

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

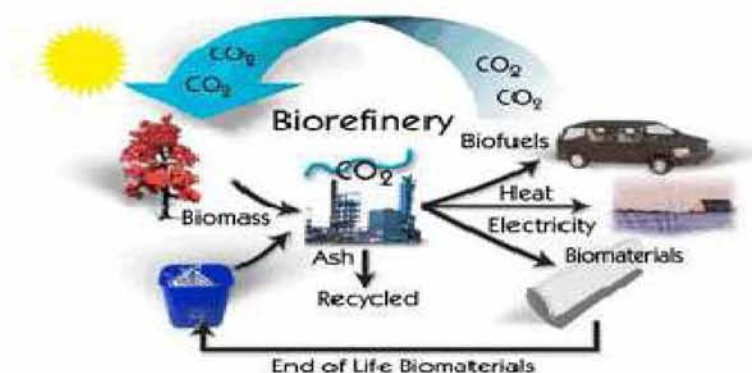
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ &
ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**



Υπό

ΑΣΠΑΣΙΑ ΧΑΤΖΗΠΑΣΧΑΛΗ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΠΔΜ , 2008

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2011

© 2011 Ασπασία Χατζηπασχάλη

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Σταμάτης Αναστάσιος
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία έγινε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης με τίτλο <<Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης και Σχεδιασμού στην Βιομηχανία>>. Αποτελεί απόρροια ενδελεχούς και στενής συνεργασίας με τον επιβλέποντά μου, Επίκουρο Καθηγητή Αναστάσιο Σταμάτη, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την υπομονή, τη συμπαράσταση και τις συμβουλές.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στους Αναπληρωτές Καθηγητές – μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, Τσιακάρη Παναγιώτη και Νικόλαο Ανδρίτσο, όπως επίσης και στους λοιπούς καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος που παρακολούθησα, για την άψογη συνεργασία τους και την συνεισφορά στην διεύρυνση των γνώσεών μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και καλό μου φίλο, Αλέξανδρο Χλέτση για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσέφερε όσον αφορά τον Βιολογικό Καθαρισμό της ΔΕΥΑΛ, τη συμπαράσταση και τη συμβουλευτική υποστήριξη κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, το μεγαλύτερο μερίδιο στην επιτυχή προσπάθειά μου για την περάτωση των μεταπτυχιακών σπουδών αποδίδω στους γονείς μου Χρυσανγή και Αθανάσιο Χατζηπασχάλη, οι οποίοι με στήριξαν ψυχικά και υλικά, στον αρραβωνιαστικό μου Νταϊλιάνη Απόστολο, που είναι πάντα δίπλα μου και στην καλή μου φίλη Τζορμπατζόγλου Φωτεινή, για την υποστήριξή της και την μακρόχρονη φιλία μας.

Χατζηπασχάλη Ασπασία

Στην οικογένεια μου...

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
&ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**

Χατζηπασχάλη Ασπασία

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Σταμάτης Αναστάσιος, Επίκουρος Καθηγητής

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων απόκτησης του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης “Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην βιομηχανία” του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για το έτος 2011.

Η εργασία αυτή αναφέρεται σε μία εναλλακτική μορφή ενέργειας το βιοαέριο, που σχετίζεται άμεσα με την επεξεργασία απορριμμάτων μέσω βιοχημικών και θερμοχημικών διαδικασιών και την μετέπειτα χρήση του σε συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται η μέθοδος αξιοποίησης των Αστικών Λυμάτων στον Βιολογικό καθαρισμό της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης Λάρισας για την παραγωγή βιοαερίου και η χρήση αυτού ως θερμική και ηλεκτρική ενέργεια τόσο για την κάλυψη των αναγκών των εγκαταστάσεων του Βιολογικού καθαρισμού όσο και για την πώλησή του (σε περίπτωση μεγάλης παραγωγής) στην Δημοτική Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Στην συνέχεια παρατίθεται σχετική τεχνική μελέτη του συστήματος συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για το παραγόμενο βιοαέριο.

Abstract

This postgraduate study was conducted for the fulfillment part of the requirements for the Degree of Master of Science in “State of the Art Design and Analysis Methods in Industry” of the Mechanical Engineering Department of the University of Thessaly, in 2011.

This study refers to the Biogas which is an alternative form of Energy. This renewable energy comes from the waste treatment with biochemical and thermochemical processes and it is used in the operation of cogeneration systems.

More specifically, in this study it is described the method of biogas producing of the Urban Wastewater Development of biological cleaning of Municipal Water Supply and Sewerage Company of Larissa (DEYAL). Then the study refers to the use of biogas as a heat and electricity power to cover the needs of Biological Cleaning Facilities and for sale to Municipal Power Company (in case of high production).

Then it follows the technical study of the co-generation system with the use of the produced biogas.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 -ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Εισαγωγή στα Αστικά Απόβλητα (ΑΣΑ)	16
1.2 Μορφές ενέργειας	17
1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και Ε.Ε.	19
1.4 Εισαγωγή στην βιομάζα	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	24
2.1 Δυναμικό Βιοαερίου	24
2.2 Περισσότερα στοιχεία για την Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ)	25
2.2.1 Υποστρώματα για την αναερόβια χώνευση	25
2.2.2 Περιγραφή των σταδίων της αναερόβιας χώνευσης	28
2.2.3 Συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας	32
2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης	33
2.2.5 Το βιοαέριο στην Ελλάδα - Παρούσα κατάσταση	36
2.2.6 Ο ρόλος του ΚΑΠΕ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	41
3.1 Χρήση του βιοαερίου	41
3.2 Ιδιότητες του βιοαερίου	41
3.3 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας	42
3.4 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΔΕΥΑΛ)

48

4.1 Παραγωγή και χρήση βιοαερίου στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη της Λάρισας

48

4.2 Κριτήρια σχεδιασμού της μονάδας

50

4.3 Γενική περιγραφή της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων

55

4.3.1 Κοχλίες αρχικής ανύψωσης

57

4.3.2 Εσχαρισμός–Εξάμμωση– Απολίπανση

58

4.3.3 Εξαερισμός - απόσμιση

60

4.3.4 Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

61

4.3.5 Βιοαντιδραστήρες ενεργού ιλύος

64

4.3.6 Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης

67

4.3.7 Χλωρίωση - Αποχλωρίωση

69

4.3.8 Φρεάτιο εξόδου

70

4.3.9 Πάχυνση πρωτοβάθμιας λάσπης

71

4.3.12 Αναερόβια χώνευση της λάσπης

77

4.3.13 Μηχανές ΟΤΤΟ

81

4.3.14 Αεροφυλάκια

88

4.3.15 Διαχείριση αφυδατωμένης λάσπης

88

4.3.16 Σύστημα εξαερισμού - απόσμισης

89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΔΕΥΑΛ)

92

5.1 Υπολογισμός περίσσειας θερμικής ενέργειας και ισχύος στην ΕΕΛ Λάρισας

92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6– ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΔΕΥΑΛ)

104

6.1 Περιγραφή του συστήματος συμπαραγωγής	104
6.2 Θερμοδυναμική ανάλυση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής της ΔΕΥΑΛ	108
6.3 Εξεργειακή ανάλυση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής της ΔΕΥΑΛ	119
6.4 Συμπεράσματα από την ανάλυση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής της ΔΕΥΑΛ	131
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7– ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	134
7.1 Γενικά συμπεράσματα	134
7.2 Προοπτικές στον Ελλαδικό χώρο	135
Βιβλιογραφία	137
Παράρτημα 1. Διαγράμματα και πίνακες	148
Παράρτημα 2. Γλωσσάριο	154
Παράρτημα 3: Σύμβολα & Μονάδες μετατροπής	159

Λίστα σχημάτων

Σχήμα 1.1: Σενάριο εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου και «πετρελαϊκή αιχμή» (ASPO,2008)	18
Σχήμα 1.2: Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου από AX (T. AlSeadi, 2002)	20
Σχήμα 2.1: Σημεία αναφοράς για τις ειδικές παραγωγές μεθανίου (PRABL,2007)	27
Σχήμα 2.2: Τα κύρια βήματα της διεργασίας της AX (AL SEADI, 2003)	28
Σχήμα 2.3: Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη του υποστρώματος (STMUGV, 2004)	29
Σχήμα 3.1: Επισκόπηση των χρήσεων του βιοαερίου	41
Σχήμα 4.1: Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων.	52
Σχήμα 4.2 : Επεξεργασία Ιλύος	72
Σχήμα 4.3: Διεργασία παραγόμενου βιοαερίου	80

Λίστα εικόνων

Εικόνα2.1: Δημοτικά στερεά απόβλητα παρεχόμενα σε εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία (RUTZ, 2008)	26
Εικόνα 2.2: Απόβλητα από εστιατόρια (RUTZ, 2007)	26
Εικόνα 2.3: Μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα (σε λειτουργία το έτος 2007)(ΚΑΠΕ).	38
Εικόνα 3.1: Καυστήρας βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας (AGRINZ GmbH, 2008)	44
Εικόνα 4.1: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων νομού Λάρισας	48
Εικόνα 4.2: Φρεάτιο άφιξης υπάρχει και συσκευή μέτρησης δια υπερήχων της παροχής	55

Εικόνα 4.3 – 4.4: Μονάδα επεξεργασίας βοθρολυμάτων και φίλτρο απόσμησης στην ΕΕΛ Λάρισας.	56
Εικόνα 4.5 – 4.6: Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων αποφρακτικών στην ΕΕΛ Λάρισας.	57
Εικόνα 4.7 - 4.8: Ανυψωτικοί κοχλίες τύπου Αρχιμήδη στην ΕΕΛ Λάρισας.	57
Εικόνα 4.9 - 4.10: Αντλίες αέρος για την απομάκρυνση της άμμου.	60
Εικόνα 4.11 – 4.12: Εσωτερικό και εξωτερικό μονάδας εξάμμωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.	61
Εικόνα 4.13: Κανάλι τύπου Venturi για την μέτρηση παροχής στην ΕΕΛ Λάρισας.	61
Εικόνα 4.14 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.	63
Εικόνα 4.15 – 4.16: Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.	63
Εικόνα 4.17 – 4.18: Μονάδα αερισμού στην ΕΕΛ Λάρισας.	65
Εικόνα 4.19 – 4.20: Αερισμός και διαχυτήρες κατά την διάρκεια μη λειτουργίας της μονάδας στην ΕΕΛ Λάρισας.	66
Εικόνα 4.21: Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας καθίζησης.	68
Εικόνα 4.22: Χλωρίωση επεξεργασμένου νερού	70
Εικόνα 4.23: Φρεάτιο εξόδου επεξεργασμένου νερού.	70
Εικόνα 4.24 – 4.25: Εξωτερικό και εσωτερικό παχυντή ιλύος.	72
Εικόνα 4.26: Μονάδα μηχανικής πάχυνσης ιλύος.	74
Εικόνα 4.27: Τομή μηχανικής πάχυνσης της εταιρίας Flottweg.	75
Εικόνα 4.28:Ομογενοποιητής κατά την διάρκεια κατασκευής του.	76
Εικόνα 4.29: Διαδικασία εξωτερικής μόνωσης χωνευτή.	78
Εικόνα 4.30: Ασφαλιστικές δικλίδες υπερπίεσης οροφής χωνευτή.	81
Εικόνα 4.31: Μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βιοαέριο.	83

Εικόνα 4.32: Καθαρισμός του βιοαερίου από H ₂ S πριν την είσοδο στις μηχανές βιοαερίου. _____	86
Εικόνα 4.33:Εναλλάκτης θερμότητας λάσπης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χωνευτή. _____	87
Εικόνα 4.34:Αεροφυλάκιο βιοαερίου κατά την διάρκεια της τοποθέτησής του. _____	88
Εικόνα 4.35: Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης στην ΕΕΛ Λάρισας. _____	89

Λίστα πινάκων

Πίνακας 2.1: Σημαντικότερες μονάδες Βιοαερίου στην Ελλάδα. _____	39
Πίνακας 3.1: Σύνθεση Βιοαερίου _____	42
Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά ΕΕΛ Λάρισας – Είσοδος. _____	53
Πίνακας 4.2 Βασικά χαρακτηριστικά ΕΕΛ Λάρισας - Έξοδος. _____	54
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά κοχλιών ανύψωσης λυμάτων _____	58
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά Εξάμμωσης _____	59
Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά Εξαερισμού _____	60
Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικά Δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης _____	62
Πίνακας 4.7: Χαρακτηριστικά αντλιών λάσπης _____	63
Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης _____	67
Πίνακας 4.9: Χαρακτηριστικά παχυντή ιλύος πρωτοβάθμιας λάσπης _____	73
Πίνακας 4.10: Χαρακτηριστικά χωνευτών _____	77
Πίνακας 4.11: Τυπικό ισοζύγιο μηχανής βιοαερίου _____	82
Πίνακας 5.1: Στοιχεία των Αστικών Λυμάτων και των Βοθρολυμάτων _____	92
Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας του φορτίου των λυμάτων προς επεξεργασία στην ΕΕΛ Λάρισας. _____	93
Πίνακας 5.3: Παραγόμενη ιλύς. _____	94

Πίνακας 5.4: Παροχή ιλύος προς παχυντή και περιεχόμενη ποσότητα στερεών	94
Πίνακας 5.5: Πάχυνση ιλύος από ΔΠΚ	95
Πίνακας 5.6: Πάχυνση ιλύος από ΔΠΚ (Αποτελέσματα υπολογισμών)	95
Πίνακας 5.7: Πάχυνση βιολογικής ιλύος	96
Πίνακας 5.8: Πάχυνση βιολογικής ιλύος (Αποτελέσματα υπολογισμών)	96
Πίνακας 5.9: Οδηγούμενη ιλύς προς χώνευση (Αποτελέσματα υπολογισμών)	97
Πίνακας 5.10: Παραγωγή ανά kg εισερχόμενου VSS και θερμιδική αξία βιοαερίου.	97
Πίνακας 5.11: Παραγωγή βιοαερίου.	98
Πίνακας 5.12: Μηχανή JENBACHER.	98
Πίνακας 5.13: Μηχανή JENBACHER.(Αποτελέσματα)	99
Πίνακας 5.14: Χαρακτηριστικά των επιφανειών του χωνευτή	99
Πίνακας 5.15: Χαρακτηριστικά των επιφανειών του χωνευτή (Αποτελέσματα)	101
Πίνακας 5.16: Χαρακτηριστικά εισερχόμενης ιλύος	101
Πίνακας 6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την θερμοδυναμική ανάλυση του συστήματος συμπαραγωγής	118
Πίνακας 6.2: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εξεργειακή ανάλυση του συστήματος συμπαραγωγής	127
Πίνακας 6.2: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων καταστροφής ενέργειας ανά συσκευή	127
Πίνακας 6.3: Συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης	128

Κεφάλαιο 1

Κεφάλαιο 1 -Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στα Αστικά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Βιώνουμε το περιβάλλον ως το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες. Επιτακτική μοιάζει να είναι η ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας, με τόσα περιβαλλοντικά προβλήματα, για διαχείριση του περιβάλλοντος κατά αειφόρο τρόπο. Δηλαδή κατά τρόπο, ο οποίος θα ικανοποιεί τις ανάγκες των σημερινών γενεών, χωρίς να διακυβεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες.

Ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα της σημερινής κοινωνίας είναι η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων. Σε πολλές χώρες, η αειφόρος διαχείριση, αλλά και η πρόληψη και η μείωση των αποβλήτων έχουν καταστεί σημαντικές πολιτικές προτεραιότητες και συνιστούν ένα σημαντικό μέρος των προσπαθειών για τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και τη μετρίαση των αλλαγών του παγκόσμιου κλίματος. Οι προηγούμενες πρακτικές της ανεξέλεγκτης εναπόθεσης των αποβλήτων δεν είναι πλέον αποδεκτές. Ούτε η ελεγχόμενη διάθεση στις χωματερές αλλά ούτε και η αποτέφρωση των οργανικών αποβλήτων δεν προτιμούνται ως τεχνολογίες, δεδομένου ότι τα περιβαλλοντικά πρότυπα που ισχύουν σήμερα είναι πολύ πιο αυστηρά, ενώ ζητούμενο είναι η ενέργεια ανάκτησης και η ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών και της οργανικής ουσίας (Abel 2000).

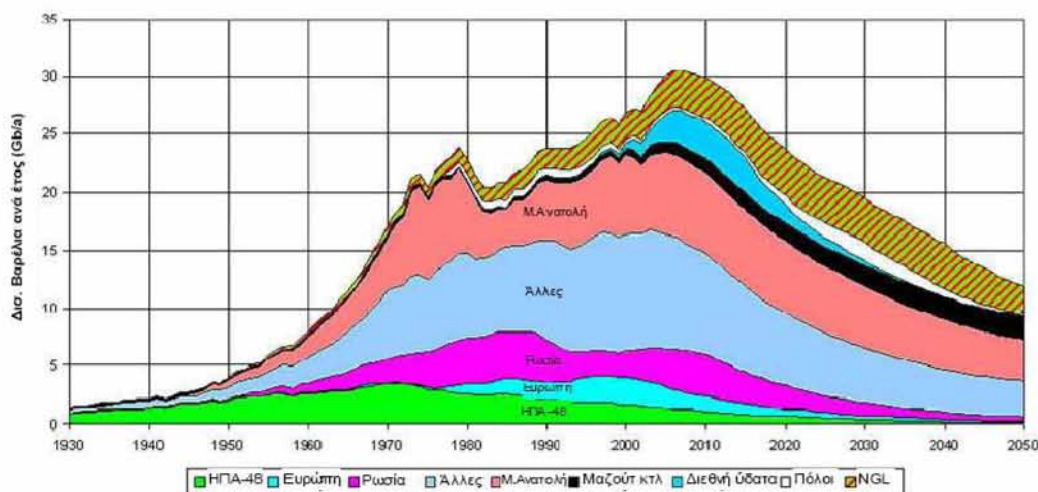
1.2 Μορφές ενέργειας

Μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα οι κύριες πηγές ενέργειας που εκμεταλλευόταν ο άνθρωπος ήταν η μυϊκή δύναμη του ανθρώπου και των ζώων, η βιομάζα, οι υδατοπτώσεις, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Στη συνέχεια του 19ου αιώνα, με την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, οι γαιάνθρακες αποτέλεσαν την καύσιμη ύλη, παρέχοντας τη βάση στην παραγωγή ενέργειας και στην παρασκευή σιδήρου και ατσαλιού για περισσότερα από 200 χρόνια. Στον 20ο αιώνα, κυρίως μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, οι γαιάνθρακες έχασαν τον πρωταγωνιστικό τους ρόλο εξαιτίας της διάδοσης και ευρείας πλέον χρήσης του αργού πετρελαίου. Παρόλα αυτά, η ευημερία και η οικονομική ανάπτυξη πολλών κρατών συνέχισε να στηρίζεται στους γαιάνθρακες οι οποίοι σήμερα καλύπτουν το 22 % της παγκόσμιας απαίτησης για ενέργεια και περισσότερο από το 40 % του ηλεκτρισμού παγκοσμίως (Bartheletal., 2000).

Οι μεγάλες όμως, απαιτήσεις για ενέργεια οδήγησαν στη χρήση και άλλων πηγών ενέργειας όπως είναι το φυσικό αέριο και η πυρηνική ενέργεια από σχάσιμα υλικά (π.χ. ουράνιο). Οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύουν το συμπυκνωμένο ενεργειακό φυσικό πόρο της γης, το συσσωρευμένο υπόλειμμα δισεκατομμυρίων χρόνων φωτοσύνθεσης (Glazerand Nikaido, 1995).

Οι οικονομίες σε όλο τον κόσμο σήμερα εξαρτώνται από το αργό πετρέλαιο. Υπάρχει κάποια διαφωνία μεταξύ των επιστημόνων για το πόσο θα διαρκέσει αυτό το ορυκτό καύσιμο, αλλά σύμφωνα με κάποιους ερευνητές, έχει ήδη επέλθει η «πετρελαϊκή αιχμή»* ή αναμένεται να επέλθει πολύ σύντομα (Σχήμα 1.1).

ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑΙ ΒΕΝΖΙΝΗ(ΥΓΡΑ)
Σενάριο εξέλιξης της παραγωγής
(2004)



Σχήμα1.1: Σενάριο εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου και «πετρελαϊκή αιχμή» (ASPO,2008)

*Ως πετρελαϊκή αιχμή ορίζεται “το χρονικό σημείο κατά το οποίο έχει επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής αργού πετρελαίου παγκοσμίως, μετά από το οποίο ο ρυθμός παραγωγής αρχίζει να φθίνει”.

Η πετρελαϊκή κρίση το 1973, η οποία κατέστησε σαφές ότι τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανεξάντλητα, καθώς και η εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων του φαινομένου του θερμοκηπίου και ο σκεπτικισμός γύρω από την ασφάλεια της χρήσης των πυρηνικών και της διάθεσης των πυρηνικών αποβλήτων, έστρεψε το ενδιαφέρον στη χρήση και αξιοποίηση εναλλακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια, η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, η ενέργεια από τη βιομάζα και η ενέργεια των ωκεανών.

1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και Ε.Ε.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), γενικότερα, καλούνται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο συνεχώς μεταβαλλόμενο γεωπολιτικό χάρτη της ενέργειας. Η Λευκή Βίβλος (COM (97) 599/26 -11-97) αποτελεί την Κοινοτική στρατηγική και το σχέδιο δράσης για τις ΑΠΕ. Βασικός στόχος της Ε.Ε. είναι η καλά ισορροπημένη χρήση όλων των καυσίμων, ώστε να έχει επιτευχθεί αειφόρος ανάπτυξη και διπλασιασμός του ποσοστού συμβολής (από 6% σε 12%) των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο μέχρι το 2011. Αυτό απαιτεί τη στενή συνεργασία των κρατών μελών της Ε.Ε. Ο ρόλος της Επιτροπής είναι να καταρτίσει το πλαίσιο για την παροχή τεχνικής και χρηματοδοτικής αρωγής, όπου ενδείκνυται, και για το συντονισμό των δράσεων.

Στη διάρκεια της εκστρατείας προωθούνται δράσεις όπως:

- ο ανάπτυξη 1.000.000 φωτοβολταϊκών συστημάτων
- ο μεγάλα αιολικά πάρκα ισχύος 10.000MW
- ο εγκαταστάσεις βιομάζας θερμικής ισχύος 10.000 MW
- ο ενσωμάτωση των ΑΠΕ σε 100 κοινότητες

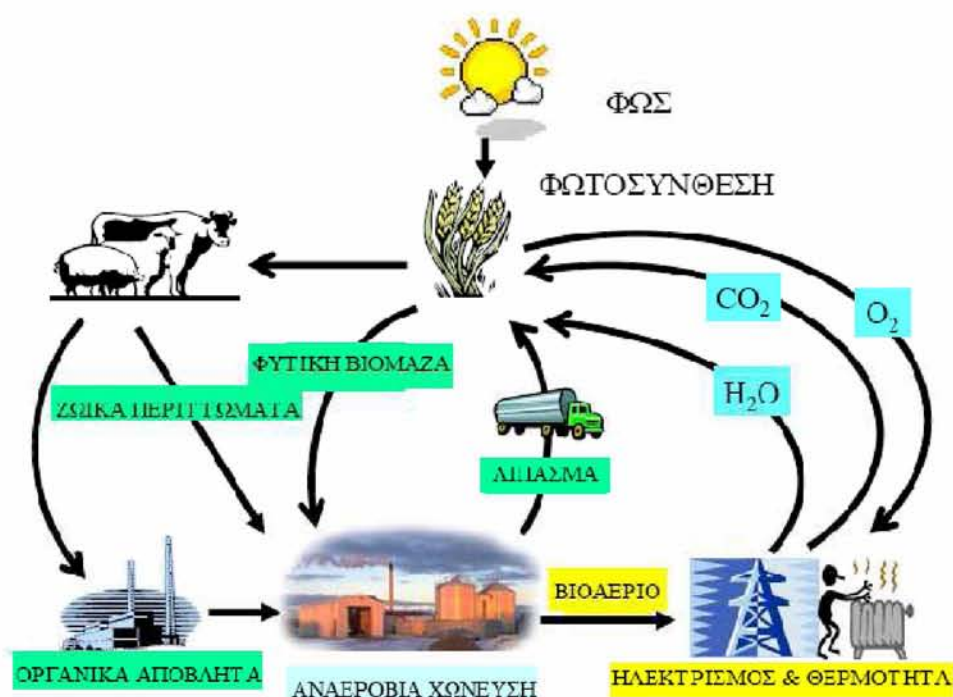
Η Ε.Ε. εκπονεί επιστημονικά προγράμματα όπως το THERMIE, το ALTENER II, το SAVE II, με σκοπό την ανάπτυξη και προώθηση των ΑΠΕ καθώς και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Μετά την παγκόσμια διάσκεψη στο Κιότο το 1997 και στο Μπουένος Αϊρες το 1998 η Ε.Ε. ανέλαβε δέσμευση για περιορισμό των εκπομπών CO₂ στα επίπεδα του 1990 μειωμένα κατά 8% κατά τη διάρκεια 2008-2012. Κατά συνέπεια, η οικονομική βιωσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στην ενεργειακή συμπεριφορά του πλανήτη.

1.4 Εισαγωγή στην βιομάζα

Γενικά με τον όρο βιομάζα, εννοούμε τα προϊόντα και τα κατάλοιπα φυτικής, ζωικής και δασικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα που προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία αυτών, τα αστικά λύματα και τα σκουπίδια.

Αναερόβια χώνευση της βιομάζας είναι ουσιαστικά η βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε πιο απλά μόρια - μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα - η οποία γίνεται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας διαρκεί από δύο τρεις εβδομάδες και γίνεται σε τρεις θερμοκρασιακές ζώνες που κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 55 βαθμών Κελσίου. Συνήθως αποφεύγεται η αποθήκευση του παραγόμενου βιοαερίου, γιατί απαιτεί μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους και κοστίζει αρκετά. Αντίθετα, συνήθως, χρησιμοποιείται αμέσως για την παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 1.2: Ο αειφόρος κύκλος του βιοαερίου από ΑΧ (T. AlSeadi, 2002)

Η βιομάζα ταξινομείται ως φυτική (ξύλωσης, μη ξύλωσης, φυτικά απόβλητα διεργασιών, πίνακας 2.5), ζωική και βιομάζα στερεών αστικών απορριμμάτων.

Η φυτική, ξύλωσης βιομάζα προέρχεται από δεντρόφυτες εκτάσεις, φυσικά δάση και φυσικούς δασότοπους. Η μη ξύλωσης βιομάζα και τα φυτικά απόβλητα διεργασιών είναι προϊόντα ή υποπροϊόντα αγρο-βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Έχει υπολογιστεί ότι η ενέργεια που περιέχεται στα φυτικά απόβλητα διεργασιών υπερβαίνει το ένα τρίτο της παγκόσμιας, εμπορικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας, από την οποία περίπου το 30 % είναι ανακτήσιμη (Hallandothers, 1993). Το τεχνικό δυναμικό της βιομάζας στηρίζεται κυρίως στη διαθεσιμότητα και κατανομή της καλλιεργήσιμης γης για βιομάζα, τις αποστάσεις από τα κέντρα συγκέντρωσης, διάθεσης και αξιοποίησης της βιομάζας, την παραγωγικότητα της καλλιεργήσιμης γης, συμπεριλαμβανομένης της διαθεσιμότητας του νερού, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς και τις τεχνικές και οικονομικές αποδόσεις των ενεργειακών ισοζυγίων από την εφαρμογή τεχνολογιών μετατροπής της βιομάζας σε άλλες μορφές ενέργειας.

Το κόστος της βιομάζας, καθορίζεται από την απόδοση, από την ενοικίαση της γης και από τα εργατικά. Οι αποδόσεις μπορούν να βελτιωθούν με τη βελτίωση των καλλιεργητικών μεθόδων, την γενετική εξέλιξη των φυτών, την ενσωμάτωση πολλαπλών προϊόντων και την μηχανοποίηση των διαδικασιών καλλιέργειας, μειώνοντας έτσι και το εργατικό κόστος. Ο ανταγωνισμός στην χρήση γης, θα πρέπει να κρατηθεί χαμηλά προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι πληθωριστικές τάσεις στην ενοικίαση της.

Η ζωική κοπριά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη για οικιακή χρήση καθώς και ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιοαερίου.

Τα αστικά στερεά απορρίμματα και τα βιομηχανικά υπολείμματα αποτελούν έμμεση πηγή βιομάζας. Στις βιομηχανοποιημένες χώρες παράγονται κάθε ημέρα 0,9-1,9 Kg στερεών αστικών απορριμμάτων κατ' άτομο, τα οποία περιέχουν ενέργεια της τάξεως των 4-13 MJ/kg (IPCC, 1996a). Διεργασίες όπως η καύση των απορριμμάτων, η θερμοχημική αεριοποίηση και η μικροβιακή αποδόμηση τους, μετατρέπουν τα αστικά στερεά απορρίμματα σε ηλεκτρισμό, θερμότητα ακόμα και σε αέρια και υγρά καύσιμα. Σε αναφορά τους οι Johanssonetal, (1993), προβλέπουν ότι στις βιομηχανοποιημένες χώρες, το έτος 2025 η παραγωγή ενέργειας από τα αστικά απορρίμματα θα φθάσει περίπου τα 3 EJ τον χρόνο, ενώ παγκοσμίως υπολογίζεται ότι θα φθάσει τα 6 EJ το χρόνο.

Η βιομάζα προβάλλεται σήμερα ως μερικώς εναλλακτική και ως μία μεγάλης κλίμακας ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας και της παραγωγής υγρών καυσίμων. Η βιομάζα μπορεί επίσης να γίνει αρκετά φιλική προς το περιβάλλον εφόσον ο ρυθμός χρήσης της αντιστοιχεί στον ανάλογο ρυθμό αναγέννησης της. Έτσι, στη περίπτωση αυτή δεν προκαλείται αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Κεφάλαιο 2

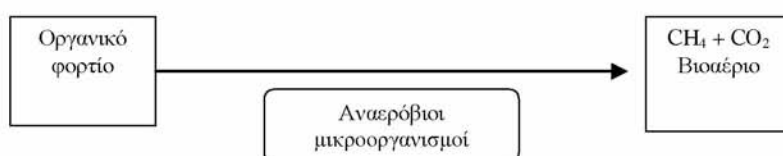
Κεφάλαιο 2 – Διαδικασία παραγωγής βιοαερίου

2.1 Δυναμικό Βιοαερίου

Σημαντική συμβολή στην ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας, υποκαθιστώντας ρυπογόνα ή εισαγόμενα καύσιμα, μπορεί να έχει το βιοαέριο το οποίο παράγεται κατά την επεξεργασία αποβλήτων και αστικών λυμάτων.

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μία εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επιλύει το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων. Υπολογίζεται ότι 1.000.000 τόνοι απορριμμάτων παρέχουν αρκετό βιοαέριο για την παραγωγή ενός (1) MW ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως για δέκα περίπου χρόνια. Η οικονομικότητα μιας μονάδας βιοαερίου βασίζεται στο γεγονός ότι η πρώτη ύλη έχει μηδενική ή αρνητική αξία ενώ τα προϊόντα της έχουν αδιαμφισβήτητη εμπορική αξία.

Το βιοαέριο, που αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων (λύματα από χοιροστάσια, βουστάσια), βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων καθώς και από αστικά οργανικά απορρίμματα. Αποτελείται τυπικά από 65% μεθάνιο και 35% διοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και ως καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης. Ένα κυβικό μέτρο βιοαερίου υποκαθιστά 0,66l ντίζελ ή 0,75l πετρελαίου ή 0,85 κ. κάρβουνου (Al Seadi, T 2001).



2.2 Περισσότερα στοιχεία για την Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ)

Η ΑΧ είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών (*Toerien and Hattingh, 1969*). Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα όπως τα ιζήματα θαλάσσιου ύδατος, το στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη τύρφης. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της ΑΧ είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Όταν το υπόστρωμα για την ΑΧ είναι ένα ομοιογενές μίγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών (π.χ. ζωικοί πολτοί και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων) τότε έχουμε την λεγόμενη «συγχώνευση» η οποία είναι κοινή με πολλές από τις εφαρμογές του βιοαερίου σήμερα.

2.2.1 Υποστρώματα για την αναερόβια χώνευση

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου στην Ευρώπη παρατίθενται παρακάτω και στο Σχήμα 2.1.

- *Ζωικά περιττώματα και πολτοί*
- *Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα*
- *Οργανικά απόβλητα που μπορούν να υποστούν χώνευση από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης)*
- *Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων και από τις επιχειρήσεις εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης)*
- *Λυματολόαση*

- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο, τριφύλλι).



Εικόνα 2.1: Δημοτικά στερεά απόβλητα παρεχόμενα σε εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία (RUTZ, 2008)

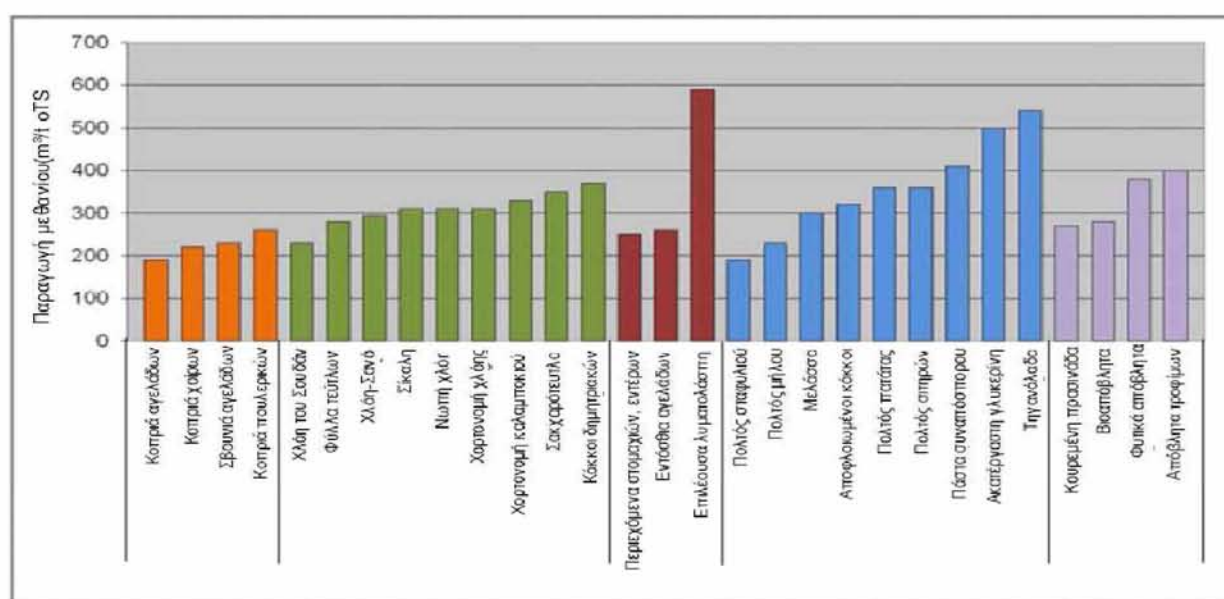


Εικόνα 2.2: Απόβλητα από εστιατόρια (RUTZ, 2007)

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

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

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών ΑΧ οι γνωστές ως «ειδικού προορισμού» ενεργειακές καλλιέργειες (ΕΠΕΚ), οι οποίες καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας αντίστοιχα με την παραγωγή βιοαερίου. Οι ΕΠΕΚ μπορεί να είναι ποώδεις (χλόη, αραβόσιτος, αγριοκράμβη κλπ.) αλλά και ξυλώδεις καλλιέργειες (ιτιά, λεύκα, βελανιδιά), αν και οι ξυλώδεις καλλιέργειες χρειάζονται ειδική προ-επεξεργασία για την απολιγνίτωσή τους πριν την ΑΧ.



Σχήμα 2.1: Σημεία αναφοράς για τις ειδικές παραγωγές μεθανίου (PRABL, 2007)

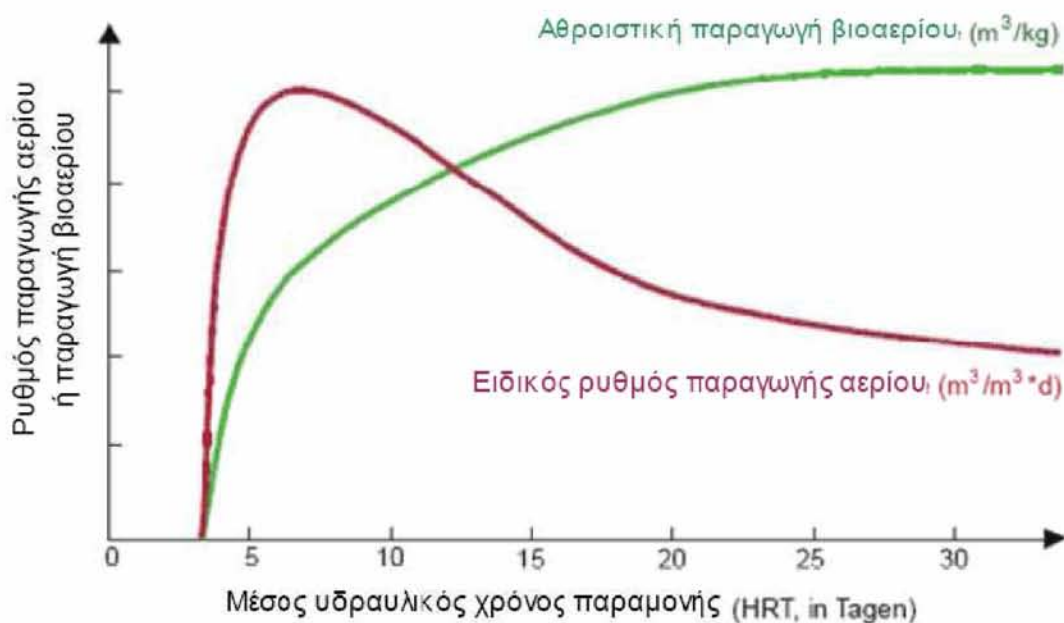
2.2.2 Περιγραφή των σταδίων της αναερόβιας χώνευσης

Η μετατροπή του οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, υπό αναερόβιες συνθήκες, διακρίνονται σε τέσσερα στάδια, τα οποία αποτελούνται από μια σειρά συσχετιζόμενων μικροβιακών μεταβολισμών. Τα στάδια της διεργασίας αυτής περιγράφονται παρακάτω αναλυτικά.



Σχήμα 2.2: Τα κύρια βήματα της διεργασίας της ΑΧ (AL SEADI, 2003)

Τα στάδια της διεργασίας που αναφέρονται στο Σχήμα 2.2.4 λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των εγκαταστάσεων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη ή λιγνίνη, η υδρόλυση είναι αυτή που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας. Κατά την υδρόλυση, παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση.



Σχήμα 2.3: Παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη του υποστρώματος (STMUGV, 2004)

Στάδιο πρώτο - υδρόλυση:

Στο πρώτο στάδιο πλήθος αναερόβιων βακτηρίων διασπούν σύνθετα, αδιάλυτα οργανικά μόρια (λιπίδια, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, νουλεϊνικά οξέα) προς τα αντίστοιχα διαλυτά πλέον μονομερή μόρια, δηλαδή λιπαρά οξέα, μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, πουρίνες και πυριμιδίνες και απλές αρωματικές ενώσεις.

Ο λόγος είναι, γιατί, οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να μεταβολίσουν απ' ευθείας τις μοριακές οργανικές ουσίες, καθώς η κυτταρική τους μεμβράνη είναι αδιαπέραστη. Επομένως, πρέπει να προηγηθεί διαλυτοποίηση (υδρόλυση) των οργανικών σωματιδίων προς διαλυτά πολυμερή και στην συνέχεια προς διμερή ή μονομερή τα οποία μπορούν να εισαχθούν στο κύτταρο και να μεταβολιστούν.

Συνεπώς, στο πρώτο στάδιο, ουσίες υψηλού μοριακού βάρους (οργανικά μακρομόρια όπως πολυμερή λιπίδια, πολυσακχαρίτες, νουκλεϊνικά οξέα και πρωτεΐνες), υδρολύονται με την βοήθεια ενζύμων προς ουσίες χαμηλού μοριακού

βάρους (μονομερή όπως λιπαρά οξέα, μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, πουρίνες και πυριδίνες). Οι παραπάνω ενώσεις, είναι στην πλειονότητά τους υδατοδιαλυτές και αποτελούν κατάλληλο υπόστρωμα βιολογικής αύξησης.

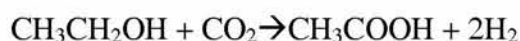
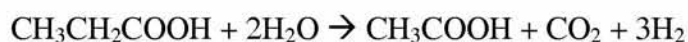
Η παραδοσιακή σημασία της υδρόλυσης είναι η "χημική αποσύνθεση" κατά την οποία μια ένωση διασπάται σε άλλες ενώσεις με την πρόσληψη νερού και λαμβάνει χώρα με την δράση ενζύμων, τις υδρολάσες, τα οποία δρουν είτε εξωκυτταρικά στην περίπτωση βιοπολυμερών, είτε ενδοκυτταρικά στην περίπτωση μικρών διμερών (π.χ. λακτόζη).

Στάδιο δεύτερο – Οξεογένεση (Acidogenesis):

Το δεύτερο στάδιο, είναι αυτό της οξεογένεσης, στο οποίο τα παραγόμενα από το προηγούμενο στάδιο, της υδρόλυσης, μονομερή (διαλυτές οργανικές ενώσεις), βιοαποδομούνται με δράση ενός ετερογενούς μικροβιακού πληθυσμού παράγοντας ταυτόχρονα ένα μίγμα πτητικών λιπαρών οξέων (κυρίως οξικού οξέος, προπιονικού, βουτυρικού και ισοβουτυρικού οξέος) σε ανάλογα ποσά που εξαρτώνται από την οργανική σύνθεση, τα διαθέσιμα είδη και τις λειτουργικές παραμέτρους του αντιδραστήρα (pH, θερμοκρασία κ.α). Ο πληθυσμός των οξεογόνων βακτηρίων αποτελεί περίπου το 90% του συνολικού πληθυσμού μικροοργανισμών σε ένα αναερόβιο χωνευτή.

Στάδιο 3 – Οξικογένεση (Acetogenesis):

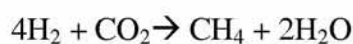
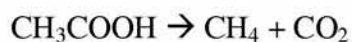
Στο τρίτο στάδιο τα οξικογόνα βακτήρια μετατρέπουν τα λιπαρά οξέα (όπως προπιονικό και βουτυρικό οξύ) και τις αλκοόλες (όπως αιθανόλη) σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



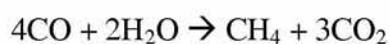
Το οξικό οξύ είναι ένα σημαντικό ενδιάμεσο προϊόν που παράγεται κατά τον αναερόβιο μεταβολισμό των οργανικών ενώσεων και αποτελεί την πρόδρομο ένωση για το σχηματισμό μεθανίου. Υπό συνθήκες σχετικά υψηλής μερικής πίεσης του υδρογόνου, η παραγωγή του οξικού οξέος μειώνεται με αποτέλεσμα τη παρεμπόδιση και μείωση της παραγωγής του μεθανίου. Οι οξικογόνοι και οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί έχουν μεταξύ τους μια συμβιωτική σχέση, αφού οι μεθανογόνοι υδρογονότροφοι βοηθούν στο να επιτευχθεί η απαιτούμενη χαμηλή μερική πίεση υδρογόνου, για τη δράση των οξικογόνων βακτηρίων.

Στάδιο 4 – Μεθανογένεση (methanogenesis):

Κατά το τέταρτο στάδιο, την μεθανογένεση, τα μεθανογόνα βακτήρια παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από οξικό οξύ (μεθανογόνους οξικοτρόφους), καθώς και μεθάνιο από υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (μεθανογόνους υδρογονοτρόφους).



Τα μεθανογόνα βακτήρια είναι αυστηρά αναερόβιοι μικροοργανισμοί και γενικά, οι οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται από αυτούς για την παραγωγή μεθανίου είναι περιορισμένες και συμμετέχουν στις ακόλουθες αντιδράσεις:



Σύμφωνα με Mackie and Bryant, 1981, περίπου, τα δύο τρίτα του παραγόμενου μεθανίου οφείλονται στους οξικότροφους μεθανογόνους, ενώ το υπόλοιπο μέρος σε υδρογονότροφα μεθανογόνα βακτήρια.

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

2.2.3 Συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας

Στα τελευταία χρόνια διάφοροι τύποι χωνευτών έχουν αναπτυχθεί και κάθε τύπος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιλογή κατάλληλου αντιδραστήρα είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη αποτελεσματικών αναερόβιων βιοδιεργασιών και εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου.

Για ένα αποτελεσματικό αναερόβιο σύστημα σύμφωνα με τον Lettinga G, 1979, πρέπει να πληρούνται πέντε βασικές συνθήκες:

1. μεγάλος χρόνος παραμονής της βιομάζας,
2. καλή επαφή βιομάζας και υποστρώματος,
3. υψηλά ποσοστά αντίδρασης,
4. ικανότητα εγκλιματισμού της βιομάζας σε διάφορους τύπους αποβλήτων και
5. επικράτηση ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλους τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας.

Αναφορικά η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε μια ποικιλία εγκαταστάσεων που περιλαμβάνει:

- συμβατικούς χωνευτές (χωρίς ανάδευση και συνήθως χωρίς θέρμανση),
- χωνευτές χαμηλής ταχύτητας μιας βαθμίδας (όπου πραγματοποιείται ανάδευση και θέρμανση),
- χωνευτές υψηλής ταχύτητας δυο βαθμίδων,
- χωνευτές με ανακυκλοφορία υλός για αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών,
- χωνευτές ανοδικής ροής με αιωρούμενη ή προσκολλημένη βιομάζα και
- τα βιολογικά αναερόβια φίλτρα.

2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι τα εξής:

- ✚ Κατά την αναερόβια επεξεργασία δεν υπάρχει περιορισμός στη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων, σε αντίθεση με την αερόβια επεξεργασία, όπου εφαρμόζονται περιορισμοί για την ικανοποίηση της απαίτησης σε οξυγόνο. Επίσης, με την μέθοδο αυτή μπορεί να γίνει επεξεργασία υγρών βιομηχανικών απόβλητων υψηλού οργανικού φορτίου, υλικά που δεν βιοαποδομούνται με αερόβιες διεργασίες (όπως κυτταρίνη) καθώς και υλικά που προκαλούν προβλήματα (όπως λιπαρές ουσίες).
- ✚ Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την αναερόβια επεξεργασία σε σχέση με την αερόβια είναι πολύ μικρότερη, κυρίως για θέρμανση, η οποία εφαρμόζεται για να επιτευχθεί μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Επομένως, το κόστος λειτουργίας είναι πολύ μικρότερο και επί πλέον παράγεται μεθάνιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Επίσης η επεξεργασία μπορεί να λειτουργήσει με ταυτόχρονη παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας (θερμικής, ηλεκτρικής και καύσιμα).

- ✚ Παραγωγή βιοαερίου. Ταυτόχρονα με την διεργασία της χώνευσης πραγματοποιείται και παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας με την μορφή βιοαερίου (το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας και ένα μέρος αυτής της ενέργειας μπορεί να ιδιοκαταναλωθεί από την εγκατάσταση της επεξεργασίας).
- ✚ Η παραγόμενη ιλύς που παράγεται από την διεργασία αυτή, μπορεί να διατεθεί ως εδαφοβελτιωτικό, διότι περιέχει N, P και άλλα θρεπτικά καθώς και οργανική ύλη που βελτιώνουν την γονιμότητα και την δομή του εδάφους.
- ✚ Μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (όπως N και P) κατά την διεργασία.
- ✚ Η επεξεργασία πραγματοποιείται σε τελείως κλειστά δοχεία για αποκλεισμό της επαφής του αέρα με τα απόβλητα, επομένως, δεν παρουσιάζονται προβλήματα όχλησης στην περιοχή εφαρμογής (όπως οσμές, έντομα, κατακλιτισμός σταγόνων, θόρυβος κα), τα οποία είναι συναφή με τις αερόβιες μεθόδους επεξεργασίας.
- ✚ Τέλος οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί, σε αντίθεση με τους αερόβιους, είναι πιο ανθεκτικοί, αφού μπορούν να διατηρούνται χωρίς τροφή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να σημειώνεται καμία σημαντική μείωση στην ενεργότητά τους.

Στον αντίποδα, **τα μειονεκτήματα της αναερόβιας επεξεργασίας** ως μεθόδου επεξεργασίας αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

- ✚ Κατά την αναερόβια βιοαποδόμηση απαιτούνται μεγάλες δεξαμενές μιας και ο χρόνος παραμονής είναι μεγάλος, ενώ επίσης αυτές, πρέπει να είναι κλειστές για αποκλεισμό του αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κόστος κατασκευής των μονάδων αυτών να είναι μεγάλο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος των αερόβιων.
- ✚ Δυστυχώς, οι μεθαγόνοι μικροοργανισμοί έχουν μεγάλη ευαισθησία σε πλήθος τοξικών ενώσεων.
- ✚ Η σχετικά χαμηλή ευστάθεια των αναερόβιων συστημάτων επεξεργασίας, η οποία όμως τείνει να εξαλειφθεί με την ολοκληρωμένη γνώση των βασικών αρχών της διεργασίας.
- ✚ Για την εκκίνηση της διεργασίας απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα (από 8 έως και 12 εβδομάδες).
- ✚ Το αναερόβιο περιβάλλον ευνοεί την αύξηση μικροοργανισμών που ανάγουν το θείο και συνεπώς την παραγωγή υδρόθειου. Η παραγωγή θειούχων ανιόντων έχει μεν ευνοϊκή επίδραση στην καθίζηση των μετάλλων (ως θειούχα άλατα που έχουν πολύ μικρή διαλυτότητα), συγχρόνως όμως μειώνει το pH και επηρεάζει αρνητικά την αύξηση των μικροοργανισμών.
- ✚ Πολλές φορές στην πράξη, επειδή η συγκέντρωση των οργανικών κατά την έξοδο της αναερόβιας διεργασίας δεν είναι αποδεκτή από την νομοθεσία για την διάθεση στο περιβάλλον, η αναερόβια επεξεργασία πρέπει να συμπληρώνεται και με μια αερόβια.
- ✚ Η αναερόβια χώνευση είναι ευαίσθητη στις μεταβολές του pH και παρεμποδίζεται από μια σειρά ουσιών που περιέχονται στα βιομηχανικά

απόβλητα και την ιλύ (όπως μέταλλα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, ανιοντικά απορρυπαντικά και θειούχα ανιόντα).

(Metcalf and Eddy, 1991; McInernay et al., 1981)

2.2.5 Το βιοαέριο στην Ελλάδα - Παρούσα κατάσταση

Στην δεκαετία του '80 λίγα έργα για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου υλοποιήθηκαν στην Ελλάδα 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 Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Παρ' όλα 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 (πχ. 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 αποβλήτων και δεν συνοδεύεται από την παραγωγή βιοαερίου και ενέργειας (τουλάχιστον όχι σε ευρεία κλίματα μέχρι στιγμής). Η προσέγγιση είναι αυτή, της διάθεσης των αποβλήτων μετά από κάποια επεξεργασία, παρά η υιοθέτηση μιας γνωστής και ολοκληρωμένης τεχνολογίας όπως η αναερόβια χώνευση για την παράλληλη παραγωγή βιοαερίου και την χρήση του υπολείμματος ως

εδαφοβελτιωτικό. Επιπρόσθετα, η διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων δεν έχει δημιουργήσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα ως 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 (Μέγα Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης. Η βιομάζα συνεισέφερε το 56% αυτού καλύπτοντας κυρίως θερμικές ανάγκες. Το βιοαέριο που παρήχθη από ΕΕΛ, ΧΥΤΑ και μια δύο βιομηχανικές εφαρμογές συνεισέφερε 36 χιλιάδες ΤΠΠ κυρίως λόγω ηλεκτροπαραγωγής. Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων βιοαερίου ανήλθε σε 24MW, με δεδομένο ότι 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).

Κατά την διάρκεια του έτους 2007, δεκαπέντε μονάδες βιοαερίου λειτούργησαν στην Ελλάδα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η εκμετάλλευση του βιοαερίου καλύπτει θερμικές ανάγκες των μονάδων. Παρ' όλα αυτά η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο ανήλθε σε 37,4 MW και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανήλθε σε 155,9 GWh (*ΔΕΣΜΗΕ*). Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας παρήχθη στην Αθήνα λόγω της λειτουργία μονάδων βιοαερίου στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) της Ψυτάλλειας και στον Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) Άνω Λιοσίων, χώροι οι οποίοι επεξεργάζονται υγρά και στερεά απόβλητα αντίστοιχα (*ΚΑΠΕ*).

Η κύρια αγορά βιοαερίου στην Ελλάδα αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή (από ΧΥΤΑ και Βιολογικούς Καθαρισμούς) ενώ η κάλυψη θερμικών αναγκών είναι σχεδόν

ανύπαρκτη (εσωτερική χρήση στις μονάδες ΑΧ). Σήμερα υπάρχει μία αρκετά ώριμη ενεργειακή αγορά στην Ελλάδα σχετικά με το βιοαέριο. Παρ' όλα αυτά χρειάζεται η περαιτέρω ενδυνάμωση της εγχώριας ενεργειακής βιομηχανίας. Με τον τρόπο αυτό θα προωθηθεί περαιτέρω η ανάπτυξη έργων βιοαερίου και θα μειωθούν τα κόστη επένδυσης.



Εικόνα 2.3: Μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα (σε λειτουργία το έτος 2007)(ΚΑΠΕ).

2.2.6 Ο ρόλος του ΚΑΠΕ

Σύμφωνα, με στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην ημερίδα του ΚΑΠΕ οι σημαντικότερες μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 2.1: Σημαντικότερες μονάδες Βιοαερίου στην Ελλάδα.

Πρώτη ύλη	Τοποθεσία	Παραγωγή βιοαερίου m ³ /ημέρα	Ηλεκτρική Ισχύς MW
Αέριο χωματερής	Α. Λιόσια ,Αττικής	184.000	14
Αέριο χωματερής	Ταγαράδες, Θεσσαλονίκη	1.200	0,24
Ιλύς Βιολογικού καθαρισμού	Ψυτάλλεια Αττικής	60.000	7,37
Ιλύς Βιολογικού καθαρισμού	Ηράκλειο Κρήτης	2.460	0,18
Ιλύς Βιολογικού καθαρισμού	Βόλος	2.800	0,23

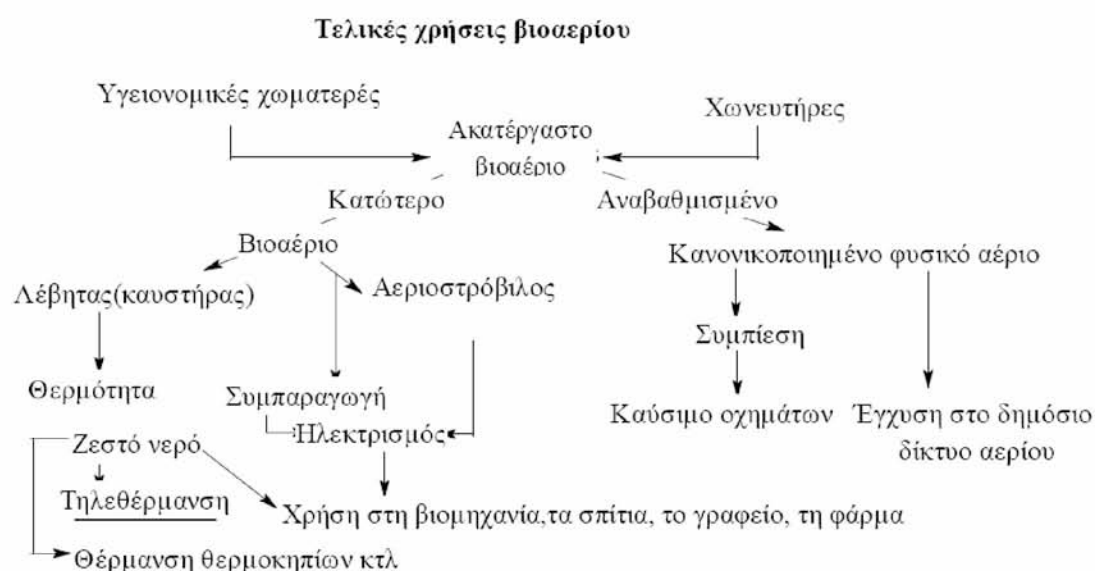
Το ΚΑΠΕ υλοποιεί, σε συνεργασία με ευρωπαϊκά ενεργειακά κέντρα και πανεπιστήμια, κοινοτικό πρόγραμμα για τη δημιουργία "Κέντρου Βιοαερίου", το οποίο θα συνεισφέρει στην ανάπτυξη των εφαρμογών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου τόσο στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και στις υποψήφιες για ένταξη χώρες. Παράλληλα, το ΚΑΠΕ προβαίνει σε μια σειρά δράσεων όπως η ανάπτυξη εθνικού δικτύου (από ειδικούς επιστήμονες, μελετητές, λήπτες αποφάσεων), η έκδοση οδηγού για τις εφαρμογές στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός και ο συντονισμός των απαιτούμενων δράσεων μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων για την υλοποίηση έργων που θα αφορούν στην ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου από αγροτοβιομηχανικά οργανικά απόβλητα και αστικά λύματα, κ.ά.

Κεφάλαιο 3

Κεφάλαιο 3 – Χρήση βιοαερίου

3.1 Χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις, ανάλογα με τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Γενικά, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Επισκόπηση των χρήσεων του βιοαερίου (Smith, 1997)

3.2 Ιδιότητες του βιοαερίου

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου από την ΑΧ είναι χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο. Οι ιδιότητες και η σύνθεση του βιοαερίου ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και τη δομή της πρώτης ύλης, το σύστημα της εγκατάστασης, τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής και άλλους παράγοντες.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται κάποιες από τις μέσες τιμές σύνθεσης του βιοαερίου που βρέθηκαν στις περισσότερες βιβλιογραφικές παραπομπές. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο έχει 50% περιεχόμενο σε μεθάνιο, η μέση θερμαντική τιμή του είναι

περίπου 21 MJ/Nm³, η μέση πυκνότητα 1,22 kg/Nm³ και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα (1,29 kg/Nm³)(Laaber et al., 2006).

Πίνακας 3.1: Σύνθεση Βιοαερίου

Συστατικό	Χημικός Τύπος	Περιεκτικότητα (Vol. -%)
Μεθάνιο	CH ₄	50-75
Διοξείδιο του Άνθρακα	CO ₂	25-45
Υδρατμοί	H ₂ O	2(20°C) -7(40°C)
Οξυγόνο	O ₂	<2
Άζωτο	N ₂	<2
Αμμωνία	NH ₃	<1
Υδρογόνο	H ₂	<1
Υδρόθειο	H ₂ S	<1

3.3 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας

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

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

3.4 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την ΑΧ σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Πριν από τη μετατροπή της ΣΗΘ, το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται. Οι περισσότερες μηχανές αερίου έχουν μέγιστα όρια για το σουλφίδιο υδρογόνου, τους αλογονημένους υδρογονάνθρακες και τις σιλοξάνες στο βιοαέριο. Μια μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα.

Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι γεννήτριες έχουν συνήθως μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής (1.500 περιστροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατές με τη συχνότητα του δικτύου. Οι κινητήρες μπορούν να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές. Τόσο οι μηχανές αερίου Ντίζελ όσο και οι Otto λειτουργούν χωρίς πετρέλαιο ανάφλεξης, σύμφωνα με την αρχή του Otto. Η διαφορά αυτών των μηχανών είναι μόνο στη συμπίεση. Οι εναλλακτικές λύσεις στις προαναφερθείσες εφαρμογές είναι οι μικροί αεριοστροβίλοι, οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου, τεχνολογίες που είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης.



Εικόνα 3.1: Καυστήρας βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας (AGRINZ GmbH, 2008)

Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως είναι οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες. Σε πολλές χώρες με υψηλά τιμολόγια αγοράς της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, όλη η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένα σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου είναι η χρήση της παραχθείσας θερμότητας. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτήρων (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραχθείσας ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές ανάγκες.

Πολλές εγκαταστάσεις βιοαερίου, σε χώρες όπως η Γερμανία, σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για λόγους ηλεκτροπαραγωγής, χωρίς πρόβλεψη για χρήση της θερμότητας.

Σήμερα, για την επίτευξη καλής οικονομίας της εγκατάστασης είναι υποχρεωτική η χρήση της θερμότητας. Οι τιμές των προϊόντων (π.χ. για το καλαμπόκι) έχουν αυξηθεί και για πολλές εγκαταστάσεις, δεν είναι αρκετή μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας. Οι νέες εγκαθιστάμενες μονάδες βιοαερίου πρέπει επομένως να περιλαμβάνουν πάντα στο γενικό σχεδιασμό τη χρήση της θερμότητας. Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις βιομηχανικές διεργασίες, στις γεωργικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτιρίων. Ο καταλληλότερος χρήστης της θερμότητας είναι η βιομηχανία, δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η ποιότητα της θερμότητας (θερμοκρασία) είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Η χρήση της θερμότητας από βιοαέριο για την θέρμανση κτιρίων και νοικοκυριών (θέρμανση μίνι-δικτύου ή περιοχής) είναι μια άλλη επιλογή, αν και αυτή η εφαρμογή έχει χαμηλή ζήτηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και υψηλή, κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση προϊόντων, τεμαχίων ξύλου ή για το χωρισμό του κομποστ. Τέλος, η θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα «ηλεκτρισμού, θερμότητας, δροσισμού».

Αυτή η διεργασία είναι γνωστή από τα ψυγεία και χρησιμοποιείται π.χ. για την εν ψυχρώ αποθήκευση τροφίμων ή τον κλιματισμό. Η ενέργεια εισαγωγής είναι θερμότητα, η οποία μετατρέπεται σε ψύξη μέσω μιας διεργασίας απορρόφησης, όπου γίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ της προσρόφησης και της διεργασίας δροσισμού

με απορρόφηση. Το πλεονέκτημα της ψύξης μέσω της απορρόφησης είναι οι μικρές φθορές, λόγω των λίγων μηχανικών μερών και η μικρή κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις δροσισμού με συμπίεση. Η χρήση του συνδυασμού ηλεκτρισμός-θερμότητα-δροσισμός στις εγκαταστάσεις βιοαερίου εξετάζεται αυτήν την περίοδο μέσω διάφορων πιλοτικών προγραμμάτων.

Κεφάλαιο 4

Κεφάλαιο 4 – Περιγραφή της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη της Λάρισας (Βιολογικός Καθαρισμός ΔΕΥΑΛ)

4.1 Παραγωγή και χρήση βιοαερίου στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη της Λάρισας

Η ΔΕΥΑΛ μετά την ένταξή της στο Ν. 1069/80, ο οποίος διέπει την λειτουργία των Δημοτικών επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης της χώρας, ανέλαβε να εκτελέσει το τεράστιο έργο της αποχέτευσης της πόλης Λάρισας. Στο έργο αυτό περιλαμβάνεται και η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.



Εικόνα 4.1: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων νομού Λάρισας

Το έργο αυτό μετά από πρόταση και ενέργειες της ΔΕΥΑΛ και της Δημοτικής αρχής, εντάχθηκε στην πρώτη φάση των έργων αποχέτευσης, με στόχο την κα-

τασκευή του το συντομότερο δυνατό και την αποφυγή της περαιτέρω επιβάρυνσης του Πηνειού από τα λύματα.

Η αρχική επιλογή της θέσης του έργου (μέσα στην κοίτη πλημμύρων του Πηνειού, πίσω από το εργοστάσιο γάλακτος) έγινε την δεκαετία του '50, με βάση τις συμβουλές εκπροσώπων της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (Π.Ο.Υ.). Στην επιλογή αυτή στηρίχτηκε και η όλη σύλληψη του αποχετευτικού δικτύου της πόλης. Συγκεκριμένα, το Δημοτικό Συμβούλιο της πόλης με την υπ' αριθμόν 10/1979 απόφασή του, ομόφωνα αποφάσισε και πρότεινε «η υπ' αριθμόν 18 β κοινόχρηστη έκταση του αγροκτήματος Καλυβίων Λαρίσης έκτασης 180 στρεμμάτων, να μη παραχωρηθεί σε ακτήμονες καλλιεργητές, καθόσον αυτή επελέγη ως η πλέον ενδεδειγμένη τοποθεσία για την επεξεργασία των λυμάτων της πόλης».

Μετά από πάρα πολλές ενέργειες και προσπάθειες των δημοτικών αρχών της δεκαετίας του '70, επιτεύχθηκε τελικά να γίνει η παραχώρηση του χώρου αυτού από το Υπουργείο Γεωργίας στο Δήμο Λάρισας. Αργότερα με την υπ' αριθμόν 9/84 απόφαση του το Δημοτικό Συμβούλιο παραχώρησε το χώρο αυτό στη ΔΕΥΑΛ για την κατασκευή του έργου. Τελικά το έργο κατασκευάστηκε βορειότερα πίσω από την εγκατάσταση της 3ης ΔΕΚΕ η οποία βρίσκεται επί της Εθνικής οδού Λάρισας - Θεσσαλονίκης.

Το 1984 παραδόθηκε η προμελέτη και τα τεύχη δημοπράτησης του έργου από το μελετητικό γραφείο “ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΠΕ ΓΚΟΦΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ” και αφού ολοκληρώθηκαν οι διαδικασίες αξιολόγησης των προσφορών που υποβλήθηκαν το καλοκαίρι του 1985, το έργο ανατέθηκε στην κοινοπραξία ΕΤΕΘ ΑΕ DEGREMONT SA, με την οποία το συμφωνητικό υπογράφηκε στις 4-7-86.

Η DEGREMONT SA είναι Γαλλική εταιρία, από τις μεγαλύτερες παγκόσμια στον τομέα των έργων επεξεργασίας λυμάτων. Η ΕΤΕΘ ΑΕ είναι Ελληνική

κατασκευαστική εταιρία. Οι μελέτες εφαρμογής που εκπονήθηκαν από την Κοινοπραξία, παραδόθηκαν σταδιακά μέχρι τις αρχές του 1987, οπότε άρχισε η εκτέλεση των έργων και συγκεκριμένα στις 11-5-87. Η ολοκλήρωση της κατασκευής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με την οποία κλείνει μία περίοδος 60 περίπου ετών του δικτύου αποχέτευσης της πόλης, είναι το πρώτο έργο αυτού του μεγέθους στη χώρα μας, που εκτός από την επίλυση ενός σοβαρού περιβαλλοντικού προβλήματος μέσα στην πόλη, συμβάλλει καθοριστικά στην ανακούφιση του ήδη επιβαρυνμένου Πηνειού ποταμού.

4.2 Κριτήρια σχεδιασμού της μονάδας

α. Κατασκευή του έργου σε δύο φάσεις.

Η πρώτη, το 1989 για 115.000 κατοίκους (ή 20.000 μ³ λύματα την ημέρα) και η δεύτερη για 230.000 κατοίκους (ή 40.000 μ³ λύματα την ημέρα) με στόχο την εξυπηρέτηση των αναγκών της πόλης.

β. Η ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων καθορίστηκε με βάση την παροχή του Πηνειού το καλοκαίρι και συγκεκριμένα 3 m³/s. Με την τιμή αυτή καθορίστηκε για το καλοκαίρι BOD εξόδου 11 mg/l και για τον χειμώνα 30 mg/l.

γ. Εξάλειψη των περιβαντολλογικών κινδύνων από τη διάθεση της λάσπης.

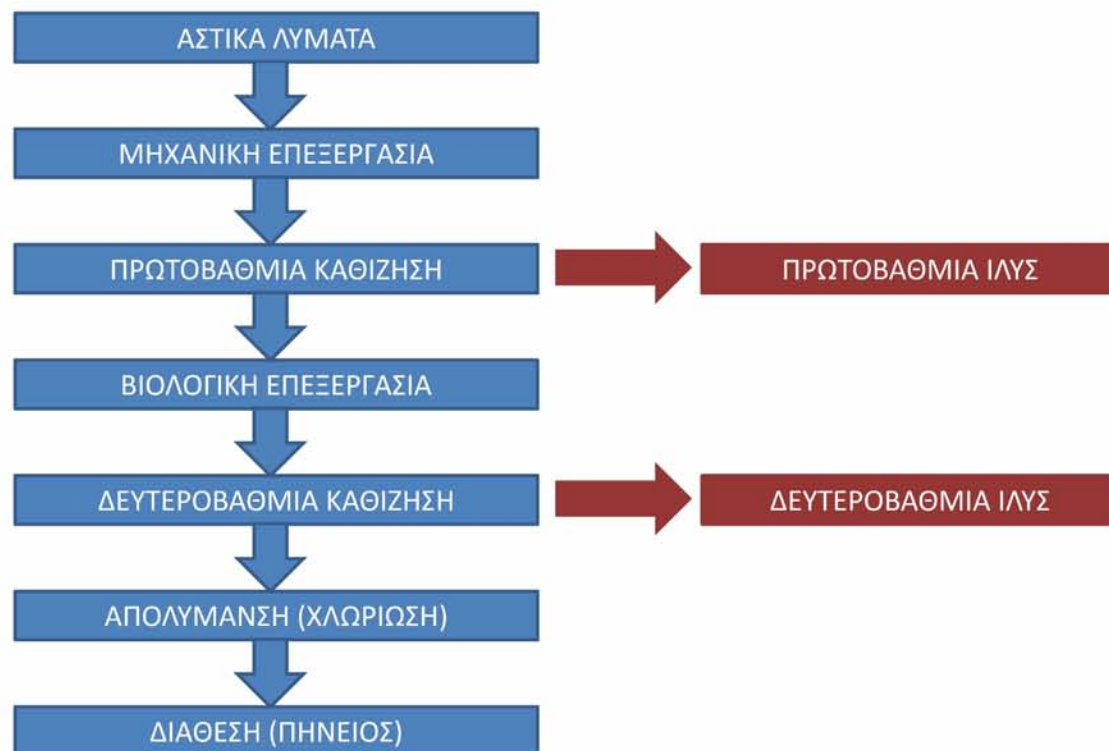
δ. Αποφυγή ενοχλήσεων από οσμές.

ε. Εξάλειψη της τοξικότητας των χλωριωθέντων επεξεργασμένων υγρών.

στ. Δυνατότητα παραλαβής /επεξεργασίας των βοθρολυμάτων της πόλης.

Η ΔΕΥΑΛ επέλεξε ένα τεχνολογικά πλήρες σύστημα επεξεργασίας των λυμάτων που περιλαμβάνει τα ακόλουθα έργα όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.1):

1. Φρεάτιο εισόδου-εκτροπής
2. Αντλιοστάσιο ανύψωσης λυμάτων προς την κυρίως εγκατάσταση
3. Εγκατάσταση μηχανικής εσχάρωσης
4. Αεριζόμενη εξάμμωση-λιποσυλλογή
5. Μέτρηση παροχής
6. Μεριστής παροχής
7. Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης
8. Επιλογέας -ανοξική δεξαμενή-δεξαμενή αερισμού
9. Δεξαμενές τελικής καθίζησης
10. Αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας και απόρριψης λάσπης
11. Μονάδα απολύμανσης
12. Πάχυνση πρωτοβάθμιας λάσπης
13. Πάχυνση δευτεροβάθμιας λάσπης
14. Ομογενοποίηση λάσπης
15. Αναερόβια χώνευση της λάσπης
16. Μονάδα αποθήκευσης και αξιοποίησης του βιοαερίου
17. Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης λάσπης
18. Φρεάτιο στραγγισμάτων
19. Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας
20. Μονάδα υποδοχής, προεπεξεργασίας και απόσμησης βοθρολυμάτων
21. Ηλεκτρικός υποσταθμός και Πίνακες
22. Αυτοματισμός με H/Y και PLC



Σχήμα 4.1: Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων.

Ο χώρος των εγκαταστάσεων είναι συνολικά 115 στρέμματα και περιβάλλεται από αντιπλημμυρικό ανάχωμα.

Οι παροχές και τα φορτία εισόδου και εξόδου των εγκαταστάσεων για το σύνολο των έργων στην φάση II δίνονται στον παρακάτω Πίνακα (4.1).

Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά ΕΕΛ Λάρισας – Είσοδος.

Φορτίο Εισόδου (ποιότητα – παροχές)		
Αστικά Λύματα		
Ισοδύναμος πληθυσμός	κάτοικοι	210.000
Μέση ημερήσια παροχή	m3/μέρα	42.000
Παροχή αιχμής ξηρής περιόδου	m3/ώρα	4.320
Παροχή αιχμής υγρής περιόδου	m3/ώρα	5.400
Οργανικό φορτίο, BOD5	kg/μέρα	13.650
Αιωρούμενα στερεά, SS	kg/μέρα	14.700
Ολικό άζωτο, N	kg/μέρα	2.625
Ολικός φώσφορος, P	kg/μέρα	630
Βοθρολύματα		
Ημερήσια παροχή βοθρολυμάτων	m3/μέρα	300
Οργανικό φορτίο, BOD5	kg/μέρα	600
Αιωρούμενα στερεά, SS	kg/μέρα	16.200
Σύνολο		
Ημερήσια παροχή προς επεξεργασία	m3/μέρα	42.300
Οργανικό φορτίο, BOD5	kg/μέρα	14.250
Αιωρούμενα στερεά, SS	kg/μέρα	16.200

Πίνακας 4.2 Βασικά χαρακτηριστικά ΕΕΛ Λάρισας - Έξοδος.

Φορτίο Εξόδου (ποιότητα εξόδου)		
BOD5	mg/l	<20
SS	mg/l	<20
NH3-N	mg/l	<1
ολικό N,	mg/l	<10
COD	mg/l	<90
P	mg/l	<10
Διαλ. οξυγόνο	mg/l	>5
Ολικά κολοβακτηριοειδή	MPN/100ml	<500

4. 3 Γενική περιγραφή της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων

Τα λύματα φτάνουν στην εγκατάσταση με αγωγό προσαγωγής Φ 1500 mm. Στο στάδιο I η εγκατάσταση σχεδιάστηκε για μέγιστο υδραυλικό φορτίο 600 lt/s, κάθε δε επιπλέον παροχή εκτρέπεται προς τον Πηνειό με την βοήθεια υπερχειλιστή που επαρκεί και για το στάδιο II. Ο υπερχειλιστής ευρίσκεται στο φρεάτιο άφιξης. Στο φρεάτιο άφιξης υπάρχει και συσκευή μέτρησης δια υπερήχων της παροχής των εκτρεπομένων λυμάτων.



Εικόνα 4.2: Φρεάτιο άφιξης υπάρχει και συσκευή μέτρησης δια υπερήχων της παροχής

Τα λύματα που εισέρχονται στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) είναι:

1. Τα λύματα από το αποχετευτικό δίκτυο της πόλης, τα οποία συγκεντρώνονται στο κεντρικό αντλιοστάσιο αποχέτευσης και διοχετεύονται προς την εγκατάσταση μέσω αγωγού βαρύτητας, που φτάνει μέχρι το φρεάτιο εισόδου-εκτροπής.
2. Τα βοηθολύματα, τα οποία εισέρχονται με ειδικά βυτία. Όσον αφορά τα βοηθολύματα, έχει κατασκευαστεί μονάδα υποδοχής βοηθολυμάτων, που

αποτελείται από την διάταξη επεξεργασίας βοθρολυμάτων Ro3.3 HUBER εγκατεστημένη σε κλειστό κτήριο, με σύστημα απόσμισης του κτιρίου με φίλτρο εμποτισμένου ενεργού άνθρακα και αεριζόμενη δεξαμενή εξισορρόπησης, ωφέλιμου όγκου 180 m³.



Εικόνα 4.3 – 4.4: Μονάδα επεξεργασίας βοθρολυμάτων και φίλτρο απόσμισης στην ΕΕΑ Λάρισας.

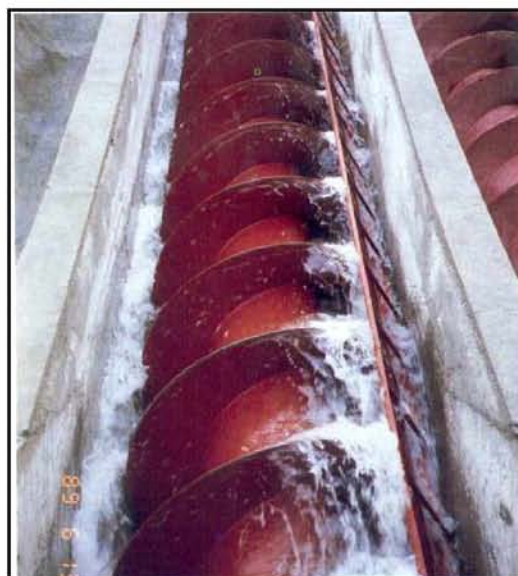
3. Και τέλος, τα λύματα από τα φρεάτια των δρόμων τα οποία επεξεργάζονται σε ειδική διάταξη. Η συλλογή τους γίνεται με αποφρακτικά μηχανήματα του δήμου και ο λόγος που είναι απαραίτητη η επεξεργασία τους πριν την είσοδο στον βιολογικό καθαρισμό, είναι ότι περιέχουν μεγάλες ποσότητες στερεών (πέτρες, χώματα σκουπίδια και άλλα), οι οποίες επιφέρουν ζημιές και δυσκολίες σε όλη την βιολογική επεξεργασία. Για τον λόγο αυτό, υπάρχει ειδική διάταξη της εταιρείας HUBER η οποία συγκρατεί τα στερεά και τα αποθέτει σε κάδους, ενώ τα υγρά απόβλητα, απαλλαγμένα πλέον από αυτά συνεχίζουν προς την βιολογική τους επεξεργασία.



Εικόνα 4.5 – 4.6: Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων αποφρακτικών στην ΕΕΛ Λάρισας.

4.3.1 Κοχλίες αρχικής ανύψωσης

Τα λύματα αρχικά οδηγούνται στην μονάδα προεπεξεργασίας, όπου εισέρχονται από αυτόματη εσχάρα κατακόρυφου τύπου (50mm). Στην συνέχεια ανυψώνονται έτσι ώστε να προωθούνται στην μονάδα ΕΕΛ με την βαρύτητα. Η ανύψωση αυτή γίνεται με τέσσερις κοχλίες τύπου Αρχιμήδη, με κλίση 38° , δυναμικότητας $1.080\text{m}^3/\text{hr}$ και εξωτερικής διαμέτρου 1400mm, που ανυψώνουν τα λύματα σε ύψος 7 μέτρων (m). Οι κοχλίες αυτοί παρέχουν εύκολη λειτουργία και υψηλή απόδοση ενέργειας.



Εικόνα 4.7 - 4.8: Ανυψωτικοί κοχλίες τύπου Αρχιμήδη στην ΕΕΛ Λάρισας.

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά κοχλιών ανύψωσης λυμάτων

Κοχλίες Τύπου Αρχιμήδη	4 (Τέσσερις)
Κλίση κοχλιών	38°
Δυναμικότητα κοχλιών	1.080 m ³ /hr
Εξωτερική διάμετρος κοχλιών	1.400 mm
Ταχύτητα περιστροφής κοχλιών	30-40 RPM

Η κατασκευή ανύψωσης καθώς και το φρεάτιο εισόδου με την χονδροεσχάρα, καλύπτεται με ελαφρά αφαιρούμενα καλύμματα, των οποίων η μετακίνηση είναι χειροκίνητη για τα οριζόντια καλύμματα στη βάση των κοχλιών και ηλεκτροκίνητη κατά το κεκλιμένο τμήμα. Ο χώρος κάτω από τα καλύμματα εξαερίζεται μέσω του χώρου κινητήρων, κατά τρόπο ώστε να δημιουργείται αρνητική πίεση και να μην υπάρχει διαφυγή οσμών. Ο αέρας κατευθύνεται μέσω αεραγωγών στο σύστημα απόσμισης των έργων εισόδου.

4.3.2 Εσχαρισμός-Εξάμμωση- Απολίπανση

Τα λύματα μετά την ανύψωσή τους, οδηγούνται στις εγκαταστάσεις προκαταρκτικής επεξεργασίας, που περιλαμβάνουν εσχαρισμό, εξάμμωση- απολίπανση και μέτρηση παροχής.

- **Εσχαρισμός:**

Η εγκατάσταση εσχαρισμού αποτελείται από τρία κανάλια (δύο κύρια και ένα εφεδρικό) με τρεις τοξωτές αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες (15 mm) στις οποίες έχουν προσαρμοσθεί διατάξεις συλλογής των εσχαρισμάτων. Για την συμπίεση των εσχαρισμάτων, χρησιμοποιείται συμπιεστής. Δύο από τις εσχάρες βρίσκονται μόνιμα σε λειτουργία ενώ, ανάλογα με τη στάθμη των λυμάτων, τίθεται σε λειτουργία ή

απενεργοποιείται και η τρίτη, με αυτόματη ενεργοποίηση ηλεκτροϋδραυλικών θυροφραγμάτων.

- **Εξάμμωση -Απολίπανση :**

Για την αποτελεσματική συγκράτηση της άμμου, των ψηφίδων και των λιπών-ελαίων, υπάρχουν δύο παράλληλες αεριζόμενες δεξαμενές αμμοσυλλογής-λιποσυλλογής, χωρητικότητας 165 m^3 η κάθε μία, ενώ υπάρχει και το δομικό μέρος για μία τρίτη παράλληλη δεξαμενή σε εφεδρεία, χωρίς εξοπλισμό.

Στην δεξαμενή εξάμμωσης και απολίπανσης η ταχύτητα ροής των λυμάτων είναι τόσο μικρή που επιτρέπει την κατακάθιση της άμμου στον πυθμένα της δεξαμενής. Η άμμος αφαιρείται με συγκρότημα αντλιών αέρος που ευρίσκεται πάνω σε κινούμενη γέφυρα ενώ ο διαχωρισμός της άμμου γίνεται σε ειδικό σύστημα πλύσης και διαχωρισμού, απ' όπου μεταγγίζεται σε όχημα αποθήκευσης και μεταφοράς.

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά Εξάμμωσης

Μήκος	18m
Πλάτος	4m
Βάθος υγρών	3,34m με το κανάλι συλλογής άμμου
Όγκος υγρών	165m^3



Εικόνα 4.9 - 4.10: Αντλίες αέρος για την απομάκρυνση της άμμου.

Η λιποσυλλογή γίνεται σε πλευρικά κανάλια και τα λίπη ωθούνται με επιφανειακά ξέστρα, φερόμενα από την γέφυρα, σε κοχλία συλλογής λιπών, ο οποίος εξυπηρετεί και τα τρία διαμερίσματα.

4.3.3 Εξαερισμός - απόσμηση

Το όλο συγκρότημα των έργων εισόδου έχει στεγασθεί, σε κλειστό, εξαεριζόμενο και αποσμούμενο κτίριο, μεταλλικής κατασκευής. Η απόσμηση γίνεται κατακόρυφη σε αλκαλική πλυντρίδα δύο βαθμίδων, όπου στην πρώτη βαθμίδα γίνεται η διοχέτευση διαλύματος NaOH , ενώ η δεύτερη είναι ξηρή, για τη συγκράτηση σταγονιδίων.

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά Εξαερισμού

Συνολικός όγκος κτηρίου	2.000m ³
Αλλαγές αέρα ανά ώρα	5 αλ/γές/hr
Παροχή αέρα	10.000 m ³ /hr



Εικόνα 4.11 – 4.12: Εσωτερικό και εξωτερικό μονάδας εξάμμωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.

Στην έξοδο της εξάμμωσης υπάρχουν τρία παράλληλα κανάλια τύπου Venturi, με εγκατεστημένους 3 μετρητές παροχής με ανιχνευτή στάθμης υπερήχων. Στην συνέχεια υπάρχει ο μεριστής παροχής που διαθέτει τέσσερα διαμερίσματα διανομής.



Εικόνα 4.13: Κανάλι τύπου Venturi για την μέτρηση παροχής στην ΕΕΛ Λάρισας.

4.3.4 Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Η πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται σε δύο ζεύγη δεξαμενών (υφιστάμενο και νέο), οι οποίες είναι κυκλικές, με διάμετρο 25 m, με πλευρικό βάθος υγρών 3 m κλίση πυθμένα τουλάχιστον 8%, με τροφοδότηση στο κέντρο και ακτινικό ξέστρο με περιφερειακή οδήγηση.

Η επιφανειακή φόρτιση των δεξαμενών υπό μέση ωριαία παροχή είναι μικρότερη από $24 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{d}$ ενώ υπό μέγιστη ωριαία παροχή μικρότερη από $70 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{d}$.

Η ηλεκτρική τροφοδότηση γίνεται στο κέντρο, από όπου τροφοδοτούνται οι καταναλώσεις, μέσω του κοίλου κεντρικού άξονα της γέφυρας.

Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικά Δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

Αριθμός δεξαμενών	2 (δύο)
Διάμετρος δεξαμενών	25m
Πλευρικό βάθος υγρών	3m
Κλίση πυθμένα	8%
Επιφανειακή φόρτιση δεξαμενών	<24 m ³ /hr
Μέγιστη ωριαία παροχή	<70 m ³ /m ² d
Απομάκρυνση BOD	Έως και 30%

Στις δεξαμενές αυτές κατακάθονται στον πυθμένα όλα τα καθιζάνοντα υλικά των λυμάτων και το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων στερεών. Με την φυσική αυτή καθίζηση επιτυγχάνεται και απομάκρυνση του BOD έως και 30%. Η λάσπη που σχηματίζεται στους πυθμένες ωθείται προς το κέντρο των δεξαμενών με ξέστρα πυθμένος που οδηγούν περιστρεφόμενες γέφυρες. Οι γέφυρες φέρουν επίσης μηχανισμούς για συμπληρωματική αφαίρεση των λιπών.

Η λάσπη απομακρύνεται από τις δεξαμενές μέσω ζεύγους αντλιοστασίων και οδηγείται σε δύο όμοιους παχυντές βαρύτητας (υφιστάμενο και νέο) και απ' εκεί στην αναερόβια χώνευση. Τα επεξεργασμένα λύματα εξέρχονται από τις δεξαμενές μέσω καταλλήλων υπερχειλιστών προς τον βιολογικό καθαρισμό.

Πίνακας 4.7: Χαρακτηριστικά αντλιών λάσπης

Παροχή	25m ³ /h
Μανομετρικό ύψος	5m
Ισχύς	2,2KW



Εικόνα 4.14 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.



Εικόνα 4.15 – 4.16: Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

4.3.5 Βιοαντιδραστήρες ενεργού ιλύος

Στον σταθμό αυτό απομακρύνεται ο ρύπος των αποβλήτων (οργανικές ουσίες και αζωτούχες) με τη βοήθεια βακτηρίων. Τα βακτήρια αυτά καταναλίσκουν τον ρύπο σαν τροφή και αναπνέουν το οξυγόνο που τους προσδίδεται με ειδικούς επιφανειακούς αεριστές.

Ο αερόβιος βιολογικός καθαρισμός γίνεται σε δύο ζώνες. Η μία λέγεται ανοξική και η άλλη αερισμού. Στην ζώνη αερισμού οι οργανικές ενώσεις διασπώνται και οι αμμωνιακές μετατρέπονται σε νιτρικές (νιτροποίηση).

Για να μη χαθούν οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στις δεξαμενές αερισμού, οδηγούνται στις δευτεροβάθμιες δεξαμενές καθίζησης απ' όπου συλλεγόμενοι σαν λάσπη (ενεργός ιλύς) επιστρέφουν πάλι στις δεξαμενές και συγκεκριμένα στην ανοξική ζώνη. Εδώ δεν προσδίδεται αέρας και απουσία αέρος οι νιτρικές ενώσεις διασπώμενες ελευθερώνουν άζωτο και επαναφέρουν οξυγόνο που συντελεί στην μείωση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις δεξαμενές αερισμού. Η ανοξική ζώνη συντελεί στη μείωση των φαινομένων ανύψωσης της λάσπης στις δευτεροβάθμιες καθιζήσεις και επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης 10-15%.

Οι επιφανειακοί αεριστήρες είναι 12, αργόστροφοι με ονομαστική ικανότητα οξυγόνωσης 1,8 kg O₂/kWh.

Έτσι λοιπόν συνοπτικά έχουμε δύο υφιστάμενοι βιοαντιδραστήρες που είναι ορθογωνικής κάτοψης, ωφέλιμου όγκου 5.145m³ η συνολικού όγκου 10.290m³. Ο κάθε βιοαντιδραστήρας αποτελείται από:

- βιοεπιλογέα, ωφέλιμου όγκου 270m³, με τρία εν σειρά διαμερίσματα με αναμικτήρες. Εδώ επιστρέφει η επανακυκλοφορία της βιολογικής ιλύος από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης.

- δεξαμενή απονιτροποίησης - ανοξική ζώνη, ένα διαμέρισμα ωφέλιμου όγκου 390 m^3 , εξοπλισμένο με ένα αναμείκτη.

Εδώ επιστρέφει το ανακυκλοφορούμενο νιτροποιημένο μικτό υγρό.

- επαμφοτερίζουσα ζώνη, που λειτουργεί σαν ανοξική ή σαν αερόβια., ωφέλιμου όγκου 630 m^3 , στην οποία βρίσκεται ένας επιφανειακός αεριστήρας και ένας αναμείκτης.
- δεξαμενή αερόβια, ωφέλιμου όγκου 3.855 m^3 , αερόβια περιοχή, όπου βρίσκονται 5 επιφανειακοί αεριστήρες τύπου Actirotor/Degremont, 37 KW έκαστος.



Εικόνα 4.17 – 4.18: Μονάδα αερισμού στην ΕΕΛ Λάρισας.

Μέσω φρεατίου εξόδου τροφοδοτούνται οι υφιστάμενες δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Οι δύο νέοι βιοαντιδραστήρες είναι ορθογωνικής κάτοψης, ωφέλιμου όγκου 5.900 m^3 και συνολικού όγκου 11.800 m^3 . Ο κάθε βιοαντιδραστήρας αποτελείται από:

- βιοεπιλογέα, αναερόβια περιοχή, ωφέλιμου όγκου 630 m^3 , με τέσσερα εν σειρά διαμερίσματα με αναμικτήρες. Εδώ επιστρέφει η επανακυκλοφορία της βιολογικής ιλύος από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης.

- δεξαμενή απονιτροποίησης-ανοξική ζώνη, χωρισμένη σε δύο διαμερίσματα ωφέλιμου όγκου 1180 m^3 , εξοπλισμένα με δύο αναμίκτες. Εδώ επιστρέφει το ανακυκλοφορούμενο νιτροποιημένο μικό υγρό.
- επαμφοτερίζουσα ζώνη, που λειτουργεί σαν ανοξική ή σαν αερόβια., ωφέλιμου όγκου 590 m^3 , στην οποία βρίσκεται ένας αναμίκτης και 180 διαχυτήρες αέρα τύπου μεμβράνης λεπτής φυσαλίδας.
- δεξαμενή αερόβια, ωφέλιμου όγκου 3500 m^3 , αερόβια περιοχή, όπου βρίσκονται μόνο διαχυτήρες αέρα, κλιμακούμενης πυκνότητας, 836 τεμάχια, του ίδιου τύπου όπως ανωτέρω.. Οι διαχυτήρες κάθε δεξαμενής τροφοδοτούνται από 3 φυσητήρες τύπου L-86/3P/ROBUSCHI. Μέσω φρεατίου εξόδου τροφοδοτούνται οι δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.



Εικόνα 4.19 – 4.20: Αερισμός και διαχυτήρες κατά την διάρκεια μη λειτουργίας της μονάδας στην ΕΕΛ Λάρισας.

4.3.6 Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης

Οι δεξαμενές της δευτεροβάθμιας καθίζησης είναι δύο (υφιστάμενο και νέο), κυκλικές, εσωτερικής διαμέτρου 37m και ωφέλιμου ύψους υγρού 3,5m.

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης

Εσωτερική διάμετρος	37m
Ελάχιστο πλευρικό βάθος υγρών	3,5m
Κλίση πυθμένα	5%
Συνολική ενεργός επιφάνεια	4.300m ²

Η παροχή προς τις δεξαμενές αυτές διοχετεύεται από την έξοδο της αντίστοιχης δεξαμενής αερισμού, προς το κέντρο της δεξαμενής με αγωγό διατομής Φ800. Εδώ καθιζάνουν οι μικροοργανισμοί και διαχωρίζονται από τα επεξεργασμένα νερά. Ο διαχωρισμός υποβοηθείται με κατάλληλη διάταξη που τους αναρροφά πριν οι μικροοργανισμοί καθίσουν στον πυθμένα των δεξαμενών. Το σύστημα αναρρόφησης βρίσκεται πάνω σε περιστρεφόμενη γέφυρα και βοηθά στη μείωση των φαινομένων ανύψωσης της λάσπης στις δεξαμενές. Το μεγαλύτερο μέρος της λάσπης των δευτεροβάθμιων καθιζήσεων ανακυκλώνεται, ενώ το υπόλοιπο της λάσπης αναμιγνύεται με τα λύματα μετά την προεπεξεργασία και οδηγείται μέσω των πρωτοβάθμιων καθιζήσεων στον παχυντή.



Εικόνα 4.21: Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Το νέο αυτό αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος, είναι σε συμμετρική θέση ως προς τις δύο νέες δεξαμενές καθίζησης. Μέσα έχει τις 4 αντλίες ανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος προς την είσοδο του βιοεπιλογέα και τις 4 αντλίες απομάκρυνσης της περίσσειας της ιλύος προς την μονάδα αποθήκευσης. Το αντίστοιχο αντλιοστάσιο της υφιστάμενης μονάδας έχει 3 αντλίες τύπου «έλικα Αρχιμήδη» για την ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος και 4 αντλίες απομάκρυνσης της περίσσειας της ιλύος.

Από την υπερχείλιση εξόδου κάθε ζεύγους δεξαμενών, τα λύματα οδηγούνται για απολύμανση ενώ από τον πυθμένα η ιλύς αντλείται προς το αντίστοιχο αντλιοστάσιο.

4.3.7 Χλωρίωση - Αποχλωρίωση

Η χλωρίωση (απολύμανση) των επεξεργασμένων νερών, γίνεται με υποχλωριώδες νάτριο και η αποχλωρίωση με μεταθειώδες ή όξινοθειώδες νάτριο σε μαιανδροειδής δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 900m^3 . Το υποχλωριώδες νάτριο παραδίδεται στην εγκατάσταση σε πυκνότητα 48-50% και αποθηκεύεται σε δεξαμενή χωρητικότητας 25m^3 . Από εκεί μεταγγίζεται σε δεξαμενή διαλύματος εργασίας, χωρητικότητας περίπου 5m^3 , για την αποθήκευση διαλύματος εργασίας το πολύ 3 ημερών στην αιχμή, σε πυκνότητα 13%.

Η δοσομέτρηση του διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου γίνεται με 2 δοσομετρικές αντλίες μεταβλητής παροχής 0-65 lit/hr, οι οποίες τροφοδοτούν την είσοδο της δεξαμενής της οποίας η παροχή ρυθμίζεται με βάση τα σήματα του μετρητή παροχής.

Στην έξοδο της δεξαμενής χλωρίωσης υπάρχει αναδευόμενο φρεάτιο αποχλωρίωσης. Η αποχλωρίωση γίνεται με διάλυμα 5% μεταθειώδους νατρίου ή αντίστοιχο διάλυμα όξινουθειώδους νατρίου. Το μεταθειώδες νάτριο παραδίδεται σε στερεά μορφή και το διάλυμα παρασκευάζεται σε ειδική δεξαμενή.

Η δοσομέτρηση του διαλύματος μεταθειώδους νατρίου γίνεται από 1 δοσομετρική αντλία μεταβλητής παροχής 0-120 lit/hr, των οποίων η παροχή ρυθμίζεται με βάση την παροχή και το υπολειμματικό χλώριο, το οποίο μετράται στην έξοδο των δεξαμενών με ειδικές διατάξεις.



Εικόνα 4.22: Χλωρίωση επεξεργασμένου νερού

Η αποχλωρίωση γίνεται για την αποφυγή της φόρτισης του αποδέκτη με υπολειμματικό χλώριο.

4.3.8 Φρεάτιο εξόδου

Τα επεξεργασμένα νερά, μετά την απολύμανση, περνούν στο φρεάτιο εξόδου, απ' όπου διοχετεύονται με αγωγό και ανοικτή τάφρο προς τον ποταμό Πηνειό.



Εικόνα 4.23: Φρεάτιο εξόδου επεξεργασμένου νερού.

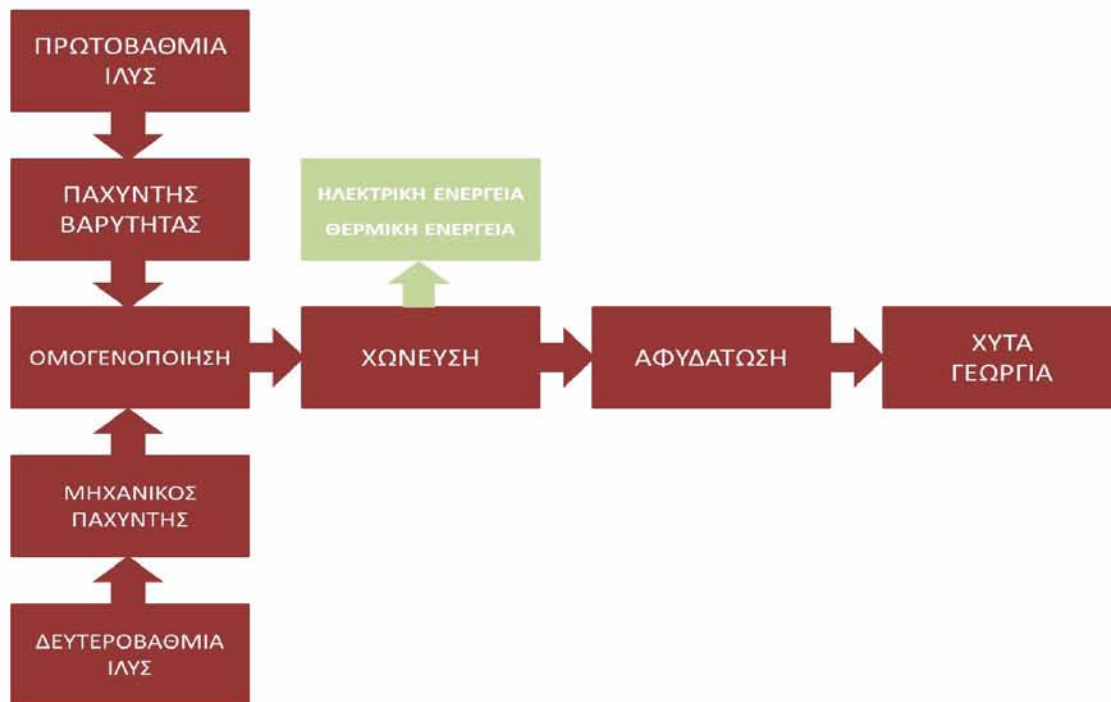
Στο ίδιο φρεάτιο απολήγει και ο αγωγός παράκαμψης της μονάδας, ενώ με χωριστό αγωγό διοχετεύονται μέσω του περιμετρικού αναχώματος τα όμβρια της εγκατάστασης. Επειδή η στάθμη του ποταμού παρουσιάζει υψηλές διακυμάνσεις, συμβαίνει συχνά να οπισθοδρομούν τα νερά και να εισέρχονται στην εγκατάσταση μέσω του παρακαμπτηρίου αγωγού και του αρχικού φρεατίου εκτροπής, γεγονός που επιφέρει σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος υπάρχουν αυτόματα ηλεκτροκίνητα θυροφράγματα στον αγωγό εξόδου των καθαρών και των ομβρίων τα οποία κλείνουν αυτόματα όταν η στάθμη του ποταμού ξεπερνά κάποιο όριο. Στη συνέχεια η παροχή καθαρών, παράκαμψης και τα όμβρια διατίθενται στον παρακείμενο πλακοσκεπή οχετό ομβρίων που τα οδηγεί σε αντλιοστάσιο ομβρίων παροχής 24.000m³/hr.

4.3.9 Πάχυνση πρωτοβάθμιας λάσπης

Η επεξεργασία της ιλύος ακολουθεί το γενικό σχήμα πάχυνση-χώνευση-αφυδάτωση. Στην πρώτη φάση του έργου η δευτεροβάθμια ιλύς οδηγείτο στο φρεάτιο μερισμού της προεπεξεργασίας και από εκεί, μέσω του αντλιοστασίου της πρωτοβάθμιας καθίζησης, στον παχυντή (αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών στη λάσπη), χωνευτές και φιλτρόπεςσες.

Στην φάση της επέκτασης το σχήμα διαφοροποιήθηκε, χωρίζοντας την πάχυνση της πρωτοβάθμιας από την δευτεροβάθμια ιλύ και αναμιγνύοντας την τελικά παχυμένη ιλύ στον ομογενοποιητή, έτσι όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2 : Επεξεργασία Ιλύος

Έτσι για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης υπάρχουν δύο όμοιοι κυκλικοί παχυντές βαρύτητας (υφιστάμενος και νέος) ωφέλιμου όγκου 600 m^3 και διαμέτρου 15 m, με περιστρεφόμενο διαμετρικό ξέστρο (Πίνακας 4.7).



Εικόνα 4.24 – 4.25: Εξωτερικό και εσωτερικό παχυντή ιλύος.

Πίνακας 4.9: Χαρακτηριστικά παχυντή ιλύος πρωτοβάθμιας λάσπης

Διάμετρος	15m
Ωφέλιμος όγκος	600m ³
Κλίση πυθμένα	15%
<ul style="list-style-type: none"> • Με σταθερή διαμετρική γέφυρα από σκυρόδεμα 	
<ul style="list-style-type: none"> • Με περιμετρικό κανάλι υπερχείλισης πλάτους 50m 	
<ul style="list-style-type: none"> • Με σχήμα ανάστροφου Π 	
<ul style="list-style-type: none"> • Με περιστρεφόμενο διαμετρικό ξέστρο 	

Λόγω της μη ανάμιξης της βιολογικής λάσπης με την πρωτοβάθμια, η πάχυνση της εισερχόμενης ιλύς στους παχυντές είναι περίπου 2-3%, ενώ μετά την πάχυνση η πυκνότητα υπερβαίνει το 5%.

Κοντά στο νέο παχυντή υπάρχει το αντλιοστάσιο λάσπης για την τροφοδοσία της δεξαμενής ομογενοποίησης. Το αντλιοστάσιο αυτό, παροχής 2x10m³/hr, αποτελείται από δύο αντλίες θετικής εκτόπισης. Για συνολική ημερήσια παροχή παχύμενης ιλύς 190 m³/hr σε πυκνότητα 6%, η διακίνηση της λάσπης γίνεται σε διάστημα 8 ωρών με μία αντλία ανά αντλιοστάσιο σε λειτουργία και 4 ωρών με δύο αντλίες σε λειτουργία.

Κάθε μία από τις δύο δεξαμενές πάχυνσης, έχει εφοδιασθεί με σύστημα ανίχνευσης στάθμης ιλύος. Ο κύκλος απαγωγής ιλύος, ξεκινά αυτόματα από μία δεξαμενή με την ενεργοποίηση της αντίστοιχης αντλίας, με τηλεχειρισμό. Η ιλύς συνεχίζει να αφαιρείται μέχρι η στάθμη να φθάσει στην ρυθμισμένη κατώτατη στάθμη. Τότε διακόπτεται η αφαίρεση ιλύος από την υπόψη δεξαμενή και ξεκινά η αφαίρεση από την δεύτερη δεξαμενή στη σειρά. Το χρονοπρόγραμμα είναι έτσι ρυθμισμένο ώστε η τροφοδοσία της δεξαμενής ομογενοποίησης από κάθε ένα

πυκνωτή πρωτοβάθμιας ιλύος, να είναι σε αναλογία με την τροφοδοσία παχυμένης βιολογικής ιλύος, κατά τρόπο ώστε η τροφοδοσία των χωνευτών να είναι ομοιόμορφη και από πλευράς ποιότητας εισερχόμενης ιλύ.

4.3.10 Πάχυνση δευτεροβάθμιας λάσπης

Η βιολογική ιλύς μεταφέρεται σε δεξαμενή λάσπης, δίπλα στο κτίριο μηχανικής πάχυνσης μέσω των αντλιών περίσσειας ιλύος του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας.

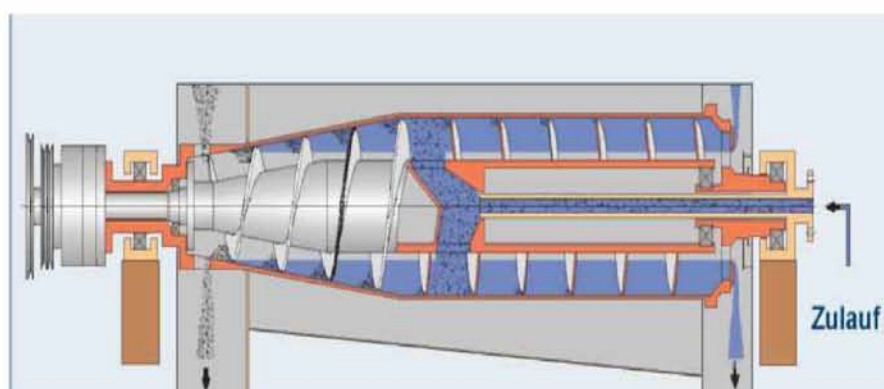
Η δεξαμενή, για την ομαλή λειτουργία του συστήματος πάχυνσης, έχει χωρητικότητα τουλάχιστον μιας (1) ώρας παροχής, δηλαδή 80m^3 . Με διάμετρο 5m και ωφέλιμο βάθος υγρών 4m, η δεξαμενή τροφοδοτεί με φυσική ροή δύο φυγόκεντρες πάχυνσης, τύπου Flottweg Z53-4/454, παροχής μέχρι $40\text{m}^3/\text{hr}$ η κάθε μία. Εκεί, η αραιή ιλύς παχύνεται σε περιεκτικότητα στερεών τουλάχιστον 4%.



Εικόνα 4.26: Μονάδα μηχανικής πάχυνσης ιλύος.

Η μονάδα μηχανικής πάχυνσης λειτουργεί σε ξεχωριστό κτίριο κοντά στα λοιπά συστήματα επεξεργασίας ιλύος και αποτελείται βασικά από:

- Την υπερυψωμένη δεξαμενή λάσπης, δίπλα από το κτίριο, ελάχιστης χωρητικότητας 80m^3 ύψος από το οποίο τροφοδοτούνται με βαρύτητα οι δύο φυγόκεντρες. Η δεξαμενή τροφοδοτείται από τις αντλίες περίσσειας βιολογικής λάσπης. Τα περιεχόμενα της δεξαμενής διατηρούνται σε αιώρηση με τη χρήση πτερυγωτού κατακόρυφου αναδευτήρα, με πτέρυγες σε διάφορα βάθη, ισχύος $1,5\text{KW}$ και με μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 300rpm .
- Οι δύο φυγόκεντρες, μέγιστης παροχής εισόδου μέχρι $40\text{m}^3/\text{ώρα}$ η κάθε μία, παχαίνουν την βιολογική λάσπη από ελάχιστη πυκνότητα $0,5\%$ μέχρι 4% , χωρίς τη χρήση πολυηλεκτρολύτη. Η ισχύς των φυγοκέντρων είναι της τάξεως των 30KW .



Εικόνα 4.27: Τομή μηχανικής πάχυνσης της εταιρίας Flottweg.

- Στην έξοδο των φυγοκέντρων, η παχυμένη βιολογική λάσπη συγκεντρώνεται σε μικρή δεξαμενή 40m^3 , απ' όπου αντλείται από τρεις αντλίες θετικής εκτόπισης, παροχής $10\text{m}^3/\text{ώρα}$ η κάθε μία, με μία εφεδρική στην αποθήκη, για την τροφοδότηση της δεξαμενής ομογενοποίησης. Για μέγιστη ημερήσια παροχή βιολογικής λάσπης 145m^3 , η διακίνηση της λάσπης γίνεται σε 5, 7 ή 14 ώρες ανάλογα με το πόσες αντλίες λειτουργούν.

- Οι μονάδες είναι αυτόνομες και αυτόματες, με διατάξεις πλύσεως με βιομηχανικό νερό ανακυκλοφορίας. Επίσης, το κτίριο είναι εφοδιασμένο με πλήρη εξοπλισμό καθώς και με χειροκίνητη γερανογέφυρα κινούμενη σε ράγες, κατάλληλου μεγέθους για την ευχερή ανύψωση και μετακίνηση του εξοπλισμού.

Τα στραγγίδια από την μηχανική πάχυνση (3.500 - 4.000m/ημέρα) συγκεντρώνονται σε φρεάτιο και από εκεί συνδέονται στο πλησιέστερο φρεάτιο του συστήματος αποχέτευσης στραγγιδίων που οδηγεί στην αρχή των έργων.

4.3.11 Δεξαμενή ομογενοποίησης

Η παχυμένη ιλύς από τους παχυντές της πρωτοβάθμιας ιλύος και την μηχανική πάχυνση (φυγόκεντρες) της βιολογικής ιλύος, αντλείται προς τη δεξαμενή ομογενοποίησης, ωφέλιμου όγκου 400 m³, με συνεχή ανάδευση από δύο αναδευτήρες έλικα ισχύος 3 KW, τοποθετημένους διαμετρικά πλευρικά της δεξαμενής.



Εικόνα 4.28: Ομογενοποιητής κατά την διάρκεια κατασκευής του.

Η ομογενοποιημένη ιλύς οδηγείται στους 4 χωνευτές με 4 αντλίες θετικής εκτόπισης διατεταγμένες ανά ζεύγη, όπου κάθε ζεύγος αντλιών αντιστοιχεί σε ζεύγος χωνευτών, υφιστάμενο και νέο.

4.3.12 Αναερόβια χώνευση της λάσπης

Οι 4 συνολικά χωνευτές (δύο υφιστάμενοι και δύο νέοι) καλύπτουν τις ανάγκες σταθεροποίησης της παραγόμενης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος που επιτυγχάνεται σε συνθήκες αναερόβιας μεσόφιλης χώνευσης πλήρους ανάμιξης.

Κάθε χωνευτής είναι σταθερής οροφής, κυκλικής διατομής, ωφέλιμου όγκου 1.600 m^3 , εσωτερικής διαμέτρου 15,7m. και μέσου βάθους υγρών 8m περίπου (Πίνακας 4.8).

Πίνακας 4.10: Χαρακτηριστικά χωνευτών

Ωφέλιμος όγκος	1.600m ³
Εσωτερική διάμετρος	15,7m
Μέσω βάθος υγρών	8m

Οι χωνευτές είναι αντιδραστήρες συνεχούς ροής με πλήρη ανάμειξη και εργάζονται σε περιοχή υψηλού φορτίου. Με την αναερόβια χώνευση σταθεροποιείται η λάσπη, δεν αποδίδει άσχημες οσμές, είναι αποθηκεύσιμη και μπορεί να αφυδατωθεί. Η σταθεροποίηση αυτή είναι αποτέλεσμα της μείωσης κατά 50% περίπου της οργανικής ύλης. Η αναερόβια χώνευση συντελείται στη μεσόφιλη περιοχή θερμοκρασιών (35°C) και παράγει αέριο που είναι μίγμα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και μεθανίου (CH_4). Το μίγμα αυτό ονομάζεται βιοαέριο και αποτελεί καύσιμο υψηλής ποιότητας.



Εικόνα 4.29: Διαδικασία εξωτερικής μόνωσης χωνευτή.

Το τυπικό αέριο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση αστικών λυμάτων έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά (σύνθεση % κατ' όγκο):

Μεθάνιο (CH_4)	63-68%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	30-34%
Υδρόθειο (H_2S)	0-0,2%
Αζωτο (N_2)	0-0,2%
Υδρογόνο (H_2)	0-0,2%
Αριθμός Μεθανίου	132
Μέσο ειδικό βάρος	1,16 Kg/μ^3
Κατωτέρα θερμογόνος δύναμη	6,5-7 KWH/μ^3

Η εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου το οποίο έχει υπολογισθεί στην αιχμή του σε τουλάχιστον $5.000\text{m}^3/\text{day}$ ή σε $32.500 \text{ KWH}/\text{day}$, Η συλλογή του βιοαερίου γίνεται στην κορυφή του χωνευτή σε θόλο. Η ανάδευση των χωνευτών, υφιστάμενων και νέων, γίνεται με τη βοήθεια του ίδιου του παραγόμενου αερίου μέσω ειδικού δακτυλίου διάχυσης και κατακόρυφων αγωγών.

Για την θέρμανση της ιλύος των χωνευτών, όπως αναφέρεται και στο επόμενο υποκεφάλαιο (Υποκεφάλαιο 4.10), χρησιμοποιείται βασικά η θερμική ισχύς των αεριομηχανών ΟΤΤΟ με πλήρη ανάκτηση της θερμότητας του νερού ψύξεως. Οι ανάγκες των χωνευτών καλύπτονται πλήρως από την ανακτώμενη θερμική ισχύ των μηχανών.

Σε περίπτωση αστοχίας-βλάβης κλπ., οι θερμικές ανάγκες καλύπτονται από τους λέβητες θερμού νερού διπλού καυσίμου (πετρελαίου-αερίου). Οι θερμικοί ελεγκτές του κυκλώματος θέρμανσης ανιχνεύουν την πτώση θερμοκρασίας και δίνουν εντολή για την εκκίνηση των καυστήρων των λεβήτων. Η πτώση θερμοκρασίας του νερού στο σύστημα θέρμανσης-μίξης είναι συνήθως επαρκής το χειμώνα ώστε να ψύχονται σωστά οι μηχανές βιοαερίου. Για την καλοκαιρινή όμως λειτουργία, επειδή η πτώση θερμοκρασίας του νερού δεν είναι επαρκής, κάθε μηχανή βιοαερίου είναι εφοδιασμένη με εναλλάκτη αέρα-νερού που διασφαλίζει την ψύξη.

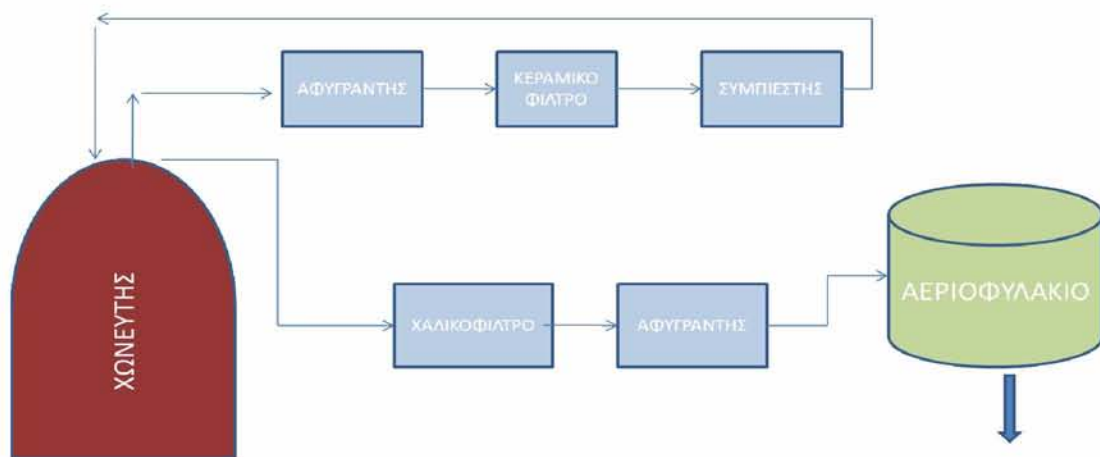
Η αύξηση των απωλειών στο αυξημένου μήκους κύκλωμα νερού αντιμετωπίζονται με την προσθήκη κυκλοφορητών ώστε να υπάρχει:

- επάρκεια παροχής νερού κυκλώματος θέρμανσης-ψύξης,
- επάρκεια ισχύος για αντιμετώπιση αυξημένου μανομετρικού λειτουργίας,
- επάρκεια εφεδρειών, με την ύπαρξη τουλάχιστον ενός κυκλοφορητού σε ενεργητική εφεδρεία

Η εξαγωγή χωνευμένης ιλύος από τους χωνευτές γίνεται από το κατώτερο σημείο του κωνικού πυθμένα μέσω χαλύβδινου αγωγού Φ150, που ανέρχεται κατακόρυφα σε εξωτερικό φρεάτιο, στο ύψος της στάθμης λειτουργίας του χωνευτή. Στο ίδιο φρεάτιο οδηγείται μέσω ειδικής διάταξης και η υπερχειλίση του χωνευτού, ώστε να εξασφαλίζεται η απαγωγή ιλύος σε περίπτωση έμφραξης του κυρίως αγωγού

εξαγωγής. Από αυτό το φρεάτιο εξόδου ξεκινά ο αγωγός Φ150 που θα οδηγεί την χωνευμένη λάσπη προς τον μεταπαχυντή.

Για τη συμπίεση του αερίου μίξης, υπάρχουν από 3 συμπιεστές βιοαερίου παροχής έκαστος $230 \text{ m}^3/\text{ώρα}$ σε 2bar (πάνω από την ατμοσφαιρική) και ισχύος 15KW για κάθε σύστημα.



Σχήμα 4.3: Διεργασία παραγόμενου βιοαερίου

Για κάθε χωνευτή διατίθεται αντλία υψηλής πίεσης παροχής $2 \text{ m}^3/\text{hr}$ στα 20 bar, για την απόφραξη των στομίων διοχέτευσης αερίου. Επίσης, διαθέτει πλήρες σύστημα αγωγών για την τροφοδότηση, υπερχειλίση, απαγωγή και ανακυκλοφορία λάσπης, και θόλο απαγωγής αερίου με φλογοπαγίδα και δικλείδα αντεπιστροφής.



Εικόνα 4.30: Ασφαλιστικές δικλίδες υπερπίεσης οροφής χωνευτή.

Στην συνέχεια και ύστερα από μέτρηση της σύνθεσης του βιοαερίου και της θερμογόνου ισχύς, έγινε ο σχεδιασμός των μηχανών βιοαερίου.

4.3.13 Μηχανές ΟΤΤΟ

Το βιοαέριο χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε δύο οχτακύλινδρες αεριομηχανές της εταιρίας GE Jenbacher που λειτουργούν σύμφωνα με τον κύκλο ΟΤΤΟ, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τις ηλεκτρικές ανάγκες των εγκαταστάσεων. Παράλληλα με την ηλεκτρική ενέργεια γίνεται και η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας για την θέρμανση κυρίως της ιλύος των χωνευτών και κατά δεύτερο λόγο της θέρμανσης των κτιρίων.

Πίνακας 4.11: Τυπικό ισοζύγιο μηχανής βιοαερίου

Ωφέλιμη μηχανική ισχύς	32%
Ωφέλιμη θερμική ισχύς	51%
Σύνολο ισχύος απωλειών	17% που αναλύονται σε 10% απώλειες καυσαερίων, 5% απώλειες ακτινοβολίας και 2% απώλειες ηλεκτρογεννήτριας

Η συνολική ισχύς υπολογίζεται σε τουλάχιστον 1.350 KW, ενώ η ηλεκτρική ισχύς σε περίπου $0,32 \times 1.350 \text{ KW} = 432 \text{ KW}$.

Η παραπάνω ισχύς αποδίδεται από 2 μηχανές ισχύος 300 KVA, που αντιστοιχεί σε περίπου 470 KW, υπολογιζόμενη για την καύση βιοαερίου.

Στην πράξη, η ονομαστική ισχύς των μηχανών δίνεται για την καύση φυσικού αερίου και είναι περίπου κατά 10% μεγαλύτερη. Αυτό σημαίνει ότι αν λειτουργούν και οι δύο μηχανές στο 100% της ισχύος, θα υπάρχει έλλειμμα βιοαερίου $30\text{m}^3/\text{day}$, οπότε η χωρητικότητα των αεριοφυλακίων επαρκεί για την λειτουργία και των 2 μηχανών για πάνω από 24 ώρες.



Εικόνα 4.31: Μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βιοαέριο.

Σύνηθες είναι να λειτουργούν οι μηχανές στο 80% της ισχύος, όπου η μία μηχανή λειτουργεί συνεχώς, ενώ η άλλη αδρανεί για το 25% περίπου του χρόνου για συντήρηση και επισκευές. Έτσι, κατά μέσο όρο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

$$(0,8 \times 235 + 0,75 \times 0,8 \times 235) \times 24 \times 365 = 2.882.000 \text{ KWh/year.}$$

Η δυνάμενη να παραχθεί θερμική ισχύς είναι $1350 \times 0,51 = 688,5 \text{ KW}$

Κατά τη διακοπή λειτουργίας για συντήρηση ή λόγω βλάβης, το θερμικό έλλειμμα θα καλύπτεται από λέβητες διπλού καυσίμου (αερίου και ντίζελ).

Για τις μηχανές σημειώνονται συμπληρωματικά τα εξής:

✚ Οι μηχανές είναι συζευγμένες σε σύστημα κινητήρα - γεννήτριας.

✚ Το βιοαέριο πρέπει να καθαρίζεται μηχανικά, έτσι ώστε η λειτουργία των μηχανών βιοαερίου να είναι εγγυημένη και ασφαλής. Για τους παραπάνω λόγους υπάρχει διάταξη μηχανικού καθαρισμού του βιοαερίου.

✚ Οι μηχανές έχουν την δυνατότητα χρήσεως φυσικού αερίου, το οποίο προβλέπεται να είναι σύντομα διαθέσιμο.

Οι δύο μηχανές βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας είναι εγκαταστημένες σε χωριστό κτίριο κατάλληλων διαστάσεων για την τοποθέτηση όλου του εξοπλισμού. Κάθε συγκρότημα αποτελείται από μία θερμική μηχανή εσωτερικής καύσης η οποία θα κινεί μία γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάθε μονάδα καύσης βιοαερίου περιλαμβάνει σύστημα ανάκτησης της θερμότητας από το νερό ψύξης, με ζεστό νερό για τη θέρμανση της λάσπης των χωνευτών και συμπληρωματικά για τη θέρμανση του κτιρίου διοίκησης. Η ωφέλιμη θερμική ενέργεια που ανακτάται είναι τουλάχιστον το 50% της παρεχόμενης ενέργειας καυσίμου της μηχανής.

Οι μηχανές βιοαερίου είναι θερμικές μηχανές τετράχρονες με αναφλεκτήρες, κατάλληλες για την καύση βιοαερίου ή φυσικού αερίου. Η μετάβαση από βιοαέριο σε φυσικό αέριο ή και αντίστροφα γίνεται χειροκίνητα. Η παροχή αερίου και αέρα ελέγχονται και ρυθμίζονται αυτόματα ώστε να επιτυγχάνεται απρόσκοπτη λειτουργία και να προσαρμόζεται η παραγωγή ενέργειας προς την εκάστοτε υφιστάμενη ζήτηση ενέργειας και διαθέσιμη ποσότητα βιοαερίου.

Οι κινητήρες λειτουργούν με υπερπλήρωση και διαθέτουν αυτόματο ρυθμιστή στροφών, εκκινητήρα 24 V, με μπαταρίες μολύβδου, σύστημα ηλεκτρονικής ανάφλεξης και σύστημα ηλεκτρικής προθέρμανσης.

Η λίπανση του κινητήρα γίνεται μέσω μηχανικής αντλίας, ρυθμιστή πίεσης και φίλτρου λιπαντικού, ενώ η προλίπανση με ηλεκτρική αντλία. Υπάρχουν σήματα κινδύνου και διατάξεις ασφαλείας, όπου απαιτείται, για την επισήμανση βλάβης ή κακής λειτουργίας κάθε στοιχείου της μηχανής, ενώ ακόμα υπάρχει και διάταξη αυτόματης διακοπής λειτουργίας, ώστε να προστατεύεται ο κινητήρας ή ο βοηθητικός εξοπλισμός από ζημιές ή κινδύνους. Η τροφοδοσία των μηχανών γίνεται μέσω γραμμής ασφαλείας με ρυθμιστή πίεσης, ρυθμιστή αερίου για έλεγχο λ, ώστε η

μηχανή να μπορεί να λειτουργεί σε φτωχά μίγματα, για τη μείωση της ρύπανσης, χωρίς να "χάνει" και εύκαμπτο σύνδεσμο.

Κάθε κινητήρας είναι εφοδιασμένος με σύστημα ψύξεως του λαδιού για να διατηρείται πάντοτε κάτω από 70°C. Το κύκλωμα του νερού ψύξεως των κινητήρων περιλαμβάνει βυθισμένους θερμοαντήρες για να διατηρείται κατάλληλη θερμοκρασία λειτουργίας. Το κύκλωμα ανάκτησης θερμότητας και ψύξης είναι εφοδιασμένο με όλο τον απαραίτητο βοηθητικό εξοπλισμό. Κάθε κινητήρας έχει δική του εξατμηση, που περιλαμβάνει σιγαστήρα, φυσητήρες διασποράς εξατμίσεως και όλες τις σχετικές σωληνώσεις μέχρι την οροφή του κτιρίου. Με βάση τα ισοζύγια θερμικής ενέργειας, δεν φαίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια.

Το βιοαέριο υφίσταται καθαρισμό έτσι ώστε η λειτουργία των μηχανών βιοαερίου να είναι εγγυημένη. Ο καθαρισμός είναι μηχανικός, για την απομάκρυνση στερεών σωματιδίων, υγρασίας και αφρών, ενώ εκτιμάται ότι απαιτείται αφαίρεση H_2S .

Το σύστημα καθαρισμού αποτελείται από δύο εν σειρά φίλτρα για αφαίρεση των αφρών, υγρασίας και σωματιδίων. Μετά από τον καθαρισμό, το βιοαέριο θα ωθείται μέσω συμπιεστών (boosters) υπό πίεση τουλάχιστον 50 mbar προς τις μηχανές.



Εικόνα 4.32: Καθαρισμός του βιοαερίου από H_2S πριν την είσοδο στις μηχανές βιοαερίου.

Τέλος για κάθε συγκρότημα υπάρχει τοπικός πίνακας ελέγχου με όλα τα όργανα και συσκευές χειρισμού. Σε κάθε πίνακα υπάρχουν, εκτός των άλλων, μετρητές πίεσης λαδιού, θερμοκρασίας νερού ψύξης και καυσαερίων, για κάθε κύλινδρο και για τις μονάδες υπερπλήρωσης, θερμοκρασία νερού θέρμανσης και πίεσης νερού ψύξης. Ακόμη, υπάρχουν κλειδί εκκινητήρα, συναγερμός και ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας.



Εικόνα 4.33:Εναλλάκτης θερμότητας λάσπης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χωνευτή.

Για την αποθήκευση της χωνεμένης ιλύος υπάρχουν δύο δεξαμενές ωφέλιμου όγκου 400 m^3 η κάθε μία.

Το υφιστάμενο ζεύγος χωνευτών διοχετεύει το συλλεγόμενο βιοαέριο προς αεριοφυλάκιο ωφέλιμου όγκου 300 m^3 ενώ το νέο ζεύγος σε νέο αεριοφυλάκιο ωφέλιμου όγκου 500 m^3 . Τα αεριοφυλάκια είναι υγρού τύπου.

4.3.14 Αεροφυλάκια



Εικόνα 4.34: Αεροφυλάκιο βιοαερίου κατά την διάρκεια της τοποθέτησής του.

Τα αεροφυλάκια συνδέονται με δύο πυρσούς καύσης παροχής $150 \text{ m}^3/\text{ώρα}$ με αυτόματη ανάφλεξη για την καύση του βιοαερίου σε περίπτωση, που για κάποιο λόγο δεν λειτουργήσουν οι μηχανές βιοαερίου. Είναι κατά κάποιο τρόπο η τελευταία δικλίδα ασφαλείας καύσης του βιοαερίου πριν το άνοιγμα των ασφαλιστικών βαλβίδων του αεροφυλακίου σε περίπτωση υπερφόρτισης του δικτύου.

4.3.15 Διαχείριση αφυδατωμένης λάσπης

Στο κτίριο αφυδάτωσης υπάρχουν εγκατεστημένες (υφιστάμενη μονάδα) δύο φιλτρώπρεσσες τύπου PRESSDEG/DEGREMONT, πλάτους 3,0 m, μεγίστης ικανότητας η κάθε μία $20 \text{ m}^3/\text{ώρα}$, με αντλίες τροφοδοσίας ρυθμιζόμενης παροχής και συγκρότημα πολυηλεκτρολύτη. Για την επέκταση του συστήματος αφυδάτωσης έχει εγκατασταθεί οριζόντιος φυγοκεντρικός διαχωριστής, τύπου Flottweg/Z4E-4/454, παροχής $20 \text{ m}^3/\text{ώρα}$ και συγκρότημα πολυηλεκτρολύτη.

Η αφυδατωμένη ιλύς μεταφέρεται στην έξοδο του κτιρίου σε σειρά δοχείων αποθήκευσης που συλλέγονται από ειδικό όχημα προς αποκομιδή. Όλη η εγκατάσταση έχει κλεισθεί και στο κτίριο αφυδάτωσης έχει εγκατασταθεί πλήρες σύστημα εξαερισμού και απόσμησης.

4.3.16 Σύστημα εξαερισμού - απόσμησης

Εντός του κτιρίου αφυδάτωσης και του κλειστού χώρου αποθήκης, υπάρχει πλήρες σύστημα εξαερισμού και απόσμησης αποτελούμενο από απαγωγούς αέρα, υπεράνω κάθε συγκροτήματος πρέσσας, αεραγωγούς και φυγοκεντρικό ανεμιστήρα επαρκούς δυναμικότητας έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τουλάχιστον 5 εναλλαγές αέρα ανά ώρα ή περίπου 6.000 m^3 αέρα/hr. Ο αέρας διέρχεται από σύστημα απόσμησης αποτελούμενο από οριζόντια ή κατακόρυφη αλκαλική πλυντρίδα δύο σταδίων με ψεκασμό NaOH.



Εικόνα 4.35: Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.

Τέλος, για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας και τον καλύτερο λειτουργικό έλεγχο έχει εγκατασταθεί ικανός αριθμός on-line οργάνων καθώς και σύστημα αποτελούμενο από κεντρικά προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή και τοπικούς. Το σύστημα είναι δομημένο κατά τρόπο που να επικοινωνεί με σύστημα εποπτικού ελέγχου και τηλεχειρισμού μέσω υπολογιστή (SCADA).

Κεφάλαιο 5

Κεφάλαιο 5 – Τεχνικά στοιχεία της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη της Λάρισας (Βιολογικός Καθαρισμός ΔΕΥΑΛ)

5.1 Υπολογισμός περίσσειας θερμικής ενέργειας και ισχύος στην ΕΕΛ Λάρισας

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (Πίνακας 4.1) τα λύματα που εισέρχονται στην ΕΕΛ προς επεξεργασία υπολογίζονται ως εξής:

Πίνακας 5.1: Στοιχεία των Αστικών Λυμάτων και των Βοθρολύματων

ΦΟΡΤΙΑ		
Αστικά λύματα		
Ισοδύναμοι κάτοικοι	210.000	IK
Παροχή ανά κάτοικο	200	l/IK
Παραγωγή BOD5	65	g/IK
Παραγωγή SS	70	g/IK
Βοθρολύματα		
Ημερήσια παροχή	300	m ³
Συγκέντρωση BOD5	2	Kg/m ³
Συγκέντρωση SS	5	Kg/m ³

Οπότε έχουμε:

- Ημερήσια παροχή αστικών λυμάτων = Ισοδύναμοι κάτοικοι *παροχή ανά κάτοικο = $210.000 \cdot 200 / 1.000 = 42.000 \text{m}^3$
- Ποσότητα BOD5 = Ισοδύναμοι κάτοικοι *Παραγωγή BOD5= $=210.000 \cdot 65 / 1.000 = 13.650 \text{kg}$
- Ποσότητα SS = Ισοδύναμοι κάτοικοι * Παραγωγή SS $=210.000 \cdot 70 / 1.000 = 14.700 \text{kg}$

Οπότε καταλήγουμε στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας του φορτίου των λυμάτων προς επεξεργασία στην ΕΕΛ Λάρισας.

Αστικά λύματα		
Ημερήσια παροχή λυμάτων	42.000	m ³
Ποσότητα BOD5	13.650	Kg
Ποσότητα SS	14.700	Kg
Βοθρολύματα		
Ημερήσια παροχή βοθρολυμάτων	300	m ³
Ποσότητα BOD5	600	Kg
Ποσότητα SS	1.500	Kg
ΣΥΝΟΛΑ		
Ημερήσια παροχή προς επεξεργασία	42.300	m ³
Ποσότητα BOD5	14.250	Kg
Ποσότητα SS	16.200	Kg

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός του φορτίου της παραγόμενης ιλύος.

Πίνακας 5.3: Παραγόμενη ιλύς.

ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗ ΙΛΥΣ		
Διαδικασία Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ)		
Απομάκρυνση SS στις ΔΠΚ	60%	
Απομάκρυνση BOD στις ΔΠΚ	35%	
Συγκέντρωση στερεών στην ιλύ	6,5	Kg/m ³

- Παροχή ιλύος από ΔΠΚ προς Παχυντή = Συνολική ποσότητα SS * Απομάκρυνση SS στις ΔΠΚ / Συγκέντρωση στερεών στην ιλύ =
 $= 16.200 * 0,60 / 6,5 = 1.495,38 \text{ m}^3$
- Περιεχόμενη ποσότητα στερεών = Συνολική ποσότητα SS * Απομάκρυνση SS στις ΔΠΚ = $16.200 * 0,60 = 9.720 \text{ kg}$

Οπότε προκύπτει ο πίνακας που ακολουθεί:

Πίνακας 5.4: Παροχή ιλύος προς παχυντή και περιεχόμενη ποσότητα στερεών

ΔΠΚ		
Παροχή ιλύος από ΔΠΚ προς ΠΑΧ	1.495,38	m ³
Περιεχόμενη ποσότητα στερεών	9.720	Kg

Επιπλέον έχω:

Πίνακας 5.5: Πάχυνση ιλύος από ΔΠΚ

ΠΑΧΥΝΣΗ ιλύος από ΔΠΚ		
Συγκέντρωση παχυμένης ιλύος	55	Kg/m ³
Απόδοση παχυντή	100%	
Λόγος VSS/SS	0,73	

Οπότε υπολογίζω:

- Παροχή παχύμενης ιλύος = Περιεχόμενη ποσότητα στερεών / Συγκέντρωση παχύμενης ιλύος = $9.720/55 = 176,73\text{m}^3$
- Ποσότητα περιεχόμενων στερεών = Περιεχόμενη ποσότητα στερεών
*Απόδοση παχυντή = $9.720 * 1 = 9.720\text{kg}$
- Ποσότητα VSS = Ποσότητα περιεχόμενων στερεών* Λόγος VSS/SS = $=7.567,05*0,73=7.095,60\text{kg}$

Οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν:

Πίνακας 5.6: Πάχυνση ιλύος από ΔΠΚ (Αποτελέσματα υπολογισμών)

ΠΑΧΥΝΣΗ ιλύος από ΔΠΚ		
Παροχή παχυμένης ιλύος	176,73	m ³
Ποσότητα περιεχόμενων στερεών	9.720,00	Kg
Ποσότητα VSS	7.095,60	Kg

Όσον αφορά την βιολογική ιλύς έχω:

Πίνακας 5.7: Πάχυνση βιολογικής ιλύος

ΠΑΧΥΝΣΗ βιολογικής ιλύος		
Συγκέντρωση παχυμένης ιλύος	30	Kg/m ³
Απόδοση παχυντή	100%	
Λόγος VSS/SS	0,685	

Ομοίως με τον προηγούμενο υπολογισμό έχω:

- Παροχή παχύμενης ιλύος = Περιεχόμενη ποσότητα στερεών / Συγκέντρωση παχυμένης ιλύος = 252,24 m³
- Ποσότητα περιεχόμενων στερεών = Παροχή παχύμενης ιλύος*Συγκέντρωση παχυμένης ιλύος * Απόδοση παχυντή = 252,24 * 30*0,685 = **7.567,05kg**
- Ποσότητα VSS = Ποσότητα περιεχόμενων στερεών* Λόγος VSS/SS = 7.567,05*0,73=**5.183,43kg**

Οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν:

Πίνακας 5.8: Πάχυνση βιολογικής ιλύος (Αποτελέσματα υπολογισμών)

ΠΑΧΥΝΣΗ βιολογικής ιλύος		
Παροχή παχυμένης ιλύος	252,24	m ³
Ποσότητα περιεχόμενων στερεών	7.567,05	Kg
Ποσότητα VSS	5.183,43	Kg

Στο σημείο αυτό γίνονται υπολογισμοί για την ιλύ που οδηγείται προς χώνευση:

- Συνολική παροχή ιλύος = Παροχή παχυμένης ιλύος από ΔΠΚ + Παροχή παχυμένης βιολογικής ιλύος = $176,73 + 252,24 = 428,96 \text{ m}^3$
- Ποσότητα περιεχόμενων στερεών SS = Ποσότητα περιεχόμενων στερεών ιλύος από ΔΠΚ + Ποσότητα περιεχόμενων στερεών βιολογικής ιλύος = $9.720 + 7.567,05 = 17.287,05 \text{ kg}$
- Ποσότητα πτητικών στερεών VSS = Ποσότητα VSS ιλύος από ΔΠΚ + Ποσότητα VSS βιολογικής ιλύος = $7.095,60 + 5.183,43 = 12.279,03 \text{ kg}$

Πίνακας 5.9: Οδηγούμενη ιλύς προς χώνευση (Αποτελέσματα υπολογισμών)

Συνολική ποσότητα ιλύος		
Συνολική παροχή ιλύος	428,96	m ³
Ποσότητα περιεχόμενων στερεών SS	17.287,05	Kg
Ποσότητα πτητικών στερεών VSS	12.279,03	Kg
Ποσότητα για τους ΔΥΟ χωνευτές		
Συνολική παροχή ιλύος	214,48	m ³
Ποσότητα περιεχόμενων στερεών SS	8.643,53	Kg
Ποσότητα πτητικών στερεών VSS	6.139,51	Kg

Στην συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός παραγωγής βιοαερίου .

Σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί γνωρίζουμε ότι:

Πίνακας 5.10: Παραγωγή ανά kg εισερχόμενου VSS και θερμιδική αξία βιοαερίου.

Παραγωγή ανά Kg εισερχ VSS	0,467	m ³ /Kg
Θερμιδική αξία βιοαερίου	22.897	KJ/Nm ³

- Ημερήσια παραγωγή βιοαερίου = Ποσότητα πτητικών στερεών * Παραγωγή ανά kg χεισερχόμενου VSS = $6.139,51 * 0,467 = 2.867,15 \text{ m}^3$
- Μέση ωριαία παραγωγή βιοαερίου = Ημερήσια παραγωγή βιοαερίου / 24h = $2.867,15 / 24 = 119,46 \text{ m}^3/\text{h}$
- Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια = Ημερήσια παραγωγή βιοαερίου * Θερμιδική αξία βιοαερίου = $2.867,15 * 22.897 = 65.649.208,8 \text{ KJ}$
- Μέση παραγόμενη ισχύς = Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια / (24*3600) = $65.649.208,8 / (24*3600) = 759,83 \text{ KW}$

Πίνακας 5.11: Παραγωγή βιοαερίου.

Παραγωγή βιοαερίου		
Ημερήσια παραγωγή βιοαερίου	2.867,15	m^3
Μέση ωριαία παραγωγή βιοαερίου	119,46	m^3/h
Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια	65.649.209,8	KJ
Μέση παραγόμενη ισχύς	759,83	KW

Όσον αφορά τις μηχανές JENBACHER (OTTO) γνωρίζουμε τα εξής:

Πίνακας 5.12: Μηχανή JENBACHER.

Μηχανή JENBACHER	
Βαθμός απόδοσης θερμικής ενέργειας	0,49
Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας	0,37

Οπότε για τις μηχανές υπολογίζουμε:

- Ανακτώμενη θερμική ενέργεια = Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια * Βαθμός απόδοσης θερμικής ενέργειας = $65.649.209,8 * 0,49 = 32.168.112,8 \text{ KJ}$

- Μέση ανακτώμενη θερμική ισχύς = Ανακτώμενη θερμική ενέργεια / (24 * 3600) = 32.168.112,8 / (24*3600) = **372,3 KW**
- Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια = Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια * Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας = 65.649.209,8 * 0,37 = **24.290.207,6 KJ**
- Μέση παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς = Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια / (24*3600) = 24.290.207,6 / (24*3600) = **281,1 KW**

Πίνακας 5.13: Μηχανή JENBACHER. (Αποτελέσματα)

Μηχανή JENBACHER		
Ανακτώμενη θερμική ενέργεια	32.168.112,8	KJ
Μέση ανακτώμενη θερμική ισχύς	372,3	KW
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	24.290.207,6	KJ
Μέση παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς	281,1	KW

Όσον αφορά τον χωνευτή έχουμε:

Πίνακας 5.14: Χαρακτηριστικά των επιφανειών του χωνευτή

Χαρακτηριστικά των επιφανειών του χωνευτή		
Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος	-5	°C
Θερμοκρασία εδάφους	9	°C
Θερμοκρασία περιεχόμενης ύλης	35	°C
Πλευρική επιφάνεια χωνευτή	322	m ²
Αντίστοιχος συντελεστής θερμοπερατότητας	0,7270	W/(m ² .K)
Επιφάνεια εντός εδάφους	461	m ²
Αντίστοιχος συντελεστής θερμοπερατότητας	0,3933	W/(m ² .K)
Επιφάνεια οροφής	461	m ²
Αντίστοιχος συντελεστής θερμοπερατότητας	0,8250	W/(m ² .K)

Με βάση τα χαρακτηριστικά των επιφανειών των χωνευτών θα γίνει ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας κάθε χωνευτή:

- Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια (προς περιβάλλον) = Αντίστοιχος συντελεστής θερμοπερατότητας * Πλευρική επιφάνεια χωνευτή * (Θερμοκρασία περιεχόμενης ιλύος - Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος)/1000 = $0,7270 * 322 * (35 + 5) / 1000 = \mathbf{9,36 \text{ KW}}$
- Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια (προς έδαφος) = Αντίστοιχος συντελεστής θερμοπερατότητας * Επιφάνεια εντός εδάφους * (Θερμοκρασία περιεχόμενης ιλύος – Θερμοκρασία εδάφους)/1000 = $0,3933 * 461 * (35 - 9) / 1.000 = \mathbf{4,71 \text{ KW}}$
- Απώλειες από την επιφάνεια οροφής = Αντίστοιχος συντελεστής θερμοπερατότητας * Επιφάνεια οροφής * (Θερμοκρασία περιεχόμενης ιλύος – Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος)/1000 = $0,8250 * 461 * (35 + 5) / 1.000 = \mathbf{15,21 \text{ KW}}$
- Οπότε το σύνολο απωλειών θερμότητας = Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια (προς περιβάλλον) + Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια (προς έδαφος) + Απώλειες από την επιφάνεια οροφής = $9,36 + 4,71 + 15,21 = \mathbf{29,29 \text{ KW}}$
- Άρα η αναγκαία ενέργεια για την αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών του ενός χωνευτή ανά ημέρα = σύνολο απωλειών θερμότητας * 3.600 * 24 = $29,29 * 3600 * 24 = \mathbf{2.530.593,7 \text{ KJ}}$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 5.15: Χαρακτηριστικά των επιφανειών του χωνευτή (Αποτελέσματα)

Απώλειες θερμότητας κάθε χωνευτή		
Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια (προς περιβάλλον)	9,36	KW
Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια (προς έδαφος)	4,71	KW
Απώλειες από την πλευρική επιφάνεια οροφής	15,21	KW
ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	29,29	KW
Αναγκαία ενέργεια για την αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών του ενός χωνευτή ανά ημέρα	2.530.593,7	KJ

Επίσης για την εισερχόμενη ιλύς γνωρίζουμε:

Πίνακας 5.16: Χαρακτηριστικά εισερχόμενης ιλύος

Χαρακτηριστικά εισερχόμενης ιλύος		
Θερμοκρασία εισερχόμενης ιλύος	12	°C
Ειδική θερμοχωρητικότητα ιλύος	4,176	KJ/(Kg.K)
Πυκνότητα ιλύος	1.000	Kg/m ³

Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά υπολογίζουμε την ενέργεια για θέρμανση της προς χώνευση ιλύος:

- Ενέργεια για θέρμανση της ιλύος = Ειδική θερμοχωρητικότητα ιλύος * Συνολική παροχή ιλύος * Πυκνότητα ιλύος * (θερμοκρασία περιεχόμενης ιλύος – θερμοκρασία εισερχόμενης ιλύος) =

$$= 4,176 * 214,48 * 1.000 * (35 - 12) = \mathbf{20.600.484,2 \text{ KJ}}$$

Και θεωρώντας ότι το ποσοστό των απωλειών επί της ανακτώμενης θερμικής ενέργειας ~ **11,80%** τότε οι διάφορες απώλειες θερμότητας υπολογίζονται:

- Διάφορες απώλειες θερμότητας = Ανακτώμενη θερμική ενέργεια της μηχανής * το ποσοστό των απωλειών επί της ανακτώμενης θερμικής ενέργειας = $32.168.112,8 * 0,1180 = \mathbf{3.795.837,3 \text{ KJ}}$

Ισοζύγιο ενέργειας:

Ανακτώμενη θερμική ενέργεια από την μηχανή JENBACHER = **32.168.112,8 KJ**

Ενέργεια για θέρμανση της ιλύος = **20.600.484,2 KJ**

Συνολικές απώλειες για δύο χωνευτές = 2* Αναγκαία ενέργεια για την αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών + Διάφορες απώλειες θερμότητας =
 $= 2 * 2.530.593,7 + 3.795.837,3 = \mathbf{8.857.024,8 \text{ KJ}}$

Τέλος υπολογίζουμε την περίσσεια θερμικής ενέργειας και την μέση περίσσεια ισχύ:

- Περίσσεια θερμικής ενέργειας = Ανακτώμενη θερμική ενέργεια από την μηχανή JENBACHER - Ενέργεια για θέρμανση ιλύος - Συνολικές απώλειες για δύο χωνευτές = $32.168.112,8 - 20.600.484,2 - 8.857.024,8 = \mathbf{2.710.603,9 \text{ KJ}}$
- Μέση περίσσεια ισχύς = Περίσσεια θερμικής ενέργειας / $(24 * 3.600) = \mathbf{31,4 \text{ KW}}$

Κεφάλαιο 6

Κεφάλαιο 6– Θερμοδυναμική ανάλυση του συστήματος συμπαγωγής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη της Λάρισας (Βιολογικός Καθαρισμός ΔΕΥΑΛ)

6.1 Περιγραφή του συστήματος συμπαγωγής

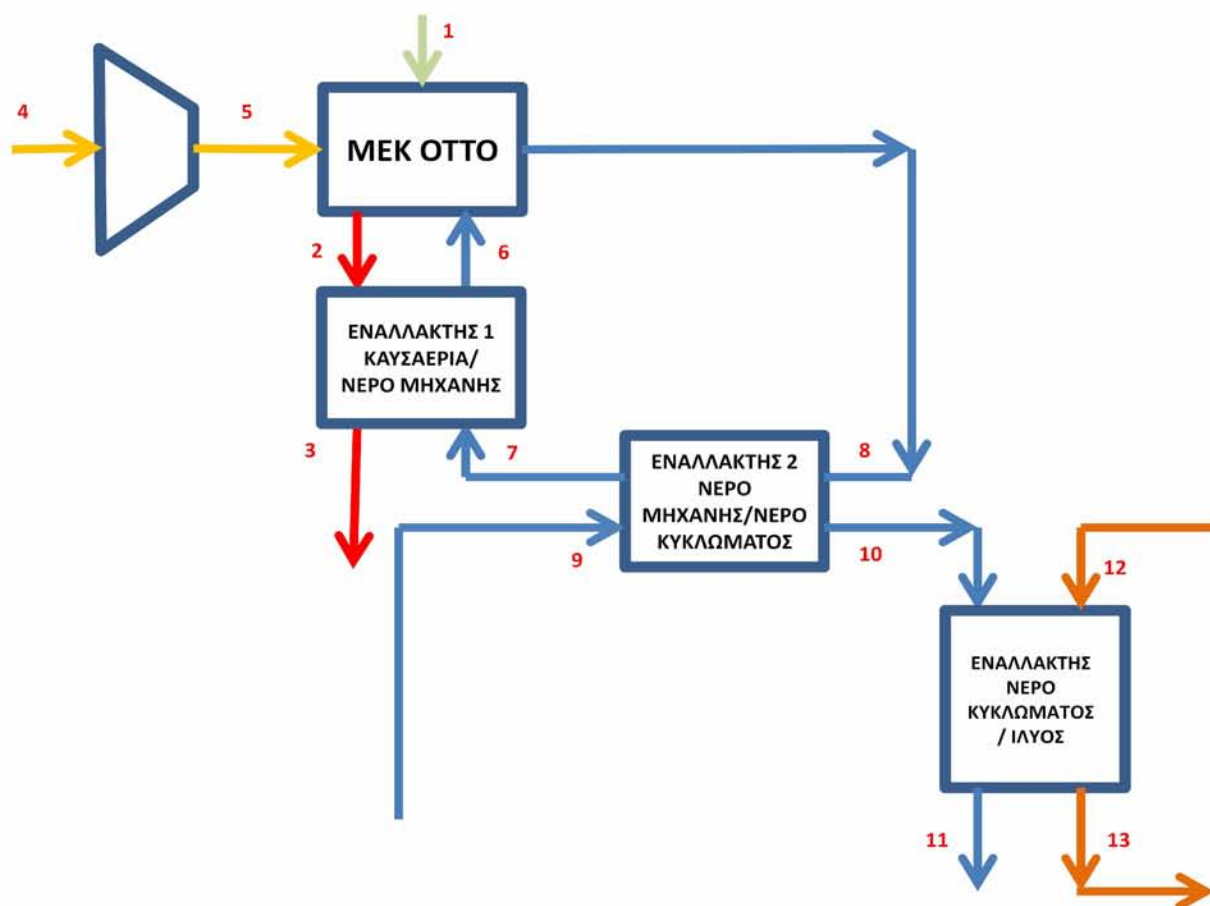
Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 4, το βιοαέριο που παράγεται από την Αναερόβια Χώνευση, χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε δύο οχτακύλινδρες αεριομηχανές της εταιρίας GE Jenbacher που λειτουργούν σύμφωνα με τον κύκλο ΟΤΤΟ, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών των εγκαταστάσεων της ΔΕΥΑΛ. Παράλληλα με την ηλεκτρική ενέργεια γίνεται και η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας για την θέρμανση κυρίως της ιλύος των χωνευτών και κατά δεύτερο λόγο της θέρμανσης των κτιρίων της ΔΕΥΑΛ.

Το σύστημα έχει απλοποιηθεί για μεγαλύτερη ευκολία και απαρτίζεται από τα επιμέρους :

- a) Έναν συμπιεστή, που συμπιέζει το παραγόμενο βιοαέριο προτού εισέλθει στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (ΟΤΤΟ).
- b) Την Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (ΟΤΤΟ), όπου γίνεται η καύση του εισαχθέντος μίγματος βιοαερίου - αέρα .
- c) Έναν εναλλάκτη [1] καυσαερίων/νερού μηχανής. Τα καυσαέρια προέρχονται από την ΜΕΚ ΟΤΤΟ ύστερα από την καύση και το νερό μηχανής είναι το μέσο ψύξης της μηχανής.

- d) Έναν εναλλάκτη[2] νερού μηχανής/νερού κυκλώματος. Μέσω του εναλλάκτη αυτού το νερό της μηχανής μεταφέρει θερμότητα στο νερό του κυκλώματος με αποτέλεσμα να το θερμαίνει.
- e) Και τέλος έναν εναλλάκτη[3] νερού κυκλώματος/ιλύος. Μέσω του εναλλάκτη αυτού το νερό του κυκλώματος, που έχει ήδη θερμανθεί από τον εναλλάκτη [2], μεταφέρει θερμότητα στην ανακυκλοφορούμενη ιλύ του χωνευτή για την θέρμανσή της.

Το θερμοδυναμικό μοντέλο του συστήματος συμπαραγωγής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6.1):



Σχήμα 6.1: Διεργασία παραγόμενου βιοαερίου

Οι βασικές υποθέσεις του μοντέλου του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

- Το σύστημα συμπαραγωγής λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση.
- Ο αέρας και τα προϊόντα της καύσης θεωρούνται μίγματα ιδανικών αερίων.
- Το καύσιμο (βιοαέριο) αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, θεωρείται ως ιδανικό αέριο. Το καύσιμο, που προέρχεται από μια πηγή υψηλής πίεσης εισέρχεται στο θάλαμο καύσης, αφού προηγουμένως εισέλθει από τον συμπιεστή.
- Η καύση στο θάλαμο καύσης είναι πλήρης και το N_2 είναι αδρανές.
- Όλα τα άλλα τμήματα του συστήματος λειτουργούν χωρίς απώλεια θερμότητας.

Στο παρόν σύστημα συμπαραγωγής οι μεταβλητές που ορίζω είναι:

- i) ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή η_{sc} .
- ii) η θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη[2] $T_8 = T_6$ θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη[1].
- iii) Ογκομετρική παροχή βιοαερίου V_4 .
- iv) Απώλειες Μηχανής Εσωτερικής Καύσης 5%.
- v) Βαθμός Απόδοσης Εναλλάκτη[2] $\eta_{εναλ/κτη2}$.

Οι ονομαστικές τιμές των μεταβλητών αυτών είναι:

- $\eta_{sc}=80\%$
- $T_8=T_6=361,15K$
- $V_4=V_5=119m^3/h$.
- $\eta_{εναλ/κτη2}=62,5\%$

Στο μοντέλο αυτό, υπάρχουν τα παρακάτω δεδομένα:

- Προϊόντα συστήματος: Η μέση παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι 374KW.
- Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (MEK) ΟΤΤΟ - εισερχόμενος αέρας: $V_1=2400 \text{ m}^3/\text{h}$, $T_1=298\text{K}$ και $P_1=1,013\text{bar}$. Γραμμομοριακή ανάλυση του αέρα (%): 78,49N₂, 20,86 O₂, 0,03 CO₂, 1,92 H₂O (g).
- Συμπιεστής – εισερχόμενο βιοαέριο: $T_4=298\text{K}$, $P_4=1,033\text{bars}$ (2mbar επάνω από την ατμοσφαιρική). Γραμμομοριακή ανάλυση του βιοαερίου (%): 0,20N₂, 32,64 CO₂, 0,20 H₂, 68,95CH₄ (g).
- Πίεση βιοαερίου μετά τον συμπιεστή: $P_5=1,093\text{bar}$ (8mbareπάνω από την ατμοσφαιρική).
- Εναλλάκτες [1], [2]: Η πτώση πίεσης των εναλλακτών [1] και [2] είναι: $\Delta P=0,2\text{bar}$.
- Εναλλάκτης [1]: $T_6=361,15\text{K}$, $P_6=P_7-0,2\text{bar}= 4.1\text{bar}$ και $P_7=4,3 \text{ bar}$.
- Εναλλάκτης [2]: $P_8=P_7+0,2= 4,5\text{bar}$.
- Καυσαέρια στην έξοδο της Μηχανή Εσωτερικής Καύσης: $T_2=744,15\text{K}$ και $P_2=16,2\text{bar}$.

Οι μεταβλητές που προκύπτουν από την μοντελοποίηση του συστήματος, έπειτα από υπολογισμούς. Περιλαμβάνουν την παροχή μάζας του αέρα και του βιοαερίου (σε mol/sec) και τα προϊόντα της καύσης όπως επίσης και τα ακόλουθα:

- Συμπιεστής: h_4, s_4 & T_5, h_5, s_5
- Εναλλάκτης [1]: h_2, s_2 & h_3, s_3 & h_6, s_6 & h_7, s_7
- Εναλλάκτης [2]: h_8, s_8 & h_9, s_9 & h_{10}, s_{10}
- Εναλλάκτης [3]: h_{11}, s_{11} & h_{12}, s_{12} & h_{13}, s_{13}
- MEK ΟΤΤΟ: h_1, s_1 & h_2, s_2 , σύσταση καυσαερίων

6.2 Θερμοδυναμική ανάλυση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής της ΔΕΥΑΛ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η εύρεση όλων των ιδιοτήτων (θερμοκρασία T , πίεση P , ενθαλπία h , εντροπία s) σε όλες τις θέσεις του συστήματος συμπαραγωγής.

Θέση 1:Είσοδος αέρα στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης ΟΤΤΟ

Γνωρίζοντας τις T_1 , P_1 μπορούμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία \overline{h}_1 . Έτσι από τις σχέσεις:

$$\overline{h}^0 = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\overline{h}_1 = x_{N_2} * \overline{h}_{N_2}^0 + x_{O_2} * \overline{h}_{O_2}^0 + x_{CO_2} * \overline{h}_{CO_2}^0 + x_{H_2O} * \overline{h}_{H_2O}^0$$

βρίσκουμε την \overline{h}_1 . Έπειτα υπολογίζουμε την εντροπία \overline{s}_1 από τις σχέσεις:

$$\overline{s}^0 = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

$$\overline{s}_1 = x_{N_2} * \overline{s}_{N_2}^0 + x_{O_2} * \overline{s}_{O_2}^0 + x_{CO_2} * \overline{s}_{CO_2}^0 + x_{H_2O} * \overline{s}_{H_2O}^0$$

Επιπλέον γνωρίζοντας την ογκομετρική παροχή αέρα \dot{V}_1 στον θάλαμο καύσης και υπολογίζοντας την πυκνότητα του αέρα (P_1 , T_1) από την σχέση:

$$\bar{\rho}_1 = \frac{P_1}{RT_1}$$

υπολογίζουμε την παροχή μάζας αέρα (σε mol/sec):

$$\dot{n}_{αέρα} = \bar{\rho}_1 \dot{V}_1$$

Θέση 4:Είσοδος βιοαερίου στο Συμπιεστή

Ομοίως με την θέση 1 και γνωρίζοντας τις T4, P4 μπορούμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία \bar{h}_4 . Έτσι από τις σχέσεις:

$$\bar{h}^0 = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\bar{h}_4 = x_{N_2} * \bar{h}_{N_2}^o + x_{O_2} * \bar{h}_{O_2}^o + x_{CO_2} * \bar{h}_{CO_2}^o + x_{H_2O} * \bar{h}_{H_2O}^o$$

Επιπλέον με βάση το κεφάλαιο 5 αποφασίσαμε μία μέση τιμή της ογκομετρικής παροχής βιοαερίου. Με βάση τις σχέσεις για την πυκνότητα

$$\bar{\rho}_4 = \frac{P_4}{RT_4}$$

και την παροχή μάζας $\dot{m}_{αέρας} = \bar{\rho}_4 \dot{V}_1$

υπολογίζουμε την παροχή μάζας βιοαερίου σε (mol/sec).

Για την εύρεση της θερμοκρασίας T5s χρησιμοποιούμε την επαναληπτική μέθοδο Newton - Raphson. Επιπλέον από τις $s_5s=s_4$ και $\frac{P_{5s}}{P_4} = 1,058$ γίνεται ο υπολογισμός της T5s.

Περιγραφή της μεθόδου Newton-Raphson.

Έστω $T_{N+1}=T_N-f(T_N)/f'(T_N)$, όπου

$$f(T_N)s=\Sigma S^+x_k-S_4-R\ln(P_{5s}/P_o)+\Sigma a_kx_k\ln T+\Sigma b_k10^{-3}T-\Sigma c_k10^6T^{-2}/2+\Sigma dk10^{-6}T^2/2$$

$$\text{και } f'(T_N)=\Sigma a_kx_k/T+\Sigma b_k10^{-3}+\Sigma c_k10^6T^{-3}+\Sigma dk10^{-6}T$$

από όπου και γίνεται ο υπολογισμός της T5s.

Τέλος η εύρεση της \bar{h}_{5s} γίνεται από τις σχέσεις:

$$\bar{h}^0 = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\bar{h}_{5s} = x_{N_2} * \bar{h}_{N_2}^o + x_{O_2} * \bar{h}_{O_2}^o + x_{CO_2} * \bar{h}_{CO_2}^o + x_{H_2O} * \bar{h}_{H_2O}^o$$

Θέση 5: Έξοδος βιοαερίου από το Συμπιεστή – είσοδος MEK OTTO

Από τον βαθμό απόδοσης του συμπιεστή

$$n_{sc} = \frac{\overline{h_{5s}} - \overline{h_4}}{\overline{h_5} - \overline{h_4}}$$

μπορούμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία $\overline{h_5}$.

Σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στη θέση 4, χρησιμοποιούμε την επαναληπτική μέθοδο (Newton-Raphson) για τον υπολογισμό της T5.

$$\text{Έστω } T_{N+1} = T_N - f(T_N) / f'(T_N)$$

$$f(T_N) = \Sigma H_k^+ x_k 10^3 - h_5 + \Sigma a_k x_k T + (\Sigma b_k 10^{-3} T^2) / 2 - \Sigma c_k 10^6 T^{-1} + (\Sigma d_k 10^{-6} T^3) / 3$$

$$\text{και } f'(T_N) = \Sigma a_k x_k + \Sigma b_k 10^{-3} T + \Sigma c_k 10^6 T^{-2} + \Sigma d_k 10^{-6} T^2$$

βρίσκουμε την T5 και γνωρίζοντας ότι P5=P5s υπολογίζουμε την $\overline{s_5}$ από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\overline{s^o} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2} y^{-2} + \frac{d}{2} y^2 \right]$$

$$\overline{s_5} = x_{N_2} * \overline{s_{N_2}^o} + x_{O_2} * \overline{s_{O_2}^o} + x_{CO_2} * \overline{s_{CO_2}^o} + x_{H_2O} * \overline{s_{H_2O}^o}$$

Θέση 2: Έξοδος καυσαερίων από MEK & είσοδος εναλλάκτη[1]

Από τα δεδομένα του συστήματος γνωρίζουμε ότι η θερμοκρασία στην έξοδο των καυσαερίων από την μηχανή OTTO είναι T2=744,15K, ενώ επιπλέον γνωρίζουμε ότι η P2=16 bar. Στην θέση αυτή εξέρχονται τα καυσαέρια από την μηχανή OTTO όπου γίνεται η καύση. Τα καυσαέρια στην συνέχεια εισέρχονται μέσα από τον εναλλάκτη[1] καυσαέρια/H2O μηχανής από όπου διαμέσου της μεταφοράς θερμότητας ζεσταίνουν το νερό της μηχανής. Συνεπώς η σύσταση του μίγματος (βιοαερίου – αέρα) που εισέρχεται στην MEK OTTO αλλάζει.

Για τον υπολογισμό της νέας σύστασης των καυσαερίων και γνωρίζοντας ότι οι απώλειες στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης είναι 5%, υπολογίζουμε αρχικά το λόγο λ (λόγος καυσίμου/αέρα), που δίνεται από την σχέση:

$$\lambda = \frac{0,7748\Delta\bar{h}_{N_2} + 0,2059\Delta\bar{h}_{O_2} + 0,0003\Delta\bar{h}_{CO_2} + 0,019\Delta\bar{h}_{H_2O}}{\bar{h}_f - (1 - 0,95)\overline{LHV} - (-1,353\bar{h}_{O_2} + 0,996\bar{h}_{CO_2} + 1,354\bar{h}_{H_2O} + 0,002\bar{h}_{N_2})}$$

$$\Delta\bar{h}_k = \bar{h}_k(T_2) - \bar{h}_k(T_1) \text{ και } \overline{LHV} = h_0(CH_4) + h_0(O_2) - h_0(CO_2) - h_0(H_2O)$$

Στην συνέχεια βρίσκουμε τις νέες συστάσεις του καυσαερίου από τις εξής σχέσεις που προκύπτουν από τα ισοζύγια μαζών στην αντίδραση της καύσης:

- $x_{N_2} = \frac{x_{N_2\alpha\epsilon\rho\alpha} + x_{N_2\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon}*\lambda}{1+\lambda}$
- $x_{O_2} = \frac{x_{O_2\alpha\epsilon\rho\alpha} - (2x_{CH_4\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon} + 0,5x_{H_2\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon})*\lambda}{1+\lambda}$
- $x_{CO_2} = \frac{(x_{CO_2\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon} + x_{CH_4\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon})*\lambda + x_{CO_2\alpha\epsilon\rho\alpha}}{1+\lambda}$
- $x_{H_2O} = \frac{(2x_{CH_4\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon} + x_{H_2\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon})*\lambda + x_{H_2O\alpha\epsilon\rho\alpha}}{1+\lambda}$

και με την χρήση των παρακάτω σχέσεων προσδιορίζονται τα \bar{h}_2 και \bar{s}_2 :

$$\bar{h}^0 = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\bar{h}_2 = x_{N_2} * \bar{h}_{N_2}^o + x_{O_2} * \bar{h}_{O_2}^o + x_{CO_2} * \bar{h}_{CO_2}^o + x_{H_2O} * \bar{h}_{H_2O}^o$$

$$\bar{s}^o = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

$$\bar{s}_2 = x_{N_2} * \bar{s}_{N_2}^o + x_{O_2} * \bar{s}_{O_2}^o + x_{CO_2} * \bar{s}_{CO_2}^o + x_{H_2O} * \bar{s}_{H_2O}^o$$

Για τον υπολογισμό της παροχής μάζας των καυσαερίων χρησιμοποιούμε ισοζύγιο παροχών μάζας στην ΜΕΚ ΟΤΤΟ, οπότε και έχουμε:

$$\dot{n}_{\text{καυσαερίων}} = \dot{n}_{\alpha\epsilon\rho\alpha} + \dot{n}_{\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho\iota\omicron\upsilon}$$

Θέση 3: Έξοδος καυσαερίων από τον εναλλάκτη[1]

Η θέση 3 παριστάνει την έξοδο των καυσαερίων από τον εναλλάκτη[1], αφού πρώτα προσδώσουν ένα μεγάλο μέρος της θερμικής τους ενέργειας στο νερό που διέρχεται από τον εναλλάκτη αυτό, με σκοπό την ψύξη της μηχανής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε αρκετά μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο από τον εναλλάκτη [1], όπως επίσης και πτώση της πίεσης, ενώ αντίθετα έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ψύξης κατά την διέλευσή του από τον εναλλάκτη [1] (θέση 6).

Στην θέση αυτή και γνωρίζοντας ότι $T_3=450K$ και $P_3=1.016bar$, υπολογίζουμε την \bar{h}_3 και \bar{s}_3 για την νέα σύσταση των καυσαερίων όπως υπολογίστηκε στην θέση 2. Οπότε ομοίως με τα προηγούμενα έχουμε:

$$\bar{h}^0 = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\bar{h}_3 = x_{N_2} * \bar{h}_{N_2}^0 + x_{O_2} * \bar{h}_{O_2}^0 + x_{CO_2} * \bar{h}_{CO_2}^0 + x_{H_2O} * \bar{h}_{H_2O}^0$$

$$\bar{s}^0 = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

$$\bar{s}_3 = x_{N_2} * \bar{s}_{N_2}^0 + x_{O_2} * \bar{s}_{O_2}^0 + x_{CO_2} * \bar{s}_{CO_2}^0 + x_{H_2O} * \bar{s}_{H_2O}^0$$

Για τον υπολογισμό της θερμότητας που απελευθερώνεται από τα παραγόμενα καυσαέρια κατά την διέλευσή τους από τον εναλλάκτη[1], χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$\dot{Q}_{2-3} = \dot{n}_{καυσαερίων} (\bar{h}_3 - \bar{h}_2)$$

Το αρνητικό πρόσημο που προκύπτει από τον υπολογισμό, υποδηλώνει την απελευθέρωση θερμότητας των καυσαερίων καθώς διέρχονται από την θέση 2 (έξοδος μηχανής ΟΤΤΟ) στην θέση 3 (έξοδος από εναλλάκτη[1] και απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα).

Θέση 7: Είσοδος νερού για την ψύξη της μηχανής στον εναλλάκτη[1] και έξοδος από εναλλάκτη[2]

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η θέση 7, είναι η θέση εισαγωγής του νερού ψύξης της μηχανής ΟΤΤΟ (με σκοπό την ψύξη της) στον εναλλάκτη[1].

Το νερό ψύξης της μηχανής στην θέση αυτή εισέρχεται σε θερμοκρασία $T_7=341,15K$ και $P_7=4,3bar$. Οπότε υπολογίζουμε \bar{h}_7 και \bar{s}_7 .

$$\bar{h}_7 H_2 O_{μηχανής} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2} y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3} y^3 \right] \&$$

$$\bar{s}_7 H_2 O_{μηχανής} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2} y^{-2} + \frac{d}{2} y^2 \right]$$

Θέση 6: Έξοδος νερού ψύξης της μηχανής από τον εναλλάκτη[1]

Στην θέση αυτή γνωρίζουμε την θερμοκρασία $T_6=361,15K$ όπως επίσης ότι η πτώση πίεσης στον εναλλάκτη[1] είναι $\Delta P=0,2bar$ οπότε προκύπτει ότι

$$P_6 = P_7 - 0,2 = 4,3 - 0,2 = 4,1bar$$

Οπότε ομοίως με τα παραπάνω, υπολογίζουμε την ενθαλπία από τις σχέσεις:

$$\bar{h}_6 H_2 O_{μηχανής} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2} y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3} y^3 \right] \&$$

και την εντροπία από τις σχέσεις:

$$\bar{s}_6 H_2 O_{μηχανής} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2} y^{-2} + \frac{d}{2} y^2 \right]$$

Για τον υπολογισμό της παροχής μάζας του νερού ψύξης της μηχανής θα χρησιμοποιήσουμε ισοζύγιο ενέργειας:

$$\dot{n} H_2 O_{μηχανής} (\bar{h}_6 - \bar{h}_7) = \dot{n}_{καυσασεριών} (\bar{h}_3 - \bar{h}_2) \text{ οπότε}$$

$$\dot{n} H_2 O_{μηχανής} = \frac{\dot{n}_{καυσασεριών} (\bar{h}_3 - \bar{h}_2)}{(\bar{h}_6 - \bar{h}_7)}$$

Η θερμότητα που απορροφάται από το νερό ψύξης της μηχανής καθώς εισέρχεται από το εναλλάκτη[1] δίνεται από την σχέση:

$$Q_{7-6} = \dot{m}_{H_2O_{μηχανής}} (\bar{h}_6 - \bar{h}_7)$$

Θέση 8:Είσοδος νερού ψύξης της μηχανής στον εναλλάκτη[2]

Η θερμοκρασία του νερού ψύξης της μηχανής στην είσοδο του εναλλάκτη[2], υποθέτουμε ότι δεν μεταβάλλεται από την έξοδο του νερού από τον εναλλάκτη[1] (θέση 6), οπότε $T_8=T_6=361,15K$. Στον εναλλάκτη[2] γνωρίζουμε επίσης ότι η πτώση πίεσης, είναι όμοια με τον εναλλάκτη[1] δηλαδή $\Delta P=0,2bar$, οπότε $P_8=P_7+0,2=4,5bar$.

Επομένως από τις γνωστές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν και ανωτέρω υπολογίζουμε την ενθαλπία \bar{h}_8 και την εντροπία \bar{s}_8 .

$$\bar{h}_{8H_2O_{μηχανής}} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\bar{s}_{8H_2O_{μηχανής}} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

Θέση 9:Είσοδος νερού κυκλώματος στον εναλλάκτη[2]

Στην θέση αυτή γνωρίζουμε ότι το νερό του κυκλώματος, εισέρχεται στον εναλλάκτη[2] σε πίεση $P_9=1,5bar$. Επιπλέον, έχοντας υποθέσει εξ' αρχής, πως ο βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη[2] είναι 62,5%, μπορούμε να υπολογίσουμε την T_9 από την σχέση:

$$n_{εναλ/κτη2} = \frac{\text{Πραγματική μεταφορά θερμότητας}}{\text{Μέγιστη δυνατή μεταφορά θερμότητας}}$$

και με τις δυνατές απλοποιήσεις παροχής μάζας και της ειδικής θερμότητας του ρευστού, από τον αριθμητή και τον παρανομαστή προκύπτει η σχέση:

$$n_{\text{εναλ/κτη2}} = \frac{T_8 - T_7}{T_8 - T_9}$$

και άρα η θερμοκρασία T9 υπολογίζεται ως εξής:

$$T_9 = T_8 - \frac{T_8 - T_7}{n_{\text{εναλ/κτη2}}} = 329,15\text{K}$$

Επομένως με την γνωστή ήδη χρησιμοποιημένη μέθοδο, υπολογίζουμε την ενθαλπία \overline{h}_9 και την εντροπία \overline{s}_9 .

$$\overline{h}_9 H_2O_{\text{κυκλώματος}} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right] \&$$

$$\overline{s}_9 H_2O_{\text{κυκλώματος}} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

Θέση 10: Έξοδος νερού κυκλώματος από τον εναλλάκτη[2] και είσοδος στον εναλλάκτη[3]

Στην θέση αυτή γνωρίζουμε την θερμοκρασία T10=343,15K όπως επίσης ότι η πτώση πίεσης στον εναλλάκτη[2] είναι ΔP=0,2bar οπότε προκύπτει ότι P10=P9-0,2=1,5-0,2=1,3bar, οπότε υπολογίζουμε την ενθαλπία \overline{h}_{10}

$$\overline{h}_{10} H_2O_{\text{κυκλώματος}} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right]$$

και την εντροπία \overline{s}_{10}

$$\overline{s}_{10} H_2O_{\text{κυκλώματος}} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

Για τον υπολογισμό της παροχής μάζας του νερού του κυκλώματος θα χρησιμοποιήσουμε το ισοζύγιο μάζας στον εναλλάκτη[2]:

$$\dot{m}_{H_2O_{μηχανής}}(\overline{h_7} - \overline{h_8}) = \dot{m}_{H_2O_{κυκλώματος}}(\overline{h_{10}} - \overline{h_9}) \text{ οπότε}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{κυκλώματος}} = \frac{\dot{m}_{H_2O_{μηχανής}}(\overline{h_7} - \overline{h_8})}{(\overline{h_{10}} - \overline{h_9})}$$

Επιπλέον, η θερμότητα που μεταφέρεται από το νερό ψύξης της μηχανής στο νερό του κυκλώματος, προκειμένου να επέλθει η θέρμανσή του δίνεται από την σχέση:

$$\dot{Q}_{9-10} = \dot{m}_{H_2O_{κυκλώματος}}(\overline{h_{10}} - \overline{h_9})$$

Στην συνέχεια το νερό του κυκλώματος, εισέρχεται στον εναλλάκτη[3], προκειμένου μέσω μεταφοράς θερμότητας, να θερμάνει την ανακυκλοφορούμενη ιλύ που εισέρχεται επίσης στον εναλλάκτη αυτό, με σκοπό την θέρμανση της ιλύος στον χωνευτή.

Θέση 11: Έξοδος νερού κυκλώματος από τον εναλλάκτη[3]

Στην θέση αυτή γνωρίζουμε την θερμοκρασία $T_{11}=330,15K$ όπως επίσης ότι η πτώση πίεσης στον εναλλάκτη[3] είναι $\Delta P=0,2bar$ οπότε προκύπτει ότι

$$P_{11}=P_{10}-0,2=1,3-0,2=1,1bar, \text{ οπότε υπολογίζουμε την ενθαλπία } \overline{h_{11}}$$

$$\overline{h_{11}}_{H_2O_{κυκλώματος}} = 10^3 \left[H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right]$$

και την εντροπία $\overline{s_{11}}$

$$\overline{s_{11}}_{H_2O_{κυκλώματος}} = \left[s^+ + a \ln T + by - \frac{c}{2}y^{-2} + \frac{d}{2}y^2 \right]$$

Για τον υπολογισμό της θερμότητας που απελευθερώνεται από το νερό του κυκλώματος για θέρμανση της ανακυκλοφορούμενης ιλύος χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$\dot{Q}_{10-11} = \dot{m}_{H_2O_{κυκλώματος}}(\overline{h_{11}} - \overline{h_{10}})$$

Θέσεις 12 & 13: Είσοδος & Έξοδος της ανακυκλοφορούμενης ιλύος στον εναλλάκτη[3]

Η ιλύς εισέρχεται στον εναλλάκτη[3] στην θέση 12 με θερμοκρασία $T_{12}=285K$ και εξέρχεται από αυτόν στην θέση 13 με θερμοκρασία $T_{13}=308K$.

Επίσης από ισοζύγιο ενέργειας για τον εναλλάκτη γνωρίζουμε ότι $Q_{10-11} = Q_{12-13}$ οπότε από την σχέση

$$Q_{12-13} = m_{\text{ιλύος}} Cp \Delta T$$

υπολογίζουμε την παροχή ιλύος $m_{\text{ιλύος}}$ (kg/sec).

Επιπλέον υπολογίζουμε την διαφορά ενθαλπίας $\Delta h = h_{13} - h_{12} = Cp (T_{13} - T_{12})$

Στην συνέχεια, αφού υπολογίσαμε την θερμότητα που απαιτείται για θέρμανση της ιλύος ανά δευτερόλεπτο, την υπολογίζουμε και σε ημερήσια βάση

$$Q_{10-11} = Q_{10-11} \cdot 3600 \cdot 24 = \mathbf{24.570.543KJ}$$

Στο κεφάλαιο 5, από τα τεχνικά δεδομένα της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού της ΔΕΥΥ Λάρισας, όπως αυτά μας δόθηκαν από την ίδια την Υπηρεσία, υπολογίσαμε ότι η ημερήσια ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση της ιλύος είναι **20.600.484,2 KJ**, πολύ κοντά σε αυτήν που υπολογίσθηκε από την θερμοδυναμική ανάλυση **24.570.543KJ**.

Οπότε συμπεραίνουμε, ότι τα αποτελέσματα της θερμοδυναμικής ανάλυσης, της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής της ΔΕΥΑΛ, είναι αρκετά κοντά στους υπολογισμούς που προέκυψαν από τα τεχνικά στοιχεία της εγκατάστασης, όπως αυτά υπολογίσθηκαν με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά που μας δόθηκαν από τους υπεύθυνους της ΔΕΥΑΛ. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε να πούμε ότι γίνεται έλεγχος της ορθότητας των υπολογισμών της θερμοδυναμικής ανάλυσης.

Στο σημείο αυτό, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την θερμοδυναμική ανάλυση του συστήματος συμπαγωγής.

Πίνακας 6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την θερμοδυναμική ανάλυση του συστήματος συμπαγωγής

	Κατάσταση	Παροχή μάζας $m(\text{kmol/s})$	Παροχή μάζας $m(\text{kg/s})$	T(K)	P(bar)	$\bar{h} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{kmol}} \right)$	$\bar{s} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right)$	Qh(KJ/sec)
1	Αέρας	0,0273	0,7700	298,15	1,0130	-4723,51	199,33	
2	Καυσαέρια	0,0286	0,8168	744,00	16,00	-10213,41	206,31	-271,13
3	Καυσαέρια	0,0286	0,8168	450,00	1,0160	-19689,71	213,06	
4	Βιοαέριο	0,0014	0,0339	298,00	1,0330	-176545,47	195,24	
5	Βιοαέριο	0,0014	0,0339	303,00	1,0930	-178094,42	132,80	
6	Νερό (ψύξης μηχανής)	0,1803	3,2475	361,15	4,1000	-281088,72	83,66	271,13
7	Νερό (ψύξης μηχανής)	0,1803	3,2475	341,15	4,3000	-282592,73	81,53	
8	Νερό (ψύξης μηχανής)	0,1803	3,2475	361,15	4,5000	-281088,72	83,75	-271,13
9	Νερό (κυκλώματος)	0,258	4,6479	329,15	1,5000	-283493,42	75,68	271,13
10	Νερό (κυκλώματος)	0,258	4,6479	343,15	1,3000	-282442,56	80,77	
11	Νερό (κυκλώματος)	0,258	4,6479	330,00	1,1000	-283429,62	77,67	254,66
12	Ιλύς		2,652	285,00	1,5000	$\Delta h=96,048$	-	254,66
13	Ιλύς		2,652	308,00	1,3000		-	

6.3 Εξεργειακή ανάλυση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαγωγής της ΔΕΥΑΛ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η εξεργειακή ανάλυση του συστήματος συμπαγωγής της ΔΕΥΑΛ.

Η εξέργεια αποτελεί το μέγιστο ωφέλιμο έργο που μπορεί να παραχθεί από ένα σύστημα το οποίο βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση και ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Η συνολική εξέργεια E ενός συστήματος απουσία πυρηνικών, μαγνητικών, ηλεκτρικών επιδράσεων και επιφανειακών τάσεων, μπορεί να επιμεριστεί στις ακόλουθες συνιστώσες: φυσική εξέργεια, κινητική εξέργεια, δυναμική εξέργεια και χημική εξέργεια. Δηλαδή:

$$E_{\text{tot}} = E^{\text{PH}} + E^{\text{KN}} + E^{\text{PT}} + E^{\text{CH}}$$

Στην παρούσα εργασία κινητική και δυναμική εξέργεια θεωρούνται αμελητέες. Συνεπώς οι εξεργειακοί όροι που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθοι:

- Φυσική Εξέργεια:

$$E^{\text{PH}} = \frac{\dot{m}}{MB} [\bar{h} - \bar{h}_0 + T_0(\bar{s} - \bar{s}_0)]$$

- Ειδική Χημική Εξέργεια:

$$\bar{e}^{\text{CH}} = \sum x_k \times \bar{e}_k^{\text{CH}} + \bar{R}T_0 \sum x_k \ln x_k$$

Θέση 1: Είσοδος αέρα στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης ΟΤΤΟ

Στην θέση αυτή είναι η είσοδος του αέρα στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης ΟΤΤΟ και η χημική εξέργεια του αέρα σε κανονικές συνθήκες είναι μηδέν. Η φυσική εξέργεια δίνεται από την σχέση:

$$E^{\text{PH}} = \frac{\dot{m}_{\text{αέρα}}}{MB_{\text{αέρα}}} [\bar{h}_1 - \bar{h}_0 + T_0(\bar{s}_1 - \bar{s}_0)]$$

και ισούται με 0 καθώς η ενθαλπία εισόδου του αέρα είναι ίση με την ενθαλπία σε κανονικές συνθήκες . Το ίδιο ισχύει και για τους όρους της εντροπίας.

Θέση 2: Έξοδος καυσαερίων από MEK & είσοδος εναλλάκτη[1]

Στη θέση 2 έχουμε την έξοδο των καυσαερίων από την MEK ΟΤΤΟ.

Αρχικά υπολογίζουμε την πίεση κορεσμού του νερού στους 25° C ($P_o = x_o P$).

Έπειτα, γίνεται ο υπολογισμός της νέας σύστασης του $H_2O(g)$ βάσει της σχέσης:

$$P_{\text{κορ}H_2O(25^\circ C)} = \frac{n_s}{(1 - x_{(H_2O_{\text{καυσ.}})} + n_s)} P_{\text{αναφ.}}$$

συνεπώς η σύσταση των συμπιεσμένων υδρατμών δίνεται από τη σχέση:

$$x_{\text{συμπ.υδρ.}} = x_{(H_2O_{\text{καυσ.}})} - n_s$$

και στη συνέχεια βρίσκουμε το άθροισμα των συστάσεων χωρίς τη σύσταση $x_{H_2O(l)}$

από την σχέση:

$$x' = x_{N_2} + x_{O_2} + x_{CO_2} + x_{H_2O(g)}$$

και οι συστάσεις των συστατικών χωρίς τους υγροποιημένους υδρατμούς γίνονται:

- $x'_{N_2} = \frac{x_{N_2}}{x'}$
- $x'_{O_2} = \frac{x_{O_2}}{x'}$
- $x'_{CO_2} = \frac{x_{CO_2}}{x'}$
- $x'_{H_2O(g)} = \frac{x_{H_2O(g)}}{x'}$

ο υπολογισμός της ενθαλπίας και της εντροπίας σχηματισμού των καυσαερίων

(\bar{h}_{2o} & \bar{s}_{2o}), γίνεται με χρήση των ακόλουθων σχέσεων:

για τον υπολογισμό της ενθαλπίας

$$\bar{h}_{2o} = x_{N_2} * \bar{h}_{N_2}^o + x_{O_2} * \bar{h}_{O_2}^o + x_{CO_2} * \bar{h}_{CO_2}^o + x_{H_2O(g)} * \bar{h}_{H_2O(g)}^o + x_{H_2O(l)} * \bar{h}_{H_2O(l)}^o$$

και για τον υπολογισμό της εντροπίας

$$\overline{s_{2o}} = x_{N_2} * \overline{s_{N_2}^o} + x_{O_2} * \overline{s_{O_2}^o} + x_{CO_2} * \overline{s_{CO_2}^o} + x_{H_2O(g)} * \overline{s_{H_2O(g)}^o} + x_{H_2O(l)} * \overline{s_{H_2O(l)}^o}$$

$$\text{όπου } x_{H_2O(l)} = x_{\text{συμπ.υδρ.}} \text{ και } x_{H_2O(l)} = n_s$$

η ειδική χημική εξέργεια δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$ech = \sum x'_k \overline{e_k^{CH}} + \bar{R}T_0 \sum x'_k \ln x'_k - x_{\text{συμπ.υδρ.}} * \overline{s_{H_2O(l)}^o}$$

βάση των προηγούμενων υπολογισμών βρίσκουμε για τη θέση2, τη φυσική και τη χημική εξέργεια αντίστοιχα:

$$E^{PH}(2) = \frac{\dot{m}_{\kappaανσ.}}{MB_{\kappaανσ.}} [\bar{h}_2 - \bar{h}_{20} + T_0(\bar{s}_2 - \bar{s}_{20})]$$

$$E^{CH}(2) = \dot{m}_{\kappaανσ.} \left[\frac{ech_{\kappaανσ.}}{MB_{\kappaανσ.}} \right]$$

Θέση 3: Έξοδος καυσασερίων από τον εναλλάκτη[1]

Στην έξοδο του εναλλάκτη[1] η φυσική και η χημική εξέργεια δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$E^{PH}(3) = \frac{\dot{m}_{\kappaανσ.}}{MB_{\kappaανσ.}} [\bar{h}_3 - \bar{h}_{20} + T_0(\bar{s}_3 - \bar{s}_{20})]$$

$$E^{CH}(3) = \dot{m}_{\kappaανσ.} \left[\frac{ech_{\kappaανσ.}}{MB_{\kappaανσ.}} \right]$$

Θέση 4: Είσοδος βιοαερίου στο Συμπιεστή

Στην θέση αυτή, είναι η είσοδος του βιοαερίου στον συμπιεστή. Η φυσική και η χημική εξέργεια του βιοαερίου δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$E^{PH}(4) = \dot{m}_{\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho.} \left[\frac{R}{MB_{\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho.}} T_1 \ln \frac{P_4}{P_0} \right] \text{ και}$$

$$E^{CH}(4) = \dot{m}_{\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho.} \left[\frac{ech_{\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho.}}{MB_{\beta\iota\omicron\alpha\epsilon\rho.}} \right]$$

όπου $ech_{\beta io \alpha \epsilon p.}$ η ειδική χημική εξέργεια, όπως έχει ήδη αναφερθεί και δίνεται από την σχέση :

$$ech_{\beta io \alpha \epsilon p.} = \sum x'_k \overline{e_k^{CH}} + \bar{R}T_0 \sum x'_k \ln x'_k$$

Από τον υπολογισμό αυτό προκύπτει ότι η ειδική χημική εξέργεια του καυσίμου $ech_{\beta io \alpha \epsilon p.}$ είναι περίπου ίση με την θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου ($=22.897 \text{ KJ/Nm}^3$), όπως και θα έπρεπε. Οπότε συμπεραίνουμε την ορθότητα των υπολογισμών μας.

Θέση 5: Έξοδος βιοαερίου από το Συμπιεστή – είσοδος ΜΕΚ ΟΤΤΟ

Στην θέση αυτή, είναι η έξοδος του βιοαερίου από τον συμπιεστή και η είσοδος του στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης ΟΤΤΟ. Η φυσική και η χημική εξέργεια του βιοαερίου δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$E^{PH}(5) = \dot{m}_{\beta io \alpha \epsilon p.} \left[\frac{R}{MB_{\beta io \alpha \epsilon p.}} T_1 \ln \frac{P_5}{P_0} \right] \text{ και}$$

$$E^{CH}(5) = \dot{m}_{\beta io \alpha \epsilon p.} \left[\frac{ech_{\beta io \alpha \epsilon p.}}{MB_{\beta io \alpha \epsilon p.}} \right]$$

Θέση 6: Έξοδος νερού ψύξης της μηχανής από τον εναλλάκτη[1]

Στην θέση αυτή το νερό εξέρχεται από τον εναλλάκτη[1]. Η φυσική του εξέργεια υπολογίζεται από την σχέση:

$$E^{PH}(6) = \dot{m}_{H_2O(l) \mu \eta \chi \alpha \nu \eta \varsigma} (\bar{h}_6 - \bar{h}_0) - \dot{m}_{H_2O(l) \mu \eta \chi \alpha \nu \eta \varsigma} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln \left(\frac{T_6}{T_0} \right)$$

και η χημική του εξέργεια από την σχέση:

$$E^{CH}(6) = \dot{m}_{H_2O(l) \mu \eta \chi \alpha \nu \eta \varsigma} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right]$$

Η ειδική χημική εξέργεια του νερού $ech_{H_2O(l)} = 45 \frac{Kj}{kmol}$, και δίνεται από σχετικό πίνακα (Σημειώσεις Δρ. Α. Σταμάτη – Μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Συστημάτων).

Θέση 7: Είσοδος νερού για την ψύξη της μηχανής στον εναλλάκτη[1] και έξοδος από εναλλάκτη[2]

Η θέση 7, είναι η θέση εισαγωγής του νερού ψύξης της μηχανής ΟΤΤΟ (με σκοπό την ψύξη της) στον εναλλάκτη[1]. Η φυσική εξέργεια του νερού, όπως αναφέρθηκε και στην θέση 6 δίνεται από την σχέση:

$$E^{PH}(7) = \dot{m}_{H_2O(l)μηχανής}(\bar{h}_7 - \bar{h}_0) - \dot{m}_{H_2O(l)μηχανής} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln\left(\frac{T_7}{T_0}\right)$$

και η χημική του εξέργεια από την σχέση:

$$E^{CH}(7) = \dot{m}_{H_2O(l)μηχανής} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right]$$

Ομοίως με την θέση 5, η ειδική χημική εξέργεια του νερού $ech_{H_2O(l)} = 45 \frac{Kj}{kmol}$, και δίνεται από σχετικό πίνακα (Σημειώσεις Δρ. Α. Σταμάτη – Μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Συστημάτων).

Θέση 8:Είσοδος νερού ψύξης της μηχανής στον εναλλάκτη[2]

Στη θέση 8 το νερό εισέρχεται στο εναλλάκτη και η φυσική του εξέργεια δίνεται από τη σχέση

$$E^{PH}(8) = \dot{m}_{H_2O(l)μηχανής}(\bar{h}_8 - \bar{h}_0) - \dot{m}_{H_2O(l)μηχανής} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln\left(\frac{T_8}{T_0}\right)$$

ενώ η χημική του εξέργεια από την σχέση $E^{CH}(8) = \dot{m}_{H_2O(l)μηχανής} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right]$.

Η ειδική χημική εξέργεια του νερού $ech_{H_2O(l)} = 45 \frac{Kj}{kmol}$, και δίνεται από σχετικό πίνακα (Σημειώσεις Δρ. Α. Σταμάτη – Μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Συστημάτων).

Θέση 9:Είσοδος νερού κυκλώματος στον εναλλάκτη[2]

Στη θέση 9 το νερό εισέρχεται στο εναλλάκτη και η φυσική του εξέργεια δίνεται από τη σχέση

$$E^{PH}(9) = \dot{m}_{H_2O\text{κυκλώματος}}(\bar{h}_9 - \bar{h}_0) - \dot{m}_{H_2O(l)\text{κυκλώματος}} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln\left(\frac{T_9}{T_0}\right)$$

ενώ η χημική του εξέργεια από την σχέση $E^{CH}(9) = \dot{m}_{H_2O(l)\text{κυκλώματος}} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right]$.

Η ειδική χημική εξέργεια του νερού $ech_{H_2O(l)} = 45 \frac{Kj}{kmol}$, και δίνεται από σχετικό πίνακα (Σημειώσεις Δρ. Α. Σταμάτη – Μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Συστημάτων).

Θέση 10:Έξοδος νερού κυκλώματος από τον εναλλάκτη[2] και είσοδος στον εναλλάκτη[3]

Δουλεύοντας ομοίως με τη θέση 9, στην θέση 10- έξοδος από τον εναλλάκτη[2] & είσοδος εναλλάκτη[3] - η φυσική και η χημική εξέργεια δίνονται από τις σχέσεις:

$$E^{PH}(10) = \dot{m}_{H_2O\text{κυκλώματος}}(\bar{h}_{10} - \bar{h}_0) - \dot{m}_{H_2O(l)\text{κυκλώματος}} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln\left(\frac{T_{10}}{T_0}\right) \text{ και}$$

$$E^{CH}(10) = \dot{m}_{H_2O(l)\text{κυκλώματος}} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right].$$

Θέση 11: Έξοδος νερού κυκλώματος από τον εναλλάκτη[3]

Δουλεύοντας ομοίως με τη θέση 9 και 10, στην θέση 11- έξοδος από τον εναλλάκτη[3]- η φυσική και η χημική εξέργεια δίνονται από τις σχέσεις:

$$E^{PH}(11) = \dot{m}_{H_2O \text{ κυκλώματος}} (\overline{h_{11}} - \overline{h_0}) - \dot{m}_{H_2O(l) \text{ κυκλώματος}} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln \left(\frac{T_{11}}{T_0} \right)] \text{ και}$$

$$E^{CH}(11) = \dot{m}_{H_2O(l) \text{ κυκλώματος}} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right].$$

Θέσεις 12 & 13: Είσοδος & Έξοδος της ανακυκλοφορούμενης ιλύος στον εναλλάκτη[3]

Η ανακυκλοφορούμενη ιλύς εισέρχεται στον εναλλάκτη[3] στην θέση 12 και εξέρχεται από αυτόν στην θέση 13. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5, η ειδική θερμότητα της ιλύος $C_p = 4,176 \text{ KJ/KgK}$ σχεδόν ίση με αυτή του νερού. Οπότε, για να απλοποιήσουμε τον υπολογισμό της φυσικής και χημικής εξέργειας της ιλύος, θεωρούμε την ιλύ σαν νερό. Οπότε η φυσική και χημική εξέργεια της ιλύος, υπολογίζονται από τις γνωστές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν και ανωτέρω:

$$E^{PH}(12) = \dot{m}_{\text{ιλύος}} (\overline{h_{12}} - \overline{h_0}) - \dot{m}_{\text{ιλύος}} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln \left(\frac{T_{12}}{T_0} \right)]$$

$$E^{CH}(12) = \dot{m}_{\text{ιλύος}} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right] \text{ και ομοίως για την έξοδο}$$

$$E^{PH}(13) = \dot{m}_{\text{ιλύος}} (\overline{h_{13}} - \overline{h_0}) - \dot{m}_{\text{ιλύος}} T_0 C_{p_{H_2O}} \ln \left(\frac{T_{13}}{T_0} \right)]$$

$$E^{CH}(13) = \dot{m}_{\text{ιλύος}} \left[\frac{ech_{H_2O(l)}}{MB_{H_2O(l)}} \right].$$

Η ειδική χημική εξέργεια του νερού $ech_{H_2O(l)} = 45 \frac{\text{KJ}}{\text{kmol}}$, και δίνεται από σχετικό πίνακα (Σημειώσεις Δρ. Α. Σταμάτη – Μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Συστημάτων).

Εύρεση καταστροφής εξέργειας

Στο σημείο αυτό της εργασίας μας, θα υπολογίσουμε την καταστροφή εξέργειας με σκοπό να ελέγξουμε, σε ποια θέση του συστήματος συμπαραγωγής έχουμε το μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών ωφέλιμης ενέργειας δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό του χαμένου δυναμικού έργου. Η καταστροφή εξέργειας οφείλεται στην ποιοτική υποβάθμιση της ενέργειας και γενικά, είναι ανάλογη της εντροπίας που παράγεται. Υπολογίζεται από την διαφορά της τροφοδοτούμενης στο σύστημα εξέργειας μείον την ανακτώμενη εξέργεια από το σύστημα.

- η καταστροφή εξέργειας στην Μηχανή OTTO ισούται με:

$$E5 + E1 - E2 - P_{\eta\lambda\iota\sigma\chi\acute{\upsilon}\varsigma\ OTTO}$$

- η καταστροφή εξέργειας στον εναλλάκτη[1] ισούται με:

$$(E2 - E3) - (E6 - E7)$$

- η καταστροφή εξέργειας στον συμπιεστή ισούται με:

$$E4 + W_{sc} - E5$$

- η καταστροφή εξέργειας στον εναλλάκτη[2] ισούται με:

$$(E8 - E7) - (E10 - E9)$$

- η καταστροφή εξέργειας στον εναλλάκτη[3] ισούται με:

$$(E10 - E11) + (E13 - E12)$$

Ο συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής υπολογίζεται ως ποσοστό της τροφοδοτούμενης εξέργειας στο σύστημα σε σχέση με την ανακτώμενη εξέργεια στο προϊόν του συστήματος.

$$n = \frac{P_{\eta\lambda\iota\sigma\chi\acute{\upsilon}\varsigma\ OTTO} + E13}{E_1 + E_5 + E_9}$$

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξεργειακή ανάλυση συνοψίζονται στους Πίνακες 6.2, 6.3 και 6.4.

Πίνακας 6.2: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εξεργειακή ανάλυση του συστήματος συμπαγωγής

A/A	Κατάσταση	φυσική εξέργειαEph [=MW]	χημική εξέργειαEch [=MW]	σύνολοEtot[=MW]
1	Αέρας	0	0	0
2	Καυσαέρια	357,188	2,0545	359,24
3	Καυσαέρια	297,462	2,0545	299,52
4	Βιοαέριο	0,0658	762,586	762,65
5	Βιοαέριο	0,2562	762,586	762,84
6	Νερό (ψύξης μηχανής)	75,053	8,112	83,16
7	Νερό (ψύξης μηχανής)	34,941	8,112	43,05
8	Νερό (ψύξης μηχανής)	75,053	8,112	83,16
9	Νερό (κυκλώματος)	50,008	11,610	61,62
10	Νερό (κυκλώματος)	54,828	11,610	66,43
11	Νερό (κυκλώματος)	26,935	11,610	38,55
12	Ιλύς	0	8,433	8,43
13	Ιλύς	9,749	8,433	18,18

Πίνακας 6.2: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων καταστροφής ενέργειας ανά συσκευή

	Ισχύς (MW)	Ποσοστό	Ποσοστό (yD)
καταστροφή εξέργειας ΟΤΤΟ	29,600	25,200	3,880
καταστροφή εξέργειας εναλλάκτη 1	19,614	16,698	2,572
καταστροφή εξέργειας συμπιεστή	14,810	12,608	1,942
καταστροφή εξέργειας εναλλάκτη 2	35,292	30,046	4,626
καταστροφή εξέργειας εναλλάκτη 3	18,143	15,446	2,378
συνολική καταστροφή εξέργειας	117,459	100	15,397

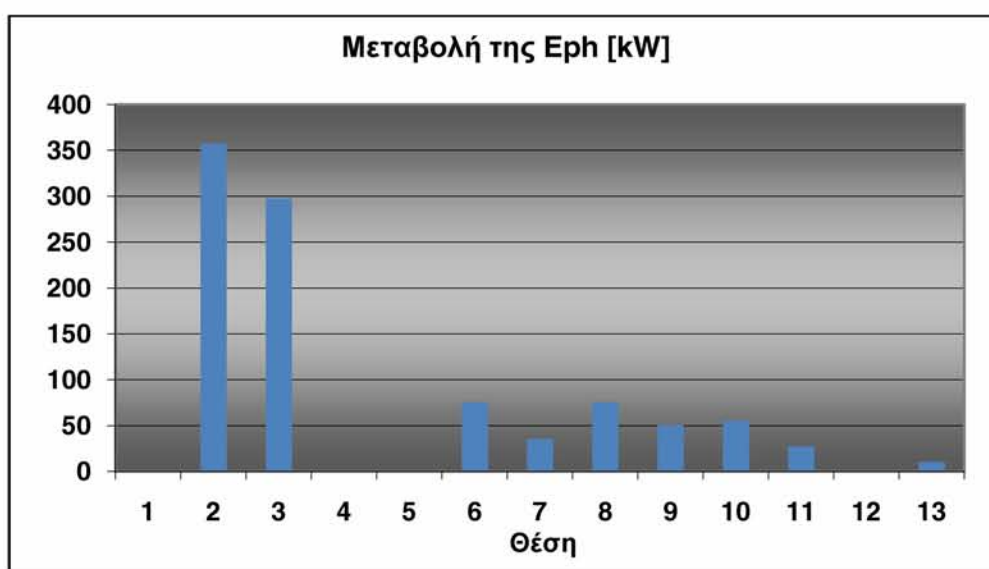
Πίνακας 6.3: Συνολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης

Εξεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος	0,465
--	-------

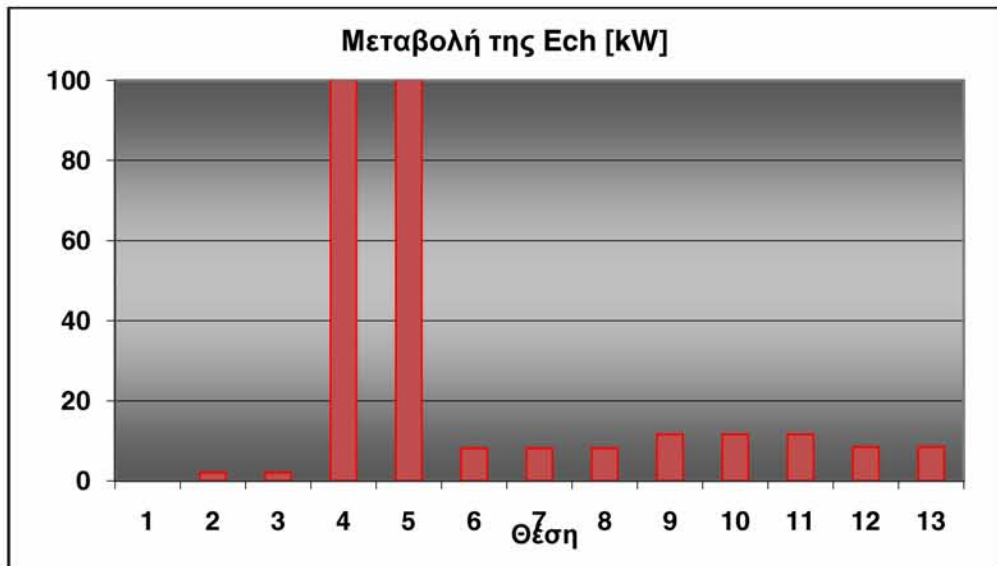
Πίνακας 6.4: Εξεργειακοί βαθμοί απόδοσης των επιμέρους συσκευών

Συσκευές	Εξεργειακός βαθμός απόδοσης
ΜΕΚ ΟΤΤΟ	0,961
Εναλλάκτης 1	0,672
Συμπιεστής	0,980
Εναλλάκτης 2	0,548
Εναλλάκτης 3	0,349

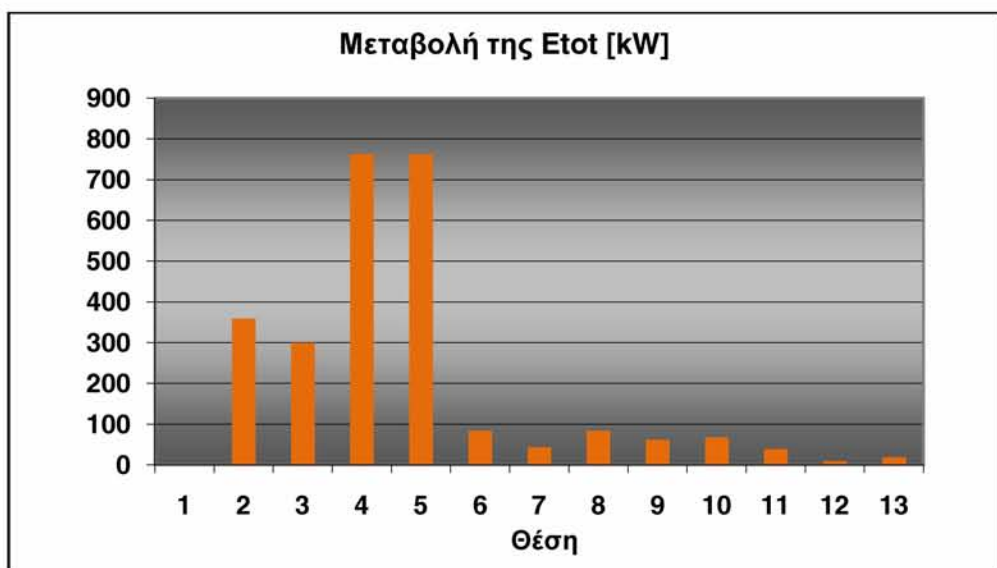
Στο σημείο αυτό της μεταπτυχιακής μας εργασίας, παρουσιάζονται τα σχετικά διαγράμματα, που προέκυψαν από τους υπολογισμούς από την ανωτέρω εξεργειακή ανάλυση.



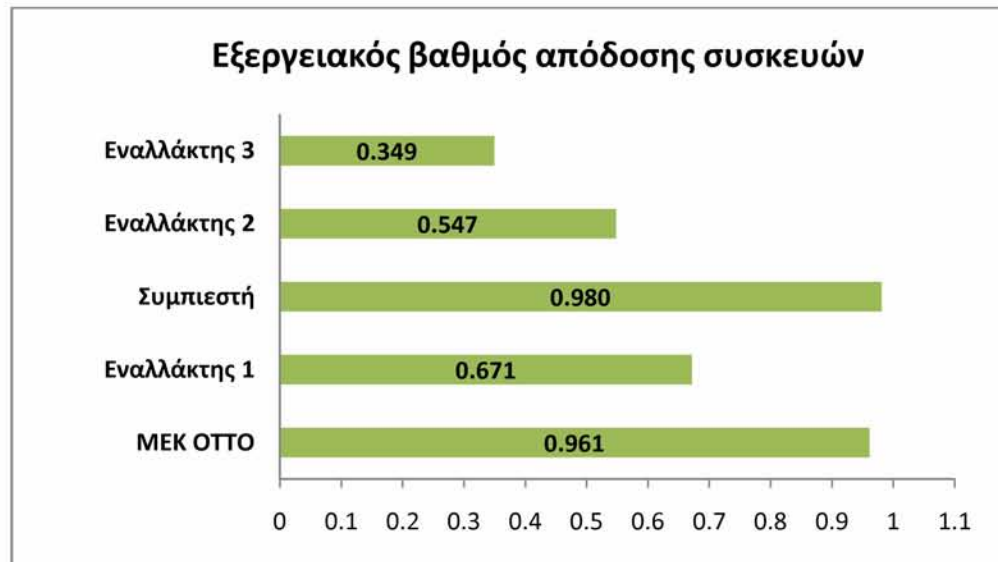
Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή της Φυσικής Εξέργειας στις διάφορες θέσεις του συστήματος ΣΗΘ.



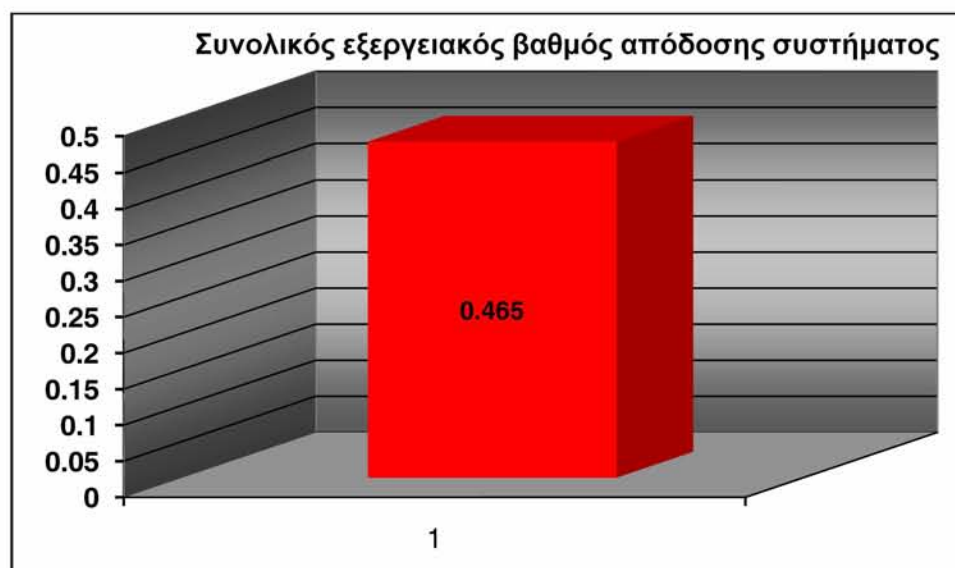
Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή της Χημικής Εξέργειας στις διάφορες θέσεις του συστήματος ΣΗΘ.



Διάγραμμα 6.3: Μεταβολή της Συνολικής Εξέργειας στις διάφορες θέσεις του συστήματος ΣΗΘ.



*Διάγραμμα 6.4: Εξεργειακός Βαθμός Απόδοσης ανά συσκευή του
συστήματος ΣΗΘ*



*Διάγραμμα 6.5: Συνολικός Εξεργειακός Βαθμός Απόδοσης του συστήματος
ΣΗΘ*



Διάγραμμα 6.6: Καταστροφή Εξέργειας ανά συσκευή του συστήματος ΣΗΘ

6.4 Συμπεράσματα από την ανάλυση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής της ΔΕΥΑΛ

- Από το διάγραμμα Μεταβολής της Φυσικής Εξέργειας, παρατηρούμε την μεγαλύτερη μεταβολή στα καυσάερια, στην έξοδό τους από την ΜΕΚ ΟΤΤΟ και στην έξοδό τους από τον εναλλάκτη 1. Αυτό είναι λογικό αφού γενικά τα καυσάερια περικλείουν μεγάλα ποσά εξέργειας.
- Από το διάγραμμα Μεταβολής της Χημικής Εξέργειας, παρατηρούμε την μεγαλύτερη μεταβολή χημικής εξέργειας στο βιοαέριο. Αυτό σημαίνει πως η χημική σύσταση του βιοαερίου αποκλίνει από εκείνη του περιβάλλοντος χώρου, λογικό αφού είναι η καύσιμη ύλη.
- Από το διάγραμμα Μεταβολής της Συνολικής Εξέργειας (προέρχεται από το άθροισμα των δύο προηγούμενων εξεργειών) παρατηρούμε την μεγαλύτερη μεταβολή στο βιοαέριο, πριν και μετά την είσοδό του στον συμπιεστή. Αυτό οφείλεται όπως αναφέραμε και ανωτέρω στην μεγάλη μεταβολή της χημικής

του εξέργειας, αφού αποτελεί την καύσιμη ύλη του συστήματος. Η μεταβολή της φυσικής τους εξέργειας είναι μηδενική.

- Από το διάγραμμα Εξεργειακού βαθμού απόδοσης των συσκευών παρατηρούμε ότι ο συμπίεστής και η MEK OTTO έχουν τους μεγαλύτερους εξεργειακούς βαθμούς απόδοσης ενώ ο μικρότερος παρουσιάζεται στον εναλλάκτη 3 και στον 2. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην κακή σχεδίαση του εναλλάκτη ή σε τυχόν τεχνικό πρόβλημα κατά την λειτουργία του, άρα στο μέλλον θα μπορούσε να γίνει καλύτερος σχεδιασμός ως μέτρο βελτιστοποίησης.
- Από το διάγραμμα του Συνολικού Εξεργειακού Βαθμού Απόδοσης του συστήματος μπορούμε να πούμε πως πρόκειται για έναν ικανοποιητικό εξεργειακό βαθμό απόδοσης, συγκριτικά με παρόμοια συστήματα ΣΗΘ. Οπότε πρόκειται για μια αρκετά καλά σχεδιασμένη μονάδα συμπαραγωγής ΣΗΘ.
- Από το διάγραμμα Καταστροφής Εξέργειας των Συσκευών, παρατηρούμε την μεγαλύτερη καταστροφή στον εναλλάκτη 2, αφού ο εξεργειακός βαθμός απόδοσής είναι αρκετά μικρός. Στις υπόλοιπες συσκευές παρατηρούμε ότι οι καταστροφές εξεργειών των συσκευών δεν φαίνονται ανάλογες των εξεργειακών βαθμών απόδοσης τους όπως θα έπρεπε και αυτό οφείλεται στην διαχείριση διαφορετικών ποσοτήτων.

Κεφάλαιο 7

Κεφάλαιο 7– Συμπεράσματα

7.1 Γενικά συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η λειτουργία της υπάρχουσας διάταξης συμπαραγωγής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (Βιολογικός καθαρισμός ΔΕΥΑΛ), που βασίζεται σε δύο εμβολοφόρους κινητήρες Otto, χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το παραγόμενο βιοαέριο από την επεξεργασία των λυμάτων.

Σκοπός της εργασίας ήταν να περιγραφεί η λειτουργία της εγκατάστασης του Βιολογικού καθαρισμού της ΔΕΥΑΛ, ο τρόπος παραγωγής Βιοαερίου μέσω της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης όπως επίσης, η περιγραφή και η ενεργειακή μελέτη του υπάρχοντος συστήματος συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Στην συνέχεια παρατέθηκαν τα συμπεράσματα αυτής της ενεργειακής μελέτης, με σκοπό να επισημανθούν τα μειονεκτήματα της εγκατάστασης και να γίνουν προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις της διάταξης συμπαραγωγής.

Βασικό εργαλείο για την ενεργειακή μελέτη ήταν η μοντελοποίηση της προσομοίωσης του συστήματος συμπαραγωγής με τις κατάλληλες απλοποιητικές παραδοχές, όπως περιγράφηκαν στο σχετικό κεφάλαιο (Κεφ. 6).

Γενικά, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου δεν παρέχει μόνο τη δυνατότητα αξιοποίησης του ενεργειακού δυναμικού του βιοαερίου, αλλά συμμετέχει παράλληλα και στη συνολική επεξεργασία των αποβλήτων που το παράγει. Η παραγωγή βιοαερίου έχει αλληλένδετα οικονομικά, περιβαλλοντικά και άλλα οφέλη.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία για το βιοαέριο. Η ανάπτυξη των έργων βιοαερίου και η εκμετάλλευση του βιοαερίου εντάσσεται κυρίως στο πλαίσιο των διατάξεων της γενικότερης νομοθεσίας για τις ΑΠΕ και των οικονομικών κινήτρων καθώς και στην ελληνική περιβαλλοντική πολιτική για τη

διαχείριση των αποβλήτων. Ο νέος Νόμος για τις ΑΠΕ (Ν. 3468/2006) επιχειρεί να προωθήσει τις ΑΠΕ, να απλοποιήσει την αδειοδοτική διαδικασία και να αναμορφώσει την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Η νέα εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπααραγωγή ανέρχεται σε 73€/MWh (75,82€/MWh για το 2007) για τα έργα βιοαερίου.

7.2 Προοπτικές στον Ελλαδικό χώρο

Ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα αντιμετωπίζει τα τελευταία χρόνια σημαντικές αλλαγές λόγω των Ευρωπαϊκών και Εθνικών πολιτικών σε ότι αφορά στην ενέργεια και το περιβάλλον (πχ. πλήρης απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, προστασία του περιβάλλοντος). Σαν αποτέλεσμα η επίδραση και τα αποτελέσματα των πολιτικών αυτών δεν είναι ακόμη ορατά και ειδικότερα σε μεσο-μακροπρόθεσμο ορίζοντα (πχ. τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενεργειακό μίγμα). Ο λιγνίτης, η κύρια εγχώρια ενεργειακή πηγή της χώρας διαφαίνεται ότι θα συνεχίζει να παίζει κυρίαρχο ρόλο στο ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας και για τα επόμενα χρόνια, αλλά η περαιτέρω διεύρυνση 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 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, αφού ληφθούν υπόψη τεχνολογικοί, κοινωνικοί (ενημέρωση εμπλεκόμενων), περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες. Μερικές φορές είναι δύσκολο να αναπτυχθούν πολλά 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 ενός έργου.

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 ότι αφορά στην υλοποίηση μονάδων μικρής κλίμακας. Τα κύρια εμπόδια σχετίζονται με την κοινωνική στάση, ενημέρωση και εμπειρία, κυρίως σε έργα αγροτικά και βιομηχανικά, η απουσία αγοράς θερμικής ενέργειας, το υψηλό κόστος επένδυσης, τα χρηματοοικονομικά μεγέθη και τα κέρδη, η αδειοδοτική διαδικασία.

Βιβλιογραφία

Για την ενεργειακή και εξεργειακή μελέτη της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η εξής βιβλιογραφία:

- Σημειώσεις μαθήματος Σχεδιασμός Ενεργειακών Συστημάτων, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Σταμάτης Α., 2006.
- Θερμοδυναμική για μηχανικούς , Τόμοι Α & Β, Cengel Y., Boles M., 3η έκδοση, 1998.
- Bejan Adrian, Tsatsaronis George, Moran Michael, “Thermal Design & Optimization”, Willey-Interscience, 1996.
- Hans Dieter Baehr: Θερμοδυναμική “Εισαγωγή στα θεμελιώδη και στις τεχνικές εφαρμογές” Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη.
- Ντοκόπουλος Π., ‘Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, Τόμος Ι, Εκδόσεις Παρατηρητής 1986.
- Stephen J. Chapman, ‘Ηλεκτρικές Μηχανές AC – DC’, Εκδόσεις TZIOΛΑ, Έκδοση 3^η.
- Ξυπεράς Γ., ‘Ηλεκτρικές Μηχανές, Τόμος ΙΙ, Σύγχρονες Μηχανές’, Εκδόσεις ΖΗΤΗ 1999.
- Y. A. Çengel, M.A. Boles, ‘Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Τόμος Β’, Εκδόσεις TZIOΛΑ, Έκδοση 3^η.
- Βασίλειος Χατζηαθανασίου, ‘Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας’, Εκδόσεις Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. 2004.

Ξένη Βιβλιογραφία

Abel, E. (2000). Volume of world petroleum reserves. In The Physics Factbook, Edited by G. Elert.

Barthel, F., Cabrera, M., Faaij, A., Giroux, M., Hall, D., Kagramanian, V., Kononov, S., Lefevre, T., Moreira, R., Notstaller, R., Odell, P. and Taylor, M. (2000). Energy resources. In World Energy Assessment - part II, pp. 135-171..

BTG: Biomass Technology Group (2005). Flash Pyrolysis.
<http://www.btgworld.com/>

De Baere, L. (2000). Anaerobic digestion of solid waste: state of the art. Water Science and Technology, 41:3, 283-290.

Edited by H.H. Rogner. New York: UNDP. BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Federal Institute for Geosciences and Natural Resources] (1995). Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1995 [Availability of Energy Reserves and Resources 1995]. Hannover, Germany.

EIA: Energy Information Administration (2001). International energy annual 2001. Office of Energy Markets and End Use. U.S. Department of Energy. Washington, DC.

EIA: Energy Information Administration (2003a). International energy outlook 2003. Office of Integrated Analysis and Forecasting. U.S. Department of Energy. Washington, DC.

EIA: Energy Information Administration (2003b). System for the analysis of global energy markets 2003. Office of Integrated Analysis and Forecasting. U.S. Department of Energy. Washington, DC.

Glazer, A.N. and Nikaido, H. (1995). Microbial Biotechnology. New York: W.H. Freeman and company. 662 pp.

Hall, D.O., Rosillo-Calle F., Williams, R.H. and Woods, J. (1993). Biomass for energy: supply, prospects. In Renewable Energy for Fuels and Electricity. Edited by T.B.J. Johansson and others. Washington, D.C.: Island Press.

IAEA: International Atomic Energy Agency (2003). Power Reactor Information System. <http://prisweb.iaea.org/>

IEA: International Energy Agency (1998a). Biomass Energy: Data, Analysis and Trends. Paris.

IEA: International Energy Agency (1998b). Energy Statistics and Balances of Non- OECD Countries, 1995–1996. Paris.

IEA: International Energy Agency (1998c). World Energy Outlook. Paris.

IEA: International Energy Agency (1999). Key World Energy Statistics from the IEA. Paris.

IEA: International Energy Agency (2001). Biogas and More! Systems and Markets Overview of Anaerobic Digestion.

EIA: Energy Information Administration (2001). International energy annual 2001. Office of Energy Markets and End Use. U.S. Department of Energy. Washington, DC.

EIA: Energy Information Administration (2003a). International energy outlook 2003. Office of Integrated Analysis and Forecasting. U.S. Department of Energy. Washington, DC.

EIA: Energy Information Administration (2003b). System for the analysis of global energy markets 2003. Office of Integrated Analysis and Forecasting. U.S. Department of Energy. Washington, DC.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (1996a). Climate change 1995. In Facts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific technical Analysis. Edited by R.T. Watson, M.C. Zinyowera, and R.H. Moss. Cambridge: Cambridge University Press.

Jantsch, T.G., Angelidaki, I., Schmidt, J.E., De Hvidsten, B.E. and Ahring, B.K. (2002). Anaerobic biodegradation of spent sulphite liquor in a UASB reactor. *Bioresource Technology*. 84:1, 15-20. Kelleher, M. (2006). Anaerobic digestion of source separated organics (SSO) and municipal solid waste (MSW). In *MSW Options Workshop: Integrating Organics Management and Residual Disposal/Treatment*. Municipal Waste Integrating Network & Recycling Council of Alberta. Calgary, Canada.

Johansson, T.B., Kelly, H., Reddy, K.N. and Williams, R.H. (1993). Appendix to chapter 1: a renewable-intensive global energy scenario. In *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*. Edited by T.B. Johansson, H. Kelly, K.N. Reddy, and R.H. Williams. Washington, D.C.: Island Press.

Laaber, M., Lindorfer, H., Madlener, R., Kirchmayr, R. and Braun, R. (2006). Optimised digestion of energy crops and agricultural wastes in Austrian biogas plants. *Research Programme: Energiesysteme der Zukunft*. Austrian Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology.

Lettinga, G. (1995). Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek*, 67:1, 3-28. Lexmond, M.J. and Zeeman, G. (1995). Potential of controlled anaerobic wastewater treatment in order to reduce the global emissions of the greenhouse gases methane

and carbon dioxide. Report No. 95-1. University of Wageningen. Wageningen, Netherlands.

Mackie, R.I. and Bryant, M.P. (1981). Metabolic activity of fatty acid-oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butyrate and CO₂ to methanogenesis in cattle waste at 40 and 60°C. *Applied Environmental Microbiology*, 41:6, 1363-1373.

McInernay, M.J., Bryant, M.P., Hespell, R.B. and Costerton, J.W. (1981). *Syntrophomonas wolfei*, gen. nov. sp. nov., an anaerobic syntrophic, fatty acidoxidizing bacterium. *Applied Environmental Microbiology*, 41:4, 1029-1039.

Pfiel, K. (2006). Owner of the Biogas Production Plant Rohkraft at Reidling, Austria. <http://rohrkraft.net>

Poletti, A., Poletti, L. and Berna, F., (1996). Bioconversion of sorghum: biogas. In *Proceedings of 1st European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, pp. 111. Toulouse, France.

reNet: Renewable Energy Network, Austria (2006). The Reidling Biogas Plant. Austrian Government. <http://www.renet.at/>

Rieker, C. and Sommer, K. (1999). Optimization methods in the anaerobic digestion of organic residues of the agro industry. In *Proceedings of 2nd International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*, vol.2, pp. 156-159. Barcelona, Spain.

Silvey, P., Pullammanappallil, P.C. Blackall, L. and Nichols, P. (2000). Microbial ecology of the leach bed anaerobic digestion of unsorted municipal solid waste. *Water Science and Technology*, 41:3, 9-16.

Smith, E.J. (1997). *Biotechnology*. Edition 3rd. Cambridge University press. 246 pp.

Stewart, D. (1980). Energy crops to methane. In Proceedings of First International Symposium on Anaerobic Digestion. Edited by D.A. Stafford, B.I. Wheatley and D.E. Hughes. London: Applied Science.

Tare, V., Ahakke, M. and Jawed, M. (1997). Biomethanation in domestic and industrial waste treatment - an Indian scenario. In Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion. vol.2, pp. 255-262. Sendai, Japan.

Toerien, D.F. and Hattingh, W.H.J. (1969). Anaerobic digestion: I. The microbiology of anaerobic digestion. Water Research, 3, 385-416.

Trulsson, S.G. (1998). The use of the anaerobic process to treat strong industrial effluents and utilize wastes to produce energy. In Proceedings of 4th International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, pp. 221. Istanbul, Turkey.

WEC: World Energy Council (1994). New Renewable Energy Resources: a Guide to the Future. London: Kogan Page Limited.

WEC: World Energy Council (1998). Survey of Energy Resources. Edition 18th. London: WEC.

Wheeler, P. (2001). Commercial and strategic perspectives for anaerobic digestion. In International Directory of Solid Waste Management 2000-01. London: James & James.

World Resources 1996-97. A guide to the global environment: the urban environment. pp. 273-294. Edited by L. Roberts. New York: Oxford University Press. Zinder, S.H. and Koch, M. (1984). Non-aceticlastic methanogenesis from acetate: acetate oxidation by a thermophilic syntrophic coculture. Archival Microbiology, 138:33, 263-272.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Agapitidis I. and Zafiris C. (2006). 'Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives'. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.

Zafiris, C., Boukis, I., Choudalis, P., Chatziathanassiou, A., Nielsen, J.B. Holm., Baadstorp, L., Karamanlis, X., Kamarianos, A., Kyriakis, S and M. Zournas (2000). 'Greek Biogas Production from Pig Manure and Co-Digestions'. In Proc. ALTENER 2000 Conference. Toulouse, France, 23-25 October 2000 – 2001 ETA – Florence ISBN 88-900442-1-7. 407-410 pp.

Zafiris, C., Boukis, I., Choudalis, P., Chatziathanassiou, A., Nielsen, J.B. Holm., Baadstorp, L., Karamanlis, X., Kamarianos, A., Kyriakis, S and M. Zournas (2002). 'Greek Biogas Production from Pig Manure and Co-Digestions'. In Proc. Of 12th European Conference on Biomass for Energy Industry and Climate Protection Ed Palz et al. ETA-Florence and WIP-Munich. 330-333 pp.

Zafiris, C.; Hjort-Gregersen, K.; Mϋller, H.B.; Sommer, S.G.; Birkmose, T. Nielsen, L.H., PROBIOGAS. Final assessment report. Assessment of a centralized co-digestion plant hypothetically sited in Sparta, Laconia Peloponese, Greece (2007) 48 p.

Chatziathanassiou A. and Boukis I, 2000. Constraints and strategy for the development of Anaerobic Digestion in livestock farming in Greece. Poster viewing in the 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000 in Seville.

Boukis I. and Chatziathanassiou A., 2000. State of biogas production, energy exploitation schemes and incentives in Greece. Poster viewing in the 1s World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000 in Seville.

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

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

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

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

Περιβάλλον και Γεωργο – Βιομηχανικά Απόβλητα (Αναθεωρημένη έκδοση), Δημήτρη Γεωργακάκη, καθηγητής Γ.Π.Α.

Αγγελάκης Α., Tchobanoglou G. (2003). Υγρά απόβλητα. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης .

Αγγελάκης Α., Τσαγκαράκης Κ., Δεσποτάκης Β. Παπαδογιαννάκης Ν. (2006). Καταγραφή και χαρτογράφηση έργων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε/Ινστιτούτο Ηρακλείου. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Τεχνική έκθεση.

Αγγελάκης Α. (2004). Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων. Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Ε.Δ.Ε.Υ.Α.).

Βαγενάς Δημήτριος (2003). Διαχείριση αποβλήτων. Αγρίνιο. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Γεντεκάκης, Ι.Β. (1999). Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές Τεχνολογίες. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα. 414 pp.

Μάλλιου Μαρία (2006). Ποιοτικά χαρακτηριστικά ιλύος από εγκαταστάσεις λυμάτων του ελλαδικού χώρου. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Μαρκαντωνάτος Γρηγόρης (1990). Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Αθήνα. Εκδόσεις Μαρκαντωνάτου.

Στάμου Α. Ι (2003). Βιολογικό καθαρισμός αστικών αποβλήτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Στασιανάκης Α. Σ. (2003). Εισαγωγή στη περιβαλλοντική μηχανική. Μυτιλήνη. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Εργασίες με Σχετικά θέματα (ενδεικτικά)

- “Διερεύνηση των δυνατοτήτων διείσδυσης συστημάτων συμπαραγωγής σε κτίρια.”

(<http://vivliothmmy.ee.auth.gr/332/1/%CE%94-%CE%99-%CE%A0-%CE%9B-%CE%A9-%CE%9C-%CE%91-%CE%A4-%CE%99-%CE%9A-%CE%97.pdf>) (Πρόσβαση στις 06/11/2010).

- “Συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων για Παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας’

(http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/ptyxiaki_ergasia_diaxeirisi_aporrimatwn_paragwgi.pdf) (Πρόσβαση στις 29/10/2010).

- Συμπαραγωγή θερμικής - ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Θεσσαλονίκης.

(http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_kabouridis.pdf) (Πρόσβαση στις 29/10/2010).

- Αξιολόγηση κόστους μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

(http://library.tee.gr/digital/m2093/m2093_gratziou.pdf) (Πρόσβαση στις 22/09/2010).

- Εφαρμογές, Χαρτογράφηση και Πιθανοτική Προσομοίωση των Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT20080129/D2008-0129.pdf) (Πρόσβαση στις 25/10/2010)

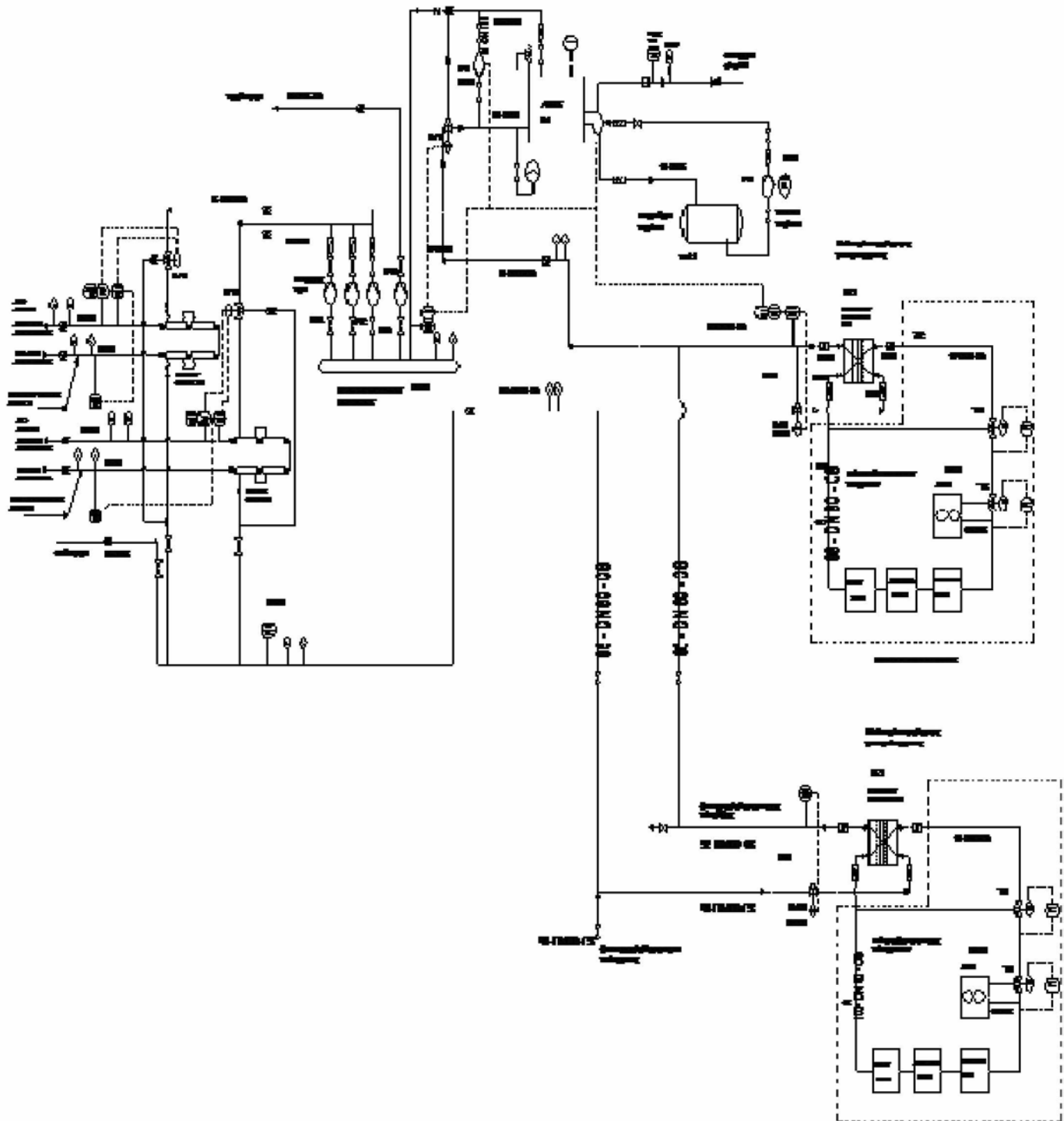
Επιστημονικά άρθρα από την ιστοσελίδα: www.sciencedirect.com

(ενδεικτικά):

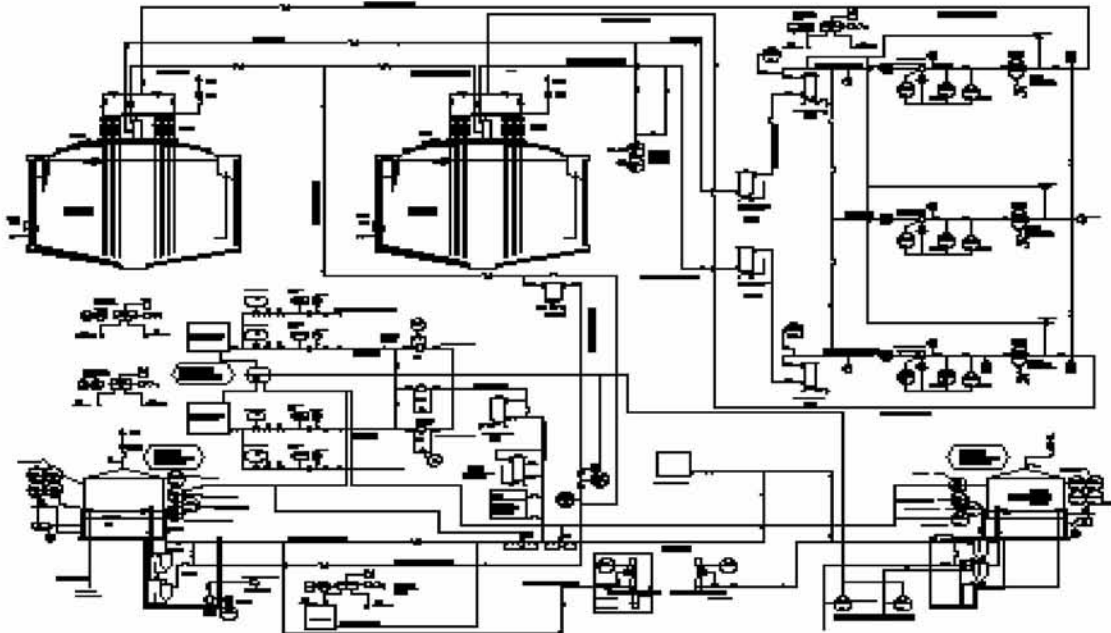
- Biomass-integrated gasification fuel cell systems – Part 2: Economic analysis (Florian P. Nagela, Tilman J. Schildhauera*, Nathalie McCaugheyb, Serge M.A. Biollaza)
- Energy balance model of a SOFC cogenerator operated with biogas (Jan Van herle*, F. Marechal, S. Leuenberger, D. Favrat).
- Energy production from the pyrolysis of waste biomasses (Selhan Karagoz, Chemistry Program, Izmir Vocational School, Dokuz Eylul University, 35160 Buca, Izmir, Turkey).
- High temperature solid oxide fuel cell integrated with novel allothermal biomass gasification Part I: Modelling and feasibility study (K.D. Panopoulos a, L.E. Fryda a, J. Karl b, S. Poulou c, E. Kakaras).
- Mathematical modeling for the prediction of biogas generation characteristics of an anaerobic digester based on food/vegetable residues (J. Biswas, R. Chowdhury, P. Bhattacharya)
- Modelling of a downdraft biomass gasifier with finite rate kinetics in the reduction zone (Prokash C. Roy¹, Amitava Datta², and Niladri Chakraborty²).
- Production of syngas from biomass
G. Maschio *Dipartimento di Chimica Industriale, Università di Messina, Salita Sperone 31, CP 29-98166 S. Agata di Messina, Italy* (A. Lucchesi & G. Stoppato)

Παράρτημα 1. Διαγράμματα και πίνακες

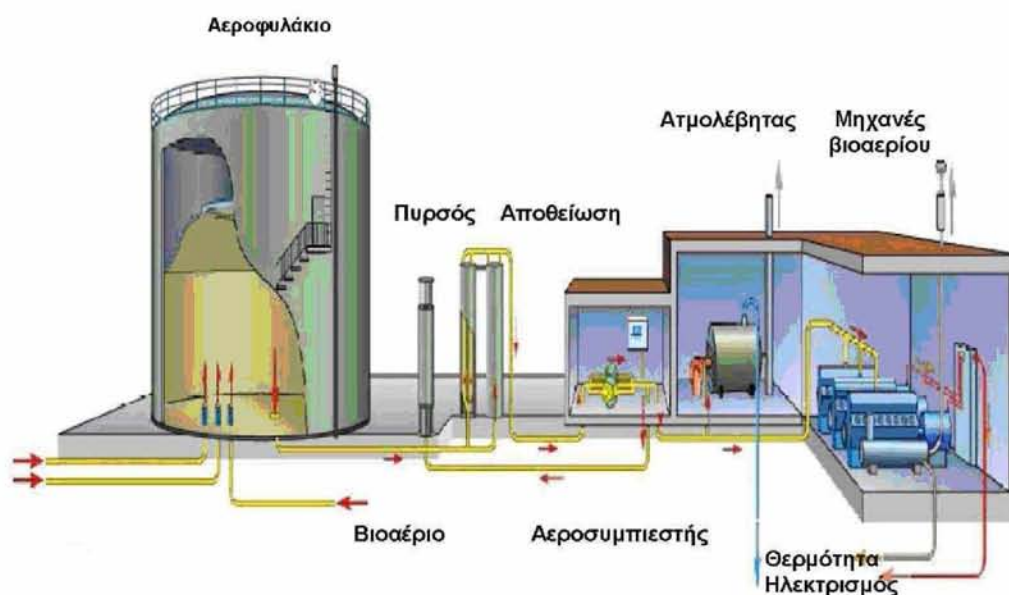
Διάγραμμα 1: Απεικόνιση της διαδρομής του παραγόμενου βιοαερίου προς τις μηχανές εσωτερικής καύσης



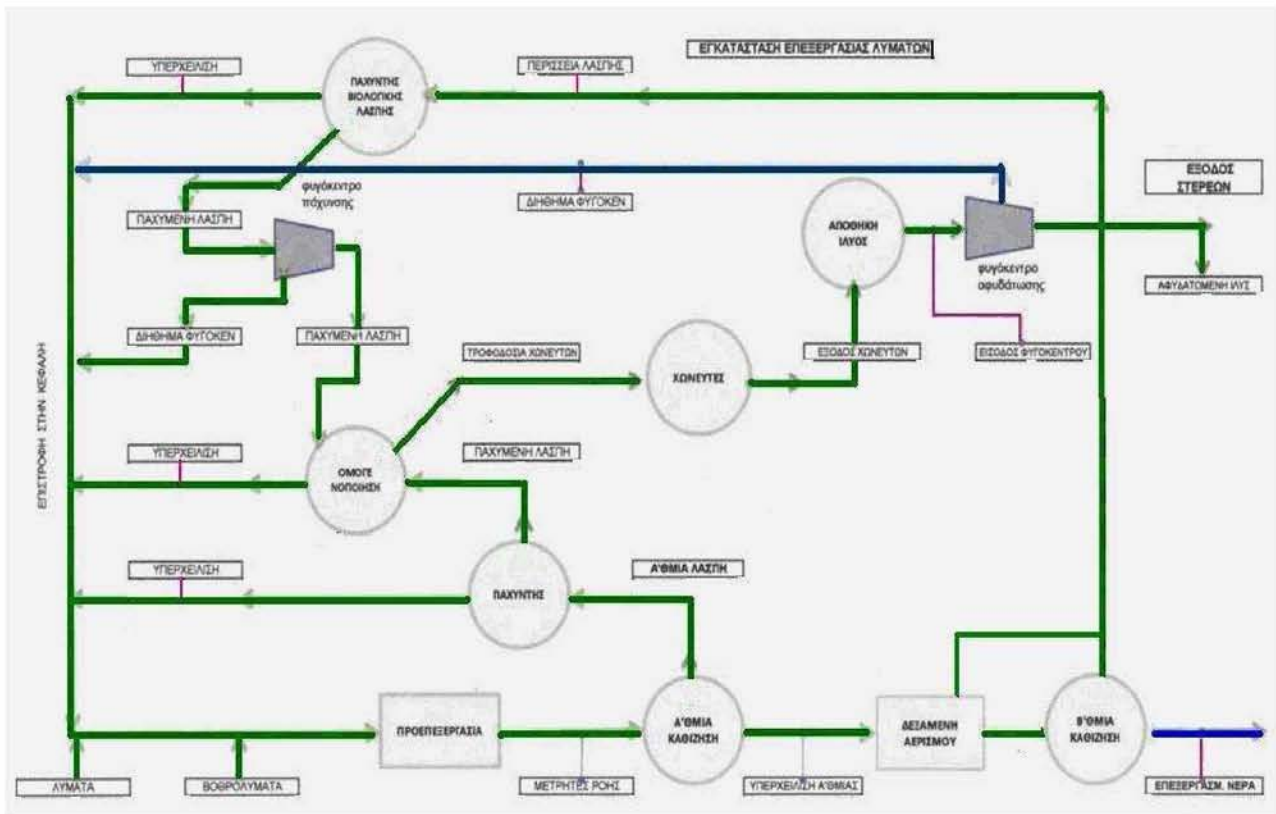
Διάγραμμα2: Απεικόνιση της διαδρομής του παραγόμενου βιοαερίου κατά την έξοδό τους από τους χωνευτές.



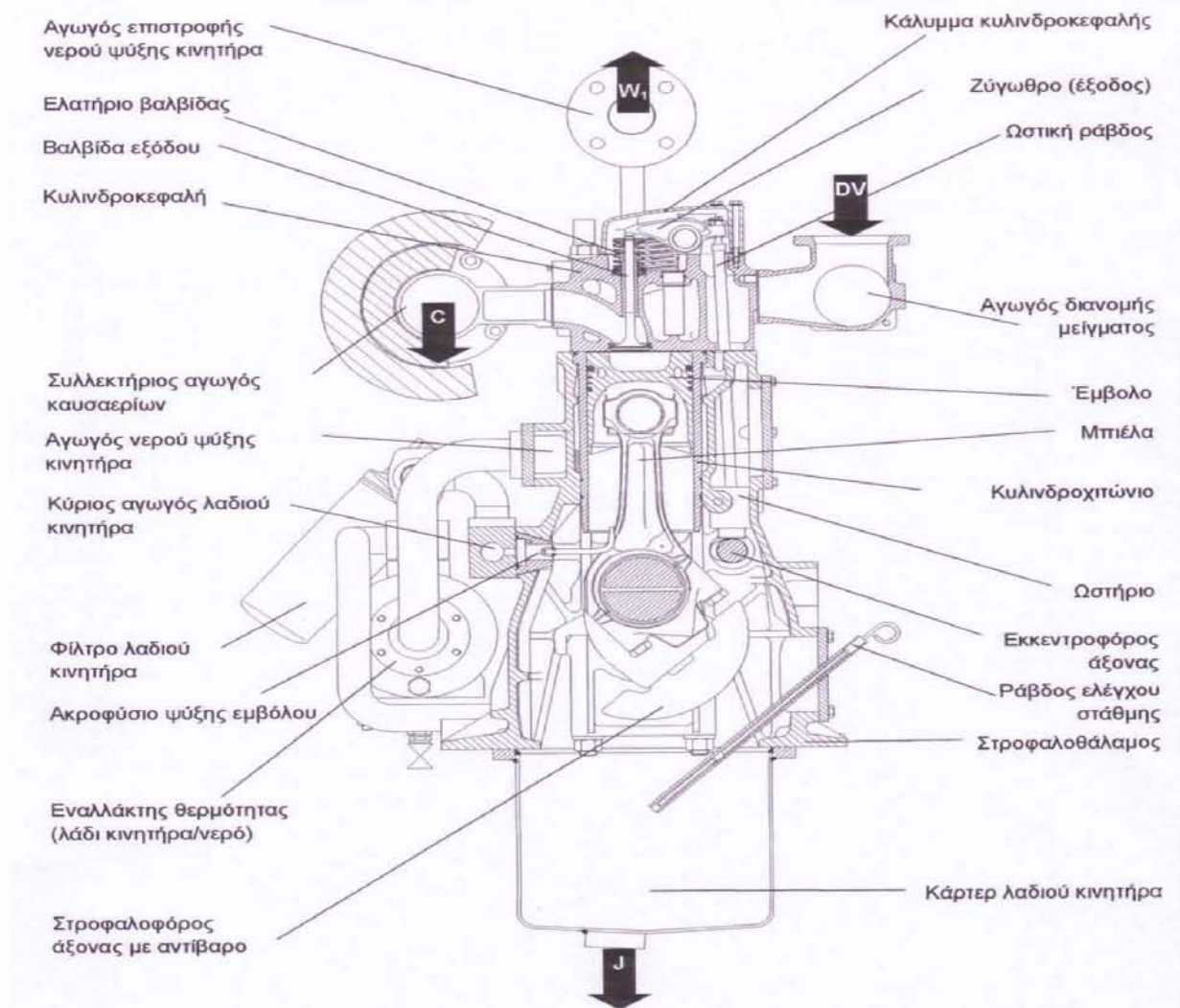
Διάγραμμα 3: Σκαρίφημα ροής βιοαερίου από το αεροφυλάκιο προς τις μηχανές βιοαερίου ΕΕΛ Λόρισας



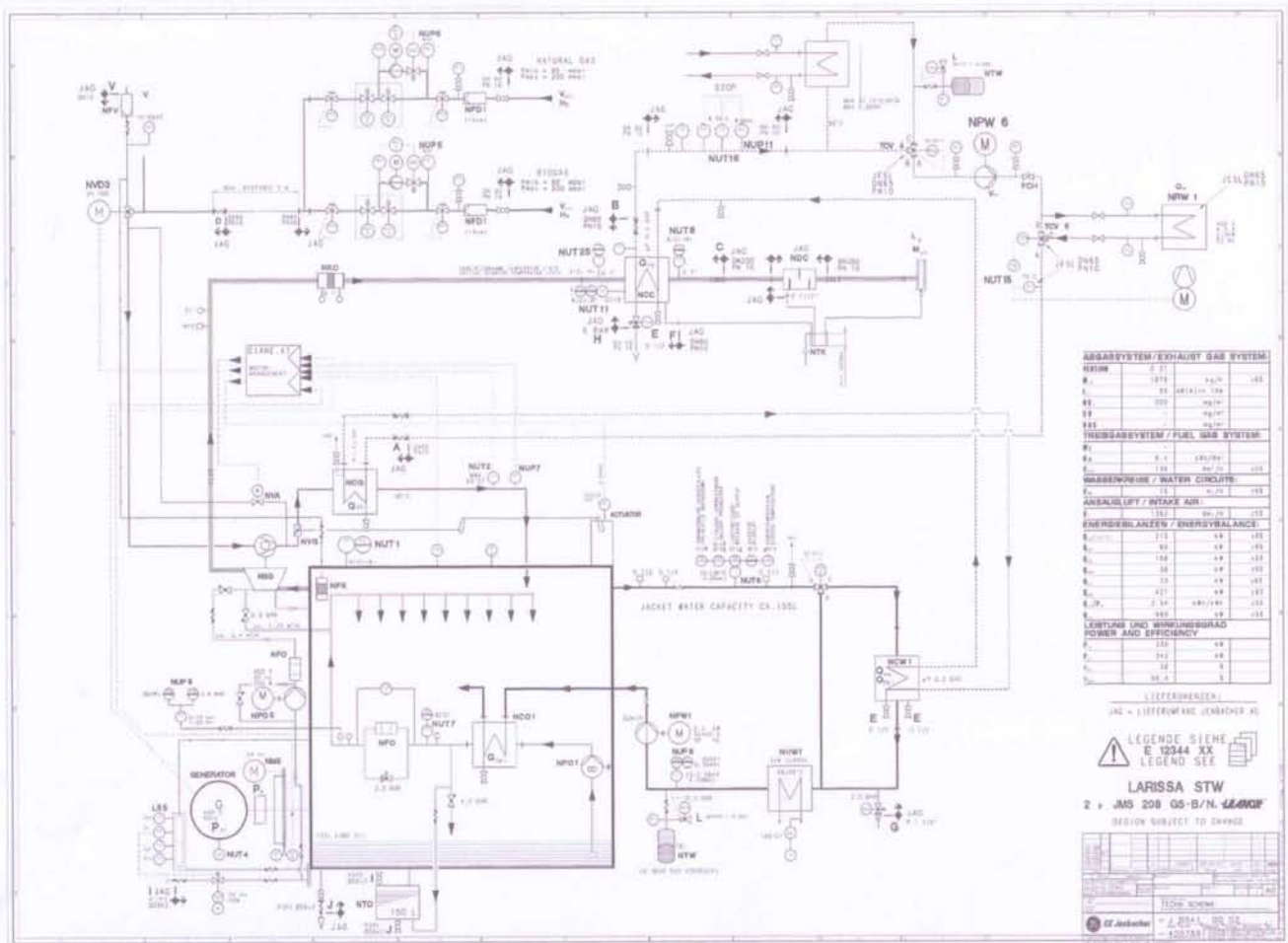
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ροής βιολογικού καθαρισμού Λάρισας



Διάγραμμα 5: Κάθετη τομή μηχανής παραγωγής ηλεκτρισμού από βιοαέριο.



Διάγραμμα 6: Μηχανολογικό σχέδιο μηχανής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο



Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός Πίνακας Ιδιοτήτων των συστατικών του αέρα

Για τον Αέρα		Συγκεντρωτικός Πίνακας Ιδιοτήτων των συστατικών							
Συστατικό	Σύσταση	M.B	H ⁺	S ⁺	a	b	c	d	h ₀
N ₂	0,7748	28,013	-9,982	16,203	30,418	2,544	-0,238	0	0
O ₂	0,2059	31,999	-9,589	36,116	29,154	6,477	-0,184	-1,01700	0
CO ₂	0,0003	44,01	-413,886	-87,078	51,128	4,368	-1,469	0	-393.521
H ₂ O(g)	0,0190	18,015	-253,871	-11,75	34,376	7,841	-0,423	0	-241.856
H ₂ O(l)		18,015	-289,932	-67,147	20,355	109,198	2,033	0	-285.829
CH ₄		16,043	-81,242	96,731	11,933	77,647	0,142	-18,414	-74.872
Σύνολο	1		-14,6561	19,741	30,2392	3,45499	-0,2307	-0,2094	

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός Πίνακας Ιδιοτήτων των συστατικών του αέρα

Σύσταση Βιοαερίου		Συγκεντρωτικός Πίνακας Ιδιοτήτων των συστατικών							
Συστατικό	Σύσταση	M.B	H ⁺	S ⁺	a	b	c	d	h ₀
N ₂	0,0020	28,013	-9,982	16,203	30,418	2,544	-0,238	0	0
H ₂ S	0,0020	34,076	-32,887	1,142	49,936	10,686	-0,448	0	-20.501
CO ₂	0,3200	44,010	-413,88	-87,078	51,128	4,368	-1,469	0	-393.521
H ₂	0,0020	2,016	-7,823	-22,966	26,882	3,586	0,105	0	0
CH ₄	0,6740	16,043	-81,242	96,731	11,933	77,64700	-18,414	0	-74.872
Συνολικά	1	24,9883	-187,39	37,511	24,542	53,899	-0,230	0	-488.894

Παράρτημα 2. Γλωσσάριο

Γλωσσάριο

Αέριο φαινόμενον του θερμοκηπίου (ΑΦΘ): Αέρια που παγιδεύουν τη θερμότητα του ήλιου στη γήινη ατμόσφαιρα, δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα δύο κύρια αέρια του θερμοκηπίου είναι ο υδρατμός και το διοξείδιο του άνθρακα. Άλλα αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν το μεθάνιο, το όζον, τους χλωροφλωράνθρακες και το οξείδιο του νατρίου.

Αεριοποίηση: Η διεργασία στην οποία ένα στερεό καύσιμο μετατρέπεται σε ένα αέριο, επίσης γνωστή ως πυρολυτική απόσταξη ή πυρόλυση.

Αεριοστρόβιλος(συν. Στρόβιλος καύσης): Ένας στρόβιλος που μετατρέπει την ενέργεια των θερμών συμπιεσμένων αερίων (που παράγονται με την καύση του καυσίμου με συμπιεσμένο αέρα) σε μηχανική ισχύ. Τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα είναι συνήθως φυσικό αέριο ή πετρέλαιο.

Αναερόβια βακτήρια: Μικροοργανισμοί που ζουν και αναπαράγονται σε ένα περιβάλλον που δεν περιέχει καθόλου «ελεύθερο» ή διαλυμένο οξυγόνο. Χρησιμοποιούνται για την αναερόβια χώνευση.

Αναερόβια χώνευση(συν. πέψη, ζύμωση): Η μικροβιολογική διεργασία της αποσύνθεσης οργανικής ουσίας, σε συνθήκες πλήρους έλλειψης οξυγόνου, που πραγματοποιείται από τις συντονισμένες ενέργειες ενός ευρέως φάσματος μικροοργανισμών. Η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) έχει δύο κύρια τελικά προϊόντα: βιοαέριο(ένα αέριο που αποτελείται από ένα μίγμα μεθανίου (70%), διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων και ιχνοστοιχείων) και κομπόστ (το χωνευμένο υπόστρωμα). Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα και εφαρμόζεται σήμερα για να παραχθεί βιοαέριο σε αεροστεγείς αντιδραστήρες, που κοινώς ονομάζονται χωνευτήρες.

Αποδοτικότητα της μεταφοράς θερμότητας: Ο λόγος της ωφέλιμης εκλυόμενης θερμότητας προς την πραγματική θερμότητα η οποία παράγεται στον φλογοθάλαμο.

Αστικά Στερεά Απόβλητα(ΑΣΑ): Όλα τα είδη των στερεών αποβλήτων που παράγονται από μία κοινότητα (νοικοκυριά και εμπορικοί οίκοι), που συνήθως συλλέγονται από οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης.

Βάση: Παραδοσιακά θεωρείται οποιαδήποτε χημική ένωση που, όταν διαλύεται στο ύδωρ, δίνει ένα διάλυμα με ένα pH μεγαλύτερο από 7,0.

Bat (W):Μια πρότυπη μονάδα μέτρησης (σύστημα SI) για τον ρυθμό με τον οποίο καταναλώνεται η ενέργεια από τον εξοπλισμό ή τον ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια κινείται από μία θέση προς μία άλλη. Είναι επίσης η πρότυπη μονάδα μέτρησης για την ηλεκτρική ισχύ. Ο όρος “kW” αντιστοιχεί στα “kilowatt” ή 1.000 Watt. Ο όρος “MW” αντιστοιχεί στα “Megawatt” ή 1.000.000 Watt.

Βιοαέριο: Ένα καύσιμο αέριο που προήλθε από την αποσύνθεση βιολογικών αποβλήτων υπό αναερόβιες συνθήκες. Το βιοαέριο αποτελείται κανονικά από 50-60% μεθάνιο.

Βιοαντιδραστήρας (συν. χωνευτήρας):Συσκευή για τη βελτιστοποίηση της χώνευσης της βιομάζας ή/και της ζωικής κοπριάς, και ενδεχομένως για την ανάκτηση του βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας.

Βιοενέργεια(συν. Ενέργεια βιομάζας): Ωφέλιμη, ανανεώσιμη ενέργεια παραγόμενη από οργανική ουσία. Η μετατροπή των σύνθετων υδατανθράκων της οργανικής ουσίας σε ενέργεια. Η οργανική ουσία μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως καύσιμο είτε να μετατραπεί σε υγρά και αέρια.

Βιολογική ζήτηση οξυγόνου(BOD): Χημική διαδικασία για τον καθορισμό του πόσο γρήγορα οι βιολογικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο μέσα σε ένα υδάτινο σώμα.

Βιοχημική μετατροπή: Η χρήση της αναερόβιας ή της αερόβιας χώνευσης για την παραγωγή καυσίμων και χημικών ουσιών από οργανικές πηγές.

Βολτ (V): Μια μονάδα της ηλεκτρικής πίεσης καθώς μετράει τη δύναμη ή την ώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα βολτ αντιπροσωπεύουν πίεση, αντίστοιχη της πίεσης του ύδατος σε έναν σωλήνα. Ένα βολτ είναι η μονάδα της ηλεκτρεγερτικής δύναμης ή της ηλεκτρικής πίεσης ανάλογης με την πίεση του ύδατος σε λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα. Είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη που εάν εφαρμοσθεί σταθερά σε ένα κύκλωμα που έχει μια αντίσταση ενός ohm θα παράγει ένα ρεύμα έντασης ενός αμπέρ.

Γιγαβάτ (GW): Ένα μέτρο του ηλεκτρικού δυναμικού ίσο με 1 δισεκατομμύριο βάτ ή 1 εκατομμύριο κιλοβάτ.

Δυναμικότητα: Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράγει μία μηχανή ή ένα σύστημα με ασφάλεια. Η μέγιστη στιγμιαία παραγωγή ενός πόρου υπό καθορισμένες συνθήκες. Η δυναμικότητα του παραγωγικού εξοπλισμού εκφράζεται γενικά σε κιλοβάτ ή μεγαβάτ.

Εγκατάσταση: Μία διάταξη που περιέχει κινητήριες μηχανές, ηλεκτρογεννήτριες, καιάλλο εξοπλισμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εκπομπές: Καπνοί ή αέρια που βγαίνουν από τις καπνοδόχους και τις εξατμίσεις, διαρρέουν μέσα από τα εργοστάσια ή εισάγονται στην ατμόσφαιρα απευθείας από τις φλόγες των πετρελαιοπηγών, τις απορρίψεις των σκουπιδιών, τη σηπόμενη βλάστηση και τα αποσυντιθέμενα δέντρα και άλλες πηγές. Περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και οξείδιο του νατρίου, τα οποία προκαλούν το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου φαινομένου του θερμοκηπίου.

Εναλλάκτης θερμότητας: Μια συσκευή που κατασκευάζεται για την αποδοτική μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό σε ένα άλλο, είτε τα ρευστά χωρίζονται από

ένα στερεό τοίχωμα έτσι ώστε να μην αναμιγνύονται ποτέ, ή τα ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή.

Ενεργειακή ισορροπία: Ποσοτικοποιεί την ενέργεια που χρησιμοποιείται και που παράγεται κατά τη διεργασία.

Θερμογόνο ικανότητα: Το μέγιστο ποσό ενέργειας που είναι διαθέσιμο από την καύση μιας ουσίας.

Θερμότητα διεργασίας: Η θερμότητα που χρησιμοποιείται σε μια βιομηχανική διεργασία αντί για τη θέρμανση χώρων ή για άλλους λόγους οικιακής οικονομίας.

Θερμόφιλη χώνευση: Αναερόβια χώνευση που πραγματοποιείται βέλτιστα γύρω στους 50°-52°C αλλά και σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες μέχρι τους 70°C, όπου τα θερμοφύλα είναι οι κύριοι παρόντες μικροοργανισμοί (βακτηρίδια).

Ισχύς: Η ποσότητα του έργου που παράγεται ή της ενέργειας που μεταφέρεται ανά μονάδα του χρόνου.

Κιλοβάτ (kW): Ένα μέτρο της ηλεκτρικής ισχύος ίσο με 1.000 βατ. 1 Κιλοβάτ = 3.413Btu/hr = 1,341 HP.

Κιλοβατώρα (kWh): Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης που εκφράζει το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται με το χρόνο. Σημαίνει ένα κιλοβάτ ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται για μία ώρα.

Κομπόστ: (συν. υπολείμματα ΑΧ, χωνευμένη βιομάζα, χωνευμένος πολτός) Οι επεξεργασμένες χωνευμένες απορροές από τη διεργασία της ΑΧ.

Λυματολάσπη: Βιο-στερεά που διαχωρίζονται από τα υγρά κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Μπορεί να περιέχουν μέχρι και 97% νερό κατ' όγκο.

Μεθάνιο (CH₄): Ένα εύφλεκτο, εκρηκτικό, άχρωμο, άοσμο, άγευστο αέριο που είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και διαλυτό στην αλκοόλη και στον αέρα. Βράζει στους -161,6°C και παγώνει στους -182,5°C. Διαμορφώνεται στα έλη και τους

βάλτους από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών και κάτω από το έδαφος αποτελεί ένα σημαντικό κίνδυνο έκρηξης. Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό (μέχρι 97%) του φυσικού αερίου, και χρησιμοποιείται ως πηγή των πετροχημικών και ως καύσιμο.

Μεσόφιλη χώνευση: Πραγματοποιείται ιδανικά γύρω στους 37°-41°C ή σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεταξύ 20° και 45°C όπου τα μεσόφυλα είναι οι κύριοι παράγοντες μικροοργανισμοί.

Ορυκτά καύσιμα: Στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα που διαμορφώνονται στο έδαφος μετά από εκατομμύρια έτη από χημικές και φυσικές αλλαγές στα υπολείμματα φυτών και ζώων κάτω από υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Το ακατέργαστο πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας είναι ορυκτά καύσιμα.

pH: Μια έκφραση της έντασης του αλκαλικού ή όξινου σθένους του ύδατος. Οι τιμές κυμαίνονται από 0-14, όπου 0 είναι το πιο όξινο, 14 είναι το περισσότερο αλκαλικό, και με 7 είναι ουδέτερο.

Πίεση λειτουργίας: Πίεση του συστήματος του αερίου ή του χωνευτήρα κατά την κανονική λειτουργία.

Πρώτη ύλη βιομάζας: Οργανική ουσία διαθέσιμη σε ανανεώσιμη βάση. Η βιομάζα περιλαμβάνει τα υπολείμματα δασών και προιονιστηρίων, τις γεωργικές συγκομιδές και απόβλητα, το ξύλο και τα ξυλώδη απόβλητα, τα ζωικά απόβλητα, τα υπολείμματα της λειτουργίας εκτροφείων ζώων, τα υδρόβια φυτά, τα ταχέως αναπτυσσόμενα δέντρα και φυτά και τα δημοτικά και βιομηχανικά απόβλητα.

Πρώτη ύλη: Οποιοδήποτε υλικό που μετατρέπεται σε μια άλλη μορφή ή προϊόν.

Πτητικά στερεά (VS): Εκείνα τα στερεά στο ύδωρ ή σε άλλα υγρά που χάνονται με την ανάφλεξη των ξηρών στερεών στους 550 βαθμούς Κελσίου.

Στρόβιλος: Μια μηχανή για την μετατροπή της θερμικής ενέργειας του ατμού ή αερίου υψηλής θερμοκρασίας σε μηχανική ενέργεια. Σε έναν στρόβιλο, μία ροή

υψηλής ταχύτητας του ατμού ή αερίου διέρχεται μέσω διαδοχικών σειρών των ακτινικών πτερυγίων τα οποία είναι στερεωμένα σε έναν κεντρικό άξονα.

Συμπαραγωγή: Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας(ΣΗΘ) (συν. συμπαραγωγή):

Η διαδοχική παραγωγή ηλεκτρισμού και ωφέλιμης θερμικής ενέργειας από μια κοινή πηγή καυσίμου. Η απορριπτόμενη από τις βιομηχανικές διεργασίες θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρογεννήτρια (σύστημα κάτω κύκλου). Αντιθέτως, η πλεονάζουσα θερμότητα από μία εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικές διεργασίες, ή για τηλεθέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (σύστημα άνω κύκλου).

Τζάουλ (J): Μετρική μονάδα της ενέργειας, ισοδύναμη με το έργο που παράγεται από μία δύναμη ενός Newton που εφαρμόζεται σε μια απόσταση ενός μέτρου (= 1 kgm²/s²). Ένα Τζάουλ (J) = 0,239 θερμίδες (1 θερμίδα = 4,187 J).

Παράρτημα 3: Σύμβολα & Μονάδες μετατροπής

Σύμβολα

\dot{E}^{CH}	Χημική εξέργεια (kW)
E	Καταστροφή εξέργειας (kW)
\dot{E}^{PH}	Φυσική εξέργεια (kW)
ech	Ειδική χημική εξέργεια (kJ/kmol)
λ	Λόγος καυσίμου/αέρα
LHV	Θερμογόνος δύναμη καυσίμου (kJ/kmol)
\dot{m}	Μαζική παροχή (kg/s)

\dot{n}	Μαζική παροχή (kmol/s)
MB	Μοριακό βάρος
C_p	Ειδική θερμοχωρητικότητα (kJ/KgK)
\bar{h}	Ειδική ενθαλπία (kJ/kmol)
\bar{s}	Ειδική εντροπία (kJ/kmol K)
R	Παγκόσμια σταθερά αερίων = 8314 J/kmolK
P	Πίεση (bar)
P_o	Πίεση κορεσμού (bar)
T	Θερμοκρασία (K)
x	Σύσταση
ϵ	Εξεργειακός βαθμός απόδοσης

Μονάδες μετατροπής

Kilowatt (kW) = 1.000 Watts

Megawatt (MW) = 1.000 kW

Gigawatt (GW) = 1 million kW

Terawatt (TW) = 1 thousand million kW

1 Joule (J) = 1 Watt second = 278×10^{-6} Wh

1Wh = 3.600 J

1 cal = 4,18 J

1 British Thermal Unit (BTU) = 1.055 J

1 cubic meter (m³) = 1.000 liter (L)

1 bar = 100.000 pascal (Pa)

1 millibar = 100 Pa

1 psi = 6.894,76 Pa