

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

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**«Αριστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου από αραιό  
μίγμα τυρογάλακτος και υγρών αποβλήτων βουστασίου  
γαλακτοπαραγωγής μετά από μηχανικό διαχωρισμό και  
σχεδιασμός του μεγέθους των εγκαταστάσεων  
διαχείρισης των εκροών».**

**ΚΟΥΤΣΟΥΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2015**



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ : «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

«Αριστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου από αραιό μίγμα  
τυρογάλακτος και υγρών αποβλήτων βουστασίου  
γαλακτοπαραγωγής μετά από μηχανικό διαχωρισμό και  
σχεδιασμός του μεγέθους των εγκαταστάσεων διαχείρισης των  
εκροών».

ΚΟΥΤΣΟΥΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

- ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ.
- ΓΕΩΡΓΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ.
- ΧΑΤΖΗΠΑΥΛΙΔΗΣ ΙΟΡΔΑΝΗΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ.

ΑΠΡΙΛΙΟΣ, 2015

Αφιερώνεται στους γονείς μου και στον αδελφό μου  
Μιχάλη, Ράνια & Αντώνη.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κ. Δημήτριο Γεωργακάκη για την εύστοχη καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας μελέτης. Η διαρκής παρουσία του και η υποστήριξη του σε όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μελέτης ήταν πολύτιμη ώστε να ξεπεραστούν αρκετές δυσκολίες και να ολοκληρωθεί επιτυχώς. Επιπλέον, τον ευχαριστώ για τις γνώσεις που μου μετέδωσε σε θέματα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, δίνοντας μου το έναυσμα να ασχοληθώ περισσότερο στο μέλλον. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες μου στον φίλο και συνεργάτη μου Δημήτρη Τασσόπουλο για την άριστη συνεργασία και επικοινωνία για την διεκπεραίωση της πτυχιακής. Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την αποδοχή τους να αξιολογήσουν την παρούσα μελέτη.

Τέλος, αναμφισβήτητα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την υποστήριξή τους στη προσπάθειά μου αυτή αλλά και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα της κοινωνίας σήμερα είναι η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων. Σε πολλές χώρες, η αειφόρος διαχείριση, αλλά και η πρόληψη της παραγωγής και η μείωση των αποβλήτων έχουν καταστεί σημαντικές προτεραιότητες της πολιτικής και συνιστούν ένα σημαντικό μέρος των προσπαθειών που καταβάλλονται για τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και τη μετρίαση των αλλαγών του παγκόσμιου κλίματος. Η παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση (ΑΧ) της ζωικής στερεής και υδαρούς κοπριάς καθώς και ενός ευρύτατου φάσματος οργανικών αποβλήτων μετατρέπει αυτά τα υποστρώματα σε ανανεώσιμη ενέργεια και προσφέρει ένα φυσικό εδαφοβελτιωτικό για τη γεωργία. Ο σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη για την αριστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου από μίγματα αραιών υγρών αποβλήτων βουστασίου σε συνδυασμό με υποβαθμισμένο ποιοτικά τυρόγαλα, ο προσδιορισμός ενός βέλτιστου μίγματος των δύο αποβλήτων που θα συνδυάζει μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, μέγιστη μείωση του ρυπαντικού φορτίου στα υγρά εκροής, τη σταθερότητα της αναερόβιας χώνευσης και ο σχεδιασμός του μεγέθους των εγκαταστάσεων διαχείρισης των εκροών. Στην παρούσα μελέτη τα είδη των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή του πειράματος προέρχονταν από απόβλητα κτηνοτροφικής μονάδας βουστασίων & τυροκομικής μονάδας. Η μελέτη χωρίστηκε σε τρία μέρη : **1. Θεωρητικό μέρος**, **2. Πειραματικό μέρος** & **3. Συμπεράσματα – προτάσεις**. Στο πρώτο μέρος, αναφέρθηκε η βιβλιογραφική επισκόπηση γενικά για την ιστορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη βιομάζα, τα βιοκαύσιμα και κυρίως το βιοαέριο αλλά και το θεσμικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα. Έπειτα, αναφέρθηκαν συγκεκριμένες πληροφορίες για την παραγωγή του βιοαερίου, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την εφαρμογή μηχανικού διαχωρισμού καθώς και τα υπέρ και τα κατά για την εγκατάσταση βιοαερίου μέσα σε κτηνοτροφικές μονάδες. Στο τέλος του πρώτου μέρους συγκεντρώθηκαν βασικές πληροφορίες για τα περιβαλλοντικά προβλήματα από τα απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων. Στο πειραματικό μέρος έγινε η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών όπου καταγράφηκαν οι μετρήσεις και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τρίτο μέρος, παρουσιάστηκαν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις από τις μετρήσεις που μελετήθηκαν για την παραγωγή βιοαερίου σε τέσσερις διαφορετικούς χρόνους παραμονής (10, 15, 20, 25 ημέρες). Υπολογίστηκε η βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου και ο βέλτιστος χρόνος παραμονής (15 ημέρες) και εξετάστηκε σε πραγματικές συνθήκες το μέγεθος της εγκατάστασης και το ενεργειακό δυναμικό του παραγόμενου βιοαερίου. Η μέθοδος της παραγωγής μίγματος αποβλήτων παρουσιάζει πολλαπλά, τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, οπότε και αποτελεί την βάση για την εξέλιξη της εφαρμογής των ηπίων μορφών ενέργειας.

**Λέξεις – κλειδιά:** Αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, κτηνοτροφική μονάδα – βουστάσια, τυρόγαλα, μηχανικός διαχωρισμός, ανάμιξη υλικών.

## ABSTRACT

One of the main environmental problems in society today is the increasing waste generation. In many countries, sustainable management, prevention of production and waste reduction have become major policy priorities and are important part of efforts to reduce pollution and greenhouse gas emissions, but also mitigate global climate change. The production of biogas from **anaerobic digestion (AD)** of aqueous and solid animal manure and also from a wide range of organic wastes convert these substrates into renewable energy and provide a natural fertilizer for agriculture. The aim of this work was to study for the optimization of biogas production from liquid mixtures dilute Cowsheds waste combined with degraded quality whey, the determination of an optimal mix of both waste which combines maximum biogas production, maximum reduction of pollution load in effluent, the stability of the anaerobic digester and design the size of the output management facilities. In this study the types of waste used for the experiment come from a holding waste dairy farms and cheese-making unit. The study was separated in three parts: **1. Theoretical part**, **2. Experimental part** and **3. Conclusions – Proposals**. **In the first part**, mainly the general bibliographical review on the history of renewable energy, biomass, biofuels and biogas was stated, but also the institutional framework that was developed in Greece. Then specific information about the production of biogas were reported, advantages and disadvantages of the application of mechanical separation and the pros and cons for the biogas plant in livestock units. At the end of the first part basic information on environmental problems from waste animal farms were gathered. **In the experimental part** lies the description of the experimental procedure that was carried out in the Laboratory of Agricultural Manufactures, where we recorded the measurements and the qualitative characteristics of the raw materials which were used. **In the third part**, the conclusions and recommendations of the measurements which were studied for biogas production at four different retention times (10, 15, 20, 25 days) are presented. Optimal biogas production and the optimum retention time (15 days) were calculated and were tested in real conditions, the size of the plant and the energy potential of biogas. The method of producing extracts waste presents multiple, technical, economic and environmental benefits, and is the basis for the development of the implementation of Renewable Energy.

**Keywords:** Anaerobic digestion, biogas, farm – Cowsheds, whey, mechanical separation, mixing materials.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	9
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	10
ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	11
A. «ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ» .....	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	12
2. ΒΙΟΜΑΖΑ.....	14
2.1 Βιομάζα και αειφορία .....	14
3.ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....	16
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ .....	17
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ .....	20
4. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ (Anaerobic digestion).....	21
4.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ (ΑΧ) .....	22
4.2 ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	26
4.2.1 ΥΔΡΟΛΥΣΗ.....	27
4.2.2 ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ .....	28
4.2.3 ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ .....	28
4.2.4 ΜΕΘΑΝΟΓΕΝΕΣΗ .....	28
4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ (ΑΧ) .....	29
4.3.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	29
4.3.2 ΤΙΜΕΣ pH & ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ.....	32
4.3.3 ΠΤΗΤΙΚΑ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ(VFA).....	33
4.3.4 ΑΜΜΩΝΙΑ .....	33
4.3.5 ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΘΡΕΠΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ & ΤΟΞΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ .....	34
4.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	34
4.4.1 ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	34
4.4.2 ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (Volumetric Loading , ΟΟΦ).....	35
4.4.3 ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (Volumetric Biogas Production, ΟΠΒ) .....	36

4.4.4 ΛΟΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΡΟΣ ΑΖΩΤΟ , (C / N) .....	36
4.4.3 ΑΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	36
<b>5. ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ (Biogas).....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>39</b>
5.2.1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ .....	39
5.2.1 ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ .....	42
<b>5.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....</b>	<b>45</b>
<b>5.5 ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>46</b>
<b>5.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....</b>	<b>46</b>
<b>5.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>48</b>
<b>5.8 ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....</b>	<b>51</b>
<b>5.9 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>52</b>
<b>5.10 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>53</b>
<b>6 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΒΟΥΣΤΑΣΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....</b>	<b>54</b>
<b>6.1 ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ &amp; ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....</b>	<b>56</b>
<b>6.2 ΑΝΑΜΙΞΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ &amp; ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>58</b>
<b>Β. «ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ».....</b>	<b>60</b>
<b>7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....</b>	<b>60</b>
<b>7.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ .....</b>	<b>62</b>
<b>7.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>62</b>
7.2.1 pH , ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ & ΗΛΕΚΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	62
7.2.2 ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (%Κ.β.) .....	63
7.2.3 ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ Π.Σ.(%Ο.Σ.).....	63
7.2.4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΣΤΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ.....	64
<b>7.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....</b>	<b>66</b>
7.3.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ - ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ .....	66
7.3.2 ΤΥΡΟΓΑΛΑ - ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ .....	67
<b>7.4 ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΤΩΝ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ .....</b>	<b>70</b>
<b>Γ. «ΣΥΖΗΤΗΣΗ &amp; ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ» .....</b>	<b>75</b>
<b>8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....</b>	<b>75</b>
<b>8.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ &amp; ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>).....</b>	<b>76</b>



8.1.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΦΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ , & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	85
[Χλ = 0,0/1,0, ΦΑΣΗ Α΄] .....	85
8.1.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΦΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ , & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	86
[Χλ = 3,0/1,0, ΦΑΣΗ Β΄] .....	86
8.1.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΟΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ , & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	87
[Χλ = 6,0/1,0, ΦΑΣΗ Β΄] .....	87
8.1.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΦΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ , & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	88
[Χλ = 9,0/1,0, ΦΑΣΗ Β΄] .....	88
8.1.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΠΒ΄, ΟΠΜ΄, ΠΥΧΠ΄ , & Ε <sub>c</sub> ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΟΦ΄ .....	90
<b>8.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ &amp; ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>) .....</b>	<b>94</b>
<b>8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ ΒΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>101</b>
8.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ .....	101
8.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ .....	103
8.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΧΩΜΑΤΙΝΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ, ΑΧΑΔ .....	104
<b>8.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ .....</b>	<b>106</b>
8.4.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ .....	106
➤ Πίνακας 8.14: Τεχνικά Χαρακτηριστικά αναερόβιας δεξαμενής.....	106
8.4.2 ΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ.....	107
8.3.3 ΑΝΟΙΧΤΗ ΧΩΜΑΤΙΝΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	108
➤ Πίνακας 8.16: Τεχνικά Χαρακτηριστικά ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής	108
8.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΕΚΡΩΝ .....	109
<b>8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>110</b>
<b>9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>111</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>115</b>

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2.1:</b> Ιεράρχηση των κανόνων αειφορίας (Crucible Carbon, 2008)	ΣΕΛ. 16
<b>Πίνακας 4.1:</b> Απόβλητα, κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ 2007)	ΣΕΛ. 23
<b>Πίνακας 4.2:</b> Κατηγοριοποίηση μερικών υποστρωμάτων ΑΧ, σχετικά με τον πιθανό φόρτο των προβληματικών υλικών τους, τους μολυσματικούς παράγοντες και παθογόνους οργανισμούς	ΣΕΛ. 25
<b>Πίνακας 4.3:</b> Θερμικά στάδια και χαρακτηριστικοί χρόνοι παραμονής	ΣΕΛ. 29
<b>Πίνακας 4.4:</b> Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της διαλυτότητας μερικών αερίων στο νερό (ANGELIDAKI 2004)	ΣΕΛ. 31
<b>Πίνακας 4.5:</b> Παράμετροι λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου	ΣΕΛ. 37
<b>Πίνακας 5:</b> Σύσταση του βιοαερίου	ΣΕΛ. 47
<b>Πίνακας 5.1:</b> Θεωρητική παραγωγή βιοαερίου	ΣΕΛ. 47
<b>Πίνακας 5.2:</b> Παραγωγή μεθανίου από διαφορετικές πρώτες ύλες	ΣΕΛ. 47
<b>Πίνακας 6:</b> Χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων αποβλήτων γαλακτοπαραγωγικών αγελάδων σε kg/1000 kg ζωντανού βάρους – ημέρα (AD-NET, 2000)	ΣΕΛ. 55
<b>Πίνακας 7:</b> Χαρακτηριστικά αποβλήτων βουστασίου, Α' & Β' Φάση	ΣΕΛ. 66
<b>Πίνακας 7.1:</b> Χαρακτηριστικά αποβλήτων βουστασίου, Γ' Φάση	ΣΕΛ. 66
<b>Πίνακας 7.2:</b> Χαρακτηριστικά αποβλήτων βουστασίου, Δ' Φάση	ΣΕΛ. 67
<b>Πίνακας 7.3:</b> Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος, Β' Φάση	ΣΕΛ. 68
<b>Πίνακας 7.4:</b> Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος, Γ' Φάση	ΣΕΛ. 68
<b>Πίνακας 7.5:</b> Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος, Δ' Φάση	ΣΕΛ. 69
<b>Πίνακας 7.6:</b> Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος, Ε' Φάση	ΣΕΛ. 69
<b>Πίνακας 7.7:</b> Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Α	ΣΕΛ. 70
<b>Πίνακας 7.8:</b> Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Β	ΣΕΛ. 71
<b>Πίνακας 7.9:</b> Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Γ	ΣΕΛ. 72
<b>Πίνακας 7.10:</b> Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Δ	ΣΕΛ. 73
<b>Πίνακας 7.11:</b> Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Ε (Μάρτυρας).	ΣΕΛ. 74
<b>Πίνακας 8.1:</b> Τελικό φύλλο υπολογισμού Α' φάσης.	ΣΕΛ. 77
<b>Πίνακας 8.2:</b> Τελικό φύλλο υπολογισμού Β' φάσης.	ΣΕΛ. 78
<b>Πίνακας 8.3:</b> Τελικό φύλλο υπολογισμού Γ' φάσης.	ΣΕΛ. 79
<b>Πίνακας 8.4:</b> Τελικό φύλλο υπολογισμού Δ' φάσης.	ΣΕΛ. 80
<b>Πίνακας 8.5:</b> Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 10 ημέρες	ΣΕΛ. 81
<b>Πίνακας 8.6:</b> Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 15 ημέρες	ΣΕΛ. 82
<b>Πίνακας 8.7:</b> Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 20 ημέρες	ΣΕΛ. 83
<b>Πίνακας 8.8:</b> Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 25 ημέρες	ΣΕΛ. 84
<b>Πίνακας 8.9:</b> Συγκεντρωτικός πίνακας άριστων τιμών παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου	ΣΕΛ. 93
<b>Πίνακας 8.10:</b> Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Α'	ΣΕΛ. 94
<b>Πίνακας 8.11:</b> Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Β'	ΣΕΛ. 94
<b>Πίνακας 8.12:</b> Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Γ'	ΣΕΛ. 95
<b>Πίνακας 8.13:</b> Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Δ'	ΣΕΛ. 95
<b>Πίνακας 8.14:</b> Τεχνικά Χαρακτηριστικά αναερόβιας δεξαμενής	ΣΕΛ. 106
<b>Πίνακας 8.15:</b> Τεχνικά Χαρακτηριστικά αερόβιας δεξαμενής	ΣΕΛ. 107
<b>Πίνακας 8.16:</b> Τεχνικά Χαρακτηριστικά ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής	ΣΕΛ. 108

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1:</b> Γενική βασική αρχή της αειφόρου προσέγγισης (Adams W.M., 2006)	ΣΕΛ.15
<b>Σχήμα 2.2:</b> Γενική προσέγγιση ενός έργου παραγωγής ενέργειας από βιομάζα	ΣΕΛ.15
<b>Σχήμα 4.1:</b> Τα κύρια βήματα της διεργασίας της Αναερόβιας Χώνευσης	ΣΕΛ.26
<b>Σχήμα 4.2:</b> Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη του υποστρώματος	ΣΕΛ.27
<b>Σχήμα 4.3:</b> Σχετικοί ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής	ΣΕΛ.30
<b>Σχήμα 4.4:</b> Σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των μεθανογενών (ANGELIDAKI 2004)	ΣΕΛ.31
<b>Σχήμα 5:</b> Αρχές λειτουργίας των αγροτικών τύπων αντιδραστήρων βιοαερίου	ΣΕΛ.40
<b>Σχήμα 5.1:</b> Σχηματική απεικόνιση μιας μονάδας βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος με οριζόντιο χωνευτή από χάλυβα, (HJORT-GREGERSEN 1998)	ΣΕΛ.41
<b>Σχήμα 5.2:</b> Σχηματική αναπαράσταση των «δύο σε μία» εγκαταστάσεων κλίμακας αγροκτήματος, με κάλυψη μαλακής μεμβράνης, (HJORT-GREGERSEN 1998)	ΣΕΛ.41
<b>Σχήμα 5.4:</b> Επισκόπηση της χρήσεως βιοαερίου	ΣΕΛ.43
<b>Σχήμα 5.3:</b> Απεικόνιση του κλειστού κύκλου ΑΧ σε κεντρικές μονάδες	ΣΕΛ.46
<b>Σχήμα 5.5:</b> Μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα (σε λειτουργία το έτος 2007)	ΣΕΛ.52
<b>Εικόνα 3.1:</b> Διεργασία παραγωγής βιοντίζελ	ΣΕΛ.17
<b>Εικόνα 3.2:</b> Διεργασίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, Fischer-Tropsch και πυρόλυση βιομάζας	ΣΕΛ.18
<b>Εικόνα 3.3:</b> Διάγραμμα ροής παραγωγής βιοαερίου	ΣΕΛ.19
<b>Εικόνα 4:</b> Διάγραμμα ροής αναερόβιας χώνευσης ,(sky- renewable -Energy)	ΣΕΛ.21
<b>Εικόνα 4.1:</b> Σχεδιασμός της αναερόβιας χώνευσης των φυτών	ΣΕΛ.24
<b>Εικόνα 5:</b> Η λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου	ΣΕΛ.38
<b>Εικόνα 5.1:</b> Μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση υδαρών κοπριών και ενεργειακών καλλιεργειών, (GROENGAS A/S)	ΣΕΛ.42
<b>Εικόνα 5.2:</b> Μονάδα συγχώνευσης στη Δανία (LEMVIG BIOGAS)	ΣΕΛ.43
<b>Εικόνα 5.3:</b> Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) στην Ψυτάλλεια, Ελλάδα (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)	ΣΕΛ.44
<b>Εικόνα 6 :</b> Απόβλητα τυροκομείου, ( <a href="http://www.b2green.gr/">http://www.b2green.gr/</a> )	ΣΕΛ.59
<b>Εικόνα 6.1:</b> Τα τμήματα ενός χωνευτήρα αναερόβιας χώνευσης	ΣΕΛ.60
<b>Εικόνα 6.2:</b> Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & διαδικασία του πειράματος	ΣΕΛ.61
<b>Εικόνα 6.3:</b> Φορητός μετρητής αγωγιμότητας , ηλεκτρονικό πεχάμετρο	ΣΕΛ.62
<b>Εικόνα 6.4:</b> α. γυάλινος κλίβανος, β. κάψα πορσελάνης, γ. φούρνος ξήρανσης	ΣΕΛ.63
<b>Εικόνα 6.5:</b> Αποτεφρωτήρας Thermolyne Sybron (type 1400 furnace)	ΣΕΛ.64
<b>Εικόνα 6.6:</b> Ποσοστό μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο	ΣΕΛ.65
<b>Εικόνα 6.7:</b> Εξοπλισμός πειράματος & Δοχεία εκποτισμένου βιοαερίου σε νερό.	ΣΕΛ.76

## ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ για τον λόγο $\chi\lambda=0,0/1,0$	ΣΕΛ.85
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.1:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ & ΠΥΧΠ με ΟΟΦ για τον λόγο $\chi\lambda=0,0/1,0$	ΣΕΛ.86
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.2:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ για τον λόγο $\chi\lambda=3,0/1,0$	ΣΕΛ.86
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.3:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ & ΠΥΧΠ με ΟΟΦ για τον λόγο $\chi\lambda=3,0/1,0$	ΣΕΛ.87
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.4:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ για τον λόγο $\chi\lambda = 6,0/1,0$	ΣΕΛ.87
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.5:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ & ΠΥΧΠ με ΟΟΦ για τον λόγο $\chi\lambda=6,0/1,0$	ΣΕΛ.88
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.6:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ για τον λόγο $\chi\lambda = 9,0/1,0$	ΣΕΛ.88
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.7:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ & ΠΥΧΠ με ΟΟΦ για τον λόγο $\chi\lambda = 9,0/1,0$	ΣΕΛ.89
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.8:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με ΟΠΒ' & ΟΠΜ' για όλες τις φάσεις του πειράματος.	ΣΕΛ.90
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.9:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τον ΠΥΧΠ' και τον λόγο $\chi\lambda'$	ΣΕΛ.91
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.10:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με την EC	ΣΕΛ.91
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.11:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ για τον λόγο $\chi\lambda = 3/1$	ΣΕΛ.96
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.12:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ με τον μέσο όρο της μείωσης φορτίου ΦΟΣ & ΠΣ για τον λόγο $\chi\lambda = 3/1$	ΣΕΛ.96
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.13:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ για τον λόγο $\chi\lambda = 6/1$	ΣΕΛ.97
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.14:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ με τον μέσο όρο της μείωσης φορτίου ΦΟΣ & ΠΣ για τον λόγο $\chi\lambda = 6/1$	ΣΕΛ.97
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.15:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ για τον λόγο $\chi\lambda = 9/1$	ΣΕΛ.98
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.16:</b> Συσχέτιση του ΤΥΧΠ με τον μέσο όρο της μείωσης φορτίου ΦΟΣ & ΠΣ για τον λόγο $\chi\lambda = 9/1$	ΣΕΛ.98
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.17:</b> Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ και για τους τρεις λόγους $\chi\lambda$	ΣΕΛ.99

## A. «ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ»

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιταχυνόμενη αύξηση των εκπομπών αερίων φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) αποτελεί ένδειξη για μία αυξανόμενη απειλή ανεξέλεγκτης κλιματικής αλλαγής, με πιθανές καταστροφικές συνέπειες για τον άνθρωπο. Η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), σε συνδυασμό με την βελτίωση της αποδοτικότητας της ενέργειας τελικής χρήσης (ΕΑ), μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, στον περιορισμό των εκπομπών ΑΦΘ και, με τον τρόπο αυτό, στην αποτροπή της επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής. Το μη αξιοποιημένο δυναμικό βιομάζας, ηλιακών, υδροηλεκτρικών, αιολικών και γεωθερμικών πηγών είναι ακόμη υψηλό. Εντούτοις, κατά τα τελευταία χρόνια και λόγω σημαντικών δημόσιων κινήτρων υπό τη μορφή ευνοϊκών (εγγυημένων) τιμών πώλησης της παραγόμενης από ΑΠΕ ενέργειας, σε πολλές χώρες της Ευρώπης η ανάπτυξη του εν λόγω τομέα έχει παρουσιάσει μία προοδευτικά ανοδική τάση. Η Ε.Ε. είχε υιοθετήσει την δική της στρατηγική για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, μέχρι την υιοθέτηση ενός σχεδίου για την αειφόρο ανάπτυξη, το «Europa 2020», στο οποίο έθεσε φιλόδοξους στόχους από ενεργειακής άποψης. Η μετατόπιση προς μία οικολογία χαμηλών εκπομπών άνθρακα απαιτεί έναν δημόσιο τομέα ικανό να αναγνωρίζει και να υποστηρίζει τις οικονομικές δυνατότητες. Ιδιαίτερα, ο τοπικός δημόσιος τομέας μπορεί να διαδραματίσει έναν στρατηγικό ρόλο ως διαχειριστής της επικράτειας και ως τελικός υπεύθυνος για την υλοποίηση των δημόσιων πολιτικών. Επομένως, στο πεδίο της αειφόρου ενέργειας, έχει βαρύνουσα σημασία η ενίσχυση των ικανοτήτων του δημόσιου τομέα σε τοπικό επίπεδο μέσω της ενδυνάμωσης του εργατικού δυναμικού του. Ξαναζούμε, για πολλοστή φορά μετά το 1973, τη πετρελαϊκή κρίση. Οι τιμές του μαύρου χρυσού στα ύψη. Οι οικονομίες σε αναστάτωση. Η κυβέρνηση, που ώμνυε πίστη στο όνομα της ελεύθερης αγοράς, ζητά να μειώσει τη φορολογία, για να πέσουν οι τιμές. Οι ευρωπαίοι κομισάριοι αρνούνται. Γιατί όμως να μειωθεί η φορολογία και να πέσουν οι τιμές; Για να συνεχίσουμε να καίμε περισσότερο πετρέλαιο; Για να εξαρτόμαστε στυγνότερα από αυτό; Για να βρεθούμε στην επομένη κρίση σε ακόμα δεινότερη θέση; Με τη λογική αυτή θα φθάσουμε στο σημείο να επιδοτούμε το παγκόσμιο εμπόριο για να μας πωλεί πετρέλαιο σε όποια τιμή θέλει. Από το 1859 που άρχισε ο αιώνας του πετρελαίου μέχρι σήμερα κάψαμε πάνω από 900 δισεκατομμύρια βαρέλια, τα μισά και πλέον τα τελευταία τριάντα χρόνια. Το 1859 δεν υπήρχαν αυτοκίνητα. Σήμερα κυκλοφορούν πάνω από 500 εκατομμύρια σε όλο το κόσμο με ένα ξέφρενο ρυθμό αύξησης τουλάχιστον κατά 2% το χρόνο. Οι οδικές, σιδηροδρομικές, εναέριας, θαλάσσιες μεταφορές σε παγκόσμιο, εθνικό και τοπικό επίπεδο χρησιμοποιούν σχεδόν αποκλειστικά πετρέλαιο. Μόνο το νευραλγικό για τη παγκόσμια οικονομία τομέα των μεταφορών να λάβει κανείς υπόψη του, παραβλέποντας βιομηχανία και οικιακή χρήση, υπονοιάζεται τι θα συμβεί σε μία επόμενη, πολύ σοβαρότερη και πολύ βαθύτερη, πετρελαϊκή κρίση. Καίμε πετρέλαιο στέλνοντας στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Δημιουργούμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλάζουμε το κλίμα και προκαλούμε τη σοβαρότερη περιβαλλοντική απειλή που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα. Με τεράστιο κόστος που πληρώνει ο πολίτης. Αυτά ενώ μαίνεται η παγκόσμια σύγκρουση μεταξύ πλούσιων και πτωχών χωρών. Οι πρώτοι θέλουν ανοικτές αγορές για τα βιομηχανικά τους προϊόντα αλλά τις κρατούν

κλειστές για τα αγροτικά προϊόντα των πτωχών. Για να προστατέψουν τα δικά τους. Αργά ή γρήγορα γίνονται υποχωρήσεις από τον αναπτυγμένο βορρά που ισοδυναμούν με εγκατάλειψη καλλιεργειών. Αγρότες χάνουν τη δουλειά τους, τεράστιες εκτάσεις αχρηστεύονται. Το πρόβλημα για ορισμένα προϊόντα όπως η ζάχαρη, εμφανίζεται ήδη εσωτερικά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση μετά τη τελευταία διεύρυνση της. Η βιομάζα, μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι απάντηση στο πρόβλημα. Ενέργεια από γεωργικά, δασικά ή ζωικά υπολείμματα. Από καλλιέργειες ενεργειακών φυτών, από αστικά ή βιομηχανικά απόβλητα. Ενέργεια που δεν διαταράσσει το κύκλο του διοξειδίου του άνθρακα. Διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή της ημέρας και του χρόνου. Ενέργεια που συνδέεται και συμβάλλει άμεσα στη τοπική ανάπτυξη. Που δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, ιδιαίτερα στη αγροτική παραγωγή και στη δασοπονία. Η βιομάζα είναι χρήσιμη για παραγωγή θερμότητας, αλλά και ηλεκτρικής ενέργειας. Για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Το κυριότερο, μπορεί να παράγει βιοκαύσιμα. Βιοαιθανόλη, βιοντίζελ, βιοαέριο και άλλα, που υποκαθιστούν πετρέλαιο ντίζελ και βενζίνες στις μεταφορές. Εύκολα, χρησιμοποιώντας το ίδιο σύστημα διανομής και χρησιμοποιούμενα από τα ίδια οχήματα, χωρίς μετατροπή ή αλλαγή του κινητήρα, σε πρόσμιξη ακόμα και πάνω από 10%. Δεν είναι τυχαίο που οι ΗΠΑ έχουν πολιτική για τη βιομάζα. Το 4% της ενέργειας τους προέρχεται από αυτήν. Επτά εκατομμύρια Αμερικάνοι έχουν ηλεκτρισμό από απόβλητα, ενώ εμείς τα θάβουμε όταν δεν τα πετούμε σε ρέματα ή παραλίες. Εκατοντάδες εργοστάσια τροφίμων, χαρτιού, προϊόντων ξύλου κλπ, εκτός από τα κύρια προϊόντα τους παράγουν ταυτόχρονα βιομάζα, βιοκαύσιμα, ηλεκτρισμό, υποπροϊόντα για πληθώρα εφαρμογών. Οι ίδιοι αποκαλούν τα εργοστάσια τους αυτά βιοδιύλιστήρια.

Στην Ελλάδα υπάρχει αξιόλογη προεργασία. Επιστημονικές έρευνες για κατάλληλες καλλιέργειες, για ικανοποιητικές αποδόσεις, για παραγωγή βιοκαυσίμων. Έχουμε ενεργειακά φυτά που μπορούν να παράγουν βιοκαύσιμα. Σακχαρούχο σόργο, το κοινό καλάμι, αραποσίτι, ηλιάνθος, αγριοαγκινάρα, βαμβακόσπορος, καπνόςπορος, τεύτλα και άλλα. Στη Κομοτηνή, Κωπαΐδα, Κρήτη, Κεφαλονιά. Προχώρησαν πιλοτικά προγράμματα με θετικά αποτελέσματα και ήδη έχει ξεκινήσει ένα εργοστάσιο τη παραγωγή του. Ο υπουργός Μεταφορών θέσπισε διατάξεις για τη χρήση βιοκαυσίμων από οχήματα και προχώρησε στη μελέτη εισαγωγής τους στις μεταφορές. Δυστυχώς μετά το 2000 έλειψαν οι πολιτικές και οι πρωτοβουλίες γι' αυτά τα ζητήματα όπως και για πολλά άλλα. Όμως τα περιθώρια στένεψαν. Με Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποχρεώθηκε η χώρα μέχρι 31-12-2004 να έχει ψηφιστεί ο νόμος για την προώθηση των βιοκαυσίμων. Μέχρι 31-12-2005 πρέπει το 2% των καυσίμων που χρησιμοποιούμε να είναι βιοκαύσιμα και μέχρι 31-12-2010 το 5,75%. Κάθε χρόνο πρέπει να υποβάλουν έκθεση στην οποία να αναφέρουν τα συγκεκριμένα μέτρα που έλαβαν για τη προώθηση των βιοκαυσίμων, τους εθνικούς πόρους που επένδυσαν για το σκοπό αυτό, τις συνολικές πωλήσεις καυσίμων και βιοκαυσίμων που πραγματοποίησαν. Το ζήτημα δεν είναι να εναρμονισθούμε με την Οδηγία αυτή, όπως είμαστε υποχρεωμένοι. Το συμφέρον μας είναι να δημιουργήσουμε στη πατρίδα μας προϋποθέσεις βιώσιμης ανάπτυξης. Και η βιομάζα παρέχει δυνατότητες μίας τέτοιας ανάπτυξης.

## 2. BIOMAZA

Η βιομάζα θεωρείται, ως πηγή ενέργειας, σημαντικά διαφορετική από άλλους ενεργειακούς πόρους που δεν απελευθερώνουν άνθρακα (π.χ. αιολική ενέργεια). Η βιομάζα μπορεί να παράγει ενέργεια και υλικά προϊόντα παρόμοια με τα παραδοσιακά, τα οποία παράγονται από τις υφιστάμενες χρήσεις των ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα έχει, επίσης, μια πολύ σημαντική χρήση στην παραγωγή τροφής, αλλά και ως πρώτη ύλη για τη βιομηχανία, η οποία θα πρέπει να ενσωματωθεί σωστά στην παραγωγή ενέργειας, με σεβασμό στις αρχές της αειφορίας, πράγμα το οποίο θα αναπτυχθεί στις ακόλουθες ενότητες. Πιο συγκεκριμένα ως βιομάζα αποκαλείται σύμφωνα με τον ορισμό της Οδηγίας 2009/28/EK, " το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και ζωικών ουσιών), τη δασοπονία και τις συναφείς τους βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων, της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων ”.

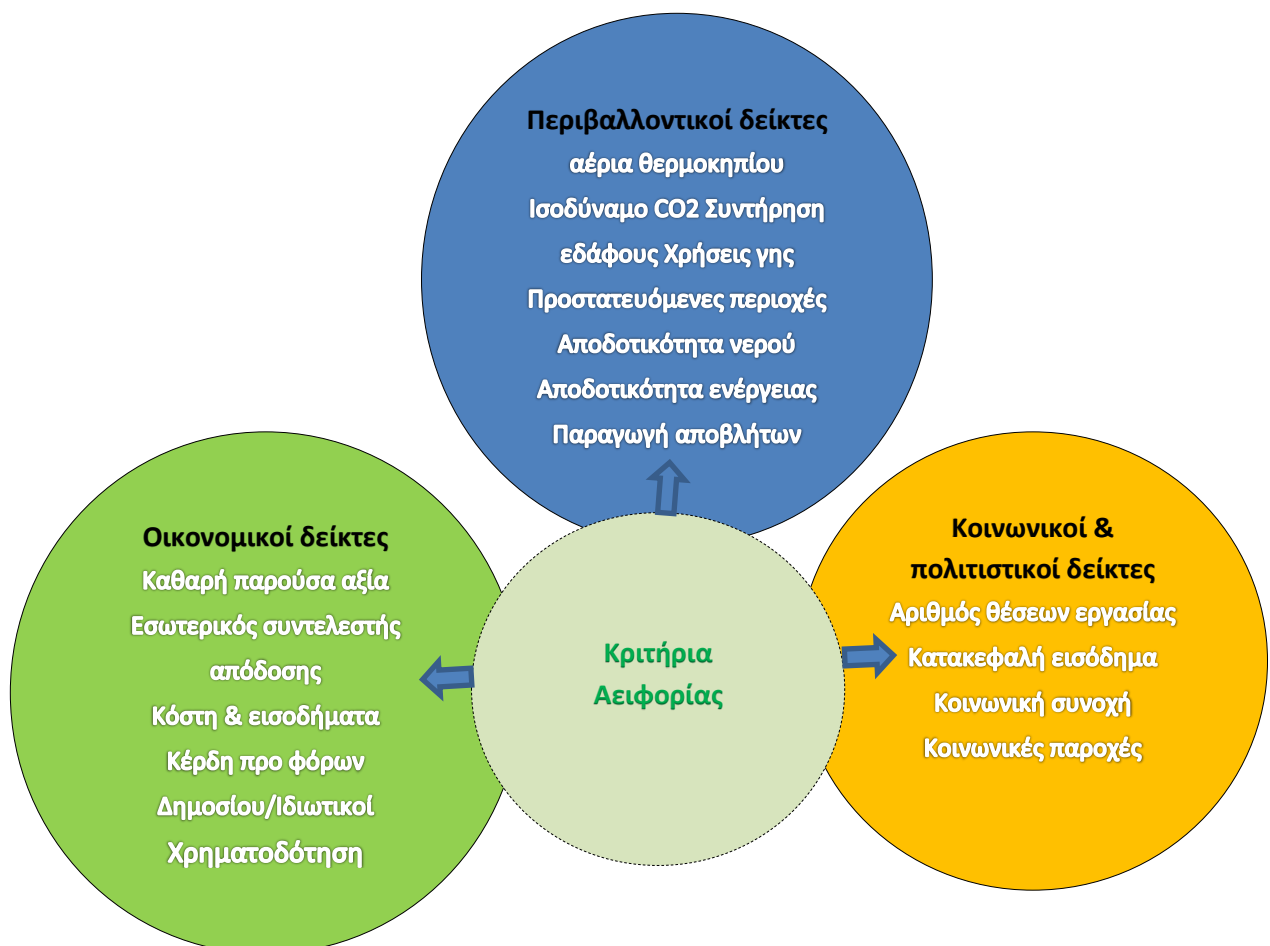
### 2.1 Βιομάζα και αειφορία

Η χρήση της παραγόμενης από βιομάζα ενέργειας έχει σχέση με τις επιπτώσεις στις χρήσεις γης. Οι όροι ‘ανανεώσιμες πηγές’, ‘χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου’ και ‘αειφόρος’ δεν είναι συνώνυμοι και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ένας προς έναν, στα πλαίσια των έργων βιομάζας. Πιο αναλυτικά, η αρχή της "αειφορίας" ικανοποιείται όταν κάποιο έργο που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές έχει αρνητικό ή, τουλάχιστον, ουδέτερο ισοζύγιο CO<sub>2</sub> στο σύνολο του κύκλου ζωής του. Η αλυσίδα εκμετάλλευσης της βιομάζας θα μπορούσε να χαρακτηρίζεται από αρνητικό ισοζύγιο άνθρακα (καθαρή απομάκρυνση του ισοδυνάμου CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα), καθώς και από θετικό ισοζύγιο άνθρακα (τελική προσθήκη ισοδυνάμου CO<sub>2</sub>). Αυτό εξαρτάται από τις πρακτικές των εφαρμογών, τις μεταφορές και τις τεχνολογίες επεξεργασίας. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν ένα από τα περιβαλλοντικά κριτήρια που περιλαμβάνονται σε μία ανάλυση της αειφορίας, το οποίο όμως δεν είναι επαρκές. Η αρχή της αειφορίας πρέπει να περιλαμβάνει στην αξιολόγησή της και διάφορους άλλους δείκτες, όπως οικολογικούς, πολιτιστικούς και υγειονομικούς, ενώ θα πρέπει να ενσωματώσει επίσης τα οικονομικά ζητήματα. Από γενική άποψη, η αρχή της αειφορίας που εφαρμόζεται στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα δεν μπορεί, κατά συνέπεια, να αποσυνδεθεί από τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές πτυχές, όπως απεικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 2.1, Σχήμα 2.2). Εάν δεν περιλαμβάνεται μία από αυτές τις πτυχές, θα μπορούσε να ανήκει στις δίκαιες, τις ανεκτές ή τις βιώσιμες συνθήκες, αλλά όχι τις αειφόρες. Έτσι, τα έργα βιομάζας δεν θα είναι απόλυτα επιτυχή εκτός εάν μπορεί να αποδειχθεί ο αειφόρος εφοδιασμός σε βιομάζα, οι βιώσιμες επιχειρηματικές συνθήκες και η κοινωνική στήριξη, όπως συνοψίζεται παρακάτω (Πίνακας 2.1). Η έννοια της αξιολόγησης της βιομάζας έχει υποστεί σημαντική εξέλιξη χάρη στην Οδηγία 2009/28/EK για τις ΑΠΕ. Στην αρχή, η εκτίμηση της βιομάζας για ένα χωρικό σχεδιασμό βασιζόταν σε τιμές της δυνητικής βιομάζας και, στη συνέχεια, γινόταν με βάση τις τιμές διαθέσιμης βιομάζας. Τώρα, σύμφωνα με την Οδηγία για τις ΑΠΕ, είναι απαραίτητο να γίνει ένα βήμα προς την

αξιολόγηση της “αιφόρου βιομάζας”. Μπορεί η διαθέσιμη βιομάζα να μην είναι εξολοκλήρου αιφορικά εκμεταλλεύσιμη.



➤ Σχήμα 2.1: Γενική βασική αρχή της αιφόρου προσέγγισης (Adams W.M., 2006).



➤ Σχήμα 2.2: Γενική προσέγγιση ενός έργου παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.



Κριτήρια αειφορίας	Αξιολογούμενοι δείκτες
Οικολογικά αειφόρος και βιώσιμη προσφορά βιομάζας	- Διαθεσιμότητα γης
	- Διαθεσιμότητα νερού
	- Βιοποικιλότητα
Εμπορικά και τεχνολογικά βιώσιμες επιχειρήσεις επεξεργασίας	- Προμήθεια πρώτης ύλης
	- Τεχνολογία
	- Προϊόντα και αγορά
Άδεια για λειτουργία	- Κυβερνητικές οδηγίες
	- Κοινοτικές οδηγίες
	- Δημόσια αποδοχή

➤ Πίνακας 2.1: Ιεράρχηση των κανόνων αειφορίας (Crucible Carbon, 2008)

Συμπερασματικά, η αειφόρος παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί επίσης μια κοινωνική πρόκληση, που συνεπάγεται μια εξέλιξη των διεθνών και εθνικών κανόνων (όπως ξεκίνησε εν μέρει με την Οδηγία 2009/28/EK για τις ΑΠΕ), ένα σχεδιασμό, τόσο για τον αστικό τομέα όσο και γι' αυτόν των μεταφορών, αλλά και αλλαγή των επιμέρους τρόπων διαβίωσης και της καταναλωτικής δεοντολογίας.

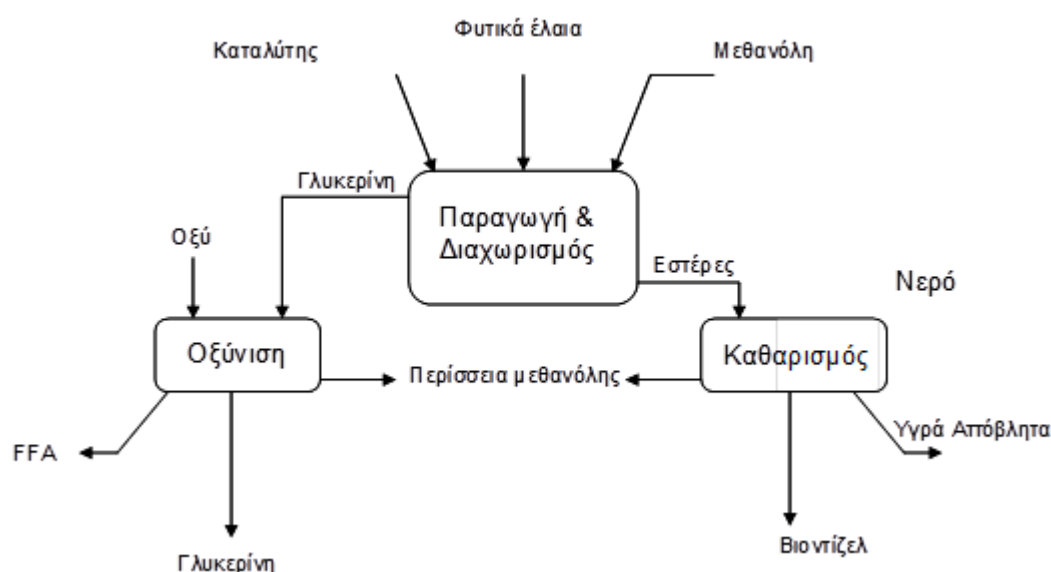
### 3.ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν ένα σημαντικό άξονα της ενεργειακής στρατηγικής της Ευρωπαϊκής κοινότητας, που στοχεύει ευρύτερα στην εξασφάλιση της διάθεσης ενέργειας συμβατής με τις περιβαλλοντικές δεσμεύσεις. Η διάθεση των βιοκαυσίμων στην χώρα μας έχει θεσμοθετηθεί με τον πρόσφατο νόμο 3423/2005 που προήλθε από την κοινοτική οδηγία 2003/30/EK, καθιστώντας επιτακτική την ανάπτυξη ανταγωνιστικών υποδομών και τεχνολογίας για την παραγωγή τους. Πέρα του θεσμικού πλαισίου, η παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων επιβάλλεται αφενός για την ελάττωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τις χώρες που το παράγουν, και αφετέρου για την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα η χρήση των βιοκαυσίμων μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εθνική οικονομία, πλαισιώνοντας τον αγροτικό τομέα με νέες «ενεργειακές καλλιέργειες» και δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας. Σήμερα η παραγωγή των βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη και βιοντίζελ) βασίζεται σε φυσικοχημικές διεργασίες καθώς και στη βιοτεχνολογία. Αυτά τα βιοκαύσιμα χαρακτηρίζονται ως τυπικά βιοκαύσιμα ή βιοκαύσιμα πρώτης γενεάς. Η έρευνα και η τεχνολογία των βιοκαυσίμων δημιουργεί τα πρωτοποριακά βιοκαύσιμα ή βιοκαύσιμα δεύτερης γενεάς. Το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Καυσίμων και Υδρογονανθράκων του ΕΚΕΤΑ ασχολείται με τις διεργασίες μετατροπής βιομάζας σε υγρά καύσιμα ή BTL (Biomass To Liquid) καθώς και με την καταλυτική πυρόλυση βιομάζας για παραγωγή βιοελαίου με θερμική σταθερότητα από τις οποίες προκύπτουν βιοκαύσιμα δεύτερης γενεάς.

Στο μέλλον σημαντικό ρόλο θα παίξουν και τα βιοδιωλιστήρια, που είναι μονάδες που ενσωματώνουν διεργασίες μετατροπής βιομάζας σε καύσιμα, ενέργεια και χημικά.

### 3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

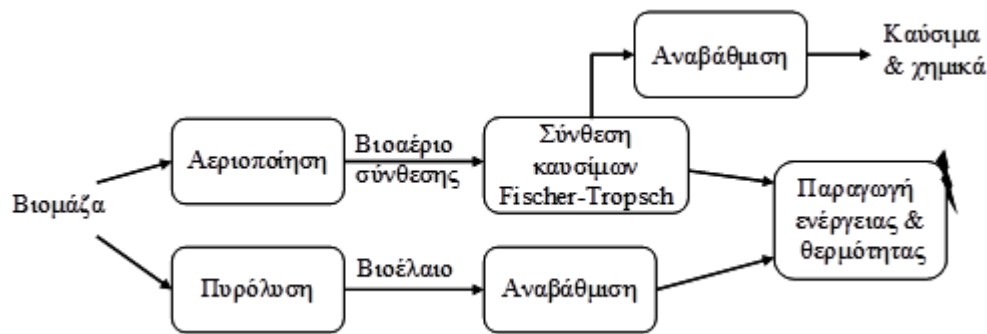
Το **βιοντίζελ** είναι το πρώτο ανανεώσιμο καύσιμο, πλήρως συμβατό με το συμβατικό ντίζελ. Οι τεχνολογίες παραγωγής του, ως πρώτης γενιάς βιοκαύσιμο, βασίζονται στην αντίδραση των τριγλυκεριδίων των πρώτων υλών με μία αλκοόλη μικρού μοριακού βάρους (μεθανόλη) με τη χρήση ισχυρών ομογενών καταλυτών, κυρίως βασικών, όπως υδροξειδίων (ΚΟΗ ή ΝαΟΗ), μεθοξειδίων (CH<sub>3</sub>ONa) κ.ά..



➤ Εικόνα 3.1. Διεργασία παραγωγής βιοντίζελ .

**Ως πρώτης γενιάς** βιοκαύσιμο παράγεται από καθαρά φυτικά έλαια με χαμηλή οξύτητα (< 1,5%), όπως ηλιέλαιο, κραμβέλαιο, σογιέλαιο, φοινικέλαιο, βαμβακέλαιο κ.ά.. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της παραγωγής του αφορούν στην ανταγωνιστικότητα των πρώτων υλών με τα τρόφιμα, στην παραγωγή ακάθαρτης γλυκερίνης και στην κατανάλωση μεθανόλης και ΚΟΗ, ΝαΟΗ ή CH<sub>3</sub>ONa.

**Ως δεύτερης γενιάς** βιοκαύσιμο παράγεται από όξινα χρησιμοποιημένα και απόβλητα φυτικά λάδια, λιπαρά οξέα και απόβλητα ή υπολειμματικά ζωικά λίπη (σφαγείων). Οι βιώσιμες τεχνολογίες παραγωγής του απαιτούν την προεπεξεργασία των πρώτων υλών για τη μετατροπή των ελεύθερων λιπαρών οξέων (της περιεχόμενης οξύτητας) σε εστέρες (βιοντίζελ) και την εν συνεχεία μετατροπή των υπαρχόντων τριγλυκεριδίων σε βιοντίζελ ή την ταυτόχρονη μετατροπή των οξέων και των τριγλυκεριδίων σε βιοντίζελ. Οι νέες διεργασίες - τεχνολογίες, που εφαρμόζονται, κάνουν χρήση νέων ετερογενών στερεών καταλυτών (όξινων, βασικών και ενζυμικών). Τα πλεονεκτήματα του βιοντίζελ ως βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς είναι η χρήση πρώτων υλών που χαρακτηρίζονται ως απόβλητα, η παραγωγή καθαρής γλυκερίνης και το γεγονός ότι δεν καταναλώνεται καταλύτης.



➤ Εικόνα 3.2. Διεργασίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, Fischer-Tropsch και πυρόλυση βιομάζας.

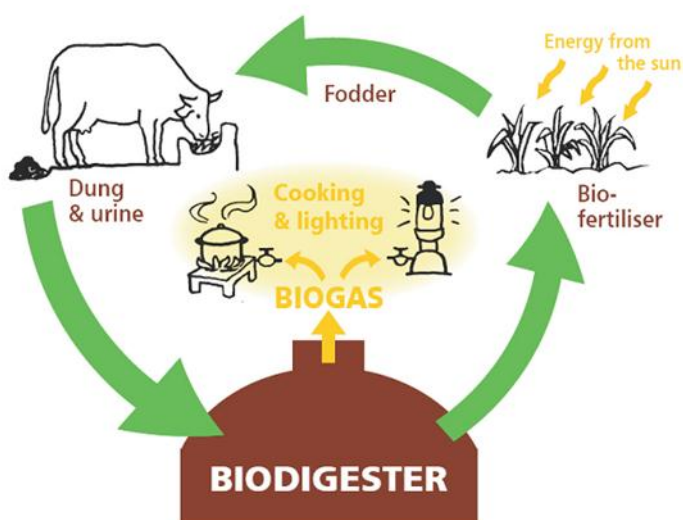
Ως **τρίτης γενιάς** βιοκαύσιμο παράγεται από έλαια που προέρχονται κυρίως από μικροφύκη (άλγη). Οι τεχνολογίες παραγωγής του είναι αυτές που εφαρμόζονται για την παραγωγή του βιοντίζελ 1ης ή 2ης γενιάς.

Το **πράσινο ντίζελ** θεωρείται **δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμο** και παράγεται από όλες τις πρώτες ύλες από τις οποίες παράγεται το βιοντίζελ. Οι τεχνολογίες παραγωγής του βασίζονται στην αντίδραση των φυτικών ελαίων, ζωικών λιπών και λιπαρών οξέων παρουσία ή μη υδρογόνου πάνω σε στερεό καταλύτη και την απομάκρυνση της γλυκερινικής ομάδας υπό μορφή προπανίου. Η βασική αντίδραση της διεργασίας είναι η υδρογονοαποξυγόνωση των εστερικών και καρβοξυλικών ομάδων των τριγλυκεριδίων και των λιπαρών οξέων. Η διεργασία παραγωγής του πράσινου ντίζελ προσαρμόζεται άμεσα σε υπάρχουσες μονάδες HDS. Τα πλεονεκτήματα για την εφαρμογή του ως καύσιμο: Είναι πλήρως συμβατό με το συμβατικό πετρελαϊκό ντίζελ, έχει υψηλό αριθμό κετανίων, έχει μειωμένες εκπομπές καυσαερίων, έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (< 2 ppm), υπάρχει απουσία αρωματικών ενώσεων και απουσία οξυγόνου στο προϊόν (σταθερό προϊόν) και δεν παράγονται ανεπιθύμητα παραπροϊόντα κατά τη διεργασία της παραγωγής του. Η παραγωγή του μπορεί να επιτευχθεί σε υπάρχουσες μονάδες HDT με μικρές αλλαγές στο σχήμα λειτουργίας. Το μειονέκτημα: Η χρήση και η κατανάλωση υδρογόνου στη διεργασία παραγωγής του.

Το **BTL ντίζελ** είναι συνθετικό βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς και παράγεται από στερεή βιομάζα μέσω θερμοχημικής διάσπασης. Συνιστά τη μόνη μέθοδο για εφαρμογή παραγωγής βιοκαυσίμου ντίζελ από οποιαδήποτε είδους στερεή βιομάζα. Τα στάδια παραγωγής του: → Αεριοποίηση της βιομάζας και παραγωγή αέριου σύνθεσης ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ). → Σύνθεση υδρογονοανθρακικών μορίων μεγέθους ντίζελ μέσω της αντίδρασης Fisher - Tropsch:  $n\text{CO} + (2n+1)\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n\text{H}_2\text{O}$  → Υδρογονοεπεξεργασία του προϊόντος για απομάκρυνση των παραπροϊόντων κηρών και βελτίωση των ιδιοτήτων του. Τα πλεονεκτήματα για την εφαρμογή του ως καύσιμο: Είναι πλήρως συμβατό με το συμβατικό πετρελαϊκό ντίζελ, γίνεται χρήση των υπάρχοντων υποδομών για τη διάθεσή του, έχει υψηλό αριθμό κετανίων, έχει μειωμένες εκπομπές καυσαερίων, έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (< 2 ppm), υπάρχει απουσία αρωματικών ενώσεων και απουσία οξυγόνου στο προϊόν (σταθερό προϊόν) και παράγεται από οποιοδήποτε είδος στερεάς βιομάζας. Τα μειονεκτήματα: Το υψηλό κόστος επένδυσης στις εγκαταστάσεις και η απαίτηση νέων εγκαταστάσεων.

Η **βιοαιθανόλη** είναι το πρώτο υγρό βιοκαύσιμο που χρησιμοποιήθηκε, ως υποκατάστατο της βενζίνης σε οχήματα. Παράγεται κυρίως από τη ζάχαρη με τη μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης. Μπορεί και να συντεθεί βιομηχανικά μέσω της χημικής αντίδρασης του αιθυλενίου με ατμό. Η βιοαιθανόλη είναι η αιθανόλη ή αιθυλική αλκοόλη ( $C_2H_5OH$ ), δηλαδή το οινόπνευμα, και ονομάζεται έτσι επειδή προέρχεται από βιομάζα. Πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης πρώτης γενιάς είναι τα σακχαρούχα φυτά (ζαχαρότευτλα, γλυκό σόργο), τα αμυλούχα φυτά (δημητριακά, όπως καλαμπόκι, σιτάρι, κριθάρι) κ.ά.. Η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει τα στάδια εξαγωγής της ζάχαρης (τεμαχισμός, εκχύλιση) και παραγωγής της αιθανόλης (αλκοολική ζύμωση, απόσταξη, αφυδάτωση). Πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς είναι κυρίως τα υπολείμματα γεωργικών και δασικών καλλιεργειών, γεωργικών βιομηχανιών, καρποφόρων και δασικών δένδρων και χαρτιού, τροφίμων κ.ά.. Οι διεργασίες παραγωγής της βιοαιθανόλης από τα λιγνοκυτταρινούχα αυτά υπολείμματα περιλαμβάνουν την υδρόλυση της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης, τη ζύμωση κ.ά..

Το **βιοαέριο** παράγεται με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης απόβλητης και υπολειμματικής βιομάζας αγροτοβιομηχανικών μονάδων, καλλιεργειών που αξίζει να οδηγηθούν στον αναερόβιο χωνευτήρα, λυμάτων μονάδων βιολογικού καθαρισμού, καθώς και οργανικού κλάσματος απορριμμάτων που μπορεί να βιοαποικοδομηθεί. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $CH_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) με περιεκτικότητες 55-70% και 30-45% αντίστοιχα. Επίσης, περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία, υδρατμούς και υδρόθειο. Η θερμότητα δύναμη του βιοαερίου κυμαίνεται από 5,5 έως 7,0 kWh/m<sup>3</sup>. Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK), καυστήρες αερίων και αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, αφού προηγηθεί ένα στάδιο καθαρισμού / αναβάθμισής του.



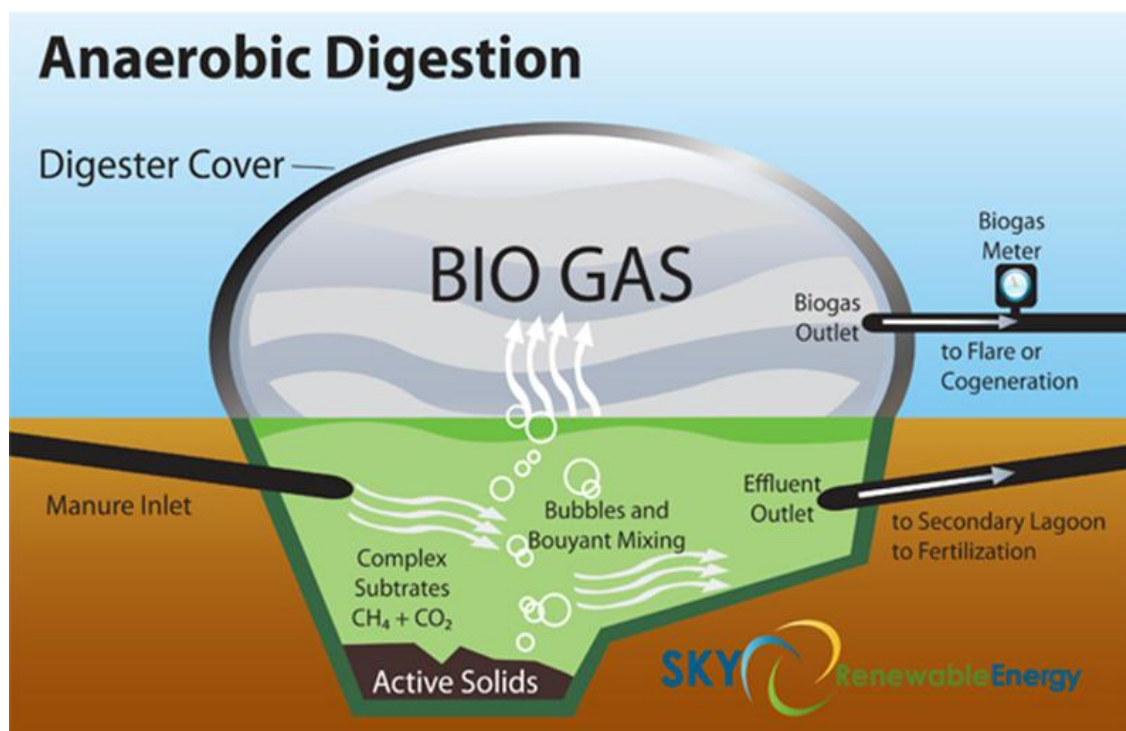
➤ Εικόνα 3.3: Διάγραμμα ροής παραγωγής βιοαερίου.

### 3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Μολονότι η χρήση των βιοκαυσίμων για τον τομέα των μεταφορών είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια, η παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει αρχίσει να αναπτύσσεται μόνο τα τελευταία 5-10 χρόνια. Αυτό οφείλεται κυρίως στη γενικότερη Ευρωπαϊκή αλλά και διεθνή ενεργειακή πολιτική που στοχεύει αφενός στην ελάττωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και αφετέρου στην εξασφάλιση των πηγών ενέργειας και απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Στα πλαίσια της ενεργειακής αυτής στρατηγικής η ΕΚ έκδωσε τη Λευκή (1997) και Πράσινη (2000) βίβλο περιγράφοντας την Ευρωπαϊκή στρατηγική για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την διασφάλιση της διαθεσιμότητας της ενέργειας αντίστοιχα. Με βάση την ευρύτερη Ευρωπαϊκή ενεργειακή στρατηγική η ΕΚ δημιούργησε την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ σύμφωνα με την οποία μέχρι το 2010 το 5,75% των καυσίμων στον τομέα των μεταφορών θα πρέπει να αντικαθίσταται από βιοκαύσιμα, και κυρίως βιοαιθανόλη και βιοντίζελ. Σύμφωνα με την κοινοτική αυτή οδηγία, αρκετές χώρες μέλη της ΕΚ θεσμοθέτησαν τη χρήση των βιοκαυσίμων, όπως και έκανε και η χώρα μας με τον πρόσφατο νόμο για την εισαγωγή των βιοκαυσίμων στην Ελληνική αγορά ν.3423/2005. Πέραν της κοινοτικής οδηγίας, η χρήση των βιοκαυσίμων είναι επιτακτική τόσο για την ελάττωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τις χώρες που το παράγουν, όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος, αφού η χρήση βιοκαυσίμων έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τους ρύπους. Παράλληλα η χρήση των βιοκαυσίμων μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εθνική οικονομία. Συγκεκριμένα αναμένεται η ενίσχυση της αγροτικής οικονομίας με την προσθήκη «ενεργειακών καλλιεργειών» που θα αποτελέσουν την πρώτη ύλη (βιομάζα) για παραγωγή βιοκαυσίμων, ανεβάζοντας την συνολική οικονομία της χώρας μας που είναι μία κατ' εξοχήν αγροτική χώρα. Θα αναπτυχθούν επίσης μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων (βιοντίζελ και βιοαιθανόλης) σε τοπικό επίπεδο, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας. Παράλληλα η παραγωγή βιοκαυσίμων θα ενισχύσει και ορισμένες υπάρχουσες βιομηχανίες αν συμπεριληφθούν μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων στις διεργασίες τους όπως πετρελαϊκή βιομηχανία, βιομηχανία ζαχαρώδους, χαρτοβιομηχανία κτλ. Η αγορά των βιοκαυσίμων διευρύνεται συνεχώς τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο για διάφορους λόγους. Πρώτα απ' όλα η χρήση των βιοκαυσίμων ενισχύεται θεσμοθετικά όπως προαναφέρθηκε για την ελάττωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τις χώρες που το παράγουν, όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος, αφού η χρήση βιοκαυσίμων έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τους ρύπους. Παράλληλα η παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων στηρίζει σημαντικά την οικονομία και συγκεκριμένα την αγροτική οικονομία, τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, καθώς και βιομηχανίες όπως η χαρτοβιομηχανία και η βιομηχανία ζάχαρης που μπορούν να συμπεριλάβουν στις διεργασίες τους μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων από ενδιάμεσα προϊόντα ή παραπροϊόντα τους. Παράλληλα η χρήση των βιοκαυσίμων και κυρίως της βιοαιθανόλης ως πρόσθετο βενζίνης, που βελτιώνει τις ιδιότητές της, ενισχύει περαιτέρω την αγορά. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι ένα από τα μεγαλύτερα κίνητρα για την παραγωγή και διάθεση των βιοκαυσίμων είναι η αποφορολόγηση των βιοκαυσίμων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατά ορυκτά καύσιμα. Το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς των βιοκαυσίμων καλύπτεται από το βιοντίζελ και τη βιοαιθανόλη. Όσον αφορά το βιοντίζελ, οι χώρες της ΕΚ κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια παραγωγή και χρήση βιοντίζελ καταλαμβάνοντας πάνω από 85% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής. Αυτό οφείλεται κυρίως στη Γερμανία που εισχώρησε δυναμικά στο χώρο τόσο της παραγωγής όσο και της χρήσης του βιοντίζελ, στην οποία ανήκει πάνω από το μισό της συνολικής ευρωπαϊκής αγοράς βιοντίζελ. Η παραγωγή βιοντίζελ έχει αυξηθεί

εκθετικά τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα στη δεκαετία από το 1993-2003, η παραγωγή βιοντίζελ αυξήθηκε κατά 10 φορές. Το 2004 καταναλώθηκαν γύρω στους 2.000.000 τόνους βιοντίζελ, ανεβάζοντας την αντίστοιχη αγορά σε 1.5 δισεκατομμύρια ευρώ. Ο μελλοντικός ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης της αγοράς βιοντίζελ στην Ευρώπη εκτιμάται γύρω στο 8%. Η βιοαιθανόλη είναι το πιο διαδεδομένο εναλλακτικό καύσιμο στον κόσμο, κυρίως λόγω της απόφασης της Βραζιλίας να παράγει αιθανόλη για καύσιμο από ζαχαροκάλαμο. Το 1975 η Βραζιλία ξεκίνησε ένα εθνικό πρόγραμμα προώθησης αιθανόλης ως καύσιμο (Proalcool), για την παραγωγή αιθανόλης που θα αναμιγνύεται με βενζίνη. Το πρόγραμμα επεκτάθηκε αργότερα με σκοπό την παραγωγή αιθανόλης ως αποκλειστικού καύσιμου κίνησης και το 1988 η αιθανόλη κάλυπτε το 1/3 των αυτοκινήτων στη Βραζιλία. Το 1979 ένα παρόμοιο πρόγραμμα αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ, που ενισχύθηκε από τη χρήση της αιθανόλης και ως πρόσθετου της βενζίνης. Στις ΗΠΑ σήμερα το 1/8 της αγοράς της βενζίνης καλύπτεται από E10 (μίγμα αιθανόλης: βενζίνης 10:90 κ.ο.). Στην Ευρώπη η Γαλλία, η Σουηδία και η Ισπανία είναι οι κυρίως χώρες που παράγουν βιοαιθανόλη, αλλά καλύπτουν μόνο ένα μικρό μέρος της παγκόσμιας αγοράς. Η παραγωγή βιοαιθανόλης αυξάνεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Στη δεκαετία από το 1993-2003, η παραγωγή βιοαιθανόλης αυξήθηκε κατά 5 φορές. Το 2004 καταναλώθηκαν γύρω στους 400.000 τόνους βιοαιθανόλης, ενώ η αγορά είχε εύρος 367 εκατομμύρια ευρώ. Ωστόσο ο ρυθμός ανάπτυξης της αγοράς βιοαιθανόλης στην Ευρώπη εκτιμάται να ξεπερνά το 70% ετησίως.

#### 4. ANAEROBIA ΧΩΝΕΥΣΗ (Anaerobic digestion)



➤ Εικόνα 4: Διάγραμμα ροής αναερόβιας χώνευσης ,(sky- renewable -Energy).

Η αναερόβια χώνευση (AX) είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία της AX είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα όπως τα ιζήματα θαλάσσιου ύδατος, το στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη τύρφης. Σε μία μονάδα βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της AX είναι το βιοαέριο

και το χωνεμένο υπόλειμμα. Όταν το υπόστρωμα για την ΑΧ είναι ένα ομοιογενές μείγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών (π.χ. ζωικές υδαρείς κοπριές και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων) τότε έχουμε την λεγόμενη «συγχώνευση» ή «συνδυνασμένη χώνευση», η οποία είναι συνήθης σε πολλές από τις εφαρμογές του βιοαερίου σήμερα.

#### 4.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ (ΑΧ)

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 είναι οι εξής (βλ. επίσης Πίνακα 4.1):

- Στερεή και υδαρής κοπριά.
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα.
- Οργανικά απόβλητα που μπορούν να υποστούν χώνευση από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης).
- Το οργανικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων και των υπολειμμάτων εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης).
- Λυματολάσπη.
- Ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργος, τριφύλλι).

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 για την παραγωγή βιοαερίου). Οι ΕΠΕΚ μπορεί να είναι πλώδεις (χλόη, αραβόσιτος, αγριοκράμβη κ.λπ.) 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, το περιεχόμενό τους σε ξηρή ουσία (ΞΟ), την παραγωγή μεθανίου κ.λπ. Ο Πίνακας 3.2 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 τη λεγόμενη υγρή χώνευση (υγρή ζύμωση). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις ζωικές στερεές και υδαρείς 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 ξηρή χώνευση (ξηρή ζύμωση), που είναι χαρακτηριστική για τις ενεργειακές καλλιέργειες και τις χορτονομές. Η επιλογή του τύπου και της ποσότητας της πρώτης ύλης για το μείγμα του υποστρώματος της ΑΧ εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ΞΟ καθώς επίσης και από την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, λιπίδια και πρωτεΐνες.

➤ Πίνακας 4.1: Απόβλητα, κατάλληλα για βιολογική επεξεργασία, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ 2007).

Κωδικός αποβλήτων	Περιγραφή αποβλήτων	
02 00 00	Απόβλητα από γεωργία, κηπευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία, προετοιμασία και επεξεργασία τροφίμων	Απόβλητα από γεωργία, κηπευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία
		Απόβλητα από την προπαρασκευή και επεξεργασία κρέατος, ψαριού και άλλων τροφίμων ζωικής προέλευσης
		Απόβλητα από την προπαρασκευή και κατεργασία φρούτων, λαχανικών, δημητριακών, βρωσίμων ελαίων, κακάο, καφέ, τσαγιού και καπνού, παραγωγή κονσερβών, παραγωγή ζύμης και εκχυλισμάτων ζύμης, προπαρασκευή και ζύμωση μελάσας
		Απόβλητα από τη διεργασία παραγωγής ζάχαρης
		Απόβλητα από τη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων
		Απόβλητα από τη βιομηχανία αρτοποιίας και ζαχαροπλαστικής
		Απόβλητα από την παραγωγή αλκοολούχων και μη αλκοολούχων ποτών (εξααιρούμενων των καφέ, κακάο και τσαγιού)
03 00 00	Απόβλητα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπλάδων και επίπλων, καθώς και πολτού, χαρτιού και χαρτονιού	Απόβλητα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπλάδων και επίπλων Απόβλητα από την παραγωγή και κατεργασία πολτού, χαρτιού και χαρτονιών
04 00 00	Απόβλητα από τις βιομηχανίες δέρματος, γούνας και υφαντουργίας	Απόβλητα από τη βιομηχανία δέρματος και γούνας Απόβλητα από τη βιομηχανία υφαντουργίας
15 00 00	Απόβλητα από συσκευασίες – απορροφητικά υλικά, υφάσματα σκουπίσματος, υλικά φίλτρων και προστατευτικός ρουχισμός μη προδιαγραφόμενα αλλιώς	Συσκευασία (περιλαμβανομένων ιδιαίτερος συλλεγμένων δημοτικών αποβλήτων συσκευασίας)
19 00 00	Απόβλητα από τις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκτός σημείου παραγωγής και την προετοιμασία ύδατος προοριζόμενου για κατανάλωση από τον άνθρωπο και ύδατος για βιομηχανική χρήση	Απόβλητα από την αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων Απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μη προδιαγραφόμενα αλλιώς Απόβλητα από την προπαρασκευή νερού που προορίζεται για κατανάλωση από τον άνθρωπο ή νερού για βιομηχανική χρήση

Τα υποστρώματα που περιέχουν υψηλές ποσότητες λιγνίτης, κυτταρίνης και ημικυτταρινών μπορούν επίσης να αερομειωθούν, αλλά σε αυτήν την περίπτωση συνήθως εφαρμόζεται μια προεπεξεργασία προκειμένου να ενισχυθεί η ικανότητα χώνευσής τους.



Η χρήση της ζωικής στερεής και υδαρούς κοπριάς ως πρώτη ύλη για την ΑΧ έχει μερικά πλεονεκτήματα λόγω των παρακάτω ιδιοτήτων:

- Του φυσικού περιεχομένου τους σε αναερόβια βακτήρια
- Του υψηλού περιεχομένου τους σε νερό (4-8% Ξηρή Ουσία στην υδαρή κοπριά), το οποίο ενεργεί ως διαλύτης για τα άλλα ομοιοσπρώματα και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμειξη και ροή της βιομάζας
- Της χαμηλής τιμής τους
- Της υψηλής προσβασιμότητας, καθώς συλλέγονται ως υπόλειμμα από την κτηνοτροφία.

Η πρώτη ύλη για την ΑΧ μπορεί να περιέχει χημικούς, βιολογικούς ή φυσικούς μολυσματικούς παράγοντες. Ο ποιοτικός έλεγχος όλων των τύπων πρώτης ύλης αποτελεί βασική παράμετρο προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής ανακύκλωση του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό. Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει το πιθανό φορτίο των ακαθαρσιών, τους 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.



➤ Εικόνα 4.1: Σχεδιασμός της αναερόβιας χώνευσης των φυτών.

- Πίνακας 4.2: Κατηγοριοποίηση μερικών υποστρωμάτων ΑΧ, σχετικά με τον πιθανό φόρτο των προβληματικών υλικών τους, τους μολυσματικούς παράγοντες και παθογόνους οργανισμούς.

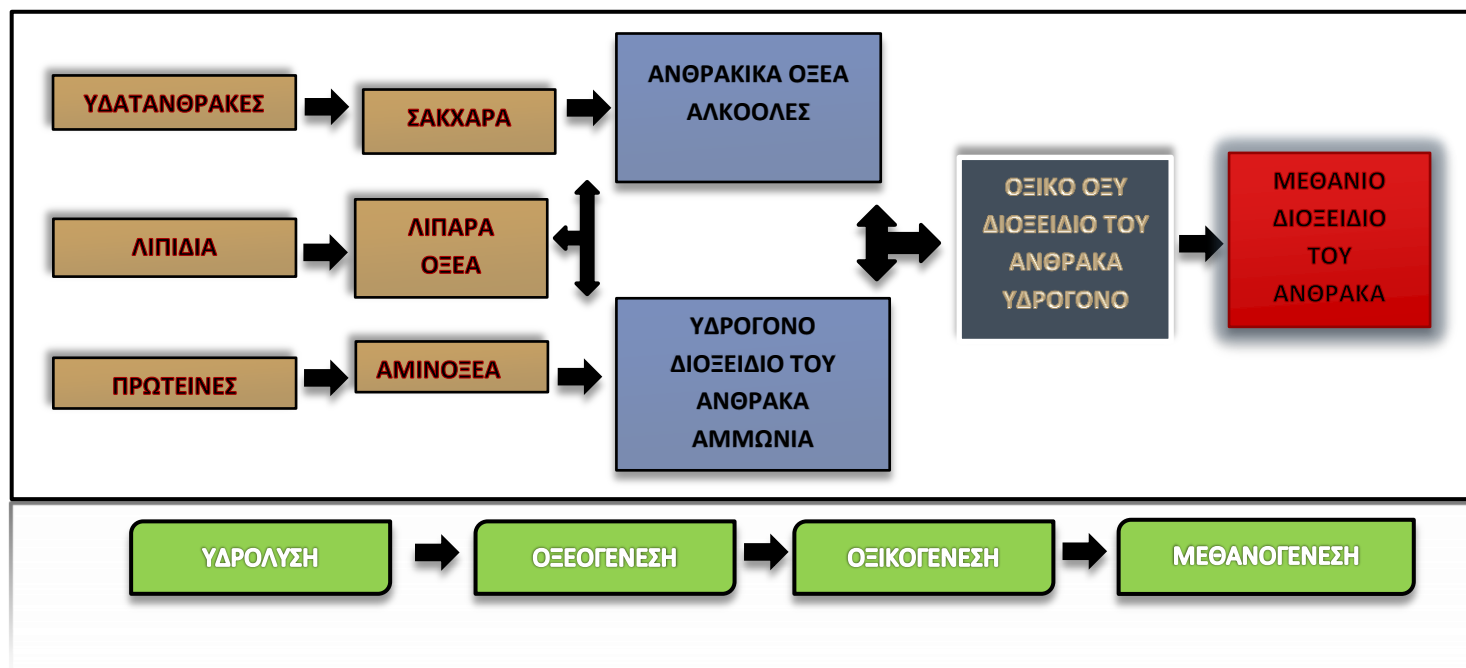
<b>Κίνδυνος</b>					
		<i>Ασφαλή</i>	<i>Υγειονομικοί κίνδυνοι</i>	<i>Περιέχει προβληματικά υλικά</i>	<i>Κίνδυνος για μολυσματικούς παράγοντες</i>
<b>Πρώτη ύλη</b>	<b>Υλικό κοινοτικών υπολειμμάτων</b>	Πρασινάδα, υπολείμματα κοπής του γρασιδιού		Βιολογικά απόβλητα, πρασινάδα στην άκρη των δρόμων	
	<b>Υλικά βιομηχανικών υπολειμμάτων</b>	Φυτικά απόβλητα, πολτοποίηση, στέμφυλα, κ.λπ.			Υπόλειμμα από την παραγωγή φυτικού ελαίου
			Ληγμένα τρόφιμα, τρόφιμα με φθορές κατά τη μεταφορά		
	<b>Αγροτικά υπολείμματα</b>	Υδαρής κοπριά, στερεή κοπριά			Cu και Zn
		Φύλλα τεύτλων, άχυρο			
	<b>Ανανεώσιμες πρώτες ύλες</b>	Σωρός καλάμποκιού, χορτονομή			
	<b>Απόβλητα σφαγείων</b>		Πεπτικό σύστημα, περιεχόμενα στομαχιών-εντέρων, διαχωρισμένα λίπη, πηγμένο αίμα, κ.λπ.		Διαχωρισμένα λίπη
<b>Διάφορα</b>		Απόβλητα βιομηχανικών κουζινών, οικιακά απόβλητα			

## 4.2 ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

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

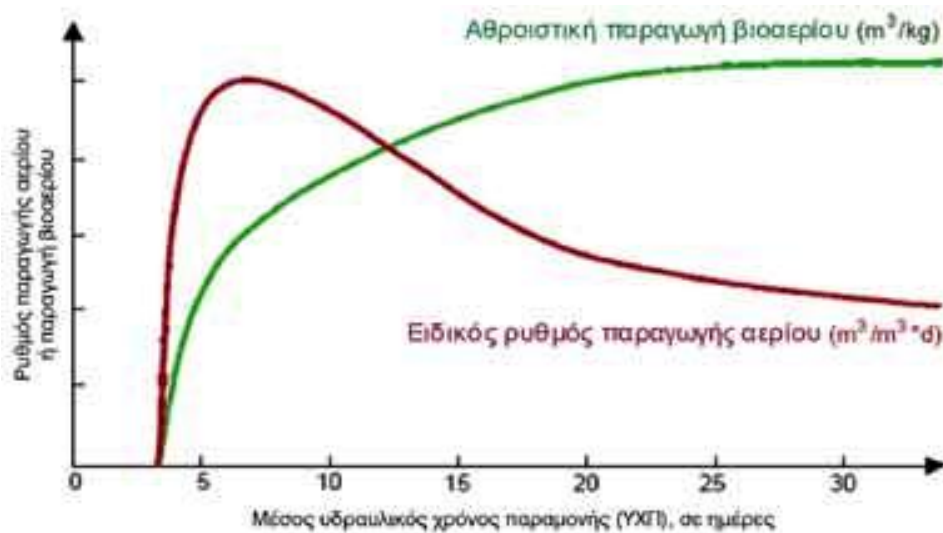
Κατά τη διάρκεια της ΑΧ παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια αποσύνθεση (παρουσία οξυγόνου), όπως είναι η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.

Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών σταδίων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα αυτά στάδια. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα της διεργασίας της ΑΧ παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1, όπου διακρίνονται τα τέσσερα κύρια στάδια της διεργασίας: η **υδρόλυση**, η **οξεογένεση**, η **οξικογένεση**, και η **μεθανογένεση**.



➤ Σχήμα 4.1: Τα κύρια βήματα της διεργασίας της Αναερόβιας Χώνευσης.

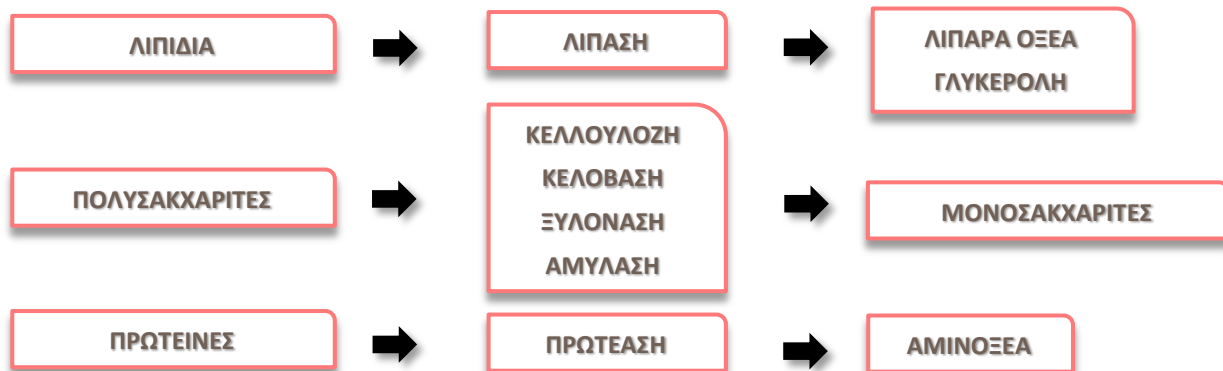
Τα στάδια της διεργασίας που αναφέρονται στο Σχήμα 4.1 λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των μονάδων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνη 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.



➤ Σχήμα 4.2: Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη του υποστρώματος (LfU 2007).

#### 4.2.1 ΥΔΡΟΛΥΣΗ

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 oligομερή). Τα πολυμερή, όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες, μετατρέπονται σε γλυκόζη, γλυκερίνη, πουρίνες, πυριδίνες, κ.λπ. Τα υδρολυτικά βακτήρια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις, ως εξής:



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.

#### 4.2.2 ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ

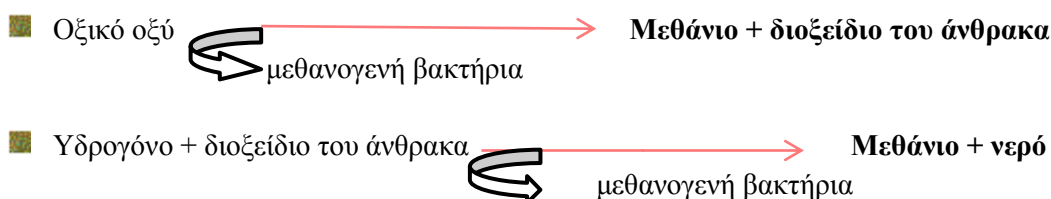
Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα απλά σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (70%), καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA) και αλκοόλες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

#### 4.2.3 ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ

Κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, τα προϊόντα της οξεογένεσης 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 πίεσή του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «υπόλειμμα» της οξικογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογενών βακτηρίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

#### 4.2.4 ΜΕΘΑΝΟΓΕΝΕΣΗ

Η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του CO 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 υπερπλήρωση του χωνευτή, οι αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου.

### 4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ (ΑΧ)

Η αποδοτικότητα της ΑΧ εξαρτάται από μερικές κρίσιμες παραμέτρους, οπότε είναι σημαντικό να παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανάπτυξη και η δραστηριότητά τους επηρεάζεται σημαντικά από την απουσία οξυγόνου, τη 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 βακτήρια μεθανίου είναι δύσκολοι αναερόβιοι οργανισμοί, οπότε πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η παρουσία οξυγόνου στη διεργασία της χώνευσης.

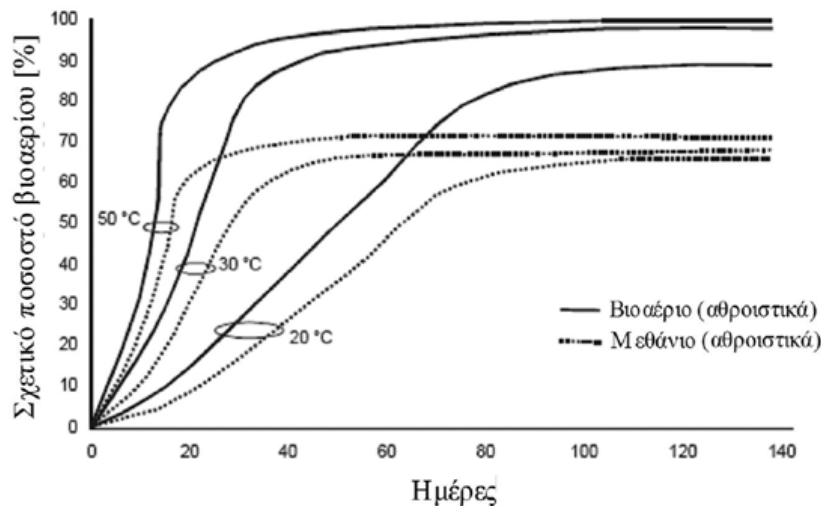
#### 4.3.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

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 4.3).

➤ Πίνακας 4.3: Θερμικά στάδια και χαρακτηριστικοί χρόνοι παραμονής.

Θερμικό στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος χρόνος παραμονής
ψυχρόφιλο	< 20 °C	70 έως 80 ημέρες
μεσόφιλο	30 έως 42 °C	30 έως 40 ημέρες
θερμόφιλο	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 τη χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη και η θερμοκρασία διεργασίας συνήθως παρέχεται από ενδοδαπέδια ή επιτοίχια συστήματα θέρμανσης, μέσα στον χωνευτή. Το σχήμα 4.3 δείχνει τους σχετικούς ρυθμούς παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής.



➤ Σχήμα 4.3: Σχετικοί ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής (LfU 2007).

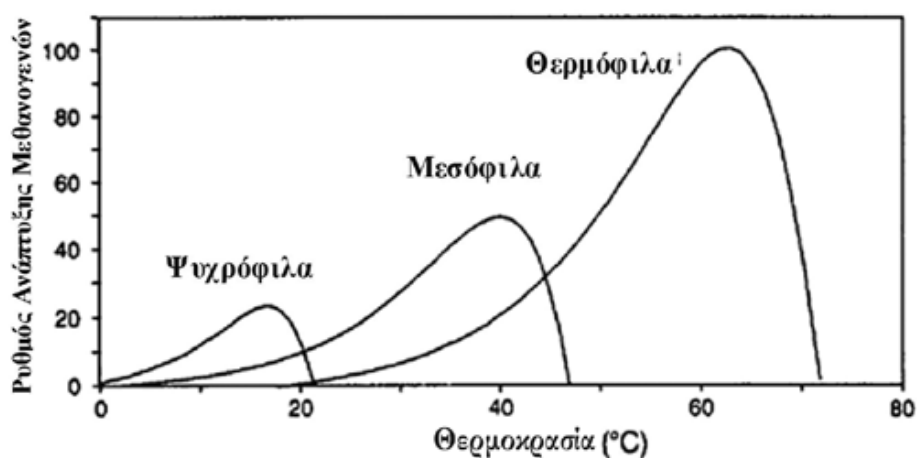
Πολλές σύγχρονες μονάδες βιοαερίου λειτουργούν σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες διεργασίας, καθώς η θερμοφιλική παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της μεσόφιλης και ψυχρόφιλης, όπως:

- Αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων οργανισμών.
- Υψηλότερο ποσοστό αύξησης μεθανογενών βακτηρίων σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- Μειωμένος χρόνος παραμονής, που καθιστά τη διεργασία γρηγορότερη και αποδοτικότερη.
- Βελτιωμένη ικανότητα χώνευσης και διαθεσιμότητα των υποστρωμάτων.
- Καλύτερη διάσπαση των στερεών υποστρωμάτων και καλύτερη χρήση των υποστρωμάτων.
- Καλύτερη δυνατότητα διαχωρισμού των υγρών και στερεών κλασμάτων.

Τα κύρια μειονεκτήματα της θερμοφιλικής διεργασίας είναι:

- Ο μεγαλύτερος βαθμός αστάθειας
- 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. Ωστόσο, κατά τη μείωση της θερμοκρασίας στους 50°C ή και λιγότερο, ο ρυθμός αύξησης των θερμοφίλων μικροοργανισμών μειώνεται δραστικά και μπορεί να εμφανιστεί κίνδυνος έκπλυσης του μικροβιακού πληθυσμού, λόγω ενός ρυθμού αύξησης χαμηλότερου από τον πραγματικό ΥΧΠ (Angelidaki, 2004). Αυτό σημαίνει ότι ένας καλά λειτουργών θερμοφιλικός χωνευτής 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 (Σχήμα 4.4). Η εμπειρία δείχνει ότι σε υψηλή φόρτωση ή χαμηλό ΥΧΠ, ένας χωνευτής που λειτουργεί θερμοφιλά έχει υψηλότερη παραγωγή αερίου και μεγαλύτερο ρυθμό μετατροπής σε σχέση μ' ένα μεσόφιλο χωνευτή.



➤ Σχήμα 4.4: Σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των μεθανογενών (ANGELIDAKI 2004)

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 4.4). Αυτό μπορεί να έχει μεγάλη σημασία για τα υλικά που έχουν ανασταλτική επίδραση στη διεργασία.

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	

➤ Πίνακας 4.4: Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της διαλυτότητας μερικών αερίων στο νερό (ANGELIDAKI 2004).

Το ιξώδες των χωνευόμενων συστατικών είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας. Το υπόστρωμα είναι περισσότερο ρευστό στις υψηλές θερμοκρασίες και έτσι διευκολύνεται 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 βακτήρια 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 βακτήρια είναι λιγότερο ευαίσθητα. Είναι δυνατόν να εμφανιστούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της τάξης των  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  χωρίς σημαντικές μειώσεις στην παραγωγή μεθανίου.

#### 4.3.2 ΤΙΜΕΣ pH & ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ

Η τιμή του pH είναι το μέτρο της οξύτητας/αλκαλικότητας του διαλύματος (ανάλογα με το μείγμα 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 τη 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 από 7 έως 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 αυξηθεί πάνω από το 8,3. Η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή του pH στους θερμοφίλους χωνευτές είναι επομένως υψηλότερη απ' ό,τι στους μεσόφιλους, καθώς το διαλελυμένο διοξείδιο του άνθρακα παράγει ανθρακικό οξύ από την αντίδραση του με το νερό. Η τιμή του pH μπορεί να αυξηθεί από την αμμωνία που παράγεται κατά την διάσπαση 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 χωνευτών βιοαερίου εξαρτάται από τη μερική πίεση του CO και τη συγκέντρωση αλκαλικών και όξινων συστατικών στην υγρή φάση. Εάν συσσωρεύονται βάσεις ή οξέα, 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 εξ' ολοκλήρου τη διεργασία. Για το λόγο αυτό δεν μπορεί να προταθεί μια τιμή του pH ως αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας. Η δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης του υποστρώματος της AX μπορεί να ποικίλλει. Η εμπειρία από τη Δανία δείχνει ότι η δυνατότητα της προσωρινής αποθήκευσης της στερεής κοπριάς των βοοειδών ποικίλλει ανάλογα με την εποχή, επηρεαζόμενη ενδεχομένως από τη σύνθεση της τροφής των βοοειδών. Η τιμή του pH της ζωικής στερεής κοπριάς αποτελεί επομένως μια μεταβλητή που είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αστάθειας 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 αστάθειας στα συστήματα με μικρές δυνατότητες προσωρινής αποθήκευσης, όπως είναι η AX των διάφορων τύπων υγρών αποβλήτων.

### 4.3.3 ΠΤΗΤΙΚΑ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ(VFA)

Η ευστάθεια της διεργασίας της AX επηρεάζεται από τη 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 στο χωνευτή, 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 ανάσχεσης μερικών τύπων βιομάζας. Για παράδειγμα η ζωική στερεή κοπριά έχει 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 χωνευτή θα είναι τόσο υψηλή ώστε η διεργασία της AX θα έχει ήδη εμποδιστεί σημαντικά.

Η εμπειρία δείχνει ότι δύο διαφορετικοί χωνευτές 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 χωνευτή σε χωνευτή. Για το λόγο αυτό, όπως και στην περίπτωση του pH, η συγκέντρωση των VfA δεν μπορεί να προταθεί ως μια αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας.

### 4.3.4 ΑΜΜΩΝΙΑ

Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) είναι μια σημαντική ένωση, με ιδιαίτερη λειτουργία στη διεργασία της AX. Είναι μια σημαντική θρεπτική ουσία που χρησιμεύει ως προδρομικό υλικό των τροφίμων και των λιπασμάτων και κανονικά συναντάται ως αέριο, με τη χαρακτηριστική έντονη οσμή. Οι πρωτεΐνες είναι η κύρια πηγή αμμωνίας στη διεργασία της AX. Η πολύ υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας μέσα στο χωνευτή, ειδικότερα η ελεύθερη αμμωνία (στη μη ιονισμένη μορφή της), είναι υπεύθυνη για την παρεμπόδιση της διεργασίας. Το γεγονός αυτό είναι σύνηθες στην AX της ζωικής στερεής κοπριάς, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας που προέρχεται από την ουρία. Γι' αυτό το λόγο, η συγκέντρωση της αμμωνίας πρέπει να διατηρείται κάτω από 80 mg/l. Τα μεθανογενή βακτήρια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην παρεμπόδιση από την αμμωνία. Η συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία, οπότε υφίσταται αυξημένος κίνδυνος παρεμπόδισης λόγω της αμμωνίας των διεργασιών AX που λαμβάνουν χώρα στις θερμοφίλες θερμοκρασίες, σε σύγκριση με τις μεσόφιλες. Η συγκέντρωση ελεύθερης αμμωνίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{T-NH}_3]}{\left(1 + \frac{H^+}{K_a}\right)}$$

- όπου  $[\text{NH}_3]$  και  $[\text{T-NH}_3]$  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 οι παράγοντες αυτοί αυξάνουν το ποσοστό της ελεύθερης αμμωνίας. Όταν μια διεργασία παρεμποδίζεται από την αμμωνία, μια αύξηση στη συγκέντρωση των  $\text{VfA}$  θα οδηγήσει σε μείωση του pH. Αυτό αλληλοαναιρεί εν μέρει την επίδραση της αμμωνίας, λόγω της μείωσης στη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας.

#### 4.3.5 ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΘΡΕΠΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ & ΤΟΞΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

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 AX (άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και 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 δυνατότητα χώνευσης του υποστρώματος μπορούν να προκαλέσουν παρεμπόδιση και διαταραχές στη διεργασία της AX. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών είναι η παρουσία τοξικών ενώσεων. Αυτές μπορούν να μεταφερθούν στο σύστημα AX μαζί με την πρώτη ύλη, αλλά μπορούν επίσης να παραχθούν κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Είναι δύσκολη η εφαρμογή κατώτατων οριακών τιμών για τις τοξικές ουσίες, αφενός μεν επειδή αυτές μπορούν συχνά να δεσμευθούν με χημικές διεργασίες και αφετέρου επειδή οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί είναι σε θέση να προσαρμοστούν, εντός ορισμένων ορίων, στις περιβαλλοντικές συνθήκες, στην προκειμένη περίπτωση στην παρουσία τοξικών ενώσεων.

### 4.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

#### 4.4.1 ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Η κατασκευή των μονάδων βιοαερίου απαιτεί ένα συνδυασμό οικονομικών και τεχνικών εκτιμήσεων. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που λαμβάνεται από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος θα απαιτούσε ένα μεγάλο υδραυλικό χρόνο παραμονής (YXΠ) και ένα αντίστοιχο μέγεθος χωνευτή. Στην πράξη, η επιλογή του συστήματος (π.χ. το μέγεθος και ο τύπος του χωνευτή) βασίζεται σε έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου και της οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας. Από αυτή την άποψη, το οργανικό φορτίο είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας, η οποία δείχνει πόση οργανική ξηρή ουσία μπορεί να τροφοδοτηθεί στον χωνευτή, ανά  $\text{m}^3$  όγκου και μονάδα χρόνου, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$B_R = m \times c / V_R$$

- **$B_R$**  : οργανικό φορτίο [ $\text{kg/d} \cdot \text{m}^3$ ].
- **$m$**  : μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου [ $\text{kg/d}$ ].
- **$c$** : συγκέντρωση οργανικής ουσίας [%].
- **$V_R$**  : όγκος του χωνευτή [ $\text{m}^3$ ].

Μια σημαντική παράμετρος για τη διαστασιολόγηση του χωνευτή είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (YXΠ ή HRT). Ο YXΠ είναι το μέσο χρονικό διάστημα κατά το οποίο διατηρείται το υπόστρωμα μέσα στη δεξαμενή του χωνευτή. Ο YXΠ σχετίζεται με τον όγκο του χωνευτή ( $V$ ), και τον όγκο του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$YXΠ = V_R / V$$

- **YXΠ (HRT)** : υδραυλικός χρόνος παραμονής [ημέρες].
- **$V_R$**  : όγκος του χωνευτή [ $m^3$ ].
- **$V$** : όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου [ $m^3/d$ ].

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, όσο αυξάνεται το οργανικό φορτίο θα μειώνεται ο YXΠ. Ο χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των βακτηρίων που αφαιρείται με το χωνεμένο υπόλειμμα δεν θα είναι υψηλότερη από την ποσότητα των αναπαραγόμενων βακτηρίων (π.χ. ο ρυθμός διπλασιασμού των αναερόβιων βακτηρίων είναι 10 ημέρες ή περισσότερο). Ένας μικρός YXΠ παρέχει μια καλή παροχή υποστρώματος αλλά χαμηλή παραγωγή αερίου. Είναι επομένως σημαντικό να προσαρμοστεί ο YXΠ στο συγκεκριμένο ρυθμό αποσύνθεσης των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων. Ξέροντας το επιθυμητό YXΠ, την καθημερινή εισαγωγή πρώτης ύλης και τον ρυθμό αποσύνθεσης του υποστρώματος, είναι δυνατό να υπολογιστεί ο απαραίτητος όγκος του χωνευτή.

#### 4.4.2 ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (Volumetric Loading, ΟΟΦ)

Η ογκομετρική οργανική φόρτιση είναι το ημερήσιο ποσό οργανικού φορτίου, εκφρασμένο σε χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) ή πτητικά στερεά (ΠΣ), που αντιστοιχεί στο  $1m^3$  ωφέλιμου (ενεργού) όγκου χωνευτήρα. Είναι υποπολλαπλάσιο του οργανικού φορτίου των εισερχόμενων υγρών ( $S_o$ ) κατά τον χρόνο παραμονής :

$$ΟΟΦ = S_o / YXΠ$$

Οι ενδεικτικές τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι οι εξής (Burton et al, 2003):

- 2,5 – 3,5 kg ΠΣ/  $m^3$ χων – ημέρα για απόβλητα βουστασίων.
- 5,5 – 7,0 kg ΠΣ/  $m^3$ χων – ημέρα για απόβλητα βουστασίων σε συνδυασμό με άλλα υλικά (όπως άχυρο).
- 3,0 – 3,5 kg ΠΣ/  $m^3$ χων – ημέρα για απόβλητα χοιροστασίων.

Η ογκομετρική φόρτιση θεωρείται πολύ σημαντική παράμετρος, γιατί καθορίζει το ρυθμό παραγωγής βιοαερίου και εκφράζει τη σταθερότητα του συστήματος. Θα πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατό περισσότερη σταθερή στο χρόνο. Ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων υπάρχει μια βέλτιστη τιμή  $Y_{ν(opt)}$ , για την οποία προκύπτει ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής βιοαερίου. Στη πράξη μπορεί να ρυθμιστεί η ογκομετρική φόρτιση για μεγιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου με συμπύκνωση ή ανάμιξη διαφόρων αποβλήτων (ρύθμιση του λόγου  $C / N$ ).

#### 4.4.3 ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (Volumetric Biogas Production, ΟΠΒ)

Η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου είναι η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου, που αντιστοιχεί σε  $1\text{ m}^3$  ωφέλιμου (ενεργού) όγκου χωνευτήρα,  $\text{m}^3/\text{m}^3\text{ωφ.χων-ημερα}$ . Είναι πολλαπλάσιο της παραγωγής βιοαερίου ( $B_v$ ) από το αρχικό φορτίο ( $S_0$ ) των εισερχόμενων υγρών, κατά το χρόνο παραμονής ( $Y_{XPI}$ ):

$$\text{ΟΠΒ} = B_v * Y_{XPI}$$

Από την ερευνητική εμπειρία του εργαστηρίου γεωργικών κατασκευών του Γ.Π.Α. και τη διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει πως οι τιμές ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου κυμαίνονται από 0,8 μέχρι 2,4  $\text{m}^3/\text{m}^3\text{ωφ.χων-ημερα}$ , ανάλογα με το είδος και τη σύσταση των εισερχόμενων υγρών στον αναερόβιο χωνευτήρα. Πολλές φορές για λόγους ευκολίας, η ογκομετρική παραγωγή εκφράζεται σε μονάδες μεθανίου [ $Y_{\text{ν}(\text{CH}_4)}$ ].

#### 4.4.4 ΛΟΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΡΟΣ ΑΖΩΤΟ, (C / N)

Η σχέση C/N επηρεάζει την απόδοση στην παραγωγή μεθανίου. Τιμές C/N = 16/1-18/1 (εύρος 13/1 -24/1) θεωρούνται ως άριστες (optimum), καθώς επιτυγχάνουν υψηλή απόδοση σε μεθάνιο και επαρκή σταθερότητα των βιολογικών διεργασιών. Η σωστή αναλογία C / N εξασφαλίζει σταθερότητα και επιτρέπει μεγίστη και συνεχή παραγωγή βιοαερίου. Σε σύγκριση με τον βέλτιστο λόγο C/N, προκύπτει πως τα απόβλητα έχουν χαμηλή συγκέντρωση οργανικού άνθρακα και άρα απαιτείται προσθήκη νέας ποσότητας, ώστε να επιτύχουν τιμές της τάξης του 16 -18/1. Αυτό μπορεί να γίνει με ανάμιξη τους με απόβλητα πλούσια σε οργανικό άνθρακα, όπως π.χ. είναι τα απόβλητα των ελαιοτριβείων, τα οποία έχουν χαμηλή συγκέντρωση σε άζωτο και υψηλό λόγο C/N (περίπου 50/1).

#### 4.4.3 ΑΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Μία σειρά παραμέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των μονάδων βιοαερίου (Πίνακας 4.5) και τη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων. Στη βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν δύο κύριες κατηγορίες παραμέτρων:

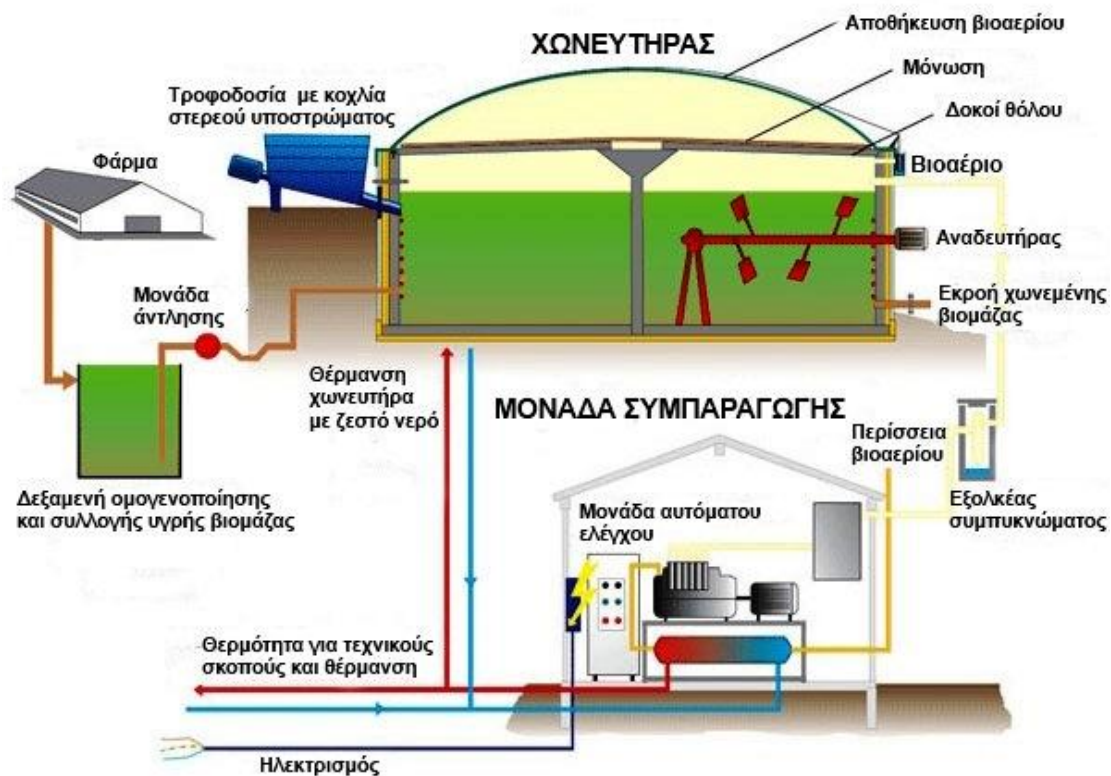
- Στοιχεία λειτουργίας, τα οποία μπορούν να καθοριστούν από μετρήσεις
- Παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν από καταγραφές.

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι ικανότητες απόδοσης μιας μονάδας βιοαερίου πρέπει να γίνει μια πολυκριτηριακή ανάλυση. Οι αξιολογήσεις που βασίζονται σε μια μόνο παράμετρο δεν μπορούν ποτέ να είναι αξιόπιστες. Πρέπει πάντοτε να περιλαμβάνονται οι οικονομικές παράμετροι προκειμένου να καθοριστεί εάν μια μονάδα βιοαερίου μπορεί να παρέχει απόσβεση στην επένδυση σε ένα αποδεκτό χρονικό ορίζοντα.

➤ Πίνακας 4.5: Παράμετροι λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου.

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	VR	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 τη ποσότητα του βιοαερίου και την συγκέντρωση μεθανίου
Παραγωγή ηλεκτρισμού		kWh	Μέτρηση στη γεννήτρια ΒΤΤΡ
Τροφοδοσία στο δίκτυο		kWh	Μέτρηση μετά από τη γεννήτρια ΒΤΤΡ
Αποδοτικότητα του ΒΤΤΡ	η	%	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Τροφοδοσία σταθμού θερμική/ηλεκτρικός		kWh	Βάσει σχεδιασμού, κατόπιν μέτρησης κατά τη λειτουργία
Ειδική τροφοδοσία σταθμού θερμική/ηλεκτρική		kWh/m <sup>3</sup> Εισόδου kWh/GV*	Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Παραγωγή ενέργειας		kWh	Άθροισμα της ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπολογισμός από τα στοιχεία λειτουργίας
Αποδοτικότητα μονάδας	η	%	Η καθαρή ενέργεια που προέρχεται από την ακαθάριστη ενέργεια
Διαθεσιμότητα		%	Ποσοστό των ωρών σε ένα έτος κατά τις οποίες λειτουργεί πλήρως η μονάδα
Χρήση		%	Αναλογία της πραγματικής ποσότητας εισόδου προς την προβλεπόμενη δυναμικότητα
Συνολική επένδυση		€	Όλες οι δαπάνες της μονάδας βιοαερίου
Επιχορηγήσεις		€	Προκαθορισμένες
Ποσοστό επιχορήγησης		%	Ποσοστό όλων των επιχορηγήσεων ως προς το συνολικό ύψος της επένδυσης
Ειδικές επενδύσεις		€/m <sup>3</sup> χωνευτή €/GV*	Έχει έννοια μόνο όταν χρησιμοποιείται πρώτιστα ως στερεή κοπριά από την κτηνοτροφική παραγωγή
Ειδικές δαπάνες επεξεργασίας		€/m <sup>3</sup> εισόδου €/GV*	Υπολογισμός

## 5. TO BIOAΕΡΙΟ (Biogas)



➤ Εικόνα 5: Η λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου.

### 5.1 ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ χρησιμοποιείται ευρέως στις σύγχρονες κοινωνίες για την επεξεργασία της στερεής και υδαρούς κοπριάς των εκτρεφόμενων ζώων. Σκοπός είναι να παραχθεί ανανεώσιμη ενέργεια και να βελτιωθούν οι ιδιότητες λίπανσης της κοπριάς. Στις χώρες με μεγάλη αγροτική παραγωγή, οι συνεχώς αυστηρότεροι κανονισμοί σχετικά με την αποθήκευση και ανακύκλωση του λιπάσματος και των φυτικών υπολειμμάτων, 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 γεωργών για τις ενεργειακές καλλιέργειες, με στόχο να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Η ΑΧ αποτελεί επίσης την κύρια τεχνολογία για τη σταθεροποίηση της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας λυματολάσπης, για την επεξεργασία των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων από τις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και ζύμωσης, καθώς επίσης και για την κατεργασία του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων. Μια ειδική εφαρμογή είναι η ανάκτηση του βιοαερίου από τις χωματερές.

## 5.2 ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου επεξεργάζονται τα υποστρώματα πρώτης ύλης που κυρίως προέρχονται από την αγροτική παραγωγή. Τα συνηθέστερα είδη πρώτης ύλης για αυτές τις εγκαταστάσεις είναι η ζωική στερεή και η υδαρής κοπριά, τα υπολείμματα και τα υποπροϊόντα από τη συγκομιδή λαχανικών και άλλων αγροτικών προϊόντων και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Η στερεή και η υδαρής κοπριά από βοοειδή και χοίρους είναι η κύρια πρώτη ύλη των περισσότερων αγροτικών μονάδων βιοαερίου αν και ο αριθμός των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τις ενεργειακές καλλιέργειες αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Οι ακατέργαστες ζωικές στερεές και υδαρείς κοπριές συνήθως χρησιμοποιούνται ως οργανικά λιπάσματα, αλλά η ΑΧ βελτιώνει τις ιδιότητες λίπανσής τους καθώς:

- Οι στερεές και υδαρείς κοπριές από διαφορετικά ζώα (π.χ. βοοειδή, χοίροι, πουλερικά) αναμειγνύονται στον ίδιο χωνευτή, 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 θρεπτικών ουσιών
- Η συγχώνευση της στερεής κοπριάς με άλλα υποστρώματα (π.χ. απόβλητα σφαγείων, υπολείμματα από λίπη και έλαια, οικιακά απόβλητα, φυτικά υπολείμματα, κ.λπ.) προσθέτει σημαντικές ποσότητες θρεπτικών ουσιών στο μείγμα της πρώτης ύλης.

Ο σχεδιασμός και η τεχνολογία των μονάδων βιοαερίου διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα εθνικά πλαίσια (νομοθεσία και πολιτικές σε θέματα ενέργειας), την ενεργειακή διαθεσιμότητα και προσιτότητα. Σύμφωνα με το σχετικό τους μέγεθος, τη λειτουργία και θέση τους, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες αγροτικών εγκαταστάσεων ΑΧ:

- Οι μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας (μικρής κλίμακας)
- Οι μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας)
- Οι κεντρικές μονάδες βιοαερίου / κοινή συγχώνευση (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας).

### 5.2.1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ

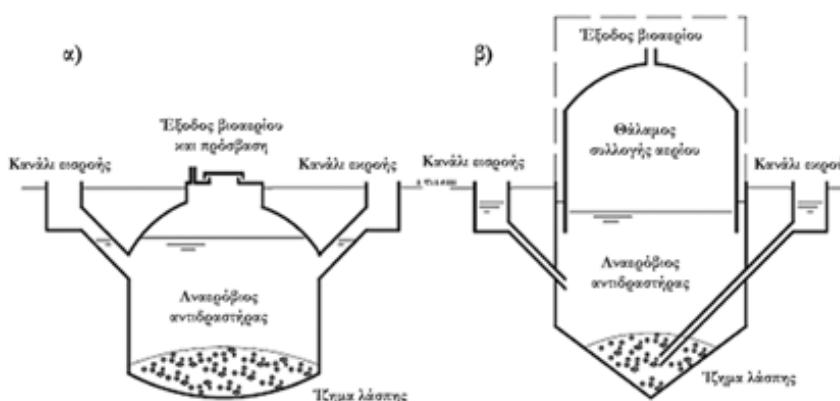
Μια μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος εξυπηρετεί ένα μόνο αγρόκτημα, χωνεύοντας την πρώτη ύλη που παράγεται σε αυτή. Επίσης σε πολλές εγκαταστάσεις γίνεται συγχώνευση μικρών ποσοτήτων υποστρωμάτων πλούσιων σε μεθάνιο (π.χ. ελαιούχα απόβλητα της επεξεργασίας ψαριών και υπολείμματα φυτικού ελαίου), με στόχο την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου. Είναι επίσης δυνατό μία μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος να λαμβάνει και να επεξεργάζεται ζωικές υδαρείς κοπριές 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 μονάδων 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 ευρωπαϊκών γεωργών για τις εφαρμογές της ΑΧ αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, όχι μόνο επειδή η αγροτική παραγωγή βιοαερίου μετατρέπει τα απόβλητα σε πολύτιμους φυσικούς πόρους και παράγει υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό, αλλά και επειδή δημιουργεί νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τους εμπλεκόμενους αγρότες και τους δίνει μία νέα διέξοδο, ως προμηθευτές ανανεώσιμης ενέργειας.

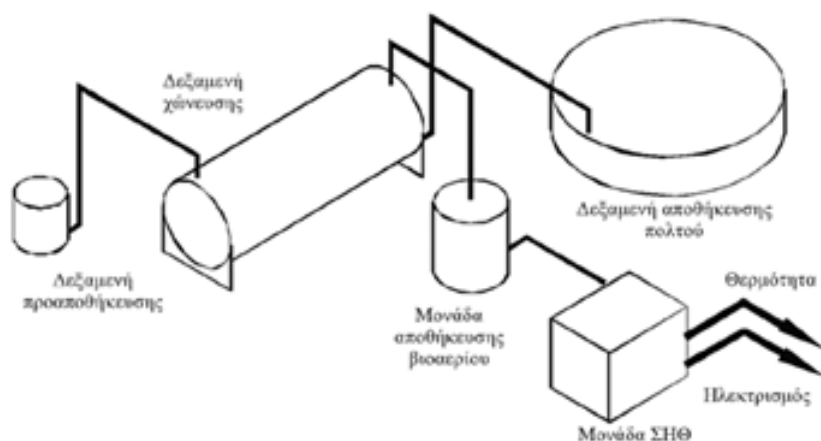
Οι μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος έχουν διάφορα μεγέθη, σχεδιασμούς και τεχνολογίες. Μερικές είναι πολύ μικρές και τεχνολογικά απλές, ενώ άλλες είναι πολύ μεγάλες και σύνθετες, παρόμοιες με τις κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης (βλ. Κεφάλαιο 4.1.3). Ωστόσο, όλες έχουν μια κοινή αρχή σχεδίασης: η στερεή κοπριά συλλέγεται σε μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης (κοντά στον χωνευτή) και αντλείται στο χωνευτή, ο οποίος είναι μια αεροστεγής δεξαμενή, κατασκευασμένη από χάλυβα ή σκυρόδεμα, μονωμένη ώστε να διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία διεργασίας. Οι χωνευτές μπορεί να είναι οριζόντιοι (Σχήματα 4.2 και 4.3) ή κατακόρυφοι, συνήθως με συστήματα ανάδευσης, που βοηθούν στη μείξη και την ομογενοποίηση του υποστρώματος και συντελούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων σχηματισμού επιπλεόντων στρωμάτων και ιζηματογένεσης. Ο μέσος ΥΧΠ είναι συνήθως μεταξύ 20 και 40 ημέρες, ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος και τη θερμοκρασία χώνευσης.

Το χωνεμένο υπόλειμμα χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό στο αγρόκτημα και το πλεόνασμα μπορεί να πωληθεί σε άλλα 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 τη λειτουργία της μονάδας του βιοαερίου και για τις οικιακές ανάγκες του αγρότη, ενώ το πλεόνασμα πωλείται στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού και, αντίστοιχα, στους γειτονικούς καταναλωτές θερμότητας.



➤ Σχήμα 5: Αρχές λειτουργίας των αγροτικών τύπων αντιδραστήρων βιοαερίου:

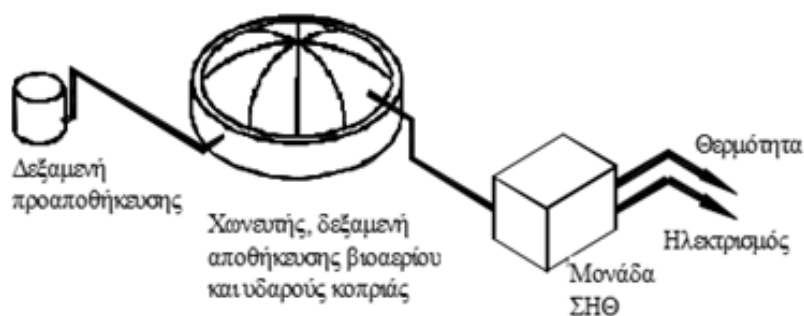
α) Κινέζικος τύπος, β) Ινδικός τύπος (ANGELIDAKI 2004).



➤ Σχήμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση μιας μονάδας βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος με οριζόντιο χωνευτή από χάλυβα, (HJORT-GREGERSEN 1998).

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

Ο χωνευτής μπορεί επίσης να είναι κατακόρυφος, με ή χωρίς κωνική βάση (Σχήμα 5.2 και εικόνα 5.1), γνωστός και ως «δύο σε μία» δεξαμενή αποθήκευσης υδαρούς κοπριάς και χώνευσης, όπου ο χωνευτής κατασκευάζεται εντός της δεξαμενής αποθήκευσης του χωνεμένου υπολείμματος. Οι δύο δεξαμενές καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, η οποία διογκώνεται από το παραγόμενο αέριο, και υφίστανται ανάδευση από μια ηλεκτρική έλικα.



➤ Σχήμα 5.2: Σχηματική αναπαράσταση των «δύο σε μία» εγκαταστάσεων κλίμακας αγροκτήματος, με κάλυψη μαλακής μεμβράνης, (HJORT-GREGERSEN 1998).



- Εικόνα 5.1: Μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση υδαρών κοπριών και ενεργειακών καλλιεργειών, (GROENGAS A/S).

Μια πρόσφατη εξέλιξη των μονάδων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος είναι ο σχεδιασμός τους με βάση τις ενεργειακές καλλιέργειες. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ενεργειακών καλλιεργειών είναι πολύ υψηλότερο απ' ό,τι αυτό των περισσότερων οργανικών αποβλήτων. Ωστόσο, περιορισμοί και ανησυχίες προκύπτουν όσον αφορά στα κόστη λειτουργίας, καθώς και στη χρήση και τη διαθεσιμότητα του εδάφους.

### 5.2.1 ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ

Η κεντρική συγχώνευση είναι μια έννοια που βασίζεται στη χώνευση ζωικής στερεής και υδαρούς κοπριάς που συλλέγεται από διάφορα αγροκτήματα, σε μια μονάδα βιοαερίου, η οποία είναι εγκατεστημένη κεντρικά στην περιοχή συλλογής της κοπριάς. Η κεντρική θέση των μονάδων βιοαερίου στοχεύει στο να μειώσει τις δαπάνες, τον χρόνο και το εργατικό δυναμικό για τη μεταφορά της κοπριάς από και προς την μονάδα βιοαερίου. Η στερεή κοπριά υφίσταται συγχώνευση με ποικίλους άλλους τύπους κατάλληλης πρώτης ύλης (π.χ. τα χωνευόμενα αγροτικά υπολείμματα, απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων και ιχθύων, οργανικά απόβλητα διαχωριζόμενα στην πηγή, λυματολάσπη, κ.λπ). Οι κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης (ονομάζονται επίσης και «κοινές» εγκαταστάσεις συγχώνευσης) αναπτύσσονται και εφαρμόζονται ευρέως στη Δανία (Εικόνα 5.2), αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου με εντατική κτηνοτροφία.

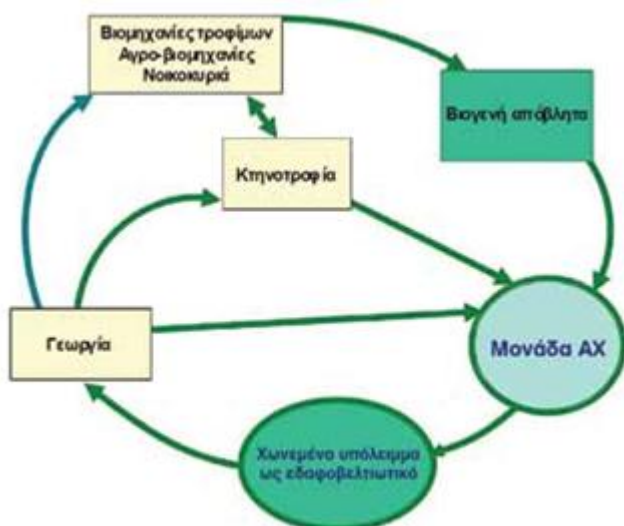
Στερεές και υδαρείς κοπριές συλλέγονται από τις δεξαμενές προ-αποθήκευσης ή από τα κανάλια υδαρούς κοπριάς του αγροκτήματος και μεταφέρονται με ειδικά βυτιοφόρα στη μονάδα του βιοαερίου, σύμφωνα με ένα προσυμφωνημένο χρονοδιάγραμμα. Εκεί, αναμειγνύονται με άλλα ομοιοσπρώματα, ομογενοποιούνται και αντλούνται στη δεξαμενή του χωνευτή. Η μονάδα του βιοαερίου είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και μεταφορά της νωπής στερεής κοπριάς από τους αγρότες στη μονάδα βιοαερίου και του χωνεμένου υπολείμματος από τη μονάδα στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης των αγροτών (αυτές ενίοτε είναι κοινές για πολλούς αγρότες), οι οποίες βρίσκονται κοντά στα αγροκτήματα όπου το χωνεμένο υπόλειμμα εφαρμόζεται ως εδαφοβελτιωτικό.

Η διεργασία της χώνευσης πραγματοποιείται σε μεσόφιλες ή θερμόφιλες θερμοκρασίες και ο ΥΧΠ είναι 12-25 ημέρες. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, πριν από την χώνευση λαμβάνει χώρα μία ελεγχόμενη διεργασία υγιεινής του υποστρώματος, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική μείωση των παθογόνων και των ζιζανίων και να εξασφαλισθεί η ασφαλής ανακύκλωση του χωνεμένου υπολείμματος.



➤ Εικόνα 5.2: Μονάδα συγχώνευσης στη Δανία (LEMVIG BIOGAS).

Το σύστημα τροφοδοσίας είναι συνεχές και το μείγμα βιομάζας αντλείται μέσα και έξω από τους χωνευτές σε ίσες ποσότητες μέσω αλληλουχιών ακριβείας των αντλιών. Το χωνεμένο υπόλειμμα, όπως αντλείται από τον χωνευτή, μεταφέρεται με σωληνώσεις στις δεξαμενές αποθήκευσης. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μονάδες αυτού του είδους καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, όπου πραγματοποιείται η συλλογή της συμπληρωματικής παραγωγής βιοαερίου (μέχρι 15% του συνόλου) σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Πριν από την έξοδό του από τη μονάδα βιοαερίου, το παραγόμενο χωνεμένο υπόλειμμα αναλύεται και καθορίζονται τα θρεπτικά συστατικά του (ΞΟ, VS, N, P, K, pH). Οι αγρότες παραλαμβάνουν μόνο εκείνη την ποσότητα του χωνεμένου υπολείμματος που από τη νομοθεσία επιτρέπεται να διασκορπιστεί στους αγρούς. Η περίσσεια πωλείται ως εδαφοβελτιωτικό στους καλλιεργητές της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση, το χωνεμένο υπόλειμμα ενσωματώνεται στο σχέδιο λίπανσης κάθε αγροκτήματος, αντικαθιστώντας τα ανόργανα εδαφοβελτιωτικά. Με τον τρόπο αυτό, η παραγωγή βιοαερίου είναι μέρος του κλειστού κύκλου ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών από τις κοπριές και τα οργανικά απόβλητα (Σχήμα 4.9). Όλο και περισσότερες μονάδες βιοαερίου εξοπλίζονται επίσης με μονάδες διαχωρισμού του χωνεμένου υπολείμματος σε υγρά και στερεά τμήματα.



➤ Σχήμα 5.3: Απεικόνιση του κλειστού κύκλου ΑΧ σε κεντρικές μονάδες (AL SEADI 2001).

### 5.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η ΑΧ χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας λάσπης που προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία των οικιακών λυμάτων. Το σύστημα εφαρμόζεται σε πολλές χώρες, σε συνδυασμό με προηγμένα συστήματα επεξεργασίας οικιακών υγρών αποβλήτων, όπου η διεργασία της ΑΧ χρησιμοποιείται για να σταθεροποιήσει και να μειώσει την τελική ποσότητα της ιλύος. Οι περισσότερες τεχνικές εταιρείες που παρέχουν σχήματα επεξεργασίας των λυμάτων έχουν επίσης την ικανότητα να παρέχουν και συστήματα ΑΧ. Στις ευρωπαϊκές χώρες, ένα ποσοστό μεταξύ του 30 και 70% της λυματολάσπης υφίσταται επεξεργασία μέσω της ΑΧ, ανάλογα με το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο και τις εκάστοτε προτεραιότητες. Το υπόλειμμα χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό σε γεωργικά εδάφη ή για παραγωγή ενέργειας μέσω αποτέφρωσης. Σε μερικές χώρες διατίθεται επίσης στις χωματερές. Η πρακτική αυτή θεωρείται ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω των διαρροών των θρεπτικών ουσιών στα υπόγεια ύδατα και των εκπομπών στην ατμόσφαιρα, κατά συνέπεια απαγορεύεται στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες.



- Εικόνα 5.3: Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) στην Ψυτάλλεια, Ελλάδα (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).

## 5.4 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Οι αναερόβιες διεργασίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των βιομηχανικών και των υγρών αποβλήτων για περισσότερο από έναν αιώνα. Η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων είναι σήμερα μια τυπική τεχνολογία επεξεργασίας διάφορων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία των τροφίμων, τις αγροτοβιομηχανίες και τις φαρμακευτικές βιομηχανίες. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την προ-επεξεργασία των πλούσιων σε οργανικά στοιχεία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων πριν από την τελική διάθεσή τους. Με τις πρόσφατες βελτιώσεις στις τεχνολογίες επεξεργασίας μπορούν επίσης να χωνευθούν τα αραιωμένα βιομηχανικά υγρά απόβλητα.

Η Ευρώπη έχει κυρίαρχη θέση στον κόσμο σχετικά με αυτήν την εφαρμογή της ΑΧ. Τα τελευταία χρόνια οι ενεργειακές και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες έχουν αυξήσει περαιτέρω το ενδιαφέρον για την άμεση αναερόβια επεξεργασία των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων, ενώ η διαχείριση των οργανικών στερεών αποβλήτων από τη βιομηχανία ελέγχεται όλο και περισσότερο από περιβαλλοντικές νομοθεσίες. Στις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν την ΑΧ για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνονται οι εξής:

- Βιομηχανίες κατεργασίας τροφίμων: π.χ. κονσερβοποίηση λαχανικών, παραγωγή γάλακτος και τυριών, σφαγεία, βιομηχανία επεξεργασίας πατάτας
- Βιομηχανίες ποτών: π.χ. ζυθοποιεία, μη αλκοολούχα ποτά, αποστακτήρια, καφές, χυμοί φρούτων
- Βιομηχανικών προϊόντων: π.χ. χαρτί και χαρτόνια, ελαστικά, χημικές ουσίες, άμυλο, φαρμακευτικά είδη.

Οι βιομηχανικές μονάδες βιοαερίου προσφέρουν διάφορα οφέλη στην κοινωνία και στις βιομηχανίες όπως είναι:

- Προστιθέμενη αξία μέσω της ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών και των μειωμένων δαπανών για την διάθεση των υπολειμμάτων
- Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για να παράγει ενέργεια για διεργασίες
- Η επεξεργασία των αποβλήτων βελτιώνει την περιβαλλοντική εικόνα των βιομηχανιών.

Αναμένεται ότι τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη και οι υψηλές δαπάνες των άλλων εναλλακτικών μεθόδων διάθεσης των αποβλήτων θα αυξήσουν στο μέλλον τον αριθμό των εφαρμογών του βιομηχανικού βιοαερίου.

## 5.5 ΧΡΗΣΗ 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 μικροστρόβιλους, συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων (Σχήμα 5.4).



➤ Σχήμα 5.4: Επισκόπηση της χρήσεως βιοαερίου.

## 5.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την ΑΧ είναι χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο. Οι ιδιότητες και η σύσταση του βιοαερίου ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και τη δομή της πρώτης ύλης, το σύστημα της μονάδας, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται κάποιες από τις μέσες τιμές σύστασης του βιοαερίου με βάση την βιβλιογραφία. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο περιέχει 50% μεθάνιο, η μέση θερμοκρασιακή 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 (κατ' όγκο-%)
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	50-75
Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	25-45
Υδρατμοί	H <sub>2</sub> O	2 (20°C) -7 (40°C)
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	<2
Άζωτο	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 5: Σύσταση του βιοαερίου.

Η βιοχημική σύσταση των διαφορετικών τύπων πρώτης ύλης ποικίλλει και είναι καθοριστική για τη θεωρητική παραγωγή του μεθανίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1.

Υπόστρωμα	Λίτρα αερίου / kg TS*	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub>
Ακατέργαστη πρωτεΐνη	700	70 με 71	29 με
Ακατέργαστο λίπος	1.200 με 1.250	67 με 68	32 με
Υδατάνθρακες	790 με 800	5	50

➤ Πίνακας 5.1: Θεωρητική παραγωγή βιοαερίου.

Η παραγωγή μεθανίου των διαφόρων υποστρωμάτων της ΑΧ εξαρτάται από το περιεχόμενό τους σε πρωτεΐνες, λίπη, και υδατάνθρακες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2.

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

➤ Πίνακας 5.2: Παραγωγή μεθανίου από διαφορετικές πρώτες ύλες.



## 5.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Συνοπτικά, το βιοαέριο, παράγεται από την αναερόβια χώνευση αποβλήτων (λύματα από χοιροστάσια, βουστάσια, κτηνοτροφικές μονάδες προβάτων, ελαιουργεία, τυροκομεία, σφαγεία κλπ), όπως και ενεργειακών φυτών και των υπολειμμάτων αυτών. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, θερμότητας, φυσικού αερίου και οργανικού λιπάσματος από τα παραπάνω αρνητικής αξίας απόβλητα και υπολείμματα, έχει το μοναδικό αποτέλεσμα της παραγωγής αυξημένης αξίας προϊόντων, τόσο για την τοπική κοινωνία όσο και για την συνολική οικονομία.

**1. Για την κτηνοτροφία:** Η λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου σε μια αγροτοκτηνοτροφική περιοχή, έχει τα εξής άμεσα αποτελέσματα για την τοπική οικονομία και κυρίως για τις κτηνοτροφικές μονάδες:

- Απαλλάσσει τις κτηνοτροφικές μονάδες από επιπλέον κόστη επένδυσης και λειτουργίας, αναποτελεσματικών στην πράξη, βιολογικών καθαρισμών.
- Απαλλάσσει τις κτηνοτροφικές μονάδες από το υπάρχον κόστος διαχείρισης των αποβλήτων.
- Δίνει την δυνατότητα στις κτηνοτροφικές μονάδες της απόκτησης αδειας λειτουργίας χωρίς καμία επιπλέον επένδυση.
- Μείωση του κόστους της διατροφής των ζώων μέσω μειωμένου κόστους λίπασμα για τα σιτηρέσια.
- Απελευθέρωση χώρου στις κτηνοτροφικές μονάδες και δυνατότητα επέκτασης.

**2. Για την γεωργία και την ελληνική οικονομία:**

- Επιπλέον σταθερό εισόδημα για τους αγρότες μέσω της συμβολαιακής γεωργίας.
- Αυξημένη απόδοση λίπανσης: Μέσω της νιτροποίησης που λαμβάνει χώρα κατά την αναερόβια χώνευση των ζωικών υποπροϊόντων/λυμάτων, οργανικά συσσωματώματα με ισχυρούς χημικούς δεσμούς διασπώνται σε ανόργανες ενώσεις που είναι άμεσα απολήψιμες από τα φυτά. Αυτό έχει σαν άμεση συνέπεια, την αύξηση της γεωργικής παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του κόστους καλλιέργειας.
- Οργανικό-εδαφοβελτιωτικό λίπασμα. Εξοικονόμηση χρημάτων για τους αγρότες και του κτηνοτρόφους: Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα των μονάδων βιοαερίου, αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο όφελος για την ελληνική γεωργία και κτηνοτροφία, εξασφαλίζοντας μειωμένο κόστος του σιτηρέσιου. Όπως είναι γνωστό, το σημαντικό κόστος των καλλιεργειών είναι το λίπασμα, και των κτηνοτρόφων το κόστος διατροφής των ζώων, το οποίο συνεχώς αυξάνεται. Ανάλογα με το μείγμα των οργανικών ζωικών υποπροϊόντων/λυμάτων και των αγροτικών υπολειμμάτων και ενσιρωμάτων σε μια περιοχή (π.χ. αγελαδοτροφεία, άλλες κτηνοτροφικές μονάδες), η περιεκτικότητα του χωνεμένου υπολείμματος σε ανόργανα στοιχεία μπορεί να είναι περισσότερο κατάλληλη για χρήση στη γεωργία. Κάτι τέτοιο έχει ως επακόλουθο τη μείωση των αναγκών σε λιπάνσεις με χημικά σκευάσματα και επομένως στην εξοικονόμηση χρημάτων των αγροτών. Με εκτιμήσεις του Δανικού Ινστιτούτου

Γεωργικών Ερευνών (Danish Institute of Agricultural Sciences), η εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων ως εδαφοβελτιωτικό σε ένα εκτάριο αγρωστωδών εξασφαλίζει κέρδος 20 € από την εξοικονόμηση 34 κιλών αζωτούχου λιπάσματος. Μία μικρή μονάδα βιοαερίου παράγει ποσότητα υγρού ή στερεού βιολογικού λιπάσματος (σαν δωρεάν παραπροϊόν), αρκετή ώστε να καλύψει την οργανική λίπανση 5.000 – 10.000 στρεμμάτων, η οποία μπορεί να δοθεί δωρεάν στους αγρότες. Είναι γνωστό ότι τα εδάφη στην Ελλάδα, μετά από την αλόγιστη χρήση επί σειρά ετών, χημικών λιπασμάτων έχουν σοβαρό πρόβλημα λίπανσης. Επίσης σημαντικό είναι ότι με την χρήση του λιπάσματος από την μονάδα βιοαερίου, το κόστος λίπανσης για τον μέσο Έλληνα αγρότη, μειώνεται κατά 40%.

- **Δημιουργία παράπλευρων επιχειρήσεων:** Οι μονάδες βιοαερίου, εξαιτίας της φθηνής θερμότητας και του δωρεάν οργανικού λιπάσματος που παράγουν, μπορούν να αποτελέσουν την βάση για την ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα στην Ελλάδα. Η εμπειρία του εξωτερικού έχει δείξει ότι σε περιοχή που λειτουργεί μια μονάδα βιοαερίου, αυξάνεται η κτηνοτροφική δραστηριότητα, επειδή ο κτηνοτρόφος έχει λύσει από την αρχή, και μάλιστα δωρεάν, το μεγάλο πρόβλημα της εναπόθεσης των αποβλήτων της μονάδας του.
- **Θερμοκήπια:** Μια άλλη σημαντική παράμετρος της λειτουργίας των μονάδων βιοαερίου είναι η ανάπτυξη θερμοκηπίων στην ευρύτερη περιοχή. Όπως είναι γνωστό, το μεγαλύτερο κόστος ενός θερμοκηπίου είναι η θερμότητα και το λίπασμα. Και τα δύο παράγονται σε μεγάλες ποσότητες από την μονάδα βιοαερίου. Με τον τρόπο αυτό τα ελληνικά προϊόντα θερμοκηπίου μπορούν να γίνουν πιο ανταγωνιστικά.
- **Ελαιοτριβεία:** Είναι γνωστό το μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλάδος της επεξεργασίας ελαιόλαδου με την διαχείριση του κασιόγαρου, (το απόβλητο από την επεξεργασία της ελιάς.) Οι τεχνολογία των μονάδων βιοαερίου, αποτελεί την μοναδική δοκιμασμένη λύση, η οποία μετατρέπει το συγκεκριμένο απόβλητο σε ρεύμα, θερμότητα, και λίπασμα, προσφέροντας μοναδική λύση στο αιώνιο πρόβλημα των ελαιοτριβείων.

**3. Για το κράτος, τις υποδομές:** Έχει σαν έμμεση συνέπεια την αποφυγή προστίμων από το κράτος προς τους κτηνοτρόφους αλλά και από την Ευρωπαϊκή Ένωση προς το κράτος, εξασφαλίζοντας την περαιτέρω άδεια λειτουργίας τους

- **Τεράστια κοινωνικά και οικονομικά οφέλη,** εφόσον είναι η μόνη επένδυση ΑΠΕ η οποία επιδρά άμεσα στην μικροοικονομία της περιοχής εγκατάστασης της μονάδας.
- **Απασχόληση εργατικού δυναμικού:** Μια επένδυση βιοαερίου, εκτός από το μόνιμο προσωπικό, το οποίο είναι συνήθως 20-25 άτομα μέσης και ανώτερης μόρφωσης (ειδικευμένοι επιστήμονες όπως βιολόγοι, μηχανολόγοι κλπ), δημιουργεί μόνιμες θέσεις εργασίας προερχόμενες από τον τόπο εγκατάστασης, και επιστρέφει χρήματα στην τοπική κοινωνία μέσω της αγοράς των ενεργειακών καλλιεργειών από ντόπιους παραγωγούς.
- Το 65% περίπου του κόστους κατασκευής γίνεται από ελληνικές τεχνικές εταιρείες. Άρα η επένδυση επιστρέφει κατά το μεγαλύτερο μέρος στην χώρα.
- Οι μονάδες βιοαερίου, παράγουν 8.000 ώρες το χρόνο ηλεκτρικό ρεύμα, αποτελώντας έτσι μονάδες βάσης σταθεροποίησης του ηλεκτρικού δικτύου, όπου τόσο έχει ανάγκη το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας.

#### **4.Για το περιβάλλον:**

- Καθαρίζει κυριολεκτικά ολόκληρες περιοχές από ότι οργανικό απόβλητο παράγεται.
- Αναβαθμίζει άμεσα την ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων.
- Εξοικονόμηση CO<sub>2</sub> με τεράστιο περιβαλλοντικό όφελος: Εκτός από την παραγωγή ρεύματος από ΑΠΕ, πλήθος οργανικών αποβλήτων (κοπριές ζώων, τυρόγαλα, κατσίγαρος, υπολείμματα αγροτικών και βιομηχανικών επεξεργασιών), θα μετατραπούν σε χρήσιμες πρώτες ύλες αυξάνοντας την περιβαλλοντική συνεισφορά της πιο πάνω τεχνολογίας.
- Συνεισφέρει στη μείωση των παθογόνων οργανισμών (προερχόμενων από οργανικά υποπροϊόντα), καθώς και στη μείωση των οσμών και της οπτικής ρύπανσης που προκαλούν. Δυστυχώς, απουσία επιστημονικών μελετών, δεν είναι γνωστό στην Ελλάδα, πόσο πολύ επιβαρύνεται η υγεία των κατοίκων της επαρχίας, εξαιτίας της μη διάθεσης των οργανικών υποπροϊόντων/αποβλήτων.
- Μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του πρωτοκόλλου του Κιότο για τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για κάθε τόνο επεξεργασμένων αποβλήτων εξοικονομούνται 0,090 τόνοι ισοδυνάμου CO<sub>2</sub> (RISO, 2005).
- Μείωση των οργανικών αποβλήτων και της ρύπανσης που αυτά προκαλούν: Η χρήση των οργανικών αποβλήτων ως πρώτες ύλες στην μονάδα βιοαερίου συμβάλει στην μείωση ποσοτήτων αποβλήτων πτηνοτροφείων, βουστασιών και χοιροτροφείων της ευρύτερης περιοχής, τα οποία σε συνήθεις διαδικασίες διατίθενται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον, συμβάλλοντας στην αύξηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
- Μείωση οσμών και οπτικής ρύπανσης: Με την αναερόβια χώνευση μειώνονται δραστικά οι οσμές των κτηνοτροφικών αποβλήτων έως και κατά 80%. Ενώσεις που χαρακτηρίζονται από δυσάρεστες οσμές, όπως τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι μερκαπτάνες διασπώνται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από αναερόβια βακτήρια (Era, 2005).

## 5.8 ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην δεκαετία του '80, στην Ελλάδα υλοποιήθηκε μία σειρά έργων για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου με πρώτη ύλη κυρίως κτηνοτροφικά απόβλητα και απόβλητα από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, όπως απόβλητα ελαιοτριβείων. Κάποια από αυτά ήταν επιδεικτικά έργα τα οποία, μετά τον αρχικό ενθουσιασμό και την εξασφάλιση επιστημονικής υποστήριξης σταμάτησαν την λειτουργία τους. Στις μέρες μας, η εκμετάλλευση του βιοαερίου αποτελεί μια γνωστή τεχνολογία στις περιπτώσεις των ΧΥΤΑ και των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Παρόλα αυτά, υπάρχει ακόμη έλλειψη γνώσης και πληροφόρησης όχι μόνο των αγροτών αλλά και των βιομηχανιών και του ευρύτερου κοινού γενικότερα, σχετικά με τις δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων, της τελικής τους χρήσης (π.χ. παραγωγή ηλεκτρισμού, κάλυψη θερμικών αναγκών, έγχυση στο δίκτυο του φυσικού αερίου, χρήση ως καύσιμο στις μεταφορές) και των πλεονεκτημάτων τους.

Γενικά, η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) χρησιμοποιείται ως μία μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων και δε συνοδεύεται από την παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας (τουλάχιστον όχι σε ευρεία κλίματα μέχρι στιγμής). Αυτό που γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις είναι η διάθεση των αποβλήτων μετά από κάποια επεξεργασία, αντί της υιοθέτησης μιας γνωστής και ολοκληρωμένης τεχνολογίας - όπως είναι η αναερόβια χώνευση - για την παράλληλη παραγωγή βιοαερίου και τη χρήση του υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό. Επιπρόσθετα, η διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων δεν έχει δημιουργήσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα έως τώρα, σε σύγκριση με τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Στις περισσότερες δε των περιπτώσεων, η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» δεν εφαρμόζεται επαρκώς, αν και η ελληνική περιβαλλοντική νομοθεσία είναι αυστηρή.

Το 2006 οι ΑΠΕ συνεισέφεραν 1,8 ΜΤΠΠ της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης. Η βιομάζα συνεισέφερε το 56% αυτού καλύπτοντας κυρίως θερμικές ανάγκες<sup>5</sup>. Το βιοαέριο που παρήχθη από ΕΕΛ, ΧΥΤΑ και λίγες βιομηχανικές εφαρμογές συνεισέφερε 36 χιλιάδες ΤΠΠ, κυρίως λόγω της ηλεκτροπαραγωγής. Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων βιοαερίου ανήλθε σε 24MW, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ ήταν 3.894 MW. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο ανήλθε σε 92 GWh (1,1% στο σύνολο της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ). Το έτος 2007 στην Ελλάδα λειτουργούσαν δεκαπέντε μονάδες βιοαερίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η εκμετάλλευση του βιοαερίου καλύπτει τις θερμικές ανάγκες των μονάδων. Παρόλα αυτά, η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο ανήλθε σε 37,4 MW και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε 155,9 GWh<sup>8</sup>. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας παρήχθη στην Αθήνα, λόγω της λειτουργίας μονάδων βιοαερίου στην ΕΕΛ της Ψυτάλλειας και στον ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων, χώροι οι οποίοι επεξεργάζονται υγρά και στερεά απόβλητα αντίστοιχα.

Η κύρια αγορά βιοαερίου στην Ελλάδα αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή (από ΧΥΤΑ και Βιολογικούς Καθαρισμούς) ενώ η κάλυψη θερμικών αναγκών είναι περιορισμένη (γίνεται μόνο για εσωτερική χρήση στις μονάδες ΑΧ). Σήμερα υπάρχει μία αρκετά ώριμη ενεργειακή αγορά στην Ελλάδα σχετικά με το βιοαέριο. Παρόλα αυτά χρειάζεται η περαιτέρω ενδυνάμωση της εγχώριας ενεργειακής βιομηχανίας, με στόχο να προωθηθεί περαιτέρω η ανάπτυξη έργων βιοαερίου και να μειωθούν τα κόστη επένδυσης.



➤ Σχήμα 5.5: Μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα (σε λειτουργία το έτος 2007).

## 5.9 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Στην Ελλάδα, στις περισσότερες των περιπτώσεων, υπεύθυνοι για τη συλλογή, επεξεργασία και τελική διάθεση των υγρών και στερεών οικιακών αποβλήτων και τη χάραξη πολιτικής είναι η Τοπική Αυτοδιοίκηση και Περιφερειακοί-Εθνικοί Φορείς αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις αυτές η διαθεσιμότητα των αποβλήτων είναι σταθερή και δεδομένη (με εξαίρεση εποχιακές διακυμάνσεις λόγω του τουρισμού). Αντίθετα, τα γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα αποτελούν ιδιαίτερο ζήτημα, λόγω του υψηλού δυναμικού τους αλλά και της χωρικής τους διασποράς σε ολόκληρη την χώρα. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει έλλειψη γνώσης για το δυναμικό των αποβλήτων και της εναλλακτικής δυνατότητας εκμετάλλευσης του βιοαερίου. Για τη βιολογική διαδικασία και την παραγωγή βιοαερίου, παράμετροι όπως η σταθερή διαθεσιμότητα των αποβλήτων και η σύνθεσή τους είναι σημαντικοί. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, η εποχιακή παραγωγή αποβλήτων (π.χ. απόβλητα χυμοποιείων, ελαιοτριβείων κ.λπ.) αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή υλοποίηση ενός έργου βιοαερίου.

Αν και σε επίπεδο χώρας υπάρχει σημαντικό δυναμικό οργανικών αποβλήτων, ειδικότερα ζωικά απόβλητα, δεν λειτουργούν πολλές μικρές μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος (farm-scale plants). Αξίζει να σημειωθεί ότι λαμβάνοντας υπόψη μόνο τους εκτρεφόμενους πληθυσμούς ζώων στην Ελλάδα (βοοειδή και χοίρους) και βασιζόμενοι σε διαφορετικές παραδοχές, αρκετοί συγγραφείς έχουν εκτιμήσει ότι η θεωρητική παραγωγή ζωικών αποβλήτων σε ετήσια βάση ανέρχεται σε 10-17 εκατομμύρια τόνους.

## 5.10 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα αντιμετωπίζει τα τελευταία χρόνια σημαντικές αλλαγές λόγω των Ευρωπαϊκών και Εθνικών πολιτικών σε ό,τι αφορά στην ενέργεια και το περιβάλλον (π.χ. πλήρης απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, προστασία του περιβάλλοντος). Η επίδραση και τα αποτελέσματα των πολιτικών αυτών δεν είναι ακόμη ορατά, ειδικότερα σε μεσο-μακροπρόθεσμο ορίζοντα (π.χ. τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενεργειακό μείγμα). Ο λιγνίτης, η κύρια εγχώρια ενεργειακή πηγή της χώρας διαφαίνεται ότι θα συνεχίσει να παίζει κυρίαρχο ρόλο στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας και για τα επόμενα χρόνια, αλλά η περαιτέρω διεξόδωση των ΑΠΕ παραμένει επιτακτική. Η προώθηση των ΑΠΕ στην Ελλάδα βασίζεται όχι μόνο στο σημαντικό της δυναμικό αλλά και στις προτεραιότητες της πολιτείας για ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ και μείωση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αν και ακόμη και σήμερα ο κρατικός παρεμβατισμός στα θέματα της οικονομίας είναι σημαντικός, η πολιτική για το μέλλον είναι η μείωση του ρόλου του κράτους και η ανάπτυξη υποστηρικτικών μηχανισμών από την ίδια την αγορά.

Η υλοποίηση έργων βιοαερίου απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, καθώς και να ληφθούν υπόψη όλοι οι τεχνολογικοί, κοινωνικοί (ενημέρωση εμπλεκόμενων), περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες. Μερικές φορές είναι δύσκολο να αναπτυχθούν κάποια έργα λόγω της ιδιομορφίας των περιοχών και της διαθεσιμότητας της πρώτης ύλης. Στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων τα μη τεχνολογικά εμπόδια αναφέρονται ως τα πιο σημαντικά για την υλοποίηση έργων βιοαερίου.

Αν και η κοινωνική πίεση, οι οικονομικές συνθήκες και η νομοθεσία έχουν βελτιώσει το πλαίσιο για την παραγωγή βιοαερίου, υπάρχουν ακόμη εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν στην Ελλάδα, ειδικότερα σε ό,τι αφορά στην υλοποίηση μονάδων μικρής κλίμακας. Τα κύρια εμπόδια σχετίζονται με την κοινωνική στάση, ενημέρωση και εμπειρία (κυρίως σε έργα αγροτικά και βιομηχανικά), την απουσία αγοράς θερμικής ενέργειας, το υψηλό κόστος επένδυσης, τα χρηματοοικονομικά μεγέθη και τα κέρδη, καθώς και την αδειοδοτική διαδικασία. Ο Νόμος 3468/2006, που είναι προσανατολισμένος στην προώθηση των ΑΠΕ, θέτει ένα νέο περιβάλλον στην ηλεκτροπαραγωγή και μεταξύ άλλων, απλοποιεί την αδειοδοτική διαδικασία των έργων, αυξάνει την εγγυημένη τιμή (με το νέο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και συμπαραγωγή η τιμή για το βιοαέριο τέθηκε στα 73€/MWh για το έτος 2006 και 75,82€/MWh για το 2007) ενώ μειώνεται ο συνολικός χρόνος αδειοδότησης.

## 6 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΒΟΥΣΤΑΣΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στην Ελλάδα, η βοοτροφία αποτελεί δευτερογενή κλάδο της κτηνοτροφίας, ο οποίος εμφανίζεται υποβαθμισμένος και με πολλά προβλήματα. Τα τελευταία έτη παρατηρείται μείωση του αριθμού των γαλακτοπαραγωγικών αγελάδων, καθώς και του παραγόμενου γάλακτος. Παρόλα αυτά, σε πολλές περιοχές της χώρας μας, όπως στους νομούς Θεσσαλονίκης, Δράμας και Σερρών, λειτουργεί μεγάλος αριθμός βουστασιών γαλακτοπαραγωγής με αποτέλεσμα να προκαλεί σημαντική υποβάθμιση του γύρω περιβάλλοντος. Οι μονάδες βουστασιών γαλακτοπαραγωγής, συγκρινόμενες με μονάδες της γεωργικής βιομηχανίας, είναι σε γενικές γραμμές περιορισμένου μεγέθους και όγκου παραγωγής. Παρόλα αυτά, η απευθείας διάθεση των αποβλήτων τους στο περιβάλλον και ειδικότερα στους υδάτινους αποδέκτες, προκαλεί σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών. Σύμφωνα με νέες διατάξεις που διέπουν τη λειτουργία των κτηνοτροφικών μονάδων και τη διάθεση των αποβλήτων τους, αυτά θα πρέπει να έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αποκτήσουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά πριν τη διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες.

Τα βουστάσια διακρίνονται σε βουστάσια γαλακτοπαραγωγής και σε βουστάσια πάχυνσης μόσχων. Τα βουστάσια γαλακτοπαραγωγής, που έχουν βασικό στόχο την παραγωγή γάλακτος και κατά δεύτερο λόγο την παραγωγή μόσχων πάχυνσης, αποτελούνται συνήθως από στεγασμένους χώρους, (στάβλοι, χώροι άμελξης και διατήρησης γάλακτος, απομονωτήριο ασθενών ζώων κλπ.), προαύλια ζώων, κοπροσωρούς, δεξαμενές αποβλήτων και αποθήκες ζωοτροφών. Τα βουστάσια πάχυνσης μόσχων αποτελούνται συνήθως από στεγασμένους χώρους και προαύλια, αποθήκες ζωοτροφών, κοπροσωρούς και δεξαμενές αποβλήτων. Στα βουστάσια γαλακτοπαραγωγής, από τα οποία προέρχονται και τα υγρά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, τα απόβλητα διακρίνονται σε στερεής-ημιστερεής μορφής, ανάλογα με την εποχή και τη χρήση ή μη στρωμένης αχύρου και σε υγρής μορφής σε αναλογία 2 προς 1 περίπου. Όσον αφορά τα απόβλητα που παράγονται σε στεγασμένους χώρους, τα απόβλητα στερεής – ημιστερεής μορφής απομακρύνονται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων, ενώ τα υγρά συγκεντρώνονται με φυσική ροή σε κεντρική δεξαμενή συλλογής. Όσον αφορά τα απόβλητα που παράγονται στα προαύλια, τα στερεά συλλέγονται κατά διαστήματα με ελκυστήρα εφοδιασμένο με προωθητήρα, ενώ τα υγρά απορροφούνται και δεν υπάρχει απορροή παρά μόνο σε περιόδους εντόνων βροχοπτώσεων.

Τα στερεά – ημιστερεά απόβλητα μπορούν να κρατηθούν χωριστά από τα υγρά, συγκεντρούμενα σε καλά στραγγιζόμενους κοπροσωρούς ή να αναμιχθούν με τα υγρά στην κεντρική δεξαμενή συλλογής. Σε ορισμένες μονάδες βουστασιών γαλακτοπαραγωγής ιδιαίτερα σε μονάδες παλαιού τύπου, περιορισμένου σταβλισμού, εφαρμόζεται το σύστημα των αποχετευτικών καναλιών. Κατά το σύστημα αυτό, όταν τα ζώα βρίσκονται μέσα στο στάβλο, είναι συνεχώς προσδεδεμένα σε ατομικές θέσεις. Σε μια τέτοια περίπτωση, τα απόβλητα είναι μεταξύ ημιστερεής και ημιυγρής μορφής, ανάλογα με το νερό και τα υγρά που διατηρούνται μέσα στα αποχετευτικά κανάλια.

Τα απόβλητα των βουστασιών είναι πυκνά απόβλητα, μικρού σχετικά όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου, συγκρινόμενα με τα υγρά απόβλητα των γεωργικών βιομηχανιών και τα αστικά λύματα. Εν τούτοις, είναι μικρότερου οργανικού φορτίου και μεγαλύτερου όγκου από τα διάφορα υποπροϊόντα των γεωργικών βιομηχανιών, όπως είναι το τυρόγαλα των τυροκομείων και τα λιοζούμια των ελαιοτριβείων.

Είναι απόβλητα οργανικής προέλευσης, αφού το 80% περίπου των ολικών στερεών τους είναι πτητικά στερεά. Τα απόβλητα των βουστασιών προκύπτουν από τα προαύλια άσκησης των αγελάδων, τα στέγαστρα ανάπαυσης και το αμελκτήριο και περιέχουν, εκτός από το νερό, τις κοπριές, τα ούρα των ζώων και τα υπολείμματα ζωοτροφών που αναμιγνύονται με τα απόβλητα.

Τα απόβλητα των βουστασιών γαλακτοπαραγωγής είναι ημιστερεής (παχύρρευστης) μορφής απόβλητα με μέση περιεκτικότητα σε ολικά στερεά 12% και σε πτητικά στερεά (οργανική ύλη) 10%, (AD-NET, 2000, Burton et al, 2003). Στη χώρα μας, εφαρμόζεται το σύστημα του ελεύθερου σταυλισμού κατά το οποίο τα ζώα κυκλοφορούν ελεύθερα σε ένα περιφραγμένο υπαίθριο χωμάτινο ή μερικώς τσιμεντοστρωμένο προαύλιο. Εκτιμάται ότι μέχρι και το 50% των αποβλήτων παράγονται στους στεγασμένους χώρους ενώ το υπόλοιπο στους υπαίθριους χώρους. Από αυτά, το 69,22% είναι κοπριές (ημιστερεά απόβλητα) και το 30,78% ούρα. Στα απόβλητα αυτά θα πρέπει να προστεθούν και τα νερά πλυσίματος των εγκαταστάσεων και κυρίως του αμελκτηρίου και των δαπέδων γύρω από αυτό, τα οποία εκτιμάται ότι φτάνουν τα 0,016 m<sup>3</sup> /αγελάδα με 1,5 % ΟΣ. (Δ. Γεωργακάκης, 1998). Τέλος, θα πρέπει να υπολογισθεί και η περιοδική αύξηση των αποβλήτων η οποία παρατηρείται κατά τις βροχερές περιόδους του έτους και η οποία οφείλεται στην ανάμειξη των αποβλήτων με τα νερά της βροχής στα υπαίθρια προαύλια ασκήσεως των ζώων.

Η σύσταση, των αποβλήτων αυτών ποικίλλει ανάλογα με τη διατροφή, την ηλικία, καθώς επίσης και με τη χώρα προέλευσης και το κλίμα. Μια ενδεικτική σύσταση φαίνεται στον Πίνακα 6.

- Πίνακας 6 : Χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων αποβλήτων γαλακτοπαραγωγικών αγελάδων σε kg/1000 kg ζωντανού βάρους – ημέρα (AD-NET, 2000).

NH <sub>3</sub> -N	Pολ	K	BOD <sub>5</sub>	COD	TKN
0,079	0,094	0,29	1,6	11	0,45

Τα υγρά απόβλητα των βουστασιών χαρακτηρίζονται από μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων (καθιζήσιμων – επιπλέοντων) στερεών που εκδηλώνεται με το σχηματισμό ιζήματος στον πυθμένα και κρούστας στην επιφάνεια των δεξαμενών συλλογής και αποθήκευσής τους. Εκτός από το νερό, τα συστατικά των αποβλήτων διακρίνονται σε διαλυτά και αδιάλυτα στερεά. Στα διαλυτά στερεά συστατικά κατατάσσονται τα διάφορα άλατα (Ca, Mg, Cl), θρεπτικά στοιχεία (N,P,K) και ιχνοστοιχεία (Zn, Cu, Fe), τα οποία μπορεί να εκφραστούν συνολικά με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ή με τα ολικά διαλυμένα στερεά. Στα αδιάλυτα στερεά συστατικά υπάγονται χονδρόκοκκα σωματίδια, όπως τρίχες ή υπολείμματα ζωοτροφών, καθώς επίσης και συσσωματώματα κολλοειδών ουσιών, μικροοργανισμών κλπ.



## 6.1 ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η ένταση της βιομηχανικής παραγωγής τροφίμων ως ανάγκη της αύξηση του πληθυσμού της γης και η ταυτόχρονη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από τη γενικότερη παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη έχουν δημιουργήσει προβλήματα απόρριψης και διάθεσης των οργανικών-γεωργικών αποβλήτων στο περιβάλλον, καθώς έντονη ανάγκη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από τις αρχές του 1980 η σχέση μεταξύ της ενεργειακής χρήσης και περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχει τραβήξει το παγκόσμιο ενδιαφέρον και ένας μεγάλος αριθμός διεθνών δράσεων έχει επικεντρωθεί προς αυτήν την κατεύθυνση.

Τα τυροκομεία παράγουν απόβλητα των οποίων το τυρόγαλο (cheese whey) είναι το κύριο απόβλητο με υψηλό οργανικό φορτίο (μέχρι και 70 g COD/L) το οποίο ωστόσο είναι βιοαποικοδομήσιμο, πλούσιο σε πρωτεΐνη, λακτόζη, άλατα, κλπ. Γι' αυτό το λόγο η χρήση ή η διάθεση του είναι σημαντική. Αν διατεθεί ακατέργαστο σε υδροφόρους ορίζοντες μπορεί να προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (φαινόμενα υπερτροφισμού, εξάντληση οξυγόνου σε λίμνες, ποτάμια, εξόντωση της υδρόβιας ζωής). Επίσης διαθέτει σημαντική φυτοξικότητα (μείωση της σοδειάς αν χρησιμοποιηθεί ως υγρό λίπασμα), ενώ αλλοιώνει και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Ωστόσο, το τυρόγαλο μπορεί να επεξεργασθεί και να αξιοποιηθεί κατάλληλα, ώστε να μειωθούν αφενός τα προβλήματα αποικοδόμησης του αποβλήτου (σε βιολογικούς καθαρισμούς) και διάθεσης στο περιβάλλον, και αφετέρου να παραχθούν αρκετά προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας που μπορούν να αποβούν εις όφελος των γαλακτοπαραγωγικών μονάδων. Τα κύρια αυτά προϊόντα είναι τα εξής:

- Πρωτεΐνη ορού γάλακτος (τυρογάλακτος), έπειτα από θέρμανση (μετουσίωση-καθίζηση πρωτεΐνης, μαζί με ελάχιστο λίπος και άλατα).
- Καθαρή πρωτεΐνη τυρογάλακτος έπειτα από υπερδιήθηση.
- Γαλακτικό οξύ ως προϊόν ζύμωσης τους τυρογάλακτος.
- Μονοκυτταρική πρωτεΐνη (μικροβιακή βιομάζα) ως προϊόν ζύμωσης τους τυρογάλακτος.
- Αιθανόλη ως προϊόν ζύμωσης τους τυρογάλακτος.
- Αρκετά ακόμη προϊόντα μικροβιακής ζύμωσης του τυρογάλακτος.

Σήμερα σε βιομηχανική κλίμακα το πλήρες τυρόγαλο χρησιμοποιείται για την παραγωγή τυριών τυρογάλακτος όπως μυζήθρα, ανθότυρο, μανούρι, τυρί τύπου cottage/Philadelphia, κλπ, ή για παραγωγή όρο πρωτεΐνης έπειτα από υπερδιήθηση, η οποία χρησιμοποιείται ως πρόσθετο σε διάφορα τρόφιμα (ικανότητα γαλακτωματοποίησης - σταθεροποίησης γαλακτωμάτων, αύξησης συγκράτησης νερού σε γαλακτώματα - διαλύματα, αύξηση συγκέντρωσης σε πρωτεΐνη, κλπ). Επίσης, το πλήρες υγρό τυρόγαλο ή έπειτα από ξήρανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή (κυρίως σε χοίρους). Στη χειρίστη περίπτωση, απορρίπτεται ως έχει παράνομα σε υδροφόρους ορίζοντες.

Το αποπρωτεϊνωμένο τυρόγαλα ή απόγαλα (μετά και την απομάκρυνση-αξιοποίηση των οροπρωτεϊνών του) είναι το κύριο απόβλητο που παραμένει συνήθως αδιάθετο, και εξακολουθεί να περιέχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σακχάρων, και κυρίως λακτόζης που περιέχει (~ 4,7-5,0 %) . Αυτό το σάκχαρο, μαζί με άλατα και χαμηλού μοριακού βάρους αζωτούχες ενώσεις που μπορεί να περιέχει το αποπρωτεϊνωμένο τυρόγαλο (πρωτεόζες-πεπτόνες-αμινοξέα) είναι ένα αρκετά καλό υπόστρωμα ζύμωσης για μικροοργανισμούς που μπορούν να μεταβολίσουν τη λακτόζη και να παράγουν με βιοτεχνολογικό τρόπο ουσίες υψηλής προστιθέμενης αξίας, μειώνοντας παράλληλα σημαντικά το COD-BOD του απομένοντος υγρού αποβλήτου μετά το τέλος της ζύμωσης. Το ζυμωμένο από κατάλληλους μικροοργανισμούς απόγαλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή γαλακτικού οξέος που χρησιμοποιείται σε τρόφιμα ως μέσο οξίνισης, αλλά και σε πλήθος εφαρμογών στη χημική βιομηχανία και τη φαρμακευτική, ενώ η μικροβιακή βιομάζα έπειτα από αποστείρωση-ξήρανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διατροφικό συμπλήρωμα για ζωοτροφές ή ανθρώπινη διατροφή.

Τα τελευταία είκοσι χρόνια, με την προτροπή και την οικονομική ενίσχυση της Ευρωπαϊκής Ένωσης πραγματοποιούνται συνεχώς ερευνητικές προσπάθειες, για την εύρεση τεχνολογικά και οικονομικά εφικτών μεθόδων επεξεργασίας αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων. Οι βιομηχανίες παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων θεωρούνται μεταξύ των βιομηχανιών που επεξεργάζονται τρόφιμα ως η κυριότερη πηγή παραγωγής αποβλήτων, σε πολλές χώρες του κόσμου. Συνήθως η επεξεργασία των αποβλήτων εκλαμβάνεται ως αναγκαίο κακό από τις τυροκομικές μονάδες με αποτέλεσμα η διάθεσή τους να οδηγεί σε ένα από τρία κύρια προβλήματα:

**α)** στην επιβολή υψηλών προστίμων από τις τοπικές αρχές στις τυροκομικές μονάδες.

**β)** στη ρύπανση όταν διατίθενται στο περιβάλλον ανεπεξέργαστα ή χρησιμοποιούνται απευθείας για άρδευση.

**γ)** σε προβλήματα διάθεσης των στερεών αποβλήτων όταν οι μονάδες έχουν σε λειτουργία βιολογικό καθαρισμό ,(Alturkmani, 2007).

Η επίγνωση των προβλημάτων διάθεσης και του πόσο σημαντικό είναι να γίνεται επεξεργασία των συγκεκριμένων αποβλήτων, συνεχώς αυξάνεται. Αν και έχουν αναφερθεί πολλές επιλογές για την αξιοποίηση του τυρόγαλου τα τελευταία χρόνια, περίπου η μισή από την παγκόσμια παραγωγή παραμένει ανεπεξέργαστη και μετασχηματίζεται σε διάφορα προϊόντα τροφίμων, από τα οποία στην Ευρωπαϊκή Ένωση περίπου το 45% έχει αναφερθεί ότι χρησιμοποιείται απευθείας στην υγρή μορφή, το 30% σε μορφή σκόνης τυρόγαλου, το 15% σε παραπροϊόντα με λακτόζη ή ελεύθερα λακτόζης και το υπόλοιπο σε πρωτεΐνες που περιέχουν τυρόγαλο (Marwaha & Kennedy, 1988).

Το τυρόγαλα που απορρίπτεται ως υγρό απόβλητο είναι αυτό που προκαλεί τα βασικά περιβαλλοντικά προβλήματα, κυρίως λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε οργανική ύλη.

## 6.2 ΑΝΑΜΙΞΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ & ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα απόβλητα βουστασίου και τυροκομείου αποτελούν σπουδαία υποστρώματα για την παραγωγή εναλλακτικής ενέργειας. Παρόλο που θεωρούνται απόβλητα και θέτεται προβληματισμός γύρω από την αξιοποίηση τους, ώστε να δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα, ταυτόχρονα θεωρούνται μεγάλης σημασίας πρώτης ύλης για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Στην αναερόβια χώνευση μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά διαφορετικά είδη αποβλήτων όπως κτηνοτροφικά, γεωργικά, βιομηχανίας τροφίμων, καθώς και αστικά οδηγώντας στη παραγωγή βιοαερίου με μεγάλη απόδοση. Ωστόσο, είναι συνήθως πλέον διαφορετικής προέλευσης απόβλητα να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό ως πρώτη ύλη σε αναερόβιους αντιδραστήρες, καθώς με αυτό το τρόπο αυξάνεται η απόδοση τους και διατηρείται η ισορροπία στο σύστημα. Η αναερόβια *συν-χώνευση* (anaerobic co-digestion), όπως μπορεί να χαρακτηριστεί, έχει αποδειχτεί πιο επωφελής στη παραγωγή βιοαερίου από τη χρήση κάθε είδους αποβλήτου ξεχωριστά (Sakar et al. 2009).

Μετά την ανάμιξη των διαφορετικών ειδών αποβλήτων υγρών και στερεών ακολουθεί φιλτράρισμα του μίγματος έτσι ώστε να απομακρυνθούν στερεά κλάσματα. Ο διαχωρισμός της κοπριάς από τα υγρά απόβλητα μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν ή μετά την αναερόβια χώνευση. Στην Ευρώπη μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιείται, ο μηχανικός διαχωρισμός των αποβλήτων μετά από αναερόβια χώνευση. Το κύριο πλεονέκτημα του διαχωρισμού πριν, είναι η αφαίρεση συσσωματωμάτων αλλά και ινών, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν απόφραξη στο χωνευτήρα (Wen et al. 2007). Επιπλέον, τα ινώδη υλικά εμποδίζουν την άντληση και την ανάμιξη. Ωστόσο, περίπου η μισή ποσότητα των πτητικών στερεών παραμένει στο στερεό κλάσμα, μειώνοντας έτσι το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας (Moller et al. 2002). Το στερεό υπόλειμμα που παραμένει είναι δύσκολο έως αδύνατο να βιοαποικοδομηθεί και για αυτό δεν χρησιμοποιείται στην αναερόβια χώνευση αλλά μπορεί να μετατραπεί σε κομπόστ (Holm – Nielsen et al. 2009).

Σε περίπτωση που χρειάζεται μεταφορά των αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου, ο διαχωρισμός αυτός στη πηγή συνεπάγεται μικρότερο όγκο αποβλήτων, άρα και μικρότερο κόστος. Το διαχωρισμένο υγρό έχει πολύ λιγότερα αιωρούμενα στερεά και υποβάλλεται ευκολότερα σε αναερόβια επεξεργασία, καθώς απαιτεί πιο **απλό αντιδραστήρα, χαμηλότερη θερμοκρασία και μικρότερο υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΠΥΧΠ)** σε σχέση με τα απόβλητα που δεν έχουν περάσει από μηχανικό διαχωρισμό (Liao et al 1984).

Τα απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων, όπως τα τυροκομικά έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και συνήθως χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις βιοαποικοδομήσιμων στοιχείων, όπως είναι οι σακχαρίτες, τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες. Τα απόβλητα βουστασίου (κοπριά) έχουν χαμηλή συγκέντρωση ολικών στερεών και συχνά περιέχονται σε αυτό υπολείμματα και ίνες άχυρου. Λόγω της περιεκτικότητας σε κυτταρίνη, οι ίνες αυτές είναι πολύ ανθεκτικές στη βιοδιάσπαση και εξέρχονται από τον αντιδραστήρα άθικτες. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό και ίνες κοπριάς οδηγεί σε χαμηλή απόδοση παραγωγής μεθανίου. Παρόλα αυτά, η κοπριά είναι εξαιρετικό υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση σε συνδυασμό με τα βιομηχανικά οργανικά απόβλητα, τα οποία μόνα τους θα ήταν δύσκολο να επεξεργαστούν.

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε προερχόταν από υγρά μηχανικού διαχωριστή απόβλητα βουστασίου και τυρόγαλα. Το pH των αποβλήτων βουστασίου κυμαίνεται με εύρος (6,8-7,30), είναι δηλαδή ουδέτερο έως μέτρια αλκαλικό. Τα απόβλητα βουστασίου εμφανίζουν υψηλή ρυθμιστική ικανότητα που προστατεύει το σύστημα από μια πιθανή αστοχία λόγω πτώση του pH ή αύξησης της περιεκτικότητας σε πτητικά λιπαρά οξέα, ενώ είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την άριστη ανάπτυξη των βακτηριών. Από την άλλη το τυρόγαλα παρουσιάζει ένα εύρος στις τιμές του pH από (4,5-4,94). Παρουσιάζει ρυθμό βιοδιάσπασης κοντά στο 99%, σε σχέση με την πρώτη ύλη του βουστασίου. Αυτό οφείλεται στη παρουσία υδατανθράκων που περιέχονται στο τυρόγαλα. Ωστόσο η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες ευνοεί την ανάπτυξη των οξεοτρόφων βακτηριών και επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξη των μεθανοβακτηριών. Συγκεκριμένα, η λακτόζη που αποτελεί κύριο συστατικό του τυρογάλακτος διασπάται γρήγορα σε λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (οξικό, προπιονικό, βουτυρικό κ.α.) και καθώς το τυρόγαλα παρουσιάζει μικρή ρυθμιστική ικανότητα, το pH μειώνεται σε μεγάλο βαθμό αναστέλλοντας τη δράση των μεθανοβακτηριών, μειώνοντας την παραγωγή βιοαερίου και υο ποσοστό του σε μεθάνιο (Jasko 2012).

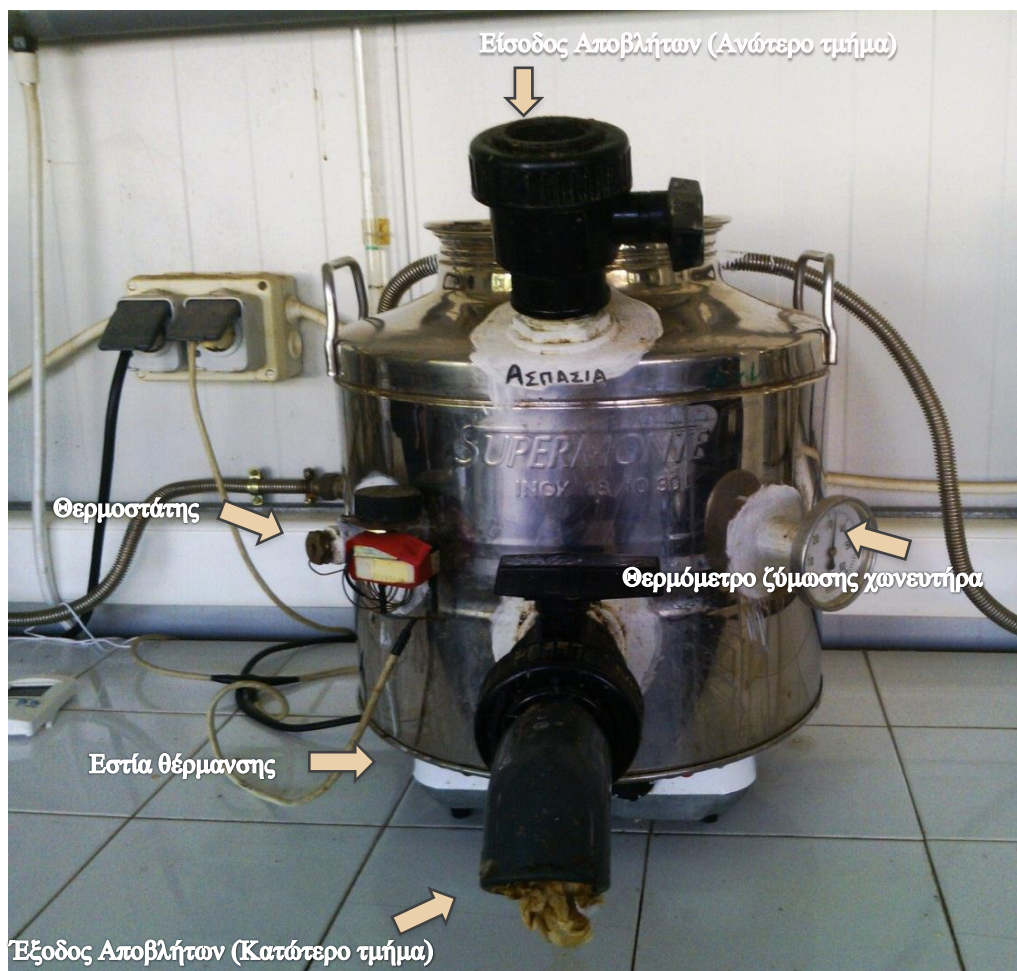


➤ Εικόνα 6 : Απόβλητα τυροκομείου, (<http://www.b2green.gr/>).

## Β. «ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ»

### 7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η πειραματική διαδικασία παραγωγής βιοαερίου από απόβλητα βουστασίου και τυρογάλακτος, πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Για την διαδικασία του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πέντε μεταλλικοί ανοξείδωτοι αναερόβιοι χωνευτήρες (αντιδραστήρες), διαστάσεων 39cm (ύψος), 28cm (διάμετρος) και με συνολική χωρητικότητα 24L (λίτρα) έκαστος. Ο κάθε χωνευτήρας περιείχε σταθερή ποσότητα υγρων αποβλήτων που αντιστοιχούσε σε ενεργό όγκο 19L.



➤ Εικόνα 6.1: Τα τμήματα ενός χωνευτήρα αναερόβιας χώνευσης.

Ο κάθε αντιδραστήρας διαθέτει δυο υποδοχές, η μια βρίσκεται στο ανώτερο τμήμα, όπου χρησιμεύει ως στόμιο τροφοδοσίας και με ειδική βάνα σφραγίζεται για την αποφυγή απωλειών αερίου. Στο κατώτερο τμήμα του αντιδραστήρα που ομοίως σφραγίζεται με ειδική βάνα, γίνεται η λήψη δειγμάτων από τα εξερχόμενα υγρά απόβλητα για τις ανάγκες του πειράματος. Κατά τη διάρκεια λήψης των εξερχόμενων υγρών και τροφοδοσίας με εισερχόμενα υγρά στον αντιδραστήρα γίνεται μέσω φυσικής ροής ανάμιξη και ανάδευση του υγρού υλικού στο εσωτερικό. Πάνω στον χωνευτήρα, στο μπροστινό μέρος είναι τοποθετημένο το θερμόμετρο με ενδείξεις τιμών σε μονάδα Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ) από 0 έως  $50^{\circ}\text{C}$  για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χωνευτήρα. Επειδή η αναερόβια χώνευση αφορά την μεσόφιλη περιοχή, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα πρέπει να διατηρείται στους  $35^{\circ}\text{C}$  με απόκλιση  $\pm 3-4^{\circ}\text{C}$ . Έτσι για την επίτευξη ικανοποιητικής θερμοκρασίας, κάτω ακριβώς από τον χωνευτήρα έχει τοποθετηθεί κοινή εστία θέρμανσης με ενσωματωμένο θερμοστάτη. Όταν ο θερμοστάτης κλείνει, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα μειώνεται κάτω από επιτρεπτά όρια και ανοίγει σε περίπτωση που αυξάνεται πάνω από αυτά τα όρια.

Ο αντιδραστήρας μέσω ειδικών σωληνώσεων συνδέεται με ένα μεταλλικό βαρέλι διαστάσεων 84 cm (ύψος) και 44 cm (διάμετρο) γεμάτο με νερό, το οποίο με τη σειρά του μέσω πλαστικού σωλήνα ειδικά τοποθετημένο καταλήγει σε εξωτερικά πλαστικά δοχεία. Το παραγόμενο βιοαέριο από τον αντιδραστήρα διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων στο βαρέλι με το νερό, εκτοπίζει ανάλογα με την ποσότητα του τον αντίστοιχο όγκο νερού και έπειτα το νερό συλλέγεται στα πλαστικά δοχεία. Στη συνέχεια, τα πλαστικά δοχεία ζυγίζονται και το βάρος του νερού που προκύπτει, αποτελεί ένα μεσο δείκτη μέτρησης της ποσότητας παραγόμενου βιοαερίου. Στο πάνω μέρος υπάρχει ένας μικρός διαφανής κατακόρυφος πλαστικός σωλήνας που συνδέεται με το μεταλλικό βαρέλι, όπου δείχνει την μέτρηση της μεταβολής της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του. Η διόρθωση της στάθμης στο μεταλλικό βαρέλι με την προσθήκη νερού από το δίκτυο ύδρευσης έως το προκαθορισμένο αρχικό ύψος της, καθορίζεται έτσι ώστε να ταυτίζεται με το ύψος που καταλήγει το σωληνάκι εκροής του εκτοπισμένου νερού.



➤ Εικόνα 6.2: Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & διαδικασία του πειράματος.

## 7.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, εκτός από την ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου και την εσωτερική θερμοκρασία του χωνευτήρα μετρήθηκαν και οι εξής παράμετροι:

- Μέτρηση pH.
- Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, Ec.
- Μέγιστη & ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (εργαστηρίου).
- Θερμοκρασία εξερχόμενων υγρών.
- Τα ολικά και πτητικά στερεά της πρώτης ύλης.
- Τα ολικά και πτητικά στερεά των εξερχόμενων υγρών των χωνευτήρων.
- Το ποσοστό μεθανίου επί του βιοαερίου.

## 7.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 7.2.1 pH, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ & ΗΛΕΚΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Για να μετρηθεί το pH των εισερχόμενων και εξερχόμενων υγρών αποβλήτων του αναερόβιου χωνευτήρα, όπου η διαδικασία γίνεται ανά 48 ώρες, χρησιμοποιείται ηλεκτρονικό πεχάμετρο τύπου / conductivity meter (Entech instruments pte ltd). Πάνω στην συσκευή υπάρχει ενσωματωμένο ένα άλλο ηλεκτρόδιο κατάλληλο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των υγρών του δείγματος. Για να μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα των εισερχόμενων και εξερχόμενων υγρών αποβλήτων του αναερόβιου χωνευτήρα, χρησιμοποιείται Φορητός μετρητής αγωγιμότητας. Συσκευή μέτρησης αγωγιμότητας, αισθητήριο αγωγιμότητας 1m. Το σύστημα του ψηφιακού μετρητή και ηλεκτροδίου συνδυάζει την αξιοπιστία, ευελιξία και την ευκολία στον χειρισμό. Τα ψηφιακά ηλεκτρόδια τεχνολογίας INTELLICAL αναγνωρίζονται αυτόματα από τον μετρητή και αποθηκεύουν όλα τα δεδομένα ψηφιακά. Ανθεκτικής κατασκευής ηλεκτρόδια για εξωτερική χρήση με μεγάλα μήκη καλωδίου για πρόσβαση σε απομακρυσμένες περιοχές.



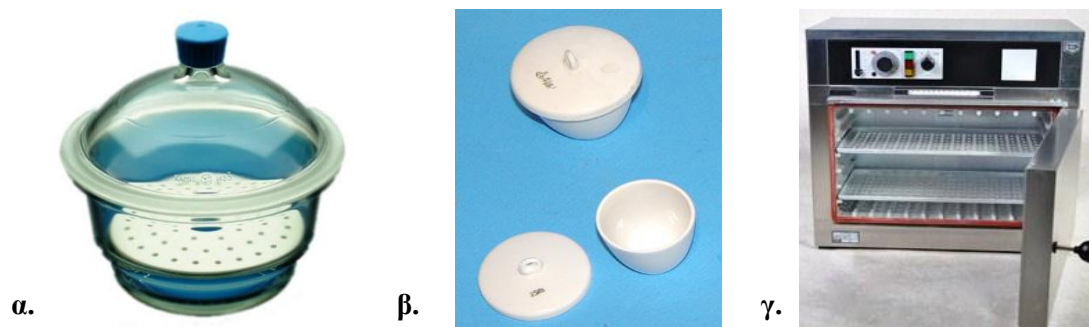
- Εικόνα 6.3: Φορητός μετρητής αγωγιμότητας, ηλεκτρονικό πεχάμετρο εργαστηρίου.

### 7.2.2 ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (%Κ.Β.)

Το ποσοστό των ολικών στερεών (Ο.Σ.) των δειγμάτων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας κάψες πορσελάνης, οι οποίες προθερμαίνονται στους 105 °C σε φούρνο ξήρανσης του εργαστηρίου. Το πρώτο βήμα είναι να ζυγιστούν οι κάψες χωρίς κάποιο υλικό και έπειτα να προστεθεί μέσα στις κάψες το δείγμα των υγρών περίπου 5mL και ζυγίζονται ξανά. Στη συνέχεια, τοποθετούνται σε φούρνο ξήρανσης (memmert, type U15 ακριβείας ±0,1mgr) για 24 ώρες σε θερμοκρασία 103 έως 105 °C. Στο επόμενο βήμα αφαιρούνται οι κάψες από τον φούρνο ξήρανσης και τοποθετούνται σε γυάλινο κλίβανο, ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου και να αποφύγουν τυχόν υγρασία (ο κλίβανος περιέχει ειδικό υλικό, silica gel, ικανό να αποθηκεύει την υγρασία και να εμποδίζει την απορρόφηση της από τις κάψες με το δείγμα). Τέλος, ζυγίζονται οι κάψες ξανά με το ξηρό πλέον περιεχόμενο.

Για να υπολογιστούν τα ολικά στερεά (%κ.β.) – (Ο.Σ.%κ.β.), δηλαδή οι τιμές που προέκυψαν από τη μέθοδο, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$O. \Sigma. (\% \kappa. \beta.) = \frac{\text{βάρος ξηρού δείγματος}}{\text{βάρος νωπού δείγματος}} * 100$$



➤ Εικόνα 6.4: **α.** γυάλινος κλίβανος, **β.** κάψα πορσελάνης, **γ.** φούρνος ξήρανσης.

### 7.2.3 ΠΗΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ Π.Σ.(%Ο.Σ.)

Οι κάψες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ολικών στερεών, τοποθετούνται σε αποτεφρωτήρα ThermoLyne Sybron (type 1400 furnace) με σκοπό την καύση των οργανικών πτητικών ουσιών στους 600 έως 550 °C για 12 με 16 ώρες. Μετά την αποτέφρωση, οι κάψες με την τέφρα (ανόργανο υλικό) τοποθετούνται σε γυάλινο κλίβανο έως ότου αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα, ζυγίζονται σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας και με τις προκύπτουσες τιμές προσδιορίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό (%) των πτητικών στερεών ως προς το σύνολο των ολικών στερεών (Π.Σ. %Ο.Σ.) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$P. \Sigma. (\% O. \Sigma.) = \frac{\text{βάρος ξηρού δείγματος} - \text{βάρος τέφρας}}{\text{βάρος ξηρού δείγματος}} * 100$$



Ακολούθως υπολογίζεται και το ποσοστό (%) των πτητικών στερεών κατά βάρος (%κ.β.) των αποβλήτων (Π.Σ. (%κ.β.)) με τη παρακάτω σχέση:

$$\text{Π. Σ. (\%κ. β.)} = \frac{\text{βάρος ξηρού δείγματος} - \text{βάρος τέφρας}}{\text{βάρος νωπού δείγματος}} * 100$$



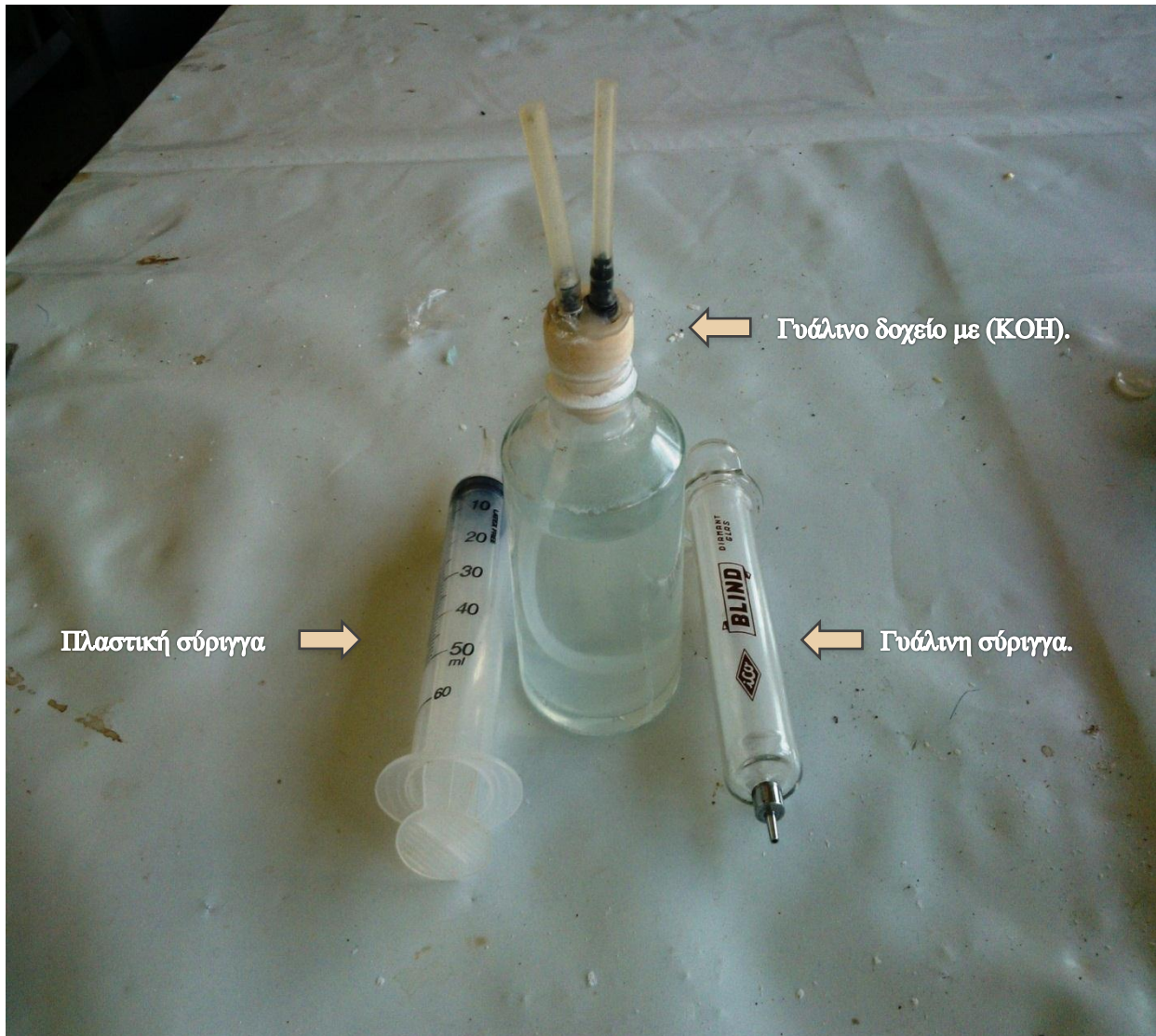
➤ Εικόνα 6.5: Αποτεφρωτήρας Thermolyne Sybron (type 1400 furnace).

#### 7.2.4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΣΤΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Το βιοαέριο αποτελείται από μίγμα διαφόρων αερίων κυρίως μεθανίου και διοξείδιο του άνθρακα. Το μεθάνιο αποτελεί το είδος του αερίου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα 65 έως 80% στο βιοαέριο. Καθώς είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο, ο προσδιορισμός του ποσοστού του μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο αποτελεί σημαντική παράμετρο για την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης. Το ποσοστό του μεθανίου επί του παραγόμενου βιοαερίου των αναερόβιων χωνευτήρων προσδιορίζεται στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών με τη χρήση δυο συριγγών και ενός γυάλινου δοχείου, το οποίο περιέχει διοξείδιο του Καλίου (KOH). Το γυάλινο δοχείο είναι αεροστεγώς σφραγισμένο και στο εσωτερικό του υπάρχει κορεσμένο διάλυμα KOH, το οποίο έχει τη δυνατότητα να κατακρατεί το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το δοχείο διαθέτει δυο σωληνάκια στο καπάκι του, εκ των οποίων το ένα καταλήγει στην βάση του και το άλλο ψηλότερα. Οι σύριγγες που χρησιμοποιούνται αποτελούνται από μια πλαστική και μια γυάλινη. Με την πλαστική σύριγγα (Α) των 30 mL γίνεται άντληση του βιοαερίου από τον σωλήνα διαφυγής του βιοαερίου που συνδέεται με τον αναερόβιο χωνευτήρα και έπειτα τοποθετείται στο σωληνάκι του δοχείου που κατέληγε στον πυθμένα του. Παράλληλα στο άλλο σωληνάκι τοποθετείται το στόμιο της γυάλινης σύριγγας (Β) χωρίς αέρα. Καθώς πιέζεται η πρώτη σύριγγα, το βιοαέριο διαχέεται στο υγρό, γεμίζοντας τη κενή σύριγγα και μετατοπίζεται το εμβόλο της.

Έχοντας σημειώσει τα σημεία των μετατοπίσεων πάνω στις σύριγγες, υπολογίζεται ο λόγος μεταξύ τους από τον οποίο προκύπτει το ποσοστό του μεθανίου.

$$\text{Μεθάνιο}(\% \text{βιοαερίου}) = \frac{\text{Ογκος A}}{\text{Ογκος B}} * 100$$



➤ Εικόνα 6.6: Ποσοστό μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο.

## 7.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 7.3.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ - ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Τα υγρά απόβλητα βουστασίου από την κτηνοτροφική μονάδα της Θήβας, αφότου παραλαμβάνονταν στο εργαστήριο, αποθηκεύονταν στην κατάψυξη ή σε σκιερό ή δροσερό μέρος του εργαστηρίου. Οι μετρήσεις των Ο.Σ. και των Π.Σ. γίνονταν σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Η μέτρηση του pH στις πρώτες ύλες πραγματοποιούνταν σε πιο αραιά χρονικά διαστήματα, κυρίως μετά την παραλαβή νέου υλικού. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται ανάλογα με την σειρά των φάσεων του πειράματος (λόγος: Τ/ΥΔΒ), στους παρακάτω πίνακες.

#### ➤ Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά αποβλήτων βουστασίου (πηκτικά εισόδου), Α' & Β' Φάση.

Α' ύλες → Α'+Β' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΙ Τ/ΥΔΒ = 0/1-3/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.С. (mS/cm)
27/5/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	0,80	0,54	67,22	6,67	4,61
		0,82	0,50	68,30		
2/6/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	1,18	0,69	58,40	7,09	4,56
		1,07	0,65	60,74		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		0,97	0,60	63,67	6,88	4,59

#### ➤ Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά αποβλήτων βουστασίου (πηκτικά εισόδου), Γ' Φάση.

Α' ύλες → Γ' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΣ Τ/ΥΔΒ = 6/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.С. (mS/cm)
10/6/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	1,45	0,77	52,73	7,46	4,56
		0,94	0,59	62,70		
16/6/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	0,47	0,27	67,02	7,02	4,84
		-	-	-		
22/6/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	1,31	0,66	50,46	7,13	4,79
		1,27	0,69	54,16		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		1,09	0,59	57,42	7,20	4,73

➤ Πίνακας 7.2: Χαρακτηριστικά αποβλήτων βουστασίου (πτητικά εισόδοι), Δ' Φάση.

Α' ύλες → Δ' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΣ Τ/ΥΔΒ = 9/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (%κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.Σ. (mS/cm)
30/6/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	1,18	0,67	57,06	7,31	4,28
		0,65	0,65	56,11		
4/7/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	0,64	0,41	64,79	7,16	4,51
		0,73	0,43	59,29		
10/7/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	1,01	0,56	55,62	7,03	4,76
		1,02	0,56	51,33		
13/7/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	1,05	0,57	53,85	7,27	4,65
		1,03	0,58	56,79		
18/7/2014	Υ/Δ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ	0,75	0,40	53,21	6,39	4,94
		0,71	0,43	59,99		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		0,88	0,53	56,80	7,03	4,63

### 7.3.2 ΤΥΡΟΓΑΛΑ - ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Η προμήθεια τυρογάλακτος γινόταν από μονάδα τυροκομείου στην περιοχή του Αυλώνα. Μετά τη μεταφορά του υλικού στο εργαστήριο, τα πλαστικά δοχεία με τυρόγαλα τοποθετούνταν στην κατάψυξη (-15°C), δεδομένου ότι το τυρόγαλα είναι ένα πολύ ευπαθές υλικό. Οι μετρήσεις των Ο.Σ. και των Π.Σ. γίνονταν σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Η μέτρηση του pH στις πρώτες ύλες πραγματοποιούνταν σε πιο αραιά χρονικά διαστήματα, κυρίως μετά την παραλαβή νέου υλικού. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται ανάλογα με την σειρά των φάσεων του πειράματος (λόγος: Τ/ΥΔΒ), στους παρακάτω πίνακες.

➤ Πίνακας 7.3: Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος (πηκτικά εισόδου), Β' Φάση.

Α' ύλες → Β' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΣ Τ/ΥΔΒ = 3/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.С. (mS/cm)
27/5/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	3,90	2,34	60,00	4,69	10,39
		3,81	2,30	60,42		
2/6/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	3,82	2,28	59,54	4,80	11,08
		2,63	1,78	67,92		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		3,54	2,18	61,97	4,75	10,74

➤ Πίνακας 7.4: Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος (πηκτικά εισόδου), Γ' Φάση.

Α' ύλες → Γ' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΣ Τ/ΥΔΒ = 6/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.С. (mS/cm)
10/6/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	4,21	2,18	51,78	5,02	9,20
		3,00	1,80	59,89		
16/6/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	1,86	0,91	49,10	4,07	7,66
		-	-	-		
22/6/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	3,71	2,25	60,63	4,85	11,00
		4,21	2,42	57,41		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		3,40	1,91	55,76	4,65	9,29

➤ Πίνακας 7.5: Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος  
(πηκτικά εισόδου), Δ' Φάση.

Α' ύλες → Δ' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΣ Τ/ΥΔΒ = 9/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.С. (mS/cm)
30/6/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	3,66	2,07	56,44	4,58	10,81
		4,23	2,48	58,66		
13/7/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	3,98	2,25	56,42	4,85	16,06
		4,01	2,27	56,70		
<u>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</u>		3,97	2,27	57,05	4,72	13,44

➤ Πίνακας 7.6: Χαρακτηριστικά Τυρογάλακτος  
(πηκτικά εισόδου), Ε' Φάση.

Α' ύλες → Ε' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : ΛΟΓΟΣ Τ/ΥΔΒ = 12/1						
Ημερ/νία	Α' ύλες	Ο.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (% ΟΣ)	pH	Ε.С. (mS/cm)
20/7/2014	ΤΥΡΟΓΑΛΛΑ	2,94	1,76	59,79	4,56	9,45
		3,75	2,01	53,56		
<u>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</u>		3,35	1,88	56,68	4,56	9,45

#### 7.4 ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΤΩΝ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ

Εκτός από τη μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών στα υγρά τροφοδοσίας (εισερχόμενα υγρά) των χωνευτήρων, έγιναν οι ίδιες μετρήσεις και στα υγρά εξόδου από τους χωνευτήρες Α, Β, Γ, Δ και Ε (μάρτυρας). Με αυτό το τρόπο γινόταν έλεγχος της λειτουργίας τους και της αποδοτικότητας του συστήματος. Η μέτρηση των τιμών του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των υγρών εξόδου γινόταν κάθε 48 ώρες (2 ημέρες), την ημέρα της τροφοδοσίας των χωνευτήρων. Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται οι μετρήσεις των **Ο.Σ.** (%κ.β), **Π.Σ.** (% κ.β), **Π.Σ.** (% Ο.Σ.κ.β), καθώς το **pH** και η ηλεκτρική αγωγιμότητα - **Ε.Σ.**, που πρόεκυψαν από τις μετρήσεις στο σύνολο των φάσεων του πειράματος.

➤ Πίνακας 7.7: Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Α.

ΥΓΡΑ ΕΞΟΔΟΥ: ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ Α						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ο.Σ. (%κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (%Ο.Σ.κ.β)	pH	EC	Χλ
15/5/2014	0,18	0,12	66,16	6,74	7,59	3\1
	0,11	0,07	65,16			
19/5/2014	0,17	0,10	61,52	7,31	7,68	
	0,20	0,12	58,87			
23/5/2014	0,18	0,10	54,38	7,12	3,91	
	0,14	0,08	59,16			
4/6/2014	0,29	0,19	64,26	7,15	7,62	
	0,33	0,19	58,40			
6/6/2014	0,20	0,13	65,26	7,5	7,30	
	0,23	0,14	61,84			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,20</b>	<b>0,12</b>	<b>61,50</b>	<b>7,16</b>	<b>6,82</b>	
24/6/2014	0,43	0,22	54,13	7,36	10,2	
	0,36	0,20	56,46			
26/6/2014	0,37	0,24	63,43	7,33	10,16	
	0,38	0,24	63,39			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,39</b>	<b>0,23</b>	<b>59,35</b>	<b>7,35</b>	<b>10,18</b>	
14/7/2014	0,27	0,15	55,06	7,63	11,5	9\1
	0,19	0,12	64,38			
16/7/2014	0,33	0,20	60,69	7,62	11,78	
	0,33	0,20	60,13			
18/7/2014	0,37	0,22	59,34	7,22	12,41	
	0,40	0,23	57,89			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,31</b>	<b>0,19</b>	<b>59,58</b>	<b>7,5</b>	<b>11,90</b>	

➤ Πίνακας 7.8: Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Β.

<b>ΥΓΡΑ ΕΞΟΔΟΥ: ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ Β</b>						
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</b>	<b>Ο.Σ. (%κ.β)</b>	<b>Π.Σ. (%κ.β)</b>	<b>Π.Σ. (%Ο.Σ.κ.β)</b>	<b>pH</b>	<b>EC</b>	<b>Χλ</b>
15/5/2014	0,21	0,12	58,07	6,97	8,34	<b>3\1</b>
	0,18	0,11	61,08			
19/5/2014	0,15	0,09	61,78	7,54	8,82	
	0,13	0,08	61,87			
23/5/2014	0,14	0,08	57,10	7,38	4,01	
	0,16	0,08	51,29			
4/6/2014	0,16	0,10	63,56	7,22	7,33	
	0,19	0,11	56,01			
6/6/2014	0,23	0,13	58,47	7,49	7,55	
	0,26	0,16	62,36			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,18</b>	<b>0,11</b>	<b>59,16</b>	<b>7,32</b>	<b>7,21</b>	
24/6/2014	0,30	0,19	64,08	7,49	9,85	
	0,30	0,19	63,68			
26/6/2014	0,34	0,21	62,99	7,38	10,07	
	0,30	0,20	65,99			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,31</b>	<b>0,20</b>	<b>64,18</b>	<b>7,44</b>	<b>9,96</b>	
14/7/2014	0,31	0,17	54,84	7,73	11,4	<b>9\1</b>
	0,35	0,19	54,24			
16/7/2014	0,34	0,21	60,50	7,59	11,41	
	0,44	0,25	55,99			
18/7/2014	0,43	0,20	46,12	7,21	11,83	
	0,32	0,18	54,27			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,37</b>	<b>0,20</b>	<b>54,33</b>	<b>7,5</b>	<b>11,55</b>	



➤ Πίνακας 7.9: Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Γ.

<b>ΥΓΡΑ ΕΞΟΔΟΥ: ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ Γ</b>						
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</b>	<b>Ο.Σ. (%κ.β)</b>	<b>Π.Σ. (%κ.β)</b>	<b>Π.Σ. (%Ο.Σ.κ.β)</b>	<b>pH</b>	<b>EC</b>	<b>Χλ</b>
15/5/2014	0,22	0,14	63,38	7,07	10,15	<b>3\1</b>
	0,18	0,12	64,30			
19/5/2014	0,21	0,13	63,61	7,55	8,82	
	0,26	0,15	57,55			
23/5/2014	0,14	0,08	55,80	7,16	7,24	
	0,18	0,09	48,82			
4/6/2014	0,20	0,12	60,15	7,24	7,31	
	0,26	0,14	53,91			
6/6/2014	0,30	0,18	60,35	7,45	7,80	
	0,33	0,19	56,78			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>	<b>58,47</b>	<b>7,29</b>	<b>8,26</b>	
24/6/2014	0,48	0,28	61,08	7,63	10,81	
	0,41	0,26	62,51			
26/6/2014	0,68	0,42	60,00	7,52	10,66	
	0,64	0,41	61,04			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,55</b>	<b>0,34</b>	<b>61,16</b>	<b>7,58</b>	<b>10,74</b>	
14/7/2014	0,25	0,13	54,18	7,71	12,53	<b>9\1</b>
	0,21	0,12	58,68			
16/7/2014	0,38	0,23	60,62	7,57	11,67	
	0,46	0,27	58,40			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,33</b>	<b>0,19</b>	<b>57,97</b>	<b>7,6</b>	<b>12,10</b>	

➤ Πίνακας 7.10: Χαρακτηριστικά εξερχόμενων υγρών του χωνευτήρα Δ.

<b>ΥΓΡΑ ΕΞΟΔΟΥ: ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ Δ</b>						
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</b>	<b>Ο.Σ. (%κ.β)</b>	<b>Π.Σ. (%κ.β)</b>	<b>Π.Σ. (%Ο.Σ.κ.β)</b>	<b>pH</b>	<b>EC</b>	<b>Χλ</b>
15/5/2014	0,20	0,13	66,53	7,35	9,21	<b>3\1</b>
	0,19	0,12	62,94			
19/5/2014	0,23	0,13	56,62	7,57	8,87	
	0,25	0,14	53,97			
23/5/2014	0,33	0,17	52,70	7,44	8,40	
	0,36	0,17	46,96			
4/6/2014	0,22	0,14	66,14	7,31	8,03	
	0,16	0,10	63,89			
6/6/2014	0,34	0,21	62,84	7,49	7,99	
	0,45	0,25	54,87			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,27</b>	<b>0,16</b>	<b>58,75</b>	<b>7,43</b>	<b>8,50</b>	
24/6/2014	0,59	0,36	64,08	7,52	9,79	
	0,54	0,34	63,68			
26/6/2014	0,42	0,25	62,99	7,4	10,44	
	0,45	0,27	65,99			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,50</b>	<b>0,31</b>	<b>64,18</b>	<b>7,46</b>	<b>10,12</b>	
14/7/2014	0,43	0,43	53,17	7,68	11,43	
	0,50	0,28	55,76			
16/7/2014	0,71	0,39	55,28	7,41	11,76	
	0,69	0,38	54,17			
18/7/2014	0,53	0,31	58,57	7,11	12,04	
	0,74	0,36	49,09			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,60</b>	<b>0,36</b>	<b>54,34</b>	<b>7,4</b>	<b>11,74</b>	

➤ Πίνακας 7.11: Χαρακτηριστικά εξεργόμενων υγρών του χωνευτήρα Ε (Μάρτυρας).

ΥΓΡΑ ΕΞΟΔΟΥ: ΧΩΝΕΥΤΗΡΑΣ Ε (ΕΥΑ - ΕΛΕΝΗ \ ΜΑΡΤΥΡΑΣ)									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ο.Σ. (%κ.β)	Π.Σ. (% κ.β)	Π.Σ. (%Ο.Σ.κ.β)	pH	EC	Χλ	ΗΜΕΡΕΣ		
15/5/2014	0,18	0,10	55,58	7,54	6,61	0\1	20		
	0,11	0,07	60,80						
19/5/2014	0,16	0,09	57,42	7,77	6,26				
	0,09	0,09	57,78						
23/5/2014	0,14	0,08	58,81	7,66	6,44				
	0,15	0,08	56,36						
4/6/2014	0,10	0,06	57,24	7,33	4,99				
	0,08	0,05	59,33						
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>	<b>57,92</b>	<b>7,58</b>	<b>4,99</b>				
6/6/2014	0,18	0,10	57,29	7,49	4,88			0\1	15
	0,16	0,09	58,79						
24/6/2014	0,34	0,20	59,57	7,22	5,48				
	0,40	0,21	53,09						
26/6/2014	0,18	0,29	60,78	7,19	5,46				
	0,31	0,17	55,41						
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,26</b>	<b>0,18</b>	<b>57,49</b>	<b>7,30</b>	<b>5,27</b>				
14/7/2014	0,18	0,11	62,69	7,22	5,88	0\1	10		
	0,28	0,15	52,56						
16/7/2014	0,49	0,27	55,11	7,07	4,43				
	0,45	0,25	56,26						
18/7/2014	0,25	0,14	55,55	6,85	5,71				
	0,28	0,15	53,38						
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,32</b>	<b>0,18</b>	<b>55,93</b>	<b>7,05</b>	<b>5,34</b>				

## Γ. «ΣΥΖΗΤΗΣΗ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ»

### 8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για την πραγματοποίηση του πειράματος στη μεσόφιλη περιοχή (θερμοκρασία 35°C), χρησιμοποιήθηκαν πέντε χωνευτήρες, ωφέλιμου όγκου 19 L ο καθένας, από τους οποίους ο ένας λειτουργούσε μόνο ως μάρτυρας ενώ, οι υπόλοιποι τέσσερις περιείχαν το υπό εξέταση μίγμα των αποβλήτων. Η διάρκεια του πειράματος ήταν 4 μήνες (Μάρτιος 2014 έως Ιούλιος 2014), ενώ ο τυπικός χρόνος παραμονής (ΤΥΧΠ) των αποβλήτων στους αναερόβιους χωνευτήρες ήταν 10, 15, 20 και 25 ημέρες. Η τροφοδότηση των χωνευτήρων γινόταν ανά 48 ώρες με συγκεκριμένο όγκο υγρών αποβλήτων (βουστασίου & τυρογάλακτος) ανάλογα με τις δόσεις που υπολογίζονταν από υπολογιστικό μοντέλο. Ταυτόχρονα, πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες μετρήσεις για τον υπολογισμό των παραμέτρων όπως το pH, η θερμοκρασία των εξερχόμενων υγρών και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Ο έλεγχος του pH των υγρών εξαγωγής μας παρείχε πληροφορίες για τη σταθερότητα του συστήματος και την ύπαρξη ανεπιθύμητης μεταβολής (εάν δεν βρισκόταν μέσα σε ένα αποδεκτό εύρος τιμών). Επίσης, γινόταν η ζύγιση των πλαστικών δοχείων με το εκτοπισμένο νερό για τη μέτρηση της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου στο διάστημα 48 ωρών. Έπειτα, σε πολύ τακτικά διαστήματα γίνονταν οι μετρήσεις για τα ολικά στερεά (Ο.Σ.) και τα πτητικά στερεά (Π.Σ.) των υγρών εισόδου και εξόδου. Μετά τη σταθεροποίηση του συστήματος παραγωγής βιοαερίου των χωνευτήρων υπολογίζονταν η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο σε πιο αραιά διαστήματα. Η τροφοδότηση του χωνευτήρα – μάρτυρα γινόταν αποκλειστικά με υγρά απόβλητα βουστασίου και νερό σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Λαμβάνονταν μετρήσεις κανονικά για όλες τις παραμέτρους. Στους υπόλοιπους αντιδραστήρες, η τροφοδότηση τους γινόταν επίσης με υγρά απόβλητα βουστασίου αλλά με ανάμιξη τυρογάλακτος, καθώς σε κάθε στάδιο του πειράματος οι αναλογίες ήταν διαφορετικές. Με την τροφοδοσία των χωνευτήρων με πυκνότερα μίγματα στο παρόν πείραμα, μεταβάλλονταν η αρχική τιμή ΤΥΧΠ σε μια διαφορετική (πραγματική) κάθε φορά τιμή (ΠΥΧΠ) όπου το φορτίο ήταν σταθερό, σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{ΠΥΧΠ} = \text{ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ (19 L)} / \text{ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.}$$

Για λόγους πρακτικούς, η τροφοδοσία κάθε χωνευτήρα γινότανε κάθε 48 ώρες με το κατάλληλο κάθε φορά μίγμα, αλλά στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνταν η μισή ποσότητα, που αντιστοιχούσε σε ημερήσια τροφοδοσία. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές οργανικής ογκομετρικής φόρτισης για κάθε τυπικό υδραυλικό χρόνο παραμονής αποβλήτων και για κάθε φάση του πειράματος ανάλογα με τον λόγο ( $X_L = T/Y\Delta B$ ).

## 8.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>)

Το πείραμα διεξήχθη σε 4 φάσεις. Σε κάθε φάση, ο λόγος ΠΣΤΥΡ/ΠΣΒΟΥΣΤ., ο ΤΥΧΠ και η ΟΟΦ διατηρούνταν σταθεροί, ενώ καταγραφόταν η ΟΠΒ, η ΟΠΜ, το pH, η θερμοκρασία Τυγρών, η Ταέρα (max-min) και η δόση τροφοδοσίας κάθε χωνευτήρα με μίγμα πυκνού εκχυλίσματος α' υλών. Επί πλέον κάθε 4 ημέρες προσδιορίζονταν τα Ο.Σ. και Π.Σ. των εκχυλισμάτων βουστασίου και τυρογάλακτος και στη συνέχεια διορθώνονταν οι δόσεις τροφοδοσίας, έτσι ώστε να διατηρούνται η ΟΟΦ και ο λόγος ΧΛ σταθεροί στο επιθυμητό επίπεδο και ΤΥΧΠ, ανάλογα με την φάση.

Το τέλος κάθε φάσης καθοριζόταν από την σχετική σταθεροποίηση των τιμών ΟΠΒ και pH. Μετά το τέλος αυτό προσδιορίζονταν τα ΟΣ, ΠΣ των υγρών εξόδου κάθε χωνευτήρα και η περιεκτικότητα σε μεθάνιο του βιοαερίου (3 επαναλήψεις) και στη συνέχεια το ποσοστό ελάττωσης του οργανικού φορτίου με βάση τις τιμές ΠΣ, του μίγματος τροφοδοσίας συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές των υγρών εξόδου σε κάθε φάση. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων κάθε φάσης (εξαγωγή μέσω όρων, διόρθωση τιμών βιοαερίου με τη θερμοκρασία κλπ ,προέκυψαν οι παρακάτω επί μέρους τελικοί πίνακες, ένας για κάθε φάση και οι γενικοί πίνακες όλων των φάσεων. Επίσης, με τα αποτελέσματα της μείωσης του οργανικού φορτίου του μίγματος α' υλών κατά την παραμονή του μέσα στους αναερόβιους χωνευτήρες. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες «τελικά φύλλα υπολογισμού» και οι «γενικοί πίνακες αποτελεσμάτων».



➤ Εικόνα 6.7: Εξοπλισμός πειράματος & Δοχεία εκτοπισμένου βιοαερίου σε νερό.

➤ Πίνακας 8.1: Τελικό φύλλο υπολογισμού Α' φάσης.

<b>ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ [ΧΛ = 0,0/1]</b>					
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ</b>					
<b><math>V_{\Omega\Phi.\chi\Omega\Omega\Omega} = 19 \text{ L}</math></b>					
<b><math>O.\Sigma.\text{BOY}\Sigma\text{T.} = 1,03\%</math>, <math>\Pi.\Sigma.\text{BOY}\Sigma\text{T.} = 0,60\%</math></b>					
ΤΥΧΠ (τυπικός) (ημέρες)	10	15	20	25	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ημερήσια δόση μετά την αραίωση (L)	1,9	1,27	0,95	0,76	
Ημερήσια δόση πριν την αραίωση (L)	2,42	1,55	0,95	0,76	
ΠΥΧΠ (πραγματικός) (ημέρες)	7,8	12,3	20	25	
Σύνολο Π.Σ. (g/ημέρα)	14,6	9,3	5,7	4,6	
Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,77	0,49	0,3	0,24	1,23x10/10 = 1,23% Π.Σ.
Σύνολο βιοαερίου (L/ημέρα)	7,6	6,1	4,1	3,4	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,4	0,32	0,22	0,18	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	3,1	3,9	4,3	4,5	
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/kg Π.Σ)	0,524	0,658	0,721	0,756	
Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο (%) <sub>κ.ό.</sub>	84	80	82	87,4	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,34	0,26	0,18	0,16	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	2,6	3,2	3,5	4	
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg Π.Σ)	0,44	0,526	0,591	0,661	
pH	7,2	7,1	7,6	7,7	
EC (mS/cm)	5,3	5,4	4,8	7,1	

➤ Πίνακας 8.2: Τελικό φύλλο υπολογισμού Β' φάσης.

<b>ΦΑΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ [ΧΛ = 3,0/1]</b>					
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ</b>					
<b><math>V_{\Omega\Phi.\chi\Omega\Omega.} = 19 \text{ L}</math></b>					
<b><math>\underline{O.Σ.}_{BOY.} = 0.97\%</math>, <math>\underline{Π.Σ.}_{BOY.} = 0,60\%</math>, <math>\underline{O.Σ.}_{TYP} = 3.54\%</math>, <math>\underline{Π.Σ.}_{TYP} = 2.18\%</math></b>					
ΤΥΧΠ (τυπικός) (ημέρες)	10	15	20	25	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ημερήσια δόση μετά την αραίωση (L)	1,9	1,27	0,95	0,76	
Ημερήσια δόση πριν την αραίωση (L)	1,78	1,19	0,88	0,714	
ΠΥΧΠ (πραγματικός) (ημέρες)	10,7	16	21,6	26,6	
Σύνολο Π.Σ. (g/ημέρα)	23,4	15,7	11,6	9,4	
Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	1,23	0,82	0,61	0,49	1,23x10/10 = 1,23% Π.Σ.
Σύνολο βιοαερίου (L/ημέρα)	14,5	24,2	18,9	14,3	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,76	1,27	1	0,75	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	8,1	20,3	21,6	20	
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/kg Π.Σ)	0,616	1,268	1,639	1,518	
Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο (%) <sub>κ.ό.</sub>	67	65	67	73,5	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,51	0,83	0,67	0,55	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	5,43	13,2	14,4	14,7	
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg Π.Σ)	0,413	1,005	1,098	1,116	
pH	7,3	7,4	7,4	7,4	
EC (mS/cm)	7,2	7,2	7	7,9	

➤ Πίνακας 8.3: Τελικό φύλλο υπολογισμού Γ' φάσης.

<b>ΦΑΣΗ ΤΡΙΤΗ [ΧΛ = 6,0/1]</b>					
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ</b>					
<b><math>V_{\Omega\Phi.\chi\Omega\Omega.} = 19 \text{ L}</math></b>					
<b><math>\underline{\text{Ο.Σ.}}_{\text{ΒΟΥ.}} = 1.24\%</math>, <math>\underline{\text{Π.Σ.}}_{\text{ΒΟΥ.}} = 0,68\%</math>, <math>\underline{\text{Ο.Σ.}}_{\text{ΤΥΡ.}} = 3.78\%</math>, <math>\underline{\text{Π.Σ.}}_{\text{ΤΥΡ.}} = 2.16\%</math></b>					
ΤΥΧΠ (τυπικός) (ημέρες)	10	15	20	25	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ημερήσια δόση μετά την αραίωση (L)	1,9	1,27	0,95	0,76	
Ημερήσια δόση πριν την αραίωση (L)	<b>2,22</b>	<b>1,48</b>	<b>1,14</b>	<b>0,89</b>	
ΠΥΧΠ (πραγματικός) (ημέρες)	<b>8,6</b>	<b>12,8</b>	<b>16,7</b>	<b>21,4</b>	
Σύνολο Π.Σ. (g/ημέρα)	<b>36,6</b>	<b>24,4</b>	<b>18,7</b>	<b>14,6</b>	
Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	<b>1,93</b>	<b>1,28</b>	<b>0,99</b>	<b>0,70</b>	<b>1,23x10/10 = 1,23% Π.Σ.</b>
Σύνολο βιοαερίου (L/ημέρα)	<b>11,3</b>	<b>40,6</b>	<b>31,4</b>	<b>26,7</b>	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	<b>0,6</b>	<b>2,14</b>	<b>1,65</b>	<b>1,41</b>	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	<b>5,1</b>	<b>27,4</b>	<b>27,6</b>	<b>30,1</b>	
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> ΒΙΟ/kg Π.Σ)	<b>0,31</b>	<b>1,663</b>	<b>1,677</b>	<b>1,825</b>	
Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο (%) <sub>κ.ό.</sub>	<b>63</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>69</b>	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	<b>0,38</b>	<b>1,32</b>	<b>1,02</b>	<b>0,97</b>	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	<b>3,2</b>	<b>17</b>	<b>17,1</b>	<b>20,8</b>	
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg Π.Σ)	<b>0,195</b>	<b>1,031</b>	<b>1,04</b>	<b>1,259</b>	
pH	<b>7,4</b>	<b>7,3</b>	<b>7,4</b>	<b>7,3</b>	
EC (mS/cm)	<b>10,2</b>	<b>9,9</b>	<b>9,7</b>	<b>9,3</b>	



➤ Πίνακας 8.4: Τελικό φύλλο υπολογισμού Γ' φάσης.

<b>ΦΑΣΗ ΤΕΤΑΡΤΗ [ΧΛ =9,0/1]</b>					
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΦΥΛΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ</b>					
<b><math>V_{\Omega\Phi.\chi\Omega\Omega.} = 19 \text{ L}</math></b>					
<b><math>\underline{O.Σ.}_{BOY.} = 0.88\%</math>, <math>\underline{Π.Σ.}_{BOY.} = 0,53\%</math>, <math>\underline{O.Σ.}_{TYP} = 3.97\%</math>, <math>\underline{Π.Σ.}_{TYP} = 2.27\%</math></b>					
ΤΥΧΠ (τυπικός) (ημέρες)	10	15	20	25	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ημερήσια δόση μετά την αραίωση (L)	1,9	1,27	0,95	0,76	
Ημερήσια δόση πριν την αραίωση (L)	2,49	1,63	1,22	0,98	
ΠΥΧΠ (πραγματικός) (ημέρες)	7,6	11,6	15,5	19,4	
Σύνολο Π.Σ. (g/ημέρα)	42,6	27,9	20,9	16,7	
Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	2,24	1,47	1,1	0,88	1,23x10/10 = 1,23% Π.Σ.
Σύνολο βιοαερίου (L/ημέρα)	7,9	44,3	27,3	27,4	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> BIO/m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,42	2,25	1,44	1,44	
Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> BIO/m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	3,2	27,4	22,3	28	
Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> BIO/kg Π.Σ)	0,186	1,663	1,306	1,639	
Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο (%) <sub>κ.ό.</sub>	69	62	64	69	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΧΩΝ</sub> -ημέρα)	0,29	1,48	0,92	0,99	
Ογκομετρική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>ΑΠΟΒΛ</sub> )	2,2	17,3	14,3	19,3	
Ειδική παραγωγή μεθανίου (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg Π.Σ)	0,128	1,012	0,836	1,131	
pH	7,6	7,5	7,5	7,5	
EC (mS/cm)	12	11,7	11,2	11,4	

- Πίνακας 8.5: Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 10 ημέρες, ΥΧΠ = 10 ημέρες.

<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΜΙΓΜΑΤΑ ΥΓΡΩΝ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ &amp; ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ</b>						
<b>ΛΟΓΟΙ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (ΤΥΡ/ΒΟΥΣΤ)</b>						
<b>Υ.Χ.Π. (ημέρες)</b>	<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>	<b>0,0/1</b>	<b>3,0/1</b>	<b>6,0/1</b>	<b>9,0/1</b>	<b>ΣΧΟΛΙΑ</b>
<b>10</b>	Ημερήσια δόση (L)	2,42	1,78	2,22	2,49	
	Πραγματικός Υ.Χ.Π. (ημέρες)	7,8	10,7	8,6	7,6	
	Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,77	1,23	1,93	2,24	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,4	0,76	0,6	0,42	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	3,1	8,1	5,1	3,2	
	Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,524	0,616	0,31	0,186	
	Ποσοστό CH <sub>4</sub> (%)	84	67	63	69	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,34	0,51	0,38	0,29	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	2,6	5,43	3,2	2,2	
	Ειδική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,44	0,413	0,195	0,128	
	pH	7,2	7,3	7,4	7,6	
	EC	5,3	7,2	10,2	12	

- Πίνακας 8.6: Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 15 ημέρες, ΥΧΠ = 15 ημέρες.

<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΜΙΓΜΑΤΑ ΥΓΡΩΝ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ &amp; ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ</b>						
<b>ΛΟΓΟΙ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (ΤΥΡ/ΒΟΥΣΤ)</b>						
<b>Υ.Χ.Π. (ημέρες)</b>	<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>	<b>0,0/1</b>	<b>3,0/1</b>	<b>6,0/1</b>	<b>9,0/1</b>	<b>ΣΧΟΛΙΑ</b>
<b>15</b>	Ημερήσια δόση (L)	1,55	1,78	1,48	1,63	
	Πραγματικός Υ.Χ.Π. (ημέρες)	12,3	16	12,8	11,6	
	Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> ΧΩΝ-ημέρα)	0,49	0,82	1,28	2,24	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,32	1,27	2,14	2,25	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	3,9	20,3	27,4	27,4	
	Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,658	1,268	1,663	1,663	
	Ποσοστό CH <sub>4</sub> (%)	80	67	62	62	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,26	0,83	1,32	1,48	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	3,2	13,2	17	17,3	
	Ειδική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,526	1,005	1,031	1,012	
	pH	7,1	7,2	7,3	7,5	
	EC	5,4	7,2	9,9	11,7	

- Πίνακας 8.7: Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 20 ημέρες, ΥΧΠ = 20ημέρες.

<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΜΙΓΜΑΤΑ ΥΓΡΩΝ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ &amp; ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ</b>						
<b>ΛΟΓΟΙ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (ΤΥΡ/ΒΟΥΣΤ)</b>						
<b>Υ.Χ.Π. (ημέρες)</b>	<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>	<b>0,0/1</b>	<b>3,0/1</b>	<b>6,0/1</b>	<b>9,0/1</b>	<b>ΣΧΟΛΙΑ</b>
<b>20</b>	Ημερήσια δόση (L)	0,95	0,88	1,14	1,22	
	Πραγματικός Υ.Χ.Π. (ημέρες)	20	21,6	16,7	15,5	
	Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> ΧΩΝ-ημέρα)	0,3	0,61	0,99	1,1	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,22	1	1,65	1,44	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	4,3	21,6	27,6	22,3	
	Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,721	1,639	1,677	1,306	
	Ποσοστό CH <sub>4</sub> (%)	82	67	62	64	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,18	0,67	1,02	0,92	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	3,5	14,4	17,1	14,3	
	Ειδική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,591	1,098	1,04	0,836	
	pH	7,6	7,4	7,4	7,5	
	EC	4,8	7	9,7	11,2	

- Πίνακας 8.8: Γενικός πίνακας με υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) αποβλήτων στο χωνευτήρα 25 ημέρες, ΥΧΠ = 25 ημέρες.

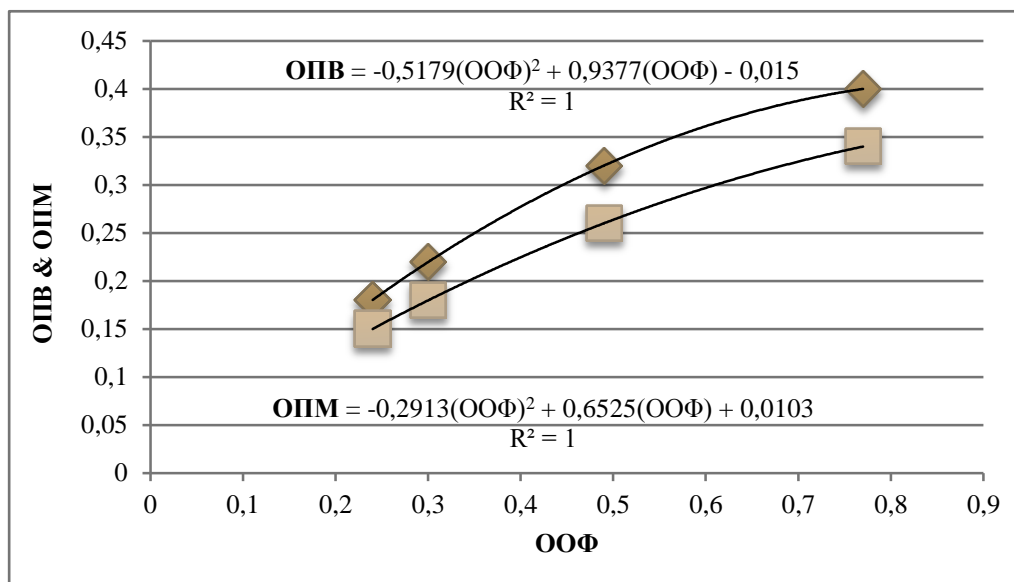
<b>ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΜΙΓΜΑΤΑ ΥΓΡΩΝ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ &amp; ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ</b>						
<b>ΛΟΓΟΙ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (ΤΥΡ/ΒΟΥΣΤ)</b>						
<b>Υ.Χ.Π. (ημέρες)</b>	<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>	<b>0,0/1</b>	<b>3,0/1</b>	<b>6,0/1</b>	<b>9,0/1</b>	<b>ΣΧΟΛΙΑ</b>
<b>25</b>	Ημερήσια δόση (L)	0,76	0,714	0,89	0,98	
	Πραγματικός Υ.Χ.Π. (ημέρες)	25	26,6	21,4	19,4	
	Οργανική φόρτιση (kg Π.Σ./m <sup>3</sup> χΩΝ-ημέρα)	0,24	0,49	0,70	0,88	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,18	0,75	1,41	1,44	
	Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	4,5	20	30,1	28	
	Ειδική παραγωγή βιοαερίου (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,756	1,518	1,825	1,639	
	Ποσοστό CH <sub>4</sub> (%)	87,4	73,5	69	69	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> χων-ημέρα)	0,16	0,55	0,97	0,99	
	Ογκομετρική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> αποβλήτων-ημέρα)	4	14,7	20,8	19,3	
	Ειδική παραγωγή CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg Π.Σ.)	0,661	1,116	1,259	1,131	
	pH	7,7	7,4	7,3	7,5	
	EC	7,1	7,9	9,3	11,4	

Παρακάτω παρουσιάζονται με τη μορφή βημάτων η συσχέτιση των τιμών ΟΠΒ, ΟΠΜ και ΠΥΧΠ αντίστοιχα με τις τιμές του λόγου Χλ για κάθε ΤΥΧΠ και ΟΟΦ, προκειμένου να διαπιστωθεί για ποια τιμή λόγου Χλ και ΠΥΧΠ παράγεται η μέγιστη ποσότητα βιοαερίου και μεθανίου. Οι τιμές ΕΠΒ και ΕΠΜ δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόσον ως παράγωγα των ΟΠΒ, ΟΠΜ και ΟΟΦ ( $ΕΠΒ=ΟΠΒ/ΟΟΦ$  &  $ΕΠΜ=ΟΠΜ/ΟΟΦ$ ) υπολογίζονται άμεσα στο τέλος της διαδικασίας υπολογισμού της μέγιστης τιμής. Από τις σχέσεις που απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα προκύπτουν οι μέγιστες τιμές ΟΠΒ και ΟΠΜ με υπολογισμό της α' παραγώγου και λύνοντας ως προς το μηδέν προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές Χλ. Στη συνέχεια αντικαθιστώντας τον μέσον όρο των 2 τιμών Χλ, (Χλ') στην αρχική σχέση προκύπτουν οι μέγιστες τιμές ΟΠΒ, (ΟΠΒ') και ΟΠΜ, (ΟΠΜ').

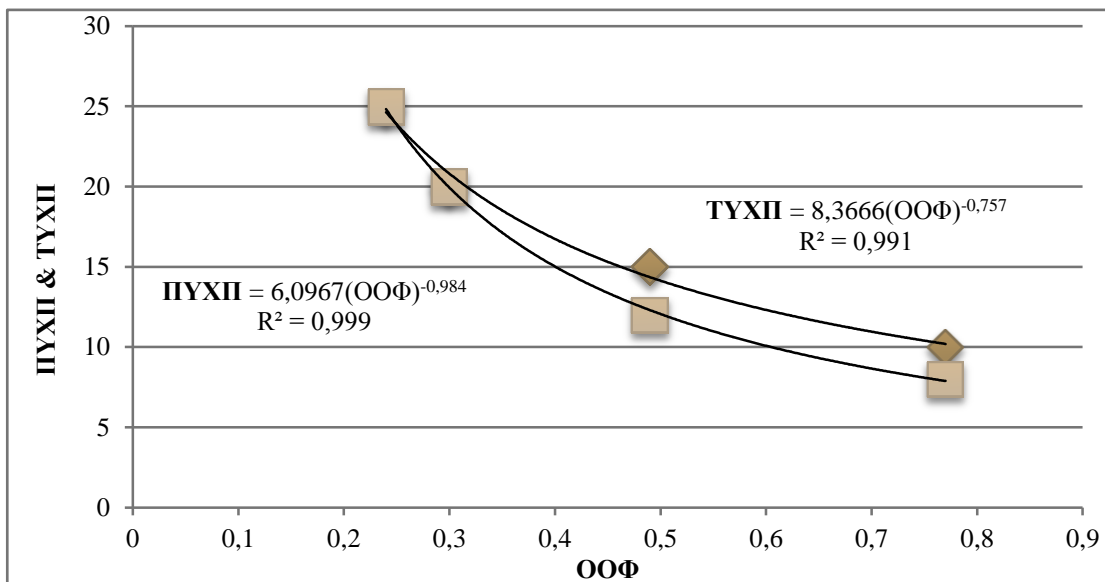
### 8.1.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΦΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ , & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

[Χλ = 0,0/1,0, ΦΑΣΗ Α']

ΤΥΧΠ	ΟΟΦ	ΟΠΒ	ΟΠΜ	ΠΥΧΠ	ΕC	pH
10	0,77	0,4	0,34	8	5,3	7,2
15	0,49	0,32	0,26	12	5,4	7,1
20	0,3	0,22	0,18	20	4,8	7,6
25	0,24	0,18	0,15	25	7,1	7,7
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>					<b>5,7</b>	<b>7,4</b>



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ.

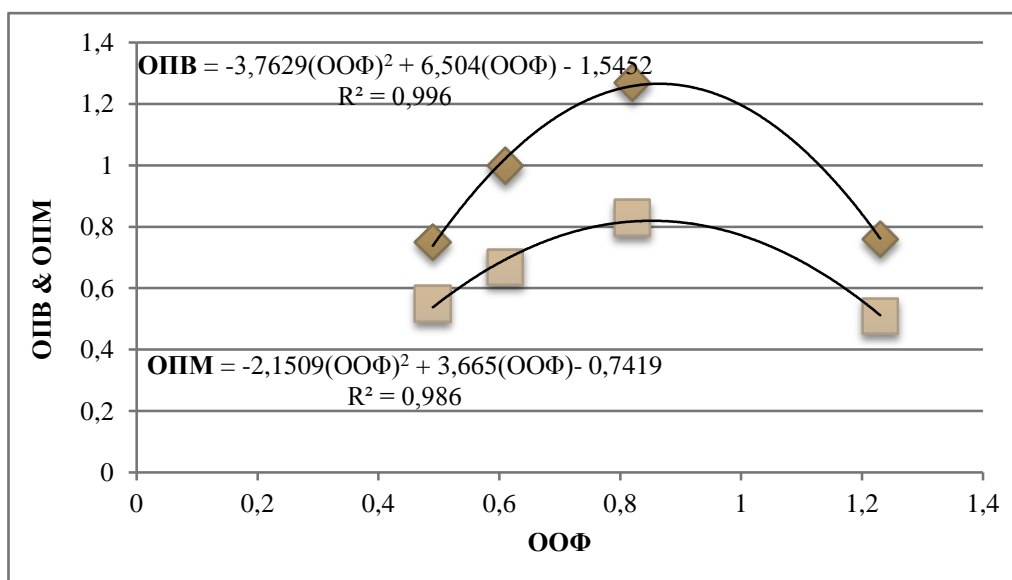


➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.1: Συσχέτιση του ΤΥΧΠ & ΠΥΧΠ με ΟΟΦ για τον λόγο  $\chi_{\lambda}=0,0/1,0$ .

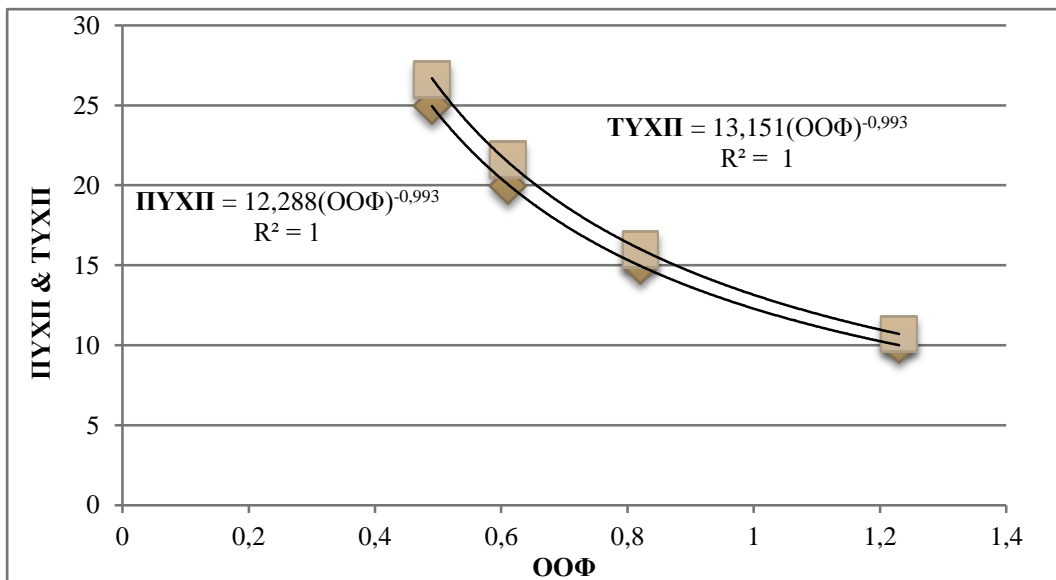
### 8.1.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΟΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ, & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

[ $\chi_{\lambda} = 3,0/1,0$ , ΦΑΣΗ Β']

ΤΥΧΠ	ΟΟΦ	ΟΠΒ	ΟΠΜ	ΠΥΧΠ	ΕC	pH
10	1,23	0,76	0,51	10,7	7,2	7,3
15	0,82	1,27	0,83	16	7,2	7,4
20	0,61	1	0,67	21,6	7	7,4
25	0,49	0,75	0,55	26,6	7,9	7,4
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>					<b>7,3</b>	<b>7,4</b>



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.2: Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ.

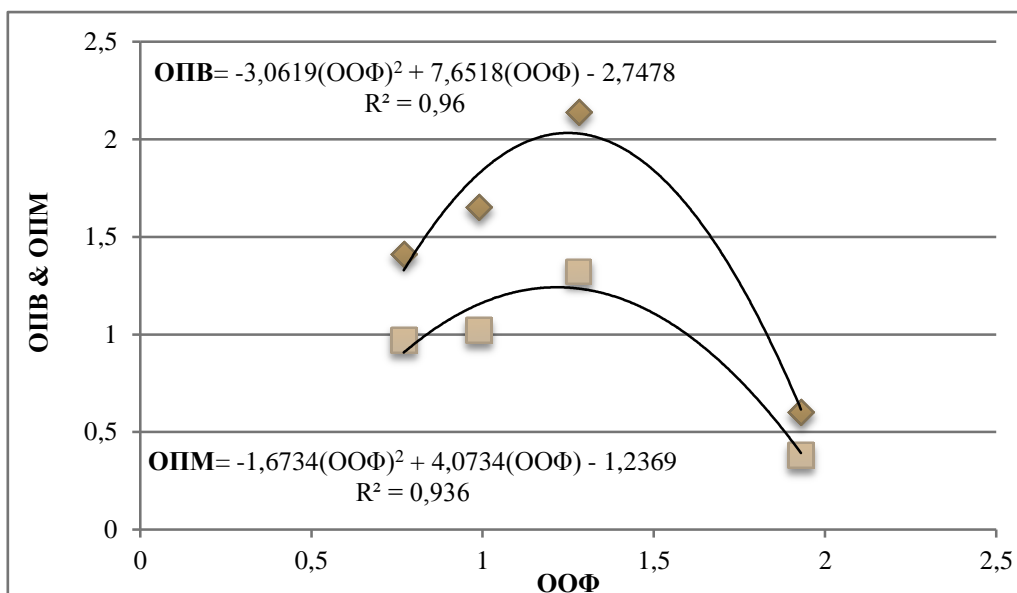


➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.3: Συσχέτιση του ΤΥΧΠ & ΠΥΧΠ με ΟΟΦ για τον λόγο ΧΛ=3,0/1,0.

### 8.1.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΟΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ, & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

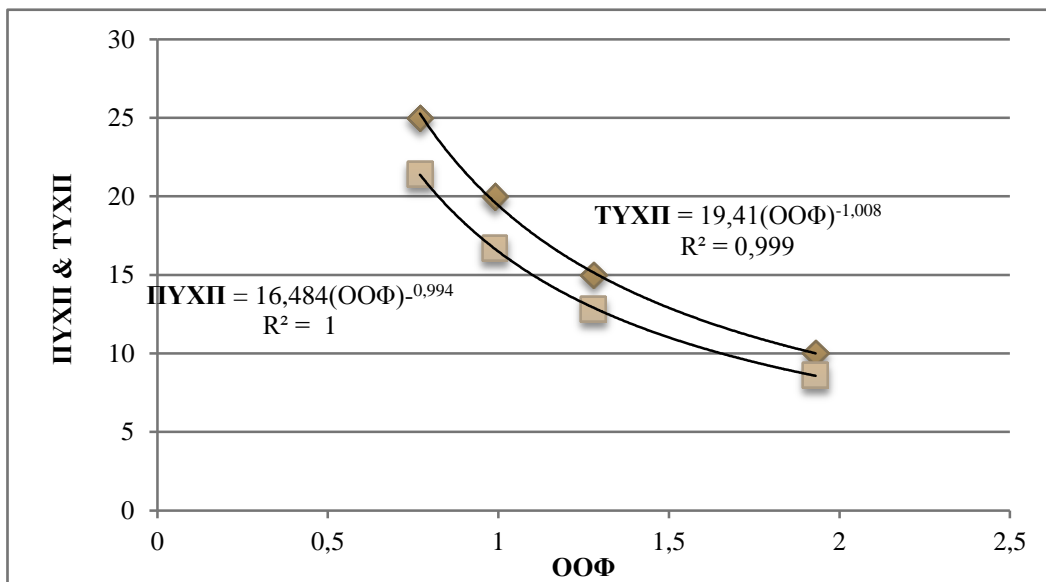
[ΧΛ = 6,0/1,0, ΦΑΣΗ Β']

ΤΥΧΠ	ΟΟΦ	ΟΠΒ	ΟΠΜ	ΠΥΧΠ	ΕC	pH
10	1,93	0,6	0,38	8,6	10,2	7,4
15	1,28	2,14	1,32	12,8	9,9	7,3
20	0,99	1,65	1,02	16,7	9,7	7,4
25	0,77	1,41	0,97	21,4	9,3	7,3
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>					<b>9,8</b>	<b>7,4</b>



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.4: Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ για τον λόγο ΧΛ = 6,0/1,0.



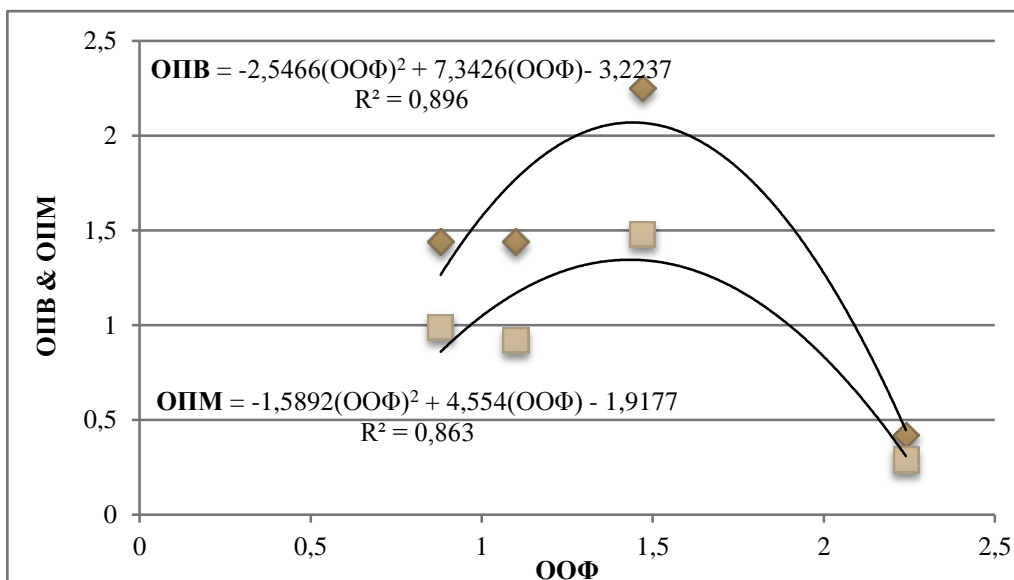


➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.5: Συσχέτιση του TYXH & PUXH με ΟΟΦ για τον λόγο ΧΛ=6,0/1,0.

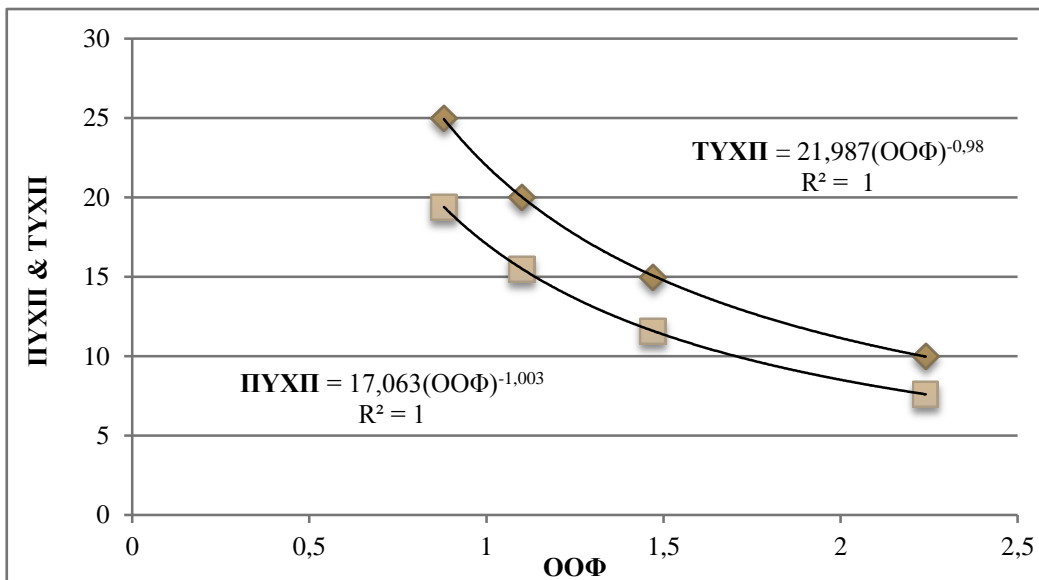
### 8.1.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΟΦ ΜΕ ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ, & ΤΥΧΠ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

[ΧΛ = 9,0/1,0, ΦΑΣΗ Β']

ΤΥΧΠ	ΟΟΦ	ΟΠΒ	ΟΠΜ	ΠΥΧΠ	ΕC	ρΗ
10	2,24	0,42	0,29	7,6	12	7,6
15	1,47	2,25	1,48	11,6	11,7	7,5
20	1,1	1,44	0,92	15,5	11,3	7,5
25	0,88	1,44	0,99	19,4	11,4	7,5
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>					11,6	7,5



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.6: Συσχέτιση της ΟΟΦ με ΟΠΒ & ΟΠΜ για τον λόγο ΧΛ = 9,0/1,0.



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.7:Συσχέτιση του TYXII & PYXII με ΟΟΦ για τον λόγο  $X_{\lambda} = 9,0/1,0$ .

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, υπολογίζεται η πρώτη παράγωγος της ΟΟΦ. Συγκεκριμένα, από τις καμπύλες προκύπτουν, *οι πολυωνμικές εξισώσεις δευτέρου βαθμού ΟΠΒ και ΟΠΜ για κάθε λόγο  $X_{\lambda}$* , οι οποίες είναι οι εξής:

$X_{\lambda} = 0/1$	ΟΠΒ = $[-0,5179*(\text{ΟΟΦ})^2+0,9377*(\text{ΟΟΦ})-0,015]$
	ΟΠΜ = $[-0,2913*(\text{ΟΟΦ})^2+0,6525*(\text{ΟΟΦ})+0,0103]$
$X_{\lambda} = 3/1$	ΟΠΒ = $[-3,7629*(\text{ΟΟΦ})^2+6,504*(\text{ΟΟΦ})-1,5452]$
	ΟΠΜ = $[-2,1509*(\text{ΟΟΦ})^2+3,665*(\text{ΟΟΦ})-0,7419]$
$X_{\lambda} = 6/1$	ΟΠΒ = $[-3,0619*(\text{ΟΟΦ})^2+7,6518*(\text{ΟΟΦ})-2,7478]$
	ΟΠΜ = $[-1,6734*(\text{ΟΟΦ})^2+4,0734*(\text{ΟΟΦ})-1,2369]$
$X_{\lambda} = 9/1$	ΟΠΒ = $[-2,5466*(\text{ΟΟΦ})^2+7,3426*(\text{ΟΟΦ})-3,2237]$
	ΟΠΜ = $[-1,5892*(\text{ΟΟΦ})^2+4,554*(\text{ΟΟΦ})-1,9177]$

- Παραγωγίζοντας τις εξισώσεις και λύνοντας ως προς το μηδέν, προκύπτουν οι τιμές της παραγώγου ΟΟΦ' για κάθε λόγο  $X_{\lambda}$ . Για παράδειγμα: με βάση τον λόγο  $X_{\lambda} = 3/1$ , παίρνουμε τις εξής εξισώσεις

1. ΟΠΒ = $[-3,7629*(\text{ΟΟΦ})^2+6,504*(\text{ΟΟΦ})-1,5452]$
2. ΟΠΜ = $[-2,1509*(\text{ΟΟΦ})^2+3,665*(\text{ΟΟΦ})-0,7419]$

- *Παραγωγίζουμε και λύνουμε ως προς το μηδέν :*

\***ΟΠΟΥ ΟΟΦ' = X.**

a.  $2*(-3,7629*\text{ΟΟΦ}_1)+6,504 = 0 \rightarrow \text{ΟΟΦ}_1 = \frac{6,504}{7,5258} \rightarrow \text{ΟΟΦ}_1 = 0,85 \text{ kg}$   
Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα.

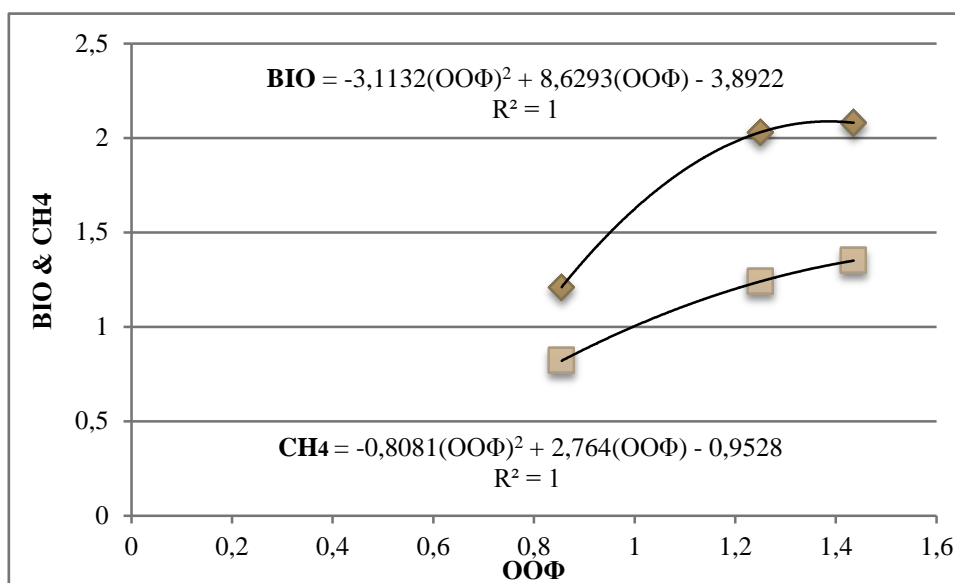
b.  $2*(-2,1509*\text{ΟΟΦ}_2)+3,665 = 0 \rightarrow \text{ΟΟΦ}_2 = \frac{3,665}{4,3018} \rightarrow \text{ΟΟΦ}_2 = 0,851 \text{ kg}$   
Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα

Τέλος, υπολογίζουμε τον μέσο όρο των δυο τιμών της ΟΟΦ που βρήκαμε, όπου μας δίνει το αποτέλεσμα της ΟΟΦ'(παράγωγος):  $\text{ΟΟΦ}' = (0,86+0,851)/2 = 0,85 \text{ kg Π.Σ./m}^3\text{ΧΩΝ-ημέρα}$ .

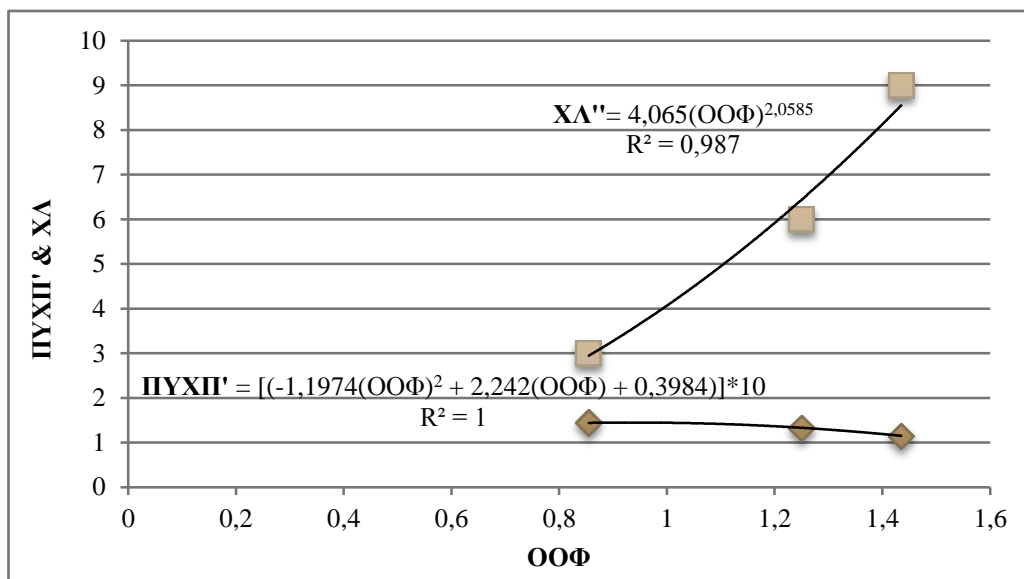
Με βάση αυτή την μαθηματική μέθοδο υπολογίζονται ομοίως οι υπόλοιπες τιμές της ΟΟΦ' για κάθε λόγο Χ<sub>λ</sub> όπου παρουσιάζονται σε πίνακα στο παρακάτω υποκεφάλαιο, καθώς και *οι τιμές του ΤΥΧΠ και του ΠΥΧΠ που υπολογιστήκαν αντικαθιστώντας τις τιμές ΟΟΦ' στη κάθε εξίσωση που τους αντιστοιχεί στα παραπάνω διαγράμματα για κάθε λόγο Χ<sub>λ</sub>.*

### 8.1.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΟΠΒ', ΟΠΜ', ΠΥΧΠ' , & Ε<sub>c</sub> ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΟΦ'

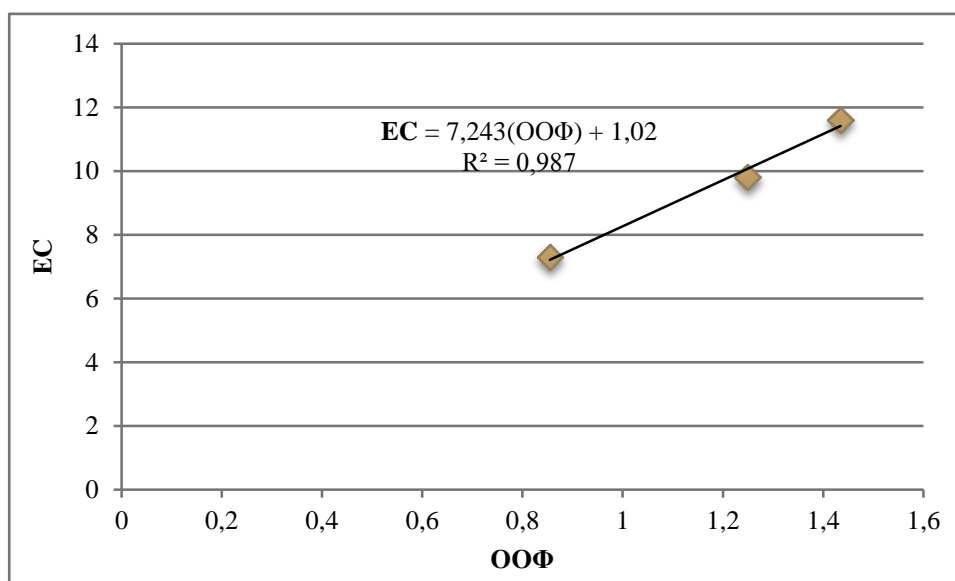
ΤΥΧΠ	ΟΟΦ'	ΟΠΒ'	ΟΠΜ'	ΠΥΧΠ'	ΧΛ'	Ε <sub>c</sub>
-	1	0,4	0,37	6	0	-
15,4	0,85	1,21	0,82	1,44*(10)	3	7,3
15,5	1,25	2,03	1,24	1,33*(10)	6	9,8
15,4	1,44	2,08	1,35	1,15*(10)	9	11,6



- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.8: Συσχέτιση της ΟΟΦ' με ΟΠΒ' & ΟΠΜ' για όλες τις φάσεις του πειράματος.



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.9: Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τον ΠΥΧΙΠ' και τον λόγο ΧΛ'.



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.10: Συσχέτιση της ΟΟΦ' με την EC .

Από το **διάγραμμα 8.9**, φαίνεται πως η σχέση μεταξύ του *λόγου των πτητικών στερεών*  $X_L$  και της *οργανικής ογκομετρικής φόρτισης* (ΟΟΦ) είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού και όσο αυξάνεται ο λόγος  $X_L$ , αυξάνεται και η ΟΟΦ, καθώς και ο πραγματικός υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΠΥΧΠ), όπου στην τελευταία αυξημένη τιμή της ΟΟΦ παρουσιάζει μείωση. Με λόγο  $X_L = 9/1$ , η ΟΟΦ φτάνει στη τιμή **1,44** (kg Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα) με ΠΥΧΠ = **11,5** περίπου **12** ημέρες. Η τιμή της ΟΟΦ είναι μικρότερη από **2** (kg Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα), λόγω ότι τα υγρά διαχωρισμού αποβλήτων είχαν υποστεί πολύ αραίωση όπου συνεπάγεται το χαμηλό τους φορτίο.

Από το **διάγραμμα 8.10**, όπου παρουσιάζεται η *συσχέτιση της ΟΟΦ με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)*, φαίνεται ότι όσο αυξάνει η ΟΟΦ αυξάνεται και η EC σε μια γραμμική τάση, που σημαίνει ότι δεν δημιουργήθηκε κάποιο πρόβλημα στην αναερόβια επεξεργασία, καθώς και δεν επηρέασε καμία άλλη παράμετρο κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Από το **διάγραμμα 8.8**, προκύπτει πως η σχέση της *ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου* (ΟΠΒ) και *ογκομετρικής παραγωγής μεθανίου* (ΟΠΜ) με την *οργανική ογκομετρική φόρτιση* (ΟΟΦ) είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού για το εύρος των τιμών της τελευταίας (**0,9-1,44**) (kg Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα), που δοκιμάστηκαν στην παρούσα εργασία. Γενικά, από βιβλιογραφία (Γεωργακάκης, 2011) αναφέρεται ως σύνηθες ασφαλές εύρος τιμών ΟΟΦ από (**2,5 – 3,5**) (kg Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα) για περιπτώσεις όμως αποβλήτων με αυξημένο ποσοστό δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλών. Στην περίπτωση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε οι τιμές της ΟΟΦ ήταν κάτω από **2,5** (kg Π.Σ./m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα), λόγω της χρησιμοποίησης αποβλήτων (βουστασίου) απαλλαγμένων από χοντρόκοκα, αιωρούμενα, δύσκολα βιοαποδομούμενων συστατικών, λόγω της εφαρμογής μηχανικού διαχωρισμού.

Κάτω από τις συνθήκες αυτές προέκυψε μια άριστη τιμή ογκομετρικής παραγωγής βιοαερίου (ΟΠΒ) για τιμή ογκομετρικής οργανικής φόρτισης (ΟΟΦ) 1,39 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα και ογκομετρικής παραγωγής μεθανίου (ΟΠΜ) για ΟΟΦ = 1,71 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα, αντίστοιχα (Διάγραμμα 8,8).

Επιλέγεται ως άριστη τιμή ΟΟΦ η μέση τιμή :

$$(1,39+1,71)/2 = 1,55 \text{ kg ΠΣ/m}^3 \text{ ΧΩΝ-ημέρα.}$$

Εφαρμόζοντας την άριστη αυτή τιμή ΟΟΦ στις σχέσεις των διαγραμμάτων 8.8, 8.9 και 8.10, υπολογίζονται οι αντίστοιχες άριστες τιμές των παραμέτρων ΟΠΒ, ΟΠΜ,  $X_L$ , ΠΥΧΠ, ΤΥΧΠ, EC και στη συνέχεια οι τιμές των παραμέτρων της ειδικής παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου (ΕΠΒ, ΕΠΜ) και της παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου /ανά μονάδα όγκου μίγματος αποβλήτων (ΟΠΒ/Α, ΟΠΜ/Α), από τις τιμές των ΟΠΒ, ΟΠΜ, ΠΥΧΠ και ΟΟΦ.

Ο υπολογισμός είναι ο εξής από το **διάγραμμα 8.8**, παίρνοντας τις εξισώσεις που προκύπτουν από τις *καμπύλες ΒΙΟ και CH<sub>4</sub>*, μπορεί να υπολογιστεί η **βέλτιστη (optimum) τιμή της ΟΟΦ**. Παραγωγίζοντας τις εξισώσεις και λύνοντας ως προς το μηδέν, έχουμε:

$$A) 2*(-3,1132*OO\Phi_1)+8,6293 = 0 \rightarrow OO\Phi_1 = \frac{8,6293}{6,2264} \rightarrow OO\Phi_1 = 1,39 \text{ kg Π.Σ./m}^3\text{ΧΩΝ-ημέρα}$$

$$B) 2*(-0,8081*OO\Phi_2)+2,764 = 0 \rightarrow OO\Phi_2 = \frac{2,764}{1,6162} \rightarrow OO\Phi_2 = 1,71 \text{ kg Π.Σ./m}^3\text{ΧΩΝ-ημέρα}$$

Επομένως, υπολογίζοντας τον μέσο όρο των δυο τιμών, προκύπτει *το βέλτιστο φορτίο (optimum):*  $(1,39+1,71)/2 = 1,55 \text{ kg Π.Σ./m}^3\text{ΧΩΝ-ημέρα}$ .

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα προκύπτει, πως η άριστη παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου, για την δεδομένη τιμή  $OO\Phi = 1,55 \text{ kg ΠΣ/m}^3\text{ΧΩΝ-ημέρα}$  θα προκύψει πρακτικά, μόνο όταν ισχύουν ταυτόχρονα και οι αντίστοιχες τιμές των υπόλοιπων σχέσεων, όπως των ΧΛ, ΠΥΧΠ, ΕΠΒ, ΕΠΜ κλπ για την τιμή  $OO\Phi$ . Στον παρακάτω Πίνακα φαίνονται οι σχέσεις αυτές και οι άριστες τιμές τους για  $\max$  παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου.

- Πίνακας 8.9 : Συγκεντρωτικός πίνακας άριστων τιμών παραγωγής βιοαερίου/μεθανίου

<b>1. ΜΕΡΟΣ: ΑΡΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΜΑΧ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΜΕΘΑΝΙΟΥ OOΦ = 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα</b>
<b>OOΦ = (1,39+1,71)/2 = 1,55</b>
<b>EC = (7,243*OOΦ)+1,02 = 12,3 mS/cm</b>
<b>ΟΠΒ = [-3,1132*(OOΦ)<sup>2</sup>+8,6293*(OOΦ)] = 2 Nm<sup>3</sup> BIO/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα</b>
<b>ΟΠΜ = [-0,8081*(OOΦ)<sup>2</sup>+2,764*(OOΦ)-0,9528] = 1,39 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα</b>
<b>ΕΠΒ = ΟΠΒ/ΟΟΦ = 1,29 Nm<sup>3</sup> BIO/kg ΠΣ-ημέρα</b>
<b>ΕΠΜ = ΟΠΜ/ΟΟΦ = 0,89 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg ΠΣ-ημέρα</b>
<b>ΟΠΒ/Α = ΟΠΒ*ΠΥΧΠ = 20 Nm<sup>3</sup>BIO/kg αποβλήτων-ημέρα</b>
<b>ΟΠΜ/Α = ΟΠΜ*ΠΥΧΠ = 13,9 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg αποβλήτων-ημέρα</b>
<b>ΠΥΧΠ = [(1,1974*(OOΦ)<sup>2</sup>+2,242*(OOΦ)+0,3984]*10 = 10 ημέρες</b>
<b>ΧΛ = 4,065*(OOΦ)2,0585 = 10/1</b>

## 8.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>)

➤ Πίνακας 8.10: Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Α'

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΛΟΓΟΣ Χλ : 0,0/1</b>			
<b>ΤΥΧΠ</b>	<b>ΤΙΜΗ</b>	<b>Ο.Σ. (%)</b>	<b>Π.Σ. (%)</b>
<b>10</b>	ΑΡΧΙΚΗ	1,03	0,6
	ΤΕΛΙΚΗ	0,32	0,18
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-68,93%</b>	<b>-70,00%</b>
<b>15</b>	ΑΡΧΙΚΗ	1,03	0,6
	ΤΕΛΙΚΗ	0,26	0,18
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-74,76%</b>	<b>-70,00%</b>
<b>20</b>	ΑΡΧΙΚΗ	1,03	0,6
	ΤΕΛΙΚΗ	0,13	0,08
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-87,38%</b>	<b>-86,67%</b>
<b>25</b>	ΑΡΧΙΚΗ	0	0
	ΤΕΛΙΚΗ	0	0
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>

➤ Πίνακας 8.11: Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Β'

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - ΛΟΓΟΣ Χλ : 3,0/1</b>			
<b>ΤΥΧΠ</b>	<b>ΤΙΜΗ</b>	<b>Ο.Σ. (%)</b>	<b>Π.Σ. (%)</b>
<b>10</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,13	1,32
	ΤΕΛΙΚΗ	<u>0,2</u>	<u>0,12</u>
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-90,61%</b>	<b>-90,91%</b>
<b>15</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,13	1,32
	ΤΕΛΙΚΗ	<u>0,18</u>	<u>0,11</u>
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-91,55%</b>	<b>-91,67%</b>
<b>20</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,13	1,32
	ΤΕΛΙΚΗ	<u>0,23</u>	<u>0,13</u>
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-89,20%</b>	<b>-90,15%</b>
<b>25</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,13	1,32
	ΤΕΛΙΚΗ	<u>0,6</u>	<u>0,36</u>
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-71,83%</b>	<b>-72,73%</b>

- Πίνακας 8.12: Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Γ'

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3 - (ΛΟΓΟΣ ΧΛ : 6,0/1)</b>			
<b>ΤΥΧΠ</b>	<b>ΤΙΜΗ</b>	<b>Ο.Σ. (%)</b>	<b>Π.Σ. (%)</b>
<b>10</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,9	1,65
	ΤΕΛΙΚΗ	0,39	0,23
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-86,55%</b>	<b>-86,06%</b>
<b>15</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,9	1,65
	ΤΕΛΙΚΗ	0,31	0,2
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-89,31%</b>	<b>-87,88%</b>
<b>20</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,9	1,65
	ΤΕΛΙΚΗ	0,55	0,34
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-81,03%</b>	<b>-79,39%</b>
<b>25</b>	ΑΡΧΙΚΗ	2,9	1,65
	ΤΕΛΙΚΗ	0,5	0,31
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-82,76%</b>	<b>-81,21%</b>

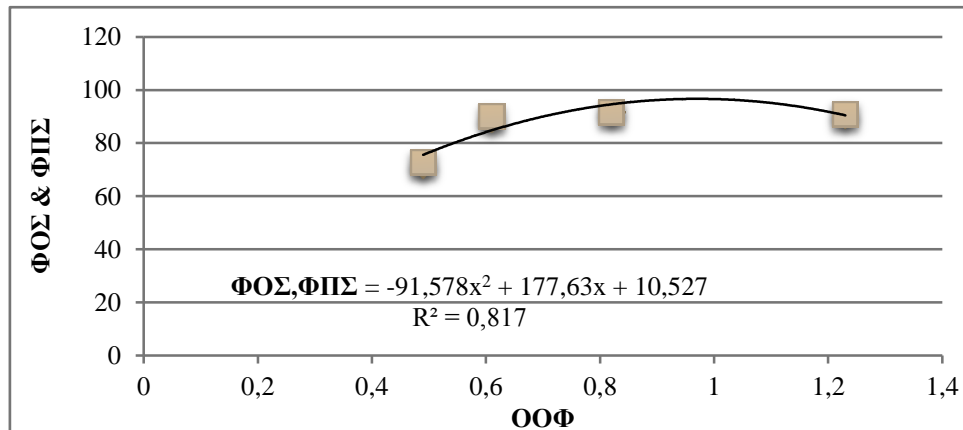
- Πίνακας 8.13: Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μείωσης φορτίου, φάση Δ'

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4 - ΛΟΓΟΣ ΧΛ: 9,0/1</b>			
<b>ΤΥΧΠ</b>	<b>ΤΙΜΗ</b>	<b>Ο.Σ. (%)</b>	<b>Π.Σ. (%)</b>
<b>10</b>	ΑΡΧΙΚΗ	11,22	9,54
	ΤΕΛΙΚΗ	0,31	0,19
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-97,24%</b>	<b>-98,00%</b>
<b>15</b>	ΑΡΧΙΚΗ	10,76	9,02
	ΤΕΛΙΚΗ	0,37	0,2
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-96,56%</b>	<b>-98,00%</b>
<b>20</b>	ΑΡΧΙΚΗ	10,45	8,72
	ΤΕΛΙΚΗ	0,33	0,19
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-96,84%</b>	<b>-98,00%</b>
<b>25</b>	ΑΡΧΙΚΗ	11,28	9,7
	ΤΕΛΙΚΗ	0,6	0,36
	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ</b>	<b>-94,68%</b>	<b>-96,29%</b>



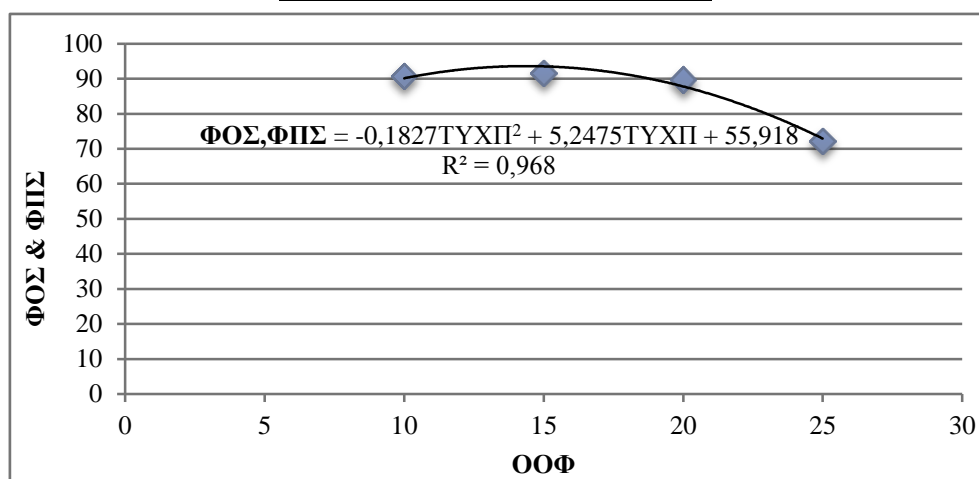
- Στους παρακάτω Πίνακες φαίνονται τα ποσοστά μείωσης του οργανικού φορτίου ΠΣ(%) & ΟΣ(%) σε σχέση με τις τιμές του λόγου ΤΥΧΠ,ΟΟΦ για κάθε ΧΛ:

ΤΥΧΠ	ΟΟΦ	ΦΟΣ(%)	ΦΠΣ(%)	ΧΛ
10	1,23	-90,6	-90,9	<b>3\1</b>
15	0,82	-91,6	-91,7	
20	0,61	-89,2	-90,2	
25	0,49	-71,8	-72,7	



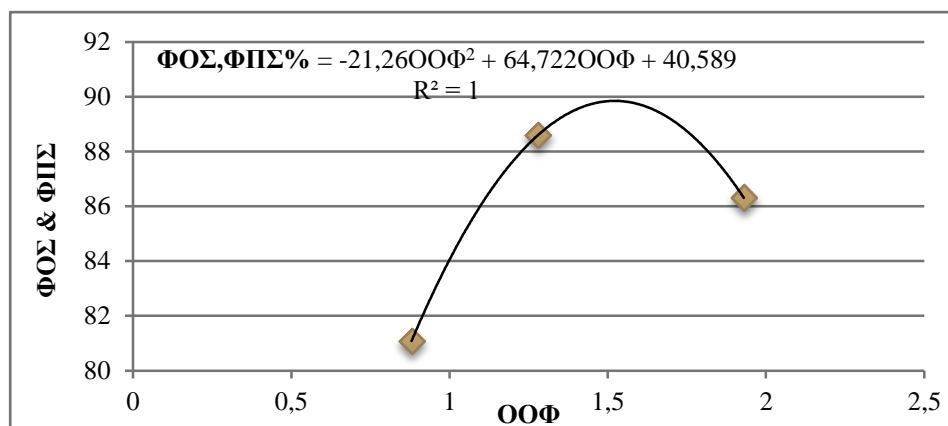
- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.11: Συσχέτιση της ΟΟΦ με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ για τον λόγο ΧΛ = 3/1.

ΤΥΧΠ	ΦΟΣ,ΠΣ%	ΧΛ
10	-90,76	<b>3\1</b>
15	-91,61	
20	-89,7	
25	-72,28	



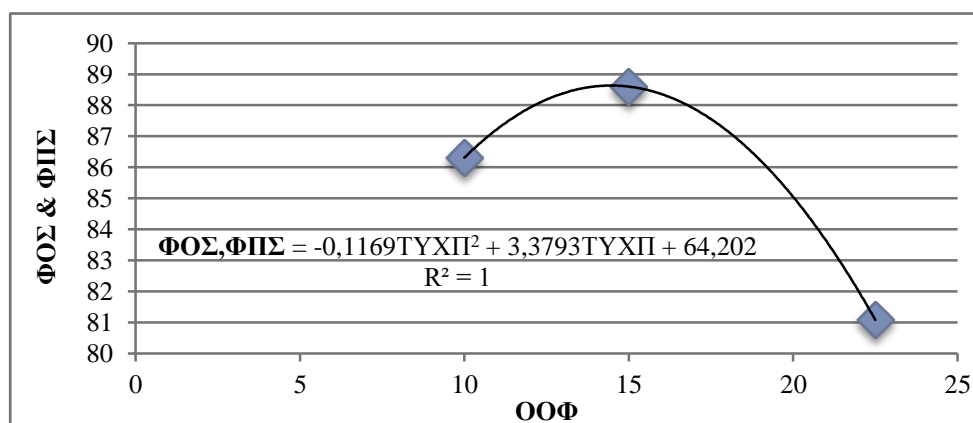
- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.12: Συσχέτιση του ΤΥΧΠ με τον μέσο όρο της μείωσης φορτίου ΦΟΣ & ΠΣ για τον λόγο ΧΛ = 3/1 .

ΤΥΧΗ	ΟΟΦ	ΦΟΣ(%)	ΦΠΣ(%)	ΧΛ
10	1,93	-86,6	-86,1	6\1
15	1,28	-89,3	-87,9	
20	0,99	-81	-79,4	
25	0,77	-82,8	-81,2	



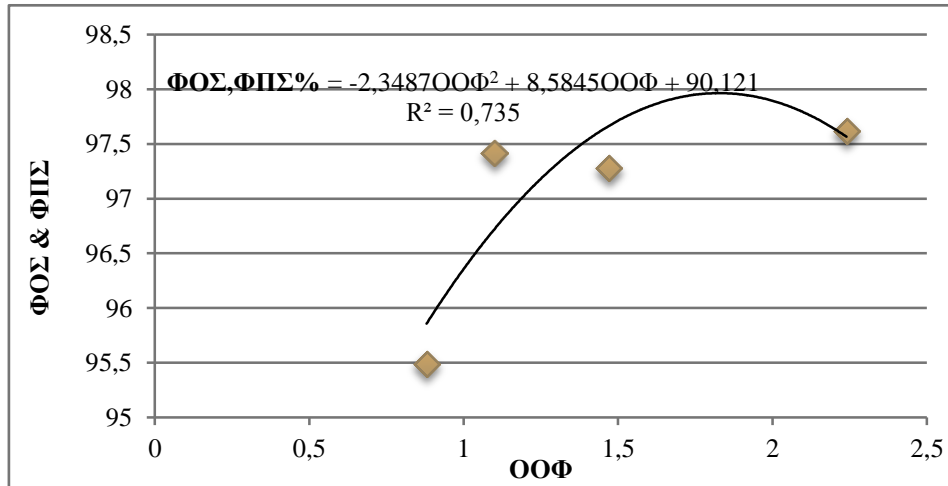
➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.13: Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ για τον λόγο ΧΛ = 6/1.

ΤΥΧΗ	ΦΟΣ,ΦΠΣ%	ΧΛ
10	-86,31	6\1
15	-88,6	
22,5	-81,08	



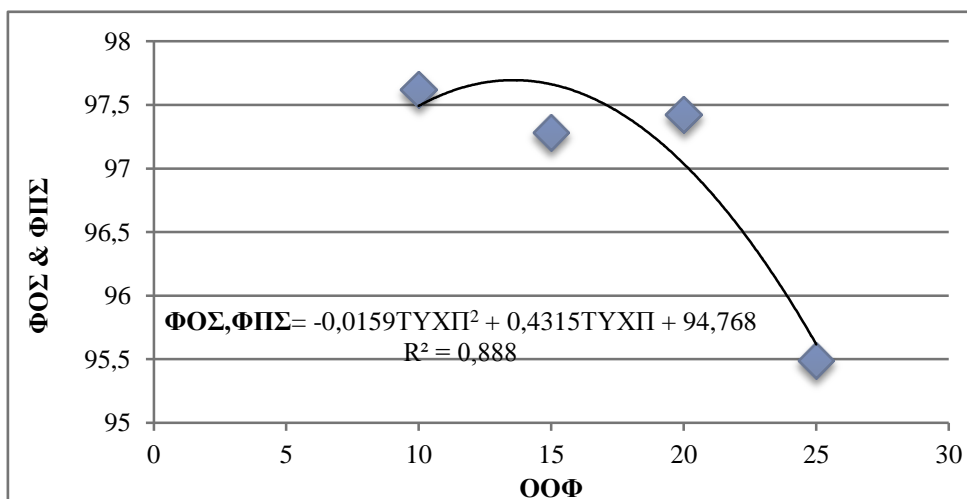
➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.14: Συσχέτιση του ΤΥΧΗ με τον μέσο όρο της μείωσης φορτίου ΦΟΣ & ΠΣ για τον λόγο ΧΛ = 6/1 .

ΤΥΧΗ	ΟΟΦ	ΦΟΣ(%)	ΦΠΣ(%)	ΧΛ
10	2,24	-97,2	-98	9\1
15	1,47	-96,6	-98	
20	1,1	-96,8	-98	
25	0,88	-94,7	-96,3	



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.15: Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ για τον λόγο ΧΛ = 9/1.

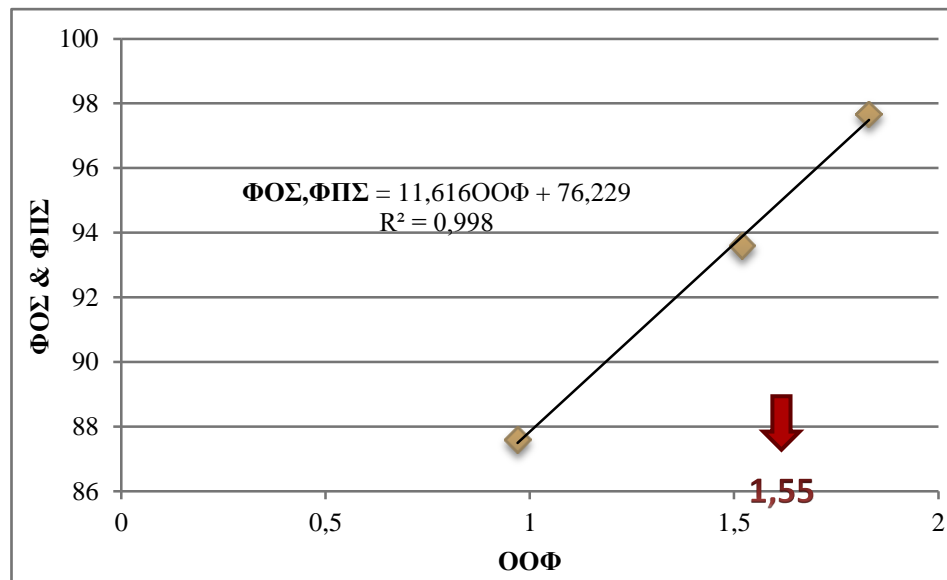
ΤΥΧΗ	ΦΟΣ, ΦΠΣ%	ΧΛ
10	97,62	9\1
15	97,28	
20	97,42	
25	95,49	



➤ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.16: Συσχέτιση του ΤΥΧΗ με τον μέσο όρο της μείωσης φορτίου ΦΟΣ & ΠΣ για τον λόγο ΧΛ = 9/1 .

- Στον παρακάτω πίνακα αναδιατάσσονται τα στοιχεία των προηγούμενων πινάκων ως εξής :

ΟΟΦ	ΧΛ	ΦΟΣ,ΦΠΣ%
1,52	3	-93,6
0,97	6	-87,6
1,83	9	-97,67



- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.17: Συσχέτιση της ΟΟΦ' με τη μείωση φορτίου ΠΣ & ΟΣ και για τους τρεις λόγους ΧΛ.

Από όλα τα παραπάνω και συγκεκριμένα από το διάγραμμα 8.17, παρατηρούμε ότι τα αραιά απόβλητα για μέγιστη ΟΟΦ = 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα μείωση φορτίου σε σχέση με την ΟΟΦ, δεν παρουσιάζει optimum, αλλά σχετίζεται γραμμικά με τη μείωση φορτίου. Έτσι μπορούμε να ερμηνεύσουμε ότι το μέγιστο φορτίο σε τιμές πάνω από 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα, μπορούν να φτάσουν μέχρι και 2 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα με αποτέλεσμα όμως να εμφανίζεται μείωση στην απόδοση του βιοαερίου. Συνοψίζοντας για ΟΟΦ = 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα και ΦΠΣ,ΦΟΣ(%) = - 95 % μείωση φορτίου, μας δείχνει ότι για μεγαλύτερα φορτία αυξάνεται η απόδοση μέχρι ένα σημείο αλλά έπειτα μειώνεται η απόδοση σε βιοαέριο. Συνεπώς τα αραιά απόβλητα και τα ΦΟΣ, ΦΠΣ(%) βελτιώνονται με την αύξηση της ΟΟΦ. Μια σημαντική διαπίστωση-αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας είναι επίσης πως το ποσοστό μείωσης του οργανικού φορτίου (σε ΠΣ, ΟΣ) στα υγρά εκροής είναι ανεξάρτητο από την ποσότητα της οργανικής ύλης των υγρών διαχωρισμού αποβλήτων βουστασιού και τυρογάλακτος στο μίγμα τροφοδοσίας (τιμές ΧΛ) για την ίδια τιμή ΟΟΦ και μεταβάλλεται μόνο αν αλλάξει η τιμή ΟΟΦ. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών που αντιστοιχούσαν στους διάφορους ΧΛ σε κάθε ΟΟΦ στους παραπάνω πίνακες του πειραματικού μέρους.

Το σημαντικό ήταν πως η χρησιμοποίηση πολύ αραιών αποβλήτων δεν επηρέασε την σταθερότητα της αναερόβιας χώνευσης, αλλά αντίθετα, προέκυψε πολύ αυξημένο ποσοστό μείωσης φορτίου στα υγρά εξόδου, της τάξης του 95%. Αυτό αποδίδεται στον υψηλό βαθμό αραιώσης, που διευκολύνει την δράση των βακτηρίων, αλλά και στο μικρό οργανικό φορτίο των υγρών αυτών/μονάδα όγκου, με αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή διάσπασή του από τους μικροοργανισμούς στην προσπάθειά τους να καλύψουν τις ανάγκες του μεταβολισμού τους.

Ακόμα, στα αραιά απόβλητα εμφανίζεται πρώτα η μέγιστη τιμή βιοαερίου και έπειτα η τιμή της μείωσης φορτίου. Ο όγκος του χωνευτήρα υπολογίζεται με βάση τα αραιά απόβλητα, διότι έχουμε σταθερή λειτουργία, καθώς και ότι ο ΤΥΧΠ αντιστοιχεί σε αυτόν τον όγκο, όπου ο κατάλληλος με βάση τα δεδομένα μας είναι ΤΥΧΠ = 15 ημέρες με αποτέλεσμα ο όγκος να είναι αμετάβλητος και ο ΠΥΧΠ να μεταβάλλεται.

Τέλος, παρατηρείται στη περίπτωση  $X_L = 0/1$  για ΤΥΧΠ = 25 ημέρες, πως τα δεδομένα είναι μηδενικά διότι ο μάρτυρας σταμάτησε να παράγει βιοαέριο, με αποτέλεσμα να σταματήσει η λειτουργία του.

Η εφαρμογή μηχανικού διαχωριστή, τύπου κοχλία συμπίεσης, για την δημιουργία των πυκνών εκχυλισμάτων, διευκόλυνε σημαντικά την όλη διαδικασία αναερόβιας χώνευσης, χωρίς τα συνηθισμένα προβλήματα σχηματισμού επιφανειακής κρούστας, εμπλοκών στην διακίνηση του μίγματος τροφοδοσίας μέσω σωληνώσεων στον αναερόβιο χωνευτήρα, κλπ ή/και, χωρίς αρνητική επίδραση στην παραγωγή βιοαερίου, η οποία κινήθηκε σε επίπεδα συγκρίσιμα ή καλύτερα ακόμα από εκείνα της βιβλιογραφίας (Angelika Steinhauser, Biogas from Waste and Renewable Resources - An Introduction, Second Edition (2010)) (0,25-0,46). Η σοβαρότερη όμως ωφέλεια είναι η συμβολή στη μείωση του όγκου κατασκευής του αναερόβιου χωνευτήρα και στη διακίνηση και μετέπειτα επεξεργασία σημαντικά μικρότερων όγκων α' υλών πετυχαίνοντας σαφώς οικονομικότερη κατασκευή και λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου και περαιτέρω διαχείρισης των υγρών εκροής.

Στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί δίνεται ένα λεπτομερές παράδειγμα εφαρμογής των αποτελεσμάτων στο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου και ο υπολογισμός στη διαστασιολόγηση των δεξαμενών: αναερόβιας, αερόβιας και ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής (ΑΧΑΔ).

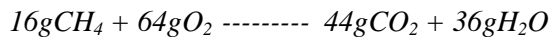
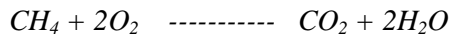
## 8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ ΒΗΜΑΤΩΝ

### 8.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

(βασισμένη σε ερευνητικά αποτελέσματα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. και τη σχετική βιβλιογραφία)

**Βήμα 1.** Βασικές παραδοχές :

1. Αντιστοιχία του μεθανίου με τη χημική ζήτηση οξυγόνου (COD) :



1 mol  $CH_4$  ( $22,4 \text{ Nm}^3 CH_4$ ) καίγεται παρουσία 2 moles  $O_2$  ή  $64g O_2$  ή  $64g COD$ .

Συνεπώς, 1 kg COD αντιστοιχεί με την παραγωγή  $22,4/64 = 0,35 \text{ Nm}^3 CH_4$  ή  $16/64 = 0,25 \text{ kg CH}_4$ .

2. Πυκνότητα μεθανίου :  $0,25/0,35 = 0,714 \text{ kgCH}_4/\text{Nm}^3 CH_4$  (στους  $20^\circ C$  &  $1 \text{ atm}$ )

3. Ενεργειακό περιεχόμενο μεθανίου :  $50,2 \text{ MJ/kg } CH_4$  ή  $50,2 \times 0,714 = 35,84 \text{ MJ/Nm}^3 CH_4$

ή  $35,84 \times 1.000 \text{ kJ/Nm}^3 CH_4$  ή  $35,84 \times 1.000/3.600 = 35,84/3,6 \text{ kWh/Nm}^3 CH_4$  και τελικά :  $9,956 \text{ kWh/Nm}^3 CH_4$  (περίπου  $1L$  πετρελαίου ντήζελ/ $\text{Nm}^3 CH_4$ ) ή  $50,3/3,6$  ή  $9,956/0,714 = 13,944 \text{ kWh/kg } CH_4$ .

4. Δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής (συντελεστής μετατροπής 0,40) :

$$9,956 \times 0,40 = 3,982 \text{ kWh}_e/\text{Nm}^3 CH_4$$

5. Δυναμικό θερμοπαραγωγής (συντελεστής μετατροπής 0,50) :

α)  $9,956 \times 0,50 = 4,978 \text{ kWh}_{th}/\text{Nm}^3 CH_4$  (περίπτωση συμπαραγωγής, CHP)

β)  $9,956 \times 0,90 = 8,960 \text{ kWh}_{th}/\text{Nm}^3 CH_4$  (περίπτωση παραγωγής μόνο θερμικής ενέργειας)

**Βήμα 2.** Προσδιορισμός του απαιτούμενου 'καθαρού όγκου μεθανίου ( $V_{CH_4}$ ) και βιοαερίου ( $V_{BIO}$ ), που ικανοποιεί τον ενεργειακό στόχο [εγκατεστημένη ηλεκτρική (συμπαραγωγή) ή θερμική (μόνο) ισχύς], πχ **500 kW<sub>e</sub>** ή λίτρα υγραερίου αντίστοιχα, με μέση περιεκτικότητα σε μεθάνιο του βιοαερίου 66 .%<sub>κ.ά.</sub>

[Επιθυμητή εγκατεστημένη ισχύς ενεργειακού στόχου,  $kW_e$  ή  $kW_{th}$  ]/[Ενεργειακό περιεχόμενο μεθανίου,  $kWh_e$  ή  $kWh_{th}/\text{Nm}^3 CH_4 = ((500/3,982)*20)*345=866,640 \text{ Nm}^3 CH_4/\text{έτος}$  και  $((500/3,982)/0,66)*20=3.800*345=1.312,72 \text{ Nm}^3 CH_4/\text{έτος}$

**Βήμα 3.** Διαθέσιμες α' ύλες και διαχωρισμός τους σε πλούσιες σε οργανικό άνθρακα και σε πλούσιες σε ανόργανο άζωτο. Δημιουργία του επιθυμητού μίγματος τροφοδοσίας του αναερόβιου χωνευτήρα. Προσδιορισμός των τιμών Ο.Σ. και Π.Σ. των α' υλών του μίγματος τροφοδοσίας.

Διαθέσιμες νωπές α' ύλες Τυρογάλα (πλούσιες σε οργανικό C) με **Ο.Σ. = 3,76 %<sub>κ.β.</sub> και**

$$\mathbf{\Pi.Σ. = 2,20\%_{κ.β.}}$$

Διαθέσιμες νωπές α' ύλες Υγρα Βουστασίου πλούσιες σε αμμωνιακό άζωτο) με

$$\mathbf{Ο.Σ. = 1,03 \%_{κ.β.} \text{ και } \Pi.Σ. = 0,60 \%_{κ.β.}}$$

**Βήμα 4.** Δημιουργία του μίγματος τροφοδοσίας και προσδιορισμός των Ο.Σ.<sub>μ</sub> και Π.Σ.<sub>μ</sub> του εν λόγω μίγματος. Υπολογισμός όλων ή των βασικότερων από τις παρακάτω παραμέτρους, με βάση την βιβλιογραφία και τα τυχόν διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα. Προσδιορίζονται δηλαδή η ΟΠΒ και ΟΠΜ, ο λόγος X<sub>A</sub>, η ΕΠΒ και η ΕΠΜ και τέλος η ΟΠΒ/Α, η ΟΠΜ/Α και ο ΠΥΧΠ :

$$\begin{array}{llll} \mathbf{ΟΠΒ = 2} & \mathbf{ΟΠΜ = 1,39} & \mathbf{X_A = 10/1} & \mathbf{ΟΠΒ/Α = 19,8} \\ \mathbf{ΟΠΜ/Α = 13,76} & \mathbf{ΠΥΧΠ = 10} & \mathbf{ΕΠΒ = 1,29} & \mathbf{ΕΠΜ = 0,89} \end{array}$$

σε συνάρτηση με την επιθυμητή ογκομετρική οργανική φόρτιση (Ο.Ο.Φ.) = 1,55

(μεταξύ 1,5 - 3,5, σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία ή τιμές από τυχόν διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα). Επί πλέον ισχύει :

$$ΟΟΦ, \text{ kg } \Pi.Σ._{(μίγμ)}/m^3_{\text{χων-ημ}} = 10[(\Pi.Σ._{(μίγμ)\%})/\Pi\Upsilon\chi\Pi \text{ και αντίστροφα}$$

Δημιουργία του μίγματος τροφοδοσίας με ανάμιξη των αποβλήτων του Βουστασίου , διαχωρισμένων σε μηχανικό διαχωριστή γ' γενιάς, τύπου κοχλία συμπίεσης (υγρά Δ/Χ), με **Π.Σ.<sub>βουστ.</sub> 0,60 % και Τυρογάλα με Π.Σ. = 2,20 %**

**Βήμα 5.** Προσδιορισμός της συνολικής ημερήσιας ποσότητας πτητικών στερεών του μίγματος των α' υλών και της ημερήσιας παροχής τροφοδοσίας του αναερόβιου χωνευτήρα ως εξής :

$$\mathbf{\Pi.Σ._{\mu} = \Pi.Σ'_{.B} + \Pi.Σ'. = (3.800 \text{ Nm}^3 \text{ ΒΙΟ/ημερα})/1.29 = 2945 \text{ Kg}\Pi\Sigma\mu\text{-ημερα και } \Pi.Σ'_{.B}/\Pi.Σ'. = X_A = 10/1, \text{ οπότε :}}$$

$$\mathbf{\Pi.Σ'_{.B} = 4.222,2/(10+1)=384 \text{ kg/ημερα και } \Pi.Σ'. = 4.222,2 - 384 = 3.838 \text{ kg/ημέρα}}$$

$$\mathbf{Q_{μίγμα} = 3.800/19,8 = 192,17 \text{ m}^3/\text{ημέρα}}$$

$$\mathbf{Q_{βουστάσιο} = 384 / (0,006 * 1000) = 64 \text{ m}^3/\text{ημέρα } \text{Υγρα } \Delta/\text{Χ Βουστασίου}}$$

$$\mathbf{Q_{\text{τυρογάλα}} = 192,17 - 64 = 128,17 \text{ m}^3/\text{ημέρα με } (3.838 * 100) / (128,17 * 1000) = 3,0 \% \text{ ΠΣτ έναντι } 2,2\%.$$

**Αρα χρειάζεται πύκνωση του τυρογάλακτος ή αύξηση του όγκου σε νωπά:**

$Q$  τυρόγαλα =  $3838/0,022 = 174,5 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  και  $192,17 - 174,5 = 17,55 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$   
βουστασίου με  $(384*100)/(17,55*1000) = 2,2\%$  έναντι  $0,6\%$  (πύκνωση).

**Βήμα 6.** Προσδιορισμός του ωφέλιμου ( $V_{\omega\phi}$ ) και συνολικού ( $V_{\sigma\lambda}$ ) όγκου και διαστάσεις του αναερόβιου χωνευτήρα για την παραγωγή του ως άνω όγκου βιοαερίου/μεθανίου (Ο.Π.Β./Ο.Π.Μ.).

$V_{X\Omega N} = 3800/2 = 1.900 \text{ m}^3$  ή  $1.900*1,55 = 2185 \text{ m}^3$  και  $V_{O\Lambda} = V_{X\Omega N} \times (1,20-1,25) = 1.900*1,20 = 2.280 \text{ m}^3 \text{ χων.}$ ,  $(\pi d^2/4) \times h/2$ , όπου  $d = 2h = 20 \text{ m}$  και  $h = 10 \text{ m}$ .

### 8.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

- Τα υγρά εκροής του αναερόβιου χωνευτήρα του βουστασίου υφίστανται στη συνέχεια αερόβια επεξεργασία τύπου ενεργού ιλύος.
- Αρχικά έχουμε:  $Q$  τυρόγαλα =  $3838/0,022 = 174,5 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  &

$Q$  βουστάσιο =  $192,17 - 174,5 = 17,55 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ .

BOD5 20.000 mg/L στο τυρόγαλα + νερά πλυσίματος.

BOD5 5000 mg/L στα Υ/Δ βουστασίου.

**$BOD5$  μίγμα =  $[(174,5*20.000) + (17,6*5000)]/192 = 18.635 \text{ mg/L}$ .**

- Με μείωση φορτίου - 94,3% όπου,  $1063*1,5$
- Υποθέτοντας ότι κατά την αναερόβια επεξεργασία το φορτίο μειώθηκε κατά 94,3% έχουμε ότι

$S_o(\text{BOD5 εισόδου στην αερόβια μίγμα}) = 18.635*0,06 = 1.118 \text{ mg/L}$ .

**$S_o = 1118 * 1,5 = 1.677 \text{ mg/L}$ .**

- Με βάση τον πίνακα 2.5(Βιβλίο – Αερόβιες Διεργασίες, Μέρος β',σελ.44) με τις τυπικές τιμές παραμέτρων σχεδίασης της δεξαμενής αερισμού ενός συστήματος ενεργού ιλύος παρατεταμένου αερισμού.

Βιολογική Φόρτιση:  $F/M=0,05$  (ημέρα<sup>-1</sup>).

Επιθυμητή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή  $MLSS = 3500 \text{ (g/m}^3 \text{ υγρών)}$ .

$MLVSS = 0,63 * 3500 = 2200 \text{ (g/m}^3 \text{ υγρών)}$ .

Επιθυμητός χρόνος παραμονής  $\Theta_c=15$  ημέρες.

Αναμενόμενη μείωση συνολικού φορτίου BOD5 στη δεξαμενή :  $e_o=95\%$ .



Από τη σχέση  $F/M=0.05$  (ημέρα<sup>-1</sup>) =  $Q * S_o / V * MLVSS$  προκύπτει μια τιμή όγκου υγρών στη δεξαμενή:

$$0.05=192 * 1677 \text{ mg/L} / V * 2200$$

$$V_{\omega\phi}=321.984 / 0.05 * 2200 = 2.929 \text{ m}^3$$

- Ελέγχουμε ως προς  $F/V$  (Ογκομετρική Φόρτιση):

$F/V = Q * S_o / V = 192 * 1677 / 2929 = 110 \text{ g BOD}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{ημ}$  τιμή αποδεκτή σύμφωνα με τον πίνακα 2,5(Βιβλίο – Αερόβιες Διεργασίες, Μέρος β',σελ.44).

*Οι διαστάσεις δεξαμενής για τον όγκο των 2.929 m<sup>3</sup> και το βάθος υγρών 3 m είναι οι εξής:*

$$31,25\text{m} * 31,25\text{m} * 3\text{m} \text{ βάθος υγρών.}$$

*Συνολικό βάθος δεξαμενής 3,5 m για αποφυγή υπερχειλίσεων.*

Υποθέτοντας ότι κατά την αερόβια επεξεργασία το φορτίο μειώθηκε κατά 75% έχουμε ότι:

$$S_o * 75\% = 1677 \text{ mg/L} * 0,25 = 419,25 \text{ mg/L.}$$

είναι κάτω από 1200 mg/L που είναι το όριο για τα κτηνοτροφικά απόβλητα .

- $YX_{II} = V/Q_{\mu} = 2.929/192,17 = 15$  ημέρες.

### 8.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΧΩΜΑΤΙΝΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ, ΑΧΑΔ

- Στη συνέχεια θα καταλήγουν σε μια ΑΧΑΔ για αποθήκευση και πρόσθετη αναερόβια χώνευση.

Ο **Συνολικός όγκος δεξαμενής**(m<sup>3</sup>)=Βασικός όγκος +Όγκος νερών βροχής +Όγκος ασφαλείας

**Βασικός όγκος**= Μόνιμος Όγκος +Όγκος υγρών Διαχωρισμού

Παράμετρος Υπολογισμού 0,050\*Ολικό Ζωντανό Βάρος 240525\*

Ποσοστό Όγκου αποβλήτων που φτάνει στη δεξαμενή 0,90\*

Ποσοστό φορτίου ρύπανσης που φτάνει στη δεξαμενή 0,25 (-75%)= **2.705,9 m<sup>3</sup>**

**Όγκος υγρών Διαχωρισμού** = Ημερήσιος όγκος Παραγόμενων αποβλήτων 67.85t/ημ \*

Επιθυμητός χρόνος παραμονής των αποβλήτων στην δεξαμενή 150 \* Ποσοστό όγκου αποβλήτων που φτάνει στη δεξαμενή 0,90= **9.154,7 m<sup>3</sup>**

**Όγκος νερών βροχής** = Καθαρή βροχόπτωση /1000 [(Μέγιστο ύψος βροχής δεκαετίας στην περιοχή 680mm \*1,3 = 884 mm)-( Ύψος εξάτμισης στην περιοχή 400mm)] 484/1000\* Συνολική επιφάνεια ακάλυπτων χώρων στον στάβλο \*Ποσοστό επιφανειακής απορροής 1,0 = **0,484 m<sup>3</sup>**

**Συνολικός όγκος δεξαμενής**= 2705.9+9154.7+0,484 =**11.861(m<sup>3</sup>)** \* **Όγκος ασφαλείας** 1,25=**14.826,36 m<sup>3</sup>**

Συνολικό βάθος δεξαμενής 5,0m

Μήκος μιας άνω πλευράς της δεξαμενής  $\beta_2 = 50,0$

Μέγιστο ύψος στάθμης υγρών στη δεξαμενή 5,0 m

**Διαστάσεις** : για h = 5.00 -1.0 ασφαλείας -1,04= **2,96 m**

**Πυθμένα** :  $\beta_1 = \beta_2 - 2*k*h_{ολ} = 50 - 2*0,67*5 = 43,30$  m

$$\alpha_1 = \frac{V}{[h_{\Delta}*(\beta_2 - k*h)] - k*h}$$

$$= [14108/2,96*(47,50-0,67*2,96)] - (0,67*2,96) = 112,20$$
 m

**Υγρής επιφάνειας**:  $\beta_2' = \beta_2 + 2*k*h = 43,30 + 2*0,67*2,96 = 47,26$  m

$$\alpha_1' = \alpha_1 + 2*k*h = 112,20 + 2 * 0,67 * 2,96 = 116,16$$
 m

**Κορυφής τοιχωμάτων**:  $\beta_2 = 50$  m

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 2*k*h_{ολ} = 112,20 + 2*0.67*5 = 118,9$$
 m

## 8.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

### 8.4.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

ΠΑΡΟΧΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ, $Q_{\mu}$ , $m^3$	192,17
ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ, $m^3$	2.185 $m^3$
ΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ, $m^3$	2.280 $m^3$
<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ</b>	
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ, m	20 m
ΥΨΟΣ, m	10 m
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ, $m^2$	728 $m^2$
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΑΠΕΔΟΥ, $m^2$	314 $m^2$

➤ Πίνακας 8.14: Τεχνικά Χαρακτηριστικά αναερόβιας δεξαμενής

#### 8.4.2 ΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

ΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ	Υ/Δ βουστασίου	τυρόγαλα + νερά πλυσίματος
ΑΡΧΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ, BOD <sub>5</sub> mg/L	5000	20000
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΙΓΜΑΤΟΣ, BOD <sub>5</sub> mg/L	18.635	
Υποθέτοντας ότι κατά την αναερόβια επεξεργασία το φορτίο μειώθηκε κατά 95%		
So(BOD <sub>5</sub> εισόδου στην αερόβια μίγματος) mg/L	1.677	
ΣΥΝΗΘΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, MLSS g/m <sup>3</sup> υγρών	3500	
ΣΥΝΗΘΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, MLVSS g/m <sup>3</sup> υγρών	2200	
ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ, θ <sub>c</sub> , ΗΜΕΡΕΣ	15	
ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ, F/M, ημ <sup>-1</sup>	0,09	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ, F/V, g BOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> -ημ	197	
ΟΓΚΟΣ ΥΓΡΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ, m <sup>3</sup>	1.627	
ΒΑΘΟΣ ΥΓΡΩΝ	3	
ΠΑΡΟΧΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ, Q, m <sup>3</sup> /ημέρα	192,17	
ΥΧΠ	8,7	
<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ</b>		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΘΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ, m	3,5	
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	23,29 X 23,29 X 3,5	

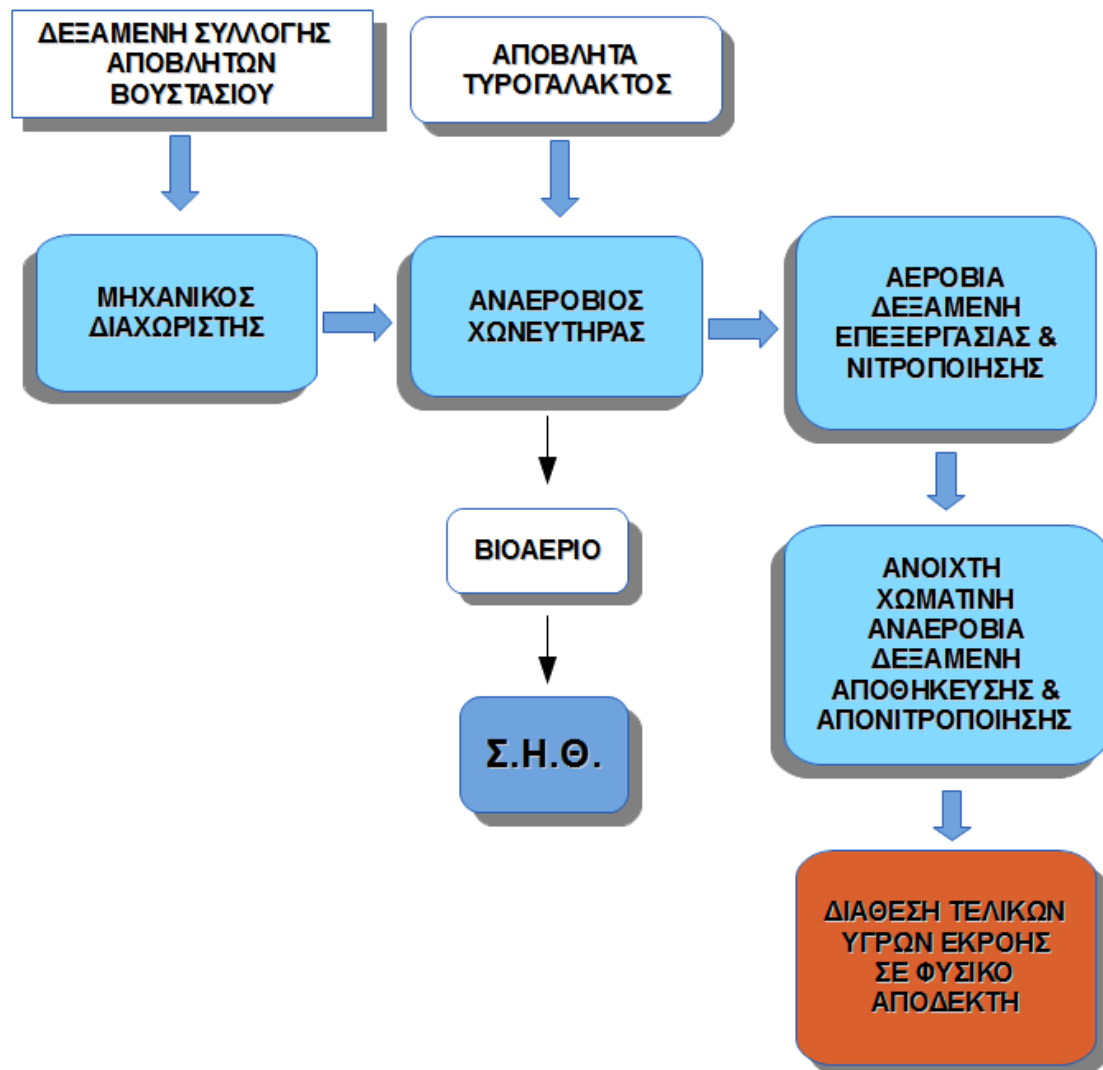
➤ Πίνακας 8.15: Τεχνικά Χαρακτηριστικά αερόβιας δεξαμενής

### 8.3.3 ΑΝΟΙΧΤΗ ΧΩΜΑΤΙΝΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

<b>ΒΑΣΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ,m<sup>3</sup></b>	2705,9
<b>ΟΓΚΟΣ ΥΓΡΩΝ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ, m<sup>3</sup></b>	9154,7
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ, m<sup>3</sup></b>	14826
<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ</b>	
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ, m</b>	5
<b>ΥΨΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ, m</b>	2,96
<b>ΠΥΘΜΕΝΑΣ, m</b>	43,30 & 112,20
<b>ΥΓΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, m</b>	47,26 & 116,16
<b>ΚΟΡΥΦΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ, m</b>	50 & 118,9
<b>ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΟΓΚΟΥ, m<sup>3</sup></b>	15213 > 14826
<b>επαρκεί για τις ανάγκες του βουστασίου</b>	

➤ Πίνακας 8.16: Τεχνικά Χαρακτηριστικά ανοιχτής χωμάτινης αναερόβιας δεξαμενής

### 8.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΕΚΡΩΝ



Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής το μίγμα των αποβλήτων που εξέρχεται του αναερόβιου χωνευτήρα καταλήγουν σε μια αερόβια δεξαμενή επίπλευσης διαλυμένου αέρα (Dissolved Air Flotation - DAF) όπου υφίσταται βιολογική επεξεργασία μέσω της αερόβιας χώνευσης. Κατά τη διαδικασία δραστηριοποιούνται αερόβιοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι διασπών με ταχύτατο ρυθμό το οργανικό φορτίο των αποβλήτων σε ποσοστό άνω του 90%. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου η συνεχής παρουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου. Η επεξεργασία αυτή εφαρμόζεται με σκοπό τη μείωση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου τους και την εξουδετέρωση των οσμών. Ειδικά τα απόβλητα του τυροκομείου θεωρούνται εξαιρετικά ρυπογόνα και γι' αυτό η επεξεργασία τους πριν τη διάθεση τους στο περιβάλλον κρίνεται απαραίτητη. Το φορτίο  $S_0(BOD_5) = 83,85 \text{ mg/L}$  είναι πολύ κάτω από  $1200 \text{ mg/L}$  που είναι το όριο για τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Στη συνέχεια θα καταλήγουν σε μια ΑΧΑΔ για αποθήκευση και πρόσθετη αναερόβια χώνευση και απονιτροποίηση, πριν διατεθούν για λίπανση σε κάποια καλλιέργεια.

## 8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- i. Μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου από πολύ αραιά υγρά διαχωρισμού αποβλήτων βουστασίου γαλακτοπαραγωγής και τυρογάλακτος.
- ii. Το pH παρουσίασε ελαφρώς ανοδική πορεία από 7,4 έως 7,75 κατά μέσον όρο σε όλες τις φάσεις του πειράματος, διατηρώντας σταθερή την αναερόβια διεργασία και ικανοποιητική την παραγωγή βιοαερίου για τα πολύ αραιά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν.
- iii. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υγρών των αναερόβιων χωνευτήρων παρουσίασε γραμμική αύξηση με το ογκομετρικό οργανικό φορτίο (ΟΟΦ), χωρίς να παρουσιάσει ενδείξεις πως επηρέασε δυσμενώς την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, τουλάχιστο μέχρι την ανώτερη τιμή των 11,6 mS/cm, που δοκιμάστηκε στην παρούσα εργασία.
- iv. Προσδιορίστηκε ως opt ΟΟΦ η μέση τιμή των 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα, τόσο για την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου (2,0 Nm<sup>3</sup> ΒΙΟ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα) και μεθανίου (1,39 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg ΠΣ-ημέρα), όσο και για την μέγιστη μείωση του ρυπαντικού φορτίου (94,2%), η τελευταία ως αποτέλεσμα του αραιού περιεχομένου του χωνευτήρα, απαλλαγμένου από χονδρόκοκκα σωματίδια ύλες, που συνήθως δυσχεραίνουν την βιολογική δραστηριότητα.
- v. Το ποσοστό μείωσης του οργανικού φορτίου των υγρών εκροής παρουσίασε γραμμική αυξητική τάση με την αύξηση της τιμής του ΟΟΦ, πιθανά λόγω των αραιών αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν, σε αντίθεση με πρόσφατες εργασίες του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών, όπου η αυξητική τάση αντιστρέφεται σε περιπτώσεις εφαρμογής πολύ πυκνών αποβλήτων.
- vi. Η συγκέντρωση του ρυπαντικού (οργανικού) φορτίου των υγρών εκροής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την τιμή της ΟΟΦ, ενώ φαίνεται να είναι ανεξάρτητη, από την διακύμανση του λόγου ΠΣ των μιγμάτων τροφοδοσίας για τον ίδιο ΥΧΠ.
- vii. Παρατηρήθηκε max τιμή μόνο στην παραγωγή βιοαερίου/μεθανίου και όχι στην ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου των υγρών εκροής, λόγω της γραμμικής συσχέτισής της με την ΟΟΦ. Υπάρχει μέγιστο μόνο στη περίπτωση του βιοαερίου, ενώ στη περίπτωση της μείωσης φορτίου, με βάση τη τιμή ΟΟΦ = 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα, υπολογίστηκε η μέγιστη τιμή φορτίου σε ποσοστό -95%, η οποία είναι επιθυμητή με αποτέλεσμα να μας επαληθεύει ότι είναι αραιά τα απόβλητα.
- viii. Επαληθεύεται, ότι ο όγκος παραμένει σταθερός για αραιά μίγματα αποβλήτων, δηλαδή χαμηλής περιεκτικότητας σε ολικά στερεά. Ο όγκος της εγκατάστασης, με οποιαδήποτε άλλη τιμή που χρησιμοποιείται στο μέλλον μεγαλύτερη από ΟΟΦ = 1,55 kg ΠΣ/m<sup>3</sup>ΧΩΝ-ημέρα, θα χρησιμοποιείται ο ίδιος όγκος και θα αλλάξει η δόση ανάλογα με την πυκνότητα, έτσι ώστε το φορτίο που υπάρχει στην εγκατάσταση να παραμένει σταθερό, αλλά ο χρόνος παραμονής θα αυξάνεται.
- ix. Παρατηρήθηκε max τιμή για την opt ΟΟΦ, μόνο στην παραγωγή βιοαερίου/μεθανίου και όχι στην ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου των υγρών εκροής, λόγω της γραμμικής συσχέτισής της με την ΟΟΦ.
- x. Η μέγιστη τιμή ελάττωσης του ρυπαντικού φορτίου προσδιορίζεται από την γραμμική τους σχέση για την opt τιμή 1,55 και είναι 95%, ποσοστό πολύ ικανοποιητικό επαληθεύοντας ότι είναι αραιά τα απόβλητα.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ▪ Ελληνόγλωσση:

1. Γεωργακάκης Δ. (2010a), Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία Γεωργο-Βιομηχανικών Αποβλήτων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τεύχος 3ο Μέρος Α', Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.
2. Γεωργακάκης Δ. (2010b) Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Γεωργοκτηνοτροφικών Μονάδων και Γ. Βιομηχανιών, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ.
3. Θεσσαλός Κ., Παπαθεοδώρου Α., Γεωργακάκης Δ. (1998) Γεωργοκτηνοτροφικές Εφαρμογές, Συνεργασία Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών ΓΠΑ & Διεύθυνσης Μονόπλων και Μηρυκαστικών Υπουργείου Γεωργίας.
4. Κουαχείλης Α. (2009) Αναερόβια Χώνευση Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου σε ένα Περιοδικό Αναερόβιο Αντιδραστήρα με Ανακλαστήρες (PABR) και Κλασματοποίηση των Εκροών, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα: Έκδοση Πανεπιστήμιο Πατρών, ΔΠΜΣ Περιβαλλοντικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας & Χημικών Μηχανικών.
5. Μάρη Ι. Σ. (2000) Διαχείριση Γεωργικών Αποβλήτων - Αναπνευσιμετρική Εκτίμηση της Πορείας Σταθεροποίησης Οργανικών Υποστρωμάτων υπό Συνθήκες Αερόβιας Θερμόφιλης Χώνευσης (Composting), Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα: Έκδοση ΓΠΑ, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.
6. Μαρκαντωνάτος Φ. (1990) Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων, Β' Έκδοση, Αθήνα: Έκδοσεις Γαρταγάνης.
7. Μάρμολος Γ. (2007) Μηχανικός Διαχωρισμός.
8. Μαυρίδου Χ. & Χουρδάκη Μ. (2007) Η σημασία των Νέων Τεχνολογιών στην Ανάπτυξη των Επιχειρήσεων, Πτυχιακή Μελέτη, Ηράκλειο: ΑΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα Λογιστικής.
9. Σανδάλης Ι. (2012) Παραγωγή Βιοαερίου από Αναερόβια Χώνευση Απορριμμάτων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα: Έκδοση ΕΜΠ, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.
10. Σιούλας Κ., Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2009) Εγχειρίδιο Βιοαερίου, Αθηνά: ΚΑΠΕ
11. Φουντουλάκης Ι. (2012) Διερεύνηση της Επίδρασης της οργανικής Φόρτισης στην Απόδοση της Αναερόβιας Χώνευσης Μίγματος Ιλύος και Λιπών, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Έκδοση ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων.
12. Χαρτσά Α. (2007) Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Χοιροτροφικών Εκμεταλλεύσεων Νομού Ευβοίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μυτιλήνη: Έκδοση Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΠΜΣ Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση, Τμήμα Περιβάλλοντος.



▪ **Ξενογλώσση:**

1. Ahring B.K. (2003) 'Perspectives for Anaerobic Digestion', *Biomethanation I – Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, vol. 81, pp. 1 – 30.
2. Agroenergy A.E. 2012
3. Amanullah M.M., Sekar S., Muthukrishnan P., (2010) 'Prospects and Potential of Poultry Manure', *Asian Journal of Plant Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 172 – 182.
4. *Animal Production and Technology* 2008.
5. Angelidaki, I. & Ahring, B.K. (1993) 'Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia', *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 38, no. 4, January, pp. 560 – 564.
6. Angelidaki, I., Ellegaard, L. & Ahring, B.K. (2003) 'Applications of the Anaerobic Digestion Process Environment & Resources', *Biomethanation II - Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology*, vol. 82, pp. 1 – 33.
7. Barclay 2010
8. Biomass Energy 2012
9. Bernet N. & Beline F. (2009) 'Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents', *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, November, pp. 5431 – 5436.
10. Bitton G. (2005) *Wastewater Microbiology*, 3rd edition, New York: John Wiley & Sons, Inc.
11. Cross W.H., Chian S.K., Pohland F.G., Harper S., Kharkar S., Cheng S.S. and Lu F. (1982) 'Anaerobic Biological Treatment of Coal Gasifier Effluent', *Biotechnology and Bioengineering Symposium Journal*, no. 12, Scott C.D. ed. in 4th Conference Symposium on Biotechnology in Energy Production and Conservation, Gatlinburg, USA 11 May 1982, Georgia Institute of Technology: Atlanta, pp. 349 – 363.
12. Dennis A. & Burke P.E. (2001) *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook - Options for Recovering Beneficial Products from Dairy Manure*, Olympia, WA: Environmental Energy Company.
13. Desai M., Patel V., Madamwar D. (1994) 'Effect of temperature and retention time on biomethanation of cheese whey–poultry waste–cattle dung', *Environmental Pollution*, vol. 83, no. 3, pp. 311 – 315.
14. Dieter Deublein & Angelika Steinhauser, *Biogas from Waste and Renewable Resources\_ An Introduction*, Second Edition (2010).
15. Drawnel A. (2008) *Increase of Biogas Production at Kappala WWTP - Disintegration Methods and Laboratory Scale Biogas Measurements*, Master of Science Thesis, Stockholm: KTH, Royal Institute of Technology, Industrial Ecology.
16. Ferry J.G. (1993) *Methanogenesis- Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*, New York: Chapman & Hall.
17. Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T.M., McSweeney P.L.H. (2000) *Fundamentals of Cheese Science*, Gaithersburg: An Aspen Publication.

18. Gallert C. & Winter J. (1997) 'Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and methane production', *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 48, no. 3, September, pp. 405 – 410.
19. Gelegenis J., Georgakakis D., Angelidaki I., Mavris V. (2007) 'Optimization of Biogas Production by co-digesting whey with diluted poultry manure', *Renewable Energy*, vol. 32, no. 13, October, pp. 2147 – 2160.
20. Georgakakis D, Andreadi E., Christopoulou N., (2002) 'Exploitation of cost efficient biogas production and utilization from Greek pig farms and olive oil mill wastes', Athens: C.R.E.S.
21. Georgakakis D., Sievers D.M, Lannotti E. L. (1982), Buffer stability in manure digesters, *Agricultural Wastes*, vol. 4, no. 6, pp. 427 – 441.
22. Gerardi H.M. (2003) *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
23. Gray F.N. (2004) *Biology of Wastewater Treatment*, 2nd edition, Series on Environmental Science & Management, vol. 4, London: Imperial College Press.
24. Hahne et al, 1996
25. Hansen, K.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K. (1998) 'Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia', *Water Research*, vol. 32, no. 1, January, pp. 5 – 12.
26. Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. (2009) 'The future of anaerobic digestion and biogas utilization', *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, November, pp. 5478 – 5484.
27. Kızılkaya R. & Bayraklı B (2005) 'Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities', *Applied Soil Ecology*, vol. 30, no. 3, November, pp. 192 – 202.
28. Leubhn M., Liu F., Heuwinkel H., Gronauer A. (2008) 'Biogas production from mono-digestion of maize silage-long-term process stability and requirements', *Water Science Technology*, vol. 58, no. 8, pp. 1645 - 1651.
29. Lettinga G.A., van Velsen F.M. de Zeeuw W.J., Hobma S.W. (1980) 'The application of anaerobic digestion to the industrial pollution treatment', *Anaerobic Digestion*, Stafford, Wheatley & Hughes (ed.), London: Applied Science Publishers, pp. 167-186.
30. Liao P.H., Lo K.V., Chieng S.T. (1984) 'Effect of liquid-solids separation on biogas production from dairy manure', *Energy in Agriculture*, vol. 3, pp. 61 – 69.
31. Mariakulandai & Manickam 1975
32. Malina J.F., Pohland F.G. Jr. (1992) 'Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes', *Water Quality Management Library*, vol. 7.
33. Mariakulandai, A. & Manickam T.S. (1975) *Chemistry of Fertilizers and Manures*, New York, USA: Asia Publication House.
34. Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4rd ed. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
35. Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring, B.K. (2002) 'Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions', *Bioresource Technology*, vol. 85, no. 2, November, pp. 189 – 196.
36. Niaounakis al, 2006
37. Philippopoulos Ch. D. & Papadakis M. T. (2001). 'Current trends in whey processing and utilization in Greece', *International Journal of Dairy Technology*, vol. 54, no 1, pp. 14-19.

38. Roig et al, 2006
39. Rosillo-Calle F. & Woods J. (2007) *The Biomass Assessment Handbook – Bioenergy for a sustainable environment*, 1st ed., London: EarthScan.
40. Sakar S., Yetilmezsoy K., Kocak E. (2009) 'Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment — a literature review', *Waste Management Research*, vol. 27, no. 1, February, pp. 3 – 18.
41. Schattauer A., Abdoun E., Weiland P., Plochl M., Heiermann M. (2011) 'Abundance of trace elements in demonstration biogas plants', *Biosystems Engineering*, vol. 108, no. 1, January, pp. 57 – 65.
42. Speece R.F. (1987) 'Nutrient Requirements', *Anaerobic Digestion of Biomass*, pp. 109 – 128.
43. Stronach S.M., Rudd T., Lester, J.N. (1986) *Anaerobic digestion processes in industrial wastewater treatment*, *Biotechnology Monographs*, 2nd edition, Berlin: Springer-Verlag.
44. Sung S. & Liu T. (2003), 'Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion', *Chemosphere*, vol. 53, no. 1, October, pp. 43 – 52.
45. Svoboda I. (2003) *Anaerobic digestion, storage, oligolysis, lime, heat and aerobic treatment of livestock manures*, Provision of research and design of pilot schemes to minimise livestock pollution to the water environment in Scotland, Final report, Warwickshire: FEC Services Ltd.
46. Ward A., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L. (2008) 'Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources', *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 17, November, pp. 7928 – 7940.
47. Yadvika, Santosh, Sreekrishnan T.R., Kohli S., Rana V. (2004) Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review, *Bioresource Technology*, vol. 95, no. 1, October, pp. 1 - 10.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ										
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ										
ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ : ΤΥΧΠ = 10 ΗΜΕΡΕΣ										
$X_{\Lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 3,0/1$										
ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : <b>ΑΣΠΑΣΙΑ (19 L)</b>										
Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
27/5	48	10	7,31	7,34	36,1	36,8	30,6	25,2	1962	
29/5	48	13,5	7,28	8,31	33	32,4	28,3	25,1	1684	
31/5	48	14	7,18	5,76	37	37,9	30,3	24,6	1684	
2/6	48	16	7,26	6,71	41,1	40,6	30,3	24,8	1684	
4/6	48	15	7,24	7,31	43,5	36,1	30,3	23,6	1692	70%
6/6	48	14	7,45	7,8	36	37,3	29,4	23,8	2000	63%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>14,8</b>	<b>7,3</b>	<b>7,2</b>	<b>37,4</b>		<b>27,1</b>		<b>1784</b>	<b>67%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

**ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ : ΤΥΧΠ = 10 ΗΜΕΡΕΣ**

**$X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y_{\Delta}/X_B} = 6,0/1$**

**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΑΣΠΑΣΙΑ (19 L)**

<b>Ημερ/νία</b>	<b>Ώρες</b>	<b>Βιοαέριο</b>	<b>pH</b>	<b>E.C.</b>	<b>T<sub>in</sub></b>	<b>T<sub>out</sub></b>	<b>T<sub>max</sub></b>	<b>T<sub>min</sub></b>	<b>Δόση</b>	<b>% Μεθάνιο</b>
8/6	48	10	7,4	8,66	36,9	36,6	30,3	24,9	2000	
10/6	48	13	7,32	8,9	40	39,4	30,9	26,1	2000	
12/6	48	11	7,37	9,26	37	37	30,9	24,8	2324	
14/6	48	11,5	7,47	9,96	39,1	38,7	32,1	26	2324	
16/6	48	12,5	7,31	10,33	36	41	32,1	26,2	2324	
18/6	48	12	7,41	10,52	41,9	40,9	32	26,1	2324	
20/6	48	12	7,47	10,71	38,2	38	32,3	25,9	2324	
22/6	48	12	7,55	10,75	40	39,6	32,6	25,9	2324	
24/6	48	11	7,63	10,81	37	36,7	32	24,8	2096	63%
26/6	48	11,5	7,52	10,66	36,1	37,3	33,4	27,4	2096	63%
28/6	48	12,5	7,44	11,6	37,1	37,6	34,5	28,4	2284	63%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>11,7</b>	<b>7,4</b>	<b>10,2</b>	<b>38,3</b>		<b>29,5</b>		<b>2220</b>	<b>63%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

**ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ : ΤΥΧΠ = 10 ΗΜΕΡΕΣ**

**$\chi_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 9,0/1$**

**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΑΣΠΑΣΙΑ (19 L)**

<b>Ημερ/νία</b>	<b>Ώρες</b>	<b>Βιοαέριο</b>	<b>pH</b>	<b>Ε.С.</b>	<b>T<sub>in</sub></b>	<b>T<sub>out</sub></b>	<b>T<sub>max</sub></b>	<b>T<sub>min</sub></b>	<b>Δόση</b>	<b>% Μεθάνιο</b>
30/6	48	11	7,59	11,85	41	40,3	33,8	27,6	2284	
2/7	48	11	7,55	11,18	38	38,8	34,2	28,1	2284	
4/7	48	11	7,68	11,87	36	35,7	34,1	28,4	2284	
6/7	48	11,5	7,73	12,77	41	40,2	32,6	23,9	2543	
8/7	48	11	7,6	12,32	36,1	37	33,7	27,8	2543	
10/7	48	11,5	7,6	12,06	38,5	38,8	34,6	28,4	2543	
12/7	48	9	7,78	11,96	37	36	33,9	28,2	2445	
14/7	48	6	7,71	12,53	37	36	34,3	28,4	2445	70%
16/7	48	0	7,57	11,67	36	36,2	33,9	28,4	2445	67%
18/7	48	0	-	-	-	-	-	-	-	70%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>8,2</b>	<b>7,6</b>	<b>12,0</b>	<b>37,8</b>		<b>30,8</b>		<b>2494</b>	<b>69%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ : ΤΥΧΠ = 15 ΗΜΕΡΕΣ  
 $X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_{\text{T}}/\text{ΠΣ}_{\text{YΔ/ΧΒ}} = 3,0/1$   
**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΔΗΜΟΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
27/5	48	16,5	7,46	6,84	36	37,5	30,6	25,2	1308	
29/5	48	25	7,44	7,25	38	32,5	28,3	25,1	1124	
31/5	48	20	7,22	7,55	34	37,3	30,3	24,6	1124	
2/6	48	26	7,41	6,62	37,1	36,3	30,3	24,8	1124	
4/6	48	27	7,15	7,62	37,5	36,9	30,3	23,6	1128	70%
6/6	48	26	7,5	7,3	34	36,2	29,4	23,8	1336	60%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>24,8</b>	<b>7,4</b>	<b>7,2</b>	<b>36,1</b>		<b>27,2</b>		<b>1191</b>	<b>65%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**  
**ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ : ΑΥΧΠ = 15 ΗΜΕΡΕΣ  
 $X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 6,0/1$   
**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΔΗΜΟΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
8/6	48	38	7,52	8,01	33,1	36,1	30,3	24,9	1336	
10/6	48	35	7,31	8,44	33	35,6	30,9	26,1	1336	
12/6	48	32	7,28	8,39	33	36	30,9	24,8	1550	
14/6	48	41	7,52	8,51	36,5	38,7	32,1	26	1550	
16/6	48	43	7,11	8,98	33,9	36,2	32,1	26,2	1550	
18/6	48	40	7,13	9,19	34	36,5	32	26,1	1550	
20/6	48	43	7,24	9,39	34	36,4	32,3	25,9	1550	
22/6	48	44	7,3	9,84	37	39,3	32,6	25,9	1550	
24/6	48	43	7,36	10,2	35	37,2	32	24,8	1396	60%
26/6	48	40	7,33	10,16	34,9	37,2	33,4	27,4	1396	63%
28/6	48	41	7,29	10,56	35	37,6	34,5	28,4	1524	63%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>41,9</b>	<b>7,3</b>	<b>9,9</b>	<b>35,8</b>		<b>29,5</b>		<b>1481</b>	<b>62%</b>



**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**  
**ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ : ΤΥΧΠ = 15 ΗΜΕΡΕΣ  
 $X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y_{\Delta}/X_B} = 9,0/1$   
**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΔΗΜΟΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
30/6	48	47	7,42	10,94	34,9	37,6	33,8	27,6	1524	
2/7	48	50	7,4	11,24	35	37,7	34,2	28,1	1524	
4/7	48	48	7,53	11,59	35	36,6	34,1	28,4	1524	
6/7	48	50	7,44	11,93	38	40,3	32,6	23,9	1695	
8/7	48	49	7,48	11,89	34,5	37,3	33,7	27,8	1695	
10/7	48	46	7,51	11,81	36,5	38,8	34,6	28,4	1695	
12/7	48	45	7,75	11,7	35	36,3	33,9	28,2	1630	
14/7	48	44	7,63	11,5	35,5	35,9	34,3	28,4	1630	67%
16/7	48	43	7,62	11,78	33,2	34,3	33,9	28,4	1630	63%
18/7	48	39	7,22	12,41	35,1	38,3	33,5	27,6	1762	67%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>44,3</b>	<b>7,5</b>	<b>11,7</b>	<b>36,3</b>		<b>30,8</b>		<b>1631</b>	<b>66%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΤΡΙΤΗ : ΤΥΧΠ = 20 ΗΜΕΡΕΣ

$X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 3,0/1$

ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : **ΓΙΑΝΝΗΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
27/5	48	13,00	7,42	7,37	32,00	34,60	30,60	25,20	1980,00	
29/5	48	21,00	7,40	7,85	33,00	35,10	28,30	25,10	850,00	
31/5	48	19,00	7,33	5,49	30,00	33,30	30,30	24,60	850,00	
2/6	48	17,00	7,23	6,49	32,90	34,20	30,30	24,80	850,00	
4/6	48	20,00	7,22	7,33	34,90	40,90	30,30	23,60	846,00	70%
6/6	48	20,00	7,49	7,55	34,00	36,40	29,40	23,80	1000,00	63%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>19,4</b>	<b>7,4</b>	<b>7,0</b>	<b>34,3</b>		<b>27,2</b>		<b>879</b>	<b>67%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

**ΦΑΣΗ ΤΡΙΤΗ : ΤΥΧΠ = 20 ΗΜΕΡΕΣ**

**$\chi_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 6,0/1$**

**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΓΙΑΝΝΗΣ(19 L)**

<b>Ημερ/νία</b>	<b>Ώρες</b>	<b>Βιοαέριο</b>	<b>pH</b>	<b>E.C.</b>	<b>T<sub>in</sub></b>	<b>T<sub>out</sub></b>	<b>T<sub>max</sub></b>	<b>T<sub>min</sub></b>	<b>Δόση</b>	<b>% Μεθάνιο</b>
8/6	48	24	7,47	7,86	34,90	37,00	30,30	24,90	1000,00	
10/6	48	31	7,27	8,01	32,00	34,80	30,90	26,10	1000,00	
12/6	48	36,5	7,29	8,30	33,00	34,90	30,90	24,80	1164,00	
14/6	48	23	7,39	8,45	33,90	37,20	32,10	26,00	1164,00	
16/6	48	27	7,11	8,84	35,10	36,90	32,10	26,20	1164,00	
18/6	48	31,5	7,15	9,15	31,90	37,10	32,00	26,10	1164,00	
20/6	48	36	7,35	8,99	38,00	39,60	32,30	25,90	1164,00	
22/6	48	30	7,31	9,69	33,00	36,80	32,60	25,90	1164,00	60%
24/6	48	35	7,49	9,85	36,00	37,80	32,00	24,80	1048,00	63%
26/6	48	30	7,38	10,07	35,10	37,80	33,40	27,40	1048,00	63%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>32,4</b>	<b>7,4</b>	<b>9,7</b>	<b>36,1</b>		<b>29,5</b>		<b>1136</b>	<b>62%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

**ΦΑΣΗ ΤΡΙΤΗ : ΤΥΧΠ = 20 ΗΜΕΡΕΣ**

**$\chi_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 9,0/1$**

**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΓΙΑΝΝΗΣ(19 L)**

<b>Ημερ/νία</b>	<b>Ώρες</b>	<b>Βιοαέριο</b>	<b>pH</b>	<b>Ε.Σ.</b>	<b>T<sub>in</sub></b>	<b>T<sub>out</sub></b>	<b>T<sub>max</sub></b>	<b>T<sub>min</sub></b>	<b>Δόση</b>	<b>% Μεθάνιο</b>
30/6	48	36	7,46	10,70	35,00	37,30	33,80	27,60	1142,00	
2/7	48	28	7,44	11,03	36,00	38,60	34,20	28,10	1142,00	
4/7	48	28	7,63	10,91	37,00	37,90	34,10	28,40	1142,00	
6/7	48	28	7,50	11,13	34,00	36,70	32,60	23,90	1271,00	
8/7	48	29	7,52	11,20	36,00	38,30	33,70	27,80	1271,00	
10/7	48	26	7,52	11,02	38,00	40,80	34,60	28,40	1271,00	
12/7	48	24	7,73	11,40	36,00	36,20	33,90	28,20	1223,00	
14/7	48	27	7,72	11,65	36,50	36,20	34,30	28,40	1223,00	65%
16/7	48	30	7,59	11,41	35,00	37,30	33,90	28,40	1223,00	65%
18/7	48	27	7,21	11,83	33,00	36,30	33,50	27,60	1321,00	63%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>28,3</b>	<b>7,5</b>	<b>11,2</b>	<b>36,7</b>		<b>30,8</b>		<b>1223</b>	<b>64%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**  
**ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΤΕΤΑΡΤΗ: ΤΥΧΠ = 25 ΗΜΕΡΕΣ  
 $X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 3,0/1$   
**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΝΙΚΟΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
27/5	48	13	7,31	8,22	34,90	34,50	30,60	25,20	784,00	
29/5	48	16,5	7,57	8,42	36,00	39,50	28,30	25,10	674,00	
31/5	48	12	7,46	7,07	35,00	37,00	30,30	24,60	674,00	
2/6	48	14	7,35	7,71	33,10	39,00	30,30	24,80	674,00	
4/6	48	16	7,31	8,03	32,00	40,40	30,30	23,60	676,00	77%
6/6	48	16	7,49	7,99	34,00	35,60	29,40	23,80	800,00	70%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>14,6</b>	<b>7,4</b>	<b>7,9</b>	<b>36,0</b>		<b>27,2</b>		<b>714</b>	<b>73,5%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**  
**ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΤΕΤΑΡΤΗ : ΤΥΧΠ = 25 ΗΜΕΡΕΣ  
 $X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 6,0/1$   
**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΝΙΚΟΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
8/6	48	26	7,33	7,81	36	36,7	30,3	24,9	800	
10/6	48	31	7,24	8,52	36,1	37,1	30,9	26,1	800	
12/6	48	20	7,31	8,71	38	38	30,9	24,8	930	
14/6	48	30	7,26	8,77	34,9	35,2	32,1	26	930	
16/6	48	31	7,16	9,12	36,1	36	32,1	26,2	930	
18/6	48	28	7,24	9	32,9	33,9	32	26,1	930	
20/6	48	30	7,42	9,86	39	38,2	32,3	25,9	930	
22/6	48	23	7,39	9,97	34	36,4	32,6	25,9	930	
24/6	48	32	7,52	9,79	33	34,6	32	24,8	840	66%
26/6	48	29	7,4	10,44	37	37,8	33,4	27,4	840	70%
28/6	48	24	7,39	10,76	38	38,7	34,5	28,4	914	70%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>27,6</b>	<b>7,3</b>	<b>9,3</b>	<b>36,3</b>		<b>29,1</b>		<b>889</b>	<b>69%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΤΕΤΑΡΤΗ : ΤΥΧΠ = 25 ΗΜΕΡΕΣ  
 $X_{\Lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 9,0/1$   
**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΝΙΚΟΣ (19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
30/6	48	29	7,49	10,94	36	37,6	33,8	27,6	914	
2/7	48	30	7,53	11,07	37	37,9	34,2	28,1	914	
4/7	48	28	7,62	11,21	37	36,2	34,1	28,4	914	
6/7	48	30	7,62	11,41	36	37	32,6	23,9	1017	
8/7	48	27	7,48	11,53	36	36,9	33,7	27,8	1017	
10/7	48	29	7,57	11	38,5	39,1	34,6	28,4	1017	
12/7	48	26	7,68	11,4	37	36,2	33,9	28,2	978	
14/7	48	31	7,68	11,43	36,2	36,1	34,3	28,4	978	68%
16/7	48	26	7,41	11,76	35,1	36,6	33,9	28,4	978	70%
18/7	48	28	7,11	12,04	34	34	33,5	27,6	1057	70%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>28,4</b>	<b>7,5</b>	<b>11,4</b>	<b>36,6</b>		<b>30,8</b>		<b>978</b>	<b>69%</b>

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ : ΤΥΧΠ = 20

$X_{\lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 0/1$

**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΕΥΑ – ΕΛΕΝΗ(ΜΑΡΤΥΡΑΣ)(19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
27/5	48	6	7,56	5,91	36	43,9	30,6	25,2	980	
29/5	48	6	7,79	5,82	40	42,6	28,3	25,1	842	
31/5	48	6	7,77	4,34	43	39,2	30,3	24,6	842	
2/6	48	3,5	7,56	4,82	43	40,3	30,3	24,8	842	
4/6	48	4	7,33	4,99	37,1	42,7	30,3	23,6	846	83%
6/6	48	5	7,49	4,88	39	37,8	29,4	23,8	1336	81%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>4,2</b>	<b>7,6</b>	<b>4,8</b>	<b>40,4</b>		<b>27,2</b>		<b>948</b>	<b>82%</b>



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ

ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ : ΤΥΧΠ = 15  
 $X_{\Lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 0/1$

ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : **ΕΥΑ – ΕΛΕΝΗ(ΜΑΡΤΥΡΑΣ)(19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	Ε.Σ.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
8/6	48	6	7,26	5,04	40	38,5	30,3	24,9	1336	
10/6	48	6	7,06	5,25	39,1	39	30,9	26,1	1336	
12/6	48	5	7,12	5,01	41	41	30,9	24,8	1550	
14/6	48	9,5	7,12	5,33	40	38,3	32,1	26	1550	
16/6	48	5	7,03	5,45	31	31	32,1	26,2	1550	
18/6	48	5	7,04	5,39	34	33,6	32	26,1	1550	
20/6	48	7	7,11	5,33	34,9	34,4	32,3	25,9	1550	
22/6	48	6	7,2	5,55	37	37	32,6	25,9	1550	
24/6	48	5	7,22	5,48	34,5	34,2	32	24,8	1396	80%
26/6	48	7,5	7,19	5,46	33,2	35	33,4	27,4	1396	80%
28/6	48	7,5	7,11	5,5	34	34,8	34,5	28,4	2284	80%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>6,3</b>	<b>7,1</b>	<b>5,4</b>	<b>34,6</b>		<b>28,8</b>		<b>1550</b>	

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ  
ΑΠΟ ΥΓΡΑ Δ/Χ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΟΥΣΤΑΣΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ**

ΦΑΣΗ ΠΡΩΤΗ : ΤΥΧΠ = 10

$X_{\Lambda} = \text{ΛΟΓΟΣ ΠΣ}_T/\text{ΠΣ}_{Y\Delta/XB} = 0/1$

**ΟΝΟΜΑ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ : ΕΥΑ – ΕΛΕΝΗ(ΜΑΡΤΥΡΑΣ)(19 L)**

Ημερ/νία	Ώρες	Βιοαέριο	pH	E.C.	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Δόση	% Μεθάνιο
30/6	48	8	7,19	5,47	37,1	37,9	33,8	27,6	2284	
2/7	48	7	7,23	5,5	35	35,4	34,2	28,1	2284	
4/7	48	5	7,29	5,51	33	33,4	34,1	28,4	2284	
6/7	48	9	7,27	5,08	35,5	35,5	32,6	23,9	2543	
8/7	48	5	7,2	5,42	33	34,3	33,7	27,8	2543	
10/7	48	7	7,25	5,08	35	36,2	34,6	28,4	2543	
12/7	48	5	7,25	5,31	33	36	33,9	28,2	2445	
14/7	48	10	7,22	5,88	34,9	34	34,3	28,4	2445	85%
16/7	48	5,5	7,07	4,43	34	32,4	33,9	28,4	2445	83%
18/7	48	11	6,85	5,71	36	35,7	33,5	27,6	-	85%
<b>Μέσος όρος</b>	<b>48</b>	<b>7,9</b>	<b>7,2</b>	<b>5,3</b>	<b>34,9</b>		<b>30,8</b>		<b>2424</b>	<b>84%</b>