

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ	2
------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	4
2.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	4
2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	12
2.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	7
2.5 ΕΙΔΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ	14
2.5.1 Αναερόβιοι αντιδραστήρες χαμηλού ρυθμού	15
2.5.2 Αναερόβιοι αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ UASB

3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΤΥΠΟΥ UASB	22
3.1.1 Σχεδιαστικές παράμετροι	22
3.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά	25
3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	32
3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Η ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

4.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	40
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	42
4.2.1 Γενική διάταξη της μονάδας	42
4.2.2 Ο αναερόβιος αντιδραστήρας UASB	44
4.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	49
------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	51
---------------------------	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η πορεία του ανθρώπου ανά τους αιώνες, χαρακτηρίζεται από μία συνεχή προσπάθεια βελτίωσης των συνθηκών ζωής του και εξέλιξης των πραγμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η ανάπτυξη και η κάθε είδους πρόοδος, έγινε και γίνεται χωρίς σεβασμό στο περιβάλλον. Ιδιαίτερα τον περασμένο αιώνα, όπου σημειώθηκαν τρομακτικές αλλαγές σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, το περιβάλλον παραγκωνίστηκε και δεν λήφθηκε καθόλου υπ' όψιν. Ο άνθρωπος δεν φάνηκε καθόλου προνοητικός και κατάφερε μέσα σε λίγα χρόνια να διαταράξει ισορροπίες εκατομμυρίων ετών.

Η πλειοψηφία των δραστηριοτήτων του ανθρώπου παράγει απόβλητα που δεν είναι δυνατόν να διατεθούν άμεσα, ανεπεξέργαστα στο περιβάλλον, χωρίς αρνητικές συνέπειες. Έτσι η ρύπανση του αέρα και των νερών από τα αστικά, βιομηχανικά και αγροτικά απόβλητα συνεχώς μεγαλώνει. Πλέον όμως έχει γίνει αντιληπτό ότι δεν είναι δυνατό οι ανθρώπινες δραστηριότητες να επιβαρύνουν κι άλλο το περιβάλλον, έτσι συνεχώς αναζητούνται νέες τεχνολογίες, που θα καθιστούν την επεξεργασία των αποβλήτων πιο αποτελεσματική και πιο οικονομική. Με αυτή τη λογική αναπτύχθηκε και η αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων.

Η χρήση αναερόβιων μεθόδων επεξεργασίας αφορά διαφόρων ειδών απόβλητα. Θεωρείται αρκετά φιλική προς το περιβάλλον, συγκριτικά με άλλες μεθόδους, αφού μία αναερόβια μονάδα είναι δυνατόν μέσω του παραγόμενου βιοαερίου να καλύπτει όλες ή μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών της αναγκών και γενικότερα τα άχρηστα και επιβλαβή παραπροϊόντα της παράγονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της αναερόβιας χώνευσης, τους παράγοντες που την επηρεάζουν, τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει συγκριτικά με τις αερόβιες διεργασίες, τα είδη αναερόβιων αντιδραστήρων και τελικά επικεντρώνεται στον αντιδραστήρα τύπου UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Αναφέρονται τα κριτήρια βάσει των οποίων σχεδιάζεται ένας τέτοιου είδους αντιδραστήρας καθώς και οι συνδυασμοί του με άλλου είδους διεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δευτεροβάθμια επεξεργασία. Τέλος γίνεται ο σχεδιασμός, η διαστασιολόγηση και το στήσιμο μίας πιλοτικής μονάδας αναερόβιας επεξεργασίας διαφόρων ειδών υγρών αποβλήτων, στο χώρο του βιολογικού καθαρισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Αναερόβια χώνευση

2.1 Γενικά για την αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση απευθύνεται σε ένα μεγάλο εύρος υγρών αποβλήτων όπως είναι τα απόβλητα από (Metcalf & Eddy 2003) : αποστακτήρια, ζυθοποιίες, βιομηχανίες παραγωγής χημικών, φαρμάκων, χαρτιού, ζάχαρης, σφαγεία, γαλακτοβιομηχανίες, στραγγίσματα ΧΥΤΑ, ιλύς βιολογικών καθαρισμών, αστικά απόβλητα και υγρά απόβλητα ελαιουργείων. Γενικά αυτού του είδους η επεξεργασία προτιμάται για απόβλητα υψηλού ρυπαντικού φορτίου, σε υψηλές θερμοκρασίες που οι ποσότητες τους μπορεί και να μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του χρόνου (εποχιακή λειτουργία, Wolmarans 2002). Η αναερόβια χώνευση προτιμάται για απόβλητα αυτών των κατηγοριών αφού λόγω των χαρακτηριστικών της, οδηγεί σε μείωση της παραγόμενης ιλύος αλλά και μείωση του χρόνου και του όγκου των μονάδων επεξεργασίας.

2.2 Διεργασία αναερόβιας χώνευσης

Σε αντίθεση με την αερόβια χώνευση, η οποία είναι κατά κύριο λόγο διεργασία που αποτελείται από ένα στάδιο, η αναερόβια χώνευση αποτελείται από μία σειρά αλυσιδωτών ενεργειών, στις οποίες εμπλέκονται

πολλά και διαφορετικά είδη μικροοργανισμών. Η αναερόβια χώνευση χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια : στην υδρόλυση, στην ζύμωση και στην μεθανογένεση.

⇒ *Υδρόλυση (Hydrolysis)*

Στο πρώτο αυτό στάδιο μετασχηματίζονται οι σύνθετες οργανικές ουσίες σε απλούστερες διαλυτές με μικρότερο μοριακό βάρος. Ο μετασχηματισμός γίνεται με την βοήθεια εξωκυτταρικών ενζύμων τα οποία εκκρίνονται από τα βακτήρια της ζύμωσης. Έτσι οι πρωτεΐνες μέσω πολυπεπτιδίων διασπώνται σε αμινοξέα, οι υδρογονάνθρακες μετατρέπονται σε σάκχαρα και τα λιπίδια σε μακριάς αλυσίδας λιπαρά οξέα αλλά και γλυκερίνη. Πολλές φορές λόγω του χαμηλού ρυθμού μετατροπής των λιπιδίων, ιδιαίτερα σε θερμοκρασίες κάτω των 20°C, το στάδιο της υδρόλυσης μπορεί να καθορίσει τον συνολικό ρυθμό της αναερόβιας χώνευσης.

⇒ *Ζύμωση (Fermentation)*

Αυτό το στάδιο μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε δύο επιμέρους φάσεις, την οξυγένεση (acidogenesis) και την ακετογένεση (acetogenesis), (Haandel, Lettinga 1994).

Στην οξυγένεση τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου, μέσω των βακτηρίων της ζύμωσης μετατρέπονται σε απλές οργανικές ενώσεις όπως είναι το οξικό οξύ, το βουτυρικό και το προπιονικό οξύ και σε διάφορες ανόργανες ενώσεις όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρογόνο, η αμμωνία και το αέριο υδρόθειο. Η οξυγένεση γίνεται με την βοήθεια διαφόρων βακτηρίων από τα οποία τα περισσότερα είναι αποκλειστικά αναερόβια. Όμως η ύπαρξη ακόμα και μικρού ποσοστού βακτηρίων, που να μπορεί να μεταβολίσει την οργανική ύλη μέσω οξειδωτικών σταδίων, είναι πολύ σημαντική καθώς σε αντίθετη περίπτωση το διαλυμένο οξυγόνο μπορεί να είναι ακόμα και τοξικό για τα αποκλειστικά αναερόβια βακτήρια όπως είναι τα μεθανογενή.

Στην ακετογένεση τα προϊόντα της οξυγένεσης, βουτυρικό και προπιονικό οξύ, μετατρέπονται στα τελικά προϊόντα για την

παραγωγή του μεθανίου, που είναι το οξικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο.

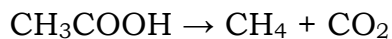
Ανάλογα με την οξειδωτική κατάσταση της αρχικής οργανικής ύλης, ο σχηματισμός του οξικού οξέος μπορεί να συνοδεύεται από τον σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα ή υδρογόνου. Στα απόβλητα επειδή υπάρχουν διαφόρων ειδών ρυπαντές, είναι πιθανόν να συμβαίνουν και οι δύο διαδικασίες ταυτόχρονα. Όμως γενικά σχηματίζεται πιο πολύ υδρογόνο από διοξείδιο του άνθρακα.

⇒ *Μεθανογένεση (Methanogenesis)*

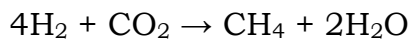
Η μεθανογένεση είναι το τρίτο και τελευταίο στάδιο και συχνά είναι αυτό που καθορίζει το ρυθμό ολόκληρης της διαδικασίας χώνευσης.

Η παραγωγή του μεθανίου πραγματοποιείται με δύο τρόπους :

1. Με την δράση ακετοτροφικών (acetotrophic) μεθανογενών βακτηρίων

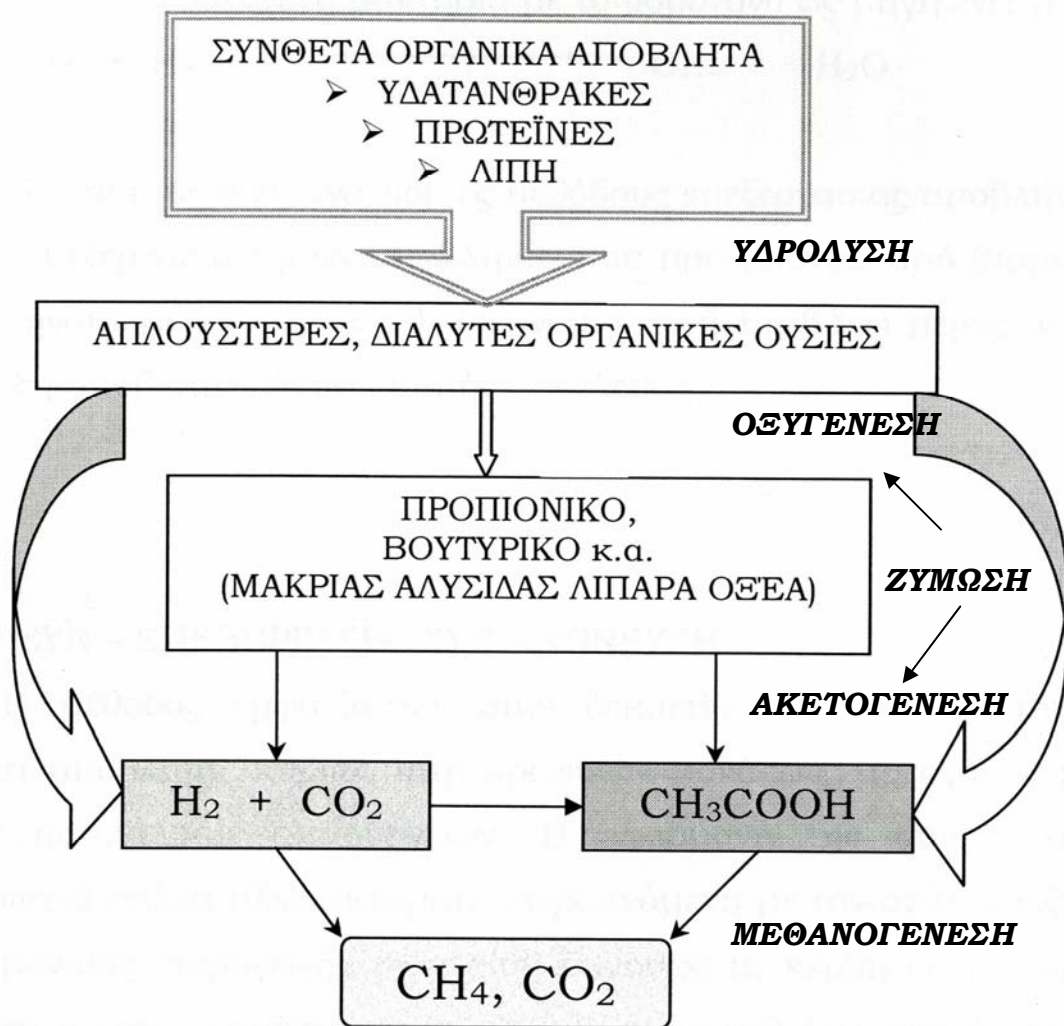


2. Με την δράση υδρογονοτροφικών (hydrogenotrophic) μεθανογενών βακτηρίων



Σε όρους COD το 70% του μεθανίου προέρχεται από το οξικό οξύ, ενώ το υπόλοιπο 30% από το υδρογόνο. Έτσι τα ακετοτροφικά μεθανογενή βακτήρια είναι αυτά που καθορίζουν και τον ρυθμό του τελικού σταδίου.

Η μεθανογένεση μπορεί να λάβει χώρα σωστά μόνο σε περιβάλλον με ουδέτερο pH. Έτσι μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες αστάθειας, όταν για κάποιο λόγο ο ρυθμός μετατροπής του οξικού οξέος σε μεθάνιο γίνει μικρότερος από τον ρυθμό παραγωγής του και το pH μειωθεί, επηρεάζοντας ταυτόχρονα και την μεθανογενή δραστηριότητα. Αυτή είναι και η πιο συνηθισμένη αστοχία (souring) στα συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας.



ΣΧΗΜΑ 2.1 : Τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μία διαδικασία της οποίας η σταθερότητα και η καλή λειτουργία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των προς επεξεργασία αποβλήτων π.χ. τοξικότητα, το υδραυλικό φορτίο, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, ο χρόνος παραμονής στερεών, η θερμοκρασία, το pH και τα θρεπτικά συστατικά.

Διακυμάνσεις στο υδραυλικό φορτίο μπορούν να προκαλέσουν διατάραξη της ισορροπίας μεταξύ της οξικής ζύμωσης και της μεθανογένεσης. Στα διαλυτά και εύκολα αποικοδομήσιμα υποστρώματα, οι οξυγενείς αντιδράσεις μπορεί να γίνουν πολύ πιο γρήγορα όταν τα φορτία είναι μεγάλα, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η συγκέντρωση των λιπαρών πιητικών οξέων και του υδρογόνου, προκαλώντας πτώση του pH. Οι υψηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου μπορεί να αναστείλουν την μετατροπή του προπιονικού και βουτυρικού οξέος σε οξικό οξύ περιορίζοντας την μεθανογένεση. Συνεπώς για την καλή λειτουργία των αναερόβιων συστημάτων είναι απαραίτητο να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή η υδραυλική φόρτιση, ώστε να μην αντιμετωπίζουν τα βακτήρια οποιουδήποτε σταδίου καταστάσεις σόκ.

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης, αφού η αύξηση της προκαλεί αύξηση στο ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών, που γενικά είναι αρκετά μικρός. Ανάλογα με την θερμοκρασία στην οποία αναπτύσσονται καλύτερα, τα βακτήρια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, σε κρυόφιλα ή ψυχρόφιλα, σε μεσόφιλα και σε θερμόφιλα. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές κλίμακες για κάθε είδος βακτηριδίου.

Είδος βακτηριδίων	Θερμοκρασία (°C)
Κρυόφιλα	18 – 22
Μεσόφιλα	25 – 40
Θερμόφιλα	55 - 66

Πίνακας 2.1 : Θερμοκρασιακές κλίμακες για διάφορα είδη βακτηριδίων

Γενικά προτιμώνται θερμοκρασίες 25 – 30 °C γιατί δημιουργούν καλύτερους βιολογικούς ρυθμούς και πιο σταθερές συνθήκες. Στις πιο χαμηλές θερμοκρασίες ο ρυθμός αντίδρασης πέφτει, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής στερεών, μεγαλύτεροι όγκοι αντιδραστήρα και γενικότερα χαμηλότερα φορτία COD μπορούν να επεξεργαστούν. Επιπλέον στις θερμοκρασίες μεταξύ 10 – 20 °C είναι συχνά περιορισμένη η

δυνατότητα αποδόμησης μακρών αλυσίδων λιπαρών οξέων. Συχνά οι υψηλές θερμοκρασίες προτιμώνται και για έναν ακόμη λόγο, οδηγούν στην μείωση του πληθυσμού των παθογόνων μικροοργανισμών, απολύμανση. Παρόλα αυτά τα οφέλη των υψηλών θερμοκρασιών αντισταθμίζονται από την απαίτηση για θέρμανση των αποβλήτων, των οποίων συνήθως η θερμοκρασία εισόδου στον αντιδραστήρα είναι αρκετά χαμηλότερη, ειδικά αν πρόκειται για αστικά απόβλητα.

Η συγκέντρωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων έχει καθοριστική σημασία στην επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας τους. Για την επεξεργασία τους μέσω της αναερόβιας χώνευσης, απαιτούνται τιμές εισόδου COD μεγαλύτερες των 1500 με 2000 mg/L, έτσι ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή τέτοιας ποσότητας μεθανίου, που να μπορεί να θερμάνει τα απόβλητα μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία, χωρίς να χρειαστεί η χρήση εξωτερικής πηγής ενέργειας.

Εκτός όμως από το ολικό οργανικό φορτίο σημασία έχει και η αναλογία του αδιάλυτου οργανικού μέρους για την επιλογή του κατάλληλου αναερόβιου συστήματος επεξεργασίας. Έτσι απόβλητα με υψηλές συγκεντρώσεις στερεών επεξεργάζονται καλύτερα σε συστήματα αιωρούμενης ανάπτυξης, παρά σε συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης, ανοδικά ή καθοδικά. Όταν η προς αποδόμηση ποσότητα στερεών σωματιδίων είναι μεγάλη, μπορεί να χρειαστεί μεγαλύτερος χρόνος παραμονής στερεών εάν το στάδιο της υδρόλυσης είναι αυτό που περιορίζει το ρυθμό της όλης αντίδρασης, συγκρινόμενο με τα άλλα δύο στάδια της ζύμωσης και της μεθανογένεσης.

Τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται σε κάθε απόβλητο είναι ανάλογα με την προέλευση του. Στην αναερόβια χώνευση εξ' ορισμού δεν απαιτούνται πολλά θρεπτικά συστατικά, αφού ο ρυθμός παραγωγής ιλύος είναι περίπου πέντε φορές μικρότερος από ότι στις αερόβιες διεργασίες. Εν τούτοις είναι πιθανό πολλά βιομηχανικά απόβλητα να έχουν έλλειψη θρεπτικών συστατικών και να απαιτείται προσθήκη αζώτου και ή φωσφόρου. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και τον χρόνο παραμονής των στερεών κάποιες τυπικές τιμές για το άζωτο, το φώσφορο και το θείο είναι : 10 με 13, 2 με 2.6 και 1 με 2 mg ανά 100 mg βιομάζας

αντίστοιχα. Επιπλέον για την διατήρηση του μέγιστου ρυθμού μεθανογένεσης, οι συγκεντρώσεις στην υγρή φάση του αζώτου, φωσφόρου και θείου της τάξης των 50, 10 και 5 mg/L αντίστοιχα είναι επιθυμητές. Σε όρους COD η προτεινόμενη αναλογία αζώτου και φωσφόρου στη φάση της εκκίνησης είναι $COD : N : P \rightarrow 300 : 5 : 1$, ενώ κατά την διάρκεια της σταθερής λειτουργίας η αναλογία μπορεί να πέσει σε $600 : 5 : 1$.

Η μεθανογένεση όμως εντείνεται και από κάποια ιχνοστοιχεία όπως είναι ο σίδηρος, το κοβάλτιο, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος σε ποσότητες της τάξης 0.02, 0.004, 0.003 και 0.02 mg/g οξικού οξέος που παράγεται, αντίστοιχα.

Η διατήρηση σταθερής τιμής του pH, είναι από τις πιο σημαντικές ρυθμίσεις στην αναερόβια διεργασία. Αν και για τα στάδια της υδρόλυσης (Dinamarca 2003) και της ζύμωσης δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια ιδιαίτερη ανάγκη για την ρύθμιση του pH, η μεθανογένεση διατηρείται σε υψηλό ρυθμό μόνο όταν το pH είναι στην ουδέτερη περιοχή. Για τιμές του pH μικρότερες από 6.3 και μεγαλύτερες του 7.8 ο ρυθμός της μεθανογένεσης μειώνεται αφού τα βακτήρια της ζύμωσης (οξυγενή) είναι πολύ πιο ανθεκτικά στις χαμηλές ή υψηλές τιμές του pH και έτσι επικρατεί η οξική ζύμωση της μεθανογενοφύτου, οξινίζοντας το περιβάλλον του αντιδραστήρα. Η προσθήκη κατάλληλης ποσότητας ανθρακικού ασβεστίου είναι το πιο συνηθισμένο μέτρο για την αντιμετώπιση του προβλήματος και την διατήρηση του pH στα επιθυμητά όρια.

Η τοξικότητα είναι ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την αναερόβια χώνευση. Εκτός από τα ιόντα υδρογόνου υπάρχουν και πολλές άλλες ενώσεις που μπορούν να επηρεάσουν τον ρυθμό της αναερόβιας χώνευσης, ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις όπως είναι τα βαρέα μέταλλα και οι οργανικές ενώσεις του χλωρίου. Συνήθως όμως δεν συναντώνται σε σημαντικές συγκεντρώσεις τέτοιου είδους ενώσεις στα απόβλητα. Οι πιο συνηθισμένες ενώσεις με τοξική δράση είναι το οξυγόνο και τα σουλφίδια. Το διαλυμένο οξυγόνο που εισέρχεται στον αντιδραστήρα με τα λύματα, συνήθως δεν αποτελεί πρόβλημα αφού μπορεί να καταναλωθεί από κάποια από τα βακτήρια της οξυγένεσης χωρίς να επηρεάσει τα μεθανογενή, που είναι αποκλειστικά αναερόβια. Πρόβλημα

θα υπάρξει αν στον αντιδραστήρα εκτός από τα λύματα εισέρχεται και αέρας (Haandel & Lettinga). Πάντως νεότερες μελέτες έδειξαν ότι στην πράξη το διαλυμένο οξυγόνο δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την αποτελεσματική λειτουργία του αντιδραστήρα (Kato 1997).

Η συγκέντρωση ή όχι οξειδίων του θείου στα απόβλητα που εισέρχονται σε έναν αναερόβιο αντιδραστήρα, είναι ένα κρίσιμο ζήτημα, καθώς υψηλές τιμές μπορεί να έχουν αρνητική επίδραση στην αναερόβια διεργασία. Τα βακτήρια μείωσης του θειικού οξέως συναγωνίζονται με τα μεθανογενή για το COD και έτσι μπορεί να προκαλέσουν μείωση της παραγωγής μεθανίου. Έτσι ενώ χαμηλές συγκεντρώσεις σουλφιδίων (λιγότερο από 20mg/L) είναι απαραίτητες για την βελτιστοποίηση του σταδίου της μεθανογένεσης, υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τοξικές. Βρέθηκε ότι η μεθανογενής δραστηριότητα μειώθηκε κατά 50% ή και παραπάνω για συγκεντρώσεις H_2S 50 με 250mg/L (Metcalf & Eddy).

Τοξική όμως μπορεί να είναι και η δράση της αμμωνίας, και εντοπίζεται σε απόβλητα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίου ή πρωτεϊνών ή / και αμινοξέων, τα οποία μπορούν να διασπαστούν παράγοντας αμμώνιο NH_4^+ . Η ελεύθερη αμμωνία NH_3 , σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις θεωρείται τοξική για τα μεθανογενή βακτήρια. Η ποσότητα της ελεύθερης αμμωνίας είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του pH. Τα πειράματα που έχουν γίνει σχετικά με την τοξικότητα της αμμωνίας δεν έχουν δείξει κάποια σταθερά κατώτατα όρια τοξικότητας, καθώς τα βακτήρια μπορούν και εγκλιματίζονται στις νέες συνθήκες μαζί με την αμμωνία L (Metcalf & Eddy).

Ο χρόνος παραμονής στερεών (solids retention time, SRT) στον αναερόβιο αντιδραστήρα, σε συνδυασμό με τον **υδραυλικό χρόνο παραμονής** (hydraulic retention time, HRT) είναι καθοριστικής σημασίας για τον σχεδιασμό και την λειτουργία μίας τέτοιου είδους μονάδας. Γενικά για τα συμβατικά συστήματα αναερόβιας χώνευσης απαιτείται SRT της τάξης των 20 ημερών και πάνω για θερμοκρασία 30°C με το HRT συνήθως να συμπίπτει. Οι χρόνοι είναι πολύ μεγαλύτεροι για χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στα αναερόβια συστήματα υψηλού ρυθμού ο SRT μπορεί να

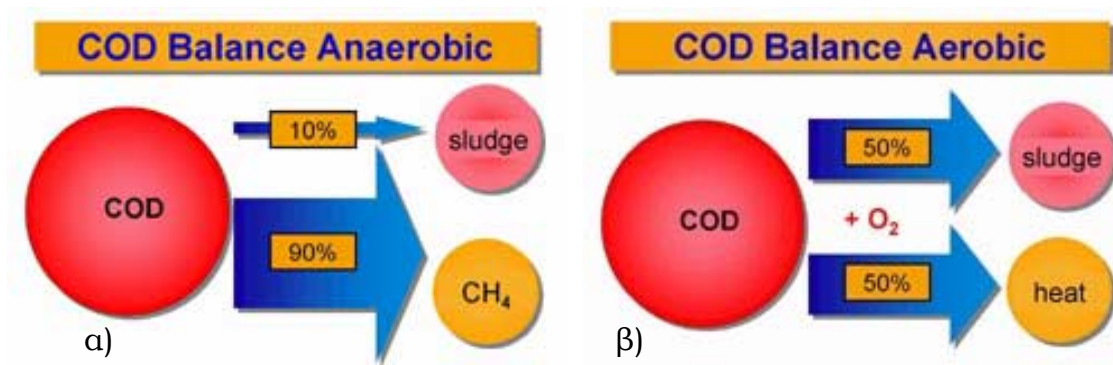
έχει διάρκεια ακόμα και μερικούς μήνες, ενώ ο HRT μερικές ώρες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου που πρόκειται να επεξεργαστεί.

2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Το ιδιαίτερα αυξημένο ενδιαφέρον που υπάρχει στις μέρες μας για τις τεχνολογίες αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων, γίνεται εύκολα κατανοητό αν εξετάσει κανείς τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μειονεκτήματα αυτών των τεχνολογιών.

A) Πλεονεκτήματα αναερόβιας επεξεργασίας

- *Χαμηλή ενεργειακή απαίτηση.* Ένα από τα κύρια παραπροϊόντα της αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων είναι το βιοαέριο (εικόνα 2.1α). Το βιοαέριο ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο έχει υψηλή ή χαμηλή θερμαντική αξία. Έτσι ένα σύστημα είναι δυνατόν να εκμεταλλευτεί το παραγόμενο βιοαέριο για την θέρμανση των προς επεξεργασία αποβλήτων έως την κατάλληλη θερμοκρασία. Η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου είναι ανάλογη με το πόσο υψηλό είναι το οργανικό φορτίο των εισερχόμενων αποβλήτων, αλλά και με το ποσοστό απομάκρυνσης του, αφού μία μέση τιμή παραγωγής μεθανίου, μπορεί να θεωρηθεί το $0,35 \text{ m}^3/\text{Kg COD}$ που απομακρύνεται. Έτσι από την αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων μπορούν να ληφθούν σημαντικά ποσά ενέργειας, τέτοια που ακόμα και να υπερκαλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας. Αντίθετα στις αερόβιες μονάδες επεξεργασίας το ενεργειακό ισοζύγιο είναι πάντα αρνητικό αφού απαιτείται παροχή ενέργειας για την λειτουργία της μονάδας, χωρίς όμως να υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας μέσα από την όλη διαδικασία.
- *Χαμηλή παραγωγή βιολογικής ιλύος.* Στην αναερόβια επεξεργασία ο ρυθμός ανάπτυξης της βιομάζας είναι σημαντικά χαμηλότερος από αυτόν της αερόβιας επεξεργασίας (εικόνα 2.1β) με αποτέλεσμα, λιγότερη ιλύς να παράγεται. Έτσι τα κόστη επεξεργασίας και διάθεσης της είναι αρκετά μικρότερα.



Εικόνα 2.1 : Η μετατροπή του COD για την αναερόβια και την αερόβια διαδικασία

- *Γρήγορη επανεκκίνηση* αφού είναι εφικτή η διατήρηση της παραγόμενης βιολογικής ιλύος για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς σημαντική μείωση της δραστηρότητας της (υπάρχει η δυνατότητα *χρησιμοποίησης της ως μαγιά*, για την εκκίνηση νέων αντιδραστήρων). Η δυνατότητα αυτή καθιστά την αναερόβια διεργασία κατάλληλη για την επεξεργασία εποχιακών αποβλήτων.
- *Απαίτηση λιγότερων θρεπτικών συστατικών*. Πολλές φορές τα λύματα που καταλήγουν στις μονάδες επεξεργασίας, δεν περιέχουν κάποια θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που θα τα αποδομήσουν. Αποτέλεσμα είναι η προσθήκη των απαραίτητων αυτών θρεπτικών σε ποσότητες ανάλογες με αυτές της βιολογικής μάζας που παράγεται. Έτσι στην αναερόβια επεξεργασία προστίθενται λιγότερα θρεπτικά από ότι στην αερόβια, αφού παράγεται μικρότερη ποσότητα ιλύος.
- *Επεξεργασία υψηλότερων οργανικών ρυπαντικών φορτίων* μέσω της αναερόβιας διαδικασίας, με αποτέλεσμα να απαιτείται για αυτού του είδους την επεξεργασία μικρότερος όγκος αντιδραστήρα και μικρότερος χώρος εγκαταστάσεων από ότι στις αερόβιες διεργασίες.

B) Μειονεκτήματα αναερόβιας επεξεργασίας

- *Μεγάλος χρόνος εκκίνησης* της αναερόβιας επεξεργασίας, που μπορεί να είναι μήνες, σε αντίθεση με την αερόβια διαδικασία όπου ο χρόνος αυτός

περιορίζεται σε μερικές ημέρες. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στο χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης των μεθανογενών μικροοργανισμών.

- *Ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία* της αναερόβιας εκροής. Η ποσότητα του υπολειπόμενου οργανικού φορτίου, των θρεπτικών συστατικών αλλά και η ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών απαγορεύουν την άμεση διάθεση της στο περιβάλλον.
- *Ανάγκη για ρύθμιση της αλκαλικότητας των αποβλήτων.* Σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προσθήκη CaCO_3 , για να παραμείνει η τιμή του pH εντός των αποδεκτών ορίων.
- *Ενδεχόμενη παραγωγή δυσάρεστων οσμών* αν δεν υπάρχει κατάλληλο σύστημα συγκέντρωσης του βιοαερίου λόγω του υδρόθειου που υπάρχει σε αυτό.
- *Υψηλός βαθμός ευαισθησίας σε τοξικά σοκ.*
- *Μείωση του ρυθμού των αντιδράσεων με την μείωση της θερμοκρασίας.*

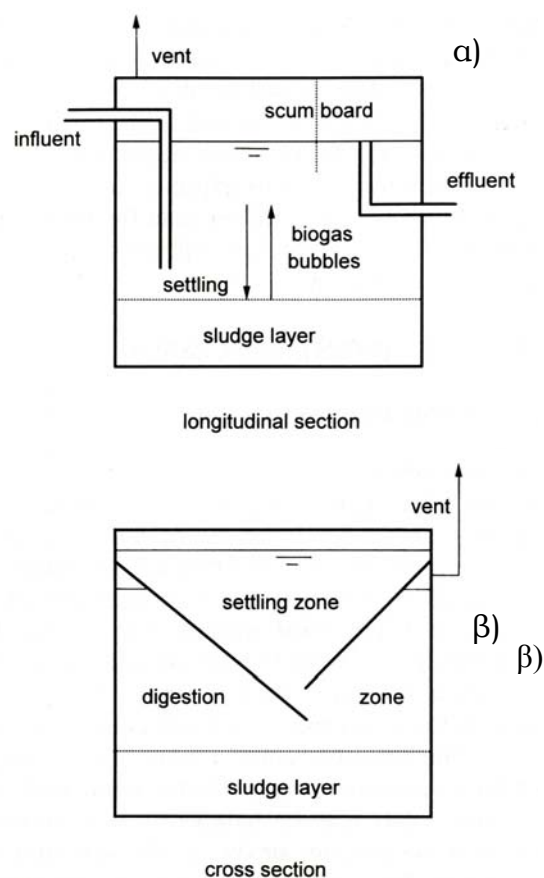
2.5 Είδη αναερόβιων αντιδραστήρων

Οι αναερόβιοι αντιδραστήρες μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες : σε αντιδραστήρες χαμηλού ρυθμού και σε αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού. Οι αντιδραστήρες χαμηλού ρυθμού είναι το πρώτο είδος αναερόβιου αντιδραστήρα που χρησιμοποιήθηκε. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του είδους των αντιδραστήρων είναι η έλλειψη ανάδευσης και ο σχηματισμός διαφόρων στρωμάτων μέσα στον αντιδραστήρα. Οι αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού εμφανίστηκαν αρκετά αργότερα. Το κύριο χαρακτηριστικό που τους διαφοροποιεί από τους αντιδραστήρες χαμηλού ρυθμού, είναι η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ώστε η αναερόβια χώνευση να λαμβάνει χώρα μέσα σε όλο τον όγκο του αντιδραστήρα, με αποτέλεσμα να απαιτούνται μικρότεροι χρόνοι παραμονής αλλά και μικρότεροι όγκοι αντιδραστήρα.

2.5.1 Αναερόβιοι αντιδραστήρες χαμηλού ρυθμού

Η πρώτη εφαρμογή αναερόβιας χώνευσης εμφανίστηκε πιθανότατα στις αρχές του προηγούμενου αιώνα στην Γαλλία. Πρόκειται για έναν αεροστεγή θάλαμο όπου τα στερεά των αποβλήτων που καθιζάνουν, «υγροποιούνται» (Haandel & Lettinga 1994). Ακολούθησε η εμφάνιση των **σηπτικών δεξαμενών** στην Αγγλία και των **δεξαμενών Imhoff** στην Γερμανία (σχήματα 2.2α και 2.2β). Η ροή των αποβλήτων και στα δύο αυτά συστήματα, λαμβάνει χώρα στο πάνω μέρος των δεξαμενών, ενώ η αναερόβια ιλύς συσσωρεύεται στο κάτω τμήμα τους. Έτσι η αποδόμηση των στερεών των υγρών αποβλήτων επιτυγχάνεται με την καθίζηση τους στην περιοχή της αναερόβιας ιλύος. Στην περίπτωση όμως των απλών

σηπτικών δεξαμενών, η καθίζηση των στερεών μπορεί να παρεμποδιστεί από την άνοδο φυσαλίδων βιοαερίου που έχει σχηματιστεί στην ζώνη της αναερόβιας ιλύος. Οι δεξαμενές Imhoff δεν αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους προβλήματα αφού κατάλληλη διάταξη στο εσωτερικό τους απομακρύνει το παραγόμενο βιοαέριο χωρίς να χρειαστεί να περάσει από την ζώνη καθίζησης. Και για τα δύο είδη δεξαμενών που αναφέρθηκαν, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται σε 1 με 2 ημέρες, χρόνος αρκετός για την απομάκρυνση των στερεών. Τα συστήματα αυτά απομακρύνουν μόνο οργανικό μέρος των αποβλήτων που μπορεί να καθιζάνει. Έτσι η μέγιστη απομάκρυνση είναι της τάξης του 30 με 50% ανάλογα με την φύση του αποβλήτου. Το χαμηλό ποσοστό της απομάκρυνσης οφείλεται στην έλλειψη



Σχήμα 2.2 : α) Σηπτική δεξαμενή,
β) Δεξαμενή Imhoff

επαφής μεταξύ των αναερόβιων μικροοργανισμών και του διαλυτού οργανικού μέρους του αποβλήτου που δεν καθιζάνει για να επεξεργαστεί, και έτσι απλά απομακρύνεται.

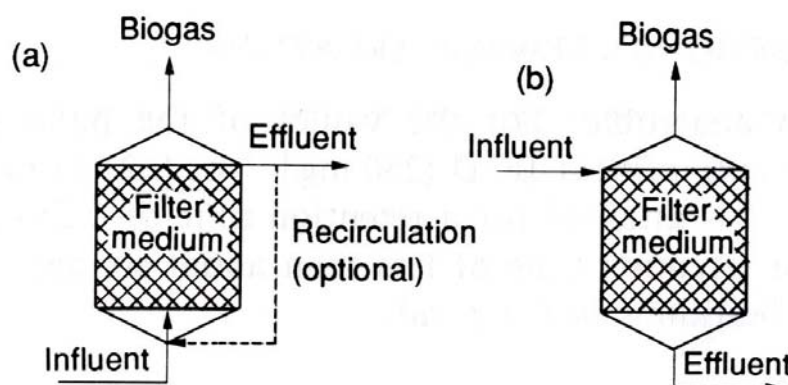
Οι **αναερόβιες λίμνες** (anaerobic pond) είναι ένα ακόμη σύστημα χαμηλού ρυθμού. Και σε αυτές όπως και στα δύο προηγούμενα συστήματα, η ροή των λυμάτων γίνεται στο πάνω μέρος ενώ η αναερόβια ιλύς συσσωρεύεται στο κάτω. Συνήθως είναι αρκετά μεγάλες σε έκταση και δεν είναι καλυμμένες. Συχνά υπάρχει ανάμιξη της υγρής φάσης και της ιλύος, τόσο λόγω του παραγόμενου βιοαερίου, όσο και λόγω του ανέμου και του ήλιου (θερμική ανάμιξη). Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των αποβλήτων σε αυτές είναι 2 με 5 ημέρες και το ποσοστό απομάκρυνσης κυμαίνεται μεταξύ 50 και 70 % για τα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα. Για χρόνους μεγαλύτερους των 6 ημερών η απομάκρυνση μπορεί να είναι και πάνω από 80 %.

2.5.2 Αναερόβιοι αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού

Στόχος των αντιδραστήρων υψηλού ρυθμού είναι μέγιστη δυνατή απομάκρυνση στον ελάχιστο δυνατό υδραυλικό χρόνο παραμονής. Όπως έχει αποδειχτεί η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου από τα λύματα, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο καλύτερη είναι επαφή μεταξύ των λυμάτων και της ενεργής βιομάζας. Στα προηγούμενα συστήματα χαμηλού ρυθμού, η επαφή μεταξύ των δύο αυτών φάσεων είναι περιορισμένη, ενώ συχνά ταυτίζεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής με τον χρόνο παραμονής των στερεών. Στα συστήματα υψηλού ρυθμού συνήθως υπάρχει ανάμιξη, που οδηγεί σε συνεχή επαφή των λυμάτων με την βιομάζα, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν και κατάλληλες διατάξεις που οδηγούν σε μεγάλους χρόνους παραμονής στερεών.

Οι αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού εφαρμόζονται για διαφόρων ειδών απόβλητα, βιομηχανικά και αστικά. Τα συστήματα που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι τα αναερόβια φίλτρα, οι αντιδραστήρες ρευστοστερεάς και εκτεταμένης κλίνης (expanded bed) καθώς και αντιδραστήρες τύπου UASB.

Τα **αναερόβια φίλτρα** (anaerobic filter) απευθύνονται κυρίως σε βιομηχανικά απόβλητα, των οποίων οι συγκεντρώσεις μπορούν να υπερβαίνουν τα $10 - 20 \text{ kg COD / m}^3 \text{ d}$. Εμφανίστηκαν τη δεκαετία του '60 και η χρήση τους δεν εξαπλώθηκε πολύ λόγω του υψηλού τους κόστους, αφού σε πολλές περιπτώσεις το κόστος του πληρωτικού υλικού του φίλτρου, ισούται με το κόστος κατασκευής όλης της εγκατάστασης. Το υλικό πλήρωσης ποικίλει από ποταμίσιο βότσαλο μέχρι κάποιο συνθετικό μέσο, αφού οποιοδήποτε υλικό με μεγάλη διεπιφάνεια ανά μονάδα όγκου, θεωρείται κατάλληλο ($100 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Τα αναερόβια φίλτρα είναι δεξαμενές κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής με διάμετρο ή πλάτος που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8m ενώ το ύψος τους είναι από 3 μέχρι 13 m. Η είσοδος των αποβλήτων μπορεί να γίνει τόσο από κάτω όσο και από πάνω (σχήμα 2.3 α,β) ενώ υπάρχει η δυνατότητα ανακυκλοφορίας των αποβλήτων. Η επεξεργασία αυτή είναι καλύτερη για απόβλητα με χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών λόγω της ενδεχόμενης φραγής του φίλτρου σε αντίθετη περίπτωση.



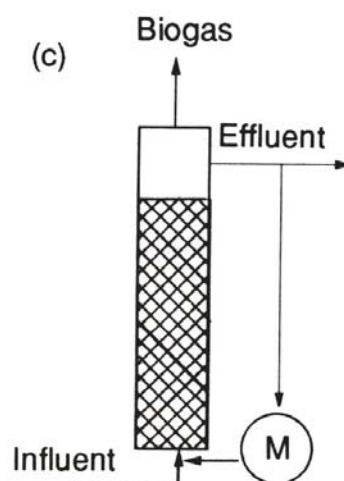
Σχήμα 2.3 : Αναερόβια φίλτρα

Ο **αντιδραστήρας ρευστοστερεάς κλίνης** (fluidized - bed reactor) είναι ένα σύστημα στο οποίο η εισαγωγή των αποβλήτων γίνεται από το κάτω μέρος του (σχήμα 2.4). Το υλικό πλήρωσης του αντιδραστήρα είναι άμμος διαμέτρου περίπου $0,3 \text{ mm}$. Λόγω της σχετικά μεγάλης ταχύτητας ανοδικής ροής, 20 m/h , το υλικό πλήρωσης του αντιδραστήρα κατανέμεται σε όλο τον όγκο του και έτσι είναι ολόκληρος ενεργός. Αν και αρχικά

χρησιμοποιήθηκε άμμος για την πλήρωση του αντιδραστήρα στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν υλικά με χαμηλότερη πυκνότητα για να είναι δυνατή η μείωση της απαιτούμενης ταχύτητας ανοδικής ροής και συνεπώς και το κόστος της άντλησης. Εναλλακτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ανθρακίτης και πλαστικό.

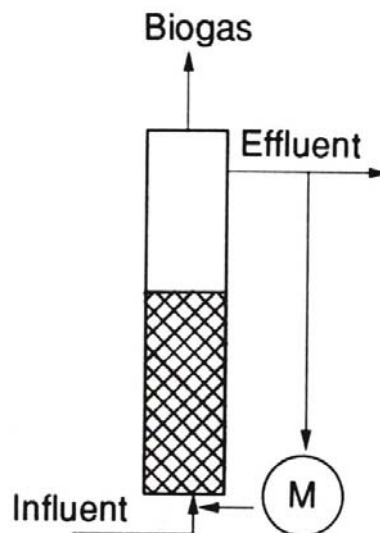
Η ανακύκλωση της κυκλοφορίας είναι απαραίτητη τόσο για την καλύτερη επεξεργασία του αποβλήτου, όσο και για να είναι εφικτή η κίνηση του αποβλήτου με τέτοια ταχύτητα. Το ύψος του αντιδραστήρα κυμαίνεται μεταξύ 4 και 6 μέτρων. Η επεξεργασία αυτή είναι κατάλληλη για απόβλητα που έχουν κυρίως διαλυτό οργανικό φορτίο, αφού δεν είναι εύκολη η κατακράτηση στερεών, εξαιτίας των στροβιλισμών και του λεπτού βιοφίλμ που σχηματίζεται. Οι αντιδραστήρες αυτού του είδους έχουν καλή απόκριση σε καταστάσεις σοκ, λόγω της ανάμιξης και της αραίωσης που δημιουργεί η ανακυκλοφορία. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στο σχεδιασμό των συστημάτων εισροής και εκροής των αποβλήτων, για την αποφυγή προβλημάτων μη ομοιόμορφης ροής στο εσωτερικό του αντιδραστήρα και έκπλυσης των μικροοργανισμών.

Πειράματα που έχουν γίνει έδειξαν για ταχύτητα ανοδικής ροής 10,5m/h, για HRT 3,2h και αναλογία ανακύκλωσης 0.85, απομάκρυνση του COD κατά 71+/-8 %, και των TSS κατά 77+/-14 % (Mendonca 2004).



Σχήμα 2.4 : Αντιδραστήρας ρευστοστερεάς κλίνης

Ο **αντιδραστήρας εκτεταμένης κλίνης (expanded bed)** στον σχεδιασμό του δεν διαφέρει και πολύ από τον αντιδραστήρα ρευστοστερεάς κλίνης (σχήμα 2.5). Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο λειτουργίας τους. Έτσι οι ταχύτητες που εφαρμόζονται σε αυτόν τον αντιδραστήρα είναι σημαντικά μικρότερες από ότι στην προηγούμενη περίπτωση. Η μέση ταχύτητα ανοδικής ροής είναι τα 2 m/h. Η ταχύτητα αυτή οδηγεί στη χρήση του 20% περίπου του αντιδραστήρα για χώνευση, αντί για το 100 % της προηγούμενης περίπτωσης. Επειδή το σύστημα δεν είναι πλήρως ρευστοποιημένο, γίνεται κατακράτηση κάποιων στερεών και έτσι σημειώνεται αποδόμηση τους σε κάποιο βαθμό. Οι περισσότερες εφαρμογές της μεθόδου έχουν γίνει σε αστικά απόβλητα.



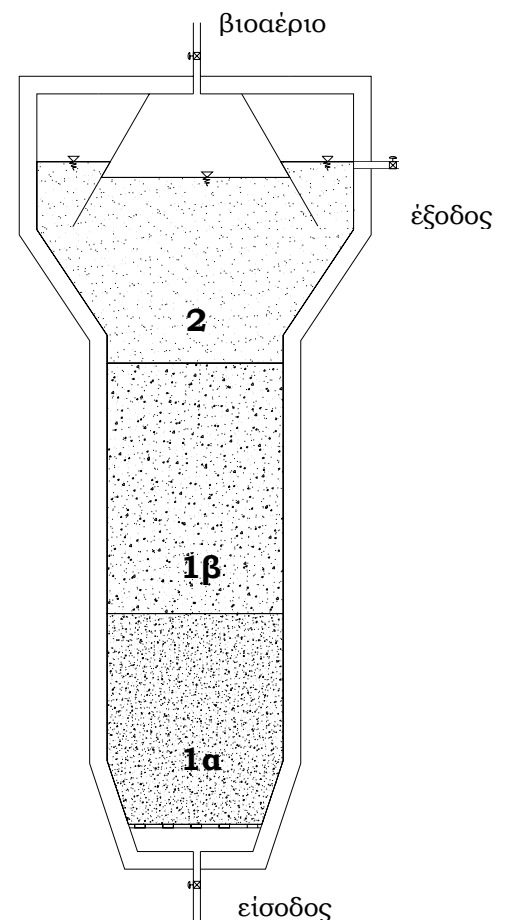
Σχήμα 2.5 : Αντιδραστήρας εκτεταμένης κλίνης

Η **αναερόβια κλίση ανοδικής ροής** (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, **UASB**), σχεδιάστηκε από τον Lettinga και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο Wageningen της Ολλανδίας στη δεκαετία του '70. Είναι το αναερόβιο σύστημα που χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο. Συναντάται σε μεγάλο μέγεθος (full scale) κυρίως σε περιοχές με τροπικό ή υποτροπικό κλίμα, ενώ μελέτες έχουν γίνει και γίνονται και για περιοχές με μέσες θερμοκρασίες.

Ο αντιδραστήρας UASB μπορεί να πει κανείς ότι χωρίζεται σε δύο κυρίως ζώνες. Στη ζώνη της χώνευσης, που βρίσκεται στο κάτω μέρος του και στη ζώνη της καθίζησης που βρίσκεται στο πάνω μέρος του (σχήμα 2.6). Η διαφοροποίηση αυτή συμβαίνει κυρίως λόγω της ύπαρξης ενός διαχωριστήρα φάσεων στο πάνω μέρος του που είναι και το κύριο χαρακτηριστικό του.

Τα απόβλητα οδηγούνται στο εσωτερικό του αντιδραστήρα από το κάτω μέρος του. Η ταχύτητα ανοδικής τους ροής είναι αρκετά χαμηλή (0,7m/h για αστικά απόβλητα) έτσι ώστε να είναι εφικτή η συγκράτηση της συσσωματωμένης ιλύος (sludge blanket) στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα (1α). Πάνω ακριβώς από αυτό το στρώμα βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα ιλύος με μικρότερα όμως μέρη (sludge bed) (1β). Στα δύο αυτά πρώτα στρώματα λαμβάνει χώρα η διαδικασία της χώνευσης.

Το τρίτο στρώμα είναι η ζώνη της καθίζησης μέσα στην οποία βρίσκεται και ο διαχωριστήρας. Ο ρόλος του διαχωριστήρα είναι να ξεχωρίσει τις τρεις φάσεις που υπάρχουν μέσα στον αντιδραστήρα, την υγρή, την στερεά και την αέρια. Αποτελείται από έναν ανεστραμμένο κώνο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6, ο οποίος στοχεύει στην συγκέντρωση του παραγόμενου βιοαερίου και την απομάκρυνση του από το εσωτερικό του αντιδραστήρα, δημιουργώντας την μικρότερη δυνατή αναταραχή στην ζώνη καθίζησης. Η ύπαρξη του διαχωριστήρα δίνει την δυνατότητα στα στερεά που έχουν μικρό βάρος και δεν καθιζάνουν αμέσως, αλλά λόγω της ταχύτητας ανοδικής ροής και των φυσαλίδων του βιοαερίου παρασύρονται



Σχήμα 2.6 : Αντιδραστήρας
τύπου UASB

προς τα επάνω, να βρεθούν σε μία περιοχή, εξωτερικά ή και εσωτερικά του διαχωριστήρα, όπου θα έχουν την δυνατότητα να συσσωματωθούν σε βαρύτερα μέρη και στη συνέχεια θα μπορούν να καθιζάνουν στην ζώνη χώνευσης, αντί να απομακρυνθούν άμεσα από τον αντιδραστήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Αναερόβιος αντιδραστήρας τύπου UASB

3.1 Σχεδιασμός αντιδραστήρα τύπου UASB

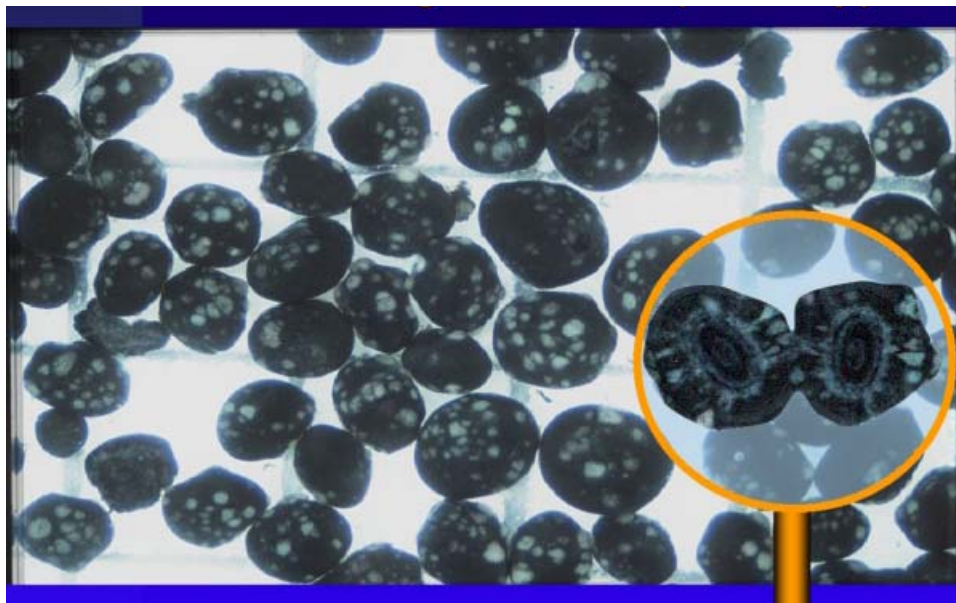
3.1.1 Σχεδιαστικές παράμετροι

Για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό ενός αντιδραστήρα τύπου UASB, απαιτείται ο συνυπολογισμός διαφόρων παραμέτρων. Οι κύριες παράμετροι είναι :

ι) Τα χαρακτηριστικά του προς επεξεργασία αποβλήτου.

Με τη χρήση αντιδραστήρα τύπου UASB υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας αποβλήτων υψηλότερου ρυπαντικού φορτίου από ότι με άλλου είδους συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας. Η δυνατότητα αυτή έγκειται στο σχηματισμό πυκνών κόκκων λάσπης (granules) (εικόνα 3.1), που συσσωρεύονται στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα. Η διεργασία της κοκκοποίησης των στερεών της ιλύος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Έτσι απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες οδηγούν σε επιτυχημένη κοκκοποίηση της ιλύος, ενώ απόβλητα με υψηλές συγκεντρώσεις πρωτεϊνών και λιπαρών έχουν ως αποτέλεσμα την

δημιουργία ενός πιο «αφράτου» συσσωματώματος ή και την εμφάνιση φαινομένων αφρισμού (Tagawa 2002).



Εικόνα 3.1 : Συσσωματώματα ιλύος, granules

Το κλάσμα του σωματιδιακού (particulate) προς το διαλυτό COD είναι σημαντικό για τον προσδιορισμό των φορτίων σχεδιασμού και την τελική εκτίμηση του κατά πόσον είναι εφικτό να εφαρμοστεί η διαδικασία. Όσο αυξάνεται το κλάσμα των στερεών, μειώνεται η δυνατότητα σχηματισμού πυκνών κόκκων ιλύος. Η χρήση του UASB θεωρείται αποτελεσματική για TSS < 6 g/L. (Metcalf & Eddy 2003)

ii) ο ρυθμός οργανικής φόρτισης (*organic loading rate, OLR*) και υδραυλικής φόρτισης (*hydraulic loading rate, HLR*)

Οι ρυθμοί οργανικής και υδραυλικής φόρτισης, είναι δύο παράμετροι σχεδιασμού που εξαρτώνται άμεσα από το απόβλητο που πρόκειται να επεξεργαστεί. Έτσι στην περίπτωση σχετικά 'αδύναμων' αποβλήτων, όπως είναι τα αστικά λύματα, το υδραυλικό φορτίο είναι αυτό που θα καθορίσει το σχήμα και το μέγεθος του αντιδραστήρα, ενώ με βάση το οργανικό φορτίο μπορεί κανείς να ελέγξει την ορθότητα του σχεδιασμού. Ακριβώς το αντίθετο ισχύει για τα ισχυρά απόβλητα όπου ο σχεδιασμός γίνεται βάσει του οργανικού φορτίου.

Έχει παρατηρηθεί για διαφόρων ειδών απόβλητα, ότι σε θερμοκρασίες 30 – 35 ° C, γίνεται απομάκρυνση του COD κατά 90 – 95 % όταν το

οργανικό φορτίο κυμαίνεται μεταξύ 12 – 20 kg COD/m³d. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής για ‘ισχυρά’ απόβλητα σε τέτοιες φορτίσεις είναι 4 με 8 ώρες.

Στον πίνακα 3.1 φαίνεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής σε σχέση με την θερμοκρασία, για ανεπεξέργαστα αστικά απόβλητα σε έναν αντιδραστήρα τύπου UASB, ύψους 4 m ύψους (Lettinga & Hulshoff, 1991).

Θερμοκρασία, °C	Υδραυλικός χρόνος παραμονής, h
16 – 19	10 – 14
22 – 26	7 – 9
> 26	6 – 8

Πίνακας 3.1 : Αντιστοιχία θερμοκρασιών & υδραυλικού χρόνου παραμονής.

iii) η ταχύτητα ανοδικής ροής

Είναι μία από τις πιο καθοριστικές παραμέτρους του σχεδιασμού. Για τα ‘αδύνατα’ απόβλητα η επιτρεπόμενη ταχύτητα ανόδου και το ύψος του αντιδραστήρα θα καθορίσουν και τον όγκο του, ενώ για τα πιο ‘δυνατά’ απόβλητα η ταχύτητα ανόδου θα καθοριστεί από την ογκομετρική φόρτιση του COD. Η ταχύτητα ανοδικής ροής u (m/h), ισούται με την παροχή εισόδου Q (m³/h), προς την οριζόντια επιφάνεια του αντιδραστήρα σε κάθε στάθμη A (m²).

$$u = Q / A \quad (3.1)$$

Η ταχύτητα ανοδικής ροής μεταβάλλεται καθ’ ύψος του αντιδραστήρα, αντιστρόφως ανάλογα με την μεταβολή της επιφάνειας ροής στο εσωτερικό του αντιδραστήρα. Η μέγιστη τιμή της σημειώνεται στην περιοχή όπου η διαθέσιμη επιφάνεια για την ροή μειώνεται, δηλαδή στο ύψος του διαχωριστήρα.

Στην φάση εκκίνησης του αντιδραστήρα, , η διατήρηση σχετικά υψηλής ταχύτητας ροής, μπορεί να επιδράσει θετικά, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση της μη κοκκοποιημένης ιλύος από την κλίνη του αντιδραστήρα.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συνιστώμενες ταχύτητες ανόδου και ύψη του αντιδραστήρα UASB σύμφωνα με τους Lettinga και Hulshoff (1991).

Τύπος αποβλήτου	Ταχύτητα ανοδικής ροής, m/h		Ύψος αντιδραστήρα, m	
	εύρος	τυπική τιμή	εύρος	τυπική τιμή
COD διαλυτό σχεδόν 100%	1.00 - 3.00	1.50	6.00 – 10.00	8.00
COD εν μέρει διαλυτό	1.00 – 1.25	1.00	3.00 – 7.00	6.00
Αστικά απόβλητα	0.80 – 1.00	0.70	3.00 – 5.00	5.00

Πίνακας 3.2 : Προτεινόμενες ταχύτητες ανόδου και ύψος αντιδραστήρα.

3.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Βάσει των παραμέτρων καθορίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι :

ι) το μέγεθος (όγκος) και το σχήμα του αντιδραστήρα

Το σχήμα του αντιδραστήρα καθ' ύψος, εξαρτάται κυρίως από το είδος του προς επεξεργασία αποβλήτου. Οι όποιες διαφοροποιήσεις γίνονται συνήθως στην ζώνη καθίζησης στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα. Στην περίπτωση 'ασθενών' αποβλήτων, η κλίνη ιλύος σχηματίζεται δυσκολότερα, έτσι η ύπαρξη μεγαλύτερης επιφάνειας καθίζησης οδηγεί σε χαμηλότερες ταχύτητες εκροής και επομένως σε μικρότερο ποσοστό ιλύος που εκρέει, αφού υπάρχει η δυνατότητα συσσωμάτωσης μικρότερων κόκκων σε μεγαλύτερους (σχήμα 3.1α). Ακριβώς το αντίθετο ισχύει στην περίπτωση 'ισχυρών' αποβλήτων όπου προτιμάται η ζώνη καθίζησης να έχει μικρότερη επιφάνεια (σχήμα 3.1β). Τελικά από μετρήσεις σε μεγάλες μονάδες διαπιστώθηκε ότι μικρές διαφοροποιήσεις στην επιφάνεια της ζώνης καθίζησης, συγκριτικά με την επιφάνεια των άλλων ζωνών, δεν συνεισφέρουν αλλά ούτε και δημιουργούν σημαντικό πρόβλημα στην όλη μονάδα. Αποτέλεσμα είναι η πλειοψηφία των αντιδραστήρων UASB να κατασκευάζεται πλέον με κατακόρυφα τοιχώματα (σχήμα 3.1γ).

Ο όγκος του αντιδραστήρα υπολογίζεται εύκολα με τον τύπο :

$$V = Q * (HRT) \quad (3.2)$$

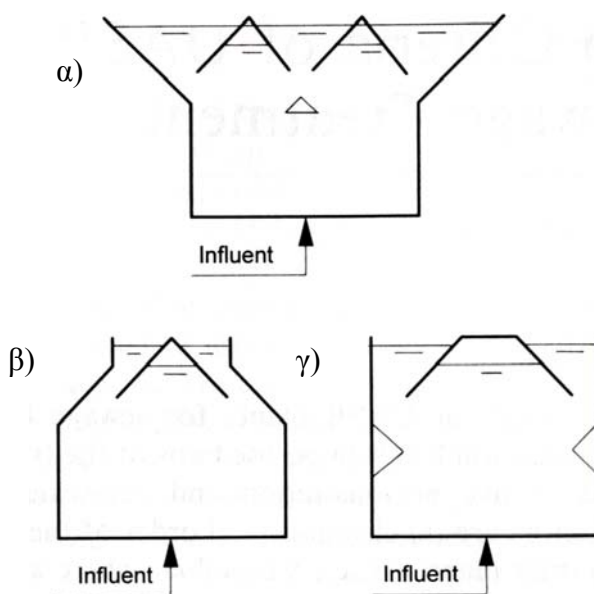
Όπου : V = ο όγκος του αντιδραστήρα

Q = η μέση παροχή αποβλήτων

(HRT) = ο υδραυλικός χρόνος παραμονής

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία των αποβλήτων. Έτσι για θερμοκρασίες πάνω από $T > 18^{\circ} \text{C}$ θεωρείται ότι τα απόβλητα επεξεργάζονται ικανοποιητικά μέσα σε 6 ώρες, ενώ χρειάζονται 12 – 14 ώρες για την επεξεργασία αποβλήτων σε θερμοκρασίες $10 - 12^{\circ} \text{C}$.

Το ύψος του αντιδραστήρα, εξαρτάται άμεσα από το εμβαδόν της διατομής του. Έτσι δεδομένου του όγκου του, όσο αυξάνει το ύψος τόσο μειώνεται το εμβαδόν. Τα 4 – 6 m θεωρούνται η βέλτιστη επιλογή ύψους για τις περισσότερες περιπτώσεις.



Σχήμα 3.1 : Αντιδραστήρας τύπου UASB, διαφοροποιήσεις στη ζώνη καθίζησης

Ένας σημαντικός περιορισμός όσων αφορά την επιλογή του ύψους του αντιδραστήρα είναι και η ταχύτητα ανοδικής ροής, αφού δεν μπορεί να υπερβαίνει κάποιες τιμές. Η σχέση μεταξύ ύψους και ταχύτητας δίνεται από τον τύπο :

$$U = Q/A = V / [(HRT)*A] = H/(HRT) \quad (3.3)$$

Όπου : U = η ταχύτητα ανοδικής ροής

Q = η μέση παροχή αποβλήτων

A = το εμβαδόν της διατομής του αντιδραστήρα

V = ο όγκος του αντιδραστήρα

(HRT) = ο υδραυλικός χρόνος παραμονής

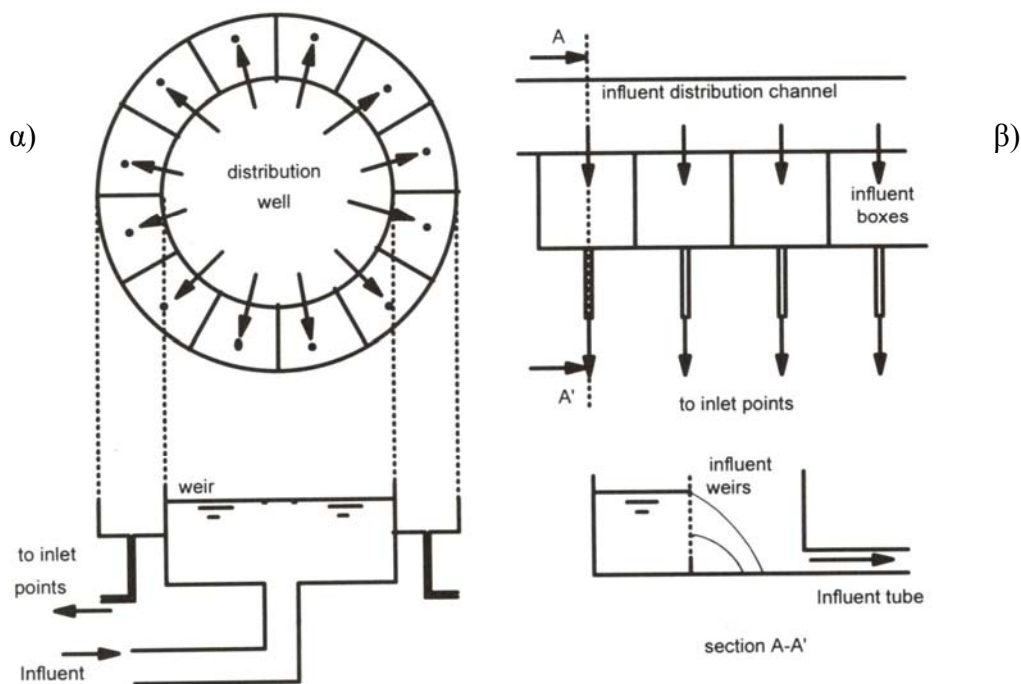
Όταν υπολογίζεται όγκος αντιδραστήρα μεγαλύτερος των 1000 m³, είναι καλύτερα να κατασκευάζονται δύο αντιδραστήρες αντί για έναν. Στην περίπτωση αυτή η διατομή τους, προτείνεται να είναι ορθογωνική, για την οικονομία των υλικών, αφού με τον τρόπο αυτό η μία τους πλευρά μπορεί να είναι κοινή.

ii) η διάταξη εισαγωγής αποβλήτων

Σκοπός του συστήματος εισαγωγής αποβλήτων είναι η δημιουργία συνθηκών τέτοιων που να έχουν ως αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή επαφή μεταξύ ιλύος και αποβλήτου. Η εισαγωγή των αποβλήτων γίνεται από αρκετά σημεία στη βάση του αντιδραστήρα, κατάλληλα κατανομημένα, με στόχο την αποφυγή σχηματισμού καναλιών και νεκρών γωνιών στο εσωτερικό του.

Με την βοήθεια πειραμάτων διαπιστώθηκε, ότι μετά την φάση εκκίνησης του αντιδραστήρα, η περιοχή που μπορεί να καλύψει ικανοποιητικά ένα σημείο εισόδου, κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4 m², για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 20 ° C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η εκπομπή του βιοαερίου είναι χαμηλότερη με αποτέλεσμα η ανάμιξη ιλύος και αποβλήτου να μην είναι τόσο αποτελεσματική και να απαιτούνται περισσότερα σημεία εισόδου ανά τετραγωνικό επιφάνειας βάσης του αντιδραστήρα. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται 1 σημείο εισόδου ανά 1 - 2 m².

Η διάταξη των σημείων εισαγωγής αποβλήτων μπορεί να είναι κυκλική ή ορθογωνική όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Για να εξασφαλιστεί η όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη κατανομή των αποβλήτων στα διάφορα σημεία εισόδου, προτείνεται το όλο σύστημα να τοποθετείται πάνω από τη στάθμη των αποβλήτων του αντιδραστήρα έτσι ώστε η εισαγωγή των αποβλήτων να γίνεται με τη βοήθεια της βαρύτητας.



Σχήμα 3.2 : Διατάξεις εισαγωγής αποβλήτων, α) κυκλική, β) ορθογωνική

iii) η διάταξη συλλογής βιοαερίου

Η συλλογή του βιοαερίου από τον αντιδραστήρα γίνεται με τη βοήθεια ενός διαχωριστήρα φάσεων. Ο διαχωριστήρας των φάσεων είναι από τα πιο σημαντικά στοιχεία σε έναν αντιδραστήρα UASB. Διαχωρίζει τις τρεις φάσεις που υπάρχουν σε αυτόν, το βιοαέριο, την υγρή και την στερεά φάση. Επιτελεί τέσσερις διαφορετικές λειτουργίες : 1) συλλέγει το βιοαέριο που διαφεύγει από την υγρή φάση, 2) επιτρέπει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών που συγκεντρώνονται στην ζώνη πάνω από αυτόν, 3) βοηθάει να έχει η εκροή χαμηλή συγκέντρωση σε ολικά αιωρούμενα στερεά, 4) ο χώρος που δημιουργείται πάνω από αυτόν, χρησιμεύει στην επέκταση της κλίνης ιλύος, στην περίπτωση προσωρινά υψηλών υδραυλικών φορτίων. Κατά την λειτουργία του αντιδραστήρα η συγκέντρωση της λάσπης στην ανώτερη ζώνη καθίζησης, μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερη από ότι στην περιοχή ακριβώς κάτω από τον διαχωριστήρα.

Η σωστή λειτουργία του εξασφαλίζει ότι το βιοαέριο που σχηματίζεται στην ζώνη χώνευσης δεν θα φτάσει στη ζώνη καθίζησης. Αν κάτι τέτοιο δεν εξασφαλιστεί οι στροβιλισμοί που θα προκαλέσει το αέριο στη ζώνη καθίζησης θα οδηγήσουν στην απώλεια λάσπης και βιοαερίου.

Μία επίσης απαραίτητη διάταξη για τον διαχωρισμό των φάσεων, είναι και ο ανακλαστήρας, στοιχείο που στην πραγματικότητα συνοδεύει τον διαχωριστήρα για την αποτελεσματικότερη λειτουργία του. Τοποθετείται λίγο πιο κάτω από τον διαχωριστήρα και στόχος του είναι να περιορίσει την διαφυγή του βιοαερίου στην ζώνη καθίζησης.

Στην ζώνη καθίζησης πάνω από τον διαχωριστήρα καταλήγουν τα συσσωματώματα με ταχύτητα καθίζησης μικρότερη από την μέγιστη ταχύτητα ανόδου της υγρής φάσης. Τα συσσωματώματα που θα βρεθούν στην ζώνη καθίζησης και θα έχουν ταχύτητα καθίζησης που θα υπερβαίνει την ελάχιστη ταχύτητα εκροής της υγρής φάσης θα συγκρατηθούν και δεν θα διαφύγουν οδηγώντας έτσι στην σταδιακή δημιουργία μεγαλύτερων συσσωματωμάτων που κάποια στιγμή θα είναι δυνατό να επιστρέψουν στην ζώνη της χώνευσης.

Στη σωστή λειτουργία του όλου συστήματος καθοριστικής σημασίας είναι η σωστή διάταξη του διαχωριστήρα και του ανακλαστήρα τόσο μεταξύ τους όσο και συνολικά. Τα δύο αυτά στοιχεία θα πρέπει να υπερκαλύπτουν το ένα το άλλο για την αποτελεσματικότερη λειτουργία τους. Μία μέση επικάλυψη για αντιδραστήρες συνολικού ύψους 4-6 μέτρων είναι τα **10 εκατοστά**. Μεγαλύτερη επικάλυψη μπορεί να φέρει τα αντίθετα αποτελέσματα αφού μείωση της επιφάνειας ροής του υγρού σε αυτό το κρίσιμο σημείο, δημιουργεί μεγαλύτερες ταχύτητες ροής. Οι κλίσεις που πρέπει να έχουν οι πλευρικές επιφάνειες των δύο αυτών στοιχείων είναι της τάξης των **45° με 60°**.

Στην περίπτωση των αστικών λυμάτων όπου το υδραυλικό φορτίο είναι η κύρια σχεδιαστική παράμετρος, είναι σημαντικό στο επίπεδο του διαχωριστήρα που είναι ένα κρίσιμο σημείο η ταχύτητα να παραμένει όσο πιο χαμηλή γίνεται.

Στους περισσότερους αντιδραστήρες τύπου UASB, ο όγκος που καταλαμβάνει η ζώνη καθίζησης που βρίσκεται γύρω και πάνω από τον διαχωριστήρα, είναι της τάξης του **15-20 % του συνολικού όγκου**.

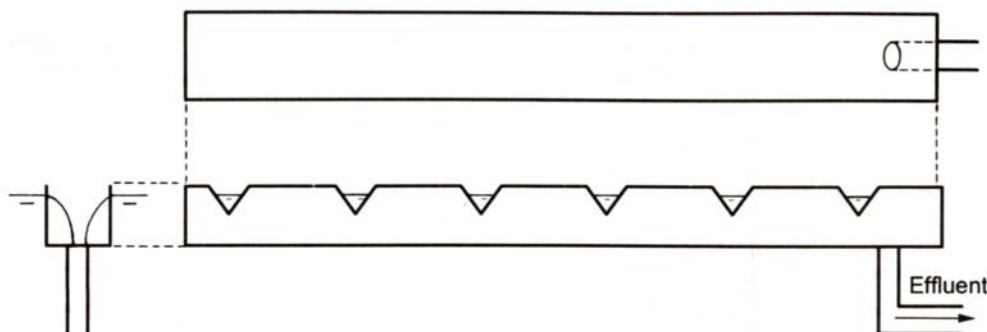
Σύμφωνα με την εμπειρία σε εγκαταστάσεις full scale ο **ρυθμός εκπομπής βιοαερίου** θα πρέπει να είναι της τάξης του **1-3 m³m⁻²h⁻¹**, κάτι που δεν είναι εφικτό για αραιά απόβλητα όπως είναι τα αστικά. Αν είναι

πολύ μικρότερος υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθεί ένα πυκνό και σκληρό (σε χαμηλές θερμοκρασίες) στρώμα στην διεπιφάνεια υγρού – αερίου στο πάνω μέρος του διαχωριστήρα, που δεν θα επιτρέπει την έξοδο του βιοαερίου από τον αντιδραστήρα. Στην περίπτωση που ο ρυθμός εκπομπής του βιοαερίου γίνει πολύ μεγαλύτερος από τον προτεινόμενο θα σχηματιστεί αφρός στην διεπιφάνεια, ιδιαίτερα στα απόβλητα που περιέχουν πρωτεΐνες, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην απόφραξη του συστήματος απομάκρυνσης του βιοαερίου.

iv) η διάταξη απομάκρυνσης αποβλήτων

Η απομάκρυνση των αποβλήτων γίνεται με κατάλληλη διάταξη στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα. Στόχος όλων των συστημάτων είναι η λειτουργία αυτή να γίνεται ομαλά και όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα, για την αποφυγή δημιουργίας τυρβωδών ροών στο εσωτερικό του αντιδραστήρα.

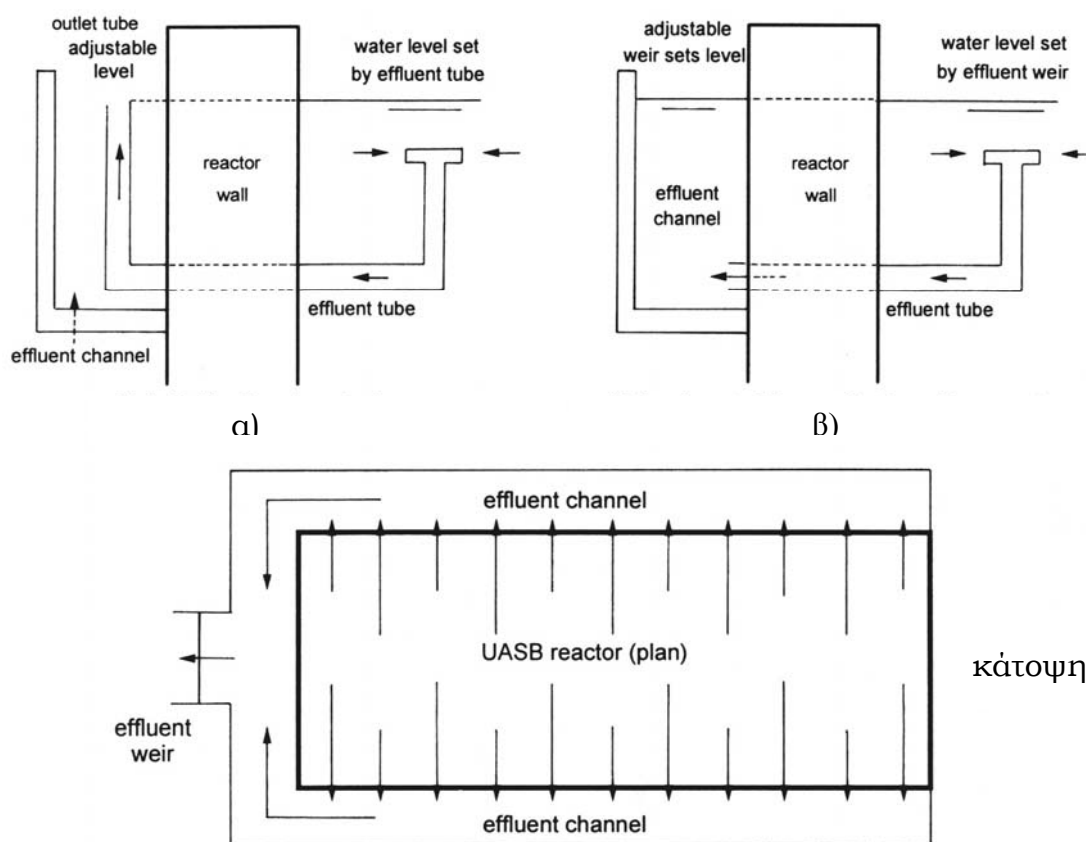
Η πιο συνηθισμένη διάταξη σε μονάδες μεγάλου μεγέθους, είναι ένα σύστημα οριζόντιων ανοικτών αγωγών, με εγκοπές στα πλάγια σχήματος V, οι οποίες επιτρέπουν την είσοδο του υγρού στο εσωτερικό τους και έτσι στη συνέχεια το απομακρύνουν (σχήμα 3.3). Συχνά στις εγκοπές προσαρμόζεται κατάλληλο σύστημα που δεν επιτρέπει την είσοδο των στερεών που επιπλέουν, για την αποφυγή προβλημάτων φραγής του συστήματος. Για ταχύτητες ροής 0.5 - 1.0 m/h ο αριθμός των εγκοπών σχήματος V είναι 1 με 2 ανά τετραγωνικό μέτρο (Haandel & Lettinga 1994).



Σχήμα 3.3 : Διάταξη απομάκρυνσης αποβλήτων με εγκοπές σχήματος V

Ένα εναλλακτικό σύστημα είναι η εγκατάσταση αγωγών κάτω από την επιφάνεια του υγρού, που θα το συλλέγουν και θα το οδηγούν έξω από τον αντιδραστήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4.

Ένα ακόμη σημείο που θα πρέπει να εξετάσει κανείς προσεκτικά, είναι το υλικό κατασκευής του αντιδραστήρα. Η αναερόβια διεργασία δημιουργεί γενικά ένα διαβρωτικό περιβάλλον. Το ανοξείδωτο ατσάλι και το σκυρόδεμα είναι δύο υλικά που χρησιμοποιούνται σε μικρούς και μεγάλους αντιδραστήρες αντίστοιχα. Είναι όμως δυνατόν και αυτά τα υλικά να παρουσιάσουν προβλήματα διάβρωσης ιδιαίτερα στην περιοχή της διεπιφάνειας υγρού αερίου. Γενικά συνίσταται η χρήση μονωτικών υλικών και ειδικών καλυμμάτων στις κρίσιμες περιοχές χωρίς όμως να μπορούν να εξασφαλίσουν απόλυτη προστασία. Οι σωληνώσεις καλό είναι να είναι από PVC.



Σχήμα 3.4 : Διατάξεις απομάκρυνσης αποβλήτων

3.2 Συνδυασμός τεχνολογιών

Ένα σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας τύπου UASB επεξεργάζεται συνήθως απόβλητα υψηλού ρυπαντικού φορτίου. Έτσι η εκροή του συστήματος τις περισσότερες φορές εξακολουθεί να έχει χαρακτηριστικά που δεν επιτρέπουν την άμεση διάθεση της σε κάποιο φυσικό αποδέκτη, τόσο όσον αφορά τις τιμές εκροής των TSS, COD, BOD κ.α. αλλά και την ύπαρξη ή όχι παθογόνων μικροοργανισμών (Dahab 2002). Συνεπώς ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα για την ολοκληρωμένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων, καθιστώντας απαραίτητη και τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τους.

Τα συστήματα που έχουν κατά καιρούς συνδυαστεί εξαρτώνται από το είδος και το ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων που εφαρμόζονται, τις διάφορες οικονομικές παραμέτρους, την τεχνογνωσία που έχει αναπτυχθεί και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης.

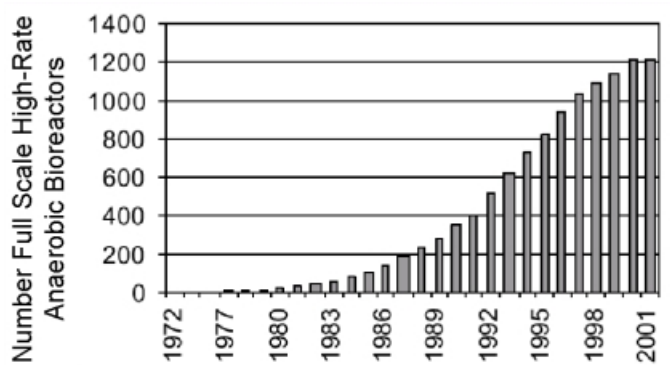
Τα αερόβια συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων συνδυάζονται συχνά με τους αναερόβιους αντιδραστήρες ειδικά όταν πρόκειται για απόβλητα πολύ υψηλού ρυπαντικού φορτίου όπως είναι τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων. Στην περίπτωση αυτή ο ρόλος του αναερόβιου συστήματος είναι να μειώσει το οργανικό φορτίο του αποβλήτου σε τέτοιο βαθμό που να είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία του αποβλήτου αερόβια, χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα.

Η αναερόβια επεξεργασία μπορεί να συνδυαστεί και με την *κροκίδωση* αποτελώντας ακόμα και ένα ολοκληρωμένο σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων. Σε πειράματα που έχουν γίνει για αστικά λύματα, οι τιμές της εκροής του συστήματος για TSS και COD κυμάνθηκαν μεταξύ 24-36 mg/L και 38-55 mg/L αντίστοιχα (Γεωργίου Μ. 2002).

Πειράματα γίνονται και για τον συνδυασμό της *οζόνωσης* με την αναερόβια χώνευση. Αφορούν κυρίως υγρά απόβλητα ελαιουργείων, αφού με την οζόνωση ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας, επιχειρείται η μείωση των φαινολών, που είναι η κύρια αιτία τοξικότητας, για τα μεθανογενή βακτήρια της αναερόβιας χώνευσης, σε αυτού του είδους τα απόβλητα. (Benitez 1997, Andreozzi 1998, Battimelli 2003)

3.3 Εφαρμογές

Από την στιγμή που ανακαλύφτηκε ο αντιδραστήρας UASB την δεκαετία του '70, άρχισε σχεδόν αμέσως να δοκιμάζεται η λειτουργία του και σε φυσικό μέγεθος πέρα από τα εργαστηριακά πειράματα. Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται ο αριθμός των αναερόβιων μονάδων που λειτουργούν στον κόσμο κάθε χρονιά από το 1970 μέχρι το 2001.



Διάγραμμα 3.1 :
Ετήσια κατανομή των
αναερόβιων αντιδραστήρων

Ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποιες αναερόβιες μονάδες τύπου UASB που λειτουργούν σε φυσικό μέγεθος ανά τον κόσμο.

1. Η μονάδα της Bucaramanga στην Κολομβία 1990, αστικά λύματα

Το 1990 σχεδιάστηκε για την πόλη της Bucaramanga η μεγαλύτερη, μέχρι εκείνη την στιγμή, μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με αντιδραστήρες τύπου UASB, για ισοδύναμο πληθυσμό 160.000 κατοίκων. Η Bucaramanga όπως και πολλές άλλες πόλεις της Νότιας Αμερικής εκείνη την περίοδο αντιμετώπιζε μία πληθυσμιακή έκρηξη που οδήγησε και στην ανεξέλεγκτη μόλυνση του περιβάλλοντος. Μέσα στα μέτρα που λήφθηκαν για την προστασία του περιβάλλοντος ήταν και η κατασκευή μίας αναερόβιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων.

Για να διαπιστωθεί ποιο αναερόβιο σύστημα ήταν καταλληλότερο για την περίπτωση, στήθηκαν δύο πιλοτικές μονάδες. Ένας αντιδραστήρας UASB και μία αναερόβια λίμνη. Η κάθε μονάδα ήταν όγκου 35 m³ και ακολουθούσαν από μία λίμνη, facultative ponds ως δευτεροβάθμια επεξεργασία. Τα αποτελέσματα από την λειτουργία αυτών των μονάδων φαίνονται στον πίνακα 3.3.

Σύστημα	Αναερόβια λίμνη	Αντιδραστήρας UASB	
HRT (h)	21	19	5
COD _{rem} (%)	60	72	66
BOD _{rem} (%)	67	79	80
TSS _{rem} (%)	69	70	69

Πίνακας 3.3 : Αποτελέσματα πιλοτικών μονάδων

Έτσι αποφασίστηκε η κατασκευή ενός συστήματος με αναερόβιους αντιδραστήρες UASB σε συνδυασμό με λίμνες. Τα κριτήρια βάσει των οποίων σχεδιάστηκε το σύστημα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

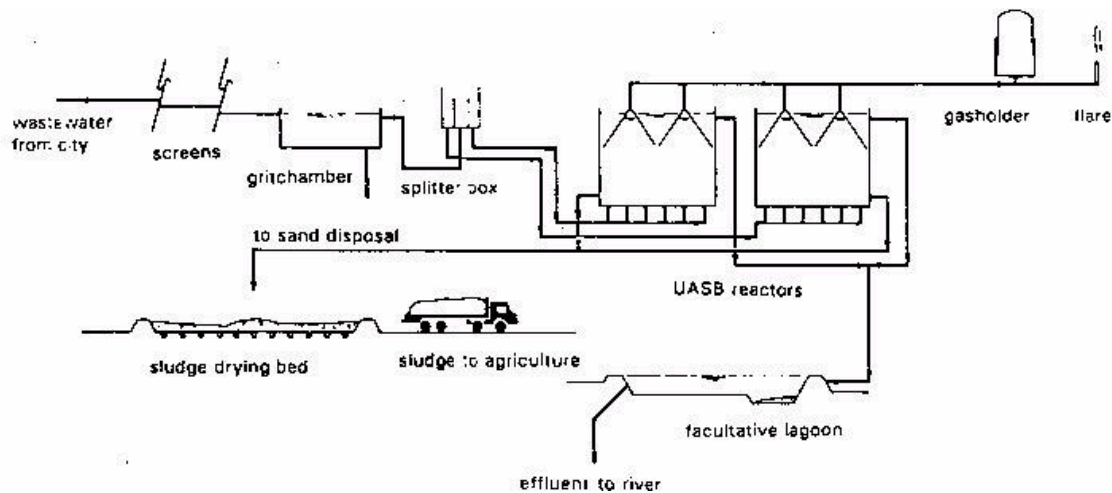
Τελικά κατασκευάστηκαν δύο αντιδραστήρες UASB, με όγκο 3300 m³ ο καθένας, και μία λίμνη έκτασης 2.7 ha. Για την ξήρανση της αναερόβιας ιλύος, κατασκευάστηκαν 48 κλίνες με επιφάνεια 120 m² η κάθε μία. Οι αντιδραστήρες κατασκευάστηκαν από ένα είδος σκυροδέματος, terracrete, ενώ άλλη πιθανή λύση θα ήταν η κατασκευή τους από ανοξείδωτο ατσάλι. Τα εξωτερικά στοιχεία των αντιδραστήρων κατασκευάστηκαν από πολυεστέρα. Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η γενική διάταξη του συστήματος.

UASB		lagoons	
μέσος HRT (h)	5.2	BOD (kg/ha*d)	550
min HRT (h)	3.0	βάθος (m)	1.50
βάθος (m)	4.00	BOD _{rem} (%)	50
BOD _{rem} (%)	70	μέσος HRT (h)	30
max COD			
Συνολικό BOD _{rem} = 85 %			

Πίνακας 3.4 : Σχεδιαστικά κριτήρια συστήματος

Στους αντιδραστήρες UASB υπάρχει ένα σημείο εισόδου αποβλήτων ανά 2.9m², δηλαδή στην κάθε δεξαμενή αντιστοιχούν 288 σημεία εισόδου. Ο διαχωριστήρας κατασκευάστηκε με κλίση 52 °, και ύψος 1.40 m. Η κλίση δεν θα μπορούσε να είναι μικρότερη, γιατί σε αδρά υλικά όπως το σκυρόδεμα υπάρχει ο κίνδυνος να συγκρατείται η λάσπη στα τοιχώματα

τους, αντί να οδηγείται στην ζώνη της κώνευσης. Πολύ μεγαλύτερες κλίσεις πάλι δεν ενδείκνυνται αφού απλά μεγαλώνουν το ύψος της ζώνης καθίζησης.



Σχήμα 3.5 : Η γενική διάταξη του συστήματος, Bucaramanga

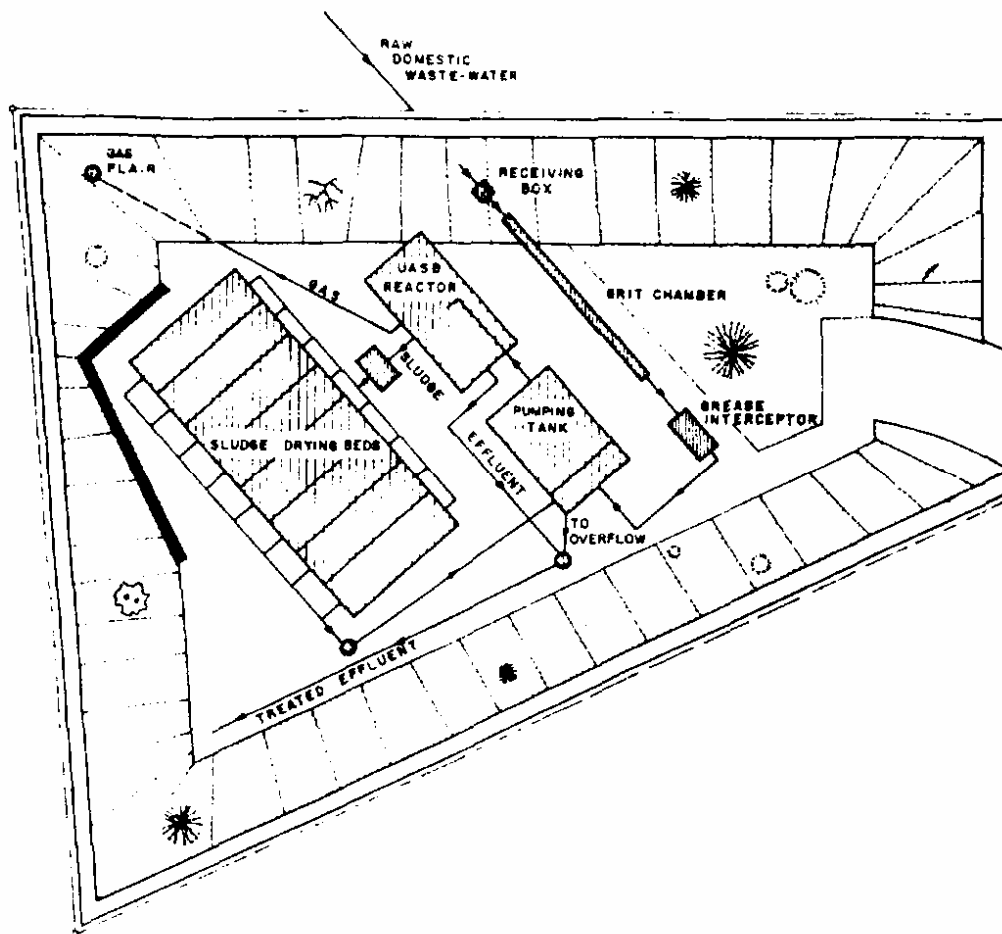
2. Η μονάδα της Sumare για αστικά λύματα, Brazil 1992

Στην πόλη της Sumare, που απέχει 150km από την πρωτεύουσα της Βραζιλίας το Sao Paulo, αποφασίστηκε να κατασκευαστεί μία αναερόβια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Λόγω οικονομικών προβλημάτων η μονάδα δεν θα καλύπτει τις ανάγκες όλης της πόλης (156.000 κάτοικοι), αλλά μόνο μία μικρή περιοχή με 1410 κατοίκους.

Το σύστημα αποτελείται από δύο σειρές κόσκινων, ένα με άμμο και ένα για την απομάκρυνση των λιπών, μία δεξαμενή άντλησης, τον αντιδραστήρα UASB, κλίνες ξήρανσης της ιλύος και μετρητή του βιοαερίου (σχήμα 3.6).

Οι σχεδιαστικές παράμετροι του συστήματος είναι :

- Παροχή λυμάτων ανά κάτοικο και ημέρα 150L
- Μέση παροχή 9,5 m³/h
- max παροχή 16,6 m³/h
- max ταχύτητα ανοδικής ροής στον αντιδραστήρα 1,25 m/h
- μέσος HRT 7,0 h



Σχήμα 3.6 : Η διάταξη του συστήματος, Sumare

Η πλευρική και κάτω επιφάνεια του αντιδραστήρα UASB κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα ενώ από πάνω κλείστηκε με fiberglass. Έχει όγκο 120 m³. Τα σημεία εισόδου είναι ένα ανά 2 m². Η μέση θερμοκρασία της περιοχής για το χειμώνα είναι 16 °C ενώ για το καλοκαίρι είναι 23 °C, έτσι ο αντιδραστήρας λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Γενικά δεν δημιουργούνται οσμές και υπάρχουν οπίθια πολύ κοντά στην μονάδα (10m).

Τα αποτελέσματα της λειτουργίας της μονάδας φαίνονται στον πίνακα 3.5. Η σχετικά υψηλή τιμή BOD εισόδου που παρατηρείται είναι συνηθισμένη για τις περιοχές με χαμηλό βιοτικό επίπεδο.

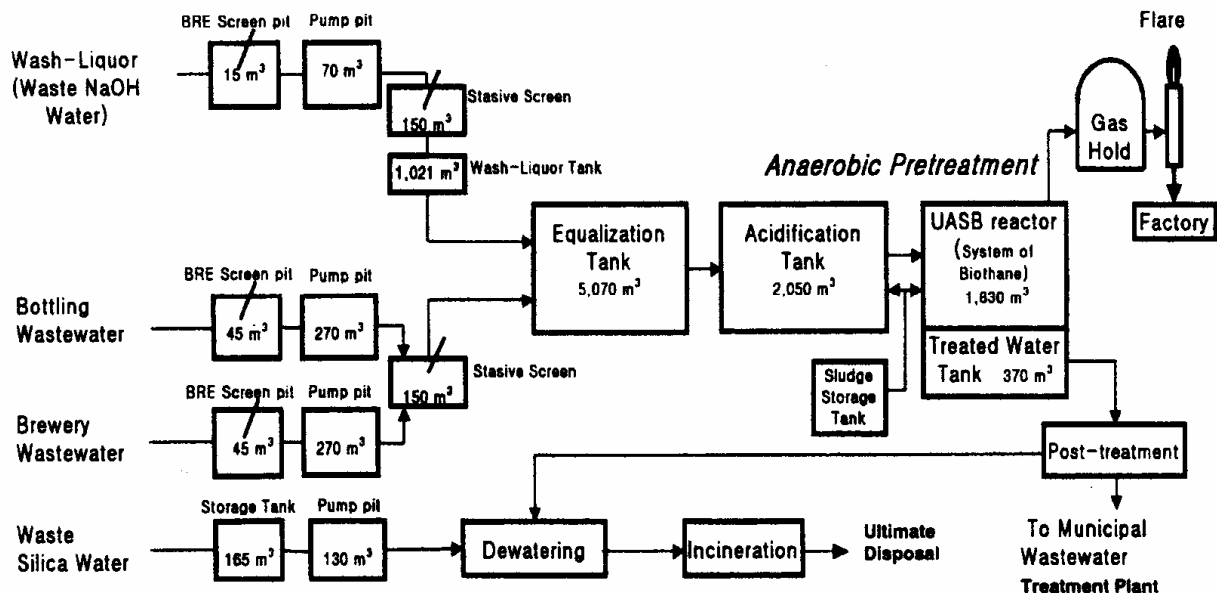
	BOD _T	BOD _S	COD _T	COD _S	TSS
Εισροή (mg/L)	515	209	402	436	379
Εκροή (mg/L)	102	85	232	185	50
Απομάκρυνση (%)	80	60	74	57	87

Πίνακας 3.5 : Τα αποτελέσματα της λειτουργίας της μονάδας

3. Βιομηχανικά απόβλητα από μία ζυθοποιεία, Kumi Korea 1993

Στη ζυθοποιεία Oriental στην πόλη Kumi της Κορέας κατασκευάστηκε και άρχισε να λειτουργεί το 1993, ένα σύστημα αναερόβιου αντιδραστήρα τύπου UASB για την επεξεργασία των αποβλήτων της απόσταξης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετέπειτα διάθεση τους στο αποχετευτικό δίκτυο της περιοχής.

Το σύστημα αποτελείται από μία πρώτη δεξαμενή 'ισορροπίας' των αποβλήτων, από μία δεξαμενή οξείδωσης και τέλος από τον αντιδραστήρα UASB. Η διάταξη του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 : Η διάταξη του συστήματος, Kumi

Αρχικά παρουσιάστηκαν προβλήματα στη λειτουργία του συστήματος. Το κύριο πρόβλημα ήταν, ότι γινόταν συχνά έκπλυση της ιλύος από το

εσωτερικό του αντιδραστήρα, έτσι χρειαζόταν να 'εμβολιάζεται' συχνά η μονάδα με αναερόβια ιλύ από άλλους αντιδραστήρες. Η δυσκολία για την σταθεροποίηση της μονάδας ξεκινούσε από το γεγονός ότι η ιλύς με την οποία εμβολιαζόταν αρχικά ο αντιδραστήρας, ήταν φτωχή για την επεξεργασία τέτοιου είδους αποβλήτων (15 -20 kg COD/m³d).

Ο σχεδιασμός της μονάδας έγινε βάσει των παρακάτω δεδομένων.

- Μέση ημερήσια παροχή 7000 m³/d, max 9000 m³/d
- COD 1700-3500 mg/L (μέσο 2500mg/L)
- Max ημερήσιο φορτίο 17,7 ton COD/d
- COD_s/COD_{tot} =0.76
- SS 300-900 mg/L (μέσο 700mh/L)
- pH 4-11
- θερμοκρασία 14-35 °C

Έτσι η μονάδα κατασκευάστηκε ως εξής :

Για την πρώτη δεξαμενή (equalization tank)

- HRT 17 h
- Όγκος 5070 m³

Για τον αντιδραστήρα οξίνισης (pre-acidification reactor)

- HRT 7 h
- pH 6.5-7.3
- Όγκος 2050 m³

Για τον αντιδραστήρα UASB

- Οργανικό φορτίο 7-15 kg COD/m³d
- Ταχύτητα ανοδικής ροής 1 m/h
- HRT 6.7 h
- pH 6.8-7.5
- COD removal > 75%
- Όγκος 1830 m³

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η διαδικασία που ακολουθήθηκε είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα, και μπορεί να αποτελεί την προεπεξεργασία τέτοιου είδους αποβλήτων πριν την διάθεση τους στο

αποχετευτικό δίκτυο. Παρόλα αυτά η ύπαρξη δεξαμενής οξίνισης πριν τον αντιδραστήρα UASB, δεν συνιστάται και θα μπορούσε να προκαλέσει και την αποτυχία του συστήματος. Το παραγόμενο βιοαέριο καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας κατά 30 με 45 %.

4. Βιομηχανικά απόβλητα από μία ζυθοποιεία, Harare, Zimbabwe 2003

Στη Ζιμπάμπουε υπάρχουν 20 εργοστάσια μπύρας opaque, που παράγουν πάνω από 420 εκατομμύρια λίτρα μπύρας το χρόνο. Έτσι χρησιμοποιώντας μεγάλους όγκους νερού, τα εργοστάσια αυτά παράγουν και μεγάλους όγκους αποβλήτων. Στο μεγαλύτερο από αυτά τα εργοστάσια στην πόλη Harare, εγκαταστάθηκε ένα σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας των αποβλήτων με αντιδραστήρες UASB.

Ο όγκος του αντιδραστήρα UASB είναι 500 m³ και υπολογίστηκε βάσει μίας μέσης οργανικής φόρτισης της τάξης των 6kg COD/m³ ανά ημέρα. Το σύστημα αποτελείται από μία δεξαμενή αποθήκευσης των αποβλήτων, κόσκινα (0.5 mm), μία δεξαμενή ‘ισορροπίας’ (balancing) και τον αντιδραστήρα UASB. Τα φίλτρα τοποθετήθηκαν για την απομάκρυνση των μεγάλων αιωρούμενων στερεών. Η δεξαμενή ισορροπίας τοποθετήθηκε για την για να εξαλείψει τις μεταβολές στο pH και το οργανικό φορτίο έτσι ώστε τα λύματα να έχουν όσο το δυνατόν πιο σταθερά χαρακτηριστικά.

Η προσθήκη θρεπτικών συστατικών γίνεται σε τέτοιες ποσότητες έτσι ώστε η αναλογία COD:N:P να είναι 100:5:1. Το pH των αποβλήτων κυμαίνεται μεταξύ 3,3 και 6,3 έτσι για την διατήρηση του κοντά στο 7 προστίθεται σόδα. Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι περίπου στους 37°C.

Έγιναν μετρήσεις για χρονικό διάστημα των δύο ετών, όπου φάνηκε ότι η εκροή του συστήματος μπορεί να διοχετεύεται με ασφάλεια, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα, στη μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων της περιοχής. Ταυτόχρονα λόγω της εκροής σημαντικών ποσοτήτων βιοαερίου το σύστημα είναι ελκυστικό και από οικονομική άποψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

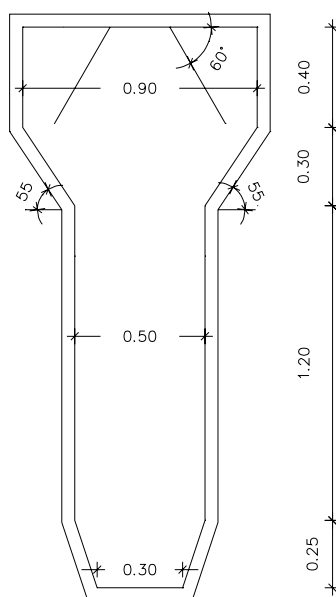
Η πιλοτική μονάδα

4.1 Διαστασιολόγηση της μονάδας

Η διαστασιολόγηση του αντιδραστήρα έγινε βάσει των διαστάσεων και των αναλογιών που επιλέγονται για τις μεγάλες μονάδες (full scale), όπως ήδη έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, συνυπολογίζοντας όμως ότι πρόκειται για πιλοτική μονάδα. Ο ωφέλιμος όγκος του αντιδραστήρα αποφασίστηκε να είναι **600L**. Το ύψος επιλέχθηκε να είναι στα **2m** έτσι ώστε να είναι εφικτό να αναπτυχθούν σωστά όλες οι ζώνες επεξεργασίας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα.

Δεδομένου ότι πρόκειται για πιλοτική μονάδα, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία διαφόρων ειδών αποβλήτων, με ενδεχόμενες πιθανές διαφοροποιήσεις στις επιτρεπόμενες ταχύτητες ανόδου τους, αποφασίστηκε η επιφάνεια της ζώνης καθίζησης να είναι μεγαλύτερη από την επιφάνεια της ζώνης κώνευσης, με στόχο την πρόληψη πιθανών μελλοντικών προβλημάτων. Έτσι δεδομένου ότι : α) αν ο αντιδραστήρας είχε κατακόρυφα τοιχώματα σε όλο το ύψος του, θα ήταν ένας κύλινδρος ύψους 2 m και ακτίνας περίπου 0,3 m, β) το άνω τμήμα της ζώνης καθίζησης θα έχει μεγαλύτερη επιφάνεια από ότι η ζώνη κώνευσης και γ) με βάση τις αναλογίες του εργαστηριακού αναερόβιου αντιδραστήρα UASB «Διαμαντής», που βρίσκεται στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος,

ο αντιδραστήρας κατασκευάστηκε με τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 : Οι διαστάσεις του αντιδραστήρα



Εικόνα 4.1 : Γενική άποψη της πιλοτικής μονάδας

4.2 Περιγραφή της μονάδας

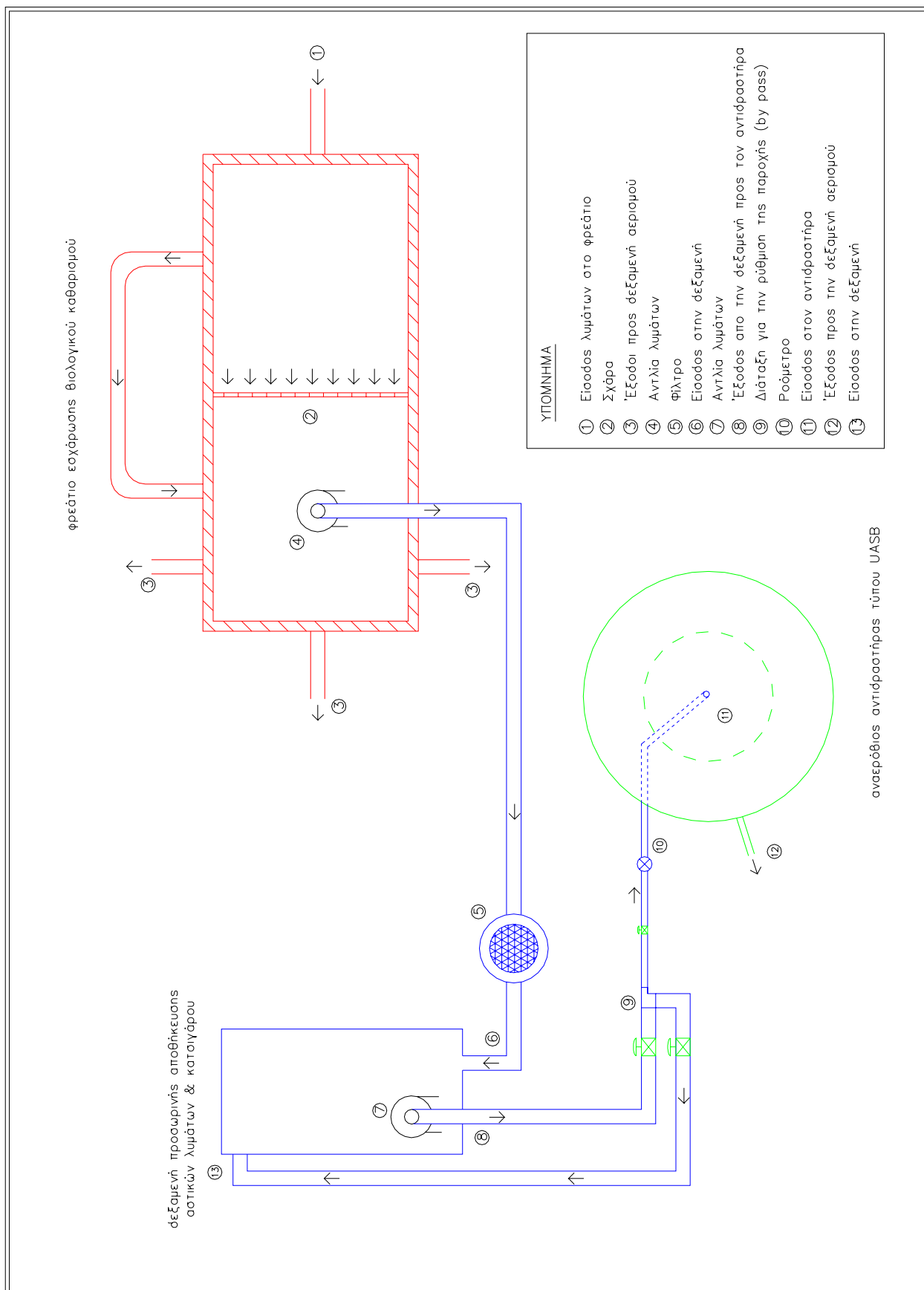
Η πιλοτική μονάδα εγκαταστάθηκε στο χώρο του Βιολογικού Καθαρισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης (εικόνα 4.1). Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται η μονάδα είναι ένα φίλτρο συγκράτησης στερεών, μία δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης υγρών αποβλήτων και μία αναερόβια κλίνη ανοδικής ροής (αντιδραστήρα τύπου UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

4.2.1 Γενική διάταξη της μονάδας

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η διάταξη του πιλοτικού συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στο φρεάτιο εσχάρωσης του βιολογικού καθαρισμού τοποθετήθηκε υποβρύχια αντλία ακαθάρτων της εταιρίας WILO, μοντέλο TC 40/8 που οδηγεί τα λύματα σε ένα «φίλτρο» της εταιρείας OSI (λιπόφοβο κόσκινο που χρησιμοποιείται ευρέως σε σηπτικές δεξαμενές για συγκράτηση στερεών και λιπών). Από το φίλτρο τα λύματα με φυσική ροή καταλήγουν σε μία δεξαμενή από PVC, όγκου 1 m³, όπου αποθηκεύονται προσωρινά. Στη δεξαμενή αυτή τοποθετήθηκε μία αντλία, ίδιου ακριβώς τύπου με την προηγούμενη, για να στέλνει τα υγρά απόβλητα στον αντιδραστήρα. Για την καλύτερη ρύθμιση της παροχής εισόδου στον αντιδραστήρα, αλλά και τη σωστότερη λειτουργία της αντλίας, έγινε μία διάταξη by pass, έτσι ώστε ένα τμήμα της παροχής της αντλίας να μην εισέρχεται στον αντιδραστήρα, αλλά να επιστρέφει στη δεξαμενή αποθήκευσης. Αποτέλεσμα αυτής της διάταξης είναι η συνεχής ανάμιξη των αποβλήτων στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης, χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας ειδικής διάταξης για αυτό το σκοπό.

Λίγο πριν την είσοδο των λυμάτων στον αντιδραστήρα, συνδέθηκε κατάλληλα ροόμετρο, ώστε να είναι δυνατή, η συνεχής παρακολούθηση της ποσότητας των λυμάτων που εισέρχονται στον αντιδραστήρα.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν διαθέτει δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, καθώς πρόκειται για μικρής κλίμακας έργο. Έτσι για την αποφυγή προβλημάτων φραγής των



Σχήμα 4.2 : Η διάταξη του πιλοτικού συστήματος

σωληνώσεων της μονάδας, και διοχέτευσης στο εσωτερικό του αντιδραστήρα ανεπιθύμητων στερεών, κρίθηκε απαραίτητη η τοποθέτηση ενός φίλτρου.

Η δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης υγρών αποβλήτων στοχεύει στο να υπάρχει η δυνατότητα τροφοδοσίας του αντιδραστήρα με ‘φιλτραρισμένα’ λύματα σταθερής παροχής, καθώς και με λύματα που δεν θα προέρχονται απαραίτητα από την αποχέτευση του Πολυτεχνείου

4.2.2 Ο αναερόβιος αντιδραστήρας UASB

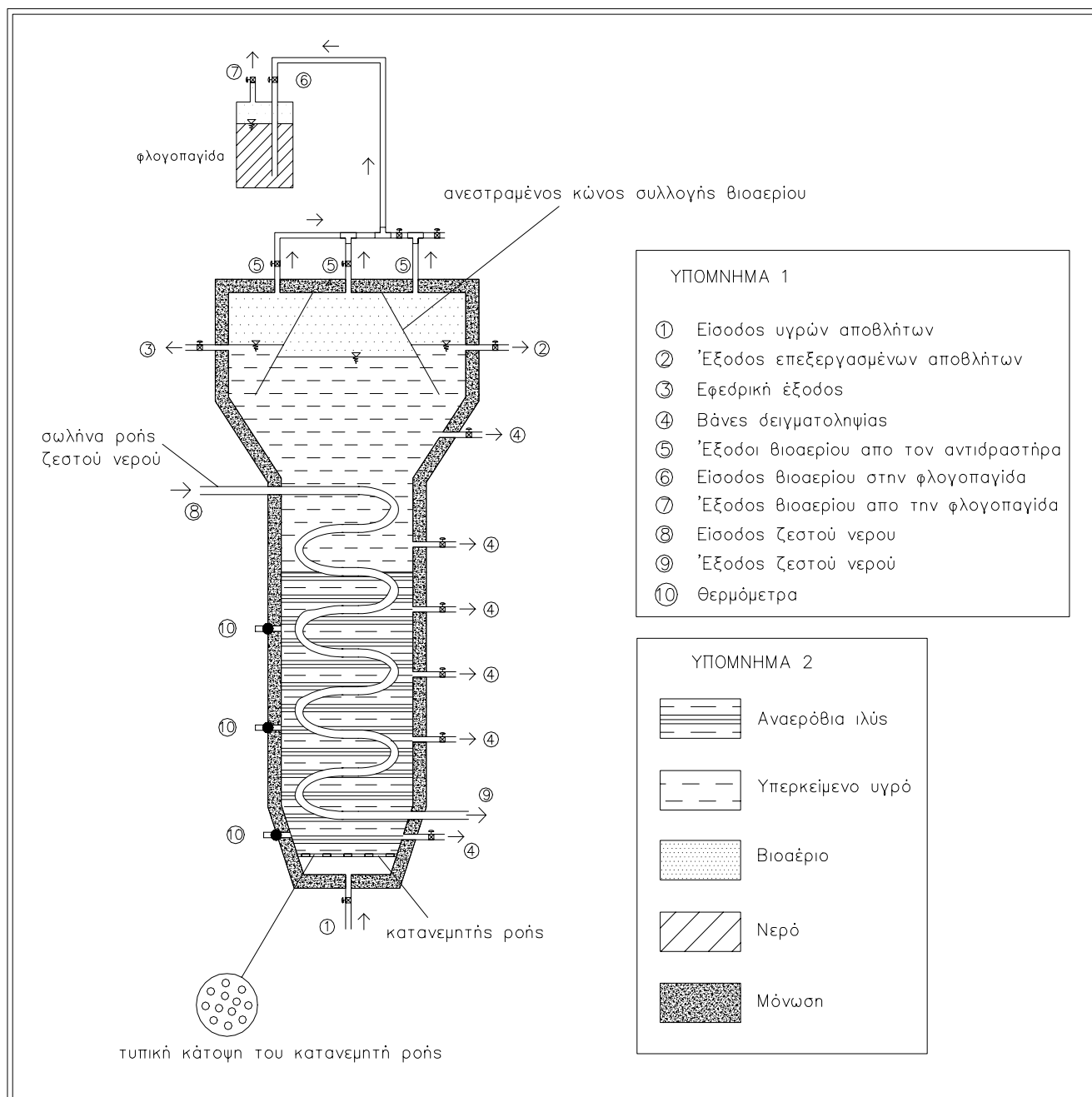
Ο αναερόβιος αντιδραστήρας υψηλού ρυθμού είναι τύπου Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB). Έχει κατασκευαστεί από ανοξείδωτο ατσάλι και η ακριβής του μορφή του παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3.

Η είσοδος των λυμάτων γίνεται από το κάτω μέρος του αντιδραστήρα (1). Για να εξασφαλιστεί η κίνηση των λυμάτων σε όλο τον όγκο του αντιδραστήρα, και να αποφευχθεί η δημιουργία ‘νεκρών’ ζωνών στο εσωτερικό του, τοποθετήθηκε λίγο μετά την είσοδο των λυμάτων μία διάταξη κατανομής της ροής. Η διάταξη αυτή είναι ένας διάτρητος δίσκος που δεν επιτρέπει στην παροχή να συνεχίσει αμέσως την ανοδική της πορεία, αλλά την αναγκάζει να κινηθεί πρώτα πλευρικά και μετά προς τα πάνω, περνώντας έτσι μέσα από όλο τον όγκο του αντιδραστήρα.

Η κατεύθυνση της κίνησης των λυμάτων μέσα στον αντιδραστήρα, από κάτω προς τα πάνω, σε συνδυασμό με τη μικρή παροχή άρα και ταχύτητα ροής, οδηγούν στη συσσώρευση της αναερόβιας ιλύος στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα, σχηματίζοντας έτσι ένα πηχτό στρώμα λάσπης, μέσα στο οποίο λαμβάνουν χώρα όλες οι βιολογικές διεργασίες. Τα λύματα συνεχίζοντας την πορεία τους προς τα επάνω βγαίνουν από το στρώμα της λάσπης και επεξεργασμένα πλέον (υπερκείμενο υγρό) εξέρχονται από τον αντιδραστήρα.

Ο αντιδραστήρας έχει δύο εξόδους. Η έξοδος (2) είναι η κύρια, ενώ η έξοδος (3) έχει εφεδρικό χαρακτήρα για την περίπτωση που, για οποιονδήποτε λόγο, δεν είναι εφικτή η χρησιμοποίηση της πρώτης εξόδου. Καθ’ ύψος του αντιδραστήρα υπάρχουν ακόμα έξι βάνες εξόδου (4), των οποίων όμως ο ρόλος είναι διαφορετικός. Σκοπός αυτών των εξόδων δεν

είναι η απομάκρυνση του υπερκείμενου υγρού, αλλά ο έλεγχος της στάθμης της ιλύος μέσα στον αντιδραστήρα και η δυνατότητα απομάκρυνσης της περίσσειας ιλύος.



Σχήμα 4.3 : Ο αντιδραστήρας UASB

Η αναερόβια επεξεργασία των λυμάτων είναι η μικροβιολογική αποδόμηση της οργανικής ύλης σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Έτσι

από την επεξεργασία αυτή παράγεται βιοαέριο, το οποίο συλλέγεται με τη βοήθεια κατάλληλης διάταξης σχήματος ανεστραμμένου κώνου. Στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα βρίσκονται τρεις έξοδοι για το βιοαέριο (5). Η δεξιά έξοδος έχει εφεδρικό χαρακτήρα. Η κεντρική έξοδος είναι η μεσαία, αφού σε αυτή με την βοήθεια του ανεστραμμένου κώνου συλλογής, καταλήγει το μεγαλύτερο μέρος του παραγόμενου βιοαερίου. Η αριστερή έξοδος έχει βοηθητικό χαρακτήρα αφού μέσω αυτής επιτυγχάνεται όχι μόνο η έξοδος του βιοαερίου που δεν έχει συλλεχθεί από τον ανεστραμμένο κώνο, αλλά και η μείωση στροβιλισμών στο υπερκείμενο υγρό που δημιουργούνται από την ταυτόχρονη έξοδο του βιοαερίου και του υπερκείμενου υγρού.

Το εξερχόμενο βιοαέριο οδηγείται σε μία φλογοπαγίδα. Η φλογοπαγίδα ή παγίδα νερού, είναι ένα δοχείο με μορφή όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3, που περιέχει νερό, όχι όμως σε όλο τον όγκο του. Το βιοαέριο εισέρχεται μέσα από ένα σωλήνα στη μάζα του νερού (6) και από εκεί βγαίνει στον κενό χώρο που υπάρχει στο δοχείο. Στη συνέχεια εξέρχεται στην ατμόσφαιρα από κατάλληλο άνοιγμα (7). Η διάταξη αυτή αφ' ενός προστατεύει τον αντιδραστήρα από τυχόν εξάπλωση φωτιάς λόγω ανάφλεξης του βιοαερίου, αφού το βιοαέριο είναι εύφλεκτο, και αφ' ετέρου απαγορεύει την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα στον αντιδραστήρα καθιστώντας τον έτσι αεροστεγή.

Τα περισσότερα αναερόβια βακτήρια αναπτύσσονται στη μεσοφιλική περιοχή (15 έως 45 °C) με αποτέλεσμα οι περισσότεροι αντιδραστήρες αυτού του είδους να ρυθμίζονται να λειτουργούν σε θερμοκρασίες 30 – 38 °C, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Ο συγκεκριμένος αντιδραστήρας έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει από θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 55° C. Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός συστήματος που περιλαμβάνει θερμοσίφωνα, κυκλοφορητή νερού και κατάλληλη διάταξη στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2. Στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, μέχρι το ύψος που προβλέπεται να υπάρχει ενεργός ιλύς, τοποθετήθηκε σπείρα σωλήνα για την κυκλοφορία του ζεστού νερού που έχει ως αποτέλεσμα τη θέρμανση του εσωτερικού του αντιδραστήρα. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του εσωτερικού του αντιδραστήρα γίνεται με τη βοήθεια τριών θερμομέτρων (10) που βρίσκονται

στην πλευρική επιφάνεια του αντιδραστήρα. Για την καλύτερη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα, τοποθετήθηκε και μόνωση γύρω από όλα τα τοιχώματα του, έτσι ώστε έχει όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες θερμότητας.

4.3 Φωτογραφίες από την μονάδα



1. Η πιλοτική μονάδα



2. Το μηχανοστάσιο



3. Η αντλία στο φρεάτιο με τα λύματα



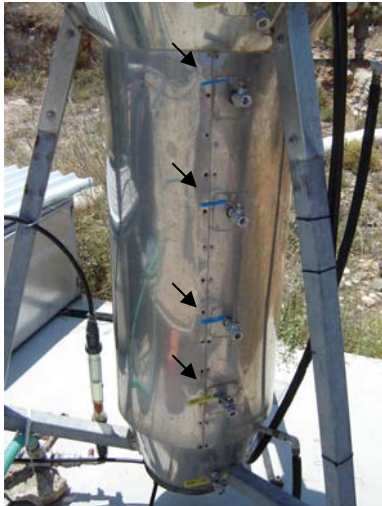
4. Το φίλτρο και η δεξαμενή αποθήκευσης



5. Το ροόμετρο



6. Η είσοδος στον αντιδραστήρα



7. Τα σημεία δειγματοληψίας



8. Τα θερμόμετρα



9. Η έξοδος των επεξεργασμένων
λυμάτων και του βιοαερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

Η αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων με αντιδραστήρες υψηλού ρυθμού τύπου UASB, είναι μία διεργασία σχετικά καινούρια. Αναπτύχθηκε τα τελευταία 25 χρόνια, έτσι οι μονάδες που κατασκευάστηκαν σε φυσικό μέγεθος δεν είναι ακόμα πολλές. Ταυτόχρονα όμως περιορίζονται και γεωγραφικά σε περιοχές με τροπικό ή υποτροπικό κλίμα, αφού οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν εκεί κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου μειώνουν σημαντικά τις ενεργειακές απαιτήσεις των μονάδων.

Η αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι μία τεχνολογία με μεγάλο φάσμα εφαρμογών και χρησιμότητα αφού απευθύνεται σε πολλών ειδών απόβλητα. Το γεγονός ότι μπορεί να δώσει λύση στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, που γενικά θεωρούνται δύσκολα στον χειρισμό τους, και το χαμηλό λειτουργικό κόστος, αντισταθμίζουν το συχνά υψηλό κόστος κατασκευής μίας τέτοιου είδους μονάδας.

Το χαμηλό κόστος λειτουργίας είναι απόρροια του σωστού σχεδιασμού της μονάδας και της επεξεργασίας λυμάτων υψηλού ρυπαντικού φορτίου, που οδηγούν στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων βιοαερίου. Το βιοαέριο ανάλογα με την ποιοτική του σύσταση και την παραγόμενη ποσότητα, είναι δυνατόν να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας και όχι μόνο.

Η ύπαρξη μόνο αναερόβιας μονάδας δεν μπορεί να αποτελέσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων, γιατί σχεδόν ποτέ η εκροή τους δεν μπορεί να διατεθεί άμεσα στο περιβάλλον. Έτσι οι αναερόβιοι αντιδραστήρες υποχρεωτικά συνδυάζονται και με κάποιου άλλου είδους μονάδα, έτσι ώστε η εκροή όλου του συστήματος να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια για την διάθεση της στο περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Ahn Y-H., Min K-S. & Speece R. E., 2001, “*Full Scale UASB Reactor Performance in the Brewery Industry*”, Environmental Technology, vol. 22, pp 463 – 476.
- Andreozzi R., Longo G., Majone M. & Modesti G., 1998, “*Integrated treatment of olive oil mill effluents (OME) : Study of ozonation coupled with anaerobic digestion*”, Water Resource, vol 32, no 8, pp 2357-2364.
- Battimelli A., Millet C., Delgenes J. P. & Moletta R., 2003, “*Anaerobic digestion of waste activated sludge combined with ozone post – treatment and recycling*”, Water Science & Technology, vol. 48, no 4, pp 61 - 68.
- Benitez F. J., Beltran-Heredia J., Torregrosa J., Acero J.L., 1997, “*Improvement of the anaerobic biodegradation of olive mill wastewaters by prior ozonation pretreatment*”, Bioprocess Engineering 17, pp169-175.
- Dahab M.F., & Surampalli R. Y., 2002, “ *Effects of aerobic ang anaerobic digestion systems on pathgen indicator reduction in municipal sludge*”, Water Science & Technology, vol. 46, no 10, pp 181-187.
- Dinamarca S., Aroca G., Chamy R. & Guerrero L., 2003, “*The influence of pH in the hydrolytic stage of anaerobic digestion of the organic fraction of urban solid waste*”, Water Science & Technology, vol. 48, no 6, pp 249-254.
- Ghangrekar M.M., Asolekar S.R., Joshi S.G., 2005, “*Characteristics of sludge developed under different loading condition during UASB reactor start-up ang granulation*”, Water research, 39, 1123-1133.
- Grady, Jr C. P. L. & Lim H. C., “*Biological Wastewater Treatment*”, Marcel Dekker, Ink, 1999

-
- Haandel A. C. & Lettinga G., “*Anaerobic Sewage Treatment*”, Wiley, 1994.
 - Hulshoff Pol L.W., Castro Lopez S.I., Lettinga G., Lens P.N.L., 2004, “Anaerobic sludge granulation”, *Water Research*, 38, 1376-1389.
 - Kato M. T., Field J. A. & Lettinga G., 1997, “*The anaerobic treatment of low strength wastewaters in UASB and EGSB reactors*”, *Water Science & Technology*, vol. 36, no 6-7, pp 375-382.
 - Lettinga G. & Hulshoff L. W., 1991, “*UASB – Process Designs for Various Types of Wastewater’s*”. *Water Science & Technology*, vol. 24, no 8, pp 87 – 107.
 - Lettinga G., Rebac S., Parshina S., Nozhevnikova A., Lier J.V. & Stams A.J.M., 1999, “High-rate anaerobic treatment of wastewater at low temperatures”, *Applied and Environmental Microbiology*, Apr., p. 1696-1702.
 - Mahmoud N., Zeeman G., Gijzen H., & Lettinga G., 2004, “*Anaerobic sewage treatment in a one stage UASB digester system*”, *Water Research*, 38, 2348-2358.
 - Mendonca N.M., Niciura C.L., Gianotti E.P. & Campos J.R., 2004, “*Full scale fluidized bed anaerobic reactor for domestic wastewater treatment : performance, sludge production and biofilm*”, *Water Science & Technology*, vol. 49, no 11-12, pp 319-325.
 - Parawira W., Kudita I., Nyandoroh M.G., Zvauya R., 2005, “A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full scale UASB reactor seeded with activated sludge”, *Process Biochemistry*, 40, 593-599.
 - Schellingkout A. & Collazos C.J., 1991, “*Full-Scale application of the UASB technology for sewage treatment*”, presented at the 6th International IAWPRC Symposium, Sao Paulo, (<http://www.cepis.ops-oms.org/>).
 - Tagawa T., Takahashi H., Sekiguchi Y. Ohashi A. & Harada H., 2002, “*Pilot-plant study on anaerobic tretment of a lipid and a protein- rich food industrial wastewater by a thermophilic multi- staged UASB reactor*”, *Water Science & Technology*, vol. 45, no 10, pp 225 – 230.
-

- Vieira S. M. M., Carvalho, Barijian F. P. O. & Rech C. M., 1994, “*Application of the UASB technology for sewage treatment in a small community at Sumare, Sao Paolo State*”, Water Science & Technology, vol. 30, no 12, pp. 203 – 210.
- Wolmarans B. & Villiers G. H., 2002, “*Start-up of a UASB effluent treatment plant on distillery wastewater*”, Water SA, vol. 28, no 1 January.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Γεωργίου Μ., Μεταπτυχιακή διατριβή : “Επεξεργασία αστικών λυμάτων από την έξοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης μέσω αναερόβιου αντιδραστήρα UASB, ακολουθούμενη από διεργασία κροκίδωσης”, 2002
- Γκιζγκής Ν., Μεταπτυχιακή διατριβή : “Αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων διφασικών ελαιουργείων και αστικών λυμάτων σε αντιδραστήρα τύπου UASB σε συνδυασμό με αερόβια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας”.2002
- Διαμαντόπουλος Ε., Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος : “Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων”, 2003.
- Καλογεράκης Ν. & Κατσιβελα Ε., Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος : “Περιβαλλοντική Μικροβιολογία”, 2003.