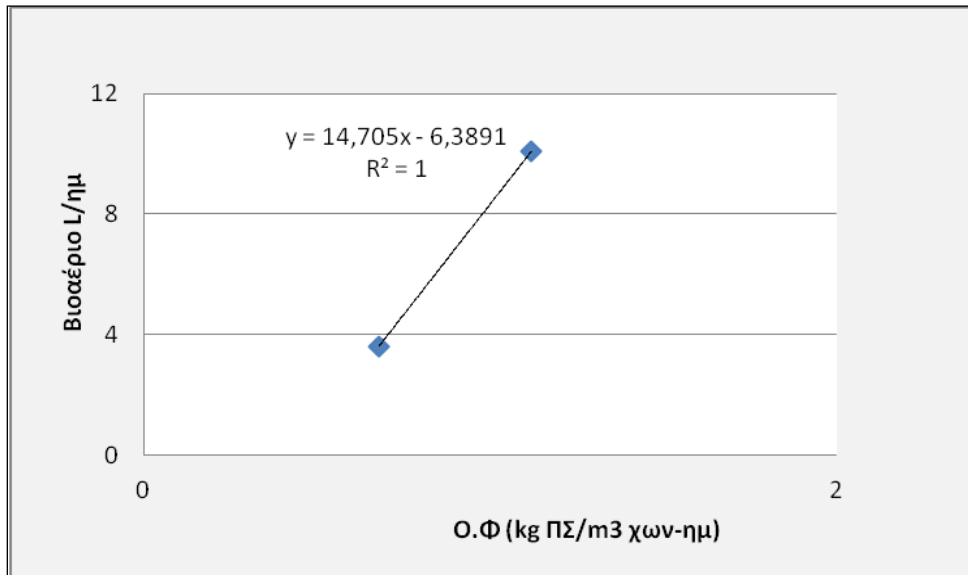
Στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας του χωνευτήρα Β δεν χρησιμοποιείται καθόλου εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι άρα ο λόγος είναι μηδενικός .Στο δεύτερο στάδιο τα ΠΣ%κ.β των εκχυλισμάτων έχουν λόγο πτητικών στερεών εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι προς τα πτητικά στερεά εκχυλίσματος πτηνοτροφείου στο νερό .

**Διάγραμμα 10: Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με λόγο ΠΣ<sub>ΕΚΧΠ+Λ</sub>/ΠΣ<sub>ΕΚΧΠ+Ν</sub> σε Χ.Π 32ημερών .**

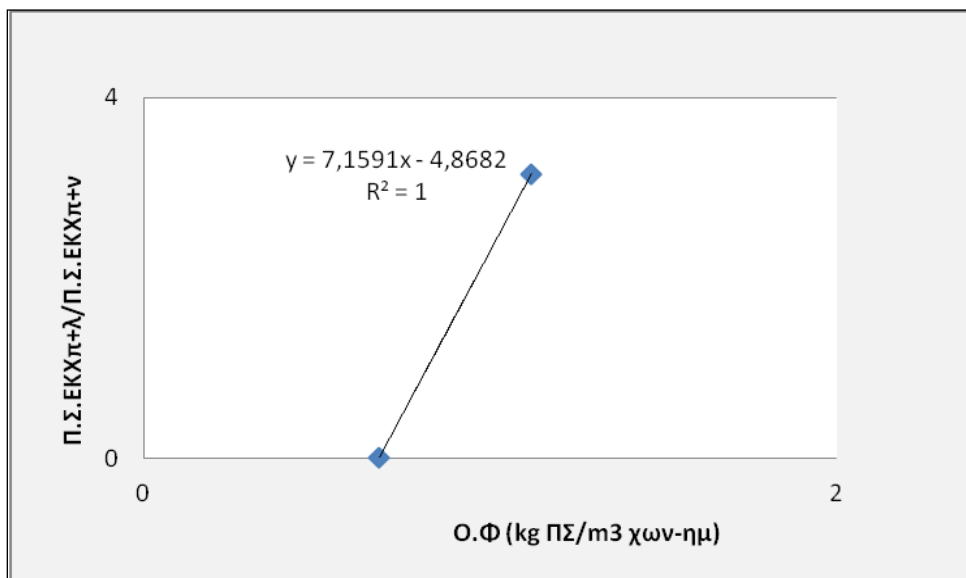


Από το διάγραμμα προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο λόγος των πτητικών στερεών προσθέτοντας λιοζούμι , τόσο αυξάνεται η παραγωγή βιοαερίου στο χωνευτήρα. Η εξίσωση  $y = 2,0518x + 3,61$  εκφράζει αυτή τη θετική συσχέτιση. Με τη χρήση της εξίσωσης αυτής και του λόγου των πτητικών 3,2/1 μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου στις 32 ημέρες. Η μέγιστη ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου σε μία ημέρα είναι 10,08 L ενώ η ογκομετρική παραγωγή του χωνευτήρα είναι  $0,5362 \text{ Nm}^3/\text{M}^3\text{χων}$ . Σε 32 ημέρες ο χωνευτήρας μπορεί να παραγάγει  $17,15 \text{ Nm}^3/\text{M}^3\text{χων}$  (παράρτημα).

**Διάγραμμα 11. Σχέση παραγόμενου Βιοαερίου χωνευτήρα Β με την Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 32 ημερών**



**Διάγραμμα 12. Σχέση λόγου  $\frac{\text{ΠΣ}_{\text{ΕΚΧ}\pi+\lambda}}{\text{ΠΣ}_{\text{ΕΚΧ}\pi+\nu}}$  με την Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση σε Χ.Π. 32 ημερών**



**Εφαρμογή των νέων ΠΣ ΧΠ 21 και 32 ημερών των εκχυλισμάτων στη μελέτη ΧΠ 16 ημερών**

Το ποσοστό των ΠΣ στα απόβλητα είναι μεταβλητό και εξαρτάται άμεσα από το είδος και την προέλευση των αποβλήτων. Μια μεταβολή στο ποσοστό των ΠΣ των πρώτων υλών διαφοροποιεί τελείως το αποτέλεσμα μας. Με σκοπό λοιπόν να μελετηθεί η

παραγωγή βιοαερίου σε συνάρτηση με τον ΧΠ χρειάζεται να προσαρμόσουμε τα πειραματικά δεδομένα των 16 ημ σε εκείνα των 21 και 32 , που προέρχονται από διαφορετικά πειράματα .Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει άμεσα αντιληπτή αν εφαρμοστούν στις αναλογίες του μίγματος που χρησιμοποιήθηκε στις 16 ημ τα δεδομένα του Πίνακα 6.11 για τις 21 ημ  $EKX_{\pi+\nu}=2,18\%$  και  $EKX_{\pi+\lambda}=4,373\%$  .

**Πίνακα 6.13 Διαφοροποιημένος λόγος εκχυλισμάτων μίγματος και παραγωγή βιοαερίου στα δύο στάδια ΧΠ 16 ημερών**

Στάδια	Βιοαέριο (L) /ημ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν
1	5,97	0
2	11,67	3,34

Συγκεκριμένα με την αλλαγή των ποσοστών των  $\Pi\Sigma_{\kappa\beta}$  των εκχυλισμάτων , ο λόγος 3/1 του δεύτερου πειράματος των 21ημ , εφαρμόζεται στα στοιχεία του πρώτου πειράματος καθώς βρίσκεται εντός του ορίου του λόγου των 16 ημ (0-14) .Στη περίπτωση εφαρμογής του λόγου των 16ημ στα άλλα πειραματικά δεδομένα ο λόγος θα ξέφευγε εκτός του εύρους των λόγων των  $\Pi\Sigma$  των άλλων δύο ΧΠ . Σκοπός της προσαρμογής αυτής των δεδομένων στο μικρότερο λόγο που υπολογίστηκε , είναι η εκτίμηση της ελάχιστης δυνατής παραγωγής βιοαερίου σε κάθε ΧΠ .

Αν εφαρμόσουμε τα στοιχεία για ΧΠ=21ημ όπου έχουμε  $\Pi\Sigma_{\lambda+\pi}=4.373\%$  και  $\Pi\Sigma_{\pi+\nu}=2,18\%$  στην εξίσωση (2 σημείων) για ΧΠ=16ημ παίρνουμε μέγιστη ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου σε μία ημέρα είναι 11,67 L\_ενώ η ογκομετρική παραγωγή του χωνευτήρα είναι  $11,67/19=0,6 \text{ Nm}^3/\text{M}^3\text{χων}$ . Σε 16 ημέρες ο χωνευτήρας μπορεί να παραγάγει  $9,6 \text{ Nm}^3/\text{M}^3$  αποβλήτων (παράρτημα).Η χαμηλή αυτή τιμή του παραγόμενου βιοαερίου δικαιολογείται από τον μικρότερο λόγο  $\Pi\Sigma$  των εκχυλισμάτων .Ο λόγος μειώθηκε καθώς το ποσοστό των  $\Pi\Sigma$  του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό που χρησιμοποιήθηκε είναι σχεδόν διπλάσιο από το προηγούμενο , ενώ το αντίστοιχο ποσοστό των  $\Pi\Sigma$  του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι είναι αυξημένο ελάχιστα .Η ογκομετρική παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων  $9,6 \text{ Nm}^3/\text{M}^3$  αποβλήτων αποτελεί την ελάχιστη εκτίμηση του παραγόμενου βιοαερίου στο χρόνο παραμονής των 16 ημ , άρα και πιο ασφαλής για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου .

**Πίνακα 6.14 Χαρακτηριστικά Παραγωγής βιοαερίου /Μεθανίου στον χωνευτήρα Β πριν και μετά την διαφοροποίηση στα Π.Σ(Χ.Π=16)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Β(πριν)	Χωνευτήρας Β(μετα)
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	16	
Ημερήσια ποσότητα μίγματος τροφοδοσίας (L/ημέρα)	0,75 ΕΚΧπ+λ** + 0,45 ΕΚΧπ+v	0,75 ΕΚΧπ+λ** + 0,45 ΕΚΧπ+v
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.) μίγματος τροφοδοσίας	ΕΚΧπ+v = 1,14 % ΕΚΧπ+λ =6,61%	ΕΚΧπ+v = 2,18%
		ΕΚΧπ+λ = 4,37 %
Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,55	0,04
Οργανική Ογκομετρική Φόρτιση (kg Π.Σ./M <sup>3</sup> χων-ημέρα)	2,88	2,24
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	1,18	0,61
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,41	1,7
Μείωση Φορτίου %	93,4	75,92

### **Εφαρμογή των ΠΣ των εκχυλισμάτων ΧΠ 16 ημερών στις μελέτες ΧΠ 21 και 32 ημερών .**

Με σκοπό την κάλυψη όλων των πιθανών ποσοτήτων του παραγόμενου βιοαερίου στους τρεις χρόνους παραμονής αλλά και για να μπορέσουμε να τα συγκρίνουμε θα πρέπει η περιεκτικότητα σε ΠΣ των πρώτων υλών να είναι η ίδια και στους τρεις χρόνους παραμονής . Θα αναλύσουμε λοιπόν, την περίπτωση προσαρμογής των δεδομένων των ποσοστών ΠΣ των εκχυλισμάτων για ΧΠ 16 ημ στις μελέτες που αφορούν ΧΠ 21 και 32 . Η εφαρμογή αυτή καλύπτει τη καλύτερη δυνατή παραγωγή βιοαερίου σε κάθε Χ.Π. Συγκεκριμένα τα ποσοστά των ΠΣ που χρησιμοποιήθηκαν είναι για ΕΚΧ<sub>π+v</sub>=1,14% και ΕΚΧ<sub>π+λ</sub>=6,6% .



**Πίνακα 6.15 Διαφοροποιημένος λόγος εκχυλισμάτων μίγματος και παραγωγή βιοαερίου στα δύο στάδια ΧΠ 21ημ**

Στάδια	Βιοαέριο (L) /ημ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+v
1	17,53	0
2	41,13	9,09

**Πίνακα 6.16 Διαφοροποιημένος λόγος εκχυλισμάτων μίγματος και παραγωγή βιοαερίου στα δύο στάδια ΧΠ 32ημ**

Στάδια	Βιοαέριο (L) /ημ.	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+v
1	3,61	0
2	23,43	9,66

Χρησιμοποιώντας τη σχέση του διαγράμματος  $y=2,597x+17,53$  του ΧΠ 21 και τον λόγο  $9,11/1$  , το παραγόμενο βιοαέριο ανά ημέρα που προκύπτει είναι 41,2L ή η ογκομετρική παραγωγή του βιοαερίου  $41,2/19=2,16\text{Nm}^3/\text{m}^3$  χων ή η ογκομετρική παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων  $2,16*21=45,5\text{ Nm}^3/\text{m}^3$  αποβλ .

Από τον διαφοροποιημένο λόγο  $9,66/1$  στις 32ημ και τη σχέση  $y=2,0518x+3,61$  , το παραγόμενο βιοαέριο ανά ημέρα είναι 23,43L , η ογκομετρική παραγωγή του είναι  $23,43/19=1,23\text{ Nm}^3/\text{m}^3$  χων και η παραγωγή ανά κυβικό αποβλήτων είναι  $1,23*32=39,32\text{ Nm}^3/\text{m}^3$  αποβλ .

Οι λόγοι είναι αισθητά μεγαλύτεροι λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας των εκχυλισμάτων σε Π.Σ . Το ποσοστό των ΠΣ<sub>κ,β</sub> του εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείου με νερό στις μελέτες ΧΠ 21 και 32 ημ είναι σχεδόν διπλάσιο από το αντίστοιχο ποσοστό των ΠΣ<sub>κ,β</sub> του εκχυλίσματος αποβλήτων πτηνοτροφείο με λιοζούμι . Το παραγόμενο βιοαέριο που εκτιμήθηκε σε κάθε ΧΠ αποτελεί τη μέγιστη παραγωγή βιοαερίου με βάση τα δεδομένα των ΠΣ .

**Πίνακα 6.17 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στο χωνευτήρα Β πριν και μετά τη διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ=21)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Β(πριν)	Χωνευτήρας Β(μετά)
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Χρόνος παραμονής (ημέρες)	21	
Ημερήσια ποσότητα μίγματος τροφοδοσίας (L/ημέρα)	0,55 ΕΚΧπ+λ+0,35 ΕΚΧπ+ν	0,55 ΕΚΧπ+λ+0,35 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.) μίγματος τροφοδοσίας	ΕΚΧπ+ν = 2,18 % ΕΚΧπ+λ = 4,37%	ΕΚΧπ+ν = 1,14 %
		ΕΚΧπ+λ = 6,61 %
Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,031	0,076
Οργανική ή Ογκομετρική Φόρτιση (kg Π.Σ./M <sup>3</sup> χων-ημέρα)	1,66	4,01
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	0,68	2,1
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,37	0,52
Μείωση Φορτίου %	77,34	70,92

**Πίνακα 6.18 Χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου στο χωνευτήρα Β πριν και μετά τη διαφοροποίηση στα ΠΣ (ΧΠ=32)**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Β(πριν)	Χωνευτήρας Β(μετά)
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19	
Ημερήσια ποσότητα μίγματος τροφοδοσίας (L/ημέρα)	32	
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.) μίγματος τροφοδοσίας	0,375 ΕΚΧπ+λ+0,225 ΕΚΧπ+ν	0,375 ΕΚΧπ+λ+0,225 ΕΚΧπ+ν
Πτητικά στερεά (% Π.Σ.κ.β.)	ΕΚΧπ+ν = 2,18 % ΕΚΧπ+λ = 4,37%	ΕΚΧπ+ν = 1,14 %
		ΕΚΧπ+λ = 6,61 %

Πτητικά Στερεά (kg/ημέρα)	0,010	0,027
Οργανική ή Ογκομετρική Φόρτιση (kg Π.Σ./M <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,056	1,44
Ογκομετρική παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> χων)	0,28	1,16
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> / Kg Π.Σ.)	0,51	0,8
Μείωση Φορτίου %	77,36	72,9

#### 1.4 ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

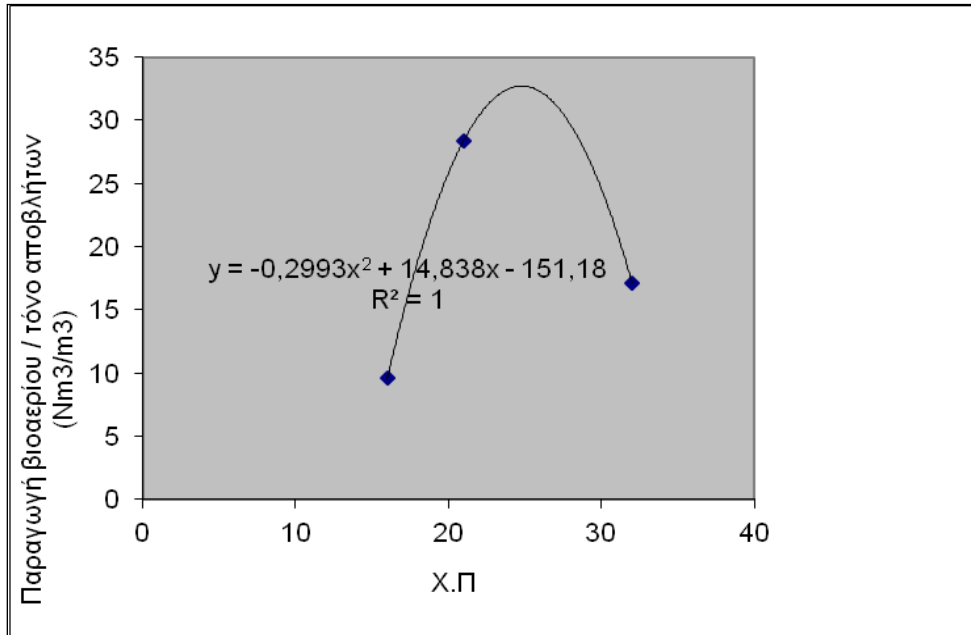
Λαμβάνοντας υπόψη τα έως τώρα στοιχεία του χωνευτήρα Β για όλους τους χρόνους παραγωγής διορθωμένα ως προς το ποσοστό των ΠΣ είναι εφικτό να υπολογιστεί ποιος είναι ο βέλτιστος χρόνος παραμονής και η βέλτιστη παραγόμενη ποσότητα του βιοαερίου που μπορεί να επιτευχθεί .

**Πίνακας 6.19:Συνολική ογκομετρική παραγωγή βιαερίου ανά ΧΠ**

Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων(min)	Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων(max)	Χ.Π
9,6	18,93	16
28,42	45,5	21
17,15	39,32	32

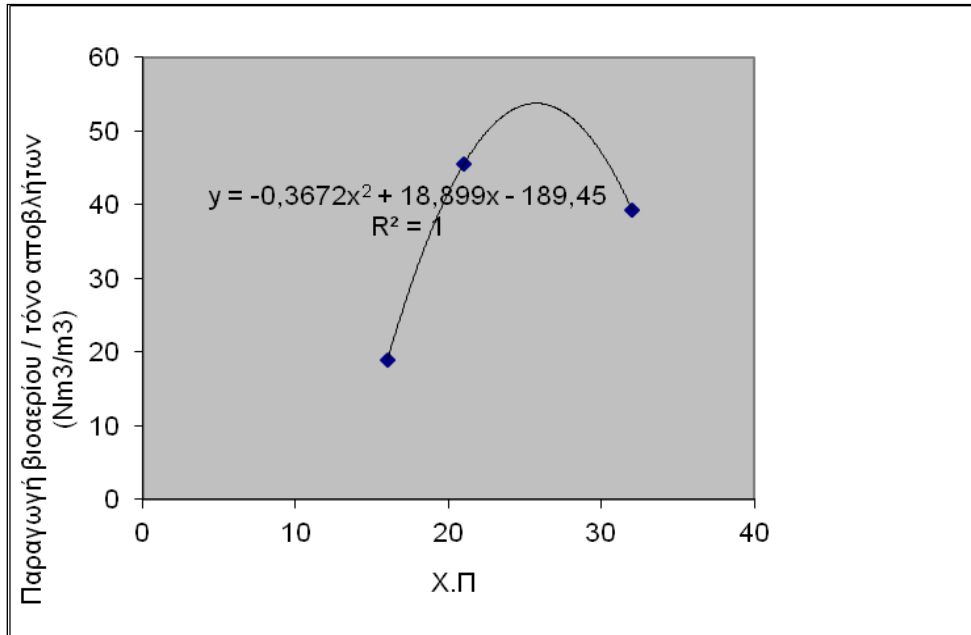
Απεικονίζουμε διαγραμματικά μέσω πολωνυμικής καμπύλης το min βέλτιστο σημείο λειτουργίας του χωνευτήρα Β (optimum)

**Διάγραμμα 13. Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων για το Χωνευτήρα Β(min) VS ΧΠ 25 ημερών**



Από την καμπύλη μας προκύπτει η σχέση  $y = -0,2993x^2 + 14,838x - 151,18$  , παραγωγίζοντας την εξίσωσή μας και λύνοντας ως προς 0 προκύπτει πως ο βέλτιστος ΧΠ είναι  $x=24,7=25\eta\mu$  και μέγιστη παραγωγή βιοαερίου  $y= 32.70 \text{ Nm}^3/\text{M}^3$  αποβλ . Αντιστοίχως απεικονίζεται διαγραμματικά μέσω πολυωνυμικής καμπύλης το υψηλότερο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του χωνευτήρα Β (optimum)

**Διάγραμμα 14. Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων για το Χωνευτήρα Β(max) VS ΧΠ 25 ημερών**



Από την καμπύλη μας προκύπτει η εξίσωση  $y = -0,3672x^2 + 18,899x - 189,45$ , παραγωγίζοντας την εξίσωσή μας και λύνοντας ως προς 0 προκύπτει πως ο βέλτιστος ΧΠ είναι  $x=25.4=25\eta\mu$  και μέγιστη παραγωγή βιοαερίου  $y=53,525 \text{ Nm}^3/\text{M}^3$  αποβλ. Αντιστοίχως απεικονίζεται διαγραμματικά μέσω πολυωνυμικής καμπύλης το υψηλότερο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του χωνευτήρα Β (optimum). Πιο κάτω παρατίθενται οι υπολογισμοί των χαρακτηριστικών του επιθυμητού χωνευτήρα των 25 ημερών χρόνου παραμονής, με βάση τα ποσοστά του Πίνακα 6.18.

**Πίνακας 6.20 Τυπική περιεκτικότητα Α' υλών σε ΠΣ% κ.β**

Πρώτες ύλες	ΠΣ % κ.β.	ΠΣ % κ.β.
<b>Παραγωγή βιοαερίου</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
<b>ΕΚΧΠ+N</b>	<b>2,18</b>	<b>1,14</b>
<b>Λιοζούμι</b>	<b>4,17</b>	<b>4,17</b>
<b>ΕΚΧΠ+Λ</b>	<b>4,37</b>	<b>6,61</b>

Η αναλογία των εκχυλισμάτων που αντιστοιχεί στον Χ.Π. των 25 ημερών προκύπτει ως εξής:  $EKX_{\pi+v} = (21/25) \cdot 0,35 = 0,294 \text{ L}$  και  $EKX_{\pi+\lambda} = (21/25) \cdot 0,55 = 0,462 \text{ L}$ . Συνολικά  $0,294 + 0,462 = 0,756$  και για επαλήθευση του Χ.Π.  $= 19/0,756 = 25,1$  ημέρες.

Η οργανική φόρτιση ανέρχεται σε  $0,294 \cdot 0,0218 + 0,462 \cdot 0,0437 = 0,02651 \text{ L}/0,019 = 1,4 \text{ kg ΠΣ}/\text{m}^3_{\text{χων}}$  και ο λόγος Π.Σ. σε  $(0,462 \cdot 0,0437)/(0,294 \cdot 0,0218) = 3.15/1$ . Γίνεται προσαρμογή των ποσοτήτων των συστατικών του μίγματος για να εξισωθεί ο λόγος με την τιμή 3,34/1, που είναι ο μέσος όρος των λόγων Π.Σ. σε κάθε τιμή Χ.Π. (16, 21, 32 ημέρες), που δοκιμάστηκε  $(3,40+3,21+3,40)/3 = 3.34/1$  :  $(0,475 \cdot 0,0437)/(0,285 \cdot 0,0218) = 3,34/1$ . Άρα ο χωνευτήρας θα τροφοδοτείται καθημερινά με 0,776 L μίγματος από το οποίο τα 0,475 L θα αποτελούνται από εκχύλισμα πτηνοτροφείου με λιοζούμι και τα υπόλοιπα 0,285 L από εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό. Η οργανική φόρτιση σύμφωνα με τις νέες αναλογίες θα είναι για ΜΙΝ παραγωγή βιοαερίου :  $(0,0218 \cdot 0,285 + 0,0437 \cdot 0,475) = 0,02698/0,019 = 1,42 \text{ kg ΠΣ}/\text{m}^3_{\text{χων}}$ . Παρομοίως για το εκχύλισμα πτηνοτροφείου με νερό (περίπτωση μηδενικού λόγου Π.Σ.) :  $0,0218 \cdot 0,285 = 0,0062/0,019 = 0,33 \text{ kg ΠΣ}/\text{m}^3_{\text{χων}}$

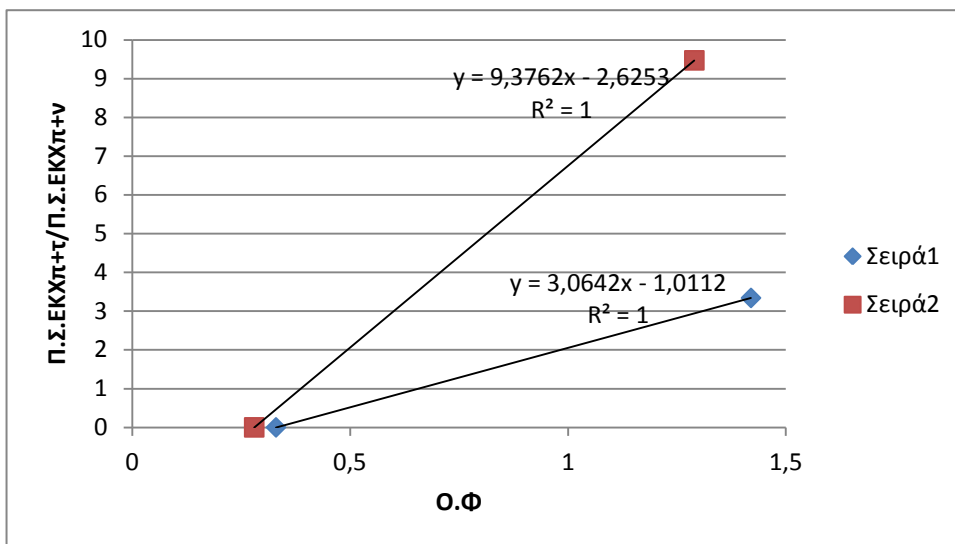
Η μέση τιμή των λόγων των ΠΣ του εκχυλίσματος Π+Λ /Π+N για τους 3 χρόνους παραμονής 16,21,32 με βάση τα ΠΣ των 16 ημερών είναι  $(9,67+9,09+9,66)/3=9,47$

Από τον υπολογισμό των ποσοτήτων προκύπτουν οι αναλογίες

Για την MAX παραγωγή βιοαερίου :  $=(0,289 \cdot 0,0661)/(0,471 \cdot 0,0114)=9,47/1$  και οργανική φόρτιση :  $0,289 \cdot 0,0661 + 0,471 \cdot 0,0114 = 0,024/0,019 = 1,29 \text{ kg Π.Σ.}/\text{m}^3_{\text{χων}}$  και μηδενικό λόγο Π.Σ.:  $0,0114 \cdot 0,471 = 0,0054/0,019 = 0,28 \text{ kg ΠΣ}/\text{m}^3_{\text{χων}}$

**Πίνακας 6.21.: Λόγοι εκχυλισμάτων μίγματος και οργανική φόρτιση (ΧΠ=25)**

Στάδια	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+v min	Π.Σ.ΕΚΧπ+λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+v max	Ο.Ο.Φ.(ΜΙ)	Ο.Ο.Φ.(ΜΑ)
1°	0	0	0,33	0,28
3°	3,34	9,47	1,42	1,29



(διάγραμμα 15)

Στη συνέχεια διορθώνεται ο λόγος των Π.Σ. αμιγώς λιοζουμιού και αμιγώς αποβλήτων πτηνοτροφείου, λόγω της συμμετοχής των Π.Σ.πτην. και στα δύο εκχυλίσματα :

$0,475 \cdot (0,0437_{(\Lambda+\Pi)} - 0,0417_{(\lambda)}) = 0,0095$  kg η περιεκτικότητα σε Π.Σ. του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι και  $0,285 \cdot 0,0218 = 0,00621$  kg η περιεκτικότητα σε Π.Σ. του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό. Άρα, η συνολική ποσότητα Π.Σ.πτην. που περιέχεται στα εκχυλίσματα είναι  $0,00621 + 0,0095 = 0,00716$  και ο νέος λόγος :

$(0,475 \cdot 0,0417) / 0,00716 = \underline{\underline{2,77/1}}$  για την περίπτωση **MIN** και

$0,289 \cdot (0,0661_{(\Lambda+\Pi)} - 0,0417_{(\lambda)}) = 0,00705$ kg η περιεκτικότητα σε Π.Σ. του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με λιοζούμι και  $0,0114 \cdot 0,471 = 0,00537$  kg η περιεκτικότητα σε Π.Σ. του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό. Άρα, η συνολική ποσότητα Π.Σ.πτην. που περιέχεται στα εκχυλίσματα είναι  $0,00705 + 0,00537 = 0,01242$  και ο νέος λόγος :

$(0,289 \cdot 0,0417) / 0,01242 = \underline{\underline{9,7/1}}$  για την περίπτωση **MAX**

**Πίνακας 6.22: Χαρακτηριστικά Χωνευτήρα Β για βέλτιστη Παραγωγή Βιοαερίου (ΧΠ optimum=25)**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΕ ΛΙΟΖΟΥΜΙΑ
Όγκος Χωνευτήρων (L)	19
Χρόνος Παραμονής (ημ)	25
Ημερήσια Ποσότητα Μίγματος Τροφοδοσίας (L/ημ)	0,483 ΕΚΧπ+λ + 0,290 ΕΚΧπ+ν (MIN) και 0,289 + 0,471 (MAX)
Λόγοι Π.Σ.λ/Π.Σ.ΕΚΧπ+ν	2,77-9,77
Ογκομετρική Οργανική Φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,36- 0,92
Ογκομετρική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,31 -2,14
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg ΠΣ-ημ)	0,96 -2,32
Εκτίμηση Ποσοστού Μεθανίου (%Βιοαερίου)	70
Ογκομετρική Παραγωγή μεθανίου	0,92 - 1,5
Ειδική Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg ΠΣ-ημ)	0,67- 1,62
Μείωση Φορτίου (% ΠΣ)	77,34



## 1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

### 1.5.1 ΕΥΡΕΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίστηκαν τα χαρακτηριστικά παραγωγής βιοαερίου σε εργαστηριακή κλίμακα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί πώς μπορούν τα αποτελέσματα που εξήλθαν σε μικροσκοπικό επίπεδο να εφαρμοστούν σε μια πραγματική μονάδα επεξεργασίας βιοαερίου. Η μονάδα αφορά σε πτηνοτροφείο στη περιοχή της Κορίνθου το οποίο παραλαμβάνει καθημερινά από γειτονικά ελαιοτριβεία 25t λιοζούμι. Η περιεκτικότητα του παραγόμενου λιοζουμιού σε ΠΣ είναι  $25000 \cdot 0,0417 = 1042,5 \text{ kg}$ . Εν συνεχεία υπολογίζουμε τα ΠΣ του υλικού πτηνοτροφείου από την μονάδα μας που θα χρειαστούμε για τη δημιουργία των εκχυλισμάτων, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα. Από τον λόγο των ΠΣ του λιοζουμιού προς τα ΠΣ του πτηνοτροφείου προκύπτει ότι η ποσότητα των ΠΣ στο υλικό πτηνοτροφείου που θα έχει η δόση τροφοδοσίας είναι  $1042,5 \text{ kg} \cdot \frac{\text{Π.Σ.πτην}}{2,77} = 377,7 \text{ kg (MIN)}$  και  $1042,5 / 9,7 = 107,50 \text{ kg (MAX)}$ . Γνωρίζοντας πως τα Π.Σ. κατά βάρος του εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό είναι 2,18%, η ποσότητα εκχυλίσματος πτηνοτροφείου με νερό που απαιτείται για την δημιουργία του μίγματος είναι  $377,7 / 0,0218 \cdot 1000 = 17,3 \text{ t} + \text{v} / \eta \mu$  (MIN) και  $107,52 / 0,0114 \cdot 1000 = 9,4 \text{ (MAX)}$

Το εκχύλισμα αυτό θα προέλθει από ίσο όγκο ημι-κομποστοποιημένων στερεών αποβλήτων πτηνοτροφείου ή από  $17,3 \cdot 0,6 = 10,38$  τόνους (MIN) και  $9,4 \cdot 0,6 = 5,64$  (MAX). Θα χρησιμοποιηθεί νερό έκπλυσης ή υγρά εξόδου του χωνευτήρα προσυζητημένα κατά 10%, όση και η ποσότητα κατακράτησης υγρών στα στερεά διαχωρισμού.

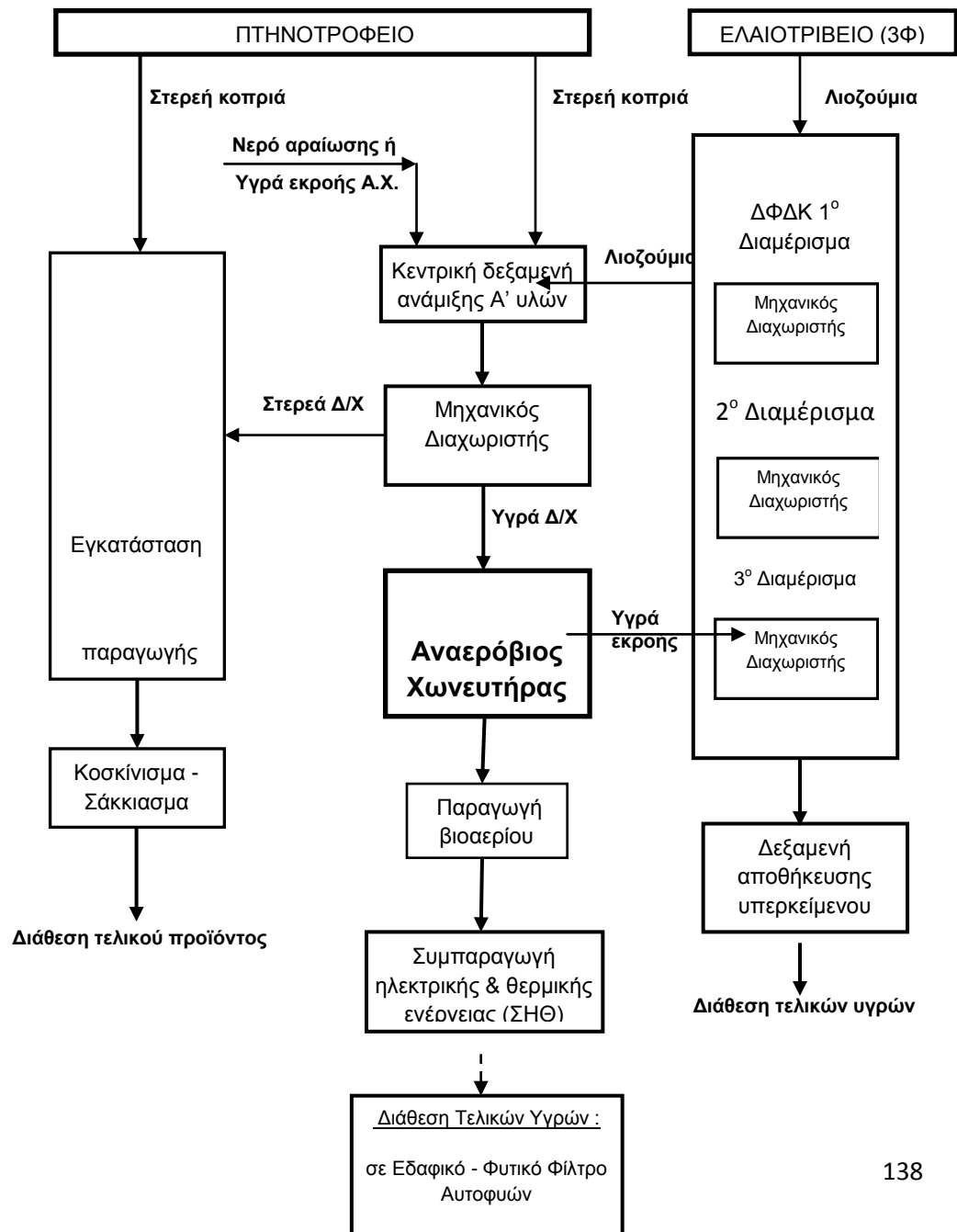
Τα ΟΣ του μίγματος υπολογίστηκαν:  $\text{Ο.Σ} = 25 \cdot 5,17 + 17,3 \cdot 3,5 / 42,3 = 4,48\% \text{ Ο.Σ}$ . Βλέπουμε ότι τα Ο.Σ κυμαίνονται σε αποδεκτά όρια  $< 10\%$  όπου το σύστημα μας θα δυσκολευόταν να λειτουργήσει. Υπάρχουν περιθώρια μείωσης του όγκου του εισερχομένου μίγματος εφαρμόζοντας την ως άνω συμπύκνωση των νερών έκπλυσης των στερεών του πτηνοτροφείου.

Συμπερασματικά, οι πρώτες ύλες που χρειάζονται για τη λειτουργία του χωνευτήρα στο βέλτιστο επί καθημερινής βάσης είναι:

25t λιοζούμι, 11,1 τόνοι πτην για έκπλυση και  $(5,64 - 17,30) \cdot 1,10 = 6,4 - 19$  τόνοι υγρών έκπλυσης = 30,64 – 42,3 τόνους μίγματος συνολικά

Χρησιμοποιώντας παραπάνω στοιχεία της μονάδας μας θα μπορούσαμε να περιγράψουμε ποιο αναλυτικά ένα διάγραμμα ροής της εγκατάστασής μας. Η πτηνοτροφική μας μονάδα λοιπόν δέχεται καθημερινά 25t λιοζούμι (από ΔΦΔΚ του ελαιοτριβείου) το οποίο

και ρίχνει στη δεξαμενή ανάδευσης μαζί με τα ημικομποστοποιημένα πτηνοτροφικά απόβλητα. Μετά την ανάμιξη ακολουθεί μηχανικός διαχωρισμός όπου το στερεό κλάσμα οδηγείται στο χώρο κομποστοποίησης του πτηνοτροφείου και το υγρό κλάσμα οδηγείται στον αναερόβιο χωνευτήρα μας , εν συνεχεία το παραγόμενο βιοαέριο από τα υγρά διαχωρισμού οδηγείται για την μετατροπή του σε ηλεκτρική(πώληση στη ΔΕΗ) και θερμική ενέργεια(διατίθεται δωρεάν σε γειτονικές κατοικίες ) . Τέλος τα υγρά εξόδου του Α.Χ οδηγούνται με αρκετά μειωμένο ρυπαντικό φορτίο στη ΔΦΔΚ του ελαιοτριβείου.



(εικόνα 25)

Ακολουθεί μια σύντομη διαστασιολόγηση της μονάδας του ελαιοτριβείου .

25 t/day

$$25 \cdot 365 / 100 \cdot 1,2 = 110$$

Βάζω δεξαμενή Φυσικού διαχωρισμού Καθίζησης (10 ημερών)

$$\text{Άρα } 110 \cdot 10 = 1100 \text{m}^3$$

3 συνεχόμενες ανοιχτές δεξαμενές από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρητικότητας

α)220 ,β)440,γ)440 με βάση τη σχέση όγκων 1:2:2, για στεγασμένες κάτω από ενιαίο θερμοκηπιακού τύπου στέγαστρο ,πλάτους 9m .

Ωφέλιμο βάθος 1,5m , μήκος α)13m,β)26m,γ)26m

### 1.5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Αφού έχουν υπολογιστεί πλέον οι απαιτήσεις σε πρώτες ύλες της μονάδας, θα βρεθούν ποια είναι τα χαρακτηριστικά και ποιο το ενεργειακό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον ακόλουθο Πίνακα

**Πίνακας 6.23: Χαρακτηριστικά Βέλτιστης Παραγωγής Βιοαερίου στο χωνευτήρα της μονάδας**

Πρώτες Ύλες	Χωνευτήρας Μονάδας
Ημερήσια ποσότητα (t/ημ)	36,5
Χρόνος παραμονής	25
Μ.Ο όγκος χωνευτήρα (m <sup>3</sup> )	$36,5 \cdot 25 = 913 \cdot 1,25 = 1141$
Πτητικά στερεά (%ΠΣ <sub>κ,β</sub> )	3,35
Πτητικά στερεά (kg/ημ)	1223
Ογκομετρική οργανική φόρτιση (kg ΠΣ/m <sup>3</sup> <sub>χων-ημ</sub> )	1,34
Ογκομετρική παραγωγή (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>αποβλήτων</sub> )	$32,7 + 53,525 = 86,22 / 2 = 43,00$

Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό αποβλήτων( $\text{Nm}^3/\text{m}^3$ χωνευτήρα)	1,72
Ειδική παραγωγή βιοαερίου ( $\text{Nm}^3/\text{kg}$ )	1,28

### 1.5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Σύμφωνα με τον όγκο των αποβλήτων που θα υφίστανται επεξεργασία καθημερινά για το διάστημα των 25 ημερών, πρέπει να κατασκευαστεί το κατάλληλο μέγεθος χωνευτήρα. Η πτηνοτροφική μονάδα της Κορίνθου στην από την οποία γίνεται η προμήθεια του λιοζουμιού λειτουργεί όλη τη διάρκεια του έτους. Ο χωνευτήρας είναι τύπου σιλό, σχήματος κυλινδρικού με κωνική κορυφή. Η διαστασιολόγηση του αντιδραστήρα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.24:** Χαρακτηριστικά χωνευτήρα μονάδας

Ετήσια Ποσότητα Αποβλήτων (t)	Λιοζούμι $25 \cdot 365 = 9125$	$\text{Π} + \text{N} = 11,5 \cdot 365 = 4197$
Όγκος κατασκευής (m <sup>3</sup> )	1278	
Ύψος (m)	6,5	
Επιφάνεια Βάσης (m <sup>2</sup> )	196	
Διάμετρος (m)	16	
Επιφάνεια τοιχωμάτων πλην της οροφής (m <sup>2</sup> )	327	
Συνολική Επιφάνεια* (m <sup>2</sup> )	$327 + 196 = 523$	

\* Η συνολική επιφάνεια περιλαμβάνει την επιφάνεια βάσης και τα τοιχώματα πλην της οροφής

Το ενεργειακό περιεχόμενο του αντιδραστήρα παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα. Οι απώλειες ενέργειας οφείλονται στα τοιχώματα του χωνευτήρα και στη διαφορά θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χωνευτήρα. Οι απώλειες από την αυτοκατανάλωση σχετίζονται με την διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ του μίγματος στο εσωτερικό του χωνευτήρα και των υγρών τροφοδοσίας. Ως δεδομένα από μετρήσεις του πειράματος και κλιματικών συνθηκών της περιοχής του πτηνοτροφείου δίδονται:  $T_{m_{εξωτ.αέρα}} = 21^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{m_{χώνευσης}} = 37^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{m_{υγρών}} = 18^{\circ}\text{C}$  και η σταθερά  $km = 1,1 \text{ W/m-K}$ . Η πτηνοτροφική μονάδα έως τώρα χρησιμοποιεί πετρέλαιο για τη λειτουργία της, γι' αυτό το λόγο το παραγόμενο μεθάνιο που προκύπτει εκφράζεται σε ισοδύναμο του πετρελαίου.

**Πίνακας 6.25: Ενεργειακό Δυναμικό Παραγόμενου Βιοαερίου/Μεθανίου**

Απώλειες Τοιχωμάτων	(KWh/έτος)	80592
	(Mj/έτος)	290131
	(Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)	12409
Αυτοκατανάλωση για θέρμανση του χωνευτήρα (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		28125
Συνολικές Απώλειες (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		40534
Ημερήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /ημέρα)		1468
Ημερήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ημέρα)		1088
Μέση ωριαία Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> /h)		45
Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /έτος)		495286
Ετήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /έτος)		356586
Καθαρή Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /ημέρα)		495286
Καθαρή Ετήσια Παραγωγή Μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ημέρα)		356586

### **Συμπαραγωγή Θερμικής/Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Θ.)**

Σκοπός της παραγωγής βιοαερίου είναι η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας. Κατά τη διαδικασία της συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (CHP) παράγονται νερό και ανακυκλούμενο διοξείδιο του άνθρακα τα οποία δεν δημιουργούν πρόβλημα στο περιβάλλον. Το βιοαέριο διοχετεύεται σε στατική μηχανή εσωτερικής καύσης η οποία κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια. Η θερμική ενέργεια απορροφάται από τα νερά ψύξης της μηχανής και προέρχεται από το 55% περίπου του παραγόμενου μεθανίου. Μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας ζεσταίνει ποσότητα νερού το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αναερόβιου χωνευτήρα που λειτουργεί δίπλα από

την εγκατάσταση. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών σε ενέργεια της ίδιας της πτηνοτροφικής μονάδας ή να δοθεί σε γειτονικές κατοικίες . Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα μικρό ποσοστό (10% περίπου) διαφεύγει από το σύστημα. Το ποσοστό της απώλειας αυτής αυξάνεται όταν η εγκατάσταση συμπαραγωγής είναι απομακρυσμένη από τον χωνευτήρα. Εφόσον το βιοαέριο πρέπει να μεταφερθεί μέσω σωληνώσεων δημιουργούνται απώλειες κατά την διακίνηση. Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια (από το 35% του παραγόμενου μεθανίου) που παράγει η ηλεκτρογεννήτρια διατίθεται προς πώληση στο δίκτυο ηλεκτρισμού επιφέροντας οικονομικό όφελος. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται παρακάτω σύμφωνα με τις μικρότερες και μεγαλύτερες δυνατές τιμές, ώστε να καλύπτονται όλα τα ενδεχόμενα.

**Πίνακας 6.26: Συμπαραγωγή Θερμικής/Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Συνολικό Ενεργειακό Περιεχόμενο (MWh)	3682
Συνολική Ετήσια Θερμική Ενέργεια (MWhth/έτος)	2025
Συνολική Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (MWhε/έτος)	1289
Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλεκτρογεννήτριας (kWe)	300 (για 12ωρη λειτουργία)
Ετήσια Καθαρή Θερμική Ενέργεια (MWhth /έτος)	1819
Θερμογόνος Δύναμη πετρελαίου (kWh/L)	$8600/860=10$
Ισοδύναμο πετρελαίου Ετήσιας Καθαρής Θερμικής Ενέργειας (L/έτος)	373040

## 2.ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η οικονομική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου έγινε δυνατή από το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωργικής Οικονομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με την ανάπτυξη ενός οικονομικού μοντέλου, γνωστού ως 'Τροποποιημένο Βασικό Μοντέλο Οικονομικής Αξιολόγησης', M.B.E.E.M. (Modified Basic Economic Evaluation Model). Το μοντέλο παρουσιάστηκε στο 7<sup>th</sup> FAO/SREN-WORKSHOP στη Μόσχα και δημοσιεύθηκε στο επιστημονικό ηλεκτρονικό περιοδικό *APPLIED BIOTECHNOLOGY AND BIOCHEMISTRY* (Georgakakis et al, 2003)

Το Μοντέλο αποτελεί βελτιωμένη τροποποίηση ενός παλιότερου, γνωστού ως 'Βασικό Μοντέλο Οικονομικής Αξιολόγησης', B.E.E.M (Basic Economic Evaluation Model) (Γεωργακάκης και άλλοι, 1992) και βασίζεται, όπως και το προηγούμενο, στην θεωρία της Καθαρής Παρούσας Αξίας, *N.P.V.* (Net Present Value).

Η καθαρή παρούσα αξία ορίζεται ως η παρούσα αξία του κόστους της επένδυσης, η οποία ισούται με την διαφορά των ετήσιων εσόδων και εξόδων μιας δραστηριότητας. Αν η καθαρή παρούσα αξία έχει τιμή μεγαλύτερη του μηδενός, τότε η επένδυση εκτιμάται ότι είναι οικονομικά αποδοτική (κερδοφόρα).

Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίζεται από τη σχέση :

$$N.P.V. = \sum_{j=1}^n [N.C.F._j \times (1-r)^{-j}] - I$$

όπου : N. P.V. = Καθαρή παρούσα αξία

N.C.F. = Καθαρή χρηματική ροή = B-C, σε €/έτος

B = Ετήσια έσοδα από τη δραστηριότητα, σε €

C = Ετήσια λειτουργικά έξοδα της δραστηριότητας, σε €

r = Προεξοφλητικό επιτόκιο, %

j = Χρόνος ζωής της δραστηριότητας, σε έτη

I = Απαιτούμενο κόστος επένδυσης (ύψος επενδεδυμέν. κεφαλαίου), σε €

Αν το καθαρό αρχικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης είναι γνωστό, η εφαρμογή της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας δηλώνει, αν η εγκατάσταση είναι οικονομικά αποδοτική ( $N.P.V. > 0$ ) ή όχι ( $N.P.V. < 0$ ). Το κόστος της επένδυσης για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία είναι ίση με μηδέν ( $N.P.V. = 0$ ), είναι το μέγιστο (οριακό) κόστος επένδυσης, το οποίο μπορεί να αποσβεστεί ακριβώς με τη λήξη του χρόνου ζωής

της εγκατάστασης. Το ύψος της τιμής του εξαρτάται από τις τιμές που παίρνουν οι διάφορες παράμετροι της σχέσης που προαναφέρθηκε.

Το μέγιστο (οριακό) κόστος επένδυσης, για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία γίνεται ίση με μηδέν, δίνεται από την σχέση που ακολουθεί :

$$I_{\max} = \sum_{j=1}^n (NCF_j \times (1+r)^{-j})$$

Οι τιμές που λαμβάνουν οι διάφορες παράμετροι, που χρησιμοποιούνται στο τροποποιημένο μοντέλο, έχουν επιλεγεί να ταιριάζουν στις περιπτώσεις εγκαταστάσεων παραγωγής και χρήσης βιοαερίου για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ή μόνο θερμικής ενέργειας.

Τα συνολικά ετήσια έσοδα (B) και τα συνολικά ετήσια έξοδα (C) μιας εγκατάστασης παραγωγής και κατανάλωσης βιοαερίου καθορίζονται από τις παρακάτω δύο σχέσεις :

$$B = B_{ther} + B_{el} + B_{comp}$$

όπου : B = Συνολικά ετήσια έσοδα, σε €

$B_{ther}$  = Συνολικά ετήσια έσοδα από την παραγόμενη θερμική ενέργεια

$$= (V_R \times \gamma_v - L) \times P_{ther} \times 0,9 \times T_{ther} \times a \times Pr_{ther}$$

a = Ισοδύναμη μονάδα πετρελαίου: 0,8759 L / m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>

$P_{ther}$  = Ποσοστό καθαρού μεθανίου που χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμικής ενέργειας, (%)

$Pr_{ther}$  = Τιμή πετρελαίου, σε € / L

$T_{ther}$  = Χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια, σε ημέρες

$B_{el}$  = Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

$$= (V_R \times \gamma_v - L) \times P_{el} \times 0,9 \times T_{el} \times b \times Prel$$

b = Ισοδύναμη μονάδα : 9,278 kWh<sub>el</sub> / m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> - ημέρα

$P_{el}$  = Ποσοστό καθαρού μεθανίου που χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, (%)

$Pr_{ther}$  = Τιμή πώλησης kWh<sub>el</sub>, σε € / kWh<sub>el</sub>

$T_{el}$  = Χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια, σε ημέρες

$V_R$  = Ωφέλιμος όγκος χωνευτήρα, σε m<sup>3</sup>

$\gamma_v$  = Ογκομετρική απόδοση μεθανίου, σε m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / m<sup>3</sup><sub>χων</sub>-ημέρα

L = Συνολικές ημερήσιες απώλειες, σε m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / m<sup>3</sup><sub>χων</sub>-ημέρα

$$C = C_{dig} + C_{sal} + C_{misc} + C_{mec} + C_{ins}$$

όπου : C = Συνολικά ετήσια έσοδα, σε €



$$C_{\text{dig}} = \text{Ετήσια έξοδα συντήρησης χωνευτήρα}$$

$$= V_{\text{wast}} \times Pr_{\text{dig}}$$

$$V_{\text{wast}} = \text{ετήσιως όγκος αποβλήτων, σε m}^3$$

$$Pr_{\text{dig}} = \text{Κόστος συντήρησης, σε € / m}^3$$

$$C_{\text{sal}} = \text{Ετήσιοι μισθοί, σε €}$$

$$C_{\text{misc}} = \text{Κόστος για διάφορα, σε €/έτος}$$

$$C_{\text{ins}} = \text{Κόστος ασφάλειας, σε €/έτος}$$

$$C_{\text{mec}} = \text{Κόστος συντήρησης μονάδας καύσης βιοαερίου}$$

$$= E \times Pr_{\text{mec}}$$

$$E = \text{Ετήσια παραγόμενη ποσότητα ενέργειας, σε kWh / έτος}$$

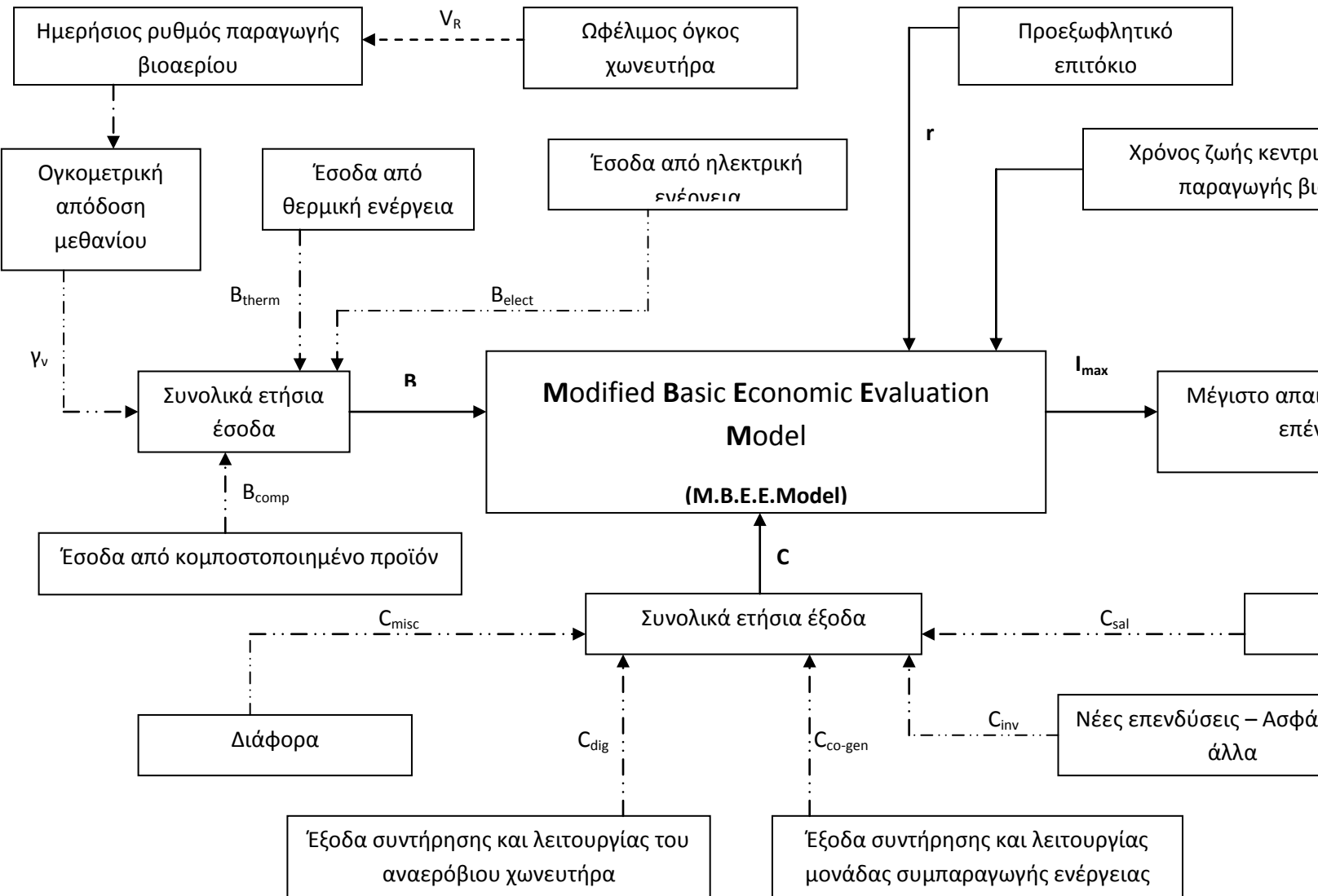
$$Pr_{\text{mec}} = \text{Κόστος συντήρησης, σε € /kWh/έτος}$$

Εκτιμάται ότι μόνο το 65-75% της συνολικής ετήσιας ποσότητας μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή της συνολικής ετήσιας ποσότητας θερμικής ενέργειας στην πράξη. Από την ποσότητα αυτή, το 10% θεωρείται ότι χάνεται με τη μορφή απωλειών.

Το υπόλοιπο 25-35% θεωρείται ότι καταναλώνεται για την συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Από αυτή την ποσότητα, το 10% θεωρείται επίσης ότι χάνεται με τη μορφή απωλειών.

Η επιτυχής εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου M.B.E.E.M εξαρτάται, όπως είναι φυσικό από τις κατά το δυνατό καλύτερες εκτιμήσεις των διαφόρων παραμέτρων, που χρησιμοποιούνται.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται το διάγραμμα ροής των επί μέρους συντελεστών και παραμέτρων, που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς του τροποποιημένου μοντέλου.



Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων βασίζεται στον υπολογισμό ορισμένων οικονομικών δεικτών και στην εφαρμογή τους σε ... οικονομικά μοντέλα. Έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς πολλοί οικονομικοί δείκτες.

Όλοι παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα αλλά και αδυναμίες. Η παρούσα μελέτη θα αρκεστεί στους τρεις βασικούς και πιο διαδεδομένους:

- Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)
- Εσωτερικός Ρυθμός Απόδοσης (IRR)
- Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου

Για να αποφευχθούν παραπλανητικά αποτελέσματα και λανθασμένα συμπεράσματα, ο κάθε δείκτης πρέπει να υπολογίζεται με αναγωγή μελλοντικών αξιών και όρων σε παρούσες αξίες, ώστε οι σχετικές συγκρίσεις να έχουν κοινή βάση.

## 2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι οικονομικοί δείκτες χρησιμοποιούν την έννοια των Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ) για τον υπολογισμό τους. Η Καθαρή Ταμειακή Ροή είναι στην ουσία μια χρηματοροή αναφερόμενη σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο συνήθως ετήσια. Αποτελεί τη διαφορά μεταξύ των εσόδων της επιχείρησης από τις πωλήσεις (ταμειακές εισροές) και των εξόδων που προκύπτουν από τις πληρωμές για τους διάφορους συντελεστές παραγωγής, τη διάθεση των προϊόντων και την πληρωμή του φόρου εισοδήματος (ταμειακές εκροές). Η μέθοδος της παρούσας αξίας μετατρέπει το σύνολο των χρηματοροών που αναμένεται να εμφανιστούν σε ένα χρονικό ορίζοντα στο μέλλον σε μια μοναδική παρούσα αξία σε σταθερό χρόνο μηδέν δηλ. στο παρόν. Αυτό το ποσό αναφέρεται ως παρούσα αξία ή παρούσα τιμή (Α.Π.Θ. – ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Σημειώσεις παραδόσεως στο μάθημα ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Άγις Μ. Παπαδόπουλος Επίκουρος Καθηγητής Θεσσαλονίκη, 2002).

Γενικά, το χρήμα σήμερα έχει μεγαλύτερη χρησιμότητα από ένα ίδιο χρηματικό ποσό στο μέλλον, καθώς η αξία του μεταβάλλεται στη διάρκεια του χρόνου (time value of money). Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους το μελλοντικό χρήμα είναι λιγότερο δελεαστικό είναι ο πληθωρισμός, το κόστος ευκαιρίας και η αβεβαιότητα. Σύμφωνα με αυτές τις παραμέτρους προκύπτει ένα επιτόκιο αναγωγής ή επιτόκιο προεξόφλησης (discount rate) για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας ενός μελλοντικού ποσού. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να αντικατοπτρίζει τη δεδομένη οικονομική κατάσταση και τη συγκεκριμένη κατηγορία επένδυσης. Σε επίπεδο επένδυσης το προεξοφλητικό επιτόκιο δηλώνει το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου (opportunity cost of capital), δηλαδή την αμοιβή που απαιτείται από τους επενδυτές (ή δανειστές) ώστε να πειστούν για την παροχή χρηματοδότησης μιας επένδυσης αντί να διαθέσουν τα χρήματα τους σε κάποια εναλλακτική επιλογή όπως η αποταμίευση. Σε αυτή τη περίπτωση ο ρυθμός απόδοσης του κεφαλαίου πρέπει να είναι υψηλότερος από το επιτόκιο καταθέσεων της τράπεζας.

Η αναμενόμενη απόδοση και το μέγεθος του ρίσκου που περιλαμβάνει μια επένδυση καθορίζουν το αν συμφέρει ή όχι η ανάληψη της. Γι' αυτό το λόγο αναφέρεται συχνά και ως ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο απόδοσης (minimum attractive rate of return). Σε περίπτωση δανεισμού μέρους του αρχικού κεφαλαίου, προτείνεται η χρήση του Μέσου Σταθμικού Κόστους Κεφαλαίων της Εταιρείας (Weighted Average Capital Cost) ως επιτοκίου προεξόφλησης για την αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων. Καθώς όλες σχεδόν οι εταιρείες χρηματοδοτούνται από ίδια και δανειακά κεφάλαια, το Μέσο Σταθμικό Κόστος εκφράζει το συνολικό κόστος των κεφαλαίων της εταιρείας λαμβάνοντας υπόψη τόσο την αξία όσο και την αναλογία κάθε πηγής χρηματοδότησης (mycourses.ntua.gr). :

$$\text{εστ} = I + \Delta$$

$$I * \kappa I + I + \Delta \Delta$$

$$* \kappa \Delta * (1 - \Sigma \Phi)$$

όπου: εστ = το σταθμισμένο κόστος κεφαλαίου

I = η αξία των ιδίων κεφαλαίων

$\kappa I$  = το κόστος των ιδίων κεφαλαίων

$\Delta$  = η αξία των δανειακών κεφαλαίων

$\kappa \Delta$  = το κόστος των δανειακών κεφαλαίων

$\Sigma \Phi$  = Συντελεστής φορολόγησης

Η παρούσα αξία, λοιπόν, δηλώνει το ποσό που πρέπει να επενδυθεί σήμερα για εισπραχθεί ένα ποσό μελλοντικά μετά από τη χρονική περίοδο ζωής της επένδυσης και σύμφωνα με ένα συνήθως σταθερό επιτόκιο αναγωγής που εκφράζει αυτό το χρονικό διάστημα.

Η **Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)** είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Μπορεί να αποτυπωθεί και ως η παρούσα αξία μιας επένδυσης αν αφαιρεθεί το αρχικό επενδεδυμένο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, είναι η παρούσα αξία των ετήσιων μελλοντικών καθαρών ταμειακών ροών ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{N. P. V.} = \sum_{j=1}^n [\text{NCF}_j \times (1 - r)^{-j}] - I$$

όπου NPV: Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value)

NCF: Καθαρή ταμειακή ροή ανά έτος = B – C

B = Ετήσια έσοδα

C = Ετήσια λειτουργικά έξοδα

r = Προεξοφλητικό επιτόκιο

j = Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης σε έτη

I = Ύψος επενδεδυμένου κεφαλαίου, κόστος ευκαιρίας μιας εναλλακτικής επένδυσης

Σε περίπτωση που:

- NPV>0: Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες (οικονομικό κύκλο ζωής n, και επιθυμητό βαθμό απόδοσης της επένδυσης, r)
- NPV=0: Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με r. Ο επενδυτής είναι αδιάφορος ως προς την αποδοχή ή την απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου. Το κόστος της επένδυσης αποτελεί το μέγιστο οριακό κόστος το οποίο μπορεί να αποσβεστεί ακριβώς με τη λήξη του χρόνου ζωής της εγκατάστασης. Η σχέση με την οποία εκφράζεται είναι:

$$I_{\max} = \sum_{j=1}^n [\text{NCF}_j \times (1 + r)^{-j}]$$

- NPV<0: Η επένδυση είναι αντιοικονομική

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η καθαρή παρούσα αξία της χρηματοροής μειώνεται. Ο **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)** (Internal Rate of Return) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης, δηλ. εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών. Εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου ενός επενδυτικού προγράμματος κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου

που δίνεται από τον ΕΒΑ και του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα των ταμειακών ροών (για το λόγο αυτό καλείται και εσωτερική απόδοση) ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα. Ο IRR της επένδυσης προσδιορίζεται ως:

$$I_{\max} = \sum_{j=1}^n \frac{NCF_j}{(1 + IRR)^j}$$

- $IRR > r$  : το επενδυτικό πρόγραμμα πρέπει να γίνει αποδεκτό.
- $IRR = r$  : το επενδυτικό πρόγραμμα είναι οριακό και ίσο με την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση.
- $IRR < r$  : το επενδυτικό πρόγραμμα δεν πρέπει να γίνει αποδεκτό.

Σημαντικός δείκτης για την οικονομική αξιολόγηση μιας επένδυσης είναι ο **Χρόνος Επανείσπραξης του Κεφαλαίου**. Υπολογίζει το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο θα καλυφθεί το κόστος της αρχικής επένδυσης και θα αρχίζει να αποδίδει το επενδυτικό έργο. Τα συμπεράσματα εξάγονται όταν γίνεται σύγκριση της περιόδου επανάκτησης του επενδυτικού προγράμματος με το χρόνο αποπληρωμής που έχει θέσει ως στόχο η επιχείρηση. Εάν η περίοδος επανείσπραξης είναι μικρότερη ή ίση με την περίοδο-στόχο, η επένδυση γίνεται δεκτή. Η μέθοδος δίνει μια ένδειξη του κινδύνου και της ρευστότητας της επένδυσης. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση.

Τέλος, ο **Συντελεστής Ανάκτησης Κεφαλαίου** (capital recovery factor, CRF) υπολογίζει το ύψος μιας ετήσιας ληξιπρόθεσμης ράντας ώστε να καταναμηθεί η παρούσα αξία ενός ποσού σε μια περίοδο  $t$  ετών. Η πιο συνηθισμένη χρήση του συντελεστή είναι για τον υπολογισμό της τοκοχρεολυτικής δόσης ενός δανείου, γι' αυτό πολλές φορές ονομάζεται συντελεστής τοκοχρεολυτικής απόσβεσης. Ο επενδυτής που λαμβάνει το δάνειο καλείται να επιστρέψει στον δανειστή το κεφάλαιο που δανείστηκε (χρεολύσιο) και την αμοιβή του δανειστή (τόκος). Σε αυτή τη περίπτωση ο CRF ορίζει τις ισόποσες ετήσιες δόσεις που πρέπει να πληρώσει κάποιος στο τέλος κάθε χρόνου επί μια σειρά  $n$  ετών έτσι ώστε να επιστρέψει την παρούσα αξία του κεφαλαίου που δανείζεται σήμερα. Ο συντελεστής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

όπου:

CRF: συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου

i: επιτόκιο προεξόφλησης ή δανεισμού

n: χρόνος αποπληρωμής

H ετήσια τοκοχρεολυτική δόση (R) που καλείται να πληρώσει η επιχείρηση υπολογίζεται από το γινόμενο του CRF επί το κεφάλαιο που επενδύθηκε ή δανείστηκε αρχικά.

### Παραδοχές MBEEM

- Χρόνος ζωής της εγκατάστασης είναι τα 12 χρόνια.
- Το πτηνοτροφείο λειτουργεί 365 ημέρες το χρόνο.
- Το προεξοφλητικό επιτόκιο ορίζεται σε 7% κατά το πρώτο χρόνο και μειώνεται σταδιακά έως τον 12<sup>ο</sup> χρόνο της επένδυσης όπου καταλήγει στο 5%.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του αναερόβιου χωνευτήρα εκτιμάται σε 0,3€/t αποβλήτων, το οποίο προσαυξάνεται κατά 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος παραγωγής ΣΗΘ ανέρχεται σε 3€/MWh<sub>th</sub> με προσαύξηση 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη.
- Τα ετήσια έξοδα μισθοδοσίας υπολογίζονται με προσαύξηση 2% ετησίως για τα επόμενα 12 έτη και με 10% προσαύξηση στον ετήσιο μισθό για κάλυψη αποζημίωσης απόλυσης.
- Επιπλέον έξοδα αφορούν νέες επενδύσεις, ασφάλεια και απρόβλεπτα και υπολογίζονται στο 25% των ετήσιων λειτουργικών εξόδων.
- Το πτηνοτροφείο πωλεί μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Ακολουθούν οι υπολογισμοί της οικονομικής μας ανάλυσης σύμφωνα με το μοντέλο MBEEM. Ο Πίνακας Εσόδων Εξόδων καταλήγει στον υπολογισμό του μέγιστου Επενδεδυμένου Κεφαλαίου δηλ το μέγιστο ποσό που μπορεί να δοθεί στην αρχή της επένδυσης έτσι ώστε να ανακτηθεί πλήρως σε κάθε αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 6.27 εσόδων –εξόδων

	Τιμές σε €
<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ</b>	
Συντήρηση & λειτουργία αναερόβιου χωνευτήρα	53.607
Συντήρηση & λειτουργία μηχανής	148.150
Νέες επενδύσεις, ασφάλιση, απρόβλεπτα	102.076
Μισθοδοσία	206.546

<b>Σύνολο</b>		<b>510.379</b>
<b>ΕΣΟΔΑ</b>		
Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας		<b>3.913.404</b>
<b>Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (<math>I_{max}</math>)</b>	<b>12</b>	2.413.301
	<b>8</b>	1.759.074
	<b>6</b>	1.388.990
	<b>4</b>	979.715

Τα έσοδα του πτηνοτροφείου προέρχονται από τη πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή της μεγαβατόρας για επενδύσεις με ίδια κεφάλαια έχει οριστεί ως 253€/MWh. Από την ανάλυση εσόδων εξόδων προκύπτει πως για 12 έτη το μέγιστο κεφάλαιο που μπορεί να επενδυθεί με ίδια κεφάλαια είναι 2.413.301€, για 8 έτη 1.759.074€, για 6 έτη 1.388.990€ και για 4 έτη 979.715€. Αν το ποσό του κεφαλαίου βρίσκεται κάτω από το όριο που έχει τεθεί για κάθε χρονικό διάστημα τότε η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα.

Χρησιμοποιώντας ένα σχετικό παράδειγμα για ύψος αρχικής επένδυσης 1.500.000€ υπολογίζονται οι οικονομικοί δείκτες και εξάγονται τα αποτελέσματά τους στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.28 Δείκτες

Έτη	12	8	6	4
<b>Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)</b>	1.500.000			
<b>NPV (€)</b>	>0	>0	<0	<0
	708.172	214.948	-	-
<b>IRR (%)</b>	16%	10%	-	-
<b>Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου</b>	5 έτη + 87 ημέρες		-	-



Από τον Πίνακα συμπεραίνεται ότι η τιμή της NPV είναι θετική σε δύο χρόνους αποπληρωμής στα 12 και στα 8 έτη άρα η επένδυση χαρακτηρίζεται κερδοφόρα. Η τιμή του IRR είναι μεγαλύτερη από το προεξοφλητικό επιτόκιο και ο χρόνος επανάκτησης του κεφαλαίου υπολογίζεται σε 5 έτη και 87 ημέρες.

Επίσης, αναλύθηκε η περίπτωση χρηματοδότησης μέσω τραπεζικού δανεισμού. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι του σταθερού χρεολυσίου και του σταθερού τοκοχρεολυσίου. Το σταθερό χρεολύσιο αναφέρεται στην αποπληρωμή του δανείου σε ισόποσες δόσεις καθ' όλη τη διάρκεια δανεισμού. Το σταθερό τοκοχρεολύσιο χαρακτηρίζεται από σταθερό άθροισμα δόσεις και τόκων σε όλη τη διάρκεια δανεισμού. Οι πίνακες που ακολουθούν περιγράφουν την κατανομή των δόσεων σε κάθε περίοδο δανεισμού σύμφωνα με τα δύο είδη δανειοδότησης. Έπειτα ακολουθούν πάλι για κάθε μέθοδο δανεισμού ξεχωριστά οι πίνακες απόσβεσης των ίδιων κεφαλαίων που επενδύθηκαν. Η εφαρμογή έγινε στο παράδειγμα της επένδυσης ύψους 1.500.000€ και η ανάληψη δανείου αφορούσε μέρος του αρχικού κεφαλαίου σε ποσοστό 60% με επιτόκιο 9%.

Ακολουθούν κατά σειρά πίνακες ανάλυσης απεικόνιση αποπληρωμής δανείου με σταθερό χρεολύσιο και τοκοχρεολύσιο και απόσβεσης ίδιων κεφαλαίων με σταθερό χρεολύσιο και τοκοχρεολύσιο:

	Ισομερείς δόσεις (Σταθερό Χρεολύσιο)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>12</b>									
Χρεολύσιο	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000	75000
Τόκος	81000	74250	67500	60750	54000	47250	40500	33750	27000
Τοκοχρεολύσιο	156000	149250	142500	135750	129000	122250	115500	108750	102000
Εξοφλημένο ποσό δανείου	75000	150000	225000	300000	375000	450000	525000	600000	675000
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	825000	750000	675000	600000	525000	450000	375000	300000	225000
<b>8</b>									
Χρεολύσιο	112500	112500	112500	112500	112500	112500	112500	112500	
Τόκος	81000	70875	60750	50625	40500	30375	20250	10125	<b>364500</b>
Τοκοχρεολύσιο	193500	183375	173250	163125	153000	142875	132750	122625	<b>1264500</b>
Εξοφλημένο ποσό δανείου	112500	225000	337500	450000	562500	675000	787500	900000	
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	787500	675000	562500	450000	337500	225000	112500	0	
<b>6</b>									
Χρεολύσιο	150000	150000	150000	150000	150000	150000			
Τόκος	81000	67500	54000	40500	27000	13500	<b>283500</b>		
Τοκοχρεολύσιο	231000	217500	204000	190500	177000	163500	<b>1183500</b>		
Εξοφλημένο ποσό δανείου	150000	300000	450000	600000	750000	900000			
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	750000	600000	450000	300000	150000	0			
<b>4</b>									
Χρεολύσιο	225000	225000	225000	225000					
Τόκος	81000	60750	40500	20250	<b>202500</b>				
Τοκοχρεολύσιο	306000	285750	265500	245250	<b>1102500</b>				
Εξοφλημένο ποσό δανείου	225000	450000	675000	900000					
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	675000	450000	225000	0					

<b>Προοδευτική Μέθοδος (Σταθερό Τοκοχρεολύσιο)</b>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>12</b>									
Χρεολύσιο	44686	48707	53091	57869	63077	68754	74942	81687	89039
Τόκος	81000	76978	72595	67816	62608	56931	50743	43999	36647
Τοκοχρεολύσιο	125686	125686	125686	125686	125686	125686	125686	125686	125686
Εξοφλημένο ποσό δανείου	44686	93393	146484	204353	267430	336185	411127	492814	581853
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	855314	806607	753516	695647	632570	563815	488873	407186	318147
<b>8</b>									
Χρεολύσιο	81607	88952	96957	105683	115195	125562	136863	149181	
Τόκος	81000	73655	65650	56924	47412	37045	25744	13426	<b>400856</b>
Τοκοχρεολύσιο	162607	162607	162607	162607	162607	162607	162607	162607	<b>1300856</b>
Εξοφλημένο ποσό δανείου	81607	170559	267516	373199	488394	613956	750819	900000	
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	818393	729441	632484	526801	411606	286044	149181	0	
<b>6</b>									
Χρεολύσιο	119628	130394	142130	154921	168864	184062			
Τόκος	81000	70233	58498	45706	31763	16566	<b>303767</b>		
Τοκοχρεολύσιο	200628	200628	200628	200628	200628	200628	<b>1203767</b>		
Εξοφλημένο ποσό δανείου	119628	250022	392152	547073	715938	900000			
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	780372	649978	507848	352927	184062	0			
<b>4</b>									
Χρεολύσιο	196802	214514	233820	254864					
Τόκος	81000	63288	43982	22938	<b>211207</b>				
Τοκοχρεολύσιο	277802	277802	277802	277802	<b>1111207</b>				
Εξοφλημένο ποσό δανείου	196802	411316	645136	900000					
Ανεξόφλητο ποσό δανείου	703198	488684	254864	0					

Απόσβεση Ίδιων Κεφαλαίων Επένδυσης (Σταθερό Χρεολύσιο)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	12									
	Συνολικά									
	Ετήσια Έξοδα	194054	188065	182091	176133	170190	164264	158355	152462	146
	NCF	132063	138052	144026	149984	155927	161853	167762	173655	179
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0
	PV NCF	122055	118078	114155	110308	106554	102906	99372	95960	92
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-467937	-329884	-185858	-35874	120052	281905	449668	623323	802
										MEK
										XEK
	8									
	Συνολικά									
	Ετήσια Έξοδα	231554	222190	212841	203508	194190	184889	175605	166337	
	NCF	94563	103927	113276	122609	131927	141228	150512	159780	283
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0
	PV NCF	87397	88890	89782	90175	90154	89793	89155	88293	145
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-505437	-401509	-288233	-165624	-33698	107530	258043	417823	699
										MEK
										XEK
	6									
	Συνολικά									
	Ετήσια Έξοδα	269054	256315	243591	230883	218190	205514			
	NCF	57063	69802	82526	95234	107927	120603	283262	282405	283
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0
	PV NCF	52739	59703	65410	70041	73753	76679	167788	156055	145
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-542937	-473134	-390608	-295374	-187448	-66845	216418	498823	780
										MEK
										XEK
	4									
	Συνολικά									
	Ετήσια Έξοδα	344054	324565	305091	285633					
	NCF	-17937	1552	21026	40484	284927	284103	283262	282405	283
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553	0
	PV NCF	-16577	1328	16665	29775	194708	180633	167788	156055	145
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-617937	-616384	-595358	-554874	-269948	14155	297418	579823	861
										MEK
										XEK

		Απόσβεση Ίδιων Κεφαλαίων Επένδυσης (Σταθερό Τοκοχρεολύσιο)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
12									
	Συνολικά								
	Ετήσια Εξοδα	163739	164500	165277	166068	166876	167700	168540	169397
	NCF	162378	161617	160840	160049	159241	158417	157577	156720
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553
	PV NCF	150072	138232	127482	117710	108819	100722	93339	86602
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-437622	-276006	-115165	44884	204124	362542	520118	676838
									MEK
									ΧΕΚ
8									
	Συνολικά								
	Ετήσια Εξοδα	200661	201422	202198	202990	203797	204621	205462	206319
	NCF	125456	124695	123919	123127	122320	121496	120655	119798
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553
	PV NCF	115949	106653	98218	90556	83589	77247	71469	66199
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-474544	-349848	-225929	-102802	19518	141013	261669	381467
									MEK
									ΧΕΚ
6									
	Συνολικά								
	Ετήσια Εξοδα	238681	239443	240219	241011	241818	242642		
	NCF	87436	86674	85898	85106	84299	83475	283262	282405
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553
	PV NCF	80809	74134	68083	62593	57607	53073	167788	156055
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-512564	-425890	-339992	-254885	-170587	-87112	196151	478556
									MEK
									ΧΕΚ
4									
	Συνολικά								
	Ετήσια Εξοδα	315855	316616	317393	318185				
	NCF	10262	9501	8724	7932	284927	284103	283262	282405
	WACC	0,924	0,855	0,793	0,735	0,683	0,636	0,592	0,553
	PV NCF	9484	8126	6915	5834	194708	180633	167788	156055
Aθρ.Τ.Ρ.	-600000	-589738	-580238	-571514	-563581	-278655	5448	288710	571116
									MEK
									ΧΕΚ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήγουμε πως η επένδυση είναι κερδοφόρα σε περίπτωση τραπεζικού δανεισμού ύψους 60% του αρχικού κεφαλαίου και η αποπληρωμή των ίδιων κεφαλαίων θα γίνει σε διάστημα μεταξύ περίπου 4 και 6,5 ετών ανάλογα με το είδος δανεισμού. Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του ΜΒΕΕΜ.

Αρχικό Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)	1.500.000							
Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο για 12 και 8 έτη με Ίδια Κεφάλαια (€)	2.413.301				1.759.074			
Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου με Ίδια Κεφάλαια (έτη/ημέρες)	5 έτη + 87 ημέρες							
Έτη Δανεισμού	12		8		6		4	
Σταθερό	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο	Χρεολύσιο	Τοκοχρεολύσιο
Ποσοστό Δανεισμού (%)	60							
Ποσοστό σε Ίδια Κεφάλαια (%)	40							
Σύνολο Τοκοχρεολυσίου(€)	1.426.500	1.508.227	1.264.500	1.300.856	1.183.500	1.203.767	1.102.500	1.111.207
Μέγιστο Επενδεδυμένο Κεφάλαιο (€)	1.221.728	1.212.924	1.239.356	1.235.598	1.247.885	1.245.858	1.256.091	1.255.259
Χρόνος Επανείσπραξης Κεφαλαίου (έτη/ημέρες)	4 + 84	3 + 263	5 + 87	4 + 307	6 + 86	6 + 112	5 + 347	5 + 358

1

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοπτικά τα ευρήματα της ερευνητικής μας μελέτης είναι τα εξής:

- Μεγάλη ευκολία διαχείρισης των εκχυλισμάτων στην παραγωγή βιοαερίου
- Διπλάσια σχεδόν ειδική παραγωγή βιοαερίου/μεθανίου ( $m^3/kg\Pi.\Sigma.$ ) σε σχέση με την βιβλιογραφία
- Ευκολία μεταφοράς α' υλών στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου
- Συμφωνία μοντέλου M.B.E.E. με άλλα οικονομικά μοντέλα
- Δυνατή η απόσβεση της επένδυσης των εγκαταστάσεων μετά τα 6 χρόνια, με περιθώριο κέρδους
- Υπερέκλυψη των αναγκών σε υγραέριο του τυροκομείου με το βιοαέριο
- Δυνατότητα απορρόφησης του επεξεργασμένου τυρογάλακτος στην εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού των απονέρων του τυροκομείου
- Δυνατότητα πρόσθετων εσόδων στα πτηνοτροφεία αυγοπαραγωγής από τα απόβλητά τους, επί πλέον της παραγόμενης κομπόστας
- Αξιοποίηση-εξουδετέρωση του 'βαρέως' κλάσματος των λιοζουμιών προς όφελος των ελαιοτριβέων και του περιβάλλοντος

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

1. Agapitidis I. and Zafiris C. (2006). ‘Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives’. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.
2. Zafiris, C., Boukis, I., Choudalis, P., Chatziathanassiou, A., Nielsen, J.B. Holm., Baadstorp, L., Karamanlis, X., Kamarianos, A., Kyriakis, S and M. Zournas. (2000). ‘Greek Biogas Production from Pig Manure and Co-Digestions’. In Proc. ALTENER 2000 Conference. Toulouse, France, 23-25 October 2000 – 2001 ETA – Florence ISBN 88-900442-1-7. 407-410 pp.
3. Zafiris, C., Boukis, I., Choudalis, P., Chatziathanassiou, A., Nielsen, J.B. Holm., Baadstorp, L., Karamanlis, X., Kamarianos, A., Kyriakis, S and M. Zournas. (2002). ‘Greek Biogas Production from Pig Manure and Co-Digestions’. In Proc. of 12th European Conference on Biomass for Energy Industry and Climate Protection. Ed Palz et all. ETA- Florence and WIP-Munich. 330-333 pp.
4. Zafiris, C.; Hjort-Gregersen, K.; Mϋller, H.B.; Sommer, S.G.; Birkmose, T.; Nielsen, L.H., PROBIOGAS. Final assessment report. Assessment of a centralised co-digestion plant hypothetically sited in Sparta, Laconia Peloponese, Greece. (2007) 48 p.
5. Chatziathanassiou A. and Boukis I, 2000. Constraints and strategy for the development of Anaerobic Digestion in livestock farming in Greece. Poster viewing in the 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000 in Seville.
6. Boukis I. and Chatziathanassiou A., 2000. State of biogas production, energy exploitation schemes and incentives in Greece. Poster viewing in the 1s World



Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000 in Seville.

7. Chatziathanassiou A., Sioulas K., Karapanagiotis N., Boukis I. and Kotronarou A. (2000). Environmental Impacts from the Use of Bio-Energy Technologies. Poster viewing in the 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000 in Seville.

8. Boukis I., K. Sioulas, A. Chatziathanassiou, A. Kakaniaris and D. Mavrogiorgos (2002). Development of networking and synergies for Anaerobic Digestion energy schemes based on agro-industrial wastes in Southern Europe. The citrus-processing industries case study. "Energy Efficiency and Agricultural Engineering" Proceedings of the Union of Scientists, Rousse-Bulgaria 2002, Volume I, 255-263. In English.

9. Chatziathanassiou A., K. Sioulas, D. Mavrogiorgos, A. Veneti and I. Boukis (2002). Stakeholders' perceptions for Anaerobic Digestion Energy Schemes in Greece. 12th European Conference and Technology Exhibition on biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. In English.

10. K. Sioulas, D. Mavrogiorgos and A. Chatziathanassiou (2003). An assessment of social and environmental impacts and benefits associated with the development of the AnDigNet project in the 2nd International Conference on Ecological Protection of the Planet Earth, 5-8 June 2003, Sofia, Bulgaria.

11. Chatziathanassiou A., Sioulas K., Karapanagiotis N., Boukis I. And Kotronarou A. (2000). Environmental Impacts from the Use of Bio- Energy Technologies. Poster viewing in the 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000 in Seville.

12. Agricultural Nutrient Management Program, (2009). Manure Production Rate. University of Maryland. Available: [http://anmp.umd.edu/files/Manure\\_production\\_rate.pdf](http://anmp.umd.edu/files/Manure_production_rate.pdf). [Accessed 22 August 2011]
13. [http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth\\_3460/kdth\\_3460\\_zafiris.pdf](http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth_3460/kdth_3460_zafiris.pdf).
14. [http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/1449/1/Nimertis\\_Kalfas.pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/1449/1/Nimertis_Kalfas.pdf)
15. Γεωργακάκης Δ. (2008) .Περιβάλλον και Γεωργο-Πτηνό-Κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις .Πανεπιστημιακές σημειώσεις Διαχείρισης αποβλήτων Τεύχος 1.ΓΠΑ
16. ICAP. Ελαιόλαδο, πυρηνέλαιο, Ιούνιος 2003
17. Angelidaki I. and Ahring B. (1997) Codigestion of olive oil mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. Biodegradation, 8(4), 221-226.
18. Χριστοπούλου Ν. (2002), “Η Εφαρμογή της Φυσικής Καθίζησης στην Επεξεργασία των Αποβλήτων των Ελαιοτριβείων. Η Περίπτωση του Ελαιοτριβείου «Αντωνακάκη» στη Σάμο ”, Πτυχιακή Μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
19. Γεωργακάκης Δ., Χριστοπούλου Ν. (2002), “Σχεδίαση και Επίβλεψη Εφαρμογής Λειτουργίας των Πιλοτικών Εγκαταστάσεων Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Αποβλήτων του Ελαιοτριβείου του κ. Χριστόδουλου Αντωνακάκη, που Λειτουργεί στο Μαραθόκαμπο Σάμου και Εφαρμογή των Αποτελεσμάτων στα Υπόλοιπα Ελαιοτριβεία της Νήσου Σάμου”, Τελική έκθεση αποτελεσμάτων ερευνητικού προγράμματος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Al Seadi, T.: Good practice in quality management of AD residues from biogas production. Report made for the International Energy Agency, Task 24- Energy from

Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom, 2001.

2. Amon, T.; et al.: Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem Published by Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Austria, 2006.

3. Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Moitzi, G.; Buga, S.; Lyson, D. F.; Hackl, E.; Jeremic, D.; Zollitsch, W.; Pötsch, E.: Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Published by Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien, Austria, 2003

4. Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Schreiner, M.: Untersuchungen zur Wirkung von Rohglycerin aus der Bio  $\nu$   $\tau$   $\iota$   $\zeta$   $\epsilon$   $\lambda$  erzeugung als leistungssteigerndes Zusatzmittel zur Biogaserzeugung aus Silomais, Körnermais, Rapspresskuchen und Schweinegülle. Published by Südsteirische Energie- und Eiweißerzeugung Reg.Gen.m.b.H., Mureck, Austria, 2004

5. Amon, T.; Machmüller, A.; Kryvoruchko, V.; Milovanovic, D.; Hrbek, R.; Eder, M. W.; Stürmer, B.: Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglycerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Published by Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in collaboration with Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Wien, Graz, Austria, 2007

6. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen. Published by Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Wien, Austria, 2007

7. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (STMUGV) (2004) Biogashandbuch Bayern. - [www.ustmugv.bayern.de](http://www.ustmugv.bayern.de)  
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2007) Biogashandbuch Bayern - Materialband.

8. <http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006) Handreichung Biogas gewinnung  
und – Nutzung. – 3. überarbeitete Auflage; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe  
edt.; ISBN 3-00-014333-5