

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία:

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΛΥΜΑΤΟΛΑΣΠΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ
ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ**

Φοιτητές:

ΔΗΜΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ, 1391

ΣΚΑΛΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, 1442

Επιβλέπων Καθηγητής: ΜΑΡΝΕΛΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2017

Ευχαριστίες

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κ. Γεώργιο Μαρνέλλο, Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Κοζάνης για τις πολύτιμες πληροφορίες που μας παρείχαν σχετικά με την μονάδα βιολογικού καθαρισμού, χωρίς τις οποίες δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της εν λόγω εργασίας.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας καθώς και τους κοντινούς μας ανθρώπους για την υποστήριξή τους καθ' όλο το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μας εργασίας.

Περιεχόμενα	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Απόβλητα – Προβλήματα.....	9
1.2 Τι είναι μία Ε.Ε.Λ.	9
1.3 Επεξεργασία λυματολάσπης – στόχοι	11
1.4 Αναερόβια χώνευση.....	11
1.5 Σκοπός Διπλωματικής.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.....	13
2.1 Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	13
2.1.1 Αγωγιμότητα.....	13
2.1.2 Αλκαλικότητα	13
2.1.3 Απορρόφηση-Εκπομπή.....	14
2.1.4 Θερμοκρασία	14
2.1.5 Οσμή	15
2.1.6 Χρώμα.....	16
2.1.7 Πυκνότητα	16
2.1.8 Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά	16
2.2 Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	17
2.2.1 BOD.....	17
2.2.2 COD.....	19
2.2.3 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC).....	19
2.2.4 Συσχετίσεις BOD, COD ΚΑΙ TOC	20
2.2.5 Έλαια και λίπη	21
2.2.6 Στερεά	22
2.2.7 Οργανικά συστατικά N & P.....	22
2.3. Βιολογικά Χαρακτηριστικά	24
2.3.1 Παθογόνοι οργανισμοί.....	25
2.3.2 Βιωσιμότητα παθογόνων οργανισμών.....	26
2.4 Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	27
2.4.1 Προεπεξεργασία.....	28
2.4.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία	30

2.4.2.1 Εξουδετέρωση.....	30
2.4.2.2 Καθίζηση.....	31
2.4.2.3 Κροκίδωση – Συσσωμάτωση.....	32
2.4.2.4 Επίπλευση	33
2.4.3 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία.....	34
2.4.3.1 Απομάκρυνση φωσφόρου.....	34
2.4.3.2 Απομάκρυνση Αζώτου.....	37
2.4.3.3 Μέθοδος ενεργού ιλύος	39
2.4.3.4 Αερισμός.....	39
2.4.3.5 Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης	40
2.4.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία	40
2.4.4.1 Απολύμανση	40
2.4.4.2 Προσρόφηση.....	41
2.4.4.3 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	42
2.4.4.4 Αφυδάτωση ιλύος	43
2.4.4.5 Πάχυνση ιλύος.....	44
2.5 Διαχείριση παραγόμενης ιλύος.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ.....	44
3.1 Υφιστάμενη κατάσταση – ποιότητα εκροής.....	44
3.2 Βασική σύνθεση επεξεργασίας.....	45
3.2.1 Προεπεξεργασία.....	45
3.2.2 Υδροηλεκτρικό έργο.....	46
3.2.3 Εγκατάσταση τριτοβάθμιας επεξεργασίας.....	46
3.2.4 Επεξεργασία λάσπης.....	47
3.2.5 Βοηθητικά κτίρια	47
3.2.6 Αξιοποίηση επεξεργασμένων εκροών - βιολογικής λάσπης	47
3.3 Τεχνική περιγραφή εγκατάστασης.....	48
3.4 Αναλυτική περιγραφή επιμέρους μονάδων	53
3.4.1 Προεπεξεργασία.....	53
3.4.2 Τριτοβάθμια επεξεργασία	55
3.4.3 Μονάδες απολύμανσης υπερίωδους ακτινοβολίας.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ.....	66
4.1 Μικροβιολογία αναερόβιας χώνευσης.....	66

4.1.1	Είδη βακτηρίων στην αναερόβια χώνευση	68
4.1.2	Μικροβιολογία της μεθαγόνου φάσης	69
4.2	Βασικά στάδια της αναερόβιας επεξεργασίας	70
4.2.1	Υδρόλυση.....	70
4.2.2	Ζύμωση και αναερόβια οξείδωση.....	71
4.2.3	Μεθανογένεση	71
4.3	Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση	72
4.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης	73
4.4.1	Πλεονεκτήματα και οφέλη.....	73
4.4.2	Μειονεκτήματα	74
4.5	Εύρος πρώτων υλών για την αναερόβια χώνευση	75
4.6	Μέθοδοι και συστήματα αναερόβιας χώνευσης	76
4.6.1	Θερμοκρασία	77
4.6.2	Συγκέντρωση στερεών	77
4.6.3	Συστήματα ανάδευσης	78
4.6.4	Αριθμός σταδίων.....	79
4.6.4.1	Σύστημα αναερόβιας χώνευσης ενός αντιδραστήρα	80
4.6.4.2	Σύστημα δύο σταδίων	80
4.7	Κατηγορίες αναερόβιων αντιδραστήρων.....	81
4.7.1	Σταθερής κλίνης (αναερόβιο φίλτρο)	83
4.7.2	Διευσταλμένης και ρευστοποιημένης κλίνης	84
4.7.3	Ανοδικής ροής μέσω στρωμάτων ιλύος.....	85
4.7.4	Αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες	86
4.7.5	Αντιδραστήρες εμβολικής ροής.....	87
4.7.6	Κλίνη με διασταλλάγματα (Leach Bed)	87
4.7.7	αντιδραστήρας πλήρους ανάμειξης (διεργασία επαφής)	88
4.8	Περιγραφή της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης	88
4.9	Σχεδιαστικές παράμετροι της αναερόβιας χώνευσης	89
4.10	Μεθάνιο και βιοαέριο	90
4.10.1	Τρόποι αξιοποίησης βιοαερίου	91
4.11	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναερόβιας χώνευσης	92
4.11.1	Επιπτώσεις στον αέρα.....	93
4.11.2	Επιπτώσεις στα νερά.....	93

4.11.3 Επιπτώσεις στο έδαφος.....	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	94
5.1 Περιγραφή μελέτης εγκατάστασης.....	94
5.2 Υπολογισμός τιμών αναερόβιου χωνευτή και παραγόμενου βιοαερίου.....	94
5.3 Συμπαραγωγή σε κινητήρες εσωτερικής καύσης βιοαερίου	100
5.4 Οικονομικά στοιχεία εγκατάστασης.....	105
5.5 Παραμετρική ανάλυση.....	106
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	112
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	114

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και εκπόνηση μελέτης για την ενεργειακή αξιοποίηση αστικών αποβλήτων από μονάδα βιολογικού καθαρισμού και συγκεκριμένα για τη μονάδα που εδρεύει στην πόλη της Κοζάνης. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης του παραπροϊόντος της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων που ονομάζεται ιλύς ή αλλιώς λυματολάσπη για την παραγωγή βιοαερίου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αρχικά στα πρώτα κεφάλαια έγινε μια παράθεση θεωρητικών εισαγωγικών στοιχείων σχετικά με τις μονάδες βιολογικού καθαρισμού και τα στάδια επεξεργασίας αστικών λυμάτων καθώς και τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά αυτών για την ομαλότερη και ευκολότερη κατανόηση του αντικείμενου του προβλήματος που καλείται να επιλυθεί. Έπειτα παρουσιάστηκε η τεχνική περιγραφή της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων του νομού Κοζάνης και μια ολοκληρωμένη ανάλυση της μεθόδου με την οποία θα γίνει η επεξεργασία της λυματολάσπης η οποία ονομάζεται αναερόβια χώνευση. Για την εφαρμογή της κεντρικής ιδέας, η μελέτη επιλέχθηκε να γίνει στην Κοζάνη, την πόλη που μας φιλοξένησε στα φοιτητικά μας χρόνια. Σύμφωνα με τα δεδομένα που μας παρείχε η Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Κοζάνης η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού ανέρχεται σε 5.840 τόνους ετησίως. Κατόπιν πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί ισοζυγίων μάζας και ενέργειας στον αναερόβιο χωνευτή και στο μετέπειτα στάδιο της αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η ποσότητα του βιοαερίου για αυτό το ποσό των αποβλήτων ανέρχεται σε 3.612.091 m³ ετησίως, στο οποίο περιέχεται 0,0174 mol CH₄ ανά λίτρο. Η παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση του μεθανίου σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται σε 5,65 GWh ετησίως. Τέλος παρουσιάζεται μια τεchnοοικονομική ανάλυση του παραπάνω σχεδίου, αφού γίνεται μια εκτίμηση του συνολικού κόστους της εγκατάστασης, των λειτουργικών εσόδων και εξόδων. Η απόσβεση της εγκατάστασης υπολογίστηκε στα 5,5 έτη.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to design and prepare a study for the energy recovery of urban waste from a biological treatment plant and specifically for the unit located in the prefecture of Kozani. This will be achieved through the process of anaerobic digestion of the by-product of the sewage treatment plant called sludge for the production of biogas, which will be used as a fuel for the production of electrical and thermal energy. Initially, in the first chapters, a quotation of theoretical inputs on biological purification plants and urban waste water treatment stages was made, as well as their physical and chemical characteristics for a smoother and easier understanding of the subject of the problem to be solved. The technical description of the sewage treatment plant in the prefecture of Kozani and a comprehensive analysis of the sludge treatment method, called anaerobic digestion, was presented. For the implementation of the central idea, the study was chosen to be in Kozani, the city that hosted us in our student years. According to the data provided by the Public Water Supply Company of Kozani, the amount of waste produced by the biological treatment unit amounts to 5,840 tons per year. Mass and energy balance calculations were then performed in the anaerobic digester and the later stage of utilization of the biogas produced for the production of electrical and thermal energy. The amount of biogas for this amount of waste amounts to 3,612,091 m³ per year, containing 0.0174 moles of CH₄ per litre. The production of electric and thermal energy is achieved by the use of methane in internal combustion engines. The generated electricity amounts to 5.65 GWh per year. Finally, a techno-economic analysis of the above plan is presented, as an estimate of the total cost of the installation, operating revenues and expenses is made. The depreciation of the plant was estimated at 5.5 years.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Απόβλητα – Προβλήματα

Είναι παγκοσμίως αποδεκτό ότι ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα είναι η μόλυνση και η ρύπανση του περιβάλλοντος, γεγονός που οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η παραγωγή αποβλήτων αυξάνεται συνεχώς με γρήγορους ρυθμούς.

Μερικά από τα απόβλητα που επεξεργάζονται οι μονάδες καθαρισμού είναι οικιακά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από τις διάφορες ατομικές δραστηριότητες όπως είναι το μπάνιο και τα απόνερα τόσο σε οικιακό και ξενοδοχειακό επίπεδο όσο και σε εμπορικό, για παράδειγμα υγρά απόβλητα αεροδρομίων και εμπορικών καταστημάτων.

Το πρόβλημα της υψηλής παραγωγής αποβλήτων αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες περιβαλλοντικής μόλυνσης και απασχολεί ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό επιστημόνων. Η μείωση του όγκου των αποβλήτων καθώς και η αποτελεσματικότερη διαχείρισή τους, είναι στόχοι που θέτονται στα πλαίσια της «πράσινης» διαχείρισης της ανάπτυξης για τη βιωσιμότητα του πλανήτη.

Σήμερα, γίνεται ολοένα και πιο προφανής η ανάγκη εύρεσης λύσεων για την αντιμετώπιση αρνητικής περιβαλλοντικής επίδρασης των αποβαλλόμενων οργανικών αποβλήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα όρια διάθεσής τους να γίνονται ολοένα και πιο αυστηρά, οδηγώντας σε αυξημένες απαιτήσεις στα συστήματα επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Έτσι η επιστημονική κοινότητα, τα τελευταία χρόνια, παρουσίασε αυξημένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών, οι οποίες μαζί με τις πολύ υψηλές αποδόσεις αφαίρεσης ρύπων από τα στερεά απόβλητα μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ μικρές απαιτήσεις χώρου και όγκου.

Η διαχείριση των οργανικών αποβλήτων είναι ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που απασχολούν τις οργανωμένες κοινωνίες αφού ρυπαίνουν το περιβάλλον με επικίνδυνες ουσίες, που εκτός των άλλων είναι επιβλαβείς για την δημόσια υγεία

1.2 Τι είναι μία Ε.Ε.Λ.

Μία Ε.Ε.Λ. (Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων) ή αλλιώς Εγκατάσταση Βιολογικού Καθαρισμού είναι μια εγκατάσταση, η οποία μετατρέπει το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων σε διαφορετικές οργανικές και ανόργανες χημικές ενώσεις.

Η εγκατάσταση αποτελείται από κτίρια, δεξαμενές, ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, συσκευές κ.α. στις οποίες συγκεντρώνονται τα λύματα της πόλης, υποβάλλονται σε διαδικασίες καθαρισμού και τελικά διοχετεύονται στο περιβάλλον.

Το μέγεθός τους ποικίλει από μικρά συστήματα ικανά να επεξεργαστούν υγρά απόβλητα λίγων ατόμων, μέχρι τεράστιες εγκαταστάσεις ικανότητας εκατοντάδων χιλιάδων ισοδύναμων κατοίκων.

Το τεχνικό πρόγραμμα της ΔΕΥΑΚ προβλέπει την κατασκευή έργων αποχέτευσης και βιολογικών καθαρισμών για την αντικατάσταση και κατασκευή δικτύων αποχέτευσης και φρεατίων υδροσυλλογής στην Κοζάνη, εξωτερικών και εσωτερικών δικτύων αποχέτευσης ακαθάρτων σε Δ.Δ. και των Βιολογικών Καθαρισμών για τα Δ.Δ. Πρωτοχωρίου, Λευκοπηγής και Βατερού.

Μέσω του βιολογικού καθαρισμού αντιμετωπίζεται πλήρως το θέμα της αποχέτευσης ακαθάρτων λυμάτων τεσσάρων οικισμών του Δήμου Κοζάνης οι οποίοι σήμερα αντιμετωπίζουν οξύ πρόβλημα με τη συλλογή και την ανεξέλεγκτη διάθεση των ακαθάρτων λυμάτων. Η προτεινόμενη πράξη δίνει λύση σε ένα πρόβλημα που έχει περιβαλλοντικές, υγιεινολογικές και οικονομικές προεκτάσεις.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη προκύπτουν από το γεγονός ότι πλέον δεν θα απορρέουν στον υπόγειο υδροφόρα αλλά ούτε και στον Αλιάκμονα μέσω των ρεμάτων ανεπεξέργαστα λύματα. Μετά τη λειτουργία της νέας κοινής ΕΕΛ για τους οικισμούς Λευκοπηγής, Πρωτοχωρίου και Ν. Κλείτου θα απορρέουν επεξεργασμένα, ακίνδυνα για το περιβάλλον λύματα ενώ τα λύματα του οικισμού Βατερού θα κατευθύνονται στον Βιολογικό καθαρισμό πόλης Κοζάνης όπου και θα υφίστανται πλήρη επεξεργασία παύοντας να αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον.

Οι συνθήκες υγιεινής διαβίωσης των κατοίκων της περιοχής αναβαθμίζονται σημαντικά αφού δεν υπάρχουν απορρέοντα λύματα ως εστίες μόλυνσης και οι γεωτρήσεις ύδατος δεν κινδυνεύουν από ενδεχόμενη μόλυνση.



Εικόνα 1.1: Μονάδα βιολογικού καθαρισμού Δήμου Κοζάνης

1.3 Επεξεργασία λυματολάσπης – στόχοι

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν και συνεχίζονται να κατασκευάζονται Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) σε όλη τη χώρα, με στόχο την προστασία των υδάτινων αποδεκτών, σε εφαρμογή της Οδηγίας 91/271. Με τη λειτουργία των ΕΕΛ παράγονται σημαντικές ποσότητες ιλύος (λάσπης), αλλά και άλλα παραπροϊόντα (εσχαρίσματα, άμμος).

Τα προϊόντα αυτά διαθέτουν μεγάλο αριθμό πολύτιμων συστατικών: θρεπτικά, οργανική ύλη κτλ., αλλά και υψηλή θερμική αξία, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος χρήσεων. Από την άλλη μεριά, η λυματολάσπη είναι φορέας ανεπιθύμητων ρυπαντών (βαρέα μέταλλα, συνθετικά οργανικά, παθογόνοι μικροοργανισμοί κτλ.), που απαιτούν προσεκτική διαχείριση. Συνεπώς ο τρόπος τελικής διάθεσης των προϊόντων αυτών έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως: εκπομπές στον αέρα, στο έδαφος και στα νερά (υπόγεια και επιφανειακά), με αποτέλεσμα να απαιτείται κατάλληλη επεξεργασία και προσεκτική διαχείριση.

Η επεξεργασία λυματολάσπης αποσκοπεί στην μείωση του όγκου και της ποσότητας των απόβλητων που παράγονται από διαδικασίες όπως ο βιολογικός καθαρισμός κάποιας πόλης/περιφέρειας, μιας και τα απόβλητα αυτά είναι εξαιρετικά επιβλαβή για το οικοσύστημα ακόμα και για τον άνθρωπο. Επιπλέον, στόχος είναι η παράγωγή χρήσιμων προϊόντων όπως προϊόντα ανακύκλωσης (γυαλί, χαρτί, αλουμίνιο κ.ο.κ.), καθώς και εδαφοβελτιωτικά υλικά όπως το κομπόστ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε είδους καλλιέργεια. Τέλος, ο σημαντικότερος στόχος της επεξεργασίας λυματολάσπης είναι η παράγωγή ενέργειας.

1.4 Αναερόβια χώνευση

Τα αστικά στερεά απορρίμματα μπορούν να αποδώσουν σημαντικά ποσά ενέργειας και να δώσουν λύση σε πολλά ενεργειακά προβλήματα. Η ανάκτηση αυτή μπορεί να είναι αποτέλεσμα μιας βιολογικής επεξεργασίας που ονομάζεται αναερόβια χώνευση η οποία παράγει βιοαέριο. Η μέθοδος αυτή είναι η ηπιότερη αφού είναι φυσική και δεν χαρακτηρίζεται από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είναι συνυφασμένες με τις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας όπως είναι η καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση.

Ο ορισμός της αναερόβιας χώνευσης είναι η διεργασία κατά την οποία οργανική ύλη μετατρέπεται σε CH₄ και CO₂ (βιοαέριο) με την συνδυασμένη δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου.

Η συνολική αντίδραση είναι:

οργανική ύλη + νερό → CH₄ + CO₂ + NH₃ + H₂S + νέα κύτταρα - θερμότητα

Τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης είναι:

ΔΙΑΛΥΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΜΙΚΡΟΜΟΡΙΑ

↓ υδρόλυση

ΔΙΑΛΥΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΜΙΚΡΟΜΟΡΙΑ

↓ οξεογένεση

ΑΠΛΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΟΞΕΑ, ΑΙΘΑΝΟΛΗ

↓ οξικογένεση

CH_3COOH , H_2 , CO_2

↓ μεθανογένεση

ΒΙΟΑΕΡΙΟ

1.5 Σκοπός Διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό να εξετάσει την ενεργειακή και οικονομική αξία της επεξεργασίας λυματολάσπης, που παράγεται από τον βιολογικό καθαρισμό του δήμου Κοζάνης με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, για την παράγωγή βιοαερίου. Εν ολίγοις, εξετάζεται αν η δημιουργία μιας τέτοιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου από επεξεργασία λυματολάσπης, θα ήταν οικονομικά συμφέρουσα για το Δήμο Κοζάνης.

Για την υλοποίηση αυτής της μελέτης έγινε μια συλλογή στοιχείων με την βοήθεια του τμήματος του βιολογικού καθαρισμού Δ.Ε.Υ.Α.Κ. Κοζάνης, όσον αφορά τις ποσότητες λυματολάσπης που παράγονται καθώς και την τεχνική περιγραφή της μονάδας. Επίσης πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση της λυματολάσπης προκειμένου να υπολογιστεί η ενεργειακή απόδοση της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

2.1 Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων συμπεριλαμβάνουν την ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά, την οσμή, τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, τη θολερότητα, την αγωγιμότητα, την αλκαλικότητα, την απορρόφηση-εκπομπή, και το χρώμα.

2.1.1 Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος να άγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η αγωγιμότητα αυξάνει όσο αυξάνει η συγκέντρωση των ιόντων, λόγω του ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται με τα ιόντα του διαλύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η μετρηθείσα τιμή της αγωγιμότητας να χρησιμοποιείται σαν αντιπροσωπευτικό μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών σε ένα δείγμα. Επιπλέον, η αγωγιμότητα του νερού είναι μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους που χρησιμεύει στην αξιολόγηση της καταλληλότητας αυτού για άρδευση. Έτσι, η αλατότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που είναι για άρδευση υπολογίζεται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τον υπολογισμό της ιονικής ισχύος ενός διαλύματος.

2.1.2 Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων οφείλεται στην παρουσία υδροξειδίων, ανθρακικών ιόντων και όξινων ανθρακικών ιόντων στοιχείων όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το κάλλιο. Οφείλεται επίσης και στην ύπαρξη της αμμωνίας. Τα άλατα του βορικού οξέος, του πυριτικού οξέος και τα φωσφορικά, συμβάλλουν επίσης στην αλκαλικότητα. Στα υγρά απόβλητα, η αλκαλικότητα συμβάλλει με τη σειρά της στην αντίσταση ενάντια στις αλλαγές του pH που προκαλούνται από την προσθήκη οξέων. Τα υγρά απόβλητα είναι συνήθως αλκαλικά, αποκτώντας αυτήν την αλκαλικότητα από το πόσιμο νερό, το υπόγειο νερό και τα υλικά που προστίθενται από την οικιακή χρήση. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν χημικές και βιολογικές διεργασίες επεξεργασίας, είναι πολύ σημαντική η γνώση της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων. Για τον υπολογισμό της σε ένα διάλυμα πραγματοποιείται τιτλοδότηση με οξύ γνωστής συγκέντρωσης.

2.1.3 Απορρόφηση-Εκπομπή

Η απορρόφηση ενός διαλύματος είναι ένα μέτρο της ποσότητας φωτός καθορισμένου μήκους κύματος, που απορροφήθηκε από τα συστατικά το διαλύματος. Η απορρόφηση μετράται με φασματόμετρο συγκεκριμένου μήκους κύματος 254nm.

Το ποσοστό εκπομπής επηρεάζεται από όλες τις ουσίες των υγρών αποβλήτων που μπορούν να απορροφήσουν ή να διαχύσουν το φως. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά τα ανόργανα και τα οργανικά στερεά είναι τα κυριότερα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που μπορούν να επιδράσουν στο ποσοστό εκπομπής.

2.1.4 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι εν γένει υψηλότερη από αυτή του πόσιμου νερού και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα μέρος του νερού θερμαίνεται κατά τις οικιακές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Επειδή η θερμική χωρητικότητα του νερού είναι υψηλότερη από αυτή του αέρα, οι παρατηρούμενες θερμοκρασίες υγρών αποβλήτων είναι υψηλότερες από ότι οι τοπικές θερμοκρασίες αέρα κατά τη μέγιστη διάρκεια του έτους και είναι χαμηλότερες μόνο κατά τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες. Ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία, η κατά μέσο όρο ετήσια θερμοκρασία των λυμάτων κυμαίνεται στους 10-21 °C.

Αυτή η ιδιαιτερότητα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά το σχεδιασμό της μονάδας επεξεργασίας. Σε διαφορετική περίπτωση, η μονάδα είναι πιθανό να οδηγηθεί σε αστοχία ή να έχουν δαπανηθεί ποσά μεγαλύτερα αυτών που πραγματικά χρειαζόταν για την κατασκευή της. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει διαφορά, έγκειται στο γεγονός ότι τα βακτήρια που αναλαμβάνουν τη βιοαποδόμηση των ρυπαντών στα λύματα, παρουσιάζουν δραστηριότητα που ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες είναι γενικά πιο δραστήρια, αποδομώντας το ρυπαντικό φορτίο. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου έχουμε υψηλότερες θερμοκρασίες υπάρχει και έντονος τουρισμός, οπότε στο σχεδιασμό υπεισέρχεται και ο παράγοντας της εποχιακής αύξησης του πληθυσμού σε κάποιες περιοχές, ενώ σε άλλες μη τουριστικές, ο πληθυσμός κάλλιστα μπορεί να μειώνεται.

Οι βέλτιστες θερμοκρασίες για βακτηριακή δραστηριότητα κυμαίνονται από 25 έως 35°C. Η αερόβια χώνευση καθώς και η νιτροποίηση σταματούν, όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 50°C. Όταν η θερμοκρασία πέσει στους 15°C, τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο γίνονται ανενεργά και στους περίπου 5°C τα αυτότροφα αζωτοποιητικά βακτήρια στην ουσία αναστέλλουν τη λειτουργία τους. Στους 2°C ακόμη και τα χημείο - ετερότροφα βακτήρια μετατρέπονται σε ανενεργά.

2.1.5 Οσμή

Οι οσμές σε αστικά υγρά απόβλητα προκύπτουν συνήθως από εκλυόμενα αέρια κατά την αποσύνθεση οργανικών υλικών ή ουσιών που προστίθενται στο απόβλητο. Εκτιμάται ότι αποτελούν το χαρακτηριστικό που δημιουργεί και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στο κοινό που σχετίζεται με κάποιο τρόπο με τη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τα προηγούμενα χρόνια, ο έλεγχος των οσμών ελήφθη σοβαρά υπόψη στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών αποβλήτων, ειδικά σε σχέση με την κοινωνική αποδοχή αυτών των εγκαταστάσεων. Σε πολλές περιοχές, σχέδια έχουν απορριφθεί εξαιτίας των διαμαρτυριών σχετικά με το θέμα των οσμών. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τη σπουδαιότητα των οσμών στο πεδίο της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων, θεωρείται σημαντική η ανάλυση των δράσεων των οσμών, των τρόπων ανίχνευσής τους, των χαρακτηρισμών και των μετρήσεών τους.

Η επίδραση των οσμών σε χαμηλές συγκεντρώσεις σχετίζεται κυρίως με το ψυχολογικό άγχος παρά με την πρόκληση συγκεκριμένων βλαβών στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι δυσάρεστες οσμές προκαλούν μειωμένη όρεξη για φαγητό, χαμηλότερη κατανάλωση νερού, χειροτέρευση της αναπνοής, ναυτία και εμετούς. Σε εξαιρετικά μεγάλες συγκεντρώσεις, οι δυσάρεστες οσμές μπορούν να οδηγήσουν στη μείωση του ατομικού και τοπικού αισθήματος ικανοποίησης, να επιδράσουν αρνητικά στις ανθρώπινες σχέσεις, να αποθαρρύνουν επενδύσεις κεφαλαίων και γενικότερα να συμβάλλουν στη μείωση της κοινωνικοοικονομικής κατάστασης και συνακόλουθα της ανάπτυξης.

Έχει υποστηριχθεί ότι τέσσερις ανεξάρτητοι παράγοντες απαιτούνται για τον πλήρη χαρακτηρισμό της οσμής: η ένταση, ο χαρακτήρας, το αίσθημα ευχαρίστησης και η ανιχνευσιμότητα. Λέγοντας ένταση, εννοούμε την αισθητή οξύτητα της οσμής. Συνήθως μετράται με μετρητή όσφρησης βουτανόλης ή υπολογίζεται με τον λόγο D/T (αναλογία αραιώσεων προς οριακή συγκέντρωση) όταν η σχέση έχει επαληθευθεί. Ο χαρακτήρας σχετίζεται με τις νοητικές συσχετίσεις που μπορεί να κάνει κάποιος που έρχεται σε επαφή με την οσμή. Ο υπολογισμός του είναι εντελώς υποκειμενικός. Ανιχνευσιμότητα είναι ο αριθμός των αραιώσεων που απαιτούνται για τη μείωση της οσμής στην ελάχιστη ανιχνεύσιμη οριακή συγκέντρωσή της. Τέλος, αίσθημα ευχαρίστησης είναι η σχετική ευχαρίστηση ή δυσαρέστηση ενός ατόμου που έρχεται σε επαφή με την οσμή.

Η πλέον χαρακτηριστική οσμή σηπτικών υγρών αποβλήτων είναι αυτή των κλούβιων αυγών που προέρχεται από το H_2S , το οποίο παράγεται μέσω θεικοαναγωγικών μικροοργανισμών. Βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν ουσίες που μυρίζουν ή που παράγουν οσμές κατά τη διαδικασία επεξεργασίας. Ενώ άλλα χαρακτηριστικά αποβλήτων με εξαίρεση το χρώμα διαφεύγουν των αισθήσεών μας, οπότε τα αγνοούμε, η οσμή διεγείρει άμεσα το οργανοληπτικό μας σύστημα. Είναι συχνά επιθυμητή η γνώση των συγκεκριμένων συστατικών που προκαλούν οσμές. Ο εξοπλισμός που έχει αναπτυχθεί για τη χημική ανάλυση των οσμών περιλαμβάνει ένα τριπλά συζευγμένο φασματόμετρο μάζας. Τα διάφορα συστατικά που αναγνωρίζονται, περιλαμβάνουν την αμμωνία, οξέα αμινών και πτητικά οργανικά συστατικά.

2.1.6 Χρώμα

Ιστορικά, ο όρος συνθήκες χρησιμοποιούνταν μαζί με τη σύνθεση και τη συγκέντρωση προκειμένου να περιγράψει τα υγρά απόβλητα. Οι συνθήκες αναφέρονται στην ηλικία των υγρών αποβλήτων, η οποία καθορίζεται ποιοτικά από το χρώμα και την οσμή τους. Φρέσκα υγρά απόβλητα έχουν συνήθως ένα ανοιχτό καφέ γκρι χρώμα. Ωστόσο, όσο ο χρόνος μεταφοράς στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αυξάνει και αναπτύσσονται όλο και περισσότερες αναερόβιες συνθήκες, το χρώμα των υγρών αποβλήτων αλλάζει διαδοχικά από ανοιχτό σε σκούρο γκρι και εντέλει σε μαύρο. Όταν το χρώμα των υγρών αποβλήτων είναι μαύρο, τα υγρά απόβλητα θεωρείται ότι έχουν υποστεί σήψη. Μερικά βιομηχανικά απόβλητα μπορούν επίσης να προσθέσουν χρώμα στα οικιακά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το γκρι, το σκούρο γκρι και το μαύρο χρώμα των υγρών αποβλήτων οφείλεται στη δημιουργία σουλφιδίων μετάλλων, τα οποία σχηματίζονται όταν τα σουλφίδια που παράγονται κάτω από αναερόβιες συνθήκες αντιδρούν με τα μέταλλα των υγρών αποβλήτων.

2.1.7 Πυκνότητα

Η πυκνότητα των υγρών αποβλήτων ορίζεται ως ο λόγος της μάζας τους προς τη μονάδα όγκου. Αποτελεί ένα σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων εξαιτίας της δυνατότητάς της για σχηματισμό ρευμάτων πυκνότητας στις δεξαμενές καθίζησης, στις δεξαμενές χλωρίωσης και σε άλλες μονάδες επεξεργασίας. Η πυκνότητα των οικιακών υγρών αποβλήτων είναι σχεδόν ίδια με αυτή του νερού για την ίδια θερμοκρασία. Σε ορισμένες περιπτώσεις στη θέση της πυκνότητας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την σχετική πυκνότητα η οποία ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας των υγρών αποβλήτων προς την πυκνότητα του νερού. Και οι δυο αυτές πυκνότητες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και διαφοροποιούνται ανάλογα με τη συγκέντρωση ολικών στερεών σε αυτά.

2.1.8 Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά

Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά υγρών αποβλήτων ονομάζεται το στερεό υλικό που απομένει μετά από εξάτμιση σε 103-105°C. Τα ολικά στερεά κατηγοριοποιούνται αρχικά σε διηθήσιμα και αιωρούμενα. Για τη διήθηση των ολικών στερεών χρησιμοποιούνται διηθητικές μεμβράνες από οργανικά πολυμερή ή γυάλινες ίνες. Η μάζα των στερεών αφυδατωμένων συστατικών που παραμένουν στο φίλτρο μετά την εξάτμιση του νερού διαφοροποιούνται σε ολικά διηθήσιμα, δηλαδή μάζα του υπολείμματος που απομένει και σε ολικά αιωρούμενα στερεά.

2.2 Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Στα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνονται χημικές ενώσεις και στοιχεία οργανικής και ανόργανης προέλευσης. Τα οργανικά συστατικά διακρίνονται σε εύκολα και δύσκολα βιοαποικοδομήσιμα. Οι παράμετροι που οφείλουμε να εξετάσουμε για τον χαρακτηρισμό των χημικών υγρών αποβλήτων είναι οι εξής: πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, οργανικά συστατικά, λίπη και έλαια, βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών, χημικά απαιτούμενο οξυγόνο και ολικό οργανικό άνθρακα.

Οι πρωτεΐνες είναι μακρομόρια που προέρχονται από τροφές φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Λόγω της ύπαρξης θείου στα μόρια τους, όταν βρίσκονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις κατά την αποσύνθεση τους εκλύουν δυνατές οσμές. Οι υδατάνθρακες αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Τα οργανικά συστατικά (άζωτο και φώσφορος) είναι θρεπτικά στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη πολλών οργανισμών όπως οι μικροοργανισμοί. Σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για την βιολογική επεξεργασία αλλά φαινόμενα όπως αυτό του ευτροφισμού κάνουν απαραίτητη την μέτρηση της συγκέντρωσής τους, αφού αποτελούν σημαντική παράμετρο της ποιότητας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Τα λίπη και έλαια είναι ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα από βακτήρια, ενώ μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα αν δεν απομακρυνθούν από τα απόβλητα πριν την διάθεσή τους στην φύση δημιουργώντας προβλήματα σε πολλούς ζωντανούς οργανισμούς. Τα βαρέα μέταλλα είναι στοιχεία, όπως ο χαλκός, το νικέλιο και ο υδράργυρος, που αντιδρούν με τα μικροβιακά ένζυμα, αναστέλλοντας ή επιβραδύνοντας το μεταβολισμό τους, γι' αυτό και σε υψηλές συγκεντρώσεις πρέπει να απομακρύνονται από τα απόβλητα γιατί γίνονται τοξικά, τερατογόνα και καρκινογόνα. Σχετικά με το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών, όταν η οργανική ύλη αποσυντίθεται, οι μικροοργανισμοί (όπως τα βακτήρια και οι μύκητες) τρέφονται από τα υλικά της αποσύνθεσης και προκαλείται οξείδωση.

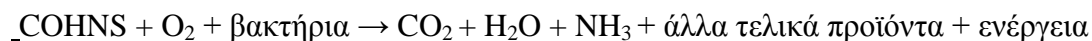
2.2.1 BOD

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η παράμετρος την οποία χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε την οργανική ρύπανση στα υγρά απόβλητα αλλά και στα επιφανειακά νερά χρησιμοποιώντας στον όρο BOD₅. Με αυτόν τον ορισμό αναφερόμαστε στη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιείται από μικροοργανισμούς για τη βιοχημική οξείδωση του οργανικού υλικού. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση του BOD, χρησιμεύουν σήμερα στην εύρεση της ποσότητας οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοχημική οξείδωση οργανικού υλικού, στην εύρεση του μεγέθους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας

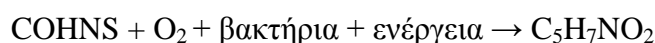
υγρών αποβλήτων, στη μέτρηση της αποδοτικότητας μερικών διεργασιών επεξεργασίας αποβλήτων καθώς και στην εύρεση των τιμών συμμόρφωσης με τα όρια των εκροών. Ενώ θα μπορούσαμε να φανταστούμε ένα τεστ με το οποίο να μπορούμε να μετρήσουμε το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη αποικοδόμηση ενός αποβλήτου, ένα τέτοιο τεστ θα απαιτούσε μια μεγάλη χρονική περίοδο, κάτι δηλαδή που είναι ασύμφορο. Συνεπώς, η πρακτική που ακολουθείται είναι να μετράται και να αναφέρεται ως αποτέλεσμα η απαίτηση οξυγόνου κατά τη διάρκεια μιας μικρότερης καθορισμένης περιόδου 5 ημερών, αν και η τελική απαίτηση σε οξυγόνο είναι αρκετά μεγαλύτερη.

Η διαδικασία της αερόβιας βιολογικής διάσπασης ενός οργανικού αποβλήτου συνεχίζεται μέχρι να καταναλωθούν όλα τα απόβλητα. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για αυτό είναι η ποσότητα του οξυγόνου που διατίθεται να είναι επαρκής. Σε κάθε βιολογική διάσπαση συμβαίνουν τρεις αντιδράσεις. Αρχικά, ένα μέρος των αποβλήτων οξειδώνεται σε τελικά προϊόντα, ενώ απελευθερώνεται ενέργεια για τη διατήρηση των κυττάρων και τη δημιουργία ενός καινούριου ιστού κυττάρου. Μερικά από τα συστατικά των αποβλήτων μετατρέπονται σε συστατικά ενός νέου ιστού κυττάρου χρησιμοποιώντας μέρος της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της οξείδωσης. Τελειώνοντας, όταν το οργανικό υλικό δηλαδή τελειώσει, το νέο κύτταρο αρχίζει να καταναλώνει τον ιστό του προκειμένου να αποκτήσει την αναγκαία ενέργεια για να διατηρηθεί (ενδογενής αναπνοή). Οι τρεις διαδικασίες μπορούν εύκολα να οριστούν χρησιμοποιώντας τον τύπο COHNS και τον τύπο C₅H₇NO₂:

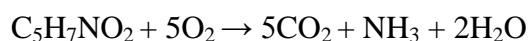
ΟΞΕΙΔΩΣΗ:



ΣΥΝΘΕΣΗ:



ΕΝΔΟΓΕΝΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗ:

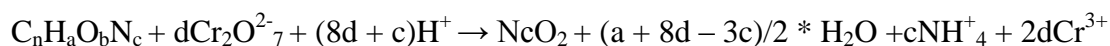


Προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις σχετικά με τα αποτελέσματα των μετρήσεων:

1. Οι μετρούμενες τιμές BOD₅ μιας ημέρας πρέπει να είναι μεγαλύτερες από την προηγούμενη ημέρα.
2. Η αύξηση δεν είναι γραμμική, ο ρυθμός αύξησης κάθε μέρας είναι μικρότερος από τον ρυθμό αύξησης της προηγούμενης μέρας.
3. Αν οι μετρούμενες τιμές δίνουν γραμμική αύξηση το δείγμα έχει υψηλότερη τιμή BOD από την αναμενόμενη στην αρχή της μέτρησης.
4. Αν οι μετρούμενες τιμές παρουσιάζουν υψηλό δείκτη πρόσληψης οξυγόνου, πρέπει να ληφθεί υπόψιν σαν ενδεχόμενο η παρουσία αζωτοβακτηρίων.
5. Αν οι μετρούμενες τιμές μειώνονται στο διάστημα των 5 ημερών μέτρησης τότε υπάρχει πιθανή διαρροή στο σύστημα μέτρησης.

2.2.2 COD

Για την μέτρηση του ισοδύναμου οξυγόνου του οργανικού υλικού των υγρών αποβλήτων που μπορεί να οξειδωθεί χημικά, αρκεί να αναλύσουμε το COD. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διχρωμικό κάλλιο σε ένα διάλυμα οξέος και εκφράζεται από την εξίσωση:



όπου $d = 2n/3 + a/6 - b/3 - c/2$

Η τιμή του BOD είναι σπάνια ίση με την τιμή του COD. Αυτό συμβαίνει διότι πολλές οργανικές ουσίες των οποίων είναι δύσκολη η βιοχημική οξείδωση, οξειδώνονται χημικά. Επίσης, επειδή κάποιες ανόργανες ουσίες που οξειδώνονται από το διχρωμικό κάλλιο αυξάνουν το εμφανιζόμενο οργανικό υλικό του δείγματος καθώς επίσης και επειδή και κάποιες συγκεκριμένες οργανικές ουσίες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του BOD. Τέλος, η ύπαρξη ενίοτε υψηλών τιμών COD μπορεί να δικαιολογείται εξαιτίας της παρουσίας ανόργανων ουσιών με τις οποίες αντιδρά το διχρωμικό κάλλιο. Υπάρχει μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στο COD και στο BOD. Η ανάλυση του πρώτου μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε 2.5 ώρες ενώ του δεύτερου απαιτεί 5 ημέρες.

Είναι απαραίτητη η κατηγοριοποίηση του COD σε κλάσματα. Τα κυριότερα κλάσματα συνίσταται στο διαλυτό COD και στο COD σωματιδιακής μορφής. Στη συνέχεια, αυτά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω για την εκτίμηση του βαθμού επεξεργασίας του νερού. Τα κλάσματα που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο κατά καιρούς περιλαμβάνουν: το εύκολα βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD, το δύσκολα βιοαποικοδομήσιμο κολλοειδές COD σωματιδιακής μορφής. Το μη βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD και το μη βιοαποικοδομήσιμο κολλοειδές COD σωματιδιακής μορφής. Το εύκολα βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD κατηγοριοποιείται περαιτέρω σε σύνθετο COD.

2.2.3 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ο οργανικός άνθρακας στο νερό και στα απόβλητα βρίσκεται σε διάφορες οξειδωτικές καταστάσεις μέσα από μια ποικιλία οργανικών συμπλοκών που σχηματίζει. Μερικά από αυτά τα οργανικά σύμπλοκα μπορούν να οξειδωθούν περαιτέρω με βιολογικές ή χημικές διαδικασίες. Παρέχει διαφορετικό είδος πληροφοριών από το BOD και το COD, διότι τα παραπάνω έχουν να κάνουν με την οξειδωτική κατάσταση του οργανικού φορτίου και μετρούν άλλα οργανικά δεσμευμένα στοιχεία, όπως άζωτο, υδρογόνο και ανόργανα συστατικά τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν στο απαιτούμενο οξυγόνο, ενώ το TOC όχι. Επιπλέον, όσον αφορά το χρόνο επεξεργασίας της ανάλυσης των αποβλήτων, ενώ το BOD χρειάζεται πέντε ημέρες και το COD δύομιση ώρες, το TOC χρειάζεται πέντε έως

δέκα λεπτά. Παρ' όλα αυτά, σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει σύνδεση του TOC με το BOD και το COD.

Η μέτρηση του TOC είναι εξαιρετικά σημαντική στη διαδικασία του χειρισμού και της επεξεργασίας του νερού καθώς επίσης και της επεξεργασίας των αποβλήτων. Οι μέθοδοι με το TOC χρησιμοποιούν υψηλή θερμοκρασία, καταλύτες και οξυγόνο, ή χαμηλότερες θερμοκρασίες με υπεριώδη ακτινοβολία, χημικά οξειδωτικά μέσα ή προσμίξεις αυτών των οξειδωτικών για τη μετατροπή του οργανικού άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα.

Εν όψει της εύρεσης του ολικού οργανικού άνθρακα σε ένα υδάτινο δείγμα, η ανάλυση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) είναι απαραίτητη. Η ανάλυση του TOC χρησιμοποιεί θερμότητα, υπεριώδη ακτινοβολία, οξυγόνο, χημικά οξειδωτικά ή συνδυασμό όλων των παραπάνω για τη μετατροπή του οργανικού άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο μετράται με τη βοήθεια υπέρυθρου αναλυτή ή με άλλες μεθόδους.

Είναι πολύ σημαντική η κατηγοριοποίηση του TOC σε κλάσματα. Τα κυριότερα κλάσματα είναι το TOC σε σωματιδιακή μορφή και το διαλυτό DTOC. Στη συνέχεια αυτά τα κλάσματα διαχωρίζονται περαιτέρω προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων επεξεργασίας.

2.2.4 Συσχετίσεις BOD, COD ΚΑΙ TOC

Οι συσχετίσεις μεταξύ των BOD, COD και TOC, σχετίζονται με το πόσο εύκολα είναι επεξεργάσιμα τα απόβλητα κατά τη διαδικασία της βιολογικής επεξεργασίας. Εάν ο λόγος BOD/COD, του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 0.3 έως 0.8, για ανεπεξέργαστα απόβλητα, είναι ίσος ή μεγαλύτερος από 0.5, τότε θεωρείται ότι τα απόβλητα είναι εύκολα επεξεργάσιμα. Εάν ο λόγος είναι μικρότερος από 0.3, τότε τα απόβλητα είναι πιθανό να περιέχουν τοξικά στοιχεία και είναι απαραίτητοι μικροοργανισμοί για τη σταθεροποίησή τους. Αντίστοιχα, όσον αφορά το λόγο BOD/TOC, αυτός κυμαίνεται από 1.2 έως 2.

2.2.5 Έλαια και λίπη

Τα λίπη, τα έλαια καθώς επίσης και ο κηρός συναντώνται στα υγρά απόβλητα. Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης ελαίων και λιπών στα απόβλητα γίνεται με εκχύλιση δείγματος αποβλήτων σε διάλυμα τρίχλωρο – τριφθοροαιθανίου. Τα λίπη και τα έλαια έχουν παρόμοια χημική σύσταση και σχηματίζουν εστέρες αλκοολών ή γλυκερίνης με λιπαρά οξέα. Τα γλυκερίδια των λιπαρών οξέων σε υγρή μορφή ονομάζονται έλαια, ενώ σε στερεή λίπη. Εάν δε γίνει απομάκρυνση των λιπών πριν τη διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων, υπάρχει αρνητική επίδραση στη βιολογική ζωή των επιφανειακών νερών και είναι δυνατή η δημιουργία άσχημης εικόνας των υδάτων. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό σε έναν υδάτινο αποδέκτη, το πάχος των ελαίων θα πρέπει να είναι περίπου 0,0003048mm.

Τα λίπη και τα έλαια τα βρίσκουμε και στα οικιακά λύματα τα οποία είναι το βούτυρο, η μαργαρίνη, τα ζωικά λίπη καθώς επίσης και τα φυτικά έλαια και λίπη. Υπάρχουν επιπλέον στο κρέας, στα πρώιμα στάδια των δημητριακών και σε κάποια φρούτα. Τα οξέα μετάλλων αντιδρούν με τα λίπη και σχηματίζουν γλυκερίνη και λιπαρά οξέα. Με τη βοήθεια των αλκαλίων όπως το υδροξείδιο του νατρίου, η γλυκερίνη απελευθερώνεται και σχηματίζονται αλκαλικά άλατα (σάπωνες) από τα λιπαρά οξέα. Η κηροζίνη και τα λάδια των αυτοκινήτων προέρχονται από το πετρέλαιο και την πίσσα και περιέχουν κυρίως άνθρακα και υδρογόνο. Αυτά τα έλαια κατευθύνονται προς τους αποχετευτικούς αγωγούς ή προέρχονται από συνεργεία, καταστήματα και δρόμους. Συνήθως επιπλέον στα υγρά απόβλητα και τα ορυκτέλαια έχουν την τάση να καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες υδάτων. Τα σωματίδια επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς με αποτέλεσμα να τους προκαλούν σημαντικά προβλήματα επιβίωσης.

Η απομάκρυνσή τους από τα υγρά απόβλητα είναι πολύ σημαντική για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος των υπονόμων, εφόσον αν μπουν μεγάλες ποσότητες ελαίων σε αυτούς μπορεί οι κύριοι αγωγοί τους να φράξουν καθώς επίσης υπάρχει μεγάλος κίνδυνος φωτιάς και έκρηξης σε όλο το σύστημα. Επιπλέον, η περίπτωση ύπαρξης προβλήματος στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων είναι μεγάλη καθώς πρόκειται για αποθέσεις στα συστήματα αιώρησης και στα ηλεκτρόδια, για απαίτηση από τα αντλιοστάσια για συχνότερη συντήρηση και καθαρισμό, και για παρεμπόδιση της βιολογικής δραστηριότητας στην επεξεργασία αποβλήτων. Τελευταίος και σημαίνων λόγος είναι η μείωση του κόστους της υπόλοιπης επεξεργασίας του αποβλήτου.

Το πόσο εύκολα και αποτελεσματικά θα διαχωριστούν τα απόβλητα που εμπεριέχουν έλαια εξαρτάται από τη μορφή με την οποία αυτά εντοπίζονται στο νερό. Εάν πρόκειται για ελεύθερο λάδι, τότε αυτό υψώνεται εύκολα στην επιφάνεια και μπορεί να απομακρυνθεί με πολλούς τρόπους. Στην περίπτωση του διαλυτοποιημένου λαδιού η απομάκρυνση γίνεται με βιολογική επεξεργασία ή με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα. Τέλος, εάν έχουμε να κάνουμε με γαλακτοποιημένο λάδι, η διαδικασία απομάκρυνσης είναι δυσκολότερη αφού πρέπει να διασπαστεί το γαλάκτωμα.

2.2.6 Στερεά

Στα υγρά απόβλητα εμπεριέχονται διάφορες ποικιλίες στερεών υλικών, οι οποίες περιλαμβάνουν από σακούλες και πανιά μέχρι και κολλοειδή υλικά. Η απομάκρυνση των μεγάλων αντικειμένων γίνεται πριν γίνει λήψη δείγματος, προκειμένου να αναλυθεί η συγκέντρωσή σε στερεά. Η πρότυπη ανάλυση για τα στερεά που έχουν υποστεί καθίζηση προϋποθέτει την είσοδο δείγματος αποβλήτου σε ένα κώνο Imhoff 1 L και τον υπολογισμό του όγκου των στερεών, τα οποία κατακάθονται μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε millimeters. Το ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικά απόβλητα που καθιζάνει είναι περίπου 60%. Τα στερεά διακρίνονται σε:

- Ολικά στερεά (TS), δηλαδή η ποσότητα του υπολείμματος που απομένει από την διαδικασία της εξάτμισης και της ξήρανης ενός δείγματος υγρού αποβλήτου σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- Ολικά πτητικά στερεά (TVS), τα οποία είναι τα στερεά που εξαερώνονται και οξειδώνονται κατά τη διαδικασία της καύσης των ολικών στερεών.
- Ολικά σταθερά στερεά (TFS), δηλαδή η ποσότητα του υπολείμματος που μένει μετά από την καύση των ολικών στερεών.
- Ολικά αιωρούμενα στερεά (VSS), δηλαδή το τμήμα από τα ολικά στερεά που παραμένει στο φίλτρο με συγκεκριμένο μέγεθος πόρων και μετράται μετά την ολική ξήρανη σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- Πτητικά αιωρούμενα στερεά (FSS), τα οποία είναι τα στερεά που εξαερώνονται και παθαίνουν οξείδωση κατά την καύση των ολικών αιωρούμενων στερεών.
- Σταθερά αιωρούμενα στερεά (TDS), που είναι το υπόλειμμα της καύσης των ολικών αιωρούμενων στερεών. (κολλοειδή και διαλυμένα στερεά)
- Ολικά διαλυμένα στερεά (VDS), τα οποία είναι τα στερεά που δεν παραμένουν στο φίλτρο και στη συνέχεια εξαερώνονται και ξηραίνονται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- Ολικά πτητικά διαλυμένα στερεά (FDS), δηλαδή τα στερεά που οξειδώνονται και εξαερώνονται κατά την καύση των ολικών διαλυμένων στερεών.
- Σταθερά διαλυμένα στερεά, τα οποία είναι το υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση των ολικών διαλυμένων στερεών.
- Καθιζάνοντα στερεά, δηλαδή αιωρούμενα στερεά που κατακάθονται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

2.2.7 Οργανικά συστατικά N & P

Απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, των φυτών και των ζώων αποτελούν το άζωτο και ο φώσφορος τα οποία είναι γνωστά ως θρεπτικά συστατικά. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό στη σύνθεση των πρωτεϊνών οπότε κρίνεται απαραίτητη η συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με τις συγκεντρώσεις αζώτου για τη διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στην περίπτωση της ανεπαρκούς

ποσότητας αζώτου μπορεί να επιβληθεί η προσθήκη αζώτου προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι κυριότερες πηγές του αζώτου είναι: το ατμοσφαιρικό άζωτο, τα αζωτούχα συστατικά που υπάρχουν στα φυτά και στα ζώα και το νιτρικό νάτριο. Στην κατηγορία του αζώτου που αποκτήθηκε από φυτικό υλικό που έχει υποστεί αποικοδόμηση ανήκει η αμμωνία η οποία προέρχεται από την απόσταξη του ασφαλτούχου άνθρακα. Αζωτοδέσμευση είναι η διαδικασία παραγωγής αζώτου στην ατμόσφαιρα. Λόγω του ότι αυτή αποτελεί μια ενδιάμεση βιολογική διεργασία και επειδή οι δεξαμενές νιτρικού νατρίου είναι σπάνιες, η πληθώρα των πηγών του αζώτου στα υπόγεια νερά και στο έδαφος είναι βιολογικής προέλευσης.

Το άζωτο που βρίσκεται σε φρέσκα υγρά απόβλητα αποτελείται κυρίως από πρωτεϊνικό υλικό και ουρία. Η αποικοδόμηση από τα βακτήρια μετατρέπει πολύ γρήγορα την οργανική μορφή σε αμμωνία. Η σχετική περιεκτικότητα σε αμμωνία είναι ενδεικτική της ηλικίας των υγρών αποβλήτων. Σε αερόβιο περιβάλλον τα βακτήρια οξειδώνουν το αμμωνιακό άζωτο σε νιτρώδη και νιτρικά. Η υπερίσχυση του νιτρικού αζώτου στα υγρά απόβλητα αναδεικνύει ότι υπάρχει σταθεροποίηση στα απόβλητα σχετικά με τις απαιτήσεις οξυγόνου. Τα νιτρικά επίσης χρησιμοποιούνται από τα φυτά και τα ζώα για το σχηματισμό πρωτεϊνών. Τέλος, αποδίδεται αμμωνία στο περιβάλλον από την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών από τα βακτήρια που προέρχονται από το θάνατο φυτών και ζώων.

Μορφές αζώτου:

- NH_3
- N_2
- N_2O
- NO
- N_2O_3
- NO_2
- N_2O_5

Ο φώσφορος είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των βιολογικών οργανισμών. Εξαιτίας της ανάπτυξης των φυκών, η οποία είναι επιβλαβής για τα επιφανειακά νερά, είναι αναγκαίος ο έλεγχος της ποσότητας του φωσφόρου που εισέρχεται σε επιφανειακά νερά από οικιακά βιομηχανικά απόβλητα και από φυσικές απορροές. Οι συνηθέστερες μορφές του φωσφόρου που παρατηρούνται σε υδατικά διαλύματα περιλαμβάνουν τα ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά και τα οργανικά φωσφορικά. Τα ορθοφωσφορικά (H_3PO_4) χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς περεταίρω διάσπαση. Τα πολυφωσφορικά είναι τα μόρια με δυο ή παραπάνω άτομα φωσφόρου, άτομα οξυγόνου και ενίοτε και άτομα υδρογόνου συνδυασμένα σε ένα περίπλοκο μόριο. Τα πολυφωσφορικά υφίστανται υδρόλυση σε υδατικά διαλύματα και επανέρχονται σε ορθοφωσφορική μορφή η οποία είναι πολύ αργή. Ο οργανικά δεσμευμένος φώσφορος δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τα οικιακά απόβλητα, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντικό συστατικό των βιομηχανικών αποβλήτων και της ύλης. Τα πολυφωσφορικά και τα οργανικά φωσφορικά μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά με τη χρήση ενός οξέος.

Περαιτέρω ανάλυση του φωσφόρου θα γίνει σε επόμενη ενότητα.

2.3. Βιολογικά Χαρακτηριστικά

Η αναγνώριση των βιολογικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων είναι αναγκαία για δυο λόγους. Ο πρώτος αφορά στην προστασία τόσο των μονάδων επεξεργασίας όσο και των ανθρώπων από παθογόνους μικροοργανισμούς ανθρώπινης προέλευσης. Ο δεύτερος αφορά στη μεγάλη σημασία των βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών στην αποικοδόμηση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης. Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορεί να βρίσκονται στα επιφανειακά νερά καθώς επίσης και στα υγρά απόβλητα. Αυτοί ανήκουν στα βακτήρια, στα πρωτόζωα, στα φύκη, στα φυτά και στα ζώα καθώς επίσης και στους μύκητες. Οι μονοκύτταροι οργανισμοί που ευθύνονται για τις διεργασίες του βιολογικού καθαρισμού γίνονται διακριτοί μόνο με μικροσκόπιο. Πολλοί από αυτούς τους μικροοργανισμούς είναι παθογόνοι και μέσω του νερού μπορεί να μεταφέρουν ασθένειες όπως χολέρα, δυσεντερία και ηπατίτιδα. Για τον έλεγχο της μικροβιακής καταλληλότητας των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται δείκτες ρύπανσης. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι σήμερα δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι.

Οι μικροοργανισμοί αυτοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τους ευκαριωτικούς και τους προκαριωτικούς. Η διάκριση αυτή έχει ως βάση τη δομή του γενετικού υλικού και την πολυπλοκότητα των οργανισμών. Από τους προκαριωτικούς οργανισμούς, τα βακτήρια τα αρχαιεΐδη έχουν την απλούστερη κυτταρική μορφή. Υπάρχει διαφορά μεταξύ των αρχαιεΐδων και των βακτηρίων η οποία είναι η διαφορετική σύνθεση του DNA και οι ιδιαιτερότητες της κυτταρικής τους χημείας, π.χ. οι διαφορές στο κυτταρικό τοίχωμα και η δομή των ριβοσωμάτων. Πολλά είδη της κατηγορίας αυτής έχουν τη δυνατότητα να εξελιχθούν σε βακτήρια όταν βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και αλατότητας. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και τα μεθανογενή βακτήρια τα οποία είναι ιδιαίτερης σημασίας για την αναερόβια χώνευση, η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι ευκαριωτικοί οργανισμοί είναι πολυπλοκότεροι αντίθετα με τους προκαριωτικούς. Στην κατηγορία των ευκαριωτικών οργανισμών ανήκουν τα πρωτόζωα, οι μύκητες, τα φύκη, τα φυτά και τα ζώα. Οι οργανισμοί αυτοί παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Τα τυπικά χαρακτηριστικά των μικροοργανισμών που συναντώνται σε επιφανειακά νερά, απόβλητα και στις διαδικασίες επεξεργασίας αποβλήτων είναι τα παρακάτω:

- Βακτήρια: ανήκουν στην κατηγορία των μονοκύτταρων προκαριωτικών οργανισμών. Κυτταρόπλασμα ονομάζεται το ιστορικό του κυττάρου του και αποτελείται από ένα κολλοειδές αιώρημα από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και άλλα οργανικά συστατικά. Η αναπαραγωγή τους επιτυγχάνεται κυρίως με διχοτόμηση. Υπάρχουν όμως και μερικά είδη τα οποία αναπαράγονται με εγγενή αναπαραγωγή ή και με εκβλάστηση. Πολλά είδη μη παθογόνων βακτηρίων βρίσκονται στην εντερική οδό και τακτικά αποβάλλονται μέσω των απεκκρίσεων. Παθογόνα βακτήρια όμως απεκκρίνονται και από οργανισμούς οι οποίοι έχουν προσβληθεί από κάποιο βακτήριο. Έτσι, πολλά παθογόνα και μη παθογόνα βακτήρια εμπεριέχονται στα αστικά λύματα.

- Αρχαιεΐδη: δεν διαφέρουν από τα βακτήρια ως προς το μέγεθος και τις κυτταρικές δομές, διαφέρουν όμως στη σύσταση του κυτταρικού τοιχώματος και του RNA. Μπορούν να βρεθούν σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και χημικής σύστασης και είναι ιδιαίτερα σημαντικοί οργανισμοί για τις αναερόβιες διεργασίες.
- Μύκητες και ζυμομύκητες: ανήκουν στους ευκαριωτικούς πολυκύτταρους και μη φωτοσυνθετικούς ετερότροφους οργανισμούς. Η πληθώρα αυτών είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι. Οι τρόποι αναπαραγωγής τους είναι η διχοτόμηση, η εκβλάστηση ή η δημιουργία σπορίων. Οι μύκητες αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες σχετικής υγρασίας, μικρής συγκέντρωσης αζώτου και χαμηλού pH. Τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να αποδομούν την κυτταρίνη, τους καθιστά ικανούς για την κομποστοποίηση της ύλης.
- Πρωτόζωα: είναι μονοκύτταροι, μικροσκοπικοί ευκαρυωτικοί οργανισμοί. Το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτούς είναι αερόβιοι και ετερότροφοι αλλά υπάρχουν και προαιρετικά αναερόβιοι. Τα πρωτόζωα είναι μεγαλύτερα από τα βακτήρια, για αυτό και τα καταναλώνουν ως πηγή ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση των βακτηρίων και της οργανικής ύλης στις εκροές επεξεργασμένων αποβλήτων.
- Φύκη: τα φύκη είναι ευκαρυωτικοί, φωτοσυνθετικοί, μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι οργανισμοί. Έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στις λίμνες επεξεργασίας αποβλήτων γιατί η διαδικασία της φωτοσύνθεσης παράγει οξυγόνο το οποίο είναι αναγκαίο για τη διατήρηση της οικολογίας του υδάτινου περιβάλλοντος.
- Ιοί: αποτελούνται από πυρήνα DNA ή RNA που περιβάλλεται από ένα πρωτεϊνικό περίβλημα το καψίδιο. Οι ιοί είναι υποχρεωτικά παράσιτα τα οποία πολλαπλασιάζονται μόνο εντός κυττάρου ξενιστή.

2.3.1 Παθογόνοι οργανισμοί

Στα απόβλητα εντοπίζονται παθογόνοι μικροοργανισμοί, των οποίων η προέλευση μπορεί να είναι από απεκκρίσεις ανθρώπων ή ζώων, οι οποίοι έχουν προσβληθεί από μια μολυσματική ασθένεια ή απλά είναι φορείς.

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι εμπεριέχονται στα απόβλητα διακρίνονται σε: βακτήρια, πρωτόζωα, έλμινθες και ιοί. Αναφέροντας τους έλμινθες, εννοούμε τους σκώληκες. Οι ασθένειες για τις οποίες είναι υπεύθυνοι οι έλμινθες μπορούν να περιοριστούν με προσεκτικότερη δημόσια υγιεινή και διαχείριση των φαγητών και μέσω της καλύτερης επεξεργασίας των αποβλήτων. Γενικότερα, οι σκώληκες είναι υπεύθυνοι για πολλές ασθένειες που προσβάλλουν τον ανθρώπινο οργανισμό και ανέρχονται σε 4.5 δις.

Οι έλμινθες κατηγοριοποιούνται σε τρεις οικογένειες: Nematoda (ασκαρίδες), Platyhelminths (πλατυέλμινθες) και Annelida (ανέλιδα). Οι περισσότερες λοιμώξεις που προσβάλλουν τον άνθρωπο προέρχονται από τις δυο πρώτες κατηγορίες, ενώ στην τρίτη, τα περισσότερα είδη είναι εξωπαράσιτα. Τα παθογόνα βακτήρια

ανθρώπινης προέλευσης είναι υπεύθυνα για ασθένειες της γαστρεντερικής οδού, όπως δυσεντερία, διάρροια και χολέρα. Πολλοί θάνατοι προκαλούνται από αυτούς τους οργανισμούς σε περιοχές που δεν τηρούνται οι κανόνες υγιεινής, όπως για παράδειγμα η τροπική ζώνη.

2.3.2 Βιωσιμότητα παθογόνων οργανισμών

Σημαντική είναι η γνώση της βιωσιμότητας των παθογόνων οργανισμών προκειμένου να γίνει η σωστή διαχείρισή τους.

Πίνακας 2.1:Χαρακτηριστικός χρόνος βιωσιμότητας των κυριότερων παθογόνων οργανισμών

<u>Παθογόνοι οργανισμοί</u>	<u>Επιφανειακά νερά και υγρά απόβλητα</u>	<u>Χρόνος ζωής, ημέρες Καρποί</u>	<u>Έδαφος</u>
Βακτήρια			
Κολοβακτηριοειδή κοπρανώδη	<60 αλλά συνήθως <30	<30 αλλά συνήθως <15	<120 αλλά συνήθως <50
Salmonella spp ^β	<60 αλλά συνήθως <30	<30 αλλά συνήθως <15	<120 αλλά συνήθως <50
Shigella ^β	<30 αλλά συνήθως <10	<10 αλλά συνήθως <150	<120 αλλά συνήθως <50
Vibrio Cholerae ^γ	<30 αλλά συνήθως <10	<5 αλλά συνήθως <2	<120 αλλά συνήθως <50
Πρωτόζωα			
Κύστεις E. hystolytica	<30 αλλά συνήθως <15	<10 αλλά συνήθως <2	<20 αλλά συνήθως <10
Έλμινθες			
Αυγά A. lubricoides	Πολλοί μήνες	<60 αλλά συνήθως <30	Πολλοί μήνες
Ιοί^β			
Εντεροιοί ^δ	<120 αλλά συνήθως <50	<60 αλλά συνήθως <15	<100 αλλά συνήθως <20

Επεξηγήσεις:

^α πηγή :Feachem et al.. 1983

^β σε θαλασσινά περιβάλλοντα η βιωσιμότητα των ιών είναι πολύ μικρότερη από ότι σε γλυκά νερά, ενώ των βακτηρίων είναι ακόμα πιο μικρή

^γ η βιωσιμότητα του βακτηρίου V.Cholerae σε υδάτινα περιβάλλοντα είναι ακόμα άγνωστη

^δ περιλαμβάνει τους ιούς της πολιομυελίτιδας του Pesascek και Coxsackie.

2.4 Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Με τον όρο φυσικές διεργασίες εννοούμε τις μεθόδους επεξεργασίας στις οποίες κυριαρχούν οι φυσικές δυνάμεις. Οι μέθοδοι επεξεργασίας κατά τη διάρκεια των οποίων γίνεται απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών μέσω χημικών και βιολογικών αντιδράσεων ονομάζονται χημικές και βιολογικές διεργασίες. Οι φυσικές, οι χημικές, και οι βιολογικές διεργασίες κατηγοριοποιούνται σε στάδια στα οποία ανήκουν η προεπεξεργασία (προκαταρκτική επεξεργασία), πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια (με ή χωρίς απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών) και προχωρημένη ή τριτοβάθμια επεξεργασία. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται ώστε να παρέχονται διάφοροι βαθμοί επεξεργασίας. Περιληπτικά στην προεπεξεργασία, τα μεγάλα στερεά όπως για παράδειγμα πλαστικά και χαλίκια-άμμος απομακρύνονται επειδή μπορεί να προξενήσουν ζημιές στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία γίνεται χρήση ενός φυσικού φαινομένου, το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι η καθίζηση, προκειμένου να απομακρυνθούν υλικά που επιπλέουν στα λύματα. Στην προχωρημένη πρωτοβάθμια επεξεργασία, όταν είναι απαραίτητο να βελτιωθεί η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών αλλά και των διαλυμένων στερεών, προστίθενται χημικές ενώσεις. Κατά την δευτεροβάθμια επεξεργασία χρησιμοποιούνται βιολογικές και χημικές διεργασίες προκειμένου να απομακρυνθεί το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού υλικού. Τέλος, στην τριτοβάθμια επεξεργασία γίνεται απομάκρυνση των υπολειπόμενων αιωρούμενων στερεών χρησιμοποιώντας μέσο διήθησης ή μικροσχάρες. Οι διεργασίες επεξεργασίας που στηρίζονται στο έδαφος χαρακτηρίζονται ως φυσικά συστήματα και συνδυάζουν φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς μηχανισμούς επεξεργασίας, παράγοντας νερό καλύτερης ποιότητας από αυτή του νερού που προέρχεται από προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Πίνακας 2.2: Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Προεπεξεργασία			
Μηχανικά φίλτρα	Αμμοσυλλέκτες	Λιποσυλλέκτες	Δεξαμενή παροχής ή ομογενοποίησης
Πρωτοβάθμια Επεξεργασία			
Εξουδετέρωση	Καθίζηση	Κροκίδωση-Συσσωμάτωση	Επίπλευση
Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Βιολογικοί Καθαρισμοί			
Δευτεροβάθμια Καθίζηση	Απομάκρυνση Αζώτου - Φωσφόρου	Αερισμός	
	Μέθοδος ενεργούς Ιλύος		
Τριτοβάθμια Επεξεργασία			
Ιονοανταλλαγή	Προσρόφηση	Απολύμανση	
Διεργασίες Μεμβρανών		Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι	

2.4.1 Προεπεξεργασία

Η προεπεξεργασία έχει σα σκοπό την προετοιμασία του αποβλήτου κυρίως από υδραυλικής πλευράς, προκειμένου να γίνουν περαιτέρω επεξεργασίες με την απομάκρυνση των μικροσκοπικά ορατών εκτός του νερού φάσεων καθώς επίσης και για την εξομάλυνση των διακυμάνσεων των ρυπαντικών φορτίων. Κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας, γίνεται απομάκρυνση των υλικών που περιέχονται μέσα στα απόβλητα, όπως κουρέλια, ξύλα, επιπλέοντα υλικά, χαλίκια, άμμος, και γράσο, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, στις διεργασίες και στα βοηθητικά συστήματα. Απομακρύνονται δηλαδή υλικά που συνήθως προκαλούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό. Με την προεπεξεργασία γίνεται εξισορρόπηση της παροχής και εξομάλυνση του ρυπαντικού φορτίου.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην προεπεξεργασία είναι:

1. Το εσχάρισμα, κατά το οποίο γίνεται απομάκρυνση των αντικειμένων με μεγάλο όγκο. Σκοπός της σχάρας είναι να συγκρατήσει τα υλικά μεγάλου μεγέθους τα οποία παρασύρονται, προκειμένου να προφυλάξει τις επόμενες εγκαταστάσεις από μηχανικές εμφράξεις και φθορές. Οι σχάρες αποτελούνται από παράλληλες σιδερένιες ράβδους με κενά μεταξύ τους που καθαρίζονται από τα στερεά που έχουν συγκρατήσει όσο πιο σύντομα γίνεται με διατάξεις μεταφοράς. Τα στερεά που απομακρύνονται οδηγούνται σε κάδους αποθήκευσης. Οι σχάρες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους. υπάρχουν απλές χονδρές σχάρες, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μικρές μονάδες (<1000m³/d), υπάρχουν μηχανικές χονδρές σχάρες που χρησιμοποιούνται για παροχές μεγαλύτερες των 1000m³/d και υπάρχουν και οι λεπτές σχάρες που χρησιμοποιούνται συνήθως στην επεξεργασία αστικών λυμάτων που αναμειγνύονται με βιομηχανικά και έχουν μορφή δίσκου που βυθίζεται μερικώς στα απόβλητα και περιστρέφεται με αργό ρυθμό.
2. Η άλεση, κατά την οποία τεμαχίζονται μεγάλα αντικείμενα σε στερεά μικρότερου μεγέθους.
3. Η εξάμμωση, κατά την οποία απομακρύνεται η άμμος. Χρησιμοποιούνται για την συγκράτηση υλικών όπως άμμου σπόρων με ακτίνα μεγαλύτερη των 0,3 χιλιοστών. Η κατεργασία αυτή γίνεται για την προφύλαξη και την προστασία των εγκαταστάσεων από φθορές και εμφράξεις αλλά επίσης και για να μην χρειάζεται συχνό καθάρισμα η δεξαμενή χώνευσης. Ο διαχωρισμός των αμμοσυλλεκτών γίνεται σε δυο κατηγορίες, τους οριζόντιους και τους αεριζόμενους. Οι αεριζόμενοι συλλέκτες έχουν ορθογωνικό αεριζόμενο θάλαμο στον οποίο ο αέρας εισέρχεται μέσω διαχυτήρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ελικοειδούς ροής στο νερό και έτσι απομακρύνεται η άμμος. Η ταχύτητα περιστροφής της ροής, η οποία είναι ανάλογη της παροχής του αέρα, είναι υπεύθυνη και για το μέγεθος των σωματιδίων που συγκρατούνται. Η άμμος απομακρύνεται από τον κωνικό πυθμένα του αμμοσυλλέκτη. Οι οριζόντιοι αμμοσυλλέκτες αποτελούνται από οριζόντιο αυλό με οριζόντια ροή. Η αντίστοιχη ταχύτητα είναι πάντα σταθερή και ανεξάρτητη από την παροχή και επιπέδου πλήρωσης. Οι αμμοσυλλέκτες οριζόντιου τύπου κατηγοριοποιούνται σε αυτούς με ορθογωνικό αυλάκι, με αναλογικό εκχειλιστή και σε συλλέκτες με παραβολικό αυλάκι και στένωση τύπου Parshsall στο κάτω άκρο. Ενσωματωμένες μηχανικές διατάξεις όπως ξέστρα, ταινίες μεταφοράς ή φτυάρια χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της άμμου.
4. Η λιποσυλλογή, κατά την οποία απομακρύνονται λίπη και έλαια. Τα λίπη εξαιτίας του μικρότερου ειδικού βάρους που έχουν από το νερό συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του λιποσυλλέκτη, σε αντίθεση με το υπόλοιπο υγρό που συνεχίζει κανονικά τη ροή στα παρακάτω στάδια επεξεργασίας. Λόγω της ύπαρξης μηχανισμού εξαφρισμού στις δεξαμενές καθίζησης, δεν είναι πάντοτε απαραίτητη η ύπαρξη λιποσυλλέκτη. Η

χωρητικότητα ενός λιποσυλλέκτη υπολογίζεται σε χρόνο παραμονής. Επίσης η θερμοκρασία εξόδου πρέπει να είναι κάτω των 35° Κελσίου. Η απόδοσή τους ανέρχεται στο 90 % και το λίπος θα πρέπει να απομακρύνεται τακτικά. Τέλος, σε εγκαταστάσεις με λάδια ή εύφλεκτα υγρά εγκαθίστανται ειδικοί ελαιοδιαχωριστές.

5. Η εξισορρόπηση παροχής, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της δεξαμενής ομογενοποίησης, με την οποία εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ποσότητα και ποιότητα λυμάτων στα επόμενα στάδια. Για την επίτευξη της ομοιόμορφης παροχής όλα τα απόβλητα διοχετεύονται σε μια δεξαμενή μεγάλου μεγέθους όπου εξισορροπούνται τα χαρακτηριστικά τους και τα βιολογικά τους φορτία. Έπειτα αντλούνται με σταθερή ροή στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Τα παραπροϊόντα της προεπεξεργασίας είναι αδρομερή στερεά τα οποία διατίθενται με μεθόδους διάθεσης στερεών απορριμμάτων, τα λίπη και έλαια τα οποία αν δεν μπορούν να ανακυκλωθούν καίγονται σε ειδικούς κλιβάνους και τα ανόργανα στερεά τα οποία μπορούν να διατεθούν στους χώρους υγειονομικής ταφής ή να καούν σε ειδικούς αποτεφρωτήρες.

2.4.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Κατά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, ένα μέρος των αιωρούμενων συστατικών, ένα μέρος των οργανικών ουσιών, ένα μέρος του BOD αλλά και ένα μέρος των θρεπτικών συστατικών του αζώτου και του φωσφόρου, εγκαταλείπουν. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ακολουθηθεί το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης σε αιωρούμενα σωματίδια 0,1-0001 mm. Τα παραπροϊόντα της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι μια πρωτογενής λάσπη η οποία πρέπει να παχυνθεί, να σταθεροποιηθεί και να αξιοποιηθεί ενεργειακά με τη διεργασία της αναερόβιας ή αερόβιας χώνευσης και τελικά να διατεθεί σε χώρους υγειονομικής ταφής μόνο όμως με την προϋπόθεση ότι δεν είναι τοξική.

2.4.2.1 Εξουδετέρωση

Πρόκειται για μια χημική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στόχος της οποίας είναι η ομαλοποίηση του pH, η οποία θα έχει ως ακόλουθο την ομαλή λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού.

2.4.2.2 Καθίζηση

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει την διαδικασία της καθίζησης. Μέσω της καθίζησης επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των ουσιών που καθιζάνουν από αυτές που επιπλέουν στην επιφάνεια των λυμάτων. Πρόκειται για μια φυσική διεργασία κατά την οποία διαχωρίζονται τα σωματίδια που αιωρούνται καθώς έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό.

Η καθίζηση εφαρμόζεται προκειμένου να απομακρυνθούν τα TSS, BOD, οι βιολογικές κροκίδες μετά από βιολογική επεξεργασία, οι χημικές κροκίδες μετά από χημική κροκίδωση και τέλος για να πυκνώσουν τα στερεά στους παχυντές ιλύος. Η μέθοδος της καθίζησης είναι πολύ απλή παρόλο που πολλές φορές προκύπτουν επιπλοκές στις δεξαμενές καθίζησης. Η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από το μέγεθος, το ειδικό βάρος, το σχήμα των σωματιδίων, τη μεταβολή της πυκνότητας του νερού και την κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού συναρτήσει της θερμοκρασίας της ιλύος. Η πρωτοβάθμια καθίζηση πραγματοποιείται σε δεξαμενές στις οποίες τα στερεά κάθονται σε συνθήκες ηρεμίας υπό την επίδραση της βαρύτητας. Οι δεξαμενές αυτές ονομάζονται δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης και απομακρύνουν από 50 έως 70 % των αιωρούμενων σωματιδίων και το 25 με 40 % του BOD. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις ορθογώνιες και τις κυκλικές.

• ΟΡΘΟΓΩΝΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

Η ορθογωνικές δεξαμενές καθίζησης χρησιμοποιούν συνήθως συλλέκτες στερεών τύπου αλυσίδας – ξέστρου ή μετακινούμενης γέφυρας. Στις δεξαμενές που χρησιμοποιούν συλλέκτες τύπου αλυσίδας, σε αυτές βρίσκονται στερεωμένα πτερύγια ξέστρων φτιαγμένα από ξύλο ή fiber glass ανά διαστήματα τριών μέτρων τα οποία καλύπτουν όλο το πλάτος της. Τα αιωρούμενα σωματίδια που καθιζάνουν στην δεξαμενή οδηγούνται μέσω χοανών σε δεξαμενές μικρού μεγέθους και μέσω εγκάρσιων καναλιών σε μεγάλες δεξαμενές. Τα εγκάρσια κανάλια αυτά είναι εξοπλισμένα με μηχανισμό συλλογής συνήθως αλυσίδας ή ξέστρου τα οποία μεταφέρουν τα στερεά σε χοάνες συλλογής. Για τον καθαρισμό των ορθογωνίων δεξαμενών χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός τύπου μετακινούμενης γέφυρας ο οποίος κινείται κάτω στην δεξαμενή πάνω σε οδηγούς που τοποθετούνται στα πλευρικά τοιχώματα. Λόγω της κρισιμότητας που έχει η κατανομή ροής στις ορθογωνικές δεξαμενές συνιστάται να χρησιμοποιείται η παρακάτω διάταξη εισόδου (1) κανάλια εισόδου με πλάτος ισοδύναμο με το πλάτος των υπερχειλιστών εισόδου, (2) κανάλια εισόδου με βυθισμένες θυρίδες ή στόμια και (3) κανάλια εισόδου με ευρείες θύρες και αντίστοιχους ανακλαστήρες. Έχουν αναπτυχθεί πολύ διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους συλλέγεται ο αφρός που δημιουργείται στην επιφάνεια του υγρού. Μία μέθοδος απομάκρυνσης του άρθρου περιλαμβάνει ένα εγκάρσιο περιστρεφόμενο ελικοειδή καθαριστήρα προσαρτημένο σε άξονα. Ο αφρός απομακρύνεται από την επιφάνεια του νερού και μετά κινείται γύρω από μια κεκλιμένη επιφάνεια από που απομακρύνεται σε μία διάταξη συλλογής αφρού. Μία άλλη μέθοδος απομάκρυνσης αποτελείται από ένα συλλέκτη τύπου αλυσίδας ξέστρου

όπου αφρός συλλέγεται στη μία πλευρά της δεξαμενής απ' όπου και αντλείται. Τέλος, ο αφρός μπορεί να απομακρυνθεί και χειρωνακτικά.

● ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

Λόγω του σχήματος που έχουν οι κυκλικές δεξαμενές, η ροή σε αυτές είναι ακτινική. Για την επίτευξη αυτής της ακτινικής ροής τα απόβλητα μπορούν είτε να εισαχθούν στο κέντρο είτε στην περιφέρεια της δεξαμενής. Για τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι πιο διαδεδομένη η χρήση δεξαμενών των οποίων η τροφοδοσία γίνεται από το κέντρο τους. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μεταφέρονται τα υγρά απόβλητα στο κέντρο της δεξαμενής. Ο ένας είναι μέσω ενός αγωγού που αιωρείται από τη γέφυρα και ο δεύτερος πάλι μέσω αγωγού οποίος είναι τοποθετημένος στο τσιμέντο κάτω από τον πυθμένα της δεξαμενής. Για να υπάρξει ισοδύναμη κατανομή της ροής σε όλες τις κατευθύνσεις στο κέντρο της δεξαμενής τα απόβλητα εισέρχονται σε ένα κυκλικό φρεάτιο, το οποίο έχει διάμετρο από 15 έως 20% της ολικής διαμέτρου της δεξαμενής και βρίσκεται σε βάθος από ένα έως δυόμιση μέτρα. Για να μην εισέρχεται με μεγάλη ενέργεια το υγρό μέσα στην δεξαμενή, συνήθως η είσοδο του σε αυτήν γίνεται εφαπτομενικά. Προκειμένου να επιτευχθεί η εφαπτομενική είσοδος του υγρού στην δεξαμενή, τοποθετούνται μέσα σε αυτή ανακλαστήρες. Για την απομάκρυνση των στερεών από τις κυκλικές δεξαμενές χρησιμοποιείται εξοπλισμός οποίος στηρίζεται σε δοκούς οι οποίοι κινούνται πάνω στην δεξαμενή. Επίσης, ο πυθμένας δεξαμενής είναι κεκλιμένος έτσι ώστε να σχηματίζεται ένας κώνος και τα στέρεα να συλλέγονται από μία χοάνη, η οποία είναι τοποθετημένη στο κέντρο της δεξαμενής.

Η ύλη που προκύπτει από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης περιλαμβάνει κυρίως ανόργανες ουσίες όπως άμμο χώμα κλπ. Παρόλα αυτά όμως η ιλύς της πρωτοβάθμιας καθίζησης περιέχει και οργανικές ουσίες, λόγω του ότι τα λύματα στο στάδιο του μηχανικού καθαρισμού δεν έχουν υποστεί ακόμα βιολογική επεξεργασία. Αυτός είναι και ο λόγος που απαιτείται η σταθεροποίηση πριν την τελική διάθεση.

2.4.2.3 Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Στα υγρά απόβλητα βρίσκονται κολλοειδή σωματίδια το μέγεθος των οποίων είναι τέτοιο ώστε οι ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους είναι πολύ μικρότερες από τις δυνάμεις άπωσης που αναπτύσσονται λόγω του ηλεκτρικού φορτίου που φέρουν. Τα κολλοειδή σωματίδια στα υγρά κατηγοριοποιούνται σε τρεις γενικούς τύπους: Τα υδρόφοβα, τα υδρόφιλα και τα συνδυασμένα κολλοειδή. Τα υδρόφιλα παρουσιάζουν πολύ μεγάλη έλξη για το νερό σε αντίθεση με τα υδρόφοβα που παρουσιάζουν πολύ μικρή. Αυτή η πόλη μικρή έλξη για το νερό που παρουσιάζουν τα υδρόφοβα σωματίδια δεν αποτρέπει το νερό να αλληλεπιδράσει μαζί τους. Στον τύπο των συνδυασμένων κολλοειδών σωματιδίων ανήκουν τα απορρυπαντικά, οι χρωστικές ουσίες, τα σαπούνια και συσσωματώματα γνωστά ως μικκύλια. Ο συνεχής θερμικός βομβαρδισμός των κολλοειδών σωματιδίων από τα μικρά μόρια νερού που τα περιβάλλουν προκαλεί την κίνηση Μπράουν. Αυτή η

κίνηση είναι υπεύθυνη για την αιώρηση των σωματιδίων. Η κροκίδωση είναι μία διεργασία αποσταθεροποίησης των κolloειδών σωματιδίων η οποία έχει ως αποτέλεσμα την σύγκρουση των σωματιδίων και την αύξηση του μεγέθους τους. Οι αντιδράσεις κροκίδωσης είναι συχνά ατελείς και πληθώρα δευτερευόντων αντιδράσεων με άλλες ουσίες που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα πραγματοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων τα οποία διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και των εποχών.

Για να πραγματοποιηθεί η διεργασία της κροκίδωσης χρησιμοποιείται ένα χημικό αντιδραστήριο το οποίο ονομάζεται κροκιδωτικό. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το κροκιδωτικό το οποίο προστίθεται στα υγρά απόβλητα αποσταθεροποιεί τα κolloειδή σωματίδια που βρίσκονται στα υγρά έτσι ώστε να προκύψει ο σχηματισμός κροκίδων. Για την επίτευξη της κροκίδωσης χρησιμοποιούνται κροκίδες όπως για παράδειγμα μεταλλικά άλατα το αργίλου και του σιδήρου, $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, ή Άσβεστος CaO και επίσης συνθετικά οργανικά πολυμερή με φυσικοχημικές ιδιότητες πολύ – ηλεκτρολυτών. Βέβαια η επιλογή κροκιδωτικού εξαρτάται από τη φύση των σωματιδίων και χαρακτηριστικά όπως το pH. Ακόμα, καθίζηση μπορεί να γίνει και με την προσθήκη υδροξειδίου μετάλλων τα οποία είναι αδιάλυτα στο νερό και σχηματίζουν ογκώδη ιζήματα με αποτέλεσμα καθώς αυτά καθιζάνουν να παρασύρουν και τα κolloειδή σωματίδια.

Συσσωμάτωση είναι η διεργασία όπου το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνεται ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ τους. Υπάρχουν δύο τύποι συσσωμάτωσης: η μικρό-συσσωμάτωση η οποία είναι γνωστή και ως περικινητική συσσωμάτωση, όπου η συσσωμάτωση των σωματιδίων λαμβάνει χώρα από την τυχαία θερμική κίνηση των μορίων του ρευστού. Το δεύτερο είδος συσσωμάτωσης ονομάζεται μακρό-συσσωμάτωση η αλλιώς ορθοκινητική συσσωμάτωση, όπου η συσσωμάτωση των σωματιδίων λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της κλίσης της ταχύτητας και της ανάμειξης στο ρευστό μέσο που περιέχει τα προς συσσωμάτωση σωματίδια. Η συσσωμάτωση έχει ως σκοπό την παραγωγή σωματιδίων τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν με μη δαπανηρές διαδικασίες διαχωρισμού σωματιδίων όπως για παράδειγμα η καθίζηση με βαρύτητα και η διήθηση.

2.4.2.4 Επίπλευση

Για τον διαχωρισμό στερεών ή υγρών σωματιδίων από μια υγρή φάση χρησιμοποιείται η διεργασία της επίπλευσης. Ο διαχωρισμός αυτός προκαλείται από την εισαγωγή αέριων φυσαλίδων μέσα στην υγρή φάση. Όταν εισέρθουν οι φυσαλίδες στην υγρή φάση προσκολλώνται στα σωματίδια και με τη βοήθεια της άνωσης ανέρχονται στην επιφάνεια. Με αυτόν τον τρόπο ανυψώνονται τα σωματίδια με πυκνότητα μεγαλύτερη από το υγρό. Τα πλεονεκτήματα της διεργασίας της επίπλευσης σε σχέση με την διεργασία της καθίζησης είναι ότι τα πολύ μικρά σωματίδια που αργούν να βυθιστούν απομακρύνονται πλήρως σε ελάχιστο χρονικό διάστημα με τον εξαφρισμό εφόσον επιπλέουν στην επιφάνεια.

Οι τεχνικές επίπλευσης είναι δύο, η επίπλευση με αέρα και η επίπλευση με διαλυμένο αέρα.

Η επίπλευση αέρα γίνεται με παροχή μικρών φυσαλίδων αέρα στα υγρά απόβλητα ενώ η επίπλευση με διαλυμένο αέρα πραγματοποιείται με παροχή αέρα σε συνθήκες συμπίεσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μικρών μονάδων επεξεργασίας χρησιμοποιούνται σηπτικές δεξαμενές πριν την τελική διάθεση των λυμάτων στην φύση. Στα συστήματα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα ο αέρας διαλύεται στα υγρά απόβλητα υπό πίεση και στη συνέχεια ακολουθεί εκτόνωση της πίεσης σε ατμοσφαιρικό επίπεδο.

Χημικά προϊόντα προστίθενται συχνά με σκοπό να υποβοηθήσουν τη διεργασία της επίπλευσης. Τα χημικά χρησιμοποιούνται με σκοπό να δημιουργηθεί μια επιφάνεια που να μπορεί να απορροφήσει εύκολα τις φυσαλίδες του αέρα. Ανόργανα χημικά όπως άλατα του αργιλίου και ενεργοποιημένο οξείδιο του πυριτίου χρησιμοποιούνται για να δεσμεύουν τα σωματίδια μεταξύ τους. Έτσι με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια δομή που παγιδεύει τις φυσαλίδες αέρα.

2.4.3 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

2.4.3.1 Απομάκρυνση φωσφόρου

Η απομάκρυνση του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των φωσφορικών τα αιωρούμενα στερεά και στη συνέχεια την απομάκρυνση των στερεών αυτών. Ο φώσφορος μπορεί να απομακρυνθεί είτε με χημική κατακρήμνιση είτε με βιολογικό τρόπο.

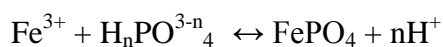
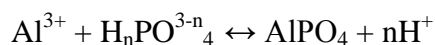
Χημική απομάκρυνση του φωσφόρου μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη αλάτων πολυσθενών μεταλλικών ιόντων τα οποία σχηματίζουν ιζήματα ελάχιστα διαλυτών φωσφορικών. Τα πολυσθενή μεταλλικά ιόντα που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως του ασβεστίου του αργιλίου και του σιδήρου.

Όταν γίνεται η κατακρήμνιση του φωσφόρου με ασβέστιο, το ασβέστιο προστίθεται με τη μορφή άσβεστου Ca(OH)_2 . Όταν ο άσβεστος προστίθεται στο νερό αντιδρά με τη φυσική αλκαλικότητα των όξινων ανθρακικών με αποτέλεσμα την κατακρήμνιση ανθρακικού ασβεστίου CaCO_3 . Όταν η τιμή του pH των υγρών αποβλήτων περάσει την τιμή του 10 η Περίσσεια των ανθρακικών ιόντων αντιδρά με τα φωσφορικά, με αποτέλεσμα την κατακρήμνιση υδροξυαπαιτίτη $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.



Η ποσότητα της ασβεστού που απαιτείται για την κατακρήμνιση του φωσφόρου είναι περίπου 1,4 με 1,5 φορές μεγαλύτερη από την ολική αλκαλικότητα, εκφρασμένης ως CaCO_3 . Όταν η άσβεστος προστίθεται σε ανεπεξέργαστα υγρά είσαι δευτεροβάθμιας εκροές συνήθως απαιτείται ρύθμιση του pH πριν από το ακόλουθο στάδιο επεξεργασίας η τη διάθεση.

Όταν γίνεται κατακρήμνιση φωσφόρου με άργιλο και σίδηρο, 1 mole θα προκαλέσει κατακρημνίσει 1 mole φωσφορικών.



Πρέπει να αναφερθεί ότι οι αντιδράσεις αυτές δεν είναι απλές και πρέπει να εξετάζονται λαμβάνοντας υπόψη τις πολλές ανταγωνιστικές αντιδράσεις και τις αντίστοιχες σταθερές ισορροπίας και την επίδραση της αλκαλικότητας, του pH, των ιχνοστοιχείων και των υποκατάστατων που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Οι δόσεις των χημικών που προστίθενται υπολογίζονται από εργαστηριακές δοκιμές και μερικές φορές από δοκιμές πλήρους κλίμακας, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται πολυμερή. Επειδή τα πολυφωσφορικά και ο οργανικός φώσφορος απομακρύνονται λιγότερο εύκολα από τα ορθοφωσφορικά, η προσθήκη αλάτων σιδήρου και αργίλου μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία επιφέρει καλύτερη κατακρήμνιση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των χημικών που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του φωσφόρου εξαρτώνται από τα επίπεδα φωσφόρου στην εισροή, τα αιωρούμενα στερεά στα υγρά απόβλητα, η αλκαλικότητα, το κόστος των χημικών στα οποία συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μεταφοράς τους, η αξιοπιστία της προμήθειας χημικών, οι εγκαταστάσεις διαχείρισης της λάσπης, οι μέθοδοι τελικής διάθεσης και τέλος, η συμβατότητα με άλλες διεργασίες επεξεργασίας. Η κατακρήμνιση χωρίζεται σε τρία στάδια: την προ-κατακρήμνιση, την συν-κατακρήμνιση και την μετά- κατακρήμνιση. Προ-κατακρήμνιση είναι η προσθήκη χημικών στα ακατέργαστα υγρά απόβλητα για την κατακρήμνιση του φωσφόρου στις εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης. Τα φωσφορικά που έχουν καθιζάνει απομακρύνονται μαζί με την πρωτοβάθμια λάσπη.

Η προσθήκη χημικών για την δημιουργία ιζημάτων που απομακρύνονται μαζί με την απορριπτόμενη βιολογική λάσπη ονομάζεται συν-κατακρήμνιση. Τα χημικά μπορούν να προστεθούν είτε στην εκροή των εγκαταστάσεων πρωτοβάθμιας καθίζησης είτε στο ανάμεικτο υγρό, είτε στην επεξεργασμένη εκροή από την βιολογική διεργασία πριν τη δευτεροβάθμια καθίζηση. Τέλος, η μετά-κατακρημνίση περιλαμβάνει την προσθήκη χημικών στην εκροή από τις εγκαταστάσεις δευτεροβάθμιας καθίζησης και στη συνέχεια την απομάκρυνση των ιζημάτων που σχηματίζονται. Στην διεργασία αυτή τα ιζήματα απομακρύνονται σε ξεχωριστές εγκαταστάσεις καθίζησης ή με φίλτρα διήθησης.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου με βιολογικά μέσα ονομάζεται βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Η απομάκρυνση του φωσφόρου γίνεται για τον έλεγχο του ευτροφισμού αφού ο φώσφορος είναι ένα περιοριστικό θρεπτικό συστατικό στα περισσότερα ιδιωτικά συστήματα. Τα όρια του στην εκροή μίας εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων κυμαίνονται από 0,1 έως 2 mg ανά λίτρο ανάλογα με τη θέση της μονάδας και τις πιθανές επιπτώσεις των υδάτων αποδεκτή. Τα κύρια πλεονεκτήματα της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου είναι οι μειωμένες δαπάνες σε χημικά και μικρότερη παραγωγή ιλύος συγκριτικά με την χημική καθίζηση.

Κατά την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου, ο φώσφορος στην εισροή είναι ενσωματωμένος στα κύτταρα της βιομάζας και στη συνέχεια απομακρύνεται από την εργασία μέσω της απόρριψης της ιλύος. Οι οργανισμοί που συσσωρεύουν το φώσφορο αυξάνονται και καταναλώνουν φώσφορο σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται διατάξεις αντιδραστήρων, που παρέχουν στα ΡΑΟ ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης έναντι των άλλων βακτηρίων. Για την απομάκρυνση του φωσφόρου χρησιμοποιείται μία διάταξη η οποία αποτελείται από μία αναερόβια δεξαμενή η οποία βρίσκεται μπροστά από μία δεξαμενή αερισμού ενεργού ιλύος. Το περιεχόμενο της αναερόβιας δεξαμενής αναμειγνύεται ώστε η ενεργός ιλύς που ανακυκλώνεται να έρθει σε επαφή με τα εισερχόμενα υγρά απόβλητα. Αναερόβιες δεξαμενές επαφής έχουν τοποθετηθεί μπροστά από διαφορετικούς τύπους διεργασιών αιωρούμενης βιομάζας με αερόβιες τιμές SRT που κυμαίνονται από 2 μέχρι 40 ημέρες.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου στα βιολογικά συστήματα βασίζεται στις ακόλουθες παρατηρήσεις:

Πλήθος βακτηρίων είναι ικανά να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου ως πολυφωσφορικά στα κύτταρά τους σε αναερόβιες συνθήκες, τα ΡΑΟ θα αφομοιώσουν τα προϊόντα της ζύμωσης σε προϊόντα αποθήκευσης μέσα στα κύτταρα, με την συνακόλουθη έκκλιση φωσφόρου από τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά και σε αερόβιες συνθήκες, παράγεται ενέργεια από την οξειδωση των προϊόντων αποθήκευσης και η αποθήκευση των πολυφωσφορικών στα κύτταρα αυξάνεται.

Την τελευταία εικοσαετία έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές βιολογικές διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας με σκοπό την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Όλες αυτές οι διεργασίες περιλαμβάνουν τα βασικά βήματα μίας αναερόβιας ζώνης που ακολουθείται από μία αερόβια ζώνη. Το 1974, ο Μπάρναρντ ήταν ο πρώτος που ξεκαθάρισε την ανάγκη για την αναερόβια επαφή ανάμεσα στην ενεργό ύλη και την εισροή των υγρών αποβλήτων πριν την αναερόβια αποικοδόμηση για την επίτευξη της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου. Άλλες εναλλαγές της βασικής διεργασίας περιλαμβάνουν το συνδυασμό της αναερόβιας – αερόβιας ακολουθίας με διάφορους σχεδιασμούς βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου, την ανακυκλοφορία του μεικτού υγρού στην αναερόβια ζώνη από το ρεύμα της ανοξικής ζώνης αντί μόνο αυτού από τη δευτεροβάθμια καθίζηση, την προσθήκη πτητικών λιπαρών οξέων στην αναερόβια ζώνη είτε ως τοξικά άλατα είτε ως υγρό ρεύμα από τον αντιδραστήρα σταθεροποίησης που επεξεργάζεται την ιλύ από την πρωτοβάθμια καθίζηση και τέλος, την χρήση αναερόβιων και αερόβιων αντιδραστήρων πολλαπλών βαθμίδων.

Η εναλλακτική έκθεση σε αναερόβιες συνθήκες μπορεί να επιτευχθεί στην κυρία βιολογική διεργασία επεξεργασίας, ή του κυρίου ρεύματος στο ρεύμα της ανακυκλοφορίας της ιλύος.

2.4.3.2 Απομάκρυνση Αζώτου

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η βιολογική διεργασία δυο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία (NH₄-N) οξειδώνεται σε νιτρώδη (NO₂-N) και τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά ιόντα (NO₃-N) ονομάζεται νιτροποίηση. Η διεργασία της νιτροποίησης στα υγρά απόβλητα σχετίζεται με το ενδιαφέρον για (1) τις επιπτώσεις της αμμωνίας στον αποδέκτη που συνδέονται με τη συγκέντρωση DO και την τοξικότητα στα ψάρια, (2) την απαίτηση για απομάκρυνση αζώτου για έλεγχο του ευτροφισμού και (3) την ανάγκη για έλεγχο του αζώτου σε εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού. Η ολική συγκέντρωση του οργανικού αζώτου και του αμμωνιακού αζώτου κυμαίνεται από 25 έως 45 mg/L αζώτου με βάση μια παροχή 450L/ κάτοικο * ημέρα.

Η νιτροποίηση επιτυγχάνεται με διεργασίες αιωρούμενης και προσκολλημένης βιομάζας. Με την ίδια διεργασία απομακρύνεται και το BOD από τα λύματα. Για την επίτευξη της νιτροποίησης χρησιμοποιούνται μια δεξαμενή αερισμού που αποτελεί την πρώτη μονάδα, μια δεξαμενή διαύγασης που αποτελεί την δεύτερη μονάδα και ένα σύστημα ανακύκλωσης ιλύος. Προκειμένου να επιτευχθεί η νιτροποίηση πρέπει πρώτα να απομακρυνθούν οι τοξικές ουσίες και το BOD. Ένα να μέρος των αποβλήτων οδηγείται απευθείας στην δεύτερη μονάδα για να παρέχει επαρκή ποσότητα στερεών για να υπάρξει αποδοτική κροκίδωση των στερεών και διαύγαση.

Όπως αναφέρθηκε η νιτροποίηση είναι μια διεργασία δυο σταδίων η οποία περιλαμβάνει δυο ομάδες βακτηρίων τα Nitrosomonas και Nitrobacter. Στο πρώτο στάδιο η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη και στο δεύτερο στάδιο τα νιτρώδη σε νιτρικά.

Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι :

Nitroso-bacteria:



Nitro-bacteria:



Ολική αντίδραση οξείδωσης :



ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Απονιτροποίηση ονομάζεται η βιολογική αναγωγή των νιτρικών σε οξείδια του αζώτου. Η βιολογική απονιτροποίηση γίνεται από ετερότροφους μικροοργανισμούς, οι οποίοι αναγκάζονται να βρεθούν σε ανοξικές συνθήκες. Για να εξασφαλίσουν την απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου για την συντήρησή τους στη ζωή, αναγκάζονται να διασπάσουν τα νιτρικά για να αξιοποιήσουν το περιεχόμενο σ' αυτά οξυγόνο και είναι (οι οργανισμοί) αναπόσπαστο τμήμα της απομάκρυνσης του αζώτου. Σε σύγκριση με άλλες διεργασίες η βιολογική απομάκρυνση είναι λιγότερο δαπανηρή και χρησιμοποιείται πιο συχνά. Επίσης, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων όταν υπάρχει κίνδυνος ευτροφισμού αλλά και όταν τα υπόγεια ύδατα πρέπει να προστατευθούν από συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$.

Όπως αναφέρθηκε, η απονιτροποίηση πραγματοποιείται με ετερότροφα βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν ως πηγή οξυγόνου το οξυγόνο των νιτρικών και των νιτρικών που παράγονται από την νιτροποίηση. Τα συγκεκριμένα βακτήρια χρησιμοποιούν το διαλυμένο οξυγόνο που βρίσκεται στο σύστημα όταν δεν βρίσκονται σε ανοξικές καταστάσεις.

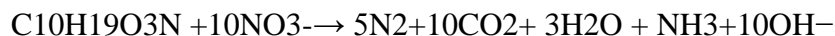
Η θερμοκρασία και το pH παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην απονιτροποίηση. Κατά την αναγωγή των νιτρικών, αν το pH έχει τιμή μικρότερη του 7 τότε ευνοείται η σύνθεση οξειδίων του αζώτου ενώ αν η τιμή είναι μεγαλύτερη του 9 τότε ευνοείται η σύνθεση αμμωνίας. Για την αναγωγή των νιτρικών απαιτείται σε άζωτο είναι απαραίτητη μια πηγή άνθρακα για τα ετερότροφα βακτήρια. Τέτοια πηγή μπορεί να αποτελεί ο άνθρακας των νεκρών κυττάρων που έχουν υποστεί σήψη, η μεθανόλη, ακόμα και οι διαλυτές και κολλοειδείς οργανικές ενώσεις των ακατέργαστων αποβλήτων (BOD).

Στη βιολογική απονιτροποίηση η βιολογική οξειδωση χρησιμοποιεί ως δέκτη ηλεκτρονίων τα νιτρικά ή τα νιτρώδη στη θέση του οξυγόνου. Η αντίδραση αναγωγής περιλαμβάνει τα ακόλουθα αναγωγικά βήματα :



Ανάλογα με τον δότη ηλεκτρονίων παρουσιάζονται και οι αντίστοιχες διεργασίες :

Υγρά απόβλητα :



Μεθανόλη :



Οξικό οξύ :



2.4.3.3 Μέθοδος ενεργού ιλύος

Η μέθοδος ενεργού ιλύος είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας διότι απομακρύνει περίπου το 90% του οργανικού φορτίου, των αιωρούμενων στερεών και των μικροοργανισμών αλλά και το 20 % περίπου του αζώτου και του φωσφόρου. Για την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται μια δεξαμενή αερισμού και μια δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού και αναμιγνύονται με το ήδη υπάρχον υγρό. Το οργανικό φορτίο των λυμάτων καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στην δεξαμενή έτσι ώστε να αναπτυχθούν και για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών οξειδώνουν το οργανικό φορτίο προς CO₂. Με αυτόν τον τρόπο το οργανικό φορτίο των αποβλήτων μετατρέπεται σε βιομάζα ή CO₂. Στη συνέχεια, τα λύματα οδηγούνται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου διαχωρίζεται η μάζα των μικροοργανισμών με τα διαυγασμένα λύματα. Για την τροφοδότηση μικροοργανισμών που είναι απαραίτητοι για την κατανάλωση του οργανικού φορτίου των νέων λυμάτων, ένα μέρος της ιλύος επιστρέφεται στην δεξαμενή αερισμού.

Τα κυριότερα συστήματα ενεργού ιλύος είναι:

1. Κλασικό σύστημα
2. Σύστημα με βηματική τροφοδότηση
3. Σύστημα πλήρης ανάμιξης
4. Σύστημα τύπου επαφής-σταθεροποίησης
5. Σύστημα παρατεταμένου αερισμού

Η μέθοδος ενεργού ιλύος έχει ανάγκη από οξυγόνο. Το οξυγόνο αυτό παρέχεται με τη χρήση αεριστήρων που είναι τοποθετημένοι στην βάση της δεξαμενής με τη μορφή αέρα.

2.4.3.4 Αερισμός

Όπως αναφέρθηκε, η μέθοδος ενεργού ιλύος συνδυάζεται με συστήματα αερισμού, η προσθήκη των οποίων συμβάλει στη μέγιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των αντιδραστήρων, στην αύξηση της ταχύτητας αλλά και της απόδοσης της αντίδρασης βιοοξείδωσης. Επίσης, μειώνει την κατανάλωση ενέργειας στις εγκαταστάσεις.

Υπάρχουν δυο τρόποι με τους οποίους γίνεται ο αερισμός, εσωτερικά ή επιφανειακά. Όταν γίνεται εσωτερικά (εσωτερικός αερισμός) ο αέρας εισάγεται στη δεξαμενή με ένα σύστημα οπών με αποτέλεσμα την καλή διασπορά του αέρα σε όλη τη μάζα του λυματος. Ο επιφανειακός αερισμός γίνεται με τουρμπίνες που προκαλούν επιφανειακή ανατάραξη στις δεξαμενές καθαρισμού. Ο επιφανειακός αερισμός χρησιμοποιείται σε μικρές μονάδες σε αντίθεση με τον επιφανειακό αερισμό που χρησιμοποιείται σε μεγάλες.

2.4.3.5 Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης

Στην δευτεροβάθμια καθίζηση πραγματοποιείται ο διαχωρισμός της βιολογικής ιλύος από τα επεξεργασμένα υγρά, τα οποία οδηγούνται στους σταθμούς τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης το ανάμικτο παραμένει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προκειμένου η λάσπη να καθιζάνει, ενώ το διάφανο υγρό διαχωρίζεται και υπερχειλίζει. Επίσης, με την καθίζηση αυτή γίνεται επαρκής συμπύκνωση της λάσπης, πράγμα που κάνει εύκολη την ανακυκλοφορία της στον βιολογικό αντιδραστήρα.

2.4.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Σκοπός της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών. Το στάδιο αυτό είναι μεγάλης σημασίας όταν η παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων στα λύματα είναι σημαντική και ο στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση, στη βιομηχανία ή σε χώρους αναψυχής. Περιλαμβάνει επεξεργασίες όπως η κροκίδωση – ιζηματοποίηση, η απολύμανση, οι διεργασίες με μεμβράνες και η προσρόφηση από ενεργό άνθρακα.

Στην απολύμανση των αποβλήτων καταστρέφονται ή αδρανοποιούνται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που αποτελούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία.

Προϊόντα της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η παραγωγή βιομάζας και ανόργανες λάσπες. Σε αντίθεση με τις λάσπες, οι οποίες αν δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους χώρους απόθεσης των αστικών απορριμμάτων, η αξιοποίηση της βιομάζας γίνεται ενεργειακά. Προκειμένου λοιπόν να γίνει εφικτή η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, κρίνεται απαραίτητη η τριτοβάθμια επεξεργασία.

Η τριτοβάθμια επεξεργασία αποσκοπεί στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων και έτσι καθίσταται εφικτή η αποτελεσματική απολύμανσή τους. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η επιπλέον απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων, η μείωση της θολότητας άρα και η ποιοτική αναβάθμιση της οπτικής εμφάνισης των λυμάτων και η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

2.4.4.1 Απολύμανση

Η διαδικασία της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων πραγματοποιείται ώστε να μειωθεί σημαντικά ο αριθμός των παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό που θα επαναδιατεθεί στο περιβάλλον για ακόλουθες χρήσεις. Η ποιότητα του νερού που θα επεξεργαστεί (θολρότητα, πυκνότητα, pH, χρώμα, οσμή, γεύση, αλκαλικότητα), το είδος της απολύμανσης που θα χρησιμοποιηθεί, η δόση απολυμαντικού και άλλες

περιβαλλοντικές μεταβλητές παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο για το αποτέλεσμα της απολύμανσης.

Οι κυριότερες μέθοδοι απολύμανσης περιλαμβάνουν το όζον, το χλώριο και την υπεριώδη ακτινοβολία :

- **Χλωρίωση:** αποτελεί την πιο κοινή μορφή απολύμανσης των υγρών αποβλήτων αφού έχει χαμηλό κόστος και είναι πολύ αποτελεσματική. Ωστόσο, το μειονέκτημά του είναι ότι η χλωρίωση του υπολειμματικού οργανικού υλικού μπορεί να δημιουργήσει χλωριωμένες οργανικές ενώσεις, οι οποίες μπορεί να είναι καρκινογόνες ή επιβλαβείς για το περιβάλλον, καθώς επίσης το υπολειμματικό χλώριο είναι τοξικό για τα υδρόβια είδη.
- **Υπεριώδης ακτινοβολία:** η χρήση της αντικαθιστά αυτή του χλωρίου, του ιωδίου ή άλλων χημικών. Δεν χρησιμοποιούνται χημικά, οπότε τα επεξεργασμένα ύδατα δε επιδρούν αρνητικά στους οργανισμούς μετά την απομάκρυνση από τον βιολογικό καθαρισμό και την διάθεσή του στο περιβάλλον. Η διαδικασία της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία έχει και κάποια μειονεκτήματα. Είναι απαραίτητη η συχνή συντήρηση και αντικατάσταση λαμπτήρα καθώς και η εξαιρετική ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων ώστε να εξασφαλιστεί πως τυχόν στερεά που βρίσκονται στα επεξεργασμένα λύματα μπορεί να προφυλάξουν τους μικροοργανισμούς από την υπεριώδη ακτινοβολία.
- **Όζον:** θεωρείται ασφαλέστερη μέθοδος απολύμανσης από το χλώριο επειδή παράγεται επιτόπου όταν απαιτείται και δεν είναι δηλητηριώδες σε περίπτωση που απελευθερωθεί τυχαία, σε αντίθεση με το χλώριο το οποίο πρέπει να αποθηκεύεται στο χώρο και είναι εξαιρετικά δηλητηριώδες. Επίσης παράγει λιγότερα υποπροϊόντα απολύμανσης από το χλώριο. Το μειονέκτημα όμως της απολύμανσης με όζον είναι το υψηλό κόστος του εξοπλισμού παραγωγής του και η απαίτηση για ειδική λειτουργία.

2.4.4.2 Προσρόφηση

Προσρόφηση είναι η διαδικασία μεταφοράς και συσσώρευσης μιας ουσίας από ένα ρευστό στην επιφάνεια ενός στερεού. Η ουσία που προσροφάται ονομάζεται προσρόφημα, ενώ η στερεά φάση ονομάζεται προσροφητής.

Εφαρμογές της προσρόφησης είναι:

- Απομάκρυνση οργανικής ύλης από το πόσιμο νερό.
- Απομάκρυνση τοξικών ουσιών από υγρά βιομηχανικά απόβλητα.
- Απομάκρυνση οσμής και γεύσης από το πόσιμο νερό.
- Απομάκρυνση ατμών οργανικών διαλυτών από απαέρια.
- Αποχρωματισμός νερού ή υγρών τροφίμων.
- Αποχλωρίωση νερού.

- Μάσκες ατομικής προστασίας σε επικίνδυνα βιομηχανικά περιβάλλοντα ή σε περίπτωση χημικού πολέμου.

Οι συνηθέστεροι προσροφητές είναι διάφορα οξείδια μετάλλων, ρητίνες, το έδαφος και ο ενεργός άνθρακας. Ο ενεργός άνθρακας αποτελεί τον σημαντικότερο προσροφητή με εφαρμογές σε θέματα περιβαλλοντικής μηχανικής.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πληρωτικό υλικό σε φίλτρα πίεσεως ή βαρύτητας. Τα φίλτρα πίεσεως είναι απαραίτητα σε περιπτώσεις μεταβολών της παροχής, εξαιτίας των μεταβολών της πτώσης πίεσης που μπορούν να δεχτούν. Βασικό τους μειονέκτημα είναι η έλλειψη δυνατότητας οπτικής παρακολούθησης του GAC. Τα φίλτρα βαρύτητας είναι προτιμότερα στις περιπτώσεις που δεν είναι επιθυμητές μεταβολές της παροχής για λόγους απομάκρυνσης της θολότητας αλλά και μεταβολές της πτώσης πίεσης για λόγους λειτουργικού κόστους ή όταν απαιτείται η οπτική παρακολούθηση της κατάστασης του GAC.

Οι στήλες σταθερού στρώματος πρέπει να υφίστανται έκπλυση κατά διαστήματα, όταν το νερό περιέχει αιωρούμενα σωματίδια. Επίσης, όταν ο GAC φτάσει στα υψηλότερα επίπεδά του με τις προσροφημένες ουσίες, απομακρύνεται για αναγέννηση.

Μια άλλη διάκριση των συστημάτων του κοκκώδους άνθρακα είναι η θέση τους για επεξεργασία του νερού. Οι στήλες GAC διήθησης-προσρόφησης χρησιμοποιούνται για την ταυτόχρονη απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και των διαλυμένων οργανικών ουσιών και χρειάζονται συχνή έκπλυση.

Επίσης, τοποθετούνται σε φίλτρα μετά τη διήθηση του νερού, η χρήση τους αφορά την προσρόφηση διαλυμένων οργανικών ουσιών και δεν χρήζουν συχνής έκπλυσης.

Η σκόνη ενεργού άνθρακα (PAC) προστίθεται στο νερό μαζί με το κροκιδωτικό και στη συνέχεια πραγματοποιείται η καθίζηση. Η ποσότητα του PAC που προστίθεται μπορεί να αλλάζει σύμφωνα με την περιεκτικότητα του νερού σε ουσίες που είναι προς απομάκρυνση. Συχνά χρησιμοποιείται ο PAC εμπόλιμα, στις περιπτώσεις που υπάρχει η ανάγκη απομάκρυνσης οσμής και γεύσης ή άλλων οργανικών ουσιών. Είναι γενικά λιγότερο αποτελεσματικός από τον GAC.

2.4.4.3 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

Οι εκροές από μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων αποτελούν ένα σημαντικό υδάτινο πόρο με πολλές χρήσεις οι οποίες είναι συνήθως μη πόσιμες. Η χρήση του επεξεργασμένου αποβλήτου θα πρέπει να γίνεται με βάση συγκεκριμένους

κανόνες ποιότητας προκειμένου η επικινδυνότητα χρήσης ενός τέτοιου πόρου να είναι μηδαμινή.

Μη πόσιμες χρήσεις:

- **Αγροτική:** Η αγροτική άρδευση εμφανίζει και τα μεγαλύτερα ποσοστά χρήσης ανακτημένων λυμάτων, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζει σημαντικές προοπτικές σε ό,τι αφορά τη μελλοντική χρήση επεξεργασμένων λυμάτων. Οι εκροές από μονάδες επεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή αρδευτικού νερού σε περιόδους ξηρασίας και να υποβοηθήσουν στη μείωση λιπασμάτων μέσω τροφοδότησης N, P από το ανακτημένο λύμα.

- **Αστική:** Άρδευση αστικών εκτάσεων, όπως πάρκων, ακάλυπτων χώρων, κράσπεδων, πυρόσβεση, καθαρισμός τουαλέτας (αποχέτευση), σιντριβάνια, πηγή αρδευτικού νερού σε περιόδους ξηρασίας.

- **Βιομηχανική:** Σε βιομηχανικές δραστηριότητες που απαιτούν τη χρήση νερού (νερό ψύξης, νερό τροφοδοσίας λεβήτων, νερό κατεργασίας, νερό διαβροχής, ανακύκλωση του νερού ως μέρος της παραγωγικής διαδικασίας).

- **Αναψυχή / Περιβαλλοντικές χρήσεις:** Χρήση των ανακτημένων λυμάτων για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων βιοτόπων και δημιουργία χώρων αναψυχής όπως δημιουργία τεχνητών υγροτόπων ή τη διατήρηση των φυσικών, δημιουργία χώρων αναψυχής, την ενίσχυση προβληματικών επιφανειακών υδάτινων ρεμάτων, διάφορες άλλες χρήσεις που έχουν ως κύριο στόχο την ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη περιβαλλοντική και αισθητική αξία.

Πόσιμες χρήσεις :

- Έμμεση πόση (μέσω εμπλουτισμού υπόγειου ορίζοντα)
- Άμεση πόση

2.4.4.4 Αφυδάτωση ιλύος

Η αφυδάτωση της λυματολάσπης επιτυγχάνεται με αφαίρεση υγρού, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολη η μεταφορά την τελική της διάθεση. Η αφυδάτωση μπορεί να επιτευχθεί είτε με φυσικές είτε με τεχνητές μεθόδους. Οι φυσικές μέθοδοι βασίζονται στην βαρύτητα και την εξάτμιση και περιλαμβάνουν τις κλίνες ξήρανσης, την ηλιακή ακτινοβολία και τις χωμάτινες τις δεξαμενές ιλύος. Οι τεχνητές μέθοδοι χρησιμοποιούν μηχανήματα όπως ταινιοφιλτρόπρεσσες και φυγοκεντρικούς διαχωριστές. Δεν αποκλείεται όμως να υπάρξει ταυτόχρονη χρήση και των δύο μεθόδων.

2.4.4.5 Πάχυνση ιλύος

Η πάχυνση της ιλύος είναι μία διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η περιεκτικότητα στερεών στην ιλύ με την απομάκρυνση κάποιας ποσότητας υγρού κλάσματος. Αν για παράδειγμα η ιλύς από τη δευτεροβάθμια καθίζηση με περιεκτικότητα στερεών 0,8 % μπορεί να αποκτήσει με την μέθοδο της πάχυνσης περιεκτικότητα 4 % σε στερεά. Η πάχυνση επιτυγχάνεται με φυσικούς τρόπους όπως με συνδυασμένη καθίζηση, με βαρύτητα, με επίπλευση, με φυγοκέντρωση, με ταινίες βαρύτητας και περιστρεφόμενα τύμπανα.

2.5 Διαχείριση παραγόμενης ιλύος

Αφού η λάσπη σταθεροποιηθεί, ακολουθεί η τελική της διάθεση. Στην Ελλάδα οι κυριότεροι τρόποι διάθεσης της λάσπης είναι οι εξής:

- Η αξιοποίησή της στη γεωργία, σαν βελτιωτικό εδάφους
- Η υγειονομική ταφή (ΧΥΤΑ), όταν δεν μπορούν να εφαρμοστούν πιο φιλικοί στο περιβάλλον τρόποι διάθεσης
- Η καύση ή αποτέφρωση, η οποία όμως δίνει σαν παραπροϊόν τέφρα που μπορεί να είναι τοξική και πρέπει να διατεθεί σε κατάλληλη χωματερή .
- Άλλοι τρόποι διάθεσης, όπως η διάθεση στην τσιμεντοβιομηχανία και η χρήση στη δασοκομία, μετά από ξήρανση.

Εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης της παραγόμενης λάσπης είναι:

- Η κομποστοποίηση
- Η πυρόλυση
- Η αεριοποίηση
- Η αναερόβια χώνευση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

3.1 Υφιστάμενη κατάσταση – ποιότητα εκροής

Η Ε.Ε.Α ευρύτερης περιοχής πόλης Κοζάνης έχει σχεδιαστεί για 60.000 ισοδύναμους κατοίκους με δυνατότητα επέκτασης σε Β φάση για 100.000 ισοδύναμους κατοίκους. Οι εργασίες άρχισαν το 1998 και ολοκληρώθηκαν το 2000. Το έργο προϋπολογισμού 1.900.000.000 δρχ. χρηματοδοτήθηκε από το ΤΑΜΕΙΟ ΣΥΝΟΧΗΣ με ποσοστό χρηματοδότησης 85%.

. Κατά το σχεδιασμό εφαρμόστηκε μέθοδος επεξεργασίας με ταυτόχρονη νιτροποίηση απονιτροποίηση βιολογική και χημική αποφωσφόρωση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται εκτός από την απομάκρυνση των οργανικών ουσιών, η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου και η βιολογική / χημική απομάκρυνση του φωσφόρου. Πριν την τελική τους διάθεση στον αποδέκτη, τα λύματα υφίστανται επιπλέον επεξεργασία με φίλτρανση σε αμμοδιυλιστήριο και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία. Τα επεξεργασμένα λύματα, διοχετεύονται μέσω του αγωγού εκβολής στο τεχνικό έργο διάθεσής τους και από εκεί στο παρακείμενο ρέμα της Φτελιάς το οποίο καταλήγει στον ποταμό Αλιάκμονα

Πίνακας 3.1: Συγκεντρώσεις στοιχείων πριν και μετά την επεξεργασία των λυμάτων

	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΞΟΔΟΥ	ΟΡΙΑ ΕΞΟΔΟΥ
B.O.D 5	160 mgr/lit	4 mgr/lit	20 mgr/lit
C.O.D	465 mgr/lit	12 mgr/lit	80 mgr/lit
S.S	160 mgr/lit	4 mgr/lit	20 mgr/lit
N-ολικό	51 mgr/lit	8 mgr/lit	10 mgr/lit
P-ολικός	9 mgr/lit	2 mgr/lit	2 mgr/lit

3.2 Βασική σύνθεση επεξεργασίας

Η επιλεγείσα μέθοδος επεξεργασίας των λυμάτων είναι ο παρατεταμένος αερισμός με ταυτόχρονη βιολογική απομάκρυνση αζώτου (μέθοδος ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού), βιολογική και χημική απομάκρυνση φωσφόρου και πλήρη σταθεροποίηση της λάσπης. Ακολουθεί η φίλτρανση και η απολύμανση των επεξεργασμένων λυμάτων. Η επιλεγείσα μέθοδος επεξεργασίας της λάσπης είναι ομογενοποίηση, μηχανική πάχυνση και τέλος αφυδάτωση με ταινιο-φιλτρόπρεσες .

Η εγκατάσταση αποτελείται από 5 τμήματα επεξεργασίας :

3.2.1 Προεπεξεργασία

Τα λύματα στην Κοζάνη καταλήγουν με πλακοσκεπή αγωγό σε υπερχειλιστή εκτροπής στο υψηλότερο σημείο της εγκατάστασης. Ο υπερχειλιστής είναι ειδικά σχεδιασμένος ώστε το πολύ 600 l/sec να οδηγούνται στο κτίριο προεπεξεργασίας. Το κτίριο προεπεξεργασίας περιλαμβάνει τις μονάδες εσχάρωσης, μέτρησης παροχής και εξάμμωση/λιποσυλλογής.

Τα ευμεγέθη αντικείμενα κατακρατούνται από δυο μηχανικές εσχάρες εφοδιασμένες με υδραυλικό δίκρανο και μια χειρονακτικά καθαριζόμενη. Κατόπιν, μετράται και καταγράφεται η παροχή και καταλήγουν σε δίδυμο αεριζόμενο εξαμμωτή/λιποσυλλέκτη. Στην εκροή της εξάμμωσης υπάρχει το φρεάτιο φόρτισης του υδροηλεκτρικού έργου με ειδικό μεριστή εκτροπής της περίσσειας παροχής. Ο αέρας που προέρχεται από τον εξαερισμό του κτιρίου προεπεξεργασίας υφίσταται καθαρισμό σε μονάδα απόσμισης τύπου ενεργού άνθρακα.

3.2.2 Υδροηλεκτρικό έργο

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός της εγκατάστασης χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας, όπου λόγω υψομετρικής διαφοράς 43 μέτρων ανάμεσα στα έργα εισόδου και την κύρια εγκατάσταση, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια έως 85 KW .

3.2.3 Εγκατάσταση τριτοβάθμιας επεξεργασίας

Για να επιτευχθεί η βιολογική αφαίρεση του φωσφόρου χρησιμοποιείται μια ειδικά σχεδιασμένη για αυτό το σκοπό αναερόβια δεξαμενή με τέσσερα εν σειρά διαμερίσματα. Στη δεξαμενή δημιουργείται το βέλτιστο περιβάλλον για την αναπαραγωγή των πολυφωσφορικών βακτηριδίων, που σχηματίζουν κροκίδες για την αποθάρρυνση ανάπτυξης νηματοειδών βακτηριδίων .

Για την χημική αποφωσφόρωση στο φρεάτιο εισροής της αναερόβιας δεξαμενής, δοσομετράται διάλυμα δισθενούς σιδήρου και εξασφαλίζεται η ικανοποιητική ανάμειξη των λυμάτων και του χημικού .

Κατόπιν τα απόβλητα ρέουν μέσω θαλάμου διανομής στις βιολογικές δεξαμενές (ανοξικές και αερόβιες) όπου γίνονται οι διεργασίες καθαρισμού των λυμάτων. Οι οργανικές ουσίες και το άζωτο των λυμάτων αποσυντίθεται βιολογικά από αερόβιους μικροοργανισμούς που καταναλώνουν οξυγόνο (μέθοδος ενεργού ιλύος).

Ο τρόπος λειτουργίας της εγκατάστασης (απονιτροποίηση με ανακυκλοφορία ανάμικτου υγρού) εξασφαλίζει ελεγχόμενη βιολογική αποσύνθεση των νιτρικών (απονιτροποίηση) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Από τις βιολογικές δεξαμενές μέσω μηχανικών υπερχειλιστών τα λύματα που έχουν υποστεί βιολογική επεξεργασία οδηγούνται στις δεξαμενές καθίζησης μέσω θαλάμου διανομής. Στις δεξαμενές αυτές λαμβάνει χώρα η καθίζηση της ενεργού ιλύος.

Τα επεξεργασμένα λύματα ρέουν μέσω διατάξεως υπερχείλισης τοποθετημένης στην περίμετρο της δεξαμενής καθίζησης προς το δεύτερο μετρητή παροχής και τα ταχυδιωλιστήρια που μελετήθηκαν ως εγκατάσταση που λειτουργεί με τη βαρύτητα. Τα ταχυδιωλιστήρια είναι οκτώ ανεξάρτητες μονάδες διατεταγμένες συμμετρικά με

πληρωτικό υλικό καθαρή χαλαζιακή άμμος. Η έκπλυση των διυλιστηρίων πραγματοποιείται με τη χρήση αέρα και νερού σε αλληλουχία .

Για την απολύμανση τους, τα καθαρισμένα νερά μετά από τα ταχυδιυλιστήρια κατανέμονται σε τρεις παράλληλους οριζόντιους σωλήνες και ρέουν μέσα σε συσκευές, όπου εκτίθενται σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία από λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης πολλαπλού φάσματος.

3.2.4 Επεξεργασία λάσπης

Η ενεργός ιλύς που καθιζάνει στις δεξαμενές καθίζησης σαρώνεται προς τα κεντρικά φρεάτια με τη βοήθεια ξέστρων πυθμένα. Από το φρεάτιο η λάσπη οδηγείται σε αντλιοστάσιο λάσπης. Στο αντλιοστάσιο, η λάσπη ανακυκλοφορείται πίσω στην αναερόβια δεξαμενή ώστε να διατηρείται σταθερή η ποσότητα λάσπης στο σύστημα.

Η περίσσεια λάσπης οδηγείται με άντληση στη δεξαμενή ομογενοποίησης λάσπης. Εκεί η λάσπη αερίζεται και κατόπιν αντλείται προς τα δυο συγκροτήματα μηχανικής πάχυνσης και αφυδάτωσης με ταινιοφιλτρόπρεσσες όπου ξηραίνεται. Για τη βελτίωση της διαδικασίας πάχυνσης και αφυδάτωσης προστίθεται πολυηλεκτρολύτης στη λάσπη πριν την είσοδο της στις πρέσες. Η αποξηραμένη πίττα λάσπης αποθηκεύεται σε δοχεία και διατίθεται στο χώρο απόρριψης των απορριμμάτων.

3.2.5 Βοηθητικά κτίρια

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει επίσης φρεάτια αφρού που συγκεντρώνουν τους αφρούς από τις δεξαμενές καθίζησης. Τα λύματα από τις εγκαταστάσεις υγιεινής και τα στραγγίδια από τις μονάδες οδηγούνται προς τα δυο αντλιοστάσια στραγγιδίων που τα καταθλίβουν στις βιολογικές δεξαμενές.

Το κτίριο διοίκησης περιλαμβάνει αίθουσα ελέγχου όπου βρίσκεται ο κεντρικός πίνακας ελέγχου, γραφεία, αίθουσα συσκέψεων, χημικό εργαστήριο και εγκαταστάσεις υγιεινής. Ο κεντρικός πίνακας ελέγχου εκτελεί αυτόματα τον έλεγχο της εγκατάστασης και είναι εφοδιασμένος με διάγραμμα ροής και σύστημα οπτικού ελέγχου SCADA για τον αυτόματο έλεγχο διαφόρων λειτουργιών. Άλλο ανεξάρτητο κτίριο περιλαμβάνει το συνεργείο και την αποθήκη. Στον υποσταθμό ρεύματος γίνεται μετασχηματισμός και διανομή του ρεύματος.

3.2.6 Αξιοποίηση επεξεργασμένων εκροών - βιολογικής λάσπης

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι διερευνώνται οι δυνατότητες αξιοποίησης των

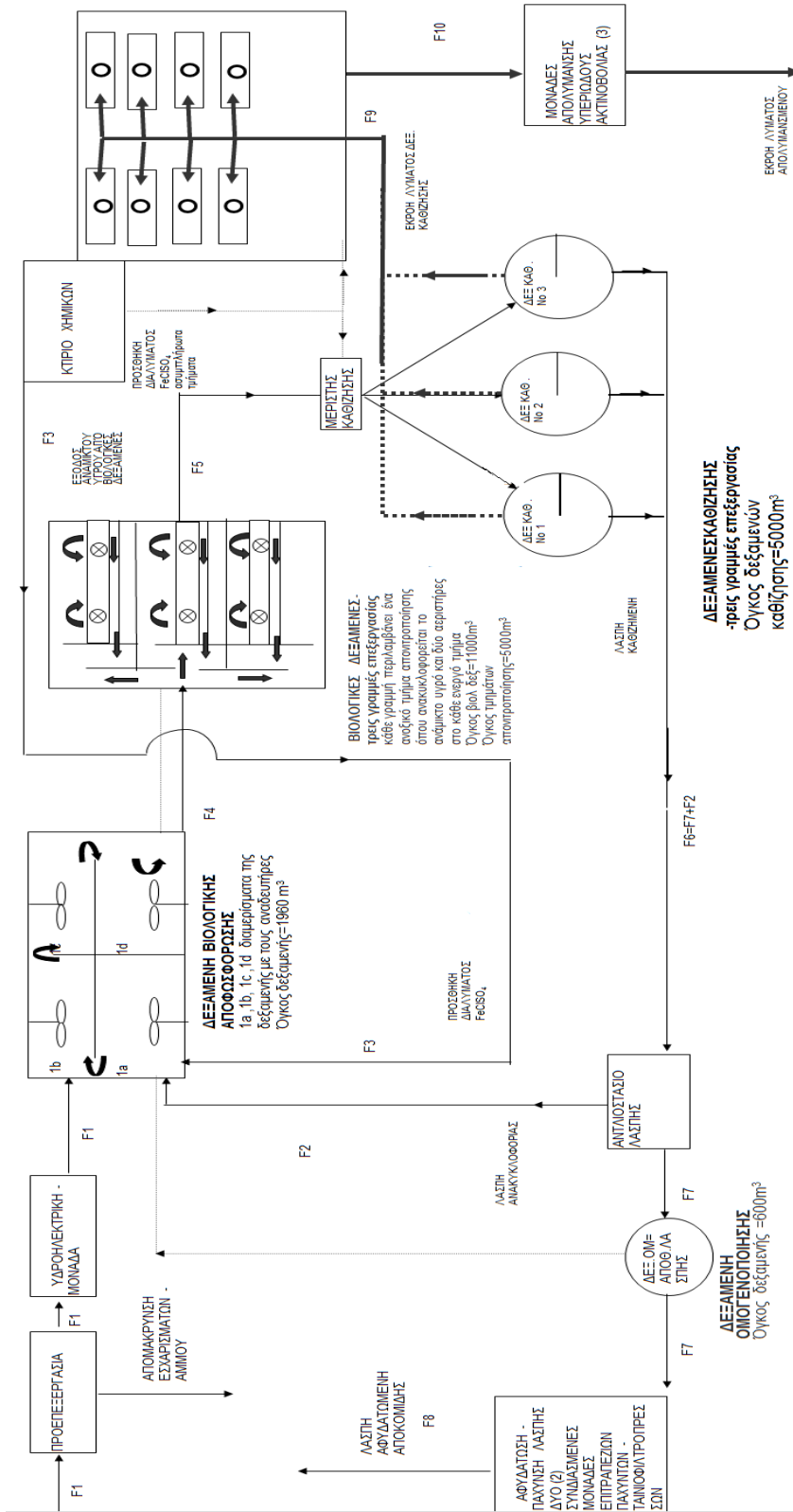
επεξεργασμένων εκροών της Ε.Ε.Λ Κοζάνης για περιορισμένη άρδευση καλλιεργειών καθώς και της Βιολογικής λάσπης για λίπανση.

3.3 Τεχνική περιγραφή εγκατάστασης

Συνοπτικά, στην ΕΕΛ περιλαμβάνονται τα παρακάτω επιμέρους τμήματα :

- Μονάδα εσχάρωσης
- Αμμοσυλλέκτης
- Λιποσυλλέκτης
- Υδροηλεκτρική μονάδα
- Δεξαμενή βιολογικής αποφωσφόρωσης
- Βιολογικές δεξαμενές (αερισμού-απονιτροποίησης)
- Κτίριο χημικών
- Δεξαμενές καθίζησης
- Μονάδα απολύμανσης υπεριώδους ακτινοβολίας
- Αντλιοστάσιο λάσπης
- Δεξαμενή ομογενοποίησης
- Συνδυασμένη μονάδα αφυδάτωσης-πάχυνσης λάσπης

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ

ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Πίνακας 3.2: Τιμές εισόδου λύματος

Είσοδος λύματος F1	
QF (m³/d)=	1000
SFt (mg/l)=	180
SFs (mg/l)=	90
SSF (mg/l)=	190
VSSF (mg/l)=	150
PF (mg/l)=	9
CODFt (mg/l)=	600
NF (mg/l)=	60
NF-NH₃ (mg/l)=	30

Πίνακας 3.3: Τιμές ανακυκλοφορίας λάσπης

Ανακυκλοφορία λάσπης F2	
R (%) =	40
QR (m³/d)=	4000
Ses (mg/l)=	2
MLSS (mg/l)=	14650
MLVSS (MG/L)=	9400

Πίνακας 3.4: Τιμές εισροής χημικού στη βιολογική αποφωσφόρωση

Εισροή χημικού στη βιολογική αποφωσφόρωση F3	
Χημικό	FeSO₄*7H₂O
Q (lt/D)=	360
C(%w/w σε Fe⁺²)=	9.5

Πίνακας 3.5: Τιμές ανάμικτου υγρού στις βιολογικές δεξαμενές

Εισροή ανάμικτου υγρού στις βιολογικές δεξαμενές F4	
Q + OR (m³/d)=	14000
MLSS (mg/l)=	4320
MLVSS (mg/l)=	2786
Επεξεργασμένο νερό	
Set (mg/l)=	130

Πίνακας 3.6: Τιμές εκροής υγρού από τις βιολογικές δεξαμενές

Εκροή ανάμικτου υγρού από τις βιολογικές δεξαμενές F5	
Q+OR (m³/d) =	14000
MLSS (mg/l) =	4500
MLVSS (mg/l) =	2900
Επεξεργασμένο νερό	
Ses (mg/l) =	2
Set (mg/l) =	5
Pet (mg/l) =	2
CODt (mg/l) =	20

Πίνακας 3.7: Τιμές εκροής ομογενοποιημένης λάσπης για αφυδάτωση

Εκροή ομογενοποιημένης λάσπης για αφυδάτωση F7	
Q (m³/d)=	300
MLSS (mg/l)=	14650
MLVSS (mg/l)=	9400
Επεξεργασμένο νερό	
Ses (mg/l)=	2

Πίνακας 3.8: Τιμές εκροής αφυδάτωσης

Εκροή αφυδάτωσης F8	
Q (tn/D)=	16
TS=SS (%) (w/w)=	18
TSV (%) (w/w)=	11
Επεξεργασμένο νερό	
Ses (mg/l)=	2

Πίνακας 3.9: Τιμές εκροής επεξεργασμένου νερού από βιολογικές δεξαμενές

Εκροή επεξεργασμένου νερού από βιολογικές δεξαμενές F9	
Q (m³/d)=	10000
SS(mg/l)=	8
VSS(mg/l)=	6
Ses(mg/l)=	2
Set(mg/l)=	8
Pet(mg/l)=	2
CODt(mg/l)=	20
Nt(mg/l)=	3
N-NH₃(mg/l)<	0.2
N- NO₃(mg/l)=	6

Πίνακας 3.10: Τιμές εκροής επεξεργασμένου νερού από ταχυδιωλιστήρια

Εκροή επεξεργασμένου νερού από ταχυδιωλιστήρια F10	
Q (m³/d)=	10000
SS(mg/l)=	1-2
VSS(mg/l)=	1-2
Ses(mg/l)=	2
Set(mg/l)=	2-3
Pet(mg/l)=	2
CODt(mg/l)=	20
Nt(mg/l)=	9
N-NH₃(mg/l)<	0.2
N- NO₃(mg/l)=	6

3.4 Αναλυτική περιγραφή επιμέρους μονάδων

3.4.1 Προεπεξεργασία

ΕΣΧΑΡΩΣΗ

Η πρώτη διεργασία που συναντάται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι η φυσική διεργασία της εσχάρωσης. Η σχάρα είναι μια διάταξη με ανοίγματα, συνήθως με ομοιόμορφο μέγεθος, που έχει ως σκοπό την κατακράτηση των στερεών που υπάρχουν στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα στην εγκατάσταση επεξεργασίας ή στην υπερχειλίση κατά την διάρκεια καταιγίδων, στην περίπτωση παντοροϊκών συστημάτων συλλογής των αποβλήτων. Ο κύριος λόγος της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των σωματιδίων μεγάλου μεγέθους από τη ροή, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό της εγκατάστασης σε επόμενα στάδια, να ελαττώσουν τη συνολική αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης ή να προκαλέσουν ρύπανση των υδάτινων ρευμάτων. Σε ορισμένες

περιπτώσεις είναι δυνατό, λεπτές σχάρες να αντικαθιστούν ή να τοποθετούνται μετά από τις χονδρές σχάρες, εκεί όπου απαιτείται μεγαλύτερη απομάκρυνση στερεών για την προστασία του εξοπλισμού της εγκατάστασης ή την απομάκρυνση υλικών που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν την επαναχρησιμοποίηση των βιοστερεών.

Το σύνολο των λυμάτων που καταλήγει μέσω του υφιστάμενου δικτύου αποχετευτικών αγωγών στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού ανέρχεται σε $QF=10000\text{m}^3/\text{d}$.



Εικόνα 3.1: Σχάρα απομάκρυνσης στερεών

ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΩΝ / ΛΙΠΟΣΥΛΛΟΓΗ

Τα λίπη που επιπλέουν στις επιφάνειες (λωρίδες) λιποσυλλογής οδηγούνται σε παρακείμενα φρεάτια λιπών με κατάλληλη διάταξη. Η διάταξη αυτή μπορεί να είναι ένα επιφανειακό ξέστρο προσαρμοσμένο σε μεταλλική κινούμενη γέφυρα ή συνδυασμός επιφανειακού διαχυτήρα-κινητού υπερχειλιστή εκροής που οδηγεί τα επιφανειακά λίπη στο φρεάτιο συλλογής των λιπών .

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΜΜΟΥ

Η απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα μπορεί να επιτευχθεί με εξαμμωτές ή με φυγοκεντρικό διαχωρισμό στερεών. Οι εξαμμωτές σχεδιάζονται για την απομάκρυνση χαλικιών, αμμοχάλικου, τέφρας ή άλλων βαριών στερεών υλικών που έχουν ταχύτητα καθίζησης ή σχετική πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή των οργανικών σηπτικών στερεών στα υγρά απόβλητα. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί προβλήματα, όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο των σωληνώσεων, φθορά του Η-Μ εξοπλισμού (αντλίες κ.λπ.) και μείωση της απόδοσης των επόμενων μονάδων επεξεργασίας. Οι εξαμμωτές συνήθως τοποθετούνται μετά από τις σχάρες

και πριν την πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των βαρέων οργανικών στερεών. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις, οι εξαμμωτές προηγούνται των εγκαταστάσεων εσχάρωσης. Γενικά, η εγκατάσταση των διατάξεων εσχάρωσης μπροστά από τους εξαμμωτές διευκολύνει τη λειτουργία και τη συντήρηση των διατάξεων απομάκρυνσης άμμου.

. Όταν είναι επιθυμητή η τοποθέτηση των εξαμμωτών πριν από τις αντλίες υγρών αποβλήτων, τοποθετούνται σε σημαντικό βάθος με επιπρόσθετο κόστος. Γι' αυτό συνήθως θεωρείται πιο οικονομικό να αντλούνται τα υγρά απόβλητα μαζί με την άμμο και οι εξαμμωτές να τοποθετούνται σε μια καλή θέση πριν από τις άλλες μονάδες της εγκατάστασης επεξεργασίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αντλίες μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερη συντήρηση.

ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΣΜΗΣΗΣ

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μονάδα είναι συνδεδεμένη με σύγχρονη μονάδα απόσμησης η χρήση της οποίας έχει ελαχιστοποιήσει τις δυσάρεστες οσμές στους προαναφερόμενους χώρους επεξεργασίας λυμάτων. Η απόσμηση γίνεται σε μονάδα απόσμησης τύπου ενεργού άνθρακα.

3.4.2 Τριτοβάθμια επεξεργασία

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΦΩΣΦΟΡΩΣΗΣ

Η απομάκρυνση του φωσφόρου με βιολογικά μέσα ονομάζεται βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Γενικά, η απομάκρυνση του φωσφόρου γίνεται για τον έλεγχο του ευτροφισμού αφού ο φώσφορος είναι ένα περιοριστικό θρεπτικό συστατικό στα περισσότερα υδατικά συστήματα. Τα όρια του στην εκροή μιας εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων κυμαίνονται από 0,10 έως 2,0 mg/L, ανάλογα με τη θέση μιας μονάδας και της πιθανές επιπτώσεις στον υδάτινο αποδέκτη. Η χημική επεξεργασία όπου χρησιμοποιεί θειικό αργίλιο ή άλατα σιδήρου είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία για την απομάκρυνση φωσφόρου, αλλά η επιτυχία των μονάδων βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου σε πλήρη κλίμακα από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, ενθάρρυνε την περαιτέρω ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της βιολογικής απομάκρυνσης, είναι η μειωμένες δαπάνες σε χημικά και η μικρότερη παραγωγή ιλύος, συγκριτικά με τη χημική καθίζηση.

Η αποφωσφόρωση συνήθως γίνεται μόνη της αλλά πολλές φορές συνδυάζεται και με την απομάκρυνση του Αζώτου (Νιτροποίηση - Απονιτροποίηση).

Η διαδικασία είναι η εξής:

Τα εισερχόμενα λύματα έρχονται σε επαφή με την επανακυκλοφορούμενη λάσπη (Βιομάζα) υπό αναερόβιες συνθήκες, οπότε σε ανταγωνιστικό περιβάλλον αναπτύσσεται μια κατηγορία ετεροτροφικών βακτηριδίων τα οποία ερχόμενα σε επαφή με το φώσφορο που περιέχεται στα λύματα, τον ελευθερώνουν υδrolύοντάς τον με τη μορφή διαλυτών φωσφορικών αλάτων. Στη συνέχεια, γίνεται πρόσληψη του φωσφόρου από την κυτταρική μάζα των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού. Τελικά ο φώσφορος απομακρύνεται με το ρεύμα της λάσπης που απάγεται από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Η μέθοδος της βιολογικής αποφωσφόρωσης επιτυγχάνει απομάκρυνση φωσφόρου από τα λύματα της τάξης του 80% περίπου.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Η μονάδα βιολογικής αποφωσφόρωσης αποτελείται από μια δεξαμενή κατασκευασμένη πριν από τη δεξαμενή της αερόβιας επεξεργασίας (μπορεί να προστεθεί και σε ήδη λειτουργούσες εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος) όπου, όπως αναφέρθηκε, τα λύματα έρχονται σε επαφή κάτω από αναερόβιες συνθήκες με την επανακυκλοφορούσα λάσπη. Η δεξαμενή είναι μαιανδρικού τύπου τριών ή περισσότερων διαδρομών, ώστε τα λύματα να διατρέχουν τη μέγιστη δυνατή διαδρομή μέσα στη δεξαμενή. Τα λύματα μετά από την δεξαμενή βιολογικής αποφωσφόρωσης εισέρχονται μέσω υποβρύχιας οπής στο δάπεδο της δεξαμενής απονιτροποίησης. Στον πυθμένα κάθε διαδρόμου της δεξαμενής βιολογικής επεξεργασίας εγκαθίσταται υποβρύχιος αναμικτήρας για την καλή ανάμειξη των περιεχόμενων λυμάτων και την ικανοποιητική επαφή βιομάζας και λυμάτων.

FeCISO₄ (ΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΦΩΣΦΟΡΗΣΗ)

Με το πέρασμα των χρόνων διάφορες ουσίες χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα κατακρήμνισης. Ο βαθμός διαύγασης που επιτυγχάνεται εξαρτάται από την ποσότητα των χημικών που χρησιμοποιούνται και από το βαθμό ελέγχου και ρύθμιση της διεργασίας. Είναι πιθανόν με τη χημική κατακρήμνιση να προκύψει μια διαυγής εκροή, απαλλαγμένη από αιωρούμενα ή κolloειδή σωματίδια. Τα χημικά που προστίθενται στο υγρό απόβλητο αλληλεπιδρούν με ουσίες που είτε υπάρχουν στα υγρά απόβλητα, είτε προστίθενται για το σκοπό αυτό.

Για την μείωση του φωσφόρου στην έξοδο της εγκατάστασης σε επίπεδα συγκέντρωσης μέχρι 5mg/lit, επιλέγεται η διαδικασία της χημικής αποφωσφόρωσης, που επιτυγχάνεται με την χημική κατακρήμνιση - κροκίδωση του διαλυμένου

φωσφόρου με την προσθήκη χημικών και στην συνέχεια απομάκρυνση του ιζήματος με καθίζηση.

Για την κροκίδωση θα χρησιμοποιηθεί ως χημικό μέσο κατακρήμνισης στη δεξαμενή βιολογικής αποφωσφόρωσης ποσότητα $Q = 360 \text{ lt/D}$ και στις τέσσερις δεξαμενές καθίζησης διάλυμα τρισθενούς χλωριούχου θεικού σιδήρου (FeCl_3). Η προσθήκη του διαλύματος FeCl_3 έχει σαν αποτέλεσμα την συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών σε σωματίδια μεγαλύτερης πυκνότητας και όγκου (κροκίδες), που αφαιρούνται κατά το επόμενο στάδιο της καθίζησης. Με τον τρόπο αυτό, υποβοηθείται η απομάκρυνση του φωσφόρου μειώνοντας σημαντικά την περιεκτικότητα σε φώσφορο των εκρεόντων από τη βιολογική επεξεργασία.

ΜΟΝΑΔΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι δεξαμενές αερισμού-απονιτροποίησης θα είναι δομική συνέχεια των δεξαμενών αποφωσφόρωσης. Στις δεξαμενές αερισμού πραγματοποιείται παρατεταμένος αερισμός για τη πλήρη οξείδωση του οργανικού φορτίου, τη νιτροποίηση σε αερόβιο περιβάλλον και την αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος. Στις δεξαμενές απονιτροποίησης γίνεται απομάκρυνση αζώτου σε ανοξικό περιβάλλον. Πραγματοποιείται ανακυκλοφορία του μικτού υγρού από το πέρας των δεξαμενών αερισμού στην είσοδο των ανοξικών δεξαμενών.

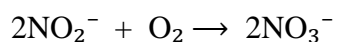
Οι δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας είναι ορθογωνικές και αποτελούνται από διαμερίσματα ανοξικά και αερόβια με ανακυκλοφορία του μικτού υγρού από το πέρας του αερόβιου θαλάμου στην είσοδο του ανοξικού διαμερίσματος. Η διεργασία της νιτροποίησης – απονιτροποίησης στοχεύει στην απομείωση των αμμωνιακών που περιέχονται στα απόβλητα. Νιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία δύο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία μετατρέπεται (οξειδώνεται) σε νιτρικά ιόντα με ενδιάμεση βαθμίδα τα νιτρώδη ιόντα. Απονιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία κατά την οποία τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε αέριο, αζώτο.

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΖΩΤΟΥ

Η διαδικασία βιολογικής μετατροπής της αμμωνίας σε μοριακό αζώτο λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, με την παρουσία οξυγόνου (αερισμός) η αμμωνία οξειδώνεται μέσω μικροοργανισμών. Σε ένα δεύτερο στάδιο, με αποκλεισμό οξυγόνου τα σχηματισμένα προϊόντα οξείδωσης μετατρέπονται σε μοριακό αζώτο.

ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Κατά την νιτροποίηση οι αζωτούχες οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε οργανικά οξέα και NH και στην συνέχεια σε νιτρώδες (NH₄⁺-N) και νιτρικό (NO₃-N) με τη βοήθεια των βακτηρίων Nitrosomonas (πρώτο στάδιο) και Nitrosococcus (δεύτερο στάδιο) με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



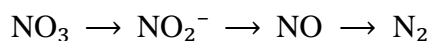
Η νιτροποίηση δηλαδή είναι μια διεργασία που λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια.

Τα δύο βασικά στοιχεία της νιτροποίησης είναι η υψηλή απαίτηση οξυγόνου και η απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου. Το πρώτο είναι σημαντικό για την διαστασιολόγηση του συστήματος αερισμού, ενώ το δεύτερο μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του pH. Οι γενικές απαιτήσεις ανάπτυξης των οξειδωτικών αμμωνίας και νιτρώδους είναι:

- pH: 5,5-9,0 (με βέλτιστο pH: 7,5-7,6)
- Διαλυμένο οξυγόνο: 0,5 mg/l για οξείδωση αμμωνίας και 1,5mg/l για οξείδωση NO₂⁻
- Θερμοκρασία: 5-40°C

ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Στην απονιτροποίηση το νιτρικό και το νιτρώδες που σχηματίστηκαν στην νιτροποίηση ανάγονται μικροβιολογικά σε μοριακό άζωτο. Αν τα αναγωγικά στοιχεία του υγρού αποβλήτου δεν είναι αρκετά, χρησιμοποιούνται εξωτερικοί δότες όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη και το οξικό οξύ. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα βιομηχανικά απόβλητα. Η αντίδραση που περιγράφει την απονιτροποίηση είναι:



Όπως η νιτροποίηση, η απονιτροποίηση περιλαμβάνει δύο στάδια. Το πρώτο είναι η αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη και το δεύτερο η αναγωγή των νιτρώδων σε οξείδιο του αζώτου, υποοξείδιο του αζώτου και τελικά σε μοριακό άζωτο που ολοκληρώνει τον κύκλο του αζώτου. Και τα τρία είναι αέρια. Η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα σε μια βιολογική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μέσω ετερότροφων μικροοργανισμών (όπως το Paracoccus και διάφορες ψευδομονάδες).

Κύριο χαρακτηριστικό της απονιτροποίησης είναι ο αποκλεισμός του οξυγόνου και η αύξηση του pH.

Οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες για την απονιτροποίηση είναι:

- Θερμοκρασία 5-60 °C
- pH 6-8
- Συγκέντρωση οξυγόνου σε πολύ χαμηλά επίπεδα
- Διαθεσιμότητα ενός κατάλληλου ηλεκτρονιακού δότη

BOD

Όταν η οργανική ύλη αποσυντίθεται, οι μικροοργανισμοί (όπως τα βακτήρια και οι μύκητες) τρέφονται από τα υλικά της αποσύνθεσης και προκαλείται οξείδωση. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, ή BOD, μετρά την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς στη διαδικασία αποσύνθεσης οργανικών ουσιών στο νερό. Όσο περισσότερο οξυγόνο χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί, τόσο μεγαλύτερο είναι και το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, αφήνοντας λιγότερο οξυγόνο για την υπόλοιπη υδρόβια χλωρίδα και πανίδα.

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών, BOD₅, είναι η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (mg/l) που καταναλώνεται σε πέντε ημέρες από βιολογικές διαδικασίες στους 20 °C

COD

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η ποσότητα οξυγόνου (mg/l) που απαιτείται για χημική οξείδωση των οργανικών στοιχείων ενός υγρού αποβλήτου. Χρησιμοποιείται συνήθως για την έμμεση μέτρηση της ποσότητας των οργανικών ενώσεων στο νερό.

ΔΙΥΛΗΣΗ

Η διύλιση επιτυγχάνεται με κοκκώδη υλικά σε κλίνες και εφαρμόζεται για την απομάκρυνση αργίλων, μικροοργανισμών και προϊόντων ιζηματοποίησης. Περιλαμβάνει πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κλπ. που βασίζονται στη διήθηση του νερού, με βαρύτητα ή υπό πίεση, με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Τα φίλτρα της άμμου είναι διαδοχικά στρώματα λεπτού χαλικιού (4-8 mm) και χονδρής ή λεπτής άμμου με κατά το δυνατόν ομοιόμορφο μέγεθος κόκκων (1-1,6 mm). Τα πιο πολλά διυλιστήρια νερού

αποτελούνται συνήθως από πολλές δίδυμες κλίνες άμμου ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και τον όγκο του προς επεξεργασία νερού.

Το νερό διέρχεται κατακόρυφα από το στρώμα του κοκκώδους υλικού το οποίο συγκρατεί τα κολλοειδή στερεά με τους μηχανισμούς προσρόφησης, καθίζησης και σουρώματος. Το μεγάλο μέγεθος κόκκων και συνεπώς και των κενών συνεπάγεται την ανάγκη μεγάλου πάχους διυλιστικού στρώματος (περίπου 2.0 m). Το διυλισμένο νερό συγκεντρώνεται στον υποδαπέδιο χώρο από όπου απομακρύνεται. Με την πάροδο του χρόνου τα κενά του διυλιστηρίου γεμίζουν και η διαπερατότητά του μικραίνει. Όταν η θολότητα του διυλισμένου νερού υπερβεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο η διαδικασία της διύλισης διακόπτεται για να ακολουθήσει η διαδικασία έκπλυσης. Αέρας και νερό διοχετεύονται από κάτω προς τα επάνω στο στρώμα της άμμου διαμέσου του υποδαπέδιου χώρου. Το ακάθαρτο νερό συλλέγεται από οριζόντιες διώρυγες και οδηγείται σε ειδική δεξαμενή εξισορρόπησης απ' όπου και πάλι διοχετεύεται στη γραμμή επεξεργασίας με σχετικά μικρή παροχή. Μετά την κροκίδωση - καθίζηση το νερό έχει συνήθως θολότητα μερικών NTU (Nephelometric Turbidity Units). Με τη διύλιση η θολότητα του νερού μειώνεται ακόμη και κάτω από 1,0 NTU. Η διύλιση συμβάλλει επίσης σημαντικά στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών που διαφεύγουν την προαπολύμανση και την κροκίδωση - καθίζηση.

3.4.3 Μονάδες απολύμανσης υπεριώδους ακτινοβολίας

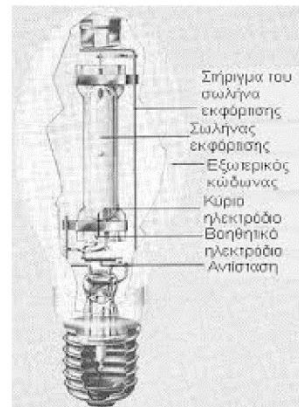
ΣΥΝΤΟΜΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Οι λαμπτήρες υδραργύρου (Hg) και νατρίου (Na) είναι οι κύριοι εκπρόσωποι εκείνης της κατηγορίας των λαμπτήρων οι οποίοι είναι γνωστοί ως λαμπτήρες εκκενώσεως. Οι λαμπτήρες αυτοί χωρίζονται σε αντίστοιχους χαμηλής πίεσεως και υψηλής πίεσεως.

Στους λαμπτήρες Hg υψηλής πίεσεως η εκφόρτιση λαμβάνει χώρα σε σωλήνα από χαλαζία (quartz) ο οποίος περιέχει μικρή ποσότητα υδραργύρου καθώς και ένα αδρανές αέριο, συνήθως αργό, για την επίτευξη της εκκίνησης της εκκένωσης. Η παραγόμενη ακτινοβολία συντίθεται από συχνότητες που βρίσκονται στο ορατό, στο υπέρυθρο και στο υπεριώδες τμήμα του φάσματος. Επιστρώνοντας την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα με κατάλληλη φθορίζουσα ουσία το μεγαλύτερο τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ορατή ακτινοβολία αυξάνοντας την φωτεινή και χρωματική απόδοση του λαμπτήρα.

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΛΑΜΠΤΗΡΑ

- Ο σωλήνας εκφορτίσεως,
- Τα ηλεκτρόδια,
- Ο εξωτερικός κώδωνας,
- Η επίστρωση του κώδωνα,
- Το αέριο πληρώσεως και
- Ο κάλυκας βάσεως



Εικόνα 3.2 : Κατασκευή λαμπτήρα Hg υψηλής πίεσεως

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ένα φυσικό μέσο απολύμανσης, που εφαρμόζεται στη φύση με την ηλιακή ακτινοβολία. Ως τεχνητή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται συνήθως σήμερα λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, που εκπέμπουν περισσότερο από 85% της ακτινοβολίας τους σε μήκος κύματος 253,7nm, δηλαδή πολύ κοντά στην περιοχή των 260-265nm, όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη μικροβιοκτόνος δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Η υπεριώδης ακτινοβολία (Υ.Α) των λαμπτήρων διεισδύει στον κυτταρικό ιστό των μικροοργανισμών και αλλοιώνει τη γενετική πληροφορία στο DNA αυτών, κατά κανόνα μέσα σε κλάσμα του δευτερολέπτου.

Αν και η αντίσταση των οργανισμών διαφέρει ανάλογα με το είδος τους, δεν είναι γνωστός κανένας μικροοργανισμός που να μην καταστρέφεται με την ανάλογη δόση υπεριώδους ακτινοβολίας. Η μόνη επίδραση που ασκεί το υπεριώδες φως στο νερό είναι η μικροβιοκτόνος δράση του, καθώς αυτό δεν είναι χημικό αντιδραστήριο. Πέραν της μικροβιοκτόνου δράσης, δεν υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας τοξικών ή άλλων βλαβερών παραπροϊόντων. Μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας από την

απαιτούμενη δεν προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα, εκτός βέβαια από την άσκοπη αύξηση του κόστους.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης στα συστήματα Υ.Α εξαρτάται αποκλειστικά από τη δόση της ακτινοβολίας, η οποία προσροφάται από τους μικροοργανισμούς. Η απαιτούμενη δόση της ακτινοβολίας Υ.Α για να εξολοθρευτεί το 90% του συνόλου κάποιου συγκεκριμένου είδους μικροοργανισμού συμβολίζεται με D_{10} . Αυτό σημαίνει ότι με τη δόση αυτή επιβιώνει το 10% του πληθυσμού του συγκεκριμένου μικροοργανισμού. Με τη διπλάσια δόση επιτυγχάνεται συνολική μείωση του πληθυσμού του μικροοργανισμού κατά 99% (εκθετική συνάρτηση μείωσης). Η απαιτούμενη δόση D_{10} είναι διαφορετική για κάθε είδος παθογόνου οργανισμού. Αν και υπάρχουν μικροοργανισμοί, για τους οποίους μείωση κατά 90% απαιτεί υψηλές δόσεις ακτινοβολίας, η πλειοψηφία αυτών που συναντώνται σε αξιοπρόσεκτες συγκεντρώσεις στα λύματα, απαιτεί δόση D_{10} που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2.000 και 4.000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$. Τα Escherichia Coli, για παράδειγμα απαιτούν δόση D_{10} περίπου ίση με 3.000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$. Έτσι είναι:

Πίνακας 3.11: Σχέση δόσης ακτινοβολίας με τον βαθμό απόδοσης

Δόση (Μείωση log)	Απόδοση %	Δόση ($\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$)
1 x D_{10}	99	3.000
2 x D_{10}	99	6.000
3 x D_{10}	99,9	9.000
4 x D_{10}	99,99	12.000

Επομένως, ο βαθμός απόδοσης που θα επιτευχθεί σε ένα σύστημα Υ.Α έχει άμεση σχέση με τη δόση της ακτινοβολίας, στην οποία θα εκτεθούν οι μικροοργανισμοί. Τα συστήματα Υ.Α για απολύμανση επεξεργασμένων λυμάτων συνήθως σχεδιάζονται για δόσεις της τάξης των 45.000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ και άνω. Η απολύμανση των διυλισμένων λυμάτων θα γίνεται με έκθεση του υγρού σε υπεριώδη ακτινοβολία (Υ.Α) σε μια μονάδα απολύμανσης. Η μονάδα απολύμανσης αυτή προορίζεται για την απολύμανση υγρών με χαμηλή διαπερατότητα. Το επεξεργασμένο υγρό έχει μηδενική περιεκτικότητα σε μικρόβια και είναι απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς. Η επεξεργασία με Υ.Α δεν επηρεάζει με άλλον τρόπο τη σύσταση του υγρού.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Ο Α.Α.Υ.Α. θα αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

- > Θάλαμο ακτινοβολίας από ανοξείδωτο χάλυβα
- > Αισθητήρα UV
- > Σύστημα ελέγχου
- > Λαμπτήρες υψηλής πίεσης UV-C, πολλαπλού φάσματος
- > Προστατευτικό σωλήνα του λαμπτήρα
- > Σύστημα αυτόματου καθαρισμού

Το προς επεξεργασία υγρό ρέει διαμέσου ενός κυλινδρικού θαλάμου, ερμητικά κλειστού, από ανοξείδωτο χάλυβα κατάλληλης διαμέτρου. Οι λαμπτήρες UV-C εκπέμπουν ακτινοβολία σε μήκος κύματος 254nm, ιδιαίτερα αποτελεσματικοί για την απολύμανση: οι περιεχόμενοι μικροοργανισμοί καταστρέφονται ασφαλώς από αυτή την ακτινοβολία UVC. Η μονάδα ελέγχεται και παρακολουθείται από το σύστημα ελέγχου με μικροεπεξεργαστή.

Ο αισθητήρας UV παρακολουθεί τη γήρανση του λαμπτήρα, την διαπερατότητα του προς επεξεργασία μέσου και τυχόν επικαθίσεις που σχηματίζονται στον προστατευτικό σωλήνα (θήκη χαλαζία) του λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες είναι υδραργύρου υψηλής πίεσης.

ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Υπάρχουν τρεις δεξαμενές τελικής καθίζησης για τον διαχωρισμό της ενεργού ιλύος από το επεξεργασμένο υγρό.

Μετά την επεξεργασία το μικτό υγρό εισέρχεται στην δεξαμενή τελικής καθίζησης όπου διαχωρίζεται:

- το νερό (κορυφή της δεξαμενής)
- από την λάσπη (πυθμένας της δεξαμενής).

Το ρεύμα της λάσπης χωρίζεται στα δύο:

- Το ένα μέρος, που αντιστοιχεί στην περίσσεια, κατευθύνεται προς τις διατάξεις περαιτέρω επεξεργασίας της (πάχυνση, ξήρανση, κτλ)
- Το άλλο μέρος ανακυκλώνεται προς την δεξαμενή ενεργού ιλύος ώστε να διατηρηθεί σταθερή η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών του μικτού υγρού.

Η απομάκρυνση της λάσπης από τις Δ.Τ.Κ. θα γίνεται συνεχώς ώστε να αποφεύγεται συσσώρευση λάσπης.

ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΙΛΥΟΣ

Για την τροφοδοσία της μονάδας πάχυνσης – αφυδάτωσης έχει κατασκευασθεί αντλιοστάσιο ιλύος δίπλα στην δεξαμενή ομογενοποίησης.

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΛΥΟΣ

Η ιλύς οδηγείται στις δεξαμενές ομογενοποίησης πριν την διεργασία της αφυδάτωσης – πάχυνσης .

ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ-ΠΑΧΥΝΣΗ ΙΛΥΟΣ

Από τη δεξαμενή ομογενοποίησης η ιλύς οδηγείται προς τον παχυντή ιλύος. Τα χαρακτηριστικά εισόδου στον παχυντή είναι τα παρακάτω:

Ημερήσιος εισερχόμενος όγκος : $300 \text{ m}^3/\text{d}$

Η αφυδάτωση του μείγματος πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος γίνεται μηχανικά με ταινιοφιλτρόπρεσες. Η ποσότητα της ιλύος για αφυδάτωση προέρχεται από την χημική απομάκρυνση του φωσφόρου. Έτσι συνολικά στερεά που οδηγούνται προς αφυδάτωση –πάχυνση είναι $300 \text{ m}^3/\text{d}$. Η τροφοδοσία πολυηλεκτρολύτη γίνεται για τη βελτίωση της διαδικασίας πάχυνσης – αφυδάτωσης .

Συγκριτικά βλέπουμε :

Ο όγκος της ιλύος πριν της αφυδάτωση-πάχυνση είναι = $300 \text{ m}^3/\text{d}$

Ο όγκος της ιλύος μετά της αφυδάτωση-πάχυνση είναι = $16 \text{ tn}/\text{d}$.



Εικόνα 3.3: Ταινιοφιλτρόπρεσσα

Σε αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι η ποσότητα λυματολάσπης που παράγεται από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της Κοζάνης μεταφέρεται με φορτηγά έξω από την πόλη της Βέροιας όπου γίνεται η αποξήρανση της. Για την μεταφορά αυτή επιβαρύνεται η Δ.Ε.Υ.Α Κοζάνης με 38 € για κάθε τόνο που μεταφέρεται. Κατά τη διάρκεια ενός έτους η παραγόμενη λυματολάσπη ανέρχεται στους 5.840 τόνους. Άρα το συνολικό κόστος μεταφοράς ανέρχεται σε 221.920 € ετησίως. Με την υλοποίηση της μελέτης που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια αυτό το κόστος θα σταματήσει να επιβαρύνει τη Δ.Ε.Υ.Α Κοζάνης μιας και η παραγόμενη λυματολάσπη θα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την αναερόβια χώνευση. Η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Οι ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας παράγουν τεράστιες ποσότητες αποβλήτων. Η διαχείριση τους για την προστασία του περιβάλλοντος, της υγείας των ανθρώπων και της πανίδας είναι αναγκαία. Η μέθοδος διαχείρισης πρέπει να βασίζεται στη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην αξιοποίηση των αποβλήτων αυτών. Η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης είναι η ιδανική τεχνολογία για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο.

Η αναερόβια χώνευση θεωρείται ένα μέσο παραγωγής ενέργειας που αποτελείται από κάποιες βιοχημικές αντιδράσεις, ενώ ταυτόχρονα προκαλεί την σταθεροποίηση της οργανικής ύλης στα απόβλητα. Με τον όρο αναερόβια χώνευση, νοούνται οι αντιδράσεις εκείνες που αποτελούνται από μικροοργανισμούς οι οποίοι απουσία οξυγόνου οδηγούν σε μία βιολογική διαδικασία, κατά την οποία ο οργανικός άνθρακας μέσω διαδοχικών οξειδώσεων, μετατρέπεται σε οξειδωμένα (CO_2) και ανοιγμένα (CH_4) μορφή. Τα κύρια προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, αλλά παράγονται και μικρές ποσότητες αζώτου, υδρογόνου, αμμωνίας, υδρόθειου καθώς και μονοξείδιο του άνθρακα. Το μείγμα των αερίων προϊόντων που προκύπτει από αυτή τη διεργασία ονομάζεται βιοαέριο.

4.1 Μικροβιολογία αναερόβιας χώνευσης

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είναι ιδιαίτερα σύνθετη αλλά και ευαίσθητη σε πολλούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον ρυθμό και την απόδοση μετατροπής της πρώτης ύλης σε βιοαέριο. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων ελλοχεύει ο κίνδυνος αποτυχίας ή αστοχίας της αναερόβιας χώνευσης. Για την αποφυγή αυτού του κινδύνου έχουν αναπτυχθεί κάποιες βιομηχανικές διεργασίες που αφορούν την αναερόβια χώνευση και απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό εξειδίκευσης.

Η αναερόβια χώνευση ενός οργανικού υλικού είναι μια σύνθετη διεργασία η οποία αποτελείται από πολλά διαδοχικά στάδια και πολλές αντιδράσεις. Κάθε στάδιο διεξάγεται από διαφορετική ομάδα μικροοργανισμών και έχει διαφορετική ευαισθησία στις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως το pH ή η μερική πίεση υδρογόνου.

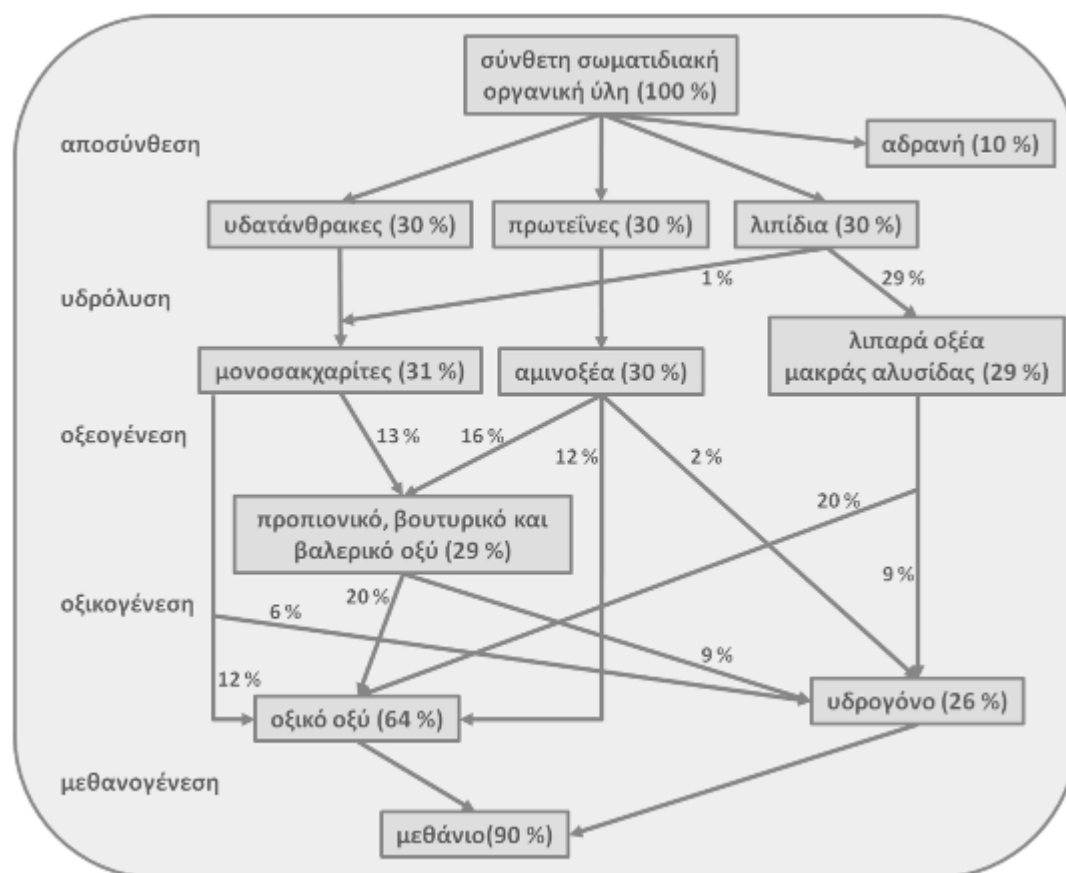
Αρχικά, κάποιες σύνθετες πολυμερικές ενώσεις (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη) υδρολύονται από κάποια ένζυμα σε διαλυτά προϊόντα μικρότερου μεγέθους έτσι ώστε να μπορούν να εισχωρήσουν διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης στο εσωτερικό του κυττάρου. Αυτές οι διαλυτές ενώσεις ζυμώνονται ή οξειδώνονται με απουσία οξυγόνου σε πτητικά λιπαρά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και

αμμωνία. Τα πτητικά λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, είτε από την αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από το υδρογόνο είτε από το οξικό, παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνεται συνοπτικά από τα εξής στάδια:

- Αποσύνθεση: κατά την οποία η σύνθετη σωματιδιακή ύλη βιομάζας αποσυντίθεται στα πολυμερή οργανικά στοιχεία τα οποία εμπεριέχει, όπως είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια
- Υδρόλυση: κατά την οποία τα οργανικά πολυμερή υδρολύονται μέσω εξωκυτταρικών ενζύμων προς τα αντίστοιχα μονομερή όπως είναι τα σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπίδια.
- Οξεογένεση: όπου τα απλά μονομερή μετατρέπονται σε μείγμα πτητικών λιπαρών οξέων όπως το βαλερικό, το βουτυρικό, το προπιονικό και το οξικό, αλκοολών και άλλων απλούστερων οργανικών ενώσεων, καθώς και αέρια προϊόντα όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο. Σε χαμηλές τιμές του pH ο ρυθμός ανάπτυξης των οξεογόνων μικροοργανισμών αρκετά υψηλός και έτσι επικρατούν στον αναερόβιο πληθυσμό. Το στάδιο αυτό ονομάζεται και «ζύμωση».
- Οξικογένεση: κατά την οποία τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδα μεγαλύτερη από εκείνη του οξικού όπως βαλερικό, βουτυρικό, προπιονικό, καθώς και τα άλλα οργανικά μόρια που παράγονται στο στάδιο της οξεογένεσης μετασχηματίζονται σε οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο από τα οξικογόνα βακτήρια. Η οξικογένεση είναι εφικτή όταν το υδρογόνο καταναλώνεται από κάποιους μικροοργανισμούς σε άλλα στάδια, γι' αυτό και η διεργασία αυτή δεν ευνοείται θερμοδυναμικά από το υδρογόνο. Τα οξικογόνα βακτήρια αναπτύσσονται με χαμηλό ρυθμό και ο χρόνος διπλασιασμού τους διαρκεί ημέρες.
- Μεθανογένεση: όπου η παραγωγή του μεθανίου επιτυγχάνεται από δύο ξεχωριστές ομάδες μικροοργανισμών: τους οξικοκρήστες μεθανογόνους που αναπτύσσονται με το οξικό οξύ και παράγουν περίπου το 70% του βιοαερίου καθώς και τους υδρογονοκρήστες μεθανογόνους που καταναλώνουν υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Η οξειδωτική κατάσταση του άνθρακα στην αρχική οργανική πρώτη ύλη επηρεάζει το ποσοστό του μεθανίου που περιέχει το βιοαέριο. Όσο πιο ανοιγμένος είναι ο άνθρακας τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο.

Κατά την διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης και λόγω της απουσίας οξυγόνου, το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (ΧΑΟ) το οποίο επαρκεί στοιχειομετρικά για την πλήρη οξείδωση της πρώτης ύλης θα πρέπει να είναι ίσο ποσοτικά με το ΧΑΟ για την πλήρη οξείδωση όλων των ενδιάμεσων προϊόντων της διεργασίας αλλά και του

μεθανίου. Για τον λόγο αυτό, το ΧΑΟ για την πλήρη οξείδωση των ενδιάμεσων προϊόντων αποτελεί το μέτρο της ποσότητας της αρχικής οργανικής ύλης.



Σχήμα 4.1: Η ροή του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (ΧΑΟ) για απόβλητο που αποτελείται από 10% αδρανή και 30% από κάθε τυπικό πολυμερές

4.1.1 Είδη βακτηρίων στην αναερόβια χώνευση

Τα βασικότερα είδη βακτηρίων που συναντάμε σε αυτές τις αντιδράσεις είναι τα εξής:

- Βακτήρια ζύμωσης
- Οξικογόνα βακτήρια που παράγουν υδρογόνο
- Οξικογόνα βακτήρια που καταναλώνουν υδρογόνο
- Μεθανογόνα βακτήρια που ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα
- Ακετοκλαστικά μεθανογόνα βακτήρια

Στην αναερόβια χώνευση ετερογενείς μικροοργανισμοί μετατρέπουν τις πρωτεΐνες τους υδατάνθρακες και τα λίπη, κυρίως σε λιπαρά οξέα. Στην συνέχεια, τα τελικά προϊόντα των μικροοργανισμών μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από μία ομάδα αυστηρώς αναερόβιων βακτηρίων που ονομάζονται μεθανογόνα βακτήρια.

4.1.2 Μικροβιολογία της μεθαγόνου φάσης

Οι διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών που απαρτίζουν τον αναερόβιο πληθυσμό διαφέρουν ως προς τη φυσιολογία, δηλαδή μπορούν να συνυπάρξουν συνεργατικά ή ανταγωνιστικά. Ανταποκρίνονται διαφορετικά στις μεταβολές του περιβάλλοντός τους, έτσι όταν η δραστηριότητα κάποιων μικροοργανισμών αναστέλλεται, επηρεάζει την δραστηριότητα των άλλων μεταβάλλοντας την ισορροπία στον αναερόβιο πληθυσμό και επιφέρει μεταβολές στην απόδοση της διεργασίας.

Οι μεθαγόνοι μικροοργανισμοί έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό τους την παραγωγή μεθανίου, κάτι που αποτελεί και το κύριο προϊόν τους. Οι μεθαγόνοι μικροοργανισμοί διαφέρουν από τα κοινά βακτήρια σε ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως είναι η θέση των λιπιδίων στην κυτταρική μεμβράνη, η έλλειψη πεπτιδογλυκάνης και οι διαφορές στην αλληλουχία τους.

Υπάρχουν τρεις ομάδες υποστρωμάτων που μπορούν να καταναλώσουν οι οργανισμοί:

- Τύπου διοξειδίου του άνθρακα
- Μεθυλομάδες
- Οξικό

Πίνακας 4.1: : Κυριότερες αντιδράσεις παραγωγής μεθανίου

Αντιδράσεις Υπόστρωμα	Τύπου CO ₂	ΔGo (KJ) προϊόντα
CO ₂ + 4H ₂	→ CH ₄ + 2H ₂ O	-131
4HCOOH + 4H ⁺	→ CH ₄ + 3CO ₂ + 2H ₂ O	-145
4CO + 2H ₂ O	→ CH ₄ + 3CO ₂	-210
Μεθυλομάδες		
4CH ₃ OH	→ 3CH ₄ + CO ₂ + 2H ₂ O	-319
4CH ₃ NH ₃ Cl + 2H ₂ O	→ 3CH ₄ + CO ₂ + 4NH ₄ Cl	-230
Οξικό		
CH ₃ COO ⁻ + H ₂ O	→ CH ₄ + 3CO ₂ + 2H ₂ O	

4.2 Βασικά στάδια της αναερόβιας επεξεργασίας

4.2.1 Υδρόλυση

Τα οργανικά πολυμερή υλικά πρέπει να διασπαστούν σε μικρότερες διαλυτές ενώσεις που μπορούν να περάσουν από την κυτταρική μεμβράνη αλλιώς δεν μπορούν να καταναλωθούν από τους μικροοργανισμούς. Έτσι, το πρώτο βήμα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι η διαλυτοποίηση του σύνθετου οργανικού υλικού. Το σύνθετο οργανικό υπόστρωμα αποτελείται από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη.

Οι υδατάνθρακες περιέχουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λυγνίτη. Η κελοβιόζη καθώς και η γλυκόζη είναι προϊόντα της υδρόλυσης της κυτταρίνης, ενώ η ημικυτταρίνη μετατρέπεται σε πεντόζη και εξόζη. Η αποδόμησή της είναι το καθοριστικό βήμα του ρυθμού υδρόλυσης των υδατανθράκων σε ένα αναερόβιο αντιδραστήρα.

Οι πρωτεΐνες υδρολύονται σε πολυπεπίδια και αμινοξέα. Λίγοι είναι οι οργανισμοί που μπορούν να παράγουν τα ένζυμα αυτά σε ικανοποιητικές ποσότητες για την διάσπαση των πρωτεϊνών. Συνήθως απαιτείται μια καταναλώσιμη πηγή αζώτου για να μπορεί ο μικροοργανισμός να συνθέσει τις πρωτεάσεις. Η υδρόλυση των πρωτεϊνών κάτω από αναερόβιες συνθήκες γενικά είναι πιο βραδεία από την υδρόλυση των υδατανθράκων.

Η υδρόλυση των λιπιδίων κάτω από αναερόβιες συνθήκες πραγματοποιείται από τις λιπάσες, που μετατρέπουν τα λίπη σε λιπαρά οξέα και σε ενώσεις που περιέχουν γλυκερόλη και γαλακτόζη. Στη συνέχεια, τα προϊόντα αυτά μετατρέπονται μέσω διαφόρων ζυμωτικών διαδικασιών σε πτητικά λιπαρά οξέα, διοξειδίο του άνθρακα και υδρογόνο.

4.2.2 Ζύμωση και αναερόβια οξείδωση

Οι υδατάνθρακες, κατά την ζύμωσή τους από αναερόβια βακτηρία μετατρέπονται σε αιθανόλη, οξικό, υδρογόνο και διοξειδίο του άνθρακα. Τα λιπαρά οξέα με μεγάλο μοριακό βάρος που βρίσκονται σε ένα αναερόβιο αντιδραστήρα διασπώνται σε λιπαρά οξέα μικρότερου μοριακού βάρους. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «αναερόβια οξείδωση». Όταν αυξάνεται το μήκος της αλυσίδας ή όταν μειώνεται ο βαθμός κορεσμού των ακόρεστων λιπαρών οξέων παρατηρείται μείωση του ρυθμού διάσπασης. Τα λιπαρά οξέα μικρού μοριακού βάρους, όπως είναι το προπιονικό και το βουτυρικό, μετατρέπονται σε οξικό και αέριο υδρογόνο. Η μετατροπή αυτή καλείται οξικογένεση. Η απομάκρυνση κάποιας ποσότητας οξυγόνου που παράγεται είναι απαραίτητη για την επιτυχή διάσπαση των λιπαρών οξέων μικρού μοριακού βάρους.

Η ζύμωση των αμινοξέων είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία οδηγεί στη παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων, ηλεκτρισμού και υδρογόνου. Η υδρόλυση αποτελεί το περιοριστικό βήμα στο ρυθμό διάσπασης των πρωτεϊνών λόγω της ταχύτητας της ζύμωσης των αμινοξέων που παράγονται από την υδρόλυση πρωτεϊνών.

4.2.3 Μεθανογένεση

Η παραγωγή μεθανίου είναι το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Η διαδικασία της μεθανογένεσης γίνεται είτε με κατανάλωση οξικού είτε με σύνθεση υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα.

Το οξικό αποτελεί το βασικότερο υπόστρωμα για τα μεθανογόνα βακτήρια. Σε αναερόβιους αντιδραστήρες οι οποίοι επεξεργάζονται ιλύς το 70% της ποσότητας του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από την κατανάλωση οξικού. Το υπόλοιπο 30% του μεθανίου παράγεται από την διεργασία της αναγωγής του διοξειδίου του άνθρακα από το υδρογόνο. Τα μεθανοβακτήρια, δηλαδή τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο καταναλώνοντας υδρογόνο, έχουν πολύ μεγάλη σημασία γιατί μέσω αυτού του μηχανισμού καθορίζεται η παραγόμενη ποσότητα υδρογόνου. Έχει γίνει κατά καιρούς μεγάλη μελέτη σε πολλά μεθανογόνα βακτήρια που χρησιμοποιούν ως υπόστρωμα το CO₂ και το H₂.

4.3 Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης είναι:

- Θερμοκρασία: Μία διεργασία αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες περιοχές θερμοκρασιών στις οποίες η απόδοση βελτιστοποιείται. Αυτές είναι η μεσόφιλη και η θερμόφιλη περιοχή. Η μεσόφιλη περιοχή έχει εύρος από 30°C έως 40°C, ενώ η θερμόφιλη περιοχή έχει εύρος από 50°C έως 55°C.

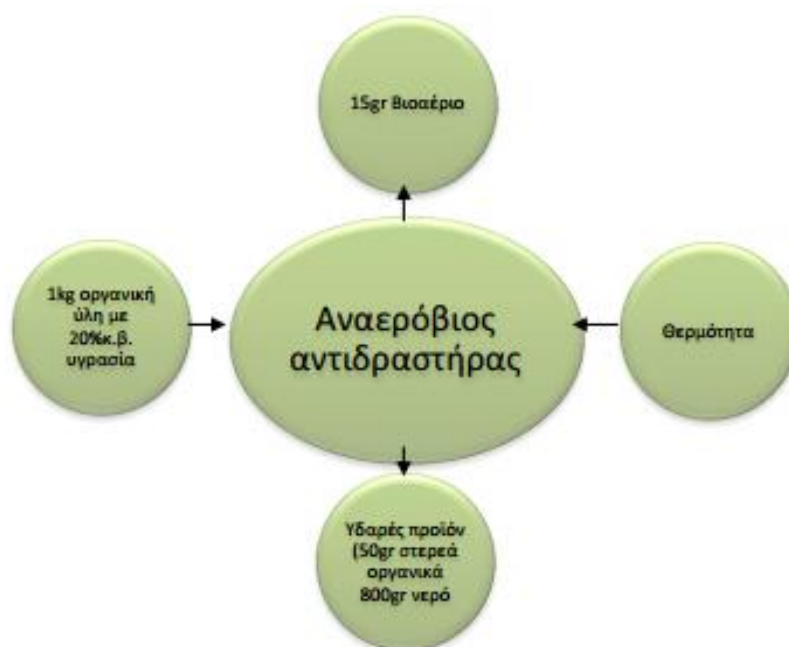
Οι αναερόβιες διεργασίες δεν είναι ιδιαίτερα εξώθερμες και η βιολογικά παραγόμενη θερμότητα δεν επαρκεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο βέλτιστο επίπεδο. Έτσι, η παροχή πρόσθετης εξωτερικής θερμότητας είναι αναγκαία, η οποία μπορεί να προέλθει από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου. Η ποσότητα του βιοαερίου επαρκεί τόσο για τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας όσο και για την παραγωγή περίσσειας ενέργειας όπως είναι ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα.

- Το μέγεθος των σωματιδίων: Ο βαθμός βιοδιασπασιμότητας του υποστρώματος επηρεάζει το βέλτιστο μέγεθος των σωματιδίων. Γι' αυτό το λόγο, όλα τα υποστρώματα με μικρή έως μέτρια βιοαποδομησιμότητα όπως για παράδειγμα το χαρτί θα πρέπει να είναι κομμένα σε ένα σχετικά μικρό μέγεθος σωματιδίων. Αντιθέτως σε ταχέως βιοαποδομήσιμα απόβλητα όπως είναι τα υπολείμματα φαγητών, το μικρό μέγεθος αποτελεί μειονέκτημα επειδή οδηγεί σε μεγάλη παραγωγή οξέων τα οποία χαμηλώνουν το pH εμποδίζοντας την ανάπτυξη των περισσότερο ευαίσθητων μεθανογενών βακτηρίων.

- Ο λόγος C/N: Για υποστρώματα από μέτρια έως υψηλή βιοαποδομησιμότητα όπως είναι το χαρτί και τα υπολείμματα τροφών, ο βέλτιστος λόγος άνθρακα προς άζωτο κυμαίνεται μεταξύ 25 και 30 ενώ για βραδέως βιοαποδομήσιμα υποστρώματα όπως είναι τα ξύλα, ο λόγος αυτός μπορεί να ανέρχεται περίπου στο 40. Σε αυτή την περίπτωση ένα μικρό μέρος του άνθρακα είναι άμεσα διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς ώστε να πραγματοποιηθούν οι ανάλογες διεργασίες. Για χαμηλές τιμές C/N έχουμε σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη εκπομπή αζώτου με τη μορφή αέριας αμμωνίας, η οποία συγκεντρώνεται και μπορεί να αποβεί τοξική για τον μικροβιακό πληθυσμό. Οι βέλτιστες τιμές C/N μπορούν να επιτευχθούν με την κατάλληλη μίξη συστατικών των αποβλήτων. Αυτό απαιτεί καλό σχεδιασμό σχετικά με τα απόβλητα που δέχεται κάθε εγκατάσταση, την αποθήκευσή τους καθώς και την τροφοδοσία του αντιδραστήρα.

- Το pH: Για pH μικρότερο του 5 η εξέλιξη του σταδίου της οξυδογένεσης σταματά, ενώ η βέλτιστη περιοχή θεωρείται μεταξύ 5,3–5,7. Για τιμές pH μεταξύ 5,8–7,2 βελτιστοποιείται το στάδιο της μεθανογένεσης, το οποίο υπόκειται σε αναστολή σε $pH < 5$. Άρα το βέλτιστο εύρος τιμών είναι 5,5–8,0. Όσον αφορά την πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών στο υπόστρωμα, η ύπαρξη αυτών των ουσιών που μπορούν να έχουν

αρνητική επίδραση στον μικροβιακό πληθυσμό είναι πιθανή σε ένα υπόστρωμα όπως τα ΑΣΑ δηλαδή βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές ενώσεις κλπ. Κάποιες ουσίες όπως Cu και Zn, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών κάτω από συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, οι οποίες αν μεγαλώσουν θα μπορούσαν να αποβούν τοξικές.



Σχήμα 4.2: Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας σε μια αναερόβια χώνευση ΑΣΑ

4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης

4.4.1 Πλεονεκτήματα και οφέλη

Σίγουρα τα οφέλη της αναερόβιας χώνευσης είναι πάρα πολλά. Τα υλικά όταν αποσυντίθενται εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα μεθάνιο. Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη της αναερόβιας χώνευσης είναι παρεμπόδιση αυτής της εκπομπής μεθανίου. Επιπλέον μέσω της αναερόβιας χώνευσης μειώνεται η μυρωδιά της ακατέργαστης ύλης καθώς επίσης μειώνει και τον αριθμό των παθογόνων ζιζανίων. Όλα τα υπολείμματα που προέρχονται από την αναερόβια χώνευση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα αφού η διεργασία αυτή δεν μειώνει την περιεκτικότητα των θρεπτικών συστατικών του υλικού που επεξεργάζεται.

Κάποια ακόμα οφέλη της αναερόβιας χώνευσης είναι:

- Παράγεται βιοαέριο το οποίο μπορεί να καθαριστεί από της ανεπιθύμητες προσμίξεις ή να καεί ακόμα και ακαθάριστο σε ειδικούς καυστήρες δίνοντας θερμική και ηλεκτρική ενέργεια, με αποτέλεσμα να μειώνεται έτσι το αρχικό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση.
- Απαιτεί μικρή δαπάνη ενέργειας για την επεξεργασία των αποβλήτων, κάτι που την καθιστά οικονομικά εφικτή επιλογή
- Παράγει πολύ μικρότερες ποσότητες βιομάζας, δηλαδή περίπου 3-20 φορές λιγότερη σε σχέση με την αερόβια διεργασία.
- Λόγω του μικρού συντελεστή απόδοσης σε βιομάζα των οξικογόνων και μεθανογόνων μικροοργανισμών, οι απαιτήσεις της διεργασίας σε θρεπτικά όπως άζωτο και φώσφορο, είναι μειωμένες συγκριτικά με τις αερόβιες διεργασίες.
- Επιτυγχάνεται υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου
- Η διεργασία αυτή είναι κατάλληλη για ισχυρά αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, τα οποία βρίσκονται σε όλη τη χώρα.
- Η καλά προσαρμοσμένη αναερόβια λάσπη μπορεί να παραμείνει ενεργή, δηλαδή χωρίς τροφοδοσία, για μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.4.2 Μειονεκτήματα

Κάποια από τα βασικότερα μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι:

- Υπάρχει μεγάλο χρονικό διάστημα εγκλιματισμού μικροβιακής καλλιέργειας και είναι πιο αργή διεργασία από την αερόβια επεξεργασία.
- Υπάρχει ευαισθησία στα συστήματα σε αυξομειώσεις της οργανικής φόρτισης.
- Έχει μικρό ειδικό ρυθμό ανάπτυξης μεθανογόνων βακτηρίων
- Εξάρτηση της διεργασίας από τη θερμοκρασία και κατανάλωση ενέργειας
- Ευαισθησία μεθανογόνων μικροοργανισμών σε ευρύ φάσμα τοξικών ενώσεων.
- Μικρότερη ικανότητα καταστροφής των παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία.
- Δυσοσμία του συστήματος εφόσον περιέχονται θειικά στην εισροή.
- Περαιτέρω επεξεργασία των εκροών

4.5 Εύρος πρώτων υλών για την αναερόβια χώνευση

Το εύρος των πρώτων υλών που μπορούν να χωνευτούν για την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να είναι είτε χαμηλού οργανικού φορτίου όπως η αστική ιλύς (λυματολάσπη) είτε υψηλού οργανικού φορτίου όπως η πράσινη ύλη αγροτικών υπολειμμάτων που περιλαμβάνουν τα ζωικά απόβλητα και το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Επίσης, η βιομηχανία τροφίμων παράγει μεγάλες οργανικών αποβλήτων που μπορούν να υποστούν ζύμωση.

Οι πρώτες ύλες που έχουν μεγαλύτερη απόδοση σε βιοαέριο ταξινομούνται σε:

- αγροτικής προέλευσης (απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, υπολείμματα καλλιεργειών, ενεργειακές καλλιέργειες)
- βιομηχανικής προέλευσης (υγρά απόβλητα, ιλύς, απόβλητα σφαγείων)
- αστικά απόβλητα (αστική ιλύς, οργανικό κλάσμα αστικών στερεών απορριμμάτων)

ενώ οι τυπικές αποδόσεις τους σε βιοαέριο δίνονται στον παρακάτω πίνακα 2

Πίνακας 4.2: ενδεικτικές αποδόσεις σε μεθάνιο *χιλιόγραμμα πτητικών στερεών VS

πρώτη ύλη	L/kg VS*
αστικά απόβλητα	200-530
απόβλητα φρούτων/ λαχανικών	220-530
απόβλητα βιομ. Τροφίμων	300-400
απόβλητα σφαγείων	250-850
ζωικά απόβλητα	330-350
ενεργ. Αραβόσιτος	220-400

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με την αναερόβια χώνευση ιλύος δηλαδή της λυματολάσπης που παράγεται από την μονάδα βιολογικού καθαρισμού του δήμου Κοζάνης. Η ενεργός ιλύς ως πρώτη ύλη αποτελεί ένα δύσκολα διαχειρίσιμο απόβλητο με υψηλά ποσοστά οργανικού φορτίου και παθογόνων μικροοργανισμών ενώ είναι και εξαιρετικά δύσσομο. Η αναερόβια χώνευση ιλύος αποτελεί την προσφορότερη ενεργειακά αλλά και οικονομικά μέθοδο αξιοποίησης του συγκεκριμένου αποβλήτου. Η διεργασία αυτή, εκτός από την ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου παράγει και όγκους στερεού υπολείμματος που μέσω της κομποστοποίησης μπορεί να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικά και να αποτεφρωθούν ή να ταφούν σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Το οργανικό μέρος των αστικών απορριμμάτων όταν εισέρχεται στους ΧΥΤΑ αποσυντίθεται σε αναερόβιες συνθήκες σε βιοαέριο με περιεκτικότητα συνήθως 50% σε μεθάνιο λόγω των μικρών ποσοτήτων οξυγόνου που βρίσκεται μαζί με τα απορρίμματα. Το παραγόμενο αέριο συσσωρεύεται μεταξύ των απορριμμάτων και

πηγαίνει στην ατμόσφαιρα, που υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί εκρηκτικό μίγμα με το οξυγόνο. Γι' αυτό πρέπει είναι απαραίτητη η τοποθέτηση συστήματος συλλογής και απομάκρυνσης του παραγόμενου αερίου. Η χρήση του για συμπαραγωγή το καθιστά μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αρκετά αξιόλογη τόσο οικονομικά όσο και ενεργειακά.

Τέλος, πολλά παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων όπως είναι η ζυθοποιία, η βιομηχανία ζάχαρης, η βιομηχανία επεξεργασίας φρούτων και τα σφαγεία, παρέχουν σημαντικές ποσότητες ζυμώσιμων αποβλήτων και η αναερόβια χώνευση αποτελεί ενδεδειγμένη λύση τόσο για την διαχείρισή τους όσο και για την παραγωγή βιοαερίου.

4.6 Μέθοδοι και συστήματα αναερόβιας χώνευσης

Όλα τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων ταξινομούνται ανάλογα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- θερμοκρασία
- συγκέντρωση στερεών
- σύστημα ανάδευσης
- αριθμός σταδίων

Πίνακας 4.3: Λειτουργικές παράμετροι των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης

Θερμοκρασία	Συγκέντρωση στερεών	Σύστημα ανάδευσης	Αριθμός σταδίων
Μεσόφιλο (~35°C)	Χαμηλά στερεά (>10% ξ.ο.)	Μηχανική ανάδευση	Ενός σταδίου (ένας αντιδραστήρας)
Θερμόφιλο (~55°C)	Μεσαία στερεά (10-25% ξ.ο.)	Ανάδευση μέσω των αερίων	Πολλαπλών σταδίων
	Υψηλά στερεά (>25% ξ.ο.)	Στρωτής ροής	
		Διακοπτόμενης τροφοδοσίας	

4.6.1 Θερμοκρασία

Όπως έχουμε αναλύσει και παραπάνω (παράγραφος 3), η θερμοκρασία επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις κατά την αναερόβια χώνευση κάνοντας την διεργασία ταχύτερη. Τα κυτταρικά συστήματα των αναερόβιων μικροοργανισμών (πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κλπ) καθορίζουν το εύρος των θερμοκρασιών που μπορούν να αναπτυχθούν.

Ανάλογα με το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί αυτοί, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- θερμόφιλοι που αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες άνω των 50°C
- μεσόφιλοι με βέλτιστη περιοχή ανάπτυξης τους 30-40°C
- ψυχρόφιλοι οι οποίοι αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες κάτω των 20°C

Συνήθως σε αναερόβια συστήματα, οι μεθαγόνοι μικροοργανισμοί είναι πολύ ευαίσθητοι σε θερμοκρασιακές μεταβολές καθώς επηρεάζονται δραματικά ακόμα και σε πολύ μικρές μεταβολές στην θερμοκρασία. Έτσι η θερμοκρασία είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το πλήθος των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα να λαμβάνεται ως κριτήριο στην επιλογή των ομάδων των μικροοργανισμών που επικρατούν σε ένα αναερόβιο σύστημα.

Η μεσόφιλη και η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση είναι πιο συχνές σε αντίθεση με την ψυχρόφιλη και ο λόγος που προτιμούνται είναι εξαιτίας των υψηλότερων ρυθμών της διεργασίας υπό αυτές τις θερμοκρασιακές περιοχές.

4.6.2 Συγκέντρωση στερεών

Σε συστήματα αναερόβιας χώνευσης ιλύος παρατηρείται πολύ χαμηλή συγκέντρωση στερεών, της τάξης του 5%. Το χαμηλό αυτό ποσοστό αναλογεί και με την φύση του υποστρώματος. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης αστικών αποβλήτων αυξάνεται η συγκέντρωση στερεών στον αντιδραστήρα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην αύξηση της παραγωγής βιοαερίου ανά μονάδα όγκου του αντιδραστήρα και στην μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για την θέρμανση του υποστρώματος.

Παρ' όλα αυτά η αύξηση της συγκέντρωσης στερεών δεν είναι απεριόριστη. Οι μικροβιακές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην υγρή φάση της ιλύος απαιτούν ένα ελάχιστο ποσοστό υγρασίας της τάξης του 40-50%. Επιπλέον, τα τεχνικά προβλήματα άντλησης των αποβλήτων κατά την είσοδο και την έξοδο των αποβλήτων από τον αντιδραστήρα απαιτούν το υπόστρωμα να είναι ρευστό, με αποτέλεσμα τον να περιορίζεται έτσι η μέγιστη συγκέντρωση στερεών στο 30-35%. Κάποια συστήματα αναερόβιας χώνευσης αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αυτό με την αποφυγή άντλησης των αποβλήτων καθώς και την συνεχή τροφοδότηση της μονάδας.

Σε αυτή την περίπτωση ο αντιδραστήρας είναι διακοπτόμενης τροφοδοσίας και η φόρτιση όπως και το άδειασμα του γίνονται με τη βοήθεια μεταφορικών ταινιών.

Στην αναερόβια χώνευση παρατηρούνται οι εξής κατηγορίες συστημάτων:

- Χαμηλής συγκέντρωσης στερεών τα οποία είναι γνωστά και με τον όρο συστήματα «υγρής» αναερόβιας χώνευσης (<10%TS), όπου χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες πλήρους αναμίξεως (CSTR) και ο συνολικός υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 5-8 μέρες.
- Υψηλής συγκέντρωσης στερεών τα οποία είναι γνωστά και με τον όρο συστήματα «ξηρής» αναερόβιας χώνευσης (25-40%TS), στα οποία χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες εμβολικής ροής (PFR). Επίσης συναντάμε και τους αντιδραστήρες Batch που λειτουργούν συνήθως σε υψηλή συγκέντρωση στερεών. Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 8- 12 μέρες.

4.6.3 Συστήματα ανάδευσης

Κατά την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης απαιτείται η καλή και ομοιόμορφη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα, γεγονός που κάνει αναγκαία την μίξη των αποβλήτων στον αντιδραστήρα. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η τοπική συγκέντρωση των προϊόντων της χώνευσης όπως επίσης και ο διαχωρισμός των αποβλήτων σε ελαφρύ και βαρύ κλάσμα εντός του αντιδραστήρα. Συνήθως στα περισσότερα συστήματα με την μέθοδο της μίξης, αντιμετωπίζονται τα τυχόν προβλήματα που προκύπτουν στον διαχωρισμό και στην συγκέντρωση του βιοαερίου.

Πίνακας 4.4: Λειτουργικές παράμετροι για αναερόβια επεξεργασία οργανικών ΑΣΑ διαχωρισθέντων στην πηγή, σε σύστημα ενός σταδίου (παράγραφος 6.4.1)

Μέθοδος	Λειτουργικές συνθήκες
Μεσόφιλες θερμοκρασίες- Χαμηλή συγκέντρωση στερεών	HRT: 14-30d OLR: 1-4kg TVS/m ³ .d
Μεσόφιλες θερμοκρασίες- Μέση συγκέντρωση στερεών	HRT: 12-14d OLR: 3-4kg TVS/m ³ .d
Θερμόφιλες θερμοκρασίες- Μέση συγκέντρωση στερεών	HRT: 12-14d OLR: 8-12kg TVS/m ³ .d
Μεσόφιλες θερμοκρασίες- Υψηλή συγκέντρωση στερεών	HRT: 17-250d OLR: 3-4kg TVS/m ³ .d
Θερμόφιλες θερμοκρασίες- Υψηλή συγκέντρωση στερεών	HRT: 12-16d OLR: 4-6kg TVS/m ³ .d
Συνεπεξεργασία αποβλήτων	HRT: 14-16d OLR: 1.9-3.9kg TVS/m ³ .d
HRT: Υδραυλικός χρόνος παραμονής, OLR: Ρυθμός οργανικής φόρτισης	

Στην αναερόβια χώνευση συναντάμε δύο τρόπους ανάδευσης αποβλήτων στον αντιδραστήρα. Ο ένας τρόπος είναι η μηχανική ανάδευση και ο δεύτερος τρόπος είναι η ανάδευση μέσω των αερίων. Κάθε ένας από τους δύο αυτούς τρόπους έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και τεχνικές δυσκολίες. Επίσης μέσω της διακοπτόμενης τροφοδοσίας, πολλά συστήματα αποφεύγουν την ανάδευση εντός του αντιδραστήρα. Σε αυτή την περίπτωση, η απαιτούμενη μίξη επιτυγχάνεται με δύο τρόπους. Οι τρόποι αυτοί είναι η κατάλληλη προετοιμασία του υποστρώματος εκτός του αντιδραστήρα καθώς επίσης και η ανακύκλωση μέρους της επεξεργασμένης χωνεμένης ιλύος. Στα συστήματα αυτά ο εξοπλισμός ανάδευσης είναι εξωτερικός, δηλαδή δεν βρίσκεται στο εσωτερικό του αντιδραστήρα. Έχει παρατηρηθεί ότι σε τέτοιου είδους συστήματα η ασφάλεια στην εκτίμηση του χρόνου παραμονής των αποβλήτων σε συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη.

4.6.4 Αριθμός σταδίων

Ανάλογα με τον αριθμό των αντιδραστήρων που χρησιμοποιούν, συναντάμε πολλά συστήματα αναερόβιας χώνευσης. Τα συστήματα αυτά διαχωρίζονται σε:

- συστήματα ενός σταδίου όπου όλες οι φάσεις πραγματοποιούνται σε έναν αντιδραστήρα
- συστήματα πολλών σταδίων στα οποία η υδρόλυση και η μεθανογένεση πραγματοποιούνται σε διαφορετικούς αντιδραστήρες

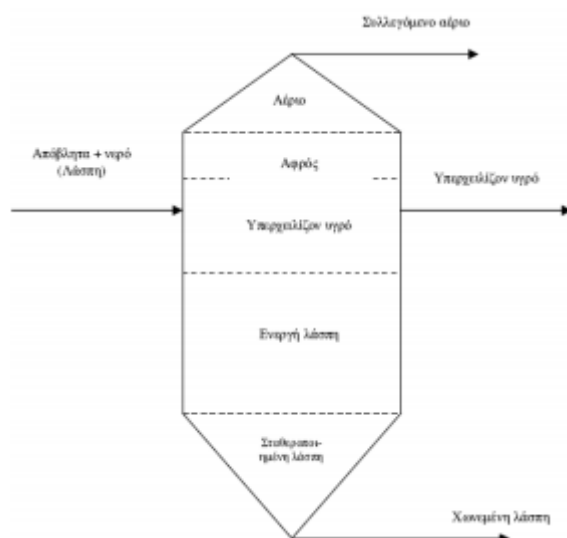
Οι βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στις διακριτές φάσεις της αναερόβιας χώνευσης έχουν διαφορετικές βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες διαφέρουν ελαφρώς από φάση σε φάση. Έτσι οι φάσεις μιας αναερόβιας χώνευσης που λαμβάνει χώρα εξ ολοκλήρου σε έναν αντιδραστήρα, δεν επιδέχονται βελτιστοποίηση.

Οι διάφορες φάσεις, όταν γίνεται διαχωρισμός της διεργασίας σε χωριστούς αντιδραστήρες, επιδέχονται την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση διότι η υδρόλυση και η οξεογένεση λαμβάνουν χώρα ανεξάρτητα από τη μεθανογένεση. Έτσι αυξάνεται η συνολική ταχύτητα και η απόδοση όλης της αναερόβιας χώνευσης. Όμως αυτό το πλεονέκτημα αντισταθμίζεται από το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους του πρόσθετου αντιδραστήρα και των συστημάτων μεταφοράς των αποβλήτων.

Σήμερα οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες στρέφονται στις απλούστερες λύσεις, με αποτέλεσμα να επικρατούν στην αγορά τα συστήματα ενός σταδίου, παρά τη μειωμένη απόδοση σε σχέση με τα συστήματα δύο σταδίων.

4.6.4.1 Σύστημα αναερόβιας χώνευσης ενός αντιδραστήρα

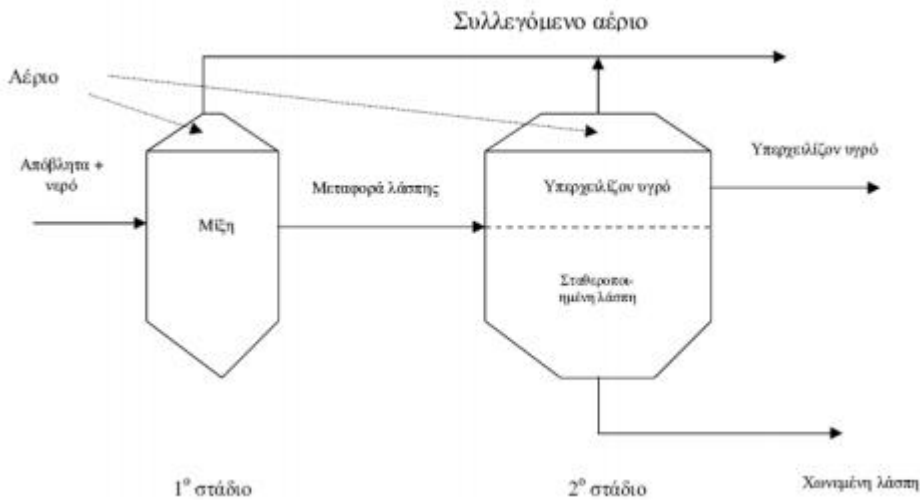
Το σύστημα αυτό είναι το πιο σύνηθες και αποτελείται από έναν αντιδραστήρα με χρόνο παραμονής κάποιων εβδομάδων. Στο σύστημα αυτό κυρίως πραγματοποιείται ανάδευση του περιεχομένου. Η ανάδευση γίνεται με στόχο την αποφυγή συσσώρευσης μεταβολικών προϊόντων που μπορούν να οδηγήσουν στη θανάτωση των ενεργών μικροβίων. Αντιθέτως, αν δεν πραγματοποιηθεί ανάδευση, το εσωτερικό του αντιδραστήρα χωρίζεται σε τέσσερα στρώματα (Σχήμα 3), ενώ στην κορυφή του πραγματοποιείται η συλλογή του παραγόμενου βιοαερίου.



Σχήμα 4.3: Σύστημα αναερόβιας χώνευσης ενός σταδίου

4.6.4.2 Σύστημα δύο σταδίων

Το σύστημα δύο σταδίων περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο αντιδραστήρες οι οποίοι λειτουργούν σε σειρά, δηλαδή ο δεύτερος αντιδραστήρας επεξεργάζεται τα απόβλητα που προέρχονται από τον πρώτο (σχήμα 4). Έτσι τα στάδια υδρόλυσης και παραγωγής οξέων πραγματοποιούνται στον πρώτο αντιδραστήρα. Στον πρώτο αντιδραστήρα τα απόβλητα και ότι άλλο εμπεριέχει, αναμιγνύονται με νερό και ο χρόνος παραμονής τους μέσα σε αυτόν διαρκεί μερικές μέρες. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο του πρώτου αντιδραστήρα περνάει στον δεύτερο, κάτι που ονομάζεται στάδιο 2. Το στάδιο αυτό αποτελείται από μεθανογένεση. Τα χαμηλά pH του πρώτου σταδίου δεν επηρεάζουν σε τίποτα την μεθανογένεση ούτε και την παρεμποδίζουν. Με μία πιο προσεχτική ματιά, θα παρατηρήσει κανείς ότι τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης δεν διαχωρίζονται πλήρως. Έτσι το συλλεγόμενο αέριο του δεύτερου σταδίου συνδυάζεται με το συλλεγόμενο αέριο του πρώτου, αφού και σε αυτό παράγεται αέριο.



Σχήμα 4.4: Σύστημα αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων

Επίσης σε συστήματα πολλών φάσεων είναι δυνατή η ύπαρξη διαφορετικών θερμοκρασιών σε κάθε στάδιο. Εκτός από το διαχωρισμό των φάσεων και τη μεταβολή της θερμοκρασίας από αντιδραστήρα σε αντιδραστήρα, υπάρχουν κι άλλοι συνδυασμοί που στοχεύουν την βελτιστοποίηση των συνθηκών και της απόδοσης της αναερόβιας χώνευσης.

4.7 Κατηγορίες αναερόβιων αντιδραστήρων

Τα κριτήρια που έχουν προσδιορισθεί για τον σχεδιασμό των αναερόβιων αντιδραστήρων είναι:

- η υψηλή συγκέντρωση της βιομάζας και των μικροοργανισμών στο εσωτερικό του,
- η επαρκής επαφή μεταξύ της βιομάζας και του υποστρώματος,
- οι μεγάλοι ρυθμοί μετατροπής των υποστρωμάτων και η μείωση των φαινομένων μεταφοράς,
- το κατάλληλο περιβάλλον για την προσαρμογή της βιομάζας στην πρώτη ύλη,
- κατάλληλο περιβάλλον για όλους τους μικροοργανισμούς υπό συνθήκες λειτουργίας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια και ανάλογα με την πρώτη ύλη και την ποσότητα στερεών που περιέχει, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες αναερόβιων αντιδραστήρων:

- αντιδραστήρες για επεξεργασία πρώτης ύλης χαμηλής περιεκτικότητας σε στερεά, όπως είναι τα υγρά απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων και τα υγρά κτηνοτροφικά απόβλητα. Τέτοιοι αντιδραστήρες είναι:

- ▶ αναερόβιες λίμνες (Lagoons)
- ▶ αντιδραστήρες τύπου CSTR
- ▶ αναερόβια φίλτρα
- ▶ ρευστοποιημένες κλίνες
- ▶ αναερόβιοι αντιδραστήρες ανοδικής ροής μέσω στρώματος ιλύος UASBR
- ▶ αναερόβιοι αντιδραστήρες με ανακλαστήρες ABR

- αντιδραστήρες για επεξεργασία πρώτης ύλης μέσης περιεκτικότητας σε στερεά όπως είναι τα κτηνοτροφικά απόβλητα και ιλύες από βιολογικούς καθαρισμούς αστικών λυμάτων. Τέτοιοι αντιδραστήρες είναι:

- ▶ αντιδραστήρες εμβολικής ροής
- ▶ αντιδραστήρες τύπου CSTR
- ▶ αντιδραστήρες επαφής

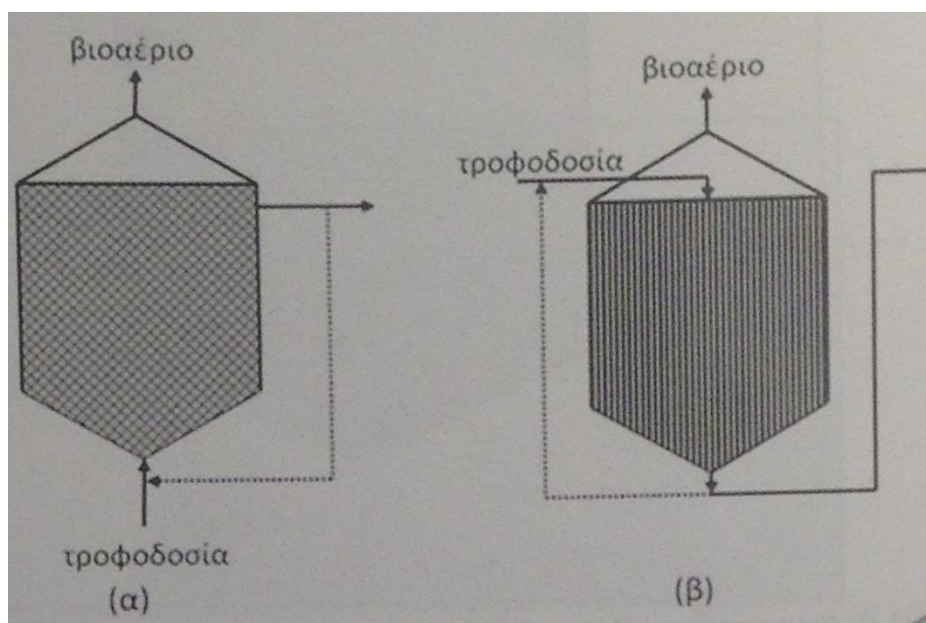
- αντιδραστήρες για επεξεργασία πρώτης ύλης υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά όπως είναι τα υπολείμματα τροφών και καλλιεργειών. Τέτοιοι αντιδραστήρες είναι:

- ▶ αντιδραστήρες εμβολικής ροής
- ▶ αντιδραστήρες τύπου CSTR
- ▶ σταθερές κλίνες με διασταλάγματα (leach-bed)

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, τα αναερόβια συστήματα διακρίνονται σε αυτά που λειτουργούν σε συνεχή βάση, δηλαδή με συνεχή τροφοδοσία νέου υλικού και ταυτόχρονη συνεχή απομάκρυνση του χωνευμένου, και σε αυτά που αρχικά τροφοδοτούνται και, μετά την χώνευση του υλικού, αδειάζουν και παραμένουν με το υπόλοιπο χωνευμένο υλικό. Αυτό το 10-15% του υλικού που παραμένει θα χρησιμοποιηθεί στην χώνευση για τον επόμενο κύκλο λειτουργίας.

4.7.1 Σταθερής κλίνης (αναερόβιο φίλτρο)

Στους αντιδραστήρες σταθερής κλίνης το απόβλητο εισέρχεται από τον πυθμένα ή την κορυφή μια στήλης πληρωμένης με αδρανές υλικό όπως είναι η πέτρα, το χαλίκι και το πλαστικό. Το υλικό αυτό δίνει την απαιτούμενη επιφάνεια, πάνω στην οποία προσκολλώνται οι μικροοργανισμοί με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μία βιολογική μεμβράνη. Το πληρωτικό υλικό μπορεί επίσης να συγκρατήσει μέσα στους μικροπόρους του τους μικροοργανισμούς. Ωστόσο, ελλοχεύει ο κίνδυνος της έμφραξης όπου αποτελεί και το βασικό πρόβλημα αυτών των αντιδραστήρων. Στο εσωτερικό τους πρέπει το οργανικό φορτίο να είναι είτε χαμηλό είτε μεσαίο. Έτσι για την μείωσή του οργανικού φορτίου του αποβλήτου, εφαρμόζεται η μέθοδος της ανακυκλοφορίας, ώστε η φόρτιση στην είσοδο να διατηρείται μεταξύ 8-12 g/L.

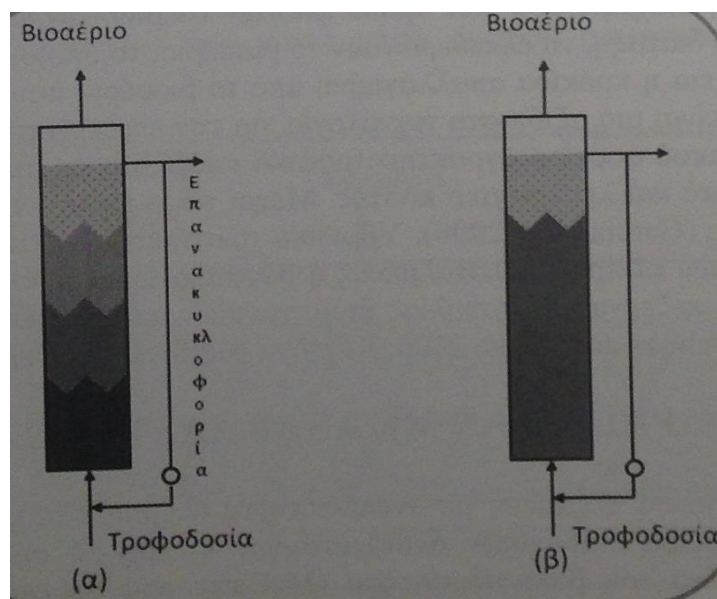


Σχήμα 4.5: αναερόβια φίλτρα (α) ανοδικής ροής (β) καθοδικής ροής

4.7.2 Διεσταλμένης και ρευστοποιημένης κλίνης

Αυτού του τύπου η διάταξη διευκολύνει τη μεταφορά της μάζας από την υγρή φάση στην βιολογική μεμβράνη. Αυτό πραγματοποιείται λόγω του λεπτόκοκκου πληρωτικού υλικού που έχει μεγάλη επιφάνεια για την ανάπτυξη της βιολογικής μεμβράνης καθώς και των ισχυρών ροών που επικρατούν στο εσωτερικό του αντιδραστήρα.

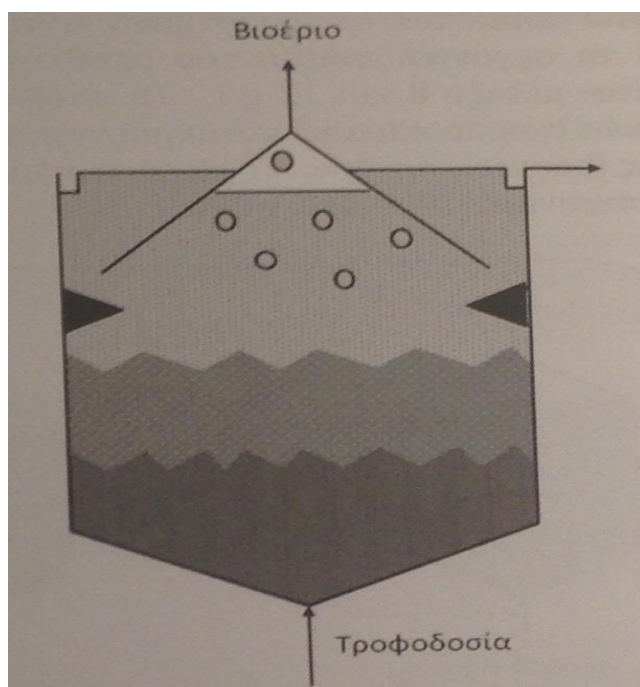
Η διαστολή της κλίνης πρέπει να διατηρείται μεταξύ 15-30%, γι' αυτό η ανοδική ταχύτητα ροής πρέπει να είναι αρκετά υψηλή. Σε περιπτώσεις μεγαλύτερης διαστολής, δηλαδή έως και 300%, η κλίνη θεωρείται ρευστοποιημένη. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του αντιδραστήρα είναι η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την ανακυκλοφορία, ενώ το παραγόμενο απόβλητο θα πρέπει να είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε αιωρούμενα στερεά.



Σχήμα 4.6: αναερόβιος αντιδραστήρας (α) διεσταλμένης κλίνης
(β) ρευστοποιημένης κλίνης

4.7.3 Ανοδικής ροής μέσω στρωμάτων ιλύος

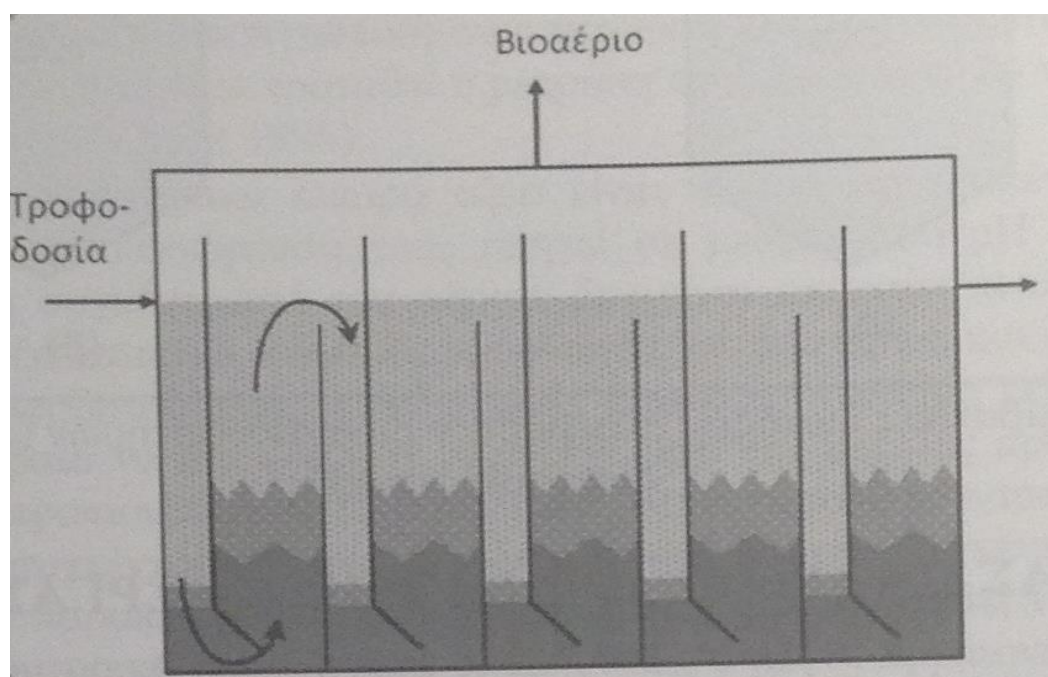
Οι αντιδραστήρες τύπου UASBR σχεδιάστηκε ως εναλλακτική λύση για την επεξεργασία αποβλήτων χωρίς τα προβλήματα έμφραξης των αντιδραστήρων με πληρωτικό υλικό, αλλά διατηρώντας την ακινητοποίηση της βιομάζας. Μία πυκνή δομή σχηματίζεται από τους μικροοργανισμούς οι οποίοι συσσωρεύονται, με κατάλληλα χαρακτηριστικά καθίζησης και αντοχής. Η τροφοδοσία του αποβλήτου εισέρχεται στον αντιδραστήρα από τον πυθμένα και η κατεύθυνση της ροής είναι ανοδική. Ο σχηματισμός των κροκίδων επηρεάζεται άμεσα από την ταχύτητα της ροής η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 3m/h. Συνήθως το βιοαέριο παγιδεύεται στις κροκίδες, κάνοντας τες ελαφρύτερες με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να χαθούν. Για την αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου, στην κορυφή του αντιδραστήρα είναι τοποθετημένη μία διάταξη η οποία διαχωρίζει τις τρεις φάσεις έτσι ώστε όταν προσκρούσουν οι κροκίδες επάνω της να ελευθερώνουν το βιοαέριο για να διαφύγει από το εσωτερικό της. Μετά από την πρόσκρουση, η κροκίδα που είναι πλέον ελαφρύτερη επανέρχεται στον πυθμένα. Ένας αντιδραστήρας UASBR, χρησιμοποιείται στην επεξεργασία μεγάλου εύρους αποβλήτων και έχει χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος.



Σχήμα 4.7: αναερόβιος αντιδραστήρας ανοδικής ροής μέσω στρώματος ιλύος

4.7.4 Αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες

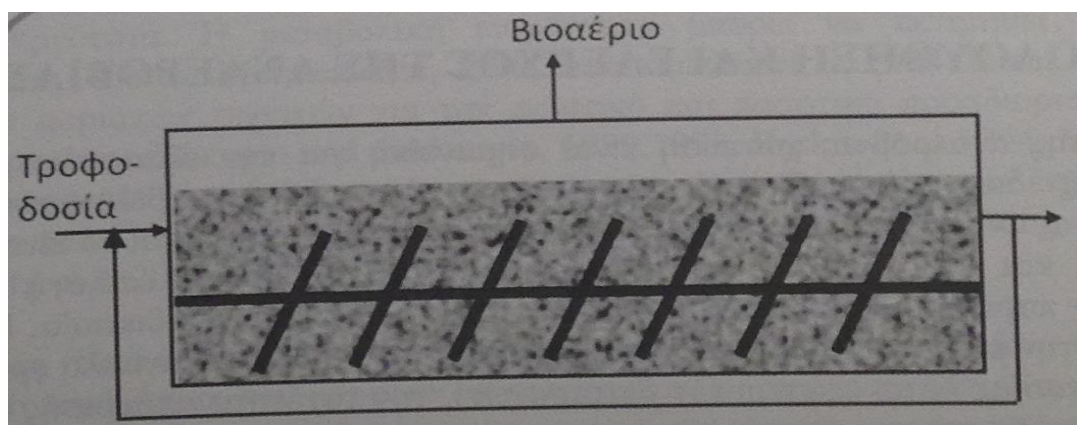
Αυτό το είδος αντιδραστήρα είναι μια ορθογώνια δεξαμενή όπου το απόβλητο εισέρχεται πάνω και κάτω από μία σειρά διαδοχικών ανακλαστήρων και στην συνέχεια έρχεται σε επαφή με την βιομάζα που είναι συσσωρευμένη στον πυθμένα. Ο αντιδραστήρας αυτός είναι σχετικά απλός στον σχεδιασμό και στην κατασκευή του αφού δεν έχει κινούμενα μέρη και αναδευτήρες καθώς η βιομάζα του δεν είναι απαραίτητο να έχει καλές ιδιότητες καθίζησης ώστε να παραμένει στο εσωτερικό του. Ο αντιδραστήρας τύπου ABR διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα με χαμηλούς χρόνους παραμονής. Επίσης είναι αρκετά αποτελεσματικός και σε περιπτώσεις ξαφνικών αλλαγών στην οργανική φόρτιση του αποβλήτου. Μετά από κάποιες τροποποιήσεις αυτού του τύπου αντιδραστήρα οδηγηθήκαμε στον αντιδραστήρα με ανακλαστήρες (PABR), στον οποίο η συχνότητα εναλλαγής στο σημείο τροφοδοσίας επιτρέπει ευελιξία στη λειτουργία. Επιπλέον, επικρατεί ομοιομορφία σε όλα τα διαμερίσματα και ο PABR λειτουργεί ως ένας αντιδραστήρας ενός διαμερίσματος ανοδικής ροής.



Σχήμα 4.8: Αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες

4.7.5 Αντιδραστήρες εμβολικής ροής

Ένας αντιδραστήρας εμβολικής ροής είναι μια στεγνή, μονωμένη και θερμαινόμενη δεξαμενή μεγάλου μήκους, στην οποία φρέσκο υλικό εισέρχεται από το ένα άκρο και το χωνευμένο υλικό εξέρχεται από το άλλο. Ο αντιδραστήρας αυτός μπορεί να τοποθετηθεί οριζόντια ή κάθετα και τροφοδοτείται συνήθως με πρώτη ύλη υψηλής φόρτισης σε στερεά. Εφαρμόζονται διάφορες πρακτικές ώστε να επιτευχθεί ανάμιξη. Για παράδειγμα, το φρέσκο υλικό αναμειγνύεται με ένα μέρος του χωνευμένου και εισέρχεται στην κορυφή του αντιδραστήρα. Αργά περιστρεφόμενοι κοχλίες μεταφέρουν οριζόντια το μείγμα προκαλώντας ανάμιξη, απαέρωση, και αιώρηση των βαρύτερων σωματιδίων ενώ το βιοαέριο εγχέεται κατά διαστήματα και υπό πίεση μέσω δικτύου σωλήνων.



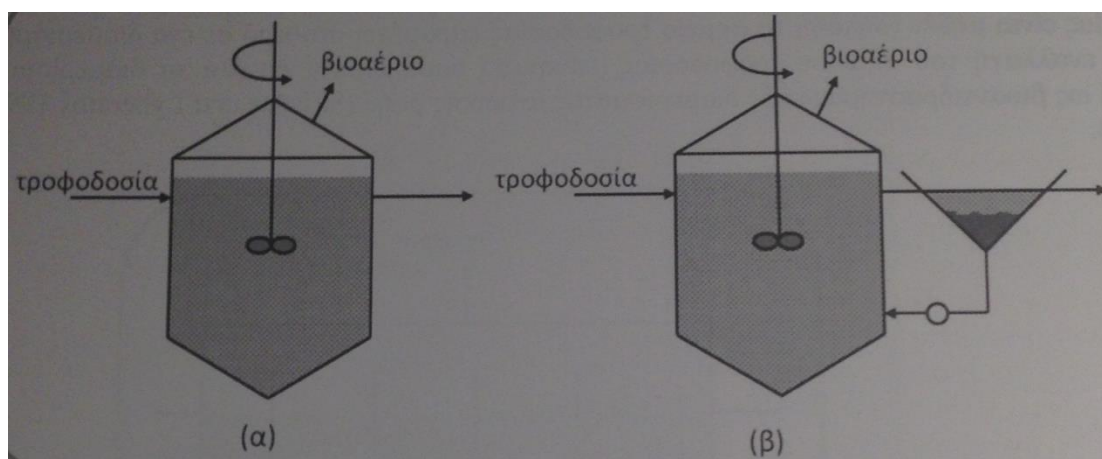
Σχήμα 4.9: Αναερόβιος αντιδραστήρας εμβολικής ροής

4.7.6 Κλίνη με διασταλλάγματα (Leach Bed)

Στην περίπτωση αυτή, η πρώτη ύλη εισέρχεται σε κατακόρυφο αντιδραστήρα για να σχηματιστεί μία κλίνη στην οποία το υγρό ρεύμα διαπερνά την στερεή μάζα σαν στράγγισμα και επανακυκλοφορεί στην κορυφή του.

4.7.7 αντιδραστήρας πλήρους ανάμειξης (διεργασία επαφής)

Συνήθως αποτελείται από μία κυλινδρική μονωμένη δεξαμενή, τοποθετημένη πάνω και κάτω από το έδαφος. Η θέρμανση στον αντιδραστήρα παρέχεται μέσω μανδύα ζεστού νερού ή μέσω εσωτερικού εναλλάκτη θερμότητας. Η ανάμειξη επιτυγχάνεται μέσω μηχανικού αναδευτήρα είτε μέσω της επανακυκλοφορίας του υγρού ή του βιοαερίου. Η εκροή οδηγείται σε δεξαμενή καθίζησης ή σε κεκλιμένες πλάκες για να αυξηθεί η συγκέντρωση της βιομάζας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα.



Σχήμα 4.10: Αναερόβιος αντιδραστήρας (α) πλήρους ανάμειξης (β) διεργασίας επαφής

4.8 Περιγραφή της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης

Μία τυπική μονάδα αναερόβιας χώνευσης η οποία παράγει ηλεκτρική ή θερμική ισχύ απεικονίζεται στο σχήμα 11 και αποτελείται από:

- την προκατεργασία της βιομάζας: η οποία, ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης ενδέχεται να περιλαμβάνει την αποθήκευση, την άλεση, την εξυγίανση κατά την παραμονή της σε θερμοκρασίες πάνω από 70°C για το απαραίτητο χρονικό διάστημα ώστε να καταστραφούν τυχόν παθογόνοι μικροοργανισμοί, την αρχική εξωκυτταρική υδρόλυση, την ανάμιξη διαφόρων πρώτων υλών, την αραιώση ή την πύκνωση των στερεών, τη ρύθμιση του pH καθώς και την προθέρμανση της
- τις δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης: όπου λαμβάνει χώρα η αναερόβια χώνευση σε επιλεγμένη θερμοκρασία και χρόνο παραμονής της βιομάζας στον χωνευτή. Το βιοαέριο εξέρχεται από την οροφή του αντιδραστήρα, προς τη μονάδα παραγωγής ισχύος. Το στερεό υπόλειμμα εξέρχεται από τον πυθμένα, προς τις δεξαμενές ξήρανσης του.

- τον καθαρισμό και τη συλλογή του βιοαερίου: κατά την οποία εξισορροπείται η παροχή στην μονάδα συμπαραγωγής και περιλαμβάνει και σύστημα κατιονισμού του με νερό για την απομάκρυνση της αμμωνίας και του υδρόθειου.
- μονάδα συμπαραγωγής: πρόκειται για συστοιχία μηχανές εσωτερικής καύσης (κινητήρες) βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και εναλλακτών για την παραγωγή βιομηχανικής (σε υψηλή θερμοκρασία) ή οικιακής (σε χαμηλή θερμοκρασία) θερμότητας.
- δεξαμενές ξήρανσης στερεού υπολείμματος: το στερεό υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης οδηγείται σε δεξαμενές διαδοχικής ξήρανσης, από όπου μπορεί είτε να ληφθεί σε ρευστή μορφή για απευθείας χρήση σε αγροτικές εκτάσεις είτε να συσκευασθεί, σε ξηρή μορφή και να διατεθεί στο εμπόριο ως λίπασμα.

4.9 Σχεδιαστικές παράμετροι της αναερόβιας χώνευσης

Γενικά, επικρατούν κάποιες βασικές σχεδιαστικές παράμετροι σχετικά με τον σχεδιασμό της αναερόβιας χώνευσης. Οι παράμετροι αυτοί εξαρτώνται από την ποσότητα των αποβλήτων, τον χρόνο παραμονής, τις ποσότητες των προϊόντων που θα παράγονται καθημερινά, καθώς και το σύστημα για τη θέρμανση και ανακύκλωση του νερού που χρησιμοποιείται για την αύξηση της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα.

Οι παράμετροι αυτοί είναι:

► Ο όγκος του αντιδραστήρα: εξαρτάται από την ποσότητα των αποβλήτων προς επεξεργασία σε ημερήσια βάση, την υγρασία τους, τη συγκέντρωση των πτητικών στερεών, το ρυθμό φόρτισης του αντιδραστήρα, τη συγκέντρωση στερεών του μίγματος αποβλήτων/νερού καθώς και το χρόνο παραμονής. Συνήθως οι αντιδραστήρες σχεδιάζονται με βάση έναν επιθυμητό ρυθμό φόρτισης πτητικών στερεών.

► Η απαιτούμενη θέρμανση: εξαρτάται από τις θερμοκρασίες λειτουργίας του αντιδραστήρα. Η θέρμανση γίνεται με σωληνώσεις εντός του αντιδραστήρα στους οποίους ανακυκλώνεται θερμό νερό. Για μεγαλύτερους αντιδραστήρες, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, καταναλώνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στο επιθυμητό επίπεδο, και όχι για τη διατήρησή της στην τιμή αυτή.

Ο ρυθμός εισόδου των αποβλήτων στον αντιδραστήρα, η θερμοκρασία των αποβλήτων εκτός του αντιδραστήρα και η επιθυμητή θερμοκρασία εντός του αντιδραστήρα, επηρεάζουν τις απαιτήσεις σε ενέργεια.

► Ο χρόνος παραμονής: σε αναερόβιους αντιδραστήρες, εξαρτάται από τον ωφέλιμο όγκο και το ρυθμό παροχής των αποβλήτων εντός του αντιδραστήρα. Ο ιδανικός χρόνος παραμονής είναι εκείνος κατά τον οποίο ο μικροβιακός πληθυσμός

διατηρείται στο εκθετικό στάδιο ανάπτυξης και το μεγαλύτερο μέρος της χημικής ενέργειας των αποβλήτων μετατρέπεται σε χημική ενέργεια του μεθανίου.

4.10 Μεθάνιο και βιοαέριο

Το βιοαέριο αποτελεί μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), από το οποίο μπορεί να προκύψει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια εάν χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Διαφέρει από τα ορυκτά καύσιμα διότι αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας, δηλαδή δεν είναι τόσο επιβλαβής και ρυπογόνα για το περιβάλλον. Το βιοαέριο το οποίο παράγεται από την αναερόβια χώνευση αποτελεί μείγμα διαφόρων αερίων.

Τα αέρια αυτά είναι τα εξής:

- ▶ Μεθάνιο (CH_4): 55-70%
- ▶ Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): 30-45%
- ▶ Υδρόθειο (H_2S): 1-2%
- ▶ Άζωτο (N_2) 0-1%
- ▶ Υδρογόνο (H_2) 0-1%
- ▶ Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Ίχνη
- ▶ Οξυγόνο (O_2): Ίχνη

Το καύσιμο μέρος του βιοαερίου αποτελείται κυρίως από μεθάνιο μαζί με την παραγόμενη ποσότητα υδρογόνου που προκύπτουν από την αναερόβια χώνευση της πρώτης ύλης. Η περιεκτικότητά του σε μεθάνιο εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης καθώς και από την τεχνολογία του αντιδραστήρα και τις συνθήκες λειτουργίας του. Το μεθάνιο είναι ένα άοσμο και άχρωμο αέριο, το οποίο όταν καίγεται, παράγει κυανόχρωμη φλόγα και έχει σημείο βρασμού στους $-162\text{ }^\circ\text{C}$. Επίσης η πυκνότητα του μεθανίου σε κανονικές συνθήκες, δηλαδή πίεση 1atm και θερμοκρασία $20\text{ }^\circ\text{C}$, είναι περίπου $0,75\text{ kg/m}^3$.

Πίνακας 4.5: Αποδόσεις διαφόρων οργανικών αποβλήτων σε βιοαέριο

Απόβλητα	Απόδοση σε βιοαέριο (m ³ /kg)
Κοπριά χοίρων	0.3 - 0.8
Κοπριά βοοειδών	0.2 - 0.8
Κοπριά πουλερικών	0.3 - 0.8
Κοπριά προβάτων	0.3 - 0.4
Τυρόγαλα	0.5 - 0.9
Υπολείμματα άρτου (ξηρά)	0.8 - 1.2
Απόβλητα σφαγείων	0.3 - 0.4

4.10.1 Τρόποι αξιοποίησης βιοαερίου

Το βιοαέριο συνήθως χρησιμοποιείται σε λέβητες και καυστήρες ως καύσιμο. Επίσης είναι συχνή η καύση βιοαερίου σε καυστήρες φυσικού αερίου με σκοπό την παραγωγή θερμότητας. Ως καύσιμο το βιοαέριο, χρειάζεται μία επεξεργασία όπως είναι η συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, η συμπίεση, η ψύξη και η αφυδάτωση. Ακόμα μία χρησιμότητα του παραγόμενου αερίου, είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Έτσι το βιοαέριο ως καύσιμο σε μία μονάδα ΣΗΘ, έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καλύψει της ενεργειακές ανάγκες του ηλεκτρικού εξοπλισμού της μονάδας. Αντιθέτως, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο αποφέροντας έτσι οικονομικό όφελος.

Πίνακας 4.6: Οι σημαντικότερες μονάδες παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα

Πρώτη ύλη	Τοποθεσία	Παραγωγή βιοαερίου m ³ /ημέρα	Ηλεκτρική Ισχύς MW
Απορρίμματα (ΧΥΤΑ)	Α. Λιόσια ,Αττικής	184.000	14
Απορρίμματα (ΧΥΤΑ)	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

Η θερμότητα που παράγεται από την καύση βιοαερίου, κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές διεργασίες και στην θέρμανση κτηρίων. Επίσης η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται στην ξήρανση προϊόντων ή στον διαχωρισμό του κομπόστ. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα ηλεκτρισμού- θερμότητα- δροσισμού, όπως για παράδειγμα ο κλιματισμός.

Για τις εφαρμογές αυτές θα πρέπει να απομακρυνθεί το περιεχόμενό του σε υδρατμούς και υδρόθειο, ενώ θα πρέπει επίσης να αναβαθμιστεί σε συγκεντρώσεις μεθανίου παραπλήσιες με αυτές του φυσικού αερίου, δηλαδή της τάξης του 98% μεθάνιο. Η χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο προϋποθέτει, εκτός από την μονάδα παραγωγής και την εγκατάσταση σταθμών αναβάθμισης και δικτύων διανομής.



Σχήμα 4.11: Αποδοτικοί τρόποι εκμετάλλευσης του βιοαερίου

4.11 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναερόβιας χώνευσης

Υπάρχουν πολλά είδη περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Αυτές οι επιπτώσεις αφορούν τον αέρα, τα νερά και το έδαφος.

4.11.1 Επιπτώσεις στον αέρα

Από μία διαδικασία αναερόβιας χώνευσης, οι εκπομπές αέριων ρύπων είναι πολύ μικρές αφού η διαδικασία της χώνευσης πραγματοποιείται σε κλειστούς χώρους και το παραγόμενο αέριο συλλέγεται προς επεξεργασία και αξιοποίηση. Αέριες εκπομπές παρατηρούνται κατά την καύση του βιοαερίου και είναι κυρίως οξείδια του αζώτου και του θείου και δευτερευόντως σε άλλα προϊόντα της καύσης. Οι εκπομπές που παράγονται κατά την καύση του βιοαερίου είναι παρόμοιες με τις εκπομπές από την καύση φυσικού αερίου.

Αυτές οι αέριες εκπομπές έχουν περιορισμένη επικινδυνότητα επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις τέτοιων μονάδων ο έλεγχος τους είναι περιορισμένος. Όμως μπορεί να υπάρχουν ουσίες υψηλότερης τοξικότητας στο βιοαέριο λόγω της πιθανής παρουσίας διαλυτών και άλλων επικίνδυνων ουσιών στο υπόστρωμα, σε περιπτώσεις που πριν την αναερόβια χώνευση δεν έχει προηγηθεί πρόγραμμα διαλογής στην πηγή. Η επαρκής αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου επιτυγχάνεται με τον εκτενή έλεγχο των αποβλήτων κατά την είσοδο τους στη μονάδα.

Στην διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης παράγονται κάποιες οσμές μόνο κατά την διάρκεια της προετοιμασίας του ρεύματος τροφοδοσίας και κατά την επεξεργασία της χωνεμένης ίλυος, οι οποίες λαμβάνουν χώρα εκτός του αντιδραστήρα. Σε περιπτώσεις που αυτές οι διεργασίες πραγματοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους, ο αέρας υφίσταται επεξεργασία με βιοφίλτρα ή χημική έκπλυση και ως αποτέλεσμα έχουμε τον περιορισμό των ορμών που απελευθερώνονται στο αέρα.

4.11.2 Επιπτώσεις στα νερά

Στην διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης παρατηρείται περίσσεια νερού. Το νερό αυτό είτε ανακυκλοφορεί εντός της διεργασίας, είτε υπόκειται επεξεργασία από κάποια κατάλληλη μονάδα σε περιπτώσεις μη ανακυκλοφορίας. Ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων, έχει υπολογιστεί ότι παράγονται ποσότητες 100-300 m³ υγρών αποβλήτων. Όταν μία μονάδα επεξεργάζεται οργανικά απόβλητα μετά από διαλογή στην πηγή, συνήθως παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες υγρών αποβλήτων επειδή η υγρασία του ρεύματος είναι μεγαλύτερη.

4.11.3 Επιπτώσεις στο έδαφος

Κατά κύριο λόγο η εφαρμογή του παραγόμενου τύπου κομπόστ στο έδαφος έχει επιπτώσεις στο έδαφος. Έχει παρατηρηθεί ότι οι επιπτώσεις του κομπόστ στο έδαφος είναι ίδιες με αυτές της αερόβιας επεξεργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ

5.1 Περιγραφή μελέτης εγκατάστασης

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης μιας μονάδας επεξεργασίας αναερόβιας χώνευσης – μηχανής εσωτερικής καύσης που συνοδεύεται από την οικονομοτεχνική του μελέτη καθώς και κάποιες παραμετρικές αναλύσεις. Σκοπός της όλης αυτής έρευνας είναι να προταθεί μια οικονομικά βιώσιμη λύση για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιείται ένα παραπροϊόν το οποίο δεν έχει καμιά χρησιμότητα για τον άνθρωπο.

Η συγκεκριμένη μελέτη θα πραγματοποιηθεί για την μονάδα βιολογικού καθαρισμού νομού Κοζάνης, της οποίας τα απόβλητα (ιλύς) θα μεταφέρονται στην μονάδα αναερόβιας χώνευσης και ενεργειακής αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου. Αναλυτικότερα η όλη παραγωγική διαδικασία για την εξαγωγή κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από 2 βασικά στάδια. Τον αναερόβιο χωνευτή, όπου εκεί θα συγκεντρώνεται η πρώτη ύλη (λυματολάσπη) και την μηχανή εσωτερικής καύσης, που με τη λειτουργία της θα υπάρχει παραγωγή κυρίως ηλεκτρικής αλλά και θερμικής ενέργειας. Λόγω των θερμικών απαιτήσεων του χωνευτή η θερμική ενέργεια που παράγεται από την μηχανή εσωτερικής καύσης θα χρησιμοποιείται για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών.

Μετά από συγκέντρωση πληροφοριών από τη Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης, ο όγκος αποβλήτων που προέρχεται από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού ανέρχεται στους 5.840 τόνους ετησίως.

5.2 Υπολογισμός τιμών αναερόβιου χωνευτή και παραγόμενου βιοαερίου

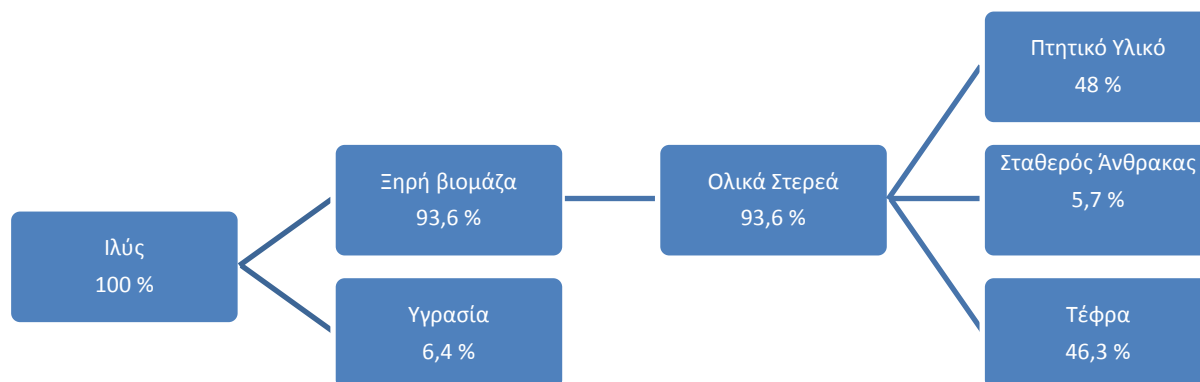
Η παραγόμενη ιλύς της εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού του νομού Κοζάνης ανέρχεται περίπου στους 5.840 τόνους ανά έτος. Η συγκεκριμένη ποσότητα λάσπης σύμφωνα με προσεγγιστική ανάλυση ανάγεται σε 6,4% υγρασία δηλαδή 373,8 τόνους, 48% πτητικό υλικό δηλαδή 2803,2 τόνους, 5,7% σταθερού άνθρακα και 46,3% τέφρα που αντιστοιχούν σε 332,9 και 2704 τόνους αντίστοιχα.

Υγρασία (H₂O) : 6.4%

Πτητικό Υλικό (VM) : 48.0%

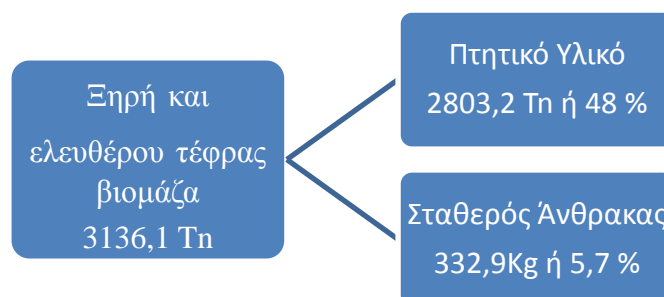
Σταθερός Άνθρακας (FC) : 5.7%

Τέφρα : 46,3%



Σχήμα 5.1: Σύσταση Λυματολάσπης

Αν από τη ξηρή βιομάζα αφαιρεθεί το ποσοστό της τέφρας απομένουν 3136,1 τόνοι υλικού το οποίο αποτελεί την ξηρή και ελευθέρου τέφρας βιομάζα.



Σχήμα 5.2: Σύσταση ξηρής και ελευθέρου τέφρας βιομάζας

Η στοιχειακή ανάλυση της ξηρής και ελευθέρου τέφρας βιομάζας (% κατά βάρος) εμφάνισε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 5.1: Στοιχειακή σύσταση ξηρού και ελευθέρου τέφρας βιομάζας

Άνθρακας C	50,9 %
Οξυγόνο O	33,4 %
Υδρογόνο H	7,3 %
Άζωτο N	6,1 %
Θείο S	2,33 %

Γνωρίζοντας τη στοιχειακή σύσταση της ξηρού και ελευθέρου τέφρας βιομάζας και την ποσότητα του σταθερού άνθρακα καταλήγουμε στην παρακάτω στοιχειακή σύσταση της βιομάζας :

Πίνακας 5.2: Στοιχειακή σύσταση βιομάζας

	Ποσοστό	Tn	Ατομικό βάρος	mol
Ολικός Άνθρακας C	50,9%	1596,3	12	42.4
Πτητικός Άνθρακας	45,2%	1417.5	12	37.6
Σταθερός Άνθρακας	5,7%	178.75		
Οξυγόνο O	33,4%	1047,5	16	20.9
Υδρογόνο H	7,3%	229	1	73
Άζωτο N	6,1%	191,3	14	4.3

Επειδή τα προαναφερθέντα ποσά αναφέρονται στο σύνολο της ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας πρέπει να γίνει αναγωγή τους στο σύνολο των πτητικών :

Πίνακας 5.3: Αναγωγή σε 100 % πτητικών

	Tn	Τιμή % σε ξηρή και ελεύθερη τέφρα		Τιμή % των πτητικών
Πτητικός Άνθρακας C	1417,5	45,2	ή	49,13
Οξυγόνο O	1047,5	33,4	ή	36,3
Υδρογόνο H	229	7,3	ή	7,93
Άζωτο N	191,3	6,1	ή	6,63
Σύνολο	2885,3	92 % πτητικά	ή	100 % πτητικά

Από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι η μετατροπή των ολικών στερεών παρουσιάζουν διακύμανση από 30 έως 70 τις εκατό. Στη συγκεκριμένη μελέτη θα θεωρήσουμε ότι η μετατροπή των στερεών θα γίνει σε έκταση 50 %.

Η ποσότητα των ολικών στερεών που θα μετατραπεί σε βιοαέριο αντιστοιχεί στο : $50\% * 93,6\% = 46,8\%$ της ολικής βιομάζας ή διαφορετικά $46,8\% * 5.840 \text{ tn/έτος} = 2.733,12 \text{ tn/έτος}$. Η ποσότητα αυτή αποτελεί το $46,8/48 = 97,5\%$ των πτητικών στερεών και ο χρόνος παραμονής που απαιτείται για τη μεσόφιλη μετατροπή του 97,5 % των πτητικών στερεών σε βιοαέριο, είναι :

$$97,5 = 17,9 \times \ln \text{HRT} - 3,9 \Leftrightarrow \ln \text{HRT} = (97,5 + 3,9) / 17,9 \Leftrightarrow \text{HRT} = 288,5 \text{ ημέρες.}$$

Τα ολικά στερεά που τροφοδοτούνται στον χωνευτή σε μια ημέρα είναι :

$$5.840 \text{ tn/έτος} / 365 \text{ ημέρες/έτος} = 16 \text{ tn/ημέρα.}$$

Αποτελώντας το 5 % κ.β της τροφοδοσίας , η συνολική μαζική παροχή στην είσοδο του αναερόβιου χωνευτή είναι :

$$16 / 0,05 = 320 \text{ tn/ημέρα.}$$

Θεωρώντας ότι η πυκνότητα τροφοδοσίας είναι κατά προσέγγιση ίση με αυτή του νερού, δηλαδή $1,024\text{gr/cm}^3$, η ογκομετρική παροχή στην είσοδο του αναερόβιου χωνευτή είναι $Q=312,5\text{ m}^3 / \text{ημέρα}$, οπότε ο όγκος της υγρής φάσης στον χωνευτή είναι:

$$V_{\text{υγρής φάσης}} = Q \times \text{HRT} = 312,5 \times 288,5 = 90.156\text{ m}^3$$

Ο χωνευτής εκτός από τον όγκο που χρειάζεται για την υγρή φάση χρειάζεται και επιπλέον όγκο για το βιοαέριο που παράγεται από την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Αυτός ο όγκος ανέρχεται περίπου στο $1/3$ του όγκου της υγρής φάσης.

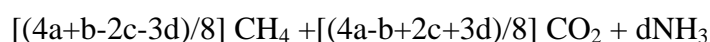
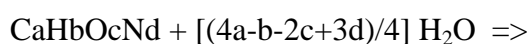
Έτσι ο συνολικός όγκος του χωνευτή : $V_{\text{χωνευτή}} = 4/3 * V_{\text{υγρής φάσης}} = 120.208\text{ m}^3$.

Από τη στοιχειακή σύσταση των πτητικών στερεών , προκύπτει ο ενδεικτικός μοριακός τους τύπος :

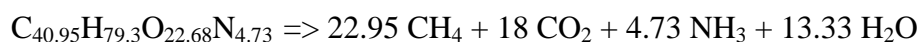
Πίνακας 5.4: Μοριακή σύσταση πτητικών στερεών

	Ποσοστό επί των πτητικών	Σε 1 kg πτητικών περιέχονται (gr)	Moles
Πτητικός C	49,13	491,3	40,95
Οξυγόνο O	36,3	363	22,68
Υδρογόνο H	7,93	79,3	79,3
Άζωτο N	6,63	66,3	4,73

Η αναερόβια χώνευση 1Kg πτητικών στερεών περιγράφεται από την παρακάτω αντίδραση :



Μετά από τις απαραίτητες πράξεις καταλήγουμε στην παρακάτω αντίδραση :



Άρα 1 Kg χωνευμένων πτητικών στερεών παράγει :

Πίνακας 5.5: Παραγόμενη ποσότητα σε λίτρα ενός κιλού χωνευμένων πτητικών

	Moles	Liters
CH₄	22.95	514.1
CO₂	18	403.2
NH₃	4.73	106
H₂O	13.33	298.6
Σύνολο	59	1321.6

Σε περίοδο ενός έτους οι 2.733,12 τόνοι χωνευμένων πτητικών παράγουν $2.733,12 * 1321,6 = 3.612.091 \text{ m}^3$ βιοαερίου.

Σε ένα λίτρο βιοαερίου περιέχονται :

$$\text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}) = 22.95/59 = 0.39 \Rightarrow 390 \text{ ml CH}_4 \Rightarrow$$

$$0.0174 \text{ mol CH}_4$$

$$\text{CO}_2 / (\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}) = 18/59 = 0.305 \Rightarrow 305 \text{ ml CO}_2 \Rightarrow$$

$$0.0136 \text{ mol CO}_2$$

Πίνακας 5.6: Ποσότητα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα σε 1 lt βιοαερίου.

	Liters	Moles
Μεθάνιο	0,39	0,0174
Διοξείδιο του άνθρακα	0,305	0,0136

Αποδεχόμαστε ότι η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου προέρχεται αποκλειστικά και μόνο από το μεθάνιο επομένως :

$$(0,0174 \text{ mole CH}_4 / \text{lt}) * (802.6 \text{ kJ} / \text{mole CH}_4) = 13.97 \text{ kJ} / \text{lt} \text{ βιοαερίου.}$$

Όπου $802,6 \text{ kJ} / \text{mol CH}_4$ είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του μεθανίου

5.3 Συμπαγωγή σε κινητήρες εσωτερικής καύσης βιοαερίου

ΚΥΚΛΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ (ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL)

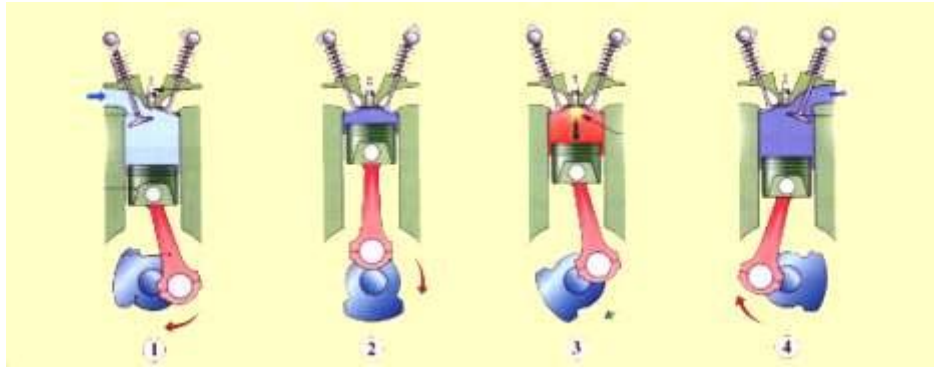
Το βιοαέριο χρησιμοποιείται είτε για την ανάμιξη του με φυσικό αέριο είτε για τη συμπαγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ισχύος σε μηχανές εσωτερικής καύσης (κύκλους Diesel). Η κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο ορίζει τέσσερις μεταβάσεις μεταξύ τεσσάρων θερμοδυναμικών καταστάσεων, του κλειστού κύκλου:

Οι τετράχρονοι κινητήρες εσωτερικής έχουν τέσσερις φάσεις λειτουργίας («χρόνους»):

«Χρόνος» λειτουργίας ορίζεται η διαδρομή του εμβόλου από το Άνω Νεκρό Σημείο (Α.Ν.Σ.) ως το Κάτω Νεκρό Σημείο (Κ.Ν.Σ.).

Για να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας πρέπει το έμβολο να κάνει τέσσερις διαδρομές, γι' αυτό ο κινητήρας αυτός λέγεται τετράχρονος.

1. **Εισαγωγή.** Το καύσιμο μείγμα εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής
2. **Συμπίεση.** Το έμβολο κινείται προς το άνω νεκρό σημείο και συμπιέζει το καύσιμο μείγμα
3. **Ανάφλεξη, Καύση / Εκτόνωση.** Η ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας, προκαλεί την ανάφλεξη του καύσιμου μείγματος. Η έναυση δεν γίνεται στο άνω νεκρό σημείο αλλά λίγο πιο πριν (προπορεία ανάφλεξης, «αβάνς»). Το μείγμα καίγεται και εκτονώνεται, πιέζοντας το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο, παράγοντας ωφέλιμο έργο.
4. **Εξαγωγή.** Το έμβολο, που λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-τροφαλοφόρος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα άνω, σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.



Εικόνα 5.3: Οι τέσσερις χρόνοι του κύκλου Diesel

Η λειτουργία (αλλά και η ενεργειακή απόδοση) του κύκλου Diesel καθορίζεται από τρεις όγκους:

- τον **όγκο εμβολισμού**, δηλαδή τον όγκο μεταξύ του ΚΝΣ και του ΑΝΣ, που διατρέχει το έμβολο κατά την διαδρομή του, ο οποίος αντιστοιχεί στον όγκο του συστήματος όταν αυτό βρίσκεται στις καταστάσεις 1 και 4 ($V_{\text{εμβολισμού}} = V_1 = V_4$)
- το **νεκρό όγκο**, δηλαδή τον όγκο του κυλίνδρου πάνω από το ΑΝΣ, ο οποίος αντιστοιχεί στην κατάσταση 2 και αφορά τη θέση του εμβόλου κατά την έναρξη της καύσης ($V_{\text{νεκρός}} = V_2$) και
- τον **όγκο αποκοπής**, δηλαδή τον όγκο που αντιστοιχεί στην ολοκλήρωση της καύσης ή τον όγκο πάνω από το έμβολο όταν αυτό βρίσκεται στη θέση αποκοπής – ο όγκος αυτός αντιστοιχεί στην κατάσταση 3 ($V_{\text{αποκοπής}} = V_3$)

ή ακριβέστερα από τους λόγους μεταξύ των παραπάνω όγκων:

$$\text{λόγος συμπίεσης} = R = V_{\text{εμβολισμού}} / V_{\text{νεκρός}} = V_4 / V_2 = V_1 / V_2$$

$$\text{λόγος αποκοπής} = R_c = V_{\text{αποκοπής}} / V_{\text{νεκρός}} = V_3 / V_2$$

Για τη θερμοδυναμική ανάλυση του κύκλου Diesel, το αέριο που συμμετέχει στη διεργασία (αέρας, αέρας + καύσιμο και αέρα + καυσαέρια) θεωρείται ότι είναι αέρας και τα θερμοδυναμικά δεδομένα λαμβάνονται από τους αντίστοιχους πίνακες. Η θερμότητα που προσδίδεται ισοβαρώς στον κύκλο, κατά την καύση του καυσίμου και μεταξύ των καταστάσεων 2 και 3, είναι:

$$Q_{in} = m \cdot (h_3 - h_2) = C_p \cdot (T_3 - T_2)$$

ενώ η θερμότητα που απομακρύνεται ισόχωρα από τον κύκλο, μεταξύ των καταστάσεων 4 και 1, είναι:

$$Q_{out} = m \cdot (u_4 - u_1) = C_v \cdot (T_4 - T_1)$$

Έτσι, το καθαρό έργο που παράγεται από τον κύκλο είναι:

$$W_{net} = W_{out} - W_{in} = Q_{in} - Q_{out}$$

Οι σχέσεις P – V – T που διέπουν τη λειτουργία του κύκλου είναι:

ισοβαρή μεταβολή: $(P_2 \times V_2)/T_2 = (P_3 \times V_3)/T_3$

ισόχωρη μεταβολή: $(P_1 \times V_1)/T_1 = (P_4 \times V_4)/T_4$

ισεντροπικές μεταβολές:

$$T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{\gamma-1}$$

$$P_2/P_1 = (V_1/V_2)^{\gamma}$$

$$T_4/T_3 = (V_3/V_4)^{\gamma-1}$$

$$P_4/P_3 = (V_3/V_4)^{\gamma}$$

Όπου γ ο λόγος C_p/C_v για τον αέρα ($\gamma = C_p/C_v = 1,005/0,718 = 1,4$ – θεωρείται ιδανικός). Η παραπάνω θερμοδυναμική ανάλυση οδηγεί στον υπολογισμό του έργου και της απόδοσης του ιδανικού (ισεντροπικού) κύκλου Diesel. Το έργο και η απόδοση των πραγματικών κινητήρων εσωτερικής καύσης με αυτανάφλεξη κυμαίνονται στο 70 % των αντίστοιχων ισεντροπικών μηχανών.

Το βιοαέριο που θα παραχθεί από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης θα τροφοδοτηθεί σε κινητήρα εσωτερικής καύσης με αυτανάφλεξη, ο οποίος λειτουργεί με λόγο συμπίεσης 20, λόγο αποκοπής 2,2 και απόδοση 90 % του ιδανικού.

Παρακάτω θα υπολογιστούν οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις για τις τέσσερις καταστάσεις του ιδανικού κύκλου Diesel. Οι τιμές που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό αυτών των τιμών έχουν παρθεί από θερμοδυναμικούς πίνακες.

Στην κατάσταση 1 :

$$P_1 = 0,9 \text{ atm} \rightarrow u_1 = 230,58 \text{ kJ/kg}, \quad v_{r1} = 516,48$$

$$T_1 = 323 \text{ K}$$

Στην μετάβαση 1-2:

$$v_{r1}/v_{r2} = V_1/V_2 = 20 \Leftrightarrow v_{r2} = 516,48/20 = 25,804$$

Στην κατάσταση 2 :

$$v_{r2} = 25,804 \rightarrow u_2 = 752,05 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 1.036,78 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 991,87 \text{ K}$$

Στην μετάβαση 2-3 :

$$P_3 = P_2$$

$$V_2/T_2 = V_3/T_3 \Rightarrow$$

$$T_3 = T_2 \times (V_3/V_2) = 991,87 \times 2,2 = 2.182,12 \text{ K}$$

Στην κατάσταση 3 :

$$T_3 = 2.182,12 \text{ K} \rightarrow h_3 = 2.480,71 \text{ kJ/kg} \quad v_{r3} = 2,070 \quad u_3 = 1.855,02 \text{ kJ/kg}$$

Στην μετάβαση 3-4 :

$$v_{r3}/v_{r4} = V_3/V_4 = 2,2V_2/V_1 = 2,2/20 = 0,11 \Leftrightarrow v_{r4} = v_{r3}/0,11 = 18,821$$

Στην κατάσταση 4:

$$v_{r4} = 18,821 \rightarrow u_4 = 846,63 \text{ kJ/kg}$$

Πίνακας 5.7: Τιμές πίεσης και θερμοκρασίας

	Πίεση (atm)	Θερμοκρασία (K)
Κατάσταση : 1	0,9	323
Κατάσταση : 2	59,6	991,87
Κατάσταση : 3	59,6	2.182,1
Κατάσταση : 4	2,68	710,6

Με βάση το 1 sec , στον κινητήρα εισέρχονται :

$3.612.091 \text{ m}^3 \text{ βιοαερίου} / \text{έτος} / 31.536.000 \text{ sec} / \text{έτος} = 114,5 \text{ λίτρα βιοαερίου ανά δευτερόλεπτο}$ ή $0,39 * 114,5 = 44,7 \text{ λίτρα CH}_4 / \text{δευτερόλεπτο}$ τα οποία αντιστοιχούν σε 2 mol CH₄ ανά δευτερόλεπτο.

Κατά την καύση των 2 mol CH₄ μέσα στον κινητήρα παράγονται :

$(2 \text{ mol CH}_4 / \text{sec}) * (802,6 \text{ kJ/mol CH}_4) = 1.605.2 \text{ kJ} / \text{sec}$ η οποία είναι και η εισερχόμενη θερμότητα στον κύκλο, δηλαδή $Q_{in} = 1.605.2 \text{ kJ} / \text{sec}$.

Μέσω της εισερχόμενης θερμότητας βρίσκουμε και την ποσότητα αέρα:

$$Q_{in} = m * (h_3 - h_2) \Leftrightarrow m = Q_{in} / (h_3 - h_2) = 1.605.2 / (2.480.71 - 1.036.78)$$

$$m = 1.11 \text{ kg αέρα/ sec}$$

Η παραγόμενη θερμική ισχύς του ιδανικού κύκλου είναι :

$$Q_{out} = m * (u_4 - u_3) = 1.11 * (846.63 - 230.58) = 683.8 \text{ kJ/sec} = 0.684 \text{ MW}$$

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς του ιδανικού κύκλου είναι :

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} = 1.605.2 - 683.8 = 0.921 \text{ MW}$$

Η πραγματική όμως παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι κατά 30 % μικρότερη από αυτή του ιδανικού κύκλου λόγω της απόδοσης του κινητήρα :

$$W_{net, \text{πραγματική}} = 0,7 * 0,921 = 0,645 \text{ MW}$$

Η παραγόμενη θερμική ισχύς είναι :

$$Q_{out, \text{πραγματική}} = Q_{in} - W_{net, \text{πραγματική}} = 1.605,2 - 645 = 0,96 \text{ MW}$$

Οπότε η απόδοση του κινητήρα είναι :

$$n = 0.645 / 1.605 = 0.402 \text{ ή } 40,1 \%$$

Στον αναερόβιο χωνευτή εισέρχονται 320 τόνοι αποβλήτου ανά ημέρα (3,7 kg/sec) οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από νερό, έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η θερμοχωρητικότητα τους είναι ίδια με αυτή του νερού. Θεωρώντας ότι η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος στην Κοζάνη είναι 13 °C, η θερμική ισχύς που πρέπει να δαπανηθεί έτσι ώστε η θερμοκρασία τροφοδοσίας να ανέβει στους 35 βαθμούς είναι :

$$Q_{recycle} = 3.7 * 4.23 * (35-13) = 344.3 \text{ kJ / sec} = 344.3 \text{ kW}$$

Δηλαδή το $344,3 / 960 = 0,36$ ή 36 % της παραγόμενης θερμικής ισχύος πρέπει να ανατροφοδοτηθεί στη διεργασία για την προθέρμανση της τροφοδοσίας της.

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα καύσης βιοαερίου

Θερμοδυναμικές μεταβλητές	Τιμές
Q_{in}	1.605.2 kW
Q_{out}	684 kW
W_{net}	921 kW
$W_{net, \text{πραγματικό}}$	645 kW
$Q_{out, \text{πραγματικό}}$	960 kW
$Q_{recycle}$	344,4 kW
n	40,1 %

5.4 Οικονομικά στοιχεία εγκατάστασης

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω πρότασης εγκατάστασης οι οικονομικές απαιτήσεις που αφορούν το πλάνο είναι οι εξής:

Κεφάλαιο επένδυσης : Το κεφάλαιο που απαιτείται για τη δημιουργία μιας μονάδας του 1 MWe είναι $K.E. = 4029 \cdot C$ [€/ kWe] (C ονομαστική ισχύς) $= 4029 \cdot 1000 = 4.029.000 \text{ €}$

Αναερόβιος χωνευτής: Αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα της επένδυσης επειδή εκεί είναι και το σημείο που συγκεντρώνονται τα παραπροϊόντα της βιολογικής εγκατάστασης και ξεκινά η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Για την ετήσια παραγωγή βιοαερίου το κόστος του χωνευτή ανέρχεται στα 1,9 εκ. €. Μετά το πέρας διεργασίας αυτής σειρά έχει το στάδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΜΕΚ.

Μετατροπή βιοαερίου σε Ηλεκτρική ενέργεια: Για την μετατροπή του βιοαερίου σε ηλεκτρική ενέργεια υπάρχουν ολοκληρωμένες μονάδες ονομαστικής ισχύος 500 kWe το κόστος των οποίων ανέρχεται στα 1,25 εκ. €. Οι θέσεις εργασίας που δημιουργεί μια εγκατάσταση εκτιμάται σε 3 εργαζόμενους / MWe. Θεωρώντας μέσο ετήσιο κόστος 20.000 € ανά εργαζόμενο (συμπεριλαμβανομένων των ασφαλιστικών εισφορών) το κόστος των εργατικών εκτιμάται στα 60.000 € / MWe. Αντίστοιχα τα κόστη συντήρησης , ασφάλειας , βοηθητικών κ.α. εκτιμώνται στα 2/3 του κόστους εργασίας δηλαδή 40.000€ / MWe. Το επενδυτικό περιβάλλον στην Ευρώπη προβλέπει επιχορήγηση 40% της αρχικής επένδυσης. Το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 2,5 εκ. € από τα οποία το 1 εκ. είναι επιδοτούμενο.

Λειτουργικά έξοδα: Στα λειτουργικά έξοδα περιλαμβάνονται το κόστος των εργαζομένων 60.000 € και τα λοιπά έξοδα 40.000 €. Άρα συνολικά 100.000 €.

Λειτουργικά έσοδα: Από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας με τιμή MWh 220€ $= (0,645 \cdot 24 \cdot 365) \cdot 220 = 5.650,2 \cdot 220 = 1.243.044 \text{ €}$. Αντίστοιχα σε περίπτωση μη αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της εγκατάστασης τα έσοδα από την πώληση της θερμικής ενέργειας με τιμή 20 €/ MWe $= (0,96 - 0,3443) \cdot 24 \cdot 365 \cdot 20 = 5.393,5 \cdot 20 = 107.870 \text{ €}$. Επίσης η Δ.Ε.Υ.Α.Κ δεν θα περιλαμβάνει στα έξοδα της το κόστος μεταφοράς της λυματολάσπης και κατά συνέπεια το ποσό αυτό θεωρείται ως έσοδο του οποίου το μέγεθος ανέρχεται στις 221.920 € Έτσι το σύνολο των λειτουργικών εσόδων ανέρχεται στα 1.572.834 € το χρόνο.

Η ανάλυση της οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας δίνει :

Πάγια επένδυση , € 1,5 εκ. + 1,9 εκ. + 4,029 εκ. = 7,429 εκ. €

Λειτουργικά έξοδα , € 100.000

Λειτουργικά έσοδα , € 1.572.834

Χρόνος αποπληρωμής, έτη = $7,429 \text{ εκ.} / (1.572.834 - 100.000) = 5,04 \text{ έτη}$

Ενώ ο χρόνος αποπληρωμής χωρίς την πώληση της θερμικής ενέργειας = $7,429 \text{ εκ.} / (1.464.964 - 107.870) = 5,47 \text{ έτη}$

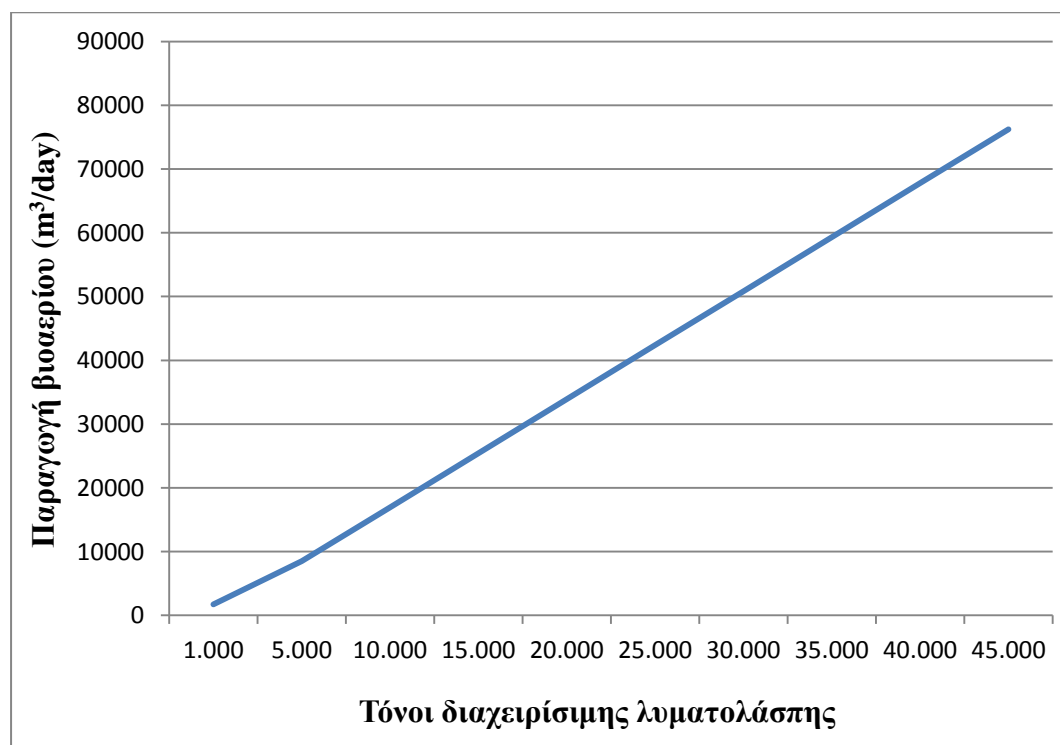
5.5 Παραμετρική ανάλυση

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια σενάρια τα οποία προέκυψαν από επεμβάσεις στις βασικές τιμές της εκδοχής που παρατέθηκε παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα σε μορφή γραφήματος παρουσιάζονται οι μεταβολές που αφορούν την παραγωγή βιοαερίου ανά ημέρα ($\text{m}^3/\text{ημέρα}$) καθώς και την ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh).

Οι επεμβάσεις αυτές αφορούν :

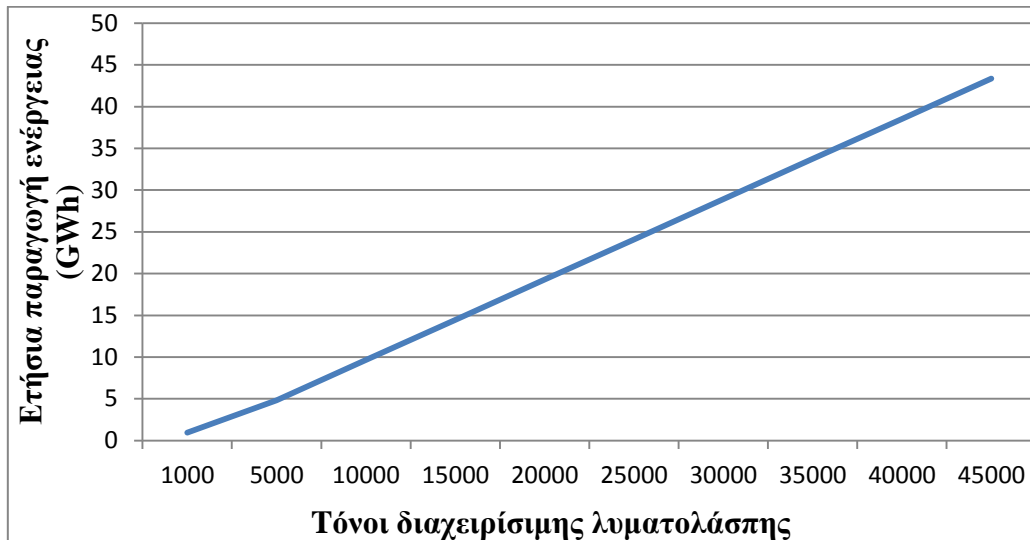
A) την ποσότητα της λυματολάσπης που είναι διαθέσιμη προς εκμετάλλευση

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η ποσότητα του αποβλήτου που έχουμε να διαχειριστούμε τόσο αυξάνονται και τα κυβικά παραγόμενου βιοαερίου ανά ημέρα.



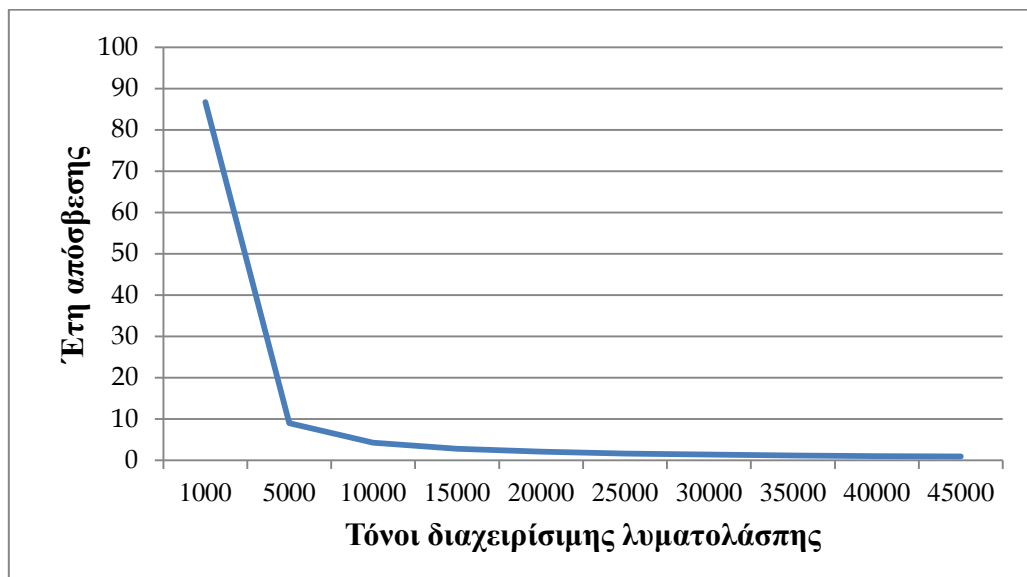
Διάγραμμα 5.1: Σχέση τόνων διαχειρίσιμης λυματολάσπης – παραγωγής βιοαερίου ανά ημέρα

Επόμενο είναι να παρατηρείται αύξουσα πορεία και στην ετήσια παραγωγή ενέργειας.



Διάγραμμα 5.2: Σχέση τόνων διαχειρίσιμης λυματολάσπης – ετήσιας παράγωγης ενέργειας.

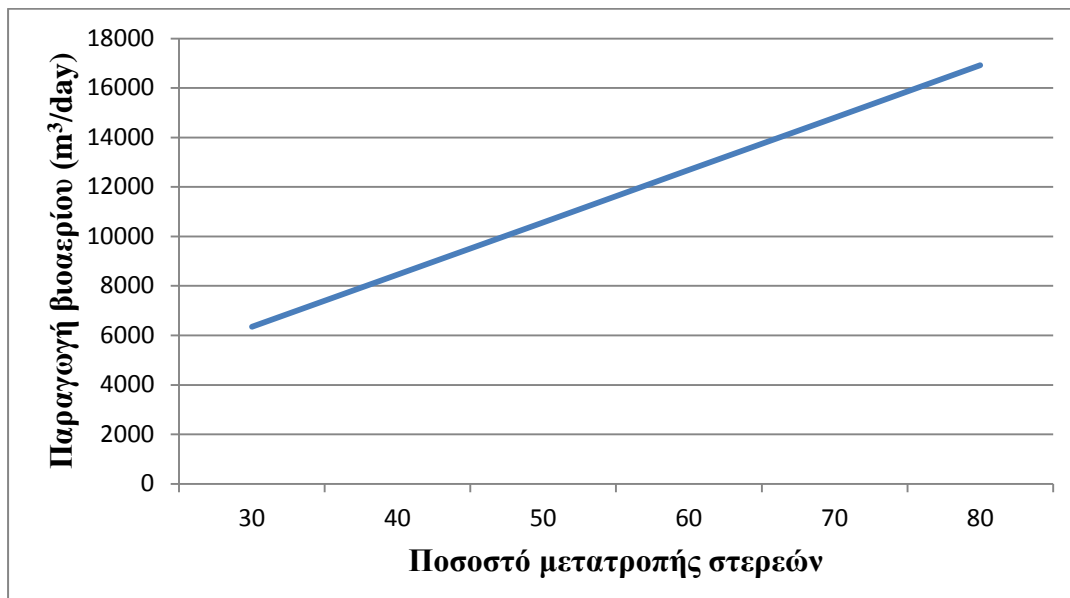
Ενώ φθίνουσα είναι η πορεία στα έτη απόσβεσης της εγκατάστασης όσο αυξάνονται οι τόνοι διαχειρίσιμης λυματολάσπης.



Διάγραμμα 5.3: Σχέση τόνων διαχειρίσιμης λυματολάσπης – ετών απόσβεσης

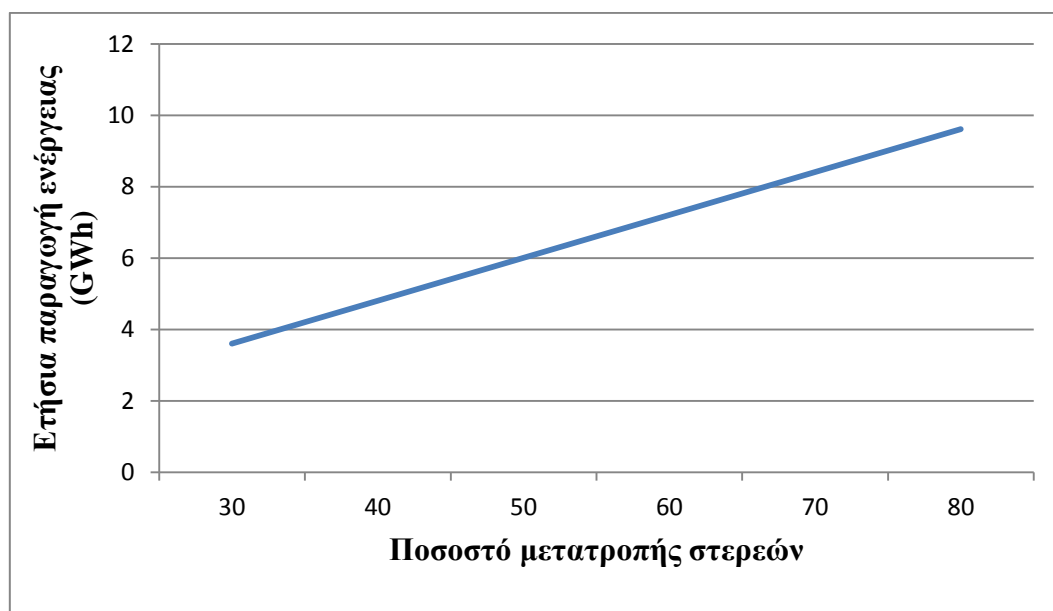
Β) το ποσοστό μετατροπής των ολικών στερεών

Περισσότερη μετατροπή στερεών συνεπάγεται και σε μεγαλύτερη αξιοποίηση της ποσότητας του αποβλήτου καθώς αυτό είναι πιο πλούσιο στα απαραίτητα στοιχεία για την παραγωγή βιοαερίου.



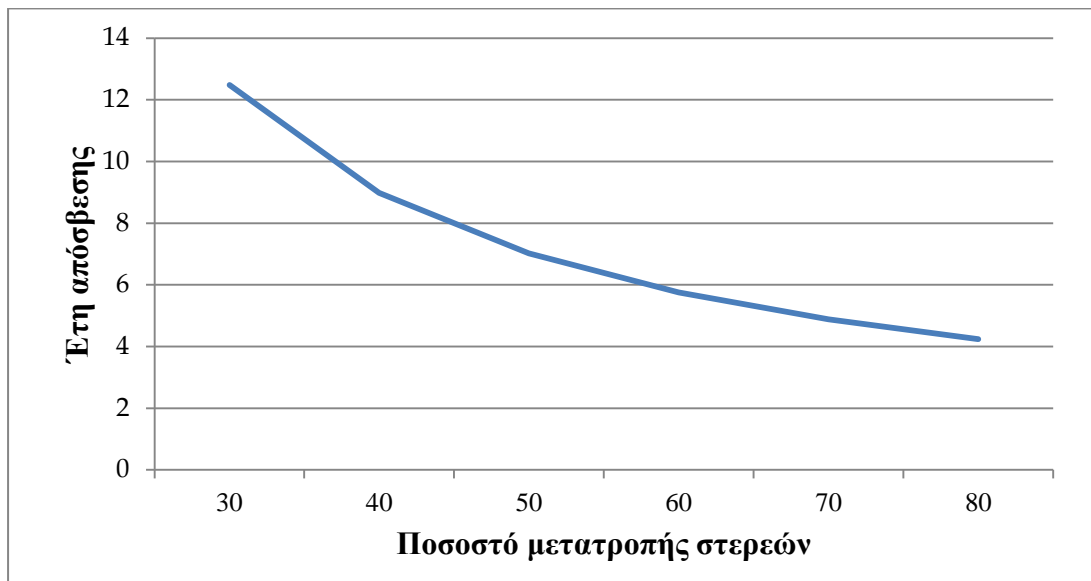
Διάγραμμα 5.4: Σχέση ποσοστού μετατροπής στερεών – παραγωγής βιοαερίου ανά ημέρα

Αντίστοιχες μεταβολές παρατηρούνται και στην ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Διάγραμμα 5.5: Σχέση ποσοστού μετατροπής στερεών – ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Αντιθέτως παρατηρείται μια φθίνουσα πορεία στα έτη απόσβεσης της εγκατάστασης όσο αυξάνεται το ποσοστό μετατροπής των ολικών στερεών.



Διάγραμμα 5.6: Σχέση ποσοστού μετατροπής στερεών – έτη απόσβεσης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε αναφορά στην σημασία του βιολογικού καθαρισμού που λαμβάνει χώρα σε κάποια πόλη της Ελλάδας, μίας και απώτερος σκοπός του είναι να διατηρεί την εκάστοτε πόλη καθαρή και να διαφυλάσσει την δημόσια υγιεινή, η οποία απειλείται από τις διάφορες μολύνσεις και αρρώστιες λόγο των απορριμμάτων και των λυμάτων που βρίσκονται μέσα στην πόλη. Κατά την διαδικασία όμως του βιολογικού καθαρισμού έχουμε ταυτόχρονη παραγωγή αποβλήτων τα οποία αποτελούν ένα αρκετά σοβαρό ζήτημα τόσο σε δημοτικό, όσο και σε κρατικό επίπεδο από την στιγμή που σε πολλές πόλεις τα απόβλητα αυτά καταλήγουν σε κάποιο θαλάσσιο περιβάλλον ή γενικά στο ελλαδικό οικοσύστημα προκαλώντας φυσικές καταστροφές, ρύπανση του περιβάλλοντος και εξαφάνιση της πανίδας. Είναι πολλές οι μελέτες που έχουν γίνει με σκοπό την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος και την εύρεση αποδοτικών μεθόδων επεξεργασίας αυτών των αποβλήτων. Μία από τις μεθόδους αυτές είναι οι βιολογικές και φυσικοχημικές μέθοδοι παραγωγής βιοαερίου καθώς και η αναερόβια χώνευση.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μέσω της αναερόβιας διεργασίας η οποία εξασφαλίζει ταυτόχρονη παραγωγή λιπάσματος και βιοαερίου. Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως γνωστή και χρησιμοποιείται αρκετά στην επεξεργασία οργανικών αποβλήτων μιας και είναι ιδιαίτερος αποδοτική και αποτελεσματική.

Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε τεχνοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας υπολογισμού μονάδας επεξεργασίας βιομάζας για την πόλη της Κοζάνης. Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα βιολογικού καθαρισμού του δήμου Κοζάνης παράγει περίπου 5.840 tn αποβλήτου σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με την σύστασή του και μετά από υπολογισμούς, το βιοαέριο που παράγεται κατά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι 3.612.091,4 m³ σε ένα έτος άρα 9.896,1 m³ ανά ημέρα. Η παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται σε 5,63 GWh ανά έτος. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω τιμές αναπτύχθηκε μια τεχνοοικονομική μελέτη για τον υπολογισμό του κόστους εγκατάστασης, των λειτουργικών εσόδων και εξόδων καθώς και ο εκτιμώμενος χρόνος αποπληρωμής. Η αρχική επένδυση για την εγκατάσταση ανέρχεται στο ποσό των 5.929.000€ το οποίο με προσαυξήσεις για την κατάλληλη διαμόρφωση του χώρου θα φτάσει τα 7.429.000€. Τα λειτουργικά έξοδα που διασφαλίζουν την ασφαλή και σωστή λειτουργία της εγκατάστασης είναι 100.000€ ενώ τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής – θερμικής ενέργειας είναι 1.350.914€. Έτσι λοιπόν προκύπτει ένας χρόνος αποπληρωμής της τάξεως των 5 ετών ενώ σε περίπτωση που δεν πωληθεί η θερμική ενέργεια αλλά χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης τα έτη αυξάνονται σε 5,5 έτη. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι υπήρχε η δυνατότητα πώλησης της εναπομένουσας λυματολάσπης με στόχο την

αύξηση των εσόδων, κάτι το οποίο δεν εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία και δεν υπολογίστηκε.

Τέλος, για μία εκτενέστερη και πιο σφαιρική κατανόηση της εικόνας του προβλήματος πραγματοποιήθηκε μία παραμετρική ανάλυση η οποία μελετά την εγκατάσταση και δοκιμάζει ταυτόχρονα την δυνατότητα προσαρμογής της σε άλλα δεδομένα που αφορούν μονάδες βιολογικού καθαρισμού που επεξεργάζονται μικρότερο ή μεγαλύτερο όγκο αποβλήτων από αυτόν που δοκιμάστηκε. Επίσης, μελετήθηκε και για αναερόβιο αντιδραστήρα διαφορετικής δυναμικότητας σε μετατροπή των στερεών. Αυτή την στιγμή η Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης μεταφέρει την παραγόμενη λυματολάσπη στην Βέροια με κόστος 38€ τον τόνο. Με την υλοποίηση αυτής της εγκατάστασης το κόστος αυτό εξαλείφεται από την στιγμή που η λυματολάσπη αξιοποιείται ενεργειακά. Το συμπέρασμα που προκύπτει από την παραπάνω μελέτη είναι ότι μία τέτοια εγκατάσταση είναι αρκετά ελπιδοφόρα καθώς έχει σχετικά μικρό χρόνο αποπληρωμής, πράγμα που την καθιστά οικονομικά βιώσιμη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. APHA, AWWA, WPCF, 1995. "Standard Methods for the examination of water and wastewater". Franson MA, editors. Washington, DC: American Public Health Association.
2. Appels Lise, Jan Baeyens, Jan Degève, Raf Dewil (2008), Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge, Progress in Energy and Combustion Science Vol. 34 ,755–781.
3. Bitton Gabriel (2005), Wastewater microbiology-3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., 345-371
4. Cecchi F., P. Traverso, P. Pavan, D. Bolzonella and L. Innocenti, Characteristics of the OFMSW and behaviour of the anaerobic digestion process". In: Mata-Alvarez J. (Ed.) ,Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste, pp.141-179. IWA Publishing. (2003)
5. De Baere, A.L., Devocht M., Van Assche P., Verstraete W., (1984). Influence of High NaCl and NH₄Cl Salt Levels on Methanogenic Associations, Water Research, 18, 543-548.
6. Gallert, C., Winter, J., Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and 112 methane production, Applied Microbiology Biotechnology, 48, 405-410, 1997.
7. Gavala, H. N., Skiadas, I. V., Bozinis, N. A. and Lyberatos, G., 1996. "Anaerobic co digestion of agricultural industries wastewaters", Water Science Technology 34, 11, p.67-75.
8. Gerardi M., (2003), The microbiology of anaerobic digesters, Wastewater Microbiology Series.
9. Gray, F.N., Biology of Wastewater Treatment, Second Edition, Imperial College Press, 2004.
10. Gujer, W. and Zehnder, A. J. B., 1983. "Conversion process in anaerobic digestion", Water Science and Technology, 15, p.127-167.
11. Kaspar, H. F. and Wuhrmann, K., 1978. "Kinetic parameters and relative turnovers of some important catabolic reactions in digesting sludge", Applied and Environmental Microbiology, 36, 1, p.1-7.
12. Lettinga G., 1995. Anaerobic digestion and wastewater treatment systems, Antoine van Leeuwenhoek 67, 3-28.
13. Lettinga, G., van Velsen, L., de Zeeuw, W. and Hobma, S. W., 1979. "The application of anaerobic digestion to industrial pollution treatment". In: Anaerobic digestion, Stafford et al., Applied Science Publishers, London, England, p.167-186.

14. Metclaf & Eddy(2014), Μηχανική υγρών αποβλήτων ,επεξεργασία & επαναχρησιμοποίηση, τόμος Α, Εκδόσεις Τζιόλα
15. Ostream, K., Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes, M.S. thesis in Earth Resources Engineering, Columbia University, 2004.
16. Speece R.E. (1996), Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters, Archae Press, Nashville, Tennessee.
17. Verma S., Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes. Thesis for the Master of Science Degree in Earth Resources Engineering. Columbia University.(2002)
18. Zehnder, A. J. B., 1978. "Ecology of methane formation". In: Water Pollution Microbiology, R Mitchell (ed), Vol.2, p.349-376. John Wiley and Sons, New York.
19. Zinder, S. H., 1984. "Microbiology of anaerobic conversion of organic wastes to methane: recent developments", ASM News, 50, p.294-298.
20. Βαϊοπούλου Ε. , Νέα μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου , Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
21. Βλυσίδης Α. , Τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
22. Βλυσίδης Α. και Γ. Λυμπεράτος (2011), Περιβαλλοντική Μηχανική Μέρος ΙΙΙ: Επεξεργασία στερεών και ημιστερεών αποβλήτων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
23. Γεωργίου Α. ,Μελέτες Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Ίδρυμα Σερρών.
24. Δέλιος Κ., Κουτρουλής Α., Χηνήτηρη Ε.(2014), Επεξεργασία οργανικών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε , Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αν. Μακεδονίας και Θράκης.
25. Δημήτριος Κολοκοτρώνης, Σημειώσεις Μαθήματος « Μηχανές Εσωτερικής Καύσης »
26. Εταιρία ηλεκτρονικών , φωτισμού και υγείας Philips
27. Κάρναβος Ν., Λάππας Α., Μαρνέλλος Γ.(2014), Βιοκαύσιμα-Αειφόρος Ενέργεια, Εκδόσεις Τζιόλα
28. Λέκκα.Α.Θ (2013), Επεξεργασία υγρών αποβλήτων-Περιγραφή και λειτουργία μονάδας επεξεργασίας λυμάτων Ιωαννίνων, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας , Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.
29. Λυμπεράτος Γ. , Παραγωγή Ενέργειας μέσω Αναερόβιας Χώνευσης Στερεών Αποβλήτων και Αποβλήτων και Υπολειμμάτων, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Πανεπιστήμιο Πατρών
30. Μαρνέλλος Γεώργιος , Σημειώσεις Μαθήματος «Ειδικά Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας».
31. Μαρνέλλος Γεώργιος , Σημειώσεις Μαθήματος «Ειδικά Κεφάλαια Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης»

32. Μεταξιώτης Γ. , Καράτζιου Κ. Μ.(2012), Βιολογικός Καθαρισμός Δήμου Λιβαδίου, Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας , Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας.
33. Νταρακάς Ε. , Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
34. Νταρακάς Ε. , Τεχνική Περιβάλλοντος Ενότητα 13: Επεξεργασία ιλύος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
35. Σιούλας Κωνσταντίνος, Πληροφοριακό υλικό για τη δημόσια διοίκηση στην Ελλάδα, Τμήμα Περιβάλλοντος και Μεταφορών, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
36. Τσαπέκος, Π. (2012), Αναερόβια Επεξεργασία Υγρών Βιομηχανικών Αποβλήτων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. <https://www.google.gr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiOu6PFguTTAhWDZFAKHeSRCaYQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fbooks.edu.gr%2Fmodules%2Fbook%2Fshow.php%2FDSGL-B101%2F541%2F4995%2C14666%2F&psig=AFQjCNF8gQqqq2xVB3s2QEoTdDuutykX6w&ust=1494460572268341>
2. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AE_%CE%B5%CF%83%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82_%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B7%CF%82
3. <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=7887>
4. <https://openececlass.teimes.gr/modules/document/file.php/YDAD133/TOC-TN.doc>
5. diocles.civil.duth.gr
6. www.ballis.gr
7. <http://test.econs.net/agroenergy>
8. http://www.cres.gr/kape/news/deltia/biogas_2004.htm
9. <http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR133001015>
10. <http://www.enve-lab.eu/wp-content/uploads/2015/03/Lecture-8.pdf>
11. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:L9XBURZaXsoJ:eclass.uth.gr/ececlass/modules/document/index.php%3Fcourse%3DMHXA297%26download%3D/566994b9BEMy/56a22bccPU2T.pdf+%&cd=4&hl=en&ct=clnk&gl=gr>

12. <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU125/%CE%9A%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%9B%CE%91%CE%99%CE%9F%204%20-%20%CE%A5%CE%93%CE%A1%CE%91%20%CE%91%CE%A0%CE%9F%CE%92%CE%9B%CE%97%CE%A4%CE%91.pdf>
13. <http://web.tee.gr>
14. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1_%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD
15. www.agroenergy.gr