



Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση Ιλύος

Βακόνδιος Νικόλαος – Ιωάννης

Επιβλέπων καθηγητής: Διαμαντόπουλος Ευάγγελος

Χανιά 2007

Περιεχόμενα

1	Περίληψη	3
2	Εισαγωγή	5
3	Θεωρητικό Μέρος.....	6
3.1	Χαρακτηριστικά της ενεργού ιλύος.....	6
3.2	Μέθοδοι σταθεροποίησης της ιλύος.....	7
3.2.1	Αναερόβια επεξεργασία.....	7
3.2.2	Αερόβια επεξεργασία	8
3.2.3	Συστήματα Αυτόθερμης Θερμόφιλης Αερόβιας Χώνευσης Ιλύος	11
4	Πειραματικό Μέρος.....	14
4.1	Πιλοτική μονάδα.....	14
4.2	Λειτουργία.....	15
4.3	Αναλυτικό μέρος	17
4.3.1	Μέτρηση Ολικών Στερεών (TS) και Πτητικών Στερεών (VS).....	17
4.3.2	Μέτρηση διαλυμένου οξυγόνου (D.O.)	17
4.3.3	Προσδιορισμός ειδικών χαρακτηριστικών της αφυδατότητας της ιλύος	17
4.3.4	Μέτρηση του δυναμικού ιξώδους.....	21
5	Αποτελέσματα.....	22
5.1	Θερμοκρασίες	22
5.2	Στερεά	25
5.3	Ιξώδες.....	28
5.4	Ειδική αντίσταση ιλύος.....	29
5.5	Ταχύτητα διήθησης.....	30
5.6	Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος.....	32
5.7	Εξάτμιση νερού – Μείωση μάζας Στερεών	33
6	Συμπεράσματα.....	35
7	Βιβλιογραφία.....	36

1 Περίληψη

Στην εν λόγω εργασία μελετήθηκε η δυνατότητα επεξεργασίας ιλύος δευτεροβάθμιας καθίζησης με την μέθοδο της Αυτόθερμης Θερμόφιλης Αερόβιας Χώνευσης ιλύος. Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε πιλοτική μονάδα για επεξεργασία 120 λίτρων ιλύος με χρόνο παραμονής 12 ημερών. Η διάρκεια συστηματικής παρακολούθησης της μονάδας ήταν 43 ημέρες. Η προς επεξεργασία ιλύς προερχόταν από τη μονάδα μηχανικής πάχυνσης (φυγοκέντρισης) της ιλύος που παραγόταν από τη δευτεροβάθμια καθίζηση του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων με μέσο όρο συγκέντρωσης των Ολικών Στερεών 3,91% και των Πτητικών Στερεών 2,77%. Στο σύστημα δεν επιτεύχθηκαν θερμόφιλες συνθήκες. Η μέση θερμοκρασία της δεξαμενής ήταν 28,9°C με μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος τους 26,3°C. Ως αιτία μη επίτευξης θερμόφιλων συνθηκών εμφανίζεται η μη επαρκής μόνωση της δεξαμενής και η μειωμένη (σε σχέση με τα βιβλιογραφικά παραδείγματα) μηχανική ανάδευση.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μετριούνταν καθημερινά, στην ιλύ εισροής και εκροής τα Ολικά (μείωση 24,81%) και τα Πτητικά στερεά (μείωση 26,54%), η ειδική αντίστασή της ιλύος (αύξηση 60,91%), η ταχύτητα διήθησης (αύξηση 18,96%) και η δυνατότητα συμπίκνωσής της (μείωση 52,07% του απαιτούμενου χρόνου για διπλασιασμό της συγκέντρωσης των στερεών μέσω διήθησης). Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος απαιτείται η γνώση του ιξώδους της ιλύος. Για αυτό το σκοπό μετρήθηκε το ιξώδες για μικρό αριθμό δειγμάτων και στην συνέχεια κατασκευάστηκε καμπύλη συσχέτισης του ιξώδους με την συγκέντρωση των ολικών στερεών. Από την γραφική παράσταση προέκυψε η εξίσωση συσχέτισης $\mu[cP] = 0,258e^{82.591 \cdot TS[\%]}$. Τέλος κατά την λειτουργία παρατηρήθηκε μείωση του όγκου επεξεργασίας λόγω εξάτμισης κατά 5,88%. Για λόγους σύγκρισης πραγματοποιήθηκαν οι αντίστοιχες μετρήσεις σε έξι δείγματα ιλύος εισροής και εκροής της αναερόβιας χώνευσης του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων. Τα αποτελέσματα μεταξύ των αποτελεσμάτων της εισροής και της εκροής ήταν μείωση των Ολικών στερεών κατά 33,77%, των Πτητικών κατά 42,96%,

αύξηση της ειδικής αντίστασης κατά 55,45%, μείωση της ταχύτητας διήθησης κατά 29,79% και αύξηση του απαιτούμενου χρόνου για συμπύκνωση της ιλύος κατά 13,16%. Τέλος η εξίσωση συσχέτισης που προέκυψε μεταξύ του δυναμικού ιξώδους με την συγκέντρωση των στερεών ήταν η $\mu[cP] = 0,3358e^{26.716 \cdot TS [\%]}$.

2 Εισαγωγή

Η παραγόμενη ιλύς, κατά την επεξεργασία των λυμάτων, αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι βιολογικοί καθαρισμοί. Οι ποσότητες είναι χαρακτηριστικά μεγάλες και μοναδική λύση που φαίνεται να εφαρμόζεται είναι η εναπόθεση είτε του αρχικού υλικού είτε του υλικού που προκύπτει μετά από μερική επεξεργασία. Η επεξεργασία αυτή έχει ως κύριο στόχο την μείωση του προς εναπόθεση υλικού με μεθόδους πάχυνσης και χώνευσης. Βασική επιλογή αποτελεί η αναερόβια χώνευση, εξαιτίας του παραγόμενου κατά την διαδικασία βιοαερίου. Παρόλα αυτά η μέθοδος αυτή δεν είναι πλέον αρκετή, λόγω κυρίως του μεγέθους των εγκαταστάσεων που απαιτούνται. Η επικίνδυνη για την υγεία ιλύς φτάνει και πάλι σε μεγάλες ποσότητες σε χώρους εναπόθεσης, καθώς και η επιλογή της καύσης συνήθως απορρίπτεται εξαιτίας του κόστους της επένδυσης.

Η Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση της ιλύος αποτελεί μια νέα μέθοδο επεξεργασίας που έχει αρχίσει να εφαρμόζεται σε πειραματικό στάδιο δίνοντας αισιόδοξα αποτελέσματα. Οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις είναι συγκριτικά μικρότερες μειώνοντας συνεπώς το κόστος της επένδυσης. Επιπλέον, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της επακόλουθης μείωσης των παθογόνων μικροοργανισμών, φαίνεται πιθανή η παραγωγή προϊόντος ακίνδυνου για την υγεία και συνεπώς εκμεταλλεύσιμου.

Στόχος της εν λόγω μελέτης είναι να εντοπιστούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αερόβιας χώνευσης ιλύος και πιο συγκεκριμένα της Αυτόθερμης Θερμόφιλης Αερόβιας Χώνευσης της ιλύος. Στην συνέχεια να προσδιοριστεί κατά πόσο μια τέτοια επεξεργασία θα ήταν ωφέλιμη, για μονάδες βιολογικών καθαρισμών μεγάλης δυναμικότητας, όπως αυτός των Χανίων.

3 Θεωρητικό Μέρος

3.1 Χαρακτηριστικά της ενεργού ιλύος

Ως ιλύ ορίζουμε το μη επιθυμητό προϊόν που παράγεται από την πρωτοβάθμια και την δευτεροβάθμια καθίζηση των βιολογικών καθαρισμών. Τα δύο είδη της ιλύος, διαφέρουν τόσο στο ποσοστό των στερεών που περιέχουν, όσο και στο είδος των μικροοργανισμών που υπάρχουν σε αυτές. Στις περισσότερες περιπτώσεις η παραγόμενη ιλύς εναποτίθεται σε καθορισμένους, για αυτή την χρήση χώρους (συνήθως σε Χ.Υ.Τ.Α.). Βασικά προβλήματα της εναπόθεσής της αποτελούν, εκτός των μεγάλων ποσοτήτων, οι παραγόμενες οσμές, τα παθογόνα βακτήρια καθώς και ο επηρεασμός της ευστάθειας του πρανούς της περιοχής εναπόθεσης.

Η Ε.Π.Α. (U.S. Environmental Protection Agency) έχει ορίσει κριτήρια για την ποιότητα της ιλύος, με βάση τα οποία καθορίζεται η δυνατότητα ή όχι χρήσης του προϊόντος της χώνευσης³. Έχουν έτσι δημιουργηθεί δύο κατηγορίες:

- Α΄ Κατηγορία: Οι ποσότητες των παθογόνων βακτηριδίων της ιλύος που ανήκει στην εν λόγω κατηγορία, βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Ένα από τα κριτήρια που εξασφαλίζουν την ποιότητα της ιλύος είναι η Αερόβια χώνευση της ιλύος για 10 τουλάχιστον μέρες σε θερμοκρασίες 55 - 60 °C. Η παραγόμενη ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εδαφοβελτιωτικό.
- Β΄ Κατηγορίας: Οι ποσότητες των παθογόνων βακτηριδίων της ιλύος που ανήκει στην εν λόγω κατηγορία, είναι μεν ανιχνεύσιμες αλλά κάτω από συγκεκριμένα όρια, ώστε να μην αποτελούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Η ιλύς που ικανοποιεί τα κριτήρια που έχουν ορισθεί για την συγκεκριμένη κατηγορία, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό με κάποιους όμως περιορισμούς.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της τελικής εναπόθεσης έχουν εφαρμοστεί αρκετές τεχνικές. Οι μέθοδοι επεξεργασίας έχουν ως στόχο (σε διαφορετικό βαθμό η

κάθε μια) την συμπύκνωση της ιλύος με σκοπό την μείωση των παραγόμενων ποσοτήτων και/ή την σταθεροποίησή της ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής εναπόθεση.

3.2 Μέθοδοι σταθεροποίησης της ιλύος

Οι βασικές μέθοδοι σταθεροποίησης είναι η αλκαλική σταθεροποίηση και η βιολογική χώνευση. Η αλκαλική σταθεροποίηση έχει ως στόχο την αύξηση του pH της ιλύος με προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου. Η προσθήκη, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε πριν την αφυδάτωση είτε μετά, επιτυγχάνει την παύση των βιολογικών διεργασιών (και συνεπώς της παραγωγής οσμών) και θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Η βιολογική σταθεροποίηση, την οποία και θα μελετήσουμε πιο αναλυτικά, εμφανίζεται με πολλές μορφές ανάλογα με τις βασικές παραμέτρους της: την παρουσία οξυγόνου και την θερμοκρασία. Έτσι εμφανίζονται οι δύο βασικές κατηγορίες, η αερόβια και η αναερόβια επεξεργασία. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χωριστούν ανάλογα με την παρατηρούμενη θερμοκρασία σε ψυχρόφιλες (<10 °C), μεσόφιλες (15-45 °C) και θερμόφιλες (>50 °C). Επιπλέον κατηγοριοποιήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, όπως το είδος του παρεχόμενου αερισμού (παροχή αέρα ή καθαρού οξυγόνου) και την πηγή της θερμότητας (αυτόθερμα ή όχι συστήματα). Επιπλέον είναι πιθανό σε μια μονάδα επεξεργασίας να υπάρχουν δύο τύποι επεξεργασίας σε σειρά (π.χ. αρχικά μία μεσόφιλη αερόβια δεξαμενή και στην συνέχεια μία θερμόφιλη αερόβια δεξαμενή).

3.2.1 Αναερόβια επεξεργασία

Η αναερόβια διεργασία μπορεί να περιγραφεί συντόμως ως η διαδικασία αποδόμησης, απουσίας οξυγόνου, οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και νερό. Η διεργασία αυτή μπορεί χωριστεί σε τρία βασικά στάδια:

- Την υδρόλυση κατά την οποία τα πιο πολύπλοκα οργανικά μόρια διασπώνται σε απλούστερα.
- Την μετατροπή των απλούστερων μορίων σε οργανικά οξέα
- Μετατροπή των οργανικών οξέων σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα

Γίνεται αντιληπτό ότι η αερόβια επεξεργασία προτιμάται για ιλύ προερχόμενη από την πρωτοβάθμια καθίζηση, η οποία βρίσκεται ήδη σε αναερόβια κατάσταση.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αναερόβιας επεξεργασίας (ενός ή δύο σταδίων, ψυχρόφιλες ή μεσόφιλες), με συνέπεια να υπάρχει πληθώρα δεδομένων όσον αναφορά την απόδοση των συστημάτων και το χρόνο παραμονής.

Στον Πίνακα 1 μπορούμε να δούμε την μείωση των πτητικών στερεών για διάφορους χρόνους παραμονής για μεσόφιλες συνθήκες χώνευσης (οι οποίες είναι εύκολο να επιτευχθούν αυτόθερμα, λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που πραγματοποιούνται).

Πίνακας 1: Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής

<i>Χρόνος Παραμονής (μέρες)</i>	<i>Μείωση πτητικών στερεών(%)</i>
30	65,5
20	60
15	56

*WEF (1998)¹¹

Βασικό πλεονέκτημα της αναερόβιας επεξεργασίας (πέραν των υψηλών ποσοστών μείωσης των πτητικών στερεών) είναι η παραγωγή του βιοαερίου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Η συνολική παραγόμενη ποσότητα αντιστοιχεί περίπου σε 0,75-1,12 m³/kg πτητικών στερεών που καταστρέφονται.

Βασικό μειονέκτημα είναι οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής και συνεπώς οι μεγάλες εγκαταστάσεις που απαιτούνται καθώς και η επεξεργασία των παραγόμενων αερίων στην περίπτωση που οι ποσότητες δεν είναι αρκετές για εκμετάλλευση.

3.2.2 Αερόβια επεξεργασία

Κατά την αερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα οξείδωση του οργανικού υλικού με παράλληλη νιτροποίηση. Το αναγκαίο οξυγόνο παρέχεται στο σύστημα είτε με παροχή καθαρού οξυγόνου (πιο σπάνια) είτε με παροχή αέρα (πιο συχνά). Η αερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται κυρίως σε ιλύ προερχόμενη από τη δευτεροβάθμια καθίζηση, επειδή σε αυτήν υπάρχουν ήδη αερόβιοι μικροοργανισμοί. Στην περίπτωση

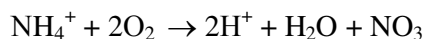
που προστεθεί και ιλύς προερχόμενη από πρωτοβάθμια καθίζηση, πιθανότατα θα πρέπει να αυξηθούν οι χρόνοι παραμονής.

Αν δεχτούμε ως χημικό τύπο της βιομάζας τον $C_5H_7NO_2$, τότε μπορούμε να περιγράψουμε τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την αερόβια χώνευση με τις ακόλουθες σχέσεις:

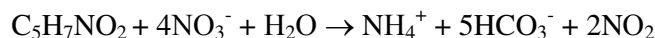
-Αποδόμηση βιομάζας



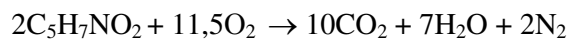
-Νιτροποίηση της αμμωνίας



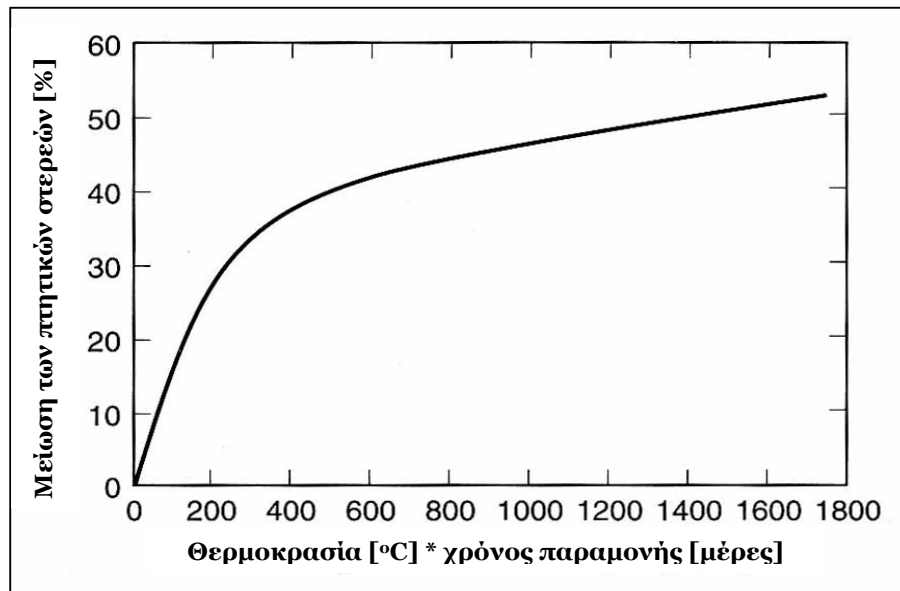
-Απονιτροποίηση



Συνολικά, το σύνολο των αντιδράσεων μπορούν να περιγραφούν με τη σχέση:



Η μείωση των πτητικών στερεών σε ένα αερόβια σύστημα εξαρτάται από τη θερμοκρασία της δεξαμενής και τον χρόνο παραμονής, όπως φαίνεται στο *Σχήμα 1*. Το Διαλυμένο Οξυγόνο στη δεξαμενή επεξεργασίας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 mg/l, αν και στα συστήματα με υψηλές θερμοκρασίες αυτές οι τιμές είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθούν.



Σχήμα 1. Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής και της θερμοκρασίας (Metcalf & Eddy)

Η περιορισμένη εφαρμογή της αερόβιας χώνευσης αιτιολογείται από το αυξημένο κόστος λειτουργίας (λόγω του αερισμού) και από τις μικρές τιμές απομάκρυνσης των πτητικών στερεών. Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι οι μικρότερες παρατηρούμενες τιμές του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (B.O.D.) και φωσφόρου στο παραγόμενο προϊόν, η έλλειψη οσμών και κινδύνου έκρηξης (λόγω της μη παραγωγής βιοαερίου), καθώς και το μικρότερο αρχικό κόστος εξαιτίας των μικρών χρόνων παραμονής (κυρίως στα μεσόφιλα και θερμοφιλα συστήματα), οι οποίοι μειώνουν τον αιτούμενο όγκο των δεξαμενών.

Απόδοση αερόβιων συστημάτων συναρτήσει θερμοκρασίας

Στην αερόβια επεξεργασία παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στην απόδοση του συστήματος με αύξηση της θερμοκρασίας. Στον Πίνακα 1 μπορούμε να διακρίνουμε την αύξηση της απομάκρυνσης των πτητικών στερεών συναρτήσει της θερμοκρασίας για χρόνο παραμονής 17 ημερών.

Πίνακας 1: Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	20	37	40	45	50	55
Μείωση πτητικών στερεών (%)	24	49	39	55	62	48

*Milenko⁸ (2002)

Από την ίδια πηγή μπορούμε να δούμε τη μείωση των πτητικών στερεών για σταθερή θερμοκρασία 50 °C, στην πάροδο του χρόνου (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου

Χρόνος παραμονής (ημέρες)	5	6	7	8	9
Μείωση πτητικών στερεών (%)	30	35	37,5	44	47

*Milenko⁸ (2002)

Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι η αερόβια επεξεργασία, όταν πραγματοποιείται σε μεσόφιλες ή θερμόφιλες συνθήκες, μπορεί να επιτύχει υψηλές απομακρύνσεις των πτητικών στερεών σε μικρούς χρόνους παραμονής. Δεδομένου ότι οι πραγματοποιούμενες αντιδράσεις είναι εξώθερμες, είναι δυνατόν να επιτευχθεί Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση Ιλύος (Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion, A.T.A.D.).

3.2.3 Συστήματα Αυτόθερμης Θερμόφιλης Αερόβιας Χώνευσης Ιλύος

Η αερόβια χώνευση της ιλύος, όπως αναφέραμε και νωρίτερα είναι μια εξώθερμη αντίδραση με παραγωγή θερμότητας περίπου 25kcal/lιτ ιλύος⁵ ή 20.000kJ ανά κιλό πτητικών στερεών που αποδομείται⁸, κάνοντας εφικτή την πραγματοποίηση αυτόθερμων διεργασιών.

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ο αριθμός των βακτηρίδιων που συμμετέχουν στην νιτροποίηση μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα να μειώνονται κατά 30-40% οι απαιτήσεις σε οξυγόνο, καθώς επίσης και να μην πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις νιτροποίησης. Συνεπώς στα προϊόντα της επεξεργασίας περιλαμβάνεται και η αμμωνία. Μέρος της αμμωνίας δύναται να μετατραπεί σε Νιτρικά. Συνολικά οι αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος μπορούν να αποδοθούν με την αντίδραση:



Στην πράξη τα συστήματα A.T.A.D. μπορούν να χρησιμοποιούν δύο δεξαμενές συνδεδεμένες στην σειρά, όπου στην πρώτη πραγματοποιείται μεσόφιλη χώνευση και στη δεύτερη η θερμόφιλη. Επίσης έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία συστήματα μίας (θερμόφιλης) φάσης. Το εισερχόμενο υλικό είναι συνήθως δευτεροβάθμια ιλύς, ενώ

μπορεί να χρησιμοποιηθεί μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, καθώς και λυμάτων προερχόμενων από οικιακούς βόθρους.

Στην βιβλιογραφία εμφανίζεται διάσταση απόψεων σε σχέση με την προτεινόμενη συγκέντρωση των Ολικών Στερεών στην ιλύ εισροής. Έχει επιλεγεί με επιτυχία τροφοδοσία ανάμικτης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος με λόγο ανάμιξης 1:2 και ολικά στερεά μεταξύ 1,5 και 2%¹⁰. Επιπλέον έχει χρησιμοποιηθεί τροφοδοσία μίγματος αποτελούμενο από πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια καθώς και ιλύ προερχόμενη από οικιακούς βόθρους με συνολικό ποσοστό στερεών 4,7%⁶. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, προτείνεται η τροφοδοσία να έχει συγκέντρωση ολικών στερεών 4-10%^{7,9,11}

Τα βασικότερα σημεία στον σχεδιασμό ενός συστήματος A.T.A.D., αποτελούν η σωστή μόνωση του συστήματος και η κατάλληλη μέθοδος αερισμού (ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου (D.O.) με μικρότερες παροχές).

Στην βιβλιογραφία δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην παροχή του αέρα. Συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα αερισμού «jet aeration». Η ποσότητα του παρεχόμενου αέρα διαφέρει αρκετά ανά περίπτωση και κυμαίνεται μεταξύ 0,035 και 0,68 lt/min ανά λίτρο ιλύος.

Σημαντική παράμετρος είναι επιπλέον η ανάδευση, η οποία έχει ως στόχο εκτός της δημιουργίας ομοιογενούς μίγματος και την παροχή επιπλέον ενέργειας στο σύστημα που αντιστοιχεί περίπου στο 30% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας του συστήματος⁴. Σε μεγάλου όγκου συστήματα πρέπει να τοποθετηθεί και σύστημα ελέγχου του παραγόμενου αφρού.

Πλεονεκτήματα των A.T.A.D. αποτελούν:

- ο μικρός χρόνος παραμονής
- η υψηλή απομάκρυνση των πτητικών στερεών
- η απουσία Μεθανίου
- η καλύτερη ποιότητα της παραγόμενης ιλύος

- η εξερχόμενη ιλύς παρουσιάζει βελτιωμένη ανταπόκριση σε επιπλέον πάχυνση
- η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών

4 Πειραματικό Μέρος

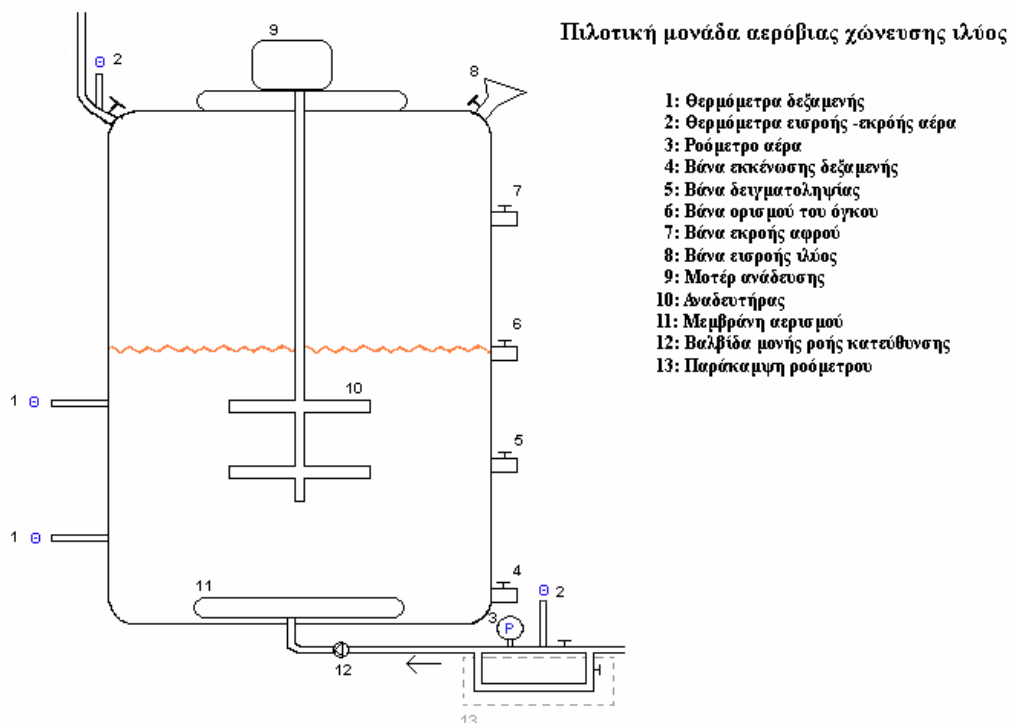
4.1 Πιλοτική μονάδα

Στο Πολυτεχνείο Κρήτης σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα πιλοτικό σύστημα με στόχο να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής της Αερόβιας Χώνευσης ιλύος στην Κρήτη. Η προς επεξεργασία ιλύς προερχόταν από τη μονάδα μηχανικής πάχυνσης (φυγοκέντρισης) της ιλύος που παραγόταν από τη δευτεροβάθμια καθίζηση του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων.

Η δεξαμενή είχε σχεδιαστεί για επεξεργασία 10 λίτρων ιλύος την ημέρα με χρόνο παραμονής 12 ημερών. Ο όγκος της λάσπης στο σύστημα ήταν 120 λίτρα και η συνολική χωρητικότητα της δεξαμενής 240 λίτρα. Η δεξαμενή μονώθηκε με πετροβάμβακα B-040 της εταιρίας Geolan, και στην συνέχεια καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο, ώστε να αντανakλάται η ηλιακή ακτινοβολία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, στη δεξαμενή υπήρχαν δύο θερμόμετρα, σε διαφορετικά ύψη από τον πυθμένα της. Επιπλέον είχαν τοποθετηθεί δύο θερμόμετρα στην είσοδο και έξοδο του αερισμού. Προστέθηκαν οι απαραίτητες βάνες για την εισροή και εκροή της ιλύος, καθώς και ένα ροόμετρο για την μέτρηση της παροχής αέρα στην δεξαμενή. Τέλος, τοποθετήθηκε μία επιπλέον βάνα σε μεγαλύτερο ύψος από την επιφάνεια της ιλύος για αντιμετώπιση πιθανής υπερβολικής αύξησης του παραγόμενου αφρού.

Για τον αερισμό χρησιμοποιήθηκε σύστημα με διάχυση, το οποίο χρησιμοποιείται στις δεξαμενές αερισμού του βιολογικού καθαρισμού του Ρεθύμνου. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει φυσαλίδες μικρής διαμέτρου (και συνεπώς μεγάλης ενεργής επιφάνειας). Η παροχή του αέρα πραγματοποιούνταν με κομπρεσέρ.



Σχήμα 2. Σκαρίφημα πιλοτικής μονάδας

Από πειραματικές μετρήσεις, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) στο κέντρο της δεξαμενής ήταν ιδιαίτερα χαμηλές ενώ ήταν μηδενικές κοντά στα τοιχώματά της. Η αύξηση της παροχής του αέρα δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος τοποθετήθηκε ένα σύστημα ανάδευσης 12 περιστροφών το λεπτό. Τα αποτελέσματα (όσον αναφορά στο διαλυμένο οξυγόνο) και πάλι δεν ήταν ικανοποιητικά. Συνεπώς αυξήθηκε η ανάδευση, με αλλαγή του μοτέρ με νέο των 20 περιστροφών το λεπτό.

4.2 Λειτουργία

Πριν την έναρξη των πειραμάτων, υπήρξε μία περίοδος δοκιμαστικής λειτουργίας 16 ημερών. Βασικός σκοπός αυτής της περιόδου ήταν ο προσδιορισμός της κατάλληλης παροχής αέρα, με σκοπό την μέγιστη συγκέντρωση D.O. στην δεξαμενή. Παραδόξως παρατηρήθηκε πως μεγαλύτερες συγκεντρώσεις επιτυγχάνονταν με μικρές παροχές. Πιθανή εξήγηση είναι ότι στις υψηλές παροχές οι φυσαλίδες του αέρα συνενωνόντουσαν, μειώνοντας έτσι την συνολική ενεργή επιφάνεια. Οι βέλτιστες

συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου επιτεύχθηκαν με παροχές μικρότερες των 0,5 lt αέρα/sec-lt ιλύος.

Με την πάροδο του χρόνου η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μειώνονταν. Πιθανότατα αυτό οφειλόταν στην καθίζηση στερεών στην μεμβράνη αερισμού. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, προστέθηκε στο σύστημα αερισμού μία παράκαμψη του ροόμετρου (στο Σχήμα 2 φαίνεται με την γκρι διακεκομμένη γραμμή), ώστε να είναι δυνατή η στιγμιαία αύξηση της παροχής του αέρα προς τον διαχυτήρα πέρα από τη δυναμικότητα του ροομέτρου. Με την στιγμιαία αύξηση του αερισμού επιτεύχθηκε η απομάκρυνση των στερεών από την μεμβράνη του διαχυτήρα και η αύξηση της τιμής του διαλυμένου οξυγόνου.

Η διαδικασία λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε καθημερινή βάση ήταν η εξής:

- Αφαίρεση 10 λίτρων ιλύος.
- Καταγραφή των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στην εν λόγω ιλύ, καθώς και της θερμοκρασίας της.
- Καταγραφή των θερμοκρασιών του συστήματος και της παροχής του αέρα.
- Υπολογισμός ολικών και πτητικών στερεών, ταχύτητα διήθησης και ειδικής αντίστασης της ιλύος εισαγωγής και εξαγωγής.
- Προσθήκη της αναγκαίας ποσότητας ιλύος στο σύστημα ώστε να φτάσει στα 120 λίτρα.
- Στιγμιαία αύξηση της παροχής αέρα, για απομάκρυνση των στερεών από την μεμβράνη αερισμού.

Η χρονική διάρκεια συστηματικής παρακολούθησης της πιλοτικής μονάδας ήταν 43 ημέρες.

4.3 Αναλυτικό μέρος

Όπως αναφέραμε και παραπάνω κατά την διάρκεια του πειράματος μετριούνταν καθημερινά οι θερμοκρασίες της δεξαμενής, της ιλύος εκροής, της εισροής και εκροής του αέρα, η θερμοκρασία περιβάλλοντος (από τον μετεωρολογικού σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης), καθώς και το διαλυμένο οξυγόνο στην ιλύ εκροής. Επιπλέον υπολογίζονταν το ποσοστό των ολικών στερεών, των πτητικών στερεών, η ειδική αντίστασή της λάσπης, και η ταχύτητα διήθησης τόσο της ιλύος εκροής, όσο και της προς εισροή ιλύος. Τέλος επειδή για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος απαιτείται η γνώση του ιξώδους, μετρήθηκε για ένα αριθμό δειγμάτων το δυναμικό ιξώδες, και κατασκευάστηκαν καμπύλες ιξώδους-συγκέντρωση στερεών.

Επιπλέον για λόγους σύγκρισης πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις των αντίστοιχων χαρακτηριστικών σε αναερόβια ιλύ. Τα δείγματα ελήφθησαν στις 13, 14 και 16 Ιουλίου και περιλάμβαναν ένα δείγμα ιλύος εισροής και ένα εκροής της δεξαμενής αναερόβιας χώνευσης του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων.

4.3.1 Μέτρηση Ολικών Στερεών (TS) και Πτητικών Στερεών (VS)

Ο υπολογισμός των Στερεών του συστήματος πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την 2540G μέθοδο του «Standard Methods for examination of water and wastewater, 18th edition, 1992».

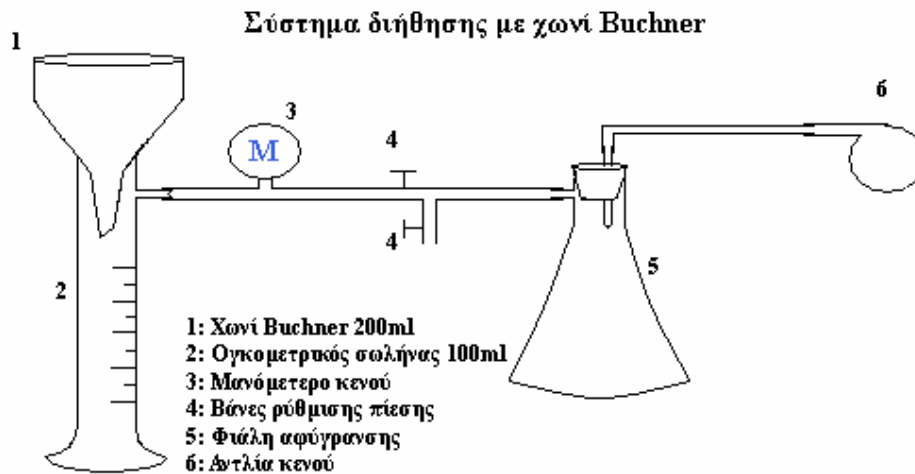
4.3.2 Μέτρηση διαλυμένου οξυγόνου (D.O.)

Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου πραγματοποιήθηκε με την συσκευή Oxi 597 και το probe CellOx 325 της εταιρίας CSB.

4.3.3 Προσδιορισμός ειδικών χαρακτηριστικών της αφυδατότητας της ιλύος

Για την μέτρηση της ειδικής αντίστασης της ιλύος και της ταχύτητας διήθησης, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα διήθησης που φαίνεται στο *Σχήμα 3*. Το σύστημα αποτελείται από ένα χωνί Buchner διαμέτρου 9 cm, ένα ογκομετρικό σωλήνα των 100ml, ένα μανόμετρο και μία αντλία κενού. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν

ανήκουν στην κατηγορία Filter papers 2 της εταιρίας Whatman. Για την μέτρηση, τοποθετούνταν 100ml ιλύος και εφαρμοζόταν κενό 0,5 bar. Στην συνέχεια η ποσότητα του διηθήματος καταγραφόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μικρότερα στην αρχή και μεγαλύτερα στην συνέχεια. Η μέτρηση έληγε όταν εμφανιζόντουσαν ρωγμές στον πλακούντα (περίπου όταν το διήθημα κυμαινόταν μεταξύ 60-70ml).



Σχήμα 3. Σκαρίφημα του συστήματος διήθησης με χωνί Buchner για τον προσδιορισμό της ειδικής αντίστασης

Το φαινόμενο της διήθησης περιγράφεται από την σχέση του Darcy:

$$\frac{dV / A}{dT} = \frac{P}{\mu R_T} \quad (1)$$

Όπου

V: ο όγκος του διηθήματος,

A: η επιφάνεια διήθησης

T: χρόνος διήθησης

P: ασκούμενη πίεση

μ: δυναμικό ιξώδες

R_T: η συνολική αντίσταση της διήθησης

Η συνολική αντίσταση της διήθησης είναι άθροισμα της αντίστασης του μέσου και της αντίστασης της ιλύος.

$$R_T = r \cdot CV / A + R_m$$

Όπου

r^* : Η ειδική αντίσταση της ιλύος ανά μονάδα μάζας των ολικών στερεών του πλακούντα και της επιφάνειας διήθησης.

C : η μάζα των στερεών στο πλακούντα προς τον όγκο του διηθήματος

R_m : Η αντίσταση του μέσου

Η αντίσταση του μέσου είναι πολύ μικρή σε σχέση με την αντίσταση της ιλύος και η επίδρασή της είναι υπολογίσιμη μόνο στην αρχή της διήθησης.

Συνεπώς η σχέση (1) μπορεί να μετατραπεί στην $\frac{dV/A}{dT} = \frac{P}{\mu r^* CV/A}$.

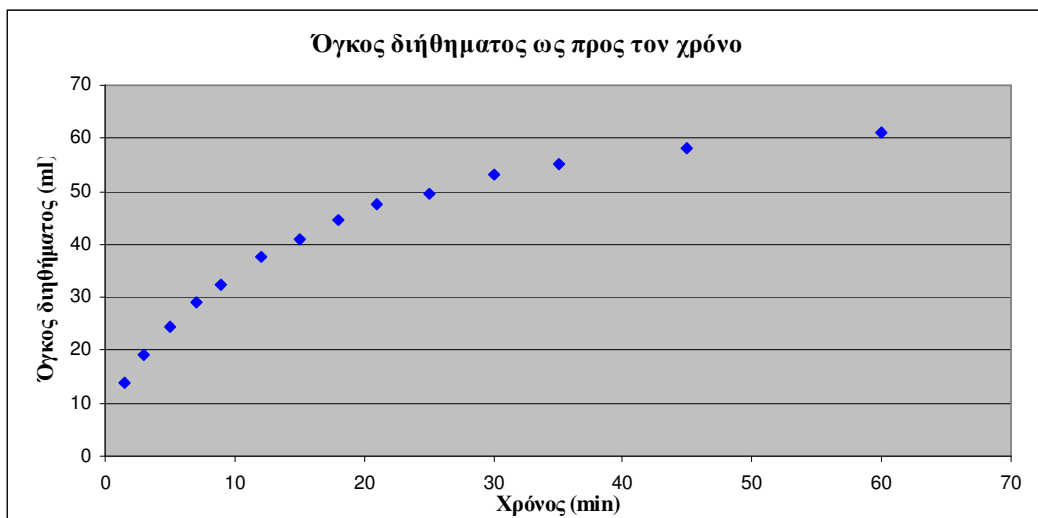
Αφού κατά την διήθηση έχουμε σταθερή επιφάνεια θα έχουμε $\frac{dV}{dT} = \frac{PA^2}{\mu r^* CV}$.

Όπως αναμέναμε η ταχύτητα διήθησης είναι ανάλογη της πίεσης που ασκείται και της επιφάνειας διηθήσεως, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του ιξώδους, της μάζας των στερεών και της ειδικής αντίστασης.

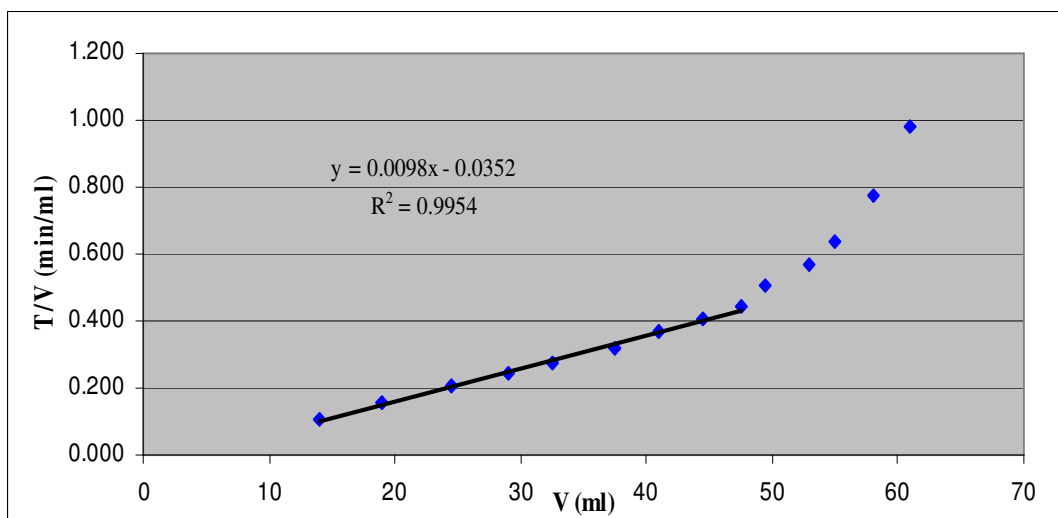
Ολοκληρώνοντας την παραπάνω εξίσωση προκύπτει η σχέση:

$$\frac{T}{V} = \frac{\mu r^* C}{2PA^2} V \quad (2)$$

Από τα πειραματικές μετρήσεις δύναται να υπολογιστεί η κλίση b της εξίσωσης $T/V=f(V)$. Από τα δεδομένα των μετρήσεων προκύπτει το *Σχήμα 4* που μας δείχνει τον όγκο του διηθήματος ως προς τον χρόνο. Από το *Σχήμα 5* μπορεί να υπολογιστεί η κλίση της εξίσωσης $T/V=f(V)$. Για τον υπολογισμό της δεν χρησιμοποιούνταν τα δεδομένα κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα, στα οποία η διήθηση επηρεαζόταν και από την αντίσταση του φίλτρου.



Σχήμα 4. Όγκος διηθήματος ως προς τον χρόνο



Σχήμα 5. Χρόνος /Όγκος διηθήματος ως προς τον όγκο διηθήματος

Από την σχέση (2) η κλίση μπορεί να οριστεί ως $b = \frac{\mu\pi^*C}{2PA^2}$.

Συνεπώς η ειδική αντίσταση της ιλύος δίνεται από την σχέση $r^* = \frac{2bPA^2}{\mu C}$.

Ο υπολογισμός του C, δηλαδή του λόγου της μάζας των στερεών στον πλακούντα προς τον όγκο του διηθήματος, είναι ιδιαίτερα δύσκολος, κυρίως διότι δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη τιμή του όγκου του διηθήματος που μπορεί να θεωρηθεί ως τελική.

Αντί αυτού υπολογίζεται η μάζα των στερεών προς τον όγκο του προς διήθηση υλικού (C_I), ουσιαστικά δηλαδή η συγκέντρωση στερεών της ιλύος προς διήθηση.

Από τα ίδια δεδομένα της διήθησης γίνεται εφικτός ο υπολογισμός **του χρόνου που απαιτείται για την συμύκνωση της ιλύος κατά 100%**, δηλαδή για το διπλασιασμό της συγκέντρωσης των στερεών στο πλακούντα. Υποθέτοντας ότι κατά τη διήθηση περνάει από το φίλτρο αμελητέα ποσότητα στερεών, το χρονικό σημείο που αναζητείται, αντιστοιχεί στη στιγμή που ο όγκο διηθήματος ισούται με τον μισό όγκο της ιλύος που οδηγήσαμε προς διήθηση (στην περίπτωση μας 50ml).

Τέλος δύναται να υπολογιστεί και η **ταχύτητα διήθησης**. Όπως φαίνεται και από το *Σχήμα 4*, η ταχύτητα διήθησης ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου. Συνεπώς θα πρέπει να επιλεγθούν τα χρονικά σημεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ταχύτητας. Προφανώς θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένα μικρό τμήμα των μετρήσεων, το οποίο θα είναι στην αρχή της διήθησης (ώστε να μην έχει μειωθεί σημαντικά η ταχύτητα διήθησης), αφού πρώτα αγνοηθούν τα πρώτα δευτερόλεπτα στα οποία η διήθηση επηρεάζεται από την αντίσταση του μέσου. Στην περίπτωσή μας θα χρησιμοποιηθούν οι τέσσερις πρώτες μετρήσεις.

4.3.4 Μέτρηση του δυναμικού ιξώδους

Το ιξώδες μετρήθηκε με ομοαξονικό κυκλικό περιστροφικό ιξωδόμετρο τύπου Couette. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το ιξωδόμετρο M3500a της Grace Instruments, που διαθέτει το εργαστήριο Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

5 Αποτελέσματα

5.1 Θερμοκρασίες

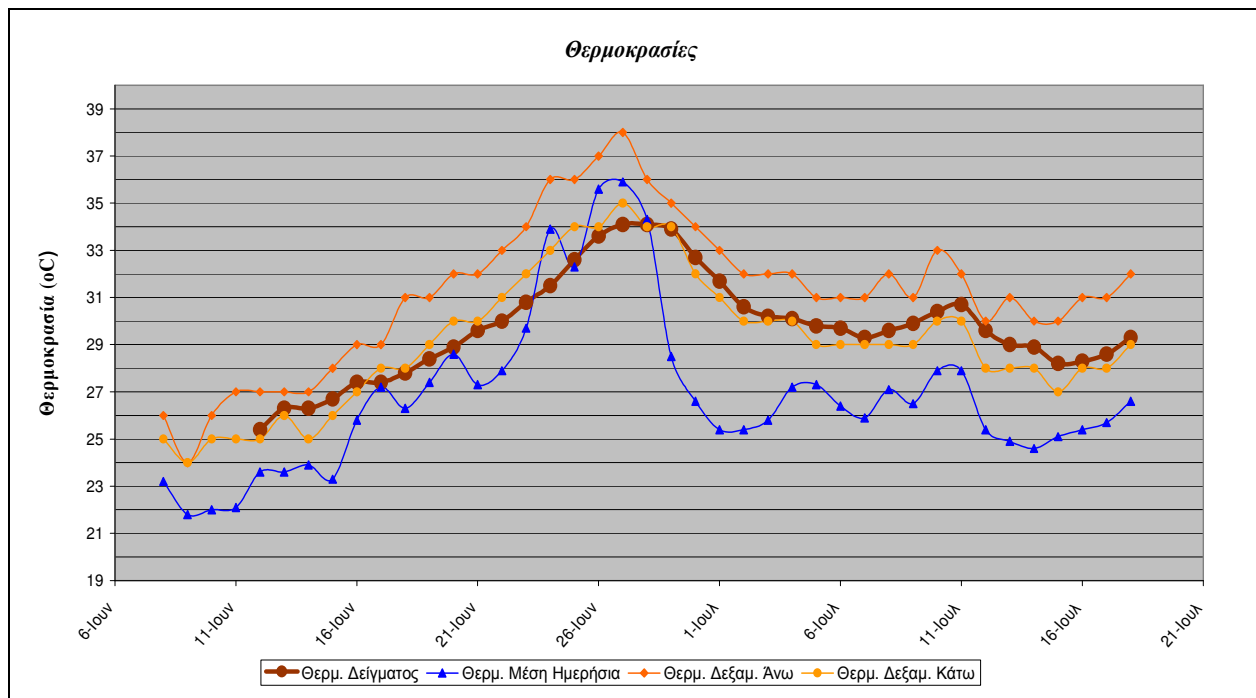
Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, κατά την διάρκεια του πειράματος μετριούνταν οι θερμοκρασίες της δεξαμενής, του παρεχόμενου αέρα και του περιβάλλοντος. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται ο μέσος όρος κάθε συνόλου τιμών, καθώς η τυπική του απόκλιση.

Στο Σχήμα 6 βλέπουμε την χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας του εξερχόμενου δείγματος, τις δύο θερμοκρασίες της δεξαμενής (άνω και κάτω θερμόμετρο), τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, καθώς και τη θερμοκρασία της παροχής του αέρα.

Πίνακας 3: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις θερμοκρασιών

Θέση μέτρησης	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
Δεξαμενής άνω	30,9°C	3,3
Δεξαμενής κάτω	28,9 °C	2,9
Εξερχόμενου δείγματος	29,8 °C	2,2
Εισροής αέρα	27,8 °C	2,8
Εκροής αέρα	28,5 °C	3,9
Περιβάλλοντος*	26,3 °C	2,8
Μέση ημερήσια Περιβάλλοντος	26,6 °C	3,5

* την ίδια χρονική στιγμή που μετρήθηκαν και οι υπόλοιπες θερμοκρασίες του συστήματος



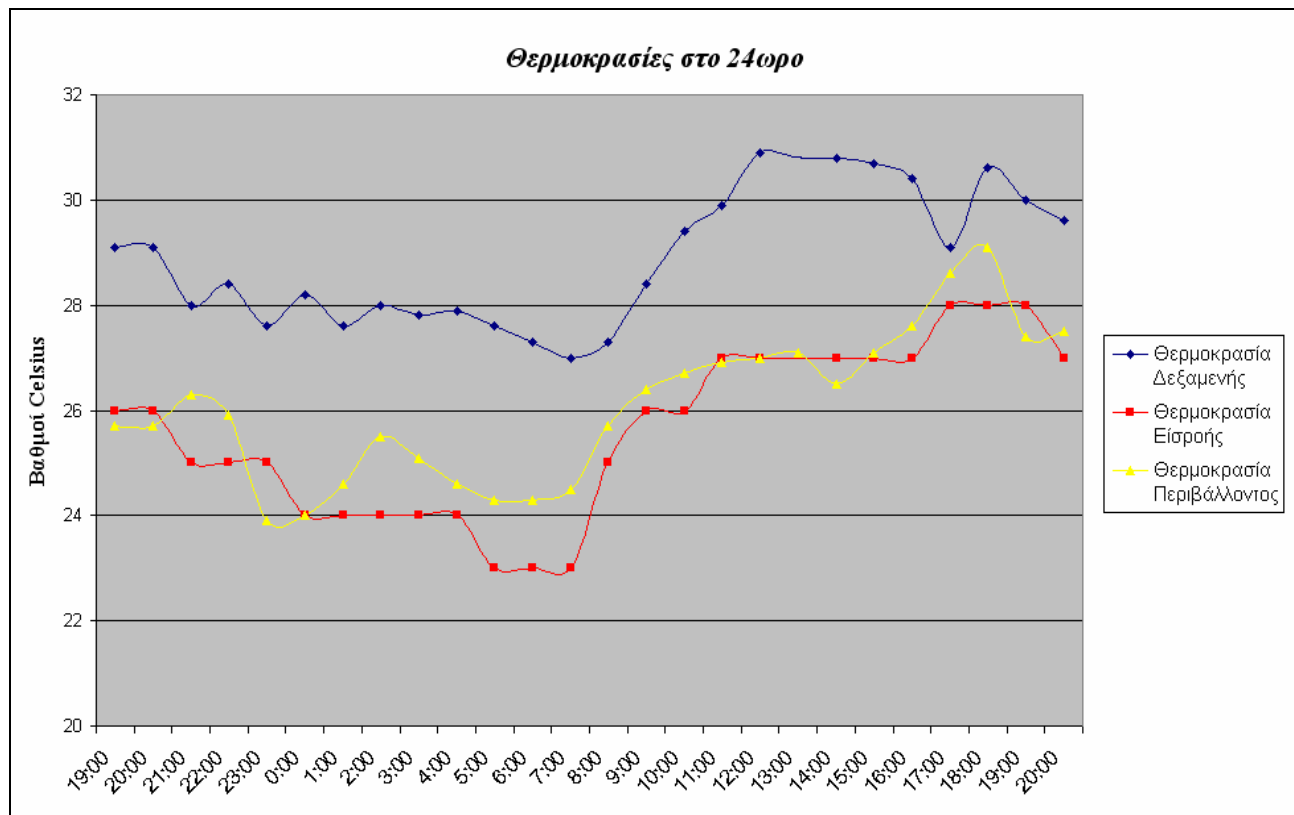
Σχήμα 6. Θερμοκρασίες του συστήματος

Από τα παραπάνω δεδομένα βλέπουμε πως η μέση θερμοκρασία της δεξαμενής ήταν 30 °C, δηλαδή το σύστημα βρίσκεται σε μεσόφιλη περιοχή. Μάλιστα μετά την περίοδο του καύσωνα (όπου υπήρξε και άνοδος της θερμοκρασίας της δεξαμενής), η θερμοκρασία της δεξαμενής φαίνεται να σταθεροποιήθηκε σε θερμοκρασίες μεταξύ των 28 και 31 °C. Η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας της δεξαμενής, με την μέση τιμή των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών ήταν 3,2 °C.

Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να προσέξουμε είναι η διαφορά της θερμοκρασίας σε δύο διαφορετικά ύψη στην δεξαμενή. Στο χαμηλότερο σημείο η θερμοκρασία ήταν μικρότερη από 1 μέχρι 3 βαθμούς σε σχέση με το υψηλότερο. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι ο αερισμός επηρέαζε την θερμοκρασία και είναι συμφέρον μας να μειώνεται η παροχή του στα ελάχιστα επιτρεπτά όρια. Επιπλέον θα πρέπει να βελτιωθεί η ανάδευση, με σκοπό να υπάρξει μεγαλύτερη ομοιογένεια. Αυτή η κίνηση θα προσφέρει όμως ταυτόχρονα και επιπλέον ενέργεια στο σύστημα με πιθανό αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας.

Στο Σχήμα 7 μπορούμε να δούμε την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας της δεξαμενής, της παροχής του αέρα και του περιβάλλοντος. Εδώ πρέπει να

σημειώσουμε ότι στις 17:00 η πτώση που διακρίνεται στην θερμοκρασία της δεξαμενής οφείλεται στην προσθήκη των 10 λίτρων υλός (με θερμοκρασία μικρότερη αυτής της δεξαμενής).



Σχήμα 7. Θερμοκρασίες του συστήματος κατά την διάρκεια του 24ωρου στις 17 και 18 του Ιουλίου

Από το Σχήμα 7 μπορούμε να δούμε ότι στην διάρκεια του 24ωρου η μικρότερη διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εισροής αέρα και υλός ήταν 2 βαθμοί Celsius (στις 19:00) και η μεγαλύτερη ήταν 4,5 βαθμοί (στις 5:00). Επιπλέον η θερμοκρασία του αέρα εισροής κυμαινόταν μεταξύ 23 και 28 °C, της δεξαμενής μεταξύ 27 και 31°C και του περιβάλλοντος μεταξύ 24 και 29 °C.

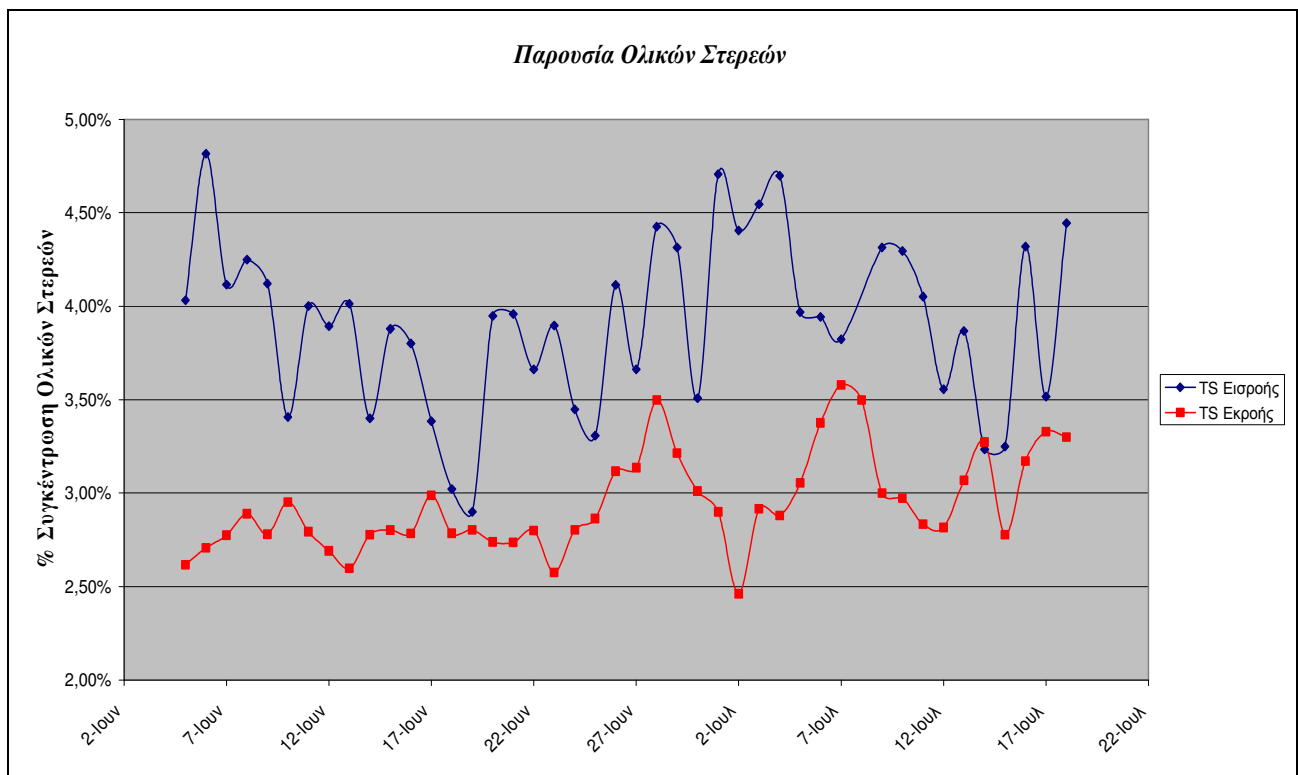
Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα η θερμοκρασία μπορεί να ανέλθει σε θερμόφιλες τιμές σε διάστημα περίπου ίσο με τον χρόνο παραμονής του συστήματος. Είναι φανερό πως στην περίπτωση μας, απέχουμε πολύ από την επίτευξη του στόχου.

Πιθανά αίτια ίσως είναι η ποιότητα της μόνωσης ή και η μικρότερη ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα σε σχέση με τις βιβλιογραφικές περιπτώσεις.

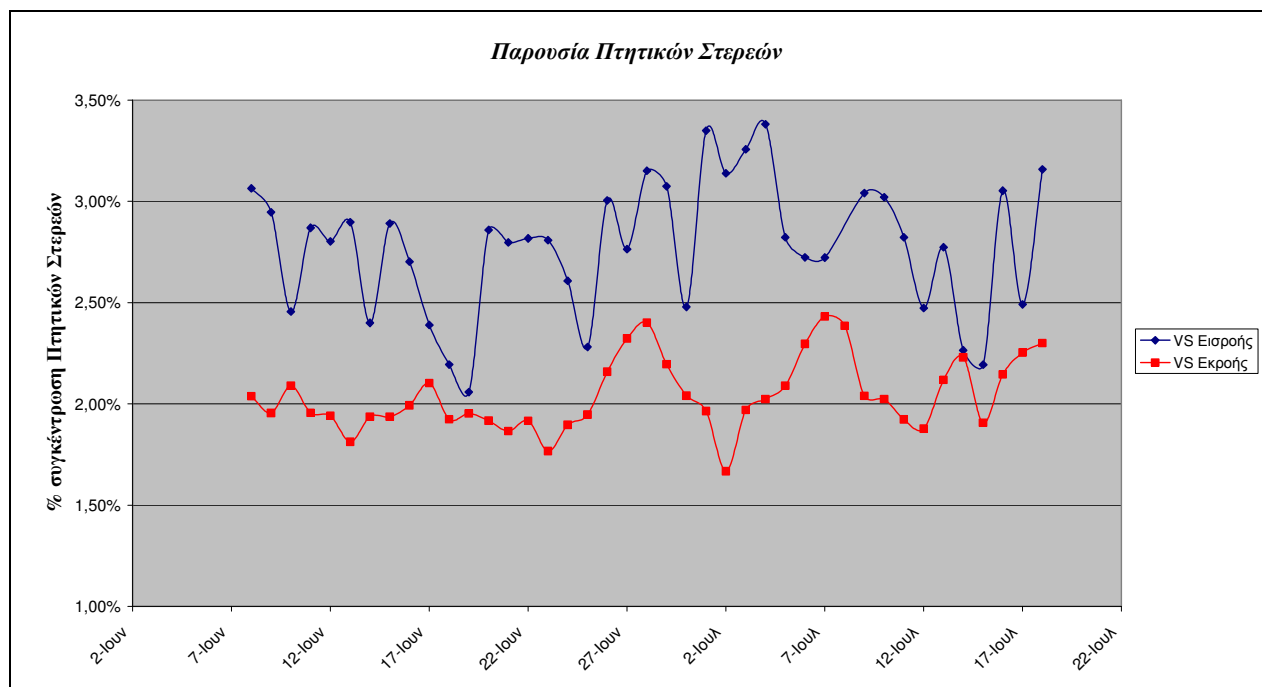
5.2 Στερεά

Στα τρία διαγράμματα που ακολουθούν (Σχήματα 8, 9 και 10) παρουσιάζεται η εξέλιξη της συγκέντρωσης των Ολικών Στερεών, Πτητικών Στερεών και Πτητικών Στερεών επί των Ολικών Στερεών. Στον Πίνακα 4 βλέπουμε τους μέσους όρους των παραπάνω μεταβλητών, των αντίστοιχων που αφορούν την αναερόβια χώνευση καθώς και των εκάστοτε μειώσεων.

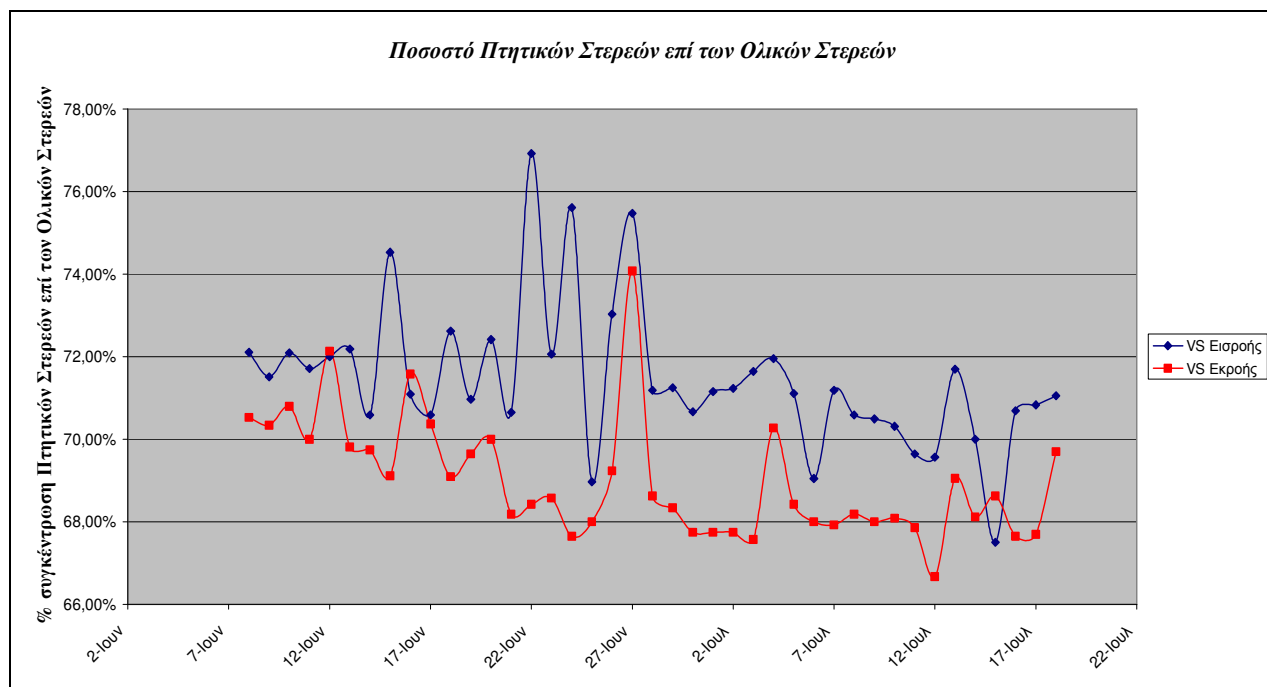
Στις 8 Ιουλίου δεν υπήρχε ιλύς από τη μονάδα μηχανικής πάχυνσης, οπότε η εισερχόμενη ιλύς προήλθε από την επανακυκλοφορία της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Για αυτόν τον λόγο δεν χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό των μέσων όρων.



Σχήμα 8. Συγκέντρωση ολικών στερεών



Σχήμα 9. Συγκέντρωση πτητικών στερεών στην ιλύ



Σχήμα 10. Ποσοστό πτητικών στερεών επί των ολικών στερεών

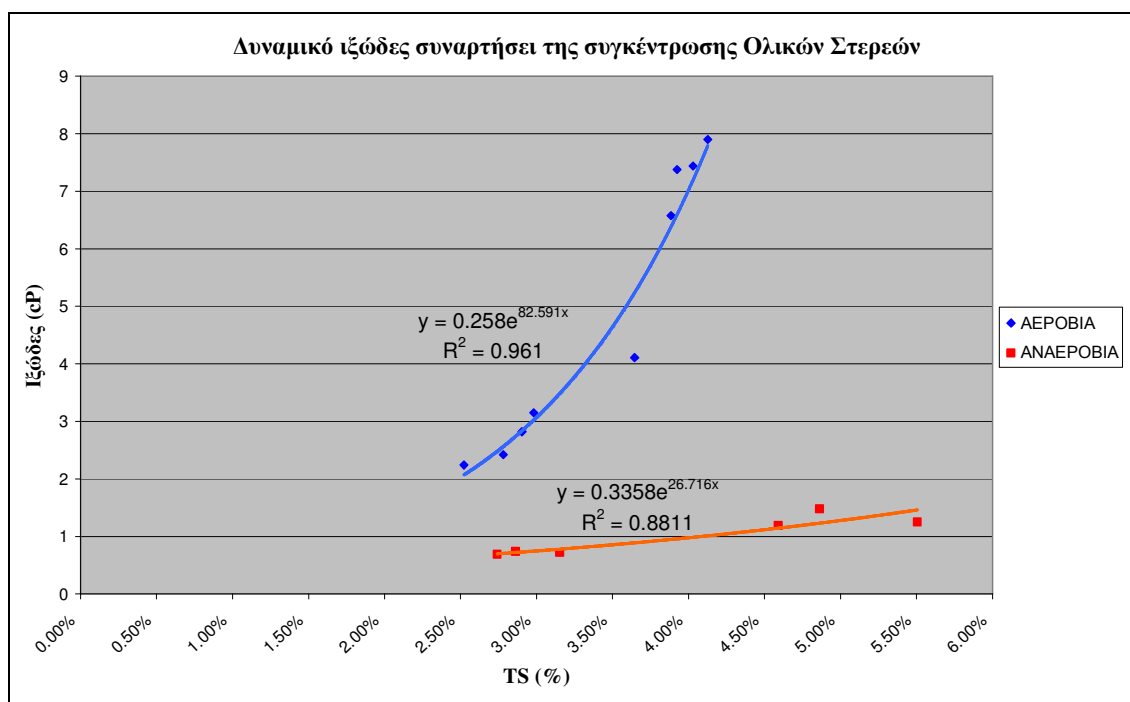
Πίνακας 4: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις Συγκεντρώσεων Στερεών

Παράμετροι		Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
TS	TS Εισροής Αερόβιας	3,91%	0,46
	TS Εκροής Αερόβιας	2,94%	0,26
	% Μεταβολή	-24,81%	-
	TS Εισροής Αναερόβιας	4,41%	0,52
	TS Εκροής Αναερόβιας	2,92%	0,21
	% Μεταβολή	-33,77%	-
VS	VS Εισροής Αερόβιας	2,77%	0,45
	VS Εκροής Αερόβιας	2,04%	0,04
	% Μεταβολή	-26,54%	-
	VS Εισροής Αναερόβιας	2,88%	0,35
	VS Εκροής Αναερόβιας	1,65%	0,06
	% Μεταβολή	-42,96%	-
VS επί των TS	VS -> TS Εισροής Αερόβιας	71,48%	1,76
	VS -> TS Εκροής Αερόβιας	66,56%	1,62
	% Μεταβολή	-3,41%	-
	VS -> TS Εισροής Αναερόβιας	65,62%	0,07
	VS -> TS Εκροής Αναερόβιας	56,50%	2,40
	% Μεταβολή	-15,11%	-

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω δεδομένα, η απομάκρυνση των ολικών και πτητικών στερεών στο σύστημά μας είναι αρκετά μικρότερη των αντίστοιχων της αναερόβιας επεξεργασίας. Συγκρίνοντας με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, διακρίνουμε πως οι μειώσεις διαφέρουν αρκετά σε σχέση τόσο με τα θερμοφιλά συστήματα (κάτι που είναι αναμενόμενο) όσο και με τα μεσόφιλα. (στα οποία για τον αντίστοιχο χρόνο παραμονής και μέση θερμοκρασία η μείωση των πτητικών στερεών κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40%)^{8,9}

5.3 Ιξώδες

Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος απαιτείται η γνώση του δυναμικού ιξώδους. Λόγω αδυναμίας καθημερινής μέτρησης του ιξώδους, πραγματοποιήθηκε ένας αριθμός μετρήσεων, βάσει των οποίων προέκυψε η γραφική παράσταση του ιξώδους συναρτήσει της συγκέντρωσης των στερεών (Σχήμα 11). Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο για την αερόβια, όσο και για την αναερόβια χωνεμένη ιλύ (δείγματα ελήφθησαν από τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης του βιολογικού καθαρισμού Χανίων).



Σχήμα 11. Δυναμικό Ιξώδες συναρτήσει την συγκέντρωσης στερεών

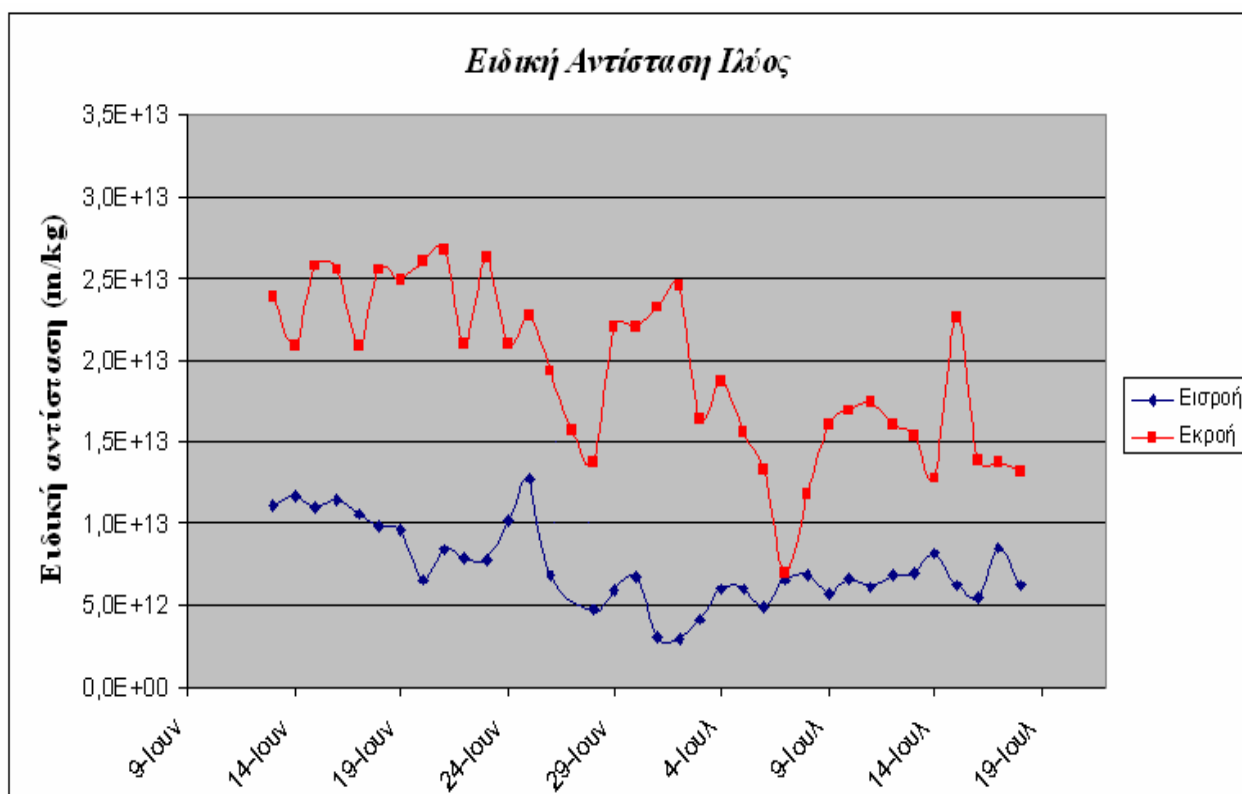
Από τις γραφικές παραστάσεις προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις συσχέτισης της συγκέντρωσης των ολικών στερεών:

$$\text{Αερόβια ιλύ} : \mu[cP] = 0,258e^{82.591 \cdot TS [\%]}$$

$$\text{Αναερόβια ιλύ} : \mu[cP] = 0,3358e^{26.716 \cdot TS [\%]}$$

5.4 Ειδική αντίσταση ιλύος

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται η ειδική αντίσταση της ιλύος εισροής και εκροής του συστήματος μας. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5) παρουσιάζονται εκτός των μέσων όρων των παραπάνω δεδομένων, και αντίστοιχοι μέσοι όροι για την αναερόβια ιλύ.



Σχήμα 12. Ειδική αντίσταση ιλύος

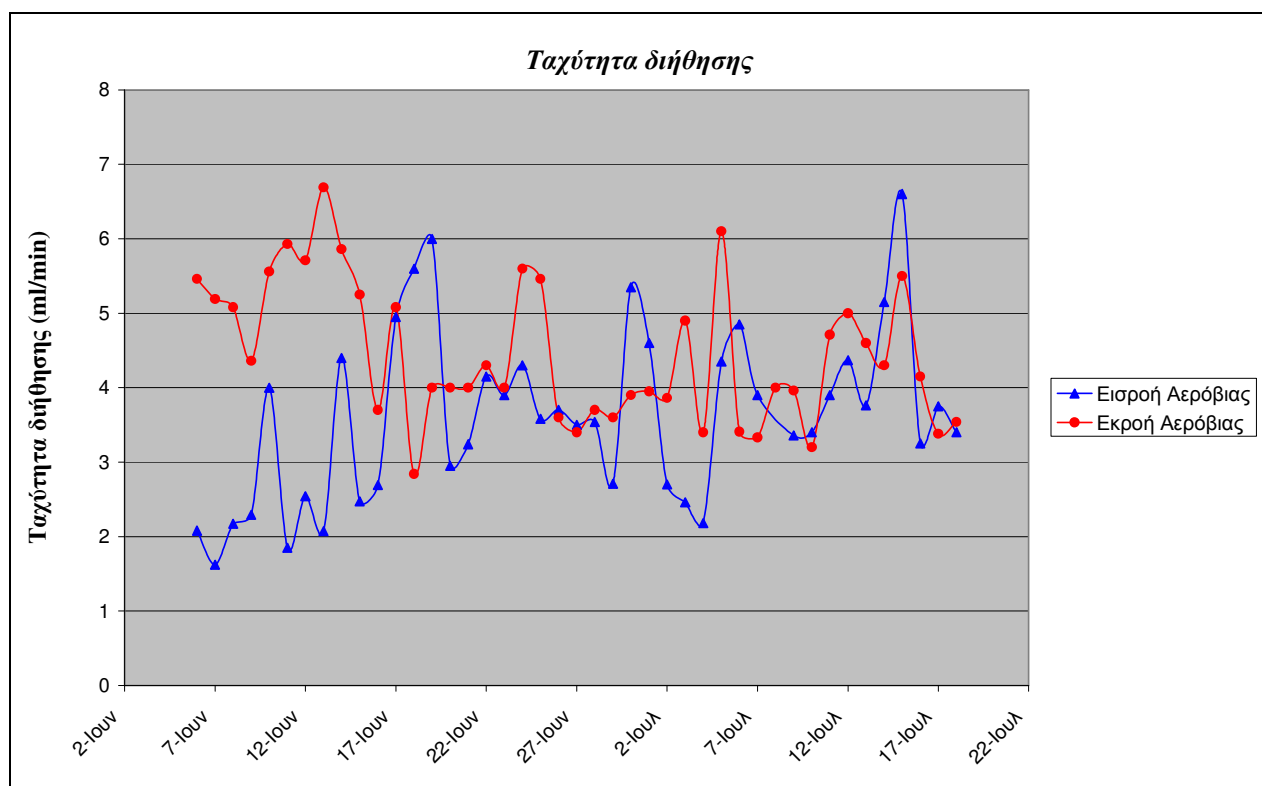
Πίνακας 5: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της ειδικής αντίστασης της ιλύος

	Μέση Τιμή (m/kg)	Τυπική απόκλιση
Εισροή Αερόβιας	7,46E+12	2,49E+12
Εκροής Αερόβιας	1,92E+13	5,08E+12
% Μεταβολή	157,49%	-
Εισροή Αναερόβιας	5,18E+13	7,51E+12
Εκροής Αναερόβιας	1,07E+14	1,70E+13
% Μεταβολή	105,96%	-

Η Ειδική Αντίσταση της Ιλύος μετά την χώνευση και στις δύο περιπτώσεις αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό, με τη μεγαλύτερη διαφορά να εμφανίζεται στην αερόβια ιλύ. Γίνεται όμως εύκολα αντιληπτό ότι στην αερόβια ιλύ η τιμές της αντίστασης είναι κατά πολύ μικρότερες των αντίστοιχων τιμών της αναερόβιας χώνευσης.

5.5 Ταχύτητα διήθησης

Στο Σχήμα 13 φαίνεται η αρχική ταχύτητα διήθησης που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα ή εισροή στο σύστημά μας στις 8 Ιουλίου προερχόταν από την επανακυκλοφορία της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Στους μέσους όρους του Πίνακα 6 δεν έχει συμπεριληφθεί η εν λόγω τιμή.



Σχήμα 13. Ταχύτητα διήθησης

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι περίπου από τις 26 Ιουνίου υπάρχει σύγκλιση των τιμών της ταχύτητας διήθησης. Όντως ο μέσος όρος της ταχύτητας διήθησης των δύο ειδών ιλύος όλων των μετρήσεων μεταξύ 26 Ιουνίου και 18 Ιουλίου, σχεδόν

ταυτίζονται (3,85 ml/min για την εισροή και 4,06 ml/min για την εκροή). Οι διαφορές των τιμών αυτών με τους αντίστοιχους συνολικούς μέσους όρους είναι για την εισροή 7% και για την εκροή -9%.

Η μεταβολή της τιμής της ιλύος εισροής είναι μικρή και δικαιολογημένη για βιολογικό καθαρισμό όπου συχνά παρατηρούνται μεταβολές στα χαρακτηριστικά της ιλύος. Η μείωση της ταχύτητας διήθησης της ιλύος εκροής έρχεται σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δεδομένα. Η συγκέντρωση των ολικών στερεών (η οποία επηρεάζει σημαντικά την διήθηση) για τις συγκεκριμένες μέρες ταυτίζεται με τον γενικό μέσο όρο και η ειδική αντίσταση για το εν λόγω χρονικό διάστημα μειώνεται περίπου 14%. Τέλος ούτε ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση της ιλύος (στο επόμενο κεφάλαιο) για την περίοδο αυτή δεν διαφέρει από τον συνολικό. Συνεπώς καταλήγουμε πως η μείωση που παρατηρείται προκύπτει από ανεξάρτητους παράγοντες. Επιπλέον μπορούμε να συμπεράνουμε πως η συγκεκριμένη μεταβλητή δεν είναι η βέλτιστη για να χαρακτηρίσει την αφυδατοσιμότητα της ιλύος.

Πίνακας 6: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της ταχύτητας διήθησης

	Μέση Τιμή (ml/min)	Τυπική απόκλιση
Εισροή Αερόβιας	3,61	1,17
Εκροής Αερόβιας	4,45	0,94
% Μεταβολή	23,40%	-
Εισροή Αναερόβιας	2,48	0,22
Εκροής Αναερόβιας	1,91	0,26
% Μεταβολή	-22,95%	-

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η ταχύτητα διήθησης αφορά στην έναρξη της διήθησης, όπου και η τιμή της είναι η μεγαλύτερη παρατηρούμενη κατά τη διήθηση. Στον Πίνακα 6 διακρίνουμε ένα από τα μεγαλύτερα προτερήματα της αερόβιας χώνευσης: Η ταχύτητα διήθησης στην αερόβια ιλύ, μετά την επεξεργασία αυξανόταν, σε αντίθεση με την αναερόβια επεξεργασία, κατά την οποία η ταχύτητα μειώνονταν αισθητά.

5.6 Δυνατότητα Συμπύκνωσης Ιλύος

Στο Σχήμα 14 και στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τον χρόνο που απαιτήθηκε για την συμπύκνωση του πλακούντα κατά 100%, κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες του πειράματος.



Σχήμα 14. Απαιτούμενος χρόνος για συμπύκνωση ιλύος

Πίνακας 7: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του απαιτούμενου χρόνου συμπύκνωσης

	Μέση Τιμή (min)	Τυπική απόκλιση
Εισροή Αερόβιας	23,49	10,51
Εκροής Αερόβιας	15,44	3,45
% Μεταβολή	-34,24%	-
Εισροή Αναερόβιας	27,5	0,50
Εκροής Αναερόβιας	31,7	5,49
% Μεταβολή	15,15%	-

Σε αντίθεση με την ταχύτητα διήθησης, που είδαμε παραπάνω, ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση του πλακούντα κατά 100%, αφορά ένα αρκετά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της διήθησης. Συνεπώς μπορεί να πούμε πως αντιπροσωπεύει καλύτερα τη διαδικασία πάχυνσης που εφαρμόζεται στους βιολογικούς καθαρισμούς. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, κατά την αερόβια χώνευση το παραγόμενο προϊόν μπορεί να συμπυκνωθεί στον μισό χρόνο σε σχέση

με το πριν τη χώνευση υλικό. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι κατά την αναερόβια επεξεργασία ο απαιτούμενος χρόνος αυξάνεται.

Είναι ενδιαφέρον να τονίσουμε ότι σύμφωνα με την βιβλιογραφία⁸ βασικό μειονέκτημα της αερόβιας χώνευσης της ιλύος είναι ότι η εξερχόμενη ιλύς παρουσιάζει μειωμένη ανταπόκριση σε επιπλέον πάχυνση. Μόνο στην περίπτωση της θερμόφιλης χώνευσης το παραγόμενο προϊόν παρουσιάζει βελτίωση της αφυδατοσημότητας. Το υπό μελέτη σύστημα (που δεν φτάνει σε θερμόφιλα επίπεδα) έρχεται συνεπώς σε αντίθεση με τι θεωρητικό υπόβαθρο σε αυτό το θέμα.

5.7 Εξάτμιση νερού – Μείωση μάζας Στερεών

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο «Λειτουργία», κάθε μέρα αφαιρούνταν 10 λίτρα ιλύος και προστεθόταν η απαραίτητη ποσότητα, ώστε ο συνολικός όγκος να παραμένει 120 λίτρα. Η διαφορά των δύο τιμών δίνει την ποσότητα της εξάτμισης. Το πείραμα διάρκεσε 43 ημέρες και οι ποσότητες που μετρήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Τιμές εξάτμισης

	Λίτρα
Συνολικός Όγκος Εισροής	476
Συνολικός Όγκος Εκροής	448
Διαφορά	28
% Μεταβολή	-5,88%

Επιπλέον γνωρίζοντας την ημερήσια ποσότητα ιλύος εισροής και εκροής (lt), την εκάστοτε συγκέντρωση των Ολικών Στερεών (gr/lt), καθώς και το ποσοστό συμμετοχής των Πτητικών στερεών στα Ολικά στερεά, μπορεί να υπολογιστεί η μάζα στερεών που εισήλθε και εξήλθε συνολικά από το σύστημα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Μάζα στερεών εισροής – εκροής για διάστημα 36 ημερών

	Κιλά
Συνολική Μάζα Εισροής Ολικών Στερεών	15,72
Συνολική Μάζα Εκροής Ολικών Στερεών	11,37
% Μεταβολή	-28,38%
Συνολική Μάζα Εισροής Πτητικών Στερεών	11,38
Συνολική Μάζα Εκροής Πτητικών Στερεών	7,85
% Μεταβολή	-31,07%

Γνωρίζοντας τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση ημερησία μείωση των Πτητικών στερεών $\Delta VS=94,87\text{gr/ημέρα}$.

Γνωρίζοντας ότι παράγεται περίπου 20000kJ ανά κιλό πτητικών στερεών που αποδομείται, βρίσκουμε ότι κατά την χώνευση της ιλύος παράγονταν καθημερινά, περίπου 1897,4kJ ενέργειας.

6 Συμπεράσματα

Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει από την πιλοτική μονάδα αερόβιας χώνευσης ιλύος, είναι ότι δεν επιτεύχθηκαν θερμόφιλες συνθήκες που ήταν ο αρχικός στόχος του πειράματος. Με δεδομένο ότι οι συγκεντρώσεις των εισερχόμενων στερεών, ο χρόνος παραμονής και η παροχή του αέρα, ήταν παρόμοιες με αντίστοιχα (επιτυχημένα) πειράματα της βιβλιογραφίας, συμπεραίνουμε ότι πιθανόν η μόνωση του συστήματος δεν ήταν επαρκής.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο είναι η ανάδευση, η οποία στο σύστημα δεν ήταν έντονη. Βελτιωμένη ανάδευση προσφέρει περισσότερη ενέργεια στο σύστημα, ενισχύοντας έτσι την προσπάθεια επίτευξης θερμόφιλων συνθηκών.

Οι μειώσεις των στερεών ήταν εμφανώς μικρότερες τόσο της αναερόβιας χώνευσης, όσο και των βιβλιογραφικών στοιχείων για την αερόβια επεξεργασία. Παρόλα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ικανοποιητικές.

Το βασικό πλεονέκτημα της αερόβιας χώνευσης, όπως προκύπτει από τη συγκεκριμένη εργασία, είναι η βελτιωμένη αφυδατοσημότητα του παραγόμενου προϊόντος. Σε πραγματικές συνθήκες ένα σύστημα αερόβιας χώνευσης, σε συνδυασμό με ένα σύστημα πάχυνσης, μπορεί να επιτύχει μεγάλες μειώσεις στις προοριζόμενες προς εναπόθεση ποσότητες ιλύος. Αν επιπλέον επιτευχθούν θερμόφιλες συνθήκες και όντως εξαλειφθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, το παραγόμενο προϊόν, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εδαφοβελτιωτικό.

Μία επιπλέον εναλλακτική λύση, η οποία πρέπει όμως να μελετηθεί περαιτέρω, είναι η επεξεργασία της ιλύος πριν την χώνευση με σκοπό την επιπλέον μείωση των στερεών. Ενδεικτικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η επεξεργασία με υπερήχους ή η οξείδωση με όζον.

7 Βιβλιογραφία

¹APHA, AWWA & WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 1992. 18th edition.

²Carl E. Adams, JR., W. Wesley Eckenfelder, JR. and Robert M. Stein. 1973. Modification to Aerobic Digestor. *Water Research* Vol. 8, pp. 213 to 218.

³EPA. 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. Washington, DC.

⁴Harlan G. Kelly and Wayne Urban and Roger Warren. Design considerations for Autothermal Thermophilic aerobic digestion.

⁵S. HAWASH, N. EL IBIARI, F. H. ALY, G. EL DIWANI and M. A. HAMAD, 1994. Kinetic study of Thermophilic aerobic stabilization of sludge, *Biomaw and Bioenergy* Vol. 6. No. 4, pp. 283-286.

⁶James P. Scisson, Jr. 2003. ATAD, the next generation: Design, construction, start-up and operation of the first municipal 2nd generation ATAD. WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference and Exhibition 2003

⁷Kevin L. Staton and James Alleman, Richard L. Pressley and Jim Eloff, 2001. 2nd Generation Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion: Conceptual Issues and Process Advancements. WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference Bioolids 2001: "Building Public Support"

⁸Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th Edition.

⁹Milenko, R., and G. D. Zupančič. 2002. Thermophilic aerobic digestion of waste activated sludge. National Institute of Chemistry.

¹⁰Movahedian H. Attar and Bina B. and Moeinian Kh., 2005. Effects of aeration rate and detection time on Thermophilic aerobic digestion of mixed sludge and its dewaterability. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 2, pp. 105-111.

¹¹D. W. Riley and C. F. Foster, 2002. An evaluation of an Autothermal aerobic digestion system. *Trans IChemE*, Vol. 80, Part B, pp. 100-104.

¹²WEF. 1998. Design of Wastewater treatment plants. 4th edition, Manual of practice No. 8, vol. 3, Chapters 17-24, Water Environment Federation, Alexandria, VA.

¹³Στυλιανός Π. Τσώνης. 2004. Επεξεργασία λυμάτων. Εκδ. Παπασωτηρίου. Αθήνα.

Εικοσιεφτά Μαρτίου χίλια εννιακόσα ογδόντα πέντε

Παράρτημα

Δεδομένα Μετρήσεων Αερόβιας ιλύος.....	ii
(περιλαμβάνει όλες τις μετρήσεις που πραγματοποιούνταν καθημερινά)	
Δεδομένα Μετρήσεων Αναερόβιας ιλύος.....	xxiii
(περιλαμβάνει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα αναερόβιας ιλύος του βιολογικού καθαρισμού Χανίων)	
Δεδομένα Μετρήσεων Θερμοκρασιών κατά την διάρκεια 24ώρου....	xxv

20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
2	12	0.5	13
4	17	1	17
6	21	2	22
8	25	3	27
10	27	4	30
12	30	5	33
15	32	6	35
20.5	38.5	8	40
26	42.5	10	44
36	48	12	47.5
46	52	15	52
61.5	57	18	56
75	59.9	21	59
90	62	24	61.5
		30	65.5
		35	67.5
		42	70
		52	72

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2.53	43.14	4.2	
	g/ml		ml		-
Εκροή (gr)	%	2.52	27.64	3.2	2.72
	g/ml		ml		-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	22
Δεξαμενή κάτω	24
Δεξαμενή πάνω	24
Αέρα εισροή	21
Αέρα εκροή	20
Μέση Περιβάλλ.	22

7/6/2007

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,53	53,31	4,62	
	g/ml		ml		-
Εκροή (gr)	%	2,54	26,33	3,2	
	g/ml		ml		-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	22,8
Δεξαμενή κάτω	26
Δεξαμενή πάνω	26
Αέρα εισροή	24
Αέρα εκροή	28
Μέση Περιβάλλ.	21,7

19:30

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Είσοδη (gr)	%	2,5	47,22	4,4	
	g/ml		ml		-
Εκροή (gr)	%	2,54	35,42	3,49	2,82
	g/ml		ml		-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	23,3
Δεξαμενή κάτω	25
Δεξαμενή πάνω	26
Αέρα εισροή	23
Αέρα εκροή	25
Μέση Περιβάλλ.	23,2

20:45

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Είσορη (gr)	%	2,52	44,26	4,24	3,01
	g/ml		ml		-
Εκροή (gr)	%	2,52	44,97	3,7	2,87
	g/ml		ml		-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	23,3
Δεξαμενή κάτω	24
Δεξαμενή πάνω	24
Αέρα εισροή	20
Αέρα εκροή	21
Μέση Περιβάλλ.	21,8

20:45

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	14	0,5	13
2	19	1	17
3	23	2	22
4	26	3	27
6	32	4	30
8	37	5	33
11	42	6	35
15	48	8	40
19	52	10	44
22	55	12	47,5
27,5	58,5	15	52
32	61	18	56
38	63	22	59
48	66	26	61,5
60	68,5	30	65,5
80	71	35	67,5
		45	70
		55	72

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	40,39	3,81	2,88
	g/ml		ml		-
Εκροή (gr)	%	2,49	40,78	3,62	2,82
	g/ml		ml		-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,08
Ποσότητες (lt)	20	10
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	22,9
Δεξαμενή κάτω	25
Δεξαμενή πάνω	26
Αέρα εισροή	22
Αέρα εκροή	22
Μέση Περιβάλλ.	22

20:15

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Είσορη (gr)	%	2,56	40,55	4,08	2,99
	g/ml		ml		-
Εκροή (gr)	%	2,51	45,46	3,71	2,87
	g/ml		ml		-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,11
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	21,8
Δεξαμενή κάτω	25
Δεξαμενή πάνω	27
Αέρα εισροή	23
Αέρα εκροή	23
Μέση Περιβάλλ.	22,1

20:00

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	28,21	3,52	2,8
	g/ml	2,52	20ml	3,52	-
Εκροή (gr)	%	2,53	25,2	3,14	2,7
	g/ml	2,53	25ml	3,14	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0.05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		25,4

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	22,2
Δεξαμενή κάτω	25
Δεξαμενή πάνω	27
Αέρα εισροή	23
Αέρα εκροή	24
Μέση Περιβάλλ.	23,6

20:15

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Είσοδη (gr)	%	2,54	40,17	4,05	2,96
	g/ml	2,56	30ml	3,79	-
Εκροή (gr)	%	2,51	22,92	3,04	2,67
	g/ml	2,53	20ml	3,01	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,06
Ποσότητα (lt)	20	10
Θερμοκρασία (°C)		26,3

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	23,9
Δεξαμενή κάτω	26
Δεξαμενή πάνω	27
Αέρα εισροή	23
Αέρα εκροή	24
Μέση Περιβάλλ.	23,6

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,06
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		26,3

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	24,6
Δεξαμενή κάτω	25
Δεξαμενή πάνω	27
Αέρα εισροή	24
Αέρα εκροή	24
Μέση Περιβάλλ.	23,9

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητες (lt)	10	18
Θερμοκρασία (°C)		26,7

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	24,1
Δεξαμενή κάτω	26
Δεξαμενή πάνω	28
Αέρα εισροή	25
Αέρα εκροή	26
Μέση Περιβάλλ.	23,3

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	24
Θερμοκρασία (°C)		27,4

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	27
Δεξαμενή κάτω	25
Δεξαμενή πάνω	27
Αέρα εισροή	24
Αέρα εκροή	24
Μέση Περιβάλλ.	25,8

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητες (lt)	13	10
Θερμοκρασία (°C)		27,4

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	26,4
Δεξαμενή κάτω	28
Δεξαμενή πάνω	29
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	29
Μέση Περιβάλλ.	27,2

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		27,8

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	28
Δεξαμενή κάτω	28
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	28
Αέρα εκροή	30
Μέση Περιβάλλ.	26,3

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		28,4

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	30,4
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	29
Αέρα εκροή	31
Μέση Περιβάλλ.	27,4

19:50

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	30,4
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	30
Αέρα εκροή	30
Μέση Περιβάλλ.	28,6

20:15

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	29,2
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	31
Αέρα εκροή	30
Μέση Περιβάλλ.	27,3

19:45

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,57	20,32	3,22	2,72
	g/ml	2,58	20ml	3,32	-
Εκροή (gr)	%	2,55	16,12	2,93	2,67
	g/ml	2,54	20ml	3,1	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητες (lt)	24	11
Θερμοκρασία (°C)		30

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	29,1
Δεξαμενή κάτω	31
Δεξαμενή πάνω	33
Αέρα εισροή	31
Αέρα εκροή	30
Μέση Περιβάλλ.	27,9

20:00

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Είσοδη (gr)	%	2,51	19,96	3,19	2,71
	g/ml	2,51	20ml	3,35	-
Εκροή (gr)	%	2,53	16,12	2,88	2,64
	g/ml	2,58	20ml	3,1	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,06
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		30,8

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	31,4
Δεξαμενή κάτω	32
Δεξαμενή πάνω	34
Αέρα εισροή	28
Αέρα εκροή	32
Μέση Περιβάλλ.	29,7

<i>ΕΙΣΡΟΗ</i>		<i>ΕΚΡΟΗ</i>	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	14	1	11
2	19	2	20
3	23	3	25
4	27	4	28
5	30	5	31
6	32,5	7	36,5
8	37	9	40,5
10	41	11	44,5
12	45	13	48
14,5	48	15	51,5
17	51	18	55
20	54	22	60
23	56,5	26	64
29	60	30	67
38	63,5	34	69
51	66,5	40	72
		50	74,5

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,05
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)		31,5

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	35,4
Δεξαμενή κάτω	33
Δεξαμενή πάνω	36
Αέρα εισροή	33
Αέρα εκροή	36
Μέση Περιβάλλ.	33,9

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1,5	16	1,5	17
2	18	3	23
3	21,5	4	26
4	25	5	29
5	27,5	6	31
7	32	8	36
9	36	10	39,5
11	39	12	43,5
13	42	14	47
15	44,5	16	49,5
17	46,5	19	53,5
20	49,5	22	57,5
23	54,5	26	61
27	54	30	64,5
31	56	35	68
36	58	45	73,5
46	61		
56	63		

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητες (lt)	12	10
Θερμοκρασία (°C)		32,6

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	
Δεξαμενή κάτω	34
Δεξαμενή πάνω	36
Αέρα εισροή	32
Αέρα εκροή	36
Μέση Περιβάλλ.	32,3

20:30

[illegible]

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,59	24,22	3,45	2,83
	g/ml	2,51	20ml	3,31	-
Εκροή (gr)	%	2,51	15,05	2,9	2,63
	g/ml	2,51	20ml	3,12	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	30,4	33,6

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	
Δεξαμενή κάτω	34
Δεξαμενή πάνω	37
Αέρα εισροή	34
Αέρα εκροή	35
Μέση Περιβάλλ.	35,6

20:15

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	12	1	12
2	16	2	16
3	19,5	3	20
4	22,5	4	22
6	27,5	6	27
9	33	9	33
12	37,5	12	37
15	41,5	15	41
18	45	18	45
21	48	21	48
24	50	24	51
30	54	28	54,5
40	59	33	58
50	61,5	38	61
60	64	43	63
		53	66,5
		70	70,5

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Είσοδη (gr)	%	2,56	31,5	3,62	2,82
	g/ml	2,52	21ml	3,44	-
Εκροή (gr)	%	2,56	19,78	3,1	2,7
	g/ml	2,53	20ml	3,42	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητα (lt)	12	10
Θερμοκρασία (°C)	23,4	34,1

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	35
Δεξαμενή κάτω	35
Δεξαμενή πάνω	38
Αέρα εισροή	34
Αέρα εκροή	36
Μέση Περιβάλλ.	35,9

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,04
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	31,8	34,1

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	30,1
Δεξαμενή κάτω	34
Δεξαμενή πάνω	36
Αέρα εισροή	32
Αέρα εκροή	32
Μέση Περιβάλλ.	34,3

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1,5	14	1	12
3	19	2	17
5	24,5	3	20
7	29	4	23
9	32,5	5	25
12	37,5	7	29
15	41	10	35
18	44,5	13	38,5
21	47,5	16	42
25	349,5	19	45
30	5	22	48
35	55	26	51
45	58	30	54,5
60	61	34	57
		40	60
		50	64
		60	67

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,84
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	25,3	33,9

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	26,5
Δεξαμενή κάτω	34
Δεξαμενή πάνω	35
Αέρα εισροή	28
Αέρα εκροή	31
Μέση Περιβάλλ.	28,5

30/6/2007 20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	17	1	14
2	23	2	20
3	28,5	3	23
4	33	4	26
5	36,5	6	31
7	42	8,5	36
9	47	12	42
11	50,5	16	47
13	53,5	20	52
16	56,5	24	56
20	60	28	59,5
28	63	38	65
32	65	51	70,5

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,53	23,91	3,28	2,75
	g/ml	2,53	20ml	3,24	-
Εκροή (gr)	%	2,52	23,11	3,14	2,72
	g/ml	2,53	21ml	3,14	-

		Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)		-	0,44
Ποσότητες (lt)		10	10
Θερμοκρασία (°C)		28,5	32,7

		Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος		26,2
Δεξαμενή κάτω		32
Δεξαμενή πάνω		34
Αέρα εισροή		28
Αέρα εκροή		28
Μέση Περιβάλλ.		26,6

1/7/2007 20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	13	1	16
2	19	2	21
3	23	3	24,5
4	27	4	28
5	30	6	33,5
6	33,5	8	37
8,5	39	10	41
10	42	12	43
12	46	15	49
14	48,5	18	53
17	52	21	56
20	55	25	60
25	58	30	64
35	62,5	35	67
		40	70
		45	72
		55	74,5

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,53	13,58	3,05	2,68
	g/ml	2,51	20ml	3,24	-
Εκροή (gr)	%	2,53	23,91	3,15	2,73
	g/ml	2,55	20ml	3,11	-

		Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)		-	
Ποσότητες (lt)		10	10
Θερμοκρασία (°C)		23,2	31,7

		Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος		25,3
Δεξαμενή κάτω		31
Δεξαμενή πάνω		33
Αέρα εισροή		26
Αέρα εκροή		31
Μέση Περιβάλλ.		25,4

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,76
Ποσότητες (lt)	20	10
Θερμοκρασία (°C)	29,7	30,6

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	25,8
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	26
Αέρα εκροή	31
Μέση Περιβάλλ.	

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,4
Ποσότητες (lt)	10	16
Θερμοκρασία (°C)	25,3	30,2

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	27
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	28
Αέρα εκροή	31
Μέση Περιβάλλ.	25,8

[illegible]

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	27,1
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	27
Μέση Περιβάλλ.	27,2

[illegible]

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	27,5
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	28
Μέση Περιβάλλ.	27,3

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,3
Ποσότητες (lt)	20	10
Θερμοκρασία (°C)	30,2	29,7

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	25,7
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	25
Αέρα εκροή	26
Μέση Περιβάλλ.	26,4

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	13	1,5	15
2	19	2	18
3	22,5	3	20,5
4,5	27	4,5	25,5
6	31	6	30
8	36	8,5	34,5
10	40	10	37
12	43	14	43
15	47,5	17,5	48
18	51	2,5	53
21	53,5	26	55
25	56,5	29	58
30,5	59	31	59
35	61	36	62
		40	63
		48	66
		58	68,5

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,28
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	29,2	29,3

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	25,3
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	26
Αέρα εκροή	28
Μέση Περιβάλλ.	25,9

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
0,17	33	1	12
0,33	44	2	17
0,50	53	3	21
0,67	60	4	24
0,83	66	6	29
1,00	71	8	33
1,17	76	10	37
1,42	81	12	40
1,67	84	15	44
1,83	86	18	48
2	87	21	51
3	88	25	54,5
4	89	30	58
6	90	35	61
		40	63
		50	66

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,52
Ποσότητες (lt)	20	10
Θερμοκρασία (°C)	35,1	29,6

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	27,6
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	32
Μέση Περιβάλλ.	27,1

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,34
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	29,8	29,9

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	26,1
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	27
Μέση Περιβάλλ.	26,5

10/7/2007 20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	12	1	13
2	16	2	23
3	20	3	27
4	22	4	30
6	27	6	36
8	30	8	41
10	33	10	45
12	35	12	49
14	38	16	55
16	40	19	59
20	44	22	62
24	47	26	65
28	50	30	68
33	53	35	70
40	55,5	45	73
50	58		

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	17,42	3,16	2,71
	g/ml	2,53	17ml	3,28	-
Εκροή (gr)	%	2,52	18,33	2,99	2,67
	g/ml	2,52	20ml	3,13	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,38
Ποσότητες (lt)	20	10
Θερμοκρασία (°C)	33,6	30,4

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	29
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	33
Αέρα εισροή	29
Αέρα εκροή	32
Μέση Περιβάλλ.	27,9

11/7/2007 20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	13	1	18
2	18	2	24
3	21	3,5	31
4	25	5	37
5	27,5	7	43
7	32	9	47
9	36	11	51,5
11	39,5	13	55
14	44	15	58
17	47,5	17	61,5
21	51	19	64
25	54	23	68
30	57	27	71
42,5	62	31	72,5

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	16,34	3,08	2,69
	g/ml	2,54	11ml	3,02	-
Εκροή (gr)	%	2,51	12,39	2,79	2,6
	g/ml	2,53	20ml	3,07	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,46
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	26,5	30,7

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	27,1
Δεξαμενή κάτω	30
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	28
Μέση Περιβάλλ.	27,9

20:00

~~~~~

|                  | Εισροή | Εκροή |
|------------------|--------|-------|
| Οξυγόνο (mg/L)   | -      | 0,35  |
| Ποσότητες (lt)   | 15     | 10    |
| Θερμοκρασία (°C) | 29,7   | 29,6  |

~~~~~

20:00

XXXX

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,2
Ποσότητες (lt)	10	16
Θερμοκρασία (°C)	29	29,2

XXXX

14/7/2007 20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1,5	23	1	15
2	26	2	21
3	31	3	25
4	36	4	28
5	39,5	5	31
6	43	6	34
7	45,5	8	38,5
8	48,5	10	43
9	51	12	46,5
11,5	56	14,5	50
14	60	17	54
20	66,5	20	57
		23	60
		28	64
		34	67
		44	70,5

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	21,07	3,12	2,7
	g/ml	2,51	15ml	3	-
Εκροή (gr)	%	2,53	23,61	3,22	2,75
	g/ml	2,52	20ml	3,15	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,24
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	20,7	28,9

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	24,8
Δεξαμενή κάτω	28
Δεξαμενή πάνω	30
Αέρα εισροή	25
Αέρα εκροή	28
Μέση Περιβάλλ.	24,6

15/7/2007 20:00

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
1	21	1	15
2	30	2	21
3	36	3	25
4	41	4	29
5	45,5	5	31,5
6	49,5	8	39
7,5	54,5	10	43
9	59	12	46,5
11	63	14	50
13	66	16	52,5
16	69,5	19	56
20	73	22	59
		25	62
		28	64
		32	66,5
		38	69
		48	72

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	14,83	2,92	2,62
	g/ml	2,52	16ml	3,02	-
Εκροή (gr)	%	2,53	20,89	3,04	2,69
	g/ml	2,52	14ml	2,93	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,15
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	25,2	28,2

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	24,8
Δεξαμενή κάτω	27
Δεξαμενή πάνω	30
Αέρα εισροή	26
Αέρα εκροή	27
Μέση Περιβάλλ.	25,1

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,27
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	28,5	28,3

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	25,9
Δεξαμενή κάτω	28
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	26
Αέρα εκροή	30
Μέση Περιβάλλ.	25,4

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	0,37
Ποσότητες (lt)	10	10
Θερμοκρασία (°C)	29,8	28,6

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	25,7
Δεξαμενή κάτω	28
Δεξαμενή πάνω	31
Αέρα εισροή	26
Αέρα εκροή	30
Μέση Περιβάλλ.	25,7

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	
Ποσότητες (lt)		10
Θερμοκρασία (°C)		29

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	27,5
Δεξαμενή κάτω	29
Δεξαμενή πάνω	32
Αέρα εισροή	27
Αέρα εκροή	29
Μέση Περιβάλλ.	26,6

[illegible]

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	
Ποσότητες (lt)		
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	
Δεξαμενή κάτω	
Δεξαμενή πάνω	
Αέρα εισροή	
Αέρα εκροή	
Μέση Περιβάλλ.	

14/7/2007 Αναερόβια ιλύς

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
2	10	3	10
3	13	5	14,5
4	16	8	20
6	21	10	23
8	25	13	27
11	30	16	30,5
13	33	26	42
17	38	32	47
21	43	36	51
25	47	41	55
30	52	46	59
35	56	52	63
40	60	60	69
45	64	69	75
50	67,5	80	81
60	73,5		
70	78		
80	81		

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	15,6	3,13	2,73
	g/ml	2,5	15ml	3,14	-
Εκροή (gr)	%	2,51	20,68	3,03	2,74
	g/ml	2,53	17ml	2,99	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	
Ποσότητες (lt)		
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμοκρασία (°C)
Περιβάλλοντος	
Δεξαμενή κάτω	
Δεξαμενή πάνω	
Αέρα εισροή	
Αέρα εκροή	
Μέση Περιβάλλ.	

16/7/2007 Αναερόβια ιλύς

ΕΙΣΡΟΗ		ΕΚΡΟΗ	
Χρόνος (min)	Όγκος (ml)	Χρόνος (min)	Όγκος (ml)
2	11	2	12
4	16	4	17
6	21	6	22
8	25	8	25
10	29	10	29
12	32	12	32
14	35	14	35
16	37,5	16	38
19	41,5	18	41
22	45	20	44
25	48	24	48,5
30	53	28	53
35	57	32	58
40	61,5	36	61,5
50	68	40	65,5
		44	69
		50	73
		60	80

		Δοχείο	Δοχείο + Δείγμα	Μετά τους 105°C	Μετά τους 500°C
Εισροή (gr)	%	2,52	16,67	3,19	2,75
	g/ml	2,52	15ml	3,01	-
Εκροή (gr)	%	2,53	16,49	2,97	2,73
	g/ml	2,52	15ml	2,98	-

	Εισροή	Εκροή
Οξυγόνο (mg/L)	-	
Ποσότητες (lt)		
Θερμοκρασία (°C)		

	Θερμ. (°C)
Περιβάλλοντος	
Δεξαμενή κάτω	
Δεξαμενή πάνω	
Αέρα εισροή	
Αέρα εκροή	
Μέση Περιβάλλ.	

	Θερμοκρασία Δεξαμενής	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	Θερμοκρασία Εισροής
19:00	29,1	25,7	26
20:00	29,1	25,7	26
21:00	28	26,3	25
22:00	28,4	25,9	25
23:00	27,6	23,9	25
0:00	28,2	24	24
1:00	27,6	24,6	24
2:00	28	25,5	24
3:00	27,8	25,1	24
4:00	27,9	24,6	24
5:00	27,6	24,3	23
6:00	27,3	24,3	23
7:00	27	24,5	23
8:00	27,3	25,7	25
9:00	28,4	26,4	26
10:00	29,4	26,7	26
11:00	29,9	26,9	27
12:00	30,9	27	27
13:00		27,1	
14:00	30,8	26,5	27
15:00	30,7	27,1	27
16:00	30,4	27,6	27
17:00	29,1	28,6	28
18:00	30,6	29,1	28
19:00	30	27,4	28
20:00	29,6	27,5	27


~~~~~



















