ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Επίδραση της ηλικίας της λάσπης στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός αερόβιου βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Τσαγδή Χαράλαμπου

Επιβλέπων

Απόστολος Βλυσίδης, Καθηγητής της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2018

Πίνακας περιεχομένων

Σύνοψη 3

Περίληψη 3

Κεφάλαιο 1 5

1.1 Εισαγωγή..... 5

1.2 Αιτίες επίπλευσης λάσπης..... 7

1.3 Συστήματα ενεργούς ιλύος 7

1.4 Περιγραφή λειτουργίας συστήματος ενεργούς ιλύος Συστήματα αερισμού 11

1.5 Βιοκινητική των αντιδράσεων 13

1.5.1 Εισαγωγή 13
1.5.2 Κινητικά μοντέλα Βιοοξείδωσης 14
1.5.3 Βιοοξείδωση του BOD..... 15
2. Συστήματα αερισμού..... 17
2.1 Εισαγωγή..... 17

2.2 Απαιτήσεις του βιολογικού σε οξυγώνο 18

2.3 Συστήματα αερισμού..... 22
2.3.1 Υποβρύχια συστήματα αερισμο 23

2.3.2 Έπιφανειακά συστήματα αερισμο..... 24

Κεφάλαιο 3 28

3.1 Προσδιορισμός των δεδομένων και σταθερών του προγράμματος

..... 28

3.2 Διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη κατασκευή του προγράμματος και την εξαγωγή

αποτελεσμάτων

..... 29

4 Αποτελέσματα..... 37

5 Συμπεράσματα 47

Βιβλιοφραφία..... 48

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	***«Επίδραση της ηλικίας της λάσπης στο ενεργειακό ισοζύγιο ενώς βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων***
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	**Τσαγδής Χαράλαμπος**
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	**Απόστολος Βλυσίδης, Καθηγητής της σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ**
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	**2018-19**

Σύνοψη

Στη μεταπτυχιακή εργασία που παραθέτουμε έχουμε σκοπό να εξετάσουμε κατά πόσο το Θc που είναι κύρια σχεδιαστική παράμετρος ενώς βιολογικού καθαρισμού, εάν το μεταβάλουμε κατά το δοκούν που μπορούμε να πάρουμε το μέγιστο ενεργειακό όφελος. Επιπλέον περιγράψαμε τις διαδικασιές της αερόβιας χώνευσης απ'όπου θα παραχθεί η λάσπη που θα οδηγιθεί στην αναερόβια χώνευση για τη παραγωγή μεθανίου.

Έπειτα κάναμε μια αναφορά στα συστήματα ενεργού ιλύος και στα κινητικά μοντέλα βιοοξείδωσης, καθώς και τα συστήματα αερισμού. Τις απαιτήσεις σε οξυγώνο ενώς βιολογικού καθώς και τους τύπους των αεριστήρων..

Τα αποτελέσματα που λάβαμαι και επεξεργαστήκαμε για να βγάλουμε τα τελικά μας συμπεράσματα αφορούσαν κυρίως την ηλικία, τη ποσότητα καθώς και τη σύσταση της λάσπης που προέκυψε από την αερόβια επεξεργασία του αστικού λύματος μας.

Τέλος πήραμε αυτά τα δεδομένα και υπολογίσαμε τα ενεργειακά ισοζυγια του βιολογικού ώστε να διαπιστώσουμε που θα ήταν ιδανικό να λειτουργεί ώστε να πέρναμε το μέγιστο ενεργιακό όφελος.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διαπιστώσουμε με πιο τρόπο επιδρά η ηλικία της λάσπης ,η οποία είναι κύρια σχεδιαστική παράμετρος ενώς βιολογικού,στο ενεργειακό ισοζύγιο όταν εμείς αρχίζουμε να του θέτουμε αυθέρετες τιμές εντώς των προβλεπόμενων ορίων παντα..

Αρχικά γίνεται αναφορά στην αερόβια επεξεργάσια, σε τύπους που μας υπολογίζουν σημαντικές κατασκευαστικές παραμέτρους, καθώς και στα συστήματα ενεργούς ιλυος και στο τρόπο λειτουργίας τους.Η μοντελοποίηση της ενεργούς ιλύος έχει κάποια πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

Έπειτα γίνεται εκτενής αναφορά στις απαιτήσεις ενώς βιολογικού καθαρισμού σε οξυγώνο και πως καταναλώνεται αυτο. Εν συνεχεία αναφέρονται τα συστήματα αερισμού , ο διαχωρισμος τους σε υποβρύχια και επιφανειακά,καθώς και πλεονεκτήματα και μειωνεκτήματα αυτων.

Μετέπειτα γίνεται αναφορά στα δεδομένα τα οποία χρειάστηκαν για να κατασκευαστεί το πρόγραμμα πάνω στο οποίο βασίστηκε η διπλωματική και τα οποία αντιστοιχούν σε αστικά λύματα μίας πόλης 2000 κατοίκων περίπου. Ενώ επιπρόσθετα γίνεται λεπτομερής περιγραφή των συναρτήσεων των οποίων χρησημοποιήθηκαν για τη κατασκευή του προγράμματος.

Τα αποτελέσματα που εξάγαμε έδειξαν ότι το Θc(ηλικία λάσπης) είναι αντιστρώφος ανάλογο του Px (περίσσεια λάσπης). Η απόδοση της αερόβιας επεξεργασίας όσο αναφορά το $BOD_{εξόδου}$ σταθεροποιείται κοντά στο 95% μετά τη $10^η$ ημέρα. Ενώ το ενεργειακό ισοζύγιο του βιολογικού καθαρισμού όπου εξετάζουμε σε αυτή τη περίπτωση μεγιστοποιείται στις πρώτες τρεις ημέρες. Κάτι που γεννάει και άλλα ερωτήματα τα οποία έρχονται σε αντίθεση με τη γενικότερη περιρρέουσα ατμόσφαιρα των τελευταίων δεκαετιών.

PST-GRADUATE THESIS:	**« Effect of age of sludge on energy balance as well as biological waste water treatment»**
STUDENT:	**Tsagdis Charalabos**
SUPERVISOR:	**Apostolos Vlyssides, Professor,of the School of Chemical Engineering, NTUA**
ACADEMIC YEAR:	**2018-19**

Summary

In the postgraduate work we are looking at, we are looking at whether the Thc, which is the main design parameter as a biological purification, if we change it if we can get the maximum energy benefit. In addition, we described the processes of aerobic digestion where the mud to be produced in the anaerobic digestion for the production of methane will be produced.

We then made a reference to activated sludge systems and kinetic biooxidation models as well as ventilation systems. Oxygen requirements as well as aerator types.

The results we received and processed to draw our final conclusions mainly concerned age, quantity and composition of sludge resulting from the aerobic treatment of our urban waste water.

Finally, we took this data and calculated the energy balances of organic so we can see what would be ideal to work to get the maximum energy benefit.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is to determine how the age of the sludge, which is the main design parameter as biological, is influenced in the energy balance when we start to set its own values within the prescribed limits.

Initially, reference is made to the aerobic treatment, to formulas that account for important construction parameters, as well as active sludge systems and their mode of operation. The modeling of active sludge has some advantages that are listed below

An extensive reference is then made to the requirements of biological oxygen scavenging and how it is consumed. Thereafter, aeration systems, their subsoil and surface separation, as well as their advantages and disadvantages are mentioned.

Later, reference is made to the data that was needed to construct the program on which the diploma was based and which corresponds to urban waste water from a city of about 2000 inhabitants. In addition, a detailed description of the functions used to construct the program is provided.

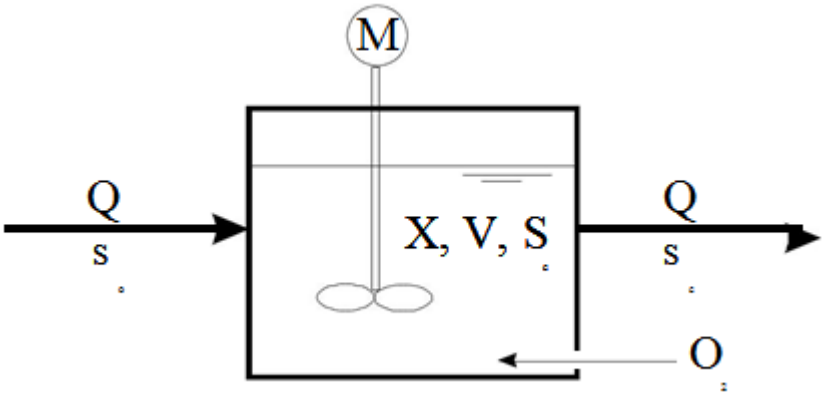
The results we extracted showed that Thc (sludge age) is an antitumor analogue of Px (excess sludge). The aerobic performance as BOD output is stabilized near 95% after day 10. While the energy balance of the biological treatment we are examining in this case is maximized in the first three days. Something that raises other questions that contradict the general overwhelming atmosphere of the past decades

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1.Εισαγωγή

Κατά την αερόβια βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων, τα υγρά απόβλητα εισάγονται σ΄ έναν βιοαντιδραστήρα όπου επικρατούν κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη κυρίως βακτηρίακών καλλιεργειών (συγκέντρωσης οξυγόνου, ανάμιξης, pH, θερμοκρασίας κ.ά.) οι οποίες χρησιμοποιούν σαν θρεπτικό υπόστρωμα τους διαλυτούς ρύπους (BOD, οργανικό και ανόργανο άζωτο, φώσφορος, κ.ά.) μετατρέποντάς τους σε σταθερά προϊόντα αποσύνθεσης (CO2, N2) και προϊόντα σύνθεσης (κυτταρική μάζα) που μπορούν εύκολα να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν από την υγρή φάση. Ένας τέτοιος αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου: Q = η παροχή του υγρού αποβλήτου (m3/d), MLVSS = η συγκέντρωση των αιωρούμενων οργανικών στερεών στον αντιδραστήρα (kg/m3), V = ο όγκος του βιοαντιδραστήρα (m3), So = η συγκέντρωση του BOD5 στην είσοδο του αντιδραστήρα (kg/m3) και Se = η συγκέντρωση του BOD5 στην έξοδο του αντιδραστήρα καθώς και εντός του αντιδραστήρα, εφ΄ όσον είναι πλήρους ανάμιξης, (kg/m3). Στον αντιδραστήρα αυτόν ο χρόνος παραμονής των αιωρούμενων στερεών Θc, συμπίπτει με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής του αποβλήτου Θ στον αντιδραστήρα:

$$\theta_c = \frac{\text{ποσότητα MLVSS στον αντιδραστήρα}}{\text{ποσότητα MLVSS ππο εξέρχονται σε μία ημέρα}} = \frac{X \cdot V}{Q \cdot X} = \frac{V}{Q} = \Theta$$



Επομένως για να ρυθμίσουμε σ΄ έναν τέτοιο αντιδραστήρα το Θc στην επιθυμητή τιμή,πρέπει να υπολογίσουμε σωστά τον όγκο του βιοαντιδραστήρα. Όμως για την ολοκλήρωση των βιοαντιδράσεων αποικοδόμησης του BOD ο απαιτούμενος κινητικός χρόνος (υδραυλικός) δεν ξεπερνά τις δύο ημέρες. Επομένως ένας αντιδραστήρας του σχήματος 8 περιορίζει το Θc σε τιμές μικρότερες των δύο ημερών δηλαδή σε συστήματα καθαρά βακτηριακά. Δεδομένου ότι οι τιμές του Θc πρέπει να κυμαίνονται από 0.2 ημέρες μέχρι 40 ημέρες, για να μπορέσουμε να αυξήσουμε το Θc πρέπει να εφαρμόσουμε έναν μηχανισμό με τον οποίο θα συγκρατούμε τα αιωρούμενα στερεά στον αντιδραστήρα περισσότερο χρόνο απ΄ ότι την υγρή φάση. Ένας τέτοιος μηχανισμός φαίνεται στο σχήμα 9 όπου τοποθετείται στην έξοδο του αερόβιου αντιδραστήρα μία δεξαμενή καθίζησης η οποία συγκρατεί τα αιωρούμενα στερεά δια βαρύτητας και τα οποία με μία συγκέντρωση Xr (kg/m3)μεγαλύτερη από τη X (kg/m3) επανέρχονται στον αερόβιο αντιδραστήρα με μία ροή ανακυκλοφορίας παροχής Qr (m3/d). Για να σταθεροποιηθεί όμως η συγκέντρωση των MLVSS στον αερόβιο αντιδραστήρα πρέπει την επί πλέον παραγόμενη βιόμαζα να την απομακρύνουμε από το σύστημα με μία ροή εξόδου από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης παροχής w (m3/d). Το διάγραμμα ροής του σχήματος 9 αποτελεί το κλασικό σχήμα της μεθόδου της ενεργού ιλύος. Ο χρόνος παραμονής των MLVSS, Θc καθώς και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής Θ είναι πλέον θεωρητικά ανεξάρτητοι μεταξύ τους και δίδονται από τις παρακάτω σχέσεις αντίστοιχα

$$\Theta_c = \frac{X \cdot V}{X \cdot w} \quad , \text{days}$$

$$\Theta \quad \frac{V}{Q} \quad , \text{days}$$

Θεωρητικά, σύμφωνα με την προηγούμενη εξίσωση, μεταβάλλοντας την παροχή w μπορούμε να επιβάλλουμε οποιοδήποτε τιμή του Θc. Έτσι με μία απλή σχετικά υδραυλική διαδικασία μπορούμε να επιβάλλουμε και να ελέγξουμε το επιθυμητό οικοσύστημα της αερόβιας επεξεργασίας. Με την ρύθμιση της παροχή w συνήθως τοποθετούμε το σύστημα στο προσχεδιασμένο σημείο λειτουργίας του Θc, ενώ με τη ρύθμιση της φόρτισης της μονάδας (Q So, kg BOD/d) ελέγχουμε το F/M ώστε το Θc να παραμένει σταθερό.

Προϋπόθεση για την λειτουργία του είναι τα αιωρούμενα στερεά (MLSS) να μεταφέρονται μαζικά στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και όχι στην επιφάνειά της (A, m2). Αυτό βέβαια εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό της δεξαμενής καθίζησης αλλά όμως και από την λειτουργικότητα του αερόβιου αντιδραστήρα. Οι ιδιότητες καθίζησης των MLSS εξαρτώνται από το οικοσύστημα που έχει αναπτυχθεί στην αερόβια διεργασία όπως φαίνεται στο σχήμα 10. Η επίπλευση της λάσπης στην δευτεροβάθμια καθίζηση αποτελεί την σπουδαιότερη αιτία δυσλειτουργίας μιάς μονάδας ενεργούς ιλύος.

1.2. Αιτίες επίπλευσης της λάσπης

Οι αιτίες επίπλευσης της λάσπης είναι οι εξής:

- ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων τα οποία δημιουργούν μεγάλο όγκο με μικρό ειδικό βάρος στην σχηματιζόμενη λάσπη (bulking). Επί πλέον εγκλωβίζουν φυσαλίδες αέρα δημιουργώντας φαινόμενα αφρισμού. Οι αιτίες εμφάνισης των νηματοειδών βακτηρίων είναι πολλές. Η πιο βασική είναι η στιγμιαία ελάττωση του Θc εξ΄ αιτίας υπερβολικής φόρτισης (απότομη αύξηση F/M). Επίσης η ελάττωση του αζώτου σε σχέση με τον άνθρακα κάτω από το 1 προς 30 ευνοεί την ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων.

- Αν για κάποιους λόγους αυξηθεί υπερβολικά το Θc (>20 ημέρες), λόγω ενδογενούς οξείδωσης, τα οργανικά αιωρούμενα στερεά οξειδώνονται και ανοργανοποιούνται με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στην επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης σαν μικρά στίγματα (pin floc).

- Αν η λάσπη παραμείνει στη δεξαμενή καθίζησης περισσότερο από 2.5 ώρες τότε αναπτύσσονται αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες οι οποίες ευνοούν την μετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο και την παραγωγή μεθανίου από την οργανική λάσπη. Οι φυσαλίδες των παραγομένων αυτών αερίων βοηθούν στην επίπλευση της λάσπης.

Επομένως ο σωστός σχεδιασμός της δεξαμενής καθίζησης των MLSS αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα καλής λειτουργίας ενός συστήματος ενεργούς ιλύος.

1.3.Συστήματα ενεργού ιλύος

Ανάλογα με την τιμή του Θc ή του F/M μπορούμε να καθορίσουμε σε ποια περιοχή ανάπτυξης των βακτηρίων θα λειτουργεί το σύστημα της ενεργούς ιλύος, δηλαδή αν θα λειτουργεί στην περιοχή της λογαριθμικής ανάπτυξης ή στην περιοχή της στασιμότητας ή στην ενδογενή περιοχή. Σύμφωνα με την τιμή του F/M διακρίνονται τα παρακάτω συστήματα ενεργούς ιλύος.

- **Τροποποιημένος αερισμός (Modified aeration)**

Είναι το πλέον ταχύρυθμο σύστημα. Η τιμή του F/M (kg BOD / kg MLVSS -d) κυμαίνεται από 1,5 - 5. Για να επιτευχθεί μια τέτοια υψηλή τιμή του F/M πρέπει ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών να μην υπερβαίνει τις 12 ώρες. Λόγω της μεγάλης στοιβάδας των πολυσακχαριτών, η λάσπη έχει μεγάλο όγκο (SVI > 200 ml/g) με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται υψηλές συγκεντρώσεις της στον βιοαντιδραστήρα αερισμού (200-500 mg/l). Το σύστημα λειτουργεί καθαρά στην περιοχή της εκθετικής

ανάπτυξης και το BOD καταναλώνεται σε αντιδράσεις σύνθεσης, με αποτέλεσμα η παραγωγή της βιόμαζας να είναι μεγάλη.

Εξαιτίας του χαμηλού Θc (ηλικία λάσπης ή χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών), σχεδόν όλες οι καλλιέργειες των μικροοργανισμών είναι βακτηριακές και το φαινόμενο της ενδογενούς αναπνοής είναι σχεδόν ανύπαρκτο. Παράλληλα όμως το φαινόμενο της λύσης (σήψης) είναι υψηλό, εξαιτίας της βακτηριακής φύσης των πληθυσμών, έτσι η παραγωγή δευτερογενούς BOD είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα το τελικό BOD του επεξεργασμένου αποβλήτου να εμφανίζεται μεγάλο. Έτσι η απόδοση καθαρισμού κυμαίνεται από 40% ως 60%. Αν και το τελικό επεξεργασμένο απόβλητο είναι πολύ καλά διαυγασμένο, όμως, λόγω μεγάλου SVI (όγκος λάσπης), αρκετές φορές αιωρούμενα στερεά υπερχειλίζουν και απομακρύνονται από το σύστημα μαζί με τα επεξεργασμένα απόβλητα.

Ο μεγάλος όγκος της λάσπης απαιτεί μεγάλη παροχή ανακυκλοφορίας από τη δεξαμενή δευτερογενούς καθίζησης προς τον αντιδραστήρα αερισμού ώστε να μπορεί να συντηρείται η συγκέντρωση των μικροοργανισμών σε υψηλές συγκεντρώσεις για να επιτυγχάνονται μεγάλες αποδόσεις. Όμως έτσι αυξάνεται υπερβολικά και η απαίτηση για μεγάλη επιφάνεια της δεξαμενής δευτερογενούς καθίζησης εξουδετερώνοντας τα θετικά οικονομικά οφέλη της ταχύρυθμης λειτουργίας.

Επομένως το σύστημα αυτό ενδείκνυται ως το πρώτο στάδιο βιολογικού καθαρισμού σε απόβλητα με υψηλό BOD και μεγάλη υδραυλική παροχή ώστε να μην είναι αναγκαία η χρήση δεξαμενή δευτερογενούς καθίζησης.

Λόγω μικρού υδραυλικού χρόνου παραμονής, επομένως και μικρών βιοαντιδραστήρων οξείδωσης, δεν μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη μεταφορά οξυγόνου στην υγρή φάση και επομένως υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου. Έτσι το σύστημα αυτό δεν μπορεί να πετύχει συνθήκες νιτροποίησης αλλά μόνο συνθήκες απονιτροποίησης.

- **Ταχύρυθμος αερισμός (High rate aeration)**

Η τιμή του F/M στο σύστημα αυτό κυμαίνεται από 0,4 - 1,5 kg BOD / kg MLVSS-d, ενώ παράλληλα το Θc κυμαίνεται από 0,5 - 10 ημέρες. Για να μπορέσει να επιτευχθεί αυτό πρέπει η ανάπτυξη των βακτηρίων να βρίσκεται στη λογαριθμική φάση ανάπτυξης η οποία επίσης έχει όλα τα δυσμενή χαρακτηριστικά του συστήματος του modified aeration, αλλά παράλληλα επιτρέπει την ανάπτυξη κατωτέρων πρωτοζώων (μαστιγοφόρα) τα οποία μπορούν να ελέγχουν την συγκέντρωση του πρωτογενούς BOD αλλά και την ανάπτυξη δευτερογενούς BOD.

Έτσι στην περιοχή αυτή λειτουργίας, παρόλη την υψηλή τιμή του F/M, παρατηρείται πολύ καλή κροκίδωση της βιολογικής λάσπης με ανάλογη χαμηλή τιμή του όγκου της (SVI < 100ml/g) (Σχήμα 4). Έτσι η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στον αερόβιο βιοαντιδραστήρα μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα, μέχρι και 10.000 mg/l. Η απόδοση καθαρισμού κυμαίνεται από 70 - 90%.

Το σύστημα αυτό ενδείκνυται ως το πρώτο στάδιο βιολογικού καθαρισμού σε απόβλητα με υψηλό BOD και μικρή υδραυλική παροχή.

- **Συμβατικός αερισμός (Conventional aeration)**

Η τιμή του F/M στο σύστημα αυτό κυμαίνεται από 0,15 - 0,4 kg BOD/ kg MLVSS –d, ενώ το Θc κυμαίνεται από 5-15 ημέρες. Το σύστημα αυτό, ανάλογα με τη θερμοκρασία, επιτρέπει τη μερική μέχρι και την ολική νιτροποίηση των αμμωνιακών καθώς και τη μερική βιοοξείδωση της ενδογενούς βιόμαζας. Έτσι οι απαιτήσεις σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερες απ' ό,τι στα δύο προηγούμενα συστήματα. Η απόδοση του καθαρισμού μπορεί να ανέλθει μέχρι και 95%. Στο σύστημα αυτό επιτυγχάνεται μία ισορροπία μεταξύ των γεννήσεων και θανάτων των βακτηριακών πληθυσμών.

Το σύστημα αυτό ενδείκνυται για βιολογική επεξεργασία, ενός σταδίου, βιομηχανικών αποβλήτων, με υψηλή συγκέντρωση BOD, οργανικού αζώτου και φωσφόρου, για τα οποία δεν απαιτείται απόδοση μεγαλύτερη από 90-
95% καθώς επίσης δεν απαιτείται και πλήρη νιτροποίηση - απονιτροποίηση και αποφωσφόρωση.

- **Παρατεταμένος αερισμός (Extended aeration)**

Το σύστημα αυτό είναι το πλέον αργόρυθμο και το πλέον διαδεδομένο, ιδιαίτερα στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Οι λόγοι είναι:

(α) Είναι το πιο σταθερό απ' όλα τα προηγούμενα συστήματα, διότι έχει τους μεγαλύτερους χρόνους παραμονής, τόσο του αποβλήτου (18-36 ώρες), όσο και των μικροοργανισμών (20-30 ημέρες).

(β) Έχει τις μεγαλύτερες αποδόσεις καθαρισμού μέχρι και 97%.

(γ) Επιτυγχάνει πλήρη νιτροποίηση των αμμωνιακών

(δ) Παράγει τη λιγότερη και την πιο σταθεροποιημένη λάσπη.

Μειονεκτήματά του είναι:

(α) Απαιτούνται μεγάλοι όγκοι βιοαντιδραστήρων (0,05 < F/M < 0,15) και επομένως το πάγιο κόστος των εγκαταστάσεων είναι υψηλό.

(β) Απαιτείται μεγάλη παροχή οξυγόνου, διότι το οικοσύστημά του επιβιώνει κύρια από την οξείδωση της ενδογενούς βιόμαζας (δευτερογενές BOD).

Εξαιτίας της μεγάλης βιοοξείδωσης της ενδογενούς βιόμαζας, καθώς επίσης και του χαμηλού F/M, η στοιβάδα των πολυσακχαριτών γύρω από τους μικροοργανισμούς είναι από ελάχιστη έως ανύπαρκτη, με αποτέλεσμα την αδυναμία της ενεργούς ιλύος να

ενσωματώσει τα αιωρούμενα αδρανή στερεά, μέρος των οποίων παρασύρονται και υπερχειλίζουν με τα επεξεργασμένα απόβλητα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται πως η παράμετρος Θc ή η ισοδύναμή της παράμετρος F/M είναι η πλέον καθοριστική παράμετρος σχεδιασμού για την ένταξη του συστήματος ενεργούς ιλύος σε έναν από τους παραπάνω τύπους.

Ρυθμίζοντας την εξαγωγή w , μπορούμε να ρυθμίζουμε το Θc σε οποιαδήποτε τιμή επιθυμούμε. Ακριβώς σε αυτή τη δυνατότητα εύκολης ρύθμισης του Θc στις αυξομειώσεις των ρυπαντικών φορτίων εισαγωγής βασίζεται το γεγονός, ότι η παράμετρος Θc είναι η σπουδαιότερη παράμετρος σχεδιασμού και ελέγχου όλου του συστήματος της ενεργής ιλύος. Με τις αυξομειώσεις των φορτίων εισόδου, ανάλογα ρυθμίζουμε τις παροχές εξόδου και επιστροφής λάσπης, έτσι ώστε το Θc να παραμένει σταθερό, και ίσο με το Θc σχεδιασμού ($Θc^d$).

Το Θc συσχετίζεται άμεσα με την παράμετρο F/M και επομένως μπορούμε να σχεδιάσουμε οποιοδήποτε τύπο συστήματος ενεργούς ιλύος χρησιμοποιώντας εμπειρικά όρια για τις υπόλοιπες παραμέτρους σχεδιασμού.

Σε όλα τα συστήματα η απομείωση των διαλυτών οργανικών στερεών (πρωτογενές BOD) βασίζεται στη βιοξείδωση των βακτηριακών πληθυσμών. Τα πρωτόζωα ελέγχουν τόσο το δευτερογενές BOD (λύση μικροοργανισμών) όσο και τους πληθυσμούς των βακτηρίων. Όσο το σύστημα επιτρέπει την ανάπτυξη ολοένα και ανώτερων πρωτοζώων (μεγαλύτερο Θc, μεγαλύτερη συγκέντρωση οξυγόνου) τόσο περισσότερο ελέγχεται η ανάπτυξη των βακτηρίων και επομένως τόσο και ο ρυθμός της συνολικής βιοοξείδωσης του πρωτογενούς BOD ελαττώνεται. Έτσι το σύστημα του βιολογικού καθαρισμού όσο περισσότερο ελέγχει την πληθυσμιακή ανάπτυξη των βακτηρίων τόσο αργόρυθμο είναι απαιτώντας μεγαλύτερους όγκους αντιδραστήρα οξείδωσης και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για την μεταφορά του απαραίτητου οξυγόνου από την αέρια φάση στην υγρή, αλλά επιτυγχάνει ολοένα και καλύτερη απόδοση ως προς την απομείωση του BOD, ελαχιστοποιώντας την παραγωγή κυτταρικής μάζας η οποία είναι και περισσότερο σταθεροποιημένη. Επίσης με την ελαχιστοποίηση της παραγόμενης κυτταρικής μάζας αυξάνεται η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από την σταθεροποίηση των διαλυτών οργανικών ενώσεων, επιτρέποντας την ανάπτυξη των αυτότροφων μικροοργανισμών και ευνοώντας την νιτροποίηση, μία επιθυμητή οξειδωτική βιολογική διεργασία απαράιτητη για την απομάκρυνση του οργανικού αζώτου από τα υγρά απόβλητα.

Στα συστήματα Modified aeration και High rate η λειτουργία τους βασίζεται κύρια στη βακτηριακή ανάπτυξη και επομένως κατατάσσονται στην κατηγορία των ταχύρυθμων συστημάτων (high rate), σε αντίθεση με τα συστήματα conventional και extended τα οποία βασίζονται στο πρωτοζωϊκό έλεγχο των βακτηρίων και επομένως κατατάσσονται στη κατηγορία των αργόρυθμων συστημάτων (low rate).

Όταν το απόβλητο περιέχει υψηλό οργανικό φορτίο (BOD) καθώς επίσης και υψηλή συγκέντρωση οργανικού αζώτου τότε ενδείκνυται η χρήση βιολογικού συστήματος οξείδωσης δύο σταδίων, ενός ταχύρυθμου ακολουθούμενου από ένα αργόρυθμο (high – low rate). Στο σύνθετο αυτό σύστημα μπορεί να συνδυαστεί τόσο η υψηλή απόδοση απομείωσης του και του οργανικού αζώτου όσο και η χαμηλή παραγωγή βιολογικής λάσπης και μάλιστα σταθεροποιημένης.

Μάλιστα τα συστήματα των δύο σταδίων ενδείκνυνται στην περίπτωση όταν το απόβλητο περιέχει και τοξικές ενώσεις που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των οικοσυστημάτων των βιολογικών καθαρισμών. Συνήθως η τοξική δράση εκδηλώνεται πολύ δραστικότερα στα πρωτόζωα παρά στα βακτήρια και αυτό οφείλεται στο ότι ο χρόνος διπλασιασμού των βακτηρίων είναι πολύ μικρότερος απ΄ ότι στα πρωτόζωα και έτσι από τη μία μπορούν να επιβιώσουν τα βακτήρια ευκολότερα στο τοξικό περιβάλλον και από την άλλη μπορούν ευκολότερα να το εξουδετερώσουν. Στα συστήματα των δύο σταδίων, το πρώτο στάδιο βασιζόμενο στη βακτηριακή ανάπτυξη μπορεί να εξουδετερώσει πλήρως ή μερικώς την τοξικότητα του αποβλήτου και έτσι το δεύτερο στάδιο να είναι πολύ πιο αποτελεσματικό από την περίπτωση χρησιμοποίησης ενός μόνο σταδίου.

1.4.Περιγραφή λειτουργίας συστήματος ενεργούς ιλύος

Ολες οι βασικές αρχές της βιοτεχνολογίας για την απομάκρυνση των βασικών ρυπαντών ενός αποβλήτου, που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 5 μπορούν να συνδυαστούν κατάλληλα στα συστήματα της ενεργής ιλύος.

Αρχικά, το απόβλητο εισέρχεται σε κλειστή δεξαμενή, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες (διαλυμένο οξυγόνο = 0 mg/l, redox < 0). Εκεί το απόβλητο αναμιγνύεται με την ενεργή λάσπη που επιστρέφει από τη δεξαμενή δευτερογενούς καθίζησης, και παραμένει στις συνθήκες αυτές για ικανοποιητικό χρόνο, ώστε να επικρατήσει το φαινόμενο της αναεροβίωσης (luxury) και του εμπλουτισμού της βιολογικής λάσπης με μικροοργανισμούς τύπου P+ (όχι περισσότερο από 2,5 ώρες).

Κατόπιν το απόβλητο μαζί με την ενεργή λάσπη εισέρχεται σε δεξαμενή όπου επικρατούν ανοξικές συνθήκες (0 < διαλυμένο οξυγόνο < 0,5), έτσι ώστε τα νιτρικά να μετατραπούν σε αέριο άζωτο. Για να επιτευχθούν ανοξικές συνθήκες, απαιτείται μια εσωτερική ανακυκλοφορία από τη δεξαμενή αερισμού που είναι πλούσια σε διαλυμένο οξυγόνο. Η παροχή της εσωτερικής ανακυκλοφορίας καθορίζεται από τις ανάγκες της ανοξικής περιοχής σε οξυγόνο και από την απαίτηση για βιοαναγωγή των νιτρικών, που παράγονται στην οξειδωτική ζώνη, σε άζωτο. Στην ανοξική ζώνη παρατηρείται μια σημαντική απομείωση του BOD, ανάλογη της αναγωγής των νιτρικών, λόγω μετατροπής του σε CO2.

Μετά την ανοξική ζώνη τα απόβλητα με την επιστρεφόμενη ενεργή λάσπη, εισέρχονται σε ζώνη οξική, όπου υπάρχει έντονη παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου. Στη ζώνη αυτή

γίνεται οξείδωση του BOD, οξείδωση των αμμωνιακών σε νιτρικά, προσρόφηση των φωσφορικών από τους μικροοργανισμούς τύπου P+ και μετατροπή τους σε πολυφωσφορικά. Η περιεκτικότητα του αποβλήτου σε BOD και νιτρικά, προσδιορίζει ποια βιοαντίδραση είναι το αργότερο στάδιο και επομένως καθορίζει το σχεδιασμό της αερόβιας ζώνης.

Μετά την αερόβια ζώνη το απόβλητο εισάγεται σε κατάλληλη δεξαμενή καθίζησης (τελικός διαυγαστήρας, δευτερογενής δεξαμενή καθίζησης), όπου διαχωρίζεται η ενεργή ιλύς από την υγρή φάση και το μεν απόβλητο υπερχειλίζει και οδηγείται στην τριτογενή επεξεργασία, η δε λάσπη επιστρέφει στην αναερόβια φάση. Η περίσσεια παραγόμενη λάσπη απομακρύνεται από τη γραμμή επιστροφής της ενεργής λάσπης. Ανάλογα με την καθημερινά απορριπτόμενη λάσπη καθορίζεται και ελέγχεται η ηλικία της λάσπης (χρόνος παραμονής της λάσπης, Θc). Η παράμετρος Θc είναι η πιο σπουδαία παράμετρος σχεδιασμού και ελέγχου της εγκατάστασης, διότι συσχετίζεται άμεσα με τον μικροβιακό πληθυσμό που επικρατεί στο σύστημα της ενεργής λάσπης και κατ' επέκταση με την ικανότητα του συστήματος να απομειώσει τους ρυπαντές στα επιθυμητά επίπεδα.

Η αναερόβια ζώνη, η ανοξική ζώνη και η αερόβια ζώνη μπορούν είτε να βρίσκονται σε ξεχωριστές δεξαμενές (μέθοδος της προαπονιτρικοποίησης, Σχήμα 22) είτε ταυτόχρονα στην ίδια δεξαμενή (μέθοδος των οξειδωτικών τάφρων, Σχήμα 22α). Η μέθοδος της προαπονιτρικοποίησης έχει ομοιόμορφες συνθήκες λειτουργίας σε κάθε ξεχωριστό αντιδραστήρα, ενώ η μέθοδος των οξειδωτικών τάφρων έχει μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας (pH, διαλυμένο οξυγόνο, συγκέντρωση λάσπης, αλκαλικότητα κ.ά.) από σημείο σε σημείο του αντιδραστήρα. Αυτός είναι ο λόγος που η μέθοδος της προαπονιτρικοποίησης είναι περισσότερο ευέλικτη στις μεταβολές των ρυπαντικών φορτίων, διότι είναι πιο εύκολος ο έλεγχός της. Ο σχεδιασμός των δύο μεθόδων, όμως, είναι παρόμοιος.

Τα δεδομένα εισαγωγής είναι: παροχή του αποβλήτου (Q, m^3/d), συγκέντρωση BOD5 (So, mg/l), συγκέντρωση ολικού αζώτου (N-NH4o, mg/l), συγκέντρωση ολικού φωσφόρου (Po, mg/l), συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών (SSo, mg/l), συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων οργανικών στερεών (VSSo, mg/l).

Τα δεδομένα εξαγωγής είναι: συγκέντρωση BOD5 (S, mg/l), συγκέντρωση αμμωνιακών (N-NH4, mg/l), συγκέντρωση νιτρικών (N-NO3, mg/l), συγκέντρωση φωσφορικών (P, mg/l), συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών (SSe, mg/l). Αυτά τα δεδομένα έχουν την έννοια των μέγιστων επιτρεπτών τιμών.

Στον αερόβιο αντιδραστήρα , οι παράμετροι σχεδιασμού είναι: ο χρόνος παραμονής των στερεών (Θc, days), ο όγκος του βιοαντιδραστήρα (V, m3), η συγκέντρωση των αιωρούμενων οργανικών στερεών MLVSS (X, mg/l), η πιθανή παροχή αλκαλικότητας υπό τη μορφή CaO για τη σωστή προώθηση των βιοαντιδράσεων της νιτρικοποίησης (CaO, kg/d), η πιθανή παροχή πρόσθετων θρεπτικών αζώτου ή φωσφόρου (ΔP, ΔN, kg/d), η παροχή ανακυκλοφορίας λάσπης (γραμμή 9) (Qr, m3/d) ή ο λόγος ανακυκλοφορίας λάσπης (r = Qr /Q), η συγκέντρωση των MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspende Solids) στη γραμμή 9 ανακυκλοφορίας λάσπης (Xr, mg/l), η παροχή εξαγωγής λάσπης στη γραμμή 10 (w, m3/d), η συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στη γραμμή 10 (SS, mg/l), η παροχή του οξυγόνου (O2, kg/d) και η αναγκαία

ισχύς ανάδευσης (HP, hp/m3 βιοαντιδραστήρα).Συνήθως η συγκέντρωση του DO λαμβάνεται ίση με 2 mg/l. Στον ανοξικό αντιδραστήρα, οι παράμετροι σχεδιασμού είναι: ο όγκος του αντιδραστήρα (VD, m3), η συγκέντρωση των MLVSS (XD, mg/l), η συγκέντρωση του BOD5 (So, mg/l), η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO_D, mg/l), η παροχή εσωτερικής ανακυκλοφορίας από τον βιοαντιδραστήρα 1 στον βιοαντιδραστήρα 2 (QR, m3/d), η συγκέντρωση των αμμωνιακών (N-NH4o, mg/l), η συγκέντρωση του φωσφόρου (Po, mg/l) και οι ανάγκες σε ανάδευση (HPD, hp/m3). Συνήθως η συγκέντρωση DOD λαμβάνεται ίση με 0,5mg/l. Η παροχή καθορίζεται κατά πρώτον από τις ανάγκες για απομείωση των νιτρικών στον βιοαντιδραστήρα 1 και κατά δεύτερον από τις ανάγκες για δημιουργία ανοξικών συνθηκών στον βιοαντιδραστήρα 2.

Στον αναερόβιο αντιδραστήρα, οι παράμετροι σχεδιασμού είναι: ο όγκος του αντιδραστήρα (VP, m3), η συγκέντρωση των MLVSS (XP, mg/l) και η ισχύς ανάδευσης (HPP, hp/m3). Στον αντιδραστήρα αυτόν γίνεται μια φαινομενική πτώση του BOD5, λόγω ρόφησής του από τους P+ μικροοργανισμούς, η οποία δεν λαμβάνεται υπόψη στον περαιτέρω σχεδιασμό.

Η δεξαμενή δευτερογενούς καθίζησης παίζει αποφασιστικό ρόλο στη σωστή λειτουργία του συστήματος της ενεργής ιλύος. Η μοναδική παράμετρος σχεδιασμού είναι η επιφάνεια της δεξαμενής (A, m2), η οποία πρέπει να είναι ικανοποιητική, ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη διαύγαση της υπερχείλισης και ταυτόχρονα η δεξαμενή, λειτουργώντας ως παχυντήρας, να επιτυγχάνει τη συγκέντρωση σχεδιασμού των MLVSS στη γραμμή 8 (Xr).

1.5. Βιοκινητική των αντιδράσεων

1.5.1.1. Εισαγωγή

Η μαθηματική μοντελοποίηση ενός συστήματος ενεργούς ιλύος προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. καλύτερη κατανόηση και εκμετάλλευση των βιβλιογραφικών δεδομένων καθώς και ευκολότερη διάδοση των πειραματικών αποτελεσμάτων

2. γρήγορη και αποτελεσματική επίλυση του σχεδιασμού με τη βοήθεια Η/Υ

3. σύνδεση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τη πρακτική του σχεδιασμού των εγκαταστάσεων

4. οργάνωση αποτελεσματικών εργαστηριακών πειραμάτων για την εύρεση των εμπειρικών παραμέτρων σχεδιασμού

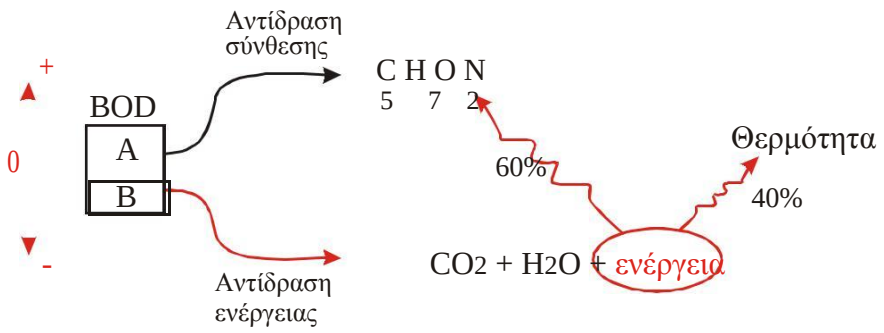
5. δυνατότητα ελέγχου και πρόβλεψης των αποτελεσμάτων επεξεργασίας του αποβλήτου με τη βοήθεια δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης
6. Εύκολη ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων σχεδιασμού

7. Εύκολη συγκριτική οικονομική ανάλυση εναλλακτικών λύσεων

1.5.1.2. Κινητικά μοντέλα Βιοοξείδωσης

Καθε βιοαντίδραση αποτελείται από δύο επί μέρους αντιδράσεις: την αντίδραση ενέργειας και την αντίδραση σύνθεσης. Κατά την αντίδραση ενέργειας, ο μικροοργανισμός, αποσυνθέτει ένα μέρος του θρεπτικού υποστρώματος σε απλούστερες ενώσεις χαμηλότερου ενεργειακού περιεχομένου των αρχικών, η δε χημική ενέργεια που ελευθερώνεται, χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για να προωθήσουν την αντίδραση σύνθεσης έτσι ώστε το υπόλοιπο υπόστρωμα να χρησιμοποιηθεί για τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών συνθέτοντας ενώσεις υψηλότερου ενεργειακού περιεχομένου των αρχικών όπως φαίνεται στο σχήμα

.



Σχήμα 1: Βιοαντιδράσεις σύνθεσης και ενέργειας

Στη περίπτωση των βιολογικών καθαρισμών το διαλυτό BOD του αποβλήτου αποτελεί το θρεπτικό υπόστρωμα των μικροοργανισμών.

Το ποσοστό του BOD που θα χρησιμοποιηθεί από τους μικροοργανισμούς για σύνθεση και ενέργεια εξαρτάται από το ενεργειακό περιεχόμενο του BOD καθώς επίσης και από την παρουσία ή μη του οξυγόνου. Οι αερόβιοι μικροοργανισμοί σε σχέση με τους αναερόβιους παράγουν δεκαέξι φορές περισσότερη ενέργεια με την ίδια ποσότητα οργανικού υποστρώματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του υποστρώματος τόσο μικρότερο ποσοστό του χρησιμοποιείται για την αντίδραση ενέργειας. Επομένως οι αερόβιες βιοαντιδράσεις παράγουν σημαντικά περισσότερη βιόμαζα απ΄ ότι οι αναερόβιες βιοαντιδράσεις για το ίδιο υπόστρωμα.

Σκοπός των μικροοργανισμών είναι η προώθηση των αντιδράσεων σύνθεσης ενώ σκοπός της απορρύπανσης μέσω της βιοξείδωσης του BOD είναι η προώθηση των αντιδράσεων ενέργειας διότι η βιομετατροπή του διαλυτού BOD σε κυτταρική μάζα αποτελεί δευτερογενή ρύπανση. Επομένως από στρατηγική άποψη η αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων έχει πλεονέκτημα από την αερόβια χώνευση τους. Όμως, όσο λιγότερη ενέργεια διατίθεται σε μικτά βιολογικά συστήματα, όπως είναι τα οικοσυστήματα ενός βιολογικού καθαρισμού, τόσο πιο ασταθή καθίστανται αυτά στις μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας εξαιτίας των ισχυρών ανταγωνιστικών τάσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών μικροοργανισμών που χρησιμοποιούν ίδια θρεπτικά υποστρώματα. Έτσι μέχρι σήμερα οι αερόβιοι βιολογικοί καθαρισμοί χρησιμοποιούνται πολύ περισσότερο από τους αναερόβιους καθότι, από τεχνολογική άποψη, αυτοί παρ΄ όλες τις αυξημένες ενεργειακές τους απαιτήσεις, είναι ευκολότερα εφαρμόσιμοι και περισσότερο σταθεροί στα αποτελέσματά τους.

Οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν το ίδιο θρεπτικό υπόστρωμα τόσο για την αντίδραση ενέργειας όσο και για την αντίδραση σύνθεσης, ονομάζονται ετερότροφοι μικροοργανισμοί ενώ οι υπόλοιποι αυτότροφοι.

1.5.1.3. Βιοοξείδωση του BOD

Γιά κάθε απόβλητο ισχύουν και διαφορετικές τιμές των σταθερών

βιοχημικής κινητικής του μοντέλου των Lawrence – McCarty η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό του συστήματος της ενεργούς ιλύος.

Συνήθως δύο τεχνικές εφαρμόζονται για τον εργαστηριακό προσδιορισμό των σταθερών αυτών σε ένα άγνωστο απόβλητο:

1. **Τεχνική με αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας χωρίς συλλογή και επιστροφή της βιολογικής μάζας.**

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ένας εργαστηριακός αντιδραστήρας όγκου V (σχήμα 8) ο οποίος αφού εμβολιαστεί με κατάλληλη μικροβιακή καλλιέργεια, τροφοδοτείται συνεχώς με το απόβλητο με μία παροχή Q1 και το οποίο απόβλητο έχει μία αρχική συγκέντρωση BOD SO. Το περιεχόμενο του αντιδραστήρα είναι ομοιογενές λόγω ικανοποιητικής ανάδευσης και επομένως οι συγκεντρώσεις τόσο του BOD όσο και των MLVSS είναι ίδιες με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις της υπερχείλισης. Η τροφοδοσία του αποβλήτου συνεχίζεται μέχρι που να σταθεροποιηθεί το BOD και τα MLVSS=X1 στην υπερχείλιση του αντιδραστήρα. Επειδή η βιολογική λάσπη δεν επιστρέφει στον βιοαντιδραστήρα γ' αυτό και ισχύει Θ C,1 = Θ1 = V/Q1.

Μεταβάλλοντας την παροχή του αποβλήτου λαμβάνονται μία σειρά τιμών (X1, Θ1, Se,1), (X2, Θ2, Se,2),…, (Xi, Θi, Se,i)

2. **Τεχνική με αντιδραστήρα διαλείποντος έργου.**

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ένας εργαστηριακός αντιδραστήρας διαλείποντος έργου. Στον αντιδραστήρα αυτόν τοποθετείται μία συγκεκριμένη ποσότητα αποβλήτου και υπό συνεχή ανάδευση κάτω από αερόβιες συνθήκες παρακολουθούμε την μεταβολή της συγκέντρωσης του θρεπτικού υποστρώματος καθώς και την συγκέντρωση της βιολογικής λάσπης. Τις μετρήσεις αυτές τις αξιοποιούμε με τον τρόπο που παρουσιάζεται στο σχήμα 26 ώστε να υπολογίσουμε τις τέσσερις σταθερές Y, kmax, b και KS .

Όσο μεγαλύτερη η αρχική συγκέντρωση του υποστρώματος τόσο πιο ακριβή αποτελέσματα λαμβάνονται με τη μέθοδο αυτή. Γενικά η μέθοδος αυτή είναι αρκετά απλούστερη της πρώτης αλλά δίνει λιγότερο ακριβή αποτελέσματα.

Τα kmax,BOD , bBOD και Ks,BOD εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το είδος του υποστρώματος (απόβλητο). Δεν εξαρτώνται από τους μικροοργανισμούς. Για όλους τους μικροοργανισμούς ισχύει ότι 1 grmol μικροοργανισμών σε θερμοκρασία 20□C αφομοιώνει 1 – 2 grmol του υποστρώματος σε διάρκεια μιάς ημέρας.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

2.1.Εισαγωγή

Στη διαδικασία κατεργασίας υγρών αποβλήτων, η κατανάλωση των διαλυτών οργανικών από αερόβιους μικροοργανισμούς απαιτεί διάλυση μεγάλων ποσοτήτων οξυγόνου στην υγρή φάση. Επειδή η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό σε ατμοσφαιρική πίεση είναι περιορισμένη, η ωθούσα δύναμη είναι μικρή. Αυτές οι συνθήκες υπαγορεύουν την ανάγκη μιας μεγάλης διαφασικής επιφάνειας, με σκοπό να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός ρυθμός μεταφοράς μάζας.

Η μοναδικός άλλος τρόπος αύξησης του ρυθμού μεταφοράς είναι να αυξηθεί η ωθούσα δύναμη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διεξαγωγή της μεταφοράς μάζας σε υψηλότερη πίεση ή με παροχή εμπλουτισμένου σε οξυγόνο αερίου. Και στις δύο περιπτώσεις, κάθε αύξηση στη διαφασική επιφάνεια αερίου – υγρού, που επιτυγχάνεται από τη συσκευή αερισμού, θα αποδώσει ανάλογη αύξηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας. Έτσι, ουσιαστικός στόχος κάθε συστήματος αερισμού πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση της διαφασικής επιφάνειας αερίου – υγρού.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό ενός συστήματος αερισμού, είναι η ικανότητα ανάδευσης της συσκευής αερισμού. Η ικανότητα άμεσης άντλησης και η επαγόμενη ροή πρέπει να εξασφαλίζουν ομοιόμορφη αιώρηση των βιολογικών στερεών και θετική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού. Η ανάμιξη μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια επαφής της φυσαλίδας και του υγρού κι έτσι να αυξήσει την ικανότητα απορρόφησης οξυγόνου. Η γρήγορη ανάμιξη τοξικών και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών της τροφοδοσίας θα μειώσει την επίδραση τους στη βιολογική διαδικασία. Μέτριοι ρυθμοί διάτμησης του ρευστού μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την αρνητική επίδραση των επιφανειακά ενεργών ουσιών στους ρυθμούς μεταφοράς μάζας.

Διαφορετικές συσκευές αερισμού παρουσιάζουν διαφορετικούς συντελεστές μεταφοράς, ρυθμούς ανακυκλοφορίας και ρυθμούς διάτμησης του ρευστού αλλά και διαφορετικοί τύποι βιολογικών διαδικασιών έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το σύστημα αερισμού. Ένα ταχύρυθμο σύστημα που επεξεργάζεται υψηλού ρυπαντικού φορτίου βιομηχανικά απόβλητα σε μια σχετικά μικρή δεξαμενή αερισμού, προφανώς έχει διαφορετικές απαιτήσεις αερισμού από ένα χαμηλού ρυθμού σύστημα αεριζόμενης λίμνης που επεξεργάζεται αραιά αστικά λύματα. Παρομοίως, διαφορετικές συσκευές αερισμού έχουν διαφορετική επίδραση στη θερμική ισορροπία της διαδικασίας και η απόδοσή της μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί ανάλογα με την επιλογή του συστήματος αερισμού.

2.2.Απαιτήσεις του βιολογικού σε οξυγώνο

Οξυγόνωση απαιτείται μόνο στη δεξαμενή αερισμού όπου επιτελούνται οι βιοοξειδώσεις BOD και αμμωνιακών. Η παροχή του οξυγόνου καταναλώνεται:

- Στην οξείδωση των διαλυτών οργανικών. Αν χρησιμοποιήσουμε το BOD (βιοαποδομήσιμο TOC) ως μέτρο της διαλυτής οργανικής ύλης, τότε αυτό βιοοξειδώνεται σύμφωνα με την αντίδραση:

$$BOD5 + O2 \xrightarrow{\text{βακτήρια}} CO2 + H2O + \text{νέα βακτήρια}$$

- Στην υδρόλυση και κατόπιν στη βιοοξείδωση των νεκρών κυττάρων από τους ζωντανούς μικροοργανισμούς. Αυτή η αυτοοξείδωση αναφέρεται σαν "ενδογενής αναπνοή" και απαιτεί σημαντική ποσότητα οξυγόνου βάσει της βιοαντίδρασης:

$$\text{(νεκρά κύτταρα)} + O2 \xrightarrow{\text{βακτήρια}} CO2 + H2O + \text{νέα βακτήρια}$$

- Στην νιτρικοποίηση σύμφωνα με την βιοαντίδραση:

$$NH4^{+} + 5/2\ O2 \xrightarrow{\text{νιτροβακτήρια}} NO3^{-} + 2\ H2O$$

Η συνολική απαίτηση σε οξυγόνο ενός συστήματος ενεργής ιλύος δίνεται από την εξίσωση:

$$(O_2) = \frac{\alpha' * Q * S_r + \beta * b' * x * X * V + \gamma * Q * (NH_{4r})}{1000}$$

όπου:

(O2) = kg καταναλισκομένου οξυγόνου / ημέρα

α΄ = συντελεστής βιοοξείδωσης του BOD, kg O2 / kg BODr Sr = (So – Se), mg/l βιοαποικοδομούμενο BOD

β΄ = συντελεστής αυτοοξείδωσης, kg O2 / kg οξειδούμενων MLVSS b΄ = ρυθμός αυτοοξείδωσης των MLVSS, days-1

x = ποσοστό των MLVSS που μπορεί να βιοαποικοδομηθεί [εξίσωση
X = συγκέντρωση MLVSS στην δεξαμενή αερισμού, mg/l
V = όγκος δεξαμενής αερισμού, m3

γ = συντελεστής οξείδωσης των αμμωνιακών, kg O2 / kg NH4r (NH4r)
= συγκέντρωση αμμωνιακών που οξειδώνονται, mg/l

Το ποσοστό των MLVSS που μπορεί να βιοαποικοδομηθεί (x) δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$x = \frac{Q \times Y \times S_r + b \times X \times V - \sqrt{(Q \times Y \times S_r + b \times X \times V)^2 - (4 \times b \times X \times V) \times (0{,}77 \times Q \times Y \times S_r)}}{2 \times b \times X \times V}$$

όπου: S_r = το BOD που βιοαποικοδομείται (S_o – S), mg/l

Ο συντελεστής (α΄) εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου, τη θερμοκρασία λειτουργίας του αερόβιου αντιδραστήρα και το χρόνο παραμονής των στερεών Θc. Μερικές ενδεικτικές τιμές του α΄, για διάφορα βιομηχανικά απόβλητα στους 20ºC, παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Τιμές του συντελεστή α΄ για διάφορα βιομηχανικά απόβλητα

Είδος βιομηχανικού αποβλήτου		Κατανάλωση O_2 kg O_2 / kg BOD_r
1	Πετροχημική βιομηχανία	1,05
2	Βιομηχανία χάρτου	0,805
3	Βιομηχανία υφασμάτων	0,805 – 1,15
4	Βιομηχανία μπύρας	0,7
5	Σακχαροβιομηχανία	0,45
6	Χημική – φαρμακευτική βιομηχανία	0,4

Για τα αστικά λύματα, τιμές του α΄ συναρτήσει της θερμοκρασίας και του Θc φαίνονται παρακάτω

α΄(10ºC) =0,574059+0,05779 (Θc)–0,00157939 (Θc)2 +1,51555 (10-5) (Θc)3 (3)

α΄(20ºC) =0,694678+0,05108 (Θc)–0,00138636 (Θc)2 +1,31805 (10-5) (Θc)3 (4)

α΄(30ºC) =0,830657+0,04006 (Θc) –0,00098197 (Θc)2 +8,57164 (10-6) (Θc)3(5)

Για ενδιάμεσες θερμοκρασίες μεταξύ 0 και 40ºC, μπορεί να υπολογιστεί

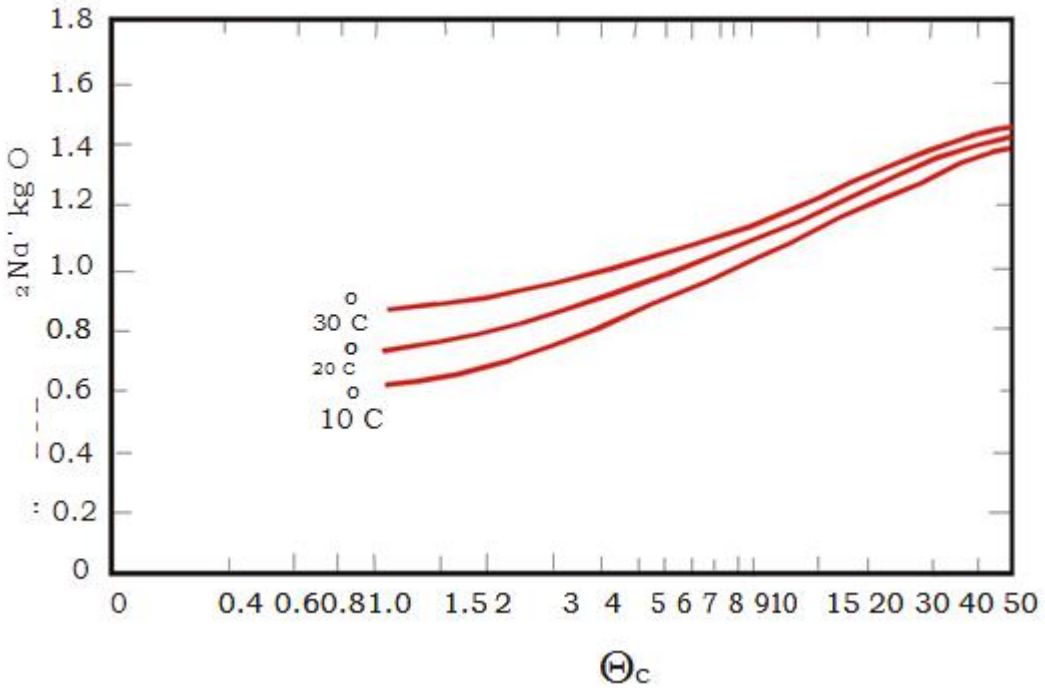
ο συντελεστής (α΄) με γραμμική παρεμβολή των εξισώσεων (3), (4) και (5)

Οι άλλοι συντελεστές είναι περίπου σταθεροί για όλα τα απόβλητα και οι μέσες τιμές τους είναι:

β΄ = 1,4 kg O2 / kg μικροοργανισμών

b΄ = 0,071 days-1

γ = 4,6 kg O2 / kg οξειδούμενου αμμωνιακού αζώτου



Το αποτέλεσμα της κατανάλωσης του οξυγόνου, όπως υπολογίζεται από την εξίσωση, πρέπει να διορθωθεί ως προς το υψόμετρο που βρίσκεται η εγκατάσταση, ως προς τη

θερμοκρασία λειτουργίας και ως προς τις συνθήκες κορεσμού της υγρής φάσης σε οξυγόνο, σύμφωνα με την εξίσωση :

$$(O_2)_o = \frac{(O_2)}{\frac{\beta'' * E * C_t - C_s}{C_t} * a'' * 1{,}024^{Ts-20}}$$

όπου:

(O2)o = η πραγματική κατανάλωση οξυγόνου, kg O2 / day

(O2) = η κατανάλωση οξυγόνου όπως υπολογίστηκε από την εξίσωση (6), kg O2/day

β΄΄ = ο λόγος των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου στο απόβλητο δια του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, όταν και τα δύο βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Το β΄΄ εξαρτάται από το Θc,

α΄΄ = ο λόγος της ταχύτητας μεταφοράς οξυγόνου από την αέρια φάση στο υγρό απόβλητο προς την ταχύτητα μεταφοράς του οξυγόνου από την αέρια φάση σε καθαρό νερό. Και αυτός ο συντελεστής εξαρτάται από το Θc

E = συντελεστής υψομέτρου και εξαρτάται από το υψόμετρο που βρίσκεται η εγκατάσταση του βιολογικού καθαρισμού. Υποθέτουμε ότι στο επίπεδο της θάλασσας ισχύει E = 1.

Ct = η συγκέντρωση του οξυγόνου σε κορεσμένο με οξυγόνο νερό στη θερμοκρασία σχεδιασμού του βιολογικού καθαρισμού, mg/l. Η συγκέντρωση αυτή εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Cs = η συγκέντρωση του οξυγόνου στον αερόβιο αντιδραστήρα, mg/l. Μία συνηθισμένη τιμή του Cs είναι 2mg/l.

T = θερμοκρασία λειτουργίας, ºC

Το αποτέλεσμα της εξίσωσης (6) πρέπει να πολλαπλασιαστεί και με έναν συντελεστή ασφαλείας 1,15:

(O2)τελικό = 1,15 (O2)o

Η σχέση του α΄΄ και του β΄΄ με το Θc για τα αστικά λύματα, δίνεται από τις εξισώσεις:

$$\alpha'' = 0{,}789282\ (\Theta c)^{0{,}051671}$$
$$\beta'' = 0{,}943545\ (\Theta c)^{0{,}009892}$$

2.3.Συστήματα αερισμού

Επειδή η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό σε ατμοσφαιρική πίεση είναι περιορισμένη, η ωθούσα δύναμη μεταφοράς του οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στην υγρή φάση είναι μικρή. Ο μοναδικός άλλος τρόπος αύξησης του ρυθμού μεταφοράς είναι να αυξηθεί η ωθούσα δύναμη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με αύξηση της πίεσης του αερίου είτε με αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στην αέρια φάση. Και στις δύο περιπτώσεις, κάθε αύξηση στη διαφασική επιφάνεια αερίου – υγρού, που επιτυγχάνεται από τη συσκευή αερισμού, θα αποδώσει ανάλογη αύξηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας. Έτσι, ουσιαστικός στόχος κάθε συστήματος αερισμού είναι η μεγιστοποίηση της διαφασικής επιφάνειας αερίου – υγρού.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό ενός συστήματος αερισμού, είναι η ικανότητα ανάδευσης της συσκευής αερισμού. Η ικανότητα άμεσης άντλησης και η επαγόμενη ροή πρέπει να εξασφαλίζουν ομοιόμορφη αιώρηση των βιολογικών στερεών και θετική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού. Η ανάμιξη μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια επαφής της φυσαλίδας και του υγρού κι έτσι να αυξήσει την ικανότητα απορρόφησης οξυγόνου. Η γρήγορη ανάμιξη τοξικών και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών της τροφοδοσίας θα μειώσει την επίδραση τους στη βιολογική διαδικασία. Μέτριοι ρυθμοί διάτμησης του ρευστού μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την αρνητική επίδραση των επιφανειακά ενεργών ουσιών στους ρυθμούς μεταφοράς μάζας.

Διαφορετικές συσκευές αερισμού παρουσιάζουν διαφορετικούς συντελεστές μεταφοράς, ρυθμούς ανακυκλοφορίας και ρυθμούς διάτμησης του ρευστού αλλά και διαφορετικοί τύποι βιολογικών διαδικασιών έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το σύστημα αερισμού. Ένα ταχύρυθμο σύστημα που επεξεργάζεται υψηλού ρυπαντικού φορτίου βιομηχανικά απόβλητα σε μια σχετικά μικρή δεξαμενή αερισμού, προφανώς έχει διαφορετικές απαιτήσεις αερισμού από ένα χαμηλού ρυθμού σύστημα αεριζόμενης λίμνης που επεξεργάζεται αραιά αστικά λύματα. Παρομοίως, διαφορετικές συσκευές αερισμού έχουν διαφορετική επίδραση στη θερμική ισορροπία της διαδικασίας και η απόδοσή της μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί ανάλογα με την επιλογή αερισμού.

Πολλοί μηχανισμοί έχουν σχεδιαστεί με σκοπό την αύξηση της διαφασικής επιφάνειας ώστε να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός αερισμός των βιολογικών καθαρισμών καθώς επίσης και μία ικανοποιητική ανάδευση του ανάμικτου υγρού (απόβλητο με MLSS).

Όλες οι συσκευές αερισμού κατατάσσονται ως εξής :

- Υποβρύχια συστήματα αερισμού
  - 1.1. Διάχυση πεπιεσμένου αέρα μικρών, μεσαίων ή μεγάλων φυσαλίδων που δημιουργούνται από κατάλληλους διαχυτήρες
  - 1.2. Αναμικτήρες αέρα/υγρού τύπου jet
- Επιφανειακά συστήματα αερισμού
  - 2.1. Αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες
  - 2.2. Ταχύστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες (High speed surface arators)

2.3.1.1. Υποβρύχια συστήματα αερισμού

Διαχυτήρες αέρα

Στο σύστημα αυτό ο αέρας αναρροφάται με φυσητήρα ή αεροσυμπιεστή. Για μικρές έως μεσαίες ποσότητες αέρα (500-10000 Nm3/h), χρησιμοποιούνται φυσητήρες περιστρεφομένου εμβόλου θετικής εκτόπισης και για μεγαλύτερες ποσότητες αέρα (8000-30000 Nm3/h), χρησιμοποιούνται αεροσυμπιεστές με τουρμπίνα (στροβιλοφυσητήρες).

Ο αέρας συμπιέζεται και οδηγείται μέσω των σωληνώσεων της εγκατάστασης στους διαχυτήρες. Με τον όρο ‘’διαχυτήρες’’ εννοούμε συστήματα κυλίνδρων ή πλακών από πορώδες υλικό, κεραμικό, πλαστικό ή από υφασμάτινες ίνες, μέσα από τους πόρους των οποίων βγαίνουν οι φυσαλίδες του αέρα.

Ανάλογα με τους πόρους των υλικών, παράγονται φυσαλίδες μικρού μεγέθους δηλ. διαμέτρου μικρότερης από 2mm (κεραμικοί διαχυτήρες), μεσαίου μεγέθους δηλ. 2 έως 4 mm (πλαστικοί – υφασμάτινοι διαχυτήρες), ή μεγάλου μεγέθους (σωληνώσεις με τρύπες ή ακροφύσια). Πραγματική όμως διάχυση του οξυγόνου γίνεται μόνο με φυσαλίδες μικρού ή μεσαίου μεγέθους, ενώ στην τελευταία περίπτωση γίνεται μια απλή διοχέτευση αέρα στη μάζα των αποβλήτων. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μικραίνει ο όγκος της φυσαλίδας (με σταθερό τον συνολικό όγκο) τόσο μεγαλώνει ο αριθμός τους, με επακόλουθο, την αύξηση της επιφάνειας επαφής αέρα/λυμάτων.

Οι κεραμικοί διαχυτήρες έχουν καλύτερες μηχανικές αντοχές σε σύγκριση με τους πλαστικούς και συνιστώνται ιδιαίτερα στα ψυχρά κλίματα, διότι δεν καταστρέφονται από τις διαστολές του υλικού σε περίοδο παγετού. Όσον αφορά τους διαχυτήρες από πλαστικοποιημένες υφασμάτινες ίνες, η χρήση τους είναι περιορισμένη.

Οι διαχυτήρες μικρών φυσαλίδων βουλώνουν συχνά, είτε εσωτερικά από σωματίδια του αέρα είτε εξωτερικά από σωματίδια του αποβλήτου. Όταν σταματήσει η παροχή του αέρα έχουμε επί πλέον εμφράξεις από άλατα του σιδήρου, ασβεστίου, μαγνησίου και από άμμο. Οι περιοδικές εμφράξεις μπορούν να αντιμετωπισθούν με συντήρηση των διαχυτήρων (πλύσιμο με νερό

- αραιά οξέα) και με προστασία των εσωτερικών εμφράξεων με κατάλληλα φίλτρα αέρα. Συνηθισμένες προδιαγραφές φίλτρων είναι:

- αέρας με σωματίδια σκόνης λιγότερα από 5 mg/m3
- κράτημα στερεών > 5μm 99%
- κράτημα στερεών < 5μm 70%

Ο υαλοβάμβακας μπορεί να ικανοποιήσει τις παραπάνω απαιτήσεις. Το φίλτρο αλλάζει κάθε φορά που θα κορεσθεί και αυτό το καταλαβαίνουμε από την αύξηση της διαφοράς πίεσης στην γραμμή αναρρόφησης.

Το ποσό του οξυγόνου, που περνάει τελικά στο απόβλητο, με διαχυτήρες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι :

- ο τρόπος εγκατάστασης του διαχυτήρα
- ο σχεδιασμός της δεξαμενής αερισμού
- η ογκομετρική παροχή του αέρα
- το βάθος εγκατάστασης των διαχυτήρων

Όλα τα παραπάνω ο μελετητής πρέπει να τα πάρει υπ' όψιν του κατά τον σχεδιασμό της δεξαμενής αερισμού, του αεροσυμπιεστού και των διαχυτήρων. Ακριβή όμως στοιχεία μπορεί να πάρει μόνο από τον κατασκευαστή των διαχυτήρων.

Αναμικτήρες αέρα/υγρού τύπου jet

Ένας αεριστήρας τύπου jet (jet aerator) είναι ένας μηχανισμός που αυξάνει σημαντικά την διεπιφάνεια υγρού-αέρος. Το απόβλητο με τη βοήθεια μιας αντλίας μεταφέρεται σαν πρωτεύον ρεύμα στην είσοδο του jet όπου λόγω στενέματος της εισόδου (primary nozzle) μετατρέπεται σε ρευστό υψηλής ταχύτητας χαμηλής πίεσης. Αυτό δημιουργεί ένα κενό σ' έναν δευτερεύοντα θάλαμο και εξαναγκάζει τον αέρα να αναμιχθεί με το απόβλητο. Το συνδυασμένο πλέον ρεύμα μετατρέπεται σ' ένα ρεύμα χαμηλής ταχύτητας μέσης πίεσης. Ο αέρας διαιρείται σε μικρές φυσαλλίδες και ανακατεύεται με το κινούμενο υγρό (σχήμα 11). Το μίγμα αέρος-υγρού εκτοξεύεται μέσα στην δεξαμενή από μία δευτερεύουσα οπή (secondary nozzle). Αυτό το ρεύμα σχηματίζει μία ουρά η οποία αφού ταξιδεύσει για λίγο οριζόντια ανέρχεται στην επιφάνεια

2.3.1.2. Επιφανειακά συστήματα αερισμού

Επιφανειακός αεριστήρας είναι αυτός που έχει έναν άξονα που λειτουργεί κοντά ή στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Απελευθερώνει υγρό στην ατμόσφαιρα σε σχηματισμό ομπρέλας, δημιουργώντας μεγάλη διεπιφάνεια μέσα από την οποία γίνεται η μεταφορά μάζας οξυγόνου. Στο μίγμα αερίου – υγρού, το αέριο είναι η συνεχής φάση και το υγρό η μη συνεχής. Η παροχή οξυγόνου είναι απεριόριστη. Ο ρυθμός μεταφοράς περιορίζεται μόνο από το ρυθμό με τον οποίο ο άξονας μπορεί να εκθέσει νέες διεπιφάνειες υγρού στην ατμόσφαιρα.

Όταν η οξυγόνωση γίνεται με επιφανειακά συστήματα (αεριστήρες), εκμεταλλευόμαστε το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα. Η ενέργεια που καταναλώνουν τα επιφανειακά συστήματα, χρησιμοποιείται για να κρατάει το περιεχόμενο του βιολογικού αντιδραστήρα σε αιώρηση και να το αναδεύει.

Τα επιφανειακά συστήματα θεωρούνται οι απλούστερες συσκευές οξυγόνωσης. Καλύπτουν το φάσμα διατιθέμενης ισχύος από 1 έως 80 KW περίπου. Αποτελούνται από υποβρύχιο ή μισο- υποβρύχιο στροφίο, κεντράρονται στο βιολογικό αντιδραστήρα και αναδεύουν ή ανακυκλοφορούν με άντληση το απόβλητο. Έτσι προκαλούν αύξηση στη διαφασική επιφάνεια αέρα/υγρού και διευκολύνουν τη διάλυση του οξυγόνου του αέρα στην υγρή φάση. Τα στροφία κατασκευάζονται από χάλυβα, χυτοσίδηρο, ανοξείδωτα κράματα ή πλαστικό ενισχυμένο με υαλοβάμβακα.

Συνήθως το στροφείο παίρνει κίνηση από κινητήρα μέσου ενός μειωτήρα. Όταν ο επιφανειακός αεριστήρας είναι τύπου τουρμπίνας τότε ο κινητήρας και ο μειωτήρας τοποθετούνται σε μία εξέδρα που στηρίζεται στα τοιχώματα του βιολογικού αντιδραστήρα, αν όμως είναι τύπου προπέλλας τότε μπορεί να αποτελούν ένα σύστημα που επιπλέει στην επιφάνεια του αποβλήτου. Η τελευταία λύση ενδείκνυται στις περιπτώσεις, που η στάθμη του υγρού μεταβάλλεται χρονικά (π.χ. αεριζόμενες λίμνες). Τα επιπλέοντα συστήματα κεντράρονται στους αντιδραστήρες με τη βοήθεια συρματόσχοινων, που δεν επιτρέπουν στο σύστημα πλάγιες μετατοπίσεις.

Τα επιφανειακά συστήματα αερισμού με τουρμπίνα παίρνουν κίνηση μέσου μειωτήρα και συνήθως το στροφείο τους στρέφεται με 40 έως 80 στροφές / min γι' αυτό τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται αργόστροφα. Ενώ τα συστήματα με προπέλα παίρνουν κίνηση κατ' ευθείαν από τον κινητήρα που στρέφεται συνήθως με 750 έως 1500 στροφές / min γι' αυτό και το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται ταχύστροφο.

Όπως και στην περίπτωση της διάχυσης του οξυγόνου, το μέγεθος και το σχήμα της δεξαμενής αερισμού παίζουν σπουδαίο ρόλο αν θέλουμε να επιτύχουμε καλή ανάδευση και ανάμιξη. Ο βιολογικός αντιδραστήρας κατασκευάζεται τετράγωνος ή ορθογώνιος και μπορεί να εξυπηρετείται από μία ή περισσότερες συσκευές οξυγόνωσης. Το βάθος του υγρού κυμαίνεται από 1 έως 5 μέτρα περίπου. Η απαίτηση ισχύος για την πλήρη ανάμιξη του αποβλήτου στην δεξαμενή οξυγόνωσης κυμαίνεται από 20 έως 40 Watts / m3 βιολογικού αντιδραστήρα.

<u>Αργόστροφα συστήματα αερισμού</u>

Με το χαρακτηρισμό "αργόστροφοι" εννοείται ότι υπάρχει μείωση της ταχύτητας μεταξύ του κινητήρα και του άξονα, συνήθως μέσω ενός γραναζωτού μειωτήρα. Οι ταχύτητες λειτουργίας είναι συνήθως εύρους από 100rpm στα μικρότερα μεγέθη ως 35rpm στα μεγαλύτερα. Οι αργόστροφοι αεριστήρες χρησιμοποιούν μεγάλους άξονες, συνήθως διαμέτρου 4ft στους 5HP και μέχρι 12ft στους 150HP.

Οι αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλες αντλητικές ικανότητες. Για δεδομένη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερη ταχύτητα λειτουργίας απαιτεί μεγαλύτερη διάμετρο άξονα και το τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της αντλητικής ικανότητας. Μείωση της ταχύτητας κατά 25% προϋποθέτει αύξηση του μεγέθους του άξονα κατά 18% και επομένως αύξηση κατά 25% της απόδοσης ευθείας εκροής του αεριστήρα. Ένας αργόστροφος επιφανειακός αεριστήρας 5HP συνήθως έχει ικανότητα ευθείας εκροής 13000gpm ενώ μια μονάδα 150HP αντλεί πάνω από

150000gpm. Η ολική ροή που αναπτύσσεται στη δεξαμενή είναι συνήθως τρεις με έξι φορές ο ρυθμός ευθείας εκροής, οφειλόμενη σε συμπαρασυρόμενη και επαγόμενη ροή.

Λόγω του μεγέθους και του βάρους τους, οι αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες είναι συνήθως τοποθετημένοι σε σταθερή βάση αλλά όταν είναι απαραίτητο μπορούν να τοποθετηθούν και σε πλωτή βάση.

Τα προβλήματα θορύβου και διασκορπισμού των σταγονιδίων αντιμετωπίζονται με κατάλληλο κάλυμμα, αν χρειαστεί και πάνω από τον κινητήρα.

Πλεονεκτήματα

- Οι αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες είναι απλοί στο σχεδιασμό και εύκολο να εγκατασταθούν και να συντηρηθούν καθώς δεν έχουν υποβρύχια εξαρτήματα.
- Παρουσιάζουν προσαρμοστικότητα στη λειτουργία.
- Ο συντελεστής μεταφοράς είναι σχετικά υψηλός.

- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης τους είναι σχετικά χαμηλό. Τα κρίσιμα σημεία των επιφανειακών αεριστήρων είναι τα γρανάζια και τα στηρίγματα. Από την εμπειρία όμως είναι γνωστό ότι καλά σχεδιασμένα γρανάζια (με συντελεστή ασφάλειας 2 – 2,5) μπορούν να λειτουργήσουν για 15 χρόνια ή και περισσότερο χωρίς προβλήματα.

- Η υψηλή τους ικανότητα άντλησης τους επιτρέπει να παρέχουν επαρκή ανάμιξη σε πολύ μεγάλους όγκους.

- Μια πτώση της τάξης του 30% με 50% αντιμετωπίζεται με άξονες ευαίσθητους στο επίπεδο του υγρού και αυξήσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα στο φορτίο της εγκατάστασης χειρίζονται με τη χρήση προσαρμόσιμων κορυφών πτερυγίων.

  - Δεν εμφανίζουν σημαντικά προβλήματα λόγω μηχανικής αστοχίας (π.χ. αν ένας από τους 20 αεριστήρες τεθεί εκτός λειτουργίας η επίδραση στην απόδοση της διεργασίας είναι μικρή).

Μειονεκτήματα

- Οι αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες που χρησιμοποιούν μόνο επιφανειακό άξονα παρέχουν ανάμιξη μόνο σε περιορισμένα βάθη. Οι περιορισμοί του βάθους κυμαίνονται από 10ft για τα μικρότερα μεγέθη ως 17 ή 18ft για τα μεγαλύτερα μεγέθη. Αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες με χαμηλότερο άξονα ανάμιξης ή σωλήνα ελκυσμού είναι κατάλληλοι για βάθη μέχρι 30ft.

- Τόσο η απαιτούμενη ισχύς όσο και ικανότητα οξυγόνωσης σχετίζονται με τη βύθιση της συσκευής στο υγρό. Συχνά, μεταβολές στη ροή και/ή συσκευές ελέγχου εμποδίζουν την επαρκή βύθιση του αεριστήρα.

- Η πτώση στο ρυθμό μεταφοράς και την κατανάλωση ενέργειας δεν μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από την ικανότητα άντλησης και ανάμιξης. Οι ρυθμοί πρόσληψης οξυγόνου μπορούν να περιορίσουν το σχεδιασμό του συστήματος όταν έχουμε απόβλητα εξαιρετικά υψηλού ρυπαντικού φορτίου σε ένα ταχύρυθμο σύστημα.

- Οι αργόστροφοι επιφανειακοί αεριστήρες μπορούν να σχεδιαστούν για να λειτουργήσουν στα πιο ψυχρά κλίματα όταν τοποθετηθούν σε μια κατάλληλα σχεδιασμένη εξέδρα ή καλυφθούν ώστε να εμποδιστεί ο σχηματισμός πάγου στον αεριστήρα. Το μειονέκτημα είναι ότι η απώλεια θερμότητας μπορεί να μειώσει την κινητική του συστήματος.

Ταχύστροφα συστήματα αερισμού

Ουσιαστικά είναι αντλίες υγρού οι οποίες παραλαμβάνουν υγρό από την επιφάνεια της δεξαμενής αερισμού και το εκσφενδονίζουν στην ατμόσφαιρα σε ύψος περίπου ενός μέτρου. Τα συστήματα αυτά έχουν μικρότερη απόδοση απ΄ ότι τα αργόστροφα αλλά επειδή δεν αναπτύσσουν μεγάλες διατμητικές τάσεις, γι΄ αυτό και συνήθως τοποθετούνται σε συστήματα που επιπλέουν στην δεξαμενή αερισμού και δένονται με παλαμάρια από το έδαφος. Έτσι μπορούν, κάθε στιγμή, να τοποθετηθούν, εύκολα, σαν πρόσθετες συσκευές οξυγόνωσης όταν διαπιστωθεί ότι ο σχεδιασμένος μηχανισμός αερισμού (επιφανειακός ή υποβρύχιος) δεν επαρκεί. Αποτελούν δηλαδή, συνήθως, μία πρόχειρη λύση ανάγκης.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1.Προσδιορισμός των δεδομένων και σταθερών του προγράμματος

Στη παρούσα εργασία πήραμε για δεδομένα αποβλήτου τα στοιχεία ενώς τυπικού βιολογικού καθαρισμού μίας μεσαίου μεγέθους πόλης 2000 χιλιάδων κατοίκων.

Παρακάτω παραθέτονται σε πίνακα τα δεδομενα :

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ			
Παροχή αποβλήτου	$Q=$	300	m^3/d
Συγκέντρωση BOC	$S_o=$	500	mg/l
Συγκέντρωση TKN	$N_o=$	56	mg/l
Συγκέντρωση Φωσφόρου	$P_o=$	18	mg/l
Σταθερές κινητικής οξείδωσης BOC			
Συντελεστής παραγωγής κυτταρικής μάζας	$Y_C=$	0,6	
Ρυθμός οξείδωσης	$k_{maxC}=$	3,5	d^{-1}
Σταθερά κορεσμού	$K_{sC}=$	120	mg/l
Συντελεστής θανάτου	$b_C=$	0,3	d^{-1}
Σταθερές κινητικής οξείδωσης TKN			
Συντελεστής παραγωγής κυτταρικής μάζας	$Y_N=$	0,2	
Ρυθμός νιτροποίησης	$k_{maxN}=$	2,4	d^{-1}
Σταθερά κορεσμού	$K_{NS}=$	1	mg/l
Συντελεστής θανάτου	$b_N=$	0,1	d^{-1}
Σταθερά κορεσμού οξυγόνου	$K_{DO}=$	1	mg/l
Απονιτροποίηση			
ρυθμός απονιτροποίησης	$K_D=$	0,1	d^{-1}
Συνθήκες λειτουργίας βιολογικού καθαρισμού			
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου	DO=	2,5	mg/l
pH στη δεξαμενή αερισμού	pH=	7,6	

Πίνακας 3.1: Δεδομένα προγράμματος

3.2.Διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη κατασκευή του προγράμματος και την εξαγωγή αποτελεσμάτων

Αρχικά κατασκευάσαμε ένα πρόγραμμα στο οποίο βάλαμε ως δεδομένα τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποβλήτου και με μοναδική μεταβλητή το Θc (ηλικία λάσπης).

Την κατασκευή του προγράμματος αυτού την παραθέτουμε παρακάτω μέσα από 13 βήματα τα οποία το καθηστούν εύκολα κατανοητό.

Βήμα 1ο: Υπολογισμός άνθρακα εξόδου S_e

Από τη σχέση $S_e = \frac{K_{Sc}*(1+b_c*\Theta_c)}{\Theta_c*(Y_c*k_{maxC}-b_c)-1}$ βρίκαμε τον ανθρακα εξόδου για κάθε Θc όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Βήμα 2οΥπολογισμός της παραγωγής της συνολικής περίσσειας βιολογικής λάσπης PX.

Υπολογίζουμε το Px δηλαδή την περισσεια λάσπης που προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία με την βοήθεια των ακόλουθων εξισώσεων.

$$P_{X_C} = \frac{y_c * Q * (S_0 - S_e)}{1 + b_c * \theta_c} (\frac{kg}{d})$$

$$P_{X_N} = \frac{y_N * Q * (N_0 - Ne_{NH4})}{1 + b_c * \theta_c} (\frac{kg}{d})$$

Συνεπώς

$$\boldsymbol{P_X} = P_{X_C} + P_{X_N} (\frac{kg}{d})$$

Βήμα 3ο: Υπολογισμός του αζώτου που δεσμεύεται στη περίσσεια της κυτταρικής μάζας:

Επειδή ο μοριακός τύπος των βακτηρίων είναι C5H7O2NP0.2 η ποσότητα του αζώτου που δεσμεύεται στη κυτταρική μάζα δίδεται από την σχέση:

$$\boldsymbol{P_N} = \frac{14 * P_X}{60} (\frac{kg}{d})$$

Βήμα 4ο: Υπολογισμός του αέριου αζώτου που παράγεται στην απονιτροποίηση.

Από το παρακάτω ισοζύγιο του συνολικού αζώτου υπολογίζεται η παραγωγή του αερίου αζώτου:

$$[N_0] = [N_2] + [N_e] + P_N \Leftrightarrow [N_2] = [N_0] - [N_e] - P_N$$

$[\boldsymbol{N_0}] = N_0 * Q(\frac{kg}{d})$

$[\boldsymbol{N_e}] = [(NeNH_4)' + NeNO_3] * Q(\frac{kg}{d})$

Άρα

$$[N_2] = [N_0] - [N_e] - P_N$$

Βήμα 5ο: Υπολογισμός του οργανικού άνθρακα που αφομοιώνεται στην απονιτροποίηση.

Ο οργανικός άνθρακας που αφομοιώνεται στην απονιτροποίηση, σύμφωνα με τη σχέση:

$$[\boldsymbol{S_D}] = 2.4 * [N_2] \frac{kg}{d}$$

Βήμα 6ο: Υπολογισμός του οργανικού άνθρακα που αφομοιώνεται στην νιτροποίηση [SN].

Από το παρακάτω ισοζύγιο του συνολικού οργανικού άνθρακα υπολογίζεται ο οργανικός άνθρακας που αφομοιώνεται στη δεξαμενή οξείδωσης:

$$[S_0] = [S_D] + [S_N] + [S_e] + P_{X_C} \Leftrightarrow [S_N] = [S_0] - [S_D] - [S_e] - P_{X_C}$$

$[\boldsymbol{S_0}] = S_0 * Q$

$[\boldsymbol{S_e}] = S_e * Q$

Άρα

$$[S_N] = [S_0] - [S_D] - [S_e] - P_{X_C}$$

Βήμα 7ο: Υπολογισμός του όγκου της δεξαμενής οξείδωσης

1ον: Υπολογισμός του κινητικού όγκου VC οξείδωσης του οργανικού άνθρακα:

$$K_C = \frac{K_{maxC} * S_e}{K_S + S_e} (d^{-1})$$

$$\boldsymbol{V_C} = \frac{[S_N]}{X_C * K_C} (m^3)$$

2ον: Υπολογισμός του κινητικού όγκου VN οξείδωσης του οργανικού αζώτου:

$$K_N = \frac{K_{maxN} * NeNH_4}{K_{SN} + NeNH_4} * f_{PH} * f_{DO} (d^{-1})$$

$\boldsymbol{f_{PH}} = -2.2 + 0.395 * PH = -2.2 + 0.395 * 7.6 = \mathbf{0.802}$

$\boldsymbol{f_{DO}} = \frac{DO}{K_{DO} + DO} = \frac{2.4}{1 + 2.4} = \mathbf{0.706}$

$$\boldsymbol{V_N} = \frac{N_2 + NeNO_3}{X_N * K_N} (m^3)$$

Άρα

$$\boldsymbol{V} = \max\{V_C, V_N\}\, m^3$$

Βήμα 8ο: Υπολογισμός του υδραυλικού χρόνου παραμονής Θ

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής Θ υπολογίζεται από την σχέση:

$$\boldsymbol{\Theta} = \frac{V}{Q} = day$$

Βήμα 9ο: Υπολογισμός της συγκέντρωσης πάχυνσης της λάσπης

Η συγκέντρωση Xr υπολογίζεται από την σχέση :

$$X_r = \frac{X}{r} * \left[1 + r - \frac{\Theta}{\Theta_{Cd}}\right] (\frac{mg}{l})$$

όπου:
$X = X_C + X_N (\frac{mg}{l})$

Βήμα 10ο: Υπολογισμός της παροχής W της περίσσειας λάσπης

Η παροχή W υπολογίζεται από την σχέση :

$$W = \frac{P_X}{X_r} (\frac{m^3}{day})$$

Βήμα 11ο: Υπολογισμός του λόγου αναρροής R και της παροχής αναρροής QR

Ο λόγος αναρροής R υπολογίζεται από την σχέση :

$$R = \frac{[N_2]}{NeNO_3} + 1 = 13.84$$

Επομένως η παροχή αναρροής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_R = R * Q - Q_r = \frac{m^3}{day}$$

Βήμα 12ο: Υπολογισμός της συγκέντρωσης των ετερότροφων μικροοργανισμών X_D στη δεξαμενή απονιτροποίησης

Η συγκέντρωση XD υπολογίζεται από το ισοζύγιο των ετερότροφων μικροοργανισμών γύρω από την δεξαμενή απονιτροποίησης:

$$X_D = \frac{X_C * Q_R + X_{rC} * Q_r}{Q + Q_R + Q_r} = \frac{mg}{l}$$

όπου το XrC υπολογίζεται από την σχέση :

$$\boldsymbol{X_{rC}} = \frac{X_C}{r} * \left[1 + r - \frac{\Theta}{\Theta_{CC}}\right] = \frac{mg}{l}$$

Βήμα 13ο: Υπολογισμός του όγκου V_D της δεξαμενής απονιτροποίησης

Ο αναγκαίος όγκος απονιτροποίησης δίδεται από την σχέση:

$$V_D = \frac{[N_2]}{X_D * K_D} = m^3$$

Βήμα 14ο: Υπολογισμός της επιφάνειας Α της δεξαμενής καθίζησης (πάχυνσης) της βιολογικής λάσπης

Η ελάχιστη επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης δίδεται από την σχέση:

$$A = \frac{(Q + Q_r) * X}{G_L}$$

όπου:

$$G_L = X_L^2 * (0.45 - 0.003266 * \theta_C) * 2.54 * e^{[(-0.45+0.003266*\theta_C)*X_L]}$$

$$X_L = \frac{X_r}{2} + \frac{1}{2} * \sqrt{X_r^2 + 4 * \frac{X_r}{(0.45 - 0.003266 * \theta_C)}}$$

<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ</u>

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
$[P_O]=Q*P_O=$ kg/day

ΠΟΣΟΣΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΠΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΜΑΖΑ
$P_P=0.2*P_X*32/60=$kg/day

ΠΑΡΟΧΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ
$[P_e]= [P_O]- P_P=$kg/day

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ
$P_e= [P_e]*10^{-3}*Q=$-mg/l

Βήμα 15ον: Ενεργειακή αριστοποίηση μονάδας

Η συνολική απαίτηση σε οξυγόνο ενός συστήματος ενεργής ιλύος δίνεται από την εξίσωση:

$$(O_2) = \frac{\alpha' * Q * S_r + \beta * b' * x * X * V + \gamma * Q * (NH_{4r})}{1000}$$

όπου:

(O2) = kg καταναλισκομένου οξυγόνου / ημέρα
α΄ = συντελεστής βιοοξείδωσης του BOD, kg O2 / kg BODr
α' = 0,44+0,0128*T_s +(0,06738-0,000887* T_s)*(Θ_c)-(0,0019127-0,0000298*T_s)* $(\Theta_c)^2$ + (1,88858-0,032917*T_s)*(10^{-5})*($\Theta_c)^3$ = **1,27** kg O_2 / kg BOD_r
Sr mg/l βιοαποικοδομούμενο BOD
β΄ =**1,4** kg O2 / kg συντελεστής αυτοοξείδωσης οξειδούμενων MLVSS
b΄ =**0,071** days-1 ρυθμός αυτοοξείδωσης των MLVSS
x = ποσοστό των MLVSS που μπορεί να βιοαποικοδομηθεί

$$x = \frac{Q \times Y \times S_r + b \times X \times V - \sqrt{(Q \times Y \times S_r + b \times X \times V)^2 - (4 \times b \times X \times V) \times (0{,}77 \times Q \times Y \times S_r)}}{2 \times b \times X \times V}$$

Το αποτέλεσμα αυτό ωστόσο θα πρέπει να διορθωθεί ως προς το υψόμετρο που βρίσκεται η εγκατάσταση, ως προς τη θερμοκρασία του καλοκαιριού T_S και ως προς τις συνθήκες κορεσμού της υγρής φάσης σε οξυγόνο, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$(O_2)_o = \frac{(O_2)}{\frac{\beta'' * E * C_t - C_s}{C_t} * a'' * 1{,}024^{Ts-20}}$$

όπου

β'' = 0,943545*($\Theta_c)^{0,009892}$, ο λόγος των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου στο απόβλητο δια του διαλυμένου οξυγόνου στο καθαρό νερό, όταν και τα δύο βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία

α'' = 0,789282*($\Theta_c)^{0,051671}$, ο λόγος της ταχύτητας μεταφοράς οξυγόνου από την αέρια φάση στο υγρό απόβλητο προς την ταχύτητα μεταφοράς του οξυγόνου από την αέρια φάση σε καθαρό νερό

Θεωρώ υψόμετρο εγκατάστασης 200m

E = 0,995598 – 0,000032*(υψόμετρο) , συντελεστής υψομέτρου

C_t = 13,71734*$e^{-0,018578*T}$s , η συγκέντρωση του οξυγόνου σε κορεσμένο με νερό οξυγόνο στη θερμοκρασία σχεδιασμού του βιολογικού καθαρισμού

C_S = DO, η συγκέντρωση του οξυγόνου στον αερόβιο αντιδραστήρα

Το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή ασφαλείας 1,15 οπότε το τελικό αποτέλεσμα για την απαίτηση σε οξυγόνο είναι:

$(O_2)_{\tau\varepsilon\lambda} = 1{,}15*(O_2)_o$

Βασικό κριτήριο για την επιλογή της ισχύος του αεριστήρα είναι η τιμή του συντελεστή μεταφοράς οξυγόνου ο οποίος προκύπτει από τη σχέση:

$$k_L a = \frac{(O_2)_{\tau\varepsilon\lambda} \times 1000}{24 \times V \times C_t \times E \times \beta''}$$

όπου V ο όγκος της δεξαμενής αερισμού

Το βάθος της δεξαμενής αερισμού D έχει ληφθεί 4 m ή 13.12 ft

Επομένως το εμβαδόν της δεξαμενής αερισμού S είναι S = V/D

Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ του αργόστροφου επιφανειακού αεριστήρα από τον παρακάτω αλγόριθμο:

$Y_1 = -6{,}2726+17{,}82*\ln(D)$

$Y_2 = 189{,}7378-16{,}68388*\ln(S)$

$Y_4 = 24{,}5866+10{,}7927*\ln(11.78)$

X1	8.5
X2	18.8
X3	55
X4	80.7
X5	91.4

$Y_3 = Y_1 + (X_3-X_1)*(Y_2-Y_1)/(X_2-X_1)$

$Y_5 = Y_4 + (Y_4-Y_3)*(X_5-X_4)/(X_4-X_3)$

SFT = $5{,}5125*e^{0{,}070529*Y5}$ (**hp**), η αξονική ισχύς του αργόστροφου επιφανειακού αεριστήρα

SFT'=SFT*745,7*10^{-3}(kwatt)

Έπειτα έχοντας πλέον τα δεδομένα του Θc και του Px από το πρόγραμμα που κατασκεύασα και χρησιμοποιώντας ένα νέο πρόγραμμα το οποίο ήδη προυπήρχε, πήραμε το μοριακό τύπο της περίσσειας λάσπης η οποία πήγε για αναερόβια χώνευση.

Η μέγιστη ποσότητα CH_4 που μπορεί να παραχθεί από την αναερόβια χώνευση ενός σύνθετου οργανικού υποστρώματος (που συμβολίζεται ως $C_nH_aO_bN_c$) μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση που αναπτύχθηκε αρχικά από τον Buswell:

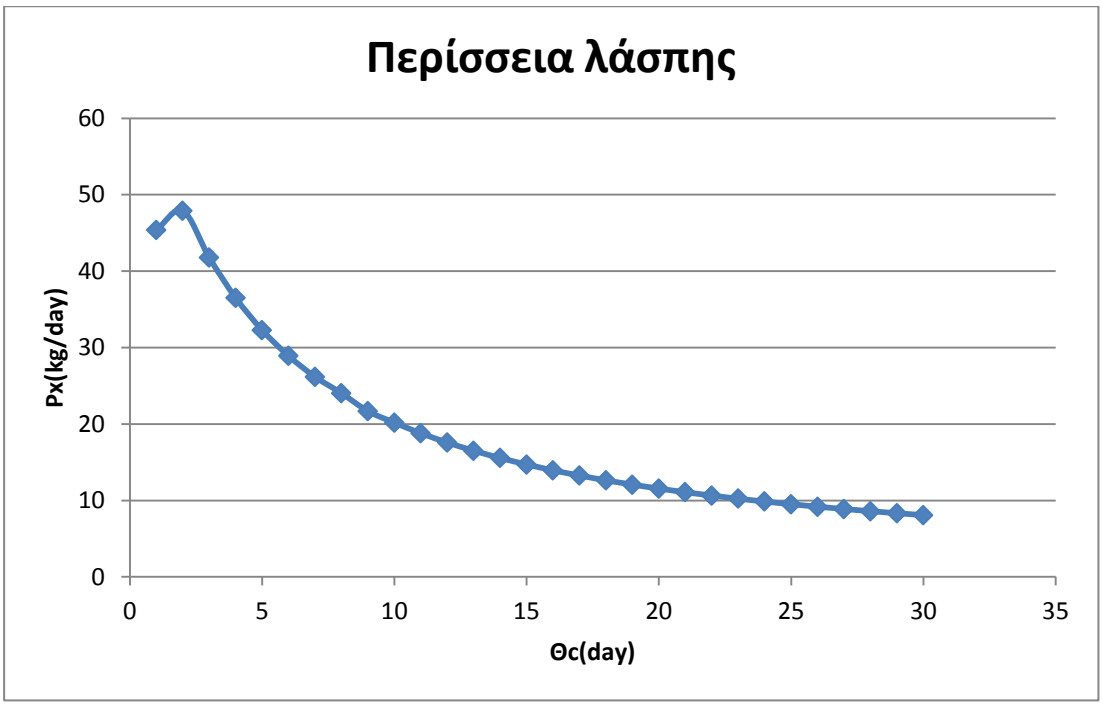
$$\mathbf{C_nH_aO_bN_c+[n-(a/4)-(b/2)+(3*c/4]*H2O \rightarrow [(n/2)+(a/8)-(b/4)-(3*c/8]*CH_4 + [(n/2)-(a/8)+(b/4)+(3*c/8]*CO_2 + nNH_3}$$

Τέλος γνωρίζοντας ότι $1m^3$ CH_4 παράγει 10,232kwh ή 8800 kcal και με βάση την παραπάνω εξίσωση υπολογίσαμε τη ποσότητα ενέργειας που αντιστοιχεί για κάθε Θc .

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

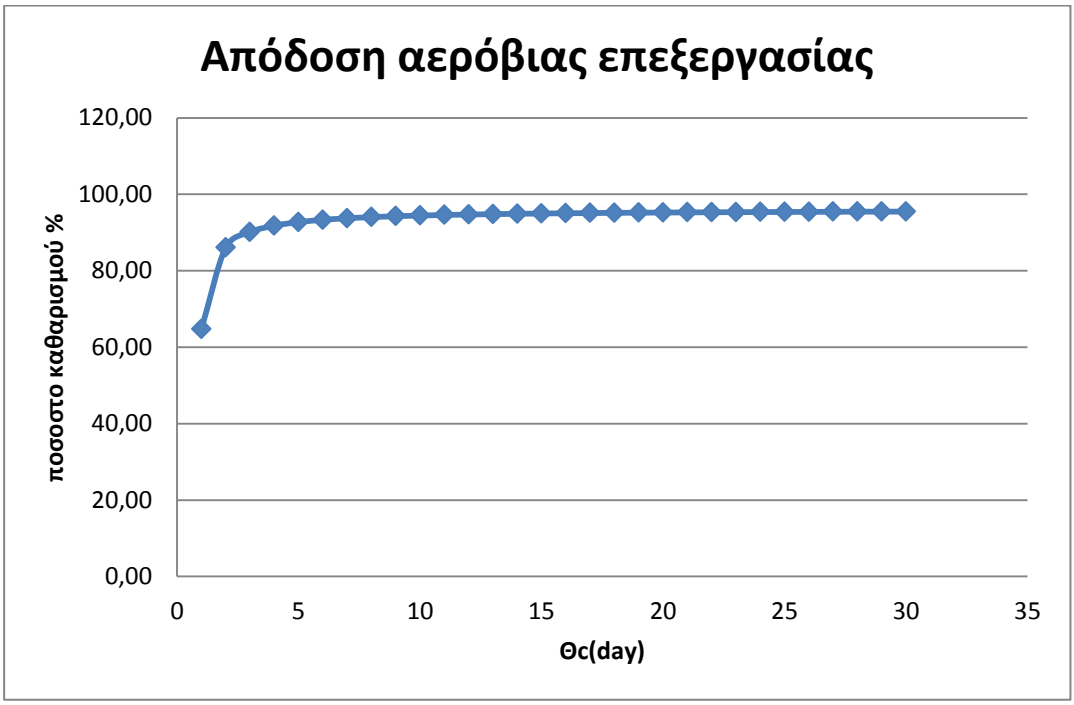
Αρχικά βλέπουμε ότι η ηλικία της λάσπης επιρρεάζει τη ποσότητα της περίσσειας λάσπης που μεταβαίνει στη δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα και εν συνεχεία διάγραμμα.

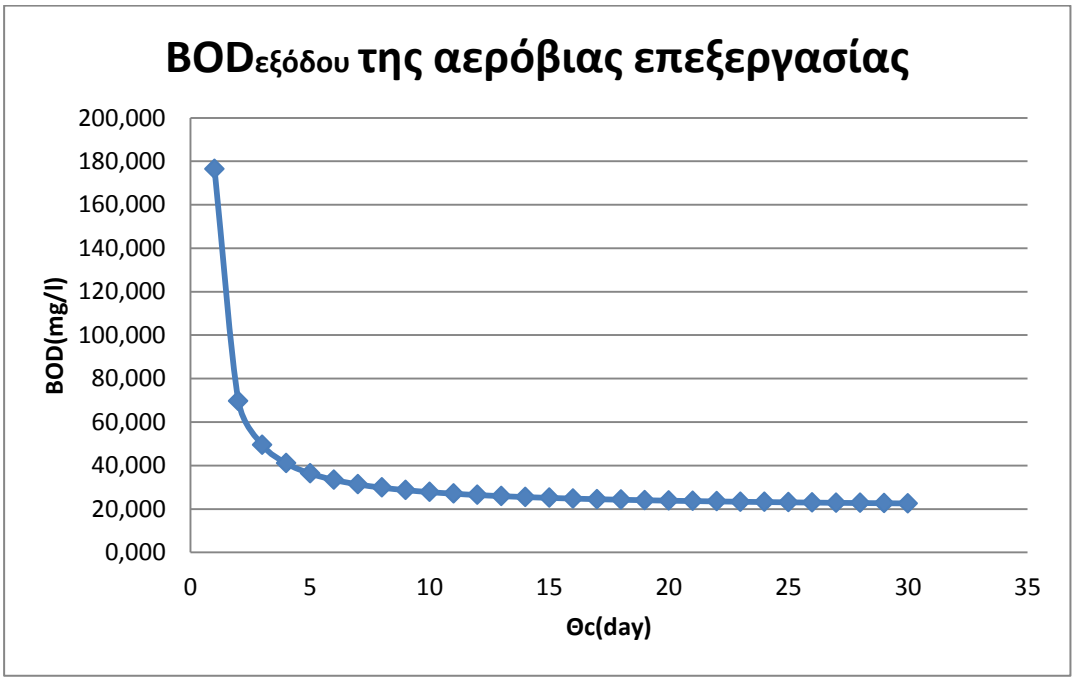
Θc	Px	Θc	Px
1	45,37061	16	13,94553
2	47,91157	17	13,25864
3	41,78516	18	12,63599
4	36,50989	19	12,06902
5	32,29523	20	11,55061
6	28,91751	21	11,0748
7	26,18154	22	10,63657
8	24,0305	23	10,23164
9	21,68338	24	9,856363
10	20,18454	25	9,507603
11	18,79913	26	9,18265
12	17,58091	27	8,879151
13	16,50741	28	8,595051
14	15,5558	29	8,328552
15	14,70703	30	8,078067



Η απόδοση της αερόβιας επεξεργασίας του βιολογικού καθαρισμού μας καθορίζεται από το $BOD_{εξόδου}$ το οποίο μειώνεται σημαντικά μέχρι περίπου τη $10^{η}$ ημέρα και μετέτειτα σταθεροποιήται με μικρή μεταβολή όπως φαινεται παρακάτω.

Θc(day)	BODεξόδου	Απόδοση Ef	Θc(day)	BODεξοδου	Απόδοση Ef
1	176,480	64,70%	16	24,778	95,04%
2	69,627	86,07%	17	24,493	95,10%
3	49,519	90,10%	18	24,241	95,15%
4	41,022	91,80%	19	24,016	95,20%
5	36,332	92,73%	20	23,814	95,24%
6	33,359	93,33%	21	23,632	95,27%
7	31,306	93,74%	22	23,467	95,31%
8	29,803	94,04%	23	23,317	95,34%
9	28,656	94,27%	24	23,179	95,36%
10	27,750	94,45%	25	23,053	95,39%
11	27,018	94,60%	26	22,936	95,41%
12	26,414	94,72%	27	22,829	95,43%
13	25,906	94,82%	28	22,729	95,45%
14	25,474	94,91%	29	22,636	95,47%
15	25,102	94,98%	30	22,550	95,49%


Απόδοση αερόβιας επεξεργασίας
ποσοστο καθαρισμού %
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
0
5
10
15
20
25
30
35
Θc(day)


BODεξόδου της αερόβιας επεξεργασίας
BOD(mg/l)
200,000
180,000
160,000
140,000
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0,000
0
5
10
15
20
25
30
35
Θc(day)

Εδώ βλέπουμε την ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση του αργόστροφου επιφανειακού αεριστήρα.

Θc	watt	kwh/day	Θc	watt	kwh/day
1	592,4045	14,21771	16	806,0919	19,3462
2	650,7854	15,61885	17	815,5868	19,57408
3	676,1267	16,22704	18	823,8399	19,77216
4	700,4904	16,81177	19	831,0214	19,94451
5	716,1357	17,18726	20	837,2585	20,0942
6	749,4836	17,98761	21	842,6522	20,22365
7	801,7217	19,24132	22	847,2871	20,33489
8	993,0231	23,83256	23	851,237	20,42969
9	486,9942	11,68786	24	854,5685	20,50964
10	673,2571	16,15817	25	857,3426	20,57622
11	720,9495	17,30279	26	859,6169	20,63081
12	747,8146	17,94755	27	861,44594	20,6747
13	767,0721	18,40973	28	862,88228	20,70917
14	782,3613	18,77667	29	863,9767	20,73544
15	795,1086	19,08261	30	864,7788	20,75469

Μετέπειτα με τη βοήθεια ενώς έτοιμου προγράμματος του κυρίου Βλυσίδη που αναφέραμαι και προηγουμένως και βάζοντας του τα δεδομενα Θc και Px που έχουμε παραθέσει και παραπάνω αρχικά βρήκαμαι τον μοριακό τύπο της λάσπης που πήγε για αναερόβια χώνευση.

Θ c	Px	C	H	O	N	P	S
1	45,37061	5,0000	9,4672	3,3692	1,0691	0,3463	0,0992
2	47,91157	5,0000	9,4994	3,3348	1,0672	0,3463	0,0992
3	41,78516	5,0000	9,4769	3,2769	1,0664	0,3463	0,0992
4	36,50989	5,0000	9,4432	3,2210	1,0663	0,3443	0,0993
5	32,29523	5,0000	9,4212	3,1700	1,0662	0,3443	0,0993
6	28,91751	5,0000	9,4169	3,1238	1,0654	0,3443	0,0993
7	26,18154	5,0000	9,4227	3,0817	1,0632	0,3443	0,0993
8	24,0305	5,0000	9,4214	3,0432	1,0592	0,3434	0,1006
9	21,68338	5,0000	9,3895	3,0078	1,0526	0,3434	0,1006
10	20,18454	5,0000	9,3015	2,9749	1,0428	0,3431	0,1010
11	18,79913	5,0000	9,1327	2,9443	1,0291	0,3431	0,1010
12	17,58091	5,0000	8,8636	2,9157	1,0110	0,3431	0,1010
13	16,50741	5,0000	8,4832	2,8889	0,9878	0,3431	0,1010
14	15,5558	5,0000	7,9927	2,8635	0,9589	0,3431	0,1010
15	14,70703	5,0000	7,4093	2,8396	0,9237	0,3431	0,1010
16	13,94553	5,0000	6,7695	2,8169	0,8814	0,3431	0,1010
17	13,25864	5,0000	6,1333	2,7953	0,8316	0,3431	0,1010
18	12,63599	5,0000	5,5874	2,7747	0,7735	0,3431	0,1010
19	12,06902	5,0000	5,2492	2,7550	0,7065	0,3431	0,1010
20	11,55061	5,0000	5,2700	2,7362	0,6300	0,3430	0,1010
21	11,0748	5,0000	5,8393	2,7181	0,5434	0,3430	0,1010
22	10,63657	5,0000	7,1879	2,7008	0,4460	0,3430	0,1010
23	10,23164	5,0000	9,5919	2,6841	0,3430	0,3430	0,1010
24	9,856363	5,0000	13,3762	2,6681	0,3430	0,3430	0,1010
25	9,507603	5,0000	18,9181	2,6526	0,3430	0,3430	0,1010
26	9,18265	5,0000	26,6513	2,6376	0,3430	0,3430	0,1010

Εν συνεχεία υπολογίσαμαι το ποσοστό του συνολικού άνθρακα που μετατρέπεται σε CH_4, καθώς και την ημερήσια παραγωγή μεθανίου σε m^3/day.

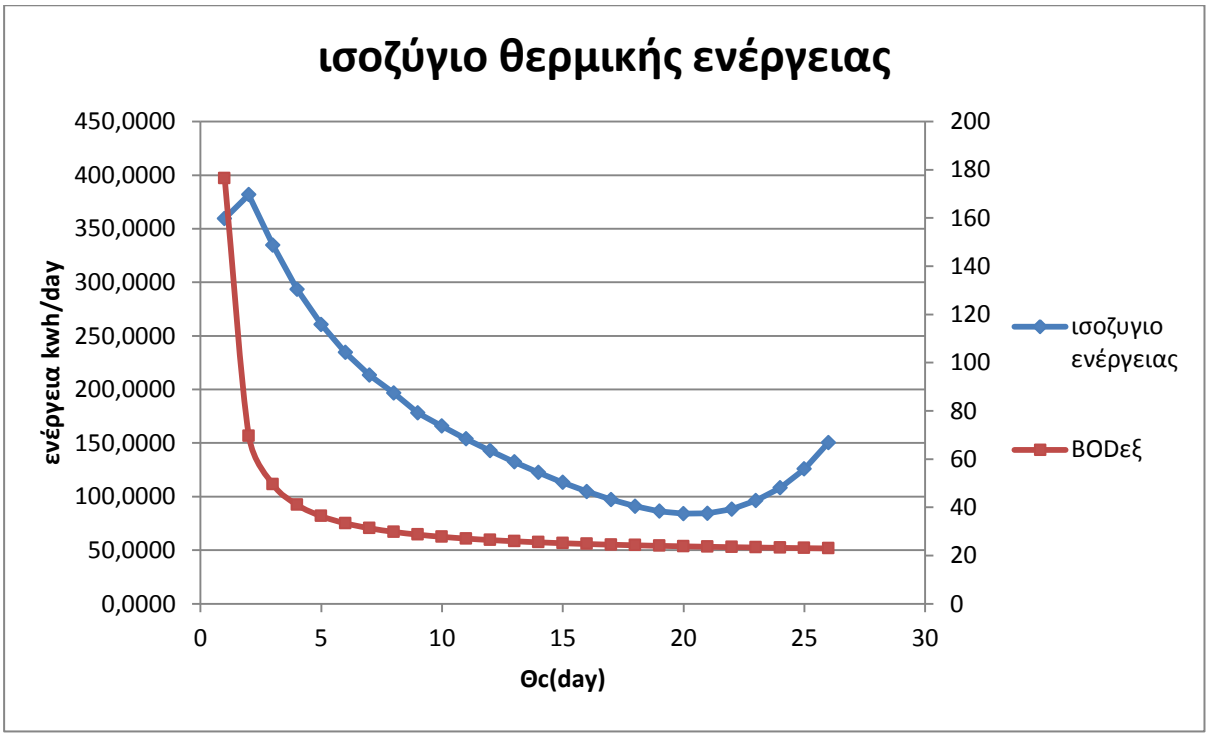
Θ c	Px	Ποσοστό CH_4/Cεισόδου	Ημερήσια παραγωγή m^3/d
1	45,37061	0,4880	41,33285
2	47,91157	0,4907	43,88674
3	41,78516	0,4931	38,46100
4	36,50989	0,4951	33,73892
5	32,29523	0,4971	29,96541
6	28,91751	0,4993	26,95359
7	26,18154	0,5017	24,52106
8	24,0305	0,5039	22,60490
9	21,68338	0,5054	20,45666
10	20,18454	0,5056	19,04927
11	18,79913	0,5039	17,68328
12	17,58091	0,5000	16,40809
13	16,50741	0,4935	15,20815
14	15,5558	0,4847	14,07512
15	14,70703	0,4740	13,01216
16	13,94553	0,4623	12,03410
17	13,25864	0,4512	11,16700
18	12,63599	0,4429	10,44775
19	12,06902	0,4405	9,92378
20	11,55061	0,4477	9,65274
21	11,0748	0,4693	9,70231
22	10,63657	0,5112	10,15007
23	10,23164	0,5799	11,07484
24	9,856363	0,6753	12,42404
25	9,507603	0,8146	14,45706
26	9,18265	1,0087	17,28961

Βέβαια η παραγωγή ενέργειας από το μεθάνειο μπορει να μετατραπεί είτε σε θερμό ατμό είτε σε ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής στην οποία έχει κατασκευαστεί.

Σε περίπτωση που αποφασήσουμε να μετατρέψουμε το μεθάνειο σε θερμό ατμό η απόδοση που θα έχουμε θα είναι της τάξης του 85% σε ιδανική κατάσταση και το ενεργεικό ισοζύγιο αντίστοιχα σε σχέση με τη κατανάλωση του επιφανειακού αεριστήρα

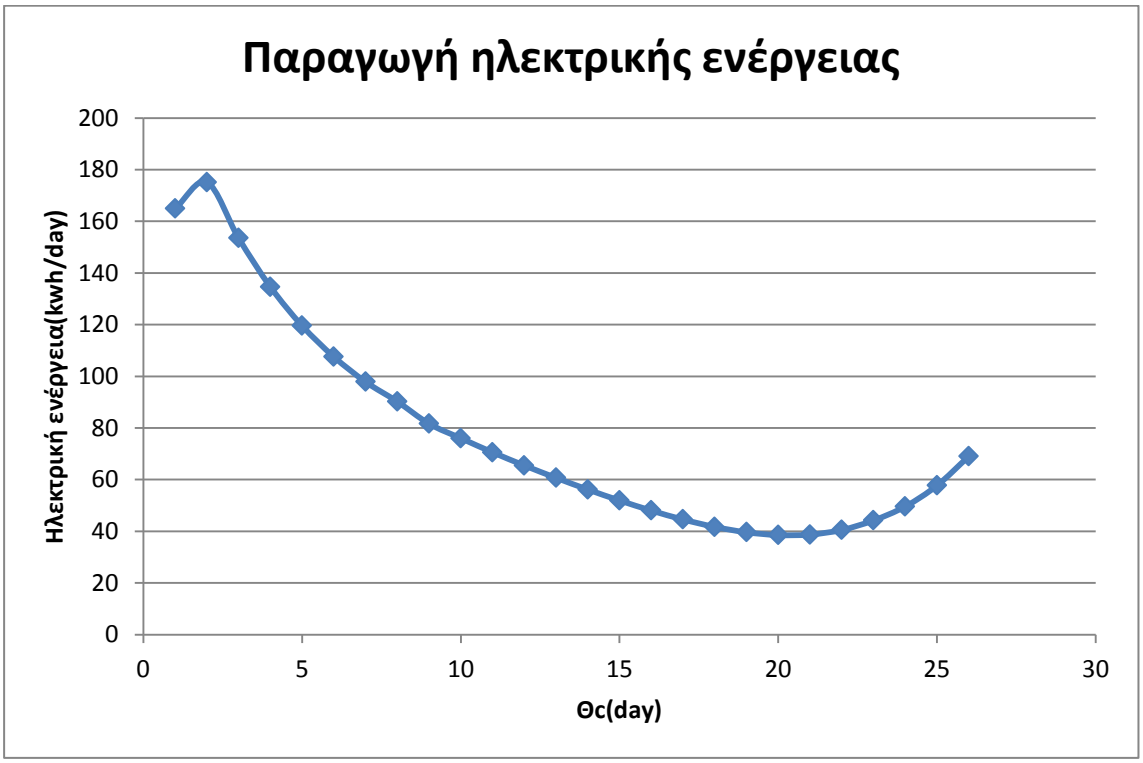
Θc	**Θερμική ενέργεια**	**Θc**	**Θερμική ενέργεια**
1	359,4997	14	122,4208
2	381,7126	15	113,1756
3	334,5213	16	104,6687
4	293,4501	17	97,12691
5	260,6294	18	90,87113
6	234,4336	19	86,31379
7	213,2762	20	83,95636
8	196,6101	21	84,38757
9	177,9253	22	88,28198
10	165,6844	23	96,32539
11	153,8034	24	108,0603
12	142,7123	25	125,7428
13	132,2755	26	150,3794

Θc	Ισοζύγιο Θερμικής ενέργειας	Θc	Ισοζύγιο Θερμικής ενέργειας
1	359,4997	14	122,4208
2	381,7126	15	113,1756
3	334,5213	16	104,6687
4	293,4501	17	97,1269
5	260,6294	18	90,8711
6	234,4336	19	86,3138
7	213,2762	20	83,9564
8	196,6101	21	84,3876
9	177,9253	22	88,2820
10	165,6844	23	96,3254
11	153,8034	24	108,0603
12	142,7123	25	125,7428
13	132,2755	26	150,3794

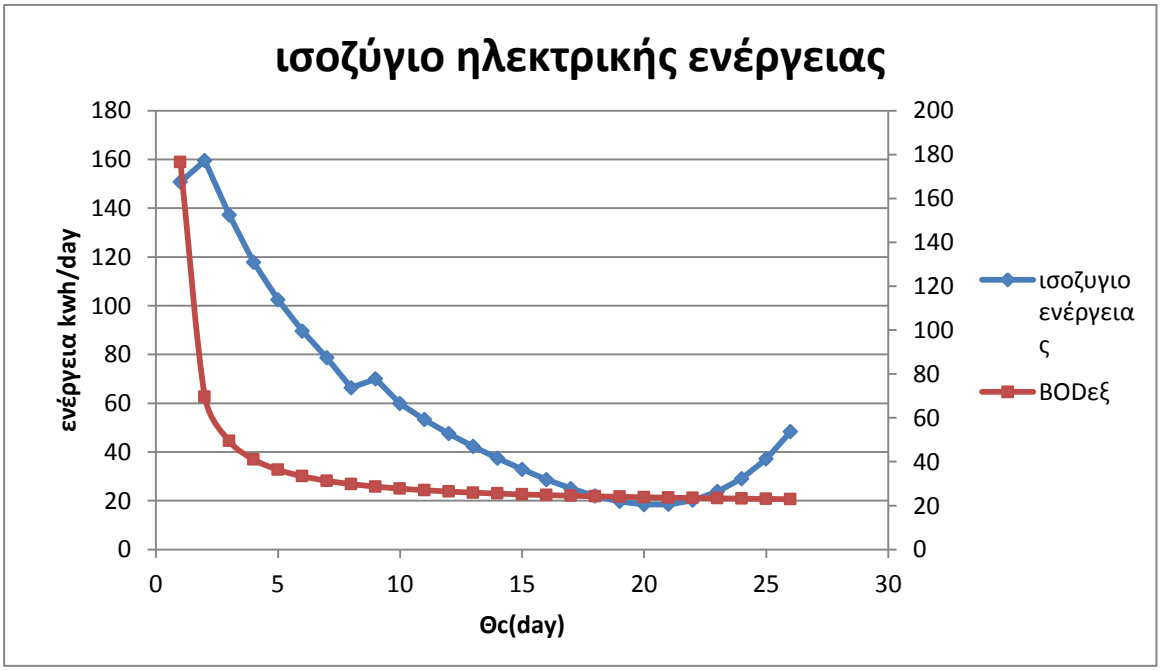


Αντίθετα αν μετατρέψουμε το μεθάνειο σε ηλεκτρική ενέργεια τότε στην καλύτερη περίτωση η απόδοση αυτή θα αγγίξει το 39%.

Θc	Ηλεκτρική ενέργεια	Θc	Ηλεκτρική ενέργεια
1	164,9469	14	56,16954
2	175,1387	15	51,92761
3	153,4862	16	48,02447
4	134,6418	17	44,56411
5	119,5829	18	41,69381
6	107,5636	19	39,6028
7	97,85615	20	38,52115
8	90,20933	21	38,719
9	81,63633	22	40,50585
10	76,01989	23	44,19636
11	70,56861	24	49,5806
12	65,47974	25	57,69377
13	60,69113	26	68,9976



Θc	Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας	Θc	Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας
1	150,7292101	14	37,39286278
2	159,5198718	15	32,84500515
3	137,2591865	16	28,67826465
4	117,8300621	17	24,99002663
5	102,3956277	18	21,92165604
6	89,57604112	19	19,65828425
7	78,61482467	20	18,42694933
8	66,37677943	21	18,49534896
9	69,94847118	22	20,17095864
10	59,86172232	23	23,76666853
11	53,26581985	24	29,07095311
12	47,53219025	25	37,1175486
13	42,28140432	26	48,36679842



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περίσσεια της λάσπης(Px) η οποία μετά την αερόβια επεξεργασία μεταβαίνει στην αναερόβια χώνευση εξαρτάται άμεσα από το Θc, το οποίο είναι αντιστρόφος ανάλογο του Px.

Η απόδοση της αερόβιας επεξεργασιας μας αρχίζει την πρώτη ημέρα σε μία κλίμακα της τάξεως του 65%, ενώ μέχρι την $10^{η}$ ημέρα έχει φτάσει κοντά στο 95%. Μετέπειτα μέχρι την $30^{η}$ ημέρα όπου και μελετάμε δεν έχει αυξηθεί περισσότερο απο 1% αγγίζοντας το 95,5%.

Όσον αναφορά τη κατανάλωση του αργόστροφου επιφανειακού αεριστήρα που κάνουμε χρήση στην αερόβια επεξεργασία μας βλέπουμε ότι έχουμε μία σταθερή διακύμανση σε όλο το εύρως του Θc που μελετάμαι και αυτό κυμαίνεται μεταξύ 15 εως 20 kwh/day.

Σχετικά τώρα με το ενεργειακό ισοζύγιο της αερόβιας επεξεργασίας σε σχέση με τη παραγωγή ενέργειας από το μεθάνιο που προκύπτει από τον αερόβιο χωνευτήρα,που ήταν και ο πραγματικός σκοπός της εργασίας μας, βλέπουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις. Δηλαδή στη περίπτωση όπου μετατρέψουμε το μεθάνιο σε θερμική ενέργεια καθώς και στη περίπτωση που το μετατρέψουμε σε ηλεκτρική ενέργεια, το μέγιστο ενεργειακό όφελος το λαμβάνουμε τις πρωτες τρείς ημέρες, ενώ εν συνεχεία καθώς το Θc αυξάνεται το ενεργειακό όφελος μειώνεται. Τις ημέρες βέβαια που έχουμε τη μεγιστη ενεργειακή απόδοση, έχουμε παράλληλα και το μεγαλυτερο BODεξόδου και κατε’επέκταση και τη χαμηλότερη απόδοση του βιολογικού.

Επομένως τίθεται ένα μείζονος σημασίας ερώτημα το οποίο πολές φορές διαμορφώνεται και από τη πολιτική του ίδιου του κράτους. Αν δηλαδη έχουμε ως στόχευση τη μεγιστοποίηση του ενεργειακού οφέλους ανεξαρτήτως περιβαλλοντικού κώστους ή έχουμε ως γνώμονα τη προστασία του περιβάλλοντος θυσιαζοντας πολλές φορές τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Απόστολος Βλυσίδης, Σχεδιασμός βιολογικών καθαρισμών
- Απόστολος Βλυσίδης, Απλοποιημένος σχεδιασμός βιολογικών καθαρισμών
- Απόστολος Βλυσίδης, Συστήματα αερισμού
- Abel, E. (2000). Volume of world petroleum reserves. In The Physics Factbook, Edited by G. Elert
- BP: British Petroleum (2008). BP Statistical Review of World Energy. London
- IEA: International Energy Agency (2001). Biogas and More! Systems and Markets Overview of Anaerobic Digestion.
- Σταματόγλου Αιμίλιος (2011). Παραγωγή Ενέργειας με αεριοποίηση ιλύων από μονάδες βιολογικών καθαρισμών, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ
- Toerien, D.F. and Hattingh, W.H.J. (1969). Anaerobic digestion: I. The microbiology of anaerobic digestion. Water Research, 3, 385-416.