



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αυτόθερμη Αερόβια Χώνευση Ιλύος στην Εγκατάσταση
Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου

Παπαδόσηφου Βιργινία

Εξεταστική επιτροπή

Διαμαντόπουλος Ευάγγελος (επιβλέπων καθηγητής)

Βενιέρη Δανάη

Ξεκουκουλωτάκης Νικόλαος

Χανιά, Ιούνιος 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον κύριο Βρυλλάκη Εμμανουήλ, Διευθυντή της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου, διότι χωρίς την πολύτιμη συνδρομή του δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, η παροχή πληροφοριών για τη λειτουργία της εγκατάστασης αυτής και των διαφόρων διεργασιών της, οι παραπομπές σε βιβλιογραφικές πηγές, η ξενάγηση στις διάφορες διεργασίες, η άδειά του για τη διεξαγωγή των αναλύσεων των δειγμάτων στον εργαστηριακό χώρο της εγκατάστασης, καθώς και η παροχή όλων των απαραίτητων αναλώσιμων υλικών και μηχανημάτων για τις αναλύσεις, ανέδειξαν τον ρόλο του ως καθοριστικό για τη διεξαγωγή και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στην κυρία Βογιατζή Χρύσα, Υπεύθυνη Εργαστηρίου της ΕΕΛ, η οποία μου παρείχε όλη τη βοήθεια που χρειαζόμουν για την ανάλυση των δειγμάτων μου και για τον τρόπο χρήσης του εργαστηριακού εξοπλισμού. Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω τους εργαζόμενους του συνεργείου συντήρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας του Βιολογικού Καθαρισμού για την άψογη συνεργασία μας κατά τις δειγματοληψίες, οι οποίες, για λόγους ασφαλείας, πραγματοποιούνταν σε συνεργασία τους μαζί μου.

Τέλος, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Διαμαντόπουλο Ευάγγελο για την πολύτιμη βοήθειά του και τις διευκρινήσεις του, τόσο κατά την περίοδο των δειγματοληψιών όσο και κατά τη συγγραφή αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, εκπονήθηκε στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου και πραγματεύεται τη λειτουργία της διεργασίας της αερόβιας χώνευσης ιλύος της εγκατάστασης.

Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση, η διεργασία της αερόβιας χώνευσης αποτελείται από τις δύο δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (στρογγυλής διατομής) και της μίας δεξαμενής αερισμού (ορθογωνικής διατομής) που κατασκευάστηκαν στον αρχικό σχεδιασμό της εγκατάστασης και μετατράπηκαν σε δεξαμενές αερόβιας χώνευσης ιλύος. Οι δεξαμενές βρίσκονται συνδεδεμένες ως εξής: αρχικά η εισερχόμενη ιλύς μοιράζεται στην βόρεια κυκλική δεξαμενή 1 και στην ορθογωνική δεξαμενή 2, στη συνέχεια η εκροή της δεξαμενής 1 καταλήγει στην δεξαμενή 2 και τέλος, η εκροή της δεξαμενής 2 αποτελεί είσοδο της νότιας κυκλικής δεξαμενής 3. Η ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει η διεργασία αυτή είναι ότι η ορθογωνική δεξαμενή έχει καλυφθεί με πολυκαρβονικά φύλλα, πάχους 10mm, για τον εγκλωβισμό της παραγόμενης ενέργειας από τη διάσπαση του οργανικού κλάσματος της ιλύος. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η θερμοκρασία μέσα στην δεξαμενή και μειώνεται ο χρόνος παραμονής της ιλύος στη συγκεκριμένη δεξαμενή. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική χώνευση μεγαλύτερης ποσότητας λάσπης, σε μικρότερο χρόνο, στις ήδη υπάρχουσες δεξαμενές.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η καταγραφή και ο προσδιορισμός των τιμών των παραμέτρων για την αποτελεσματική λειτουργία και εφαρμογή μιας τέτοιας διεργασίας αερόβιας χώνευσης σε Μονάδες μεγάλης δυναμικότητας, όπως η ΕΕΛ Ρεθύμνου. Για τον λόγο αυτό γινόταν καθημερινή δειγματοληψία από τις τρεις δεξαμενές αερόβιας χώνευσης και ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το διάστημα 9 Ιουλίου 2013 – 8 Αυγούστου 2013 και οι παράμετροι που αναλύονταν και καταγράφονταν για τις τρεις δεξαμενές ήταν: οι θερμοκρασίες της ιλύος στις δεξαμενές και η θερμοκρασία του αέρα, η συγκέντρωση των στερεών της ιλύος και το ποσοστό του πτητικού μέρους τους, το pH και το διαλυμένο οξυγόνο στις δεξαμενές. Επίσης, για την ορθογωνική δεξαμενή που είναι καλυμμένη, μετρούνταν στο νερό της διήθησης των στερεών της, το COD και τα νιτρικά ιόντα ως άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$).

Από τα πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των δειγμάτων, οι τρεις δεξαμενές λειτουργούν εντός των σχεδιαστικών τους ορίων επιτυγχάνοντας ένα σταθερό ποσοστό πτητικών στερεών εξόδου, ώστε να μην χρειάζεται αναπροσαρμογή των συνθηκών λειτουργίας των διεργασιών της περαιτέρω επεξεργασία της ιλύος (πάχυνση, μηχανική αφυδάτωση, ασβέστωση και ηλιακή ξήρανση). Πιο συγκεκριμένα, τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα εξής: α) για τον Χωνευτή 1: θερμοκρασία λειτουργίας $34,3^\circ\text{C}$, συγκέντρωση στερεών (TS) 1,04%, τιμή pH 7,34, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 3,3 mg/l, ποσοστό πτητικών στερεών στα ολικά στερεά 72,3% και χρόνος παραμονής 10 μέρες, β) για τον Χωνευτή 2: θερμοκρασία λειτουργίας $40,1^\circ\text{C}$, συγκέντρωση στερεών (TS) 0,96%, τιμή pH 7,16, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 2,9 mg/l, ποσοστό πτητικών στερεών στα ολικά στερεά 66,4% και χρόνος παραμονής 8 μέρες και γ) για τον Χωνευτή 3: θερμοκρασία λειτουργίας $36,1^\circ\text{C}$, συγκέντρωση στερεών (TS) 1%, τιμή pH 7,27, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 5,07 mg/l, ποσοστό πτητικών στερεών στα ολικά στερεά 64,7% και χρόνο παραμονής 6 d.

Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η μονωμένη δεξαμενή (Χωνευτής 2) διαχειρίζεται ένα μεγάλο όγκο ιλύος ($190 \text{ m}^3/\text{d}$) με μικρό χρόνο παραμονής (8 d), συγκρινόμενη με τα αντίστοιχα δεδομένα του Χωνευτή 1 (παροχή $114 \text{ m}^3/\text{d}$ και χρόνο παραμονής 10d). Με αυτόν τον τρόπο, η ΕΕΛ επιτυγχάνει την αερόβια επεξεργασία μεγαλύτερης ποσότητας ιλύος στις ήδη υπάρχουσες δεξαμενές, αποφεύγοντας την κατασκευή επιπλέον δεξαμενών για τη διαχείριση του συνολικού όγκου της ιλύος με τη συμβατική μέθοδο αερόβιας χώνευσης.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή	6
2. Θεωρητικό μέρος	7
2.1 Τρόποι αξιοποίησης ιλύος	7
2.2 Μέθοδοι σταθεροποίησης ιλύος	8
2.2.1 Αλκαλική σταθεροποίηση.....	8
2.2.2 Αναερόβια χώνευση.....	8
2.2.3 Λιπασματοποίηση	9
2.2.4 Αερόβια χώνευση.....	9
2.2.4.1 Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση	12
“Aerobic Sewerage Digestion Process (42°C process)”, David A. Rein.....	15
3. Πειραματικό Μέρος	18
3.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου	18
3.1.1 Γενική περιγραφή της ΕΕΛ	18
3.1.2 Αερόβια Χώνευση Ιλύος ΕΕΛ Ρεθύμνου	23
3.2 Διεξαγωγή μετρήσεων	30
3.2.1 Υπολογισμών Στερεών	30
3.2.2 Μέτρηση COD και νιτρικών ως άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$)	30
4. Αποτελέσματα.....	31
4.1 Θερμοκρασία	31
4.2 Στερεά	32
4.3 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO).....	35
4.4 pH.....	35
4.5 COD και νιτρικά ως άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$)	36
5. Συμπεράσματα	38
6. Βιβλιογραφία	40
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	41
I.Πίνακες παραμέτρων από τις ενδείξεις των μετρητών.....	41
II.Πίνακες παραμέτρων από τις αναλύσεις των δειγμάτων στο εργαστήριο	43

1. Εισαγωγή

Σε κάθε Εγκατάσταση Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (ΕΕΥΑ), ως αποτέλεσμα της βιολογικής επεξεργασίας προκύπτει ως παραπροϊόν η ιλύς. Η ιλύς είναι η λάσπη που απομακρύνεται από τις δεξαμενές καθίζησης και αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα για την ΕΕΥΑ, αφού σπάνια έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για την απευθείας διάθεσή της χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Σκοπός της επεξεργασίας της είναι τόσο η μείωση του όγκου του τελικού προϊόντος, όσο και η μείωση του ρυπαντικού φορτίου σε επιτρεπτά και ασφαλή για την υγεία, νομοθετικά όρια.

Η επεξεργασία της ιλύος περιλαμβάνει συνήθως τη χρήση μεθόδων πάχυνσης και χώνευσης. Συχνά εφαρμόζεται η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης καθώς παράγεται βιοαέριο, υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο, με δυνατότητα ενεργειακής αξιοποίησης. Βέβαια, το μεγάλο μέγεθος των εγκαταστάσεων που απαιτείται για την αναερόβια χώνευση έχει στρέψει το ενδιαφέρον των ερευνητών στην αναζήτηση άλλων μεθόδων που να συνδυάζουν εξοικονόμηση χώρου και χρόνου χώνευσης.

Μία τέτοια μέθοδο αποτελεί η Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση (Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion, ATAD) η οποία πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, μειώνοντας τον χρόνο παραμονής και ως αποτέλεσμα και το μέγεθος των δεξαμενών. Επίσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, παρουσιάζεται μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, που οδηγεί σε λιγότερη μετέπειτα επεξεργασία μέχρι το τελικό προϊόν. Οι υψηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνονται με τη θερμότητα που εκλύεται κατά την οξείδωση του οργανικού υλικού.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διαπιστωθεί πώς εφαρμόζεται στην πράξη η διεργασία της αερόβιας χώνευσης ιλύος σε διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει τρεις δεξαμενές αερόβιας χώνευσης ιλύος. Οι δύο λειτουργούν με μέγιστη θερμοκρασία τους 38°C και η τρίτη με μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 42°C.

Η διεξαγωγή των δειγματοληψιών καθώς και η επεξεργασία τους για την παρακολούθηση και καταγραφή των παραμέτρων λειτουργίας της αερόβιας αυτής χώνευσης πραγματοποιήθηκαν στον χώρο και στο εργαστήριο της ΕΕΛ Ρεθύμνου.

2. Θεωρητικό μέρος

2.1 Τρόποι αξιοποίησης ιλύος

Με τον όρο ιλύς περιγράφουμε τα καθιζάνοντα στερεά που απομακρύνονται από τις δεξαμενές καθίζησης μίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων. Συνήθως, σε αυτές τις Εγκαταστάσεις υπάρχουν δύο στάδια καθίζησης: πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση. Η ιλύς που απομακρύνεται από την πρωτοβάθμια καθίζηση περιέχει κυρίως αιωρούμενα στερεά (4 – 12%) και αναερόβιους μικροοργανισμούς, ενώ η ιλύς που απομακρύνεται από τη δευτεροβάθμια καθίζηση περιέχει στερεά σε μικρότερο ποσοστό από την προηγούμενη (0,5 – 1,5%) και αερόβιους μικροοργανισμούς που σχηματίζουν συσσωματώματα. Η ιλύς της δευτεροβάθμιας καθίζησης ονομάζεται και ενεργός ιλύς. Η ενεργός ιλύς τείνει να αποσυντίθεται εύκολα και να έχει μια δυσάρεστη οσμή σήψης, αλλά χωνεύεται εύκολα μόνη της ή όταν αναμιχθεί με πρωτοβάθμια ιλύ. Συνήθως, οι απομακρυνόμενες ποσότητες πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος αναμιγνύονται για την περαιτέρω επεξεργασία τους, η οποία κρίνεται συχνά απαραίτητη, αφού πολύ σπάνια η ιλύς μετά τη διαδικασία της καθίζησης έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για εναπόθεση [1,2].

Η επεξεργασία της ιλύος περιλαμβάνει διάφορες διεργασίες που έχουν ως στόχο τόσο τη μείωση του όγκου του τελικού προϊόντος, όσο και τη σταθεροποίησή του για την ασφαλή εναπόθεση. Το τελικό προϊόν, εξαιτίας του οργανικού φορτίου και των θρεπτικών συστατικών που περιέχει, καθίσταται μια αξιόλογη πηγή λιπασματικών συστατικών και εδαφοβελτιωτικού υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αγροτικές καλλιέργειες για βελτίωση της ποιότητας των εδαφών, για αποκατάσταση περιοχών διαταραγμένης γης (π.χ. λόγω εξορύξεων), για αύξηση της παραγωγικότητας των δασών και για σταθεροποίηση και αποκατάσταση της βλάστησης σε δασικές εκτάσεις που έχουν ερημοποιηθεί από πυρκαγιές ή από άλλες αιτίες [2].

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, η διάθεση της επεξεργασμένης ιλύος στο έδαφος έχει ως στόχο την περαιτέρω επεξεργασία της, αφού ο συνδυασμός του ηλιακού φωτός, των μικροοργανισμών του εδάφους και της αφυδάτωσης καταστρέφει τους παθογόνους μικροοργανισμούς και πολλές τοξικές οργανικές ουσίες [2].

Όταν δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάποιος από τους παραπάνω τρόπους διάθεσης, λόγω έλλειψης εδαφών ή λόγω μεγάλων συγκεντρώσεων επικίνδυνων τοξικών ουσιών, η ιλύς υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος για μόλυνση του αέρα, των εδαφών ή του υπόγειου υδροφορέα. Τέτοιες τεχνικές επεξεργασίας είναι η αποτέφρωση, η πυρόλυση και η υγρή οξείδωση [2].

Τέλος, η ιλύς μπορεί να διατεθεί σε μη επωφελείς χρήσεις όπως σε χώρους υγειονομικής ταφής ιλύος, σε χώρους υγειονομικής ταφής μαζί με τα οικιακά απορρίμματα, καθ' ύψος πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ή ακόμα και στη θάλασσα, σε μεγάλα όμως βάθη [2].

2.2 Μέθοδοι σταθεροποίησης ιλύος

Η σταθεροποίηση εφαρμόζεται με στόχο τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, την απομάκρυνση των δυσάρεστων οσμών και την παρεμπόδιση, μείωση ή εξάλειψη του δυναμικού σήψης. Η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται κυρίως από τη μείωση του πτητικού μέρους των στερεών της ιλύος που αποτελεί την τροφή των μικροοργανισμών και από τη δημιουργία συνθηκών ακατάλληλων για την επιβίωση και αναπαραγωγή των μικροοργανισμών, με την προσθήκη χημικών στην ιλύ. Οι βασικές τεχνικές σταθεροποίησης είναι: αλκαλική σταθεροποίηση, αναερόβια χώνευση, αερόβια χώνευση και λιπασματοποίηση.

2.2.1 Αλκαλική σταθεροποίηση

Η βασική ιδέα για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι η τροποποίηση των χαρακτηριστικών της ιλύος για τη δημιουργία ενός αφιλόξενου προς τους παθογόνους μικροοργανισμούς, περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, τέτοιες συνθήκες δημιουργούνται με αύξηση του pH της ιλύος σε αλκαλικές τιμές και συγκεκριμένα σε pH 12 ή υψηλότερο. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη οξειδίου ή υδροξειδίου του ασβεστίου, με αποτέλεσμα να αδρανοποιούνται ιοί, βακτήρια και άλλοι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στην ιλύ [1,3].

2.2.2 Αναερόβια χώνευση

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται για την αποσύνθεση της οργανικής και ανόργανης ύλης (κυρίως θεικών ενώσεων) απουσία οξυγόνου. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται σταθεροποίηση των στερεών, μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών και παραγωγή χρήσιμου βιοαερίου.

Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει χημικές και βιοχημικές μετατροπές και μπορεί να περιγραφεί ως διεργασία τριών σταδίων:

- Το στάδιο της υδρόλυσης
- Το στάδιο της μετατροπής σε οργανικά οξέα (οξυγένεση)
- Το στάδιο της μεθανογένεσης (μετατροπή των οργανικών οξέων σε βιοαέριο)

Ο βαθμός σταθεροποίησης της μεθόδου εκφράζεται με το ποσοστό μείωσης των πτητικών στερεών της ιλύος που αντιστοιχεί σε 40 – 65%. Ο υψηλότερος βαθμός σταθεροποίησης αντιστοιχεί σε πρωτοβάθμια ιλύ, όπου υπάρχουν ήδη αναερόβιοι μικροοργανισμοί και η χώνευση είναι καλύτερη.

Ο ρυθμός με τον οποίο εκτελούνται τα τρία στάδια εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο χρόνος παρακράτησης των στερεών, η θερμοκρασία, το pH και η παρουσία τοξικών συστατικών που παρεμποδίζουν τη χώνευση.

Το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας μέσα στον αντιδραστήρα με επανακυκλοφορία, είτε ως καύσιμο για τη λειτουργία κάποιου εξοπλισμού ή ακόμα και όλης της εγκατάστασης. Η ποσότητα που παράγεται είναι περίπου 0,75 – 1,12 m^3/kg πτητικών στερεών που καταστρέφονται.

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής που απαιτούν μεγάλες εγκαταστάσεις και η ανάγκη επεξεργασίας των αέριων εκπομπών σε περίπτωση που δεν είναι πλούσιες σε μεθάνιο, δηλαδή μη εκμεταλλεύσιμες [1,2,3].

2.2.3 Λιπασματοποίηση

Η λιπασματοποίηση ή κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία που γίνεται κάτω από αερόβιες συνθήκες και στην οποία η οργανική ύλη υποβάλλεται σε βιολογική αποδόμηση με ένα σταθερό τελικό προϊόν. Η διαφορά της μεθόδου από την αερόβια χώνευση είναι ότι η κομποστοποίηση γίνεται σε στερεόμορφο υλικό, ενώ η αερόβια χώνευση σε ρευστό. Η αποδόμηση γίνεται με τη βοήθεια κυρίως μυκήτων, βακτηρίων και ακτινομυκήτων. Τα βακτήρια είναι υπεύθυνα για την αποσύνθεση των πρωτεϊνών, των λιπιδίων και των λιπών, ενώ οι μύκητες και οι ακτινομύκητες είναι υπεύθυνοι για την καταστροφή των σύνθετων οργανικών και της κυτταρίνης. Συνέπεια της μεταβολικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών είναι η παραγωγή θερμότητας, που επιταχύνει την αποσύνθεση των υλικών και αυξάνει τη θερμοκρασία, παράμετρος απαραίτητη για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, ανάλογα με τις θερμοκρασίες που επικρατούν, παρατηρούνται τρία διαφορετικά στάδια: το μεσόφιλο (έως 40°C), το θερμόφιλο (40°C έως 70°C) και το στάδιο της ψύξης.

Η ταχύτητα της διεργασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του προς σταθεροποίηση υλικού, δηλαδή από τη συγκέντρωση του οργανικού υλικού, τη συγκέντρωση του οξυγόνου, την περιεκτικότητα σε νερό και τη θερμοκρασία.

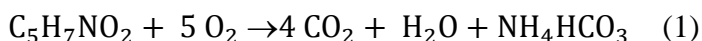
Οι βασικοί τύποι συστημάτων που χρησιμοποιούνται είναι τρεις: η δημιουργία σειραδίων, οι αεριζόμενοι σωροί και η λιπασματοποίηση σε αντιδραστήρα. Η διεργασία παράγει νερό, διοξείδιο του άνθρακα και κομπόστ. Το κομπόστ είναι ένα υλικό σαν χούμος και χρησιμοποιείται ως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό [1,2].

2.2.4 Αερόβια χώνευση

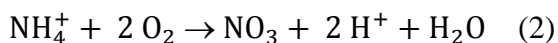
Κατά τη διεργασία αυτή παρέχεται οξυγόνο με τη μορφή αέρα ή πιο σπάνια, με τη μορφή καθαρού οξυγόνου στην ιλύ, με σκοπό την οξείδωση του οργανικού υλικού, με παράλληλη νιτροποίηση. Πιο συγκεκριμένα, εξαιτίας της μείωσης της διαθέσιμης τροφής (υπόστρωμα), οι μικροοργανισμοί τρέφονται με άλλους μικροοργανισμούς ή με το πρωτόπλασμά τους. Η αερόβια, αυτή, οξείδωση του κυτταρικού ιστού παράγει διοξείδιο του άνθρακα, νερό και αμμωνία και στη συνέχεια, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρικά [1].

Αν δεχτούμε ότι η κυτταρική μάζα ενός μικροοργανισμού εκφράζεται από τον τύπο $C_5H_7NO_2$, τότε οι χημικές εξισώσεις που περιγράφουν τις βιοχημικές αλλαγές σε έναν αερόβιο χωνευτή φαίνονται παρακάτω

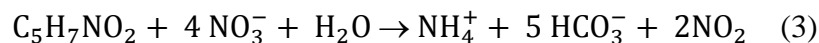
Καταστροφή βιομάζας:



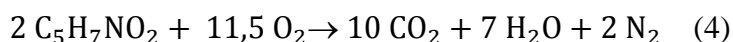
Νιτροποίηση



Απονιτροποίηση



Η συνολική αντίδραση μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση



Η αποτελεσματικότητα της αερόβιας χώνευσης ιλύος εξαρτάται από αρκετές λειτουργικές παραμέτρους όπως: ο χρόνος παραμονής, η θερμοκρασία του υγρού μέσα στη δεξαμενή, η συγκέντρωση των στερεών της ιλύος τροφοδοσίας και της ιλύος μέσα στη δεξαμενή, η ποσότητα του παρεχόμενου οξυγόνου, το υπολειμματικό διαλυμένο οξυγόνο στο υγρό, καθώς και η ανάμιξη του υγρού της δεξαμενής [1].

Μερικά κριτήρια με τυπικές τιμές για το σχεδιασμό αερόβιων δεξαμενών χώνευσης, σύμφωνα με τον αμερικάνικο οργανισμό WEF(1995a) φαίνονται στον Πίνακα 1 [1].

Πίνακας 1: Κριτήρια σχεδιασμού δεξαμενών αερόβιας χώνευσης

Χρόνος παραμονής (για τη μείωση των παθογόνων)	Διαλυμένο οξυγόνο	Φορτίο πτητικών στερεών	Μείωση αιωρούμενων πτητικών στερεών
<ul style="list-style-type: none">Στους 20°C: 40 dΣτους 15°C: 60 d	1-2mg/l	1,6-4,8 kg/(m ³ ·d)	38-50 %

Θερμοκρασία και pH

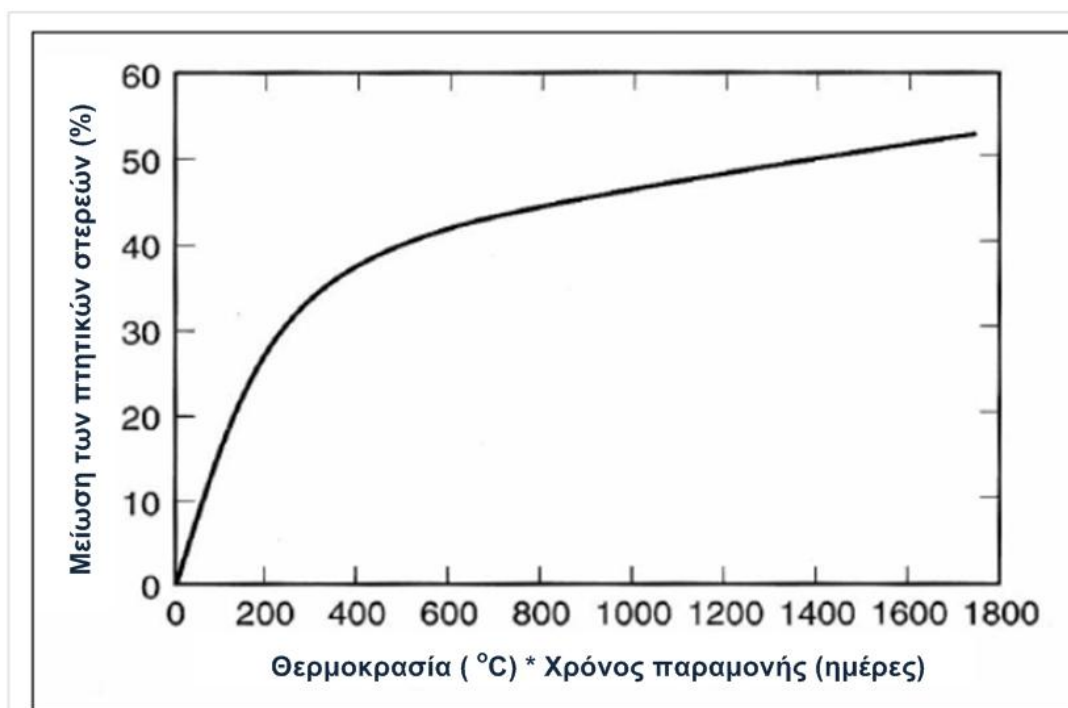
Η αποτελεσματικότητα της αερόβιας χώνευσης επηρεάζεται σημαντικά από τη διατήρηση της θερμοκρασίας του υγρού μέσα στις δεξαμενές, οι οποίες είναι συνήθως ανοικτές και επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες που μπορούν να διακυμανθούν εκτενώς. Στην αερόβια χώνευση, όπως και σε όλες τις βιολογικές διεργασίες, υψηλή θερμοκρασία σημαίνει υψηλός ρυθμός λειτουργίας, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες καθυστερούν τη διεργασία λόγω της μείωσης της κινητικότητας των μικροοργανισμών, αλλά και λόγω της απουσίας μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και επιταχύνουν τον ρυθμό της διεργασίας. Έτσι, σημαντικό ρόλο παίζει η μόνωση με τη χρήση τσιμεντένιων δεξαμενών, καθώς και ο τρόπος αερισμού. Σε περιοχές με κρύο κλίμα αποτελεσματική λύση για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του υγρού αποτελεί η κάλυψη των δεξαμενών.

Όπως φαίνεται από τις εξισώσεις (1) και (2), η αντίδραση διάσπασης του οργανικού αζώτου της λάσπης σε νιτρικά παράγει NH_4^+ (αμμώνιο), το οποίο στη συνέχεια οξειδώνεται σε NO_3^- (νιτρικά ιόντα), λόγω των συνθηκών που επικρατούν μέσα στις δεξαμενές αερόβιας χώνευσης. Αυτή η μετατροπή, παράγει H^+ , που σε συνδυασμό με τη μείωση της ρυθμιστικής ικανότητας στην ιλύ, έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση του pH. Οι τιμές του pH στην ιλύ πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 6,5 και 7,5, έτσι ώστε η διεργασία να εκτελείται ομαλά και να εξασφαλίζεται η ανάπτυξη των απαραίτητων ειδών μικροοργανισμών. Γι αυτό η τιμή του pH πρέπει να ελέγχεται συχνά και να προσαρμόζεται όταν δεν βρίσκεται σε αυτό το εύρος τιμών [1,2,5].

Στερεά και Χρόνος Παραμονής

Η συγκέντρωση των ολικών στερεών στην εισροή της δεξαμενής είναι ακόμα μία σημαντική σχεδιαστική αλλά και λειτουργική παράμετρος. Υψηλές συγκεντρώσεις εισερχόμενων στερεών (π.χ. αν έχει προηγηθεί πάχυνση) οδηγούν στην εισροή περισσότερου οξυγόνου στη δεξαμενή, σε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής, μικρότερο όγκο χωνευτή και μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης πτητικών στερεών [1]. Όμως, συγκεντρώσεις στερεών εισροής μεγαλύτερες από 3,5 με 4% δημιουργούν πρόβλημα στην ανάμιξη και στον αερισμό του περιεχομένου της δεξαμενής. Άρα, η συγκέντρωση των στερεών πρέπει να κυμαίνεται από περίπου 1% μέχρι 4% για την ομαλή λειτουργία της διεργασίας αλλά και των μετέπειτα σταδίων επεξεργασίας [1,3,5].

Η μείωση των πτητικών στερεών σε έναν αερόβιο χωνευτή είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του υγρού και του χρόνου παραμονής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Παρατηρούμε ότι αρχικά, καθώς αυξάνεται το γινόμενο θερμοκρασίας και χρόνου παραμονής έχουμε μία ραγδαία αύξηση του ποσοστού μείωσης των στερεών. Όταν όμως το γινόμενο αυτό προσεγγίζει το 500, ο ρυθμός κατανάλωσης των πτητικών σταθεροποιείται και η καμπύλη γίνεται επίπεδη. Για την παραγωγή καλά σταθεροποιημένων βιοστερεών απαιτείται το γινόμενο αυτό να είναι τουλάχιστον 500 [1,3].



Σχήμα 1: Μείωση των πτητικών στερεών σε ένα αερόβιο χωνευτή ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής τους [3]

Απαίτηση Οξυγόνου

Συνήθως, η αερόβια χώνευση προτιμάται σε δευτεροβάθμια ιλύ όπου υπάρχουν ήδη αερόβιοι μικροοργανισμοί, χωρίς αυτό να αποκλείει την προσθήκη και πρωτοβάθμιας ιλύος, τροποποιώντας όμως κάποιες από τις παραμέτρους λειτουργίας. Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο της πλήρους οξείδωσης του κυτταρικού ιστού και του BOD της πρωτοβάθμιας ιλύος, καθώς και το γεγονός ότι το διαλυμένο

οξυγόνο στη δεξαμενή δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 1mg/l, καθορίζουν την ποσότητα του παρεχόμενου οξυγόνου. Η παροχή του απαιτούμενου οξυγόνου διοχετεύεται στο σύστημα ως παροχή καθαρού οξυγόνου ή ως παροχή αέρα [1,2].

Ανάμιξη

Η πλήρης ανάμιξη του περιεχόμενου του αερόβιου χωνευτή είναι καθοριστική παράμετρος για τη σωστή λειτουργία του. Σε μεγάλες δεξαμενές είναι απαραίτητη η τοποθέτηση πολλών συσκευών ανάμιξης για να δημιουργούνται ομοιόμορφες συνθήκες σε όλη τη δεξαμενή. Επίσης, αν οι συγκεντρώσεις στερεών εισροής είναι μεγαλύτερες του 3,5%, πρέπει να ελέγχονται οι απαιτήσεις σε ενέργεια ανάμιξης για την επίτευξη αυτών των ομοιόμορφων συνθηκών λόγω του μεγάλου ποσού αέρα που απαιτείται για τέτοιες συγκεντρώσεις στερεών [1].

Μικροοργανισμοί

Στις αερόβιες βιολογικές διεργασίες παρατηρείται μια ποικιλία μικροοργανισμών, όπως τα αερόβια ετερότροφα βακτήρια, τα οποία βοηθούν στη δημιουργία βιολογικών συσσωματωμάτων που διαχωρίζονται εύκολα με καθίζηση με βαρύτητα, με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ελεύθερων βακτηρίων και αιωρούμενων στερεών. Επίσης, σημαντική είναι η παρουσία πρωτόζωων, τα οποία καταναλώνουν βακτήρια και κολλοειδή που υπάρχουν στην ιλύ. Τα πρωτόζωα απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής από τα αερόβια ετερότροφα βακτήρια, προτιμούν συγκεντρώσεις οξυγόνου μεγαλύτερες του 1mg/l και δεν είναι ανθεκτικά στις τοξικές ουσίες. Επομένως η παρουσία τους στις αερόβιες διεργασίες υποδεικνύει καλή λειτουργία χωρίς προβλήματα [1].

Πλεονέκτημα της διεργασίας αποτελεί ο μικρός χρόνος παραμονής (ιδιαίτερα στις μεσόφιλες και θερμόφιλες δεξαμενές) που απαιτεί μικρότερες δεξαμενές από της αναερόβιας χώνευσης, δηλαδή μικρότερο κόστος κατασκευής. Επίσης, οι τιμές του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD) στο τελικό προϊόν είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές της αναερόβιας, ενώ η μη παραγωγή βιοαερίου κάνει τη διεργασία ασφαλέστερη, καθώς δεν υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης [1,2,3].

Βασικό μειονέκτημα της διεργασίας αποτελεί το υψηλό κόστος λειτουργίας, λόγω της ενέργειας που απαιτείται για τον επαρκή αερισμό και το ότι επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. θερμοκρασία, συγκέντρωση οξυγόνου, pH, συγκέντρωση στερεών). Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν τόσο τον ρυθμό αποδόμησης των μικροοργανισμών, όσο και το είδος των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται και αποσυνθέτουν το οργανικό κλάσμα. Το είδος των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται κατά τη διεργασία καθορίζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της, αλλά και τα φυσικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος [1,2,3].

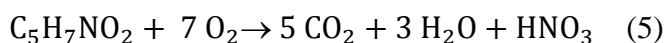
2.2.4.1 Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση

(Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion, ATAD)

Η διεργασία αυτή αποτελεί μία μέθοδο αερόβιας χώνευσης ιλύος που πραγματοποιείται σε θερμόφιλες θερμοκρασίες (55 – 70°C). Η ιλύς που τροφοδοτεί το σύστημα ATAD έχει υποστεί προπύχυνση και οι αντιδραστικές μονώνονται προκειμένου να διατηρηθεί η θερμότητα που παράγεται από την οξείδωση των πτητικών στερεών κατά τη χώνευση. Η παραγόμενη, κατά την οξείδωση των πτητικών, θερμότητα είναι ικανή να διατηρήσει τις απαιτούμενες υψηλές

θερμοκρασίες στο σύστημα [6,7], αφού αντιστοιχεί περίπου σε 20.000 kJ θερμότητας ανά kg πτητικών στερεών που καταστρέφονται.

Οι βιοχημικές συνθήκες μέσα στους αντιδραστήρες της ATAD είναι πολύ διαφορετικές από της αερόβιας χώνευσης. Η νιτροποίηση παρεμποδίζεται εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και η αερόβια χώνευση των πτητικών περιγράφεται από την εξίσωση [7]



Από την καταστροφή της βιομάζας (εξίσωση (1)) παράγεται αμμωνία η οποία σχηματίζει διτανθρακική και ανθρακική αμμωνία αντιδρώντας με το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα. Αυτές οι δύο μορφές της αυξάνουν το pH κάνοντας το περιβάλλον του αντιδραστήρα αλκαλικό. Έτσι το pH στους αντιδραστήρες ATAD κυμαίνεται από 8 έως 9.

Συνήθως σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται 2 αντιδραστήρες συνδεδεμένοι σε σειρά, όπου στον πρώτο γίνεται μεσόφιλη χώνευση και στον δεύτερο θερμόφιλη. Έχουν χρησιμοποιηθεί βέβαια με επιτυχία και συστήματα ATAD ενός σταδίου, με μία μόνο δεξαμενή, όπου γίνεται θερμόφιλη χώνευση και επιτυγχάνεται ο ίδιος βαθμός σταθεροποίησης με τα συστήματα των 2 ή περισσότερων αντιδραστήρων [9,10,14].

Για την καλύτερη κατανόηση της διεργασίας της σταθεροποίησης κατά την ATAD ενός σταδίου, κάποιοι ερευνητές ασχολήθηκαν με τη ποικιλομορφία των μικροβίων, σε μία προσομοίωση τέτοιας διεργασίας. Παρατήρησαν ότι η βιοποικιλότητά τους είναι μικρή και οι επικρατούντες μικροοργανισμοί αποτελούνταν από αναερόβια και αερόβια βακτήρια [9,15], παρόμοια με εκείνα της ATAD δύο σταδίων. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση του είδους των μικροβίων έδειξε ότι οι επικρατούντες μικροοργανισμοί αλλάζουν από μικροοργανισμούς με μικρή ανοχή στη θερμοκρασία σε θερμόφιλους και ανήκουν στις οικογένειες των Hydrogenophilaceae, Thermotogaceae, Clostridiaceae και στο γένος Ureibacillus κατά τη θερμόφιλη διεργασία [11,13,15].

Τα πειραματικά αποτελέσματα [10] που έχουν προκύψει από την εφαρμογή ATAD ενός σταδίου, για διαφορετικές θερμοκρασίες και χρόνο παραμονής 23 ημέρες φαίνονται στον Πίνακα 2.

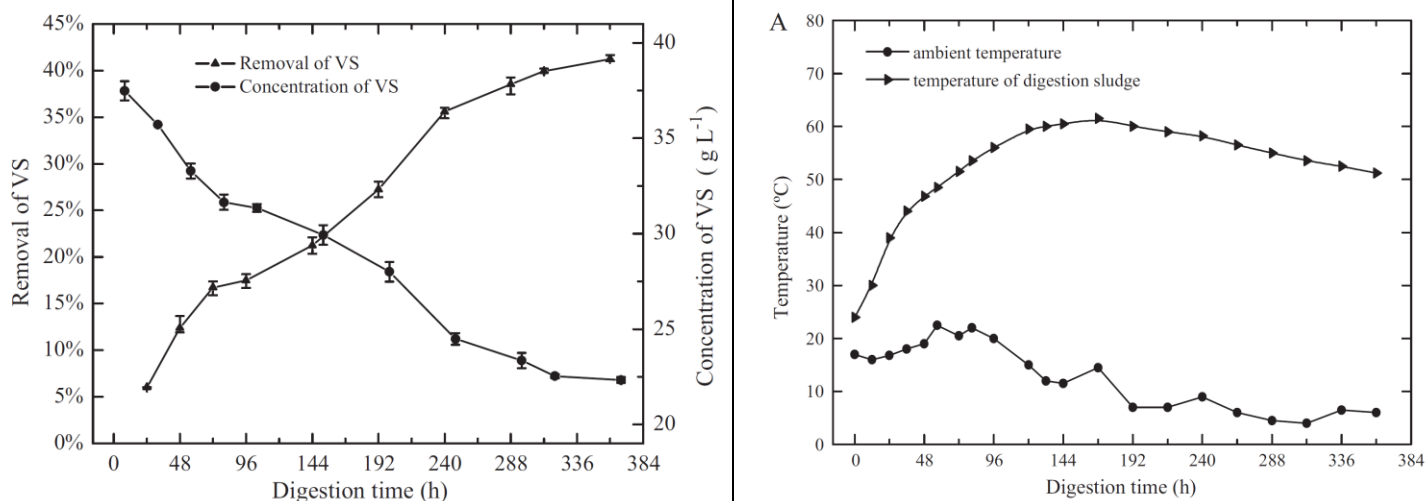
Πίνακας 2: Απομάκρυνση %VS για SRT=23d σε ATAD ενός σταδίου [10]

Θερμοκρασία χώνευσης	35°C	45°C	55°C	65°C
Απομάκρυνση %VS	33,6	42,9	45	24

Σε ATAD ενός σταδίου, η απομάκρυνση των πτητικών στερεών γίνεται μέγιστη στους 55°C και μειώνεται σημαντικά στους 65°C, δηλαδή η πολύ υψηλή θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε μικρή απομάκρυνση πτητικών, αποτέλεσμα αντίθετο του επιθυμητού. Επίσης, από την ίδια μελέτη προκύπτει ότι, στο συγκεκριμένο είδος αερόβιας χώνευσης, η απενεργοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι πιο αποτελεσματική στους 55°C συγκριτικά με την αντίστοιχη στους 35°C. Το βασικό πρόβλημα που προκύπτει σε αυτό το είδος αερόβιας χώνευσης, είναι η χαμηλή αφυδατωσιμότητα της χωνεμένης ύλης. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό δεν είναι απόλυτα κατανοητός ακόμα, αλλά πιστεύεται [12] ότι οφείλεται στην ύπαρξη πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών

που δημιουργούνται κατά τη διεργασία, πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπιστεί, εν μέρει, με την αύξηση του χρόνου παραμονής στην δεξαμενή [10].

Στο παρακάτω Σχήμα 2 βλέπουμε την απομάκρυνση των πτητικών στερεών όπως εξελίσσεται κατά τη διάρκεια της αυτόθερμης θερμοφίλης αερόβιας χώνευσης ενός σταδίου, σε πιλοτική μονάδα [11] όπου η θερμοκρασία της δεξαμενής έφτασε στη μέγιστη τιμή της, 61,5°C, την 168h λειτουργίας και διατηρήθηκε πάνω από τους 50°C από την 70h φτάνοντας στο τέλος του χρόνου παραμονής, την 360h, με θερμοκρασία 51,2°C. Η δεξαμενή ήταν μονωμένη με πετροβάμβακα 6cm για τη μείωση των απωλειών θερμότητας στο περιβάλλον.



Σχήμα 2: Απομάκρυνση πτητικών στερεών και διακύμανση θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ATAD ενός σταδίου [11]

Η ιλύς που εισέρχεται σε ένα σύστημα ATAD είναι δευτεροβάθμια ιλύς ή μίγμα δευτεροβάθμιας με πρωτοβάθμια ιλύ ή ακόμα και μίγμα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων. Το ποσοστό των ολικών στερεών στην ιλύ της εισροής διαφοροποιείται σε κάθε σύστημα. Βιβλιογραφικά αναφέρονται ποσοστά 2-4 % [1], 4-6 % [2] και ποσοστά μεγαλύτερα του 4% [3].

Επίσης, σημαντικές παραμέτρους αποτελούν ο αερισμός και η ανάδευση μέσα στους αντιδραστήρες [7]. Ανάλογα με την περίπτωση ρυθμίζεται και ο αερισμός, αφού η μεταφορά του οξυγόνου επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, οι υψηλές θερμοκρασίες θα μειώσουν τον συντελεστή μεταφοράς οξυγόνου, ενώ το επίπεδο του αφρού και τα χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να αυξήσουν τη μεταφορά του οξυγόνου. Η απαίτηση του οξυγόνου είναι υψηλότερη από της συμβατικής αερόβιας χώνευσης γεγονός που δικαιολογείται από τη γρηγορότερη μείωση των πτητικών στερεών [1,7]. Όσον αφορά στον τύπο του αεριστήρα, χρησιμοποιούνται προπέλες ρηχών περυγίων ή αεριστήρες τύπου τουρμπίνας, αεριστήρες με αντλίες βεντούρι και αεριστήρες τύπου jet. Ο εξοπλισμός της εγκατάστασης κάθε τύπου παρέχει ταυτόχρονα ανάμιξη και μεταφορά οξυγόνου.

Για κλειστό αερόβιο χωνευτή [3], η μείωση των πτητικών στερεών (% VSS) σε σχέση με τον χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Μείωση % VSS για κλειστό αερόβιο χώνευτή [3]

Χρόνος παραμονής (ημέρες)	Θερμοκρασία (°C)		
	15	20	35
5	21	24	28
10	32	41	45
15	-	43	
30	40,5	44	
60	46	46	

Η παρουσία αφρού που προκύπτει από τη διάσπαση των κυτταρικών πρωτεϊνών, λιπιδίων, ελαίων και λιπών και απελευθερώνονται σε διάλυση μπορεί να δημιουργήσει σημαντικό πρόβλημα. Συνήθως για τη διάλυση του αφρού χρησιμοποιούνται κόφτες αφρού ή συστήματα ψεκασμού.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν:

- ο υψηλότερος ρυθμός επεξεργασίας που οδηγεί σε μικρότερους χρόνους παραμονής και μικρότερο όγκο δεξαμενών
- η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών λόγω των υψηλών θερμοκρασιών
- η μεγαλύτερη μείωση των πτητικών αιωρούμενων στερεών σε μικρότερους χρόνους παραμονής (5-6 d για μείωση 30-50%, [1])
- η απουσία μεθανίου
- η καλύτερη ποιότητα της παραγόμενης ιλύος που ανταποκρίνεται καλύτερα σε περαιτέρω πάχυνση

Παρακάτω παρουσιάζεται η ευρεσιτεχνία του David A. Rein (1977) [8], η οποία περιορίζει τα όρια των παραμέτρων που επηρεάζουν την ATAD, με σκοπό την καλύτερη και γρηγορότερη χώνευση της ιλύος. Τα όρια των παραμέτρων καθορίζονται από τις συνθήκες ανάπτυξης των πρωτόζωων *Monadidae* τα οποία, όπως ανακάλυψε ο Rein, βιοαποικοδομούν γρηγορότερα τα οργανικά στερεά και το τελικό προϊόν έχει καλύτερα χαρακτηριστικά.

“Aerobic Sewerage Digestion Process (42°C process)”, David A. Rein

Patent number US 4.026.793 (May 31, 1977)

Η παρούσα ευρεσιτεχνία αφορά μία διεργασία αερόβιας χώνευσης για ιλύ αστικών λυμάτων η οποία παράγει ένα τελικό προϊόν με σημαντικά μειωμένο φορτίο στερεών σε σχετικά μικρό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, αφορά μία αερόβια χώνευση η οποία, όταν λειτουργεί υπό συγκεκριμένες παραμέτρους, έχει ένα τελικό προϊόν με μείωση των περιεχόμενων στερεών της τάξης του 50 με 60% με χρόνο παραμονής περίπου 3 μέρες. Οι παράμετροι περιλαμβάνουν κρίσιμη, για τη διεργασία, θερμοκρασία και συγκέντρωση στερεών και τη διατήρηση μίας προτιμώμενης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου στην υπό επεξεργασία ιλύ. Επομένως, μία οργανική ιλύς μπορεί να χωνευτεί εισάγοντας την ιλύ σε μία δεξαμενή αερόβιας χώνευσης, με συγκέντρωση στερεών εισόδου μικρότερη από 2,5% κατά βάρος και διατηρώντας τη θερμοκρασία, μέσα στη δεξαμενή κατά την χώνευση, σε θερμοκρασία από 38°C μέχρι 46°C. Η διεργασία της αερόβιας χώνευσης σε αυτή την ευρεσιτεχνία είναι προτιμότερο να διατηρείται στη θερμοκρασία των 42 °C και η συγκέντρωση των στερεών στο 2% κατά βάρος. Αυτές οι συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη του συγκεκριμένου πληθυσμού των πρωτόζωων *Monadidae*, τα οποία καταναλώνουν το

βιοαποικοδομήσιμο υλικό με πολύ υψηλό ρυθμό. Σε δεξαμενή διαλείποντος έργου (batch) αυτοί οι μικροοργανισμοί εμφανίζονται μετά από τρεις μέρες χώνευσης και σε δεξαμενή συνεχούς ροής διατηρούνται με τρεις μέρες χρόνο παραμονής.

ΠΡΟΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Διαλυμένο οξυγόνο

Η αερόβια χώνευση στην παρούσα ευρεσιτεχνία μπορεί να λάβει χώρα σε δεξαμενές αερόβιας χώνευσης όπου έχει τοποθετηθεί σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας. Είναι προτιμότερο η διεργασία να γίνεται με συνεχή ροή και ο αερισμός είναι απαραίτητος για την διατήρηση των αερόβιων συνθηκών. Κατά το χρόνο παραμονής της ιλύος στην δεξαμενή, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO, dissolved oxygen) στην ιλύ είναι προτιμώμενο να διατηρείται στα **3 mg/l ή περισσότερο**. Η συγκέντρωση αυτή είναι υψηλότερη από της συμβατικής αερόβιας χώνευσης αλλά μπορεί να επιτευχθεί και να διατηρηθεί με παροχή αέρα στις συμβατικές δεξαμενές χώνευσης. Εάν η συγκέντρωση του DO είναι μικρότερη από τα 3mg/l, η βιολογική δραστηριότητα θα μειωθεί και αν παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα για αξιόλογο χρονικό διάστημα, τα απαραίτητα πρωτόζωα για την διαμόρφωση του τελικού προϊόντος ίσως δεν αναπτυχθούν. Προτιμάται για τη διατήρηση της συγκέντρωσης του DO να χρησιμοποιείται παροχή αέρα και όχι παροχή καθαρού οξυγόνου, παρόλο που απαιτείται μεγαλύτερη συγκέντρωση από τα συμβατικά συστήματα αερόβιας χώνευσης. Η παροχή καθαρού οξυγόνου ίσως έχει αντίθετα αποτελέσματα στους επιθυμητούς μικροοργανισμούς.

Θερμοκρασία και χρόνος παραμονής

Στην παρούσα ευρεσιτεχνία, οργανική, βιοδιασπώμενη ιλύς εισάγεται στην δεξαμενή χώνευσης και διατηρείται σε θερμοκρασία από περίπου 38°C μέχρι περίπου 46°C. Η διατήρηση της θερμοκρασίας σε αυτό το εύρος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την απόκτηση του τελικού προϊόντος τη διεργασίας. Σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών αναπτύσσονται τα πρωτόζωα Monadidae, τα οποία μειώνουν το στερεό κλάσμα της ιλύος πολύ γρήγορα. Εάν η θερμοκρασία βρίσκεται εκτός του εύρους αυτού, τα πρωτόζωα ίσως δεν αναπτυχθούν και ως αποτέλεσμα η ιλύς θα περιέχει σημαντικές ποσότητες στερεών μετά το πέρας του χρόνου παραμονής που απαιτεί η συγκεκριμένη ευρεσιτεχνία. Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται εάν η θερμοκρασία της ιλύος στον χωνευτή διατηρείται μεταξύ 38°C και 42°C. Διατηρώντας τη θερμοκρασία στο τελευταίο εύρος με χρόνο παραμονής περίπου τρεις μέρες, θα έχουμε τελικό προϊόν με **μείωση της συγκέντρωσης των στερεών 50 με 60%**. Για αυτό το τελικό προϊόν, η ιλύς θα πρέπει να χωνευτεί περίπου τρεις μέρες, με προτιμώμενο **χρόνο παραμονής τρεις με έξι μέρες**. Βέλτιστα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν η θερμοκρασία της ιλύος παραμένει σε συνεχή θερμοκρασία περίπου 42 °C.

Ολικά στερεά (TVS, total volatile solids)

Άλλη μία κρίσιμη παράμετρος για τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος είναι η συγκέντρωση των στερεών, η οποία αναφέρετε εδώ ως τα ολικά πτητικά στερεά της ιλύος (TVS). Όταν αναφέρεται ένα ποσοστό TVS, εκφράζεται κατά βάρος με βάση την ολική ιλύ που υπάρχει στο σύστημα. Είναι σημαντικό η ιλύς που επεξεργάζεται με την παρούσα ευρεσιτεχνία, να έχει TVS κατά τη είσοδο στη δεξαμενή, μικρότερο από 2,5% κατά βάρος. Είναι προτιμότερο η συγκέντρωση των TVS να διατηρείται **λιγότερη του 2%** κατά βάρος καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου παραμονής

για την επίτευξη βέλτιστης απομάκρυνσης στερεών. Εάν η συγκέντρωση υπερβεί το 2,5% κατά βάρος τότε τα πρωτόζωα Monadidae που συμβάλουν στην γρήγορη μείωση των στερεών της ιλύος, δεν θα αναπτυχθούν και ως αποτέλεσμα θα πρέπει να αυξήσουμε το χρόνο παραμονής για την επίτευξη της ίδιας ποιότητας τελικού προϊόντος.

Πρωτόζωα Monadidae

Θεωρείται ότι η μεγάλη απομάκρυνση των στερεών στην παρούσα ευρεσιτεχνία οφείλεται στην ανάπτυξη των πρωτόζωων Monadidae, τα οποία είναι ιδιαίτερα ενεργά και απαιτούν υψηλή μετατροπή ενέργειας για να αναπαραχθούν και να ζήσουν. Όταν η ιλύς επεξεργάζεται στο εύρος των κρίσιμων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων στερεών, που αναφέρονται παραπάνω, αυτά τα πρωτόζωα θα πολλαπλασιαστούν και θα καταναλώσουν μεγάλες ποσότητες οργανικού υλικού. Η διαδοχή των μικροοργανισμών βασίζεται στην εναλλαγή του υποστρώματος (τροφή) των μικροοργανισμών και χαρακτηρίζεται από την εξαφάνιση των πρωτόζωων που βρίσκονται στην εισερχόμενη ιλύ και την εμφάνιση των πρωτόζωων Monadidae, μέσα σε τρεις μέρες από την έναρξη του αερισμού της δεξαμενής χώνευσης. Ο πληθυσμός των πρωτόζωων γίνεται μέγιστος μεταξύ της δεύτερης και τέταρτης μέρας της χώνευσης και αρχίζει να εξαφανίζεται την τέταρτη μέρα της χώνευσης. Τα πρωτόζωα Monadidae πιστεύεται ότι είναι οι σημαντικότεροι μικροοργανισμοί για τη γρήγορη και ουσιαστική μείωση των στερεών της ιλύος στην παρούσα ευρεσιτεχνία. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες του εύρους 36°C με 42°C, η ανάπτυξη των Monadidae αναστέλλεται. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 46°C οι μικροοργανισμοί δεν αναπτύσσονται και έτσι παρουσιάζεται σημαντική μείωση του ρυθμού κατανάλωσης στερεών. Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 36 °C, οι προηγούμενοι μικροοργανισμοί εμφανίζονται σε αμελητέες και μη υπολογίσιμες ποσότητες και ως συνέπεια, ο ρυθμός κατανάλωσης των στερεών, στο τέλος των τριών ημερών μειώνεται αρκετά.

Όταν τηρούνται οι οριακές συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω, σε ένα χρόνο παραμονής μικρότερο των πέντε ημερών (συνήθως τρεις ημέρες) η παραγόμενη ιλύς θα έχει μείωση πτητικών στερεών 50 με 60%. Εφαρμόζοντας τη διεργασία της συγκεκριμένης ευρεσιτεχνίας, η δυνατότητα αερόβιας επεξεργασίας ιλύος μιας υπάρχουσας μονάδας επεξεργασίας μπορεί να διπλασιαστεί ενώ σε μία καινούργια μονάδα για την επεξεργασία της ίδιας ποσότητας ιλύος με μία υπάρχουσα μονάδα, απαιτείται το ένα τρίτο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, δηλαδή μειώνεται το αρχικό κόστος. Η παραγόμενη ιλύς από αυτή τη διεργασία μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία με τις συμβατικές τεχνικές, να αφυδατωθεί ή να εναποτεθεί με τον συμβατικό τρόπο.

3. Πειραματικό Μέρος

3.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου

3.1.1 Γενική περιγραφή της ΕΕΛ

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου βρίσκεται στην τοποθεσία Μύτη Γρύντα, στον κόμβο Ατσιπόπουλου, μερικά χιλιόμετρα έξω από την πόλη του Ρεθύμνου.

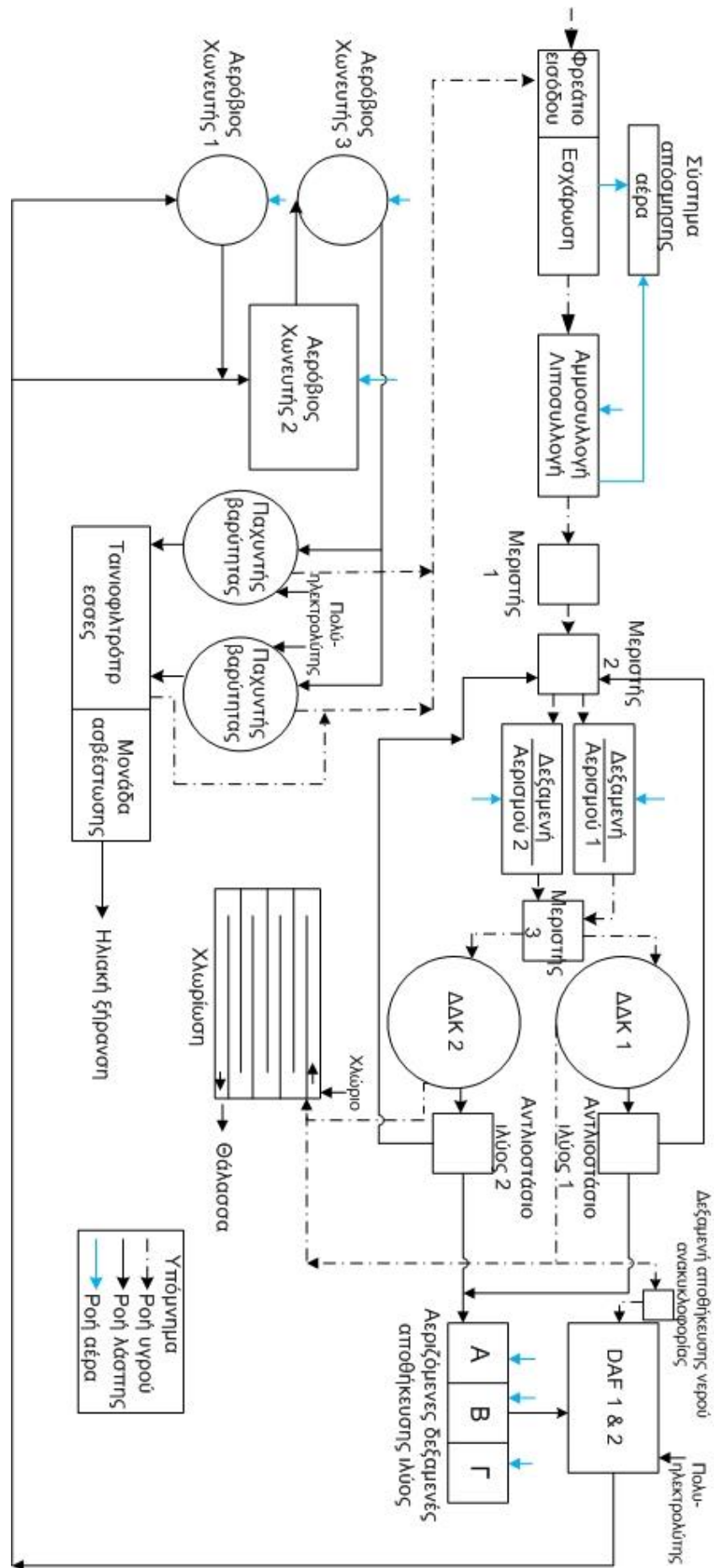
Η γραμμή των υγρών αποβλήτων της εγκατάστασης περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες:

- εσχάρωση,
- αμμοσυλλογή – λιποσυλλογή
- αερισμό
- δευτεροβάθμια καθίζηση
- απολύμανση με χλώριο
- απόρριψη στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού

Η επεξεργασία της ιλύος από τη δευτεροβάθμια καθίζηση περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- αποθήκευση σε αεριζόμενες δεξαμενές
- μηχανική προπάχυνση με σύστημα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (DAF)
- αερόβια χώνευση
- μεταπάχυνση με παχυντές βαρύτητας
- αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσες
- βιολογική αδρανοποίηση με ασβέστωση
- ηλιακή ξήρανση

Παρακάτω, στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ένα απλουστευμένο διάγραμμα ροής της εγκατάστασης και στην Εικόνα 1 φαίνονται οι δεξαμενές και οι χώροι της εγκατάστασης με τη βοήθεια αεροφωτογραφίας μέσω των χαρτών της εταιρίας google.



Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής ΕΕΑ Πεθύμνου



Εικόνα 1: Αεροφωτογραφία της ΕΕΛ Ρεθύμνου μέσω Google maps και οι διάφορες διεργασίες της μονάδας

Στον αρχικό σχεδιασμό της εγκατάστασης υπήρχε και η διεργασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης σε δύο κυκλικές δεξαμενές, αλλά το έτος 2003 τροποποιήθηκαν σε δεξαμενές αερόβιας χώνευσης και σήμερα αποτελούν τους Χωνευτές 1 και 3. Επιπλέον, η μία από τις τρεις δεξαμενές αερισμού μετατράπηκε σε δεξαμενή αερόβιας χώνευσης ύψους και παράλληλα καλύφθηκε με πολυκαρβονικά φύλλα πάχους 10mm με στόχο την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού στο εσωτερικό της, τη μείωση του χρόνου παραμονής και την αποτελεσματικότερη μείωση των πτητικών στερεών.

Γραμμή ροής υγρού κλάσματος

Στην είσοδο της εγκατάστασης υπάρχει ένα *φρεάτιο άφιξης-εκτροπής* στο οποίο καταλήγει ο Κεντρικός Αγωγός Αποχέτευσης του Ρεθύμνου. Επίσης, εδώ ξεκινά και η γενική παράκαμψη της εγκατάστασης που οδηγεί απευθείας στον αγωγό εκβολής. Επιπλέον, σε αυτό καταλήγουν και τα στραγγίσματα από όλες τις μονάδες της εγκατάστασης μέσω αντλιοστασίου. Στο φρεάτιο έχει κατασκευαστεί και καλύπτρα εγκλωβισμού των οσμών μέσω της οποίας οι οσμές καταλήγουν στην κεντρική μονάδα απόσμησης της ΕΕΛ.

Στη συνέχεια, η παροχή λυμάτων οδηγείται στην εγκατάσταση της *εσχάρωσης*. Η εγκατάσταση αυτή αποτελείται από 2 κύριες ευθύγραμμες σχάρες. Η στάθμη των λυμάτων κατάντη των εσχάρων ελέγχεται από τον υπερχειλιστή εξόδου του εξαμμοτή. Τα εσχарίσματα συγκεντρώνονται σε δοχεία αποθήκευσης και στη συνέχεια μεταφέρονται στον ΧΥΤΑ Αμαρίου. Όλη η εγκατάσταση της εσχάρωσης βρίσκεται σε κατάλληλα αποσμούμενο κτήριο απ' όπου ο αέρας οδηγείται, μέσω αεραγωγών, στο κεντρικό σύστημα απόσμησης της εγκατάστασης.

Επόμενο στάδιο επεξεργασίας αποτελούν η *εξάμμωση* και η *λιποσυλλογή*. Η ΕΕΛ διαθέτει 2 παράλληλες μονάδες εξάμμωσης – λιποσυλλογής με κανάλι τραπεζοειδούς διατομής στον πυθμένα για την απομάκρυνση της άμμου, που δημιουργείται λόγω των κεκλιμένων τοιχωμάτων,. Η λιποσυλλογή γίνεται στο κανάλι ηρεμίας που δημιουργείται στις πλευρές κατά μήκος των δεξαμενών, από αναρτημένο σε παλινδρομική γέφυρα επιφανειακό ξέστρο. Επίσης, κάθε δεξαμενή διαθέτει από ένα φρεάτιο συλλογής και αποθήκευσης των λιπών απ' όπου μεταφέρονται με βυτιοφόρο στους αερόβιους χωνευτές. Η αφαίρεση της καθιζάμενης άμμου γίνεται από μία αντλία άμμου, για κάθε δεξαμενή και οδηγείται σε μονάδα πλύσης και διαχωρισμού με σκοπό την τελική διάθεση στους χώρους πρασίνου της ΕΕΛ, ενώ τα στραγγίσματα επιστρέφουν στο φρεάτιο εισόδου. Ο απαιτούμενος αέρας διοχετεύεται μέσω διαχυτήρων χονδρής φυσαλίδας που βρίσκονται στο ένα πλευρό της κάθε δεξαμενής. Ο εξαερισμός και αυτού του κτηρίου γίνεται μέσω αεραγωγών που οδηγούν τον αέρα στο κεντρικό σύστημα απόσμησης.

Μετά την εξάμμωση, τα λύματα οδηγούνται στον *μεριστή I* (ο οποίος χρησιμοποιούνταν παλιότερα για την κατανομή των λυμάτων στις 2 ΔΠΚ) και μέσω της παράκαμψής του, οδηγούνται απευθείας στον *μεριστή II*. Εκεί, αναμιγνύονται με την ανακυκλοφορούσα ιλύ των ΔΔΚ και μοιράζονται στις 2 δεξαμενές αερισμού. Αρχικά, οι δεξαμενές αερισμού ήταν 3, αλλά η μία μετατράπηκε σε δεξαμενή αερόβιας χώνευσης ιλύος και οι άλλες 2 χρησιμοποιούνται για τον αερισμό των λυμάτων.

Οι *δεξαμενές αερισμού* είναι τύπου οξειδωτικής τάφρου με κατακόρυφες παρειές και διαχωριστικά τοιχεία από σκυρόδεμα. Ο αερισμός κάθε δεξαμενής, γίνεται από 3 επιφανειακούς βραδύστροφους αεριστήρες οριζόντιου άξονα, τύπου ψήκτρας, που βρίσκονται τοποθετημένοι σε 2 σταθερές γέφυρες από σκυρόδεμα. Η έξοδος του μικτού υγρού γίνεται με ηλεκτροκίνητο υπερχειλιστή και οδηγείται στον *μεριστή III*, απ' όπου διανέμεται στις 2 ΔΔΚ.

Οι *δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης* (ΔΔΚ) είναι κυκλικές δεξαμενές με περιμετρικό υπερχειλιστή και μεταλλική περιστρεφόμενη γέφυρα. Η είσοδος του μικτού υγρού γίνεται από το κέντρο της κάθε δεξαμενής και αφού περάσει από το κεντρικό τύμπανο ηρεμίας, ρέει ακτινικά προς την περιφέρεια κάθε δεξαμενής. Η περιστρεφόμενη γέφυρα φέρει ξέστρο πυθμένα, το οποίο προωθεί την καθιζάμενη ιλύ στο κέντρο του πυθμένα, σε ειδικά διαμορφωμένη εκβάθυνση, σχήματος κόλπου κώνου, καθώς επίσης και ξέστρο επιπλεόντων, το οποίο προωθεί τις επιπλέουσες ουσίες στις ειδικές χοάνες συλλογής επιπλεόντων, απ' όπου συλλέγονται σε παράπλευρο φρεάτιο. Για τη συγκράτηση των επιπλεόντων ουσιών στην επιφάνεια κάθε δεξαμενής, έχει τοποθετηθεί μισοβυθισμένο, ένα περιμετρικό διάφραγμα παράλληλα στον υπερχειλιστή, στα όρια του οποίου βρίσκονται οι χοάνες συλλογής επιπλεόντων. Το υγρό εξέρχεται από περιμετρικό, οδοντωτό υπερχειλιστή, συλλέγεται από περιμετρικό κανάλι ορθογωνικής διατομής και οδηγείται στη μονάδα απολύμανσης. Η ιλύς που συγκεντρώνεται στο κέντρο του πυθμένα οδηγείται στο αντλιοστάσιο

ιλύος της κάθε δεξαμενής και από εκεί ένα μέρος της ανακυκλοφορεί (προς τον μεριστή II) και η υπόλοιπη συνεχίζει είτε προς την μονάδα προπάχυνσης (DAF) είτε προς του Χωνευτές 1 και 2.

Μετά την καθίζηση, το υγρό κλάσμα καταλήγει στο φρεάτιο εισόδου της *μονάδας απολύμανσης*, απ' όπου υπάρχει η δυνατότητα για απευθείας εκτροπή της ροής προς τον τελικό αποδέκτη μέσω του αγωγού εκβολής. Η απολύμανση γίνεται με υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl), περιεκτικότητας 12% σε χλώριο, το οποίο προστίθεται στην είσοδο της δεξαμενής χλωρίωσης. Η δεξαμενή αυτή, φέρει διαχωριστικά τοιχεία που δημιουργούν μαιανδρική ροή.

Γραμμή επεξεργασίας ιλύος

Η ιλύς που οδηγείται προς τις αεριζόμενες δεξαμενές αποθήκευσης με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία, αποτελεί το 75% της παραγόμενης ποσότητας του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας και περισσειας.

Από τις 3 δεξαμενές αποθήκευσης, αντλείται προς τη μονάδα *μηχανικής προπάχυνσης*, που αποτελείται από 2 συγκροτήματα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (DAF). Για την τροφοδοσία των DAF με νερό χρησιμοποιείται νερό ανακυκλοφορίας, το οποίο αντλείται από το κανάλι εκροής της ΔΔΚ και αποθηκεύεται σε μικρή δεξαμενή δίπλα στο κτήριο των DAF. Ο πολυηλεκτρολύτης που απαιτείται για τη διεργασία αυτή παρασκευάζεται από αυτόματο σύστημα παρασκευής και δοσομέτρησης πολυηλεκτρολύτη. Το θολό νερό επιστρέφει με αντλία στο φρεάτιο εισόδου και η παχυμένη ιλύς οδηγείται στους αερόβιους Χωνευτές 1 και 2.

Για την *αερόβια χώνευση* χρησιμοποιούνται οι δύο πρώην δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (Χωνευτές 1 και 3) και μία, από τις αρχικά τρεις δεξαμενές αερισμού (Χωνευτής 2). Στους Χωνευτές 1 και 2 διοχετεύεται περίσσεια ιλύος ή παχυμένη ιλύς ανάλογα με το ποσοστό των ολικών στερεών της υπό -επεξεργασία ιλύος στο εσωτερικό τους, αλλά και με το ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου στον Χωνευτή 1. Επίσης, ο Χωνευτής 2 δέχεται και την εκροή του Χωνευτή 1. Αντίθετα, στον Χωνευτή 3 διοχετεύεται μόνο μερικώς χωνεμένη ιλύς από τον Χωνευτή 2. Η παροχή αέρα στις πρώην ΔΠΚ (Χωνευτές 1 και 3) γίνεται με ένα ζεύγος φυσητήρων στην κάθε μία δεξαμενή ενώ για τον Χωνευτή 2 γίνεται με 4 ψήκτρες. Αναλυτικότερα παρουσιάζεται η διεργασία αυτή στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Επόμενη διεργασία επεξεργασίας της ιλύος αποτελεί η μεταπάχυνση με *παχυντές βαρύτητας* με αναμόχλευση, με στόχο τη μείωση του όγκου της σταθεροποιημένης ιλύος. Οι παχυντές είναι κυκλικές δεξαμενές που διαθέτουν μηχανικό εξοπλισμό και ξέστρο πυθμένα για τη διασφάλιση της επιτυχημένης πάχυνσης και τον καθαρισμό του πυθμένα. Η τροφοδοσία τους γίνεται κεντρικά μέσω του τυμπάνου εισόδου του κινητού ξέστρου. Το θολό νερό απομακρύνεται με τη βοήθεια ενός περιμετρικού καναλιού υπερχειλίσσης και μιας υψηλά τοποθετημένης εγκατάστασης απαγωγής που αποτελείται από τρεις βάνες σε διαφορετικά ύψη, για την επιτυχή απομάκρυνση θολού νερού και σε περιπτώσεις διακοπτόμενης λειτουργίας. Μετά την απομάκρυνσή του, διοχετεύεται στο φρεάτιο εισόδου. Η παχυμένη ιλύς οδηγείται στην μηχανική αφυδάτωση για περαιτέρω επεξεργασία.

Το σύστημα *μηχανικής αφυδάτωσης* αποτελείται από 2 ταινιοφιλτρόπρεσσες, εγκατεστημένες σε ξεχωριστό κτήριο όπου στεγάζεται και το συγκρότημα προπαρασκευής, αποθήκευσης και έγχυσης πολυηλεκτρολύτη (κτήριο αφυδάτωσης) και δίπλα σε αυτό βρίσκεται το *κτήριο ασβέστωσης*

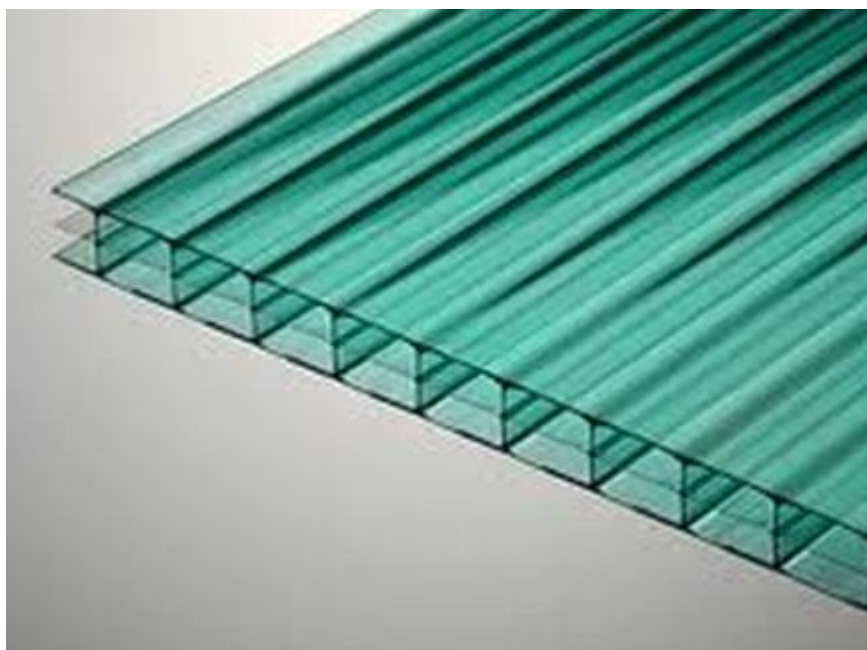
και μεταφοράς της αφυδατωμένης ιλύος. Η προσθήκη ασβέστη γίνεται για την βιολογική αδρανοποίηση του τελικού προϊόντος. Τελευταίο στάδιο επεξεργασίας αποτελεί η *ηλιακή ξήρανση* στους δύο χώρους που φαίνονται στην Εικόνα 1 και η διάθεση του τελικού προϊόντος γίνεται στον ΧΥΤΑ Αμαρίου.

3.1.2 Αερόβια Χώνευση Ιλύος ΕΕΛ Ρεθύμνου

Η αερόβια χώνευση ιλύος της ΕΕΛ Ρεθύμνου περιλαμβάνει 3 δεξαμενές, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Οι δύο δεξαμενές είναι κυκλικές (πρώην ΔΠΚ) ενώ η τρίτη είναι ορθογωνικής διατομής, όμοια με τις δεξαμενές αερισμού, καλύπτεται από πολυκαρβονικά φύλλα, πάχους 10mm και αποτελείται από δύο διαδρόμους που χωρίζονται με τοίχιο από σκυρόδεμα. Στην Εικόνα 2 φαίνεται ένα τέτοιο πολυκαρβονικό φύλλο πάχους 10mm. Τα χαρακτηριστικά των τριών Χωνευτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Αερόβιας Χώνευσης

	Χωνευτές 1 & 3 (έκαστος)	Χωνευτής 2
Διάμετρος	22 m	-
Μήκος	-	~ 45 m
Επιφάνεια	380 m ²	500 m ²
Βάθος ροής	3 m	3 m
Ωφέλιμος όγκος	1150 m ³	1500 m ³

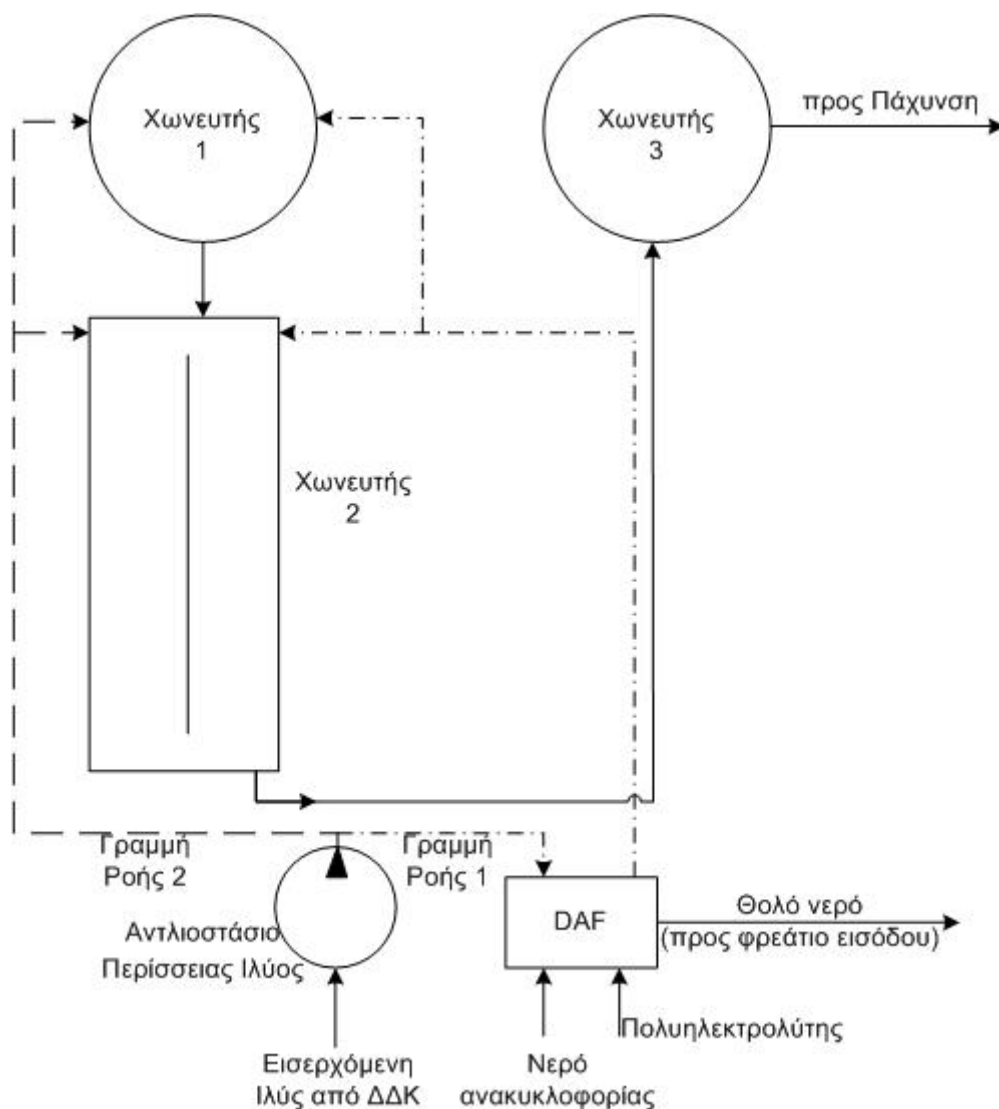


Εικόνα 2: Πολυκαρβονικό φύλλο, πάχους 10mm

Λειτουργία Αερόβιας Χώνευσης

Από το αντλιοστάσιο υπάρχουν δύο πιθανές γραμμές ροής που μπορούν να ακολουθηθούν όπως φαίνονται και παρακάτω στο Σχήμα 4. Η πρώτη γραμμή ροής περιλαμβάνει την προπάχυνση της λάσπης μέσω του συστήματος των DAF και στη συνέχεια τη μεταφορά της στον Χωνευτή 1 και στον Χωνευτή 2. Η δεύτερη γραμμή ροής περιλαμβάνει την απευθείας μεταφορά της λάσπης από το

αντλιοστάσιο στους Χωνευτές 1 και 2. Για τον καθορισμό της γραμμής ροής που θα ακολουθηθεί αλλά και της παροχής λάσπης σε κάθε Χωνευτή ελέγχονται καθημερινά η συγκέντρωση των στερεών μέσα στις δεξαμενές αλλά και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στον Χωνευτή 1.



Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής Αερόβιας χώνευσης ιλύος

Η ημιπεξεργασμένη ιλύς από τον Χωνευτή 1, προωθείται με βαρύτητα στον Χωνευτή 2 και από εκεί με αντλία στον Χωνευτή 3, που αποτελεί το τελευταίο στάδιο της διεργασίας της αερόβιας χώνευσης. Τέλος, από τον Χωνευτή 3 προωθείται στην διεργασία της μεταπάχυνσης για περαιτέρω επεξεργασία.

Χαρακτηριστικά ιλύος εισόδου

Η ποσότητα της ιλύος που απομακρύνεται από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και καταλήγει στο αντλιοστάσιο περίσσειας είναι περίπου 300 m³/d τη θερινή περίοδο και 170 m³/d τη χειμερινή περίοδο. Στον Χωνευτή 1 καταλήγει περίπου το 60% της ημερήσιας παροχής περίσσειας ιλύος και στον Χωνευτή 2 το υπόλοιπο 40% της ημερήσιας παροχής. Η συγκέντρωση των στερεών στο αντλιοστάσιο είναι 0,8% κατά βάρος και τα δύο συστήματα DAF επιτυγχάνουν την πύκνωση της ιλύος από συγκέντρωση στερεών εισροής 0,8% σε συγκέντρωση στερεών εκροής 3-4%. Το ποσοστό των πτητικών στερεών εισόδου των δεξαμενών είναι περίπου 75% των ολικών στερεών και η μείωση που επιτυγχάνεται με την αερόβια χώνευση είναι 65 – 67% ποσοστό πτητικών στερεών εξόδου.

– Υπολογισμός Παροχών και Χρόνων Παραμονής κάθε χωνευτή

Η δειγματοληψία γίνεται τη θερινή περίοδο όπου η παροχή περίσσειας ιλύος είναι 300m³/d όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Η παροχή της περίσσειας από το αντλιοστάσιο προς τους Χωνευτές 1 και 2 μοιράζεται περίπου 150 m³/d με συγκέντρωση στερεών 0,8% και 150 m³/d για πάχυνση στα συστήματα DAF. Από τα DAF εξέρχεται με συγκέντρωση στερεών τουλάχιστον 3% άρα επιτυγχάνεται $\frac{3\%}{0,8\%} = 3,75$ φορές μείωση του όγκου της άρα εξέρχεται $\frac{150 \text{ m}^3/\text{d}}{3,75} = 40 \text{ m}^3/\text{d}$.

Άρα ο Χωνευτής 1 δέχεται παροχή $0,6 \cdot 40 + 0,6 \cdot 150 = 114 \text{ m}^3/\text{d}$

ο Χωνευτής 2 δέχεται παροχή $0,4 \cdot (40 + 150) + 114 = 190 \text{ m}^3/\text{d}$

και στον Χωνευτή 3 εισέρχεται η εξερχόμενη ιλύς από τον Χωνευτή 2 άρα η παροχή του είναι 190 m³/d.

Χρόνος παραμονής Χωνευτή 1 $\frac{1150 \text{ m}^3}{114 \text{ m}^3/\text{d}} = 10 \text{ days}$

Χρόνος παραμονής Χωνευτή 2 $\frac{1500 \text{ m}^3}{190 \text{ m}^3/\text{d}} = 8 \text{ days}$

Χρόνος παραμονής Χωνευτή 3 $\frac{1150 \text{ m}^3}{190 \text{ m}^3/\text{d}} = 6 \text{ days}$

Αερισμός

Για τον αερισμό της ιλύος στον Χωνευτή 1 βρίσκονται εγκατεστημένοι δύο φυσητήρες Robuschi S 105/4P παροχής 2600Nm³/h και 500 τεμάχια διαχυτές μεμβράνης ενώ στον Χωνευτή 3 είναι εγκατεστημένος ένας φυσητήρας 1500 m³/h και 200 τεμάχια διαχυτές μεμβράνης. Στον Χωνευτή 2, ο αερισμός γίνεται με 4 επιφανειακούς βραδύστροφους αεριστήρες τύπου ψήκτρας των 30KW (1,8 kg O₂/KWh) έκαστος.

Χαρακτηριστικά της υπο-επεξεργασία ιλύος

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο βαθμός επεξεργασίας της ιλύος που θα εισέρθει στο σύστημα αερόβιας χώνευσης εξαρτάται από το ποσοστό των διαλυμένων στερεών των Χωνευτών 1 και 2 καθώς και από τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στον Χωνευτή 1. Πιο συγκεκριμένα, στον Χωνευτή 1 η πυκνότητα της ιλύος πρέπει να είναι 10.000 - 22.000 mg/l και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου τουλάχιστον 1,5 mg/l και στον Χωνευτή 2 η πυκνότητα της ιλύος πρέπει να είναι 10.000 - 25.000 mg/l. Οι τιμές αυτές ορίστηκαν μετά από αρκετές δοκιμές, ενώ για βέλτιστη λειτουργία της διεργασίας προτιμάται η συγκέντρωση των ολικών στερεών στις δεξαμενές να διατηρείται κοντά στα 10.000 mg/l (1%). Η συγκέντρωση των στερεών αποτελεί περιοριστικό παράγοντα γιατί για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 2,5% οι ιδιότητες της λάσπης δυσχεραίνουν τόσο την πάχυνση όσο και την αφυδάτωσή της. Επίσης, περιοριστικός παράγοντας είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στον Χωνευτή 1 γιατί σε αυτόν λειτουργούν και οι δύο φυσητήρες που διαθέτει και δεν υπάρχει εφεδρικός άρα ούτε και η δυνατότητα για περαιτέρω αερισμό.

Η θερμοκρασία λειτουργίας των Χωνευτών 1 και 3 κατά τη θερινή περίοδο είναι 35°C με θερμοκρασία αιχμής 38°C. Για τον Χωνευτή 2 ανώτερο όριο θερμοκρασίας λειτουργίας είναι οι 42°C, τιμή που καθορίστηκε μετά από αρκετές δοκιμές, καθώς μέχρι αυτή τη θερμοκρασία το ποσοστό μείωσης των στερεών αυξάνεται, ενώ για μεγαλύτερες θερμοκρασίες αρχίζει να μειώνεται. Σε περίπτωση ανόδου της θερμοκρασίας πέρα των 42°C στον Χωνευτή 2 υπάρχει η δυνατότητα μείωσής της μέσω ανοιγμάτων στην επιφάνεια και στις πλαϊνές πλευρές της δεξαμενής, για εξισορρόπηση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ένα τέτοιο άνοιγμα στην επιφάνεια της δεξαμενής φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Άνοιγμα στην επιφάνεια του Χωνευτή 2

Ρύθμιση pH

Όπως ήδη αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.2.4, από τις εξισώσεις καταστροφής της βιομάζας (Εξ. (1)) και νιτροποίησης (Εξ. (2)) βλέπουμε ότι κατά τη διάσπαση του οργανικού μορίου της λάσπης σε νιτρικά παράγεται NH_4^+ το οποίο στη συνέχεια οξειδώνεται σε NO_3 , παράγοντας H^+ και τελικά μειώνοντας το pH της λάσπης. Για τη διατήρηση του pH της ιλύος στην περιοχή 7,3 – 7,6, εφαρμόζεται η προσθήκη διαλύματος καυστικής σόδας (διάλυμα NaOH 50%) από εγκατεστημένο σταθμό δοσομέτρησης του διαλύματος μέσω διαφραγματικών – ηλεκτρομαγνητικών αντλιών.

Στις Εικόνες 4, 5 και 6 φαίνεται άποψη των τριών χωνευτών.



Εικόνα 4: Αποψη Αερόβιου Χωνευτή 1 (πρώην ΔΠΚ)



Εικόνα 5: Αποψη Αερόβιου Χωνευτή 2



Εικόνα 6: Άποψη Αερόβιου Χωνευτή 3 (πρώην ΔΠΚ)

3.2 Διεξαγωγή μετρήσεων

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το διάστημα 9 Ιουλίου 2013 έως 8 Αυγούστου 2013. Τα δείγματα συλλέγονταν από τις 3 δεξαμενές αερόβιας χώνευσης της ΕΕΛ Ρεθύμνου στις 12.00 το μεσημέρι και μεταφέρονταν στο εργαστήριο για επεξεργασία. Η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και το pH της ιλύος μέσα στις δεξαμενές καταγράφονταν από τις ενδείξεις μετρητών τοποθετημένων μέσα στις δεξαμενές. Οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του αέρα κάθε ημέρας καταγραφόταν από τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Αστεροσκοπείου Αθηνών που βρίσκεται τοποθετημένος στον χώρο της ΔΕΥΑ Ρεθύμνου, όπου λειτουργεί και η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Ρεθύμνου. Καταγραφόταν και η θερμοκρασία αέρα τη στιγμή της δειγματοληψίας αλλά σε μία μονάδα τέτοιας δυναμικότητας δεν επηρεάζει τη λειτουργία της δεξαμενής η στιγμιαία θερμοκρασία. Στον χώρο του εργαστηρίου, με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού, γινόταν υπολογισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS) όλων των χωνευτών και επιπλέον μετρούνταν το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και τα νιτρικά ως άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$) στο διηθημένο νερό του Χωνευτή 2.

3.2.1 Υπολογισμών Στερεών

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι αυτή που περιγράφεται στο βιβλίο «Standard Methods for examination of water and wastewater», 18th edition, 1992 [4]. Για τον υπολογισμό των στερεών χρησιμοποιήθηκαν: ογκομετρικός σωλήνας, αναλυτικός ζυγός ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων, φίλτρα διήθησης (ashless) 150mm της εταιρίας Whatman, ξηραντήρας, πορσελάνινα σκεύη, φούρνος 100°C και αποτεφρωτήρας 550°C.

Αρχικά, γινόταν ξήρανση των φίλτρων με την τοποθέτησή τους στον φούρνο στους 100 °C για κάποια λεπτά. Στη συνέχεια, τα ξηραμένα φίλτρα τοποθετούνταν σε ξηραντήρα και ζυγίζονταν στον αναλυτικό ζυγό. Έπειτα, τοποθετούνταν σε κατάλληλες χοάνες που συγκρατούνταν σε σταθερές θέσεις και αφού ανακινούνταν τα δείγματα, μετρούνταν με τη βοήθεια του ογκομετρικού σωλήνα 20ml δείγματος από τον κάθε χωνευτή το οποίο διηθούνταν στα φίλτρα. Το διηθημένο νερό από το κάτω μέρος της κάθε χοάνης συλλεγόταν σε ξεχωριστά ποτηράκια ζέσεως για μέτρηση άλλων χαρακτηριστικών. Μετά τη διήθηση τα δείγματα μεταφέρονταν στον φούρνο όπου ξηραίνονταν για μία ημέρα και στη συνέχεια, ζυγίζονταν για τον υπολογισμό των ολικών στερεών. Τέλος, για τον υπολογισμό των πτητικών στερεών, με τη βοήθεια του ζυγού μετράται το καθαρό και μικτό βάρος των πορσελάνινων σκευών μέσα στα οποία τοποθετούνταν τα ξηραμένα δείγματα, αποτεφρώνονταν στους 550°C για μία ώρα και ζυγίζονταν ξανά.

3.2.2 Μέτρηση COD και νιτρικών ως άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Στο διηθημένο νερό του Χωνευτή 2 γίνονταν οι μετρήσεις του COD και των $\text{NO}_3\text{-N}$ με τη φωτομετρική μέθοδο της εταιρίας HACH LANGE. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει διαφορετικά αντιδραστήρια για τη μέτρηση των διάφορων παραμέτρων και διαφορετικά εύρη τιμών κάθε παραμέτρου. Η προετοιμασία κάθε φιαλιδίου περιγράφεται πάνω στην συσκευασία και η μέτρηση πραγματοποιείται με τις κατάλληλες ρυθμίσεις του φωτόμετρου της μεθόδου. Συγκεκριμένα, η μέτρηση του COD γινόταν με εύρος μέτρησης 100-2000mg/l O_2 , ενώ για τη μέτρηση των νιτρικών γινόταν αραιώση 1:10 και στη συνέχεια χρήση κατάλληλου φιαλιδίου με εύρος μέτρησης 5-35mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$.

4. Αποτελέσματα

4.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των τριών χωνευτών μετρούνταν αυτόματα από αισθητήρες τοποθετημένους στις τρεις δεξαμενές. Ο ηλεκτρονικός πίνακας που παρουσιάζει τα αποτελέσματα των αισθητήρων ανανεώνεται αρκετές φορές το λεπτό, έτσι ώστε να έχουμε τις πραγματικές τιμές των θερμοκρασιών των δεξαμενών χωρίς σφάλματα. Η καταγραφή των θερμοκρασιών του πίνακα γινόταν την ίδια χρονική στιγμή που γινόταν και η δειγματοληψία από τις δεξαμενές για να καταγράφονται οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της διεργασίας.

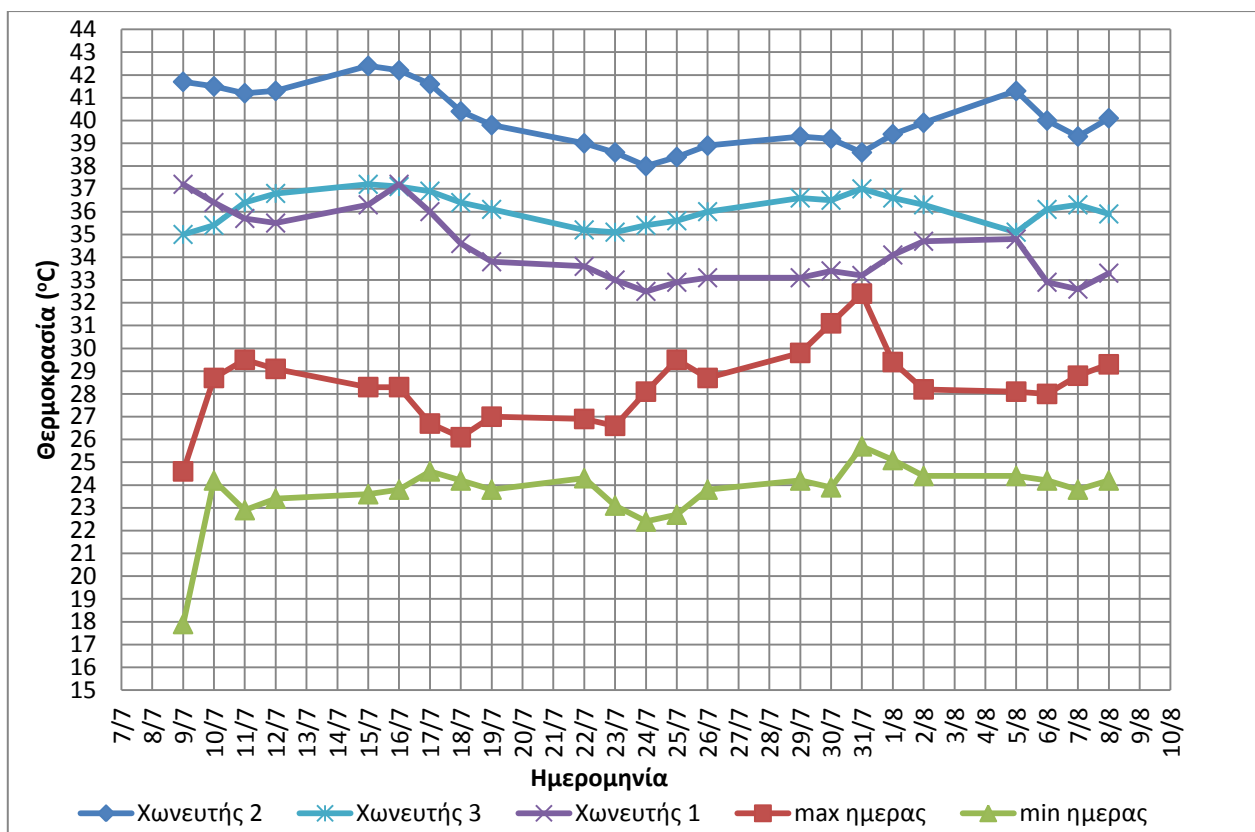
Στον Πίνακα 5 φαίνονται οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας της ιλύος μέσα στις δεξαμενές αερόβιας χώνευσης την περίοδο των δειγματοληψιών, καθώς και οι μέσες τιμές των μέγιστων και των ελάχιστων ημερήσιων θερμοκρασιών αλλά και του αέρα τη στιγμή της δειγματοληψίας.

Πίνακας 5: Μέσες τιμές θερμοκρασίας κατά την περίοδο της δειγματοληψίας (9/7/2013-8/8/2013)

	Θερμοκρασία (°C)
Μέση Θερμοκρασία Δεξαμενής Χωνευτή 1	34,3
Μέση Θερμοκρασία Δεξαμενής Χωνευτή 2	40,1
Μέση Θερμοκρασία Δεξαμενής Χωνευτή 3	36,1
Μέση τιμή των Μέγιστων Θερμοκρασιών Αέρα	28,1
Μέση τιμή των Ελάχιστων Θερμοκρασιών Αέρα	24,0
Μέση τιμή Στιγμιαίων Θερμοκρασιών (τη στιγμή της δειγματοληψίας)	27,6

Από τον Πίνακα 5 αλλά και από το παρακάτω Σχήμα 5 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία λειτουργίας των δεξαμενών αερόβιας χώνευσης 1 και 3 διατηρείται κάτω από τους 38°C που είναι το ανώτερο όριο λειτουργίας τους, ενώ η δεξαμενή 2 λειτουργεί κατά μέσο όρο στους 40°C, θερμοκρασία χαμηλότερη των 42°C που αποτελεί οριακή θερμοκρασία λειτουργίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα όρια αυτά έχουν τεθεί μετά από πολλές δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για τη λειτουργία της διεργασίας στις βέλτιστες συνθήκες.

Η διακύμανση των θερμοκρασιών την περίοδο των δειγματοληψιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 5



Σχήμα 5: Θερμοκρασίες Δεξαμενών και αέρα

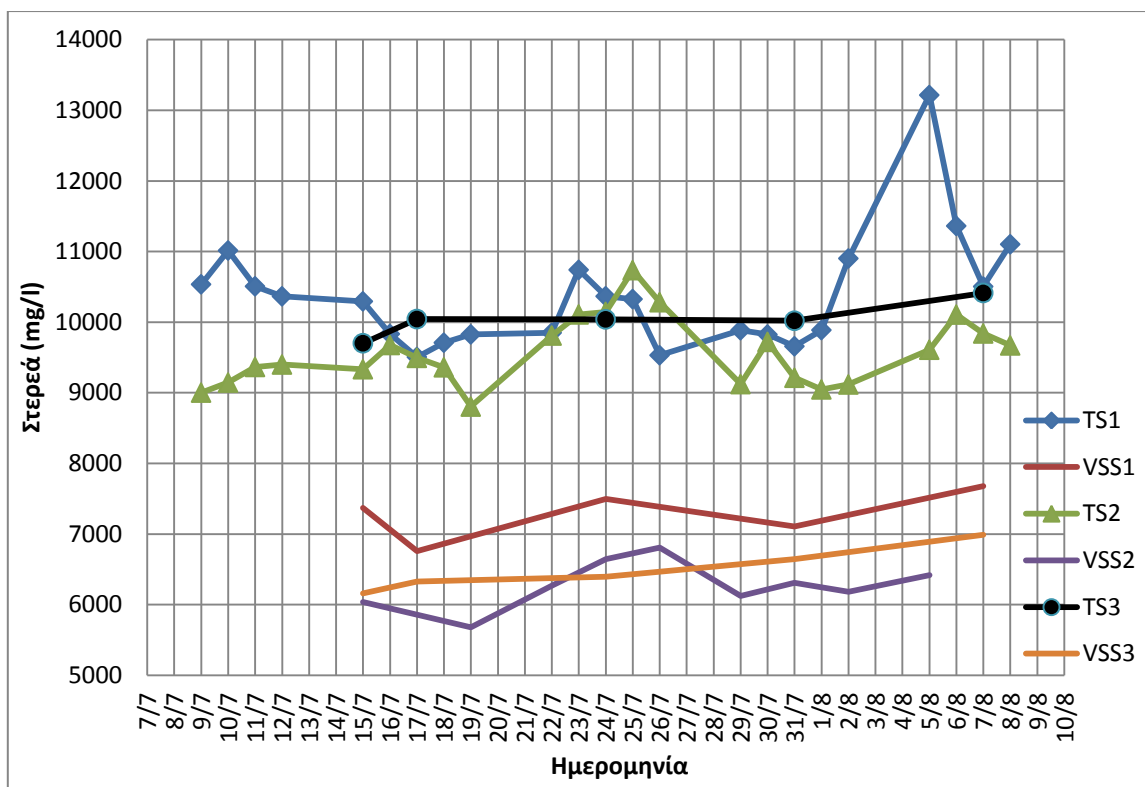
Διαπιστώνουμε ότι οι καμπύλες που απεικονίζουν τις θερμοκρασίες στους Χωνευτές 1 και 2 ακολουθούν τις ίδιες διακυμάνσεις με τη θερμοκρασία του Χωνευτή 2, η οποία είναι υψηλότερη 5-6 °C εξαιτίας της μόνωσης της επιφάνειάς του. Αυτό είναι λογικό, καθώς στις δύο αυτές δεξαμενές γίνεται η εισροή της ιλύος για την αερόβια χώνευσή της και η θερμοκρασία των δεξαμενών επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία της εισερχόμενης ιλύος. Αντίθετα, στον Χωνευτή 3 έχουμε εισροή ιλύος από τον Χωνευτή 2 που βρίσκεται ήδη σε υψηλή θερμοκρασία. Η διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ των Χωνευτών 2 και 3 οφείλεται στο γεγονός ότι ο Χωνευτής 3 είναι ανοικτή δεξαμενή με άμεση επιρροή από τις καιρικές συνθήκες.

4.2 Στερεά

Η καθημερινή δειγματοληψία, το διάστημα 9/7/2013-8/8/2013, για τον υπολογισμό των ολικών και των πτητικών στερεών γινόταν από θέση στη μέση της ακτίνας των κυκλικών δεξαμενών και από τη μέση της ροής της ορθογωνικής δεξαμενής αερόβιας χώνευσης. Στον παρακάτω Πίνακα 6 φαίνονται οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των ολικών στερεών, των πτητικών στερεών και το ποσοστό πτητικών στα συνολικά στερεά, των τριών δεξαμενών, για πυκνότητα ιλύος 1kg/L. Επίσης, στο Σχήμα 6 φαίνεται η σχέση των ολικών και των πτητικών στερεών των χωνευτών.

Πίνακας 6. Μέσες τιμές Στερεών κατά την περίοδο της δειγματοληψίας (9/7/2013-8/8/2013)

	Χωνευτής 1	Χωνευτής 2	Χωνευτής 3
TS (mg/l)	10381 (1,04%)	9571 (0,96%)	10044 (1,00%)
VSS (mg/l)	7283 (0,73%)	6480 (0,65%)	6503 (0,65%)
%VSS στα TS	72,3	66,4	64,7

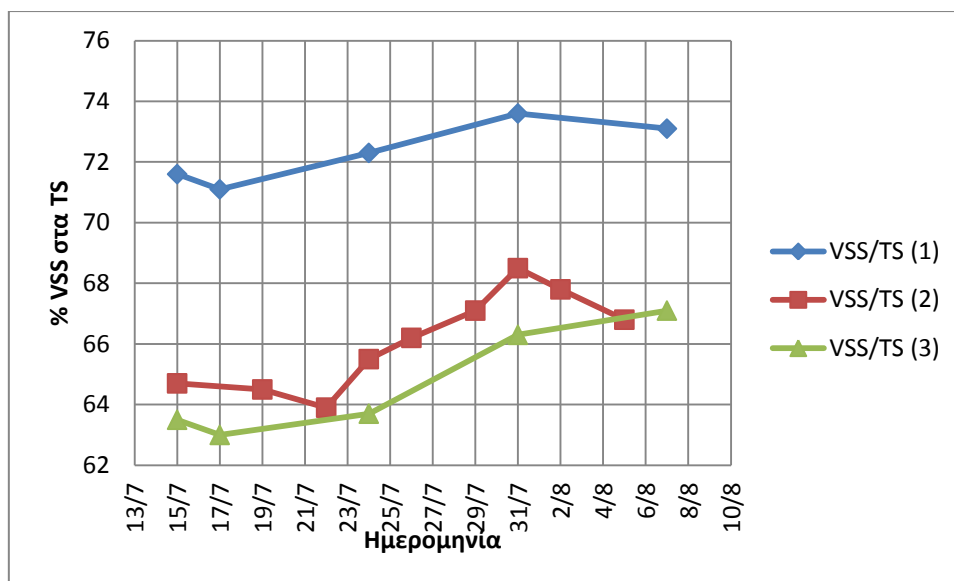


Σχήμα 6: Ολικά και Πτητικά Στερεά των τριών Δεξαμενών Χώνευσης

Για να διατηρηθούν οι συγκεντρώσεις των στερεών στις δεξαμενές σε ευνοϊκά, για τη διεργασία, επίπεδα παρακολουθούνται καθημερινά οι τιμές τους. Η συγκέντρωση των ολικών στερεών στις δεξαμενές πρέπει να είναι κοντά στο 1% με 1,2% κατά βάρος για τη βέλτιστη λειτουργία της διεργασίας, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ανάλογα με τη μετρηθείσα συγκέντρωση κάθε μέρα επιλέγεται, χειροκίνητα μέσω βάνας, ο βαθμός επεξεργασίας της εισερχόμενης ιλύος. Δηλαδή, όταν η συγκέντρωση είναι υψηλή παρέχεται ιλύς από το αντλιοστάσιο περίσσειας, συγκέντρωσης στερεών 0,8%, ενώ όταν είναι χαμηλή παρέχεται ιλύς από το σύστημα προπάχυνσης (DAF) με συγκέντρωση στερεών 3-4%.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, οι καθημερινές συγκεντρώσεις των ολικών αλλά και των πτητικών στερεών στον Χωνευτή 3, που αποτελεί το τελευταίο στάδιο της αερόβιας χώνευσης, είναι σταθερές σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα των άλλων δύο δεξαμενών. Αυτό δηλώνει ότι η συγκέντρωση των στερεών της χωνεμένης ιλύος παρουσιάζει μικρή διακύμανση κάθε μέρα ανεξάρτητα από το είδος της ιλύος εισόδου, στοιχείο θετικό τόσο για την ένδειξη σταθερής λειτουργίας της διεργασίας όσο και για τη διευκόλυνση του επόμενου σταδίου επεξεργασίας (πάχυνση), όπου δεν χρειάζεται να γίνονται συχνές αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας του.

Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα πτητικά αποτελούν τροφή για τους μικροοργανισμούς και ευνοούν την ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους. Στόχος της αερόβιας χώνευσης είναι η μείωση των πτητικών με αποτέλεσμα την αδρανοποίηση της λάσπης. Από το Σχήμα 7 παρατηρούμε ότι το ποσοστό των πτητικών στερεών του Χωνευτή 3 είναι αρκετά μειωμένο συγκριτικά με των άλλων δύο χωνευτών που είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα της διεργασίας.



Σχήμα 7: Ποσοστό Πτητικών στα Ολικά Στερεά

Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών δεν υπήρχε η δυνατότητα για λήψη δειγμάτων πριν και μετά την χώνευση για τον υπολογισμό των απομακρυνόμενων πτητικών στερεών στη διεργασία ως σύνολο. Το μόνο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από το Σχήμα 7 είναι ότι τα περιεχόμενα στην ιλύ πτητικά του Χωνευτή 3 είναι κατά περίπου 10 ποσοστιαίες μονάδες λιγότερα από τα αντίστοιχα του Χωνευτή 1, μείωση της τάξης του 10,5%, χωρίς να μπορούμε να πούμε σίγουρα το ποσοστό μείωσής τους από κάθε Χωνευτή μεμονωμένα, μέχρι την έξοδο της ιλύος από τη διεργασία. Από τα δεδομένα σχεδιασμού της διεργασίας το ποσοστό των πτητικών στερεών στην είσοδο είναι περίπου 75% και η μείωση που επιτυγχάνεται κατά τη διεργασία είναι 65% με 67% ποσοστό πτητικών στερεών στην ιλύ εξόδου, δηλαδή μείωση πτητικών από 10,7% έως 13,3%.

Χρησιμοποιώντας τους χρόνους παραμονής και τη μέση θερμοκρασία κάθε δεξαμενής μπορούμε να υπολογίσουμε, από το Σχήμα 1 που παρουσιάζει τη μείωση των πτητικών ως συνάρτηση των δύο αυτών παραμέτρων, τη θεωρητική απομάκρυνσή τους. Οι θεωρητικές αυτές τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Ποσοστά Απομάκρυνσης Πτητικών

	Χωνευτής 1	Χωνευτής 2	Χωνευτής 3
Χρόνος παραμονής (d)	10	8	6
Μέση θερμοκρασία (°C)	34,3	40,1	36,1
Απομάκρυνση πτητικών (%)	36	32	25

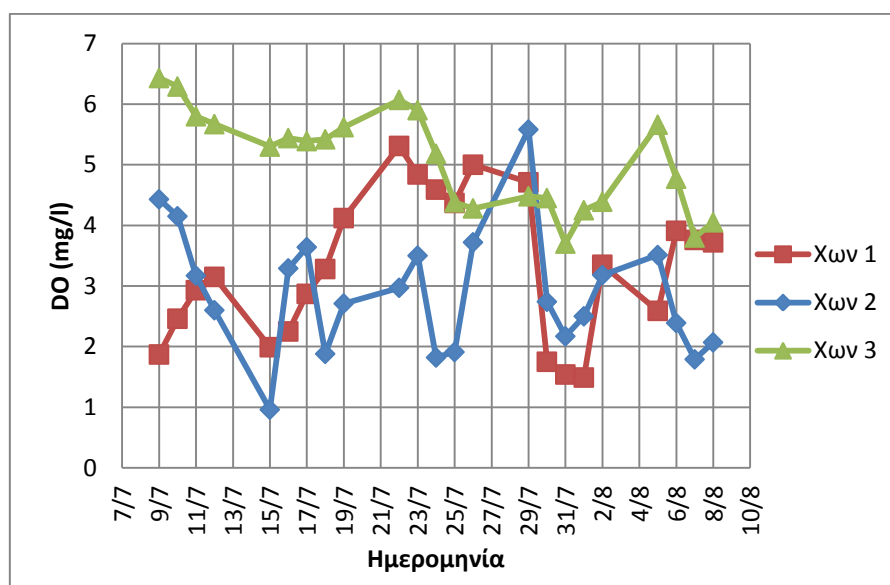
Παρατηρούμε ότι και θεωρητικά η απομάκρυνση των πτητικών από τον Χωνευτή 1 μέχρι τον Χωνευτή 3 είναι περίπου 10% όσο και στο Σχήμα 7. Θεωρητικά, το σύστημα ως σύνολο και των τριών δεξαμενών επιτυγχάνει μία απομάκρυνση πτητικών της τάξης του 93%, ποσοστό πάρα πολύ μεγάλο.

4.3 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο των τριών χωνευτών μετρούνταν αυτόματα από αισθητήρες τοποθετημένους στις δεξαμενές. Οι συγκεντρώσεις του φαίνονται στο Σχήμα 8 και οι μέσες τιμές του στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Μέση τιμή Διαλυμένου Οξυγόνου κατά την περίοδο της δειγματοληψίας (9/7/2013-8/8/2013)

	Χωνευτής 1	Χωνευτής 2	Χωνευτής 3
DO (mg/l)	3,30	2,90	5,07



Σχήμα 8: Συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου στις δεξαμενές

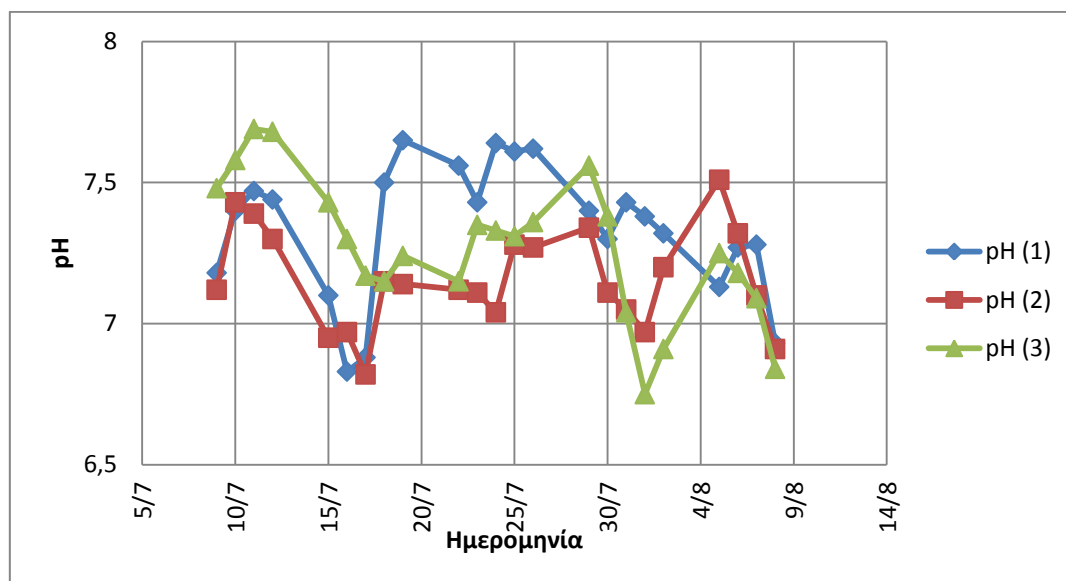
Για μεγαλύτερη μείωση των στερεών είναι προτιμότερο η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου να διατηρείται στα 3mg/l ή περισσότερο. Από το παραπάνω Σχήμα 8 βλέπουμε ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στους Χωνευτές 1 και 2 έχει αρκετές διακυμάνσεις που οφείλονται κυρίως στο είδος και τα χαρακτηριστικά της εισερχόμενης ιλύος. Αντίθετα, στον Χωνευτή 3 παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις του DO παραμένουν πάνω από τα επιθυμητά επίπεδα, δηλαδή σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 3mg/l, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών σε όλη τη δεξαμενή για την απομάκρυνση στερεών και να μην επηρεάζονται τα επόμενα στάδια επεξεργασίας της ιλύος λόγω έλλειψης οξυγόνου.

4.4 pH

Το pH μετριέται και αυτό αυτόματα από αισθητήρες τοποθετημένους μέσα στις δεξαμενές και τυχόν αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές λειτουργίας (7,2 – 7,6) ρυθμίζονται από αυτόματο σύστημα προσθήκης καυστικής σόδας, NaOH. Οι μέσες τιμές λειτουργίας των δεξαμενών φαίνονται στον Πίνακα 9 ενώ οι διακυμάνσεις του pH κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στο Σχήμα 9.

Πίνακας 9: Μέση τιμή pH στους χωνευτές κατά την περίοδο της δειγματοληψίας (9/7/2013-8/8/2013)

	Χωνευτής 1	Χωνευτής 2	Χωνευτής 3
pH	7,34	7,16	7,27



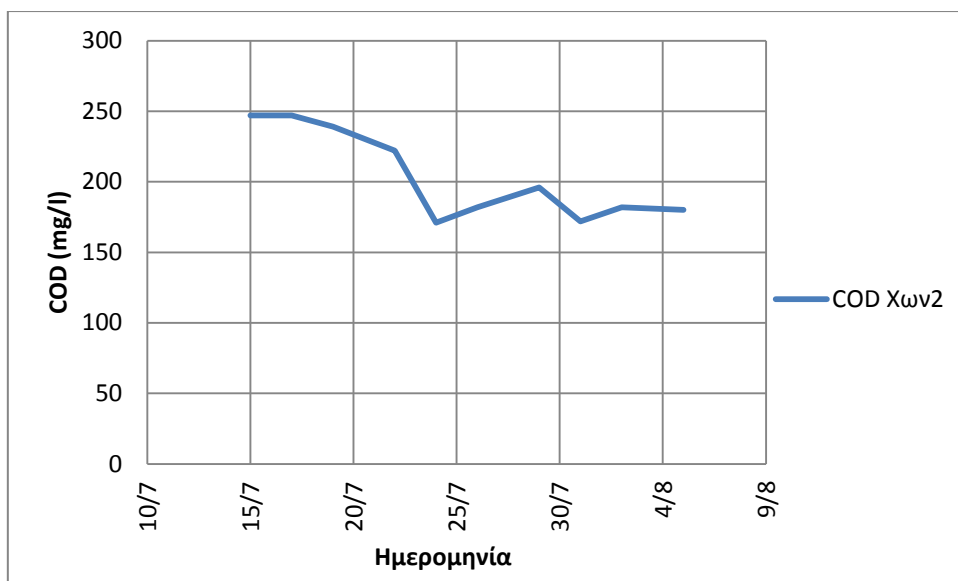
Σχήμα 9: Διακυμάνσεις pH

Από το Σχήμα 9 παρατηρούμε ότι κάποιες ημέρες το pH βρίσκεται κάτω από το επιθυμητό όριο λειτουργίας. Σε συνδυασμό με τα Σχήματα 6 και 7 που παρουσιάζουν την εικόνα των στερεών, βλέπουμε ότι τις ημέρες που έχουμε χαμηλό pH έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση στερεών και μεγαλύτερο ποσοστό πτητικών σε αυτά. Δηλαδή, έχουμε περισσότερη καταστροφή βιομάζας και γίνεται περισσότερη νιτροποίηση με αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση των κατιόντων υδρογόνου που μειώνουν το pH. Εάν αυτή η εισροή στερεών έγινε σε μικρό χρονικό διάστημα, ίσως το NaOH που προστέθηκε για την εξισορρόπηση του pH δεν πρόλαβε να δράσει. Επίσης, υπάρχει και η περίπτωση να υπήρχε κάποια βλάβη στον σταθμό δοσομέτρησης καυστικής σόδας και να μην λειτουργούσε σωστά.

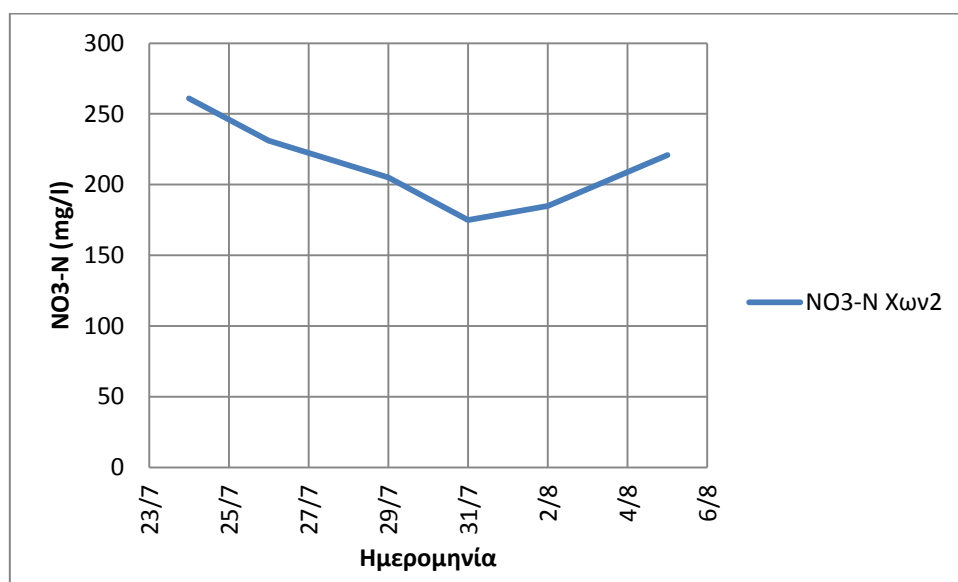
4.5 COD και νιτρικά ως άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο διηθημένο νερό του Χωνευτή 2 μετρούνταν το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) καθώς και η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων ($\text{NO}_3\text{-N}$). Η τιμή του COD εκφράζει τη συνολική απαίτηση σε οξυγόνο της ιλύος της δεξαμενής, αλλά δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός του βιοαποικοδομήσιμου και μη μέρους της. Οι μονάδες μέτρησης είναι mg καταναλισκόμενου οξυγόνου ανά L δείγματος. Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν δείκτη νιτροποίησης του αμμωνιακού αζώτου (NH_4^+), ενώ η απουσία τους δηλώνει ανοξικές συνθήκες, δηλαδή χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, DO.

Η μέση τιμή του COD είναι 200 mg/l και των $\text{NO}_3\text{-N}$ είναι 210 mg/l. Στο Σχήμα 10 φαίνονται οι τιμές του COD και στο Σχήμα 11 οι τιμές των νιτρικών.



Σχήμα 10: Συγκέντρωση COD στον Χωνευτή 2



Σχήμα 11: Συγκέντρωση Νιτρικών σαν άζωτο στον Χωνευτή 2

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε την περίοδο 9 Ιουλίου 2013 έως 8 Αυγούστου 2013, με στόχο την παρακολούθηση και καταγραφή της λειτουργίας της αερόβιας χώνευσης ιλύος σε τρεις δεξαμενές, μία εκ των οποίων είναι καλυμμένη με πολυκαρβονικά φύλλα. Σε αυτή τη δεξαμενή η θερμοκρασία που αναπτύσσεται, λόγω της εξώθερμης αντίδρασης καταστροφής της βιομάζας, είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία των συμβατικών συστημάτων, αλλά παραμένει σε μεσόφιλες θερμοκρασίες. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με την προσαρμογή και άλλων παραμέτρων (pH, DO, TS), μείωσε τον χρόνο παραμονής των στερεών για την επίτευξη της επιθυμητής μείωσης των πτητικών στερεών.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με δεδομένα που αντλήθηκαν από τις μελέτες σχεδιασμού, αναβάθμισης και επέκτασης της ΕΕΛ Ρεθύμνου [5], οι συνθήκες λειτουργίας της αερόβιας χώνευσης στις τρεις δεξαμενές είναι: α) για τις δύο ανοικτές, κυκλικές δεξαμενές (Χωνευτές 1 και 3): θερμοκρασία λειτουργίας 35-38°C, συγκέντρωση στερεών (TS) 1-2,2% με προτιμότερη συγκέντρωση κοντά στο 1,2%, τιμή pH μεταξύ 7,3 και 7,6 και συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) τουλάχιστον 1,5 mg/l, β) για τη μονωμένη, ορθογωνική δεξαμενή (Χωνευτής 2): θερμοκρασία λειτουργίας max 42°C, συγκέντρωση στερεών (TS) 1-2,5% με προτιμότερη συγκέντρωση κοντά στο 1,2%, τιμή pH μεταξύ 7,3 και 7,6 και συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) τουλάχιστον 1,5mg/l. Επίσης, στο σύνολό της η διεργασία σχεδιάστηκε για παροχή εισόδου ιλύος με ποσοστό πτητικών στερεών επί των συνολικών στερεών 75% και παροχή εξόδου με το αντίστοιχο ποσοστό πτητικών 65-67%.

Τα πειραματικά δεδομένα που καταγράφηκαν και προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις είναι τα εξής:

α) για τον Χωνευτή 1: θερμοκρασία λειτουργίας 34,3°C, συγκέντρωση στερεών (TS) 1,04 %, τιμή pH 7,34, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 3,3 mg/l, ποσοστό πτητικών στερεών στα ολικά στερεά 72,3% και χρόνος παραμονής 10 ημέρες,

β) για τον Χωνευτή 2: θερμοκρασία λειτουργίας 40,1°C, συγκέντρωση στερεών (TS) 0,96%, τιμή pH 7,16, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 2,9 mg/l, ποσοστό πτητικών στερεών στα ολικά στερεά 66,4% και χρόνος παραμονής 8 ημέρες και

γ) για τον Χωνευτή 3: θερμοκρασία λειτουργίας 36,1°C, συγκέντρωση στερεών (TS) 1%, τιμή pH 7,27, συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 5,07 mg/l και ποσοστό πτητικών στερεών στα ολικά στερεά 64,7%.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι σύμφωνα με τις σχεδιαστικές παραμέτρους οι τρεις δεξαμενές λειτουργούν εντός των ορίων που έχουν τεθεί. Υπάρχουν και λίγες μέρες όπου η τιμή του pH απέκλινε από αυτά τα όρια, αλλά η απόκλιση ήταν μικρή και δεν δημιούργησε πρόβλημα σε μία μονάδα τέτοιας δυναμικότητας όπως ο βιολογικός καθαρισμός μιας πόλης.

Όσον αφορά στη μονωμένη δεξαμενή παρατηρούμε ότι βρίσκεται εντός των ορίων που έχει θέσει ο Rein [8] εκτός από τον χρόνο παραμονής των στερεών. Για την ύπαρξη των πρωτόζωων *Monadidae* δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι, καθώς δεν έγιναν οι απαραίτητες μικροβιολογικές αναλύσεις, αλλά σύμφωνα με την ευρεσιτεχνία αυτή ο χρόνος παραμονής του βιολογικού

καθαρισμού θα μπορούσε να μειωθεί σε 6 μέρες αντί των 8 που είναι σήμερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Επίσης, βλέπουμε ότι παρόλο που η ημερήσια παροχή του Χωνευτή 2 ($190 \text{ m}^3/\text{d}$) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του Χωνευτή 1 ($114 \text{ m}^3/\text{d}$), ο χρόνος παραμονής στον Χωνευτή 2 είναι 8 d, χρόνος μικρότερος από τις 10 d που αντιπροσωπεύουν το χρόνο παραμονής στο Χωνευτή 1. Βέβαια, η εισερχόμενη, στο Χωνευτή 2, ιλύς είναι κατά ένα μέρος επεξεργασμένη, αφού αποτελείται από την ιλύ εξόδου του Χωνευτή 1 ($114 \text{ m}^3/\text{d}$), όπου έχει υποστεί αερόβια χώνευση και από προπαχυμένη ή δευτεροβάθμια ιλύ ($76 \text{ m}^3/\text{d}$). Ακόμα και έτσι όμως, η μονωμένη δεξαμενή έχει την ικανότητα διαχείρισης μεγάλου όγκου ιλύος με μικρό χρόνο παραμονής. Αυτές οι παράμετροι είναι καθοριστικές για την αποτελεσματικότητα της αερόβιας χώνευσης μιας εγκατάστασης τέτοιας δυναμικότητας, όπως ο Βιολογικός Καθαρισμός του Ρεθύμνου, καθώς επιτρέπει τη διαχείριση μεγαλύτερου όγκου ιλύος στις ήδη υπάρχουσες δεξαμενές, αποφεύγοντας την κατασκευή επιπλέον δεξαμενών για την επεξεργασία του συνόλου της ιλύος μόνο με τη συμβατική τεχνική της αερόβιας χώνευσης.

6. Βιβλιογραφία

1. Metcalf & Eddy, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ, Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση, 4^η Έκδοση (2006,2007), Τόμος Α΄ και Β΄, εκδόσεις Τζιόλα
2. Τσώνης Π. Στυλιανός, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ, 1^η Έκδοση (2004), εκδόσεις Παπασωτηρίου
3. Στάμου Ι. Αναστάσιος και Βογιατζής Σ. Ζηνόβιος, Βασικές Αρχές και σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων, 2^η Έκδοση (1994), Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας
4. APHA, AWWA & WEF, Standard Methods of examination of water and wastewater, 18th edition (1992)
5. Μελέτη Αναβάθμισης και Επέκτασης Βιολογικού Καθαρισμού Ρεθύμνου, Τεύχη Δημοπράτησης, 2012
6. Harlan G. Kelly, Henryk Melcer and Donald S. Mavinic, Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Sludges: A One-Year, Full-Scale Demonstration Project, Water Environment Research, Vol. 65, No. 7 (Nov. - Dec., 1993), pp. 849-861
7. L.C. Matsch, R. F. Drnevich, Autothermal Aerobic Digestion, Water Pollution Control Federation, Vol. 49, No 2 (Feb.,1977), pp. 296-310
8. United States Patent 4.026.793, Rein, David A., August 21, 1975, Aerobic Sewerage Digestion Process (42°C process) (<http://patft.uspto.gov>)
9. S.G.Liu, N.W. Zhu, Y.Li Loretta, The One-Stage Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion For Sewage Sludge Treatment: Stabilization Process And Mechanism, Bioresource Technology 104 (2012) 266-273
10. S.G.Liu, N.W. Zhu, P. Ning, Y.Li Loretta, X.D. Gong, The One-Stage Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion For Sewage Sludge Treatment: Effects Of Temperature On Stabilization Process And Sludge Properties, Chemical Engineering Journal 197 (2012) 223-230
11. S.G.Liu, N.W. Zhu, Y.Li Loretta, The One-Stage Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion For Sewage Sludge Treatment, Chemical Engineering Journal 174 (2011) 564-570
12. J.P.Zhou, Factors Influencing Dewaterability Of Thermophilic Aerobically Digested Biosolids, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2003
13. S.G. Liu, F.Y. Song, N.W. Zhu, H.P. Yuan, J.H. Cheng, Chemical And Microbial Changes During Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion (ATAD) Of Sewage Sludge, Bioresource Technology 101 (2010) 9438-9444
14. D. Hayes, L. Izzard, R. Seviour, Microbial Ecology Of Autothermal Thermophilic Aerobic Digester (ATAD) Systems For Treating Waste Activated Sludge, Sust. Appl. Microbiol. 34 (2011) 127-138
15. J.H. Cheng, The Study Of Sewage Sludge Treatment By Autothermal Thermophilic (Micro) Aerobic Digestion Process, Tongji University, Shanghai, 2006

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ι. Πίνακες παραμέτρων από τις ενδείξεις των μετρητών των δεξαμενών ανά εβδομάδα

Πίνακας 1/5

Ημερομηνία	9/7/2013	10/7/2013	11/7/2013	12/7/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1				
Θερμοκρασία (°C)	37,2	36,4	35,7	35,5
DO (mg/l)	1,87	2,46	2,93	3,15
TS (mg/l)	10536	11015	10508	10366
pH	7,18	7,4	7,47	7,44
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)				
Θερμοκρασία (°C)	41,7	41,5	41,2	41,3
DO (mg/l)	4,43	4,15	3,17	2,6
TS (mg/l)	9003	9145	9366	9401
pH	7,12	7,43	7,39	7,3
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3				
Θερμοκρασία (°C)	35	35,4	36,4	36,8
DO (mg/l)	6,43	6,29	5,8	5,67
pH	7,48	7,58	7,69	7,68

Πίνακας 2/5

Ημερομηνία	15/7/2013	16/7/2013	17/7/2013	18/7/2013	19/7/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1					
Θερμοκρασία (°C)	36,3	37,2	36	34,6	33,8
DO (mg/l)	1,99	2,25	2,87	3,28	4,12
TS (mg/l)	10295	9833	9507	9710	9827
pH	7,1	6,83	6,88	7,5	7,65
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)					
Θερμοκρασία (°C)	42,4	42,2	41,6	40,4	39,8
DO (mg/l)	0,96	3,29	3,64	1,88	2,71
TS (mg/l)	9334	9677	9495	9361	8805
pH	6,95	6,97	6,82	7,15	7,14
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3					
Θερμοκρασία (°C)	37,2	37,1	36,9	36,4	36,1
DO (mg/l)	5,3	5,44	5,39	5,42	5,62
pH	7,43	7,3	7,17	7,15	7,24

Πίνακας 3/5

Ημερομηνία	22/7/2013	23/7/2013	24/7/2013	25/7/2013	26/7/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1					
Θερμοκρασία (°C)	33,6	33	32,5	32,9	33,1
DO (mg/l)	5,31	4,84	4,59	4,37	5
TS (mg/l)	9850	10741	10367	10327	9532
pH	7,56	7,43	7,64	7,61	7,62
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)					
Θερμοκρασία (°C)	39	38,6	38	38,4	38,9
DO (mg/l)	2,97	3,5	1,82	1,91	3,72
TS (mg/l)	9811	10110	10146	10737	10283
pH	7,12	7,11	7,04	7,28	7,27
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3					
Θερμοκρασία (°C)	35,2	35,1	35,4	35,6	36
DO (mg/l)	6,07	5,9	5,18	4,38	4,28
pH	7,15	7,35	7,33	7,31	7,36

Πίνακας 4/5

Ημερομηνία	29/7/2013	30/7/2013	31/7/2013	1/8/2013	2/8/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1					
Θερμοκρασία (°C)	33,1	33,4	33,2	34,1	34,7
DO (mg/l)	4,71	1,75	1,54	1,49	3,35
TS (mg/l)	9886	9825	9659	9888	10903
pH	7,4	7,3	7,43	7,38	7,32
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)					
Θερμοκρασία (°C)	39,3	39,2	38,6	39,4	39,9
DO (mg/l)	5,58	2,74	2,17	2,5	3,18
TS (mg/l)	9123	9721	9213	9048	9118
pH	7,34	7,11	7,05	6,97	7,2
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3					
Θερμοκρασία (°C)	36,6	36,5	37	36,6	36,3
DO (mg/l)	4,48	4,45	3,7	4,25	4,39
pH	7,56	7,38	7,04	6,75	6,91

Πίνακας 5/5

Ημερομηνία	5/8/2013	6/8/2013	7/8/2013	8/8/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1				
Θερμοκρασία (°C)	34,8	32,9	32,6	33,3
DO (mg/l)	2,59	3,91	3,76	3,72
TS (mg/l)	13216	11363	10505	11103
pH	7,13	7,27	7,28	6,93
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)				
Θερμοκρασία (°C)	41,3	40	39,3	40,1
DO (mg/l)	3,51	2,39	1,79	2,07
TS (mg/l)	9610	10108	9840	9671
pH	7,51	7,32	7,1	6,91
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3				
Θερμοκρασία (°C)	35,1	36,1	36,3	35,9
DO (mg/l)	5,66	4,77	3,8	4,05
pH	7,25	7,18	7,09	6,84

II. Πίνακες παραμέτρων από τις αναλύσεις των δειγμάτων στο εργαστήριο

Οι παρακάτω τιμές των ολικών στερεών (TS) που προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τον υπολογισμό του πτητικού κλάσματος των στερεών (% VSS)

Πίνακας 1/2

Ημερομηνία	15/7/2013	17/7/2013	19/7/2013	22/7/2013	24/7/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1					
TS (mg/l)	11288	10614			10920
VSS/TS (%)	71,6	71,1			72,3
VSS (mg/l)	7371	6759			7495
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)					
COD (mg/l)	247	247	239	222	171
TS (mg/l)	10196	-	9812	10518	10450
VSS/TS (%)	64,7	-	64,5	63,9	65,5
VSS (mg/l)	6039		5679	6269	6646
NO ₃ ⁻ N (mg/l)					261
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3					
TS (mg/l)	9702	10044			10040
VSS/TS (%)	63,5	63			63,7
VSS (mg/l)	6161	6328			6395

Πίνακας 2/2

<i>Ημερομηνία</i>	26/7/2013	29/7/2013	31/7/2013	2/8/2013	5/8/2013	7/8/2013
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 1						
TS (mg/l)			10880			11420
VSS/TS (%)			73,6			73,1
VSS (mg/l)			7109			7679
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 2 (κλειστή)						
COD (mg/l)	182	196	172	182	180	159
TS (mg/l)	11138	10402	10518	10582	10674	12020
VSS/TS (%)	66,2	67,1	68,5	67,8	66,8	69,3
VSS (mg/l)	6807	6122	6311	6182	6419	8330
NO ₃ - N (mg/l)	231	205	175	185	221	190
Δεξαμενή Αερόβιας Χώνευσης 3						
TS (mg/l)			10020			10414
VSS/TS (%)			66,3			67,1
VSS (mg/l)			6643			6988